

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Хаммуд Алаа

на тему: «Исследование синтезированных монокристаллов двойного молибдата бария-висмута – многофункциональной лазерной и нелинейной среды», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07– физика конденсированного состояния.

1. Актуальность темы и цель исследования.

Расширение спектрального диапазона лазерного излучения является одной из приоритетных задач квантовой электроники. Использование кристаллических материалов является одним из основных и важных способов генерации лазерного излучения, которое используется в широком круге областей: в медицине, оптической локации, адаптивной оптике и при обработке материалов. Таким образом, генерация лазерного излучения оказывает существенное влияние на современные научные и технические приложения. Недавно обнаружено новое соединение $BaVi_2(MoO_4)_4$ с шеелитоподобной структурой. Поскольку ионы Vi^{3+} могут быть заменены трехвалентными активными ионами редкоземельных элементов, то монокристаллы $BaVi_2(MoO_4)_4$ можно рассматривать в качестве потенциального лазерного материала. $BaVi_2(MoO_4)_4$ кристаллизуется в моноклинной системе пространственной группы $C2/c$, кристаллическая структура вдоль оси a - состоит из слоев единиц $[Vi_2O_2]$ и многогранников BaO_{10} , окруженных изолированными тетраэдрами MoO_4 , поэтому структура $BaVi_2(MoO_4)_4$ упорядочена отдельными участками для катионов Ba и Vi . Известно, что упорядоченные моноклинные двойные молибдаты и вольфраматы по сравнению с неупорядоченными тетрагональными имеют более узкие полосы поглощения и люминесценции, и большие сечения поглощения и люминесценции примесных ионов, что важно для производства компактных твердотельных лазеров с диодной накачкой. С другой стороны, наличие изолированных комплексов $[MoO_4]^{2-}$ в сочетании с

тяжелыми и крупными катионами Ba^{2+} и Bi^{3+} позволяет прогнозировать узкие ширины линий и большие сечения внутренних колебаний анионного комплекса $[\text{MoO}_4]^{2-}$ в спектре комбинационного рассеяния (КР), что предполагает значительный эффект вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в этой среде.

В настоящее время отсутствуют литературные данные о росте объемных монокристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$, которые необходимы для проведения оптических и спектральных исследований.

Таким образом, разработка методики выращивания объемных монокристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$, как номинально чистых, так и легированных редкоземельными элементами, исследования их спектральных свойств имеет важное значение для их дальнейшего применения в различных областях науки и техники. Это и обосновывает актуальность выбранной темы исследования.

Целью диссертационного исследования Хаммуд Алаа «Исследование синтезированных монокристаллов двойного молибдата бария-висмута – многофункциональной лазерной и нелинейной среды» является разработка методики выращивания монокристаллов двойного молибдата бария-висмута и исследования физических и оптических свойств полученных кристаллов.

2. Научная новизна и практическая значимость исследований.

В диссертации Хаммуд. Алаа представлены результаты, обладающие научной новизной, имеющие практическую значимость:

1. Впервые разработана методика синтеза кристалла $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$:
 - впервые в мировой практике синтезированы кристаллы $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ и $\text{Nd}:\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ с концентрациями Nd^{3+} в кристалле: 6 ат.% ($3,6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) и 2,42 ат.% ($1,46 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$);
 - впервые исследован спектр пропускания полученных номинально чистых кристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$.

2. Впервые исследованы спектроскопические характеристики кристалла $\text{Nd}:\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ (спектры поглощения и люминесценции,

кинетики затухания люминесценции), с помощью теории Джадда-Офельта рассчитаны параметры интенсивности Ω_2 , Ω_4 , Ω_6 .

3. Методами дифференциального термического анализа, высокотемпературного комбинационного рассеяния впервые построена фазовая диаграмма системы $\text{BaMoO}_4\text{-Y}_2(\text{MoO}_4)_4$, исследована зависимость положений колебательных полос в спектрах КР $\text{BaY}_2(\text{MoO}_4)_4$ от температуры, проведено исследование спектров КР монокристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ (ВВіМ), $\text{BaGd}_2(\text{MoO}_4)_4$ (ВGM) и твердофазного спеченного соединения $\text{BaY}_2(\text{MoO}_4)_4$ (ВУМ);

– проведен рентгено-фазовый анализ спеченных порошков ВGM, ВУМ и ВВіМ.

4. Впервые проведены эксперименты по синтезу и выращиванию кристалла ВУМ с помощью растворителя MoO_3 , которые показали, что в процессе роста происходит обратимый переход из моноклинной фазы в высокотемпературную модификацию соединения неизвестной структуры и разложение его в твердой фазе. Это указывает на тот факт, что монокристаллы ВУМ не могут быть выращены по разработанной методике.

3. Практическая значимость

–разработано дополнительное устройство (ростового узла), позволяющее получать монокристаллы двойного молибдата бария-висмута;

– получены легированные кристаллы при различных концентрациях Nd^{3+} в кристалле (6 ат.% ($3,6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) и 2,42 ат. % ($1,46 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$)), что позволяет детально и точно изучить влияние Nd^{3+} ионов на кристаллическую решетку, и, соответственно влияние на лазерную генерацию;

– результаты исследований спектральных – люминесцентных свойств $\text{Nd}^{3+}:\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$, применение теории Джадда-Офельта, определение оптических свойств этих кристаллов, используются в учебном процессе при подготовке магистров (физиков) и в научных программах, специализирующихся на изучении кристаллической структуры и лазерной генерации.

На основе полученных Хаммуд Алаа теоретических и экспериментальных результатов, решены следующие задачи:

1. Разработана методика выращивания образцов номинально чистых и легированных Nd^{3+} оптических монокристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ и исследованы оптические свойства (спектр пропускания) полученных номинально чистых кристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$.

2. Исследованы спектрально-люминесцентные свойства кристаллов двойного молибдата бария-висмута, легированных Nd^{3+} ионами с разными концентрациями в кристалле.

3. Исследован структурно-фазовый переход в соединения $\text{BaY}_2(\text{MoO}_4)_4$ методом высокотемпературного комбинационного рассеяния (КР-спектроскопии) и сравнить КР спектры соединений двойных молибдатов $\text{BaR}_2(\text{MoO}_4)_4$ (где $R = \text{Bi}, \text{Y}, \text{Gd}$).

4. Оценить возможность синтеза кристалла $\text{BaY}_2(\text{MoO}_4)_4$ при использовании в качестве растворителя оксида молибдена.

4. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Научные результаты выполненной работы обладают высокой степенью достоверности, что обеспечивается использованием современных экспериментальных методик, применением методов и теоретических подходов, обработки экспериментальных данных и сравнение их с теоретическими исследованиями.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 9 научных работах: 1 – в издании, входящем в Scopus; 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 6 – в тезисах докладов конференций.

5. Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, состоящего из 99 наименований. Работа содержит 111 страниц, включая 46 иллюстраций и 12 таблиц.

Во введении кратко обосновывается актуальность выбранной темы, определяются цель работы, необходимые задачи для достижения

поставленной цели, научная новизна работы, положения, выносимые на защиту основные результаты, опубликованные работы, общая характеристика и объем работы.

В первой главе проводится обзор литературы. Рассматриваются кристаллическая структура двойного молибдата бария-висмута и свойства твердого раствора $\text{BaBi}_2\text{Mo}_{4-x}\text{W}_x\text{O}_{16}$ ($0,25 \leq x \leq 1$). Анализируется фазовая диаграмма системы $\text{BaMoO}_4 - \text{Bi}_2(\text{MoO}_4)_3$. Описываются три основных метода выращивания кристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$: метод Чохральского, метод BSSG, кристаллизация из раствора. Рассматриваются характеристики спектров комбинационного рассеяния молибдатов бария-висмута. Представлены детальные спектральные свойства кристалла Nd^{3+} : BGM, приведены выводы.

Во второй главе излагаются методики спектроскопических исследований, показана схема и установки для исследования распределения Nd^+ вдоль образца кристаллической пластины, затем приведена схема и методика исследованная спектров КР при высоких температурах, описан способ проведения дифференциально-термического и рентгенофазового анализа.

В третьей главе представлены данные кривой ДТА $\text{BaY}_2(\text{MoO}_4)_4$ и спектр КР $\text{BaY}_2(\text{MoO}_4)_4$ при различных температурах, а также приведены экспериментальная рентгенограмма спеченных порошков BGM, ВУМ и ВВіМ и эталонная картина BaGd_2 , после этого сравнительные параметры наиболее интенсивных высокочастотных КР полос соединений ВВіМ, BGM и ВУМ и ВКР –активной полосы $\nu_1 (A_g)$ BaWO_4 . Построена фазовая диаграмма системы $\text{BaMoO}_4 - \text{Y}_2(\text{MoO}_4)_3$. Лучевая стойкость для кристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ и $\text{BaGd}_2(\text{MoO}_4)_4$ оценивалась примерно в 500 МВт/см^2 ;

В четвёртой главе излагаются методики проведения ростовых экспериментов, приведены разработанные автором методики выращивания монокристаллов двойного молибдатов бария-висмута, затем указана методика измерения теплового градиента в печи, которое проводилось с

помощью платина-платинородиевой термопары типа В, приводятся результаты необходимых тепловых измерений, также указаны описан экспериментальный способ и условия для выращивания монокристаллов бария-висмута, легированных Nd^{3+} . Сообщается о получении кристаллов с концентратами Nd^{3+} 6 ат. % ($3,6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) и 2,42 ат. % ($1,46 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$), представлены спектрально-люминесцентные свойства кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В целом диссертация ХаммудАлаа является законченным исследованием, представляет решение актуальной задачи.

6. Замечания по работе.

К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Вводная часть с обоснованием актуальности слишком затянута, но при этом не даются четкие формулировки, определения некоторых понятий. Например, зачем и как оценивались лучевая стойкость для кристаллов $\text{BaBi}_2(\text{MoO}_4)_4$ и $\text{BaGd}_2(\text{MoO}_4)_4$?

2. Почему автор использовал для выращивания монокристаллов метод вытягивания из собственного раствора-расплава? Точные причины использования такого метода не приведены.

3. В тексте диссертации и автореферата имеются ошибки и опечатки. При оформлении текста также следовало бы соблюдать правила технического редактирования.

Общее заключение. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 научных работах, в том числе: 1 – в издании, входящем в Scopus; 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 6 – в тезисах докладов конференций.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на нескольких конференциях и научных семинарах.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и характеризуют результаты проведенных исследований.

