

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ чл.корр РАН

Щацкий

21 октября 2016 г.

ОТЗЫВ

на диссертацию Хинайша Ахмеда Махера Ахмеда, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Термостимулированные процессы в люминесценции гексагонального нитрида бора» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа А.М.А. Хинайша посвящена изучению оптических свойств нитрида бора. Гексагональный нитрид бора является широкозонным материалом с графитоподобной структурой. Ширина запрещенной щели беспримесного нитрида бора находится в области 5-6 эВ, что делает его перспективным материалом для создания источников и приемников излучения ультрафиолетового и видимого диапазонов. Это обуславливает интерес к изучению люминесцентных свойств нитрида бора. Поэтому тема диссертационной работы представляется актуальной в научном и практическом плане.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Материал работы изложен на 119 страницах, содержит 46 рисунков и 20 таблиц. Список используемой литературы включает 119 наименований.

Во введении приводится обоснование актуальности темы, сформулированы цели и задачи работы.

Первая глава диссертации является обзорной. В ней обобщаются известные данные о нитриде бора. Наиболее подробно рассматривается гексагональная модификация кристаллического нитрида бора. Виды дефектов, результаты расчетов зонной структуры и положений дефектных уровней в зоне запрещенных энергий. Подробно

рассматриваются люминесцентные характеристики кристаллов h-BN. Формулируются задачи исследований.

Вторая глава содержит описание аппаратуры для исследований и дается характеристика объектов исследования. Два образца порошкового h-BN, структура которых характеризуется по рамановским спектрам и спектрам рентгеновской дифракции. Описываются оптические установки для изучения диффузного отражения, спектров катодолюминесценции, фотолюминесценции и температурных зависимостей люминесценции. Описываются расчетные методы анализа экспериментальных кривых оптических спектров и температурных зависимостей люминесценции.

Третья глава посвящена исследованию оптических спектров порошков нитрида бора. Спектры диффузного отражения приводятся к виду удобному для оценки края фундаментального поглощения. Оценка ширины запрещенной зоны для обоих образцов гексагонального нитрида бора дает значения 5.4 -5.5 эВ, что находится в диапазоне известных значений E_g .

В спектрах фотолюминесценции порошков обнаружен ряд полос люминесценции, которые разделены по энергии на четыре группы. Аккуратно промерены также спектры возбуждения для каждой из полос люминесценции. Результаты объединены в таблицу 3.3.

Спектры катодолюминесценции гораздо менее информативны. Отчасти это связано с падением чувствительности ПЗС матрицы анализатора КЛАВИ в ультрафиолетовой области. На основании полученных данных по оптическому поглощению сделано заключение, что полосы возбуждения с энергией равной и более E_g (полосы при 5.8 и 5.3 эВ) обусловлены межзонными переходами. Более длинноволновые полосы могут быть связаны с возбуждением примесных центров.

В четвертой главе проведено исследование термостимулированных процессов в нитриде бора: термолюминесценции и температурного тушения фотолюминесценции. Показано, что исследуемые порошки нитрида бора запасают информацию при межзонном возбуждении с энергией $h\nu > E_g$. Кроме того, в спектрах возбуждения термолюминесценции обоих исследуемых порошков присутствуют полосы с $E < E_g$, что может говорить о процессах возбуждения носителей заряда с энергетических уровней внутри запрещенной зоны.

Интенсивность термолюминесценции для одинаковых режимов УФ-облучения для образца П1 с более высокой концентрацией примесей в несколько раз выше. Данный факт согласуется с более высокой концентрацией примесных дефектов углерода и кислорода, которые формируют центры рекомбинации и захвата и участвуют в термостимулированном свечении возбужденных порошков нитрида бора. Процессы температурного тушения фотолюминесценции с хорошей точностью могут быть описаны в рамках соотношений Мотта и Стрита.

Полученные в диссертации **основные результаты** и сделанные выводы свидетельствуют о выполнении поставленных задач, об их значимости для фундаментальной и прикладной науки.

Диссертационная работа А.М.А. Хинайша имеет элементы **научной новизны** и востребованную **практическую значимость**. Основные результаты и выводы надежно обоснованы и апробированы на Международных и Региональных научно-технических конференциях. Они опубликованы в виде 15 работ, в том числе 3 статей в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах. Достоверность результатов не вызывают сомнений, полученные различными методами экспериментальные данные коррелируют между собой. Структуризация диссертационной работы, ее стиль изложения и качество оформления находятся на высоком уровне. Достоверность и надежность полученных результатов обусловлена проверкой экспериментов на воспроизводимость, сопоставлением с результатами других авторов, использованием адекватных моделей для объяснения экспериментальных результатов.

В качестве **замечаний** к работе следует отметить следующие:

1. Предполагается, что полоса примесного поглощения при 300 нм относится к примеси углерода. В тоже время на измеренных кривых Рис. 3.2 (стр.57) в образце с меньшей концентрацией примеси углерода (П2 — <math><0.04\% \text{ C}</math>) коэффициент поглощения в этой полосе ($\alpha \sim F(R)$) на порядок больше чем в образце с большей концентрацией примеси углерода (П1 — 1.79 % C). Автор не комментирует этот дисбаланс.
2. В работе в главе 2 не описана методика коррекции спектров люминесценции на спектральную чувствительность измерительной системы (катодолюминесценция, фотолюминесценция,

спектры термолюминесценции). В то же время на рисунках 3.7-3.9 и других приведено разложение спектров свечения на отдельные полосы. Параметры индивидуальных полос приведены в табл. 3.3 и др. с точностью до второго знака и сравниваются с литературными данными. Без знания спектральной чувствительности измерительного тракта разложение на гауссовы полосы теряет смысл. В качестве первого приближения для корректировки можно было бы использовать спектральную чувствительность фотоэлектронного умножителя спектрометра LS55.

3. Рисунок 2.2 вместе с подписью из главы «2. Экспериментальные установки. Образцы и методы измерений» заимствован из диссертации Д. Спиридонова (рис.2.1), защищенной в 2015 году. Рисунок не является значимым и мог бы быть опущен.
4. Очень невнятно описана методика измерения спектров возбуждения термолюминесценции в пункте 2.3.4.1. Из описания процедуры неясно как учитывалась интенсивность возбуждающего света. Если корректировка не производилась то интенсивность возбуждения термолюминесценции в области около 200-220 нм сильно занижена из-за малой светимости ксеноновой лампы.

Высказанные замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы. Автореферат диссертации отражает её содержание. Автор безусловно достиг поставленной цели. Диссертация в целом представляет собой научный труд, в котором содержится решение задачи, имеющее существенное значение для исследования оптических процессов в широкозонных материалах на основе нитрида бора. Работа является законченным научным исследованием, выполненным по актуальной тематике, в ней получены результаты, имеющие научную и практическую ценность. В целом диссертационная работа А.М.А. Хинайша соответствует специальности 01.04.07. физика конденсированного состояния и п.9 Положения о присуждении ученых степеней, отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам, а ее автор А.М.А. Хинайш заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Материалы диссертации могут найти применение в Томском политехническом университете (ТПУ), научных институтах Российской академии наук, Уральском Федеральном университете, физическом факультете МГУ, НИИЯФ МГУ, и в других организациях, занимающихся поиском и применением широкозонных оптических датчиков.

Отзыв заслушан на заседании Ученого совета Института, протокол № 6 от 21 октября 2016 г. и лаборатории физики монокристаллов ИГХ СО РАН

Отзыв составлен зав. лабораторией _____ кристаллов ИГХ
СО РАН д.ф.-м.н. Е.А.Раджабовым. _____
_____ 21 октября 2016 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения
Российской академии наук (ИГХ СО РАН), 664033, г. Иркутск, ул.
Фаворского 1а

Раджабов Евгений Александрович

Д-р физ.-мат. наук, профессор,

зав. лабораторией физики монокристаллов

ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского 1а, ИГХ СО РАН

Телефон: 8-3952-511462

E-mail: eradzh@igc.irk.ru