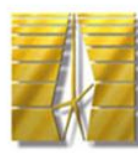




*Объединение молодых ученых, студентов, аспирантов,
специалистов смежных областей науки и техники*

Ассоциация Молодых Физиков Чувашии



Министерство образования и молодежной политики Чувашской республики

Ассоциация молодых физиков Чувашии

при финансовой поддержке

Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ)

при поддержке

**НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ"**

им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)

Ассоциации солнечной энергетики России (АСЭР)

СБОРНИК ТРУДОВ

II Всероссийской научной конференции

Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики 3-го поколения



Чебоксары, 2014

**Министерство образования и молодежной политики Чувашской
республики
Ассоциация молодых физиков Чувашии
при финансовой поддержке
Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ)
при поддержке
НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Санкт-Петербургского государственного электротехнического
университета "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)
Ассоциации солнечной энергетики России (АСЭР)**

СБОРНИК ТРУДОВ

**II Всероссийской научной конференции
Наноструктурированные материалы и
преобразовательные устройства для
солнечной энергетики 3-го поколения**

22-24 мая 2014

Чебоксары, 2014

УДК 621.472-022.53(082)
ББК 3635Я43

Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики 3-го поколения. Труды II Всероссийской научной конференции (Чебоксары, 22-24 мая 2014 года) / Под редакцией А.В. Кокшиной, А.В. Смирнова, В.Д. Кочакова, В.П. Афанасьева, Е.И. Терукова, А.В. Бобыля - Чебоксары: типография «Полиграфика», 2014 - 186 с.

Сборник выпущен при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-08-06821).

Сборник трудов включает тезисы докладов участников II Всероссийской научной конференции «Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики 3-го поколения (Чебоксары, 22-24 мая 2014 года)». Сборник содержит современные данные о состоянии и перспективах развития солнечной энергетики на территории Российской Федерации. Особое внимание уделено фундаментальным и прикладным исследованиям в области наноструктурированных солнечных элементов, фотоэлектрических преобразователей и преобразовательных устройств на основе тонкопленочных наноструктур, практическому применению энергоустановок на основе фотоэлектрических модулей для освещения (освещение рекламных щитов, вывесок и остановок общественного транспорта, автономное освещение пешеходных переходов и городских парков).

Сборник предназначен для исследователей и специалистов в области нанотехнологий, солнечной и водородной энергетики, а также для широкого круга читателей, интересующихся состоянием исследований по данной теме. Авторы надеются, что представленный материал будет также служить основой для выработки предложений для представителей власти и бизнеса по широкому внедрению фотоэнергетических систем на территории России.

УДК 621.472-022.53(082)
ББК 3635Я43

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ассоциация молодых физиков Чувашии при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ) и Министерства образования и молодежной политики Чувашской Республики на базе ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» провела II всероссийскую конференцию «Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики 3-го поколения».

Конференция посвящена перспективам развития солнечной энергетики, как одного из видов альтернативных источников энергии, в Российской Федерации и, в свете последних событий (строительство завода по производству солнечных батарей и монтаж пилотных солнечных электростанций на территории Чувашии, Алтайского края, Санкт-Петербурга, Краснодарского края и др., открытие нового направления обучения по направлению "фотовольтаика" и лаборатории по фотовольтаике для мониторинга количества и качества вырабатываемой электроэнергии).

Основной тематикой конференции являлись фундаментальные и прикладные исследования в области наноструктурированных солнечных элементов, фотоэлектрические преобразователи и преобразовательные устройства на основе тонкопленочных наноструктур.

Основной задачей конференции являлось выявление наиболее актуальных и перспективных разработок в области гетеро- и наноструктурированных материалов и преобразовательных устройств для солнечных энергоустановок, стимулирование и дальнейшее развитие научных исследований аспирантов и молодых ученых, специалистов отрасли, привлечение внимания представителей власти и бизнеса.

Конференция проходила по следующим направлениям:

1. **Фотоэлектрические преобразователи на тонкопленочной основе** (в том числе на основе органических полупроводников и наноструктурированного углерода)

2. **Технологии и методы осаждения тонких пленок аморфного кремния** (в том числе, уменьшение размеров солнечных элементов и расходов на их производство, увеличение эффективности СЭ, технологические особенности выращивания слоев и диагностика фотоэлектрических характеристик)

3. **Новые физические принципы и эффекты для ФЭП** (поверхностные эффекты - квантовые точки Si, внедрение концепции плазмоники для увеличения коэффициента поглощения и т.п.)

4. **Преобразовательные устройства** (счетчики качества вырабатываемой электроэнергии, инверторы, системы мониторинга, установки на основе солнечных модулей в энергосберегающих системах и др.)

5. **Практическое освоение технологии мониторинга условий и режимов эксплуатации солнечных электростанций**; Применение методов интеллектуального анализа данных в обобщении экспериментальных исследований в области нанотехнологий, при мониторинге работы солнечных электростанций и определении оптимальных условий их эксплуатации.

Авторы надеются, что данный сборник окажется полезным для исследователей и специалистов в области нанотехнологий и солнечной и водородной энергетики, а также для широкого круга читателей, интересующихся текущим состоянием исследований по данной теме.

От коллектива Ассоциации молодых физиков Чувашии

КАБИНЕРТ МИНИСТРОВ ОЦЕНИЛ РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХ ФЦП

По материалам Российской газеты
(Федеральный выпуск)
№6355 от 11 апреля 2014 г.
Текст: Владимир Кузьмин

 Российская Газета



Правительство подвело итоги реализации федеральных целевых программ

"Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России" и "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России", целью которых было развитие научно-технологического потенциала страны для реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники. Обе программы завершились в прошлом году.

- По итогам получен достаточно внушительный перечень новых технологий, часть из них внедрена и даже доведена до коммерческого воплощения, - заявил премьер-министр Дмитрий Медведев, открывая заседание правительства. - Объем высокотехнологичной продукции, который был создан за счет коммерциализации этих разработок, составил порядка 215 миллиардов рублей. Отдача есть, причем несколько больше даже, чем мы планировали, а мы планировали около 150 миллиардов рублей.

Эффект, возможно, мог быть и больше, если бы выше была эффективность расходов. Это следующая задача, подчеркнул глава кабмина. Всего же на две ФЦП потрачено 270 млрд рублей, из которых 200 млрд пришлось на федеральный бюджет.

"Главное, наверное, что программа стала стимулом для молодых ученых из академического и вузовского секторов", - считает премьер-министр. Еще ценнее, что программа по кадрам была направлена на молодых ученых до 35 лет, и в итоге более 20 тысяч студентов и аспирантов продолжили заниматься наукой.

"Итоги реализации обеих программ показали высокий уровень востребованности их результатов в научном сообществе", - заявил министр образования и науки Дмитрий Ливанов, констатируя, что целевые показатели обеих ФЦП достигнуты. В частности, оформлено более 5 тысяч патентов, опубликовано 90 тысяч научных статей, защищено более 12 тысяч диссертаций.

Глава Минобрнауки продемонстрировал успехи только на трех примерах. **Физико-технический институт имени Иоффе разработал автономные гибридные энергоустановки на основе солнечных модулей и дизельных генераторов для**

энергоснабжения удаленных потребителей, на основе разработок Национального исследовательского университета МИЭТ увидела свет первая мелкосерийная партия носимых аппаратов вспомогательного кровообращения с имплантируемым роторным насосом крови. А НИИ механики МГУ создал программно-аппаратный комплекс дублирования опорно-двигательного аппарата человека, оказывающий помощь людям при ослаблении двигательной способности.

Успех двух завершившихся ФЦП дает надежды на удачную реализацию новой программы в области исследований и разработок, разработанной кабинетом министров на срок до 2020 года. "Обеспечение прорыва по отдельным приоритетным технологическим направлениям и получение качественно новых результатов обуславливают акцент именно на поддержке проведения прикладных научных исследований, направленных на решение важнейших научно-технических государственных проблем", - в общих чертах объяснил ее суть министр Ливанов.

Призывает министерство не забывать и о необходимости дальнейшего повышения уровня доходов научных работников. "Мы разработали предложения о включении в "дорожные карты" ведомств, в которых есть подведомственные научные организации, мер по увеличению размеров заработной платы научных сотрудников в соответствии с теми целевыми указаниями, которые содержатся в майских указах президента", - заявил глава минобрнауки. На заседании кабинет министров также распределил ряд очередных субсидий для регионов. Так, 40 миллиардов рублей было выделено на модернизацию региональных систем дошкольного образования, причем средства получили также Республика Крым и Севастополь. Кроме того, Дмитрий Медведев сообщил о подписании им распоряжения, направленного на совершенствование оценки деятельности министров и губернаторов. "Существенно расширены показатели развития конкуренции внутри тех индикаторов, которые там используются, - отметил он. - В сравнительных рейтингах руководителей теперь будет учитываться уровень социально-экономического развития их региона, причем в более полном варианте".

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОБЗОР РАЗРАБОТОК АКТИВНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

А.В. Бобыль¹, В.Д. Кочаков²

¹ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

² Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары

bobyl@theory.ioffe.ru

В [1] был проведен анализ использованием почти 2000 автономных электростанций в течение последних 40 лет. Средняя скорость деградации около 0,8% / год. Большинство, 78% всех данных, сообщили о скорости деградации <1% / год. Темпы деградации тонкопленочных значительно улучшились за последнее десятилетие, хотя они статистически ближе к 1 % / год, чем к 0,5% / год, необходимых для 25-летние коммерческие гарантии. Несмотря на прогресс, достигнутый в последнее десятилетие, на некоторые вопросы, таких как линейность и точность регистрации климатических данных, ответы не были получены. Количество публикаций о долгосрочной работе автономных электростанций быстро растет в последние годы, что отражает важность этого вопроса. Ожидается, что темп деградации позволит предсказать увеличение ресурса до 25 лет и более. При проектировании солнечных фотоэлектрических (PV) системы, основной целью дизайнера является оптимизация системы за счет правильного выбора компонентов системы, прежде всего мощность солнечных элементов [2]. Важным является их удельная мощность в Вт/м² для конкретного географического расположения и климатические данные по интенсивности солнечного излучения, что необходимо учитывать при расчете электрические характеристики системы. В статье [2] описывается процедура моделированием системы солнечных модулей - решетки с использованием трех различных источников солнечных данных для двух географических местах в Южной Африке. Основной целью работы является показать, что спутниковые данные по оценкам солнечное излучение недооценивает стоимость и мощность солнечной электростанции, необходимой для удовлетворения нагрузки.

В статье [3] рассматривается система мониторинга, созданная в Цукубе, Япония. Данные мониторинга работы фотоэлектрических модулей необходимы для определения эффективности работы фотоэлектрических модулей в реальных условиях и определения основных причин отклонения от значений эффективности, полученных в лаборатории. Данная система мониторинга позволяет измерять значения генерируемой панелями мощности. Разработана методика, позволяющая на основе данных мониторинга оценивать величину потерь мощности из-за каждого механизма потерь: температурного, затенения, несогласованности параметров модулей в установке, потерь в инвертере и других потерь. Различные параметры окружающей среды по-разному воздействуют на различные типы модулей, большое количество параметров, влияющих на работу модулей и нелинейность этого влияния, делает задачу определения технологии модулей оптимальной для данной местности нетривиальной. В статье [4] описываются результаты мониторинга 10 установок расположенных в различных частях северной Италии, как в городских, так и сельских условиях, построенных на основе модулей 5 различных технологий (p-Si, m-Si, m-Si - α -Si, CdTe CIS). Вводится критерий оценки эффективности установки – Доступность

установленной мощности, как отношение вырабатываемой энергии к ожидаемому значению в условиях данной освещённости.

Было показано, что мониторинг фотоэлектрического модуля на основании только тока и напряжения в точке максимальной точки не позволяет точно определять причину снижения эффективности модуля, причиной может быть как влияние внешней среды, так и деградация самого модуля. Наиболее полно состояние модуля описывают ВАХ модуля. Статья [5] описывает архитектуру построения системы мониторинга данных для сложных солнечных энергоустановок. Данная система позволяет производить измерения параметров каждого из модулей энергоустановки в отдельности, и измерять его параметры более полно – измеряется не только ток и напряжение в точке максимальной точки, но ВАХ модуля при данных условиях: мощности солнечного излучения, затенении, температуре и загрязнении поверхности панели.

В отчете [6] солнечные электростанции анализируются с учетом наличия различных рыночных факторов (участников), несколько типов источников энергии (больших и распределенных) и потребителей. При этом участники имеют различную рыночную стратегию затрат и возврата финансовых ресурсов. Рассматриваются условия прибыльных затрат в зависимости от параметров энергоустановок и климатических условий их использования.

Разработка и внедрение технологий электрогенерации с низким содержанием углерода является национальной стратегией Великобритании и Китая в течение ряда лет, в том числе с использованием технологий возобновляемых источников энергии [7]. Управление системы Microgrid включала сетевое моделирование, расширенный контроль и использование интеллектуальных методов мониторинга. Энергоустановка включала солнечные батареи, ветряные турбины, генерацию тепла и электроэнергии, была смоделирована для различных оперативных ситуаций. Систему обеспечивала контроль параметров окружающей среды, параметров управления силовой электроники ветровых турбин и фотоэлектрических элементов, производство электроэнергии в комбинированном сочетании - ветер / солнце / ДВС. Проводилось моделирование взаимодействия в условиях электроснабжения жилых домов (Microgrid). В статье [8] описывается вариант построения системы мониторинга, преимущественно основанный на цифровой (дискретной) обработке результатов измерений. Необходимым элементом, согласно [9], является наличие оборудования для снятия ВАХ фотоэлектрических модулей. Предлагается проводить эти измерения путем изменения сопротивления нагрузки.

Одной из проблем в условиях России является возможность и надёжность сбора данных мониторинга. Статья [33] описывает пример интеграции в систему мониторинга модуля сотовой связи GSM для беспроводной передачи данных мониторинга. Беспроводная передача данных может быть использована при создании систем мониторинга в труднодоступных районах, где отсутствует проводная сеть связи и её прокладка экономически нецелесообразна.

Литература

1. Dirk C. Jordan and Sarah R. Kurtz. Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review. <http://www.osti.gov/bridge> Journal Article NREL/JA-5200-51664 June 2012.
2. J. Dekker, M. Nthontho, S. Chowdhury, S.P. Chowdhury. Investigating the effects of solar modelling using different solar irradiation data sets and sources within South Africa. *Solar Energy* 86 (2012) 2354–2365.
3. A. Tahri, T. Oozeki, A. Draou. Monitoring and evaluation of photovoltaic system. *Energy Procedia* 42 (2013) 456–464.

4. F. Spertino, F. Corona. Monitoring and checking of performance in photovoltaic plants: A tool for design, installation and maintenance of grid-connected systems. *Renewable Energy* 60 (2013) 722-732.
 5. P. Papageorgas^{1*}, D. Piromalis², K. Antonakoglou¹, G. Vokas¹, D. Tseles² and K. G. Arvanitis. Smart Solar Panels: In-situ monitoring of photovoltaic panels based on wired and wireless sensor networks. *Energy Procedia* 36 (2013) 535 – 545.
 6. Easan Drury, Paul Denholm, and Robert Margolis. The Impact of Different Economic Performance Metrics on the Perceived Value of Solar Photovoltaics. Technical Report NREL/TP-6A20-52197, Contract No. DE-AC36-08GO283081, October 2011, 53 p.
 7. X. Maa, Y. Wang, J. Qin. Generic model of a community-based microgrid integrating wind turbines, photovoltaics and CHP generations. *Applied Energy* 112 (2013) 1475–1482.
 8. M. K. Ghodki. Microcontroller and solar power based electrical energy management system for renewable energy applications. *Electrical Power and Energy Systems* 44 (2013) 852–860.
 9. N. Forero, J. Hernandez, G. Gordillo. Development of a monitoring system for a PV solar plant. *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 2329–2336.
-

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИИ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ

А.В. Бобьль¹, В.Д. Кочаков², Е.И. Теруков¹, А.В. Смирнов², А.И. Васильев²

¹ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

² Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары

³ НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе

boby1@theory.ioffe.ru

В целях совместного выполнения проекта с наименованием «Исследования материалов и компонентов электростанций, оптимизация экологических проблем» ЧГУ им. И.Н. Ульянова и ФТИ им. А.Ф. Иоффе создают лабораторию с названием «Лаборатория эффективности и экологии автономных электростанций с использованием ВИЭ (солнце-ветер)». Лаборатория создается для проведения научных исследований по актуальным вопросам развития автономных электростанций с использованием возобновляемых источников энергии, для проведения комплексных научных исследований в целях улучшения среды обитания человека, для развития учебной и научной деятельности обеих сторон, учитывая их опыт в данных областях.

Основным принципом предлагаемых методов и подходов для повышения эффективности и ресурса автономных солнце-ветро-ДВС двигателей (внутреннего сгорания) электростанций (АСВДЭ) является необходимость решить комплекс взаимосвязанных задач в последовательной цепочке – от технологических экспериментов разработки эффективных устройств и способов генерации, физических исследований солнечных элементов, катализаторов, способов эффективного накопления и управления электроэнергией до выяснения условий эксплуатации, благоприятных для повышения экологической безопасности и простоты надежной эксплуатации АСВДЭ.

Специфические особенности этих задач заключаются в следующих конкретных методах и подходах, включенных в общий план работ:

-теоретические исследования структуры слоев солнечных модулей, направленные на повышение их эффективности;

- проведение технологических экспериментов по разработке солнечных структур;
- сформулировать технологические требования на параметры солнечных модулей;
- изготовление тестовых структур солнечных модулей и проведение измерения их целевых характеристик;
- испытания в режимах ускоренной деградации;
- выработка требований по качества солнечных модулей;
- проведение испытаний АСВДЭ.
- разработка методов и устройств мониторинга климатических условий, исследование их влияние на режимы работы АСВДЭ
- оптимизация различных способов генерации, накопления и потребления, учитывающих динамику климатических параметров
- анализ и оценка современного состояния систем мониторинга климатических и разработка технических требований к системам мониторинга

Для успешной реализации проекта имеется хороший научно-технический задел. Исследована фотоиндуцированная деградация тандемных α -Si:H/ μ c-Si:H фотопреобразователей с начальным КПД 10.4% при плотностях потока падающего излучения 1 и 10 кВт/м² (AM1.5G). Установлено, что стабилизированное состояние достигается после 500 ч экспозиции при стандартной плотности потока излучения или после 300 минут при плотности, повышенной в 10 раз. Снижение КПД в обоих случаях составило 1.2–1.4 абс%. Из экспериментально измеренных спектральных и вольт-амперных характеристик фотопреобразователей определены значения времен жизни неравновесных носителей заряда и рассчитаны зависимости изменения концентрации свободных (оборванных) связей в слоях i - α -Si:H и i - μ c-Si:H. Аппроксимация зависимостей осуществлялась по модифицированной модели плавающих связей. Вычисленные значения концентраций свободных связей при различных длительностях экспозиции использовались при моделировании зависимостей параметров фотопреобразователей от времени светового воздействия. Полученные результаты показали хорошее согласование расчетных темпов деградации тока и КПД тандемного фотопреобразователя с экспериментальными данными [1,2].

Разработана экспериментальная установка и методика ее использования для проведения ускоренных испытаний тонкопленочных фотопреобразователей α -Si:H/ μ c-Si:H размером до 100 × 100 мм на световую деградацию при повышенной освещенности (до 10 кВт/м²). Проведено сравнение результатов оценки уровня фотоиндуцированной деградации фотопреобразователей по стандартной и разработанной методике и показано, что методика исследования фотоиндуцированной деградации при повышенной освещенности позволяет в 100 раз сократить время проведения испытаний, обеспечивая полностью адекватную оценку стабильности фотопреобразователей на основе аморфного и микрокристаллического кремния [3,4].

Разработана технология формирования формирования нанокристаллов серебра в фототерморефрактивных стеклах при облучении электронами и термообработке. Проведено сравнение спектров оптической плотности образцов на разных стадиях термообработки. Показано, что образование металлических наночастиц может происходить как непосредственно при электронном облучении, так и при последующей термообработке. Наночастицы располагаются слоями, параллельными поверхности. На начальной стадии формирования наночастиц определяющую роль играет возникновение отрицательного объемного заряда в приповерхностном слое стекла, что приводит к полевой миграции положительных ионов металла и к характерному распределению металлических наночастиц в объеме стекла в виде

слоев. Технология может быть использована при разработке солнечных элементов с высоким КПД.

Приведены результаты работ по разработке, монтажу и испытаниям сетевой фотоэлектрической станции на основе тонкопленочных фотоэлектрических модулей тандемного типа пиковой мощностью 2 kW. Описаны подходы и методы расчета станций такого рода, рассматриваются механизмы возможной окупаемости станций и технических аспектов строительства подобных объектов.

Таким образом, актуальными представляются комплексные научные исследования, посвященные улучшению условий жизни и среды обитания человека, которые требуют изучения факторов среды обитания, оказывающих воздействие на человека и (или) на состояние здоровья будущих поколений.

Литература

1. В.М. Емельянов, А.С. Абрамов, А.В. Бобыль, А.С. Гудовских, Д.Л. Орехов, Е.И. Теруков, Н.Х. Тимошина, О.И. Честа, М.З. Шварц. Исследование световой деградации тандемных α -Si : H/ μ c-Si:H фотопреобразователей. Физика и техника полупроводников, 2013, том 47, вып. 5, с. 667-674.

2. В.М. Емельянов, А.С. Абрамов, А.В. Бобыль, В.Н. Вербицкий, А.С. Гудовских, Е.М. Ершенко, С.А. Кудряшов, Е.И. Теруков, О.И. Честа, М.З. Шварц. Анализ механизмов световой деградации в α -Si:H/ μ c-Si:H солнечных фотопреобразователях. ФТП. 2013, том 47, вып. 9.с. 1264-1269.

3. О.И. Честа, Г.М. Аблаев, А.А. Блатов, А.В. Бобыль, В.М. Емельянов, Д.Л. Орехов, Е.И. Теруков, Н.Х. Тимошина, М.З. Шварц. Методика исследования световой деградации тандемных α -Si:H/ μ c-Si:H фотопреобразователей при повышенной освещенности. ФТП. 2013, том 47, вып. 10. С. 1385-1390.

4. В.М.Емельянов, А.В.Бобыль, Е.И.Теруков, О.И.Честа, М.З.Шварц. Фотоиндуцированная деградация тандемных α -Si : H/ μ c-Si : H фотопреобразователей при повышенных температурах. Письма в ЖТФ, 2013, том 39, вып. 20.с. 40-48.

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОГРАММАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПО СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭНЕРГЕТИКЕ

Афанасьев В.П.¹, Охоткин Г.П.², Тимофеев А.В.¹.

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург
VPAfanasyev@mail.ru

²Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары

Солнечная фотоэнергетика является наиболее быстроразвивающимся направлением альтернативной энергетики с темпами роста, достигающими 25% в год. В связи с запуском ООО «Хевел» в г. Новочебоксарске (Чувашская Республика) крупнейшего в Европе завода по производству тонкопленочных солнечных элементов возникла необходимость переподготовки и повышения квалификации кадров в данной области.

В 2010 году Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» выиграл конкурс на выполнение работ и оказание услуг по разработке и апробации программы опережающей профессиональной переподготовки

и учебно-методического комплекса, ориентированных на инвестиционные проекты ГК «РоснаноТех» по производству солнечных модулей. Основной целью разработанной программы являлась переподготовка специалистов для обеспечения нужд ООО «Хевел» с производством в г. Новочебоксарске и ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф.Иоффе» в г. Санкт-Петербурге.

В 2011 году по программе профессиональной переподготовки по направлению «Физико-технологические, исследовательские и управленческие аспекты производства солнечных модулей на базе технологии «тонких пленок» Oerlikon» (380 часов) прошли обучение 25 слушателей, которые подготовили и успешно защитили выпускные квалификационные работы.

Анализ кадровых потребностей ООО «Хевел» в г. Новочебоксарске, показал, что сохраняется необходимость дальнейшей не только переподготовки, но и подготовки кадров для предприятия с привлечением жителей региона. Для решения этой задачи в СПбГЭТУ была открыта магистерская программа «Солнечная гетероструктурная фотоэнергетика» (код: 210144.68) в рамках направления Электроника и нанoeлектроника. Учебный план программы в существенной мере базировался на тех дисциплинах, которые были подготовлены в ходе выполнения проекта с Роснано. В 2011 – 2013 годах были сформированы магистерские группы, включавшие выпускников бакалавриата Чувашского государственного университета имени И.Н.Ульянова (ЧувГУ).

В целях развития и укрепления долгосрочного взаимовыгодного сотрудничества между ЧувГУ и СПбГЭТУ заключен договор о сотрудничестве, в рамках которого реализована программа повышения квалификации преподавателей ЧувГУ по направлению «Тонкопленочная солнечная фотоэнергетика», на которой обучалось 12 человек. Были разработаны учебно-тематический план и график занятий преподавателей по программе повышения квалификации «Тонкопленочная солнечная фотоэнергетика». Реализация этой программы переподготовки в СПбГЭТУ носила межкафедральный характер с привлечением ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф.Иоффе», в котором проводятся практические занятия.

СПбГЭТУ оказывал методическую помощь в подготовке учебного плана и рабочих программ дисциплин для открытого в ЧувГУ нового профиля бакалаврской подготовки по направлению «Электроника и нанoeлектроника», ориентированного на обучение в области фотоэлектрических преобразователей и систем на их основе. Выпускники бакалавриата ЧувГУ в дальнейшем смогут продолжить образование по магистерской программе в СПбГЭТУ.

Учитывая удаленность заказчика, в СПбГЭТУ и ЧГУ внедряются дистанционные образовательные технологии. Применение электронного обучения обеспечивает повышение квалификации непосредственно на рабочем месте без отрыва от производства. Были разработаны программы «Тонкопленочная солнечная гетероструктурная фотовольтаика» (в рамках президентской программы повышения квалификации инженерных кадров) и «Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния» (в рамках пилотного проекта РОСНАНО) [1], которые предполагают следующие виды активностей слушателей:

- интерактивные дистанционные занятия;
- контрольные мероприятия;
- выполнение индивидуальных практических заданий;
- интерактивные виртуальные лабораторные работы с удаленным доступом к оборудованию;
- работа с электронными образовательными ресурсами;
- консультации.

Интерактивные дистанционные занятия могут проводиться с помощью средств видеоконференцсвязи, вебинаров или систем класса «coursecasting», поддерживающих онлайн-режим работы. Рекомендуется выполнить запись занятия и сделать ее доступной для повторного просмотра.

Если система видеоконференций или платформа вебинаров не предоставляют возможности записи занятия, то для этих целей можно использовать специализированное программное обеспечение для записи скринкастов, например Camtasia Studio.

Контрольные мероприятия в форме компьютерных тестов обеспечивают предварительное (определение исходного уровня подготовки слушателей), промежуточное (текущий контроль) и итоговое тестирование [2].

Компьютерные тесты могут быть реализованы как с помощью традиционных систем класса LMS (Learning Management System), так и с помощью специализированных систем, например, QuestionMark Perception или Respondus.

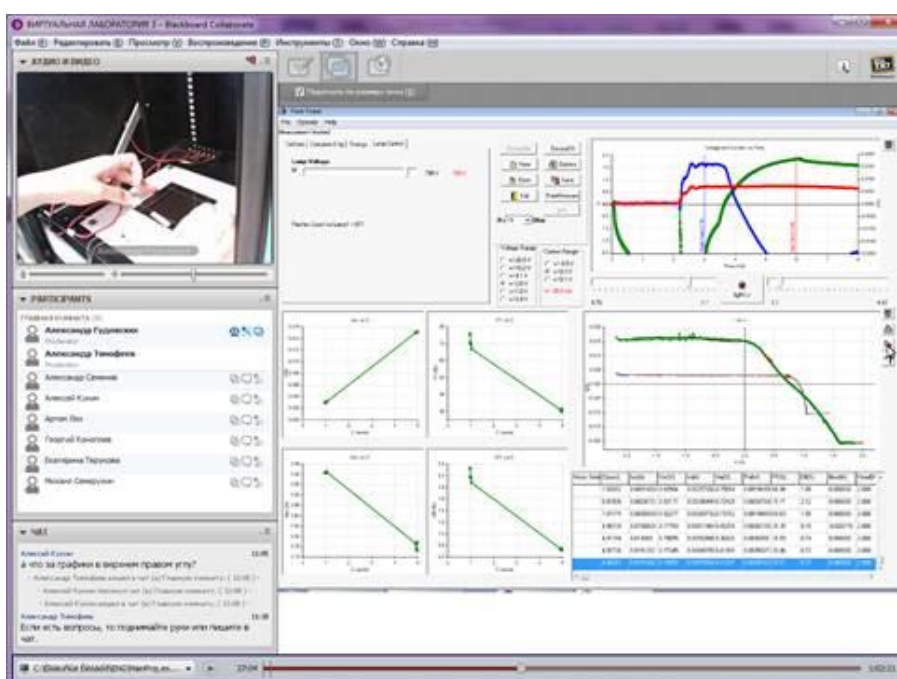


Рис. 1. Пример записи интерактивной виртуальной лабораторной работы на платформе Blackboard Collaborate

Интерактивные виртуальные лабораторные работы предполагают взаимодействие слушателя с реальным оборудованием в удаленном режиме, которое может быть реализовано посредством специализированного веб-интерфейса, либо в среде вебинара с использованием инструмента удаленного управления рабочим столом. В качестве примера на рис. 1 представлен интерфейс вебинара по лабораторной работе, посвященной исследованию вольт-амперных характеристик солнечных элементов.

Работа с электронными образовательными ресурсами предполагает самостоятельную работу слушателя с электронными учебно-методическими материалами в формате SCORM, которые не могут быть представлены в печатном виде без потери дидактических свойств.

Основные материалы электронного курса предлагается представлять слушателю в форматах слайд-лекций, электронных учебных пособий, электронных методических указаний.

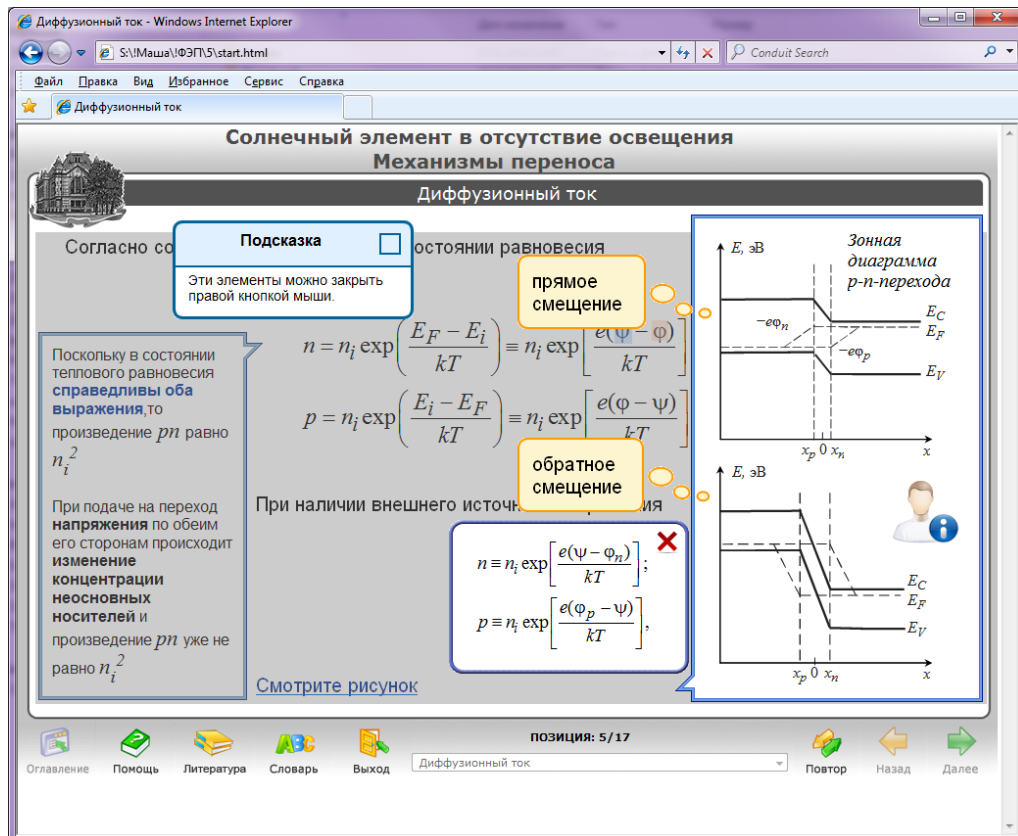


Рис. 2. Мультимедийное электронное пособие повышенной интерактивности, разработанного с помощью пакета Websoft CourseLab

Слайд-лекции – это презентации с закадровым голосом лектора. По каждой теме слайд-лекции слушателю может быть предложено ответить на 3-5 вопросов для самопроверки, дальнейшая траектория изучения слайд-лекции может быть поставлена в зависимости от правильности ответов. Рекомендуемые пакеты для разработки слайд-лекций – Articulate Studio, Camtasia Studio, Adobe Captivate.

Электронные учебные пособия представляют собой электронные учебно-методические материалы разной степени интерактивности и разного уровня сложности (рис. 2), предназначенные для обеспечения теоретической подготовки слушателей и формирования у них ориентиров для самостоятельной работы с дополнительными источниками информации [3].

Таким образом, современные средства подготовки образовательного контента для систем электронного обучения в полной мере обеспечивают реализацию всех видов активности обучающихся, что дает возможность организовать качественное, эффективное и доступное техническое образование, в том числе в области переподготовки и повышения квалификации кадров.

Литература:

1. Афанасьев В.П., Коноплев Г.А., Теруков Е. И., Тимофеев А. В. Разработка и апробация модуля ДПО «Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния» в рамках модели смешанного обучения (e-learning)//Известия МАН ВШ, №2 (60), 2012, С. 90-97.
2. Designing Web-Based Training: How to Teach Anyone Anything Anywhere Anytime By William Horton, 2000, New York: Wiley.
3. Осин А. В. Открытые модульные мультимедиа системы. – М.: Агентство «Издательский сервис», 2010.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА КРЕМНИИ

^{1,2}Теруков Е.И.

¹НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Бурное развитие солнечной энергетики ставит вопрос, на основе какого материала будет реализован спрос на эффективные фотоэлектрические модули? Современные солнечные модули можно изготавливать на основе следующих полупроводниковых материалов: GaAs, c-Si, a-Si, CIS и CdTe. Солнечные элементы на красителях и органике мы не рассматриваем как кандидатов для применения в большой энергетике в связи с низким КПД и нерешенностью проблем с их долговременной стабильностью.

На сегодняшний день основной объем рынка солнечной энергетики обеспечивается солнечными элементами на кристаллическом (41 %) и поликристаллическом кремнии (45 %). Остальные 14 % рынка занимают тонкопленочные солнечные модули на основе пленок a-Si, CIS и CdTe.

Исходя из перспектив развития рынка, учитывая такие факторы как наличие исходных компонент в земной коре, а также вопросы, связанные с экологией (как на этапе формирования, так и утилизации солнечных модулей) мы придерживаемся точки зрения о бесперспективности решения задач большой наземной энергетики, ориентируясь на такие материалы, как CdTe, CIS и GaAs. На наш взгляд, кремний был и остается основным материалом на рынке солнечной энергетики и имеет перспективы, как в плане увеличения эффективности, так и снижения стоимости вырабатываемой энергии.

Развитие солнечной энергетики на кремнии основывается на совершенствовании «классических» кристаллических кремниевых элементов, эффективность которых достигает 25 %, разработке гетероструктурных солнечных элементов n-c-Si/p-a-Si:H (HIT-heterojunction with intrinsic thin layers) с КПД 24,7 % и совершенствовании тонкопленочных, многокаскадных солнечных модулей на основе аморфного кремния. В перспективе возможно решение вопросов перенесения (нанесения) тонких пленок кристаллического кремния на стекло или другие подложки методами spin-off или плазмохимического осаждения, что позволит снизить стоимость за счет уменьшения толщины солнечного модуля и увеличить эффективность за счет возможности формирования многопереходных модулей на базе кристаллического кремния.

Дальнейшее улучшение основных параметров солнечных модулей на основе аморфного кремния связано с решением целого ряда как научных, так и инженерных проблем. В научном плане это касается решения вопросов организации оптического поглощения света в активных слоях модуля, улучшения качества активных слоев в гетерокаскадах и самих гетеропереходов, улучшения дизайна модулей, позволяющего уменьшить площадь мертвых зон на поверхности модуля.

Анализируя возможности совершенствования тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния можно сказать, что в этой области возможно увеличение КПД модулей до 14–15 %, разработка новых многопереходных структур на основе более дешевых, высокоэффективных материалов, использование альтернативных конструкций модуля (новые подложки и новые технологии корпусирования), адаптации новых удачных технологических решений к условиям промышленного производства.

БАЗА ЗНАНИЙ: ЭКСПЕРИМЕНТ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ, ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Абруков В.С., Абруков С.В., Смирнов А.В., Карлович Е.В.
Чебоксары, Чувашский государственный университет
abrukov@yandex.ru

*Лучшее, что сделано в этом мире,
сделано с помощью нейронных сетей!*

Введение

Для экспериментальных работ есть несколько важных, на наш взгляд, вопросов, связанных с обработкой, анализом и моделированием экспериментальных данных независимо от того в какой области науки и техники они получены.

Эти следующие вопросы:

- как лучше обобщить экспериментальные данные?
- можно ли их обобщить так, чтобы можно было решать, как прямые, так и обратные задачи?
- можно ли их обобщить так, чтобы иметь возможность прогнозировать результаты еще не проведенных экспериментов и определять технологии получения объекта с заранее заданными свойствами?

Есть также другие вопросы:

- как повысить ценность конкретного эксперимента
- как увеличить точность определения первых и вторых производных от экспериментальных зависимостей
- как лучше представить экспериментальные результаты (в том числе, результаты численных экспериментов) научной общественности

Мы считаем, что все эти вопросы можно решить с помощью создания Базы Знаний.

Под Базой Знаний в области естественных и технических наук мы понимаем информационное средство, которое:

- содержит в себе все связи между всеми переменными объекта,
- позволяет вычислять значения одних переменных через другие,
- позволяет определять первые и вторые производные экспериментальных зависимостей
- позволяет решать, как прямые, так и обратные задачи,
- позволяет прогнозировать характеристики и свойства еще не исследованных объектов
- позволяет прогнозировать параметры технологического процесса для получения объекта с требуемыми характеристиками

Мы не думаем, что кто-то из тех, кто занимается фундаментальными или прикладными экспериментальными исследованиями откажется от этого средства!

Другое дело – возможно ли это?

В данной работе представлены результаты применения методов интеллектуального анализа данных - Data Mining (DM), и в частности, искусственных нейронных сетей (ИНС), для создания базы знаний в области наноматериалов.

Методология

Data Mining в широком понимании этого термина представляет собой комплекс современных средств обработки информации (экспериментальных данных), ее анализа и моделирования. DM включает в себя различные инструменты преобработки

данных - очистки (выявление аномалий в данных, выявление дубликатов и противоречий); инструменты предварительного анализа данных (факторный и корреляционный анализ, спектральный анализ), инструменты моделирования (линейная и логическая регрессии, деревья решений, искусственные нейронные сети, самоорганизующиеся карты Кохонена, ассоциативные правила).

В целом – это комплекс методов «обнаружения нетривиальных, практически полезных знаний» в таблицах, базах данных (не путать с базой знаний!), которые широко используются при решении финансовых и экономических задач за рубежом. Интересно отметить, что по данным литературных источников, 50 из 100 крупнейших банков США уже используют аналитические системы, основанные на этих методах, 50 – планируют внедрить их. Они используются также и в России, например, в отделах Business Intelligence некоторых крупных фирм, или в медицине - при диагностике заболеваний, но в значительно меньшем объеме.

Среди средств Data Mining можно особо отметить искусственные нейронные сети (ИНС). ИНС – это уникальный инструмент аппроксимации экспериментальных функций нескольких переменных, и они играют главную роль в создании многофакторных вычислительных моделей экспериментальных данных. В основе их применения лежит теорема известных советских математиков Колмогорова и Арнольда, адаптированная применительно к ИНС теоремой Хехт-Нильсена. ИНС позволяют использовать разнородные (как качественные, так и количественные) данные, «непредставительные» (неполные) выборки, анализировать сильно нелинейные связи. ИНС являются в настоящее время единственным средством аппроксимации многомерных экспериментальных функций с числом переменных более двух.

ИНС имеют преимущества по сравнению с классическими математическими методами вычислений в трех случаях:

1. Когда задача не может быть адекватно формализована, так как она содержит неопределенности (например, нет возможности формализовать задачу даже в виде дифференциального уравнения).

2. Когда задача может быть формализована, но не существует математического аппарата для ее решения (примеры – уравнение Шредингера, уравнение распространения волны горения).

3. Когда задача может быть формализована и есть математический аппарат для ее решения, но осуществление расчетов с помощью доступных вычислительных систем не отвечает требованиям к решению задачи по каким-либо параметрам (например, времени вычислений, что важно для автоматических систем управления).

Модели характеристик наноматериалов

Наши ИНС-модели основаны на экспериментах по исследованию электрофизических и оптических характеристик нанопленок линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) с внедренными в них атомами металлов и неметаллов (ЛЦУА). Впервые ЛЦУА были получены в Чувашском государственном университете, в межвузовской (ЧГУ-МГУ) лаборатории высоких технологий (научный руководитель проф. Кочаков В.Д), с использованием запатентованной технологии и различных ноу-хау. ЛЦУА могут представлять большой интерес для элементов твердотельной электроники, элементов солнечных батарей, фотодатчиков, сенсоров, медицинских приложений и т.д.

Рассмотрим, как мы проводили моделирование.

Экспериментальные данные были представлены в том виде, в котором они были получены в процессе измерений (данные представлены Кокшиной А.В. и Красновой А.Г.).

Пример данных представлен в таблице 1 (скриншот аналитической платформы Loginom Studio, содержащей все средства Data Mining и еще многое другое – см. www.basegroup.ru).

Таблица 1. Пример данных, использованных для создания модели «Вольтамперная характеристика ЛЦУА»
(видно только начало таблицы, всего в таблице около 700 строк).

Number of an element1	Number of Group of element 1	Number of an element 2	Number of Group of element 2	LCC Film thickness	Voltage V	Current A	Contradiction	Duplicate
48	2	52	6	2000	1.3	0.00774	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	1.47	0.00934	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	1.63	0.0127	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	1.79	0.013	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	1.95	0.0129	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	2.11	0.0137	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	2.27	0.0123	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	2.43	0.0124	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	2.6	0.0127	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	2.76	0.0139	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	2	52	6	2000	2.92	0.0144	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-3	-0.000634	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.88	-0.0006	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.76	-0.000566	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.64	-0.000535	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.51	-0.000502	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.39	-0.000469	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.27	-0.000438	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.15	-0.000405	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-2.03	-0.000372	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-1.91	-0.000342	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	4	48	2	1000	-1.79	-0.000308	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Затем была выбрана соответствующая собранной базе данных архитектура ИНС и проведено ее обучение.

Обучение заключалось в том, что различные наборы данных всех столбцов, кроме «Current» (электрический ток) подавались на входной слой ИНС (входные данные), а соответствующие значения «Current» устанавливались в выходном слое ИНС (выходные данные) и с помощью известного метода обучения ИНС – метода «обратного распространения ошибки» создавалась вычислительная ИНС-модель, позволяющая определять (прогнозировать) значение «Current» и строить графики зависимости «Current» от любой из входных характеристик (все это делается в Loginom Studio в полуавтоматическом режиме).

На рис. 1 представлена архитектура ИНС-модели.

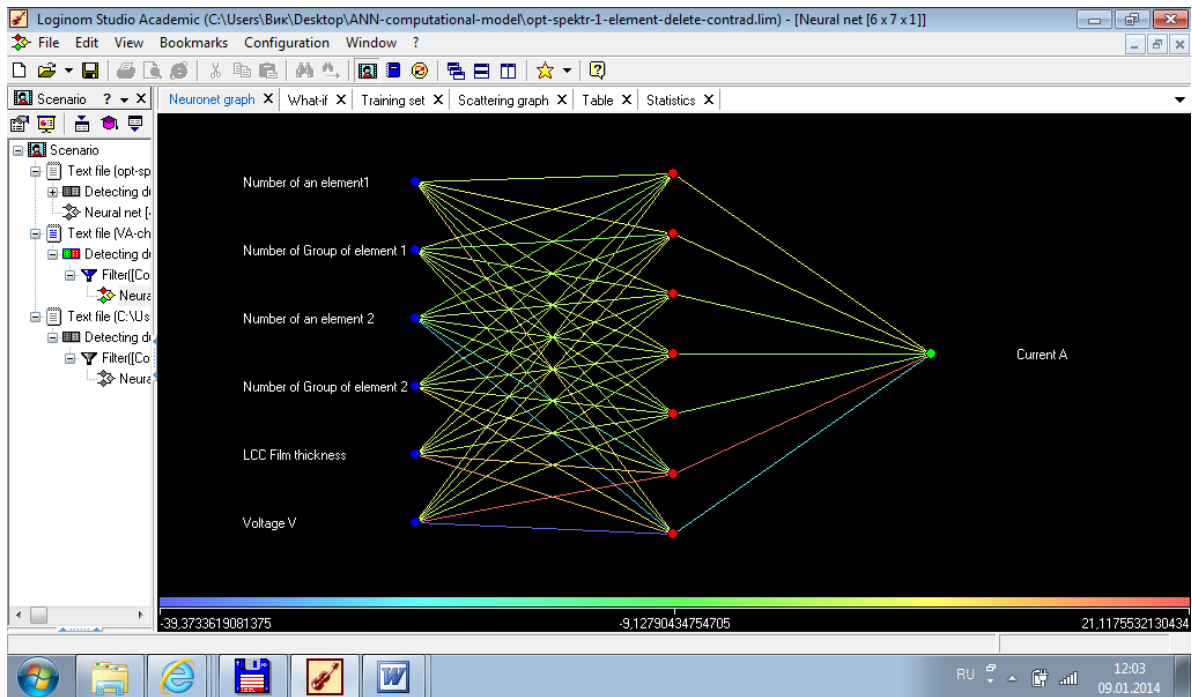


Рис. 1. Архитектура искусственной нейронной сети – многофакторной вычислительной модели вольтамперных характеристик ЛЦУА. На черном фоне слева – факторы, определяющие значение электрического тока.

Полученная модель используется следующим образом: вы просто вводите свои данные, и ИНС–модель мгновенно выдает прогноз значения электрического тока и график зависимости тока от указанного вами фактора. Примеры представлены на следующих рисунках.

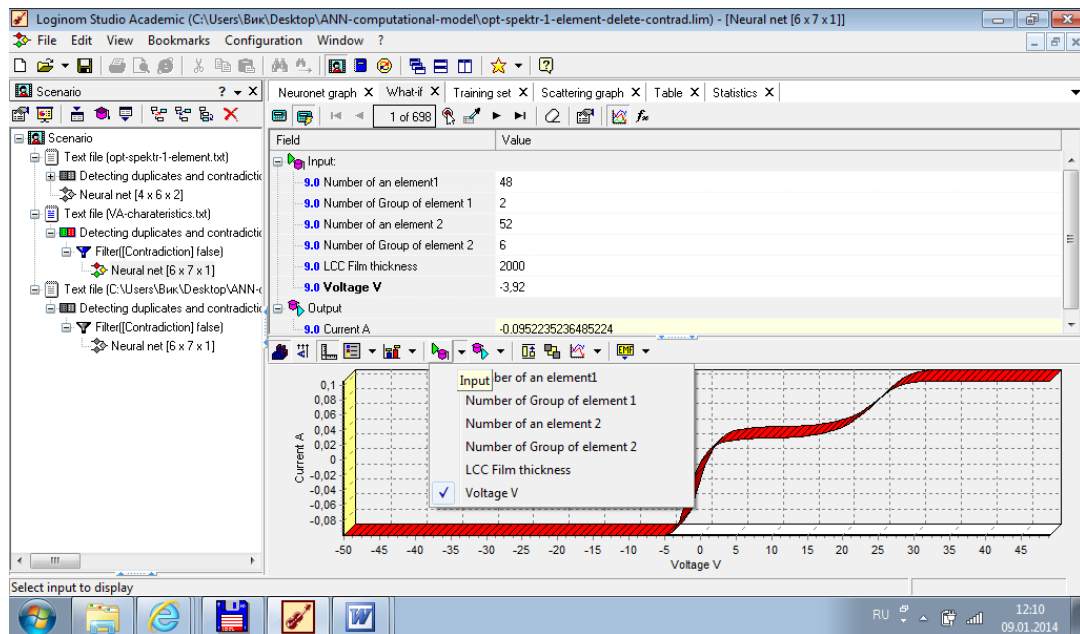


Рис. 2. Экран многофакторной вычислительной модели «Вольтамперная характеристика ЛЦУА» для случая внедрения атомов кадмия (48) и теллура (52). Над графиком – набор конкретных значений факторов и вычисленное значение тока.

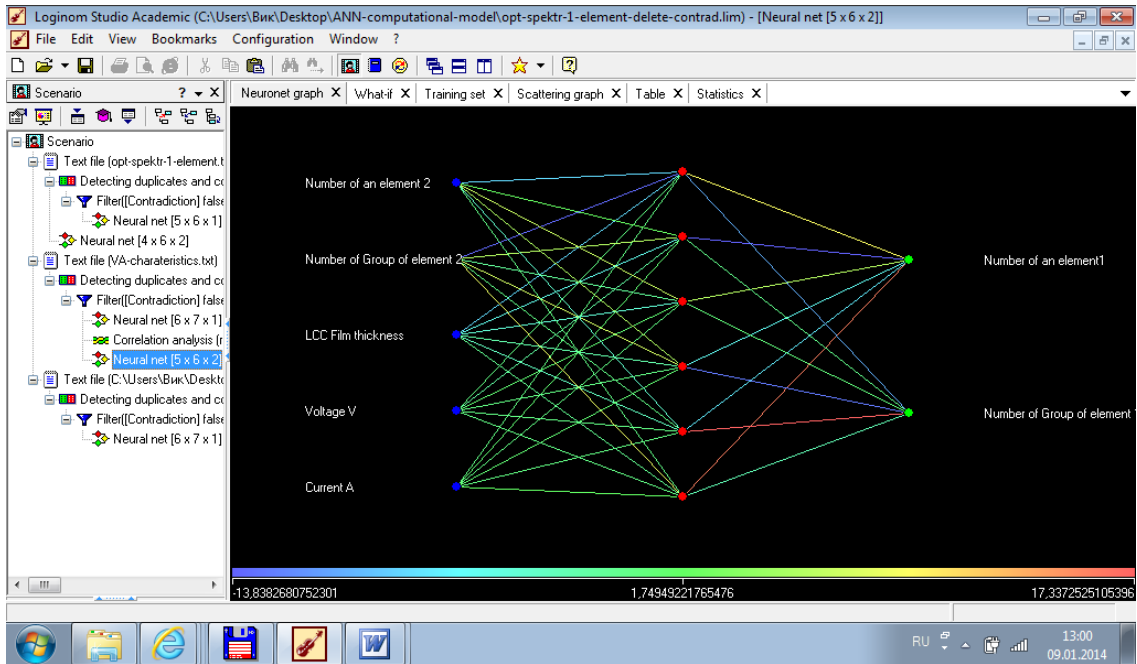


Рис. 3. Архитектура искусственной нейронной сети – многофакторной вычислительной модели вольтамперных характеристик ЛЦУА, решающей обратную задачу – определение того, какой дополнительно элемент надо внедрить в ЛЦУА, чтобы получить требуемую вольтамперную характеристику. При обучении ИНС – построении многофакторной вычислительной модели используется те же данные (Табл. 1), но меняется назначение данных: значение тока становится входным фактором, а номер и группа элемента 1 – выходными целевыми функциями.

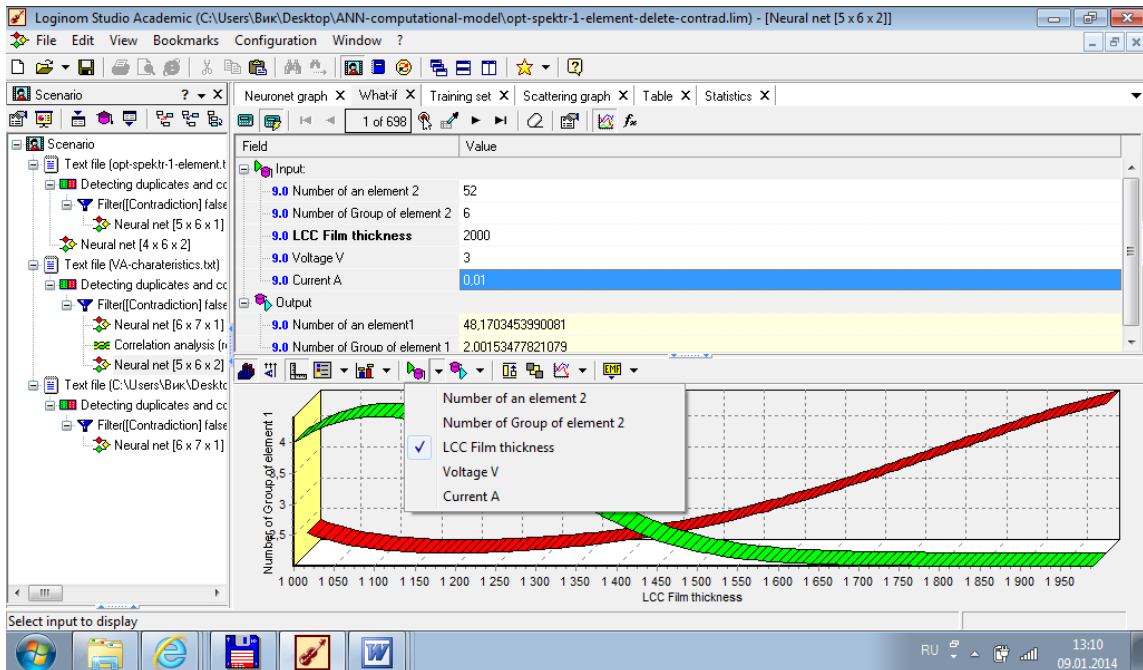


Рис. 4. Экран модели решения обратной задачи – определение того, какой дополнительно элемент надо внедрить в ЛЦУА, чтобы получить требуемую вольтамперную характеристику (требуемое значение тока при заданном напряжении). Показан график зависимости номера и группы дополнительно внедряемого элемента от толщины пленки ЛЦУ. Зеленая линия - номер группы.

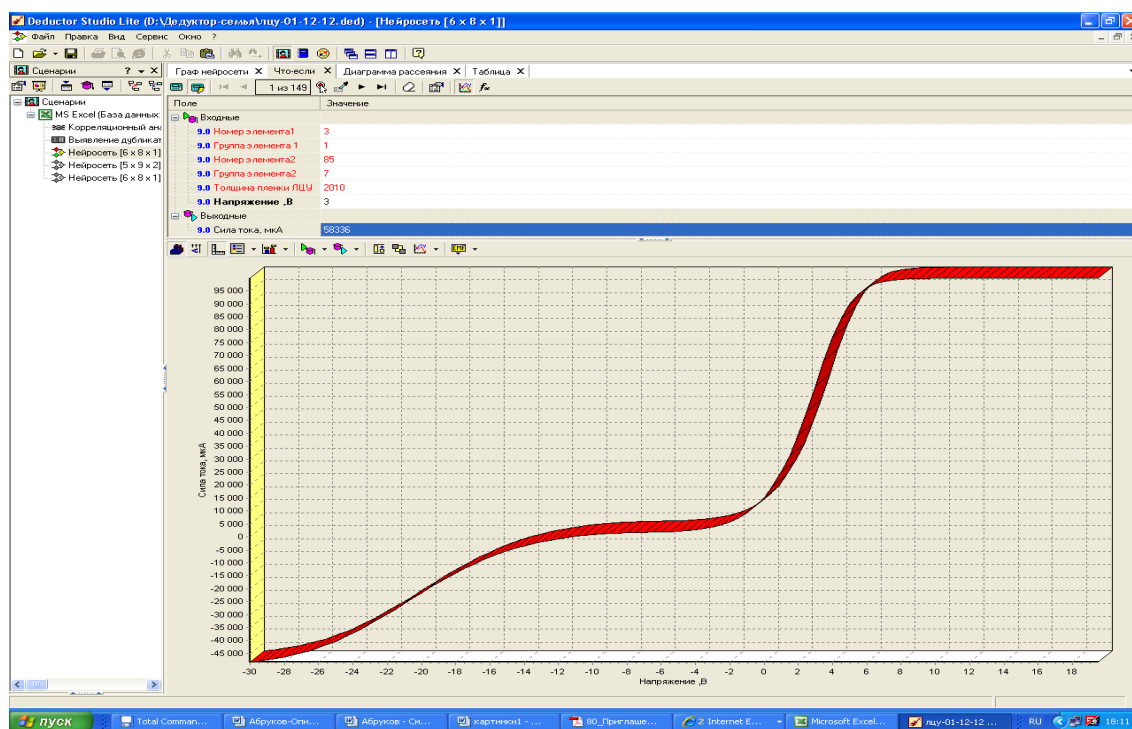


Рис. 5. Экран многофакторной вычислительной модели «Вольтамперная характеристика ЛЦУА» для случая внедрения атомов лития (3) и астата (85). На графиком – набор конкретных данных. Все они выделены красным – в таблице, использованной для обучения ИНС все эти значения отсутствовали. Этот результат – это прогноз не проведенного эксперимента!

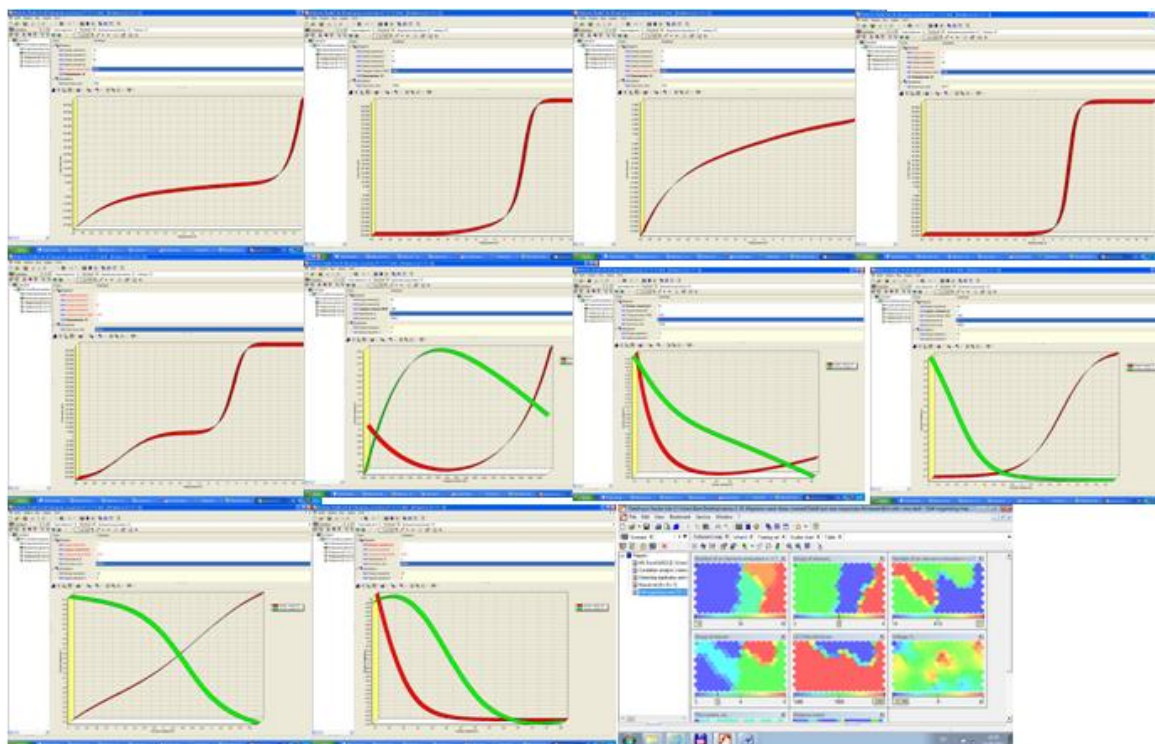


Рис. 6. Экраны вольтамперных характеристик (приведена только малая часть информации).

Заключение

Аналогичные результаты получены нами для спектров пропускания ЛЦУА и для «фотодатчиков» на основе ЛЦУ (создавались различные сэндвичи из ЛЦУ и серебра, кадмия, меди и никеля в различных сочетаниях).

Совокупность всех этих моделей можно представить, как Базу Знаний характеристик наноматериалов на основе ЛЦУ, которая:

- содержит в себе связи между переменными объекта,
 - позволяет вычислять значения одних переменных через другие,
 - позволяет решать, как прямые, так и обратные задачи,
 - позволяет прогнозировать характеристики и свойства еще не исследованных объектов
- позволяет прогнозировать параметры технологического процесса для получения объекта с требуемыми характеристиками

Эти модели пока не позволяют определять первые и вторые производные экспериментальных зависимостей, эта задача будет решаться в ближайшем будущем.

Мы приглашаем к сотрудничеству всех, кто заинтересован в создании своей «локальной» базы знаний своих экспериментальных результатов, а также решением задачи определения производных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-02-97071).

НАПРАВЛЕНИЕ

«Фотоэлектрические преобразователи на тонкопленочной основе» (в том числе на основе органических полупроводников и наноструктурированного углерода)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТОК ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ НА ГИБКИХ ПОДЛОЖКАХ

Афанасьев В.П.¹, Афанасьев П.В.¹, Теруков Е.И.^{2,3}

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург,

²Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург,

³ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе», Санкт-Петербург

VPAfanasyev@mail.ru

Рассмотрены состояние и перспективы разработок тонкопленочных солнечных модулей (ТСМ) на гибких подложках. Приведен обзор полупроводниковых материалов и структур, используемых при формировании ТСМ, включая органические полупроводники. Особое внимание уделено возможности использования полимерных материалов в качестве подложек ТСМ. Приведены результаты исследования ТСМ на гибких подложках, полученные в России.

На основании сравнительного анализа эффективности преобразования солнечных элементов на основе CIGSS ($\text{Cu}(\text{InGa})(\text{SeS})_2$), CdTe, a-Si:H и органических полупроводников показана перспективность использования пленок аморфного водородизированного протокристаллического кремния (pc-Si:H) для формирования ТСМ. Формулируются критерии выбора материалов для гибких подложек. Проведенные исследования ряда полимерных материалов, полученных от отечественных и зарубежных производителей (оптических характеристик, морфологии поверхности и др.), показали, что для дальнейшего использования целесообразно использовать в качестве гибких подложек следующие: Ф-400, TefzelLZ, TefzelCLZ, Теопех, ПМ-БУ, KaptonDuPont. Наряду с низкой стоимостью гибких полимерных подложек, возможность применения при производстве солнечных модулей технологии на основе метода «от ролика к ролику» (rolltorollmethod) позволит еще больше снизить стоимость производства ТСМ. Малый вес солнечных модулей на гибких подложках делают их привлекательными для энергообеспечения различных объектов, имеющих сложную, не гладкую поверхность, в том числе, для закрепления на одежде, а также объектов, работающих в космическом пространстве.

Уникальная особенность полимерных и органических материалов по сравнению с неорганическими полупроводниками состоит в том, что они растворимы в органических растворителях и воде. Это позволяет изготавливать тонкопленочные СМ при помощи методов печатной технологии.

Гетеропереход таких ТСМ может быть сформирован только в слоях полимерной композиции из электронодонорного и электроакцепторного соединений. На сегодняшний день в зарубежных компаниях (Heliatek, MitsubishiChemical) созданы СМ на основе органических полупроводников со значением КПД равным 11 – 12 %, что ставит разработки органических СЭ в ряд перспективных направлений солнечной энергетики.

Новые полупроводниковые полимерные композиты, разработанные в Институте физической химии и электрохимии, могут быть нанесены из жидкого раствора «чернил» методом струйной печати на различную основу. В состав фотоактивной полимерной композиции добавлены низкомолекулярные органические соединения (фталоцианины или порфирины металлов), которые способствуют повышенному поглощению света в тонком слое. В свою очередь, введение наночастиц определенного размера и структуры в проводящий полимер повышает вероятность распада экситонов на свободные носители заряда под действием электромагнитного поля, генерируемых плазмонами наночастиц при поглощении света. Применение новых материалов позволяет повысить КПДТСМ на основе стандартной полимерной композиции в $\sim 1,5$ раза.

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе были изготовлены экспериментальные образцы солнечных модулей на гибкой полимерной подложке $10 \times 10 \text{ см}^2$, которые затем были объединены в батарею, состоящую из 24 модулей. Каждый из модулей содержал 72 солнечных элемента, объединенные в матрицу 9×8 . Структура элементов состояла из нижнего алюминиевого контактного слоя толщиной 150 нм, n-i-p структуры из a-Si:H (50 нм n-слой, 300 нм i-слой и 20 нм p-слой), и верхнего контактного слоя ZnO:Al толщиной около 90 нм. Все слои фотопреобразующего каскада осаждались методом PECVD с ВЧ-разрядом с применением масочной технологии.

Были измерены ВАХ для всех модулей при стандартном освещении AM1.5G от имитатора солнечного излучения и в натуральных условиях при освещенности 960 Вт/м^2 . Таким образом, в ФТИ им. А.Ф. Иоффе были изготовлены тонкопленочные солнечные батареи на гибкой полимерной подложке, эффективность которых составляла около 1,5 %.

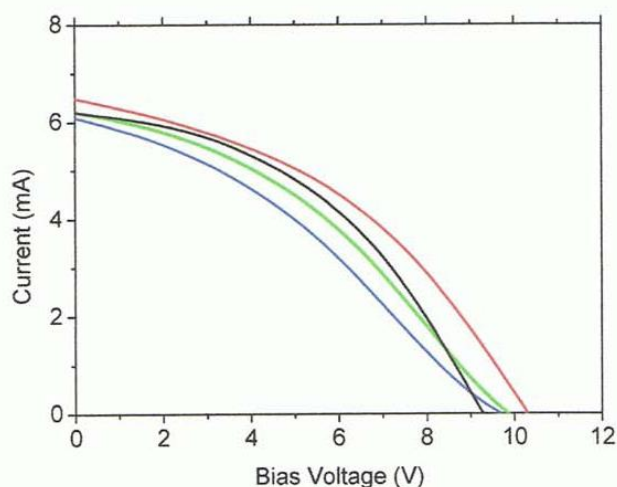


Рис.1. ВАХ одной секции модуля, состоящей из 18 последовательно соединенных солнечных элементов в условиях AM1.5

Анализ литературы, посвященный ТСМ на гибких подложках, показывает, что использование гибких подложек упрощает и удешевляет процесс формирования модуля за счет использования технологии рулонного покрытия. Для формирования солнечных элементов на основе пленок гидрогенизированного кремния на гибких полимерных подложках необходима разработка технологии получения модулей при относительно низких температурах ($< 150 \text{ }^\circ\text{C}$). В этом случае предпочтительным материалом при формировании активного слоя является протокристаллический кремний pc-Si:H , технологические условия получения которого существенно зависят от соотношения водорода и силана в газовой смеси и конструкции реактора. В настоящее время получены кремниевые солнечные элементы на нетекстурированной фольге из полиэтилентерефталата (PET) при $T_d = 110 \text{ }^\circ\text{C}$ с эффективностью

преобразования $\approx 5\%$. При этом гибкие солнечные модули площадью 40 см^2 , состоящие из 10 солнечных элементов, демонстрируют эффективность преобразования 3%. Проведенные исследования показывают, что существуют возможности повышения эффективности преобразования подобных модулей, связанные с соответствующим изменением как технологии формирования TSM, так и структуры самих модулей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ C-SI, α -SI, μ C- SI НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д.А. Богданов^{1,2}, А.В. Бобыль¹, В.Н. Вербицкий¹, Г.А. Иванов¹,
С.А. Кудряшов^{1,2}, Г.А. Горбатовский¹.

1 Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург
2 СПбАУ НОЦНТ РАН, Санкт-Петербург
тел.(965) 751-10-06, эл. почта: dmitrii.a.bogdanov@gmail.com

Существующие методы оценки эффективности работы фотоэлектрических преобразователей основаны на измерении характеристик работы модулей в стандартных тестовых условиях (STC): мощность излучения - 1000 Вт/м^2 , спектр излучения – АМ 1.5, температура панели – 25°C . Однако, менее 1% данных мониторинга соответствует стандартным тестовым условиям [1]. Таким образом, оценки эффективности преобразования, полученные в стандартных тестовых условиях, не позволяют с достаточной точностью оценивать энерговыработку фотоэлектрических модулей в реальных условиях: ошибка расчёта, основанного на этих данных, может достигать 40% [2]. Даже методы, учитывающие независимое изменение температуры и мощности излучения на поверхности модуля [3,4], позволяют с достаточной точностью оценивать характеристики работы лишь модулей на основе кристаллического кремния [5].

Изменение параметров атмосферы и длины пути солнечных лучей в атмосфере приводит не только к изменению мощности излучения, но и спектрального распределения света. При мониторинге спектральных характеристик, проведённых в префектуре Сига, Япония [6], свыше 95% измеренных спектральных распределений были смещены в синюю область, относительно стандартного спектра, средняя энергия фотона превышала 2 эВ, при средней энергии фотона стандартного спектра 1,87 эВ.

Спектральные характеристики полупроводниковых материалов на основе кремния: c-Si, α -Si, μ c-Si различны, квантовая эффективность аморфного кремния достигает максимума в синей области спектра, микрокристаллического - в красной области, в то время как спектр поглощения кристаллического кремния включает в себя весь видимый спектр и инфракрасную часть спектра. Таким образом, можно сделать вывод что изменение спектрального состава излучения не должно приводить к значительному изменению эффективности работы фотопреобразователей на основе кристаллического кремния, в то время как при смещении спектра в синюю область, эффективность преобразователей на основе аморфного кремния должна возрастать. Расчёты показали, что, в случае смещения спектра в синюю область, эффективность тандемного α -Si/ μ c-Si фотоэлектрического преобразователя так же возрастёт.

Основными причинами ослабления спектра в области ультрафиолета и синего света в атмосфере и снижения средней энергии фотона являются загрязнения

атмосферы, атмосферный озон. Пары воды приводят к ослаблению спектра в зоне красного излучения [7]. На рис. 1 представлены графики зависимости коэффициента пропускания атмосферы для озона, аэрозоля загрязнений и водяного пара для Санкт-Петербурга.

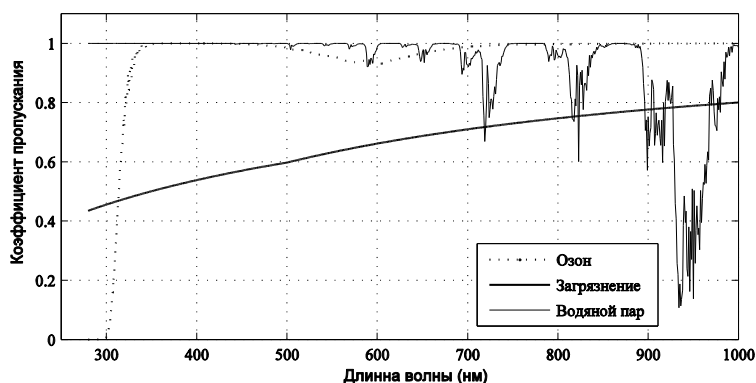


Рис. 1. Коэффициенты пропускания атмосферного озона и аэрозоля загрязнений и водяного пара для Санкт-Петербурга

Так же было установлено, что влияние облачности на спектр солнечного излучения является неравномерным: мощность излучения для излучения с длиной волны более 500 нм снижается, в то время как мощность в области синего света и ультрафиолета возрастает [8].

На основании этих данных, можно сделать вывод, что эффективность работы фотоэлектрических преобразователей на основе аморфного кремния будет возрастать в условиях повышенной влажности, облачности, увеличении АМ, а так же при условии уменьшения содержания озона и аэрозолей загрязнений в атмосфере. Для исследования эффективности работы фотопреобразователей были использованы данные мониторинга работы c-Si и tandemного a-Si/mc-Si модулей, установленных в ФТИ им Иоффе и данные мониторинга мощности прямого и диффузного солнечного излучения.

Для рассмотрения характеристик работы модулей в условиях малого угла высоты солнца и облачности были выбраны следующие дни: 8, 11, 13 октября и 6 ноября 2013 года, характеризующиеся повышенной облачностью. Для расчёта эффективности работы модулей были рассчитаны значения углов положения солнца для каждого момента измерений и на основе этих углов и данных измерения прямого и диффузного излучения, рассчитаны значения полной мощности излучения на поверхности фотоэлектрических модулей. Для исключения влияния температуры на точность расчёта, измеренные значения мощности, генерируемой модулями, были приведены к значениям при стандартных тестовых условиях (STC), для этого на основе температуры воздуха и мощности излучения на поверхности фотоэлектрического модуля были рассчитаны значения температуры модулей для каждого момента измерения.

В условиях повышенной облачности эффективность фотопреобразователей снижается, что объясняется ВАХ фотоэлектрических преобразователей, однако, как и было рассчитано, снижение эффективности работы тонкоплёночных модулей при повышенной облачности меньше чем снижение эффективности кристаллического модуля. При мощности излучения до 150 Вт/м^2 снижение эффективности кристаллического значительно превышает снижение для тонкоплёночного, для 8 октября 2013 соответственно 24,96 % и 12,59 %, при мощности излучения до 50 Вт/м^2 34,35 % и 17,3 % соответственно. При мощности солнечного излучения до 150 Вт/м^2 выработка на Ватт установленной мощности тонкоплёночного кремниевого модуля выше, чем у кристаллического. График изменения эффективности преобразования

солнечного излучения для кристаллического модуля и тандемного модуля α -Si/ μ c-Si, размещённых на крыше ФТИ для 8 октября 2013 года представлен на рис. 2.

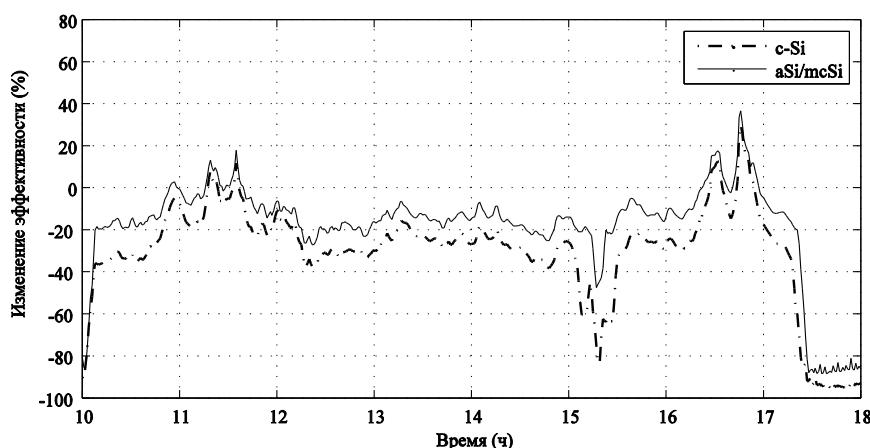


Рис. 2. Изменение эффективности преобразования солнечного излучения для кристаллического модуля и тандемного модуля α -Si/ μ c-Si для 8 октября 2013 года.

Таким образом, выработка на Ватт установленной мощности в условиях повышенной толщины атмосферы (АМ), облачности, влажности будет выше у фотоэлектрических преобразователей на основе аморфного кремния и тандемных α -Si/ μ c-Si, чем у фотоэлектрических преобразователей на основе кристаллического кремния. Благодаря эффективной работе в условиях повышенной облачности, а так же из-за малого температурного коэффициента, использование тонкоплёночных модулей на основе аморфного и микрокристаллического кремния может быть наиболее целесообразно в приморских областях, где преобладает облачная погода и зимние температуры близки к нулю.

Литература:

- [1] T. Minemoto, S. Nagae, H. Takakura, (2007). *Impact of spectral irradiance distribution and temperature on the outdoor performance of amorphous Si photovoltaic modules*. Solar Energy Materials & Solar Cells. Vol. 91, pp. 919–923
- [2] W. Durisch, J. Urban, (1996). Characterisation of solar cells and modules under actual operating conditions. Renewable Energy Vol. 8 issue 1-4, pp 359-366
- [3] Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules—design qualification and type approval, CEI/IEC 61215.
- [4] Photovoltaic devices—Parts 1–10, CEI/IEC 60904, IEC Geneva, Switzerland.
- [5] R. Kenny, A. Ioannides, H. Müllejans, (2006). *Performance of thin film PV modules*. Thin Solid Films Vol. 511-512, pp. 663-672
- [6] T. Minemoto, M. Todaa, S. Nagaea, M. Gotoh, (2007). *Effect of spectral irradiance distribution on the outdoor performance of amorphous Si/thin-film crystalline Si stacked photovoltaic modules*. Solar Energy Materials & Solar Cells Vol. 91 pp. 120–122
- [7] http://rredc.nrel.gov/solar/models/SMARTS/relatedrefs/SMARTS2_report.pdf
- [8] J.S. Bartlett, A.M. Ciotti, R.F. Davis and J.J. Cullen, (1998). *The spectral effects of clouds on solar irradiance*. Journal of geophysical research, Vol. 103, No. 12, pp 31,017-31,031.6

МЕТОДЫ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Гавриленко А.Н., Погорельцев А.И., Матухин В.Л., Корзун Б.В.
Казань, ФГБОУ ВПО "Казанский государственный энергетический университет"
ang_2000@mail.ru

Неограниченность запасов солнечной энергии и отсутствие вредных выбросов в окружающую среду делают фотовольтаику одним из самых перспективных возобновляемых источников энергии. Однако, несмотря на значительные темпы роста и большие перспективы, объем вырабатываемой в настоящее время фотовольтаикой энергии мал по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии. Основной причиной, препятствующей широкому внедрению солнечных элементов (СЭ), является высокая стоимость вырабатываемой ими электроэнергии. Для того, чтобы солнечная энергетика могла конкурировать с ископаемыми источниками энергии, цена на вырабатываемую ею электроэнергию должна быть снижена примерно в 5-10 раз.

Решить задачу удешевления «солнечной» электроэнергии, с одной стороны, можно путём перехода на более дешевые тонкопленочные технологии изготовления солнечных элементов и улучшением основных параметров солнечного модуля, а с другой стороны, необходимо проведение фундаментальных исследований, направленных на поиск перспективных направлений развития фотовольтаических солнечных элементов нового поколения и исследование перспективных материалов для элементов солнечных батарей.

Весьма перспективными для создания тонкопленочных СЭ, в частности, являются многокомпонентные полупроводниковые материалы, которые позволяют путем вариации их химического состава и структуры управляемым образом получать материалы с широким спектром таких физических характеристик, как ширина запрещенной зоны, тип проводимости, удельная электропроводность и т.д.

Одним из таких перспективных классов многокомпонентных полупроводников является тройная система Cu-Fe-S, содержащая в своем составе магнитный атом (Fe). В данной системе кристаллизуется ряд медно-железных сульфидов: моихукит $\text{Cu}_9\text{Fe}_9\text{S}_{16}$, талнахит $\text{Cu}_9\text{Fe}_8\text{S}_{16}$, хейкоцит $\text{Cu}_4\text{Fe}_5\text{S}_8$, кубанит CuFe_2S_3 , борнит Cu_5FeS_4 , халькопирит CuFeS_2 .

В настоящей работе приводятся результаты исследований особенностей электронной структуры кубанита (CuFe_2S_3) и халькопирита (CuFeS_2), с использованием данных, полученных из спектральных измерений методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в локальном поле.

Проведенные исследования резонансных спектров в данных соединениях [1,2] на ядрах меди $^{63,65}\text{Cu}$ выявили их сложную структуру, связанную с наличием внутреннего магнитного поля, обусловленного наличием в их составе магнитного атома железа Fe. может быть представлен в виде:

$$\hat{H} = \hat{H}_m + \hat{H}_q, \quad (1)$$

где \hat{H}_m – гамильтониан магнитного взаимодействия, \hat{H}_q – гамильтониан квадрупольного взаимодействия. Если $\hat{H}_m \gg \hat{H}_q$, то в первом приближении теории возмущения спектр ЯМР представляет собой триплет с центральной линией, частота которой определяется ларморовской прецессией в магнитном поле, и двумя (для спина $J=3/2$) равноотстоящими сателлитами, что и наблюдается в экспериментальных спектрах. В качестве примера на рисунке 1 приведен спектр ЯМР $^{63,65}\text{Cu}$ в CuFe_2S_3

при 77 К. Учитывая, что для изотопов ^{63}Cu и ^{65}Cu отношение величин квадрупольных моментов составляет 1.07, а их магнитных моментов 0.90, а также то, что естественная распространенность изотопа ^{63}Cu выше, чем изотопа ^{65}Cu , а, следовательно, и соответствующая резонансная линия для изотопа ^{63}Cu должна иметь большую интенсивность, чем для изотопа ^{65}Cu , можно утверждать, что наблюдаемый резонансный спектр является спектром ЯМР. Принимая также во внимание, что наблюдаемые спектры хорошо разрешены, т.е. резонансные линии являются достаточно узкими, можно предположить, что в данном случае “магнитные” взаимодействия значительно больше “квадрупольных”, т.е. $\hat{H}_m \gg \hat{H}_q$.

В присутствии магнитного поля \mathbf{H}_0 компоненты общего гамильтониана (1) можно записать в виде:

$$\hat{H}_m = -\gamma \mathcal{H}_0 = -\gamma [I_x H_{0x} + I_y H_{0y} + I_z H_{0z}], \quad (2)$$

$$\hat{H}_q = \frac{e Q V_{zz}}{4J(2J-1)} [(3I_z^2 - I^2) + \eta(I_x^2 - I_y^2)], \quad (3)$$

где Q – ядерный квадрупольный момент; γ – ядерное гиромагнитное отношение; I – оператор ядерного спина с компонентами I_x , I_y , I_z связанными соотношением $I^2 = I_x^2 + I_y^2 + I_z^2$; H_{0x} , H_{0y} , H_{0z} – компоненты магнитного поля \mathbf{H}_0 вдоль главных осей тензора ГЭП; J – ядерный спин; V_{xx} , V_{yy} , V_{zz} – главные компоненты тензора ГЭП. Оси x , y , z выбраны так, что для компонент V_{xx} , V_{yy} , V_{zz} и параметра асимметрии тензора ГЭП η выполняются соотношения:

$$|V_{zz}| \geq |V_{yy}| \geq |V_{xx}|, \quad \eta = \left| \frac{V_{xx} - V_{yy}}{V_{zz}} \right|, \quad 0 \leq \eta \leq 1. \quad (4)$$

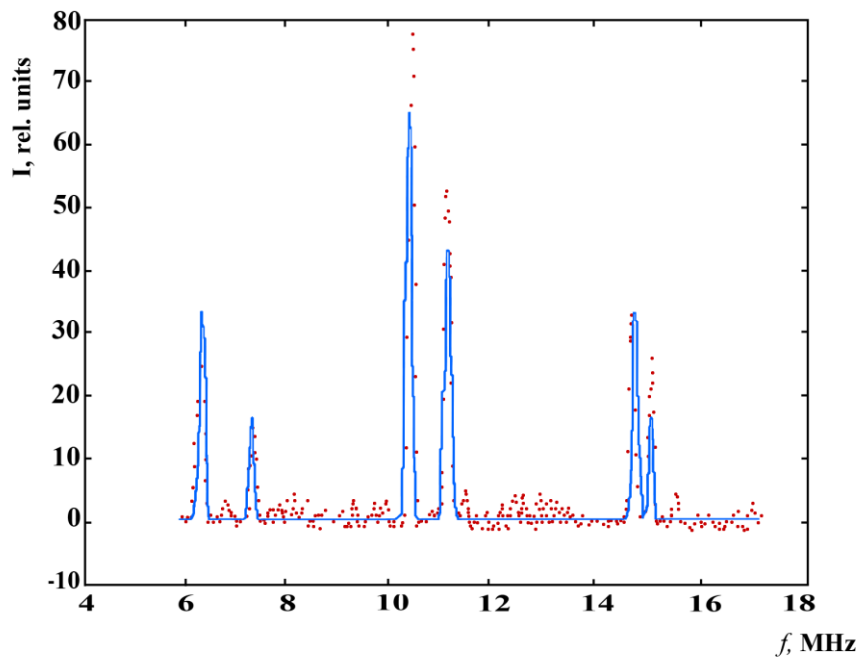


Рис.1. Спектр ЯМР $^{63,65}\text{Cu}$ в CuFe_2S_3 при 77К (точки – эксперимент, сплошная линия – численное моделирование).

В результате численного моделирования наблюдаемых спектров были получены следующие величины: **халькопирит** - квадрупольная частота $\nu_Q \approx 1.29\text{МГц}$, параметр асимметрии тензора градиента электрического поля (ГЭП) $\eta \approx 0.34$, **кубанит** - значения квадрупольной частоты $\nu_Q \approx 7.3\text{МГц}$ и параметра асимметрии тензора градиента электрического поля (ГЭП) $\eta \approx 0.82$.

Полученные квадрупольные параметры были использованы нами для анализа особенностей распределения электронной и спиновой плотностей в области квадрупольного ядра меди исследуемых соединений. Был использован кластерный подход, и проведены *ab initio* расчеты с “опорой” на квадрупольные параметры. Наибольший кластер для кубанита имел формулу $\text{Cu}_7\text{Fe}_{14}\text{S}_{29}^n$ ($R \sim 6\text{\AA}$, 50 атомов, рисунок 2), а для халькопирита - наибольший кластер, для которого проводили расчеты, имел формулу $\text{Cu}_9\text{Fe}_{10}\text{S}_{28}^n$ ($R \sim 6\text{\AA}$, 47 атомов), где n - заряд кластера, который необходимо определить исходя из полученных в эксперименте квадрупольных параметров. Соответствующие серии *ab initio* расчетов для обоих кластеров проводилась в рамках самосогласованного ограниченного метода Хартри-Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF, программа FIREFLY[3]) с использованием базиса MINI.

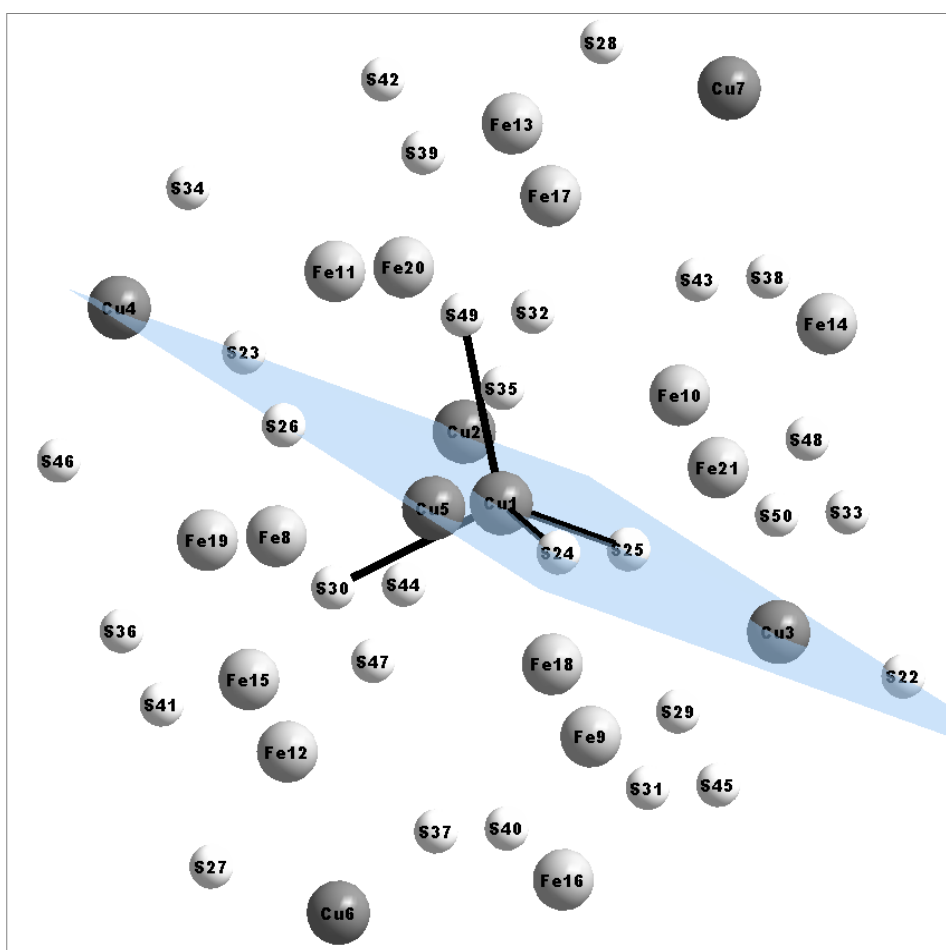


Рис.2. Кластер $\text{Cu}_7\text{Fe}_{14}\text{S}_{29}^n$ (кубанит).

Хорошее согласие с экспериментом наблюдается у кластера $\text{Cu}_7\text{Fe}_{14}\text{S}_{29}^n$ (кубанит) для $n = 10$: в этом случае $\nu_Q \sim 7.38\text{МГц}$ и $\eta \sim 0.87$, а для кластера $\text{Cu}_9\text{Fe}_{10}\text{S}_{28}^n$ (халькопирит) при $n = -4$: значений $\nu_Q \sim 1.40\text{МГц}$ и $\eta \sim 0.50$. Таким образом, весь дальнейший анализ особенностей распределения электронной плотности проводился в рамках теории Р. Бейдера [4] для систем $\text{Cu}_7\text{Fe}_{14}\text{S}_{29}^{10}$ и $\text{Cu}_9\text{Fe}_{10}\text{S}_{28}^{-4}$. Анализ полученных собственных значений λ_i Гессiana $\left\{ \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i \partial x_j} \right\}_{i,j=1,2,3}$ приводит к выводу, что

для всех линий связи всегда $|\lambda_1/\lambda_3| < 1$ у обоих соединений. Таким образом, можно предположить, что как в кубаните, так и в халькопирите атомы меди связаны с атомами серы благодаря концентрации электронной плотности внутри бассейна каждого атома, и, следовательно, данная связь не является ковалентной, а образуется

по типу взаимодействия закрытых оболочек, которое характерно для ионных, сильно полярно ковалентных, водородных и т.п. связей.

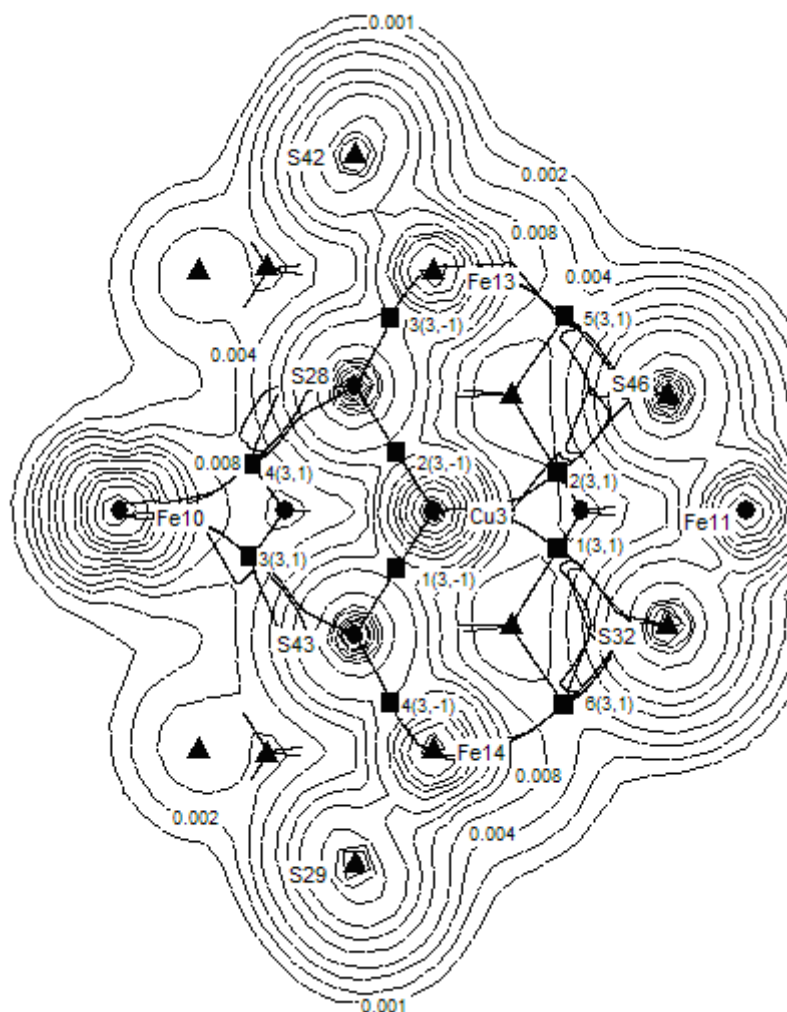


Рис. 3. Контурная карта распределения электронной плотности в области квадрупольного ядра меди в плоскости S43-Cu3-S28 для кластера $\text{Cu}_9\text{Fe}_{10}\text{S}_{28}^{-4}$ (халькопирит).

Определенный интерес представляет диаграмма энергетических уровней молекулярных орбиталей для данного кластера. На рисунке 4 приведены для сравнения две диаграммы энергетических уровней. На рисунке 4a приведена диаграмма уровней для кластера $\text{Cu}_7\text{Fe}_{14}\text{S}_{29}^{10}$ кубанита. Здесь необходимо отметить наличие большой энергетической щели $\Delta \sim 3.01\text{eV}$. В тоже время, внутри этой щели вблизи незаполненных энергетических уровней существует наполовину заполненный уровень, так что щель LUMO–HOMO составляет величину $\Delta \sim 0.56\text{eV}$, и это является типичным для полупроводниковых соединений, к которым принадлежит кубанит. На рисунке 4b приведена диаграмма энергетических уровней для кластера $\text{Cu}_9\text{Fe}_{10}\text{S}_{28}^{-4}$ халькопирита (CuFeS_2), полученная в работе [1]. Как видно из рисунка, энергетическая диаграмма для халькопирита аналогична диаграмме кубанита, с той лишь разницей, что щель LUMO–HOMO составляет величину $\Delta \sim 0.133\text{eV}$, что, в принципе, позволяет отнести халькопирит к полупроводникам безщелевого типа.

Для данных соединений были построены также карты распределения спиновой плотности в области квадрупольных ядер и проведены оценки констант сверхтонкого взаимодействия (изотропного контактного взаимодействия Ферми и компоненты тензора константы спин-дипольного взаимодействия).

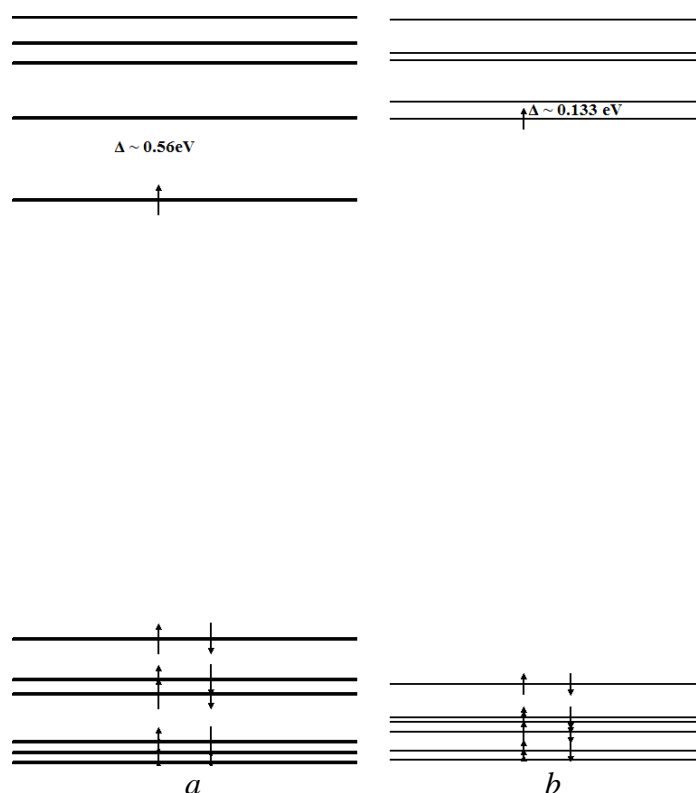


Рис.4. Диаграмма энергетических уровней молекулярных орбиталей:
a - кубанит, кластер $\text{Cu}_7\text{Fe}_{14}\text{S}_{29}^{10}$, *b* - халькопирит, кластер $\text{Cu}_9\text{Fe}_{10}\text{S}_{28}^{-4}$.

Таким образом, можно заключить, что использование методов резонансной спектроскопии (ЯМР, ЯКР, ЭПР) может быть весьма эффективным при исследованиях наноразмерных свойств новых перспективных соединений для солнечной энергетики. В частности, использование полученных экспериментальным путем квадрупольных параметров ν_Q и η может оказаться полезным при построении карт распределения электронной плотности (спиновой плотности) в области квадрупольного ядра и проведении соответствующего анализа особенностей связей в исследуемом соединении.

Литература:

1. Погорельцев А. И., Гавриленко А. Н., Матухин В. Л., Корзун Б. В., Шмидт Е. В.// Журнал прикладной спектроскопии. 2013. Т. 80. С. 361-367.
2. Погорельцев А. И., Матухин В. Л., Корзун Б. В. Гавриленко А. Н.// Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 35. № 8. С. 126-132
3. Granovsky A. A.// Firefly version 7.1.G,URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html> (09.05.2014)
4. Bader R.F.W. Atoms in Molecules – A Quantum Theory. Oxford: Oxford University Press, 1990.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛЕНОК Те

Джелилов Г.К., Абдулаев Т.А.,
ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный педагогический университет»
г. Махачкала
galimdgalilov@mail.ru

Представлен график исследования зависимости термоэлектрической эффективности пленок Те ($10^4 \frac{\kappa ВТ}{\kappa^2}$) от температуры конденсации (Т).

Современная электронная техника нуждается в высоконадежных полупроводниковых приборах. В вычислительных и кибернетических электронных устройствах, где требуются активные элементы в большом количестве, возникают особые требования к ним: полупроводниковые приборы должны быть микро-наноминиатюрны и обладать высоким быстродействием [1].

Величина термоэлектрической эффективности имеет максимальные значения при комнатной и максимальной температурах осаждения для пленок, полученных в электрических полях (рис. 1, кривая 1). В интервале температур 337-438 К пленки принимает одинаковые значения термоэлектрической эффективности с небольшим максимумом при 380 К.

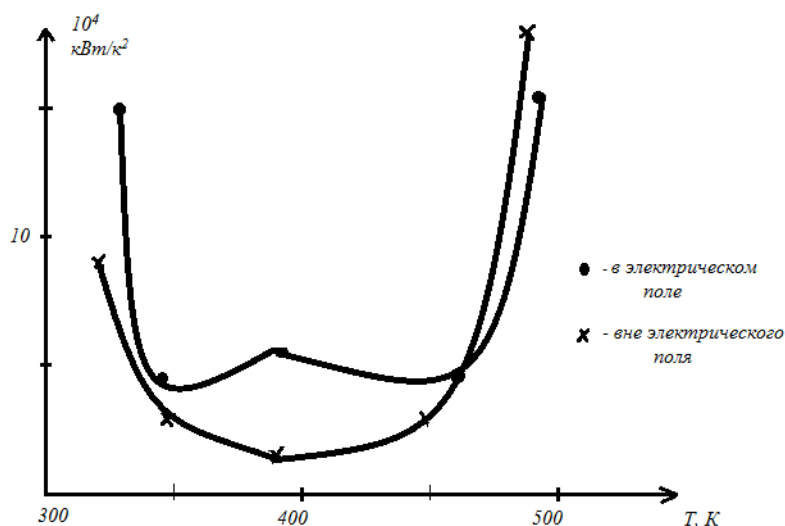


Рис.1 Зависимость термоэлектрической эффективности пленок Те от температуры конденсации

У пленок Те полученные вне электрического поля (рис. 1, кривая 2) термоэлектрическая эффективность уменьшается с увеличением температуры осаждения и при 380 К – минимальна, а далее с увеличением температуры осаждения вновь идет увеличение значения термоэлектрической эффективности.

В отличие от чистого материала, температурная зависимость электропроводности показывает поведение полупроводниковых пленок со спектром энергии активации, которая необходима для осуществления процесса кристаллизации из газовой фазы. В примесях увеличивается проводимость пробы. Зависимость энергии активации от толщины и состава, а также термоэлектрической мощности были, исследованы в температурных диапазонах 300-413 К. Влияние температуры на электрофизические свойства нелегированных ZnTe тонких пленок были детально изучены и можно с ними ознакомиться [2].

Совокупность экспериментальных данных [1] позволяет сделать вывод, что структура пленок зависит от энергетического состояния атомов конденсирующегося

пара и увеличение степени возбуждения атомов пара повышает структурное совершенство пленок.

На вышеизложенном сделаем следующие выводы:

1. Термоэлектрическая эффективность максимальна для пленок конденсированных при 328 К и 482 К; а в интервале 337 – 438 К, термоэлектрическая эффективность имеет стабильный (для пленок Те выращенных в электрических полях) характер.

2. Термоэлектрическая эффективность для пленок Те полученных вне электрического поля минимальна при температуре 380 К.

Литература

1. Александров Л. Н. Процессы роста и структура монокристаллических слоев полупроводников. Труды симпозиума. Часть 1./ Под ред. Л. Н. Александрова. – Н.: «Наука», 1968. – 593 с.
2. Hossain M. S., Islam R., Khan K. A. Renewable Energy. Journal / [Volume 33, Issue 4](#), April 2008, Pages 642–647 2008.

ПОГЛОЩЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ПЛЕНКЕ ОКСИДА ЦИНКА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ

Ф.С. Егоров¹, Г.П. Охоткин¹, Д.Н. Редька².

(¹ г. Чебоксары ЧГУ им. И.Н. Ульянова, ² г. Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

В производстве тонкопленочных солнечных модулей (ТПСМ) активно применяется лазерное структурирование (скрайбирование). Лазерная микрообработка осуществляется в три этапа: 1) скрайбирование фронтального проводящего контакта (ZnO) (условно именуется Pattern1 или P1); 2) микрообработка фотоактивного слоя (условно именуется Pattern2 или P2); 3) Микрообработка фотоактивного слоя совместно с тыльным контактом ZnO (условно именуется Pattern3 или P3). Для каждого этапа обработки используется свои параметры лазерного излучения: длина волны, мощность, фокусировка, частота следований импульсов и длительность лазерного импульса. В работе [1] была определена оптимальная мощность лазерного излучения на выходе из лазерной установки $q=1.11$ Вт. Непосредственная обработка слоя происходит излучением с меньшими уровнями мощностей. Обусловлено это наличием оптических потерь связанных с отражением на границах воздух-стекло и стекло-ZnO. До поверхности обрабатываемого слоя ZnO проходит излучение, значение мощности которого выражается формулой:

$$q_0 = q(1 - R_{ec} - R_{cZnO})$$

где q_0 -мощность лазерного луча дошедший до обрабатываемого поверхности ZnO с учетом потерь, q - мощность лазерного луча без потерь, R_{ec} - коэффициент отражение лазерного луча на границе воздух стекло, R_{cZnO} - коэффициент отражения на границе стекло-ZnO. Коэффициенты отражения R_{ec} и R_{cZnO} определяются формулой Френеля:

$$R_{ec} = \left| \frac{n_c - n_g}{n_c + n_g} \right|^2, \quad R_{cZnO} = \left| \frac{n_{ZnO} - n_c}{n_{ZnO} + n_c} \right|^2$$

где $n_c = 1.9$, $n_g = 1$ и $n_{ZnO} = 2.25$ показатели преломления стекла, воздуха и оксида цинка соответственно при длине волны 355 нм. Поглощение лазерного луча в ZnO описывается законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$q_{ZnO}(x) = q_0 \exp(-\alpha x)$$

где $q_{ZnO}(x)$ мощность лазерного луча на расстоянии x от поверхности ZnO, $\alpha = 1.791 \cdot 10^5$ -коэффициент поглощения ZnO. Толщина оксида цинка составляет от 1.1 до 2 мкм [1]. Диаметр лазерного пятна на месте обработки оксида цинка составляет $D = 40 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$. Площадь пятна $S = 1.25 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2$. Плотность мощности лазерного пятна на поверхности пленки оксида цинка ZnO равна $P = 8.88 \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$. На рис. 1. показано распределение плотности мощности лазерного излучения по толщине обрабатываемого материала.

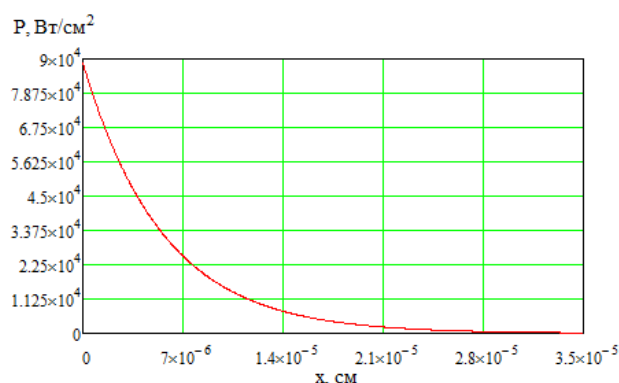


Рис.1. Плотность мощности лазерного излучения в образце.

Таким образом, показаны потери при прохождении лазерного луча до места обработки. В слое оксида цинка основная часть мощности лазерного луча поглощается в приповерхностном слое на расстоянии от поверхности 0.35 мкм.

Литература:

1. Ф.С. Егоров. Скрайбирование оксида цинка на стекле для тонкопленочного солнечного модуля/Г.П. Охоткин, В.П. Афанасьев, Д.Н. Редька, А.В. Кукин//Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф.-Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 2014.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ И СИСТЕМ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА

Мараева Е.В., Мошников В.А.

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
jenvmar@mail.ru, vamoshnikov@mail.ru

Халькогениды элементов IV группы являются традиционными материалами для термоэлектричества и ИК - оптоэлектроники [1-3]. На современном этапе развития физики и техники полупроводников особое внимание уделяется наноструктурированию поликристаллических структур, а также методам получения и исследования наночастиц, в которых проявляется зависимость свойств от размеров, –

так называемых квантовых точек [4]. Изменяя размеры наночастиц, можно управлять значением эффективного энергетического зазора. Материалы и устройства на их основе востребованы во многих областях науки и техники, включая термоэлектричество, солнечную энергетику, сенсористику, медицину и др.

Настоящая работа посвящена развитию модельных представлений о физико-химических процессах, протекающих на интерфейсе зерен халькогенидов свинца при наноструктурном окислении в газовой среде с различным составом, и об особенностях образования коллоидных квантовых точек халькогенидов свинца в водных растворах.

В рамках исследования были синтезированы и изучены образцы квантовых точек сульфида свинца, обладающие эффективной люминесценцией в диапазоне длин волн 0.9...1.2 мкм. Синтез проводился с привлечением метода химического осаждения из водных растворов [5]. Для примера на рис. 1, 2 приведены АСМ-изображения коллоидных квантовых точек сульфида свинца в оболочке поливинилового спирта, полученных методом осаждения коллоидного раствора с поверхности кварцевой подложки. В качестве стабилизатора в данном случае выступали длинноцепочечные молекулы поливинилового спирта. Кроме того, были получены гибридные структуры на основе коллоидных квантовых точек сульфида свинца в матрицах пористого кремния и диоксида кремния. Было установлено, что введение квантовых точек и наночастиц сульфида свинца в матрицу пористого кремния приводит к изменению спектров фотолюминесценции, обусловленных как пористым кремнием, так и квантовыми точками. При этом смещение спектра фотолюминесценции пористого кремния происходит в более длинноволновую область.

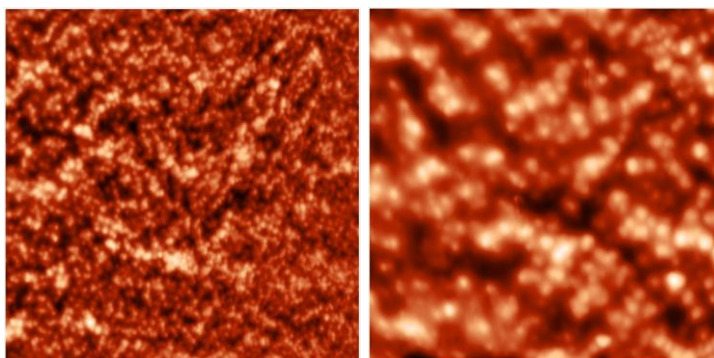


Рис. 1 АСМ-изображение оболочечных квантовых точек сульфида свинца, полученных методом испарения коллоидного раствора
(а - размер сканируемой области 10 x 10 мкм, б - размер сканируемой области 5 x 5 мкм)

В наноструктурированных поликристаллических слоях для ИК-оптоэлектроники также широко используются твердые растворы $Pb_{1-x}Cd_xSe$ [6-8]. Это связано с необходимостью сдвига спектра fotocувствительности и фотолюминесценции в более коротковолновую область относительно селенида свинца для эффективной регистрации концентрации углеводородов в газовых средах. Помимо образцов с коллоидными квантовыми точками, в настоящей работе были исследованы поликристаллические слои на основе твердых растворов селенида свинца – селенида кадмия.

В результате работы были установлены механизмы изменения физико-химических процессов, происходящих при окислении поликристаллических слоев на основе халькогенидов свинца в присутствии и отсутствии йода, которые могут быть использованы для получения излучателей с высокой интенсивностью фотолюминесценции. Предложена модель, позволяющая объяснить изменения механизмов физико - химических процессов, протекающих при отжиге слоев на основе халькогенидов свинца в присутствии и отсутствии йода. Согласно модели, при

отжиге поликристаллических слоев на основе халькогенидов свинца в йодосодержащей окислительной атмосфере происходит наноструктурирование межзеренного интерфейса, замедляется рост оксидной оболочки. При добавлении иодидов свинца в исходную шихту возникает самоорганизованная нанопористая структура, обладающая более высокими люминесцентными свойствами.

Такие модельные представления, объясняющие образование оксидной оболочки, возникновение пустот внутри оболочки и переформирование внутреннего ядра в более мелкие субзерна полностью соответствуют ранее установленным экспериментальным данным (рис.2).



Рис. 2 Латерально-силовая микроскопия разрезанного зондом зерна фоточувствительного слоя на основе $Pb_{1-x}Cd_xSe$, $x=0.04$, размер сканируемой области 2 мкм * 2 мкм [9]

Также была предложена совокупность методов, позволяющая прогнозировать состав возникающих оксидных фаз при отжиге поликристаллических слоев на основе халькогенидов свинца в кислородосодержащей атмосфере, что обеспечивает возможность выбора условий для снижения концентрации центров безызлучательной рекомбинации, обусловленных выделением свинца.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ в рамках проекта «Мой первый грант» (проект № 14-02-31680).

Литература:

1. Абрикосов Н.Х., Шелимова Л.Е. Полупроводниковые материалы на основе соединений $AIIVBV_6$. М: изд-во «Наука», 1975. 195 с.
2. D. Khokhlov. Lead chalcogenides: physics and applications. CRC Press, 2002. 720 p.
3. В.Г. Буткевич, В.Д. Бочков, Е.Р. Глобус, Фотоприемники и фотоприемные устройства на основе поликристаллических и эпитаксиальных халькогенидов слоев свинца // Прикладная физика, 2001, № 6, с . 66-112.
4. С.П. Зимин, Е.С. Горлачев. Наноструктурированные халькогениды свинца. Ярославль: ЯрГУ, 2011. 232 с.
5. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Иванов П.Н. Гидрохимическое осаждение пленок сульфидов металлов: моделирование и эксперимент. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 217 с.
6. Александрова О.А., Максимов А.И., Мошников В.А., Чеснокова Д.Б. Халькогениды и оксиды элементов IV группы. Получение, исследование, применение / под ред. В.А. Мошникова. СПб.: ООО «Технолит» / Изд-во «Технолит», 2008. 240 с.

7. Chesnokova D. B., Moshnikov V. A., Gamarts A. E., Maraeva E. V., Alek-sandrova O. A., Kuznetsov V. V. Structural characteristics and photoluminescence of nanostructured $Pb_{1-x}Cd_xSe$ ($x = 0 - 0.20$) layers // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2010. – V. 356. – P. 2010-2014.
8. Мошников В. А., Гамарц А. Е., Чеснокова Д. Б., Мараева Е. В. Получение и свойства наноструктурированных слоев на основе твердых растворов $Pb_{1-x}Cd_xSe$ ($x = 0-0.20$) // Неорганические материалы. – 2011. – Т. 47, Вып. 1. – С. 18-22.
9. Спивак Ю.М. Анализ фотоприемных монокристаллических и поликристаллических слоев на основе халькогенидов свинца методами атомно-силовой микроскопии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук, СПб. 2008.
-

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И МЕМБРАН НА ЕГО ОСНОВЕ

Муратова Е.Н, Шиманова В.В.
Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
SokolovaEkNik@yandex.ru, ValShimanova@mail.ru

Среди большого разнообразия наноструктурированных сред следует выделить пористые материалы, так как они являются основой для создания новых материалов с заданными структурными, электронными и оптическими характеристиками [1]. Пористые среды являются основой для создания новых материалов с заданными структурными, электронными и оптическими характеристиками, за счет того, что их свойства могут сильно отличаться от свойств объемных материалов или отдельных наночастицы [2-4].

К настоящему времени разработан ряд эффективных методов создания наноструктур, среди них чрезвычайно важны методы, основанные на принципе самоформирования [5]. Методы самоформирования включают различные механизмы упорядочивания наночастиц в структуры с заданной формой и размером. Простота методики получения и возможность управления свойствами пористых материалов, меняя режим формирования, делают их удобными объектами для изучения физических явлений в наноструктурах. Для практического применения большую роль играет развитая поверхность, а также структурные характеристики самих пор (или системы пор), что дает возможность заполнять поры различными газами или жидкостями, позволяя тем самым использовать такие среды в качестве сенсоров [6-8].

Одним их востребованных пористых материалов является пористый оксид алюминия (ПАОА). Особенностью ПАОА является то, что его структура представляет собой самоупорядоченный массив вертикальных пор, размерами которых управлять (рис.1) [9]. Благодаря этому мембраны на основе ПАОА находят широкое применение в современной электронике: их можно использовать в качестве шаблона в темплатном синтезе, в качестве фильтров для механической очистки, разделения и обогащения жидкостей и газов [10], в качестве пылеулавливателей, увлажнителей, фокусирующих матриц для ионных пучков [11,12], селекционной среды для микробиологии [13-15].

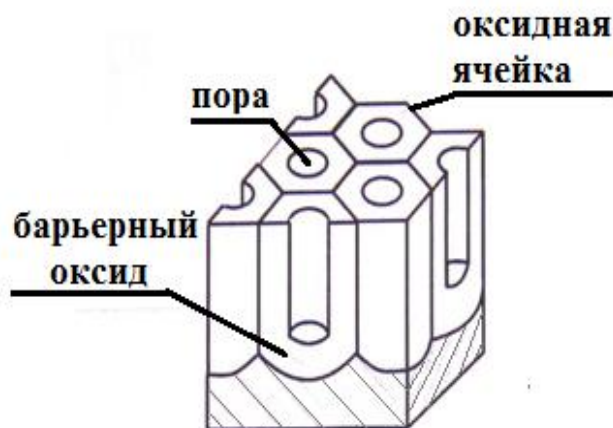


Рисунок 1. Схематичное изображение ПАОА

В лаборатории «Наноматериалы» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» пористый оксид алюминия получают методом электрохимического травления в кислотных электролитах [16]. Известно, что анодирование алюминия в кислотных электролитах может происходить с различными скоростями, эффективностью и стабильностью, в общем случае зависящими от условий анодирования (природы электролита, его концентрации, температуры и плотности анодного тока).

С целью получения пористого анодного оксида алюминия и мембран на его основе проводилось электрохимическое анодирование алюминиевой фольги толщиной 10 мкм в электролитах на основе водных растворов ортофосфорной (H_3PO_4) и серной (H_2SO_4) кислот в потенциостатическом режиме. Для получения сквозных автозакрепленных мембран обратная сторона полученного пористого слоя (барьерный оксид алюминия и непрореагировавший алюминий) стравливалась либо химическими (концентрированной соляной кислотой), либо электрохимическими методами. Полученные сквозные мембраны исследовались методами РЭМ. Для оценки степени упорядоченности полученных слоев была написана программа на языке графического программирования при помощи пакетов *National Instruments LabVIEW 8.5* и *National Instruments Vision Assistant 8.5* [17]. Для исследования прозрачности образцов (в оптическом и ИК - диапазонах) применялись фотометрические методы [18].

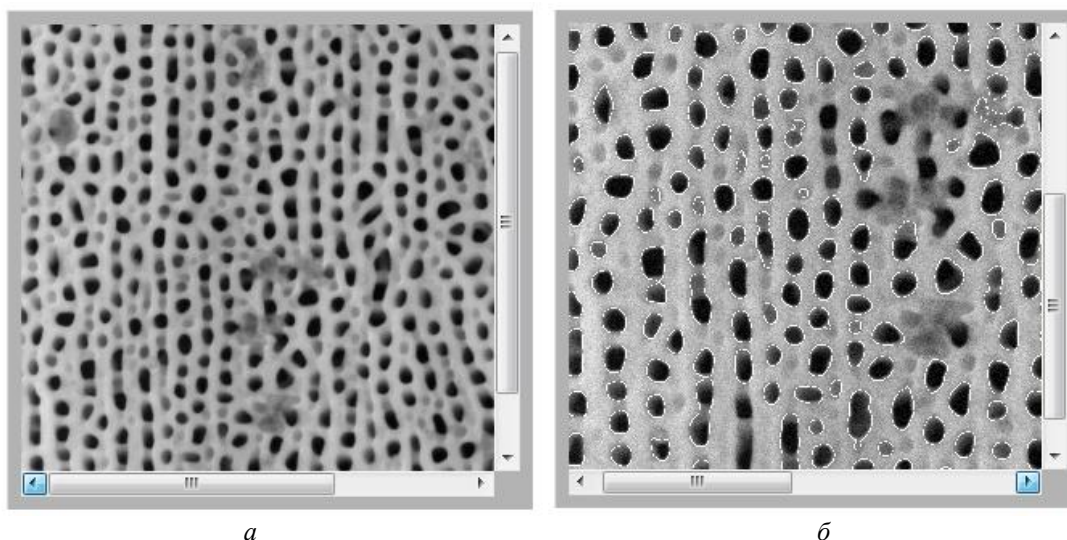


Рис.1. Обработка РЭМ изображения пористого оксида алюминия

В результате работы были получены высокоупорядоченные слои ПАОА с сотовой структурой пор (диаметр пор $\approx 20 \dots 150$ нм, коэффициент упорядочивания $K \approx 98\%$) и сквозные мембраны ПАОА, автозакрепленные в алюминиевой фольге. Построенные токо-временные зависимости позволяют проследить этапы анодирования (утолщение барьерного слоя, формирование дна пор, рост пор, формирование мембран). Проведенные результаты фотометрических исследований доказывают, что данные мембраны являются прозрачными в оптическом диапазоне $T=5\%$, в ИК - области $T=15..20\%$. Построенные спектры пропускания для дальнего ИК-диапазона позволяют определить состав пористой пленки (вода, кислотные анионы, модификацию оксида алюминия), определить период пористой структуры. С помощью РЭМ – диагностики была выявлена экспоненциальная зависимость диаметра пор, межпорного расстояния и толщины пористого слоя от температуры травления. Кроме того, по результатам программы были построены диаграммы распределения количества пор по размерам. Разброс значений составляет $\approx 20\%$. Так же были исследованы электрофизические параметры полученных слоев и мембран.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта: договор № НК 14-08-31609\14 от 10.02.2014.

Литература

1. Мошников В.А., Соколова Е.Н., Спивак Ю.М. Формирование и анализ структур на основе пористого оксида алюминия / Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, вып. 2, с. 13-19.
2. Жабрев В.А., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Федотов А.А., Шилова О.А. Золь-гель-технология. / Учебное пособие / Министерство образования РФ, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ". Санкт-Петербург, 2004.
3. Мошников В.А. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики / Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника" и 210600 "Нанотехнологии" / В. А. Мошников, Ю. М. Спивак; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. Электротехнический ун-т "ЛЭТИ". Санкт-Петербург, 2009/
4. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии: Учеб. пособие / Под ред. Проф. В.А. Мошникова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 172 с.
5. Спивак Ю.М. Наноструктурированные материалы. Особенности получения и диагностики // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2013. Т. 6. С. 54-64.
6. Gracheva I.E., Maksimov A.I., Moshnikov V.A., Plekh M.E. A computer-aided setup for gas-sensing measurements of sensors based on semiconductor nanocomposites // Instruments and experimental techniques. 2008. Т. 51. № 3. С. 462-465.
7. Грачева И.Е., Мошников В.А., Осипов Ю.В. Анализ процессов на поверхности газочувствительных наноструктур методом спектроскопии полной проводимости. // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2008. № 6. С. 19-24.
8. Moshnikov V.A., Gracheva I.E., Kuznezov V.V., Maximov A.I., Karpova S.S., Ponomareva A.A. Hierarchical nanostructured semiconductor porous materials for gas sensors // Journal of non-crystalline solids. 2010. Т. 356. № 37-40. С. 2020-2025.
9. Muratova E.N., Spivak Yu.M., Moshnikov V.A., Petrov D.V., Shemukhin A.A., Shimanova V.V. Influence of technological parameters of nanoporous Al_2O_3 layers' preparation on their structural characteristics / Glass Physics and Chemistry. 2013. Vol. 39.No. 3.P. 320-328.

10. Основы водородной энергетики / под ред. В.А. Мошникова и Е.И. Терукова. 2-е изд. СПб: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 288 с.
 11. Шемухина А.А., Муратова Е.Н. Исследование прохождения пучков 1.7 MeV He⁺ через мембраны пористого оксида алюминия / ПЖТФ, 2014, том 40, выпуск 5, с. 67-74.
 12. Лучинин В.В., Муратова Е.Н., Шемухин А.А. Матрицы из пористого оксида алюминия как капиллярные матрицы-шаблоны для локализации воздействия ионов высоких энергий. // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 12. С. 39-41
 13. Муратова (Соколова) Екатерина Н. Формирование пористых слоев на основе оксида алюминия для целей микробиологии / Молодой ученый, 2012. №10. С. 14-17.
 14. Zimina T. M., Luchinin V. V., Mukhurov N. I. et al. Functional Elements of Laboratory-on-a-Chip for Express Identification and Antimicrobial Susceptibility Testing of Bacterial Respiratory Tract Infections // Proc. 2010 Lab-on-a-Chip European Congr., Abstract 116. Dublin, 24—27 May, 2010.
 15. Зими́на Т. М., Муратова Е. Н., Спивак Ю. М., Дрозд В. Е., Романов А. А. Технологии формирования и применение нанослоев и нанопористых композиций Al₂O₃ для микро- и нанотехники // Нано - и микросистемная техника. 2012. № 12. С. 15–24.
 16. Травкин П.Г., Соколова Е.Н., Спивак Ю.М., Мошников В.А. Электрохимическая ячейка для получения пористых анодных оксидов металлов и полупроводников // Патент на полезную модель RUS 122385 01.06.2012
 17. Спивак Ю.М., Соколова Е.Н., Петенко О.С., Травкин П.Г. Определение параметров пористой структуры в пор-Si и пор-Al₂O₃ путем компьютерной обработки данных растровой и атомно-силовой микроскопии / Молодой ученый. 2012. № 5. С. 1-4.
 18. Muratova E.N., Matyushkin L.B. Investigation of the optical properties of nanoporous membranes based on alumina // Smart Nanocomposites. 2014. V 4, № 2. P. 1-8
-

АЛМАЗ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И ЭНЕРГЕТИКЕ

Ю.М. Ротнер^{1,2}

Компания Diamond Power Devices LTD Нетания, Израиль
Тель-Авивский университет, Израиль
rotner1942@gmail.com

Алмаз обладает уникальными физическими свойствами. Это ковалентный широкозонный полупроводник с теплопроводностью в пять раз превышающей теплопроводность серебра и меди. Его характеризует высокая подвижность носителей тока, химическая, термическая и радиационная стойкость, способность легироваться электрически активными примесями. Все это характеризует алмаз как перспективнейший материал для современной электроники.

Тенденция привлечения в электронику новых полупроводников характеризуется переходом к более прочным (т.е. устойчивым к внешним воздействиям) кристаллам, состоящим из более легких атомов: Ge-->Si-->C (полупроводники типа А4), GaAs, InP-->AlN, AlP-->BN (полупроводники типа А3В5).

Такая тенденция не случайна и объясняется тем, что по мере уменьшения атомного номера растет сила межатомных связей и уменьшается межатомное расстояние. Это ведет к росту ширины запрещенной зоны, теплопроводности, механической прочности, температуры Дебая, т.е. к улучшению физических параметров полупроводника, обуславливающих рабочие характеристики приборов. Поскольку алмаз является последним в ряду полупроводников типа А4, то он

рассматривается как материал, на котором будет достигнут рекордный уровень параметров приборов твердотельной электроники.

Природные кристаллы алмаза сугубо индивидуальны по однородности, по набору легирующих примесей и дефектов и их широкое применение в серийной электронике нам представляется проблематичным. Тем не менее, на основе природного алмаза могут быть созданы и уже создаются уникальные приборы.

Синтетические алмазы могут быть нормированы по любым параметрам и получены как в виде монокристаллов, так и в виде эпитаксиальных пленок на алмазных и иных подложках.

Именно поэтому развитие твердотельной электроники в мире все больше связывается с использованием в качестве рабочего тела синтетического алмаза в виде монокристаллов, эпитаксиальных пленок и слоистых структур на их основе.

Метод синтеза монокристаллов алмаза един во всем мире - выращивание кристалла алмаза из раствора графита в металлах-растворителях при сверхвысоких (60-100 кбар) давлениях и температурах выше 1200°C. Аппаратура высокого давления разная. Почти весь мир применяет установки типа "Белт", в которых давление в рабочем объеме создается многопуансонным аппаратом, усилия которого направлены к центру объема по трем взаимоперпендикулярным направлениям (граням куба). В России традиционный аппарат высокого давления - установка одноосного сжатия, где давление создается сжатием по одной оси, а его удержание обеспечивается жесткостью боковых поддерживающих конструкций.

В Сибирском отделении РАН (Объединенный институт геологии, геохимии и минералогии, Новосибирск) разработан аппарат высокого давления оригинальной конструкции - БАРС (беспрессовый аппарат разрезная сфера), который обеспечивает сжатие рабочего объема по сфере! Это позволяет генерировать и рекордно высокое давление в реальном объеме (до 200 кбар), а, главное, удерживать его длительное время (несколько суток).

Промышленно развитые страны осуществляют обширные национальные программы по координации и финансированию разработок новых приборов на основе природных и искусственных кристаллов алмаза. Созданы специальные организационные структуры, координирующие эти исследования, например, японский Форум "New Diamond", объединяющий более 100 фирм, Консорциум при Пенсильванском Университете (США) и т.д. К разработкам подключены такие гиганты как De Beers (ЮАР), General Electric (США), Sumitomo Electric Industries (Япония). Эти фирмы уже в середине 80 годов осуществили коммерческое производство алмазов массой до 1,5 карат ювелирного качества преимущественно для технических целей. Фирма Sumitomo Electric Industries производит заготовки алмазных теплостокков массой 0,1-0,4 карата для мощных полупроводниковых приборов средней стоимостью около 110 \$ за штуку.

Потребность только японского рынка составляет сотни тысяч теплостокков в год. General Electric к 1993 году реализовала выпуск синтетических алмазов (в том числе и изотопно легких) на сумму 50-70 млн.\$.

Еще более интенсивными темпами развиваются технологии, связанные с получением алмазных пленок. По данным журнала FORBIS в мире насчитывается более 200 фирм и исследовательских лабораторий, работающих в области технологии алмазных пленок, с годовым бюджетом более 100 млн.\$.

Для примера можно назвать такие известные центры как Los Alamos и Sandia. Исследованиями в этой области занимаются практически все крупные электронные компании, работающие как на гражданский, так и на военный сектор промышленности.

В настоящее время наибольшего размаха работы по газофазному синтезу алмаза достигли в Японии и США.

Количественно это характеризуется следующим: в 1989 г. затраты на исследования и разработки новых алмазных технологий составили в США 20 млн. долларов, а в Японии значительно превысили 100 млн. долларов. Начиная с 1983 г., в Японии было получено более 500 патентов на способы получения и применение алмазных пленок.

В последние годы эти работы значительно активизируются и в Европе (ФРГ, Австрия, Англия, Швеция). Ведущие научные центры этих стран уже сообщили о получении активных элементов электронной техники (диодов Шоттки и полевых транзисторов) на основе гомоэпитаксиальных алмазных пленок и кристаллов природного алмаза.

По данным зарубежных экспертов мировой рынок алмазной технологии в электронике на 90 годы оценивается суммой от 5 до 16 млрд. \$. Учитывая массивный характер инвестиций в алмазные технологии, их высокую эффективность, четкую координацию исследований на государственном уровне, в ближайшие годы следует ожидать на мировом рынке электроники существенных изменений за счет перехода на принципиально новую элементную базу.

Аппарат высокого давления "БАРС", упомянутый выше, обеспечивает условия для выращивания монокристаллов алмаза массой около двух карат ювелирного и более высокого качества. Во ВНИИ синтеза минерального сырья (Александров) и в инженерном центре "Алмаз" (г. Одесса) созданы методы легирования алмаза в процессе роста электрически активными примесями р- и п-типа, исследования его свойств, а также разработаны макетные образцы ряда полупроводниковых приборов (терморезисторов и датчиков внешних воздействий на их основе, диодов на р-п переходе, термоэлектрических преобразователей, тепловых линий задержки и т.д.). В результате исследования процессов газофазного роста алмазных слоев усилиями ИФХ РАН, ЦНИТИ, ВНИИСИМС, инженерного центра "Алмаз" разработаны опытные установки и методы получения диэлектрических и полупроводниковых алмазных пленок.

Совмещение методов выращивания крупных монокристаллов алмаза для подложек и получения на них гомоэпитаксиальных алмазных пленок, способов внешних воздействий на них открывает реальные перспективы создания физико-химических и технологических основ использования алмазных слоистых структур в электронной технике и приборостроении.

В работе автора кристалл иттрий-алюминиевого граната нанесена алмаза подобная диэлектрическая пленка на боковую поверхность толщиной 1 мкм. С целью закрытия возможных дефектов и выравнивания теплопроводности по поверхности кристалла.

На второй кристалл иттрий-алюминиевого граната нанесена алмаза подобная пленка на одну из торцевых поверхностей толщиной 1 мкм. С целью уменьшения возникновения влаги на торцевой поверхности кристалла в процессе его охлаждения водой. Это из наших опытов, проверенных на аналогичных кристаллах.

На 4 кристалла кварца-ВК-7 на одну из сторон нанесена алмаза-подобная пленка толщиной 1 мкм. На два из этих образца предварительно была нанесена алмазная пленка плазмохимическим методом из газовой фазы. Стандартным методом горячего прессования получены пластины нитрида кремния и нитрида алюминия, на одну из сторон которых нанесена алмаза подобная диэлектрическая пленка. Эти образцы получены для решения двух задач:

- а) определения возможности использования таких пластин для замены бериллиевой керамики в лазерных диодах и других теплонагруженных приборах.
- б) определения возможности использования керамики на основе нитрида алюминия и нитрида кремния в тонкопленочных технологиях применение которых

ограничено для данных задач из-за плохой поверхности данных материалов. Алмазная пленка по нашим данным устраняет этот недостаток.

Нестандартным методом в условиях сверхвысоких давлений и температур спечены образцы из порошков нитрида алюминия и алмаза без связывающего материала с целью получения диэлектрического материала с максимальной теплопроводностью для отвода тепла от сверх-нагруженных микроэлектронных Чипов. Полученные образцы требуют изучения физических характеристик.

Методом CVD получен поликристаллический алмаз толщиной 0,5мм. Диаметр 10мм. Разрезан на 5 образцов. Теплопроводность полученных образцов в пять раз выше, чем у меди. Требуется изучение оптических характеристик с целью определения возможности использования в качестве окон в оптоэлектронике.

Проведены работы по получению монокристалла алмаза статическим методом. Получена пластина с размерами 9,2x9,2x2мм. Массой 2,15 карат. Ориентировочная стоимость такой пластины порядка 500 долларов США, но она имеет теплопроводность в 10 раз выше, чем у меди, но имеет желтый цвет. При определенной доработке технологического процесса возможно получение белого прозрачного алмаза. Имеет смысл опробировать для применения в качестве оптоэлектронных окон разрезать такой кристалл на 4 образца и приклеивать такой образец прозрачным клеем к сапфиру или кварцу.

Проведен цикл работ по нанесению толстых алмазных пленок методом CVD на окна из лейкосапфира и кварца, но положительного результата не получили из-за отслаивания пленок от подложки с ростом ее толщины. Данные работы требуют продолжения отработки технологического процесса.

Литература

1. Данилин В., Жукова Т. и др. Транзистор на GaN пока самый "крепкий орешек". – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №4, С.20.
2. Лебедев А., Сбруев С. SiC-электроника: прошлое, настоящее, будущее. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2006, №5, С.28
3. Olson J.R., Pohl R.O. et al. Thermal conductivity of diamond between 170 and 1200K and the isotope effect. – Phys. Rev. B, 1993, v. 47, No. 22, p.14850.
4. Алмаз в электронной технике. Сб. статей под ред. В.Б. Кваскова, М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Dischler B., Wild C. (Eds). Low-Pressure Synthetic Diamond: Manufacturing and Applications. – Springer, Berlin, 1998.

СОЗДАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.М. Ротнер^{1,2}

Компания Diamond Power Devices LTD Нетания, Израиль
Тель-Авивский университет, Израиль

Алмазаподобные пленки (АПП), во многих случаях содержащие включения алмазной фазы, находят в настоящее время практическое применение благодаря своим, в первую очередь, механическим свойствам и оптическим характеристикам: твердости, износостойкости, низкому коэффициенту трения по отношению к большинству конструкционных материалов, высокой теплопроводности, малому

поглощению в видимой области спектра и высокому коэффициенту преломления. В различных вариантах практического применения АПП последние выступают либо в качестве среды для реализации необходимых элементов структур и устройств микро- и оптоэлектроники, либо как покрытия различного назначения.

Применение АПП в микроэлектронике и оптоэлектронике накладывает особые требования к их электрофизическим свойствам и оптико-электрическим параметрам: электронной эмиссии, оптическим свойствам, люминесценции, электропроводности, ширине запрещенной зоны. Решающее значение для формирования структур на основе алмаза подобных пленок имеет возможность, обеспечивающая точное повторение микрорельефа подложки и возможность управления основными рабочими параметрами материала без использования других материалов (легирования, металлизации и т. д.) и сложных технологических операций (таких, как ионная имплантация, молекулярно-лучевая эпитаксия, вакуумное напыление и т.п.).

Не менее важной областью применения АПП является их использование в качестве защитных покрытий оптических устройств, работающих в различных диапазонах электромагнитного излучения, что предполагает специфические требования к оптическим свойствам материала в рабочей области спектра, в частности, например, в инфракрасном (ИК) диапазоне.

Синтез АПП происходит в вакууме (схема устройства камеры приведена на рис.1) при давлении 10^{-3} - 10^{-4} торр). Одновременно работают два источника вещества: плазмотрон и магнетрон. Прекурсором плазмотрона является силоксан, чаще всего, полифенилметилсилоксан (ПФМС), но могут быть и другие. Прекурсор (жидкость при нормальных условиях) через натекагель и диспергатор поступает в вакуумную камеру, где, за счёт нагрева диспергатора катодом и низкого давления в камере, превращается в пар. Термокотод, потенциал которого на 120-170 В ниже потенциала Земли, эмитирует поток электронов и создаёт плазму паров прекурсора, степень ионизации плазмы не превышает 5-7% . На подложку держатель (ПД) подается регулируемый ВЧ-потенциал, что приводит к разделению зарядов в плазме и появлению постоянного отрицательного потенциала на ПД, поле которого создает ток положительно заряженных ионов и осколков молекулы силосана на ПД. Кроме плазмы паров силосана в камере присутствует плазма аргона, необходимого для работы магнетрона. В зависимости от величины постоянного потенциала на ПД энергия ионов аргона уплотняет поверхность растущей пленки, придавая ей соответствующий уровень твердости и остаточных упругих напряжений. Магнетрон поставляет на подложку держатель металл. Результатом такого комбинированного процесса становится пленка со структурой нанокompозита (НК).

Структура матрицы такого НК, по данным ИК- фурье спектроскопии полученным в работе [1] (рис. 1), близка к структуре прекурсора (ПФМС) но матрица является твердой (до 15-20 ГПа).

Именно это свойство матрицы привело к появлению названия АПП, хотя по составу и набору других свойств пленки отличаются от традиционных АПП (DLC). По данным электронографии [2] (рис.2) матрица является аморфной и в отсутствие металла является хорошим диэлектриком с напряжением пробоя до $4 \cdot 10^6$ В/см.

Исследование пленок АПП, содержащих металл, методами электронной микроскопии, электронографии и рентгеновской дифрактометрии [2,3] показали что металл (проверка выполнена на широком ряде металлов, включающем Ti, W, Mo, Cr, Ta, Pt, Pd и др.) формирует в матрице кристаллические наночастицы размером 1- 10 нм (рис. 2,3, 4, 5,6). Таким образом, было доказано, что АПП, содержащие металл, имеют структуру нанокompозита. Исследования химических связей в нано фазе методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) [1] (рис. 7) показали, что в случае введения карбидообразующих металлов, в процессе синтеза АПП

происходит плазмохимическая реакция металла с ионами углерода, наночастицы в матрице

становятся карбидами по составу. Для металлов, не имеющих стабильных карбидов, например, Pt и Pd, nano частицы в АПП являются металлами, что подтверждается также электронной микроскопией высокого разрешения (рис.4,5). Концентрационные зависимости удельного сопротивления, при введении металла в АПП, имеют характерный для нанокompозитов перколяционный вид. Благодаря удачно выбранному прекурсор для создания матрицы нанокompозита АПП и особенностям метода их синтеза эти пленочные материалы обладают уникальным набором свойств, не встречающимся ни в одном другом материале. Многие из свойств имеют рекордные величины.

Проведенные исследования и накопленный опыт производства изделий из АПП позволяют получать заранее заданные значения большинства свойств путем управления определенными технологическими параметрами. В отношении стабильности, воспроизводимости и производительности используемого процесса синтеза АПП следует указать следующее:

- в процессе совместного распыления из двух источников - плазмотрона и магнетрона, вредного взаимодействия источников не наблюдалось, более того, электронная эмиссия катода плазмотрона, способствует устойчивому горению магнетронного разряда при более низких, чем без него, давлениях .

- на подложке держателе может размещаться до 20 керамических пластин 60x48x1(мм), время напыления составляет 60-90 мин. Весь процесс, включая откачку, ВЧ- очистку и охлаждение камеры составляет 4-5 часов.

- важнейшим фактором получения надёжных и конкурентоспособных изделий на основе содержащей металл АПП является стабильность такой плёнки во времени, при повышенных температурах, а также после длительных электрических нагрузок, как постоянных, так и импульсных. Обнаружено, что после синтеза АПП релаксирует в течение определённого времени. Например, микротвёрдость в течение часа увеличивается на 30-40(%). Стабильность свойств, прежде всего, электрофизических характеристик, достигается специальной химической обработкой и многоступенчатым отжигом АПП в вакууме.

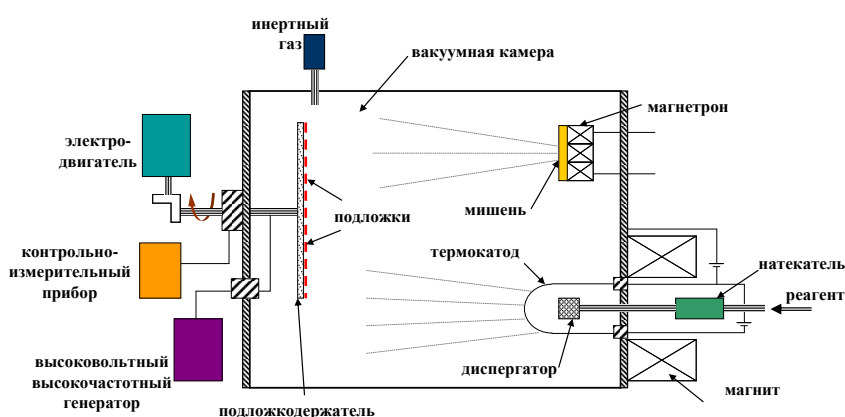


Рисунок 1. Схема синтеза АПП

Сравнение спектров показывает, что в пленке остаются фенильные кольца (полоса в районе и ниже 2000 см-1), связи Si – CH₃ (два пика слева уполосы в районе 3000 см-1), связи Si-O не выявляются, поскольку в области их поглощения в пленке наблюдается 100% поглощение, они также проявляются на более тонких пленках.

Вывод: структура химических связей в АПП близка к структуре ПФМС. Отличие состоит в присутствии в пленке двух новых типов связей Si-H (полоса 2000-2500 см⁻¹) и –ОН (полоса 3500 – 4000 см⁻¹)

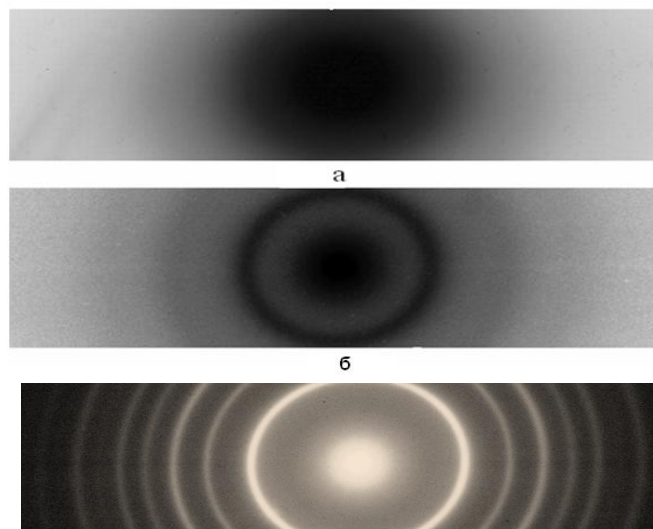


Рисунок 2. [2] а) Электронограмма АПП, не содержащей металла. По характеру дифракционной картины можно уверенно утверждать, что материал является аморфным
б) Электронограмма АПП, содержащей хром.

На рентгенограмме видны дифракционные кольца, сильно уширенные. Можно утверждать, что пленка содержит мелкодисперсную фазу. Оценка размера частиц по величине уширения дает значение 3 – 3,5 нм.

в. Электронограмма эталонной металлической пленки хрома с размером зерна и толщиной ~ 1мкм. Уширение отсутствует, наблюдается большое число дифракционных линий.

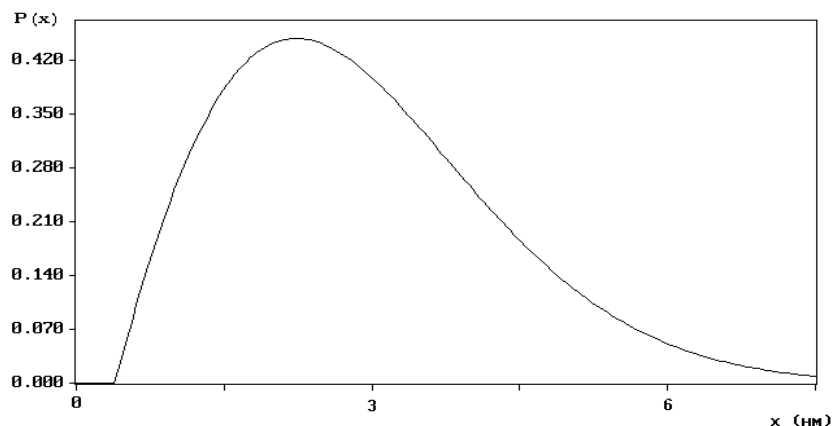


Рисунок 3. Распределение наночастиц по размерам, рассчитанное по уширению дифракционных линий полученных методом рентгеновской дифрактометрии. Образец АПП с нанопазой на основе тантала.

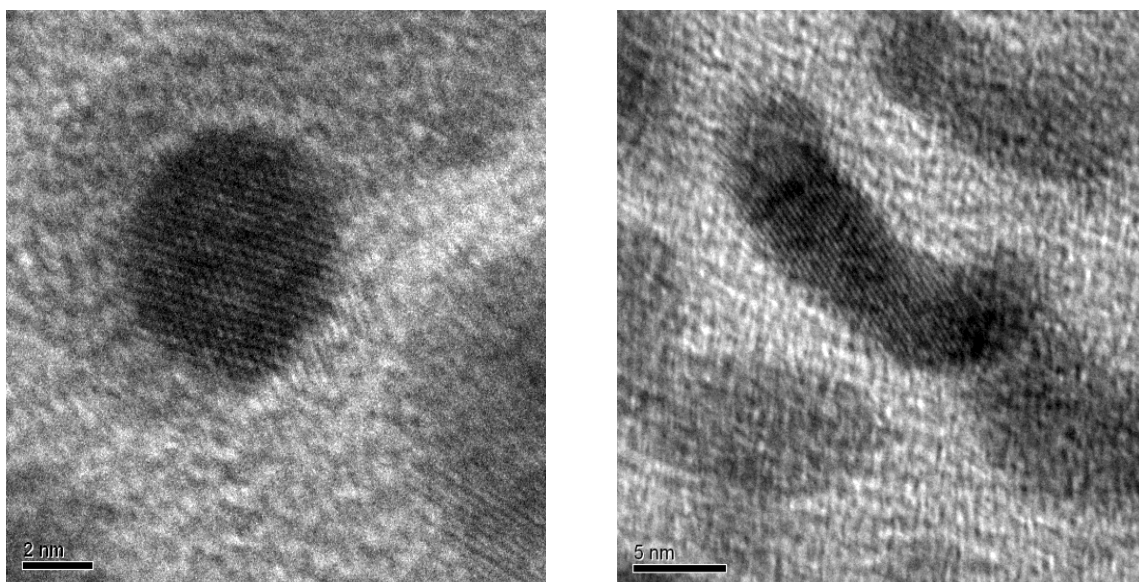


Рисунок 4 . Электронно-микроскопическое (высокое разрешение) изображение разной формы частиц Pt в АПП. На левом рисунке хорошо разрешаются атомные плоскости, подтверждающие кристаллическую структуру частицы [3].

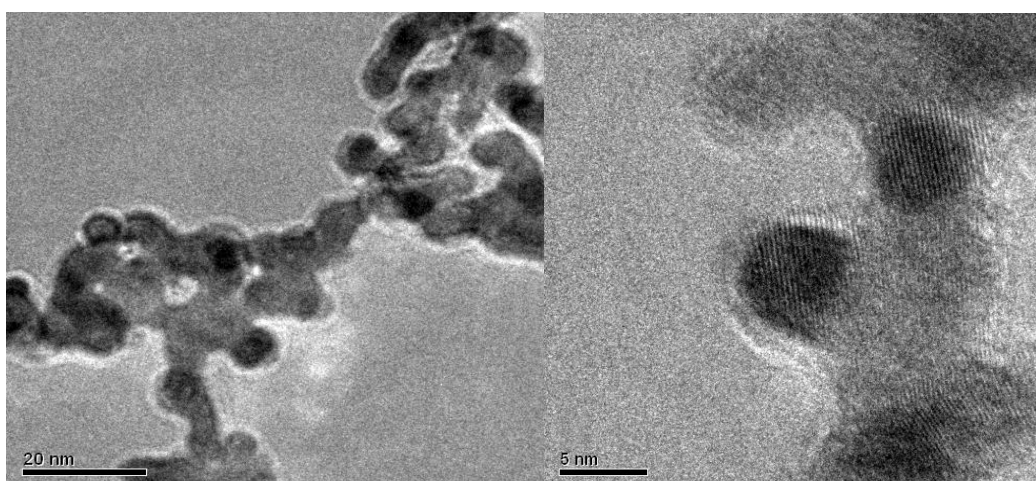
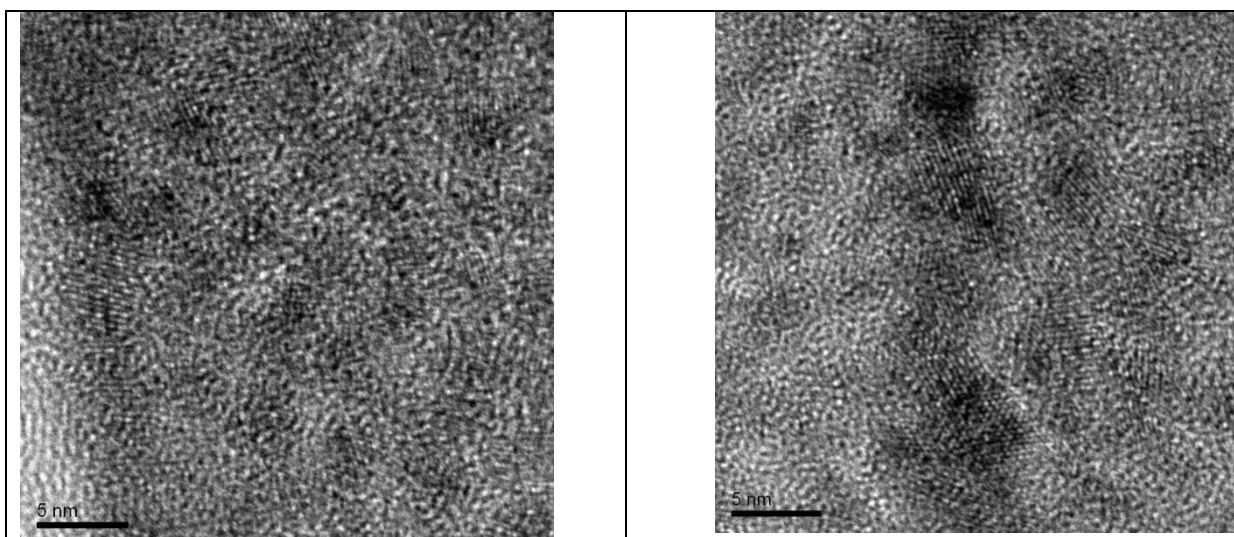


Рисунок 5 - Расположение наночастиц Pt в АПП в виде цепочек.



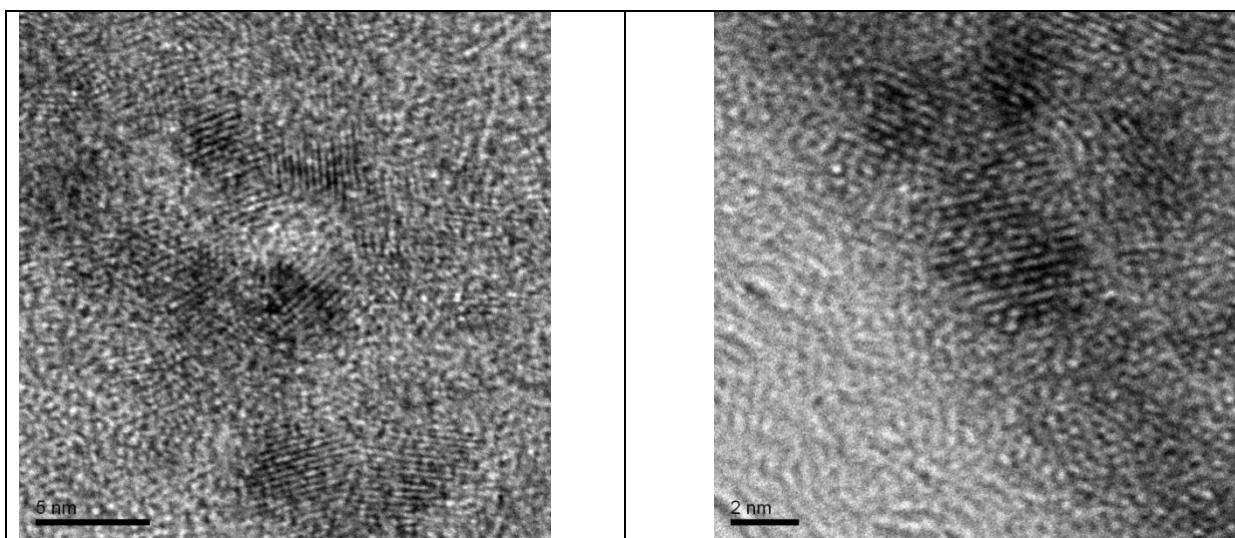


Рис. 6 – Электронномикроскопическое изображение высокого разрешения АПП с нанофазой TaC. Масштаб указан на каждом из изображений. Видно разрешение кристаллографических плоскостей Ta-C

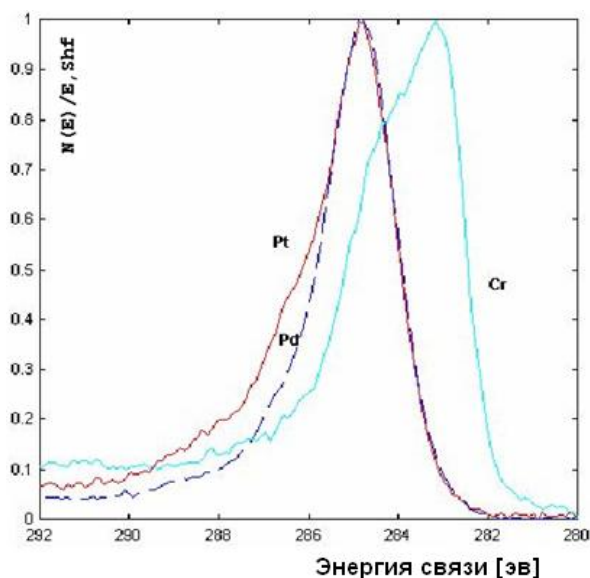


Рисунок 7. C1s РФЭ спектры для образцов Pt-АПП, Pd-АПП and Cr-АПП.

Представленные на рисунке спектры демонстрируют отсутствие сдвига линии углерода (C1s) у АПП с платиной и палладием, что говорит об отсутствии связи металл-углерод и явный сдвиг у АПП с хромом, говорит о присутствии связи хром-углерод. Исследования, проведенные для ряда металлов в составе АПП позволяют сделать вывод о том, что карбидообразующие металлы входят в состав АПП-нанокompозита в виде карбидов, а металлы, не имеющие стабильных карбидов, в виде металла.

Литература.

1. Пахроменко Ю.Н., Малинкович М.Д., Скрылева Е.А., Шупегин М.Л. Технология получения, структура и свойства металлсодержащих нанокompозитов с кремний-углеродной матрицей //Материалы электронной техники, №3 2005, стр.12-16.
- 2.Борисова А.С., Васильева Н.Д., Попов А.И., Шупегин М.Л. Электронная и сканирующая зондовая микроскопия металлсодержащих алмазоподобных нанокompозитов //Вестник МЭИ, вып.5, стр. 82-85, 2004 г.

3. Пахроменко Ю.Н., Малинкович М.Д., Скрылева Е.А., Шупегин М.Л. Технология получения, структура и свойства металлосодержащих нанокompозитов с кремний-углеродной матрицей //Материалы электронной техники, №3 2005, стр.12-16.
4. Горшунов Б.П. et al. Инфракрасная спектроскопия алмазоподобных кремний-углеродных пленок //Журнал технической физики, 2008, том 78, вып. 5, стр. 111-115.
-

РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МЕТАЛЛОУГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

А.В. Смирнов¹, В.С. Николаев¹, В.Д. Кочаков¹,
В.С.Левицкий².

¹ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г.Чебоксары,

² НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике
при ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург
fizteh21@yandex.ru

В данной работе приводятся результаты исследований спектров комбинационного рассеяния пленок на основе линейно-цепочечного углерода, который в силу своей структуры имеет широкую перспективы применения в фотопреобразовательных устройствах, сенсорике, малой энергетике.

Рамановская спектроскопия как весьма информативный неразрушающий метод играет значительную роль в исследовании структуры различных форм углеродных наноструктур. В однофононных рамановских спектрах совершенных монокристаллов графита наблюдается всего одна известная узкая линия G при 1581 см⁻¹, в нанокристаллическом графите так называемые полосы G и D (1540-1560 и 1340-1370 см⁻¹). Установление характеристичности частот позволяет, не производя никаких расчетов, определять по спектру присутствие в молекуле различных групп и связей и тем самым устанавливать строение молекулы, фактически производя “отожествление” вещества. Важной задачей является рассмотрение эволюции G (D) полос, отношение интенсивностей, формы и соотношение их с особенностями структуры [1].

Для многообразия аллотропных форм углерода, наиболее важными являются области в районе 1150 см⁻¹ (нанокристаллическая фаза алмаза), 1350 см⁻¹ (sp²), 1580-1600 см⁻¹ (sp²), 2100 см⁻¹ (sp¹) и дисперсия параметров G-полосы, ширины на полувысоте (FWHM) при внедрении различных атомов, обработкой с среде газов N₂, H₂, O₂ и показаны на рис. 1 и рис. 2 [2].

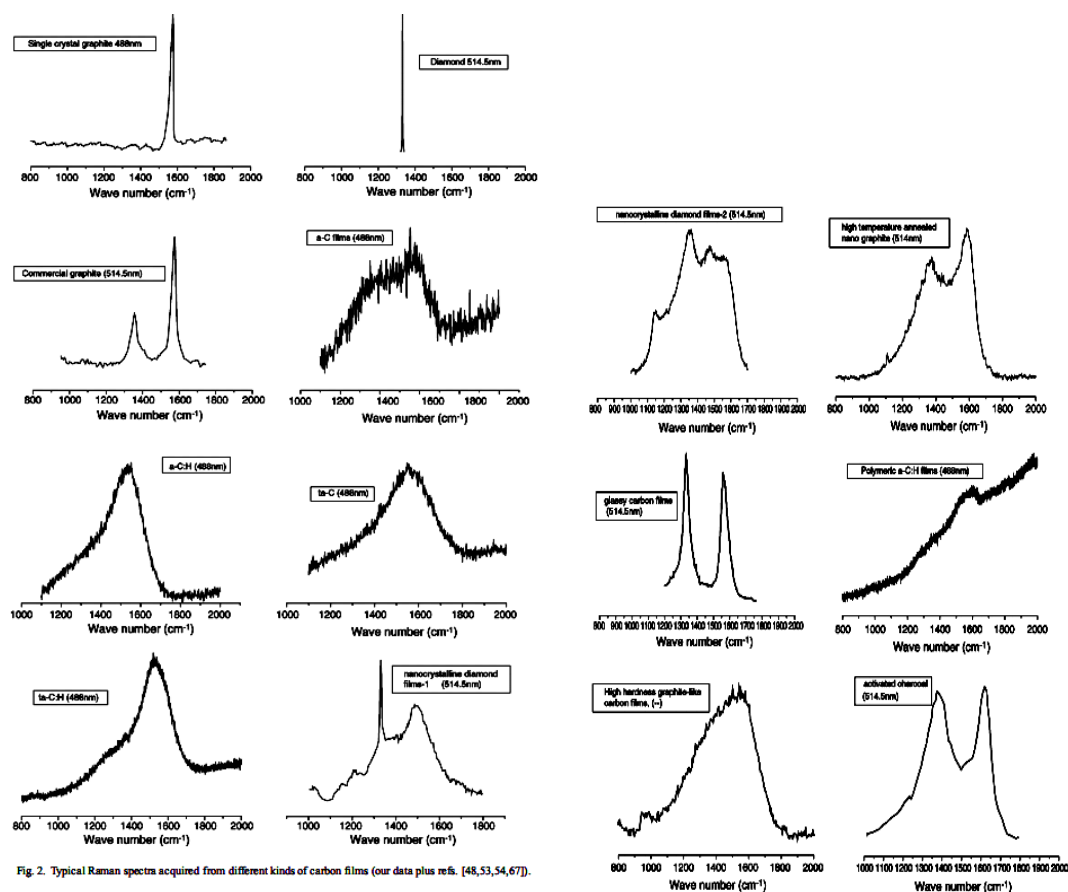


Fig. 2. Typical Raman spectra acquired from different kinds of carbon films (our data plus refs. [48,53,54,67]).

Рисунок–1. Типичные Рамановские спектры, относящийся к различным типам углеродных пленок

В случае sp^1 -углерода наблюдаются две характерные линии 1600 см^{-1} и 2100 см^{-1} . Эти пики относятся к двойным (кумуленовым) связям. 2100 см^{-1} трактуется исследователями по разному - наличием sp^2 -фазы или как колебательная мода длинных цепочек С-С и может представлена как суперпозиция гауссиан (полиининовые и поликумуленовые). Он может изменяться по истечения разного времени после осаждения его на подложку. Для изучаемых пленок линейно-цепочечного углерода характерен “карбиновый” пик 2100 см^{-1} и 1540 (1600 см^{-1}), проиллюстрированного на рис.2.

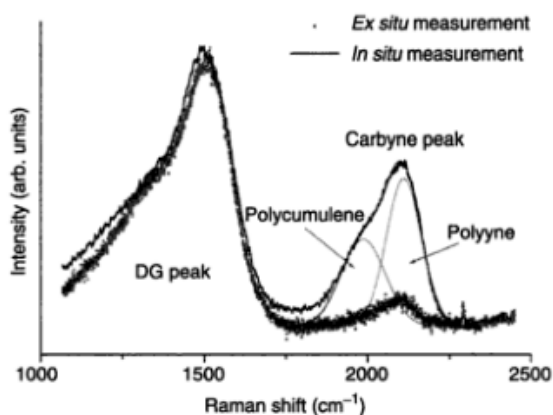


Рисунок 2.– Рамановские спектры углеродных пленок sp^1 , выращенные при комнатной температуре ($I_C/I_{DG}=45\%$)

Измерение КР спектров серии образцов (пленки ЛЦУ (рис.3) и ЛЦУ модифицированную Cd, Ag (рис.4)) производилось при сотрудничестве со

специалистами НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

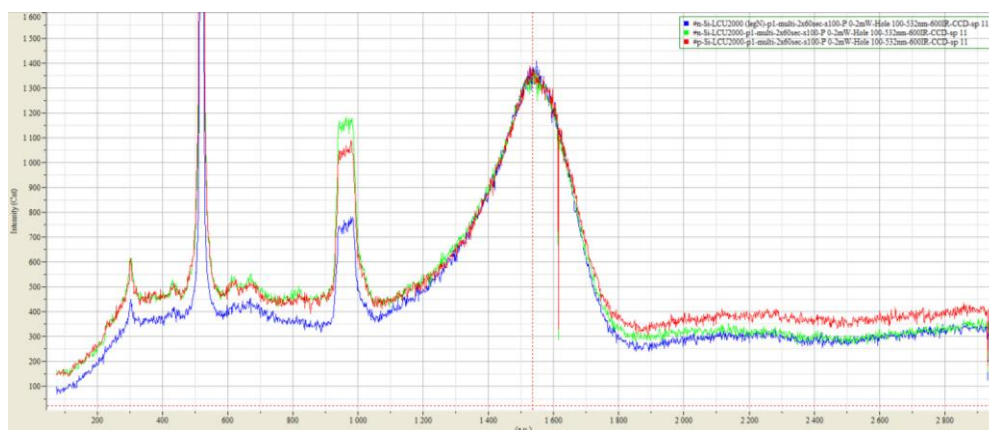


Рисунок 3. – Рамановский спектр ЛЦУ, осажденного на подложку p-Si (зеленая линия), p-Si (красная)

Хорошо видна полоса в районе 1540cm^{-1} , незначительно меняющаяся с толщиной. Контур полосы одинаковый. Также видна кремниевая подложка (полосы $305; 520,7; 900-1000\text{cm}^{-1}$).

На исследуемых образцах в области $3050-3100\text{cm}^{-1}$ обнаружен пик, что указывает на присутствие C-H группы, поскольку $2855 - 3085\text{cm}^{-1}$ трактуются как “C-H stretching mode”. Наличие водорода по ряду сообщений авторов из МГУ им. М.В. Ломоносова (Korobova Y, et.al.) влияет на стабильность матрицы, состоящей из углеродных нитей sp^1 и инициирует присоединение атомов в местах изгиба цепочек [3].

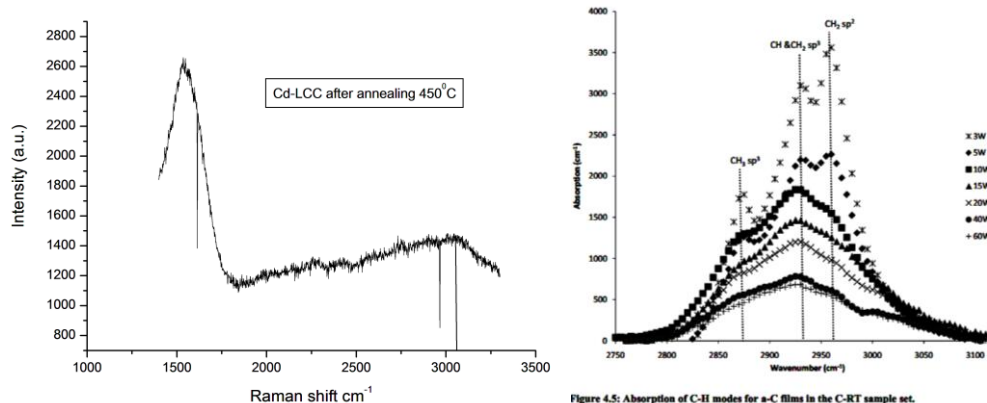


Figure 4.5: Absorption of C-H modes for a-C films in the C-RT sample set.

Рисунок 4 – Рамановские спектры: пленки Cd-ЛЦУ после отжига (а), спектр аморфного углерода a-C выделением пиков от СНх

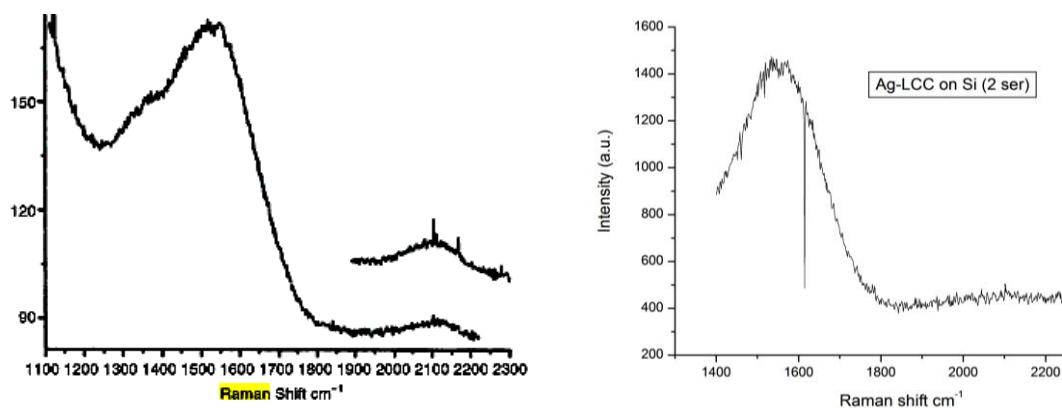


Рисунок 5 – КР-спектр от чистой пленки ЛЦУ и ЛЦУ с атомами Ag

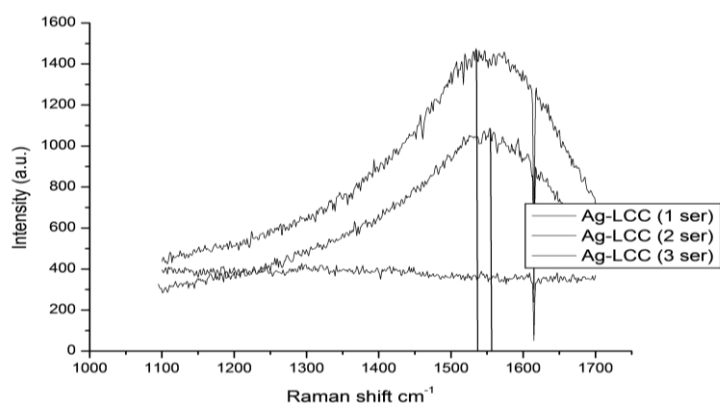


Рисунок 6 – Рамановские спектры для Ag-ЛЦУ при разных толщинах серебра (1-полупрозрачные (100 нм) , 2-прозрачные (50 нм) и 3 –зеркальные (200-300 нм))

Если рассмотреть спектр (рис.7) в диапазоне 100-500 см⁻¹, наблюдается пик на 159 см⁻¹. Рассмотрев исследовательские работы, посвященные интерактированию Ag с углеродными нанотрубками и алмазоподобными пленками, пики 164 см⁻¹ и 248 см⁻¹ связываются с чистым серебром. [4]

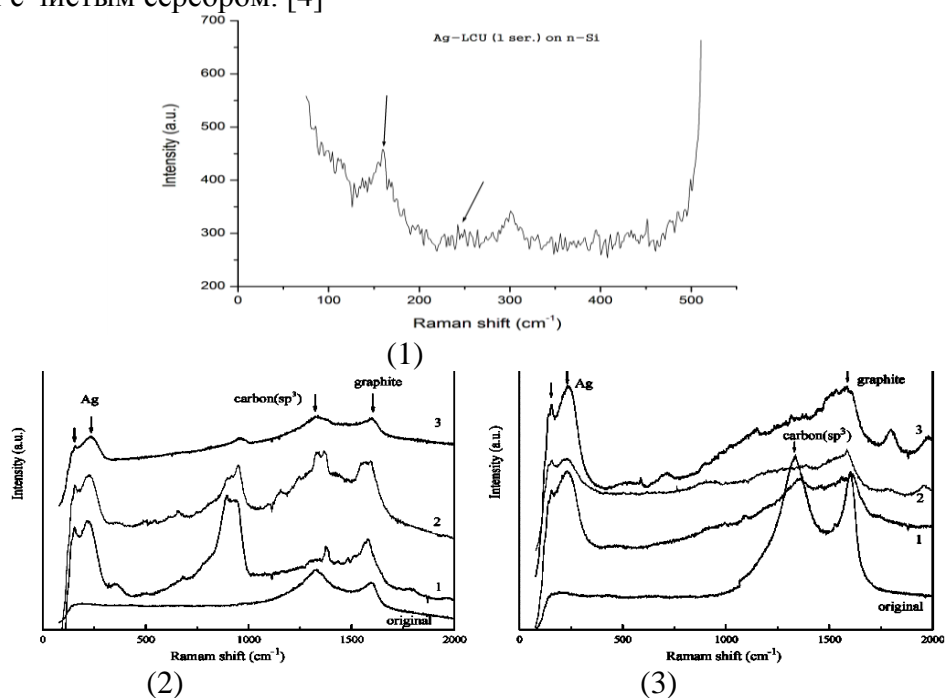


Рисунок 7 – Рамановские спектры для Ag-ЛЦУ (1) контактов Ag-diamond (2), Ag-graphite (3)

Таким образом в КР-спектрах происходит смещение G и C-C полосы (относящийся как было указано выше к вибрационным модам sp¹-углерода) и Ag-пик в сравнении с чистым углеродом и серебром. Исходя из анализа работы с пленками Ag и алмазоподобного углерода (к примеру: «Synthesis of silver like carbon thin films by Magnetron sputtering by Venkatesh Majji, The University of Texas, 2013») выявлена закономерность: с увеличением содержания серебра происходит смещение G-полосы в сторону увеличения см-1 от 1540 до 1580 см-1 и уменьшение FMHWG, что является также общей тенденцией и для исследуемых систем Ag-ЛЦУ.

Литература:

1. Cataldo F., (ed.). Polyynes Synthesis, Properties and Applications (Marcel Dekker and CRC Press, New York, 2005).
2. P.K. Chu, L.Li / Materials Chemistry Physics (2006), pp.253-277 Infrared studies of hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) and its alloys (a-C:H,N,F). Liu, S., et al.: Physical Review B, 1997, Vol. 55. No. 19.
3. Korobova J.G., Guseva M.B., Bazhanov D.I., Khvostov V.V. The Structural Properties of the Sp¹-Carbon Based Materials: Linear Carbon Chains, Carbyne Crystals and a New Carbon Material – Two Dimensional Ordered Linear-Chain Carbon. Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems – II. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security Volume 2, 2011, pp. 469-485.
4. Peng Jiang, Feng Li and Yaping Wang. Effect of Different Types of Carbon on Microstructure and Arcing Behavior of Ag/C Contact Materials // IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 29, No.2, 2006, pp. 420-423.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЁНОК ZNO ДЛЯ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

С.А. Васьков¹, А.Е. Кожин², Н.И. Сушенцов², С.А. Степанов², А.Р. Хадиев¹

¹ Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А.Н. Туполева, г. Казань.

² Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар - Ола.
email: sniyola@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Одной из многочисленных возможностей применения тонких пленок оксида цинка (ZnO) является их использование в качестве прозрачных электрических контактов и буферных слоев в тонкопленочных солнечных элементах (ТПСЭ). По сравнению с методами эпитаксиального роста на кристаллических подложках, технология реактивного магнетронного распыления представляет собой относительно простой и дешевый метод осаждения пленочных покрытий ZnO на стеклянных подложках, которые применяются при изготовлении ТПСЭ. Такие слои должны иметь высокую прозрачность (~80%) и шероховатость поверхности (от 150 до 180 нм), обеспечивающую степень рассеяния света более 20%.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время отмечено возникновение интереса к исследованию свойств структур на основе ZnO покрытий, обусловленных возможностью их применения в качестве высокопрозрачных электрических контактах и буферных слоях в тонкопленочных солнечных элементах.

Оксид цинка – один из перспективных широкозонных материалов, характеризующийся возможностью достижения высоких концентраций собственных дефектов: кислородных вакансий и междуузельных атомов цинка, сверхстехиометрического кислорода (вакансий цинка, VZn), обеспечивающих возможность изменения оптических свойств, проводимости среды и интенсивное свечение в “зеленой”, а также люминесценцию в “красной” области спектра [7-10]. Таким образом, развитие технологии получения кристаллических пленочных p/n-ZnO-структур с варьируемой концентрацией собственных дефектов является актуальной задачей при разработке ряда интегрируемых твердотельных оптоэлектронных устройств с прогнозируемыми оптическими и проводящими свойствами. Повышенный интерес к неэпитаксиальным ZnO-пленочным структурам связан также с возможностью их использования в тонкопленочных солнечных элементах в качестве прозрачных проводящих и буферных слоев [3-6]. В противоположность разработанным методам эпитаксиального наращивания ZnO-слоев на ориентирующих кристаллических подложках, технология реактивного магнетронного распыления представляет собой относительно простой и дешевый метод для осаждения на прозрачных стеклянных подложках кристаллических ZnO- пленочных покрытий высокого оптического качества.

Магнетронное распыление – метод ионного распыления, характерной особенностью которого является наличие магнитного поля у распыляемой поверхности мишени, позволяющей локализовать плазму, и тем самым повысить скорость распыления. Распыленные с мишени атомы осаждаются на подложке в виде пленки.

Развитие методов магнетронного распыления, появление несбалансированных магнетронов позволило значительно расширить область применения магнетронного распыления. За счет особой конфигурации магнитного поля данного магнетрона, ионизация рабочего газа и распыленных частиц происходит не только у поверхности мишени, но и на всем протяжении от мишени до подложки, т. е. рост пленки осуществляется в условиях ионной бомбардировки. Степень ионизации распыленных частиц составляет 10 % и более. Ионная бомбардировка растущей пленки оказывает сильное влияние на микроструктуру и строение кристаллической фазы. Особенно важна ионная бомбардировка подложки при выращивании пленок реактивным распылением. Это, прежде всего пленки нитридов, оксидов и карбидов металлов, которые находят широкое применение в электронике и машиностроении.

Механизм конденсации атомов материала мишени на подложке происходит по нормальному закону [1-2]. Так как основная масса конденсирующегося материала поступает в перпендикулярном к подложке направлении, пленки имеют столбчатую (волокнустую) структуру, где промежуток между волокнами заполняет аморфная фаза. Диаметр отдельных волокон составляет 20–100 нм, что придает пленкам особые свойства, позволяющий их рассматривать как объект нанотехнологий.

При данных условиях особенно актуальным становится применение автоматизированной системы управления технологическим процессом, что позволит не только получить пленки заданного строения, но и обеспечить воспроизводимость полученных результатов.

Авторами данной работы предпринято исследование ключевых параметров, оказывающих влияние на формирование ZnO-пленок

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследована партия нелегированных пленок оксида цинка (геометрической толщиной $h \sim 0,2-1$ мкм. ZnO-пленки формировались методом реактивного магнетронного распыления цинковой мишени в среде аргона с кислородом (60 % Ar, 40 % O₂) при различных технологических параметрах. Технологические параметры представлены в таб. 1.

Таб. 1. Параметры технологического процесса.

Образец	Давление, Па	U, В	I, А	Время напыления, мин.	Температура подложки
M5	0,5	420	1	10	200 ⁰
M6	0,5	420	0,8	10	100 ⁰
M7	0,5	420	0,8	10	50 ⁰
M8	0,2	415	0,7	10	110 ⁰
M9	0,5	415	0,8	10	110 ⁰
M10	1	430	0,8	10	110 ⁰
M11	1,5	420	0,9	10	110 ⁰
M12	2	410	1,3	10	110 ⁰
M13	1	470	2	10	100 ⁰
M14	1	370	0,5	10	100 ⁰
M15	1	550	2,5	10	100 ⁰
M16	1	410	0,7	10	100 ⁰
M17	1	410	0,7	20	100 ⁰
M18	1	410	0,7	30	100 ⁰

Исследования проводились с помощью спектрофотометра «Саггу 5000», сканирующей зондовой лаборатории "Интегра-Аура", спектрометров Horiba HR 800 UV-NiR и Horiba Jobin-Yvon T64000, высокоразрешающего рентгеновского дифрактометра D8Discover (Bruker).

По спектрам пропускания и отражения образцов были определены их толщины и рассчитано среднее пропускание в диапазоне длин волн 400-1100 нм, где происходит основное поглощение в микроморфных кремниевых ТПСЭ. Найдено, что пропускание исследованных пленок ZnO находится в пределах от 74 до 80%.

Эффективность солнечного элемента сильно зависит от степени рассеяния света прозрачными электрическими контактами. Степень рассеяния зависит от шероховатости контактных слоев. В ходе исследования рельефа поверхности пленок методом атомно-силовой микроскопии (в контактном режиме) была определена среднеквадратичная шероховатость пленок ZnO, которая не превышала 10 нм, что типично для магнетронного распыления. Увеличение данного параметра может быть достигнуто за счет постростового травления [11].

В спектрах фотолюминесценции пленок ZnO, измеренных при 300 К, излучение вблизи порога поглощения представлено широкой полосой, которая может быть отнесена к излучению экситонов, локализованных на дефектах. Излучение в области свободных экситонов отсутствует, что указывает на быструю релаксацию экситонов с потерей энергии и их связывание на дефектах. О наличии существенного структурного беспорядка в слоях ZnO свидетельствует также значительная интенсивность в спектрах полос, связанных с глубокими примесными центрами.

Для всех исследованных образцов в резонансных спектрах комбинационного рассеяния (КР) наблюдается ИЛО-фонон и особенности, связанные с много фононными процессами рассеяния на LO фононах вплоть до 7 порядка, что обусловлено значительным количеством примесей и собственных дефектов в слоях. Многофо-

нонное рассеяние указывает на то, что основным механизмом релаксации горячих экситонов, возбуждаемых в резонансном рассеянии, является фрелиховское взаимодействие с LO фононами. Именно этот быстрый механизм релаксации приводит к отсутствию люминесценции в области свободных экситонов.

Наблюдаемые в спектрах нерезонансного КР фононные линии согласуются с правилами отбора для слоев гексагонального ZnO, у которых оптическая ось направлена по нормали к плоскости подложки. Исходя из правил отбора линии, наблюдаемые на частотах 102, 438 и 570 см⁻¹, должны быть приписаны фононным модам E₂¹, E₂² и A/(LO). Мы связываем высокую интенсивность линии 570 см⁻¹ с проявлением Ai(LO) фононов с большими волновыми векторами, которые проявляются в спектре вследствие процесса КР, происходящего с нарушением закона сохранения волнового вектора из-за рассеяния на примесях и дефектах. Существенный уровень структурных дефектов в анализируемых слоях ZnO подтверждается также анализом величин полуширин фононных линий. Этот параметр обратно пропорционален времени жизни фононов и зависит от наличия в слоях дефектов. В то же время сильно выраженная асимметричность фононных линий может быть связана с проявлением размерных эффектов, возникающих в спектрах КР наноклончатых образцов ZnO. Это согласуется с данными, полученными методом рентгеновского дифракционного анализа (РДА), согласно которым слои ZnO имеют совершенную текстуру по (00.1), т.к. присутствуют только отражения от плоскостей (00.2) и (00.4) для гексагональной модификации ZnO, с поперечными размерами колонок в диапазоне 10-30 нм. Результаты ФЛ, КР и РДА измерений указывают на сильную зависимость дефектности слоев ZnO от параметров магнетронного распыления, среди которых давление в рабочей камере является определяющим для получения слоев с минимальным уровнем дефектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа данных, полученных в ходе комплексного исследования, была найдена корреляция между режимами осаждения нелегированных слоев ZnO и их оптическими свойствами, рельефом поверхности и кристаллической структурой. Это позволило разработать рекомендации по оптимизации процесса осаждения слоев ZnO методом магнетронного распыления. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку технологии осаждения легированных Al слоев ZnO и изучение возможности их применения в составе ТПСЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянин А. Ф. Получение пленок AlN. (Обзор) // Материалы 7 Международного симпозиума «Тонкие пленки в электронике». Йошкар-Ола. 1996. С. 167-112.
2. Кузьмичев А.И. Импульсные магнетронные распылительные системы // Материалы XIV международной научно-технической конференции «Тонкие пленки в электронике». Харьков. 22–27 апреля 2002. С.221–224.
3. W.-J. Jeong, G.-C. Park. // Solar Energy Materials and Sollar Cells, 65, pp. 37-45, (2001).
4. V.F. Gremenok, I.V. Bodnar, R.W. Martin, M.V. Yakushev, I. Martil, F.L. Martinez, E.P. Zaretskaya, I.A. Victorov, O.V. Ermakov, C.A. Faunce, R.D. Pilkington, A.E. Hill, R.D. Tomlinson, Proceed. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, pp. 763-766, (2001).
5. V.F. Gremenok, R.W. Martin, I.V. Bodnar, M.V. Yakushev, W. Schmitz, K. Bente, I. Martil, F.L. Martinez, E.P. Zaretskaya, I.A. Victorov, O.V. Ermakov, C.A. Faunce, R.D. Pilkington, A.E. Hill and R.D. Tomlinson, Thin Solid Films, 394(1-2), pp. 23-28, (2001).

6. E.P. Zaretskaya, V.F. Gremenok, V.B. Zalesski, R.W. Martin, V.A. Ivanov, I.A. Victorov, M.V. Yakushev, O.V. Ermakov and F.V. Kurdesau, // Solid State Phenomena, 80-81, pp. 287-292, (2001).
7. O. Agyeman, C.-N. Xu, W. Shi, X.-G. Zheng and M. Suzuki // Jpn. J. Appl. Phys., 41 pp. 666-669, (2002).
8. M. Koyano, P. Quoc Bao, Le thi Thanh Binh, Le Hong Ha, N. Ngoc Long, and S. Katayama // Phys. Stat. Sol.(a), 193(1), pp. 125-131, (2002).
9. D.C. Look, R.L. Jones, J.R. Sizelove, N.Y. Garces, N.C. Giles, L.E. Halliburton // Phys. Stat. Sol. (a), 195(1) pp. 171-177, (2003).
10. М.Б. Котляревский, А.Н. Георгобиани, И.В. Рогозин, А.В. Мараховский // ЖПС, 70 сс. 86-89, (2003).
11. J. Mttler, B. Rech, J. Springer et al., Solar Energy 77 (6), 917 (2004).

ЯДЕРНАЯ СПИН-РЕШЕТОЧНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДАХ

Шульгин Д.А., Шмидт С.В., Матухин В.Л., Шмидт Е.В.
 Казань. Казанский государственный энергетический университет
dmitriy.shulgin@yahoo.com

Прозрачные проводящие оксиды (ППО) рассматриваются как важный компонент целого ряда солнечных элементов (СЭ). Слои полупроводниковых соединений, относящихся к прозрачным проводящим оксидам (ZnO, SnO₂, ITO, TiO₂), используются как для улучшения токосяема, так и для изменения оптических свойств. В последние годы появились работы, в которых сообщается об использовании в солнечной энергетике ППО на основе соединений со структурой делафоссиита-минерала CuFeO₂ [1,2]. В эту группу ППО входит полупроводниковое соединение CuAlO₂. Активный интерес к соединениям, имеющим химическую формулу CuMO₂, где М – трехвалентный металл (М-Al, Ga, Sc, Y, Cr), связан прежде всего с р-типом проводимости этих материалов. Целью настоящей работы является изучение методом ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР ^{63,65}Cu) ядерной спин-решеточной релаксации изотопов меди в полупроводниковом соединении CuAlO₂. Такое изучение может дать ценные сведения о величине и механизмах взаимодействий между ядерными спинами и флуктуирующими локальными магнитными и электрическими полями.

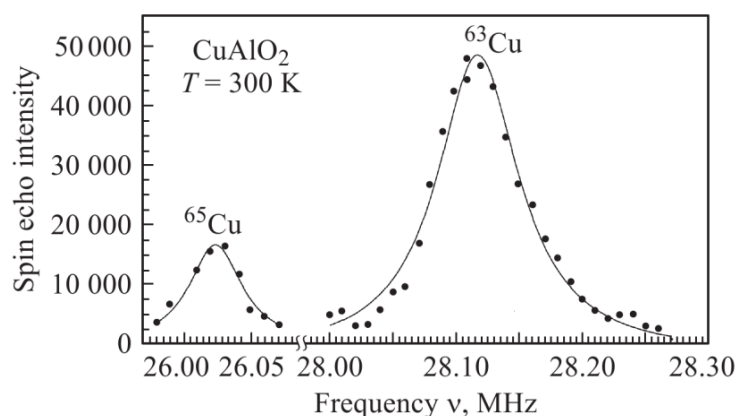


Рисунок 1. Спектр ЯКР ^{63,65}Cu в полупроводниковом соединении CuAlO₂ (T = 300 K)

Поликристаллический образец соединения CuAlO_2 , на котором проводилось исследование, был приготовлен стандартным методом твердофазного синтеза и имел преимущественно ромбоэдрическую модификацию (3R). Детали синтеза, химические и структурные параметры соединения аналогичны приведенным в [3]. Измерения проводились на многоимпульсном спектрометре ЯКР Tecmag-Redstone. Времена ядерной спин-решеточной релаксации обоих изотопов меди измерялись методом «инверсия-восстановление» с последующей регистрацией кинетической кривой восстановления равновесного значения ядерной намагниченности. Интенсивность сигналов спинового ЯКР-эха измерялась в зависимости от временной задержки после начального инвертирующего 180° импульса, при этом релаксационная функция имеет сравнительно больший размах, чем при использовании метода «насыщение-восстановление», что существенно при малом отношении сигнал/шум. Предварительно производилась настройка 90° и 180° импульсов, т.к. результаты измерения релаксационных параметров сильно зависят от точности установки длительности радиочастотных импульсов. Измерения формы линий ЯКР $^{63,65}\text{Cu}$ осуществлялись с использованием квадратурного детектирования путем записи квадратурного спинового эха с пошаговым прохождением частотного диапазона и накопления сигналов, такие измерения необходимы для точной настройки спектрометра на резонансную частоту. Для исследуемого образца длительности первого и второго импульсов были 4 и 8 мкс, соответственно. Интервал между импульсами 70-90 мкс, период повторения 500 мс. Используемое число накоплений – 1000, период дискретизации сигнала – 5 мкс.

Спектр ЯКР $^{63,65}\text{Cu}$ в образце соединения CuAlO_2 , полученный при комнатной температуре, представлен на рисунке 1. Спектр состоит из двух линий, отнесенных к сигналам ЯКР от двух изотопов меди ^{63}Cu и ^{65}Cu , с заметно отличающейся естественной распространенностью (natural abundance, $^{65}\text{N}_A/^{63}\text{N}_A = 0.45$). Оба изотопа меди имеют ядерный спин $I = 3/2$ и различные гиромагнитные отношения γ_N и квадрупольные моменты Q , $\gamma_N = 7.11 \cdot 10^{-7}$ и $7.60 \cdot 10^{-7}$ рад \cdot с $^{-1}$ Т $^{-1}$, а $Q = -22 \cdot 10^{-30}$ и $-20.4 \cdot 10^{-30}$ м 2 для ^{63}Cu и ^{65}Cu соответственно [4].

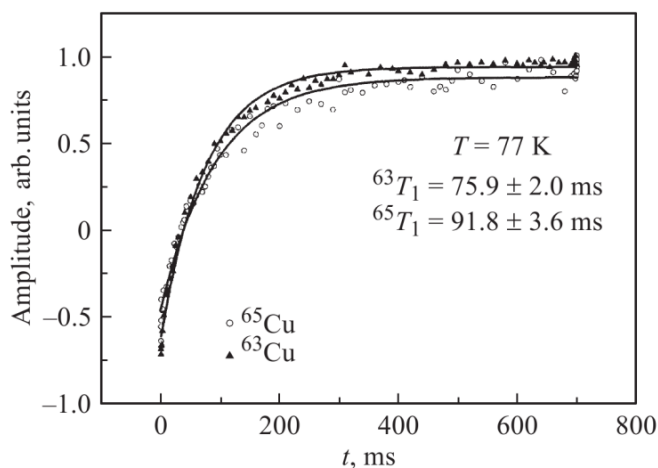


Рисунок 2. Кривые восстановления ядерной намагниченности $^{63,65}\text{Cu}$ в полупроводниковом соединении CuAlO_2 ($T = 77$ K)

Таким образом, в настоящей работе при температурах $T=77, 300$ K измерены спектр ЯКР $^{63,65}\text{Cu}$ и скорость ядерной спин-решеточной релаксации двух изотопов меди в полупроводниковом соединении CuAlO_2 , что позволило разделить магнитный и электрический квадрупольный вклады в ядерную спиновую релаксацию.

Полученные результаты были использованы для оценки транспортных характеристик подвижных носителей заряда ($T=300$ К). Обнаружено, что соотношение вкладов в ядерную спин-решеточную релаксацию изменяется с температурой и при $T=77$ К релаксация ядер меди в CuAlO_2 носит квадрупольный характер.

Литература

1 А.В. Дмитриев, И.П. Звягин. УФН, 180, 821 (2010).

2 D.J. Singh. Phys. Rev. B, 77, 126 (2008).

3 А.Г. Залазинский, В.Ф. Балакирев, Н.М. Чеботаев, Г.И. Чуфаров. Журн. неорганической химии, 14, 624 (1969).

4 Bruker. Almanac 2005 (2005).

ОБРАЗОВАНИЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ В ПЛАМЕНИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

О.В. Васильева¹, А.Н. Лепаев², С.И. Ксенофонтов³
ЧГУ им.И.Н. Ульянова¹, Чебоксарский политехнический институт (филиал)
Университета машиностроения², ЧГПУ им.И.Я. Яковлева³

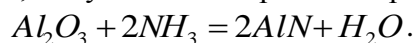
Нитрид алюминия получил техническое применение в конце XX века как материал с высокой теплопроводностью $\lambda = 285 \text{ Вт/м К}$ и высоким удельным сопротивлением $\rho_{эл} > 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а впоследствии стал использоваться как альтернативный материал токсичному оксиду бериллия [1].

Температура плавления нитрида алюминия колеблется в пределах $2273 \div 2773$ К. Разброс температуры связан с тем, что нитрид алюминия начинает разлагаться еще при температуре $T_{разл} = 2673$ К, не достигнув температуры плавления (согласно справочным данным $T_{пл} = 2473$ К). Нитрид алюминия при нормальных условиях устойчив к агрессивным средам.

Методы получения нитрида алюминия весьма разнообразны.

Порошки нитрида алюминия получают путем азотирования алюминия при температурах $T = 1073 \div 1473$ К. Возможно частичное спекание частиц алюминия, а образовавшиеся оксид алюминия и нитрид алюминия создают на поверхности частицы непроницаемую для азота пленку. Скорость азотирования заметно уменьшается. С увеличением дисперсности алюминия выход полезного продукта значительно повышается. Например, порошок алюминия ПА-4 азотируется в конечные продукты нитрида алюминия с процентным выходом не более $50 \div 70\%$.

Нитрид алюминия можно получить и иным способом, пропустив через алюминий аммиак. В результате, получается водород и нитрид алюминия



Таким образом, получение нитрида алюминия процесс длительный/ с ограниченным выходом конечного продукта.

В ряде работ [2] было отмечено, что при горении нанопорошков алюминия в воздухе имеет место образование нитридов алюминия. Нитриды алюминия образуются также при горении металлизированных конденсированных систем. Образовавшиеся при горении пироксилина окислы азота, реагируя с металлом, могут привести к образованию нитрида алюминия.

В данной работе изучалось горение металлизированного алюминия в пламенах конденсированных систем. Компонентный состав исследуемого образца: пироксиллин -

до 50%, порошок алюминия (ПА-2) – 25%, нитрат калия – 15%, технологические добавки не более 10%.

При перемешивании состава равномерное распределение компонентов по всему ее объему маловероятно. Отдельные частицы окислителя или металла могут быть расположены среди частиц пироксилина. Образуются так называемые “карманы”, включающие в себя частицы или только окислителя, или только металла (ПА-2), или же окислителя с металлом в разных пропорциях. Геометрические размеры таких карманов могут достигать ~ 1 мм.

Температура поверхности горения данного образца составляет $500 \div 600$ К. На поверхности горения состава частицы алюминия не воспламеняются, окислителя – начинают газифицироваться. Образуется значительное количество газообразных продуктов, которые выносят в пламя все частицы, находящиеся на поверхности горения. Максимальная температура пламени $T_{\max} = 2300$ К. В такой среде возможно появление частиц, как оксидов, так и нитридов алюминия.

Эффективное газообразование пироксилина позволяет вынос в пламя содержимое карманов. Такие частицы – комплексы в пламени реагируют по-разному. Частицы-комплексы, состоящие из частиц металла, реагируют в парофазном режиме, образуя как оксиды, так и нитриды алюминия. Пары продуктов горения конденсируются в дисперсные частицы вне зоны пламени.

Частицы-комплексы, состоящие из металла и окислителя, реагируют как в парофазном режиме, так и внутри частицы. Внешний вид частицы довольно сложный. На одном конце частицы накапливается жидкая фаза, на другом – растет почти сферической формы колпак-скорлупа. Пустотелая скорлупа сложена из сферических шариков диаметром $15 \div 20$ мкм, которые укладываются в два ряда в толще скорлупы.

Нитрид алюминия образуется в виде жидкой фазы. В парофазном пламени образуются как оксиды, так и нитриды алюминия. Таким образом, частицы-комплексы сгорают в ином режиме, чем одиночные частицы металла.

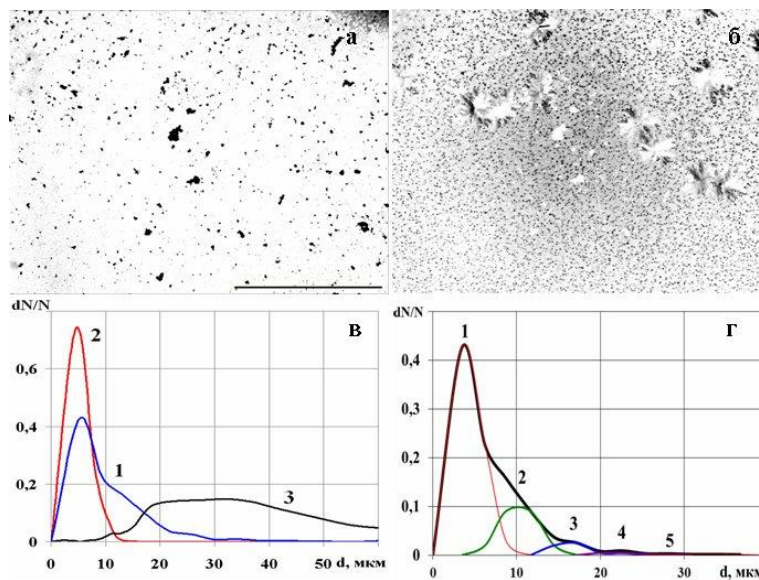


Рис. 1 – Дисперсные частицы в центральной зоне пламени. Участок пробоотборника: а) в отраженных лучах (репер 1 мм), б) в проходящем поляризованном луче.

Функции распределения частиц по размерам в) и г).

Эквивалентные диаметры частиц в модах, в мкм: 1 – 3,75; 2 – 10,4; 3 – 16,6; 4 – 22,5; 5 – 27,5

Отбор проб дисперсной фазы производился на стеклянные пластинки методом проноса на определенной высоте над поверхностью горения. Поверхности пробоотборников подвергались микроскопическому анализу, в ходе которого были

обнаружены частицы различные по форме и размерам (рис. 1). Получены функции распределения частиц по размерам.

Распределение частиц по размерам в отраженных лучах имеет многомодальный характер (рис. 1в, кривая 1). Выделяют 5 мод (рис. 1г) с характерными размерами диаметра частиц 3,75; 10,4; 16,6; 22,5; 27,5 мкм.

Однако тот же участок пробоотборника при наблюдении в поляризованных проходящих лучах имеет иной вид (рис. 1б). Выявлено дополнительно 3958 частиц. Частицы являются фазовыми объектами, которые создают для проходящего света дополнительную разность хода. Функция распределения частиц по размерам имеет одномодальный характер (рис. 1в, кривая 2).

Дополнительные исследования данных распределения позволили получить аналитические выражения:

$$f_1 = 0,942 \exp(-0,153d_p) \text{ и } f_2 = 15,59 \exp(-0,599d_p).$$

Одномодальность распределения оптически прозрачных частиц говорит о том, что эти частицы сформировались почти при одинаковых условиях, т.е. при конденсации из паровой фазы.

Топография поверхности участков пробоотборников изучалась на атомно-силовом микроскопе SOLVER NEXT. Параметры шума данного микроскопа не превышают 10^{-12} м на участке сканирования поля размерами 3x3 мкм и $3 \cdot 10^{-11}$ м по высоте объекта исследования.

На рис.2 приведена топография поверхности пробоотборника, пронесенного на высоте 3 см над поверхностью горения. Из рисунка видно, что имеются растекающиеся частицы размерами 1 ÷ 1,5 мкм с довольно гладкими поверхностями. В некоторых местах на поверхности крупной частицы расположились “застывшие” частицы, меньших размеров. Профиль поверхности исследованного участка приведен на рис. 2б. По приведенному графику можно определить характерные размеры частиц.

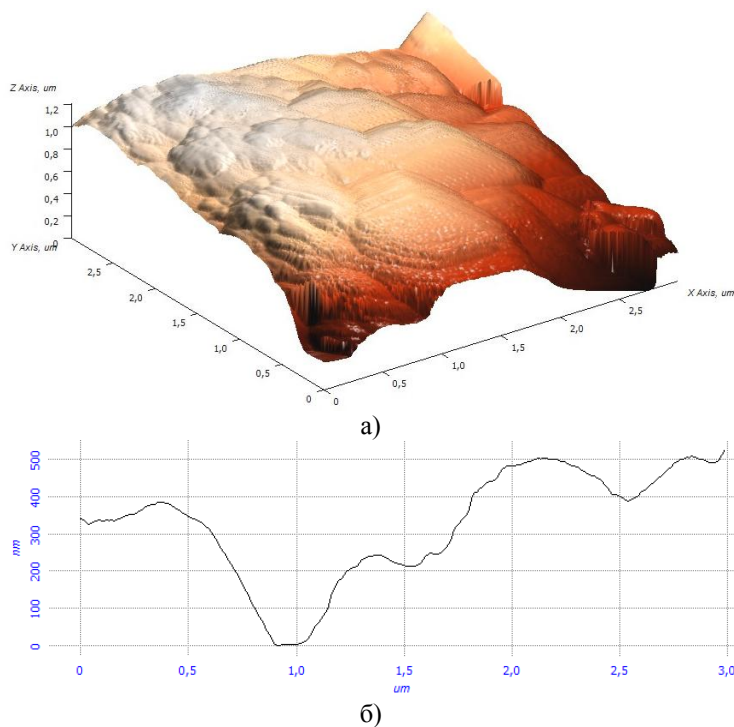


Рис. 2 – Топография поверхности пробоотборника а) 3D-изображение в масштабе 3x3 мкм, б) изображение профиля поверхности. Высота проноса $h = 3$ см

На рис. 3а приведена топография поверхности участка пробоотборника, пронесенного на высоте 13 см над поверхностью горения. Из рисунка видно, что размеры крупных частиц почти такие же 1 ÷ 1,5 мкм. Частицы малых размеров,

растекающиеся по поверхности крупной частицы, составляют уже $0,1 \div 0,2$ мкм, но степень растекания их меньше, чем в первом случае.

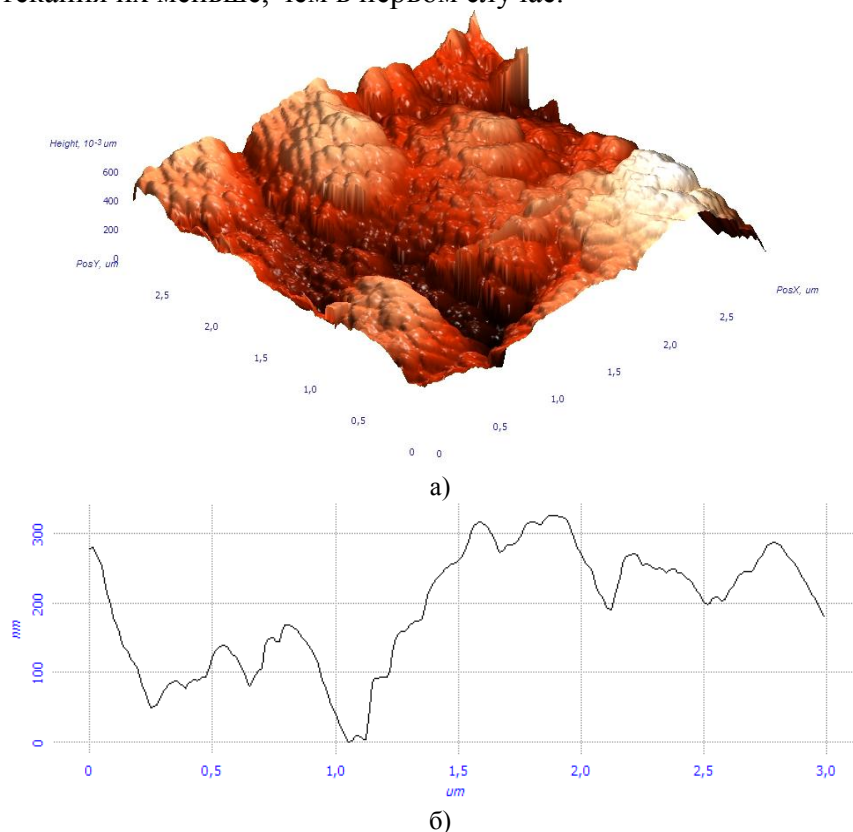


Рис. 3 – Топография поверхности пробоотборника а) 3D-изображение в масштабе 3×3 мкм, б) изображение профиля поверхности. Высота проноса $h = 13$ см

Таким образом, при горении металлизированного алюминия в пламенах конденсированных систем образуются различные частицы, как по размерам, так и по химическому составу. Оптически прозрачные частицы соответствуют нитриду алюминия. Частицы, образующиеся в пламени, имеют микронные (оптический микроскоп), так и субмикронные (АСМ) размеры.

Литература

1. Самсонов, Г. В. Нитриды / Г. В. Самсонов. – Киев : Наукова думка, 1969. – 380 с.
2. Ильин, А. П. О горении сверхтонкого алюминия в воздухе / А. П. Ильин, А. А. Громов, В. И. Верещагин и др. // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т.37. – №6. – С. 56–60.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИНАРНОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Pb-Se

Краснова А.Г., Иванова А.В., Белова А.В.
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова
aliska816@mail.ru

В настоящее время весьма актуален вопрос исследования свойств поверхностей тонких пленок, которые имеют достаточно большую перспективу использования в устройствах микроэлектроники.

Целью данной работы является обработка методов синтеза бинарной пленочной системы Pb-Se, которые должны привести к созданию новых материалов.

В экспериментах использовались двухслойные плёночные образцы Pb-Se, полученные в вакууме термическим осаждением на стеклянные подложки с последующим отжигом в атмосфере азота при 250⁰С в течение 45 минут.

По результатам снятия общего РФЭС-спектра был выяснен приповерхностный состав пленок. Основными элементами входящими в состав оказались Pb, Se, O. На рисунке 1 представлен РФЭС-спектр основных элементов, входящих в плёночные системы Pb-Se.

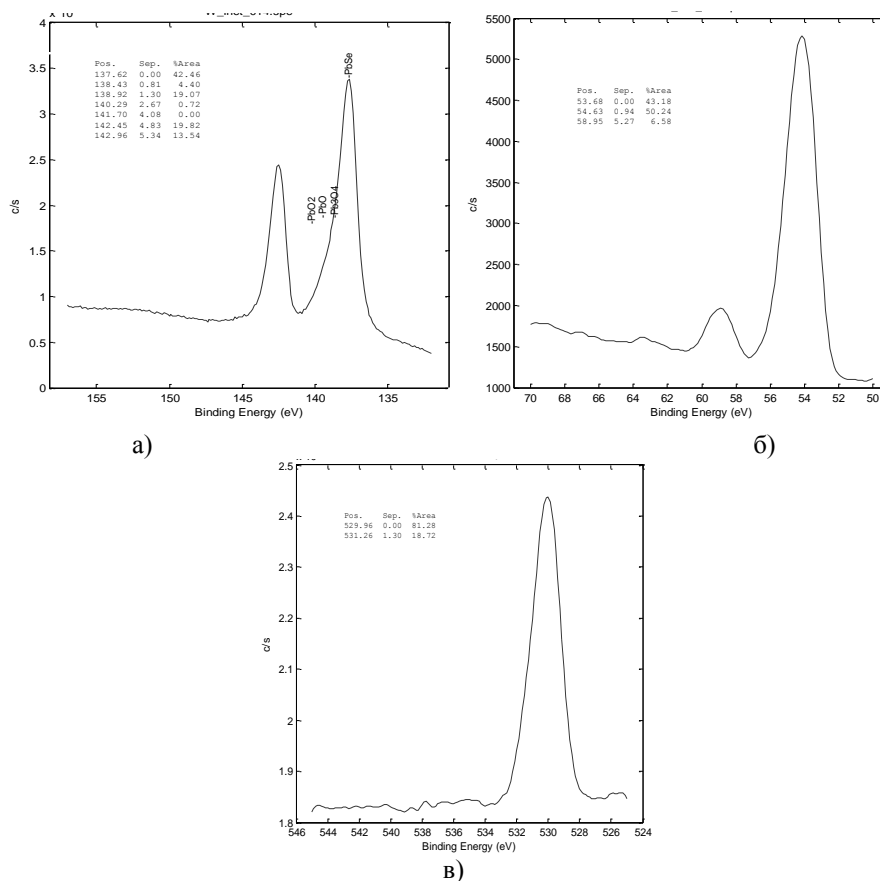


Рисунок 1. РФЭС –спектр: а) линии свинца Pb4f , б) линии селена Se3d3, в) линии углерода O1s

Разложение и анализ химических связей показывает, что свинец в основном находится в химическом соединении с селеном (рис.1, а). Незначительную часть составляют оксиды свинца. Линия двойная – пик на 142 eV – линия свинца Pb5f. Максимум линии Se3d3 находится приблизительно на ~ 54.5 eV (S порядка 50%), соответствующий соединению PbSe (рис. 1,б). Линию кислорода можно описать 2-мя основными соединениями, которые можно интерпретировать, как оксиды свинца и селена (рис.1, с).

В работе исследовались температурные зависимости сопротивления резисторных структур на основе тонкопленочной системы PbSe. Из литературных источников [1] известно, что такой зависимостью обладают электронные устройства – позисторы.

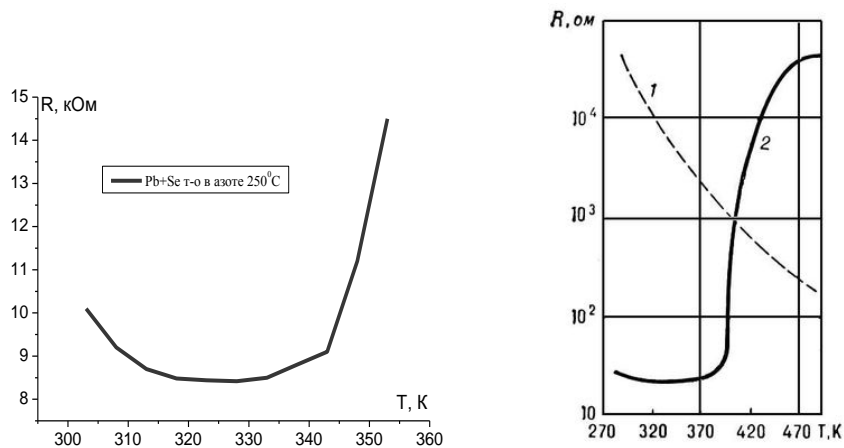


Рисунок 2. Зависимость сопротивления от температуры: а) бинарной тонкопленочной системы Pb-Se, б) терморезистора: 1 — ТКС < 0, 2 — ТКС > 0

Сравнение с данными [1] свидетельствует о том, что начиная с 70⁰С пленка PbSe, полученная по выше описанному методу, имеет положительный температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

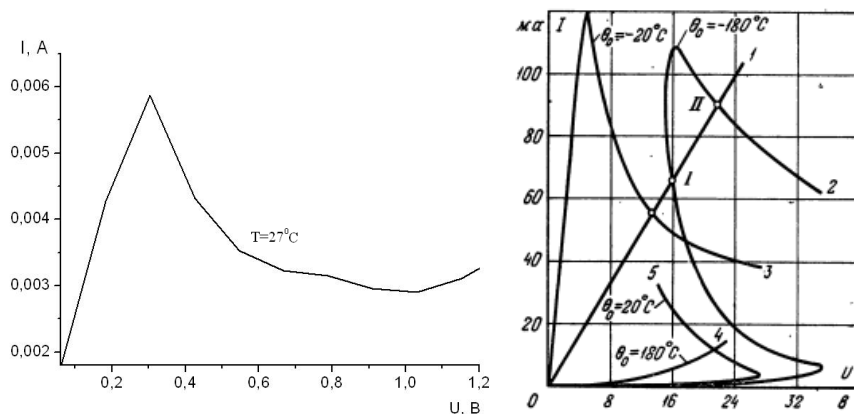


Рисунок 3. Вольтамперные характеристики: а) бинарной системы Pb-Se, б) линейного резистора (1), позистора (2-4) и термистора (5)

Из рисунка 3 видно, что ВАХ системы Pb-Se имеет выраженный нелинейный характер как у позистора [1].

Таким образом, обнаружен позисторный эффект бинарной тонкопленочной системы Pb-Se.

Работа выполнена в рамках программы УМНИК, договор №338ГУ1/2013.

Литература

1. Минкин, С.Б. Позисторы / С.Б. Минкин, А.Г. Шашков – М.: «Энергия», 1973. – С.-55

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Cd-ЛЦУ

Кокшина А.В., Белова А.В., Кочаков В.Д.
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова
annika21@mail.ru

В настоящее время внимание многих исследователей привлечено к изучению различных фотоактивных соединений. Это обусловлено возможностью практического применения данных соединений в качестве фотосопротивлений, различных датчиков, солнечных элементов. Фотопроводимость — увеличение электропроводности под действием света. Как известно, фотоактивные свойства чаще всего проявляют соединения кадмия, теллура, селена. Бинарные соединения этих элементов довольно хорошо изучены.

В данной работе представлены результаты исследования тонкопленочной системы Cd-ЛЦУ, обладающей фотоактивными свойствами.

Внедрение атомов кадмия в межцепочечное пространство линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) может происходить без химического взаимодействия (интеркалирование), или с разрывом π -связи, которое может закончиться реакцией присоединения. В первом и во втором случае получается металлсодержащая модифицированная углеродная пленка с новыми свойствами.

Исследование оптических свойств и морфологии поверхности данной системы приведены в работе [1].

Рентгено-фотоэлектронный спектр (РФЭС) системы Cd-ЛЦУ приведен на рисунке 1. Исследование проводили на приборе LAS – 3000 (“Riber”), оснащенном полусферическим анализатором с задерживающим потенциалом ОРХ-150. Для возбуждения фотоэлектронов использовали рентгеновское излучение алюминиевого анода ($AlK_{\alpha} = 1486,6$ эВ) при напряжении на трубке 12 кВ и токе эмиссии 20 мА. Калибровку фотоэлектронных пиков проводили по линии углерода C 1s с энергией связи (Eсв) 285 эВ.

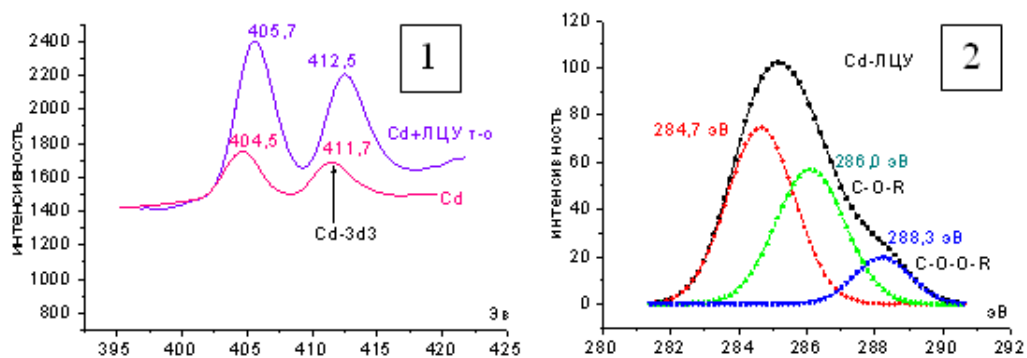


Рис. 1. РФЭС-спектры системы Cd – ЛЦУ (1) и углерода находящегося в данной системе (2)

Стрелкой указан один из максимумов чистого кадмия в состоянии Cd3d3. Верхний спектр относится к кадмию находящемуся в пленочной системе Cd-ЛЦУ после термообработки. Наблюдается положительный химический сдвиг, равный 0,8 эВ, который свидетельствует о возможной реакции присоединения атомов кадмия к линейной цепочке углерода через разрыв π -связи при отжиге [1].

Химический сдвиг в РФЭС спектрах подтверждается и наблюдается в Рамановских спектрах, полученных на отожженных пленках Cd-ЛЦУ, что показано на рисунке 2. Спектр получен на спектрометре LabRam HR800.

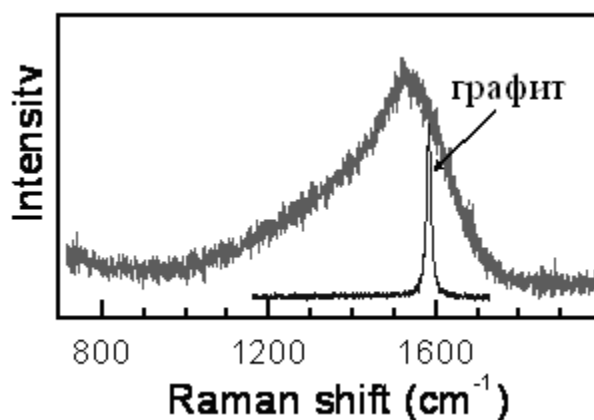


Рис. 2 – Рамановский спектр пленочной системы Cd-ЛЦУ после отжига

Данная система исследовалась также на просвечивающем электронном микроскопе Jem-2100. На рисунке 3 представлена кластерная структура, которая сформировалась в результате термической обработки пленочной системы Cd-ЛЦУ. Полученные экспериментальные данные не укладываются в общепринятые схемы синтеза бинарных полупроводников. В рассматриваемом случае при нагреве происходит прямое взаимодействие между кадмием и углеродом. Это взаимодействие не может привести к образованию между ними химической связи, согласно исследованиям общей химии.

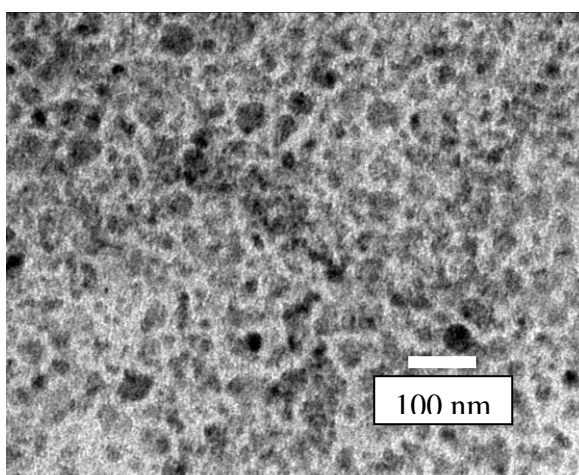


Рис. 3 – Структура пленочной системы Cd-ЛЦУ, полученная на просвечивающем электронном микроскопе после отжига

Результат, представленный на рисунке 3, можно объяснить интеркаляцией – внедрение одного вещества в пустоты другого без химического взаимодействия. Отсутствие химической связи между кумуленовыми цепочками углерода допускает такой процесс.

После отжига система приобретает фотоактивность. Иллюстрация фотоактивности представлена на рисунке 4.

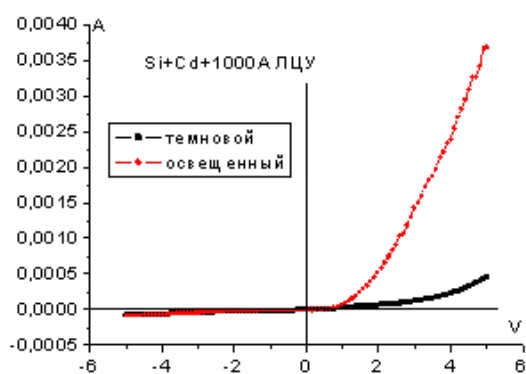


Рис. 4. Фотоотклик системы Si-Cd-ЛЦУ после термообработки

Расчет ширины запрещенной зоны систем проводился оптическим методом. Была рассчитана ширина запрещенной зоны для систем Cd-ЛЦУ с толщиной слоя ЛЦУ 1000Å и 2000Å. Для системы Cd-ЛЦУ1000Å ширина запрещенной зоны составила примерно 2,52 эВ, а для системы Cd-ЛЦУ2000Å - 2,39 эВ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-02-31203 мол_а.

Литература

1. Белова А.В., Кокшина А.В., Кочаков В.Д. Особенности взаимодействия углерода в состоянии Sp1 с некарбидообразующими металлами // Вестник Чувашского университета. 2012. №3. с 41-43.

НАПРАВЛЕНИЕ

«Технологии и методы осаждения тонких пленок аморфного кремния»

(в том числе, уменьшение размеров солнечных элементов и расходов на их производство, увеличение эффективности СЭ, технологические особенности выращивания слоев и диагностика фотоэлектрических характеристик)

МИНИМИЗАЦИЯ ШИРИНЫ РЕЗА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКЕ ОКСИДА ЦИНКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ТПСМ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Ф.С. Егоров¹, Д.Н. Редька²

¹г. Чебоксары, ЧГУ им И.Н. Ульянова. ² г. Санкт-Петербург СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

В производстве тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния, важную роль занимает операция лазерного скрайбирования (структурирования). Роль скрайбирования заключается в создании на поверхности солнечного модуля (СМ) отдельных элементов и их последовательной коммутации [1]. Это необходимо для получения на выходе СМ требуемых значений электрического напряжения и тока. Уровень выдаваемого модулем напряжения зависит от числа солнечных элементов в модуле, а значения токов – от площади элементов.

Операции разделения модуля и коммутация элементов подразделяются на три этапа, условно именуемых Pattern1 (P1), Pattern2 (P2) и Pattern3 (P3). Данные процессы чередуются последовательно с операциями послойного нанесения рабочих слоев из газовой фазы в производственном процессе. Особенностью рассматриваемых процессов является то, что облучение лазером происходит со стороны стекла. После осаждения на стекло фронтального прозрачного проводящего оксида ZnO производится операция скрайбирования P1. Этот процесс необходим для сегментации слоя оксида цинка. После проведения P1 производится нанесение рабочей pin-структуры, для сегментации которой производится процесс P2 и нанесение тыльного токосъемного слоя оксида цинка, который так же сегментируется в процессе P3. В результате проведения трех скрайбирований солнечный модуль является системой отдельных ячеек соединенных последовательно-параллельно. В данной работе будет рассматриваться процесс P1.

В случае P1 применяется лазерное излучение с длиной волны 355 нм, которая прозрачна для стекла (рис. 1 а), но активно поглощается слоем ZnO (рис. 1, б).

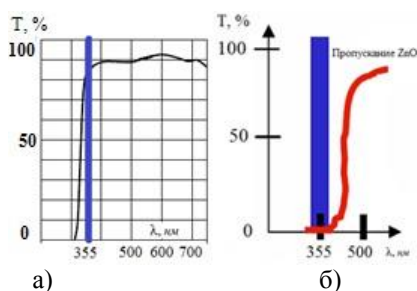


Рис. 1 а) пропускание стекла б) пропускание оксида цинка

Необходимо обеспечить полное удаление материала фронтального контакта ZnO в месте прохождения лазерного луча. Для контроля качества процесса P1 измеряется значение сопротивления между ячейками, разделенными полученным резом.

Измеренные значения должны быть не менее, чем 1 МОм. Значения изоляционного сопротивления менее 1 МОм свидетельствует о наличии шунтирующих сопротивлений между ячейками. Влияние шунтирующего сопротивления на коэффициент формы вольт-амперной характеристики солнечного модуля описывается формулой (1) [2].

$$I = I_s \left[\exp \frac{e(U - IR_{\Pi})}{R_{\text{III}}} \right] + \frac{U - IR_{\Pi}}{R_{\text{III}}} - I_{\phi} \quad (1),$$

где I_s - ток насыщения, e - заряд электрона, I_{ϕ} - величина фототока, T - температура, R_{Π} - последовательное сопротивление, R_{III} - шунтирующее сопротивление.

При малых мощностях лазерного импульса (меньше 0,18 Вт) невозможно получить непрерывный рез, в результате чего возникают шунты (рис.2). Важным фактором, является значение ширины получаемой «дорожки». Стоит отметить, что увеличение ширины реза влечет за собой уменьшение активной площади солнечного модуля и, как следствие, падение значения фототока солнечного модуля (фототок зависит от «активной площади» СМ - площади СМ, участвующей в генерации носителей зарядов)[2]. На значение ширины реза напрямую влияют такие технологические параметры как мощность лазерного импульса, используемого при обработке, фокусировка лазерного пучка. В случае неверного выбора значений мощности лазерного импульса и фокусировки получающаяся «дорожка» имеет большую ширину и имеет нарушения геометрической формы, как показано на рис 2. Негативный эффект от нарушения формы резов заключается в том, что, из-за получающейся криволинейности дорожек, площади солнечных элементов не будут равны. Выходной ток солнечного модуля определяется по наименьшему току среди вырабатываемых солнечными элементами, входящими в состав СМ. Таким образом, возрастает риск получения ячеек с площадью меньше требуемой для обеспечения необходимых значений. В ходе такого процесса так же возможно отслаивание оксида цинка от подложки, что может привести к «проколу» рабочей структуры и возникновению замыканий рабочих слоев.



Рис. 2. Микрофотография реза P1. Мощность лазерного пучка выбрана неверно.

Толщина осажденного ZnO не одинакова по всей площади СМ, это тоже оказывает влияние на значение ширины скрайба согласно формуле [3]:

$$l/2 \cong r = r_0 + \text{tg} \gamma h \quad (2),$$

где l - ширина скрайба, r - радиус полученного отверстия от одного импульса, r_0 - радиус лазерного пучка на месте фокусировки на поверхности образца, γ - половинный угол, под которым сфокусированный луч падает на образец, h - толщина слоя ZnO на месте падения лазерного луча.

В случае правильно выбранных параметров профиль реза будет подобен изображенному на рис. 3.

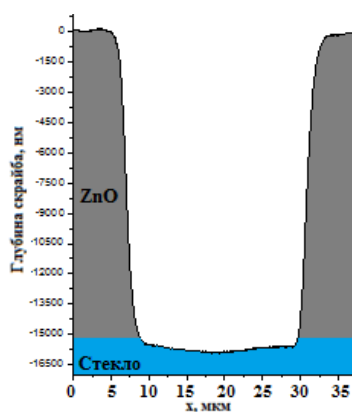


Рис. 3. Профиль реза P1.

Целью данной работы является определение оптимальных значений мощности и фокусировки лазерного излучения для решения следующих задач:

- 1) Определение минимальной и не изменяемой ширины скрайба.
- 2) Получение равной площади ячеек в солнечном тонкопленочном модуле.
- 3) Обеспечение отсутствия шунтирующих элементов.

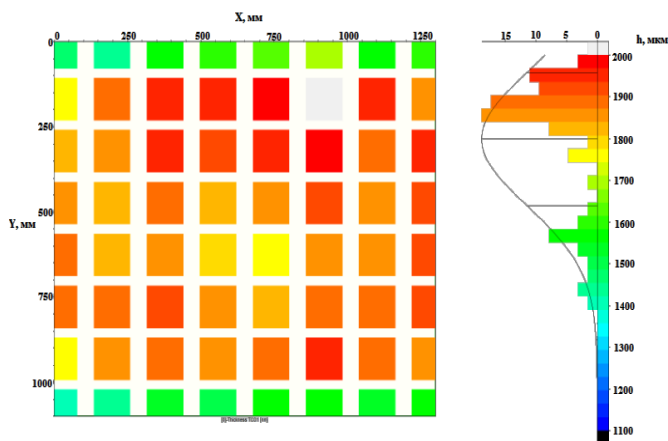


Рис.4. Карта распределения толщины ZnO. Измерение сделано прибором Hazetester.

В качестве экспериментального образца использовалось стекло с осажденным на нем оксидом цинка. Обработка образца производилась лазерным излучением с длиной волны 355 нм, мощность лазерных импульсов варьировалась от 0,89 до 1,28 Вт. Получено двенадцать групп резов для различных значений фокусного расстояния, которое изменялось с шагом 0,1 мм. Каждая группа состоит из пяти последовательных скрайбов, полученных с мощностями лазерных импульсов 0,89 Вт, 1,01 Вт, 1,11 Вт, 1,2 Вт, 1,28 Вт соответственно. Частота следований импульсов 60 кГц, длительность одного импульса 30 нс. Лазерные импульсы имели гауссово распределение интенсивности.

Стекло имеет толщину $h_g = 3 \pm 0.06$ мм. Размеры образца $1,1 \times 1,3$ м, толщина ZnO по всей площади не одинакова и принимает значения от 1,1 мкм до 2 мкм (рис. 4). Как упоминалось ранее, неравномерность толщины влияет на ширину скрайба согласно формуле (2). Необходимо обеспечить такую фокусировку, чтобы при определенном значении мощности импульсов лазерного излучения получить скрайб, значение ширины которого постоянно по всей длине и не зависит от толщины ZnO.

В результате эксперимента получена матрица данных (рис.4). Фотографии скрайбов получены с использованием оптического микроскопа. Фотосъемка группа скрайбов проводилась в разных координатах образца. Был определен скрайб (рис. 4, скрайб process), которому присущи следующие характеристики: имеет минимальную ширину 27 ± 0.5 мкм, значение ширины постоянно по всей длине, минимально

количеством сколов и отсутствуют шунтирующие элементы. Данный скрайб получен при значении фокусировки лазерного луча 1,5 мм и мощности лазерного импульса 1,11 Вт. Ранее в работе [4] указывалось, что обработка происходит в области положительного дефокуса. При прохождении через стекло луч фокусируется до обрабатываемого слоя ZnO. Изменяя положение лазерной головки мы изменяем величину дефокуса: расстояние от фокуса до обрабатываемого слоя. Полученное значение 1,5 мм - это расстояние от фокуса до обрабатываемой поверхности.

Таким образом, получены оптимальные параметры фокусировки и мощности импульсов лазерного излучения. Обработка с применением оптимальных параметров способна обеспечить получение резов правильной геометрической формы, значение ширины которых не зависит от неравномерности толщины осажденного на стеклянной подложке ZnO, с минимальным количеством сколов и отсутствием шунтирующих элементов. Готовый тонкопленочный СМ, полученный с использованием оптимальных параметров лазерной микрообработки, будет иметь равную площадь отдельных солнечных элементов, входящих в его состав, увеличенную (по сравнению с типовыми СМ, производимыми по тонкопленочной технологии) «активную площадь» СМ (за счет минимизации ширины резов) и более идеальную форму вольт-амперной характеристики СМ (за счет отсутствия шунтирующих элементов).

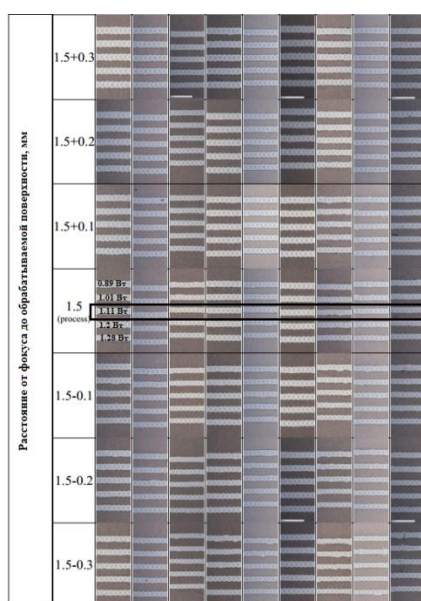


Рис. 4 Матрица данных скрайбов. Каждая группа скрайбов имеет свою фокусировку.

Литература:

1. Thin-film silicon solar cells. Editor: Arvind Shah EPFL Press, 2010.
2. В.П. Афанасьев, Е.И. Теруков, А.А. Шерченков. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
3. В.А. Парфенов, Лазерная микрообработка материалов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.
4. Д.Н. Редька Оптимизация структурирования тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния методом лазерного скрайбирования [Текст] : маг.дис., защищена 04.05.2012; ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ 4H-SiC ФОТОДИОДНЫХ СТРУКТУР ТИПА p^+p-n^+ И p^+n-n^+ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОБРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Афанасьев А.В., Борисенко С.С., Васильев А.В., Ильин В.А.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова
AIVas.V@rambler.ru

Возрастающий интерес к изучению карбид кремневых фотоприемников политипной модификации 4H, построенных по типу вертикальных $p-i-n$ структур, во многом обусловлен его оптическими и электрофизическими параметрами [1] для работы в ультрафиолетовой (УФ) части спектра. Эти параметры делают перспективными использование 4H-SiC фотоприемников в условиях повышенной температуры, радиации и при высоких напряжениях. Возросший интерес к таким структурам связан и с усовершенствованием технологии, что позволило получить эпитаксиальные SiC слои высокого качества.

Одной из основных проблем, стоящих перед разработчиками, является создание 4H-SiC фотоприемников, обладающих высокой селективностью при регистрации отдельных спектральных полос УФ излучения.

В данной работе представлены два вида фотоприемников ультрафиолетового излучения p^+p-n^+ и p^+n-n^+ . Приведены их спектральные характеристики при различных напряжениях смещения.

На рисунке 1 показана структура фотодиода. В качестве подложки использовался n^+ 4H-SiC размером 1400×1400 мкм (6). Размер активной области после травления составлял 700×700 мкм. Травление мезо структуры осуществлялось для уменьшения поверхностных токов утечки. Угол составлял примерно 70° - 80° . На подложке был выращен согласующий n^+ 4H-SiC слой, легируемый азотом, с концентрацией примеси $5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ и толщиной 1 мкм (5).

Для i слоя были использованы слои n и p типа проводимости, легируемых азотом и алюминием соответственно, с концентрацией примеси $6 \cdot 10^{14}$ см⁻³ и толщиной 6 мкм (4).

Легируемый алюминием верхний p^+ 4H-SiC слой имел толщину 0,4 мкм и концентрацию примеси 10^{19} см⁻³ (2).

Пленка SiO_2 выступала как диэлектрический слой на верхней стороне фотодиода толщиной 0,05 мкм (3). Омический контакт к подложке состоял из Ti/Ni , а к p^+ слою из $Al/Ti/Ni$ толщиной 2 мкм (1).

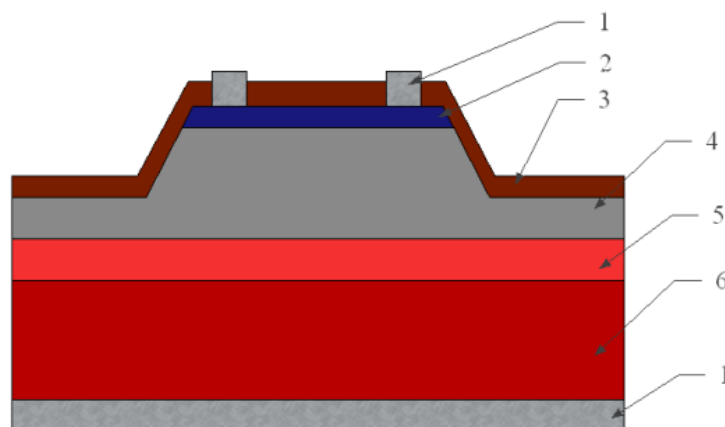


Рисунок 1 – Структура фотодиода

На рисунке 2 показана схема измерительной установки, которая включала в себя: источник излучения (ИИ), монохроматор (М), измеряемый объект (ИО), измерительная установка (ИУ), персональный компьютер (ПК).

Данная система позволила измерить ВАХ под освещением и без него. Так же спектральные характеристики. В качестве оптической схемы в М266 используется оригинальная модифицированная схема Черни-Тернера с одним входом и двумя выходами.

Система была оптимизирована для измерений в диапазоне длин волн от 200 до 400 нм.

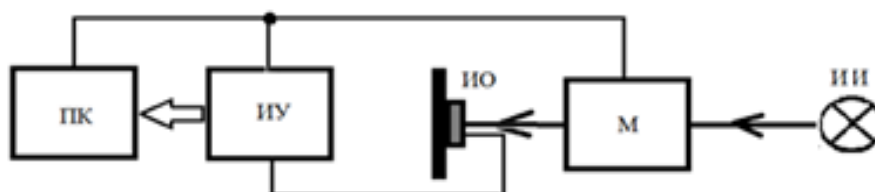


Рисунок 2 – Схема измерительной установки.

УФ излучение попадает на входную щель монохроматора. Монохроматор выделяет нужные длины волн, и на выходе нужное излучение попадает на измеряемый объект, в нашем случае УФ фотодиод на основе SiC. Значения тока фиксируется измеряющим устройством. Компьютер анализирует данные, и управляет монохроматором и измеряющим устройством. В качестве ИУФИ использовали ксеноновую лампу.

М266 полностью автоматизирован. Смена решеток, фильтров разделения порядков, выбор ширины входной и выходной щелей, а также рабочего выходного порта осуществляется автоматически.

Программное обеспечение М266 легко настраивается и удобно в использовании. Оно позволяет осуществлять сканирование в диапазонах от УФ до ИК.

Дисперсия 1,9 нм/мм

Разрешение <0,7 нм

Погрешность ±0,1 нм

Источник излучения состоял из ксеноновой лампы. Излучение проходило через сдвоенные коллимирующие зеркала и далее попадало на щель монохроматора. В качестве эталона использовался откалиброванный кремниевый фотоприемник ФДУК - 100 УТ.

Параметры спектральной мощности выходного потока измерялись путем сканирования по длине волны и измерением фототока эталонного образца в режиме короткого замыкания. Спектральная чувствительность SiC фотоприемника рассчитывалось по формуле:

$$\Phi = \frac{I_{\phi,эм}}{S_{эм}} \quad (1)$$

$$S_{SiC} = \frac{I_{SiC}}{\Phi} \quad (2)$$

В работе не учитывались соотношения площадей эталонного Si и измеряемого SiC фотоприемников. Спектральная чувствительность дана в относительных единицах, что не мешает нам проследить общий характер зависимости.

На рисунках 3 и 4 показаны спектральные характеристики двух типов фотоприемников при различном обратном напряжении. Как видно из рисунков, при облучении фотоприемников и увеличении обратного напряжения максимум

спектральной чувствительности смещается в коротковолновую область спектра, при этом повышая свое максимальное значение. Величина этих значений тем больше, чем выше обратное напряжение смещения и имеет насыщение при высоком уровне напряжения.

Кроме того следует отметить, что увеличивается барьерная емкость фотоприемника при подаче обратного напряжения смещения. На рисунках 5 и 6 показаны его вольт-фарадные характеристики.

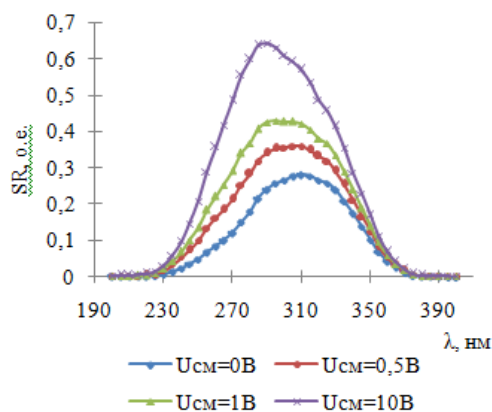


Рисунок 3 – Спектральная чувствительность фотоприемника типа p^+-n-n^+ .

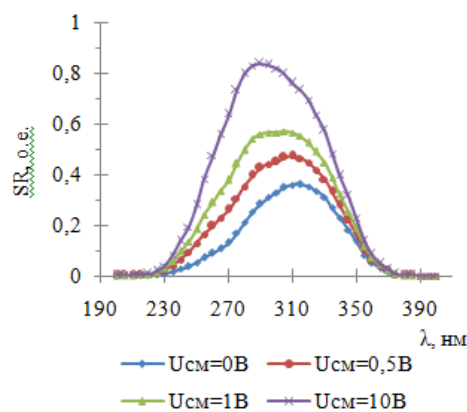


Рисунок 4 – Спектральная чувствительность фотоприемника типа p^+-p-n^+ .

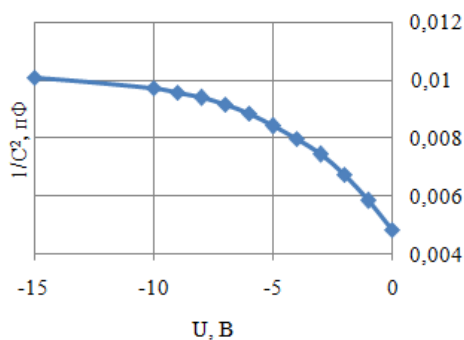


Рисунок 5 – Вольт-фарадные характеристики фотоприемника типа p^+-n-n^+ .

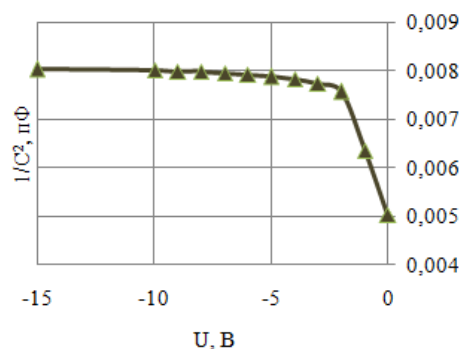


Рисунок 6 – Вольт-фарадные характеристики фотоприемника типа p^+-p-n^+ .

Моделирование проводилось в программе Sentaurus TCAD Synopsys. Были использованы следующие модели: диффузионно-дрейфовая, включающая уравнение Пуассона и уравнения непрерывности, модель оптической генерации, рекомбинация Шокли-Рида-Холла, Оже рекомбинация, модель Masetti для подвижности зависимой от легирования [2].

Область пространственного заряда вычисляется из [3]:

$$W = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0(\varphi_{\text{конт}} - U)}{q(N_D - N_A)}} \quad (3)$$

где ε - относительная диэлектрическая проницаемость материала (для SiC $\varepsilon = 9,66$), ε_0 - диэлектрическая постоянная, $\varphi_{\text{конт}}$ - контактная разность потенциалов. N_D и N_A - концентрация примеси доноров и акцепторов соответственно.

Величина электрического поля равна [3]:

$$E_m = \frac{2\varphi_{\text{конт}}}{W} \quad (4)$$

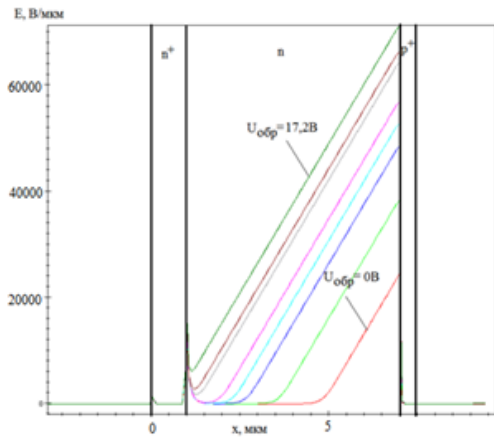


Рисунок 6 – Распределения электрического поля в структуре p^+-n-n^+ .

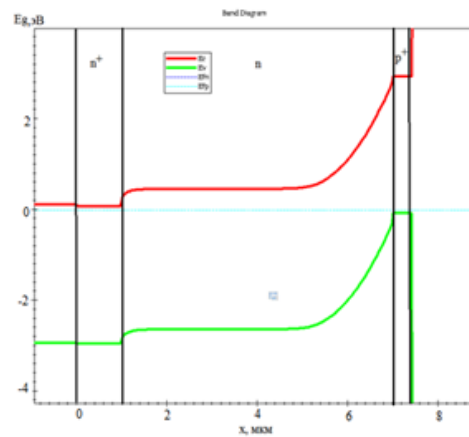


Рисунок 7 – Зонная диаграмма в структуре p^+-n-n^+ .

Результаты моделирования для p^+-n-n^+ .

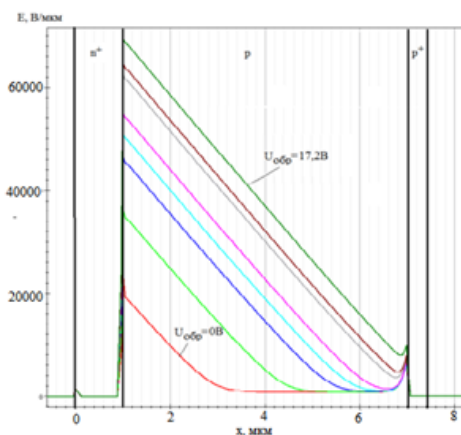


Рисунок 8 – Распределения электрического поля в структуре p^+-p-n^+ .

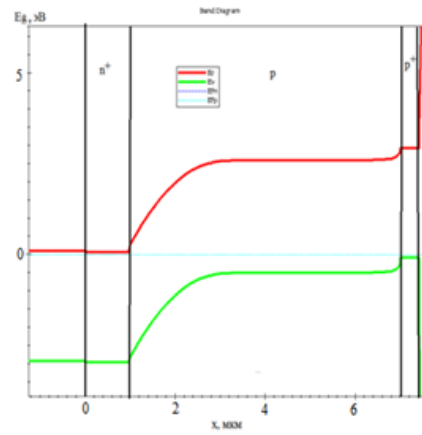


Рисунок 9 – Зонная диаграмма в структуре p^+-p-n^+ .

В заключение хотелось бы сказать, что исходя из экспериментальных и теоретических результатов, было выявлено смещение максимума спектральной чувствительности и его увеличение, которое было обусловлено изменением области пространственного заряда и его расширением в приповерхностную область. Вследствие чего большее количество высокоэнергетических квантов участвуют в процессе генерации, так как все излучение поглощается в тонком приповерхностном слое. Было обнаружено, что при значении обратного напряжения равного 17,2 В происходит «прокол» i слоя, при котором весь слой обеднен и дальнейший рост спектральной чувствительности незначителен (рисунок 6 и рисунок 8). На рисунке 7 и рисунке 9 показаны зонные диаграмма фотоприемников.

Литература:

1. Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. Полупроводниковые фотоэлектропреобразователи для ультрафиолетовой области спектра // ФТИ, 2003. Т. 37. Вып. 9. - С.1025-1054.
2. Sentaurus Device User Guide Version A-2010.12, December 2010
3. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. –М.: Энергия, 1973, 655с.

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМОРФНОГО ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

¹Бадрелдин-Миргхани М.М., ²Семенов А.В., ¹Терентьева В.Н., ²Теруков Е.И.

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ", Санкт-Петербург

² ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе», Санкт-Петербург
AVSemenov88@mail.ru.

Пленки аморфного гидрогенизированного кремния широко используются для создания тонкопленочных солнечных модулей (СМ) большой площади на дешевых стеклянных и полимерных подложках [1,2]. Для эффективной работы такого СМ первостепенную роль играет качество собственного аморфного *i*-слоя, характеризующееся стабильностью параметров при воздействии солнечного излучения, высокой фоточувствительностью, а значит, относительно высокими значениями подвижности и времени жизни носителей заряда.

Качество пленок собственного аморфного гидрогенизированного кремния может быть повышено за счет введения в аморфную матрицу нанокристаллических включений. Так использование метода циклического осаждения тонких пленок аморфного гидрогенизированного кремния с нанокристаллическими включениями позволило получить слои не только с высокой фоточувствительностью, но и более высокой стабильностью пленок при воздействии освещения [3,4]. Нанокристаллические включения частично снимают механические напряжения в аморфной матрице и, тем самым, создается возможность для роста менее напряженной сетки с меньшей концентрацией слабых связей.

В последние годы активно исследуется гидрогенизированный полиморфный кремний (*pm-Si:H*), который представляет собой кремниевую аморфную матрицу с небольшой долей нанокристаллических включений [5]. Для получения пленок *a-Si:H* и *pm-Si:H* используется метод плазмохимического осаждения, реализуемый в результате разложения смеси газов моносилана (SiH_4) и водорода (H_2) в плазме тлеющего разряда (PECVD). Формирование того или иного материала при использовании данного метода определяется выбором таких технологических условий, как соотношение парциальных давлений газов, суммарное давление при осаждении, мощность разряда и других.

Целью данной работы являлась попытка получения и исследование оптических и фотоэлектрических свойств пленок *pm-Si:H* с малой долей (4-6 %) однородно распределенных по объему нанокристаллических включений.

Образцы пленок аморфного гидрогенизированного кремния формировались методом плазмохимического осаждения (ПХО) в газовых смесях моносилана на технологическом оборудовании KAI-1-1200 фирмы Oerlikon. Температура осаждения для всех пленок была одинаковой и равнялась 200 °С. Для получения пленок *a-Si:H* с нанокристаллическими включениями процесс ПХО проводился на кремниевые и стеклянные подложки в газовой смеси с различным высоким разбавлением водородом $R = [\text{H}_2]/[\text{SiH}_4]$, равным 10 и 31,4. Для сравнения на подложки осаждались пленки *a-Si:H* без нанокристаллических включений.

В результате проведенных комплексных исследований серии образцов, осажденных при разном разбавлении и суммарном давлении газовой смеси, получены следующие данные.

Измерения ИК-спектров проводились на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 8700 с программным обеспечением OMNISC, с помощью которого осуществлялось для

управления спектрометром, регистрация спектров и их обработки (рис.1). По данным спектроскопии рассчитана концентрация водорода в пленках и их микроструктурный фактор R_{str} . Установлено, что суммарное давление слабо влияет на концентрацию водорода в пленках и микроструктурный фактор ($R_{str} = 0,1$). Этот результат хорошо коррелирует с данными обработки спектров пропускания и отражения, снятых в диапазоне от 300 до 2000 нм (рис.2). Ширина запрещенной зоны для всех образцов, рассчитанная по спектральной зависимости коэффициента поглощения (рис.3), оставалась примерно постоянной и составляла 1,78 – 1,8 эВ.

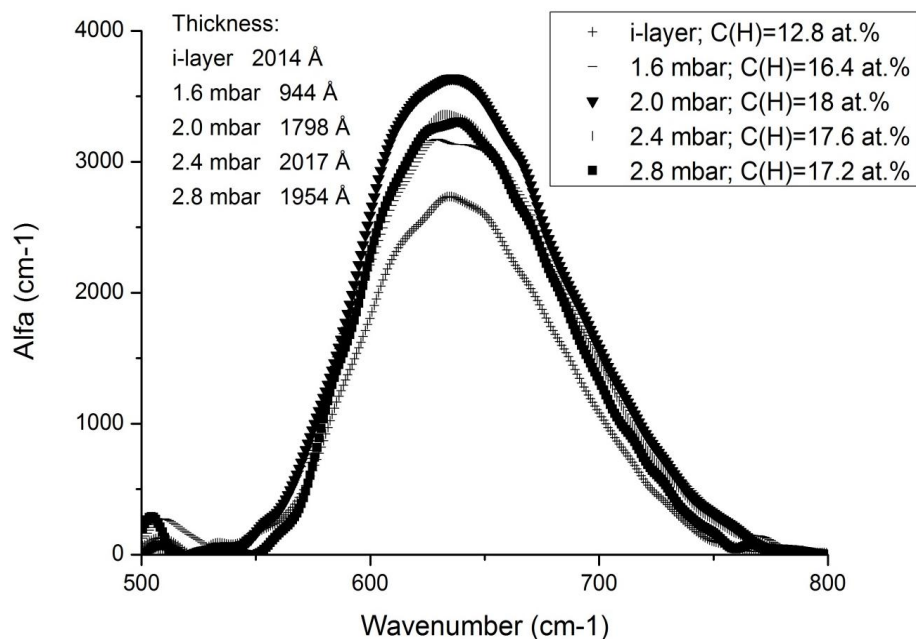


Рис. 1. Пик на 640 см^{-1} на спектрах ИК-поглощения пленок a-Si:H и pm-Si:H ($R = [\text{H}_2]/[\text{SiH}_4] = 31,4$) на кремниевых подложках c-Si

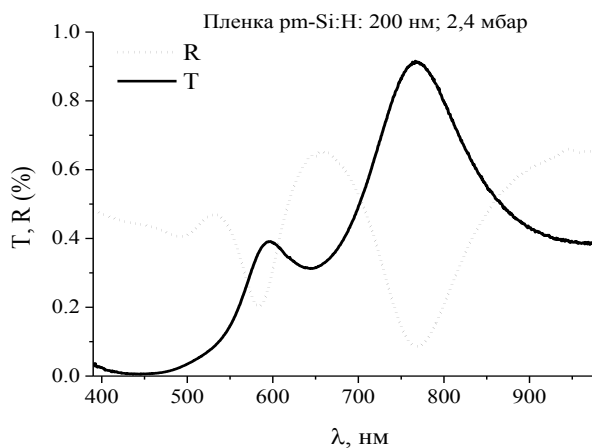


Рис.2. Спектры пропускания и отражения пленок pm-Si:H толщиной 200 нм, полученной при суммарном давлении 2,4 мбар

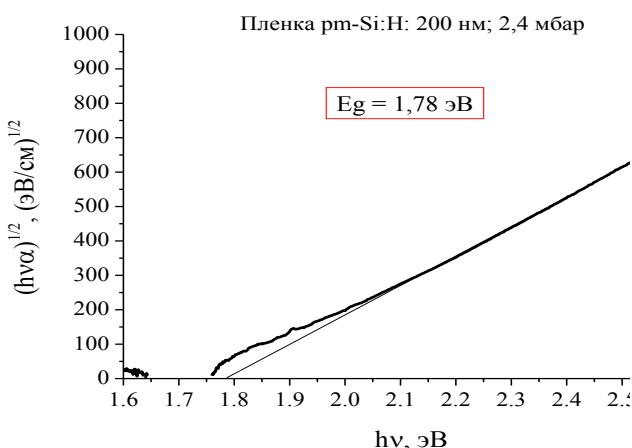


Рис. 3 Определение ширины запрещенной зоны пленки pm-Si:H толщиной 200 нм, полученной при суммарном давлении 2,4 мбар.

При разбавлении $R = [\text{H}_2]/[\text{SiH}_4] = 10$ по мере увеличения суммарного давления наблюдается незначительное уменьшение оптической ширины запрещенной зоны, что может быть обусловлено увеличением плотности состояний в хвостах запрещенной зоны.

Использование метода просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения позволило выявить особенности формирования нанокристаллитов в пленках pm-Si:H. Структура pm-Si:H пленки, сформированной при давлении 2,4 мбар

(рис.4, 5), представляет собой слой аморфного кремния толщиной около 210 нм, выращенный на подложке Si(001), покрытой буферным слоем оксида кремния толщиной 2 нм. В нижней части слоя pm-Si:H , в пределах 20-30 нм от интерфейса, присутствуют кристаллические включения кремния. Кристаллическая природа включений подтверждается картиной электронной дифракции от нижней части слоя (рис. 4, вставка 1), на которой присутствуют множественные рефлексы соответствующие структуре кремния. Предпочтительной ориентации кристаллитов относительно кремниевой подложки обнаружено не было. На картине электронной дифракции, полученной от верхней части слоя pm-Si:H (рис. 4, вставка 2) присутствуют только диффузные кольца, соответствующие аморфному кремнию. На рис. 4 вблизи интерфейса с подложкой видны частицы кристаллического кремния. Увеличение масштаба на рис. 5 позволяет получить изображение нанокристаллитов кремния на границе с подложкой.

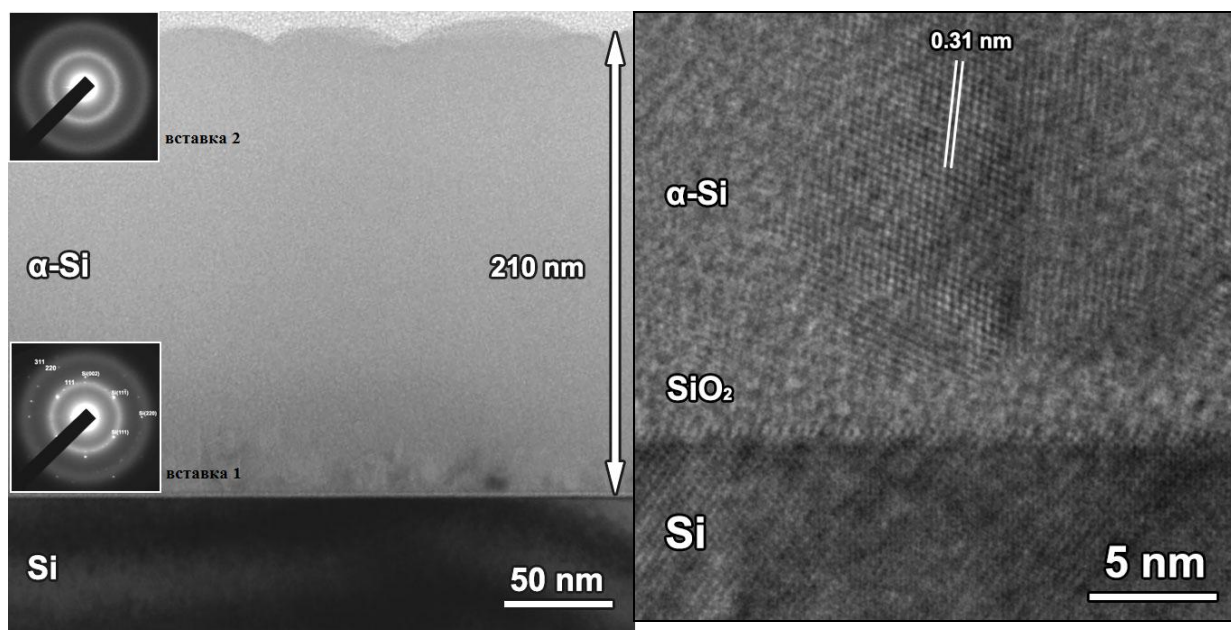


Рис.4. Изображение поперечного сечения пленки pm-Si:H на кремниевой подложке. На вставке 1 - картина электронной дифракции от нижней части слоя $\alpha\text{-Si}$. Присутствуют дифракционные рефлексы от кремниевой подложки и от кристаллических частиц в слое. На вставке 2 - картина дифракции от верхней части: видны только диффузные кольца, соответствующие аморфной фазе.

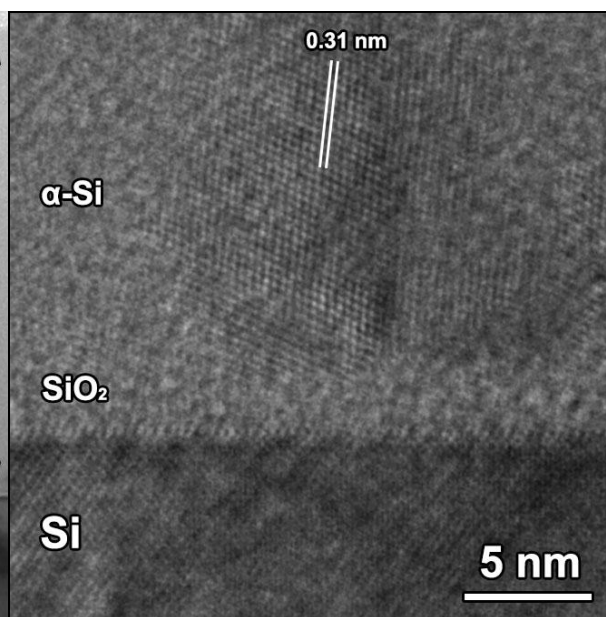


Рис. 5. Изображение нанокристаллитов кремния в нижней части слоя вблизи интерфейса с подложкой. Межплоскостные расстояния в частице соответствуют межплоскостным расстояниям кристаллического кремния

Таким образом, пленка pm-Si:H характеризуется слоистой структурой, причем толщина слоя нанокристаллического кремния зависит от суммарного давления. Так при давлении 1,6 мбар толщина нанокристаллического слоя увеличивается до 40-50 нм. Можно предполагать, что изменение суммарного давления позволит управлять долей кристаллической фазы в пленках полиморфного кремния.

На данном этапе исследований не удалось решить проблему равномерного распределения нанокристаллитов по толщине пленки. Однако, наличие гетерофазной слоистой структуры наглядно проявилось на спектрах фотопроводимости пленок pm-Si:H , сформированной при давлении 2,0 и 2,8 мбар с разбавлением $R = 31$ (рис. 6), в том, что произошло существенное расширение спектров в сторону больших длин волн. По-видимому, это связано с проявлением фотопроводимости в слое

нанокристаллического кремния, характеризующегося меньшей шириной запрещенной зоны.

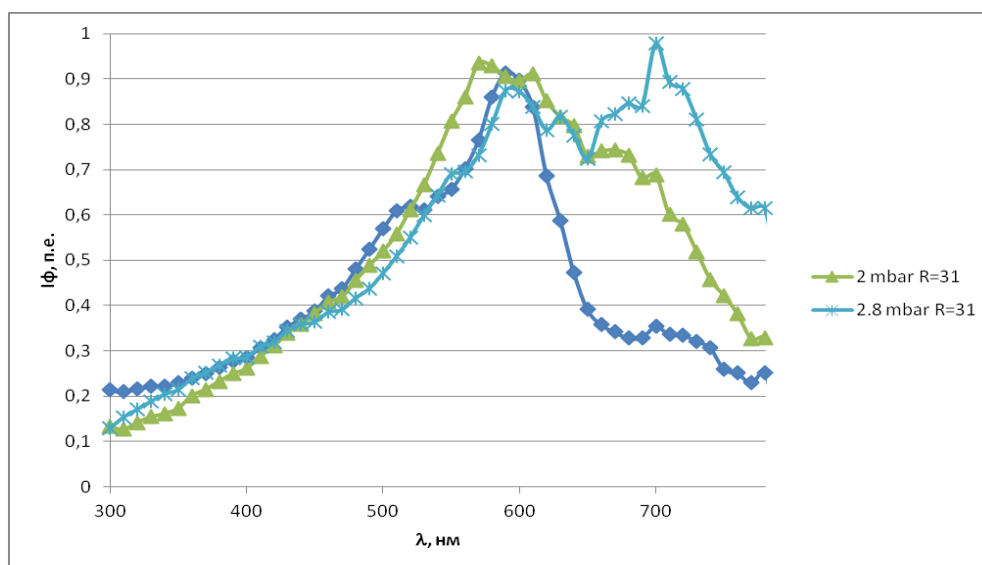


Рис. 6. Спектры фотопроводимости для пленок $\mu\text{-Si:H}$ толщиной 200 нм, полученных при суммарном давлении 2,0 и 2,8 мбар, соответственно. Спектр (четыреугольные точки) получен при исследовании гомофазной пленки $\alpha\text{-Si:H}$

Только более детальные дальнейшие исследования пленок полиморфного кремния помогут определить перспективы их использования в тонкопленочной солнечной энергетике, как с точки зрения большей стабильностью электрофизических параметров при длительном освещении, так и более высокой фоточувствительности.

Литература:

1. Thin-film silicon solar cells. Editor: Arvind Shah. - EPFL Press, 2010.
2. В.П. Афанасьев, Е.И. Теруков, А.А. Шерченков. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
3. Афанасьев В.П., Гудовских А.С., Казак-Казакевич А.З., Сазанов А.П., Трапезникова И.Н., Теруков Е.И. Исследование образования и модификации нанокристаллических включений кремния в пленках $\alpha\text{-Si:H}$ методом просвечивающей электронной микроскопии // ФТП, 2004. – Т.38, №2. - С.226-229.
4. A.S. Gudovskikh, J.P.Kleider, V.P. Afanasjev, A.Z. Kazak-Kazakevich, A.P. Sazanov. Investigation of nc-Si inclusions in multilayer $\alpha\text{-Si:H}$ films obtained using the layer by layer technique. // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2004. -Vol. 338-340. - P. 135-138.
5. Хенкен М.В., Емельянов А.В., Казанский А.Г., Форш П.А., Кашкаров П.К., Теруков Е.И., Орехов Д.Л., Rosa i Cabarrocas P. Влияние условий получения пленок полиморфного кремния на их структурные, электрические и оптические свойства. // ФТП, 2013. – Т.47, №9. – С1283-1287.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПРОТОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.С. Левицкий^{1,2}, А.В. Семенов^{1,2,3}, Е.И. Теруков^{2,3}

¹ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

² Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

³ НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе

тел: (911)146-60-45, эл. почта: lev-vladimir@yandex.ru

Возникшие в последние десятилетия социальные и экологические проблемы, связанные с использованием традиционных источников энергии, привели к бурному развитию работ в наиболее развитых странах, направленных на использование альтернативных источников энергии. Ведущее место среди них занимают работы, направленные на использование солнечной энергии, в частности, работы по созданию солнечных фотопреобразователей.

Использование аморфного гидрированного кремния в солнечных элементах связано с его большим коэффициентом поглощения и фоточувствительностью в видимой области солнечного спектра, что позволяет формировать эффективные структуры с толщиной активного слоя до 1 мкм. Основным недостатком аморфного гидрированного кремния является фотоиндуцированная деградация его электрических и фотоэлектрических свойств, что приводит к уменьшению со временем КПД тонкопленочных солнечных элементов на основе аморфного гидрированного кремния.

Протокристаллический кремний, структура которого представляет собой аморфную кремниевую матрицу, содержащую включения нанокристаллов кремния, имеет большую по сравнению с аморфным кремнием стабильность фотоэлектрических параметров при световых воздействиях, обладая при этом также большей фоточувствительностью. Это позволяет ожидать увеличения стабильности параметров и эффективности преобразования тонкопленочных солнечных элементов при использовании данного материала.

Целью данной работы являлось получение протокристаллического кремния методом плазмохимического осаждения из газовой фазы, исследование фазового состава и определение размеров нанокристаллов методом рамановской спектроскопии.

Параметры, изменявшиеся при осаждении пленок полиморфного кремния, а также данные эллипсометрии приведены в табл. 1.

Табл. 1. Параметры осаждения и эллипсометрия

Параметры осаждения				Данные эллипсометрии	
Образец	R _n , %	Давление, mbar	Мощность, W	Толщина пленки, nm	E _{gap} , eV
1	1	0,3	175	201	1,64
2	31	1,6	1200	94	1,86
3	31	2	1200	180	1,73
4	31	2,4	1200	202	1,75
5	31	2,8	1200	195	1,76
6	10	1,2	1200	124	1,66
7	10	1,6	1200	197	1,68

8	10	2	1200	202	1,68
9	10	2,4	1200	208	1,67
10	10	1,6	1500	203	1,66
11	10	1,6	1000	260	1,68
12	10	0,8	1200	313	1,64
13	15	0,8	1200	346	1,66
14	20	0,8	1200	302	1,67
15	20	0,8	1800	350	1,70
16	31	2	2500	493	-
17	31	2	1900	469	1,69
18	10	1,6	2500	363	-

Пленки, толщиной 100-500 нм, были получены при разложении смеси моносилана (SiH_4) и водорода (H_2) в плазме ВЧ тлеющего разряда на стеклянную и кремниевую подложки. Мощность разряда и давление газов в реакционной камере варьировались, соответственно, в пределах 1000-2500 W и 0,8-2,8 mbar. Объёмное отношение газов в реакционной камере $R_{\text{H}}=[\text{H}_2]/[\text{SiH}_4]$ изменялось от 10 до 31. Информация о структуре пленок получалась из анализа спектров рамановского рассеяния, измеренных с помощью микро-рамановского спектрометра LabRam HR800 при освещении пленок излучением с длиной волны 532 нм.

Рамановские спектры всех исследованных образцов имели характерный вид, наблюдаемый для пленок а-Si:H. В качестве примера на рис. 1 представлен спектр рамановского рассеяния образца 1.

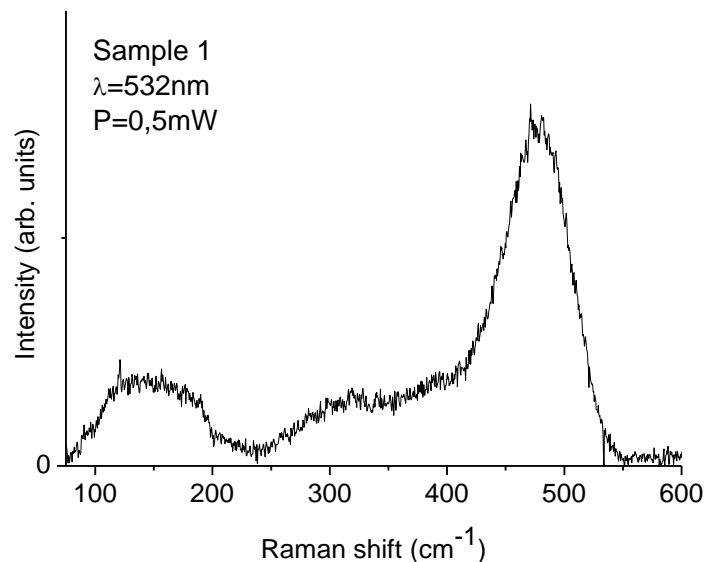


Рис. 1. Рамановский спектр образца 1.

Как видно в рамановском спектре наблюдается ярко выраженный максимум вблизи $\Delta\nu=480 \text{ cm}^{-1}$, соответствующий поперечной оптической (ТО) фононной моде и максимум вблизи $\Delta\nu=150 \text{ cm}^{-1}$, соответствующий поперечной акустической (ТА) моде в аморфной структуре. На рис. 2 представлены спектры рамановского рассеяния, полученные при фокусировке лазерного излучения непосредственно на пленку (frontside) и при фокусировке лазерного излучения на пленку через прозрачную стеклянную подложку (backside).

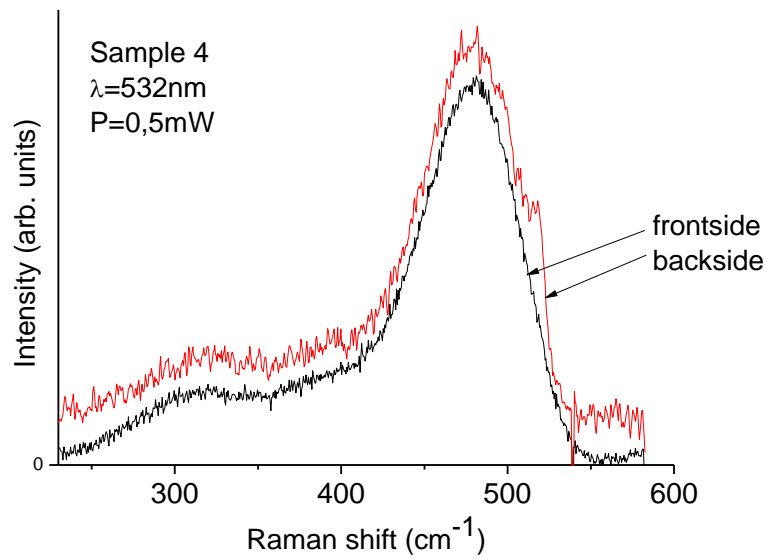


Рис. 2. Рамановский спектр образца 4.

Как видно из рисунка, спектры пленок со стороны слоя и со стороны подложки отличаются друг от друга. В спектре пленки, снятой через подложку, наблюдается особенность в районе $\Delta\nu=520\text{ cm}^{-1}$ которую принято связывать с наличием нанокристаллов кремния. Таким образом, можно утверждать, что структура осажденных пленок неоднородна. По мере увеличения толщины пленки происходит переход структуры от нанокристаллической к аморфной.

Рамановская спектроскопия позволяет эффективно оценивать объемную долю нанокристаллов кремния в пленках. В рамках модели фоновго конфейнмента в приближении сферических агломератов были оценены фаовый состав и размер нанокристаллов кремния, образующихся на интерфейсе с подложкой. Изменение фазового состава и диаметра полученных нанокристаллов от давления в системе, мощности разряда и R_H , представлены на рис. 3,4 и 5 соответственно.

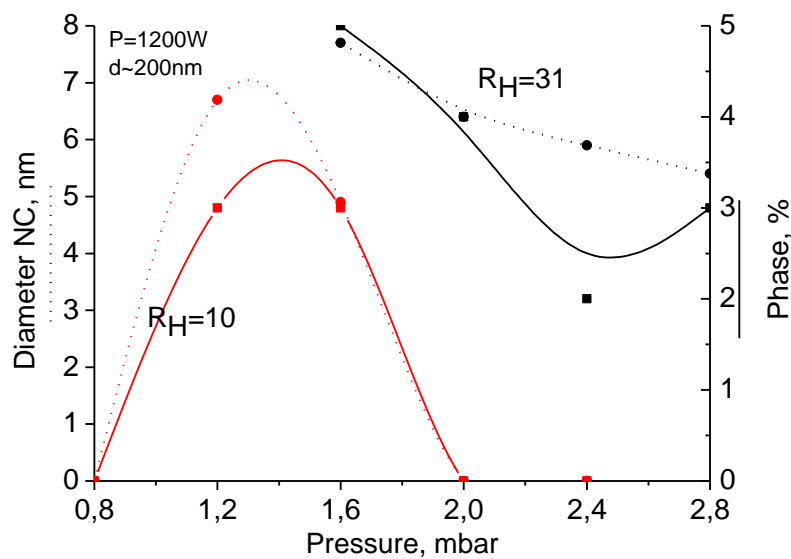


Рис. 3. Зависимость доли и размера нанокристаллов кремния от давления в камере.

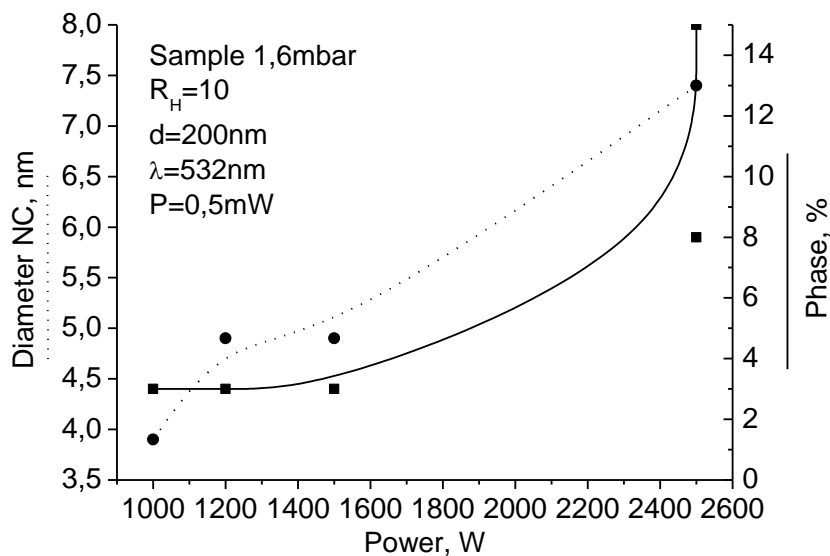


Рис. 4. Зависимость доли и размера нанокристаллов кремния от мощности разряда.

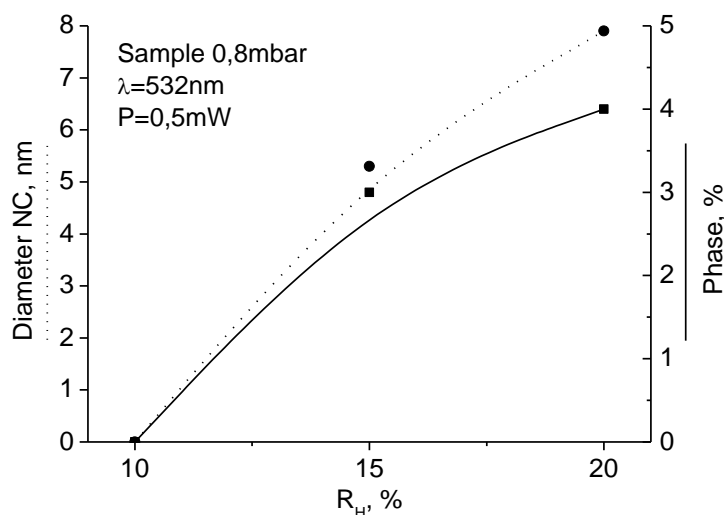


Рис. 5. Зависимость доли и размера нанокристаллов кремния от разбавлении водородом.

Как видно из рисунков, с увеличением давления происходит уменьшение размеров кристаллов и их фазового состава. Увеличение мощности приводит к увеличению размеров получаемых нанокристаллов и фазового состава. Увеличение разбавления водородом приводит к увеличению размеров получаемых нанокристаллов и фазового состава.

Результаты рамановской спектроскопии показали, что структура осажденных пленок неоднородна. По мере увеличения толщины пленки происходит переход структуры от нанокристаллической к аморфной. С увеличением давления происходит уменьшение размеров кристаллов и их фазового состава. Увеличение мощности разряда приводит к увеличению размеров получаемых нанокристаллов и фазового состава. Увеличение разбавления водородом также приводит к увеличению размеров получаемых нанокристаллов и фазового состава.

Работа проводилась при поддержке проекта по программе «У.М.Н.И.К.» №143гу от 07 октября 2013г.

НАПРАВЛЕНИЕ

«Новые физические принципы и эффекты для ФЭП»

(поверхностные эффекты - квантовые точки Si, внедрение концепции плазмоники для увеличения коэффициента поглощения и т.п.)

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЯХ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОКАЛОРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Е. В. Абрашова, А. К. Фоминых
ФБОУ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
им. В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»
katabr@mail.ru

Стремительная миниатюризация современной техники ведет к увеличению удельной рассеиваемой мощности и постоянно ужесточает требования к устройствам отвода тепла. На сегодняшний день наиболее перспективными в этом направлении являются устройства, в основе работы которых лежат термоэлектрические эффекты [1, 2], в частности электрокалорический. Наибольший эффект был достигнут авторами [3] при исследовании соединения со структурой перовскита $Pb_{0,8}Ba_{0,2}ZrO_3$.

Целью данной работы было получение тонких пленок перовскитоподобных соединений на основе титаната бария $(Ba_xCa_{1-x})TiO_3$ и $Ba(Sn_yTi_{1-y})O_3$. В качестве метода получения использовался метод золь-гель. Данный метод позволяет достаточно свободно варьировать состав материалов, а так же обеспечивает получение тонких однородных пленок [4-6]. Использование тонких пленок особенно важно при получении термоэлектрических эффектов, так как позволяет создать высокую напряженность электрического поля в образце.

В качестве прекурсоров для получения требуемого материала были использованы ацетат бария, ацетат кальция, ацетат олова и изопропоксид титана. Дипольная структура была сформирована за счет использования молекул ацетил ацетона в соединении с изопропоксидом титана. Для создания раствора и получения определенной вязкости и стабильности раствора использовались этиленгликоль и 2-метоксиэтанол. Созревание золь проходило при комнатной температуре. Раствор золь с разным временем выдержки от 2 до 300 часов наносился с помощью дозатора на стеклянные подложки и после центрифугирования подвергался отжигу при 600 °С от 30 мин до 1 часа.

Поверхностная морфология была исследована с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) в полуконтактном режиме (NTEGRA, NT-MDT, Зеленоград, Россия). Электрофизические свойства были получены с использованием импедансметра "Z-500 P" (Элинс) в диапазоне частот от 1 Гц до 500кГц. Структура полученного соединения контролировалась методом комбинационного рассеяния света.

В результате эксперимента были получены тонкие пленки, по визуальной оценке однородные, прозрачные, бесцветные. Анализ морфологии поверхности с помощью АСМ показал, что поверхность пленки образована эллипсообразными объектами, средние размеры которых составляют 120-150 нм в диаметре (Рис.1). Образец имеет фрактальную структуру с фрактальной размерностью 2.50, рассчитанной методом триангуляции в программе Gwyddion. Предположительно

такая структура сформирована на основе центров полимеризации соединений титана на начальной стадии формирования раствора золя. В результате такой технологической операции возможно получение дипольной структуры образца, которая будет определять электрофизические свойства тонких пленок.

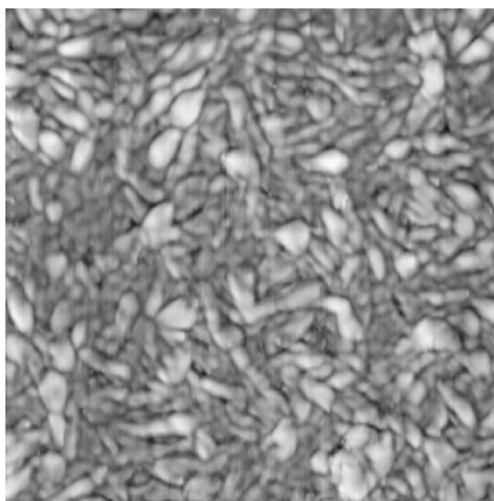


Рис. 1. Изображение поверхности структуры, полученное с использованием АСМ, размером 2×2 мкм.

Исследования электрофизических свойств пленок композиции $(\text{Ba}_x\text{Ca}_{1-x})\text{TiO}_3$ и $\text{Ba}(\text{Sn}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$ подтвердили наличие дипольных релаксационных процессов.

При сравнении зависимостей мнимой части от действительной для образцов с различным относительным содержанием Ba и Ca было выявлено, что при большем относительном содержании Ba характер кривых изменяется при более низких температурах. Вероятно, это связано с большей химической активностью соединений бария по сравнению с кальцием. Таким образом, добавление соединений кальция улучшает температурную стабильность свойств пленок, но при этом, исходя из его физических характеристик, увеличивает температуру Кюри и уменьшает диэлектрическую проницаемость композиции.

Так же, зная, что влияние СРЕ определяется действием ионов и коэффициентом диффузии, логично предположить, что соединения кальция связывают свободные ионы в исследуемом материале.

Литература

1. Л.П. Булат// Твердотельные охлаждающие системы / Термоэлектричество , №3, 2007, с. 15-22.
2. И.Н.Флеров, Е.А.Михалева// Электрокалорический эффект и аномальная проводимость проводимость сегнетоэлектрика NH_4HSO_4 / ФТТ, т.50, вып.3, 2008, с. 461-466
3. Biaolin Peng, Huiqing Fan, Qi Zhang /A Giant Electrocaloric Effect in Nanoscale Antiferroelectric and Ferroelectric Phases Coexisting in a Relaxor $\text{Pb}_{0,8}\text{Ba}_{0,2}\text{ZrO}_3$ Thin Films at Room temperature/ Adv. Funct. Mater./2013/
4. В.А.Мошников, Ю.М.Таиров, Т.В.Хамова, О.А.Шилова / Золь-гель технология микро- и нанокompозитов/ Уч. пособие под ред. О.А.Шиловой, СПб, Лань, 2013г., 304с.
5. А.И.Максимов, В.А.Мошников, Ю.М.Таиров, О.А.Шилова // Основы золь-гель-технологии нанокompозитов / СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2007, 260 с.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СЛОЕВ СИСТЕМЫ «ОКСИД ЦИНКА – ДИОКСИД КРЕМНИЯ»

А.А. Бобков, С.С. Налимова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург
E-mail: darklord125@mail.ru (А.А. Бобков), sskarpova@list.ru (С.С. Налимова)

В настоящее время различные наноструктуры на основе оксида цинка широко применяются в области солнечной энергетики в качестве проводящих прозрачных электродов [1]. Другим направлением применения этого материала являются сенсibilизированные красителем или квантовыми точками солнечные элементы [2, 3]. Поэтому актуальной задачей является разработка методов управляемого синтеза наноструктурированных слоев оксида цинка.

Целью данной работы было исследование влияния технологических условий золь-гель синтеза наночастиц оксида цинка на микроструктуру образцов.

Золь-гель методом [4-7] были получены нанокomпозиты оксида цинка и диоксида кремния в различных соотношениях (мол. %). В качестве прекурсора оксида цинка была выбрана неорганическая соль $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. В среде изопропилового спирта возможно получать гомогенные золи (спирт играет роль растворителя), поэтому соль в заданном соотношении растворяли в изопропиловом спирте посредством ультразвука. Затем в раствор добавляли необходимый объем тетраэтоксисилана. Полученный раствор созревал в течение 7 дней. После созревания раствор наносили на подложку и центрифугировали (3000 об/мин) в течение 15 с. Далее производили отжиг в течение 30 минут. Температуры отжига варьировали от 300 до 600 °С. В качестве подложек использовали стекло, которое предварительно было очищено от загрязнений.

Все образцы были получены также в виде порошков, для этого после созревания растворов в них добавлялся NH_4OH , в результате чего образовывался осадок, затем проводили операции фильтрации, сушки и отжига порошков.

Микроструктуру полученных образцов исследовали методом атомно-силовой микроскопии. На рисунке 1 приведены изображения образцов, синтезированных при различных температурах. Как видно из приведенных изображений, образец, отожжённый при температуре 500 °С, имеет наиболее равномерное распределение частиц. Также с увеличением температуры отжига наблюдается уменьшение размеров частиц.

Проведены исследования образцов с различным отношением исходных компонентов (рисунок 2). В зависимости от соотношения компонентов наблюдается формирование различных по форме и размерам частиц. Так, при соотношениях, близких к 100 %, наблюдается образование больших агломератов, размеры которых, порядка нескольких микрометров. При отношениях компонентов, близких к 50%, наблюдается образование мелкодисперсных сферических частиц, имеющих размеры в диапазоне 300-100 нм. Минимальный размер частиц наблюдается у образцов имеющих соотношение компонент 70% ZnO - 30% SiO₂ и 80% ZnO - 20% SiO₂. Также наблюдается более равномерное покрытие подложки наносимым материалом.

Удельную поверхность полученных нанокompозитных порошков исследовали методом тепловой десорбции азота [8]. В таблице 1 приведены данные об удельной поверхности, а также об объеме удельного монослоя для порошков, содержащих 80% оксида цинка и 20% диоксида кремния, отожженных при температурах: 300, 400, 500 и 600°C.

Таблица 1 - Значения удельной поверхности

Образец	Величина удельной поверхности м ² /г	Удельный объем монослоя 11 мл НТД/г
80%ZnO-20%SiO ₂ _300	0,5±0,12	0,12
80%ZnO-20%SiO ₂ _400	127,7±1,75	29,33
80%ZnO-20%SiO ₂ _500	46,45±5,15	10,67
80%ZnO-20%SiO ₂ _600	52,9±0,25	12,15

Исходя из полученных данных следует, что наибольшей удельной поверхностью обладает образец, отожжённый при температуре 400°C. Образцы отожженные при температурах 500°C и 600°C имеют близкие значения удельной поверхности.

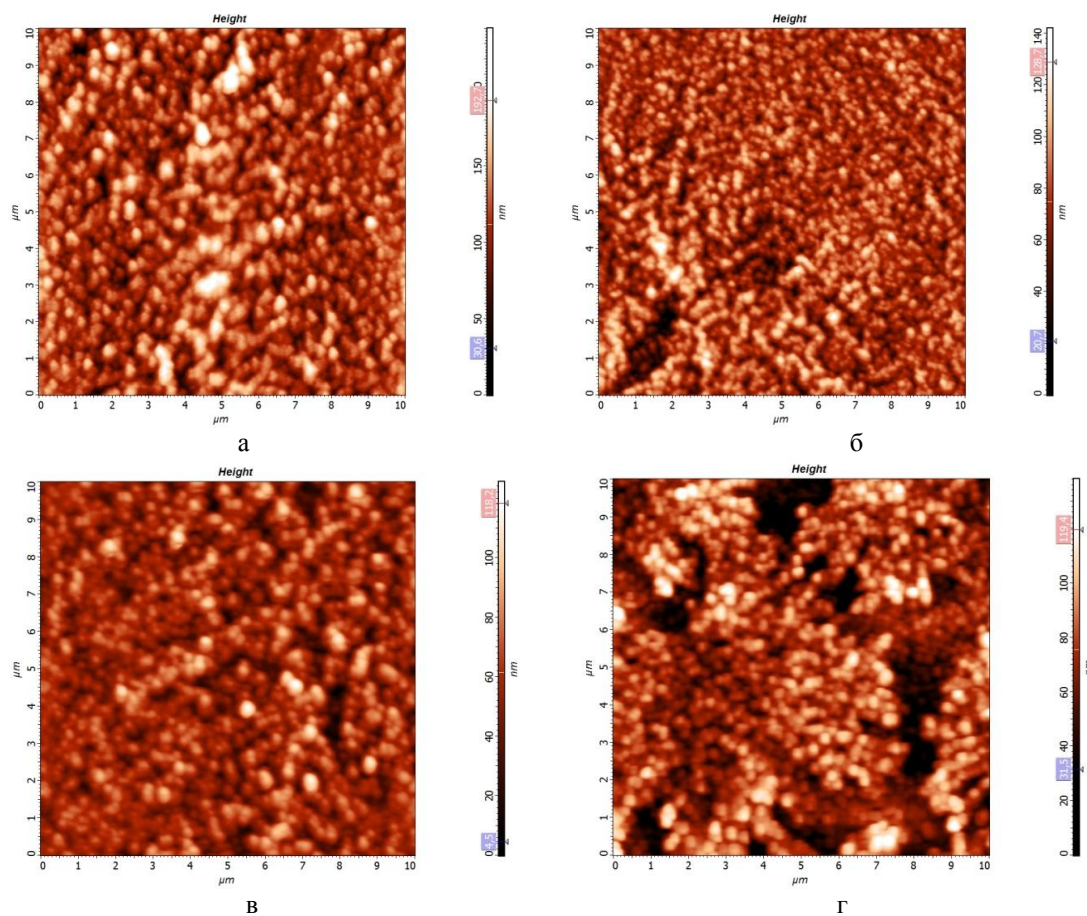


Рисунок 1 - АСМ-изображения образцов 80%ZnO-20%SiO₂ при различных температурах отжига: а – 300°C, б – 400°C, в – 500°C, г – 600°C

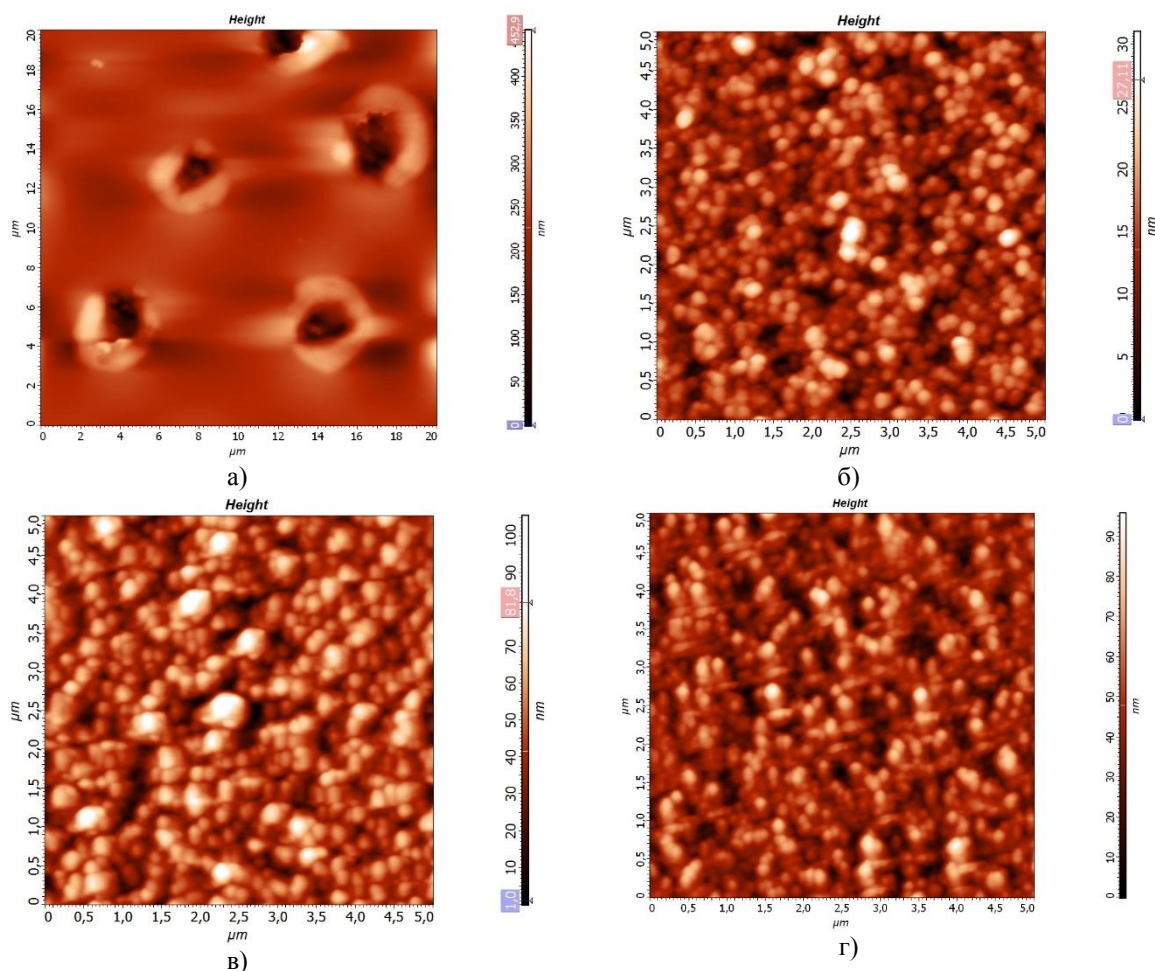


Рисунок 2 - АСМ-изображения образцов ZnO-SiO₂ с различным отношением компонентов: а) 20 и 80 %, б) 50 и 50 %, в) 60 и 40 %, г) 80 и 20 %

Электрофизические свойства полученных нанокompозитных образцов исследовали с помощью спектроскопии импеданса в различных газовых атмосферах (воздух, пары изопропилового спирта, пары ацетона) при 300 °С в частотном диапазоне от 1 кГц до 500 кГц [9]. На частотной зависимости мнимой части импеданса наблюдается релаксационный максимум, который сдвигается в более высокочастотную область в присутствии паров восстанавливающих газов. По данным частотных зависимостей мнимой части импеданса рассчитаны значения чувствительности к парам ацетона и спирта:

$$S = \text{Im}(Z)_{\text{возд}} / \text{Im}(Z)_{\text{газ}},$$

где $\text{Im}(Z)_{\text{возд}}$ – значение мнимой части импеданса в атмосфере воздуха, $\text{Im}(Z)_{\text{газ}}$ – значение мнимой части импеданса в присутствии паров восстанавливающих газов. Обнаружено, что максимальной чувствительностью к парам ацетона и изопропилового спирта обладает образец, отожженный при 500 °С.

Литература

1. Battaglia C., Escarré J., Söderström K. et al. // Nature Photonics. 2011. N 5. P. 535–538.
2. Zhang Q., Dandeneau C. S., Zhou X., Cao G. // Advanced Materials. 2009. V. 21. P. 4087–4108.
3. Singh N., Mehra R. M., Kapoor A., Soga T. // Journal of Renewable and Sustainable Energy. 2012. P. 013110.
4. Мошников В.А., Таиров Ю.М., Хамова Т.В., Шилова О.А. Золь-гель технология микро- и нанокompозитов: Учебное пособие / Под ред. О.А. Шиловой. – СПб.: Изд-во «ЛАНЬ», 2013.

5. Moshnikov V. A., Gracheva I. E., Kuznezov V. V. et al. // Journal of Non-Crystalline Solids. 2010. V. 356. P. 2020-2025.
 6. Кононова И. Е., Мошников В. А., Криштаб М. Б., Пронин И. А. // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40. С. 244-261.
 7. Божинова А. С., Канева Н. В., Кононова И. Е. и др. // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. С. 1662-1666.
 8. Левицкий В. С., Леньшин А. С., Максимов А. И. и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. С. 725-733.
 9. Мошников В. А., Грачева И. Е., Аньчков М. Г. Физика и химия стекла. 2011. Т. 37. С. 672-684.
-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ИАГ-ЛАЗЕРА В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ

Василевский А.М., Коноплев Г.А., Мосейко Д.В.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Санкт-Петербург, Россия

amvasilevsky@mail.ru, gakonoplev@mail.ru

Беспроводная передача энергии на значительные расстояния с помощью оптического излучения предполагает создание оптико-электронной системы, включающей источник излучения (лазер), телескопическую систему формирования пучка требуемого размера и конфигурации, а также фотоэлектрический преобразователь, согласованный по спектральным характеристикам и размерам приемной площадки с источником.

На кафедре квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разработан лабораторный стенд, предназначенный для беспроводной передачи энергии с помощью лазерного излучения на расстояния до 300 м на основе ИАГ-лазера (длина волны излучения 1.06 мкм, мощность излучения в непрерывном режиме – до 20 Вт, диаметр пучка в перетяжке 0.5 мм). Выбор данного типа лазера обусловлен тем, что в приземном слое атмосферы поглощение излучения в основном определяется молекулами воды ($\lambda = 0.86$ и 0.93 мкм) и кислорода ($\lambda = 0.83$ мкм). В области длин волн вблизи 1.06 мкм заметное резонансное поглощение практически отсутствует.

В качестве фотоэлектрического преобразователя использовалась матрица Si-фотоприемников диаметром 40 мм. Для достижения максимальной равномерности светового поля лазерного пучка в его поперечном сечении и получения минимальной расходимости излучения лазер работает в режиме нулевой поперечной моды (TEM₀₀-моды). Это достигается путем селекции поперечных типов колебаний с помощью диафрагмирования лазерного пучка в месте каустики поля внутри резонатора. Роль диафрагмы выполняет апертура самого активного элемента лазера.

Экспериментально было установлено, что диаметр светового пятна на расстоянии 200 мм от выходного окна излучателя составил 1.6 мм при угловой расходимости излучения 0.86 мрад, что не обеспечивает пространственного согласования с используемым фотопреобразователем.

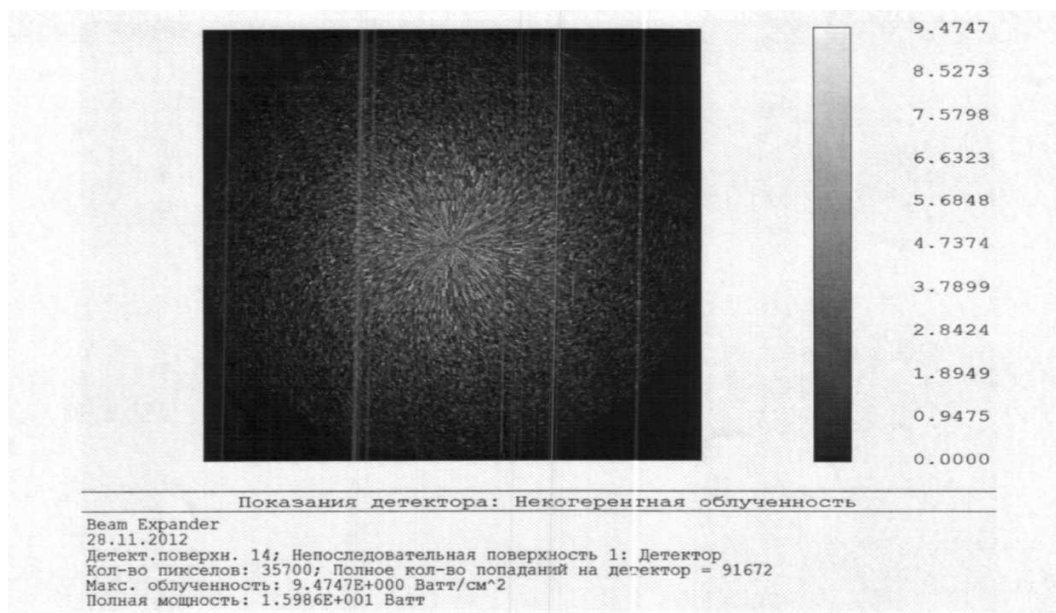


Рис. 1. Распределение энергии в пятне для положения фокусировки 40 м

Для уменьшения угловой расходимости излучения лазера был разработан двухлинзовый телескоп (схема Галилея, материал оптических элементов – плавленый кварц, тип аподизации – Гауссово распределение, коэффициент аподизации – 1) с возможностью фокусировки на расстояниях от 40 м до 300 м путем изменения расстояния между линзами.

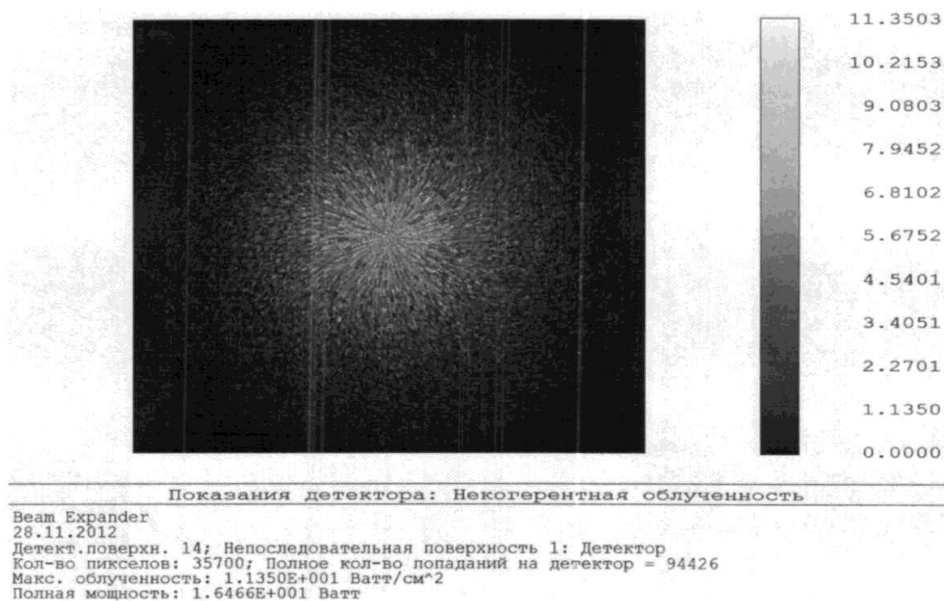


Рис. 2. Распределение энергии в пятне для положения фокусировки 100 м

Компьютерное моделирование формы и размера пятна при фокусировке излучения лазерной системы на различных расстояниях (рис. 1 и рис. 2) показало, что форма изображения соответствует Гауссову распределению. При этом подбором расстояния между линзами теоретически излучение можно сфокусировать в круг, диаметром 20...40 мм.

Таблица. Результаты экспериментальных исследований зависимости размеров пятна от расстояния

L, м	I, А	Диаметр пучка $D_{об}$, мм (эксперимент)	Диаметр пучка $D_{об}$, мм (расчет)
10	18	23	21.3
20	18	27	24.2
30	18	31	27.2
50	18	35	38.1

Экспериментальное исследование пространственного распределения потока излучения лазерной системы, выполненное с применением цифровой видеокамеры с фотоприемной ПЗС матрицей, чувствительной в спектральной области 400...1100 нм, показало, что до расстояния 50 м распределение потока по сечению пучка описывается функцией, близкой к функции Гаусса (см. таблицу). При больших расстояниях наблюдается заметная асимметрия формы, что требует усложнения телескопической системы.

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ НАНОЧАСТИЦ Ag/SiO_2

Д.В. Вязьмитинов, Л.Б. Матюшкин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

В настоящее время основная часть фотовольтаических структур производится из пластин кристаллического кремния толщиной от 180 мкм до 350 мкм, а высокая цена солнечных батарей обусловлена в первую очередь высокой стоимостью кремния (~40% от стоимости фотоячейки). Поэтому наряду с пластинами из кремния используются тонкопленочные солнечные элементы (ТСЭ), в которых полупроводник имеет толщину 1–2 мкм и расположен на подложке из более дешевого материала – стекла, пластика или нержавеющей стали [1].

Для снижения стоимости электроэнергии, производимой СЭ, нужно увеличивать их КПД. Коммерческие технологии изготовления СЭ из кристаллического кремния позволяют получить КПД до 18% и имеют теоретический максимум 31%. КПД ТСЭ составляет от 5-8% для коммерческих до 15% для опытных образцов. Первая из упомянутых технологий уже приближается к своему максимуму в соотношении цена/эффективность; широкому использованию второй мешают отсутствие дешевых способов выращивания гомогенных тонких пленок большой площади, их низкая стабильность и относительно малый КПД ТСЭ массового производства [1].

Задача повышения КПД СЭ при одновременном уменьшении его толщины является противоречивой, т.к. КПД снижается при уменьшении толщины фоточувствительного слоя. Одним из путей разрешения этого противоречия является использование плазмонных структур, в частности металлических наночастиц на поверхности, внутри или между фоточувствительными полупроводниковыми слоями СЭ. В подобных структурах падающий солнечный свет возбуждает поверхностные плазмон-поляритонные волны, вследствие чего происходит «захват» излучения – концентрация световой энергии в окрестности наноструктур, а также рассеяние света наноструктурами в том числе параллельно фоточувствительным слоям, что увеличивает путь фотона в поглощающей среде. При этом коэффициент поглощения

ТСЭ возрастает и может достигать 98%, следовательно, большая часть световой энергии будет преобразована в электрическую. Также при использовании плазмонных структур расширяется спектральный диапазон длин волн, поглощаемых фотоячейкой [2]. Повышение КПД позволит перейти к ТСЭ на полупроводниковых пленках с меньшей толщиной [2].

Таким образом, использование плазмонных структур позволяет снизить затраты на изготовление солнечных батарей и в то же время увеличить КПД СЭ.

В данной работе предложена методика синтеза наночастиц с двойным плазмонным резонансом и исследованы их оптические свойства.

Наночастицы ядро-оболочка Ag/SiO_2 были получены путём химического восстановления нитрата серебра с последующим формированием оболочки по модифицированному методу Штобера [3]. В качестве восстановителя выступала аскорбиновая кислота. Для стабилизации частиц был использован цетилтриметиламмонийбромид (ЦТАБ). Для ускорения восстановительных процессов в раствор также был добавлен NaOH .

Полученные наночастицы были исследованы с помощью просвечивающей оптической спектроскопии (рис. 1).

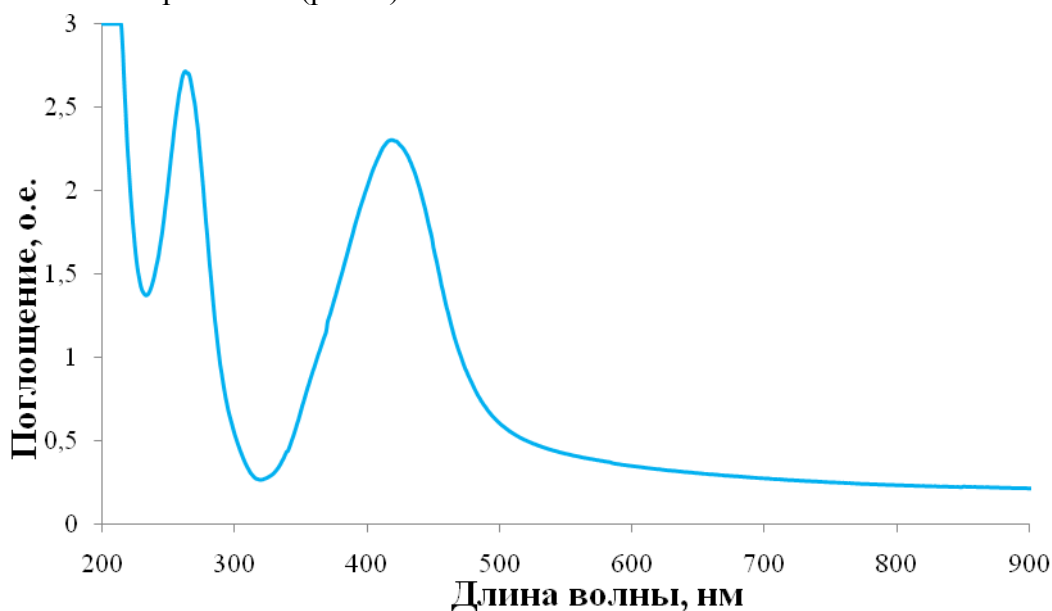


Рис. 1. Спектр поглощения наночастиц Ag/SiO_2

Спектр поглощения раствора наночастиц Ag/SiO_2 имеет два ярко выраженных пика – на 265 нм и на 425 нм. Пик, соответствующий длине волны 425 нм, объясняется наличием в исследованном растворе наночастиц серебра, размером порядка нескольких десятков нанометров. Присутствие второго пика на 265 нм, может быть объяснено отличием формы полученных наночастиц от сферической. В таком случае, этот пик является второй модой плазмонных колебаний. Второй пик также мог возникнуть из-за наличия в растворе сверхвысокодисперсных наночастиц серебра, размером менее 1 нм. Однако, последующие исследования полученных образцов с помощью атомно-силовой микроскопии показали, что синтезированные наночастицы Ag/SiO_2 имеют эллиптическую форму. Благодаря этому можно сказать, что первый вариант объяснения является наиболее правдоподобным.

Полученные данные позволили оптимизировать технологический процесс синтеза подобных структур для последующих экспериментов.

Литература

1. Catchpole, K.R. Plasmonic solar cells / K.R. Catchpole, A. Polman // Optics express. – 2008. – Vol. 16. No 26. – P. 21793.
2. Atwater, H.A. Plasmonics for improved photovoltaic devices / H.A. Atwater, A. Polman // Nature materials. – 2010. – Vol. 9. – P. 205.
3. Stöber, W. Controlled growth of monodispersed spheres in the micron size range / W. Stöber, A. Fink, E. Bohn // J. Colloid Interface Sci. – 1968. – Vol. 26 – P. 62–69.
4. Основы золь-гель технологии нанокмполитов [Текст]: учебное пособие / А.И. Максимов, В.А. Мошников, Ю.М. Таиров и др. – СПб, : Техномедия, Элмор, 2007. – 156 с.

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК МЕТОДАМИ АСМ

Лебедкина Е.И., Максимов А.И.
Санкт-Петербург, СПГЭТУ «ЛЭТИ»
leb302@mail.ru

Уникальные свойства соединений оксидов ванадия открывает большой простор для научных исследований в области технологии наноматериалов, наноэлектроники, плазмоники, фотоники. Наиболее интересным для применения в фотонике и солнечной энергетике является диоксид ванадия. При комнатной температуре оксид ванадия (IV) образует чёрно-синие кристаллы моноклинной сингонии. Такие кристаллы VO_2 обладают диэлектрическими свойствами, но при увеличении температуры до $68^\circ C$ кристалл оксида ванадия переходит в тетрагональную модификацию, которая проявляет металлические свойства. Подобный фазовый переход изменяет не только такие физические свойства среды как проводимость, показатель преломления, коэффициент поглощения, а также деформирует кристалл, за счет изменения постоянной решетки и углов между связями [1]. Благодаря указанным особенностям, оксид ванадия находит множество применений: термисторы, мемристоры [2], логические элементы, элементы памяти [3]; оптические переключатели [4], ограничители [5], сенсоры [6].

Для применения в оптических переключателях и солнечных элементах интересен термохромизм, проявляющийся в тонких пленках диоксида ванадия. Термохромизм – свойство объекта менять свой цвет при изменении температуры. В случае диоксида ванадия при фазовом переходе его из полупроводниковой фазы в металлическую изменяется коэффициент оптического пропускания.

В настоящей работе описана технология для коллоидного синтеза наночастиц диоксида ванадия из раствора ацетилацетоната ванадила ($VO(acac)_2$) в спирте. Проведена оценка размеров, полученных наночастиц методами атомно-силовой микроскопии (АСМ).

С целью создания раствора, содержащего наночастицы оксидов ванадия, был приготовлен раствор $VO(acac)_2$ в бутаноле, который затем резко впрыскивался в количестве 10 мл в раствор 20 мл бутанола, 300 мг лаурилсульфата натрия (SLS) и воды. Для управления размером получаемых наночастиц при приготовлении исходных растворов было использовано разное количество дистиллированной воды (100 мкл, 50 мкл, 30 мкл). Каждый из растворов интенсивно перемешивался в течение 5 минут. Затем, после фильтрации непрореагировавших остатков $VO(acac)_2$ и центрифугирования для отделения наночастиц, были получены три конечных

раствора. Цвет каждого из растворов в зависимости от количества дистиллированной воды изменялся от бледно-желтого до тёмно-оранжевого. Из полученных растворов была создана серия образцов для анализа в АСМ и оценки размера синтезированных наночастиц. Растворы были нанесены методом центрифугирования на чистые подложки из стекла и кремния с дальнейшим отжигом на воздухе при температуре 300°C в течение 30 минут. Основные результаты АСМ приведены на рис. 1. Сканирование проводилось полу контактным методом кремниевым зондом с радиусом закругления 10 нм. Размер частиц определялся без учета радиуса закругления зонда.

Для проведения диагностики полученных наночастиц и их растворов использовался атомно-силовой микроскоп фирмы НТ-МДТ ИНТЕГРА Терма и спектрофотометр ПЭ-5400УФ.

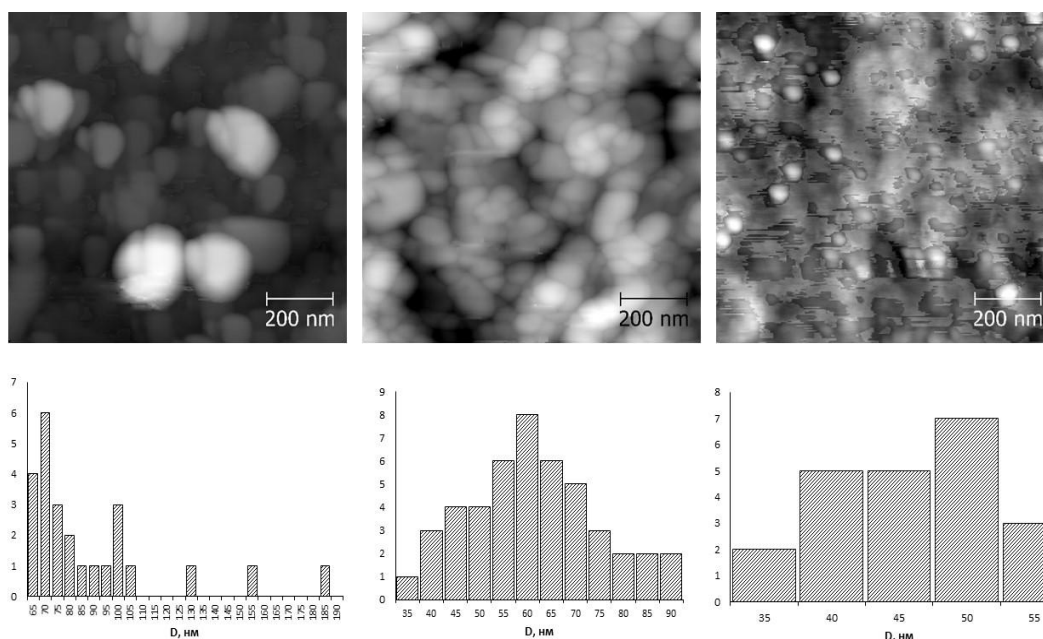


Рис. 2. АСМ изображения наночастиц V_2O_5 и их распределение по размерам. Частицы, полученные при добавлении: а) 30 мкл; б) 50 мкл; в) 100 мкл дистиллированной воды соответственно.

В результате гидролиза и дальнейшей поликонденсации в растворе бутанол/SLS/вода образуются сферические частицы $V_2O_5 \cdot xH_2O$. Изменение размеров наночастиц в золе осуществляется за счет добавления различного количества дистиллированной воды. Увеличение концентрации воды в растворе приводит к тому, что большее количество молекул ацетилацетоната ванадила в растворе подвергается гидролизу. Таким образом, чем больше воды, тем быстрее идет нуклеация и больше зародышей образуется. В результате, при добавлении 100 мкл воды образуются частицы меньшего диаметра с однородным распределением по размерам. Добавление в раствор 30 мкл воды приводит к образованию более крупных частиц, но с сильным распределением по размерам.

Таблица 1. Зависимость среднего размера частиц от количества воды в растворе

№ образца	Количество воды, мкл	Средний диаметр частиц, нм
1 (а)	30	90
2 (б)	50	65
3 (в)	100	45

Дополнительно, полученные коллоидные растворы были проанализированы на спектрофотометре и на рис. 2 приведены их спектры поглощения в видимом диапазоне. Спектры наглядно показывают, как в зависимости от концентрации реагентов, в частности воды, в растворе сдвигается край полосы поглощения. Это может быть обусловлено размерным эффектом, возникающим за счет уширения энергетического зазора для наночастиц по сравнению с объемным материалом. Таким образом, спектры поглощения подтверждают, что при различной концентрации воды в растворе образуются частицы разного диаметра.

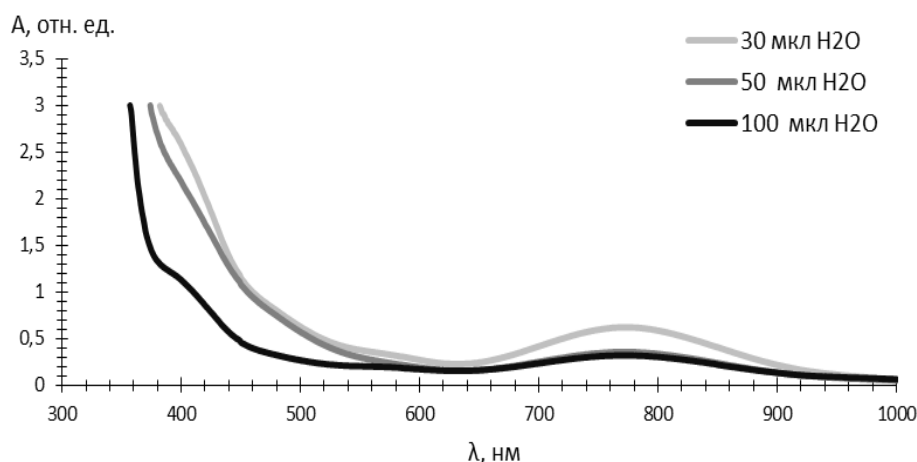


Рис. 3. Спектры поглощения коллоидных растворов наночастиц V_2O_5 , при-готовленных с различной концентрацией воды.

Для получения наночастиц двуокиси ванадия, исходные наночастицы пентаоксида ванадия были отожжены в атмосфере водорода в течение часа при температуре $T=450^\circ C$.

Диагностика полученных наночастиц на атомно-силовом микроскопе производилась в нескольких режимах. На рис. 1 представлены результаты топографии поверхности подложек, снятые в полуконтактном режиме для определения размера частиц. Ниже, на рис. 3, приведены результаты измерений вольт-амперных характеристик в одной точке при различных температурах. Для измерений использовался проводящий алмазный зонд. Также были получены картины топографии и сопротивления растекания в контактном режиме. На рис.3. отчетливо наблюдается резкое изменение в проводимости образца при увеличении температуры. Такое поведение сопротивления характерно для диоксида ванадия.

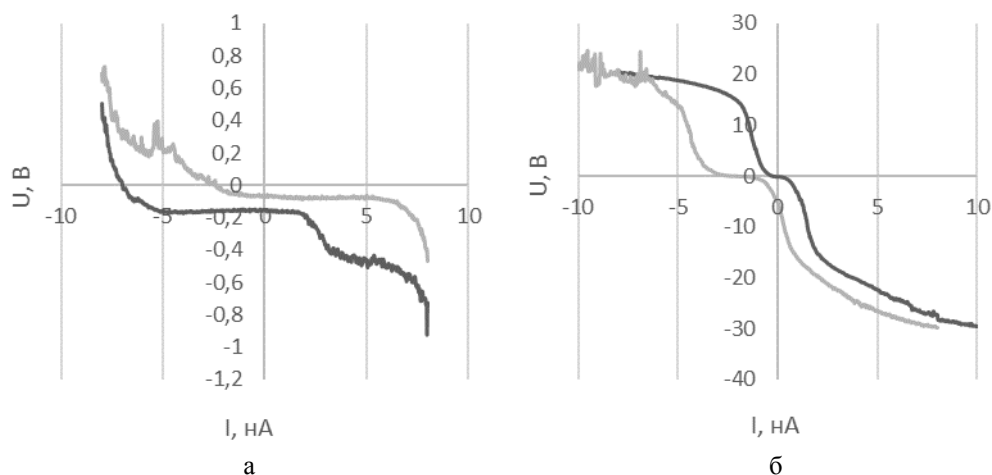


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики, снятые в одной точке наночастицы VO_2 . а) при $T=25^\circ C$; б) при $T=80^\circ C$

В заключение, можно сделать вывод, что метод получения наночастиц VO_2 из раствора $\text{VO}(\text{acac})_2$ в бутаноле достаточно эффективен. Он позволяет легко управлять размером синтезируемых наночастиц лишь добавлением различного количества воды. Однородные и заданного размера наночастицы пентаоксида ванадия сами по себе являются важным наноматериалом, обладающим интересными электрохимическими свойствами. В данной работе синтез наночастиц V_2O_5 является промежуточным этапом для получения термохромных частиц VO_2 . Посредством отжига уже синтезированных частиц пентаоксида ванадия в атмосфере азота осуществляется их восстановление до двуокиси ванадия. Диоксид ванадия во многом интересен за счет наличия фазового перехода металл-полупроводник, в результате которого изменяются многие свойства материала, такие как электрическое сопротивление и коэффициент пропускания. На основе этого явления базируется множество практических применений наночастиц VO_2 . До сих пор остается актуальным исследование оптических свойств композитных полимерных структур и тонких пленок на основе диоксида ванадия для применения в «умных» окнах, оптических переключателях, покрытиях для солнечных элементов и др.

Литература:

1. Goodenough, J.B. The two components of the crystallographic transition in VO_2 [text] / J.B. Goodenough // *Solid State Chem.* – 1971. №3. – С. 490–500.
2. Старцева, А. В. Изучение процесса локального зондового окисления тонких пленок титана [text] / Максимов А.И., Старцева А. В. // *Молодой ученый.* – 2012. – №9. – С. 12-17.
3. Stefanovich, G. Electrical switching and Mott transition in VO_2 [text] / G. Stefanovich A. Pergament, D. Stefanovich // *Journal of Physics-Condensed Matter.* – 2000. №12(41). – С. 8837-8845.
4. Jerominek, H. Vanadium oxide films for optical switching and de-tecton / Jerominek F., Picard F., D. Vincent // *Optical Engineering.* –1993. №32(9). – С. 2092-2099.
5. Chen, S.H. Smart VO_2 thin film for protection of sensitive infrared detectors from strong laser radiation [text] / S.H. Chen, H. Ma, X. J. Yi // *Sensors and Actuators A: Physical.* – 2004. №115(1). – С. – 28-31.
6. Rajendra Kumar, R. T. Pulsed laser deposited vanadium oxide thin films for uncooled infrared detectors [text] / R. T. Rajendra Kumar, B. Karun-akaran, D. Mangalaraj // *Sensors and Actuators A: Physical.* – 2003. №107(1). – С. 62-67.
7. Zhenda Lu, Synthesis and thermochromic properties of vanadium dioxide colloidal particles [text] / Zhenda Lu, Chunguang Li, Yadong Yin // *J. Mater. Chem.* – 2011. – №21. – С. 14776 – 14782.

СИНТЕЗ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК СЕЛЕНИДА КАДМИЯ В НЕКООРДИНИРУЮЩЕМ РАСТВОРИТЕЛЕ ОКТАДЕЦЕНЕ

Мазинг Д.С., Александрова О. А.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им.
В.И. Ульянова (Ленина)
dmazing@yandex.ru, oaaleksandrova@gmail.com

Коллоидные квантовые точки (ККТ) являются объектом нанотехнологии привлекающим все большее внимание в связи с возможностью их применения в

оптоэлектронике и биомедицине [1-3]. Повышенное внимание уделяется полупроводниковому соединению группы A2B6 селениду кадмия (CdSe), нанокристаллы которого характеризуются сильной фотолюминесценцией. При этом эффективную ширину запрещенной зоны можно варьировать в зависимости от размера нанокристаллов в практически важном диапазоне видимого спектра, что делает коллоидные квантовые точки CdSe перспективным материалом для создания солнечных элементов 3-го поколения. Важным фактором здесь также является технологическая совместимость ККТ с материалами различной природы и морфологии (проводящие полимеры, металлоксиды, углеродные наноматериалы).

При том, что ККТ могут быть синтезированы как в полярной, так и в неполярной средах [4,5], частицы, полученные в органических растворителях, как правило, проявляют лучшие свойства благодаря возможности проведения синтеза при более высоких температурах. Используемая в данной работе методика получения нанокристаллов заключается в быстрой инъекции одного прекурсорного раствора, содержащего ионы кадмия или селена, в другой прекурсорный раствор при температуре более 200° С в присутствии молекул органического стабилизатора. Это приводит к мгновенной нуклеации с последующим ростом образовавшихся частиц, которые не подвергаются агрегации ввиду формирования органической оболочки стабилизатора на их поверхности.

Изначально методики получения ККТ халькогенидов кадмия включали использование дорогостоящих, высокотоксичных и нестабильных на воздухе реагентов (фосфорорганические соединения, диметилкадмий). В настоящее время тенденцией развития технологии получения полупроводниковых кристаллов является применение недорогих и безопасных компонентов, таких как некоординирующий растворитель октадецен [6], который с одной стороны обеспечивает эффективное растворение компонентов реакции, а с другой – обладает достаточно высокой температурой кипения (315° С) и точкой плавления ниже комнатной температуры. В качестве недорогого стабилизатора могут быть использованы жирные кислоты или алифатические амины. В этом случае подходящими источниками кадмия и селена являются оксид кадмия и элементарный селен, причем прекурсорный раствор селена может представлять собой как гомогенный раствор, получаемый при повышенных температурах, так и гетерогенную смесь мелкодисперсного порошка селена и октадецена. Второй вариант может позволить существенно увеличить выход реакции [7].

В данной работе для синтеза ККТ CdSe раствор, включающий 1 ммоль оксида кадмия, 20 ммоль олеиновой кислоты и 40 мл октадецена был нагрет в трехгорлой колбе до 160° С для образования олеата кадмия. Для приготовления второго прекурсорного раствора 0,5 ммоль элементарного селена были смешаны с 10,7 ммоль олеиновой кислоты и 3,4 мл октадецена, и полученная смесь была подвергнута ультразвуковому воздействию в течение получаса до получения равномерной суспензии. Температура прекурсорного раствора кадмия была повышена до 225°С и суспензия селена была быстро инъецирована в реакционный объем при помощи шприца. Образцы отбирались по ходу реакции через определенные интервалы времени, и частицы выделялись путем добавления в исходный раствор некоторого количества ацетона с последующим центрифугированием и редиспергированием в гексане. Спектры поглощения и фотолюминесценции полученных нанокристаллов представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

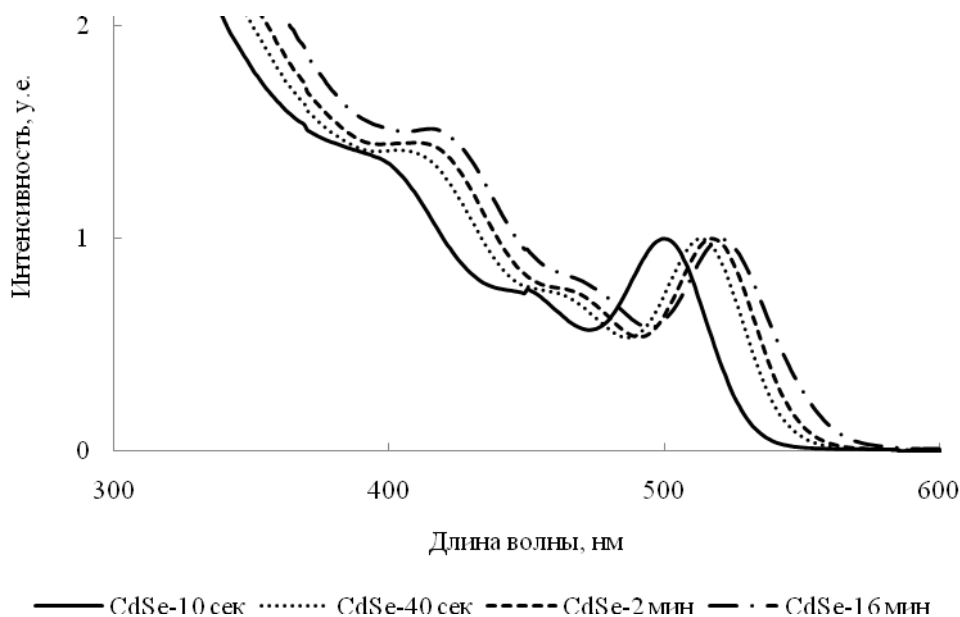


Рис. 1 – Спектры поглощения ККТ CdSe, полученных через 10 сек., 40 сек., 2 и 16 мин. после инъекции раствора селена

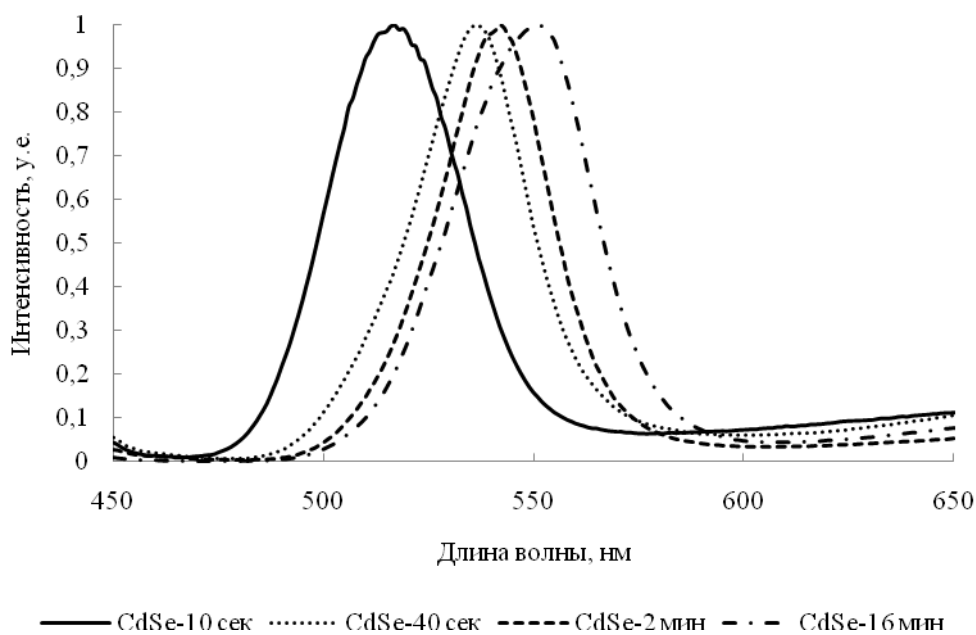


Рис. 2 – Спектры фотолюминесценции ККТ CdSe, полученных через 10 сек., 40 сек., 2 и 16 мин. после инъекции раствора селена

Из спектров поглощения видно, что в ходе реакции происходит сдвиг края поглощения в длинноволновую область, что указывает на рост нанокристаллов. При этом скорость роста в ходе реакции быстро снижается. На первом этапе синтеза распределение частиц по размерам уменьшалось, что находит отражение на спектрах фотолюминесценции (рис. 2). Параметр полной полуширины на половине максимума пика для первого отобранного образца равняется 38 нм, тогда как для второго и третьего образцов он составляет около 31 нм. По мере расходования мономеров в реакционном объеме термодинамическое равновесие смещается в сторону роста более крупных частиц за счет растворения более маленьких (так называемое созревание Оствальда), так что образец, отобранный через 16 минут после нуклеации

характеризуется более широким распределением по размерам (параметр полуширины равен 39 нм).

Как видно из рис. 2, полученные нанокристаллы проявляют фотолюминесценцию с максимумом в зеленой области спектра. Квантовый выход ККТ CdSe был оценен методом сравнения с эталонным органическим красителем Родамином Ж и составил порядка 9 %.

Литература

1. Сенсоры на основе металлических и полупроводниковых коллоидных наночастиц для биомедицинских и экологических применений / С. Ф. Мусихин, О. А. Александрова, В. В. Лучинин и др. // Биотехносфера. 2013, №2. С.2–17
 2. Полупроводниковые коллоидные наночастицы в биологии и медицине / О. А. Александрова, В. В. Лучинин, А. И. Максимов и др.// Биотехносфера, 2012. №5–6 (23–24). С.40–48
 3. Исследование процессов самоорганизации квантовых точек сульфида свинца как основы электронных приборов нового поколения / С. А. Тарасов, О. А. Александрова, А. И. Максимов и др. // Известия вузов. 2013г. № 3. С.28–31
 4. Самоорганизация квантовых точек сульфида свинца для люминесцентных структур, полученных методом испарения коллоидного раствора / О. А. Александрова, А. И. Максимов, Е. В. Мараева и др. // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 2. С.19–23
 5. Особенности синтеза люминесцирующих полупроводниковых наночастиц в полярных и неполярных средах / Л. Б. Матюшкин, О. А. Александрова, А. И. Максимов и др.// Биотехносфера. 2013. № 2. С. 28–33
 6. Peng X., Qu L., Peng Z. A. Alternative Routes toward High Quality CdSe Nanocrystals// Nano Letters. 2001.Vol.1 (6). P.333–337
- Highly reactive, flexible yet green Se precursor for metal selenide nanocrystals: Se–octadecene suspension (Se–SUS) / C. Pu, J. Zhou, R. Lai et al. // Nano Res. 2013.Vol.6 (9). P.652–670

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЙ

Майкова О.В.^{1,2}, Юрченко А.В.¹, Юрченко В.И.²

¹Томск, ФГБОУ ВПО «Томский политехнический университет»

²ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»

E-mail: Olga.majkova.77@mail.ru

Эта работа представляет интерес для тех, кто интересуется направлением науки, в котором тесно переплелись представления физики, химии, материаловедения.

На стыке веков, когда казалось, что уже всё открыто, всё понятно и остаётся только использовать на благо общества приобретённые знания, возникла и стала быстро набирать силу новая междисциплинарная область науки – нанонаука – совокупность знаний о фундаментальных свойствах веществ; стала формироваться тенденция перехода от исследований при «обычных» условиях (температуры, близкие к 300К, нормальные концентрации и атмосферное давление) к синтезу в условиях с приставкой «сверх». Это физико-химические превращения при сверхвысоких энергиях и сверхнизких температурах, сверхвысоких давлениях и сверхвысоком вакууме, при сверхнизких концентрациях и с участием сверхмалых частиц.

Наряду с общепризнанными важными задачами физики и биологии XXI века «Как возникла вселенная?» и «Как возникла жизнь?», достойной проблемой XXI века является поиск ответа на вопрос: «Что такое вещество? Как оно образуется?» и, ответ на этот вопрос надо искать в наномире.

Что же такое наномир?

– это пятое состояние самоорганизации вещества из атомов в макровещество. Изучать его можно исходя из концепции, существования в этой области диапазона размеров (1-100нм) конвергенции неорганического и биологического мира. Ключевое слово здесь – самоорганизация: самоорганизация атомов в точные конфигурации, затем по принципу клеточного атома в более сложные по иерархии структуры – в наночастицы, в макромолекулы, а затем и в макрообъекты. При этом граница между микромиром и макромиром не определена, и её существование есть предмет оживлённых дискуссий.

Оказалось, что наночастицы, обладают высокой активностью и с ними, в широком интервале температур, возможно осуществление реакций, которые не идут с частицами макроскопического размера. На 1нм размещается порядка 10 атомов металла, которые формируют поверхностную частицу, не имеющую объёма и обладающую высокой химической активностью. [1]. Физико-химические свойства и активность частицы можно изменить добавлением одного атома или молекулы. Размер 10 нм позволяет рассматривать одно-, двух-, и трёхмерные объекты типа плёнок, проводов и трубок. Частицы с размерами, близкими к 100нм, правильнее рассматривать как ультрадисперсные, а получаемые на их основе материалы – как микроскопические.

Зависимость физико-химических свойств от размера частицы рассматривается на примере оптических спектров [2], магнитных свойств [3, 4], термодинамики [5], электрохимии [6], электропроводности и транспорта электронов [7, 8]. Различные формы уравнений, описывающих зависимость физических свойств от размера частицы на основе модели капли, приводятся в работе [9]. В наночастицах значительное число атомов находится на поверхности, и их доля растёт с уменьшением размера частиц. Соответственно, увеличивается и вклад поверхностных атомов в энергию системы. Отсюда возникает ряд термодинамических следствий, например, зависимость от размера температуры плавления $T_{пл}$ наночастиц. С размером, влияющим на реакционную способность, связаны и такие свойства частиц, как, увеличение растворимости, сдвиг химического равновесия. Размер частицы можно рассматривать и как эквивалент температуры. Установлено, что изменение размера нанокристалла металла управляет переходом металл-неметалл [1]. Это явление также может отражаться на реакционной способности системы.

К химическим методам получения наночастиц относятся различные варианты золь-гель метода [10]. Первоначально золь-гель системы называли «коллоидными растворами» или «полуколлоидными растворами», а сам метод называли «методом растворной керамики» или «химическим методом» [11]. Первые сведения о применении золь-метода для синтеза кристаллических силикатных люминофоров относятся к 40-м годам XX века. Однако, в своё время, этот метод не получил широкого развития, и лишь в конце XX века стал использоваться для получения материалов. В отличие от новых терминов, включающих словосочетание «золь-гель», сами понятия о золе и геле известны с древних времён. В 1583 году алхимик и врач французского короля Давид де Плани-Кампи опубликовал «Трактат об истинном, непревзойдённом, великом и универсальном лекарстве древних, о питьевом золоте, несравненной сокровищнице неисчерпаемых богатств». В нём он, ссылаясь на своих предшественников, в основном на арабских алхимиков, описывает чудодейственные, целебные свойства питьевого золота. «Питьевое золото» - коллоидный раствор

красного цвета. Он образуется при добавлении к очень разбавленному раствору соединений золота различных восстановителей (ими могут служить многие органические вещества) [12]. О питьевом золоте упоминают и китайские книги по медицине, датированные I веком до н.э. Китайские врачи полагали, что это и есть «эликсир жизни» - напиток, дарующий молодость, здоровье и силу.

Становление золь-гель технологии в качестве самостоятельного научного направления связывают с проведением в 1981г. первого международного симпозиума «Glasses and Glass Ceramics from Gels», который с того момента проводится через каждые два года вплоть до настоящего времени. В 1993г. появляется специальный международный журнал (Journal of Sol-Gel Science and Technology), посвящённый исключительно проблемам золь-гель науки и технологии. Большой вклад в становление научной базы золь-гель технологии внесли фундаментальные работы отечественных учёных К.А. Андрианова, М.Г. Воронкова, И.В. Гребенщикова. Разрабатывались и внедрялись в производство процессы получения стёкол, керамики, стеклокерамики, покрытий, волокон и других неорганических материалов (прежде всего, оксидных). В конце же XX века начался настоящий «бум» в области синтеза материалов нового типа – гибридных органо-неорганических, сочетающих полезные свойства керамики, стекла и органических полимеров. Сегодня золь-гель технология востребована в микро- и нанoeлектронике, альтернативной энергетике, медицине, биотехнологиях и во многих других областях.

Основное достоинство этого жидкофазного метода заключается в высокой степени гомогенизации исходных компонентов – прекурсоров (precursor в переводе с английского – «предшественник»), благодаря их растворению в гомогенной среде золь-гель систем. Золь-гель метод позволяет получить тонкие кварцевые стёкла при значительно более низкой температуре (1250°C) минуя такие стадии, как: варку стекла, наплавку булей, резку стекла на пластины. Применение силикатов, модифицированных органическими соединениями, в качестве матриц и стабилизаторов позволяет в одну стадию получать золи, гели и биметаллические наночастицы [13]. Получение наночастиц металлов, путём соконденсации на холодной поверхности, позволяет легко вводить в их состав различные добавки, которые могут изменять физико-химические свойства системы. Недавно французские учёные опубликовали работу, в которой говорится о создании с помощью золь-гель технологии на основе диоксида кремния целого ряда наноструктур от нанотрубок до наноспиралей [14]. Рис.1.

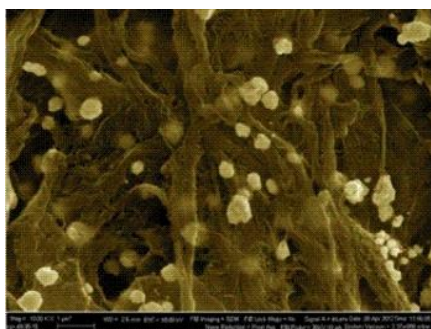


Рис.1. Бумага из углеродных нанотрубок с нанесёнными наночастицами Ag

Мечтал организовать институт одного элемента – кремния Илья Васильевич Гребенщиков. Однако во главу угла ставилось народно-хозяйственное значение и, поэтому, был создан Институт химии силикатов.

Золь-гель технологию можно отнести к энергосберегающим технологиям, т. к. для её реализации не требуются энергоёмкие и экологически опасные процессы измельчения исходных компонентов. Кроме того, данный метод позволяет обеспечить

высокую степень чистоты продуктов на всех стадиях синтеза при минимуме затрат. Термин «золь-гель технология» и ряд связанных с ним терминов («золь-гель», «золь-гель-процесс» и др.) входят в «Словарь нанотехнологических терминов», составленный ОАО «Роснано» [15]. Согласно этому словарю, золь-гель процесс – это технология материалов, в том числе наноматериалов, включающая получение золя с последующим переводом его в гель, т. е. в коллоидную систему, представляющую собой жидкую дисперсионную среду, заключённую в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсионной фазы. Для того, чтобы произошёл переход из одного состояния в другое, необходимо изменить концентрацию раствора, температуру, pH или ввести в систему электролит.

Золь-гель процесс управляется посредством температуры, ультразвука, магнитного поля и других факторов внешнего воздействия. В золь-гель синтезе широко используются приёмы темплатного синтеза [16, 17]. Эта технология реализуется путём введения в золи (как правило, вместе с исходными компонентами) структурирующих добавок – наночастиц, неорганических и органических соединений (часто это поверхностно-активные вещества), которые способствуют формированию определённых параметров: фазового состава, типа и формы кристаллитов, формы и размера пор и наночастиц, рельефа поверхности покрытий и т. п.

Несмотря на кажущуюся простоту технологических приёмов, используемых в золь-гель синтезе, в золях происходят сложные процессы, а образующиеся материалы, как правило, являются наноконпозиционными и имеют сложную фрактальную структуру.

Структура композиционных материалов, получаемых золь-гель методом, может представлять собой матрицу (неорганическую – оксидную или органическую – полимерную), в которой равномерно распределены наноразмерные включения второй фазы (например, люминофоры, магнитные, каталитические и другие компоненты), придающие синтезируемым материалам необходимые свойства. Структура золь-гель композитов может также быть организована по принципу взаимопроникающих и полу-взаимопроникающих стенок (ВПС и полу-ВПС, в иностранной литературе – IPN и semi-IPN).

Классическими процессами, лежащими в основе золь-гель синтеза, являются процессы гидролиза алкоксидов металлов $[Me(OR)_n]$, где М – металл, OR – алкоксильные группы] и кремния [алкоксиды, в которых место металла занимает кремний, называются алкоксисоединения: $Si(OR)_4$], а также, кислот, солей металлов и щелочных силикатов. При этом, продукты гидролиза очень отличаются по структуре и свойствам, в зависимости от условий проведения реакций гидролитической поликонденсации. Так, при кислотном гидролизе зольей, на основе алкоксидов металлов и алкоксисоединений, чаще всего, приходится иметь дело с золями, которые называются полимерными, в отличие от партикулярных (коллоидных) зольей. Согласно классикам золь-гель синтеза Бринкеру и Шереру, в полимерных золях образуются кластеры существенно менее плотные, чем частицы партикулярных зольей. Последние можно получить из частиц, которые образуются, непосредственно, в растворах или наоборот, осаждаются из газовой фазы и затем диспергируются в жидкости. При этом размер частиц партикулярных зольей может быть очень мал (менее 5нм), что делает различия между этими видами зольей весьма условными.

Разделение зольей на коллоидные и полимерные не относится к терминам коллоидной химии и, иногда, встречает возражения специалистов. Но такое разделение зольей часто встречается в англоязычной литературе по золь-гель технологиям. Такая классификация позволяет чётко идентифицировать полимерные золь-гель системы, имеющие фрактальную структуру и образующиеся в процессе агрегации полимерных фрагментов продуктов гидролиза алкоксисоединений

(изначально – димеров, тримеров и т.д., вплоть до гигантского кластера на основе макромолекул разветвлённой структуры).

Формирование геля начинается с образования фрактальной структуры золя, роста фрактальных агрегатов до таких размеров, пока они не начнут сталкиваться и сцепляться между собой, как это описывает теории протекания (теория перколяции). Около точки гелеобразования случайно расположенные соседние кластеры, состоящие из полимеров или агрегатов частиц, соединяются вместе, образуя единую структурную сетку. Точка гелеобразования соответствует порогу протекания (перколяции), когда образуется единый стягивающий кластер, как бы расширившийся по всему объёму золя. После прохождения точки гелеобразования, золь теряет подвижность и застудневает, преобразуясь в «мокрый гель». Мокрый гель, обычно, принимает форму того сосуда, в котором находился золь. Формирование геля не останавливается в точке гелеобразования. Обычно говорят, что в процессе выдержки во времени гель «старееет». Термин «старение геля» относится к процессам структурных изменений, происходящих после точки гелеобразования в мокром геле. В образовавшемся мокром геле единый кластер сосуществует с золем, который содержит множество мелких кластеров. При этом осуществляется процесс непрерывного присоединения последних к общему остову – непрерывному гигантскому кластеру. Кроме того, в гелях могут продолжаться реакции конденсации, не прошедшие до конца в золях, происходят процессы переосаждения мономеров или олигомеров, имеют место и фазовые переходы типа «твёрдая фаза – жидкость». Рис.2.

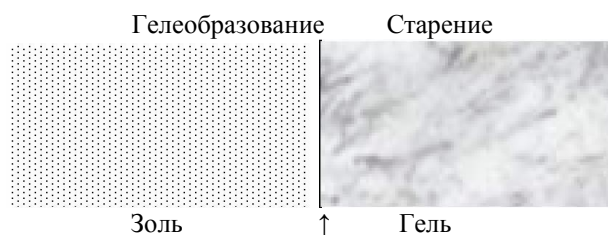


Рис.2. Точка гелеобразования

В процессе старения геля, обычно, происходит его усадка. Она включает деформацию сетки геля и удаление жидкости из пор. Высушенный гель называют ксерогелем. Объём ксерогеля в 5-10 раз меньше, чем объём мокрого геля. Существуют специальные приёмы, которые позволяют высушивать мокрый гель без разрушения его структуры. Например, современным методом получения аэрогелей (это ксерогель, в котором сохранился скелет мокрого геля, а поры, взамен удалённой жидкой фазы, заполнены воздухом) является суперкритическая сушка. Для этого мокрый гель помещается в автоклав и сушится в суперкритических условиях (при высоком давлении и более низкой температуре, чем та, что необходима для сушки при атмосферном давлении), при которых устраняется действие капиллярных сил, препятствующих удалению жидкости из пор. После сушки ксерогели и аэрогели подвергают обжигу, в процессе которого формируется стеклообразный или керамический материал. Во время обжига происходит множество сложных физических и химических процессов, связанных с деструкцией органических фрагментов, встроенных в неорганическую сетку геля, с удалением растворителей, летучих продуктов деструкции и химически связанной воды. (Рис. 3).

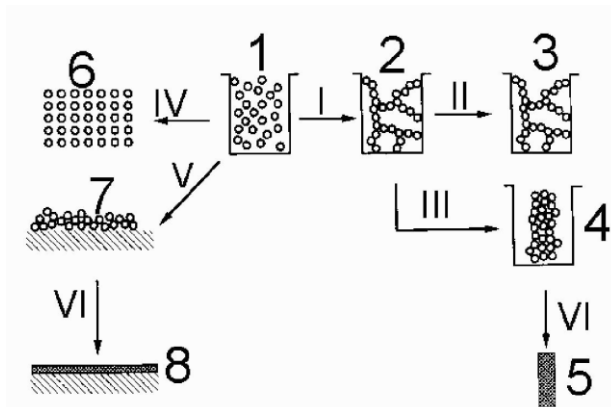


Рис. 3. Схема получения различных материалов, покрытий и порошков методом золь-гель технологии.

Где: I – созревание золя и гелеобразование: золь (1) → гель (2); II – сушка в суперкритических условиях или промывание геля в растворителях: гель (2) → аэрогель (3); III – сушка в обычных условиях: гель (2) → ксерогель (4); IV – осаждение наночастиц: золь (1) → порошок (6); V – нанесение золя на подложки: золь (1) → плёнка ксерогеля (7); VI – обжиг: ксерогель (4) или плёнка ксерогеля (7) → монолитные стекло и керамика (5) или плёнки и покрытия (8).

Гель из полимерного золя образуется в процессе полимеризации мономеров и полимеров, находящихся в золе. Постепенно из полимеризующихся разветвлённых олигомеров образуется гигантский кластер. Когда этот кластер достигнет макроскопических размеров и распространится на весь объём золя, говорят, что произошёл переход золя в гель. При этом, гель будет состоять, с одной стороны, из непрерывной структурной сетки – твёрдого стекла (остова), а с другой – из непрерывной жидкой фазы [18]. Гель из коллоидного золя образуется по другому механизму. Частицы дисперсной фазы (мицеллы) под воздействием дисперсионных сил притяжения взаимодействуют друг с другом, образуя остов неорганического полимера. Для полимерных гелей характерно наличие ковалентных связей между молекулами и фрагментами молекул, образующих гигантский кластер. Ковалентные связи являются постояннодействующими. Коллоидные гели создаются, как правило, за счёт Ван-дер-Вальсовых сил притяжения между агрегатами. Эти связи могут быть обратимыми, т.е., могут разрушаться в процессе встряхивания, а затем восстанавливаться.

Полимерные золи, полученные в результате кислого гидролиза алкоксисоединений, применяются в оптике и сенсорике, микро- и наноэлектронике для получения плёнок нанометровой толщины. Очень большая часть научных работ посвящена золь-гель технологиям оксидных материалов, что связано с исключительной ролью этих материалов в полупроводниковой газочувствительной сенсорике, катализе, волоконной оптике и радиотехнической керамике. В последнее время большой интерес вызывают получение и исследование нанокомпозитов, особенно органо-неорганических и с использованием добавок в виде наночастиц, углеродных нанотрубок, дендримеров и т.д. Особое внимание уделяется проблеме устойчивости золь-гель систем, получаемых смешиванием золь с высокодисперсными наполнителями (оксидами, углеродными частицами и т.п.).

Заключение:

«Отличием современной нанотехнологии является то, что она соединяет талант химика-синтетика и физика-теоретика с мастерством инженера». Во многих научных журналах публикуются статьи, в которых учёные синтезируют и описывают всё новые и новые неорганические структуры. Однако, для потенциального применения различных материалов, одним из важнейших критериев является воспроизводимость тех или иных выдающихся результатов. Для развития науки нужна промышленность,

а для развития промышленности необходима наука, высокие технологии, нанотехнологии.

Закончить статью хочется словами нобелевского лауреата, председателя Президиума Санкт-Петербургского научного центра Российской академии наук, академика Ж.И. Алфёрова:

«Единственный способ успешно совершенствоваться с передовыми странами – это развитие науки и высоких технологий, в том числе, нанотехнологий, создание промышленности, основанной на научно-технических разработках. Другого пути нет! Важной задачей, которая перед нами стоит, - сделать науку востребованной». Когда наука востребована, всегда появляются средства на реализацию научных разработок и исследований» [19].

Литература:

1. Сергеев Г.Б. 2007г.// Нанохимия, Курс лекций.
 2. Kreibig U., Vollmer M.// Optikal properties of metal clusters. Berlin: Springer-Verlag. 1995. 532 S.
 3. Суздаев И.П., Буравцев Ю.В., Плачинда А.С. // Рос. хим. журн. 2001. Т.45. С.66-73.
 4. Binns C. // Surf.Sci. Rep. 2001. V.44. P. 1-49.
 5. Wang Z.L., Petroski J.M., Green T.S., El-Sayed M.A. // J. Phys. Chem. B. 1998. V. 102. P. 6145-6151.
 6. Gorer S., Ganske J.A., Hemminger J.C., Penner R.M. // J. Amer. Chem. Soc. 1998. V. 120. P. 9584-9593.
 7. Alivisatos A.P. // J.Phys. Chem. 1996. V. 100. P. 13226-13239.
 8. Doty R.C., Vu H., Shih C.K., Korgel B.A. // J. Phys. Chem. B. 2001. V. 105. P. 8291-8296.
 9. Лахно В.Д.// Кластеры в физике, химии, биологии, Ижевск, 2001. 256 с.
 10. Bharathi S., Fishelson N., Lev O. // Langmuir. 1999. V. 15. P. 1929-1937.
 11. Мошников В.А., Шилова О.А. // Золь-гель нанотехнология.
 12. Леенсон И.// «Золото в бутылке», «Химия и жизнь – XXI век», Научно-популярный журнал.
 13. D'Souza L., Sampath S. // Langmuir. 2000. V. 16. P. 8510-8517.
 14. Статья "Individualized Silica Nanohelices and Nanotubes: Tuning Inorganic Nanostructures Using Lipidic Self-Assemblies" опубликована в NanoLetters
 15. Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов // Сайт ОАО «Роснано» - <http://thesaurus.rusnano.com/>.
 16. О.А. Шилова, В.В. Шилов // Нанокпозиционные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства, Применение // Наносистемы. Наноматериалы. Нанотехнологии: Сб. науч. Тр. / Под ред. Акад. А.П. Шпака. – Киев: Академперіодика, 2003. – Т. 1, №1. – С.9-83.
 17. Максимов А.И., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Шилова О.А. //Основы золь-гель технологии нанокмозитов / СПб. : Изд-во «Элмор», 2008. – 255 с.
 18. МОиНРФ // Основы золь-гель технологии нанокмозитов. 2008г.
- Алферов Ж.И. // Приветствие участникам конференции. Наноструктурированные атериалы: Россия – Украина – Беларусь (НАНО-2012). СПб.: ЛЕМА, 2012. С. 3
-

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТОМАРНОГО ПОТОКА ЧАСТИЦ В УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКЕ

Михайлов А. Н.
Чебоксары, Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева
michailov88@mail.ru

В настоящий момент синтез углеродных нанотрубок (УНТ) со специальными химическим соединением (нафион) и атомами водорода рассматривается как будущий топливный элемент с уникальными характеристиками высокоэффективности и энергоёмкости. Сейчас публикуется огромное количество работ, в которых описывается исследования по механизму взаимодействия частиц с УНТ [1].

Одним из важных направлений во взаимодействии частиц становится изучение их поведения внутри углеродной нанотрубки. Особенно, такое взаимодействие в деталях описано для молекул воды[2]. В нашей работе мы рассмотрели некоторые энергетические характеристики, атомов, основные из которых водород, кислород, и азот. С использованием молекулярной динамики был изучен процесс каналирования в УНТ для атомарного потока, состоящего из 100 атомов. И определены энергетические параметры в течении всего процесса каналирования (рис. 1).

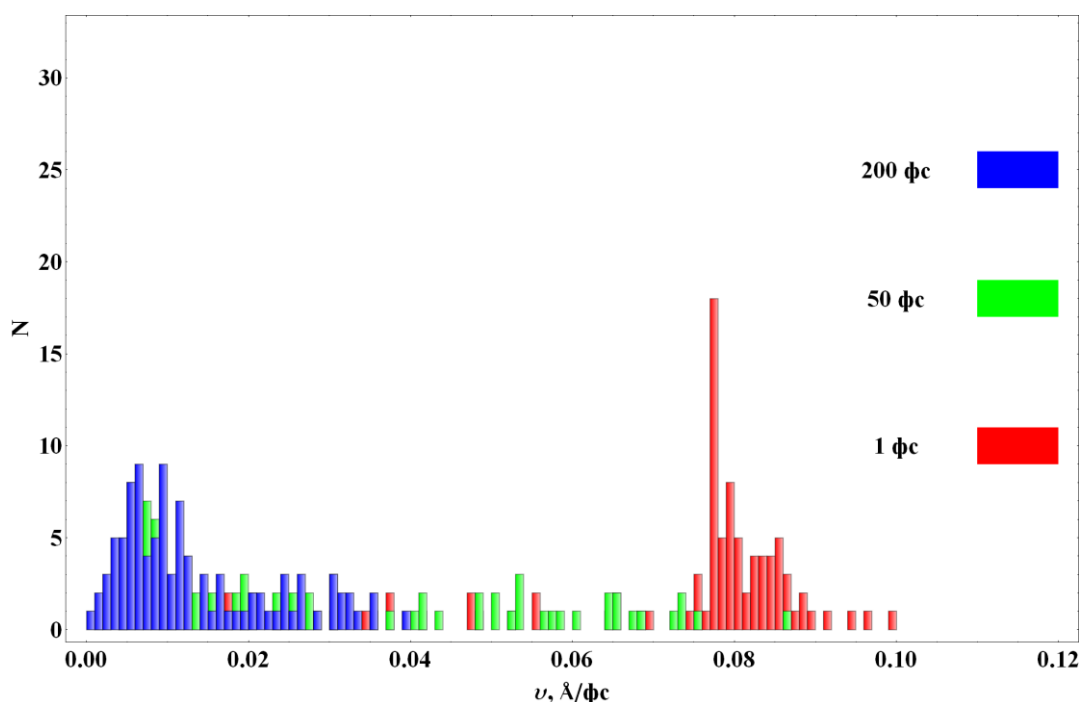


Рис 5. Распределение атомов кислорода по скоростям в УНТ (10.0) с начальной энергией 5 эВ (0.077 Å/фс) в момент времени 1 фс, 50 фс, 200 фс.

Мы проводили расчеты с использованием молекулярной динамики в пакете LAMMPS¹. На первоначальном этапе углеродные нанотрубки моделировались с использованием потенциала Терсоффа-Бреннера. Взаимодействие между атомами УНТ и отдельными атомами моделировалось с использованием потенциала Леннарда-Джонса. В данной работе использовался потенциал reaxFF² учитывающий более широкий спектр межатомных взаимодействий.

¹ <http://lammps.sandia.gov>

² <http://www.engr.psu.edu/adri/ReaxffManual.aspx>

Литература:

1. Вахрушев А.В., Липанов А.М., Суетин М.В. Моделирование процессов аккумуляции водорода и углеводородов наноструктурами. Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2008. 120 с.
2. Sridhar Kumar Kannam, B. D. Todd, J. S. Hansen, and Peter J. Davis, J. Chemical Physics 138 (2013) 094701.

ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ КАРБИНА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Михайлов Ф.Н.

Чувашский государственный педагогический университет
им. И.Я. Яковлева, каф. ОиТФ
E-mail: fedormihailov@yandex.ru

В работе изучаются механические свойства карбина. Модель представляет собой массив цепочек длиной 13 нм (рис. 1), находящихся в ячейке с периодическими границами по бокам. При температуре 300К модель подвергается продольному растяжению. Получены результаты по изменению межатомных связей, рассчитан модуль Юнга ≈ 123 ГПа, порядок которого согласуется с недавно опубликованной работой [1].

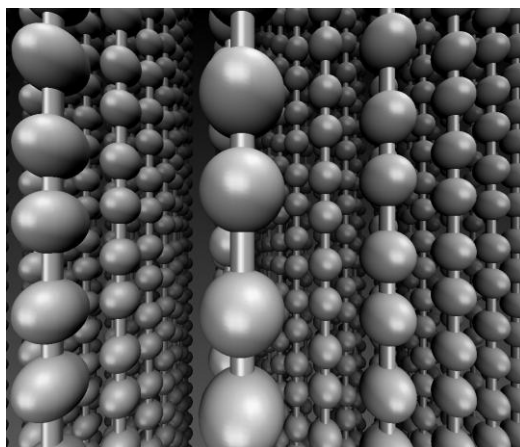


Рис. 1. Модель карбина

Карбин - аллотропная форма углерода на основе sp -гибридизации углеродных атомов. Состоит из углеродных фрагментов с тройной $-C\equiv C-C\equiv C-$, или двойной кумулированной $=C=C=C=C=$ связью.

Карбин и карбиноподобные вещества – удивительные технологические материалы. Благодаря комплексу уникальных физических и химических свойств, известных к настоящему времени и не проявляющихся у графита и алмаза, они могут широко использоваться в различных областях, включая микроэлектронику на моноуглеродной основе, термоядерный синтез, технологии получения чистых алмазов без металлических примесей. Перспективно его применение в урологии и стоматологии. Низкая работа выхода карбиновой плёнки порядка 0,5 эВ даёт возможность использовать её в солнечных фотоэлементах и в ячейках флэш-памяти [2,3].

Таким образом, материалы на основе карбина являются актуальными и многообещающими. Для получения карбина, важным этапом в исследовании является анализ его механических свойств.

Для моделирования продольного растяжения модели карбина используется метод молекулярной динамики реализованный в программе LAMMPS [4].

Для описания потенциального взаимодействия атомов углерода использовался потенциал ReaxFF [5,6], который обеспечивает точный счет химического и механического поведения углеводородов, графита, алмаза, и других углеродных наноструктур [7-9], в то же время потенциал способен обрабатывать тысячи атомов с квантово-химической точностью на длительном временном масштабе до нескольких наносекунд.

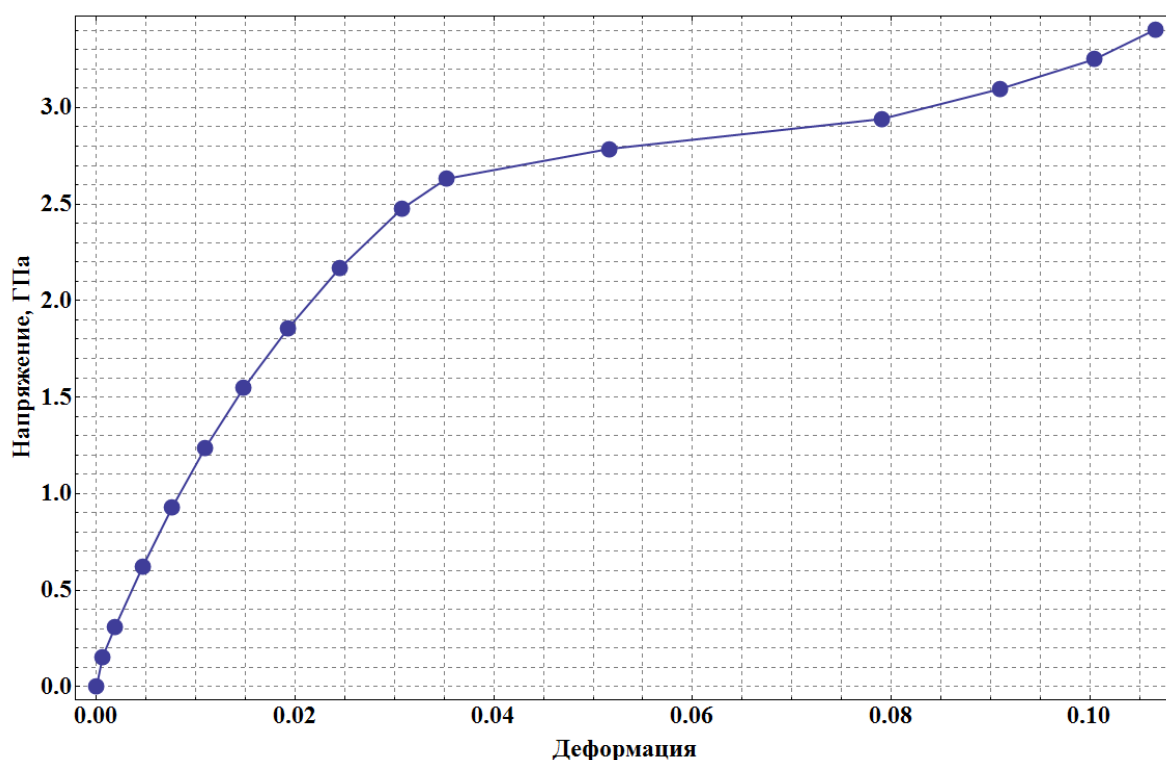


Рис. 2. Зависимость напряжения прикладываемого к модели карбина от деформации

На рис. 2 представлена зависимость напряжения прикладываемого к модели карбина от деформации. Последняя точка на графике соответствует предельному напряжению модели карбина, после которого она разрушается. Не идеальная линейная зависимость напряжения от деформации в начале графика связана с уникальной наноразмерной архитектурой карбина, детали причины нелинейности требуют дальнейшего анализа.

Литература

1. A.K. Nair, S.W. Cranford and M.J. Buehler, *EPL*, 95 (2011) 16002.
2. Праздников Ю. Е., Божко А. Д., Гусева М. Б., Новиков Н. Д., «Эмиссионные свойства линейно-цепочечного углерода» // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. №5, -М: 2004. – 37 с.
3. Yr. Prozdnikov // *Journal of Modern Physics*, v.2, p.845-848, (2011)
4. Plimpton S. J., *J. Comput. Phys.*, 117 (1995) 1.

5. Strachan A., Kober E. M., van Duin A. C. T., Oxgaard J. and Goddard W. A., J. Chem. Phys., 122 (2005) 54502.
 6. Chenoweth K., van Duin A. C. T. and Goddard W. A., J. Phys. Chem. A, 112 (2008) 1040.
 7. van Duin A. C. T., Dasgupta S., Lorant F. and Goddard W. A., J. Phys. Chem. A, 105 (2001) 9396.
 8. Nielson K. D., van Duin A. C. T., Oxgaard J., Deng W. Q. and Goddard W. A., J. Phys. Chem. A, 109(2005) 493.
 9. Chen N., Lusk M. T., van Duin A. C. T. and Goddard W. A., Phys. Rev. B, 72 (2005) 085416.
-

ПЕРЕСТРОЕНИЕ ДАННЫХ ИЗ МЕТОДА МИКРОСКОПИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЯ В ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Лашкова Н.А., Пермяков Н.В.
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
laskovanat@yandex.ru, agorange@mail.ru

Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) позволяют с высоким локальным разрешением получать трёхмерное изображение поверхности, визуализировать качественное распределение и получать количественные данные о её электрических, магнитных, трибологических и других характеристиках[1]. Отображение сопротивления растекания является одним из распространённых методов сканирующей зондовой микроскопии, например, для обнаружения дефектов в проводящих и слабопроводящих плёнках, для определения профилей распределения примесей в полупроводниковых интегральных микросхемах[2,3]. Суть метода заключается в следующем: сканирование проводится проводящим зондом СЗМ в контактном режиме, при этом сила прижима зонда к поверхности (изгиб кантилевера) поддерживается постоянным. К зонду прикладывается напряжение смещения, и регистрируется результирующий ток через образец в зависимости от положения зонда одновременно с получением данных о рельефе. В предположении постоянного контактного сопротивления зонд-поверхность при заданном смещении величина измеряемого тока пропорциональна локальному сопротивлению исследуемого образца.

При измерении вольтамперных характеристик зонд, задерживаясь над поверхностью, может вызывать перегрев образца и изменение сопротивления в данной точке [4, 5]. Для того чтобы поверхность не подвергалась такому интенсивному воздействию, можно использовать каждое сканирование в режиме микроскопии сопротивления растекания как одну точку для вольтамперной характеристики. Поэтому целью данной работы являлась автоматизация проведения измерений в режиме микроскопии сопротивления растекания для получения набора карт протёкшего тока при заданных постоянных напряжениях смещения и получения из них вольтамперных характеристик.

Измерения проводились в сканирующей зондовой нанолaborатории NTegra Thermo (NT-MDT). В работе использованы кремневые зондовые датчики с проводящим покрытием нитрида титана марки CSG01/TiN и зондовые датчики с алмазоподобным покрытием DCP11. Образец был заземлен. Потенциал подавался на

зонд. Были получены изображения топографии (например, рис.1) и карты распределения тока (рис.2,б), протекшего через зонд на тестовых образцах следующим образом: проводились измерения участка $1 \times 1 \text{ мкм}^2$ в режиме сопротивления растекания при подаваемом напряжении от -2 до $+2$ В с шагом $0,1$ В. Таким образом, на каждый образец имеется 41 группа данных (топография и карты тока). Данные экспортировались в txt формат для дальнейшей обработки.

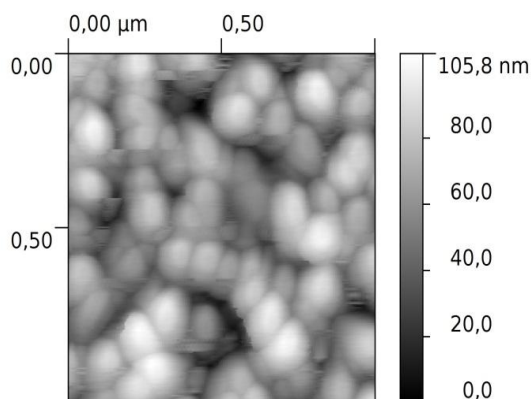


Рис.1. Топография поверхности образца с проводящей пленкой ZnSnO₃

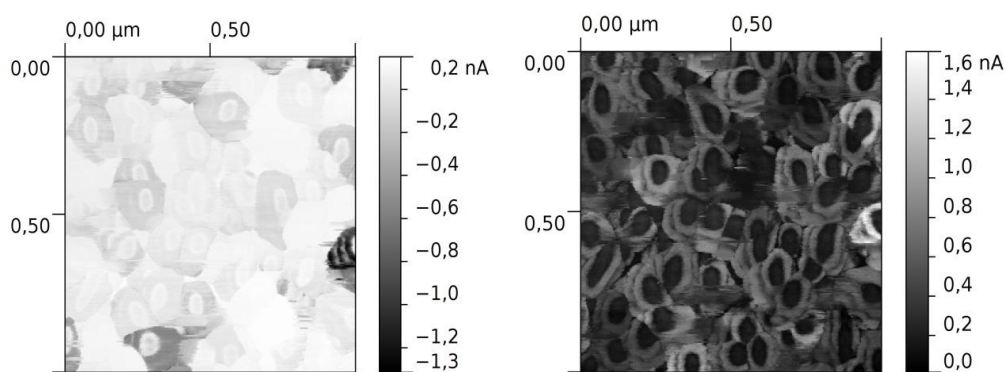


Рис. 2 Сигнал тока, соответствующий топографии из рис.1. а.- при напряжении $+1$ В, б – при напряжении -1 В. Образец заземлен, потенциал подается на зонд.

В среде LabVIEW было написано приложение, которое совмещает топографии, снятые при разных напряжениях, поскольку наличие температурного дрейфа всегда будет смещать область сканирования. После совмещения всех данных пользователь выбирает точку на изображении топографии, в которой необходимо построить вольт-амперную характеристику. Затем из карты тока из каждой группы берутся значения тока в выбранной точке. Таким образом, на основании напряжений, при которых были получены группы изображений, и значения тока в выбранной точке карты тока в каждой группе строится вольт-амперная характеристика.

Литература:

1. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии. Учеб. Пособие. Под ред. проф. В. А. Мошников. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 172с
2. Козловский Э.Ю., Спивак Ю.М., Мошников В.А., Пономарева А.А., Селезнев Б.И., Иванов Н.Н., Желанов А.В. Транзисторные структуры типа рНЕМТ: исследование особенностей полупроводниковой гетероструктуры методами атомно-силовой микроскопии // Науч.-техн. Ведомости СПбГПУ. 2010. Вып.1. С.18-29
3. С.В.Платонов, Н.В. Пермяков, Б.И. Селезнев, В.А. Мошников, Э.Ю.Козловский, А.М.Осипов. Малошумящие арсенид-галлиевые усилители при воздействии

электромагнитных помех повышенной интенсивности Вестник новгородского государственного университета, серия технические науки, №67, 2012, стр.29-32

4. Канагеева Ю.М., Мошников В.А. Исследование свойств матриц на основе In/PbTe методами атомно-силовой микроскопии с помощью специальной системы наноконтактов. // Вакуумная техника и технология. 2008. Т. 18. № 2. С. 87-94.

5. Канагеева Ю.М., Мошников В.А., Arnold M., Zogg H., Felder F., Rahim M. Электрофизические свойства фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев для среднего ИК-диапазона // Вакуумная техника и технология. 2008. Т. 18. № 1. С. 3-8.

ВЛИЯНИЕ ИЗОВАЛЕНТНЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ

$(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$), $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CSn})_x$ ($0 \leq x \leq 0.005$),
 $(\text{InSb})_{1-x}(\text{Sn})_x$ ($0 \leq x \leq 0.05$), $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ($0 \leq x \leq 0.80$)

Усмонов Ш.Н., Саидов А.С.

Ташкент, Физико-технический институт Академии Наук Республики Узбекистан
sh_usmonov@rambler.ru, amin@uzsci.net

Развитие фотовольтаики и широкомасштабное производство солнечных элементов (СЭ) показывает, что разработка более эффективных полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей является актуальной задачей возобновляемой энергетики. Высокоэффективные многопереходные СЭ, из-за их высокой стоимости, еще не нашли широкого применения [1]. Повышение эффективности однопереходных СЭ снижает затраты, связанные с площадью полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей и стоимость вырабатываемой им энергии. С целью повышения спектральной области чувствительности и эффективности СЭ представляет интерес исследование влияния изовалентных примесей на фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов. Рекомбинационно – пассивные изовалентные примеси, энергетические уровни которых лежат в валентной зоне базового полупроводника, могут способствовать снижению потери мощности солнечной радиации в СЭ, обусловленной термолизацией высокоэнергичных фотоэлектронов [2].

В данной работе мы исследовали влияние валентнозонных изовалентных примесей на фоточувствительность твердых растворов $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CSn})_x$, $(\text{InSb})_{1-x}(\text{Sn})_x$ и фотолюминесценцию твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$. С этой целью были изготовлены гетероструктуры - $p\text{Si} - n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$), $p\text{Si} - n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CSn})_x$ ($0 \leq x \leq 0.005$), $n\text{GaAs} - p(\text{InSb})_{1-x}(\text{Sn}_2)_x$ ($0 \leq x \leq 0.05$), $n\text{GaAs} - p(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$).

На рис. 1 представлены спектральные зависимости фоточувствительности гетероструктуры $p\text{Si} - n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) (кривая 1) и контрольной структуры $p\text{Si} - n\text{Si}$ (кривая 2). Как видно из рис. 1, в спектральной зависимости фоточувствительности гетероструктуры $p\text{Si} - n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ наблюдается полка при энергиях фотонов 1.62 – 1.72 эВ, максимумы при – 1.82 и 1.97 эВ, а также подъем при – 2.35 эВ, которые, вероятно, обусловлены различным составом твердого раствора $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) по глубине эпитаксиального слоя. Подъем чувствительности исследованной структуры при энергиях фотонов $E_{ph} \approx 2.35$ эВ, по-видимому, обусловлен фотовольтаическим эффектом с участием ковалентные связи Cd-S, суть которого заключается в том, что кванты с энергией $E_{ph} \geq 2 \cdot E_{g,\text{Si}}$, поглощенные связями Cd-S, создают дырки, расположенные на уровнях Cd-S (переход – а, рис. 2), на места которых могут переходить электроны с потолка валентной зоны

кремния, испуская кванты с энергией $h\nu \geq E_{g, Si}$ (переход – b, рис. 2). Эти кванты, будучи поглощенными атомами кремния, создают дополнительные электронно-дырочные пары (переход – c, рис. 2). В результате один фотон с энергией $E_{ph} \geq 2 \cdot E_{g, Si}$ генерирует две пары фотоносителей (рис. 2 электронно-дырочные пары 1, 1' и 2, 2'), что соответствует повешению фоточувствительности структуры $pSi - n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ в коротковолновой области спектра излучения с энергией фотонов $E_{ph} \geq 2.2$ эВ (рис. 1).

На рис. 3 показаны спектральные зависимости фоточувствительности структур $pSi-nSi<C>$ с примесями углерода (кривая 1), и без примеси углерода (кривая 2). Видно, что кривая 1 имеет подъем чувствительности в коротковолновой области спектра при энергиях фотонов $E_{ph} \geq 2.1$ эВ который, по-видимому, обусловлен ионизацией ковалентной связи Si-C, энергетический уровень которой лежит на $\Delta E_i = E_{ph} - E_g$ ниже потолка валентной зоны твердого раствора, аналогично как в случае $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ (рис. 2).

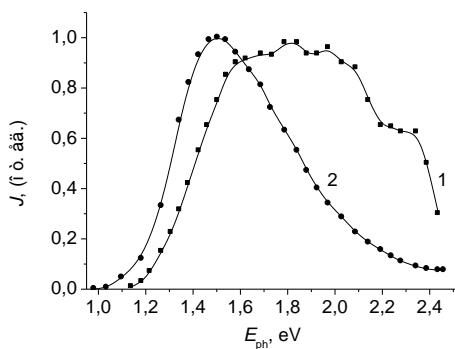


Рис. 1. Спектральные зависимости фоточувствительности: 1 – для $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$), 2 – для $pSi-nS$ структур.

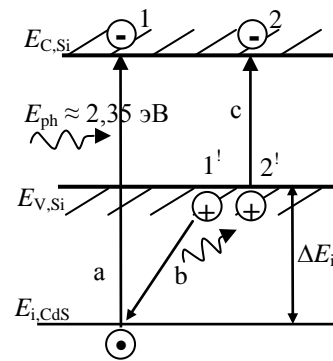


Рис. 2. Энергетическая зонная диаграмма твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) с валентно-зонной энергетической уровнем Cd-S.

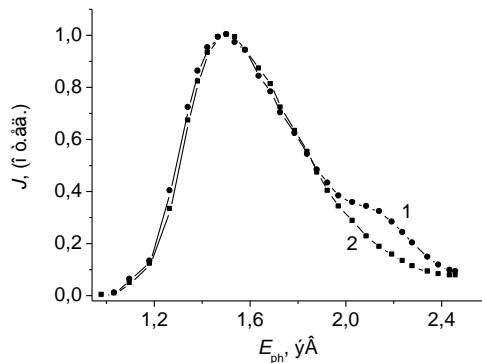


Рис. 3. Спектральные зависимости фоточувствительности структур: $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CSn)_x$ ($0 \leq x \leq 0.005$) – 1, $pSi-nS$ – 2.

На рис. 4. представлена спектральная зависимость фоточувствительности гетероструктуры $nGaAs-p(InSb)_{1-x}(Sn_2)_x$ ($0 \leq x \leq 0,05$) с эпитаксиальным слоем из твердого раствора $p(InSb)_{1-x}(Sn_2)_x$. Из рис. 4 видно, что фоточувствительность исследованных структур имеет пик чувствительности при энергиях фотонов $E_{ph} \approx 1.1$ эВ, который, по-видимому, обусловлен ионизацией связи Ga-As, присутствующими в переходной области между подложкой GaAs и эпитаксиальным слоем твердого раствора $(InSb)_{1-x}(Sn_2)_x$. Ближе к эпитаксиальному слою твердого раствора $(InSb)_{1-x}(Sn_2)_x$ мольное содержание GaAs составляет меньше 1%. В тетраэдрической решетке переходного слоя твердого раствора $(GaAs)_{1-x}(InSb)_x$ имеются четыре вида связи:

Ga–As, Ga–Sb, In–As и In–Sb. Энергия ионизации этих связей характеризуется значениями запрещенных зон соответствующих полупроводниковых соединений – $E_{g,GaAs} = 1.43$ эВ, $E_{g,GaSb} = 0.79$ эВ, $E_{g,InAs} = 0.46$ эВ и $E_{g,InSb} = 0.18$ эВ. Следовательно, ковалентная связь между атомами молекул Ga–As прочнее, чем связи Ga–Sb, In–As, In–Sb и она, по-видимому, отвечает за резкий подъем чувствительности структуры при $E_{ph} \approx 1.1$ эВ. Однако, когда молекула GaAs находится в окружении молекул InSb, связь Ga–As ослабляется под влиянием окружающих ее молекул InSb до значения $\sim 1,1$ эВ, что, по-видимому, обуславливает возникновение примесного уровня связи Ga–As, расположенного в валентной зоне твердого раствора, как в случае CdS в твердом растворе $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$.

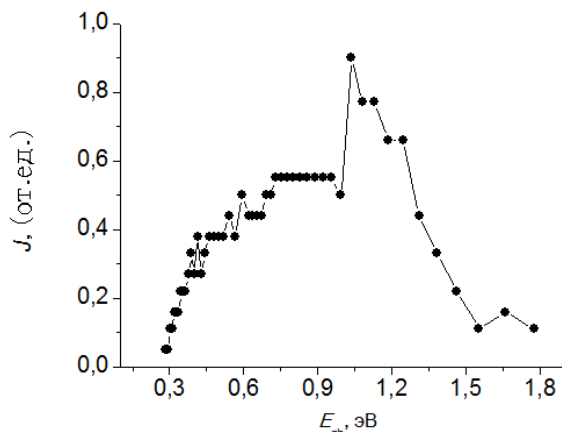


Рис. 4. Спектральная фоточувствительность гетероструктур $nGaAs-p(InSb)_{1-x}(Sn_2)_x$ ($0 \leq x \leq 0,05$).

На рис. 5. приведен спектр фотолюминесценции (ФЛ) поверхности твердого раствора $(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$). Как видно из рис. 5, спектр ФЛ имеет широкую полосу, охватывающую видимый диапазон спектра излучения от 400 до 760 нм с узким пиком излучения при $\lambda_{max} = 465$ нм. Этот пик соответствует энергии ионизации ковалентной связи Zn–Se – $E_{i,ZnSe} = E_{ph} = 2.67$ эВ в твердом растворе. Явное выделение пика излучения на фоне широкого спектра свидетельствует о возникновении размытой полосы энергетических уровней ($E_{i,ZnSe}$), расположенной в валентной зоне твердого раствора $(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x$ (рис. 6), которая обусловлена связями Zn–Se, находящимися в ковалентной связи тетраэдрической решетки матрицы арсенида галлия. Ширина размытия энергетических уровней $E_{i,ZnSe}$, оцененная по полуширине пика люминесцентного излучения составляет $\Delta E_{i,ZnSe} \approx 0.09$ эВ.

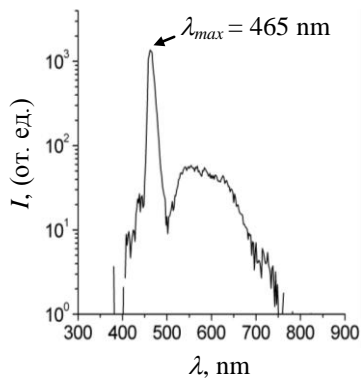


Рис. 5. Спектр фотолюминесценции эпитаксиального слоя твердого раствора $(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x$, ($0 \leq x \leq 0.04$) при температуре 5 К.

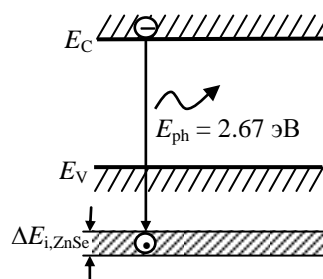


Рис. 6. Энергетическая зонная диаграмма твердого раствора $(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) с размытой полосой энергетических уровней $E_{i,ZnSe}$.

Таким образом, исследования спектральных зависимостей фоточувствительности и фотолюминесценции некоторых твердых растворов показывают, что когда энергия ионизации изовалентных примесей (E_i) больше ширины запрещенной зоны базового полупроводника, то энергетические уровни этих примесей лежат в валентной зоне полупроводника. Если $E_i \geq 2 \cdot E_g$, то фотоны с энергией $E_{ph} \geq E_i$ могут генерировать две пары фотоносителей, что способствует снижению потери мощности высокоэнергичных фотоэлектронов, генерированных фотонами с энергией $E_{ph} \geq E_i$.

Литература:

1. Green M., www.unsw.edu.au/news/pad/articles/2009/aug/New_Solar.
2. Saidov M.S. // Applied Solar Energy. Vol. 38, No. 1, pp. 1-4, 2002

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЙ ВОДОРОДА ВНУТРИ НАНОТРУБКИ

Самсонов А. М.

Чебоксары, Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева
cheb87@inbox.ru

Компьютерное моделирование хранения водорода в углеродных нанотрубках (УНТ) позволяет судить об изменении агрегатного состояния водорода по мере его накопления в УНТ. Общеизвестная фазовая диаграмма водорода, приведенная на рис. 1, при наличии значительного ограничения в размерах объема, содержащего водород, может получить заметные искажения.

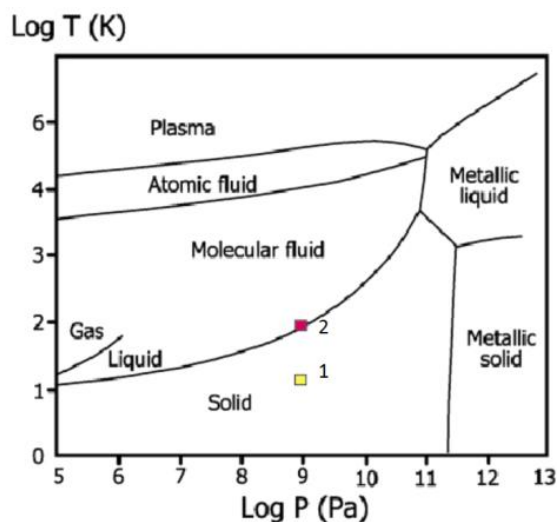


Рис.1. Фазовая диаграмма водорода

Эти искажения связаны с уменьшением размеров объема до величин, сравнимых с рядом характерных длин, которые определяют состояние системы многих частиц. При заполнении водородом внутренности нанотрубки ограничения в размерах имеют место в плоскости, перпендикулярной оси УНТ. Наши наблюдения за состоянием молекулярного водорода, помещенного внутрь УНТ, подтверждают наличие упорядоченности, характерной для твердотельной фазы (номер 1 на рис.1), а также

фазы молекулярная жидкость- твердое тело (номер 2 на рис.1). Планируется дать оценку состоянию водорода в других областях фазовой диаграммы.

СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК КВАНТОВЫХ ТОЧЕК *CdSe/CdS* В ПРИСУТСТВИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Шамилов Р.Р.¹, Степанов А.Л.², Галяметдинов Ю.Г.¹⁻³

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,

²Казанский физико-технический институт КНЦ РАН

¹reedish@mail.ru, ²aanstep@gmail.com, ³yugal2002@mail.ru

Квантовые точки (КТ) все чаще рассматриваются в качестве эффективных светопреобразующих компонентов и сенсibilизаторов в современных солнечных элементах. Коллоидные методы синтеза позволяют значительно снизить себестоимость, сохранив при этом их высокое качество получаемых наночастиц [1].

КТ на основе селенида кадмия *CdSe* в зависимости от их размера способны поглощать и излучать свет в широком диапазоне, а также они являются более стабильными по сравнению с органическими светопреобразующими материалами.

Нами предложен коллоидный метод синтеза КТ *CdSe* и *CdSe/CdS*-ядро/оболочка с использованием дешевых и экологически безопасных реагентов [2]. Увеличение температуры и времени синтеза привело дальнейшему увеличению размера КТ (от 2 до 5 нм), а также сдвигу пиков поглощения и люминесценции в длинноволновую область (Рис. 1).

Увеличение поглощения света фотоактивными пленками возможно за счет использования плазмонного резонанса, возникающее в результате колебания электронов проводимости таких металлов как серебро и золото.

Изучение влияния локализованного плазмонного резонанса на оптические свойства КТ проводилось с использованием подложек из кварцевых стекол с наночастицами серебра (образец *Ag-SiO₂*) полученные методом ионной имплантации при ионной дозе 10^{17} ион/см² [3]. Данные образцы имеют максимум поглощения при 406 нм (Рис. 1а).

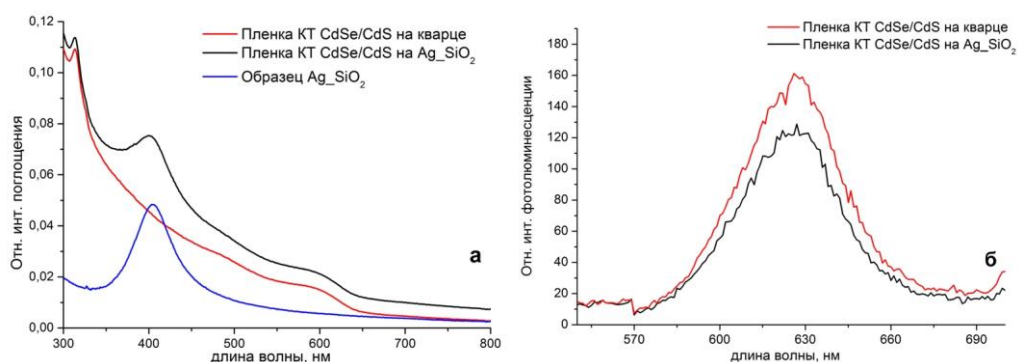


Рис. 1. Спектры поглощения (а) и фотолюминесценции (б) изученных образцов

Пленки КТ *CdSe/CdS* с толщиной 35 нм были получены на поверхности образца *Ag-SiO₂* методом спинкоутинга. В спектре поглощения данного образца имеется максимум излучения при 404 нм в результате локализованного плазмонного резонанса наночастиц серебра (Рис. 1а). Данный спектр характеризуется меньшим значением поглощения по сравнению с простой суммой спектров поглощения пленок КТ на кварцевом стекле и образца *Ag-SiO₂*. Это объясняется процессами безизлучательного

переноса энергии с КТ на наночастицы серебра, что также подтверждается снижением интенсивности фотолюминесценции КТ *CdSe/CdS* при длине возбуждения 350 нм (Рис. 16).

Таким образом, разработанные методы синтеза КТ позволили получить широкий ряд наночастиц *CdSe* и *CdSe/CdS* перспективные для практического применения. Также показано наличие безизлучательного переноса энергии с пленок КТ на наночастицы серебра в исследуемых образцах.

Литература:

1. *Николенко, Л.М., Разумов, В.Ф.* // Успехи химии. 2013. Т. 82 (5), С. 429-448.
 2. *Хомяков, Е.Г., Галяметдинов, Ю.Г.* // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 5, С. 45-46.
 3. *Stepanov, A.L.* Ion synthesis of metal nanoparticles and their optical properties. 2010. New York: Nova. Sci. Publ.
-

НАПРАВЛЕНИЕ
«Преобразовательные устройства»
(счетчики качества вырабатываемой электроэнергии, инверторы, системы мониторинга, установки на основе солнечных модулей в энергосберегающих системах и др.)

**ДВУХКООРДИНАТНЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ШАГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК**

К.В. Аржанов
Томск, НИИ автоматики и электромеханики,
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
E-mail: rbhx@yandex.ru

Создание высокоэффективных фотоэлектрических энергетических установок (ФЭУ) определяется реализацией режима автоматического слежения солнечных батарей за Солнцем. Наведение солнечных батарей на Солнце позволяет повысить энергетическую эффективность ФЭУ на 50 %. На рис. 1 приведена фотография разработанной ФЭУ со следящим электроприводом с шаговыми двигателями [1].



Рис. 1. Фотография разработанной ФЭУ

На рис. 2 приведена функциональная схема фотоэлектрической энергетической установки, где СБ – солнечная батарея; АБ1, АБ2 – аккумуляторные батареи; КЗАБ – контроллер заряда АБ; И – инвертор; М1, М2 – шаговые двигатели; Р1, Р2 – редукторы; ДШД1, ДШД2 – драйверы управления шаговыми двигателями; БДПС – блок датчиков положения Солнца; КНС – контроллер наведения на Солнце; БКВХ, БКВУ – блоки конечных выключателей. В установке используется инвертор с синусоидальным выходом типа *TS 1500-224* и два последовательно соединенных аккумулятора типа *TUDORT12V 155FT*. Контроллер наведения на Солнце состоит из микроконтроллера *STM32-F103*, преобразователя постоянного напряжения, пяти операционных усилителей, микросхемы, обеспечивающей связь по протоколу *RS 485* с внешним компьютером через конвертор (*I-7561*). Микроконтроллер выдает на вход драйверов шагового двигателя (*DQ356M*) следующие сигналы: направление вращения шаговых двигателей по азимуту (сигнал *DR1*) и по углу места (сигнал *DR2*), количество импульсов, которое необходимо отработать драйверами (шаговыми двигателями) по азимуту (сигнал *UP1*) и по углу места (сигнал *UP2*), сигналы включения драйверов по азимуту (*MF1*) и углу места (*MF2*), сигналы задания амплитуды тока шагового двигателя (ШД) по азимуту и углу места. Контроллер наведения на Солнце принимает сигналы с двух блоков конечных выключателей: *X1*,

$Y1$ и $X2$, $Y2$ – начальные и конечные положения рамы по координате X (азимуту) и Y (по углу места) и сигналы готовности драйверов ($RYD1$ и $RYD2$).

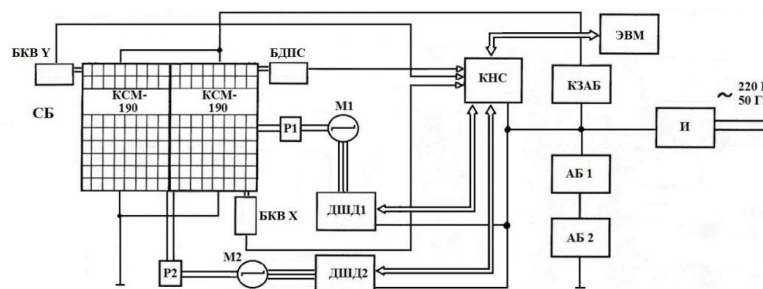


Рис. 2. Функциональная схема ФЭУ

Наведение рамы на Солнце осуществляется при помощи шаговых приводов. Необходимость перемещения рамы оценивается с помощью фотоэлектрического датчика положения Солнца [2]. В таблице 1 приведен принцип наведения СБ на Солнце. Если правый и левый фотоэлемент датчика выдают одинаковый ток, то перемещать раму с СБ не требуется, а если есть отличие, то необходимо перемещение в таком направлении, чтобы скомпенсировать эту разницу по току. Если три фотоэлемента у датчика показывают одинаковый ток, то фотодатчик (и соответственно СБ) находится в тени и перемещение рамы производить не требуется. Если тыловой фотоэлемент выдает самый больший ток, то Солнце светит с обратной стороны рамы и необходимо развернуть раму в направлении Солнца. Перемещения происходят дискретно через 3 градуса по обеим координатам, пока не выровняются сигналы в противоположных гранях фотодатчика. Погрешность между сигналами тока в противоположных гранях фотоэлементов датчика, при которой необходимо проводить перемещение по координатам, составляет 5 % от средней величины токов в обеих противоположных гранях датчика положения Солнца (эта величина может устанавливаться в контроллере).

Таблица 1.

Принцип наведения СБ на Солнце

Наведение по координате X	Направление перемещения рамы
$\frac{I_a - I_b}{I_{cp1}} \geq 0,05$	Влево
$\frac{I_a - I_b}{I_{cp1}} < -0,05$	Вправо
$0,05 < \frac{I_a - I_b}{I_{cp1}} < -0,05$	Нет перемещения
$I_a = I_b = I_c$	Нет перемещения (СБ в тени)
$I_c > I_a, I_c > I_b$	Перемещение в начальное положение
Наведение по координате Y	Направление перемещения рамы
$\frac{I_d - I_e}{I_{cp2}} \geq 0,05$	Вверх
$\frac{I_d - I_e}{I_{cp2}} < -0,05$	Вниз
$0,05 < \frac{I_d - I_e}{I_{cp2}} < -0,05$	Нет перемещения

Примечание: I_a, I_d и I_b, I_e – токи в правой и левой частях датчика; I_c – в тыловой части датчика, I_{cp1}, I_{cp2} – средние значения тока ($I_{cp1} = \frac{I_a + I_b}{2}, I_{cp2} = \frac{I_d + I_e}{2}$).

Для уменьшения рывков и качаний при перемещении рамы с СБ в программном обеспечении контроллера заложен режим позиционирования, то есть в электроприводе идет ограничение по скорости и ускорению при перемещении рамы с СБ от одного положения к другому. При этом реализован несимметричный специальный режим разгона, движения и торможения [3]. На рис. 3 показана диаграмма режима позиционирования в электроприводе. Несимметричный режим позиционирования совмещен с нелинейным заданием амплитуды тока ШД, то есть амплитуда тока ШД меняется во время движения. Это необходимо делать для минимизации потребляемого тока ШД. При пуске ШД с механизмом необходимо преодолеть нелинейный момент сухого трения. В этом режиме целесообразно увеличить амплитуду тока ШД (пусковой ток увеличить до 1,5 кратного от номинального тока), после преодоления начального момента сухого трения можно снизить амплитуду тока ШД (рабочий ток уменьшить до 0,75 от номинального тока). Это позволяет исключить сбои при пуске ШД и в целом уменьшить потребление тока двигателем во время микроцикла наведения. Увеличенный пусковой ток в ШД целесообразно делать в режиме позиционирования при положительном значении ускорения (рис. 3).

Для обеспечения точного наведения СБ на Солнце при действии большой ветровой нагрузки (20 и более м/с) предложен алгоритм, реализующий увеличение амплитуды тока ШД при перемещении на три градуса при наведении. Принцип заключается в определении сбоя в ШД при действии большого момента нагрузки от ветра. Осуществляется это путем измерения ошибки по току (I_a , - I_b) в наклонных гранях БДПС и определение уменьшалась ли эта ошибка в течении 10 сек. (это время отработки заданного перемещения на 3 градуса). Если ошибка по току (I_a , - I_b) за 10 сек. не уменьшилась, это означает что действует большой момент ветровой нагрузки или выключился ДШД по каким либо причинам. Необходимо опросить ДШД. Если он исправен - это означает, что действует большой момент ветровой нагрузки. При этом необходимо увеличить в два раза амплитуду задания тока в ДШД на время перемещения рамы с СБ. Если ветровая нагрузка падает, то ошибка по току в противоположных гранях БДПС уменьшится менее, чем за 10 сек. и в ДШД выставляется номинальный ток ШД.

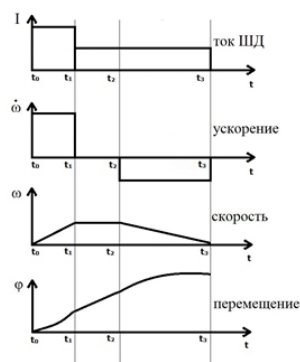


Рис. 3 График режима позиционирования

Полученные результаты экспериментальных исследований на установке ФЭУ показали следующее: слежение механической рамы с СБ за Солнцем целесообразно проводить непрерывно-дискретно (с дискретностью в 3 градуса, как по азимуту, так и по углу места,) исходя из требований обеспечения заданной точности наведения на Солнце и минимального потребления электрической энергии шаговыми электроприводами; при завершении микроцикла наведения рамы с СБ на Солнце необходимо выключать драйверы ШД, чтобы исключить потребление энергии ШД; при перемещении механической рамы с СБ необходимо организовывать режим

позиционирования, при этом целесообразно проводить перемещение с максимальной скоростью вращения ШД на уровне 4000 Гц, с введением ограничения по ускорению и торможению на уровне 3000 шаг/сек². Это позволяет существенно сократить потребление электрической энергии шаговыми электроприводами при наведении ФЭУ на Солнце.

Литература

1. Солнечное фотоэлектрическое устройство: пат. № 128781 U1 Рос. Федерация. № 2012153448; заявл. 11.12.12; опубл.27.05.2013 в бюл. № 15; ил.
2. Датчик положения Солнца: пат. № 135126 U1 Рос. Федерация. № 2013117198; заявл. 15.04.2013; опубл.27.11.2013 в бюл. № 33; ил.
3. Аржанов В.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Аржанов К.В. Минимизация энергопотребления электроприводами в фотоэлектрической энергетической установке // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т.322. – №4. – С.146-150.

ОПЫТНАЯ СЕТЕВАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Васильев А.И., Кочаков В.Д.
Чувашский государственный университет, г. Чебоксары
ljosha@mail.ru

Для апробации возможных технических решений и получения экспериментальных данных о функционировании сетевых фотоэлектрических систем в рамках работ по Государственному контракту между Министерством образования и науки РФ и Физико-техническим институтом и А.И.Иоффе РАН было принято решение о создании опытного образца 2 кВт-ной сетевой фотоэлектрической станции в Чебоксарском Государственном Университете. Комплекс снабжен измерительным оборудованием, обеспечивающим сбор данных о погодных условиях и рабочих параметрах станции. Место расположения установки определяется двумя факторами – уровнем инсоляции и близостью производства фотоэлектрических модулей, установка будет использована в учебном процессе.

Опытная солнечная электроустановка - сетевая (СЭУ-С) включает в себя четыре блока солнечных батарей и два инвертора. Схема блока генерации фотоэлектричества станции (БГФ) представлена на рисунке 1.

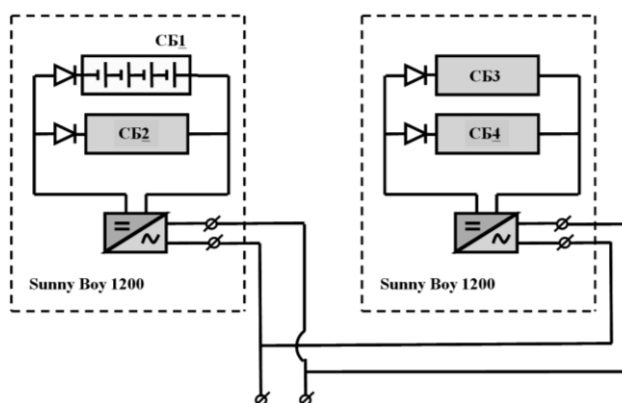


Рисунок 1 - Схема электрическая функциональная блока генерации фотоэлектричества мощностью 2 кВт

Номинальное напряжение одного БГФ составляет $U_{\text{ном}} = 226,4 \text{ В}$, при этом ток равен $I_{\text{ном}}=4,42 \text{ А}$. Инвертор Sunny Boy 1200 имеет диапазон входного напряжения $U=100 \dots 320 \text{ В}$, и максимальный входной ток $I_{\text{вх.макс.}} = 12,6 \text{ А}$. Таким образом, блок генерации фотоэлектричества и инвертор совместимы по своим характеристикам. СЭУ-С укомплектован фотоэлектрическими инверторами Sunny Boy 1200 в количестве 2 штук.

Выдача электроэнергии в городскую сеть не предполагается, вся выработанная энергия выдается потребителю, на территории которого установлена станция. При этом нехватка электроэнергии может быть компенсирована из сети, а солнечная энергия лишь обеспечивает экономию потребляемой из сети электроэнергии.

Для проведения мониторинга, станция содержит систему сбора цифровых данных на основе блока Sunny Web Box фирмы SMA, которые передаются по интернету на сайт WPSupervisor.

Станция состоит из двух блоков, каждый мощностью один киловатт, работающих параллельно. Это дает возможность вести сравнительный анализ, при разных состояниях поверхности солнечных модулей. В качестве примера на рисунке 2 приведен случай, когда один блок панелей (нижний) очищен от изморози, а другой (верхний) покрыт изморозью.



Рисунок 2 – Внешний вид поверхности солнечных панелей во время эксперимента 17 декабря 2012 года

Эксперимент показал, что в 11 часов 22 минуты верхний ряд выдавал мгновенную мощность 263 Вт при напряжении 230 В, а нижний очищенный ряд 286 Вт при напряжении 236 В, что составляет 8% потерь при наличие изморози.

Инверторы Sunny Boy 1200 обладают гистерезисом – включаются при большей солнечной инсоляции, а выключаются при меньшей солнечной инсоляции. На рисунке 3 (1) инвертор сработал при инсоляции 53 Вт/м^2 (точка на графике). Из рисунка 3 (2) следует, что до этого момента в сеть не

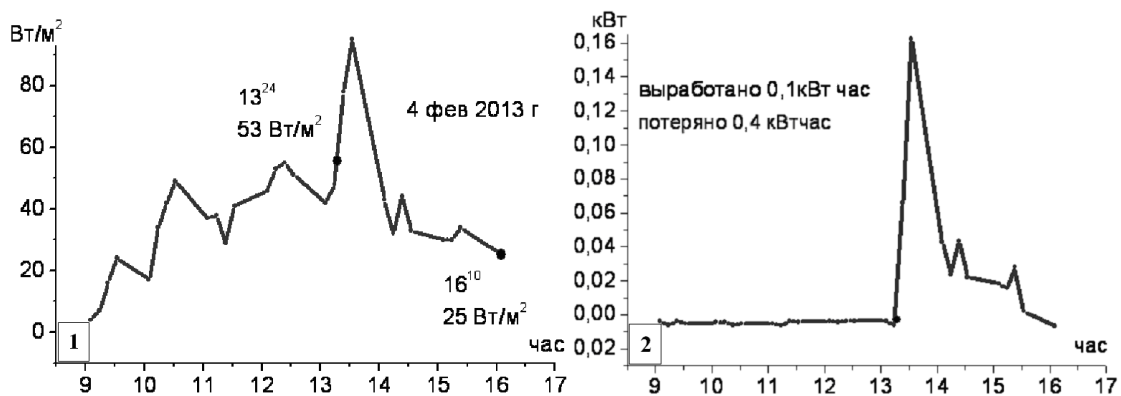


Рисунок 3 – Мониторинг солнечной инсоляции и выработанной электроэнергии

поступала электроэнергия. Поступление электроэнергии в сеть прекратилось при солнечной инсоляции 25 Вт/м^2 .

С помощью тепловизора исследовался тепловой режим при работе солнечных панелей. По показаниям метеостанции температура воздуха в момент измерения была равной -11^0C . На рисунке 4 представлены результаты измерения температуры лицевой и тыльной сторон солнечной панели. Поскольку генерирующий слой находится ближе к тыльной стороне панели, то температура его всегда выше на несколько градусов.

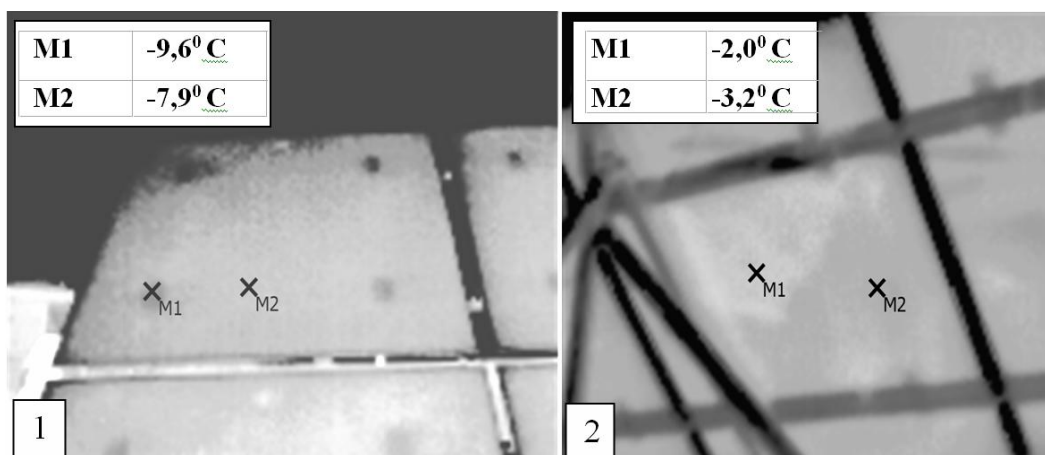


Рисунок 4 – Температура лицевой стороны панели (1) и температура тыльной стороны панели (2)

Одной из особенностей тонкопленочных фотоэлектрических модулей тандемного типа, является более высокие по сравнению с монокристаллическим кремнием коэффициенты поглощения и фоточувствительность. Для иллюстрации далее приведен пример работы СЭУ-С при наличии на поверхности панелей снежного покрова. (рис. 5).

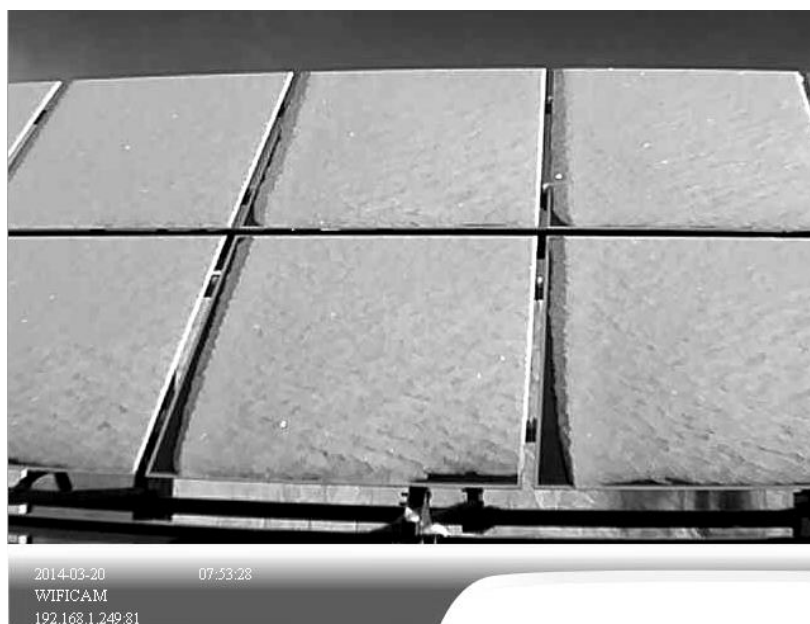


Рисунок 5 – Снежный покров на солнечных панелях 20 марта 2014 года

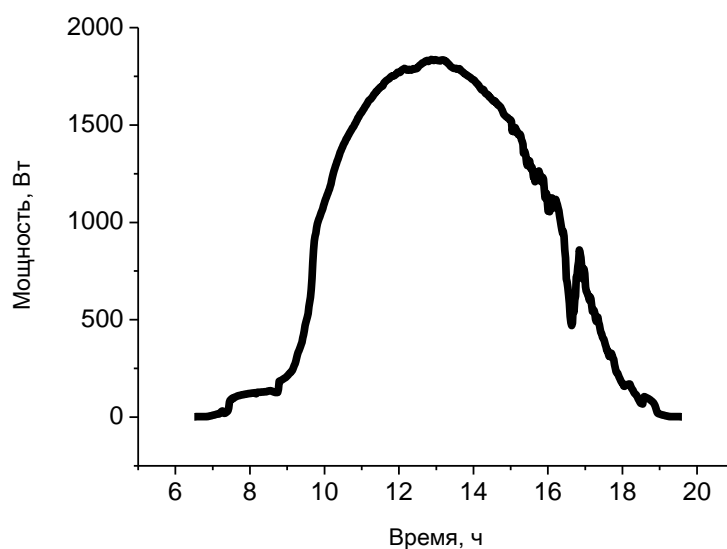


Рисунок 6 – Зависимость вырабатываемой СЭУ-С мощности от времени 20 марта 2014 года

На рисунка 6 показана кривая зависимость мощности от времени 20 марта 2014 года. Точка резкого изменения мощности указывает на время включения инверторов 8 часов 47 минут при наличие на поверхности панелей снежного покрова.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

Афанасьев В.П., Гульков В.Н., Федоров Д.А.
Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
VPAfanasiev@mail.ru

В условиях уменьшения мировых запасов природного топлива большое внимание уделяется использованию солнечной энергии путем её прямого преобразования в электрическую. Для этой цели применяются солнечные модули (СМ). На земле, в виду широкого распространения и доступности кремния, в большинстве случаев используются СМ на его основе. Однако использование таких СМ сдерживается их значительной стоимостью. Её снижение может быть достигнуто за счет использования более дешевых тонкопленочных СМ на основе аморфного и микрокристаллического кремния, характеризующихся меньшим коэффициентом полезного действия.

Для устранения этого недостатка целесообразно провести исследование эффективности использования дешевых боковых отражателей для повышения КПД фотопреобразовательной системы.

В работе использовался двухкаскадный солнечный модуль на основе аморфного и микрокристаллического кремния, ранее описанный в [1,2]. Исследования проводились на макете, в котором в качестве источника облучения применялась лампа накаливания. Для определения интенсивности светового потока на место СМ был установлен неселективный термоэлектрический приемник (ТЭП) с известной чувствительностью в области 0,3-3,5 мкм, которая составляла 96,5 мкВ/Вт м⁻² [3]. Площадь активной поверхности фотоэлектрического приемника составляет S=36 см². Интенсивность светового потока в этом случае составляла 260 Вт/м².

Для моделирования движения солнца на небосклоне были исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечного модуля, в зависимости от угла поворота плоскости солнечного модуля относительно падающего на фотопреобразователь излучения (рис.1).

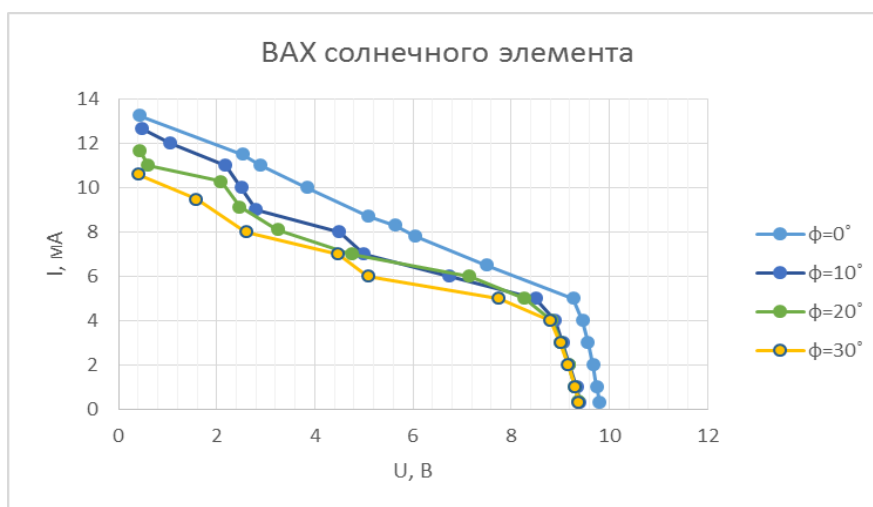


Рис. 1 ВАХ солнечного модуля при углах поворота ϕ° от 0° до 30°

Как и следовало ожидать максимальные значения тока короткого замыкания (I_{K3}) и напряжения холостого хода (U_{XX}) наблюдаются при нормальном падении излучения

(при отклонении от нормали 0°). В табл.1 приведены значения $I_{кз}$ и $U_{хх}$, при различных углах отклонения от нормали ϕ° .

Таблица 1

ϕ°	0	10	20	30
$I_{кз}, \text{мА}$	13,25	13,11	12,85	12,55
$U_{хх}, \text{В}$	9,80	9,52	9,46	9,47

Использование боковых отражателей, площадь которых соответствует площади солнечного модуля, позволяет повысить КПД модуля за счет увеличения интенсивности падающего на него светового потока. Результаты исследования ВАХ солнечного модуля, а также мощности, генерируемой солнечным модулем, полученные при различных углах отражателей относительно плоскости преобразователя представлены на рис. 2 и 3, соответственно.

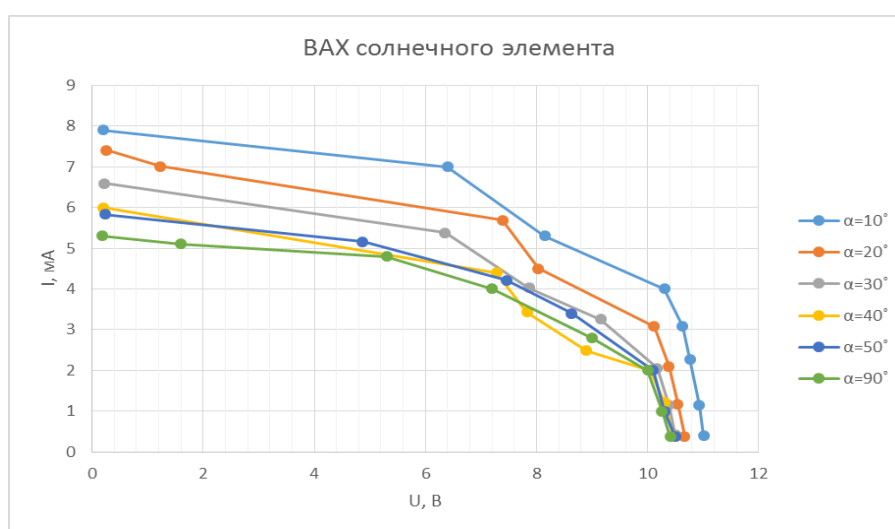


Рис.2. ВАХ солнечного модуля при различных углах раскрытия отражателей α

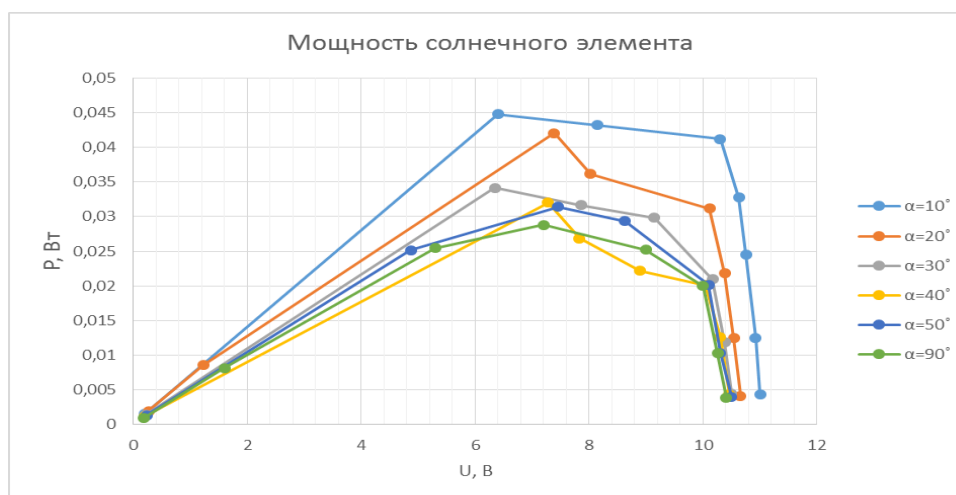


Рис.3. Характеристика генерируемой мощности солнечного модуля при различных углах раскрытия отражателей α

Из полученных данных видно, что максимальная генерируемая мощность при нормальном падении света наблюдается при угле раскрытия отражателей $\alpha=10^\circ$ (см. таблицу 2).

Таблица 2

α°	10	20	30	40	50	90
$I_{кз}, \text{мА}$	7,9	7,41	6,59	6	5,83	5,3
$U_{xx}, \text{В}$	11,01	10,66	10,50	10,46	10,50	10,41
$P_{max}, \text{Вт}$	0,045	0,042	0,034	0,032	0,031	0,0288
$\eta, \%$	13,20	12,39	10,06	9,44	9,25	7,8

Для дальнейшего повышения эффективности преобразования падающего излучения солнечным элементом дополнительно были установлены сверху и снизу СМ еще два отражателя. Можно предположить, что максимальную добавку к мощности мы получим также при угле установки отражателей 10° . Это подтвердили экспериментальные результаты исследования ВАХ солнечного модуля, а также мощности, генерируемой солнечным модулем, полученные при постоянных углах отражателей 10° относительно плоскости преобразователя, представленных на рис. 4 и 5, соответственно.

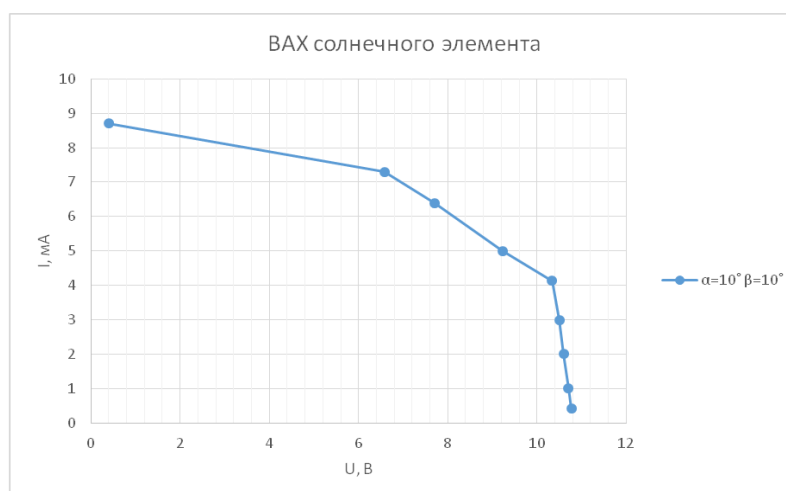


Рис. 4. ВАХ характеристика СМ при фиксированных углах отражателей

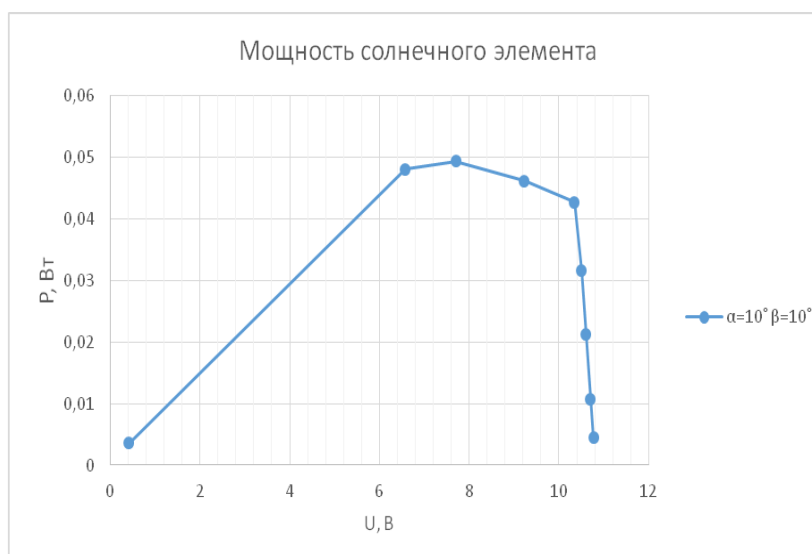


Рис. 5. Характеристика мощности СМ при фиксированных углах раскрытия отражателей

Таким образом, из анализа полученных зависимостей, приведенных на рис.4 и рис.5, видно, что в последнем случае при $I_{кз}=8.7$ мА; $U_{хх}=10.77$ В удается получить дополнительную добавку к генерируемой мощности и КПД ($P_{max}=0.049$ Вт и КПД=14.5%), т.е. установка дополнительных отражателей позволяет увеличить КПД системы с 5.6% до 14.5%.

Литература

1. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / В. П. Афанасьев, Е. И. Торуков, А. А. Шерченков. – СПб. : Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 168 с.
2. Банник О.И., Иванов Г.А., Плешков Д.В. Автономная солнечная электростанция на основе тонкопленочных фотопреобразователей для использования в учебном процессе. // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы X Всероссийской научно-технической конференции. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. – С.262-263.
3. Гульков В.Н. Исследование измерителя ультрафиолетового излучения при регистрации суточного хода прямой солнечной радиации / Сб.материалов IX междунар.конф.: Региональная информатика /СПб, РИ-2004, с.357.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ, МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ЕМКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК LiFePO_4

Е.М. Ершенко¹, А.В. Чуриков², А.В.Бобыль¹, Е.И. Торуков¹
¹Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург
²Саратовский Государственный Университет, Саратов
тел: (812) 323-4292, эл. почта: evgenii.ershenko@mail.ru

Проведены комплексные исследования катодных материалов для литий-ионных батарей с использованием следующих методик: просвечивающая электронная микроскопия, рентгено-структурный анализ, мессбауэровская спектроскопия, СЭМ и микроанализ. Исследования проведены на четырех промышленных катодных образцах, и одном экспериментальном образце полученном по оригинальной технологии в СПбГТИ(ТУ) [1]. Установлена корреляция между ОКР и напряжения катодных материалов, рассчитанных из рентгено-рефлексов, их химических составов и электрохимической емкостью. Обнаружено, что образцы обладающие наименьшим ОКР и напряжениями, имеют максимальную ёмкость. На основе гальваностатических испытаний с различными токовыми нагрузками, проведен прогноз ресурса материалов.

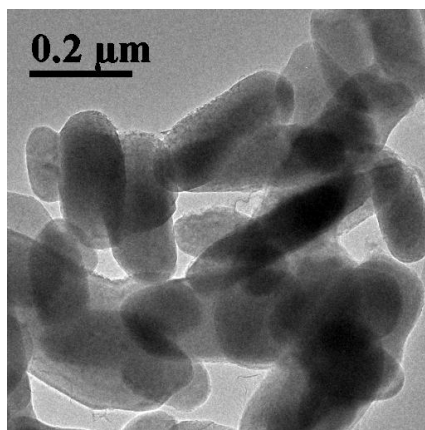


Рис. 1. Морфология LiFePO_4 порошка

С использованием эффекта Мессбауэра на изотопе Fe^{57} исследованы валентное состояние и локальная координация ионов Fe и показано, что более 90% ионов железа имеют валентные состояние Fe^{2+} . Установлено, что наилучшими электрохимическими характеристиками обладают образцы с ОКР ~ 200 нм и напряжением порядка 1%. На Рис.1 показана характерная морфология порошка, полученная с помощью ПЭМ. Значительного влияния покрытие частиц пиролизическим углеродом на электрохимические свойства катодных порошков не обнаружено. Анализ литературных данных показал, что большинство исследователей считают, что ключевыми факторами, влияющими на емкость катодного материала, являются размер частиц и содержание углеродной добавки. Установлено, что увеличение ОКР и напряжения в исходном сырье приводит к уменьшению емкости аккумулятора. Результаты исследований позволяют предположить, что важнейшими параметрами порошка для катодного материала перезаряжаемых литий-ионных батарей являются ОКР и величина напряжения.

Литература

1. Быстров Ю.А., Е.Н. Кудрявцев, Б.В. Кирьянов и др., Известия СПбГТИ(ТУ). 2010. №7, С.3-8.

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Тимофеев В. Н.¹, Ершова И. Г.²

¹ г. Чебоксары, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», timofeev.vitaly2010@yandex.ru

² г. Чебоксары, ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», eig85@yandex.ru

Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года № 1662 р и Стратегией инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 года № 2227, а также в соответствии с законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. и с учетом «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» № 1715-р от 13.11.2009 г. в сельскохозяйственном производстве необходимо расширить применение энерго-, ресурсосберегающих технологий и оборудования.

В соответствии с данными документами тема имеет важное актуальное значение и направлена на повышение эффективности энергообеспечения путем разработки энерго- и ресурсосберегающих систем для промышленных и инфраструктурных объектов на основе возобновляемых источников энергии с использованием теплового насоса.

Цель работы - обоснование параметров, режимов работы и создание энергоресурсосберегающей системы на базе теплового насоса с использованием возобновляемых источниках энергии (солнечной энергии и низкопотенциального источника энергии).

Для достижения цели проекта необходимо решение следующих задач:

1. Теоретически обосновать применение возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве и разработать схему управления потоком энергоносителя в преобразователе низкопотенциального источника энергии с использованием теплового насоса в системе. Разработать алгоритм согласования режимов работы системы с контролируемыми и регулируемыми параметрами микроклимата хранилища.
2. Разработать рациональную энергоресурсосберегающую систему поддержания микроклимата хранилища с использованием модернизированного теплового насоса.
3. Оценить технико-экономическую эффективность применения энергоресурсосберегающей системы.

К новым научным результатам относятся: теоретическое и экспериментальное обоснование повышения эффективности энергообеспечения населения с использованием солнечной энергии и низкопотенциального источника энергии, принципиальная схема преобразования солнечной энергии в электрическую. Кроме того, научная новизна заключается в использовании полученной теплоты на объектах отопления и ее применение для выработки холода. Новизна технических свойств установки подтверждена 7 патентами автора проекта.

Система оказывает решающее влияние на современную технику.

Энергоресурсосберегающая система на базе теплового насоса с использованием солнечной энергии "Энергосистема" ("Energy system") направлена на повышение эффективности энергообеспечения путем разработки энерго- и ресурсосберегающих систем для промышленных и инфраструктурных объектов на основе возобновляемых источников энергии с использованием теплового насоса.

Для решения этой задачи используется солнечная энергия и предусматривается солнечный коллектор, при этом в установке условно предусмотрено четыре контура.

В первом контуре используется высокотемпературный теплоноситель, например силикатная жидкость, и его температура может быть доведена до значения 300 °С. Затем теплота передается второму (теплому) контуру, где циркулирует теплоноситель (вода), температура которого доводится до значения 90-95 °С.

В третьем контуре используется низкокипящее рабочее вещество, кроме того, в нем предусматривается турбина с генератором.

В четвертом контуре используется низкотемпературный источник энергии, который служит для охлаждения отработавшего пара рабочего вещества третьего контура.

Основными элементами системы является возобновляемый источник энергии, к которому относятся: солнечный источник тепловой энергии, низкопотенциальный источник энергии и искусственный источник энергии, под действием которых в течение круглого года вырабатывается электроэнергия, тепловая энергия и холод. Таким образом, данное решение является значимой частью технологической цепочки для энергосберегающей отрасли промышленности с использованием возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. Проект предусмотрен для решения задачи по модернизации и технологическому развитию солнечной энергетики, имеет эффект масштаба.

Техническим результатом при этом является получение дешевой экологически чистой электрической, тепловой энергии и источника холода для промышленных и других инфраструктурных объектов, а также для абсорбционных преобразователей теплоты с целью хладо- и теплоснабжения в течение круглого года.

Новизна технических свойств установки подтверждена 7 патентами автора проекта [1,2].

Новые технические свойства системы позволяют получить преимущества перед прямыми и косвенными аналогами и прототипами.

Имеющиеся аналоги на российском рынке используют солнечную энергию и низкопотенциальный источник энергии в основном для отопления жилых домов и горячего водоснабжения населения. Разработанная нами энергоресурсосберегающая система, включающая несколько установок для поддержания микроклимата, позволяет в комплексе получить одновременно электрическую энергию, теплоту и холод.

Проект предназначен для всей территории РФ, также может быть предусмотрен в других странах, при выполнении необходимых корректировочных расчетов, связанных с другими, отличными от Чувашской Республики, климатическими условиями.

Потребителями системы являются промышленные и инфраструктурные объекты, в том числе

Молочные заводы (Чебоксарский филиал ОАО Компания ЮНИМИЛК ЧР),

Сельскохозяйственные предприятия, в том числе ООО "Агрофирма "Слава картофелю" (Комсомольский район, с. Комсомольское), ОПХ «Ударник» (Моргаушский р-н, с. Юськасы),

Овоще- и картофелехранилища, расположенные в местах, удаленных от энергосистем,

Хладопотребители, объекты отопления и горячего водоснабжения.

В настоящее время имеются положительные отзывы от предприятий:

- Чебоксарский филиал ОАО Компания ЮНИМИЛК ЧР),

- ООО "Агрофирма "Слава картофелю" (Комсомольский район, с. Комсомольское),

- ОПХ «Ударник» (Моргаушский р-н, с. Юськасы),

Результаты исследований используются в учебном процессе следующих вузов:

- ФБГОУ ВПО ЧГСХА

- ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ»

- АНО ВПО «Региональный институт технологии и управления»

- ФГБОУ ВПО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова».

Энергоресурсосберегающая система удовлетворит потребность в электроэнергии, тепловой энергии и холоде промышленных объектов и сельхозпроизводителей, особенно это важно для объектов, удаленных от энергосистем и линий энергопередач.

По итогам реализации проекта идея будет доведена до опытного образца, а результатом трехлетней работы станет опытно-промышленный образец - Энергоресурсосберегающая система на базе теплового насоса с использованием солнечной энергии "Энергосистема" ("Energy system"), готовый к массовому производству и внедрению.

Количественный результат – 1 опытно-промышленный образец.

Качественный результат - опытно-промышленный образец будет иметь следующие показатели – надежность конструкции, долговечность, получение заказчиком при помощи данной системы одновременно теплоты, холода и электроэнергии, путем использования возобновляемого, имеющегося в безвозмездном пользовании, солнечного источника энергии; прорывная, уникальная запатентованная технология производства электроэнергии, теплоты и холода, инновационная энергосберегающая система имеет явные преимущества на рынке, наличие технологических инноваций в проекте, что доказывает его креативность.

Основные преимущества малых паровых турбин ПТМ:

Примерно 75% отопительной энергии можно собрать бесплатно из природы (грунта) и только 25% энергии необходимо затратить для работы самого теплового насоса. Иначе говоря, владелец тепловых насосов экономит 3/4 средств, если бы он

регулярно тратил на дизтопливо, газ или электроэнергию для традиционного отопления. Т.е., тепловой насос с помощью теплообменников собирает тепловую энергию из земли и «переносит» ее в помещение.

В настоящее время эксплуатационные затраты на отопление в год (4000 часов работы, площадь объекта 220 м²) при использовании дизельного котла составляют 158 000 руб., при использовании электрического котла - 91 080 руб. При использовании теплового насоса эксплуатационные затраты снизятся до 30 000 руб.

Литература

1. Тимофеев В.Н., Васильева И.Г. Электроэнергетическая установка на солнечной энергии. Патент 103579 Российская Федерация, МПК F03G6/00 (2006.01). - № 2010145501/28; заявл. 09.11.2010; опубл. 20.04. 2011. Бюл. № 11. – 6 с.: ил.
2. Тимофеев В.Н., Васильева И.Г. Энергоресурсосберегающая установка. Патент 109507 Российская Федерация, МПК F03G6/00 (2006.01). – № 2011119127/06; заявл. 12.05.2011; опубл. 20.10.2011. Бюл. № 29. – 9 с.: ил.

ОСОБЕННОСТИ ФТОРАЛЮМИНАТНЫХ СТЕКОЛ С МАЛЫМИ ДОБАВКАМИ ФОСФАТОВ, АКТИВИРОВАННЫХ ФТОРИДАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.А. Клинков

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций

Klinkovvictor@yandex.ru

Levisor@mail.ru

Солнечный спектр является практически непрерывным в широком диапазоне частот — от ближнего ИК-диапазона до сверхвысокочастотного рентгеновского и гамма-излучения. Безусловно, трудно одинаково эффективно улавливать столь разные виды излучения. Ультрафиолетовый, рентгеновский и гамма- диапазоны излучения, невзирая на высокую энергию фотонов, вносят незначительный энергетический вклад, так как самих фотонов в этих диапазонах не так уж много.

Львиная доля солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, сосредоточена в диапазоне длин волн от 300 до 2000 нм, при этом для кремния край собственного поглощения находится при $\lambda = 1,1$ мкм, для GaAs — при $\lambda = 0,9$ мкм. В этой связи, актуальной является возможность использования двухфотонного механизма, в рамках которого происходит преобразование длинноволнового излучения в коротковолновое.

Применение данного механизма широко известно в стеклообразных системах (например, фосфатные стекла активированных редкоземельными ионами Yb и Tb[1]). В стеклах, матрица которых сформирована двумя стеклообразователями, можно ожидать отклонения закона распределения ионов активаторов от случайного, имеет место явление сегрегации активатора.

В работе рассматриваются спектроскопические свойства фторалюминатных стекол активированных фторидами редкоземельных элементов. Выбор данного объекта исследования обусловлен целым рядом преимуществ перед кислородсодержащими стеклами. Такие стекла проявляют ряд уникальных свойств:

- 1) сочетают свойства, как фторидной матрицы, так и фосфатной, а именно: сохраняют высокую прозрачность в ИК-области спектра (вплоть до 7 мкм),

характерную для фторидных стекол, в то же время обладают пониженной кристаллизационной способностью (по сравнению с фторидными стеклами), что обеспечивается введением фосфатов,

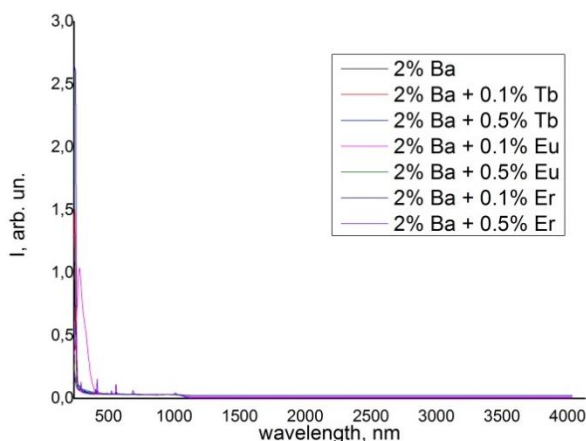
- 2) особенностью фторидных стекол является их высокая радиационно-оптическая устойчивость по сравнению с кислородсодержащими стеклами,
- 3) ширина спектра люминесценции активированных фосфатных стекол близка к таковым у силикатных, а в спектрах фторидных стекол ширина спектра люминесценции имеет рекордные значения,
- 4) возможность введения в матрицу стекла больших концентраций редкоземельных элементов без концентрационного тушения, в отличие от силикатных.

Исследовалась система $2\text{Ba}(\text{PO}_3)_2-98\text{MgCaSrBaYAl}_2\text{F}_{14}$. Используемые в работе активаторы: Eu^{3+} , Er^{3+} , Tb^{3+} (0,1; 0,5 мол. %).

Особенностью стеклообразного состояния вещества является неоднородность и неупорядоченность его структуры [2]. Наличие в многокомпонентных стеклах различных по составу микронеоднородностей, приводит к избирательному вхождению в них примесных ионов-активаторов. В результате реальные средние расстояния между ионами активатора оказываются меньше, чем при их случайном распределении в стеклообразной матрице [3,4].

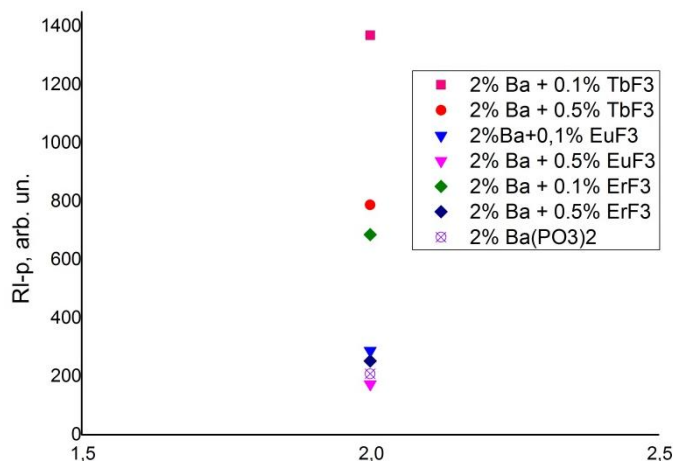
Поскольку ионы активаторов могут выполнять две функции в матрице стекла: как источники генерирующего излучения, а также как неконтролируемая примесь, приводящая к снижению эффективности передачи энергии в пределах оптического элемента, то выявление характера распределения активаторов является основополагающей проблемой. Закономерности пространственного распределения ионов активаторов, полученные для исследованных стекол в зависимости от состава и концентрации активаторов могут быть использованы при разработке радиационно-стойких стекол с заданными оптическими свойствами.

Для установления сегрегации ионов РЗЭ во фторофосфатных стеклах было предпринято спектроскопическое исследование влияния состава и структуры стекол псевдобинарной системы $\text{Ba}(\text{PO}_3)_2-\text{MgCaSrBaAl}_2\text{F}_{14}$, а также концентрации ионов активаторов Eu^{3+} , Er^{3+} , Tb^{3+} на их пространственное распределение.



Спектры пропускания стекол системы $2\text{Ba}(\text{PO}_3)_2-98\text{MgCaSrBaYAl}_2\text{F}_{14}$, активированных TbF_3 , EuF_3 , ErF_3 (0,1; 0,5 мол. %)

Наиболее подходящим методом оценки структурной неоднородности матрицы стекла служит спектроскопия Релеевского Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния (отношение Ландау–Плачека).



Отношение Ландау-Плачека стекол системы $2\text{Ba}(\text{PO}_3)_2-98\text{MgCaSrBaYAl}_2\text{F}_{14}$, активированных TbF_3 , EuF_3 , ErF_3 (0.1; 0.5 мол. %)

Отношение R_{1-p} для исходного неактивированного стекла равно 209,5 отн.ед. Минимальным рассеянием обладает стекло активированное 0,5 мол. % EuF_3 и равняется 173,4 отн.ед. Полученный результат говорит о влиянии европия на формирование матрицы стекла на стадии расплава.

Исследование позволило однозначно утверждать, что пространственное распределение ионов Eu^{3+} зависит не только от состава, но и от структурных пере-строек в стеклах исследуемого ряда (выравнивание значения локального показателя преломления во фторидной матрице стекла вследствие избирательного вхождения большей части ионов РЗЭ во фторидные области матрицы).

С целью получения малорассеивающих стекол, допускающих осуществление преобразования энергии по двухфотонному механизму, перспективным можно считать проведение дальнейших исследований спектроскопических свойств активированных стекол системы $(3-x)\text{Ba}(\text{PO}_3)_2 \cdot (97+x)\text{MgCaSrBaYAl}_2\text{F}_{14}$ ($x=1,5-0,5$), а так же более подробное выяснение роли активаторов.

Литература:

1. Дмитрюк А.В., Карапетян Г.О., Косяков В.И., Макушкин Б.М., Широшкин В.А. Кооперативная люминесценция в стеклах, активированных Yb^{3+} // Оптика и спектроскопия. 1974. Т. 37. № 3. С 594-595
2. Бочарова Т.В., Карапетян Г.О., Миронов А.М. и др. Зависимости спектроскопических свойств европия от характера пространственного распределения ионов РЗЭ во фторофосфатных стеклах // Физика и химия стекла, 2005. Том 31. № 4
3. Bocharova Tat'yana, Karapetyan Garegin, Mironov Alexey, Tagil'tseva Natal'ya Spectroscopic properties of Eu^{3+} in fluorophosphates glasses // Phosphorus research bulletin, 2002. Vol. 13, pp. 87-90
4. Дмитрюк А.В., Таглильцева Н.О., Халилев В.Д. Фторалюминатные стекла, активированные тербием // Стекло и керамика – 1997 – №3 – С.3-6.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ КУСКОВ МЯСНОГО СЫРЬЯ

Поручиков Д. В., д.т.н., профессор Михайлова О.В.
г. Чебоксары, ФГБОУ ВПО ЧГСХА
jr.poruba@gmail.com

При производстве копченых изделий (окороков, шейки, грудинки и других копченостей из говядины, свинины и баранины) проводят посол кускового мясного сырья в мясомассажерах разных конструкций и производительности. При посоле в изделия накапливаются посолочные вещества (хлорид натрия, нитрит натрия, сахара и др.) от количества которых зависят его вкус, аромат, цвет, консистенция, а также устойчивость к действию микроорганизмов. Способ механической обработки мяса, при которой используют энергию падения кусков мяса с некоторой высоты, энергию ударов их друг о друга, выступы и стенки вращающегося барабана называют тумблированием [1]. Анализ существующих технических средств, предназначенных для массирования мясного сырья, показывает, что этот процесс достаточно долгий и энергозатратный. Для ускорения проникновения посолочных компонентов в сырье необходимо предусмотреть дополнительное воздействие электрофизических параметров.

Объектом исследования является установка для массирования и термообработки кускового мясного сырья, технология их посола и варки экзо-эндогенным нагревом.

Предметом исследования является выявление закономерностей фильтрационно-диффузионных процессов, происходящих при воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), ИК лучей и механическом массировании кускового сырья во вращающейся резонаторной камере.

На рис. 1 приведено пространственное изображение разработанной установки для посола и термообработки кускового мясного сырья. Установка содержит в цилиндрическом экранирующем корпусе 1 резонаторную камеру 3, выполненную в виде беличьей клетки из полых труб. Причем трубы, из неферромагнитного материала соприкасаясь друг другу, образуют барабан, имеющий одно основание сплошное 15 (полый диск), а другое – открытое. Барабан вращается от мотора-редуктора и расположен горизонтально. Со стороны открытого торца барабана направлен излучатель от генераторного блока 5 с магнетроном. Полый вал 7 проложен через центральную ось трубчатой резонаторной камеры 3. При этом вал жестко соединен с торцевым полым диском 15 и кольцевой трубой 6 резонаторной камеры 3. Вал 7 установлен в подшипниковый узел 8. Резонаторная камера 3, собранная из труб в виде барабана, вращается от мотора – редуктора. На дне цилиндрического экранирующего корпуса 1 имеется сливной патрубок 14. С внутренней стороны, резонаторная камера содержит лопасти 4. Один торец резонаторной камеры полностью соединен с полым диском 15, а другой торец закольцован трубой 6. Под цилиндрическим экранирующим корпусом 1 установлены ИК лампы 2. Посолочный рассол, заливающий часть мясного сырья, из рабочей камеры просачивается через щели 13 между трубами резонаторной камеры 3 на дно экранирующего корпуса 1.

Установка работает следующим образом. Мясное сырье и посолочный рассол загружается через загрузочный люк 12. Подают теплоноситель в трубы резонаторной камеры 3 через муфту 11. Теплоноситель (горячая вода) из трубопровода, через муфту 11 поступает в правую камеру, так как в полой валу 7 имеется заглушка. Затем, обойдя трубчатую резонаторную камеру 3, поступает в левую камеру и через трубу возвращается в трубопровод сети. Стопорная гайка 10 и прокладка 9 до подшипникового узла 8, ограничивают вытекание теплоносителя.

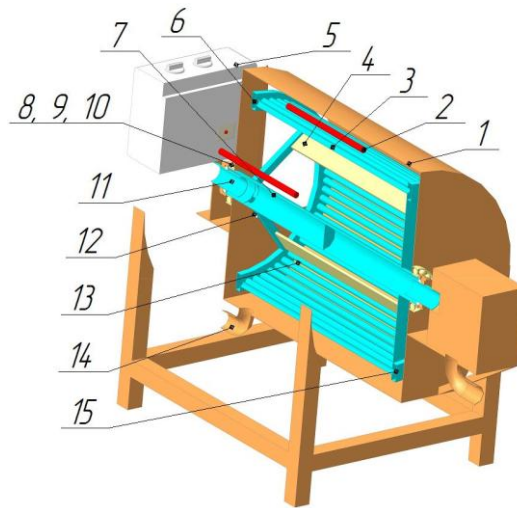


Рисунок 1 – СВЧ установка для массажирования и термообработки кускового мясного сырья: 1 – цилиндрический экранирующий корпус; 2 – ИК лампы; 3 – трубчатая резонаторная камера; 4 – лопасти; 5 – генераторный блок с магнетроном и излучателем; 6 – кольцевая труба; 7 – полый вал; 8 – подшипниковый узел; 9 – диэлектрическая прокладка; 10 – стопорная гайка; 11 – муфта; 12 – люк; 13 – щель между трубами; 14 – сливной патрубков, 15 – полый диск

Одновременно включают мотор-редуктор, который вращает вал 7 с резонаторной камерой 3 со скоростью, меньше критической. Начинается процесс массажирования кускового мясного сырья. При этом за счет лопастей 4 куски мяса поднимаются до определенной высоты и падают, т.е. идет фильтрационно-диффузионный процесс. Посолочный рассол впитывается в ткани мясного сырья. Одновременно включают СВЧ генераторный блок 5 на малую мощность. За счет тепла от труб и воздействия электромагнитного поля СВЧ эффект массопереноса при массажировании мясного сырья дополнительно усиливается. Посолочные вещества в основном перераспределяются за счет воздействия ЭМП СВЧ. После окончания массажирования мясного сырья, остатки рассола сливают через сливной патрубок 14. Далее на полную мощность включают СВЧ генератор 5 и ИК лампы 2, и при этом циркулирует горячую воду по трубам резонаторной камеры 3. В таком режиме производят варку и копчение изделия. Далее выключают СВЧ генератор 5, меняют теплоноситель в трубах на хладоноситель (водопроводная вода или охлаждающий рассол), после чего происходит охлаждение готовой продукции. Вращение резонаторной камеры останавливают, выключая мотор-редуктор. Открывают люк 12 и выгружают готовое копченое изделие.

Методика расчета барабана с оребренной внутренней поверхностью сводится к определению критической частоты вращения, согласованию геометрических размеров барабана с производительностью и мощностью [1]. Критическая частота вращения возникает в случае, когда частицы, прижимаемые к обечайке барабана центробежными силами, не открываются от нее и начинают совершать полный оборот. Зная диаметр барабана можно определить критическую угловую скорость

$$\omega_{кр} = \frac{4,43}{\sqrt{D}}, 1/с. \quad (1)$$

Барабан диаметром D вращается с угловой скоростью ω , меньшей критической: $\omega = \varphi \cdot \omega_{кр}$, где $\varphi = 0,4...0,45$ для оребренных барабанов. Масса единовременной загрузки кускового мясного сырья составляет

$$G = \frac{\pi \cdot D^2}{4} L \cdot \kappa \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (2)$$

где D , L – внутренний диаметр и длина барабана, м; ρ – плотность кускового мяса, кг/м³; κ – коэффициент загрузки барабана сырьем, при диаметре менее 0,5 м равен (0,05...0,12), более 0,5 м – (0,02...0,06).

Мощность электродвигателя (кВт) привода барабана определяем как сумму мощности N_1 необходимой для подъема массы на высоту H и мощности N_2 , необходимой на преодоление трения в подшипниках опор:

$$N_{\text{эо}} = \frac{(N_1 + N_2) \eta_1}{1000 \eta}, \quad (3)$$

где η_1 – коэффициент запаса мощности; η – КПД привода.

$$\text{Мощность} \quad N_1 = \frac{G \cdot g \cdot H}{\tau_1}, \text{ Вт}, \quad (4)$$

где G — масса загрузки, кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; τ_1 – продолжительность подъема сырья на высоту H , с.

Вывод. При одновременном механическом массировании и экзо-эндогенном нагреве кускового мясного сырья, происходит равномерное распределение рассола в нем в шадящем режиме на низких оборотах рабочей камеры. При этом функцию барабана выполняет резонаторная камера СВЧ генератора. Это позволяет сохранить волокнистую структуру, равномерный стабильный цвет, сочность, типичный вкус копченого кускового продукта. За счет ускоренного преобразования нитрата (созревание) происходит интенсивное покраснение (мясо приобретает более стойкий цвет и сохраняет натуральный аромат). Обработке можно подвергать все виды мяса: птицы, КРС и баранины. Наиболее существенными факторами, влияющими на эффективность процесса посола, массирования и термообработки кускового мясного сырья [2,3] являются: продолжительность термической и механической обработки, количество добавляемого рассола и степень заполнения рабочей камеры. Исследования показывают, что существенное влияние на качественные показатели готовых мясопродуктов оказывают как сырьевые (32,9%), так и технологические факторы (67,1%). К наиболее весомым из технологических факторов относятся параметры термообработки (17% от общего выделенного числа факторов) [1]. Критерием оценки при оптимизации конструктивно-технологических параметров и режимов работы установки служат энергетические затраты и качество готового изделия (варено-копченых мясных кусков). Лабораторный образец имеет производительность 7...12 кг/ч, потребляемую мощность 3 кВт.

Литература

1. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть 1. Оборудование для убоя и первичной обработки. – М.: Колос, 2001. – 552 с.
2. Новикова, Г. В. Технологическое оборудование для термообработки сельскохозяйственного сырья / Г.В. Новикова, Д. В. Поручиков, М. В. Белова, Г. А. Александрова . – Чебоксары: международный научно-теоретический и прикладной журнал Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – Чебоксары: ЧГПУ, 2013. – № 2 (78). – С. 12...15.
3. Белова, М.В. Повышение эффективности функционирования многомодульных агрегатов для агроинженерных технологий / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин //Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2013, №3 (29). С. 46...49.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СРЕДЕ SIMULINK

Серебрянников А.В., Охоткин Г.П., Малинин Г.В.
Чебоксары, ЧГУ им. И.Н. Ульянова
alex-silver@mail.ru, elius@list.ru, malgrig6@rambler.ru

В среде *Simulink* последних версий программы *Matlab* имеется только один элемент, непосредственно предназначенный для построения моделей систем на основе солнечных элементов – элемент *Solar Cell* (солнечный (фотогальванический) элемент), находящийся в библиотеке *Simscape/SimElectronics/Sources* (рис. 1).

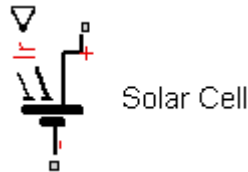


Рис. 1. Внешний вид элемента *Solar Cell*

Этот блок моделирует солнечный элемент в виде параллельно соединенных источника тока, двух диодов с экспоненциальной характеристикой и резистора R_p , которые связаны последовательно с сопротивлением R_s . Выходной ток фотоэлемента I согласно его математической модели вычисляется по формуле

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V+I \cdot R_s}{N \cdot V_t}} - 1 \right) - I_{s2} \left(e^{\frac{V+I \cdot R_s}{N_2 \cdot V_t}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p},$$

где I_s и I_{s2} – обратные токи насыщения диодов, V_t – тепловой потенциал, N и N_2 – факторы идеальности диодов, I_{ph} – фототок, генерируемый солнечным элементом (рис. 2).

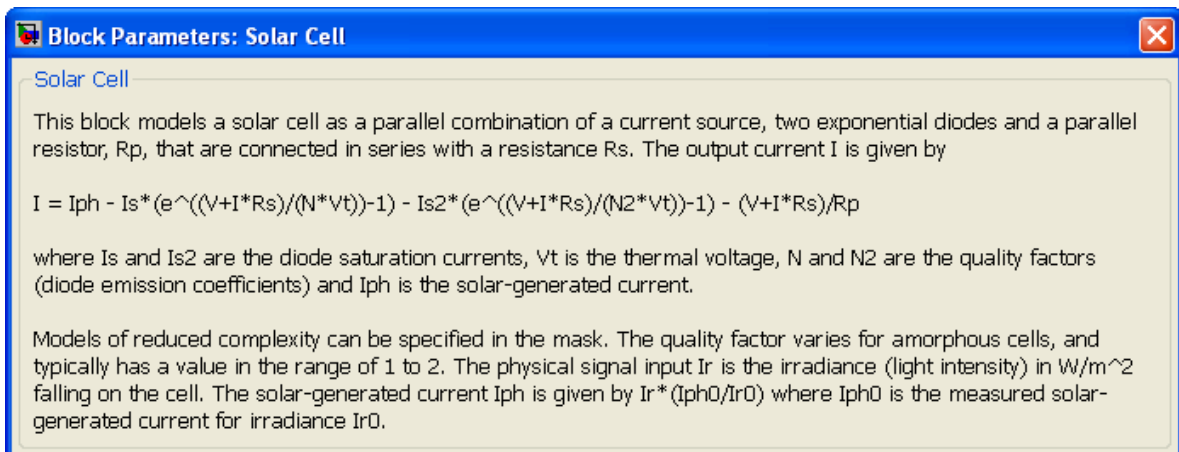


Рис. 2. Описание элемента *Solar Cell*

В свойствах блока можно выбрать более простую модель солнечного элемента.

Фактор идеальности диодов варьируется для аморфных солнечных элементов и, как правило, имеет значение в диапазоне от 1 до 2. В качестве входного сигнала I_r принимается освещенность (интенсивность света, падающего на солнечный элемент), измеряемая в Вт/м². Генерируемый солнечным излучением ток I_{ph} вычисляется по формуле $I_r(I_{ph0}/I_{r0})$, где I_{ph0} – измеренный при освещенности I_{r0} генерируемый солнечным элементом ток.

Имеется три варианта задания параметров блока во вкладке *Main*:

1) солнечный элемент моделируется током короткого замыкания I_{sc} и напряжением холостого хода V_{oc} (задается 5 параметров) (рис. 3);

Рис. 3. Первый вариант задания параметров блока

2) солнечный элемент моделируется параметрами эквивалентной цепи с одним диодом (задаются 5 параметров) (рис. 4);

Рис. 4. Второй вариант задания параметров блока

3) солнечный элемент моделируется параметрами эквивалентной цепи с двумя диодами (задаются 8 параметров) (рис. 5).

Рис. 5. Третий вариант задания параметров блока

В параметрах блока каждого варианта можно задать температурные параметры во вкладке *Temperature* (рис. 6):

- TIPH1 – температурный коэффициент первого порядка для I_{ph} , 1/°K;
- EG – ширина запрещенной зоны, эВ;
- TXIS1 – температурная экспонента (показатель степени) для I_s ;
- TRS1 – температурная экспонента (показатель степени) для R_s ;
- Tmeas – температура, при которой получены параметры, °C;
- TFIXED – фиксированная температура схемы, °C.

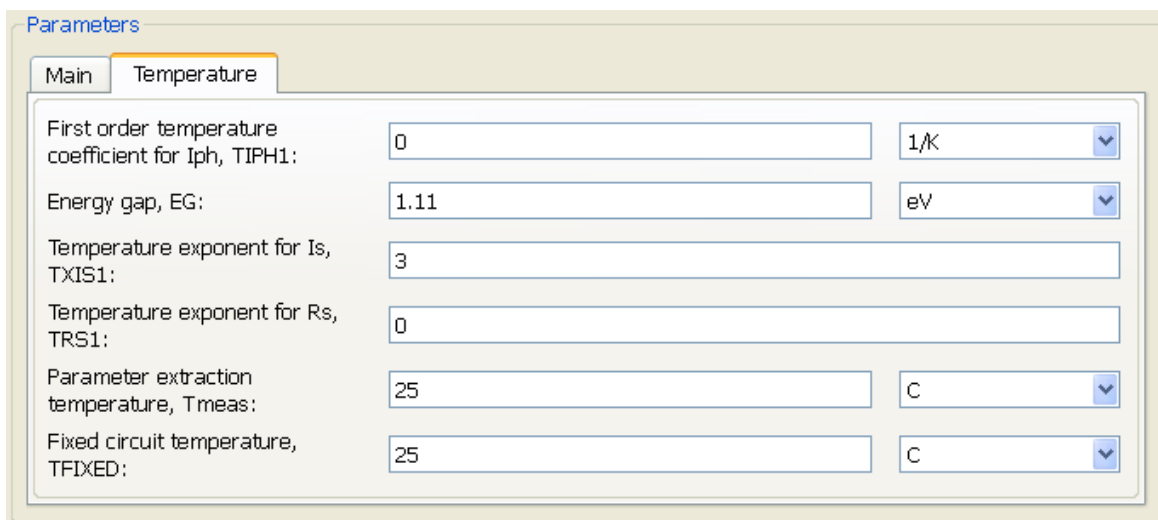


Рис. 6. Температурные параметры блока

На рис. 7 представлена модель, основанная на модели, приведенной в [1]. В этой простой схеме солнечный элемент *Solar Cell* подключен к понижающему импульсному преобразователю. В модели изменением скважности (коэффициента заполнения) управляющих импульсов *Duty ratio* блока широтно-импульсного модулятора (ШИМ) *PWM Block* и падающего на солнечный элемент излучения *PS* можно управлять выходным напряжением. Понижающий преобразователь регулирует напряжение, поступающее от солнечного элемента, и подает сглаженное стабилизированное напряжение постоянного тока на нагрузку. Соединяя последовательно и/или параллельно несколько солнечных элементов, можно получить солнечную панель и увеличить выходное напряжение и/или ток.

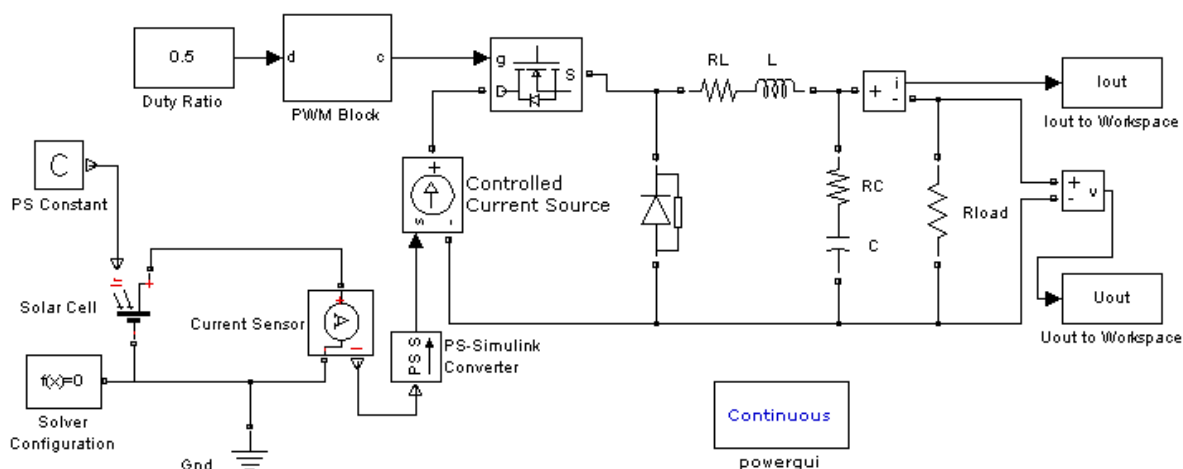


Рис. 7. Модель солнечного элемента, подключенного к понижающему преобразователю

В модели освещенность (интенсивность падающего света) равна 500 Вт/м². Параметры понижающего преобразователя следующие: индуктивность дросселя

$L = 160$ мкГн, последовательное сопротивление дросселя $RL = 80$ мОм, емкость выходного конденсатора $C = 220$ мкФ, эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора $RC = 5$ мОм, частота управляющих импульсов ШИМ $f_s = 100$ кГц, скважность импульсов $Duty Ratio = 0,5$ (50 %), сопротивление нагрузки $R_{load} = 10$ Ом.

На рис. 8 представлены полученные на модели осциллограммы выходных напряжения u_n (U_{out}) и тока i_n (I_{out}) (на нагрузке).

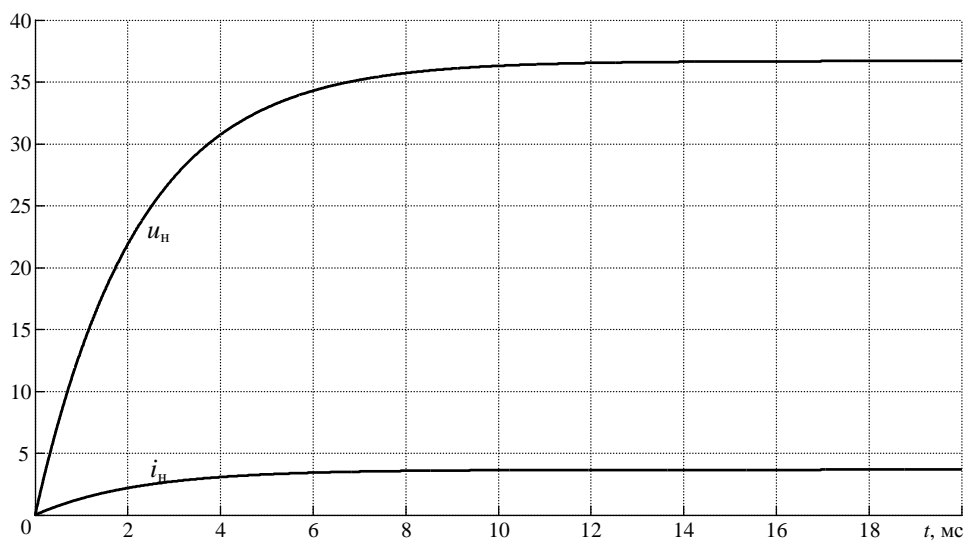


Рис. 8. Осциллограммы напряжения и тока нагрузки

Литература

1. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/45429-solar-cell-simulink-model>.

ДАТЧИК ПЫЛИ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Смирнов А.В., Кочаков В.Д., Васильев А.И., Скворцов С.В., Иванов А.Л.
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Serj_smail@list.ru

В России в последнее время уделяется большое внимание развитию солнечной энергетики. Солнце обеспечивает Землю огромным количеством энергии, которое многократно превышает потребности человечества. Использование этого источника затруднено, потому что солнечное излучение на Земле - это сильно рассеянный небольшой поток энергии. Для массового применения солнечного излучения необходимо обеспечить очень эффективное его использование и значительно улучшить характеристики солнечных элементов [1].

Большинство панелей разработаны с целью правильной эксплуатации в течение длительного времени, однако их производительность сокращается в зависимости от условий окружающей среды и в особенности деградация панелей связана с состоянием поверхности панелей, нуждающаяся в постоянном мониторинге. Использование самоочищающихся технологий или сбрасывание каскадным электростатическим полем [2] требуют вмешательства в технологию производства солнечных батарей, а постоянная промывка поверхности панелей водой является экономически затратным средством, особенно в регионах с нехваткой водных

ресурсов, в связи с чем возникает необходимость точно фиксировать время, когда надо произвести промывку водой. Разработка системы контроля состояния солнечных панелей от загрязнения пылью и другими атмосферными явлениями является актуальной задачей для солнечной энергетики

Среди факторов, сокращающие производство электроэнергии следует выделить:

1. Пыль, оседающая на солнечные элементы, которая блокирует генерирующий слой от попадания солнечных лучей

2. Пыль, блокирующая солнечное излучение в воздухе, которая отражает солнечные лучи.

3. Атмосферные и природные отложения, затемняющие панели.

Из-за большого влияния пыли на панели, изучение деградации солнечных панелей оказывается жизненно важным. Это могло бы помочь добиться улучшений в дизайне и очистки для более эффективного предотвращения пылинакопления.

Проведена большая аналитическая работа по оценке основных методов регистрации и контроля пылеотложения и выяснено, что их условно можно подразделить на несколько методов.

1) Оптические методы регистрации пылеотложения.

Оптические методы, конструкции которых состоят из излучателя и приемника излучения. Подобные устройства и системы контроля пылеотложения имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что фотоприемники регистрируют не только полезный сигнал, но и рассеянный свет, при разных освещенностях показания фотоприемника при одинаковом пылеотложении могут отличаться. Так же оптические методы регистрации пылеотложения напрямую не связаны с энергетическими параметрами солнечных панелей, изменение оптических характеристик не отражает однозначно проценты потерь мощности и требуют для перевода в энергетические величины решения сложной многофакторной задачи.

2) Методы регистрации пылеотложения, основанные на пьезоэффекте.

Методы контроля пылеотложения основанный на пьезоэлектрическом эффекте имеют неоднозначные выходные характеристики, потому что концентрация или масса пыли, измеренная по резонансной частоте колебаний, не дает однозначного контроля уровня запыленности, вызывающая необходимость дальнейшего математического пересчета в энергетические величины (потери в мощности). Данная процедура является сложной многопараметрической задачей и не дает представления о моменте времени, в который должна производиться очистка панелей.

Исходя из вышеприведенных недостатков, возникает задача разработки эффективной и простой в исполнении системы (устройства) контроля состояния поверхности солнечных панелей.

Предложенный нами метод основан на дифференциальном сравнении одной из основных характеристик чистой панели и панели, которая подвергается воздействию пыли и других негативных осадений, причем конструкция предполагает нахождение двух панелей при одинаковых условиях в момент измерения сигналов с тем, чтобы исключить влияние негативных параметров на измеренные значения токов.

Поставленная задача была решена применением датчиков, представляющих собой два идентичных плоских фотоэлемента размером 10×10 мм² толщиной 150 мкм и имеющих равные выходные энергетические характеристики, но у одного из них фоточувствительная поверхность сохраняется чистой, путем периодической смены защитного стекла, а другого защитное стекло сохраняется до достижения критической запыленности. Для исключения накопления электростатических зарядов на фоточувствительном датчике и предотвращения притяжения мелких частиц (пыли) целесообразно использование именно двух однородных материалов (стекол). Применение других сочетаний материалов (например, прозрачной полимерной пленки и

стекла) приведет к появлению электростатических зарядов на поверхности стекла при трении пленки о стекло при перематывании для смены загрязненного участка пленки на участок чистый от загрязнений, что неприемлемо для фоточувствительного датчика. При трении одинаковых материалов заряды не образуются.

При периодическом дифференциальном сравнении фото-ЭДС от датчика с чистой поверхностью и датчика, поверхность которого подвергается воздействию пыли и других негативных атмосферных осадений, ведущих к снижению эффективности, появляется возможность установить время для промывки или очистки солнечных панелей.

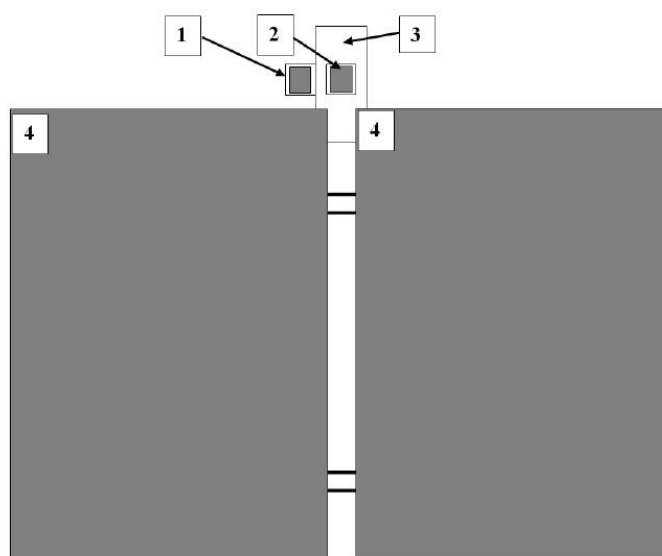


Рисунок 1. Расположение системы датчиков на солнечных панелях

- 1 - Фоточувствительный элемент не защищенный от пылеотложения
- 2 - Фоточувствительный элемент - эталон, защищенный от пылеотложения
- 3 - Корпус с механизмом, обеспечивающим чистоту эталонного фотоэлемента
- 4 - Энергоустановка, состоящая из солнечных панелей

Конструкция предполагает нахождение двух датчиков в момент измерения при одинаковых условиях (температура, уровень солнечной инсоляции, влажность и т.д.) для исключения влияния текущих метеоусловий на величину фото-ЭДС обоих датчиков.

На рисунке 1 показан общий вид расположения устройства мониторинга состояния поверхности солнечных панелей.

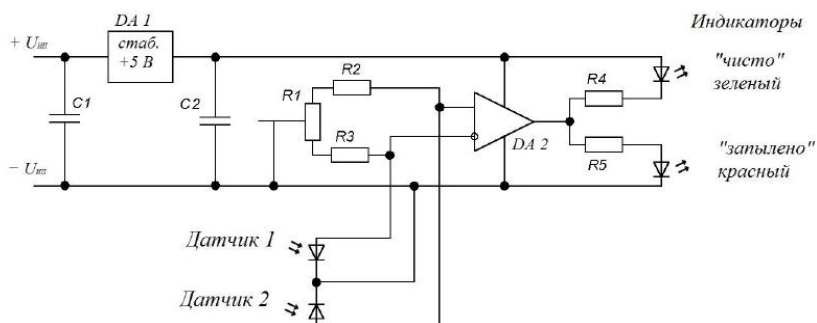


Рисунок 2. Принципиальная схема электронного блока индикации

Блок индикации работает по принципу сравнения сигналов от датчиков по схеме

компаратора. Уровень срабатывания выставляется переменным резистором R₁.

После того, как по принципиальной схеме, изображенного на рисунке 2 был собран образец датчика нами апробирован его режим работы.

УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

А.В. Смирнов¹, А.И. Васильев¹,
А.Ю.Васильев², Е.А.Пименов¹

¹ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г.Чебоксары,

² ОАО «Чувашская энергосбытовая компания» (филиал «Русгидро»)

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 20 февраля 2010 г. N 67 г.Москва "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам определения полномочий федеральных органов исполнительной власти в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности"

Субъекты Российской Федерации и муниципальные образования в соответствии с требованиями законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности разрабатывают целевые показатели энергосбережения и повышения энергетической эффективности в составе соответствующих региональных и муниципальных программ.

Для оценки уровня эффективности использования энергии и формирования мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, а также мониторинга достижения целевых индикаторов и показателей Программы используется информация, содержащаяся в государственной информационной системе в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе данные по результатам энергетических обследований и данные форм государственного статистического наблюдения.

Согласно постановлению Кабинета Министров ЧР от 30.12.2005 Чувашия должна переходить на комплексное использование традиционных и альтернативных энергетических ресурсов.

Ассоциация молодых физиков Чувашии совместно с ОАО «Чувашская энергосбытовая компания» (филиал «Русгидро» в Чувашской Республике) предлагают осуществить в г. Чебоксары на основе новых технологий в области возобновляемых источников энергии внедрение инновационного проекта «Установки на основе альтернативных источников энергии для муниципальных нужд г. Чебоксары», которое находится на стадии рассмотрения городскими властями.

Ассоциация молодых физиков Чувашии как молодежное научно-общественное объединение молодых специалистов-физиков, ученых, студентов-физиков и смежных областей науки ставит перед собой цель создание платформы для общения между молодыми физиками, привлечение в научную работу активных студентов, выполнение совместных общественных и научно-прикладных, исследовательских и теоретических работ, создание и продвижение инновационных проектов

ОАО «Чувашская энергосбытовая компания» является Гарантирующим поставщиком электрической энергии на территории Чувашской Республики. Клиентами и партнерами ОАО «ЧЭСК» являются более 10,1 тыс. юридических лиц и 348,9 тыс. абонентов-физических лиц. Деятельность семи межрайонных отделений

компания охватывает все районы и города республики. С 1 декабря 2012 г. ЧЭСК начала работу в качестве управляющей компании. ОАО «ЧЭСК» входит в структуру ОАО «ЭСК «РусГидро» (100% ДЗО ОАО «РусГидро»). Группа «РусГидро» - один из крупнейших российских энергетических холдингов, объединяющий более 70 объектов возобновляемой энергетики в РФ и за рубежом. Установленная мощность электростанций, входящих в состав РусГидро, составляет 36,5 ГВт, включая мощности ОАО «РАО Энергетические системы Востока», а также самую новую и современную гидроэлектростанцию России – Богучанскую ГЭС. РусГидро – лидер в производстве энергии на основе возобновляемых источников, развивающий генерацию на базе энергии водных потоков, морских приливов, ветра и геотермальной энергии.

Идея проекта заключается в следующем: три различных идеи по внедрению новых технологий в области альтернативной энергетики «Парковое освещение», «Освещение остановки общественного транспорта» и «Безопасный пешеходный переход» работают по одному и тому же принципу. С помощью солнечного модуля заряжаются аккумуляторы и в ночное время подсвечиваются различные объекты с помощью светодиодных светильников.

Анализ внедрения альтернативных энергосберегающих систем освещения вывлены в московских лесопарках и заповедниках. Оборудование уже установлено и показало себя с положительной стороны на Воробьевых горах и в долине реки Сетунь, парке в Алтуфьеве, в Зеленоградском парке установлены Wi-fi точки доступа на солнечных модулях. Для парковой территории в среднем установка подобных столбов с модулями осуществляется через 10-15 метров друг от друга по оживленным тропам парка.

Автономное парковое освещение с помощью солнечных модулей

Садовый или парковый фонарь на солнечных батареях (рис.1) предназначен для освещения садовых и парковых дорожек, прилегающей к дому территории, подъездных путей, цветочных клумб, декоративных фонтанов. В течение светового дня произведенная солнечной батареей электроэнергия накапливается в аккумуляторах, а с наступлением сумерек фонарь включается и автоматически выключается с наступлением рассвета. Высокое качество солнечных батарей позволяет обеспечивать выработку электроэнергии даже в пасмурную погоду.



Рис.1 Иллюстрация энергосберегающего паркового освещения

Принцип работы солнечных фонарей основан на использование энергии солнечного света. Кроме освещения городских и загородных дорог и магистралей, фонари устанавливаются в местах, где прокладка электрического кабеля невозможна или затруднена или очень дорогостоящая. Фонари могут устанавливаться в горной местности, в непосредственной близости к водоемам, в труднодоступных местах - совершенно не зависимо от каких бы то ни было ландшафтных особенностей.

В течение светлого времени суток, от восхода до заката солнца, монокристаллические солнечные панели собирают солнечную энергию, которая направляется в конвектор и накапливается, уже в виде электрической энергии в аккумуляторных батареях. При наступлении сумерек, контроллер, которым оборудована система, автоматически включает лампу. При полной зарядке аккумуляторных батарей, лампа работает в полноценном режиме освещения не менее 10 часов. С наступлением рассвета, контроллер отключает лампу и запускает панель в режиме накопления и подзарядки. Требуемое время для полной зарядки аккумуляторных батарей, отличается в зависимости от погодных условий. В ясный, солнечный день для этого требуется 4-6 часов, в пасмурный день, 8-10 часов. Первые числа 4 и 8 часов - это для теплого времени года, 6 - 10 часов - для зимних месяцев, когда активность солнца ниже.

Система после установки и наладки, не требует никаких дополнительных затрат. В комплект входит: монокристаллический солнечный модуль (200 Вт., 24В), водостойкий контроллер заряда (12/24В, 10А), аккумулятор (Технология AGM) (12В, 55Ач), прожектор светодиодный УПС 24-24-1 (для автономного освещения) (25Вт, 24В)

В современных парковых условиях применяются традиционные лампы, мощностью до 1 кВт. Приблизительный расчет окупаемости строится исходя из затрат на электроэнергию (рис.2) в летний, осенний, зимний и весенний периоды времени. Среднее время работы фонарных столбов паркового освещения – 8 часов (по году). $1 \cdot 8 \cdot 365 = 2920 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

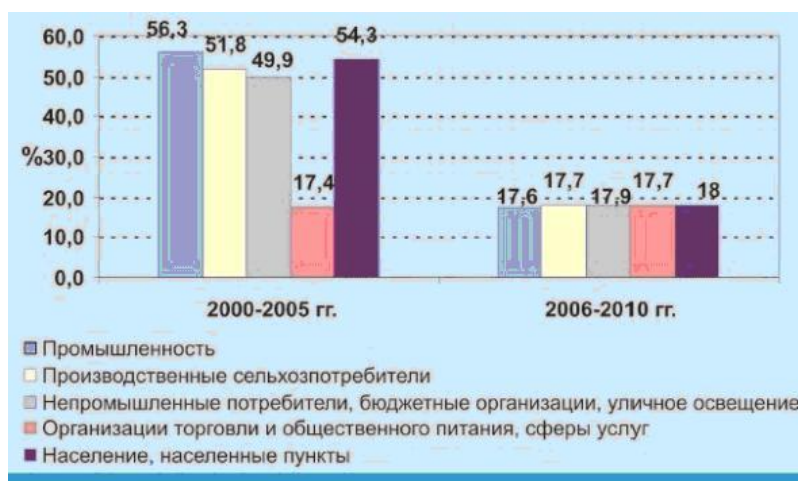


Рис.2 Среднегодовые темпы роста тарифов на электроэнергию в периоды с 2000-2005 и 2006-2010г.г.

Затраты по годам с момента закупки и монтажа оборудования с учетом роста электроэнергии, исходя из тренда за последние годы (17-18 %) свидетельствует об окупаемости в течении 10 лет и получении чистой экономии на электроэнергии. С учетом более быстрых темпов рядом специалистов высказана позиция о возможной степени ускорения окупаемости за 3-3.5 года. с учетом того, что современные парковые ламповые светильники требуют затраты в эксплуатации, более экологический вариант освещения, основанный на нашем оборудовании.

Ниже показан (рис.3) пример применения солнечной генерации в целях экономии статьи расходов жильцов многоквартирных домов (МКД) и создания «зеленых» зон проживания населения.

1-й Институтский проезд д.2. Заменены светильники в местах общего пользования 40 Ватт ртутные на 8 Ватт с датчиками движения + установлена солнечная генерация, которая обеспечивает освещение в подъездах. Всего в доме установлено 73 шт. светодиодных светильника мощностью 8 Ватт. Установленная мощность солнечных модулей составляет 1500 Вт.



Рис.3 Солнечная энергоустановка на крыше МКД в одном из районов г. Москва

Автономное освещение пешеходных переходов с применением солнечных модулей

Система автоматизированы и работают без участия человека. Мощная солнечная батарея заряжает аккумулятор в светлое время суток. Зарядка осуществляется даже в пасмурную погоду и в зимнее время года. Контроллер не допускает перезаряда и полного разряда аккумуляторной батареи.

Сверхъяркие светодиоды желтого света светодиодного светофора Т.7 позволяет водителю в любое время суток с большого расстояния заметить пешеходный переход и заблаговременно снизить скорость движения.

Светодиодный прожектор оснащен датчиком движения (по ИК-излучению, исходящего от человека) и освещенности, который срабатывает сразу же, как в темное время суток к пешеходному переходу подходит пешеход (рис.4). Светильник оснащен линзованной оптикой, которая обеспечивает повышенную освещенность зоны пешеходного перехода (направленную только на пешеходный переход диаграмму светового потока). При отсутствии основного освещения дороги светильник обеспечивает достаточную освещенность пешеходного перехода. При наличии основного освещения дороги светильник обеспечивает достаточную освещенность пешеходного перехода. При наличии основного освещения дороги светильник обеспечивает двойную (200%) освещенность зоны пешеходного перехода. Днем светильник не включается.

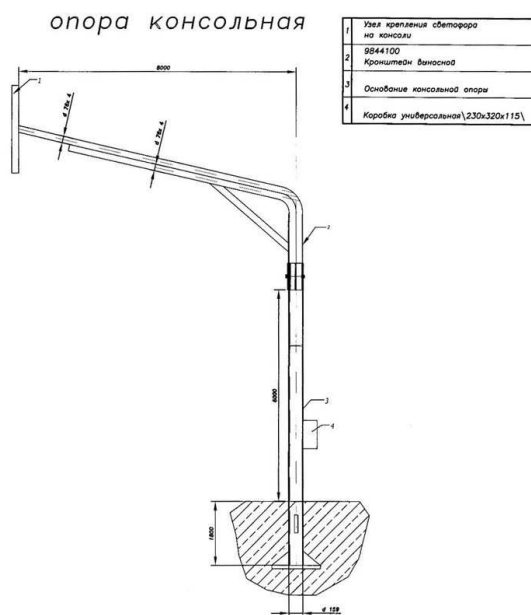


Рис.4 Макет конструкции установки московской компании-дистрибьютора EPS-Soltec

Комплект:

Фотоэлектрический модуль, контроллера разряда (заряда), аккумуляторные батареи (АКБ), ИК-датчик (промышленный или в перспективе на основе собственных научных исследований по созданию сенсоров ИК-излучения на основе новых металлоуглеродных наноструктур на основе линейно-цепочечного углерода), ящик под АКБ), крепления модулей, светодиодные прожектора.



Рис.5 Российский опыт - Пример внедрения в г. Самара и Тольятти (август-сентябрь 2013г.)

Суть инновационного решения также может быть незначительно изменено для увеличения взаимодействия между пешеходами и водителями на нерегулируемых пешеходных переходах. Ведь именно на нерегулируемых пешеходных переходах чаще всего сбивают людей. Наша задача состоит в том, чтобы исключить все факторы, которые влияют на ДТП: слепые зоны, слабую видимость, дорожные ловушки, когда пешехода на дороге не видно из-за остановившихся машин. Комплекс дает водителю 100-процентное понимание того, находится ли в данный момент пешеход на дороге или нет, или он намеревается выйти на дорогу. Перед тем, как пешеход выйдет на дорогу, включается светодиодное табло с информацией для водителей, а для пешеходов срабатывает звуковой сигнал, который напоминает им, что они приближаются к опасной зоне.

По имеющимся данным от Управления государственной инспекции безопасности дорожного движения МВД Чувашии в 2010 году произошло 157 случаев наездов на пешеходных переходах города, на момент 2012 года аналогичный показатель возрос до 183 случаев.

Применение системы “Безопасный переход” с применением вышеуказанной установки на нерегулируемых пешеходных переходах (без активного светофора) являются средством к повышению безопасности жизни пешеходов и являются экономически целесообразными, поскольку к стандартно к существующим нерегулируемым переходам электричество не проведено и соответствующие монтажные работы для проводки электричества до таких переходов может оказаться экономически дорогим решением.

Реализация указанных проектов в условиях городских сред даст импульс внедрению инновационных технологий в экономику страны в целом. В то же время, по мнению ряда экспертов массовое применение солнечной генерации возможно при большой заинтересованности властей всех уровней, при огромном административном ресурсе. Данное обстоятельство связано с тем, что солнечная энергия на территориях, покрытых сетями и дешевым газом, не является высокорентабельной. Ее надо располагать в местах, где нет или куда дорого тянуть электросети.

КОМБИНИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО И ГЕЛИО-ОСВЕЩЕНИЯ

Шириев Р.Р., Садыков М.Ф., Иванова В.Р., Нургалиева Э.И.
г. Казань, ФГБОУ ВПО КГЭУ, shrr@list.ru, SadykovMaratKGEU@yandex.ru,
vr-10@mail.ru, elvina-nurgaliev@mail.ru

Существующие и повсеместно использующиеся системы искусственного и совмещенного освещения в силу своих конструктивных особенностей, а также ограниченности возможностей питания и управления неэкономичны. Применение искусственного освещения в дневное время суток приводит к неоправданным затратам электроэнергии. Классические системы естественного освещения – набор оконных проемов – по причине тесной застройки современных мегаполисов неспособны обеспечить необходимый уровень инсоляции и освещения. Зарубежные разработчики систем освещения для повышения уровня инсоляции и снижения затрат электроэнергии предлагают использовать прозрачные крыши, стены, трубчатые световоды. Их применение оправдано лишь в дневное время суток для павильонов с высокими потолками, одноэтажных зданий и цокольных помещений. Освещение помещений многоэтажных зданий в условиях плотной застройки современных мегаполисов требуют других подходов.

Разрабатываемый нами экспериментальный комплекс, включающий в себя интеллектуальную систему искусственного освещения, чья конструкция и программное обеспечение предусматривает применение нейросетевых технологий, что позволит системе самостоятельно принимать решение в рамках поставленных перед ней задач, и автоматическую систему гелио-освещения, способную передавать солнечное излучение внутрь помещения, что повысит степень инсоляции в условиях плотной застройки мегаполисов, позволит нам провести изучение условий обеспечения необходимого качества освещения в условиях нестабильности распространения световых потоков и их неоднородности спектральных характеристик, а также других факторов, влияющих на качество световой среды, что

имеет громадное значение для развития отраслей национальной экономики и позволит получить новые научно-технические результаты.

Данная разработка направлена на решение задач энергоресурсосбережения и повышения комфорта посредством применения установки на основе солнечных модулей, создания уникальной световой среды и интеллектуального управления с использованием нейросетевых технологий.

Возможности практического использования в социальной сфере запланированных результатов исследований весьма обширны. Так, например, системы гелио-освещения представляют особый интерес для учебных и медицинских учреждений, где уровень инсоляции помещений неоправданно низок. Применение гелио-освещения целесообразно в крупных городах, где тесная застройка не позволяет должным образом обеспечивать потребителей естественным светом. Широкомасштабное применение солнечных модулей позволит повысить энергоэффективность и снизить затраты на электроэнергию промышленных, бытовых и общественно-коммунальных потребителей.

Возможности практического применения результатов наших исследований в экономике заключаются в создании принципиально новой продукции как катализатора роста соответствующих секторов экономики. К тому же, повсеместное применение инновационных комбинированных систем совмещенного освещения вызовет снижение издержек электроэнергии не менее чем на 50 %.

Таким образом, целевым рынком распространения конечного продукта являются строительные и жилищные коммунальные компании, бюджетные и внебюджетные организации.

Описание научного задела коллектива исполнителей по выбранной теме:

1. Создана экспериментальная установка гелио-освещения с применением гелиостатов (Рисунок 1);
2. Создан демонстрационно-лабораторный комплекс интеллектуальных систем искусственного освещения и альтернативной энергетики с применением солнечных батарей и ветрогенераторов в качестве источников питания (Рисунок 2);
3. Создана автоматизированная светотехническая установка перераспределения света внутри помещения (Рисунок 3);
4. Разработана структура интеллектуальной системы искусственного освещения с применением нейросетевых технологий;
5. Автоматизированная светотехническая установка перераспределения света внутри помещения, демонстрационно-лабораторный комплекс интеллектуальных систем искусственного освещения и альтернативной энергетики и экспериментальная установка гелио-освещения размещены на территории учебно-исследовательского центра ФГБОУ ВПО КГЭУ «Центр компетенций и технологий в области энергосбережения Республики Татарстан».



Рис. 1. Зеркала системы гелио-освещения



Рис. 2. Структурная схема демонстрационно-лабораторного комплекса интеллектуальных систем искусственного освещения и альтернативной энергетики

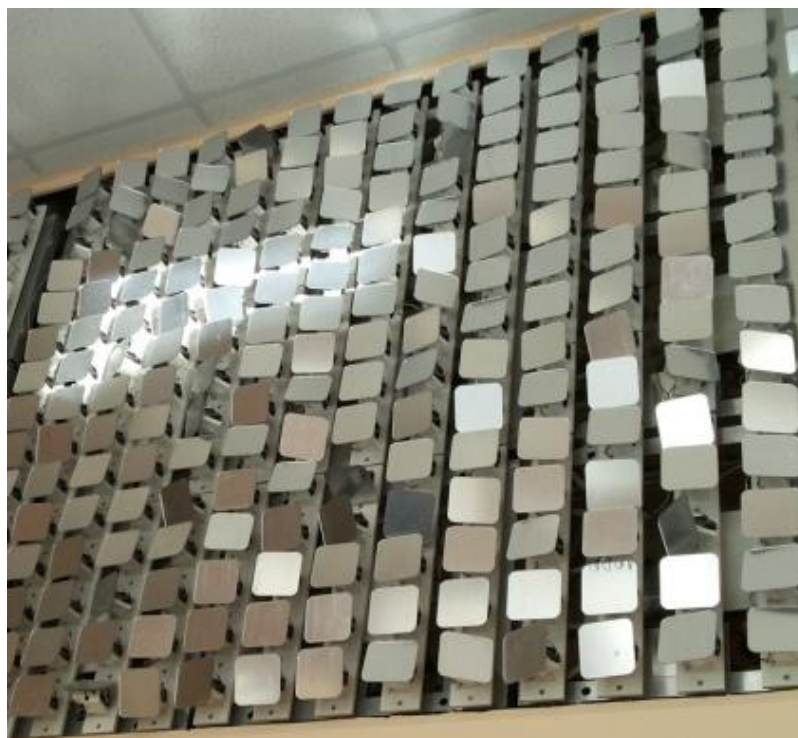


Рис. 3. Внешний вид отражателей экспериментальной системы автоматического перераспределения света

Наши исследования несут одновременно фундаментальный и прикладной характер. Примером этого служат наши исследования нейронных сетей. Известно, что искусственные нейронные сети не программируются, а обучаются. Возможность обучения является одним из преимуществ перед известными традиционными алгоритмами. Развитие нейросетевых технологий найдет практическое применение в системах автоматизации и управления. Поэтому целью наших дальнейших научных исследований является создание инновационной, энергосберегающей,

интеллектуальной системы совмещенного освещения, которая будет способна обеспечить:

- автоматический мониторинг освещенности в реальном времени,
 - управление на основе нейросетевых технологий,
 - использование солнечного излучения в качестве источника света в дневное время суток,
 - увеличение энергоэффективности классических систем освещения посредством использования возможностей и достижений в области альтернативной энергетики.
-

НАПРАВЛЕНИЕ

«Практическое освоение технологии мониторинга условий и режимов эксплуатации солнечных электростанций»

(Применение методов интеллектуального анализа данных в обобщении экспериментальных исследований в области нанотехнологий, при мониторинге работы солнечных электростанций и определении оптимальных условий их эксплуатации)

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОПЛЕНОК ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Абруков В.С., Абруков С.В., Смирнов А.В., Кокшина А.В., Краснова А.Г.
Чебоксары, Чувашский государственный университет
abrukov@yandex.ru

В работе представлены результаты применения искусственных нейронных сетей (ИНС), для создания вычислительных моделей оптических характеристик (спектра коэффициента пропускания) наноплёнок линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) с внедрёнными в них атомами металлов и неметаллов (ЛЦУА).

Совокупность полученных моделей представляет собой базу знаний спектра коэффициента пропускания ЛЦУА.

Под базой знаний мы понимаем информационное средство, которое:

- содержит в себе все связи между всеми переменными объекта,
- позволяет вычислять значения одних переменных через другие,
- позволяет решать, как прямые, так и обратные задачи,
- позволяет прогнозировать характеристики и свойства еще не исследованных объектов

- позволяет прогнозировать параметры технологического процесса для получения объекта с требуемыми характеристиками

Впервые ЛЦУА были получены в Чувашском государственном университете [1-8] с использованием ряда ноу-хау. ЛЦУА могут представлять большой интерес для активных и пассивных элементов твердотельной электроники, элементов солнечных батарей, сенсоров, медицинских приложений и т.д.

ИНС являются единственным инструментом аппроксимации экспериментальных функций нескольких переменных.

Полученные вычислительные ИНС - модели позволяют на основе обобщения экспериментальных данных вычислять спектр коэффициента пропускания ЛЦУА в зависимости от количества видов атомов (один или два вида) внедрённых в ЛЦУ, вида атомов (номер и группа атомов в соответствии с периодической таблицей Менделеева) и толщины ЛЦУА, а также прогнозировать оптические характеристики новых видов ЛЦУА. Они способны также решать обратную задачу: определять количество видов атомов, виды атомов и толщину ЛЦУА, которые обеспечивают требуемое значение коэффициента пропускания ЛЦУА.

Для создания вычислительных ИНС – моделей мы использовали аналитическую платформу Deductor (разработчик – BasegroupLab, www.basegroup.ru). Описание методики получения вычислительных ИНС – моделей приведено в [9-11].

Рассмотрим схему модели «Спектр коэффициента пропускания ЛЦУА».

Сначала экспериментальные данные по спектрам коэффициента пропускания различных ЛЦУА были представлены в виде таблицы – рис.1.

номер элемента 1	группа элемента 1	электропроводимость 1	номер элемента 2	группа элемента 2	электропроводимость 2	толщина пленки ЛЦУА	Длина волны, нм	пропускная способность
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	302,459	0,763
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	307,377	0,798
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	317,52	0,805
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	322,121	0,812
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	327,357	0,823
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	332,582	0,825
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	336,885	0,831
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	343,023	0,835
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	347,643	0,838
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	352,254	0,848
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	357,48	0,859
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	363,627	0,867
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	367,008	0,875
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	371,926	0,882
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	382,377	0,887
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	391,291	0,891
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	400,82	0,895
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	410,656	0,897
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	421,107	0,899
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	431,557	0,902
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	441,393	0,907
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	448,463	0,913
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	459,529	0,919
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	470,594	0,923
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	480,736	0,927
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	488,422	0,926
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	494,57	0,927
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	502,561	0,928
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	508,324	0,931
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	514,549	0,932
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	521,619	0,935
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	528,836	0,938
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	535,512	0,941
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	544,625	0,942
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	574,488	0,948
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	584,939	0,954
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	600,307	0,955
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	607,07	0,953
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	615,678	0,954
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	631,66	0,956
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	645,184	0,957
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	653,484	0,958
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	664,657	0,959
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	675,922	0,959
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	684,529	0,96
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	693,443	0,96
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	703,279	0,959
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	714,037	0,958
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	724,795	0,958
19	1	0,82	82	4	2,33	1000	734,939	0,957

Рис. 1. Экран аналитической платформы Deductor с импортированной таблицей данных по спектру пропускания ЛЦУА. Приведено только начало таблицы. Всего в таблице 243 строки.

Затем были выбраны архитектуры ИНС, соответствующие собранным данным, и проведены их обучение. Всего было получено пять ИНС - моделей решающих различные прямые и обратные задачи закономерностей спектра пропускания ЛЦУА.

Рассмотрим методику решения одной из прямых задач – выявления закономерностей зависимости коэффициента пропускания от номеров элементов, внедренных в ЛЦУА и номеров групп этих элементов (в соответствии с таблицей Менделеева).

В этом случае обучение заключалось в том, что различные наборы значений столбцов 1, 2, 4, 5, 7, 8 табл. 1 подавались на входной слой ИНС, а соответствующие значения коэффициента пропускания устанавливались в выходном слое ИНС и с помощью известного метода обучения ИНС – метода «обратного распространения ошибки» создавалась вычислительная ИНС - модель спектра пропускания ЛЦУА.

Особенностью используемой нами аналитической платформы Deductor является то, что для контроля точности обучения, в процессе реализации метода «обратного распространения ошибки», используемые экспериментальные данные делятся на две части. Первая часть (большая, обычно около 80%) – используется для обучения, оставшаяся часть (20%) не используется, а служит только для проверки точности получаемой модели. Подробнее – в комментариях к рис. 3.

На рис. 2 представлена архитектура ИНС, использованная для создания модели.

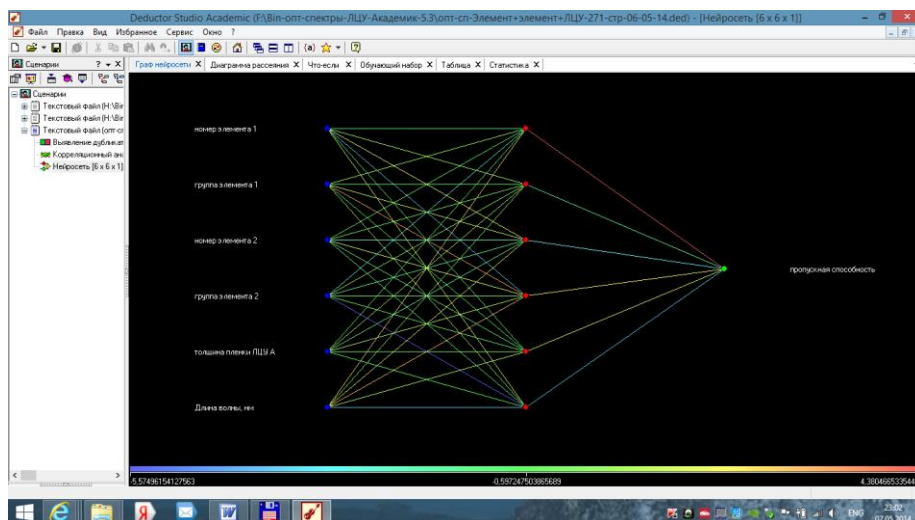


Рис. 2. Архитектура искусственной нейронной сети – многофакторной вычислительной модели спектра пропускания ЛЦУА. На черном фоне слева – факторы, определяющие значение коэффициента пропускания (пропускная способность).

Полученная модель представляет собой модель типа «чёрного ящика». Полученный «чёрный ящик» может использоваться для определения (прогнозирования) спектра пропускания ЛЦУА для различных комбинаций, внедренных в ЛЦУ атомов без проведения экспериментов следующим образом. Номера и группы атомов (в соответствии с периодической таблицей элементов Менделеева), толщина пленки ЛЦУ и одно интересующее значение длины волны света устанавливаются во входном слое ИНС. После этого «черный ящик» мгновенно вычисляет соответствующее этому набору данных значение коэффициента пропускания, а также (!) непосредственно весь спектр пропускания. Модель также позволяет вычислять зависимости коэффициента пропускания от всех остальных входных факторов.

На рис. 3 представлена диаграмма рассеяния, характеризующая точность созданной модели. Как видно из диаграммы средняя погрешность аппроксимации 6-факторной экспериментальной функции спектра коэффициента пропускания не превышает нескольких процентов – см. подпись к рис. 3.

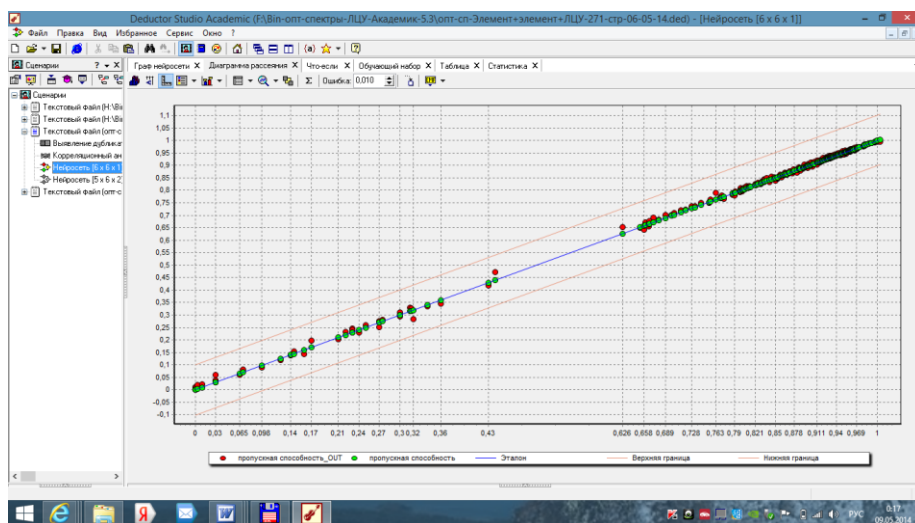


Рис. 3. Диаграмма рассеяния, характеризующая точность созданной модели. Зеленые точки – численные значения коэффициента пропускания, использованные при обучении ИНС («эталонные»). Красные - численные значения коэффициента пропускания, которые вычисляет ИНС – модель после обучения. Отличие ординат соответствующих друг другу красной и зеленой точек отражает абсолютную ошибку аппроксимации.

Примеры, иллюстрирующие возможности созданной модели при выявлении закономерностей спектра пропускания, представлены на рис. 4 - 9. Приведена только малая часть (не более 5%) принципиально отличающихся друг от друга графиков, отражающих выявленные закономерности. На всех графиках сверху приведены фиксированные значения входных факторов. Ниже – значение коэффициента пропускания для вышеприведенных значений факторов (оно же отмечено как ордината графика). Над левой частью графика галочкой отмечен аргумент функции коэффициента пропускания (он же отмечен как абсцисса).

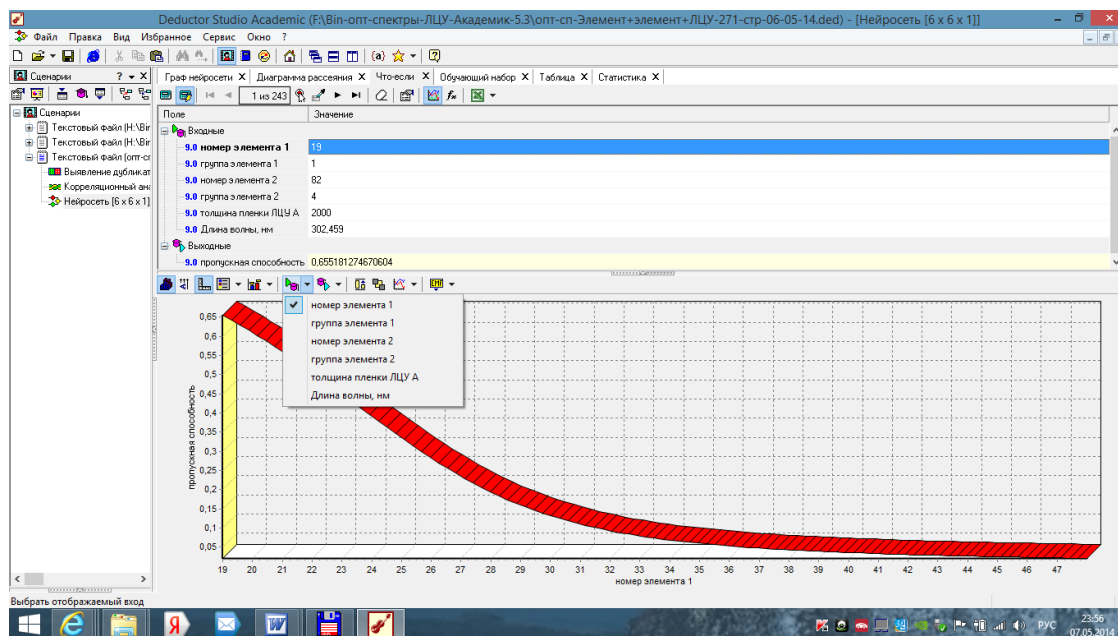


Рис. 4. Интерполяция зависимости коэффициента пропускания от номера элемента 1.

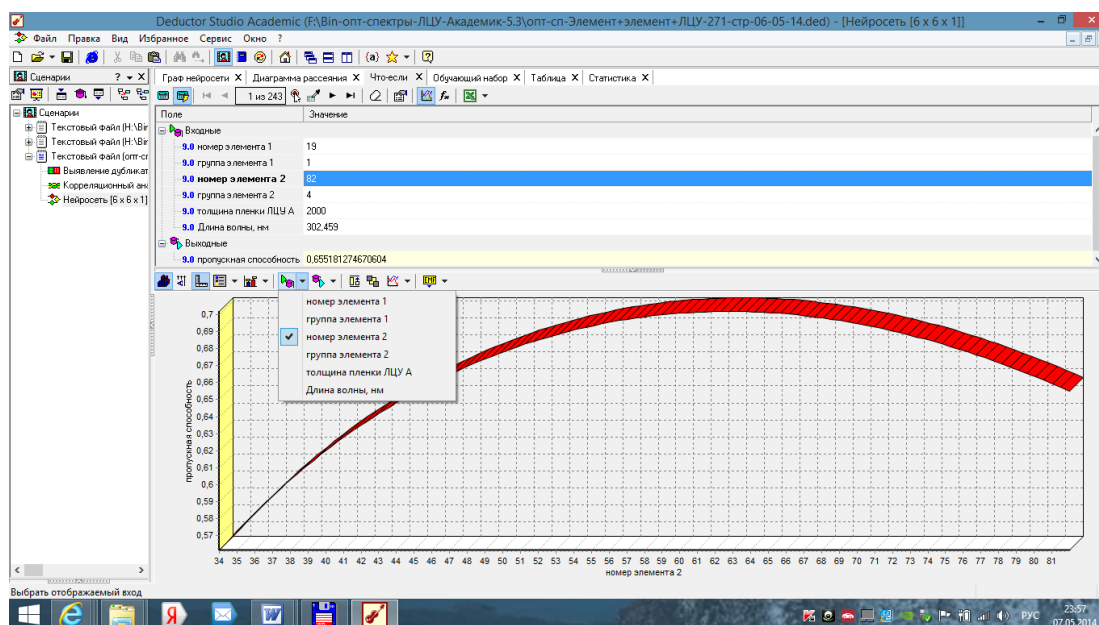


Рис. 5. Интерполяция зависимости коэффициента пропускания от номера элемента 2

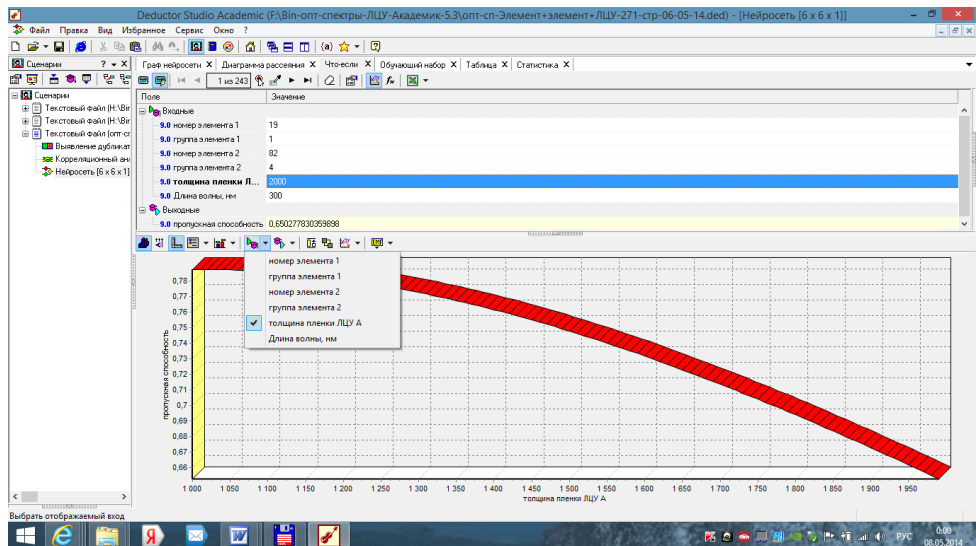


Рис. 6. Интерполяция зависимости коэффициента пропускания от толщины пленки ЛЦУ.

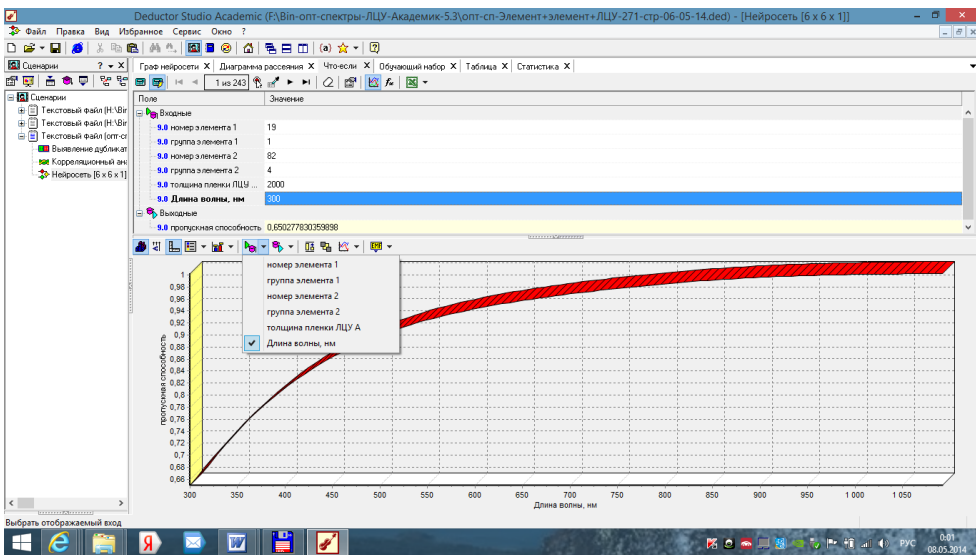


Рис. 7. Интерполяция зависимости коэффициента пропускания от толщины пленки ЛЦУ.

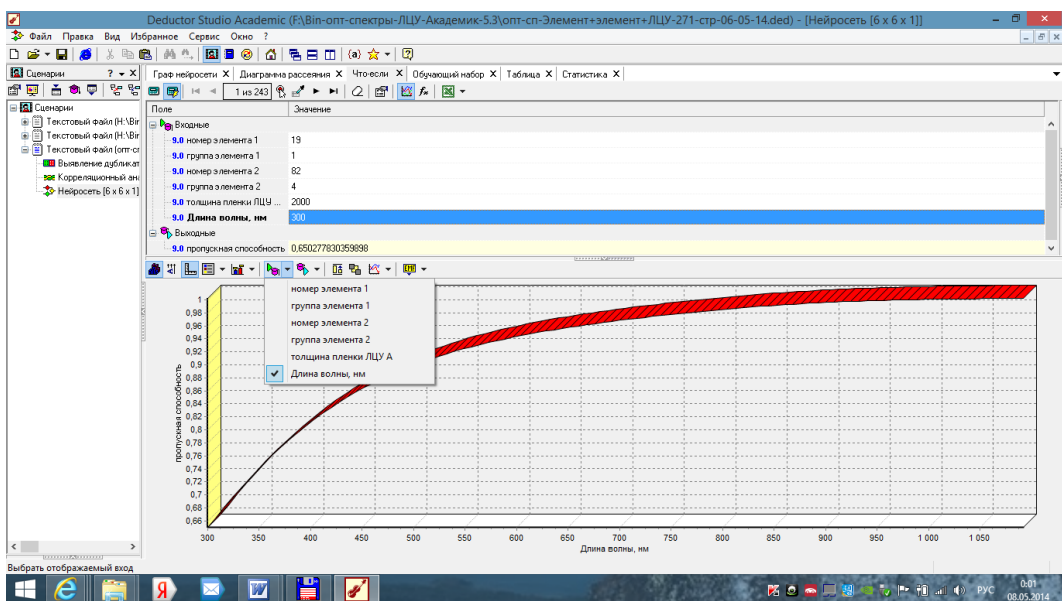


Рис. 8. Интерполяция спектра пропускания.

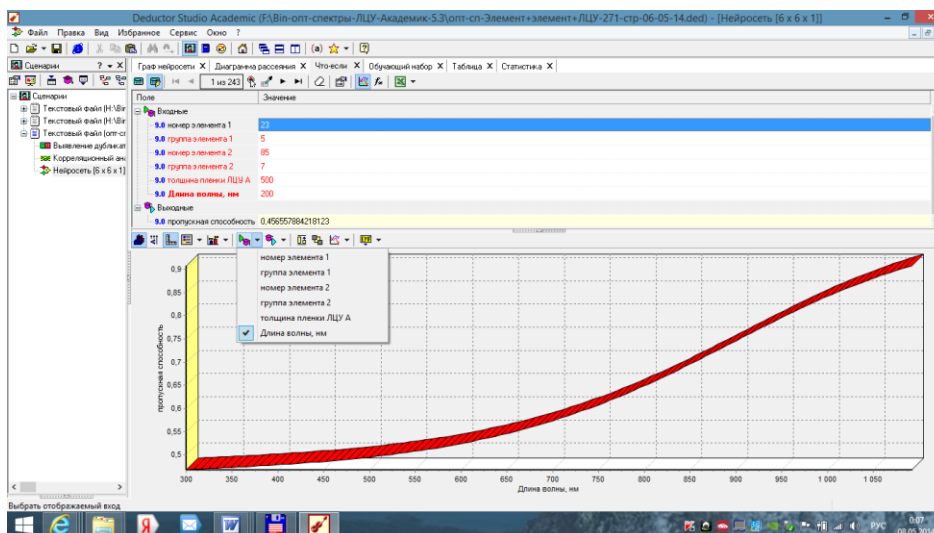


Рис. 9. Экстраполяция спектра пропускания. График иллюстрирует способности ИНС – модели экстраполировать полученные экспериментальные данные (над графиком приведены значения факторов выходящие за пределы обучающей выборки).

По рис. 9 важно отметить следующее. Если рис. 4 - 8 отражает способности ИНС – модели интерполировать зависимости коэффициента пропускания в пределах обучающей выборки, то рис. 9 отражает способность ИНС – модели прогнозировать зависимости коэффициента пропускания (в данном случае – спектр пропускания) для случая гипотетического внедрения в пленку атомов ванадия и астата (эти эксперименты реально не проводились).

На рис. 10 приведена иллюстрация возможности решения с помощью ИНС обратной задачи эксперимента. При создании этой модели использовалась та же таблица, что приведена на рис. 1, но целевыми функциями были номера элементов внедряемых в ЛДУ (а не значение спектра пропускания, которое, как и остальные величины стали входными факторами). Эта ИНС - модель решает задачу определения того, какие элементы надо внедрить в ЛДУ, чтобы обеспечить различные значения коэффициента пропускания для конкретного значения длины волны света.

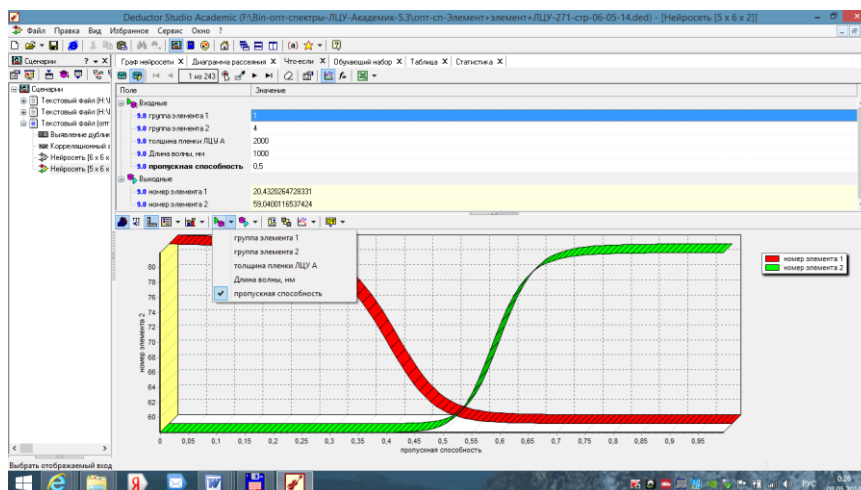


Рис. 10. Иллюстрация возможности решения с помощью ИНС обратной задачи эксперимента: определение того, какие элементы надо внедрить в ЛДУ, чтобы обеспечить различные значения коэффициента пропускания для конкретного значения длины волны света.

На рис. 11 приведен экран аналитической платформы Deductor, отражающий комплекс ИНС – моделей, полученный на основе экспериментальных данных по внедрению в ЛДУ различных атомов.

Этот комплекс является базой знаний спектров пропускания ЛЦУА. Данная база знаний обобщает на принципиально новом уровне полученные экспериментальные данные, позволяет решать как прямые, так и обратные задачи интерполяции и экстраполяции закономерностей спектра пропускания.

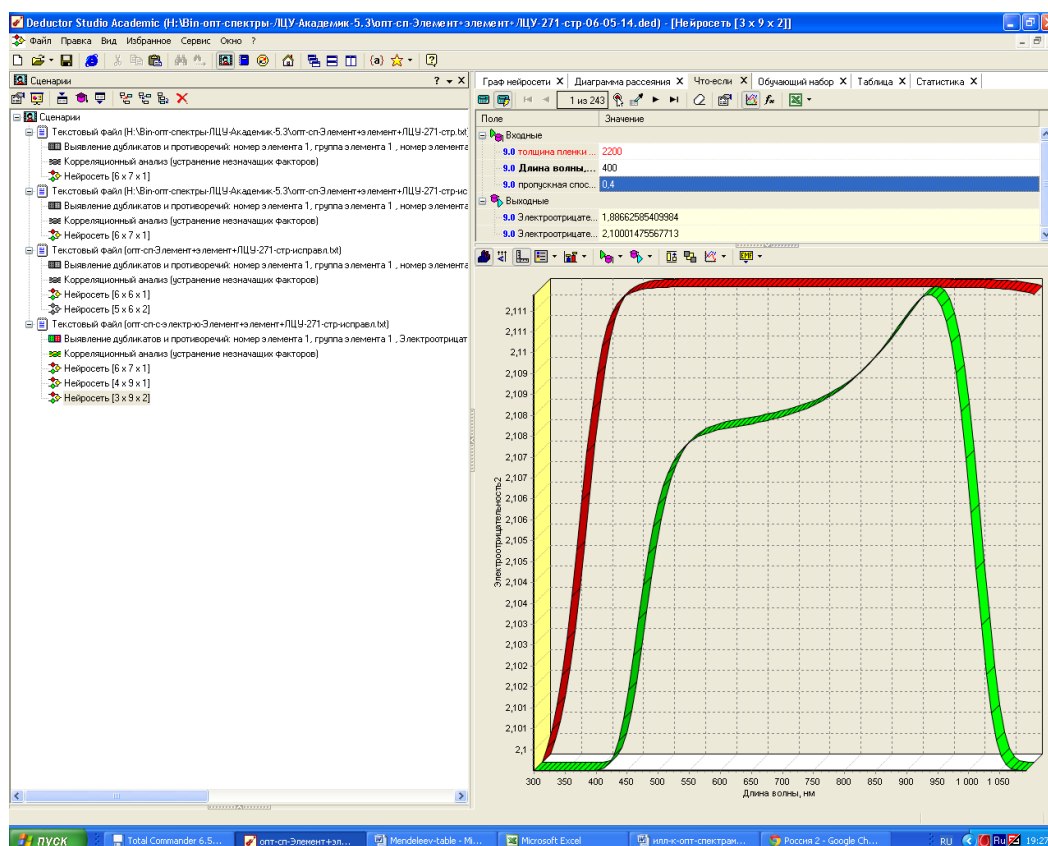


Рис. 11. Экран аналитической платформы Deductor, отражающий комплекс ИНС – моделей, полученный на основе экспериментальных данных по внедрению в ЛЦУ различных атомов.

Цель наших дальнейших работ – создание базы знаний характеристик различных перспективных наноматериалов, полученных с помощью различных нанотехнологий.

Мы приглашаем всех, кто считает необходимым обобщить имеющиеся экспериментальные результаты на принципиально новом уровне к совместной работе в этом направлении.

Литература

1. Белова А.Г., Краснова А.Г., Кокшина А.В., Кочаков В.Д. Особенности взаимодействия углерода в состоянии sp^1 с некарбидообразующими металлами. Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 41-43.
2. Васильев А.И., Кочаков В.Д. Влияние отжига на физические свойства металлоуглеродных пленок. Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 189-192.
3. Кочаков В.Д., Новиков Н.Д. Интеркалирование серебра в пленку линейно-цепочечного углерода Вестник Чувашского университета. 2007. № 2. С. 20-25.
4. Кочаков В.Д., Новиков Н.Д. Углеродная электроника. Вестник Чувашского университета. 2007. № 2. С. 25-28.
5. Кочаков В.Д., Новиков Н.Д. Способ получения углеродного наноматериала, содержащего металл. Патент на изобретение RUS 2360036 22.10.2007.
6. Кочаков В.Д., Новиков Н.Д., Васильев А.И., Смирнов А.В. Элементы электроники на основе пленок линейно-цепочечного углерода. Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 194-197.

7. Кокшина А.В., Белова А.В., Краснова А.Г., Кочаков В.Д. Особенности взаимодействия пленок селена с углеродом в состоянии sp^1 . Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 44-46.
8. Краснова А.Г., Кокшина А.В., Белова А.В., Кочаков В.Д. Исследование взаимодействия $pbse$ с углеродом в состоянии sp^1 . Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 46-47.
9. Abrukov V.S., Karlovich E.V., Afanasyev V.N., Semenov Yu.V., Abrukov S.V. Creation of propellant combustion models by means of data mining tools // International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. 2010. № 9(5). P. 385-396.
10. Аbruchов В.С., Аbruchов С.В., Карлович Е.В., Семенов Ю.В. База знаний процессов горения: будущее мира горения Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 46-52.
11. В.С. Аbruchов, С.В. Аbruchов, А.В. Смирнов, Е.В. Карлович. Data Mining в научных исследованиях. Сборник материалов I Всероссийской научной конференции «Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечных элементов 3-го поколения», Чебоксары, 2013 с.11–17

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-02-97071).

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПЕРЕХОДНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Богомолова С.А.^{1,2}, М.З. Шварц^{3,4}

¹Чебоксары, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»;

²Москва, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»

³ Санкт-Петербург, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук;

⁴ Санкт-Петербург, ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе»
s_bogomolova@mail.ru

Величина спектральной фоточувствительности (внешней квантовой эффективности) фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) позволяет оценить оптические и рекомбинационные потери, которые влияют на эффективность преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Внешняя квантовая эффективность определяется отношением числа электронно-дырочных пар, разделенных р-п переходом, к числу фотонов излучения определенной длины волны, упавших на всю поверхность ФЭП. На основании спектральной зависимости внешней квантовой эффективности при различных спектральных распределениях плотности потока излучения выполняется расчет плотности фототока.

Для исследования спектральной зависимости внешней квантовой эффективности плоских ФЭП (одно- и многопереходных) разработано значительное количество методов и средств измерений, требования к которым изложены в международных стандартах [1, 2]. Совершенствование методов и средств измерений внешней квантовой эффективности, прежде всего, направлено на повышение точности результатов измерений (уменьшение неопределенности).

В данной работе представлен анализ источников неопределенности измерений внешней квантовой эффективности на специализированной установке, которая используется в ФТИ им. А.Ф.Иоффе для исследования спектральных характеристик одно- и многопереходных ФЭП, размер которых не превышает $40 \times 80 \text{ мм}^2$ [3]. Данная установка состоит из следующих основных частей: источник монохроматического излучения; блок образцов, включающий держатели для образцов и устройство дополнительной подсветки; источники питания осветителей; блок контроля; несущая рама; устройство для измерения спектрального коэффициента зеркального отражения; устройство для измерения спектрального коэффициента пропускания; управляющий компьютер со специализированной управляющей программой.

Установка позволяет проводить измерения спектральных зависимостей в диапазоне длин волн $\lambda = 340 - 1840 \text{ нм}$ с варьируемым шагом сканирования $10-50 \text{ нм}$. При измерениях используются два контрольных элемента: *GaAs* или *Si* ФЭП на спектральный диапазон $340-920 \text{ нм}$ или $340 - 1100 \text{ нм}$, соответственно, и *GaSb* ФЭП на спектральный диапазон $800-1840 \text{ нм}$.

Измерение спектральной фоточувствительности многопереходных ФЭП производится в условиях дополнительного светового смещения, в качестве источников которого используются светодиоды повышенной яркости.

Методика измерения спектральной фоточувствительности ФЭП заключается в вычислении отношения фототоков контрольного и исследуемого СЭ, которые генерируются при фокусировании модулированного по частоте монохроматического света поочередно на каждом из элементов. Расчет внешней квантовой эффективности $QE(\lambda)$ производится в каждой точке диапазона сканирования по формуле:

$$QE(\lambda) = \frac{I_{ИЭ}}{I_{КЭ}} \cdot QE_{КЭ}(\lambda), \quad (1)$$

$I_{СЭ}$ - фототок исследуемого СЭ, мА; $I_{КЭ}$ - фототок контрольного СЭ, мА; $QE_{КЭ}(\lambda)$ - внешняя квантовая эффективность контрольного СЭ.

Измерительный тракт построен на базе усилителя-преобразователя *I/V SR570* и селективного вольтметра *SR830* и обеспечивает автоматический выбор коэффициента усиления в оператором заданных пределах. Источник варьируемого смещающего напряжения позволяет проводить измерения, как при прямом, так и при обратном напряжении смещения на образце в диапазоне от 0 до 3 В . Управление работой всех устройств установки производится по программе от ПК.

Методика оценки неопределенности измерений включает в себя следующие этапы [4]:

- 1) анализ источников неопределенности;
- 2) определение составляющих суммарной неопределенности и метода их оценивания;
- 3) оценивание составляющих неопределенности (по типу *A*, по типу *B*), расчет суммарной стандартной неопределенности в соответствии с Руководством по выражению неопределенности измерения;
- 4) определение интервала допустимых значений при заданной доверительной вероятности.

Для анализа источников неопределенности измерений внешней квантовой эффективности ФЭП была построена причинно-следственная диаграмма Исикавы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Причинно-следственная диаграмма неопределенности измерений внешней квантовой эффективности ФЭП

На основании диаграммы Исикавы были определены составляющие суммарной неопределенности измерений внешней квантовой эффективности ФЭП, а также методы их оценивания (таблица 1). Для оценивания неопределенности по типу А (разброс результатов измерений внешней квантовой эффективности исследуемого СЭ в условиях повторяемости) использовались результаты $QE(\square)$, полученные при уровне сигналов фототока контрольного и исследуемого СЭ порядка 10^{-6} мА, что является одним из наихудших условий измерений. При больших значениях сигналов (порядка 10^{-3} мА - 10^{-5} мА) величина стандартной неопределенности значительно меньше.

Таблица 1 – Бюджет неопределенностей при расчете суммарной расширенной неопределенности измерения внешней квантовой эффективности

Источник неопределенности	Обозначение	Значение стандартной неопределенности, %	Закон распределения/ количество отсчетов
Составляющие неопределенности по типу В			
Измерительное оборудование: Точность усиления выходного сигнала (усилитель-преобразователь SR570): $\pm 0,5$ %	u_{IV}	0,30	Равномерный
Точность измерения напряжения (селективный вольтметр SR830): $\pm 0,2$ %	u_V	0,10	Равномерный
Неопределенность измерения внешней квантовой эффективности контрольного СЭ	$u_{QE_{кз}}$	0,25	Гаусса
Составляющие неопределенности по типу А			
Разброс результатов измерений внешней квантовой эффективности исследуемого СЭ в условиях повторяемости (при уровне сигнала $I \approx 10^{-6}$ мА)	u_{QE}	0,90	$n = 22$
Суммарная стандартная неопределенность	u_C	1,00	

Для расчета суммарной стандартной неопределенности используется выражение:

$$u_C = \sqrt{2(u_{I/V}^2 + u_V^2) + u_{QE_{кэ}}^2 + u_{QE}^2} \quad (2)$$

При вычислении принимается допущение, что составляющие являются независимыми величинами.

На основании значения суммарной стандартной неопределенности рассчитывается расширенная неопределенность. Для вычисления принимаем нормальный (Гаусса) закон распределения вероятностей суммарной неопределенности и значение доверительной вероятности $P = 95\%$ (коэффициент охвата $k = 2$). Таким образом, интервал допустимых значений внешней квантовой эффективности составил $\pm 2,0\%$ при заданной доверительной вероятности $P = 95\%$.

Данный результат может быть использован для расчета неопределенности измерений выходных нормируемых фотоэлектрических параметров тонкопленочных фотоэлектрических модулей.

Литература:

1. E 1021-95 Test Methods for Measuring Spectral Response of PV Cells, ASTM, 1995.
2. IEC-60904-8 Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device, 1998.
3. M.Z.Shvarts, A.E.Chalov, E.A.Ionova, V.R.Larionov, D.A. Malevskiy, V.D.Rumyantsev, S.S.Titkov "Indoor characterization of the multijunction III-V solar cells and concentrator modules", Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, June 2005, pp. 278-281, ISBN: 3-936338-19-1.
4. S. Bogomolova, A.S. Gudovskikh, M.Z. Shvarts, "Evaluation of the Uncertainty in Measuring IV Characteristics of the Thin-Film Modules", Proc. 28th EU PVSEC, Paris 2013, pp 3527 – 3531.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Денисов К.В.
Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Большие пространства РФ, наличие удаленных поселений, требуют надежных автономных энергоисточников, и сейчас эта задача решается, в основном, за счет дизельгенераторов. Географическое положение страны (средние и высокие широты, резко континентальный климат, удаленность большей части заселённых территорий от морей), обуславливает на 65% территории РФ низкопотенциальный ветер (3-5 м/с), относительно невысокую инсоляцию (120-250 Вт/м²) [1].

В условиях России создание эффективных солнечных электростанций на базе фотоэлектрических преобразователей пока проблематично. Однако, при комплексном использовании различных видов возобновляемых источников энергии применение ФЭП становится актуальным.

В качестве одного из решений задачи повышения надежности и конкурентоспособности ВИЭ для удаленных объектов рассматривается использование энергокомплексов с расширенным спектром ВИЭ, использующих большую часть имеющегося на данной территории энергетического потенциала. Основным признаком энергокомплексов ВИЭ является применение возобновляемых источников энергии в составе возможно большего обоснованного спектра различных видов

оборудования: ВЭУ (ветроэлектрические установки), ФЭП (фотоэлектрические преобразователи), СК (солнечные коллекторы), мГЭС (малые гидроэлектростанции), БГУ (биогазовые установки), ТН (тепловые насосы) [2].

Цель работы состояла в разработке методологии применения энергокомплексов с расширенным спектром видов ВИЭ и определении оптимального состава оборудования возобновляемых источников энергии для удаленных децентрализованных объектов на основе экспериментальных данных и теоретических методов оптимизации стохастической математической модели технологического кластера ВИЭ [3].

В качестве экспериментального объекта был взят жилой дом-таунхаус, построенный из бывшей заброшенной фермы крупного рогатого скота (КРС) после её реабилитации в Белоярском районе Свердловской области и оснащённый комплексом возобновляемых источников энергии (рис.1.).



Рис.1. Фото «Энергоэффективного дома» с комплексом ВИЭ (2006 г.)

Главной отличительной особенностью «Энергоэффективного дома» явилось создание, наряду со штатной системой энергоснабжения, расширенного комплекса возобновляемых источников энергии. В составе комплекса ВИЭ в «Энергоэффективном доме» были последовательно внедрены системы, использующие ветровую, солнечную, гидро-, геотермальную и биоэнергию, представленные в табл.1.

Табл.1. Состав оборудования ВИЭ на объекте

№	Оборудование ВИЭ	Мощность	Кол-во	Год ввода в эксплуатацию
1	Ветроустановка ВЭУ 4-5	4 кВт	1	2002
2	Ветронасос ВН-300 (подача)	300 л/сут	1	2002
3	Солнечные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП)	2,4 кВт ($N_{\text{пик}}$)	80	2004
4	Солнечные коллекторы (СК)	24 кВт (т)	16	2005
5	Ветроустановка ВЭУ 4-5	4 кВт	1	2006
6	Биогазовая установка с 4-х стадийной очисткой и полем фильтрации	8 м ³	1	2006
7	Ветроустановка ВЭУ-0,3	0,3 кВт	1	2007
8	Крышная станция солнечных ФЭП	0,45кВт ($N_{\text{пик}}$)	1	2007
9	Станция солнечных ФЭП	0,15кВт ($N_{\text{пик}}$)	3	2008
10	Механический гелиотроп	0,15кВт ($N_{\text{пик}}$)	1	2008
11	Усовершенствованные СК КУМЗ	3,0 кВт (т)	2	2009
12	Солнечный концентратор	2 кВт (т)	1	2009
13	Тепловой насос «Vaillant-5,5»	5,5 кВт (т)	1	2010
14	Микро ГЭС с турбиной «Банки»	1,5 кВт	1	2011
15	Солнечный вакуумный коллектор	1,7 кВт	1	2012

В ходе исследований в натуральных условиях, при рассмотрении математических стохастических моделей и создании компьютерных программ расчета оптимального состава оборудования выявилась необходимость разработки классификации объектов по составу ВИЭ, мощности комплексных систем, а также отнесение их к соответствующему типу.

Методология применения комплексных систем энергоснабжения на базе расширенного спектра возобновляемых источников энергии базируется на анализе математической стохастической модели кластера ВИЭ, разработанных классификации и алгоритма расчета оптимального кластера ВИЭ, методе оптимизации с определением достижимого и эффективного множеств выпуклой функции, поиска её экстремума (глобального минимума), а также сравнения с полученными экспериментальными данными на реальном объекте [4].

Точные, экономически оправданные соотношения мощностей ВИЭ для различных типов кластеров в различных регионах, требуют сложных математических расчетов. Для решения этой задачи предлагается дискретная стохастическая математическая модель кластера ВИЭ, учитывающая ряд факторов, необходимых для поиска эффективного множества и определения экстремума выпуклой функции, а в итоге – оптимального кластера ВИЭ.

Эффективность расчетной математической модели кластера ВИЭ в общем виде может быть представлена уравнением:

$$G_{\text{кл}} = f [v(R1); v(R2); CC_i; U_j] \quad (1)$$

где $G_{\text{кл}}$ – показатель эффективности кластера ВИЭ (комплекса установок);

v – совокупность факторов воздействия внешней среды:

(скорость ветра (ВЭУ), инсоляция (ФЭП, СК), напор, расход (мГЭС),

температура низко-потенциального источника (НПИ) ТН, режим

метангенерации (БГУ);

R1: Э, А, S, M, F – тип кластера ВИЭ в зависимости от доли замещаемой мощности (кластеры: Э-микро; А – мини; S – малый; M – средний; F – полный);

R2: d, h, k, p, s, sp – тип кластера в зависимости от видов ВИЭ в системе:

d- дуплекс-кластер ВИЭ (ДГ+ВЭУ или ДГ+ФЭП или ДГ+ мГЭС и т.п.)

h- трио-кластер ВИЭ (ДГ+ВЭУ+ФЭП) или (ДГ+ ВЭУ+мГЭС)

k- кватро-кластер ВИЭ (ДГ+ ВЭУ+ФЭП+мГЭС)

p- пента-кластер ВИЭ (ДГ+ ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ)

s- сикстет-кластер ВИЭ (ДГ+ ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ)

sp – септ-кластер ВИЭ (ДГ+ ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ+СК)

o- окта-кластер ВИЭ (ДГ+ВЭУ+ ФЭП+мГЭС+СК+ТН+БГУ+АКБ).

CC_i – себестоимость производства 1кВт-ч разными видами ВИЭ;

U_j – стоимость кВт установленной мощности вида ВИЭ

В общем случае для математического анализа кластер ВИЭ можно представить в виде структурной схемы, показанной на рис.2.



Рис.2. Алгоритм многофакторной дискретной математической модели кластера ВИЭ

Представление объекта в виде такой схемы основано на принципе «черного ящика».

Предполагается, что возмущающие воздействия W_i не поддаются контролю и либо являются случайными, либо меняются во времени (скорость ветра, инсоляция, температура), определяя стохастичность математической модели [5].

Каждый фактор X_i имеет область определения, которая должна быть установлена до проведения эксперимента (себестоимость выработки кВт-ч энергии или удельная стоимость оборудования (1 кВт установленной мощности).

Комбинацию факторов можно представить как точку в многомерном пространстве, характеризующую состояние системы.

На практике целью многофакторного эксперимента является установление зависимости для дискретной стохастической модели:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2)$$

описывающей поведение объекта. Чаще всего функция (2) строится в виде полинома:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \quad (3)$$

Целью расчетов было определение зависимости (2) при минимальном количестве измерений значений управляющих параметров x_i .

Оборудование ВИЭ на объекте «Энергоэффективный дом» имеет не статические, а динамические характеристики, т.е. входные факторы и параметры объекта зависят от времени. Для большинства сложных объектов характерно наличие случайных возмущений и задача идентификации требует статистических методов для определения динамических характеристик.

Нахождение оптимальных условий для исследуемого объекта – важная практическая задача. Чаще всего при многофакторном эксперименте требуется найти значения факторов x_i такие, при которых отклик системы y_i принимает значения y_{\max} или y_{\min} . Таким образом, строится функция отклика

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (4)$$

и задача оптимизации сводится к нахождению $x_{1\text{опт}}, x_{2\text{опт}}, \dots, x_{k\text{опт}}$ обеспечивающих экстремум функции:

$$y = y(x_{1\text{опт}}, x_{2\text{опт}}, \dots, x_{k\text{опт}}) = y_{\min} (y_{\max}) \quad (5)$$

Кроме того, на значения факторов накладываются дополнительные ограничения:

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k) \{<=>\} R_i, \text{ где } r = 1 \dots r \quad (6)$$

Таким образом, задачей оптимизации является нахождение экстремума функции отклика при том условии, что сама функция априори неизвестна.

Использование математической модели позволяет определить эффективную конфигурацию кластера ВИЭ по составу и установленной мощности оборудования на основе оптимизации с поиском экстремума (минимума) выпуклой функции.

В качестве целевой функции для математической модели кластера ВИЭ была принята квадратичная функция от x_1, x_2, \dots, x_n следующего вида:

$$D(Y/a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} x_i x_j \Rightarrow \min, \quad (7)$$

где x_i – доли установленной мощности каждого из видов возобновляемых источников энергии, входящих в кластер ВИЭ;

σ_{ij} – выборочная ковариация, посчитанная по выборкам для Y_i, Y_j .

Физический смысл функции – минимизация дисперсии стоимости энергии, вырабатываемой энергокомплексом - кластером ВИЭ за единицу времени.

Анализируя целевую функцию отметим, что она относится к классу задач квадратичного программирования. Так как в задаче квадратичного программирования множество допустимых решений выпукло, то, если целевая функция вогнута, любой локальный максимум является глобальным (пример- теория оптимального портфеля

Марковитца-Шарпа); если же целевая функция - выпуклая, то любой локальный минимум также и глобальный. Рассматриваемая в данном исследовании целевая функция – выпуклая, следовательно, локальный минимум он же и глобальный.

Используя аналогию с математической теорией Шарпа-Марковитца (для рискованных портфельных инвестиций) и Дж.Тобина (для рискованных и безрисковых) работу одного из источников энергии ($n+1$) будем считать независимой от случайных возмущений. Такой источник энергии называется безрисковым (дизельгенератор).

Работа других n источников ВИЭ подвержена случайным возмущениям (например: использование ветровой и солнечной энергии ВЭУ+ФЭП). Это – рискованные источники, зависящие от случайных величин (ветер, солнце и т.д.).

Величина σ является оценкой риска, т.е. разброса стоимости электроэнергии, вырабатываемой кластером за единицу времени. Задача такого типа известна в инвестиционном анализе, где соответствующая модель, содержащая как рискованные, так и безрисковые финансовые инструменты, называется портфелем Дж.Тобина.

На основе решения (7) были определены области значений целевой функции и получены оптимальные сочетания долей установленной мощности оборудования в составе разных кластеров ВИЭ [6].

Визуализация алгоритма поиска оптимального кластера ВИЭ представлена на рис.3.

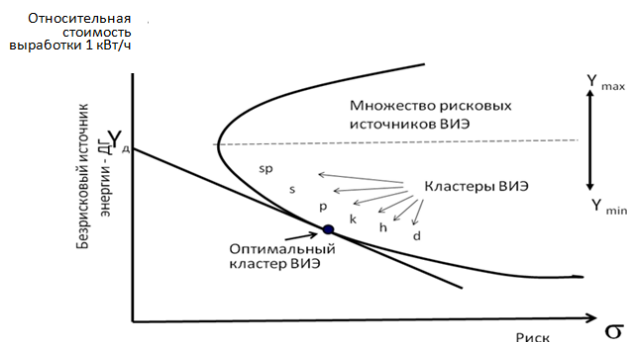


Рис.3. График области определения кластеров ВИЭ и оценки риска обеспечения энергией (%)

«Энергоэффективный дом» представляет собой жилой объект в составе 8 квартир в таун-хаусе. В каждой «квартире-коттедже» был «смонтирован» свой кластер ВИЭ. Состав кластеров по квартирам следующий:

- 1 – окта- кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ СК+ТН+БГУ+АКБ);
- 2- пента-кластер ВИЭ (ДГ+ ВЭУ+ ФЭП+СК+АКБ)
- 3, 4, 5 – дуплекс-кластер ВИЭ (ДГ+ВЭУ)
- 6 – триокластер ВИЭ (ДГ+ФЭП+АКБ)
- 7 - септ-кластер ВИЭ (ДГ+ФЭП+ВЭУ+СК+ ВН+мГЭС+АКБ)
- 8 – кватро-кластер ВИЭ (ДГ+ ФЭП+СК+АКБ)

На основе предложенного алгоритма расчета оптимальных долей каждого из возобновляемых источников энергии, входящих в состав кластеров ВИЭ, была разработана, апробирована и зарегистрирована компьютерная программа для быстрого определения искомых параметров «АРК-ВИЭ» [7].

Расчетные характеристики, полученные с помощью «АРК-ВИЭ», были сопоставлены с экспериментальными данными, накопленными за период эксплуатации дома.

Результаты сравнения экспериментальных данных и расчетных характеристик оптимальных кластеров ВИЭ представлены на рис.4.

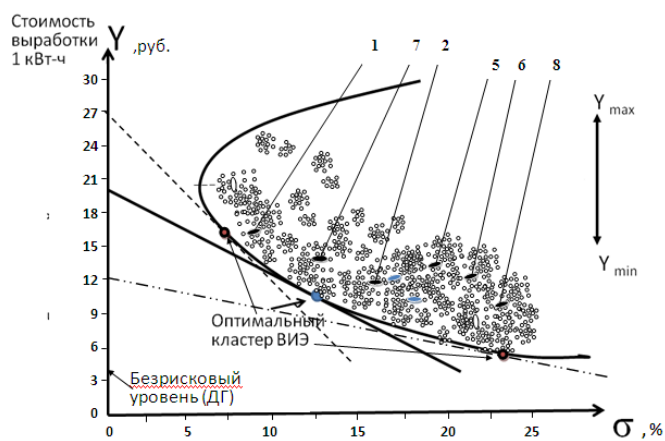


Рис.4. График сравнительной эффективности оптимальных расчетных и экспериментальных кластеров ВИЭ в квартирах 1-8
 1-Окта-кластер ВИЭ (кв.1); 2 – пента-кластер ВИЭ (кв.2); 5-дуплекс-кластер ВИЭ (кв.3,4,5); 6- трио-кластер ВИЭ (кв.6); 7- септ-кластер ВИЭ (кв.7); 8-кватор кластер ВИЭ (кв.8).

Для выработки электроэнергии использованы панели ФЭП производства Всероссийского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ, г.Москва), суммарной пиковой мощностью 2,4 кВт (80 ФЭП).

На объекте «Энергоэффективный дом» была проведена серия исследований по влиянию уровня (высоты) снежного покрова на эффективность ФЭП.



Рис.5. Монтаж ФЭП с вертикальным расположением на объекте «Энергоэффективный дом»

Исследования подтвердили, что применение вертикального (рис.5) расположения солнечных ФЭП для районов со снежными осадками в период вероятного выпадения снега существенно эффективнее заснеженных ФЭП, отслеживающих движение солнца по горизонту, и тем более, чем классическая строгая ориентация, учитывающая широту местности.

Было продемонстрировано, что строго вертикальное расположение гарантирует зимой функционирование ФЭП при любом уровне снежных осадков на территории.

Пример эффективности применения программы расчета «АРК-ВИЭ» демонстрирует геометрическая интерпретация оптимального (расчетного) кластера ВИЭ и поставляемого в составе оборудования, импортируемого из КНР (рис.6).

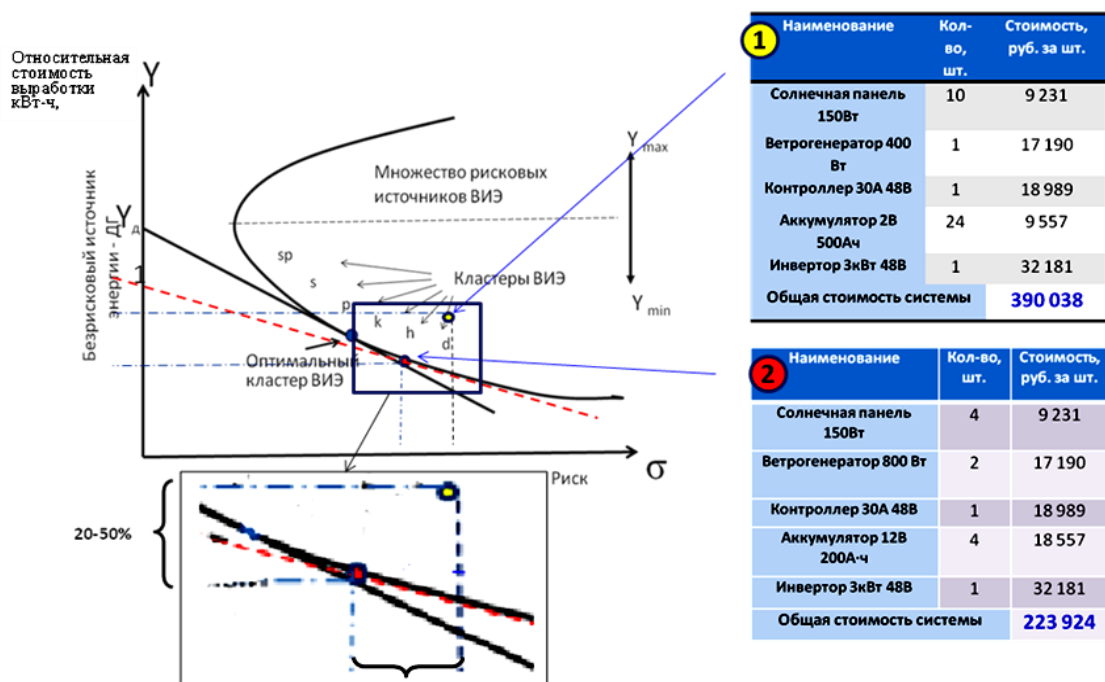


Рис.6. Графическая визуализация эффективности штатного комплекта d-кластера ВИЭ КНР (1) и оптимизированного по программе «АРК-ВИЭ» кластера ВИЭ (2) того же производителя

Результаты сравнения выработки электроэнергии кластерами ВИЭ КНР и оптимизированного с помощью «АРК-ВИЭ» представлены в таблице 2.

Табл.2

Показатель (рассчитан для условий Уральского региона)	КНР	АРК-ВИЭ
Выработка эл.энергии в зимний период (декабрь), кВт-ч/ мес.	40	92
Выработка эл.энергии в летний период (апрель-сент.) кВт-ч/мес.	159,9	101,0
Общая стоимость d-кластера ВИЭ (тыс. руб.) (ВЭУ+ФЭП)	390	224

Очевидно, что комплект поставляемого из КНР оборудования без оптимизации ВЭУ и ФЭП по мощности - в два раза дороже, а выработка электроэнергии в условиях Уральского региона более чем в два раза ниже оптимизированного с помощью предложенного алгоритма расчета кластера ВИЭ [8].

Таким образом, использование солнечных фотоэлектрических преобразователей для автономных удаленных объектов на территории России должно реализовываться в составе комплексных систем с использованием других ВИЭ, повышающих надежность энергоснабжения и энергобезопасность объекта в целом.

Литература

1. Bezrukih, P.P. and D.S. Strebkov, 2002. Renewable Energy in the Third Millennium. Outlook from Russia. In Materials of Business and Technical Seminar for Power Engineering. Capetown, pp: 5.
2. Велькин В.И. Энергоснабжение удаленного объекта на основе оптимизации кластера ВИЭ: монография / В. И. Велькин. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 100 с.
3. Велькин В.И., Щеклеин С.Е. Обеспечение минимальных энергетических потребностей удаленного дома за счет солнечных ФЭП.//Альтернативная энергетика и экология №3, 2012 С.52-54.

4. Велькин В.И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология №2, 2012 С.67-71.
5. Велькин В.И. Влияние снежного покрова на эффективность функционирования солнечных ФЭП // Альтернативная энергетика и экология №3, 2012, С.59-62.
6. Велькин В.И., Логинов М.И. Выбор оптимального состава оборудования в кластере возобновляемых источников энергии на основе регрессионного анализа// Альтернативная энергетика и экология, №3, 2012, С.100-104.
7. Свидетельство о Гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013610600, 29.01.2013; Велькин В.И., Логинов М.И., Чернобай Е.В.. Программа автоматизированного расчета кластера ВИЭ «АРК-ВИЭ» / Свидетельство РФ 2013613097 25 марта 2013 г.
8. Velkin V. The use of the graphical model for the RES cluster for determining the optimal composition of the equipment of renewable energy sources// World Applied Sciences Journal, 29 (9); 2013, p.1343-1348.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ ГОДОВОГО МОНИТОРИНГА В ПЕРИОД С 21 АПРЕЛЯ 2013 ПО 20 АПРЕЛЯ 2014

В.Н. Вербицкий¹, Г.А. Иванов¹, С.А. Кудряшов¹, Е.М. Ершенко¹, А.В. Бобыль¹,
Е.И. Теруков^{1,2}, Г.А. Горбатовский¹, Д.А. Богданов¹.

¹Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

² НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург
тел.(812) 292-71-73, эл. почта: vnverbitskiy@mail.ru

Сегодня в мире очень много сил направлены на развитие и повсеместное внедрение элементов солнечной энергетики. Множество статей посвящены результатам долговременных работ солнечных энергоустановок, расположенных в различных областях. Для примера, работа «Influences on the energy delivery of thin film photovoltaic modules» приводит результаты годового использования различных тонкопленочных модулей расположенных в университете Лафборо, Великобритании.

Данная работа направлена на изучения эффективности использования источников солнечной энергетики в условиях Северо-Западного региона России.

В период с 21 апреля по 20 апреля 2013-2014 годов был проведен мониторинг энерговыработки пяти солнечных модулей, установленных на испытательном стенде, расположенном в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, крыша корпус А, город Санкт-Петербург (рис.1.).



Рис.1. Испытательный стенд в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, крыша корпус А, город Санкт-Петербург.

Состав испытательного стенда: солнечные модули, контроллеры заряда StecaMPPT 2010 с алгоритмом поиска точки максимальной мощности, аккумуляторные батареи 12В AGM-технология, нагрузка, установка измерительная LTRc модулями регистрации токов и напряжений и метеостанция DavisVantageProPlus.

Регистрация электрических параметров солнечных модулей осуществляется непосредственно между солнечными модулями и контроллером заряда.

По результатам годовой эксплуатации стенда была построена гистограмма, отражающая суммарную выработку от каждого исследуемого модуля (рис.2.) и распределение выработки по месяцам.

Были проведены измерения используемых модулей перед началом испытаний и по окончании года эксплуатации. Измерение модулей были осуществлены с помощью имитатора солнечной радиации, расположенного в НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Параметры измерения модулей, а также их модели указаны в таблице 1.

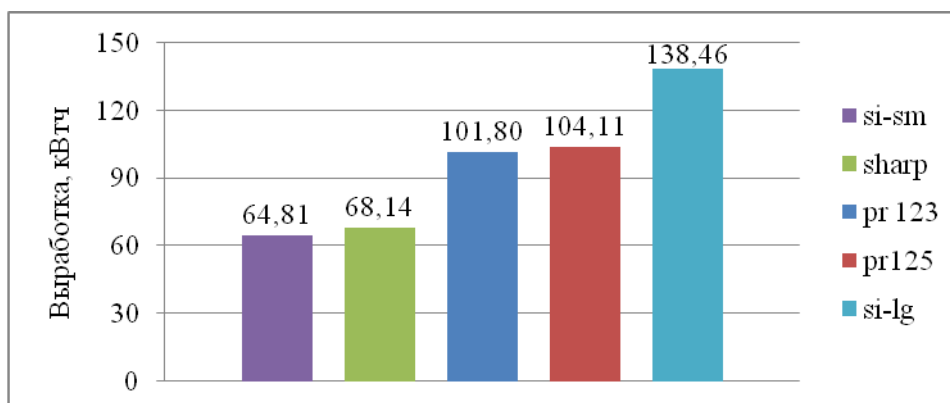


Рис.2. Годовая энергосуммарная выработка для каждого модуля за период 21/04/2013 - 20/04/2014 (расшифровка обозначений в таблице 1).

Таблица 1: Результаты измерения солнечных модулей.

модель	Pramac MCPH P7L 125 Вт		NA-851(WQ)	ФСМ 2х сторонний	
условное обозначение	pr123	pr125	sharp	si-sm	si-lg
тип структуры	α -Si/ μ c-Si			monoc-Si	
Мощность, Вт (до эксплуатации)	128,59	129,55	89,27	64	147
Мощность, Вт (после года эксплуатации)	107,79	106,38	71,23	64,4	не измерялся
Потеря мощности, Вт	-20,8	-23,17	-18,04	-	-
*Потеря мощности, %	13,77	14,09	16,20	-	-

*Расчет использовался с учетом номинальной мощности, указанной в спецификации к модулю. Для модулей pramac и sharp она составляет 125 Вт и 85 Вт соответственно.

Подведение итогов:

По результатам годового мониторинга солнечных модулей от различных производителей было обнаружено, что потеря эффективности модулей на основе тандемных структур α -Si/ μ c-Si превысила стабилизированные параметры, указанные в спецификациях на 13-14% для модулей pramac и 16% для модуля sharp.

В производительности монокристаллического модуля потери мощности не были обнаружены (небольшие отклонения обусловлены неоптимизированностью системы держателей солнечных модулей на имитаторе для данных типов модулей; оптимизированы под модули размером 1,3x1,1 м).

Был проведен перерасчет выработки энергии относительно мощности модуля si-lg. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2: перерасчет мощности относительно si-lg.

pr123	pr125	sharp	si-sm	si-lg
122,16	124,93	120,25	138,88	138,46

Надо отметить, что при перерасчете мощностей приведенных в таблице 2 были использованы значения стабилизированного состояния указанные в спецификациях. При более длительном мониторинге с отсутствием дальнейшей ускоренной деградации, может быть проведена более точная оценка сравнения.

Не взирая, на полученные результаты, стоит отметить, что тандемные структуры на основе α -Si/ μ c-Si обладают следующими преимуществами: выработка CO₂ на процессе производства в 3 раза меньше, чем от поликристаллического и почти в 5 раз меньше чем от монокристаллического кремниевых солнечных модулей; более дешевая технология производства в сравнении с кристаллическими модулями.

Литература:

- [1] R. Gottschalg n, T.R.Betts, A.Eeles, S.R.Williams, J.Zhu “Influences on the energy delivery of thin film photovoltaic modules” Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 119, December 2013, Pages 169–180
[2] manual Pramac MCPH P7L, Sharp NA-851(WQ), Davis Vantage Pro

МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПАРАЛЛЕЛЬНО С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СЕТЬЮ (СЭУС-С)

А.Г. Головина, В.Д. Кочаков, В.С. Абруков
ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям возможностей альтернативных источников энергии. К ним относится солнечная энергия, которая преобразуется в электрическую энергию с помощью солнечных электростанций. Солнечная энергия распределяется по поверхности Земли неравномерно, поэтому эффективность ее использования зависит от местоположения солнечной электростанции, погодных условий и т.д.

Задачей работы было проведение мониторинга условий эксплуатации солнечной электростанции, установленной на крыше одного из корпусов Чувашского государственного университета, и получение с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) вычислительных моделей, позволяющих определять оптимальные условия эксплуатации солнечной электростанции.

Солнечная энергоустановка расположена на широте — 56° 08' с.ш. в умеренно-континентальном климате. Средняя температура января (самого холодного месяца в году) составляет -13°C, средняя температура самого теплого месяца, июля, составляет +19°C. Среднегодовое количество осадков на территории республики – 450-500 мм в год. Продолжительность солнечного сияния в среднем за год составляет 1900-1950 часов и равна 46% от возможной.

Основная проблема при эксплуатации солнечных станций является пылеотложение, которое может уменьшить выработку энергии до 15 – 20 процентов. Демонстрацией данного явления служит рисунок 1.

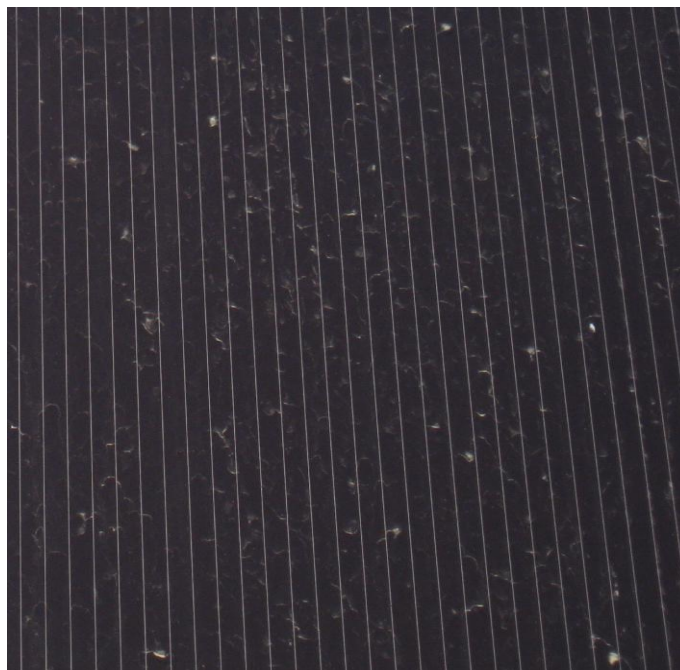


Рис. 1 Отложение пыли биологического происхождения

Минеральная пыль покрывает поверхность стекла солнечной панели ровным слоем. Следующей проблемой является наличие на поверхности солнечной панели птичьего помета. Это явление гораздо опаснее, по причине полного затемнения участка генерирующего слоя, что может привести к локальному выгоранию данного участка при больших потоках солнечного излучения.

Выпадение росы абсолютно безопасно, но наблюдение за характером распределения, как показано на рисунке 2, дает информацию о процессах теплообмена на поверхности стекла солнечной панели.

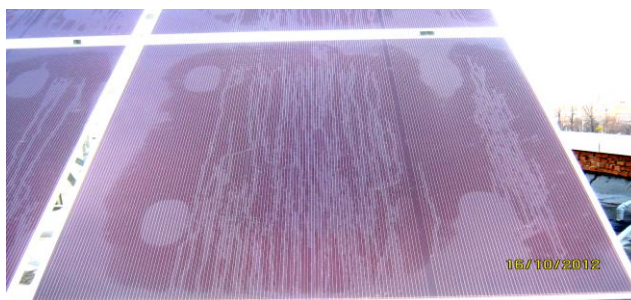


Рис.2 Конденсация воды на поверхности солнечной панели

Измерение показателей установки велось с помощью беспроводной метеостанции «Vantage Pro2 Plus» и системы сбора данных на основе блока Sunny Web Box фирмы SMA, идущей в комплекте с установкой.

Станция позволяет вести мониторинг метеоусловий совместно с мониторингом выработки электроэнергии. На рисунке 3 представлены показания датчиков радиационного потока метеостанции и датчика радиационного потока фирмы «Промак», установленного рядом с солнечными панелями.

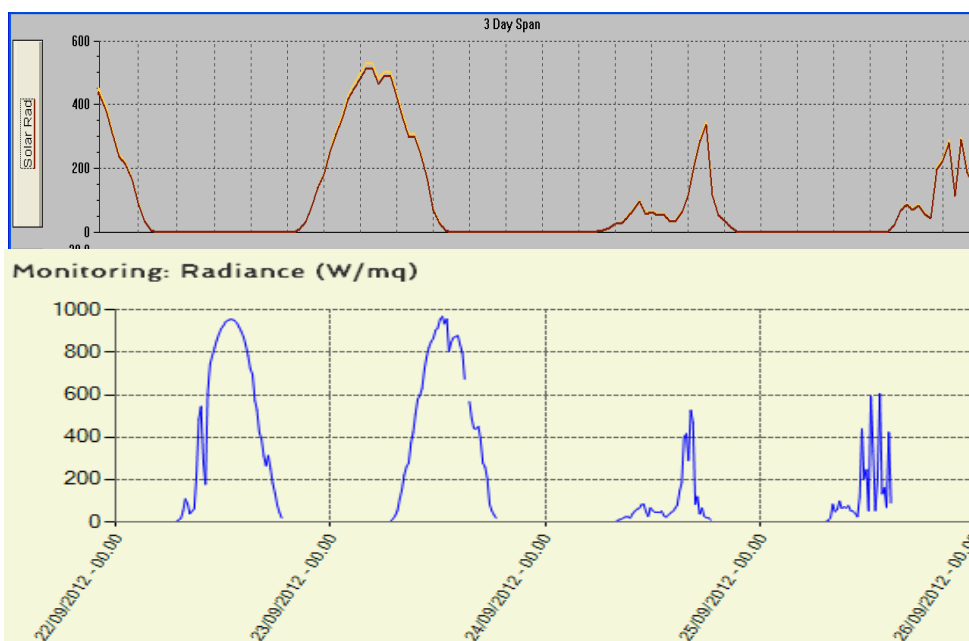


Рис.3 Изменение плотности мощности солнечного потока от времени датчиком метеостанции (а) и датчиком фирмы «Промак» (в)

Из графиков рисунка 3 следует, что динамика изменения солнечного потока, регистрируемые датчиком (а) и датчиком (в) совпадает, однако абсолютные значения различаются почти в два раза. Это обусловлено тем, что в составе метеостанции имеется датчик ультрафиолетового индекса.

Все UVC излучения и приблизительно 90% UVB излучений при прохождении сквозь атмосферу поглощаются озоном, парами воды, кислородом и углекислым газом. Менее всего подвергается воздействию атмосферы UVA излучение. Таким образом, ультрафиолетовое излучение, достигающее Земную поверхность, в основном состоит из UVA и небольшой части UVB излучений. Глобальный солнечный УФ-индекс (УФИ, UV index, UVI) характеризует уровень солнечного ультрафиолетового излучения у поверхности Земли.

В процессе мониторинга регистрировались следующие параметры:

- мощность электростанции, кВт
- солнечная радиация, Вт/м²
- солнечная радиация – интенсивность солнечного излучения достигающего горизонтальной поверхности. Эта интенсивность излучения включает в себя как излучение непосредственно от солнца, так и отраженное излучение от облаков и т.п.
- температура окружающей среды, °С
- влажность окружающей среды, %
- точка росы, °С
- скорость ветра, м/с
- направление ветра
- охлаждение окружающей среды ветром - то, как скорость ветра влияет на температуру воздуха, °С
- индекс нагрева, °С. Индекс нагрева использует температуру и относительную влажность для определения чувствительности к теплоте воздуха
- THW Index(индекс температура+влажность+ветер)(°С) и THSW Index(индекс температура+влажность+ветер+солнце)(°С) - рассчитывается на основе влажности и температуры как и индекс нагрева, однако, учитывает и нагревающий эффект солнца, и охлаждающий эффект ветра, позволяя

вычислить ощущаемую температуру на открытом воздухе.

- давление, мм. рт. ст.
- количество осадков, дюйм
- солнечная энергия, Лм
- УФ индекс - он представляет собой число от 0 до 16, отображающее текущий уровень УФ интенсивности.
- испарение, %

Пример результатов мониторинга приведен в табл. 1

Табл. 1 Результаты мониторинга параметров солнечной электростанции и метеостанции за февраль

Мощность (кВт)	время для мощности	время для метеопараметров	Солнечная радиация (Вт/м ²)	Внешняя температура (°C)	...	Индекс нагрева (°C)	УФ индекс
0,45806	07/02/2013 13:01:02	07/02/2013 13:30:00	208	-1.2	...	-1.3	0.7
0,13816	15/02/2013 17:00:56	15/02/2013 17:00:00	59	-6.1	...	-6.2	0.0
0,54006	23/02/2013 10:01:14	23/02/2013 10:00:00	169	-10.6	...	-10.7	0.0
1,12052	23/02/2013 15:01:58	23/02/2013 15:00:00	314	-5.3	...	-5.5	0.9

Для полученного набора данных (число столбцов и строк) была выбрана соответствующая архитектура ИНС и проведено ее «обучение». Обучение сети проводилось в программе Deductor, разработанной компанией BaseGroup Labs.

Обучение заключалось в том, что различные наборы значений с первого по шестнадцатый столбец подавались на входной слой ИНС, а соответствующие значения мощности устанавливались в выходном слое ИНС и с помощью известного метода обучения «обратного распространения ошибки» создавалась вычислительная ИНС - модель (компьютерный эмулятор ИНС - модели).

Эта модель представляет собой модель типа «чёрного ящика». Она может использоваться для определения (прогнозирования) мощности вырабатываемой солнечными батареями при разных параметрах эксплуатации.

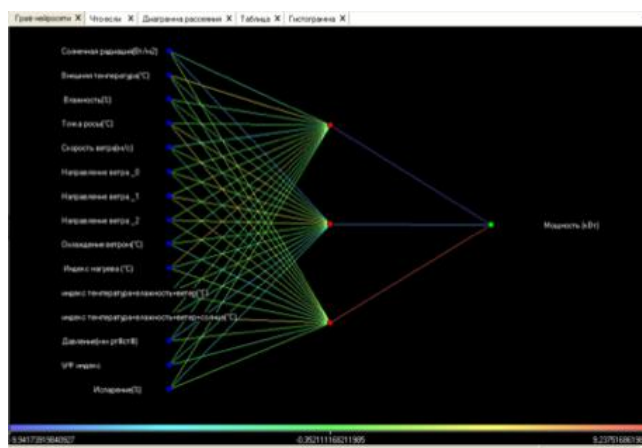


Рис. 5 Структура нейронной сети

Обучение заключалось в том, что различные наборы значений с первого по шестнадцатый столбец подавались на входной слой ИНС, а соответствующие значения мощности устанавливались в выходном слое ИНС и с помощью известного

метода обучения «обратного распространения ошибки» создавалась вычислительная ИНС - модель (компьютерный эмулятор ИНС - модели).

Эта модель представляет собой модель типа «чёрного ящика». Она может использоваться для определения (прогнозирования) мощности вырабатываемой солнечными батареями при разных параметрах эксплуатации.

На рисунках 6-9 - приведены некоторые выявленные зависимости (для погодных условий характерных для февраля месяца).

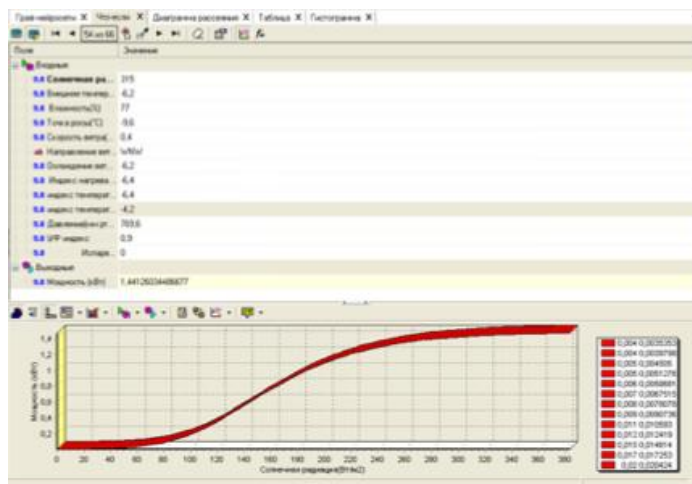


Рис.6 Зависимость мощности солнечной электростанции от солнечной радиации

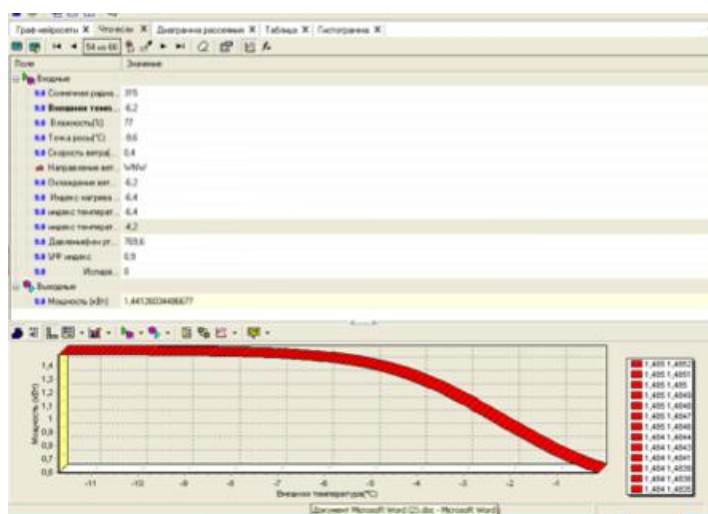


Рис.7 Зависимость мощности солнечной электростанции от внешней температуры

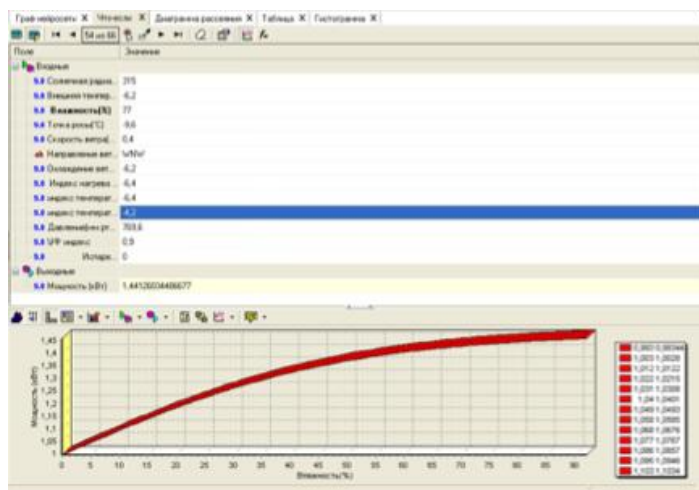


Рис. 8 Зависимость мощности солнечной электростанции от влажности

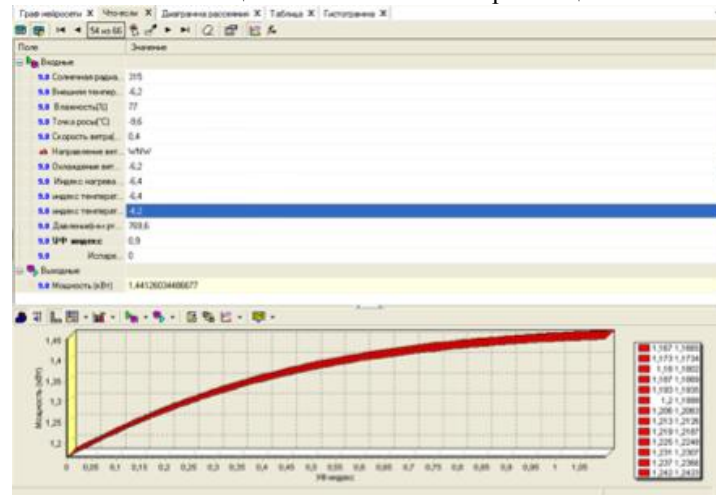


Рис. 9 Зависимость мощности солнечной электростанции от УФ индекса в зимний период времени

По этим зависимостям видно, что СЭ выдает максимальную мощность 1,441 кВт при значениях: солнечной радиации 315кВт, внешней температуры $-6,2^{\circ}\text{C}$, влажности 77%, точки росы $-9,6^{\circ}\text{C}$, скорости ветра 0,4 м/с, охлаждении ветром $-6,2^{\circ}\text{C}$, индексе нагрева $-6,4$, индексе температура+влажность+ветер $-6,4^{\circ}\text{C}$, индексе температура+влажность+ветер+солнце $-4,2^{\circ}\text{C}$, УФ индексе 0,9, испарении 0%.

Литература:

1. Аbruков В.С., Николаева Я.Г., Макаров Д.Н., Сергеев А.А., Карлович Е.В. Применение средств интеллектуального анализа данных (Data Mining) для исследования неполно определенных систем // Вестник Чувашского университета, № 2, 2008, с. 233-241.
2. Abruков V.S., Karlovich E.V., Afanasyev V.N., Semenov Yu.V., Abruков S.V. Creation of propellant combustion models by means of data mining tools // International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. 2010. № 9(5). P. 385-396.
3. Славутская Е.В., Аbruков В.С., Славутский Л.А. Интеллектуальный анализ данных психодиагностики школьников предпоздкового возраста // Вестник Чувашского университета. – 2012. – № 3. – С. 226 - 231.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В НАШЕЙ СТРАНЕ

Григорьев В. Г, Григорьева Н. В, Павлова Н. В, Павлов А.В
 Чувашский государственный университет им. И. Н, Ульянова,
 Чебоксары
 gr-valentin@mail.ru

Запасы солнечной энергии неиссякаемы. Основным достоинством этой энергии является экологичность процесса его производства, что в конечном счете дает более высокий эффект, чем традиционные способы получения энергии.

Человечество с древних времен начало применять непосредственно энергию солнца для нагрева, получения огня. В 1600 г. во Франции был создан солнечный двигатель на нагретом воздухе. В 1913 г. в Египте построена солнце-паровая машина.

Начало фотовольтаики положено открытием Э. Беккереля (1839г), опытами А. Столетова (1888г) и теорией Эйнштейна. Фотовольтаика активно исследовалась в первую очередь в космических державах СССР и США.

В СССР еще в 30-х годах 20 века проводились исследования в Ленинградском ФТИ АН СССР под руководством А. Ф. Иоффе. В результате этих исследований были созданы солнечные элементы (СЭ) на основе кремния, установленные, в частности, на 3-м искусственном спутнике Земли (1958 год). В 1984 году государственной премией была удостоена группа Ж. Алферова за создание новых структур СЭ. Коэффициент полезного действия этих структур составлял 30%.

По мнению Ж.Алферова при затратах на создание СЭС равных 15% от затрат на создание АЭС, СЭС покрыли бы объем производства энергии на существующих АЭС.

Началу применения солнечной энергии в крупных масштабах дали толчок нефтяные кризисы 1973... 1979 годов. В 1983 г. были построены опытные СЭС с паровой турбиной в США (10 МВт), Франции (2.5МВт), Испании(1.0МВт), менее мощные построены в Японии и Италии.

В СССР первая СЭС такого типа была построена в Крыму в 1985 году. Она имела 5 МВт, проработала до развала СССР. В то время суммарная мощность СЭС зарубежных стран составляла 21МВт. В СССР существовал так же проект солнечно-топливной СЭС в Узбекистане (320МВт).

Начиная с 90-х годов прошлого века развитие солнечной энергетики в нашей стране приостановилось в силу известных негативных социально-экономических процессов, происходивших в нашей стране. В этот период продолжалось интенсивное развитие солнечной энергетики в других странах. Быстрыми темпами развивалась фотовольтаика.

В настоящее время доля нашей страны в общем объеме производства энергии на СЭС составляет менее 1%. Суммарная мощность зарубежных СЭС к 2014 году достигла 130 ГВт. Наибольший объем энергии производится в Германии (32,4ГВт). Затем следует Италия (16,3ГВт), США (7,7ГВт), Китай (7,3ГВт), Япония (6,9ГВт), Испания (5,1ГВт), Франция (4ГВт) и т.д. По прогнозам доля электроэнергии производимой на СЭС в ближайшие десятилетия будет нарастать на 30% ежегодно.

К 2014 году в России имеется 8 предприятий по производству солнечных элементов (СЭ). Годовое производство по мощности СЭ составляет 2МВт. Они производят СЭ на основе кристаллического кремния. В число этих предприятий входят предприятия Краснодар, Москвы, Рязани и др. Готовится к вводу в производство завод «Хевел» по производству тонкопленочных СЭ в городе Новочебоксарске.

Первая в России СЭС на основе кремниевой кристаллической СЭ построена в 2010 году в Белгородской области с выработкой электроэнергии 133 МВт*ч в год.

В 2010-2013 годах построены четыре СЭС в Крыму с общей мощностью более 200 МВт.

Построена и готовится к запуску в 2014 году СЭС в городе Каспийск мощностью 5 МВт. СЭС строится в Хунзахском районе Дагестана.

Планируется ввод в эксплуатацию в 2015 году СЭС на основе фотовольтаики (50 МВт) в Кисловодске.

Имеются проекты построения в ближайшее время СЭС в Челябинской, Херсонской, Оренбургской областях на основе СЭ завода «Хевел» и проекты по строительству СЭС к 2020 году на Алтае, в Сибири и Ставрополье и др. К 2020 году планируется довести долю солнечной электроэнергетики в России до 4,5% по отношению к объему всей электроэнергетики.

Таким образом, в 90-х годах прошлого столетия наша страна уступив передовые позиции в области солнечной энергетики, в последние годы активизирует

деятельность в этой перспективной области науки и техники. Условия развития этой отрасли в России имеются. Есть научный потенциал и опыт эксплуатации СЭС, имеются большие по площади территории, где инсоляция достаточно высока. Такими регионами являются Северный Кавказ, Краснодарский край, Юг Сибири, Дальний Восток, Центральные районы и др. Особенно востребованы СЭС в тех регионах, где до настоящего времени отсутствует централизованное электроснабжение. Численность населения таких регионов составляет около 10 миллионов человек.

Литература:

1. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2 изд. СПб.: Изд-в СПб ГЭТУ (ЛЭТИ), 2011.-168.
2. www.klerk.ru
3. www.ecko-ecosyc.narod.ru
4. www.newchemistry.ru
5. www.evpori.ru
6. www.domstr.ru
7. www.solarb.ru
8. www.evliiontechnical.com
9. www.popmech.ru
10. www.gigavat.com
11. <http://novostienergetiki.ru>

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ШИРОТЕ РЕСПУБЛИКИ ЧУВАШИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО УРОВНЯ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ

Зимнухов М.А., Кочаков В.Д.

Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова

email: pixar2906davakin@gmail.com

В работе были использованы солнечные модули установленные в Чувашском госуниверситете, опытная солнечная сетевая энергоустановка мощностью 2 кВт (СЭУС-С), работающая параллельно с централизованной сетью. Она предназначена для проведения мониторинга количества и качества выработанной электроэнергии.

Внешний вид станции показан на рисунке 1. На станции установлены тонкопленочные фотоэлектрические модули в количестве 16 штук, Панели изготовлены по технологии Oerlikon Solar. Площадь 1,43 м², вес 26 кг и максимальная выходная мощность - 125 Вт [1].



Рисунок 1: Внешний вид солнечной станции на 2 кВт

Преимущества солнечных элементов на основе $a\text{-Si:H}$ по сравнению с аналогичными поликристаллическими кремниевыми элементами обусловлены более низкими температурами их изготовления (573 К), что позволяет использовать дешевые стеклянные Подложки с нанесенными на их поверхность прозрачными проводящими оксидами (TCO), выполняющими функцию электродов токосъема. Данные факторы ведут к снижению срока окупаемости солнечных элементов на основе аморфного кремния, и в перспективе стоимость подобных солнечных элементов будет значительно снижена [2].

Перспективным материалом для формирования TCO является ZnO. Прозрачность слоя SnO_2 ухудшается в плазме из-за его химического восстановления, что приводит к заметному поглощению в слое. Кроме того, SnO_2 менее прозрачен в видимой области спектра (пропускание составляет 94 %), чем ZnO (пропускание составляет 97 %). Это уменьшает ток короткого замыкания солнечного элемента с TCO на основе SnO_2 на 10 %. Проблемы использования ZnO связаны с образованием барьера на контакте ZnO/ $a\text{-SiC:H}$ p-типа, сложностью обеспечения чистого лазерного скрайбирования, высоким шунтирующим током.



Рисунок 2. Вид солнечного элемента $a\text{-Si}$ и $a\text{-Si}+\mu\text{c-Si}$ [3]

В настоящей работе приводятся результаты мониторинга указанной энергоустановки в пасмурную и ясную погоду в одинаковые периоды времени и раскрывает преимущества тонкопленочной технологии.

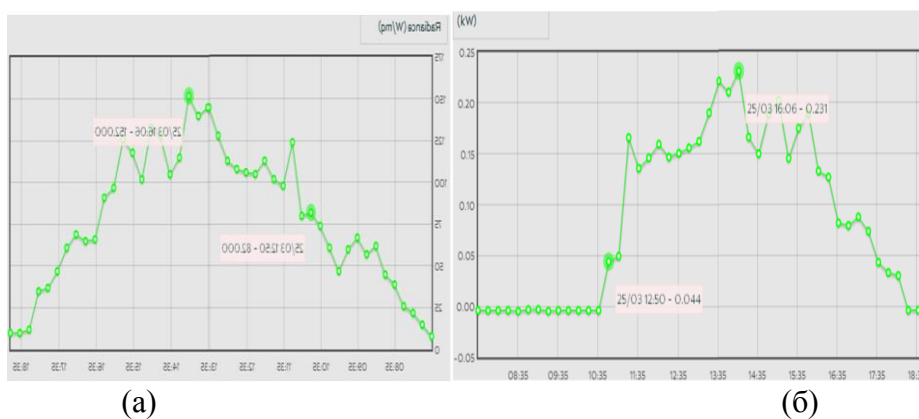


Рисунок 3: Уровень солнечной инсоляции (а) и выработка электроэнергии по времени (25 марта 2013 г - пасмурная погода)

В пасмурную погоду инверторы включаются при меньшем уровне солнечной радиации при 82 Вт/м^2 . В пасмурную погоду при 152 Вт/м^2 станция вырабатывает 231 Вт.

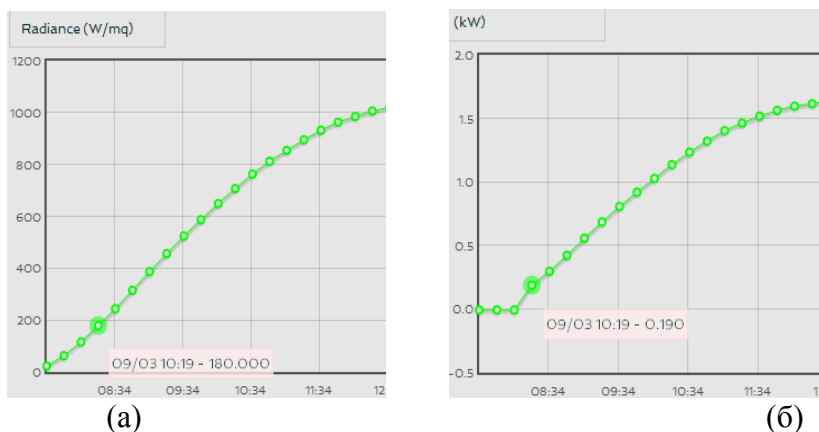


Рисунок 4: Уровень солнечной инсоляции (а) и выработка электроэнергии по времени (9 марта 2013 г- ясное небо)

В то время, как солнечную погоду при инсоляции 180 Вт/м^2 станция вырабатывает 190 Вт.



Рисунок 5: Уровень солнечной инсоляции (а) и выработка электроэнергии по времени (27 октября 2012 – утро, ясное время)

В ясную погоду при 123 Вт/м^2 инверторы не срабатывают.

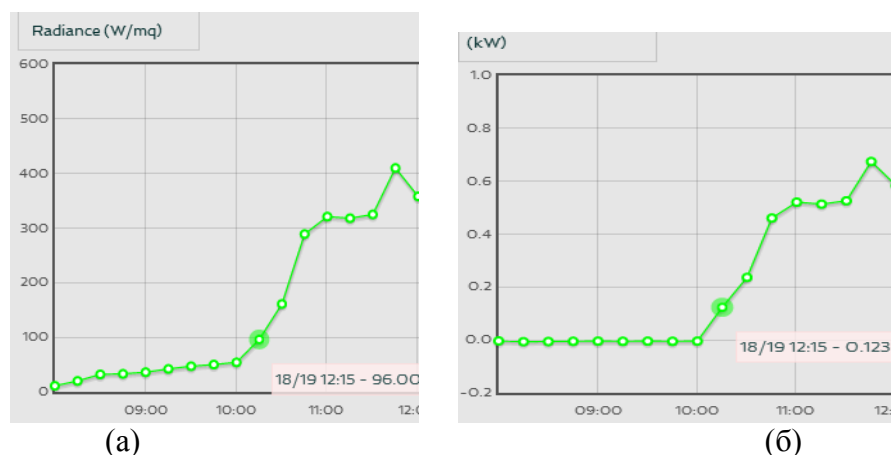


Рисунок 6: Уровень солнечной инсоляции (а) и выработка электроэнергии по времени (18 октября 2012 г - пасмурно)

В пасмурную погоду при 96 Вт/м^2 инверторы срабатывают и станция выдает 123 Вт.

Обращает на себя внимание анализ, сделанный в разное время года и в разные года (2012 и 2013г). Панели работают эффективнее при рассеянном свете.

Мы считаем это влияние слоя оксида цинка, играющего роль проводящего прозрачного электрода, на котором происходит рассеяние в генерирующий слой. В датчике инсоляции такого слоя нет. Получается, что панели эффективнее при рассеянном свете.

Литература:

1. А.В.Смирнов, В.Д. Кочаков, А.В. Бобыль, Е.И. Теруков *Особенности эксплуатации солнечной электростанции параллельного типа в зимний период времени. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*. С.44-47
- 2 В.П. Афанасьев Е.И .Теруков А.А. Шерченков Тонкопленочные солнечные элементы элементы на основе кремния
- 3.<http://www.hevelsolar.com/production/technology/>

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНОЙ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Г.А. Иванов¹, Е.М. Ершенко¹, А.В. Бобыль¹, Е.И. Теруков^{1,2}

¹Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

²НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе
тел: (812) 292-7173, эл. почта: genychchgu1@rambler.ru

Для исследования эффективности энергосистем с традиционными и фотовольтаическими источниками в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе была разработана опытная автономная гибридная энергоустановка установленной мощностью 15 кВт. Установка состоит из 72 фотозлектрических модулей на основе аморфного кремния (установлены под углом 41 градус к горизонту на юг), преобразователей постоянного тока в переменный с контролем точки максимальной мощности, автономных инверторов, блока аккумуляторных батарей, дизель-генератора, системы мониторинга и накопления информации.

За период 10 месяцев (12.2012 – 09.2013) на этой установке были получены среднесуточные данные по поступлению солнечной радиации на поверхность фотоэлектрических модулей, среднемесячная выработка электроэнергии. Кроме этого с помощью методики Пейджа и методики Берда [1] были рассчитаны ожидаемое поступление солнечной энергии и выработка электроэнергии за отчетный период (Рисунок 1, 2).

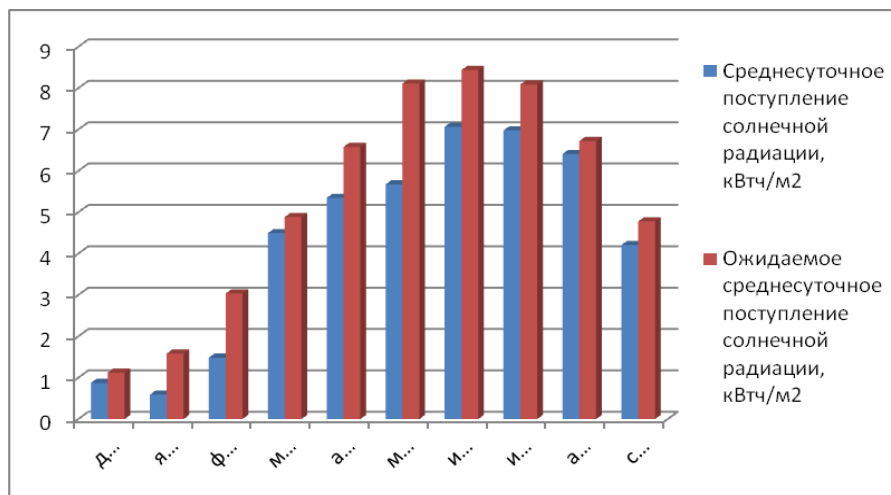
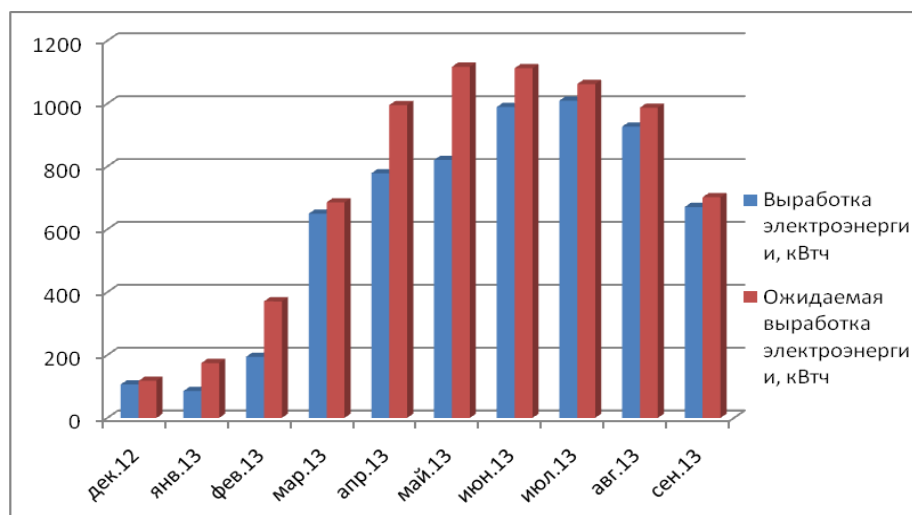


Рис. 1. Прогнозируемые и полученные данные среднесуточного поступления солнечной радиации

Уровни средней измеренной выработки электроэнергии и поступления солнечной радиации на 5-50% отличается от уровней прогнозируемых параметров. Достаточно высокое отклонение вызвано рядом факторов:

- методики расчета прогнозируемых параметров не совершенны и имеют погрешности;
- КПД фотоэлектрического преобразователя при расчетах принят равным КПД, измеренному при стандартных условиях - AM1,5, 25°C, 1000 Вт/м². Реальные и стандартные условия эксплуатации установок различны как по плотности потока падающего солнечного излучения, так и по рабочей температуре ФЭМ.
- не идеальная согласованность части оборудования и нагрузки с пиковой мощностью фотоэлектрических модулей;
- потери на преобразование постоянного тока в переменный;
- загрязнение, наледь, изморозь ФЭМ;
- потери на проводах и в точках соединений [2].



Литература

1. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: Учебное пособие/ В.В. Елистратов, Е.С. Аронова, - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012 – 164 с.
2. Changing System Parameters. Интернетресурс - <http://rredc.nrel.gov>

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В г. ТОМСКЕ

О.В. Майкова^{1,2}, А.В. Юрченко¹, В.И. Юрченко²
O.V. Maikova, A.V. Yurchenko, V.I. Yurchenko

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»
E-mail: olga.majkova.77@mail.ru

Аннотация:

В докладе представлены результаты теоретически-практических исследований работы автономных систем освещения (АСО) с электропитанием от солнечных установок (СУ) и от гибридных ветро-солнечных установок (ВСУ) с гарантированным обеспечением освещения. Одним из важных результатов расчетно-теоретических исследований стало разработка методики расчета требуемой установленной мощности ветроустановки, PV modules для конечных автономных систем светодиодного освещения от климатических и аппаратных факторов места применения.

На дворе XXI век. И уже ни у кого не вызывает сомнений, что охвативший человечество энергетический кризис ставит под угрозу само его существование на земле. Развитие цивилизации предполагает поиск всё новых и новых источников энергии. Активно потребляя, а чаще бездумно тратя природные энергозапасы, такие как каменный уголь, газ, нефть, мы нарушаем экологический баланс на нашей планете. Практически неконтролируемый слив нефти в мировой океан, выброс в атмосферу миллионами тонн оксида азота, регулярные радиационные выбросы атомных электростанций наносят непоправимый вред окружающей среде. Кроме того, надо учитывать, что энергосодержание Земли истощается. Не случайно традиционные источники энергии определили как невозобновляемые. Ежегодное потребление нефти дорого обходится Земле - на восстановление месторождений требуется до 2 млн. лет.

Так исторически сложилось, что солнечные батареи – это уже вторая попытка человечества обуздать безграничную энергию Солнца и заставить ее работать себе на благо (первыми появились солнечные коллекторы). Преимущество солнечной энергии в её доступности. Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция. Земля за неделю принимает солнечную энергию в количестве, превышающем общий энергетический потенциал мировых запасов природного газа, угля, нефти и радиоактивного урана. При использовании высокоэффективных методов преобразования энергии Солнце может обеспечивать бурно растущие потребности в ней практически вечно.

Ветер также является одним из доступных источников энергии. В отличие от Солнца, он может «работать» и днём и ночью, на севере и на юге, летом и зимой. Нередко приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (когда светит яркое солнце, нет ветра, а если дует сильный ветер, то нет солнца). Поэтому, для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта,

уменьшения габаритов ветротурбины и солнечной батареи, ёмкости аккумуляторной батареи, улучшения режимов работы станции во многих случаях целесообразно использование гибридной ветросолнечной электростанции (ВСЭ).

Особо популярны и востребованы системы автономного электроснабжения в регионах со сложным горным ландшафтом, где прокладка кабеля крайне дорогостоящая или не возможна по причине отсутствия электрических сетей. Область применения АСО на практике увеличивается с каждым годом. Томская область обладает достаточными ресурсами солнечной и ветровой энергии для создания ветровых, солнечных и гибридных электростанций. АСО используются для ночного освещения объектов, для подсветки зданий, садово-парковых ландшафтов, освещения подъездов, автономное и резервное электропитание загородных зданий, усадеб, и т.д.

В докладе представлены результаты теоретически-практических исследований работы автономных систем освещения (АСО) с электропитанием от солнечной установки (СУ) и ветро-солнечной установки (ВСУ) проведённых в России (г.Томск) в период с 2008г. по 2013гг. Целью исследований было оценить возможности энергетики на возобновляемых источниках энергии.

Оценить возможности энергетики на возобновляемых источниках энергии в условиях Томска и окрестностей позволили: демонстрационная солнечно-ветровая электрическая станция (СВЭС) и малогабаритная автоматическая метеостанция оборудованные на плоской крыше НИИ ПП, и 18-го корпуса ТПУ (Рис.1.), (Рис.2.).



Рис. 1. Солнечно-ветровая электростанция мощностью 3 кВт ОАО НИИПП г. Томск.

 **Действующая комбинированная ветро-солнечная электростанция установленной мощностью до 5 кВт**
для питания аппаратуры систем исследования параметров полупроводниковых материалов
НИТПУ г. Томск



Состав станции:

- солнечная электростанция АПЭП-250 – 10 шт.,
- ветроэнергетическая установка 1000 Вт – 2 шт.,
- преобразователи напряжения =48/~220В, 50 Гц,
- аппаратура управления.

Технические характеристики:

- установленная мощность, не более 5000 Вт,
- выходное напряжение ~ 220 В, 50 Гц (синус),
- площадь зеркала СБ, не менее 230 м²,
- полезная площадь станции, не более 300 м²,
- высота мачты ветрогенератора 6 м,

Условия эксплуатации:

- рабочая температура от минус 50 до 50°С.



Запущена в 2010 году

Рис. 2. Солнечно-ветровая электростанция мощностью 5 кВт НИТПУ г. Томск.

В течение года проводились исследования работы СВЭС (солнечно-ветровой электростанции) и одновременно регистрировались показания автоматической

метеостанции в части поступления на землю солнечной радиации и ветровой энергии. Установлено, что для максимальной выработки электроэнергии в течение года солнечные батареи в вертикальной плоскости летом должны быть ориентированы под углом $45...55^\circ$ к плоскости Земли, а зимой под углом 80° из высот стояния солнца в экстремумах зимы и лета. Поскольку в СВЭС не предусмотрено слежение солнечной батареей за солнцем, то была определена ее оптимальная ориентация в горизонтальной и вертикальной плоскости (под углом 55°).

Исследования показали, что поступление солнечной энергии и выработка электроэнергии солнечной батареей зависят от времени года, в то же время поступление ветровой энергии подчиняется глобальным процессам перемещения воздушных масс. В осенне-зимний период поступление ветровой энергии превышает или сравнимо с поступлением солнечной энергии. За год ветровой энергии поступило на единицу площади в 2 раза меньше, чем солнечной.

Важным результатом следует считать оценку вклада снежного покрова в освещенность рабочей поверхности солнечной батареи. В ясные дни освещенность за счет рассеяния снегом возрастает до 2-х раз по сравнению с освещением СБ только прямыми лучами. В пасмурные дни основной вклад в освещенность СБ вносит рассеянное излучение. Это означает, что в течение почти полугода съем электроэнергии с единицы поверхности СБ в Сибири в 2 раза выше, чем в Европе при сопоставимых уровнях солнечной радиации.

На основании данных было установлено, что годовая выработка электроэнергии солнечными батареями имеет потери 7% обусловленные КПД инвертора и контроллера заряда, а также потери в проводах на участке низковольтной цепи СБ – аккумулятор. Годовая выработка электроэнергии ветрогенератором (ВГ) составляет (5%) потерь в системе. Суточная выработка электроэнергии зависит от скорости и продолжительности ветра и длительности солнечного сияния и может значительно изменяться за сутки. По статистическим данным плотность потока солнечной радиации должна составлять 1000 Вт/м^2 для данного региона. Эксплуатация в реальных условиях показала, что плотность потока солнечной радиации составляет 680 Вт/м^2 .

Опыт эксплуатации показал, что наиболее приемлемыми являются комбинированные солнечно-ветровые электростанции (СВЭС). Особенно ощущаются преимущества гибридных станций при круглогодичном использовании. При этом в зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а летом - на солнечные фотоэлектрические модули.

Одним из важных результатов теоретически-практических исследований стала разработка методики расчета требуемой установленной мощности ветроустановки, PV modules (солнечных модулей) для конечных систем освещения от климатических и аппаратных факторов места применения, а также применение светодиодных источников освещения. Несмотря на то, что обычно энергоэффективные приборы дороже, их использование может обернуться значительной экономией за счёт снижения мощности источника энергии и ёмкости АБ.

Расчёт любой энергосистемы необходимо начинать с нагрузки. В автономной системе электроснабжения необходимо использовать только энергоэффективные приборы.

Лампы накаливания больше греют, чем светят - большая часть энергии уходит на разогрев нити накала. В колбе без воздуха находится вольфрамовая нить, которая разогревается, когда через неё пропускают электрический ток. Лампы накаливания обладают весьма скромной световой отдачей ($10-15 \text{ Лм/Вт}$) и имеют цветовую температуру ближе к тёплым цветам ($2400 - 2700\text{К}$). Их срок службы около 1000 часов.

Более современный вариант ламп накаливания – «галогенки», отличаются от своих предков технологичными новшествами: галогенидами в колбе, особым кварцевым стеклом, специальными отражателями, возвращающими часть теплового излучения на спираль.

Световой поток галогенной лампы в 2 раза выше предшественников, световая отдача 30 Лм/Вт. Значение цветовой температуры может быть разным, в зависимости от технологических особенностей: от 3000 до 6000К. Однако, небольшой срок службы (примерно 2000-4000 часов) и невысокая световая отдача портят галогенным лампам всю репутацию.

Цилиндрическая стеклянная трубка, с электродами по краям, в которую закачены пары ртути – вот вкратце, что такое люминесцентная лампа. Под воздействием электричества пары ртути начинают излучать ультрафиолет, который и заставляет люминофор, нанесённый на стекло изнутри, светиться видимым светом. Есть люминесцентные лампы с тремя слоями люминофора. Они имеют более высокую светоотдачу порядка 104 Лм/Вт, но хуже передают цвет. Лампы с пятью слоями люминофора имеют световую отдачу не более 88 Лм/Вт, но цветовая температура их значительно выше 3000 - 7000К. Работают они, в среднем, до 10000 часов. Однако, при температуре ниже 10 градусов их световой поток уменьшается, поэтому в наружном освещении они не очень эффективны. Эти лампы – пример компромисса в светотехнике.

Светодиодные лампы – это какое-то количество светодиодов, с платой управления питанием в одном корпусе. Такое понятие, как световой поток светодиодных ламп – изменчивое. Потому, что он будет таким, какой нужен. Это зависит от количества диодов, чем их больше, тем больше световой поток. То же происходит и со световой отдачей. В этом случае действуют законы не арифметической, а геометрической прогрессии. И про какие-то конкретные цифры цветопередачи тоже трудно говорить. Это напрямую зависит от модели светодиодов и, иногда, от напряжения питания. Если конструкцией светильника предусмотрено изменение напряжения то, вместе с ним, будет меняться цветопередача и световая отдача. Поэтому, светодиодные лампы трудно называть лампами, в привычном понимании этого слова. Это, скорее, уже именно светильники, а не лампы с разными характеристиками. На сегодняшний день они имеют наиболее длительный период работы – до 100000 часов, не капризны к вибрациям и падениям, работают в диапазоне температур от -50 до +60°C, можно получить любой цвет, полная противопожарная, электро- и экологическая безопасность. Их основной недостаток – дороговизна.

На рис. 3. изображены различные виды ламп (слева направо) галогенная, светодиодная, накаливания и люминесцентная лампы.



Рис. 3. Различные виды ламп.

Для правильного выбора светодиодной лампы, обращают внимание на количество Люмен, которые она излучает. Люмен – это единица измерения светового потока (Лм). В табл. 1. приведены сравнительные характеристики различных типов ламп по силе светового потока.

Лампа накаливания, Вт	Люминесцентная лампа, Вт	Светодиодная лампа, Вт	Световой поток, Лм
20 Вт	5-7 Вт	2-3 Вт	Около 250 Лм
40 Вт	10-13 Вт	4-5 Вт	Около 400 Лм
60 Вт	15-16 Вт	6-10 Вт	Около 700 Лм
75 Вт	18-20 Вт	10-12 Вт	Около 900 Лм
100 Вт	25-30 Вт	12-15 Вт	Около 1200 Лм
150 Вт	40-50 Вт	18-20 Вт	Около 1800 Лм
200 Вт	60-80 Вт	25-30 Вт	Около 2500 Лм

Табл. 1. Таблица светового потока ламп разного типа.

Как видно из таблицы эквивалент мощности светодиодных ламп, по сравнению с лампами накаливания составляет: 1:7,5 (10).

Кроме общей величины светового потока имеет значение то, как этот поток распределяется в пространстве. Направленность распределения светового потока характеризуется величиной угла расходимости лампы. Лампы с расходимостью 120° имеют очень широкую диаграмму направленности, практически, как у равнояркой площадки. Широкий угол излучения лампы благоприятно сказывается на равномерности освещения. Лампы с узконаправленным излучением (20-30°) используются для акцентного освещения, но для общего, мало пригодны (Рис.4.).

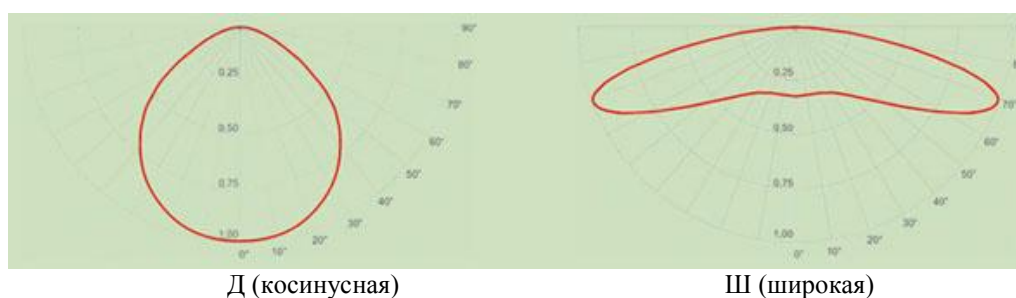


Рис. 4. Диаграмма направленности светодиодного светильника

Самое главное преимущество светодиодных технологий перед другими типами ламп – это энергоэффективность, в передовых образцах до 90% полученной энергии преобразуется в свет.

Надёжность и эффективность работы солнечно-ветровых электростанций во многом определяется и правильностью выбора аккумуляторных батарей (АБ). В процессе эксплуатации систем на возобновляемых источниках энергии, также были выявлены некоторые особенности эксплуатации АБ. АБ, используемые в автономных энергосистемах, сравнительно глубоко разряжаются каждый вечер и заряжаются в светлое время суток. Поэтому, использование наиболее распространённых типов АБ для АСО связано с определёнными сложностями. Применение свинцово-кислотных обслуживаемых АБ крайне затруднительно (особенно в отдалённых местах). Были определены наиболее подходящие марки и объёмы АБ, одними из которых являются АБ Sonnenschein гелевые необслуживаемые в течение всего срока службы с технологией dryfit. Они не выделяют агрессивных веществ. Незначительные выбросы углерода удаляются с помощью существующей естественной вентиляции, благодаря высокой степени рекомбинации газа. Различные варианты исполнения АБ данной марки (вертикальной и горизонтальной установки) делает их, также, удобными в

эксплуатации. Кроме того, они имеют пожаробезопасное исполнение – акрилбутадиенстирол (ABS), согласно UL 94 V-0. Их устойчивость к глубоким разрядам определяется согласно DIN 43 539 T5. Блоки и элементы, большинства моделей, не имеют ограничений по транспортировке автомобильным, железнодорожным, водным и авиатранспортом (согласно правилам IATA по транспортировке опасных грузов, раздел A67).

Не маловажную роль имел выбор оптимального контроллера заряда/разряда СМ и ВГ. Преимущества были отданы контроллерам марки МРРТ с ШИМ, основанные на DC/DC - преобразователе. Напряжение, которое PV (СМ) и ВГ может обеспечить при максимальной мощности, в зависимости от интенсивности падающего на модуль солнечного света, изменяется незначительно. Но отдаваемая мощность, следовательно электрический ток, изменяются очень сильно. Если уровень мощности падает очень сильно, ВГ перестаёт вращаться, и требуется значительно больше мощности, или механический «толчок» чтобы запустить его снова. Контроллеры марки МРРТ с ШИМ, основанные на DC/DC – преобразователе, отслеживают точку максимальной мощности, что даёт гарантированную работу ВГ и PV, независимо от условий освещённости и скорости ветра. Система работает, хотя и с меньшей скоростью, даже при очень слабом освещении и незначительном ветре.

Путём применения контроллера, аккумуляторной батареи, нескольких альтернативных источников питания, а самое главное, с помощью светодиодного светильника возможна реализация различных видов АСО.

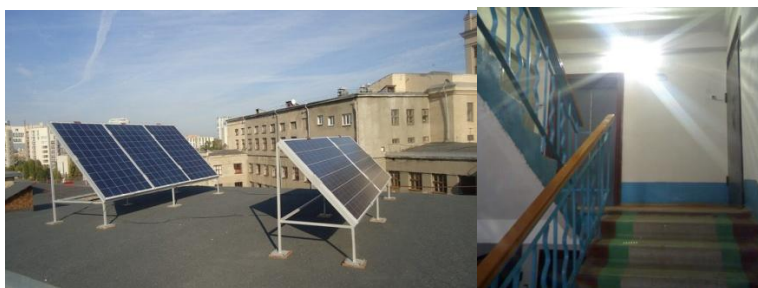


Рис. 6. Применение энергосберегающих технологий в сфере ЖКХ. Автономный осветительный комплекс лестничных площадок в г.Томске (резервное освещение).

Реализацией данного решения является установка солнечных панелей на крыше многоэтажного дома и применение современных высокоэффективных светодиодов. Особенно актуальна данная система при систематических отключениях электросетей.

Выводы:

Пятилетние испытания, и большой объём теоретических исследований позволили разработать точные модели работы АСО от СУ и ВСУ в реальных условиях при воздействии различных климатических факторов данного региона.

Современные сети уличного освещения – это энергоёмкие объекты, которые являются существенной частью структуры коммунального хозяйства. В настоящее время значительная часть оборудования районных и городских сетей освещения морально и физически устаревает и встаёт вопрос о его обновлении. Более надёжная система, построенная из современных компонентов, требует меньше затрат на своё обслуживание. Плюс экология, безопасность и использование современных технологий, делают выбор в пользу автономных систем освещения правильным, отвечающим реалиям не только сегодняшнего дня, но и будущего.

Эксплуатируя природные запасы энергии за относительно невысокую стоимость в количествах, не соответствующих реальным затратам общества, мы по сути живём в кредит у своих потомков, лишая их права пользования дешевой энергией. Мы не

только опустошаем недра Земли, но и отравляем окружающий нас мир. Государственные деятели передовых стран поддерживают приоритет технологий с использованием нетрадиционных источников энергии.

Мы предлагаем частным лицам и организациям применять экологически чистые и альтернативные источники энергии. Максимальное использование возобновляемых источников энергии позволяет уменьшить негативное воздействие энергетики на окружающую среду и сохранить нашу планету для наших детей.

Литература:

1. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. // Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении. – М.: Энергоиздат, 2008. – 231 с.
 2. Безруких П.П. // Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие). – М.: Энергия, 2010. – 320 с.
 3. Бакин Н.Н., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Юрченко А.В.// Результаты климатических испытаний солнечной батареи в натуральных условиях г. Томска // Оптика атмосферы и океана. – 1998. – Т. 11. – № 12. – С. 1337–1340.
 4. Аккумуляторные батареи. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт. / НИИАТ, - М., Транспорт, 2009
 5. ГОСТ 8.000-2000. Строительство. Электробезопасность. Общие требования
 6. ГОСТ на 26.04.2013г. Электробезопасность. Общие требования.
 7. Э. Парр. // Программируемые контроллеры: руководство для инженера. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
 8. Берг А.А. // Светодиоды, Год:2005 .
 9. Юрченко А.В., Саврасов Ф.В., Юрченко В.И. // Реальная стоимость энергии – от ресурсов до потребителя // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 3. – С. 43–46.
-

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
КАБИНЕТ МИНИСТРОВ ОЦЕНИЛ РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХ ФЦП	4
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	6
ОБЗОР РАЗРАБОТОК АКТИВНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ	6
КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИИ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ	8
ЭЛЕКТРОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОГРАММАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПО СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭНЕРГЕТИКЕ	10
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА КРЕМНИИ	14
БАЗА ЗНАНИЙ: ЭКСПЕРИМЕНТ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ, ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ	15
НАПРАВЛЕНИЕ «Фотоэлектрические преобразователи на тонкопленочной основе» (в том числе на основе органических полупроводников и наноструктурированного углерода)	22
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТОК ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ НА ГИБКИХ ПОДЛОЖКАХ	22
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ C-SI, A-SI, μ C-SI НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	24
МЕТОДЫ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	27
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛЕНОК Te	32
ПОГЛОЩЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ПЛЕНКЕ ОКСИДА ЦИНКА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ	33
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ И СИСТЕМ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА	34
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И МЕМБРАН НА ЕГО ОСНОВЕ	37
АЛМАЗ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И ЭНЕРГЕТИКЕ	40
СОЗДАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	43
РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МЕТАЛЛОУГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК	49
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЁНОК ZnO ДЛЯ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ	53
ЯДЕРНАЯ СПИН-РЕШЕТОЧНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДАХ	57
ОБРАЗОВАНИЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ В ПЛАМЕНИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ	59

ИССЛЕДОВАНИЕ БИНАРНОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Pb-SE	62
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Cd-ЛЦУ	65
НАПРАВЛЕНИЕ «Технологии и методы осаждения тонких пленок аморфного кремния» (в том числе, уменьшение размеров солнечных элементов и расходов на их производство, увеличение эффективности СЭ, технологические особенности выращивания слоев и диагностика фотоэлектрических характеристик)	68
МИНИМИЗАЦИЯ ШИРИНЫ РЕЗА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКЕ ОКСИДА ЦИНКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ТПСМ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ	68
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ 4H-SiC ФОТОДИОДНЫХ СТРУКТУР ТИПА p^+-p-n^+ И p^+-n-n^+ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОБРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ	72
ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМОРФНОГО ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ	76
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПРОТОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ	80
НАПРАВЛЕНИЕ «Новые физические принципы и эффекты для ФЭП» (поверхностные эффекты - квантовые точки Si, внедрение концепции плазмоники для увеличения коэффициента поглощения и т.п.)	84
СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЯХ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОКАЛОРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА	84
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СЛОЕВ СИСТЕМЫ «ОКСИД ЦИНКА – ДИОКСИД КРЕМНИЯ»	86
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ИАГ-ЛАЗЕРА В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ	89
УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ НАНОЧАСТИЦ Ag/SiO ₂	91
СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК МЕТОДАМИ АСМ	93
СИНТЕЗ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК СЕЛЕНИДА КАДМИЯ В НЕКООРДИНИРУЮЩЕМ РАСТВОРИТЕЛЕ ОКТАДЕЦЕНЕ	96
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЙ	99
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТОМАРНОГО ПОТОКА ЧАСТИЦ В УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКЕ	106
ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ КАРБИНА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ	107
ПЕРЕСТРОЕНИЕ ДАННЫХ ИЗ МЕТОДА МИКРОСКОПИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЯ В ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	109
ВЛИЯНИЕ ИЗОВАЛЕНТНЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ (Si ₂) _{1-x} (CdS) _x (0 ≤ x ≤ 0.01), (Si ₂) _{1-x} (CSn) _x (0 ≤ x ≤ 0.005), (InSb) _{1-x} (Sn) _x (0 ≤ x ≤ 0.05), (GaAs) _{1-x} (ZnSe) _x (0 ≤ x ≤ 0.80)	111
КОМПЬЮТЕРНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЙ ВОДОРОДА ВНУТРИ НАНОТРУБКИ	114
СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe/CdS В ПРИСУТСТВИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА	115
НАПРАВЛЕНИЕ Преобразовательные устройства» (счетчики качества вырабатываемой электроэнергии, инверторы, системы мониторинга, установки на основе	117

солнечных модулей в энергосберегающих системах и др.)	
ДВУХКООРДИНАТНЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ШАГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК	117
ОПЫТНАЯ СЕТЕВАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА	120
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ	124
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ, МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ЕМКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК LiFePO_4	127
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ	128
ОСОБЕННОСТИ ФТОРАЛЮМИНАТНЫХ СТЕКОЛ С МАЛЫМИ ДОБАВКАМИ ФОСФАТОВ, АКТИВИРОВАННЫХ ФТОРИДАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	131
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ КУСКОВ МЯСНОГО СЫРЬЯ	134
МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СРЕДЕ SIMULINK	137
ДАТЧИК ПЫЛИ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	140
УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ	143
КОМБИНИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО И ГЕЛИО-ОСВЕЩЕНИЯ	148
НАПРАВЛЕНИЕ «Практическое освоение технологии мониторинга условий и режимов эксплуатации солнечных электростанций» (Применение методов интеллектуального анализа данных в обобщении экспериментальных исследований в области нанотехнологий и солнечной энергетики)	152
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОПЛЕНОК ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ	152
АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПРЕХОДНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	159
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА	162
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ ГОДОВОГО МОНИТОРИНГА В ПЕРИОД С 21 АПРЕЛЯ 2013 ПО 20 АПРЕЛЯ 2014	169
МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПАРАЛЛЕЛЬНО С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СЕТЬЮ (СЭУС-С)	171
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В НАШЕЙ СТРАНЕ	176
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ШИРОТЕ РЕСПУБЛИКИ ЧУВАШИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО УРОВНЯ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ	178
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНОЙ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА	181
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В Г. ТОМСКЕ	183

