

## **Отчёт о выполненных работах**

**В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 19 августа 2015 г. № 14.578.21.0103 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 01.01.2016 по 30.06.2016 выполнялись следующие работы**

### **1 Работы, выполненные (выполняемые) в отчетный период**

#### **1.1 Работы, выполненные (выполняемые) за счет средств субсидии**

Раздел содержит описание выполненных на отчетном квартале работ по пунктам Плана-графика исполнения обязательств (ПГ)

По п.2.1 ПГ: Разработан технологический процесс изготовления преобразователей энергии ионизирующего бета-излучения в электрическую энергию прямого действия на основе радиационно-стойких полупроводниковых структур.

По п.2.2 ПГ: Изготовлены экспериментальные образцы преобразователей.

#### **1.2 Работы (мероприятия), выполненные (выполняемые) за счет внебюджетных средств**

По п.2.3 ПГ: Разработана Программа и методики исследовательских испытаний экспериментальных образцов преобразователей.

По п.2.4 ПГ: Разработан и изготовлен держатель для закрепления экспериментальных образцов преобразователей при осуществлении воздействия ионизирующего бета-излучения.

### **2 Основные результаты, полученные в отчётный период**

1) Краткое описание основных полученных результатов:

В результате выполнения работ по первому этапу получены следующие научные и методические результаты:

- разработан технологический процесс изготовления преобразователей энергии ионизирующего бета-излучения в электрическую энергию прямого действия на основе радиационно-стойких полупроводниковых структур. Данный техпроцесс включает в себя такие технологические операции как изготовление рабочей полупроводниковой структуры с заданным профилем легирования, отделение рабочей структуры от подложки с использованием метода ионной имплантации, формирование металлических контактов и электродов. Предложен ряд оригинальных решений, направленных на повышение производительности операций и уменьшения процента брака, что должно способствовать снижению стоимости готового преобразователя;

- разработанный технологический процесс изготовления преобразователей энергии ионизирующего бета-излучения в электрическую энергию прямого действия на основе радиационно-стойких полупроводниковых структур оформлен в виде комплекта технологической документации;

- изготовлены экспериментальные образцы преобразователей энергии бета-излучения. Для выполнения требований Технического задания по общему количеству экспериментальных образцов был разработан детальный сетевой график процесса изготовления, который предусматривал привлечение технологического оборудования трех организаций (МФТИ,

ТИСНУМ, НИИЯФ МГУ) и распараллеливание за счет одновременной работы с двумя наборами алмазных пластин-заготовок. Образцы преобразователей изготовлены силами сотрудников ЦКП МФТИ. Для изготовления экспериментальных образцов преобразователей энергии бета-излучения использованы экспериментальные образцы алмазных пластин-заготовок, подготовленные в рамках выполнения первого этапа работ;

- разработана программа и методики исследовательских испытаний экспериментальных образцов преобразователей. Для определения основных характеристик преобразователей энергии предложено использовать растровый электронный микроскоп, который выступает в роли модельного источника ускоренных электронов с высокой стабильностью и возможность точной настройки параметров облучения. Отработка и методов испытаний проводилось на тестовых образцах алмазных диодов Шоттки, которые по своей структуре и принципу работы близки к разрабатываемым преобразователям;

- разработана конструкция держателя для закрепления экспериментальных образцов преобразователей для обеспечения экспериментальных исследований стабильности их характеристик во времени с использованием средств моделирования воздействия бета-излучения. В работе предложено в качестве модельного источника бета-излучения использовать микротрон-инжектор, входящий в состав уникальной научной установки федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук «Ускорительный комплекс ФИАН «Пахра» С-25Р». Основная суть метода исследования стабильности характеристик преобразователя энергии во времени заключается в накоплении эквивалентной поглощенной дозы бета-излучения в его объеме за существенно более короткое время, чем это будет происходить в элементе питания под воздействием радиоизотопа никель-63. Разработанная конструкция держателя обеспечивает выполнение необходимых требований Технического задания, а также возможность интеграции в штатную конструкцию установки для исследования свойств материалов на пучках релятивистских электронов от микротрона-инжектора;

- осуществлено изготовление держателя экспериментальных образцов согласно разработанной конструкторской документации.

## 2) Оценка элементов новизны научных, конструкторских и технологических решений:

В настоящее время в мире имеются полупроводниковые преобразователи, основанные на  $p-n$  переходе в кристаллах кремния, однако срок их службы ограничен из-за быстрого накопления радиационных дефектов в кремнии под действием высокоэнергетических продуктов радиоактивного распада, которое значительно снижает КПД преобразования. Для решения этой проблемы в качестве рабочей среды преобразователя предлагается использовать синтетические монокристаллы алмаза, обладающие высокой радиационной стойкостью. Кроме того за счет большой ширины запрещенной зоны алмаза (~5.5 эВ) возрастает выходное напряжение и увеличивается КПД преобразователя бета-излучения, что связано с уменьшением относительных затрат энергии на рождение электрон-дырочных пар. Данное обстоятельство позволяет ожидать получение полупроводниковых преобразователей с увеличенным не менее чем на 50% КПД преобразования по сравнению с аналогами на кремнии.

## 3) Оценка соответствия полученных результатов техническим требованиям к выполняемому проекту и перспектив продолжения работ по проекту:

Полученные результаты соответствуют техническим требованиям к второму этапу выполняемого проекта.