

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Хинайша А. М. А.

«Термостимулированные процессы в люминесценции

гексагонального нитрида бора»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Хинайша А. М. А. посвящена комплексному изучению закономерностей фото- и термостимулированной люминесценции гексагонального нитрида бора, установлению природы и количественных характеристик собственных и примесных оптически активных центров в порошках нитрида бора разной степени дисперсности (размеры агломератов порядка 20 мкм у образца П1 и 80 – 120 нм у образца П2). Указанное соединение, являясь широкозонным диэлектриком, обладает целым рядом уникальных физических и оптических свойств, которые при этом могут варьироваться в достаточно широких пределах (например, ширина запрещенной зоны может лежать в диапазоне от 3.5 до 6.5 эВ). Вариабельность свойств гексагонального нитрида бора вызывает, во-первых, чисто научный интерес к установлению пределов их изменения и к выявлению способов управления свойствами такого соединения, а, во-вторых, необходимость определения возможностей его практического использования в оптоэлектронных, дозиметрических, люминесцентных и эмиттерных устройствах. Несмотря на то, что гексагональный нитрид бора относится к числу хорошо изученных объектов, существует целый ряд нерешенных проблем и дискуссионных вопросов, касающихся спектрально-кинетических закономерностей его термолюминесценции, природы энергетических уровней захвата и рекомбинации носителей заряда и их положения в запрещенной зоне кристалла. Поскольку диссертационная работа Хинайша А. М. А. была

направлена на решение указанных проблем, считаю, что она выполнена по актуальной теме.

Научная новизна диссертационной работы Хинайша А. М. А. сомнений не вызывает. В ходе исследований гексагонального нитрида бора автором получен целый ряд новых научных результатов, среди которых хотелось бы назвать следующие.

1. При анализе спектров возбуждения фотолюминесценции, спектров фото- и термостимулированной люминесценции установлено, что при энергии возбуждающих квантов (5.8 эВ), превышающей ширину запрещенной зоны (5.4 – 5.5 эВ), происходят межзонные переходы электронов, а при меньших энергиях (5.3, 4.9 – 5.0, 4.6 и 4.0 – 4.3 эВ) – переходы из состояний валентной зоны на уровни захвата в запрещенной зоне кристалла, обусловленные вакансиями азота V_N или примесными кислородными центрами O_N , а также переходы от примесных углеродных центров C_N в состояния зоны проводимости.

2. Установлено, что температурное тушение фотолюминесценции наноструктурированных порошков гексагонального нитрида бора при варьировании температуры в диапазоне от комнатной до 800 К хорошо подчиняется модели Мотта. Определены энергии активации тушения фотолюминесценции для случаев одного или двух каналов безызлучательной релаксации возбуждений (0.25 и 0.8 эВ), соответствующие термической глубине ловушек - центров O_N и V_N .

3. Предложена обобщенная зонная схема ультрадисперсных порошков исследуемого гексагонального нитрида бора. Ширина его запрещенной зоны составляет 5.4 – 5.5 эВ, в ее пределах располагаются у потолка валентной зоны уровни примесного углерода C_N , вблизи дна зоны проводимости – уровни примесного кислорода O_N , а в промежутке между ними – уровни вакансий азота разного типа. Эта схема позволяет интерпретировать наблюдаемые спектры возбуждения и спектры фото- и термостимулированной люминесценции.

Выполненная Хинайшем А. М. А. диссертационная работа характеризуется **высокой практической значимостью**. В самом деле, в ней систематизированы и представлены в таблицах обширные данные о структурных модификациях и физических свойствах нитрида бора, о способах его получения, о спектрах свечения при разных видах возбуждения, о ширине запрещенной зоны, полученной разными методами, о кинетике термостимулированной люминесценции и т. д. Далее, полученная автором информация о роли примесей углерода и кислорода в процессах фото- и термолюминесценции важна с точки зрения разработки режимов контролируемого синтеза наноструктур на основе гексагонального нитрида бора с заданными характеристиками свечения. Наконец, результаты работы автора диссертации пополняют базу данных об электронной структуре широкозонных диэлектриков простого химического состава.

Детальное знакомство с диссертационной работой Хинайша А. М. А. позволяет сделать уверенный вывод о **надежности и достоверности его результатов**. В пользу этого утверждения свидетельствует, во-первых, сам выбор гексагонального нитрида бора в качестве объекта исследования, многие характеристики которого представлены в справочной и научной периодической литературе. Во-вторых, синтез объектов исследования проводился в авторитетных научных учреждениях на современном оборудовании. В-третьих, в работе использован очень широкий набор современных экспериментальных методов исследования, данные которых хорошо дополняют друг друга. К этим методам относятся: фото-, катодо- и термолюминесцентная спектроскопия и спектроскопия диффузного отражения, спектроскопия комбинационного рассеяния, рентгеноструктурный анализ, растровая электронная микроскопия. В-четвертых, эксперименты проводились на образцах, прошедших тщательную аттестацию. При обсуждении полученных результатов проводился анализ их погрешностей, а сами результаты, которые автор получал в ходе тех или иных исследований, скрупулезно сопоставлялись с аналогичными литературными данными.

Результаты, полученные автором, прошли **хорошую апробацию**. В самом деле, им опубликовано 3 статьи в реферируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для изложения результатов диссертационных работ, что означает их серьезное рецензирование на стадии подготовки рукописей к печати. Кроме того, результаты исследований автора докладывались на 5 Всероссийских (Екатеринбург, 2013 – 2016 гг.) и 5 Международных (Бразилия, 2013 г.; Великобритания, 2014 г.; Эстония, 2015 г.; Польша, 2015 г.; Египет, 2016 г.) конференциях и были опубликованы в 2 статьях трудов конференций и в тезисах 10 докладов на них. Подчеркнем, что изложение результатов научных исследований на конференциях всегда сопровождается вопросами и дискуссиями, что, безусловно, способствует повышению их качества.

Несмотря на явные достоинства работы нельзя не высказать ряд мелких замечаний.

1. Из таблицы 1.2. «Методы получения и виды структур на основе BN» узнаем, что для получения керамики используется «синтез III – IV нитридов и оксинитридов методом горения [13, 14]». Такого способа обозначения сложных соединений в литературе нет, на самом деле речь идет о нитридах и оксинитридах элементов III – VI (а не IV) групп таблицы Д. И. Менделеева.


2. В таблице 1.3 автор приводит физические характеристики нитрида бора, цитируя работу [9]. Указано, что температура плавления 3240°C , а температура кипения $<3000^{\circ}\text{C}$. Как такое соотношение температур возможно, понять нельзя. Вместо показателя преломления в таблице указан «коэффициент преломления», приводится какая-то «характерная теплоемкость», модуль Юнга почему-то указан в $\text{кг}/\text{мм}^2$ вместо системных ГПа.

3. На стр. 42 читаем, что использовался «лазер с длиной волны 532 нм мощностью 40 мВт (съемка 25 %)». К одной этой цитате возникает 2 замечания: 1. У лазера нет длины волны, длиной волны характеризуется его излучение. 2. Что такое «съемка 25 %», осталось нераскрытым.

4. Под рисунком 3.6 читаем подпись: «Спектры возбуждения и свечения ФЛ в образцах П2 h-BN», тогда как речь идет о спектрах свечения при возбуждении излучением с длинами волн, равными 250 (а) и 270 (б) нм.

Отмеченные замечания не сказываются на общей высокой оценке диссертационной работы Хинайша А. М. А. Диссертация и автореферат написаны хорошим языком, оригинальной ее части предпослан обстоятельный обзор литературы по объектам и методам исследований, представляющий самостоятельную ценность. Она хорошо структурирована, графически прекрасно оформлена, автореферат в полной мере передает содержание диссертации. Все это говорит о принадлежности автора к серьезной научной школе. Считаю, что Хинайш А. М. А. достиг поставленной перед ним цели. Его диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физике, ее название и содержание соответствуют шифру и номеру специальности, а ее автор – **ХИНАЙШ Ахмед Махер Ахмед** – заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент - профессор кафедры оптоинформационных технологий и материалов Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), доктор физико-математических наук, профессор

 Арбузов Валерий Иванович
E-mail: arbuzov@goi.ru; viarb@yandex.ru

199034, Санкт-Петербург, Биржевая линия, д. 4

28 октября 2016 г., г. Санкт-Петербург.

Подпись:
Удостоверен:
Специальность:
Университет:

