

**Резюме проекта (ПНИР), выполняемого в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»
по этапу № 1, итоговое за 2014 г.**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии № 14.607.21.0075 от " 20 " октября 2014 г.

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.

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

Период выполнения: 20.10.2014- 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 79.5 млн. руб.

Бюджетные средства 47.5 млн. руб.,

Внебюджетные средства 32 млн. руб.

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им.А.Ф. Иоффе).

Индустриальный партнер: ООО «Хевел».

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, эффективность преобразователей, стоимость преобразователей, кристаллический кремний, аморфный кремний, фотоэлектрический модуль, текстурирование поверхности, плазмохимическая технология

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Разработать научную основу технологии и конструкцию фотоэлектрических гетероструктурных преобразователя (ФЭП типа НИТ) на основе кристаллического и аморфного кремния для солнечных элементов и модулей с технико-экономическими характеристиками, обеспечивающими конкурентные преимущества на российском и мировом рынках по эффективности (не менее 20 %) и стоимости удельной мощности (не более 20 руб/Вт). Разработка научных основ технологии создания фотоэлектрических гетероструктурных модулей (ФЭГПИМ) на основе ФЭП с их количеством не менее 60.

Высокую эффективность ФЭП получить путем использования запатентованных технологий пассивации интерфейсов и плазмохимического осаждения аморфных слоев, а низкую стоимость – удешевлением технологии, использования промышленного оборудования и возможным объемом производства солнечных модулей (до 1 ГВт в год) в условиях завода Новочебоксарска.

2. Основные результаты проекта

Проведен анализ современной научно-технической литературы, нормативно-технической документации и других материалов в области создания ФЭП на основе кремния. Важным достоинством ФЭП на основе аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H) является отсутствие вредных, токсичных веществ в изготовленных солнечных фотоэлементах. Для обеспечения эффективной работы солнечных элементов необходимо, чтобы удовлетворялись следующие требования:

- оптический коэффициент поглощения активного слоя должен быть достаточно большим для поглощения энергии солнечного света в пределах толщины слоя;
- основные носители должны эффективно собираться на контактных электродах;
- высокий барьер для неосновных носителей;
- малая величина сопротивления для снижения потерь мощности (тепла) в процессе работы;
- высокая однородность слоев для исключения закорачиваний и шунтирующих сопротивлений.

Проведен выбор и обоснование направления исследований, включая мотивацию для разработки ФЭП типа НІТ, описание основных этапов технологии их производства. ФЭП типа НІТ на сегодняшний день наиболее перспективными с точки зрения соотношения к.п.д и стоимости. Проведена сравнительная оценка направлений повышения эффективности ФЭП и снижения их стоимости с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичной тематике. ФЭП типа НІТ имеют следующие технологические и функциональные преимущества:

- высокая эффективность - потенциал увеличения кпд составляет свыше 25%;
- низкий температурный коэффициент снижения мощности (-0,27%/К против -0,45%/К на c-Si);
- низкотемпературный технологический процесс (сниженный бой, сохранение чистоты кремния);
- высокая радиационная стойкость (отсутствие деградации);
- меньшее количество технологических операций по сравнению с ФЭП на c-Si.

На экспериментальных образцах проведены исследования условий осаждения a-Si:H и обработки поверхности c-Si на оптические и фотоэлектрические свойства ФЭП. Изготовлены экспериментальный образец ФЭП типа НІТ с гетеропереходом на подложке кремния n-типа проводимости с удельным сопротивлением 2–7 Ом см и значениями времени жизни носителей заряда 10 мс.

Сделаны выводы по результатам исследований экспериментальных образцов ФЭП для предварительных исследований:

- метод спектроскопии полной проводимости позволяет провести оценку плотности поверхностных состояний и сечения захвата носителей заряда, а также определить положение уровня Ферми на границе раздела;
- преимущество подложек n- типа проводимости по сравнению с p-типом носит фундаментальный характер, связанный с соотношением значений разрывов зон на границе раздела гетеропереходов (p)a-Si:H/(n)c-Si и (n)a-Si:H/(p)c-Si. Значения разрывов валентных зон превосходят разрывы зон проводимости, что приводит к большему изгибу зон в (n)c-Si и к слабой зависимости напряжения холостого хода от плотности поверхностных состояний для (p)a-Si:H/(n)c-Si гетероструктур.

Проведение патентных исследований. Наиболее перспективными являются технические решения, которые содержат эффективные способы подавления поверхностной рекомбинации с использованием гетероструктур. При достаточной высоте и ширине потенциального барьера можно практически полностью избежать рекомбинации неосновных носителей на контактах.

Изготовлены 8 экспериментальных образцов ФЭП: гетероструктур (n)a-Si:H/(p)c-Si, (p)a-Si:H/(n)c-Si с различной толщиной эмиттерного слоя a-Si:H и различным уровнем легирования подложки c-Si ($p = 5.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $p = 6.8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, n-типа, 2-7 Ом см (10 мс).

Осуществлен контроль соответствия технологического оборудования поставленным задачам ПНИ с привлечением промышленного партнера с целью оценки возможности реализации технологии ФЭП типа НІТ на производственном комплексе в г. Новочебоксарска, который был построен для производства микроморфных солнечных модулей.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки. На данном этапе не планировалось получение охраноспособных РИД.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Использования разработанных ФЭП и модулей на их основе в условиях промышленного производства завода Новочебоксарска.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Повышение мощности выпуска солнечных модулей на заводе Новочебоксарска.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта. На данном этапе не планировались.

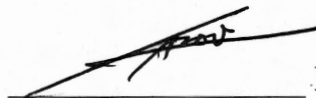
7. Наличие соисполнителей. На данном этапе не планировалось.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Заместитель директора по научной работе

03 02 2015 г.

Руководитель работ по проекту,
заведующий лабораторией


С.В. Лебедев


Е.И. Теруков