

Резюме проекта, выполняемого/выполненного

в рамках ФЦП

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

по этапу № 2

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.604.21.0008

Тема: «Разработка концепции и технологии создания полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей на основе гетеровалентных наноструктур соединений групп А3В5 и А2В6»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

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

Период выполнения: 17.06.2014 - 31.12.2015

Плановое финансирование проекта: 11.165 млн. руб.

Бюджетные средства 9.40 млн. руб.,

Внебюджетные средства 1.765 млн. руб.

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

Индустриальный партнер: Закрытое акционерное общество "Светлана-Рост"

Ключевые слова: многопереходные солнечные элементы, КПД, полупроводниковые соединения группы А3В5, полупроводниковые соединения группы А2В6, гетеровалентные гетероструктуры, псевдоморфные гетероструктуры, метаморфный слой, наногетероструктуры, сверхрешетки, молекулярно-пучковая эпитаксия.

1. Цель проекта

Реализуемый проект направлен на развитие высокотехнологичного производства концентраторных гетероструктурных фотоэлектрических преобразователей нового поколения, эффективность которых заметно превышала бы все существующие на сегодняшний день мировые аналоги.

Целью реализуемого проекта является разработка оригинальной конструкции и технологии изготовления 4х-переходного солнечного элемента на основе германия, соединений группы А3В5 (InGaAs, InAlGaAs) и соединений группы А2В6 (ZnCdSSe), оптимизированного по величине коэффициента полезного действия в условиях 500 солнц – не менее 38%, что на 9% превышает типичные параметры промышленно изготавливаемых в России 3х-переходных солнечных элементов и является рекордным значением для российских лабораторных разработок. На основе полученных результатов должен быть разработан Проект технического задания на проведение ОКР, нацеленных на реализацию многопереходных фотоэлектрических преобразователей с оптимизированными характеристиками фотоактивных переходов и суммарной эффективностью более 40%.

2. Основные результаты проекта

За счет средств федерального бюджета:

Разработаны производственная методика и технологический регламент изготовления методом молекулярно-пучковой эпитаксии тестовых структур короткопериодных сверхрешеток ZnSSe/CdSe двух типов: "псевдоморфных сверхрешеток" с параметром решетки Ge и "метаморфных сверхрешеток" с параметром решетки тройного твердого раствора $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$. Изготовлены три образца "псевдоморфных сверхрешеток" и три образца "метаморфных сверхрешеток" тестовых структур ZnSSe/CdSe.

Проведены измерения оптических характеристик тестовых структур короткопериодных сверхрешеток ZnSSe/CdSe: трех тестовых образцов "псевдоморфных сверхрешеток" и трех тестовых образцов "метаморфных сверхрешеток". Обработаны и интерпретированы измеренные характеристики.

Изготовлены тестовые структуры фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) в системе $(\text{In,Ga,Al})\text{As}$ в количестве: 3-х "псевдоморфных ФЭП" и 3-х "метаморфных ФЭП".

Проведены измерения электрооптических характеристик тестовых структур метаморфных ФЭП в системе $(\text{In,Ga,Al})\text{As}$ в количестве трех штук. Обработаны и интерпретированы измеренные характеристики.

За счет внебюджетных средств:

Проведена отработка основных элементов постростовой планарной технологии для макетов полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей на основе наноструктур соединений A3B5.

Во всех изготовленных образцах "псевдоморфных сверхрешеток" и "метаморфных сверхрешеток" суммарная толщина сверхрешеток превышала 0.5 мкм, а концентрация протяженных дефектов в "псевдоморфных сверхрешетках" не превышала $1 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$. Полученные структурные характеристики соответствуют ТЗ ПНИ и находятся на уровне лучших мировых достижений.

Во всех образцах параметр "Отношение интенсивности излучения квантовой ямы и сверхрешетки" превышал 10, ширина запрещенной зоны тестовых образцов "псевдо-морфных сверхрешеток" находилась в диапазоне 2.3-2.5 эВ, а ширина запрещенной зоны тестовых образцов "метаморфных сверхрешеток" находилась в диапазоне 2.0-2.3 эВ. Полученные оптические и транспортные характеристики соответствуют ТЗ ПНИ и не имеют аналогов в мировой литературе.

В ФЭП измеренная концентрация протяженных дефектов в области фотоактивного перехода не превышала $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ для метаморфных ФЭП и $1 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ для псевдоморфных ФЭП. Полученные структурные характеристики соответствуют лучшим мировым достижениям.

Во всех испытанных образцах ФЭП параметры темновых и нагрузочных ВАХ находились в пределах допустимых отклонений, что подтверждает соответствие развитых методик изготовления ФЭП требованиям ТЗ ПНИ.

В результате процесса отработки постростовой технологии ФЭП на основе наноструктур $(\text{In,Ga,Al})\text{As}$ получены результаты:

- спроектированы фотошаблоны;
- отработано химическое травление для очистки тыльной стороны структуры;
- отработано формирование омических контактов с низким сопротивлением к контактным слоям структуры n- и p-типа проводимости;
- отработано нанесение просветляющего покрытия;
- отработано разделительное травление.

Разработанные постростовые методики явились важным звеном в технологической цепочке изготовления тестовых образцов ФЭП в системе $(\text{In,Ga,Al})\text{As}$.

Достиженные результаты позволяют сделать вывод о перспективности дальнейшего продолжения работ по проекту.

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

4. Назначение и область применения результатов проекта

Конечным изделием, в состав которого входит 4х-переходный гетеровалентный солнечный элемент, является компактный, мобильный, автономный источник энергии, востребованный в различных областях народного хозяйства, где требуется обеспечение энергией локальных потребителей в сравнительно небольших объемах (до 100 кВт). С другой стороны, модульный принцип построения устройств на основе концентраторных многопереходных фотоэлектрических преобразователей обеспечивает возможность создания крупных энергетических станций мощностью до тысячи кВт и более, характеризующихся высокой экологичностью.

Результаты проекта должны стать основой для проведения индустриальным партнером (ЗАО "Светлана-Рост", Санкт-Петербург) ОКР, нацеленной на разработку опытных образцов - прототипов устройств концентраторных фотоэлектрических преобразователей. Результаты ПНИ должны быть внедрены в образовательный процесс (курсы лекций на кафедрах в СПб ГПУ, СПбГЭТУ, СПбГУ НОЦ ИТ РАН). По теме ПНИ будет подготовлена к защите диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. Внедрение и коммерциализация результатов проекта может стимулировать дальнейшие отечественные разработки в области конструирования и производства высокотехнологичного оборудования для эпитаксиального роста полупроводниковых гетероструктур.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Основными преимуществами внедрения эффективных фотоэлектрических преобразователей являются: неисчерпаемость источника энергии, возможность производства энергии непосредственно вблизи конечного потребителя, экологичность процесса фотопреобразования. В некоторых отраслях хозяйства применение фотоэлектрических преобразователей является необходимым условием. Так, солнечные батареи на основе фотоэлектрических преобразователей являются основным источником энергоснабжения космических аппаратов, и их эффективность, надежность и другие эксплуатационные характеристики в существенной степени определяют успех программ по освоению космического пространства.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Коммерциализация результатов проекта возможна в форме выполнения промышленным партнером опытно-конструкторских работ, направленных на разработку комплекта рабочей конструкторской документации в объеме достаточном для постановки разработанных фотоэлектрических преобразователей на производство. Потенциальными потребителями данной разработки являются ОАО «НПП «Квант» (Москва) и ОАО «Сатурн» (Краснодар), специализирующиеся на коммерческом выпуске фотоэлектрических преобразователей.

Согласно аналитическим данным консалтинговой фирмы Lux Research на конец 2012 года объем мирового рынка солнечной энергетики составил 31 ГВт (~\$70 миллиардов). Пик ежегодного роста рынка солнечной энергетики пришелся на 2011 год и составил 77% по сравнению с предшествующим годом. Однако уже следующий (2012) год показал существенно меньший годовой рост мирового рынка - всего в 15%. По сегодняшним прогнозам к 2018 году ожидается двукратный прирост по сравнению с 2012 годом, в первую очередь за счет Китая (12.4 ГВт), США (10.8 ГВт), Японии (7.9 ГВт) и Индии (5.6 ГВт), что составляет порядка 60% всего прогнозируемого объема рынка 2018 года. В настоящее время больше половины объема рынка солнечной энергетики приходится на страны Европы, Ближнего Востока и Африки, однако к 2018 году прогнозируется фактически нулевой рост этой части рынка и уменьшение ее относительной доли до 40%. Точный прогноз развития российского рынка солнечной энергетики в настоящее время затруднителен. Одним из заметных потребителей результатов проекта может стать российская космическая отрасль, связанная с осуществлением орбитальных полетов и освоения Луны.

7. Наличие соисполнителей

Не предусмотрены проектом.

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

директор
(должность)


(подпись)

Забродский А.Г.
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Заведующий Лабораторией Квазоворазмерных
гетероструктур

(должность)


(подпись)

Иванов С.В.
(фамилия, имя, отчество)

