

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

УДК 539.182; 535.33; 548.0; 535.373.2+.373.3+.375.54+621.373.8

№ гос.регистрации 20122680

Инв.№

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной  
работе



Е.В.Ванкевич

" 24 " июня 2014 г.

МП

## ОТЧЕТ

### о научно-исследовательской работе

**«Исследование оптических свойств ванадатов и двойных вольфраматов, используемых в диодно-накачиваемых лазерных системах, в условиях непрерывного инфракрасного возбуждения»**  
согласно договору с БРФФИ № Ф12ОБ-077 от 01.6.2012 г.

(заключительный)

2012 - Г/Б - 621

Руководитель НИР  
доктор физ.-мат. наук, профессор

 А.А.Корниенко

« 23 » июня 2014 г.

Начальник НИЧ

 С.А.Беликов

« 23 » июня 2014 г.

Витебск 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

**Научный руководитель**

доктор физ.-мат. наук,  
профессор, г.н.с



А.А.Корниенко  
(Часть 1, все разделы)

23 июня 2014 г.

дата, подпись

**Исполнители:**

Кандидат физ.-мат. наук,  
доцент, в.н.с.



Е.Б.Дунина  
(Часть 1, все разделы)

19.07.2014

дата, подпись

Кандидат физ.-мат. наук,  
с.н.с.



Л.А.Фомичева  
(Часть 1, все разделы)

20.06.14  
дата, подпись

Научный руководитель  
экспериментальных  
исследований,  
науч. сотр ИФ НАНБ



И.А. Ходасевич  
(Часть 2, введение, разделы 1,  
2, 5)

18.06.2014 г.

дата, подпись

Ведущий научный  
сотрудник ИФ НАНБ,  
доктор физ.-мат. наук



А.С.Грабчиков  
(Часть 2, разделы 3, 4, 6)

19.06.2014 г.

дата, подпись

Ст. науч. сотр. ИФ  
НАНБ



Р.В.Чулков  
(Часть 2, раздел 7,8)

19.06.2014

дата, подпись

**Нормоконтролёр**



23.06.2014  
дата, подпись

К.Н.Ринейский

## Реферат

Отчет 154 с., 71 рис., 38 табл., 96 источников, 1 прил.

ИК ИЗЛУЧЕНИЕ, KGW, YVO<sub>4</sub>, ЗЕЛЕНое СВЕЧЕНИЕ, ГОЛУБОЕ СВЕЧЕНИЕ, МОДИФИЦИРОВАННАЯ ТЕОРИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ.

Объектом исследования являются эффекты взаимодействия непрерывного инфракрасного излучения с кристаллами KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и YVO<sub>4</sub>.

Цель работы – экспериментальное и теоретическое исследование механизмов создания видимого свечения, в прозрачной кристаллической среде при возбуждении инфракрасным лазерным излучением.

Основные результаты экспериментального исследования:

а) Создана экспериментальная установка, обеспечивающая возможность возбуждения свечения и одновременного измерения характеристик, как лазерных потоков излучения, так и видимого свечения. Выполнены экспериментальные исследования энергетических характеристик, спектральных и временных параметров видимого свечения, возбуждаемого ИК излучением с длинами волн 0,8; 0,97; 1,06 и 1,3 мкм.

б) установлено, что в кристаллах KGW и YVO<sub>4</sub> излучением с длинами волн 0,8; 0,97 и 1,3 мкм возбуждается зеленое свечение, практически совпадающее по форме и положению вне зависимости от длины волны возбуждения и способа реализации (внутри или вне резонатора лазера). Это свечение является узкополосным, хорошо структурированным и доминирующим во всем видимом диапазоне спектра. Зависимость интенсивности полос этого свечения от мощности возбуждающего излучения указывает на многофотонный механизм его возникновения и важность продолжительности взаимодействия.

в) Впервые продемонстрирована возможность наблюдения голубого свечения в кристаллах KGW и YVO<sub>4</sub> при возбуждении непрерывным излучением диодно-накачиваемого лазера с длиной волны 1,06 мкм вне лазерного резонатора. Измеренные спектры демонстрируют доминирование узкополосного голубого свечения во всем видимом диапазоне.

Основные результаты теоретического исследования:

а) По спектральному составу полос красного и зеленого диапазона однозначно установлено, что они создаются излучательными переходами  $^4S_{3/2} \& ^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ,  $^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ,  $^2H_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$  ионов Er<sup>3+</sup>, присутствующими в кристалле в виде неконтролируемых примесей очень маленьких концентраций.

б) С целью моделирования различных схем ап-конверсии составлены и решены в аналитическом виде системы дифференциальных уравнений для населенностей возбужденных уровней иона Er<sup>3+</sup>. На основе результатов моделирования предложены схемы ап-конверсионных процессов, которые адекватно описывают наблюдаемые зависимости интенсивности люминесценции от мощности диодного лазера.

в) Применение модели оптических центров на основе теории кристаллического поля, разработанной авторами проекта, позволило впервые по оптическим спектрам определить параметры пространственного распределения электронной плотности (параметры ковалентности) и параметры кристаллического поля нечетной симметрии для иона Tm<sup>3+</sup> в KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, KLu(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, YVO<sub>4</sub>, GdVO<sub>4</sub>, LuVO<sub>4</sub>.

Полученные данные имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. С фундаментальной точки зрения представляется важным понимание причин возникновения свечений в прозрачной среде. С прикладной точки зрения важно определение возможностей подавления эффекта свечения с целью устранению дополнительных потерь в диодно-накачиваемых лазерах с ВКР-генерацией.



## СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения .....	6
<b>I ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	<b>7</b>
Введение .....	7
1 Влияние виртуальных конфигураций противоположной четности и эффектов ковалентности на интенсивности абсорбционных переходов в конфигурациях $4f^{11}$ и $4f^{12}$ .....	9
1.1 Элементы теории интенсивностей .....	9
1.2 Влияние виртуальных конфигураций противоположной четности и эффектов ковалентности на спектроскопические характеристики иона с электронной конфигурацией $4f^{12}$ ( $Tm^{3+}$ ) .....	12
1.3 Влияние виртуальных конфигураций противоположной четности и эффектов ковалентности на спектроскопические характеристики иона с электронной конфигурацией $4f^{11}$ ( $Er^{3+}$ ) .....	14
2 Проблема описания абсорбционных и люминесцентных характеристик двуосных кристаллов с примесью $4f^2$ -ионов .....	19
2.1 Краткое введение .....	19
2.2 Сравнение с экспериментом .....	20
2.3 Краткие выводы .....	30
3 Предсказание люминесцентных характеристик $4f^{12}$ -ионов в ванадатах на основе анализа интенсивности абсорбционных переходов .....	32
3.1 Краткое введение в проблему .....	32
3.2 Результаты расчета и сравнение с экспериментом .....	33
4 Роль двухфотонных процессов в ап-конверсионном преобразовании инфракрасного излучения в электромагнитные волны видимого диапазона. ....	39
5 Влияние виртуальных конфигураций противоположной четности и эффектов ковалентности на расщепление мультиплетов $4f^{12}$ -конфигурации в двойных вольфраматах .....	44
6 Определение параметров ковалентности для $4f^{12}$ -конфигурации в двойных вольфраматах .....	53
7 Определение параметров ковалентности для $4f^{12}$ -конфигурации в ванадатах .....	61
8 Роль трехфотонных процессов в ап-конверсионном преобразовании инфракрасного излучения в электромагнитные волны видимого диапазона .....	72
8.1 Краткие выводы .....	79
Основные результаты теоретических исследований .....	80
Список использованных источников .....	82
<b>II ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	<b>88</b>
Введение .....	88
1 Создание экспериментальной установки, обеспечивающей возможность возбуждения свечения и одновременного измерения характеристик лазерных потоков излучения и спектра свечения .....	90
2 Исследование характеристик свечения в кристаллах KGW и $YVO_4$ , возбуждаемых излучением диодного лазера с длиной волны 808 нм .....	94
3 Характеристики свечения, возбуждаемого излучением диодного лазера с длиной волны 978 нм .....	101

4 Характеристики свечения, возбуждаемого излучением лазера с длиной волны 1 и 1,3 мкм.....	108
5 Изучение проявлений нелинейно-оптических эффектов по методике аналогичной z-scan .....	117
6 Исследование влияния лазерного излучения на поведение низкочастотного края полосы поглощения кристаллической среды .....	122
7 Исследование спектра спонтанного комбинационного рассеяния кристаллической среды в условиях с возбуждением видимого свечения .....	128
8 Анализ полученных результатов с целью выяснения возможных механизмов возбуждения люминесценции и трансформации спектра поглощения в кристаллах .....	136
8.1 Возможные механизмы возбуждения люминесценции кристаллов KGW и YVO <sub>4</sub> в зеленой и голубой областях спектра.....	136
8.2 Оценка концентрации остаточных ионов Er <sup>3+</sup> . Возможные схемы возбуждения люминесценции кристаллов KGW в зеленой и красной областях спектра.....	138
Перспективы дальнейшего развития исследований и практического использования полученных результатов.....	142
Заключение .....	143
Список использованных источников.....	148
Приложение А .....	152
Публикации в рамках НИР .....	152