

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Анисимова Андрея Николаевича** на тему «Магнито-оптическая резонансная спектроскопия и микроскопия спиновых центров окраски в карбиде кремния, перспективных для создания квантовых сенсоров магнитного поля и температуры», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Исследования свойств парамагнитных глубоких центров в полупроводниках, спиновыми состояниями которых можно манипулировать электромагнитным излучением из спектральных областей собственного или примесного поглощения, вызывают в настоящее время устойчивый интерес и являются актуальными как с теоретической, так и с экспериментальной точек зрения в связи с перспективой применения кристаллов с парамагнитными центрами в квантовых информационных технологиях, микроволновой технике, радиофотонике, метрологии микро- и нанобъектов, квантовой микросенсорике. Карбид кремния – единственный полупроводник, который имеет широкий спектр точечных вакансионных дефектов термической и радиационной природы с возможностью управления населенностями (вплоть до инверсии) зеэмановских спиновых уровней неполяризованным светом. Этот материал является сегодня наиболее перспективным для исследования свойств таких центров вследствие общепризнанных успехов в области промышленной технологии роста качественных объемных кристаллов 4H-SiC (в меньшей степени 6H-SiC) и гомоэпитаксиальных структур для приборов силовой и СВЧ-электроники. Возможности же практического применения результатов исследований в этой области определяются как развитием методов контролируемого введения точечных дефектов в SiC структуры, так и созданием высоколокальных методик контроля их спиновых и зарядовых состояний в условиях оптического возбуждения. Разработанные в диссертационной работе Анисимова А. Н. аппаратура и методики спектрометрии оптического детектирования магнитного резонанса в сочетании с конфокальной микроскопией и сканирующей зондовой микроскопией, а также полученные в работе результаты являются весомым вкладом в развитие этого направления исследований.

В диссертации получено довольно много новых результатов, наиболее значимыми из которых, на мой взгляд, являются:

- создание многофункциональной автоматизированной экспериментальной установки ОДМР, интегрированной с конфокальным и сканирующим зондовым

микроскопами, позволяющей получать спектральную информацию о парамагнитных центрах из выбранных субмикронных областей исследуемого объекта;

- обнаружение и исследование в высокоспиновых состояниях парамагнитных дефектов в кристаллах SiC эффектов антипересечения уровней и кросс-релаксационных резонансов, включая их ориентационные и температурные зависимости;

- разработка новых принципов работы квантовых сенсорных элементов, обеспечивающих измерения температуры и напряженности магнитного поля с высокой степенью локальности;

Все научные результаты, приведенные автором в автореферате диссертации, являются новыми. Их достоверность подтверждена хорошим соответствием расчетных и экспериментальных данных, полученных на различных кристаллах SiC в разных условиях эксперимента. Результаты работы прошли апробацию на многих российских и международных конференциях, опубликованы в ведущих российских и международных журналах, защищены четырьмя патентами РФ.

Замечаний принципиального характера по работе в том виде, как она представлена в автореферате, нет. Можно отметить неудачный, на мой взгляд, термин, используемый автором в тексте автореферата: «спиновые центры окраски в карбиде кремния» при описании свойств парамагнитных точечных дефектов в SiC, активных в инфракрасной области спектра.

В целом, исходя из материалов, представленных в автореферате, диссертационная работа Анисимова Андрея Николаевича «Магнито-оптическая резонансная спектроскопия и микроскопия спиновых центров окраски в карбиде кремния, перспективных для создания квантовых сенсоров магнитного поля и температуры» является законченным исследованием, выполненным на актуальную тему на высоком научном уровне. По новизне результатов, их научной и практической значимости она соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842. Автор диссертации Анисимов А. Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07— физика конденсированного состояния.

25.02.2019

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры микро- и наноэлектроники

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Зубков Василий Иванович

почтовый адрес: 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5

Тел.: +7 812 234-31-64

Эл.почта: vzubkovspb@mail.ru

Подпись В. И. Зубкова заверяю

Василий Иванович Зубков
и.з.

С.И. Зубков

