

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»**

**Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)**  
14.607.21.0075

**Название проекта**

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

**Тематическое направление**

Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

**Исполнитель**

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

**Цели и задачи исследования**

Цель.

Разработать научные основы технологии и конструкций фотоэлектрических гетероструктурных преобразователя (ФЭПГ типа НІТ) 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 низкой стоимости удельной мощности.

Задачи:

- будет достигнута высокая эффективность ФЭПГ (> 20%), изготовленных на промышленном оборудовании, по сравнению с монокристаллическими ФЭПами (15%) и тандемными тонкопленочными (10 %);
- будут изготовлены ФЭПГ размерами 156\*156 мм<sup>2</sup>, что больше по сравнению с обычно используемыми в технологии ФЭПов на основе моно и поли- кремния 125\*125 мм<sup>2</sup>, модули будут состоять из 60 ФЭПГ;
- будут разработаны ТЗ на ОТР «Плазмохимическая технология высокоэффективных ФЭПГ», ТЗ на ОКР «Конструкция ФЭПГ модуля» .

**Актуальность и новизна исследования**

Актуальность проекта обусловлена планами промышленного выпуска ФЭПГ типа НІТ Индустриальным партнер данного проекта (ООО «Хевел»). При успешной реализации потребителями ФЭПГ будут также участники конкурса по реализации Постановления Правительства РФ 449 от 28 мая 2013г. в рамках выполнения Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2009 г. N 1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года».

**Описание исследования**

1) Исследовательские испытания подтвердили выполнения пунктов ТЗ по заявленным численным характеристикам полноразмерных ФЭПГМ размерами 1656x991 мм с 6x10=60 ФЭПами размерами 156x156 мм. Образцы выдержали входной контроль на отсутствии поверхностных дефектов, контроль

геометрических размеров, выдержали исследовательские испытания измерения ВАХ, определение фотоэлектрических параметров ФЭГПМ ( $P_{mp}$  - 273 Вт,  $V_{oc}$  - 43 В,  $I_{sc}$  - 8.8 А, FF - 72.00%, средний  $P_{mp}$  ФЭПа - 4,55 Вт). Образцы выдержали исследования удельного контактного сопротивления токосъёмных шин, выдержали испытания на стойкость к влажности (85%) и высоким температурам (85°C) в течение 1000 часов.

2) Разработанная конструкция токосъёмных шин позволяет уменьшить потребление 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., для повышения стабильности к ветровой и механическим нагрузкам рекомендуется использовать ламинаты EVA в жарком климате, PIV - во влажном климате.

3) При использовании технологии «Smartwire» закругленная форма проволок увеличивает поглощению света ФЭП за счет уменьшения затенения на 25 % по сравнению металлическими шинами при использовании технологии «Busbar». При этом совокупные потери мощности ФЭП, изготовленные по технологии SmartWire, меньше в 2 раза по сравнению с технологией BusBar.

4) Меньшие потери мощности при переходе от элементов к модулю имеют двусторонние образцы по сравнению с односторонними образцами, 4.6 и 7.6 соответственно. Двусторонние образцы с конфигурацией стекло/стекло (G/G) имеют на 10 Вт большую мощность по сравнению с односторонними образцами. Мощность двусторонних образцов на 8-10 Вт больше односторонних с тыльным покрытием.

5) Увеличение сопротивления слоя ITO в 10 раз увеличивает относительные потери на ~ 3% для варианта BusBar и ~5% для варианта SmartWire. Расчеты показали, что если эффективность ФЭП равно 21%, то она уменьшится не более 1 %.

6) При массовом производстве ФЭП типа HIT и модулей на их основе (стандартный модуль состоит из 60 ФЭП) наиболее перспективным является использование линейных цилиндрических магнетронных источников с вращающимися мишенями для нанесения ITO слоев в DC режиме.

## **Результаты исследования**

1) Проведено сопоставление параметров экспериментальных образцов ФЭГПМ. Показано, что оптимизация технологических этапов позволит получить мощность единичного ФЭГПМ с количеством ячеек  $6 \times 10 = 60$  на менее 297 Вт. Анализ литературы показал, что это превышает на 9.5 Вт мощность реальных промышленных модулей фирмы Meyer Burger на 9.5. Вт, которые в настоящее время находятся на испытательном стенде в Lugano, Switzerland.

2) Разработана модель и проведены теоретические расчеты по оптимизации контактных сеток. Впервые показано, что при малом числе поперечных шин (пальцев) увеличивается ток короткого замыкания и последовательное сопротивление контактных сеток. По мере увеличения числа пальцев ток короткого замыкания будет уменьшаться, вследствие роста затенения контактной сетки. При этом также будет уменьшаться последовательное сопротивление. Модель позволяет определить оптимальное соотношение между

значениями плотности тока короткого замыкания и величиной фактора заполнения ВАХ, связанного с величиной последовательного сопротивления.

3) Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что возможным является разработка отечественных низкотемпературных токопроводящих композитов (пасты) с температурой вжигания контактов не более 250°C, необходимые для создания контактных шин при разработке высокоэффективных ФЭГПМ.

4) Для повышения надежности ЭГПМ необходимо использовать ламинаты с улучшенными термофизическими и механическими свойствами: POE (polyolefin, полиолефиновая) или XLPO (cross-linked polyolefin, сшитая полиолефиновая) вместо обычно используемой пленки EVA (Ethylene-vinyl acetate, этиленвинилацетатная). Расчеты показали, что их использование, в сочетании с герметизирующими краевыми изоляторами, позволяет уменьшить скорость диффузии атмосферных паров воды внутрь модуля до 30-40 лет.

5) 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 НІТ с эффективностью свыше 21%. Было показано, что применение технологии формирования контактной сетки Smartwire, предлагаемой компанией Meyer-Burger, может позволить увеличить эффективность ФЭП еще примерно на 1 абс.%.

#### **Практическая значимость исследования**

Потребителем ожидаемых результатов прежде всего является Индустриальный партнер данного проекта (ООО «Хевел»). Далее, при успешной реализации проекта строительства завода солнечных модулей в Новочебоксарске, потребителями будут участники конкурса по реализации Постановления Правительства РФ 449 от 28 мая 2013г. в рамках выполнения Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2009 г. N 1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года».