

Отзыв официального оппонента

д.ф.-м.н. Никифорова Сергея Владимировича на диссертацию
Лазаревой Натальи Львовны «Новые люминесцентные методы исследования образования и
свойств дефектов в диэлектрических кристаллах», представленную
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Актуальность работы.

Диссертация Лазаревой Н.Л. посвящена развитию новых люминесцентных методов, предназначенных для исследования линейного и нелинейного взаимодействия лазерного излучения с диэлектрическими кристаллическими средами, и применению этих методов для изучения механизмов образования и свойств точечных дефектов, индуцированных в этих кристаллах лазерным излучением и жесткой радиацией. Во всех предлагаемых методах предметом исследования послужили дефекты в диэлектрических кристаллах - ансамбли квантовых систем (центров окраски), индуцированных в объеме кристаллической среды. Предлагаемый подход к исследованию образования и свойств таких дефектов люминесцентными методами, позволяющий изучать даже единичные квантовые системы, обеспечивает высокую чувствительность, что является важным фактором для диагностики различных материалов в физике, химии, геологии, минералогии, медицине. Поэтому тема диссертационной работы является, несомненно, актуальной.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа Лазаревой Натальи Львовны состоит из введения, трех глав и заключения. Каждая из трех представленных глав посвящена разработке и применению отдельной оригинальной люминесцентной методики исследования в физике конденсированного состояния. Результаты диссертационных исследований изложены на 109 страницах машинописного текста, 38 рисунках и в 1 таблице. Список литературы состоит из 131 наименования.

Содержание диссертации. Во введении показана актуальность направления исследований и степень разработанности темы, сформулированы основные защищаемые положения, научная и практическая значимость, новизна полученных выводов.

Первая глава диссертации посвящена рассмотрению существующих методик исследования ориентации квантовых систем в кристаллических средах и разработке на их основе нового метода, позволяющего, в отличие от предыдущих, однозначно определять полную ориентацию квантовых систем в одноосном кристалле, не ограничиваясь только показателем угла между оптической осью и дипольным моментом перехода исследуемого

центра окраски. Основой для нового метода послужил эффект пространственно-периодической модуляции интенсивности фотолюминесценции анизотропных кристаллических сред. В этом явлении обнаруживаются и изучаются пространственно-периодические распределения интенсивности люминесценции, возбуждаемые при взаимодействии оптического излучения с однородно-распределенными центрами окраски в кристаллической среде. Кроме того, приведено подробное экспериментальное и теоретическое исследование характерного для нейтронно-облученных кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ центра окраски с полосами поглощения 360 и 680 нм и люминесценции 380 и 830 нм, получены новые данные о кинетике люминесценции и вероятностях излучательных и безызлучательных переходов в этих центрах.

Во второй главе, аналогично случаю, описанному в первой главе, используется эффект пространственно-периодической модуляции, но в данной части работы экспериментально-наблюдаемая картина обусловлена пространственно-периодической модуляцией концентрации индуцированных центров окраски. Такой эффект обусловлен воздействием на кристаллическую среду (примером которой послужил ориентированный кристалл MgF_2) когерентными парами сдвинутых фемтосекундных лазерных импульсов, распространяющихся по одному направлению, индуцирующими люминесцирующие квантовые системы (центры окраски). Теоретически и экспериментально показано, что концентрация наводимых квантовых систем напрямую зависит от режима фотоионизации и становится пространственно-периодически модулированной вдоль направления распространения импульсов при переходе от режима многофотонной фотоионизации кристалла к промежуточному режиму многофотонно-туннельной ионизации. Также разработан и использован в исследованиях новый люминесцентный метод измерения относительных концентраций центров окраски, созданных в анизотропных кристаллических средах, обеспечивающий прямую пропорциональность между интенсивностью люминесценции и концентрацией центров окраски, учитывающий наличие нескольких возможных ориентаций центров, допускаемых законами симметрии кристаллов.

Третья глава диссертации посвящена люминесцентным методам контроля качества пленок фторида лития, изготовленных методом термовакуумного напыления на стеклянную подложку с последующим отжигом. Выявленное методами оптической микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии преобразование структуры пленок было изучено впервые реализованным радиационно-люминесцентным методом, адекватность которого была подтверждена независимым методом рентгенофазового анализа. Предложена оригинальная методика, основанная на использовании характерных для данного вещества центров окраски в исследуемых образцах в качестве люминесцентного зонда, позволяющего зарегистрировать преобразование исходного вещества.

В заключении диссертации сделано обобщение результатов выполненных исследований, выделены и изложены с краткой аргументацией основные выводы по работе.

В диссертации сформулированы следующие защищаемые научные положения:

1. Величины углов, задающих ориентацию люминесцирующих электродипольных квантовых систем в оптически одноосных конденсированных средах, однозначно связаны с величинами глубины пространственной модуляции интенсивности фотолюминесценции этих квантовых систем. Данный факт служит обоснованием нового пространственно-модуляционного люминесцентного метода определения ориентации квантовых систем в кристаллической среде.

Данное положение доказывается теоретическими расчетами, проведенными на основе полуклассической теории взаимодействия света и анизотропного вещества, которые позволили установить связь глубины пространственной модуляции интенсивности люминесценции квантовых систем с их ориентацией в кристаллическом образце. Дополнительным подтверждением являются полученные патент РФ и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

2. Пространственная модуляция концентрации центров окраски, индуцированных в оптически одноосном анизотропном кристалле когерентными парами интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов, обусловлена реализацией промежуточного механизма многофотонно-туннельной фотоионизации кристаллического вещества.

Данное положение доказывается отсутствием противоречий между теоретическими и экспериментальными результатами проведенных исследований, а также адекватностью используемых теоретических моделей.

3. Прямая пропорциональность между интенсивностью фотолюминесценции центров, индуцированных в режиме филаментации линейно поляризованным лазерным излучением в оптически одноосном кристалле при ориентации электрического вектора под углом $\pi/4$ к оптической оси, и их концентрацией может быть обеспечена при ориентации электрического вектора линейно поляризованного излучения, возбуждающего фотолюминесценцию, а также направления регистрации люминесценции вдоль оптической оси кристаллической среды.

Данное положение доказывается использованием в процессе специально разработанной схемы эксперимента, учитывающей взаимную ориентацию дипольных моментов перехода центров окраски в одноосном анизотропном кристалле тетрагональной сингонии и вектора напряженности электрического поля и волнового вектора.

4. Механизм зарегистрированного в наших экспериментах увеличения при термическом отжиге размера зерен фторида лития, образующих тонкую пленку, нанесенную на стеклянную подложку методом термовакуумного напыления, включает изменение их химического состава и кристаллической структуры за счет реакции взаимодействия нано- и

микрочастиц фторида лития с материалом стеклянной подложки.

Положение основано на результатах примененной в работе новой методики люминесцентного зонда. Эти данные в свою очередь подтверждены результатами рентгенофазового анализа, который показал наличие в пленках, отожженных при температуре 600 °С, химических элементов, входящих в состав использованного в роли подложки покровного стекла.

Защищаемые положения и основные результаты работы Лазаревой Натальи Львовны достаточно хорошо подтверждены проведенными в работе исследованиями.

Следует отметить проведенный автором большой объем экспериментальных и теоретических исследований, оригинальность подхода в формировании новых методов исследования. Следует подчеркнуть, что все заявленные методы были предложены впервые.

Достоверность полученных результатов работы и выводов обеспечивается использованием апробированных методов исследования, применением современного высокоточного экспериментального оборудования, обоснованностью использованных теоретических расчетов и допущений, корректностью поставленных задач и соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация. Материалы исследований, изложенные в диссертации, опубликованы в 7 международных и российских журналах, индексируемых международными базами Scopus, WOS, кроме того имеется патент РФ на изобретение и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Все положения, выносимые на защиту, достаточно полно опубликованы. Результаты работы обсуждались на большом количестве международных и всероссийских конференций.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и опубликованных работ.

Имеются следующие **замечания по диссертационной работе.**

1. Имеется общее замечание по структуре диссертационной работы. К сожалению, автор отказался от традиционного построения кандидатской диссертации, когда первая глава представляет собой литературный обзор, вторая – методики исследований, а последующие главы – результаты этих исследований. На мой взгляд, это затрудняет восприятие рецензируемой работы. В частности, не ясно, как связаны между собой пп.1.2, 1.3, 1.4 Главы 1, посвященные кинетике люминесценции центров окраски в оксиде алюминия, и пп.1.5, 1.6 этой же Главы, в которых методы определения ориентации центров рассматриваются лишь теоретически, а не применительно к конкретному объекту. Можно ли было использовать кристаллы оксида алюминия как модельные объекты для экспериментальной апробации пространственно-модуляционного люминесцентного метода определения ориентации центров окраски? По моему мнению, результаты исследования кинетики люминесценции центров окраски в оксиде алюминия следовало включить в отдельную главу и

сформулировать по результатам этих исследований хотя бы одно защищаемое положение.

2. Из табл. 1 следует, что природа центра окраски в оксиде алюминия, имеющего полосу поглощения при 358 нм, не имеет однозначной интерпретации. Можно ли по результатам расчета кинетики люминесценции и вероятностей излучательных и безызлучательных переходов (рис.1.1) сделать вывод о принадлежности указанной полосы конкретному типу агрегатных F2 центров?

3. В Главе 3 автор связывает рост размера зерна при отжиге пленок фторида лития с образованием новых фаз за счет взаимодействия с материалом подложки. Вместе с тем рост зерна в наноматериалах с повышением температуры нагрева (рекристаллизация) является известным хорошо изученным эффектом. На чем основано утверждение автора, что рост зерна вызван именно изменением фазового состава? Не являются ли эти два эффекта независимыми и просто параллельно наблюдаемыми? Каков конкретный механизм укрупнения зерен за счет появления новых фаз? При этом не ясно также, как определялся средний размер зерна в исследуемых образцах. Использовались ли при этом какие-либо программы обработки изображений, получаемых с помощью микроскопа (рис.3.2)?

Изложенные выше замечания по работе не снижают высокой оценки полученных соискателем результатов и значимости диссертационной работы в целом.

Соответствие научной специальности. Диссертационная работа соответствует следующим направлениям паспорта специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния:

1) теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления;

4) теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ;

б) разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

Данная работа относится к отрасли физико-математических наук.

С учетом сказанного выше считаю, что диссертация «Новые люминесцентные методы исследования образования и свойств дефектов в диэлектрических кристаллах», является законченной научно-исследовательской работой, удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Лазарева

Наталья Львовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.



/ Никифоров Сергей Владимирович /

Никифоров Сергей Владимирович – доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, доцент, профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: (343) 374-10-50,

email: s.v.nikiforov@urfu.ru.

07 декабря 2021 года

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

Никифорова С.В.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
МОРЗОВА

