

Отзыв

официального оппонента на диссертацию соискателя Дмитриева Александра Константиновича на тему «Многочастотное возбуждение оптически детектируемого магнитного резонанса в центрах окраски в алмазе», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника

Актуальность работы.

В настоящее время, как в мире, так и у нас в стране активно ведутся фундаментальные исследования спиновых центров окраски в твердых телах и прикладные работы по их применению в различных областях науки и техники. Это обусловлено уникальными свойствами, характерными для таких квантовых объектов. В работе Дмитриева А.К. исследуется один из самых востребованных на сегодня центров окраски – азотно-вакансионный или NV центр в кристалле алмаза. Главным его преимуществом является возможность создавать методом оптической накачки существенную разность населенностей между спиновыми состояниями при комнатной температуре, что в совокупности с применимостью к NV центру методик оптически детектируемого магнитного резонанса объясняет актуальность такого объекта и, соответственно, выбранной темы диссертационной работы. Исследования, связанные с NV центром, имеют огромный потенциал как в фундаментальных задачах обнаружения и объяснения эффектов, происходящих в твердом теле, так и в прикладных задачах, – в первую очередь в квантовой магнитометрии, термометрии, гироскопии и квантовой обработке информации.

Научная новизна.

Отличительной особенностью работы является высокий уровень научной новизны, которого удалось достичь, несмотря на всестороннюю, казалось бы, исследованность главного объекта – NV центра. Важно отметить, что исследования выполнены специалистом в области квантовой магнитометрии, что редко встречается в работах по NV центрам. Оригинальный подход к исследованию, сочетающий в себе комбинирование радиочастотного возмущения, эффективную регистрацию оптического отклика на это возмущение и учет особенностей энергетической структуры NV центра, позволил достичь ряда интересных достижений. В работе представлены концепция микроразмерного векторного магнитометрического датчика и метод комбинированного радиочастотного возмущения, способствующий повышению его чувствительности, а также концепция магнитометрического датчика слабого поля,

не использующего СВЧ полей. Важным результатом является наблюдение автором в своих экспериментах оптически детектируемого резонанса, соответствующего ядерному переходу, – что открывает новые горизонты в области фундаментальных основ физики азотно-вакансионного центра. Совершенно новым результатом является экспериментальное наблюдение двухчастотных (СВЧ+ВЧ) резонансов; эти резонансы, обусловленные расщеплением Ауслера-Таунса в условиях антипересечения уровней, пригодны для реализации компактного стандарта частоты, применимого в условиях сильных механических воздействий.

Научная и практическая значимость определяется широким охватом сферы применения полученных в рамках диссертационной работы результатов. Стоит отметить, что они носят не только практический, но и фундаментальный характер.

Очевидно, что концепция магнитометрического датчика и методы повышения его чувствительности в схеме непрерывного возбуждения при комнатной температуре важны, прежде всего, для задач биофизики. Химическая инертность кристалла алмаза в совокупности с субмиллиметровым разрешением позволяют использовать датчик для исследования мозговой активности без деструктивного влияния на объект исследования.

Всесторонний анализ ОДМР спектров при двухчастотном возбуждении и теория объясняющая появление, наблюдаемых резонансов, в значительной мере улучшают понимание процессов, происходящих в структуре в слабых магнитных полях, характеризующихся проявлением антипересечения уровней в нулевом поле.

Отдельно необходимо упомянуть наблюдение ультразвукового резонанса в ОДМР спектре при одночастотном ВЧ возбуждении, что является доказательством возможности создания и детектирования разности населенностей в сверхтонкой структуре центра посредством оптической накачки без СВЧ полей.

Оценка содержания работы.

Диссертация состоит из Введения, шести глав и Заключения.

Во Введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, аргументирован выбор объекта исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, и дана общая характеристика работы. Введение в полной мере создает представление о работе.

В первой главе представлен обзор литературы. В этом разделе дана вся необходимая информация, касающаяся NV центра, его физических характеристик, свойств и методов применения. Также описаны особенности метода ОДМР,

используемого в исследовании в отношении к NV центру и достижения последних лет. Весь материал данной главы хорошо структурирован и полезен как для дальнейшего восприятия работы, так и для сторонних читателей в качестве самостоятельного дидактического пособия.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки, её особенностям, представлению сведений о её составных частях, а также характеристикам исследуемого образца.

В третьей главе изложены принципы и методы создания микроразмерного магнитометрического датчика на основе NV центров. Предложенная схема отличается возможностью определять направление внешнего магнитного поля и с высокой степенью чувствительности измерять компоненты его вектора. В основе полученных результатов лежат разработанные Дмитриевым А.К. методики максимального уменьшения области «мертвых» угловых зон, возникающих при перекрытии резонансных линий, и комбинированного возбуждения ОДМР для повышения чувствительности.

В четвертой главе представлены результаты одночастотного возбуждения ОДМР в алмазе без использования СВЧ полей. Обнаруженный ультразвукий резонанс, соответствующий ядерным переходам, свидетельствует о возможности влиять на ядерную ориентацию в структуре центра оптическими методами.

Работа, описанная в пятой главе, в полной мере охватывает особенности двухчастотного возбуждения ОДМР в алмазе комбинацией СВЧ и ВЧ полей в малых магнитных полях, включая в себя экспериментальное наблюдение и исследование, теоретическое объяснение, варианты применения. Наблюдаемые резонансы действительно представляют интерес в контексте построения стандартов частоты, а их теоретическое обоснование, опирающееся на расщепление Аутлера-Таунса в сильном радиочастотном поле и туннельные переходы Ландау-Зенера в условиях антипересечения уровней, носят фундаментальный интерес и дают возможность численного моделирования поведения системы в рамках прикладного применения.

Шестая глава посвящена исследованию эффекта магнитоиндуцированного поглощения радиочастотного ВЧ излучения при одночастотном возбуждении ОДМР в алмазе, и предложенному на основе этого эффекта датчику слабого магнитного поля. Отличительной особенностью этой работы является тот факт, что реализация такой магнитометрической схемы позволит применять NV центр в той области магнитных полей, где в рамках классических схем он практически терял чувствительность.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы

В целом, диссертационная работа Дмитриева А.К. является объемным хорошо структурированным трудом, в полной мере охватывающим особенности исследования ансамбля NV центров при непрерывном возбуждении методом ОДМР и его вариациями. Целый ряд предложенных автором вариантов практического применения NV центра в магнитометрии и стандартизации частоты объясняет значительный практический интерес для широкого круга исследователей.

Достоверность основных выводов и результатов работы подтверждается использованием современной экспериментальной техники и методиками возбуждения и регистрации магнитного резонанса, базирующимися на широко применимом методе ОДМР. Результаты работы находятся в согласии с теорией, воспроизводимы, непротиворечивы и сопоставимы с результатами исследований других исследователей. Все представленные в работе результаты опубликованы в ведущих научных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, а также апробированы на российских и международных конференциях.

Замечания по диссертационной работе.

1. В спиновом гамильтониане (формула 1.6 в тексте диссертации) не вполне корректно написано выражение для тонкой структуры
2. На многих рисунках и в их описании не приведена информация об ориентации кристалла алмаза в магнитном поле (например, рисунки 3.1, 3.12, 4.4 и т.д.).
3. В работе отсутствует описание ориентации кристалла алмаза относительно оси оптоволокна; было бы желательно привести соответствующую схему. Использовались ли разные варианты размещения кристалла алмаза на оптоволокне?

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку качества выполненной работы.

Аннотация диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Дмитриева Александра Константиновича «Многочастотное возбуждение оптически детектируемого магнитного резонанса в центрах окраски в алмазе» полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе

Российской академии наук» (от 19.08.2019), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы, Дмитриев Александр Константинович, несомненно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Официальный оппонент.

Доктор физико-математических наук, профессор,
Зав. лаб. микроволновой спектроскопии кристаллов
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

Баранов Павел Георгиевич

—
«23» сентября 2021 г.

Подпись Баранова П.Г. удостоверяю,
Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе
к. ф.-м. н.


Патров Михаил Иванович

Контактные данные

Почтовый адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26

Телефон: (812) 292 7320

e-mail: pavel.baranov@mail.ioffe.ru

