

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ликерова Родиона Фаридовича

«Релаксационные и магнитные свойства 3d- и 4f- ионов в монокристаллах ортосиликатов

$Y_2^{28}SiO_5$ и $Sc_2^{28}SiO_5$ по данным ЭПР»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.12 – Физика магнитных явлений.

Диссертация Родиона Фаридовича Ликерова посвящена исследованию структуры и релаксационных свойств примесных редкоземельных ионов и ионов группы железа в диэлектрических кристаллах ортосиликатов иттрия и скандия методами стационарного и импульсного ЭПР, которые являются наиболее информативными инструментами для изучения природы и ближайшего окружения парамагнитного иона, а также особенностей процессов релаксации. Активный интерес к изучению диэлектрических кристаллов с примесью переходных и редкоземельных ионов связан с развитием квантовых технологий и возможностью использования спиновых свойств этих ионов для квантовой обработки информации. Это стимулирует поиск новых материалов. Времена фазовой и спин-решеточной релаксации являются важнейшими параметрами, определяющими возможность применения таких систем. Они сильно зависят от конфигурации ближайшего окружения парамагнитного центра и взаимодействия с ним. Поэтому изучение особенностей процессов релаксации в кристаллах ортосиликатов иттрия и скандия с изотопом ^{28}Si , имеющим нулевой ядерный спин, важны как с фундаментальной точки зрения, так и для возможных практических применений. Проведенные в диссертации Р.Ф. Ликерова экспериментальные и теоретические исследования магнитных и релаксационных свойств ионов $^{171}Yb^{3+}$, $^{143}Nd^{3+}$, $^{53}Cr^{3+}$, $^{51}V^{4+}$ в монокристаллах ортосиликатов $Y_2^{28}SiO_5$ и $Sc_2^{28}SiO_5$ методами стационарного и импульсного ЭПР резонанса, несомненно, являются актуальным.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы и публикаций автора. Общий объем работы составляет 122 страницы, включая 39 рисунков, 14 таблиц и библиографию из 107 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследования с точки зрения развития области квантовой информатики и квантовых компьютеров, перечислены цели и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, описана научная и практическая значимость полученных результатов.

В **первой** главе приведен обзор литературных данных по полученным экспериментальными методами характеристикам примесных центров, образованных редкоземельными ионами и ионами группы железа в ортосиликатах иттрия и скандия, отражено их применение для создания лазеров. Обозначены задачи и цели диссертационной работы.

Во **второй** главе описаны исследуемые монокристаллы и их структура, объяснен выбор локальной декартовой системы координат D_1D_2b в моноклинной решетке. Рассмотрены также особенности применяемых методик импульсного ЭПР, в частности - методов Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG), стимулированного спинового эха и метода инверсии-восстановления.

Третья глава включает результаты оригинального экспериментального исследования спектроскопических характеристик примесных редкоземельных ионов $^{143}\text{Nd}^{3+}$ и $^{171}\text{Yb}^{3+}$ в монокристаллах ортосиликатов иттрия и скандия с изотопом кремния ^{28}Si , для которого ядерный спин равен нулю. Показано, что ионы неодима замещают иттрий в позиции, имеющей в ближайшем окружении семь ионов кислорода, а ионы иттербия, имеющие меньший радиус, замещают ионы иттрия с шестикратным и семикратным окружением. Проведена аппроксимация температурных зависимостей времени спин-решеточной релаксации для ионов иттербия и неодима суммой вкладов трех механизмов релаксации - прямого, рамановского и Орбаха-Аминова. *Впервые* показано влияние ядерного спина ионов кремния на рамановские процессы в температурной зависимости времени спин-решеточной релаксации ионов неодима в Y_2SiO_5 . Определены параметры кристаллического поля для ионов неодима в кристаллах ортосиликатов иттрия и скандия.

В **четвертой** главе представлены результаты изучения примесных ионов хрома в монокристаллах $\text{Y}_2^{28}\text{SiO}_5$ и $\text{Sc}_2^{28}\text{SiO}_5$ методами стационарного и импульсного ЭПР. Показано, что ионы трехвалентного хрома замещают ионы трехвалентного иттрия и находятся в окружении семи ионов кислорода. Определена область в угловой зависимости спектров ЭПР, в которой наблюдаются линии «запрещенных» сверхтонких переходов с изменением ядерного спина на единицу, причем их интенсивность превышает интенсивность разрешенных переходов. Определены условия наблюдения линий антипересечения уровней в спектре ЭПР. Проведены измерения температурных

зависимостей фазовой и спин-решеточной релаксации в диапазоне температур от 4.2 до 30 К. Температурная зависимость спин-решеточной релаксации промоделирована суммой трех процессов - прямого, Рамана и Орбаха-Аминова, что позволило определить энергетический интервал между основным и возбужденными уровнями. Показано, что времена спин-решеточной релаксации для ионов хрома при 10 К много больше, чем аналогичные значения для ионов иттербия и неодима.

В **пятой** главе рассмотрены спектроскопические особенности примесных ионов ванадия в скандиевом ортосиликате. Изучены ориентационные зависимости резонансных значений магнитного поля для сверхтонких компонент в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Доказано, что ионы ванадия замещают ионы скандия в кристаллографической позиции с семикратным окружением из ближайших ионов кислорода. Определены параметры сверхтонкой структуры для иона ^{51}V и параметры g-тензора. Показано, что валентность примесного иона соответствует V^{4+} . Измерены и проанализированы температурные зависимости времени фазовой и спин-решеточной релаксации.

В **заключении** представлены основные результаты диссертационной работы. На защиту вынесено четыре научных положения. Все выводы диссертации хорошо обоснованы и не вызывают возражений.

Научная новизна и достоверность

В диссертационной работе *впервые* проведены исследования и аппроксимация температурных зависимостей времени фазовой и спин-решеточных релаксации в новых выращенных кристаллах ортосиликатов иттрия и скандия со стопроцентным содержанием изотопа кремния Si^{28} , легированных примесными ионами 3d и 4f элементов.

Впервые изучены особенности спектроскопического поведения примесного иона ванадия V^{4+} в монокристалле ортосиликата скандия, что позволило получить параметры сверхтонкой структуры и g-тензора.

Впервые показано, что применение протокола Carr – Purcell – Meiboom – Gill для подавления эффекта спектральной диффузии позволяет увеличить время жизни когерентности спиновых состояний для хрома и иттербия в ортосиликатах.

Достоверность полученных экспериментальных данных подтверждается тщательной подготовкой и характеризацией образцов, выполнением калибровочных экспериментов, использованием современного оборудования, согласием полученных результатов с экспериментальными результатами других авторов и их непротиворечивостью с известными физическими моделями.

Практическая значимость работы

Автором была создана программа по определению параметров кристаллического поля на основе анализа параметров g -тензора и расположения штарковских уровней для ионов неодима, применимая для примесного иона в различных диэлектрических матрицах. Показано, что применимость редкоземельных ионов или ионов группы железа для квантовой памяти определяется выбором рабочего температурного диапазона. При температурах жидкого гелия преимущество за редкоземельными ионами, когда как в диапазоне выше 10 К выгоднее использовать ионы группы железа.

К важнейшим результатам диссертационной работы можно отнести следующее:

- Определены параметры эффективного спинового гамильтониана примесного иона ванадия в монокристалле ортосиликата скандия.

- Проведено сравнительное исследование времен фазовой релаксации для примесных ионов хрома, ванадия, иттербия и неодима, внедренных в диэлектрические матрицы ортосиликатов иттрия и скандия как с природным содержанием изотопов кремния, так и с изотопом кремния ^{28}Si .

- Определены параметры тонкой структуры и g -тензора примесного иона хрома ^{53}Cr в ортосиликатах иттрия и скандия в локальной системе координат, привязанной к декартовой системе координат D_1D_2b .

Каждый из этих результатов обладает несомненной **научной новизной и является практически значимым.**

Соискателем опубликовано 8 статей по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus, что соответствует статьям, опубликованным в журналах, входящих в перечень ВАК. Кроме этого, результаты, представленные в диссертации, были доложены на 6 международных и российских конференциях, что подтверждает высокий уровень проделанной работы.

Диссертация хорошо оформлена. Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации.

По работе имеется несколько замечаний:

1. В диссертации автор недостаточно обосновывает выбор конкретных ионов для проведения измерений времен спин-спиновой и спин-решеточной релаксации, не обсуждается, почему были выбраны именно ионы хрома и ванадия, а не другие ионы из группы железа.

2. В диссертации не указана погрешность определения экспериментальных параметров, например, на страницах 42, 47 и 86.
3. В работе не приведено объяснение локальной компенсации заряда для парамагнитного центра, образованного примесным ионом ванадия V^{4+} , замещающего трехвалентный ион скандия Sc^{3+} .

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

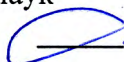
Диссертация Ликерова Родиона Фаридовича «Релаксационные и магнитные свойства 3d- и 4f- ионов в монокристаллах ортосиликатов $Y_2^{28}SiO_5$ и $Sc_2^{28}SiO_5$ по данным ЭПР», представляет собой законченное научное исследование в области физики магнитных явлений. Считаю, что представленная работа по актуальности решаемых задач, степени достоверности, объему, научной новизне и практической значимости результатов соответствует паспорту специальности 1.3.12. – «Физика магнитных явлений» и полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а её автор – Ликеров Родион Фаридович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. – Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник лаборатории микроволновой спектроскопии кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

29.02.2024

дата



Романов Николай Георгиевич/

Контактная информация:

телефон: +7 (812) 292-73-20, e-mail: nikolai.romanov@mail.ioffe.ru

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

Подпись кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника лаборатории микроволновой спектроскопии кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук Романова Н.Г. удостоверяю.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, кандидат физ.-мат. наук



Патров Михаил Иванович/