

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 5/итоговый

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.607.21.0075

Тема: «Разработка фотоэлектрических гетероструктурных преобразователей на основе кристаллического и аморфного кремния с конкурентными на мировом рынке энергетическими и экономическими показателями.»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика (ЭЭ)

Критическая технология: Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику

Период выполнения: 20.10.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 78.00 млн. руб.

Бюджетные средства 46.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 32.00 млн. руб.

Получатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Участник Консорциума: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Хевел"

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, эффективность преобразователей, стоимость преобразователей, кристаллический кремний, аморфный кремний, фотоэлектрический модуль, гетеропереходная технология, текстурирование поверхности, плазмохимическая технология, проволоочные контакты, металлизация, трафаретная печать

1. Цель проекта

Разработать научные основы технологий и конструкций фотоэлектрических гетероструктурных преобразователя (ФЭП типа НПГ) и модулей (ФЭГПМ) на основе кристаллического и аморфного кремния для солнечных элементов и модулей с характеристиками, обеспечивающими конкурентные преимущества на российском и мировом рынках по эффективности (не менее 20 %) и низкой стоимости удельной мощности. Эффективность ФЭП будет получена путем использования запатентованных технологий пассивации интерфейсов и осаждения аморфных слоев, а низкую стоимость – использованием промышленного оборудования и потенциально большим объемом производства (до 1 ГВт в год) на заводе в Новочебоксарске.

2. Основные результаты проекта

Были изготовлены подложки для ФЭП, ФЭП, модули ФЭГПМ и проведены испытания форсированной деградации ФЭП, ФЭГПМ (термоциклирование, воздействие высокой влажности при высокой температуре, термоциклирование при высокой влажности). ФЭГПМ типа стекло-стекло являются устойчивыми в длительных циклах в диапазоне температур от -40°C до +85°C. Были разработаны эскизные проекты «Экспериментальный образец ФЭП», «Экспериментальный образец ФЭГПМ». Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера.

Основные характеристики созданной продукции:

- наиболее высокое качество имеют подложки со структурой в виде пирамид с квадратными основаниями (1-5 мкм), размерами по высоте - 0.1 мкм и более, временем жизни неосновных носителей заряда – более 1 мсек.
- разработан процесс формирования гетеропереходов при помощи реакторов КАЛ, позволяющий изготавливать прототипы промышленных солнечных элементов НПГ с эффективностью свыше 21%.
- разработана конструкция токосъемных шин с уменьшенным потреблением Ag на 21 г на ФЭГПМ при увеличении КПД на 5.7 % отн. Оптимизация конструкции монтажа позволяет увеличить мощность до 10 Вт, до 10 % отн.
- проведены исследования форсированной деградации и обнаружены:
 - а) краевые утечки, связанные с недостаточным маскированием используемых ФЭП при нанесении проводящих слоев;
 - б) трещины ФЭП, проявляющиеся в виде диагональных линий. Исследования показали, что трещины связаны, как правило, с

дефектами ручных этапов изготовления модулей и практически отсутствуют на промышленных этапах их изготовления;

- при форсированной деградации нагревом при температуре 85°C и влажности 85% длительностью 311 часов ФЭГПМ с ламинирующими пленками производителя HUV видимых изменений не проявляют.

Оценка элементов новизны научных (конструкторских, технологических) решений. Проведены сопоставления результатов анализа информационных источников и результатов исследовательских подтвердили новизну научно-технических решений по следующим направлениям:

- разработана технология каталитического текстурирования с использованием слоя V₂O₅, которая приводит к уменьшению полного отражения в 1.2 раза в коротковолновой области спектра и в 1.35 раза в длинноволновой области по сравнению необработанной поверхностью. Коэффициент диффузного рассеяния поверхности увеличился в 1.5 раза в области коротких волн и в 2 раза в области длинных волн.

- разработана складная солнечная панель, у которой минимизирована возможность механического повреждения солнечных элементов за счет фронтальных жестких светопрозрачных пластины, что приведет к увеличению ее срока службы.

- разработан солнечный элемент, повышение надежности в котором достигается путем упрощения технологии изготовления фронтальных коммутирующих электродов, улучшением качества пайки и, как следствие, улучшением токосъема и увеличением выхода годных ФЭП, отсутствием диффузия материала припоя в слой прозрачно-проводящего оксида.

Соответствие полученных результатов требованиям к проекту.

Результаты выполненных работ полностью соответствуют требованиям Технического задания и нормативной документации.

Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень.

Впервые в НТЦ ТПТ на промышленном оборудовании Индустриального партнера ООО «Хевел» разработан процесс формирования гетеропереходов при помощи реакторов KAI, позволяющий изготавливать прототипы промышленных ФЭП типа НП с эффективностью свыше 21%. Было показано, что применение технологии формирования контактной сетки Smartwire позволяет увеличить эффективность ФЭП еще примерно на 1 абс.%.
Полученные значения КПД электролюминесценции, 2,1 % разработанных ФЭП являются рекордными, превосходят известные в литературе значения для гомогенных кремниевых переходов. Такая величина этого КПД является надежным диагностическим признаком их высокого качества, прежде всего поверхности текстурированной подложки и гетеропереходов.

Впервые обнаружена более чем 10 кратная зависимость интенсивности электролюминесценции от КПД фотопреобразования в диапазоне от 18 до 21 %.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Изобретение, патент RU(11) 2600076, Дата подачи 08.07.2015. "Способ получения светопоглощающей кремниевой структуры", РФ.

Полезная модель, заявка на патент № 2016128100 от 13 июля 2016 г. "Складная солнечная панель", РФ.

Полезная модель, заявка на патент № 2016152320 от 28 декабря 2016 г. "Солнечный элемент", РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

- промышленный выпуск конкурентных на мировом рынке ФЭП и ФЭГПМ с высокими энергетическими и экономическими показателями (КПД ФЭП более 21%, с предварительной оценкой их удельной стоимости - менее 30 руб./Вт). При этом они будут изготовлены на промышленном оборудовании Индустриального партнера ООО «Хевел» с использованием технологической установки плазмохимического осаждения KAI фирмы «Oerlicon».

- для массового производства ФЭП типа НП и модулей на их основе (стандартный модуль состоит из 60 ФЭПов) наиболее перспективным является использование линейных цилиндрических магнетронных источников с вращающимися мишенями для нанесения ПГО слоев в DC режиме. Свойства ПГО слоев в основном определяются составом ПГО мишени, концентрацией кислорода в рабочей газовой смеси и температурой подложки. Оптимизация данных параметров, а также параметров контактной сетки, позволит увеличить КПД ФЭП на 1-2 % абс.

Оценка и прогноз влияния полученных результатов на развитие научно-технических и технологических направлений; разработку новых технических решений; на изменение структуры производства и потребления товаров и услуг в соответствующих секторах рынка и социальной сферы;

Проведенные исследовательские испытания экспериментальных образцов ФЭП для форсированной деградации (термоциклирование, воздействие высокой влажности при высокой температуре, термоциклирование при высокой влажности), полученные результаты для модуля типа стекло-стекло, которые являются устойчивыми в диапазоне температур от -40°C до +85°C и длительности цикла 6 часов и прошли испытания без деградации за счет наличие заднего стекла, разработанные эскизные проекты ФЭП и ФЭГПМ, разработанные технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера востребованы и имеют практическую значимость. Признаками высокой вероятности значительного влияния полученных результатов на развитие научно-технических и технологических направлений по созданию новых фотоэлектрических преобразователей являются: наличие публикаций в журналах с высокими импакт факторами (>2), участие в отечественных и международных конференциях, использование уникального технологического и исследовательского оборудования мировых лидеров разработки и промышленного выпуска фотоэлектрических элементов (ФЭП) и модулей (ФЭГПМ), наличие полученного патента и двух заявок на патенты.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Производство ФЭП по технологии НП, как и производство тонкопленочных ФЭП, будет реализовано на современном роботизированном Заводе ООО «Хевел». Основным этапом является нанесение слоев кремния на подложку в процессе плазмохимического осаждения. Данный процесс осуществляется в PECVD установках, которые входят в состав уже существующей производственной линии завода.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

По завершению модернизации завода ООО "Хевел" и запуска линии производства ФЭП и ФЭГПМ его мощность будет увеличена не менее в полтора раза, с годовым объемом продукции более 160 МВт суммарной мощности фотоэлектрических преобразователей.

7. Наличие соисполнителей

Физический факультет МГУ. Привлекался в 1-ом и 2-ом полугодии 2015 г., в 1-ом и 2-ом полугодии 2016 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской
академии наук

Зам. директора

(должность)

(подпись)

Лебедев С.В.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

зав.лабораторией

(должность)

(подпись)

Теруков Е.И.

(фамилия, имя, отчество)

М.П.