

**Результаты проекта, выполненного в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-
технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»
по этапу № 4**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.580.21.0003

Тема: «Создание высокоэффективных бета-вольтаических элементов питания с длительным сроком службы на основе радиационно-стойких структур»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом

Период выполнения: 19.08.2015 - 31.12.2017

Плановое финансирование проекта: 187.50 млн. руб.

Бюджетные средства 187.50 млн. руб.,

Внебюджетные средства 0.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "ИнвестТехнологии"

Ключевые слова: БЕТА-ВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ШИРОКОЗОННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК, ИЗОТОПНАЯ ОЧИСТКА, ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ЯДЕРНАЯ БАТАРЕЯ, КОНТАКТ ШОТКИ, БАРЬЕРНАЯ СТРУКТУРА, НЕРАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА, БЕТА-РАСПАД, ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ЗОННАЯ СТРУКТУРА

1. Цель проекта

Основной целью настоящих ПНИЭР, реализуемых в рамках комплексного проекта, является разработка базовых конструкций и технологий создания автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания различного назначения с удельной мощностью не менее 50 мкВт/см³ и сроком службы не менее 20 лет для нужд ядерной энергетики, авиакосмической техники, нано- и микроэлектроники, биомедицины и специальной техники, что будет способствовать повышению экспортного потенциала России и снижению импортной зависимости в стратегически важных отраслях промышленности.

2. Основные результаты проекта

Проведены патентные исследования, выполнен аналитический обзор современной литературы, выполнена сравнительная оценка возможных направлений исследований, обоснован выбор оптимального варианта решения задачи создания радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания (ЭП).

Проведены теоретические исследования эффективности передачи энергии, выделяемой в радиоизотопе никель-63 при бета-распаде, преобразователю с учетом геометрии расположения преобразователей и изотопа в сборке. Разработана математическая модель процесса генерации тормозного ионизирующего излучения, возникающего при торможении бета-частиц в источнике и защитном экране. Проведены расчеты массогабаритных характеристик радиационной защиты ЭП.

Разработана рабочая технологическая и рабочая конструкторская документация для изготовления ЭП. Выполнена метрологическая экспертиза технической документации.

Изготовлены опытные образцы ЭП, проведены их исследовательские, предварительные и приемочные испытания. Продемонстрировано, что разработанная технология позволяет изготовить ЭП с достижением удельной мощности более 50 мкВт/см³ и сроком службы не менее 20 лет. Подтверждена стойкость ЭП к внешним воздействующим факторам, соответствующим условиям использования в составе бортовой аппаратуры космической техники. На основе результатов приемочных испытаний технической документации присвоена литера О₁. Разработаны технические условия на ЭП. Разработаны рекомендации по промышленному освоению и эксплуатации разработанных ЭП. Проведен поиск потенциальных потребителей разработанных изделий, выявлен спрос на ЭП в области медицинских имплантатов и космической техники. Выполнены обобщение и оценка результатов ПНИЭР.

Впервые в мире продемонстрировано достижение удельной мощности более 50 мкВт/см³ в радиационно-стимулированных элементах питания на основе бета-распада радиоизотопа никель-63. Столь высокая удельная характеристика обусловлена использованием сверхтонких полупроводниковых преобразователей из синтетического алмаза, что позволяет максимально эффективно использовать внутренний объем элемента. Дополнительно разработанное изделие отличается высоким КПД преобразования энергии (в 3 раза выше, чем у кремниевых аналогов), выделяющейся при распаде бета-источника, в электроэнергию, что позволяет существенно снизить себестоимость источника за счет более экономичного расходования дорогостоящего радиоизотопа с высокой степенью обогащения. Проведенный комплекс испытаний опытных образцов подтверждает усиленный уровень эксплуатационной надежности изделия (гарантированный срок службы более 20 лет), что дает большое конкурентное преимущество в автономности по сравнению с традиционными химическими источниками тока. Разработанная модульная конструкция позволяет собирать элементы питания с различным уровнем выходной мощности, используя унифицированные составные части, комплектующие и оснастку, что обеспечивает возможность производства изделий оптимизированных под требования потребителей.

3. Назначение и область применения результатов проекта

Полученные результаты комплексного проекта позволят Индустриальному партнеру освоить производство нового поколения автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания с длительным сроком службы постоянного и переменного тока, работающих в широком диапазоне выходных напряжений (1,5 – 9 В), выходных токов (от 10 мкА) и мощностей (в зависимости от параметров), предназначенных для питания датчиков и устройств различного назначения. В настоящее время потребность в компактных необслуживаемых элементах питания повышенного срока службы для радио- и электронной аппаратуры крайне высока и не ограничивается областями микроэлектроники. В первую очередь, такие элементы питания востребованы в аэрокосмической отрасли, а также в медицинской, военной, геологоразведательной и нефтедобывающей. Создание таких элементов питания позволит значительно увеличить обороноспособный потенциал России и открыть новые возможности по исследованию труднодоступных областей, а также достичь нового уровня производства и технологий.

Радиационно-стимулированные источники питания в сравнении с химическими элементами питания обладают на несколько порядков большей плотностью энергии. Срок службы таких источников зависит от скорости распада радиоизотопа и может достигать 100 лет. В качестве радиоактивного элемента-источника энергии может выступать любой радиоизотоп с длительным временем жизни, распадающийся по бета-минус каналу.

Разработка компактных необслуживаемых элементов питания повышенного срока службы соответствует требованиям обеспечения технологической независимости и импортозамещения для нужд стратегических отраслей, таких как ядерная промышленность, космическая и медицинская техника, автономные маяки и метеостанции. Создание автономных приборов на основе элементов питания сроком службы более 20 лет позволит достичь нового уровня развития космической, медицинской и специальной техники, а также повысить безопасность ядерных объектов на территории РФ.

При изготовлении радиационно-стимулированных источников питания могут быть использованы как специально нарабатываемые радионуклиды, так и радионуклиды, являющиеся побочным продуктом работы атомных электростанций, что является эффективной альтернативой их захоронению.

Проект поддержан Министерством Энергетики Российской Федерации, Государственной корпорацией по атомной энергии "Росатом" и технологической платформой "Материалы и технологии металлургии".

4. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение результатов проекта позволит в ближайшей перспективе удовлетворить существующую высокую потребность в элементах питания для автономной аппаратуры, функционирующей в условиях невозможности обслуживания (зарядки, заправки топлива или замены источника напряжения). Разрабатываемое новое поколение автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания и батарей на их основе позволит создать стратегический задел в области специальных источников питания, нацеленный на:

- 1) Обеспечение безопасности на атомных станциях за счет создания энергонезависимых систем контроля;
- 2) Обеспечение автономным питанием специальной техники;
- 3) Освоение космоса за счет создания автономных необслуживаемых спутников и зондов;
- 4) Развитие медицины за счет создания нового поколения необслуживаемых имплантов;
- 5) Освоение труднодоступных регионов, в частности, крайнего Севера, за счет создания автономных геолого-разведывательных зондов, энергонезависимых сенсоров, буев и т.д. Создание нового поколения элементов питания обеспечит повышение обороноспособности и технологической безопасности РФ за счет создания аналогичных или превосходящих аналогичные зарубежные образцы элементов питания и на основе отечественных компонентов и комплектующих.

Планируемый масштаб выпуска продукции и ее рабочие характеристики обеспечат полное замещение импортных аналогов Widetronix (Firefli-T, Firefli-N), City Labs (ERDIP, LCC) и BetaBatt (Trench, Fill-Jelli-Roll) в отечественных отраслях промышленности.

Элементы питания нового поколения на временном горизонте 5-6 лет в сравнении с изделиями конкурентов (мировыми аналогами) будут отличаться:

1) повышенной не менее чем в 2 раза эффективностью (КПД) преобразования энергии, выделяющейся при распаде бета-источника, в электроэнергию, что позволит в перспективе снизить себестоимость источника примерно на 50% за счет более экономичного расходования дорогостоящего радиоизотопа с высокой степенью обогащения.

2) увеличенной на 50% удельной мощностью, что позволит снизить на треть массогабаритные показатели элементов питания батарей на их основе с сохранением требуемого уровня выходной мощности.

3) усиленным уровнем эксплуатационной надежности за счет использования преобразователей с длительным сроком службы (более 20 лет) на основе радиационно-стойких материалов.