

**Резюме проекта, выполняемого
в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-
технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»
по этапу №1**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.604.21.0083

Тема: «Разработка квантовых сенсоров на основе карбида кремния и создание диагностического приборного комплекса для сканирующей магнитометрии и термометрии»

Приоритетное направление: «Индустрия наносистем»

Критическая технология: 11. Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств

Период выполнения: 30 июня 2014 – 31 декабря 2016

Плановое финансирование проекта:

Бюджетные средства: 26 млн. руб.,

Внебюджетные средства: 6,5 млн. руб.

Получатель/Исполнитель: ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Индустриальный партнер: Закрытое акционерное общество «Нанотехнология МДТ»

Ключевые слова: Микроскопия, конфокальная микроскопия, электронный парамагнитный резонанс, оптически-детектируемый магнитный резонанс, карбид кремния, сенсорика, магнитометрия, термометрия

1. Цель проекта

Магнитооптические свойства одиночных центров и их ансамблей в полупроводниковых материалах позволяют использовать их для создания принципиально новых квантовых сенсоров для регистрации магнитных полей и температур с высокой чувствительностью и с высоким пространственным разрешением. Проект направлен на поиск и идентификацию центров в карбиде кремния, обладающих свойствами оптимальными для их использования в качестве высокочувствительных квантовых сенсоров магнитных полей и температур, а также на интеграцию сенсоров в оптический конфокальный спектрометр магнитного резонанса для создания нового класса приборов сенсорики - магнитометрии и термометрии с нанометровым пространственным разрешением.

2. Основные результаты проекта

В рамках ПНИ на первом этапе был проведен аналитический обзор литературы и патентный поиск, позволяющие более детально провести комплексный анализ проблемной области проекта, обосновать и выбрать оптимальное направление проведения ПНИ. В ходе первого этапа были разработаны методы оптического детектирования магнитного резонанса по люминесценции в диапазоне 1 МГц – 4 ГГц. Данный частотный диапазон является оптимальным для использования магнитооптических свойств дефектов в карбиде кремния. Были определены требования к экспериментальным образцам для калибровки спектрометра. В качестве образцов было предложено использовать хорошо исследованные «модельные» центры – азотно-вакансионные (NV) дефекты в алмазах. Для калибровки принципиальным является установление ориентации NV дефектов в алмазе. Результаты разработки требований легли в основу поданной заявки на патент. Были проведены работы, направленные на определение наиболее подходящих параметров изготовления карбида кремния. Были выполнены работы по изготовлению образцов и проведена их характеристика методами фотолюминесценции и электронного парамагнитного резонанса. Установлено, с повышением степени компенсации мелких донорных примесей эффективность создания вакансионных кремниевых центров с характерной флуоресценцией в ближнем ИК диапазоне возрастает. Был обозначен круг проблем, которые необходимо решить для создания сенсоров, а также разработаны подходы к регистрации магнитных полей и температур. По результатам проведенных исследований поданы к публикации 3 статьи и одна заявка на патент. Были исследованы принципиальные возможности создания вакансионных ОДМР центров в микронных, субмикронных и наноразмерных кристаллах 6H-SiC. Показано, что изменение размеров кристаллов карбида кремния не влияет на фундаментальные магнитооптические свойства вакансионных ОДМР-центров в нем.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки
Изобретение заявка № 2014150451 от 15.12.2014 «Способ определения ориентации NV дефектной структуры в алмазе», РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Полученные в ходе проекта результаты могут быть использованы для проведения опытно-конструкторских работ, направленных на создание спектрометра для квантовой магнитометрии и термометрии (диагностического комплекса) с использованием карбида кремния в качестве квантовых сенсоров магнитных полей и температур.

Области применения:

- контроль направленной имплантации, позиционирования, химической природы отдельных примесных атомов (например, фосфор, мышьяк, азот, бор, алюминий, алмаз) при создании приборов микроэлектроники, спинтроники,.
- магнитометрия с наноразмерным разрешением (nanoscale imaging magnetometry) для получения внутриклеточного спинового (электронного и ядерного) изображения, наноразмерное зондирование магнитных полей нейронов, белков, создание биометок и т.д.
- сверхлокальный контроль температур, за счет использования субмикронных зондов из карбида кремния

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

В результате проекта будет создана принципиально новая продукция, которая позволит значительно усилить конкурентные преимущества российской науки и бизнеса. В результате проекта будут получены принципиально новые разработки, которые позволят значительно усилить конкурентные преимущества российской науки и бизнеса.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Разрабатываемые сенсоры ориентированы на широкое применение в научно-исследовательских организациях и фирмах производителях наукоемкой продукции и будут конкурентоспособными на мировом рынке. Выполнение данного проекта обеспечит возможность использовать разработанные сенсоры для создания высокочувствительного диагностического комплекса для магнитометрии и термометрии и осуществить переход от прикладных научных исследований к опытно-конструкторским разработкам по теме: «Разработка спектрометра для квантовой магнитометрии и термометрии». По окончании этапа ОКР возможен серийный выпуск спектрометров для квантовой магнитометрии и термометрии. По результатам экспертных оценок рынок таких спектрометров при цене 30 — 35 млн. рублей может составить в среднем 20— 30 штук в год при пессимистичном прогнозе и до 50 штук при оптимистичном прогнозе.

7. Наличие соисполнителей

К выполнению работ привлекался соисполнитель: «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»). Соисполнитель привлекался согласно договору о НИР «Исследование процессов дефектообразования в монокристаллах и порошках карбида кремния» № 144601413 от 17 ноября 2014 г между ФТИ им. А.Ф. Иоффе и ФГАОУ ВО «СПбПУ».

Часть работ, осуществляемых за счет внебюджетных средств в рамках первого этапа проекта, выполнялась индустриальным партнером ЗАО «Нанотехнология МДТ» за счет собственных средств.

Директор
ФТИ им. А.Ф.Иоффе

Руководитель работ в зав.

лаб

МП

А.Г. Забродский

П.Г. Баранов

