

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППНЕНТА о диссертации Ю.С.Заворотного « *Фотопроцессы в кислородно-дефицитных центрах кварцевых и германосиликатных стёкол*», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика

Кварцевое стекло играет важную роль в нашей жизни. Достаточно вспомнить о линзах и призмах – этих важнейших элементах всех оптических устройств, об оптических волокнах, которые в настоящее время превратились в основу каналов поставки информации на дальние расстояния. Поэтому исследование различных дефектов, которые существуют в стёклах и снижают их качество, а также физических процессов, происходящих в стёклах с такими дефектами, чему и посвящена данная диссертация, является несомненно *актуальной задачей*

*Практическая значимость* исследований дефектов различных типов, которые существуют в реальных кварцевых стёклах, и механизмов релаксации возбуждений, которые появляются в этих дефектах при облучении стекла светом, очевидна. Без понимания того, под воздействием каких внешних факторов возникают эти дефекты, невозможна борьба с ними и, следовательно, улучшение качества стёкол.

*Новизна результатов* исследования, представленного в диссертации, состоит в следующем. Кварцевые стёкла исследуются уже не одно десятилетие разными методами. Имеется обширная литература, в которой изложены результаты таких исследований. Однако из-за того, что в реальном стекле присутствуют дефекты разных типов, они все вместе проявляют себя в оптических спектрах. Возникает даже проблема привязки наблюдаемых оптических линий к дефекту того или иного типа.

Однако в последнее время возникла и стала интенсивно развиваться спектроскопия наночастиц металла, полупроводника и диэлектрика. Создаваемые искусственно наночастицы кремния и окислов кремния, позволяют изучать упомянутые дефекты на нано уровне. Исследования оптических спектров наночастиц кремния представленные в диссертации определяют новизну подхода, реализуемого в диссертации.

Диссертация Ю.С.Заворотного объёмом в 125 страниц состоит из Введения, четырёх глав текста и Заключения. Диссертация содержит 29 рисунков и четыре таблицы. Список цитируемой автором литературы содержит названия 144 статей.

Во **Введении** диссертант определяет место своих исследований в общем массиве оптических данных по кварцевым стёклам, определяет цели и задачи исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов. Здесь же формулируются положения диссертации, выносимые на защиту, перечисляются доклады на конференциях и семинарах, сделанные по материалам, представленным в диссертации, и описывается личный вклад автора в получение этих результатов.

**Первая глава** представляет собой обзор литературы по теме диссертации. Обзор объёмом в 10 страниц весьма основателен. Обсуждаются многочисленные типы центров, оптические полосы которых обнаружены к настоящему времени в кварцевом стекле. Описываются детали атомной структуры этих центров, найденные с помощью электронного парамагнитного резонанса. Кратко описываются результаты исследовательских групп, проводивших привязку оптических линий к дефектам того или иного типа. Очень полезными для ориентации читателя в представленном многообразии центров и оптических линий являются рис.1.1 с набором оптических полос, в кварцевом стекле, обнаруженных к настоящему времени, и рис.1.2, в котором представлена атомная структура различных дефектов.

**Во второй главе** представлены экспериментальные результаты, полученные автором диссертации при исследовании зависимости интенсивности фототока и интенсивности свечения с триплетного уровня в кислородно дефицитных кремниевых центрах и в центрах, легированных германием при повышении интенсивности облучения стекла светом лазера. Проведён также теоретический анализ полученных экспериментальных результатов. Установлен флуоресцентный характер фотоионизации стекла. Установлена корреляция между интенсивностью фототока и интенсивностью свечения с триплетного уровня, что свидетельствует об участии триплетного уровня в двухфотонном процессе фотоионизации. Написаны кинетические уравнения, описывающие квантовую динамику такой системы в условиях двухфотонного возбуждения. С помощью приближённого решения этих уравнений проведена оценка величины сечения перевода системы в ионизированное состояние с помощью второго фотона после поглощения первого фотона, а также оценена средняя длина свободного пробега фотоэлектрона. Всё это сделано на двух образцах кислородо-дефицитных центров в чистом кварцевом стекле и трёх образцах, легированных германием.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований влияния различных внешних факторов на релаксацию населённости триплетного уровня. К таким внешним факторам относятся изменение температуры образца, добавление в стекло германия или водорода. Рис.3.2, Рис.3.3 и Рис.3.4, на которых показано влияние температуры на время жизни триплетного состояния и интенсивность свечения с триплетного уровня свидетельствуют о том, что: 1) скорость интеркомбинационного перехода из синглетного состояния в триплетное возрастает с ростом температуры, 2) скорость безизлучательных переходов с триплетного уровня тоже возрастает с ростом температуры. Зависимость от температуры скорости возрастания активационная. Поэтому диссертант привлекает теоретическое объяснение такой зависимости, основанное на существовании барьера между синглетным и триплетным состоянием, которое было им взято из литературы. Внесение в образец посторонних добавок в виде атомов германия и молекулярного водорода не изменяет в принципе температурного поведения, представленного на Рис.3.2, Рис.3.3 и Рис.3.4, влияя лишь на количественные характеристики эффектов.

**В четвёртой главе** диссертации представлены оптические исследования наночастиц кремния, обёрнутых слоями окислов кремния. Эти наночастицы по своим физическим свойствам близки к полупроводниковым нанокристаллам CdSe,

CdS и т.д., которые с нарастающей интенсивностью весьма широко исследуются в последнее десятилетие. В США и Европе такие исследования проводятся уже на уровне одиночных наночастиц, что позволяет получать очень богатую информацию о физических процессах, происходящих в этих наночастицах при облучении их лазерным светом. В России исследования одиночных нанокристаллов, к сожалению, проводятся пока только в двух лабораториях Института спектроскопии РАН. В остальных российских лабораториях и институтах исследования наночастиц пока ещё проводятся только с ансамблями наночастиц, внедрённых в органические матрицы. Диссертант тоже исследовал ансамбли наночастиц в полимерных матрицах.

Основные экспериментальные факты, обнаруженные в результате исследования оптических спектров ансамблей наночастиц, сводятся к следующим.

1. Неоднородное уширение оптических полос составляет примерно треть измеряемой ширины оптической полосы поглощения.
2. Обнаружен длинноволновый сдвиг полосы фотолюминесценции при увеличении длины волны возбуждения.
3. При длительном облучении наночастиц происходит уменьшение интенсивности фотолюминесценции. Это затухание фотолюминесценции не описывается одной экспонентой.
4. В течение примерно суток происходит темновое восстановление излучательной способности наночастиц.

После прочтения всей диссертации считаю нужным отметить следующее. Во второй и третьей главе все экспериментальные результаты, например, связь фототока с триплетной фотолюминесценцией или же температурные зависимости интенсивности фотолюминесценции с триплетного уровня и температурная зависимость времени жизни триплетного уровня – надёжны, оригинальны и интересны. *Полученные в диссертации результаты являются достоверными, а сделанные выводы обоснованы.*

При обсуждении экспериментальных результатов используется теория. Однако использование теории вызывает у меня следующие два критических замечания.

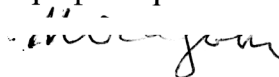
1. Во второй главе, в которой проводятся экспериментальные исследования фототока и фотолюминесценции с триплетного уровня, написаны также балансные уравнения, описывающие кинетику возникновения фототока. Эти уравнения решаются автором диссертации приближённо. С помощью полученных решений находятся сечение для процесса образования фототока и длина свободного пробега фотоэлектрона. Замечание сводится к тому, что написанные уравнения можно решить не приближённо, а точно. Поэтому найденные диссертантом числа надо воспринимать как оценки величины сечения или длины свободного пробега. Неясно, насколько изменятся найденные сечение и длина свободного пробега, если использовать не приближённые решения, а точные.
2. В третьей главе на рис.3.3 приведена измеренная в эксперименте зависимость интенсивности триплетной фотолюминесценции от температуры. Её нарастание в области малых температур автор связывает с тем, что интеркомбинационный переход из синглетного состояния в триплетное идёт через барьер. Это утверждение ошибочно. Синглетные и триплетные уровни частицы не могут быть разделены потенциальным

барьером. Они собственные состояния, находимые из уравнения Шредингера. Активационная зависимость от температуры вполне может быть объяснена тем, что переход между синглетным и триплетным уровнем происходит с подхватом фононов.

Диссертация в целом производит хорошее впечатление. Это основательное экспериментальное исследование с широким применением кинетических уравнений для теоретического описания исследуемых процессов. Четвёртая глава, в которой изложены результаты последних работ автора, посвящена исследованию оптических полос наночастиц кремния. Это новое направление исследований, которое заслуживает всяческой поддержки.

Результаты диссертации опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК. Опубликованные статьи и автореферат правильно и полно отражают содержание диссертации. Диссертационная работа Ю.С.Заворотного удовлетворяет требованиям Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05-оптика.

Официальный оппонент  
главный научный сотрудник  
отдела молекулярной спектроскопии  
Института спектроскопии РАН  
доктор физ.-мат.наук. профессор  
И.С.Осадько



5 июня 2017 года

Адрес служебный: 108840, г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая, 5  
Тел: (495)851-02-36  
e-mail: [osadko@isan.troitsk.ru](mailto:osadko@isan.troitsk.ru)

Подпись д.ф.м.н. И.С.Осадько заверяю

Учёный секретарь ИСАН  
к.ф.м.н. Перминов Е.Б.

