

**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)**  
14.625.21.0031

**Название проекта**

Разработка технологий получения высокоэффективных источников бета-излучения для радиационно-стимулированных элементов питания

**Тематическое направление**

Индустрия наносистем

**Исполнитель**

Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский институт Научно-производственное объединение "ЛУЧ"

**Цели и задачи исследования**

Цель исследования - разработка технологии получения эффективных источников бета-излучения на основе радиоизотопа никель-63 с высокой степенью обогащения и удельной активностью 40 Кюри на грамм для использования в составе автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания различного назначения. Настоящие ПНИ являются составной частью комплексного проекта ПНИЭР по теме: «Создание высокоэффективных бета-вольтаических элементов питания с длительным сроком службы на основе радиационно-стойких структур».

Для достижения поставленной цели - создания нового автономного источника питания на основе радиоизотопных материалов с радикально лучшими характеристиками необходимо решить следующие основные задачи:

- определить эффективную толщину источника бета-излучения;;
- разработать технологию изготовления источника бета-излучения;
- отработать и оптимизировать основные технологические операции изготовления источника бета-излучения;
- изготовить макеты источника бета-излучения и исследовать их характеристики;
- разработать оптимальный способ совмещения источников бета-излучения и преобразователей энергии бета-излучения с целью создания генераторной части элемента питания.

**Актуальность и новизна исследования**

В настоящее время, в связи с развитием микросистем, появилась необходимость в автономных источниках электроэнергии, которые могли бы обеспечить многолетнее автономное энергоснабжение микроэлектронной техники. В частности, такая техника необходима для решения следующих актуальных задач:

- 1) распределенный многофункциональный мониторинг в системах контроля технического состояния, безопасности и охраны различных объектов на основе микродатчиков;
- 2) поддержание дежурного режима (standby) в системах, обеспечивающих включение основной аппаратуры при поступлении команды или по достижению

заданного значения контролируемого внешнего параметра.

Источники энергии должны быть соизмеримы по весогабаритным показателям с другими элементами микросистем и функционировать в течение десятилетий.

Современные электрохимические источники тока не всегда удовлетворяют этим требованиям. Перспективным решением проблемы можно рассматривать использование энергии радиоактивного распада при ее прямом преобразовании в электричество (минуя тепловую энергию).

Разработки устройств, осуществляющих прямое преобразование энергии заряженных частиц радиоактивного излучения, названных ядерными батареями (ЯБ) второго типа, начались в начале 50-х годов прошлого века. Однако спрос на эти устройства и их эффективность в то время были слишком малы. В настоящее время такие устройства чаще называют бета-вольтаическими элементами, а перспективы повышения их эффективности связывают с применением современных материалов и технологий.

### **Описание исследования**

На начальном этапе исследований разработана технология получения источников бета-излучения на основе радиоизотопа Ni-63 (слоя никеля в виде фольги с высокой степенью обогащения). Учитывая сложность разработанного технологического процесса получения металлической фольги никеля из раствора хлорида никеля в соляной кислоте, с целью уточнения и оптимизации его параметров исследованы следующие “узловые” технологические операции: процесс получения порошка оксалата никеля; процесс получение порошка металлического никеля; плавление металлического порошка никеля; многостадийную прокатку слитка в фольгу.

### **Процесс получения порошка оксалата никеля.**

Для данного процесса необходимо установить влияние температуры осаждения оксалата никеля из раствора хлорида никеля на средний размер и фракционный состав осаждаемого порошка. Данные характеристики, необходимы, во-первых, для своего рода входного контроля порошка оксалата никеля перед операцией его восстановления до металла, а также с целью прогнозирования фракции металлического порошка после процесса восстановления.

Совместное применение лазерного анализатора размеров частиц и методов электронной микроскопии позволяет установить численное значение среднего размера частиц и получить информацию о форме и размерах конгломератов в которые они собраны. Применение лишь одно из этих методов исследований качественно снижает информативность получаемых данных.

### **Процесс получение порошка металлического никеля.**

В данной технологической операции исследуемыми параметрами являлись форма, размеры, химический состав порошка металлического никеля после процесса восстановления. Форма и размеры частиц порошка определяют его насыпную плотность, что важно для операции загрузки порошка в тигель. Процесс получение металлического порошка должен проводиться в условиях минимизации внесения примесных элементов, так как при последующем проведении операции прокатки возможно образование хрупких соединений, снижающих механические свойства никелевой фольги, с образованием

несплошностей. Тем самым, химический анализ никелевых порошков после процессов восстановления должен являться неотъемлемой частью исследований. Факторами, оказывающими влияние на исследуемые параметры в данной операции, являются среда и режимы восстановления оксалата никеля.

Преимуществами электронной микроскопии являются оперативное получение данных о размерах частиц порошка, их форме и элементному составу. Однако, в процессе исследований можно лишь качественно установить значения по таким элементам как кислород и углерод. Дополнительно применив в данной задаче методы реакционной газовой хроматографии удастся получить количественное содержание данных элементов.

### **Плавнение металлического порошка никеля.**

В данной технологической операции необходимо подобрать материал и форму тигля для процесса плавления, исследовать температурно – временной режим плавки. Материал и форма тигля должны удовлетворять следующим условиям: количество исходного порошка никеля менее 1г, засыпка порошка никеля в тигель производится под собственным весом, тигель совмещен с литейной формой и обладает низкой смачиваемостью. В соответствии с литературными данными, исследуемый температурный интервал процесса плавления порошка никеля лежит в диапазоне от 1470 до 1510 °С. Полученные образцы необходимо охарактеризовать с точки зрения анализа структуры (полнота прохождения плавки, размер зерна), наличия/отсутствия дефектов (является важным с точки зрения последующей многостадийной прокатки, образования дефектов), величины микротвердости (характеристика механических свойств образца и его структурных составляющих).

### **Многостадийная прокатка слитка в фольгу.**

Результатом исследования данной операции должно стать подтверждение данных, полученных на первом этапе работ, а именно: поперечная и поверхностная текстуры, изменение длины никелевой фольги от количества проходов, зависимость толщины от длины при прокатке никелевой фольги. В дополнении к этому необходимо дать характеристику фольг после “окончательной” прокатки с точки зрения: значения толщины фольги, нарушения сплошности, величины разнотолщинности, механических свойств (фрактографический анализ) и данных по примесному составу. Оценить механические характеристики фольг на этапах многостадийной прокатки согласно ГОСТ не представляется возможным (они отсутствуют). В этой связи целесообразно применить совместно методы фрактографического анализа и электронной микроскопии, позволяющие качественно охарактеризовать структуру излома.

### **Результаты исследования**

На первом этапе работ проведен анализ современной научно – технической литературы по данной тематике, выбран оптимальный метод с точки зрения минимальных потерь радиоактивного изотопа Ni-63– метод формирования слоя в

виде тонких микронных фольги разработана технология получения никелевой фольги толщиной от 1,5 до 3 мкм.

На втором этапе разработана программа и методики исследовательских испытаний технологического процесса получения источника бета-излучения, направленная на отработку и оптимизацию основных технологических режимов и параметров процесса создания никелевой фольги заданных параметров.

Проведены исследовательские испытания технологического процесса получения источника бета-излучения, включающие получение металлического порошка никеля, получение заготовки требуемой формы, прокатку заготовки в фольгу микронных толщин, изготовление макета источника бета-излучения.

По результатам исследований технологической операции получения порошка оксалата никеля определен оптимальный температурный режим осаждения – 40 °С, длительность процесса осаждения 1 час, процесса отстаивания 48 часов.

Процесс восстановления оксалата никеля до металлического порошка рекомендовано проводить в среде водорода, обеспечивающего получение наноразмерных и субмикронных порошков с минимальным количеством дефектных гранул, низким содержанием газовых примесей, высоким выходом годного, заданных фракций. Температура восстановления 400 °С, длительность процесса 1 час.

Установлен температурно – временной режим плавки металлического порошка: температуре 1510 °С в атмосфере аргона, длительность высокотемпературной выдержки 0,5 часа, а также материал тигля – оксид циркония стабилизированный иттрием, обладающей низкой смачиваемостью и взаимодействием с никелем.

Показано, что процесс многостадийной прокатки с промежуточными отжигами и с последующей прокаткой в «конверте» имеет высокую стабильность (повторяемость). Изготовленные никелевые фольги удовлетворяют требованиям по толщине, сплошности, шероховатости поверхности и разнотолщинности. Изготовлены макеты источника бета-излучения для совмещения с полупроводниковыми и МЭМС преобразователями.

Разработаны программа и методики сравнительных экспериментальных исследований способов совмещения источников бета-излучения и преобразователей энергии бета-излучения.

Осуществлен выбор и обоснование возможных способов качественного и надежного совмещения источника бета-излучения и преобразователей энергии бета-излучения. Разработан комплект технологической документации по совмещению источника бета-излучения в форме раствора соли и преобразователя энергии с использованием метода химического осаждения.

Разработан комплект технологической документации по совмещению источника бета-излучения в форме фольги и преобразователя энергии с использованием метода механического совмещения и приклеивания.

### **Практическая значимость исследования**

Разработка предназначена для создания эффективных источников бета-излучения и использования их в различных областях науки и техники в составе автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания различного назначения, в том числе, в области ядерной медицины, источников питания для маячков в труднодоступных местах, космической и компьютерной техники. Предлагаемая к разработке ядерная батарея на основе радиоизотопа Ni-63 должна быть экологически безопасной и не требующей обслуживания, стойкой к воздействиям окружающей среды, вырабатывающей электроэнергию не менее 50 лет за счёт бета-распада (100 лет период полураспада Ni-63). Одним из возможных примеров применения такого источника питания является использование в элементе питания кардиостимуляторов.