

Таблица 1 – Значения входных параметров для расчёта энергетических характеристик лазерного излучения

Параметр	Значение
Длина волны излучения накачки	804–810 нм
Сечение вынужденного излучения Nd:YAG	$2,8 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2$
Время жизни верхнего лазерного уровня	230 мкс
Квантовая эффективность перехода 0-2	0–87
Концентрация ионов Nd, м^{-3}	$0,9 \cdot 1,38 \cdot 10^{26}$
Показатель преломления Nd:YAG	1–816
Длина накачиваемой области активного элемента	80 мм
Длина резонатора	300 мм
Вредные потери в резонаторе за один обход	0,1

Квантрон является системой с поперечной диодной накачкой термостабилизированными матрицами лазерных диодов цилиндрического Nd:YAG активного элемента и диффузным отражателем эллиптической формы (рисунок 3).

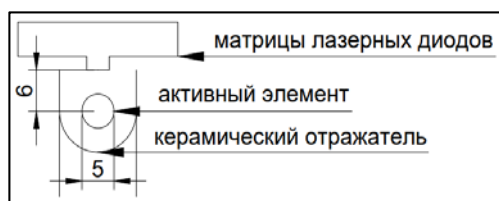


Рисунок 3 – Поперечное сечение системы накачки

КПД передачи излучения накачки равен от 48 до 51 % согласно расчётам, проведенным с использованием ПО Zemax. Следовательно, сум-

марная мощность излучения должна составлять не менее 5 200 Вт. Система накачки, представленная на рисунке 3, может быть реализована семью матрицами лазерных диодов номинальной мощностью 800 Вт. Из-за наличия термолинзы в активном элементе резонатор является устойчивым. Расходимость излучения определяется модовым составом резонатора, ограниченного защитной диафрагмой активного элемента. Величина усредненной термолинзы оценивалась согласно п. 7.1 [4] и равна около 54 м. Величина расходимости лазерного излучения оценивалась методом матричной оптики согласно п. 2.5, 5.2 [5]. Радиус нулевой поперечной моды составляет около 1,04 мм, максимальный порядок поперечных мод не более 4 для случая Эрмитт-Гауссова пучка, расчетная расходимость лазерного излучения равна не менее 1,3 мрад.

Проведенные расчеты показывают один из способов реализации компактного лазерного излучателя с габаритом не более $200 \times 100 \times 50$ мм для применения в системах измерения дальности при воздействии перепада температур и вибраций.

Литература

1. Athermal, Lightweight, Diode-Pumped, 1 micron Transmitter / J.C. McCarthy [et al.] // Proc. of SPIE. – 2016. – Vol. 5707. 0277-786X.
2. Space-qualified laser system for the BepiColombo Laset Altimeter / R. Kallenbach [et al.] // Applied Optics. – 2013. – Vol. 42, № 36. – P. 8732–8746.
3. A compact laser target designator / S.T. Lee [et al.] // Proc. of SPIE. – 2016. – Vol. 9834. 98340Q-1.
4. Solid-State Laser Engineering, 6th ed. / W. Koechner, Round Hill, USA: Springer, 2006. – 765 p.
5. Optical Resonators: fundamentals, advanced concepts and applications / N. Hodgson, H. Weber, London : Springer-Verlag London Ltd, 1997. – 666 p.

УДК 539.26, 538.958, 621.373.8

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СИТАЛЛОВ ЦИНК-ГАЛЛИЙ-АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОСТАВА

Глазунов И.В.¹, Маляревич А.М.¹, Юмашев К.В.¹, Дымшиц О.С.²

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ

Минск, Республика Беларусь

²НИТИОМ ВНИЦ «ГОИ имени С.И. Вавилова»

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Источники импульсного лазерного излучения для спектральной области $\sim 1,5$ мкм находят широкое применение в системах локации и зондирования атмосферы. Трехвалентные ионы эрбия (Er^{3+}) обеспечивают лазерную генерацию на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ в этой условно безопасной для глаз области спектра [1]. Для генерации импульсного излучения наносекундной длительности в лазерный резонатор обычно помещается нелинейный элемент – пассивный затвор на основе насыщающегося поглотителя.

Это позволяет создать полностью твердотельную лазерную систему.

Двухвалентные ионы кобальта (Co^{2+}), расположенные в кристаллах в позициях с тетраэдрической симметрией локального окружения, характеризуются широкополосным поглощением в области длин волн 1,3–1,5 мкм [2]. Данная полоса связана с переходом $^4A_2(^4F) \rightarrow ^4T_1(^4F)$ [3]. Тетраэдрическая координация ионов Co^{2+} обеспечивает высокие поперечные сечения поглощения из основного состояния и, следова-

тельно, небольшие значения плотности энергии насыщения в пределах данной полосы (около 1 Дж/см²). Это делает Co²⁺-содержащие материалы подходящими для модуляции добротности лазеров на ионах Er³⁺.

В последнее десятилетие большое распространение получили пассивные затворы из алюмосиликатных стеклокристаллических материалов (ситаллов), которые содержат наноразмерные кристаллы. Спектроскопические свойства ситаллов определяются свойствами как наноразмерных кристаллов, так и остаточного стекла. Хорошие термомеханические свойства ситаллов [4] обеспечивают высокие значения их лучевой стойкости.

В данной работе представлен ситалл на основе цинк-галлий-алюмосиликатного (далее ZGAS) состава, где в стеклообразной матрице синтезирована смешанная кристаллическая структура цинк-алюминиевых и галлий-алюминиевых шпинелей (рисунок 1).

Исходные стекла были вторично термообработаны при температурах 800 °С, 850 °С, 900 °С, 1000 °С. В результате термообработки получен ряд образцов сине-зеленого цвета.

На рисунке 2 представлены спектры люминесценции ситаллов, полученных в результате термообработки при температурах от 850 °С до 1000 °С. Возбуждение люминесценции осуществлялось облучением Хе-лампой, что соответствует переходу $^4A_2(^4F) \rightarrow ^4T_1(^4P)$ тетраэдрически координированных ионов Co²⁺.



Рисунок 1 – Изображения исходного стекла и прозрачной стеклокерамики, с указанием режима термообработки, (температура, °С/время, ч)

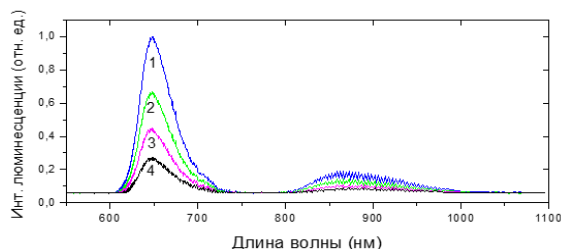


Рисунок 2 – Спектры люминесценции ситаллов, полученных методом вторичной термообработки при: 1000 °С (1), 950 °С (2), 900 °С (3), 850 °С (4). Длина волны возбуждения $\lambda = 532$ нм

Спектры типичны для тетраэдрически координированных ионов Co²⁺. Широкие полосы люминесценции с центрами 648 и 865 нм могут быть отнесены к разрешенным электродипольным переходам с термически заселенного уровня $^4T_1(^4P)$ [5]. Интенсивная полоса с максимумом при 648 нм связана с переходом $^4T_1(^4P) \rightarrow ^4A_2(^4F)$. Значительно более слабая полоса от 800 до 1000 нм относится к переходу $^4T_2(^4F)$. Несколько пиков, расположенных в области 690–720 нм, происходят от примесных ионов Cr³⁺, входящих в структуру шпинели в позициях октаэдрических ионов Al³⁺ [6].

Видно, что повышение температуры термообработки на стадии кристаллизации фазы шпинели не приводит к изменению формы спектра люминесценции, но приводит к увеличению интенсивности люминесценции, которую можно аппроксимировать линейной зависимостью (рисунок 3).

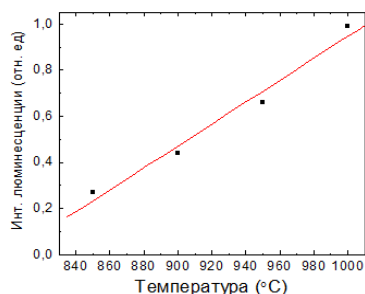


Рисунок 3 – Зависимость интегрального сигнала люминесценции от температуры в спектральном диапазоне 600–750 нм

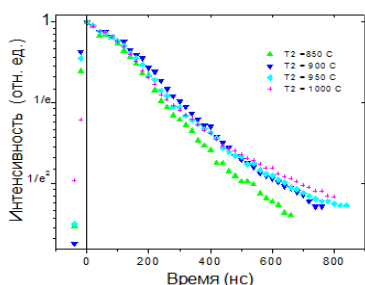


Рисунок 4 – Затухание интегрального сигнала люминесценции исследуемых ситаллов

На рисунке 4 показан интегральный сигнал затухания люминесценции ситаллов, полученных при различных температурах термообработки. Для всех образцов зависимость не моноэкспоненциальная, что можно объяснить наличием слегка искаженных позиций для ионов Co²⁺ на границе нанокристаллов со структурой шпинели. Оценены характерные времена затухания люминесценции как время спада до уровня 1/e, $\tau_{1/e}$. Характерные времена затухания люминесценции представлены в таблице 1. Результаты показывают, что значение $\tau_{1/e}$ остается постоянным (с учетом экспериментальной погрешности) при изменении температуры термообработки и составляет 260 ± 10 нс.

Таблица 1 – Времена затухания люминесценции для образцов стеклокерамики, приготовленных при различных температурах термообработки

Режим термообработки	Время затухания люминесценции, $\tau_{1/e}$, нс
720 °C/6 ч + 800 °C/6 ч	260±10
720 °C/6 ч + 850 °C/6 ч	280±10
720 °C/6 ч + 900 °C/6 ч	260±10
720 °C/6 ч + 1000 °C/3 ч	250±10

Новые цинк-галлиоалюмосиликатные ситаллы на основе нанокристаллов шпинели $Zn(Ga,Al)_2O_4$, легированные Co^{2+} , были получены традиционным методом закалки в расплаве с контролируемой кристаллизацией.

Изучены люминесцентные свойства данных материалов, а также получены характерные времена затухания люминесценции. Показано, что люминесцентные свойства ситаллов определяются в основном тетраэдрически координированными ионами Co^{2+} , расположенными в нанокристаллах $Zn(Ga,Al)_2O_4$ со структурой шпинели.

Литература

1. Karlsson G., Laurell F., Tellefsen J., Denker B., Galagan B., Osiko V., Sverchkov S. // Appl. Phys. B. 2002. – V. 75. – P. 41.
2. Yumashev K.V., Denisov I.A., Posnov N.N., Prokoshin P.V., Mikhailov V.P. // Appl. Phys. B. – 2000. – V. 70. – P. 179.
3. Papalardo R., Wood D.L., Linares R.C., Jr. // J. Chem. Phys. – 1961. – V. 35. – P. 2041.
4. Holand W., Beall G.H. Glass Ceramic Technology, 2nd Edition. Wiley, 2012. – 440 p.
5. I.A. Denisov, Yu.V. Volk, A.M. Malyarevich, K.V. Yumashev, O.S. Dymshits, A.A. Zhilin, U. Kang, K.-H. Lee, Linear and nonlinear optical properties of cobalt-doped zinc aluminum glass ceramics. J. Appl. Phys. 93 (7) (2003) 3827-3831.
6. P. Loiko, A. Belyaev, O. Dymshits, I. Evdokimov, V. Vitkin, K. Volkova, M. Tsenter, A. Volokitina, M. Baranov, E. Vilejshikova, A. Baranov, A. Zhilin, Synthesis, characterization and absorption saturation of $Co:ZnAl_2O_4$ (gahnite) transparent ceramic and glass-ceramics: A comparative study, J. Alloys Compnd 725 (2017) 998-1005.

УДК 621.375.826

СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОПТИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

$Er:Y_2O_3$ И $Er:YAG$

Горбаченя К.Н.¹, Кисель В.Э.¹, Лопухин К.В.², Балашов В.В.², Федин А.В.³, Герке М.Н.³, Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ
Минск, Республика Беларусь

²Фрязинский филиал института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН
Фрязино, Российская Федерация

³Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Владимир, Российская Федерация

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к разработке и созданию лазеров, работающих в условно безопасном для глаз спектральном диапазоне 1.5–1.6 мкм, в том числе для лазерных локаторов беспилотного транспорта. Однако до сих пор актуальным вопросом является поиск эффективной лазерной среды, обеспечивающей возможность получения лазерной генерации с высокой средней выходной мощностью. На сегодняшний день основными эрбиевыми материалами остаются фосфатные стекла, характеризующиеся малой теплопроводностью (~ 0,85 Вт/м*К), что ограничивает их применение в мощных лазерах. В настоящее время внимание исследователей смещается на материалы, которые обеспечивают сочетание спектроскопических характеристик, необходимых для получения эффективной лазерной генерации, и высокой теплопроводности матриц (> 3 Вт/м*К). Применение таких активных сред в дальнейшем позволяет создавать лазеры, генерирующие излучение с высокой средней выходной

мощностью (> 1 Вт) в непрерывном и импульсном режимах, для применения в лазерной дальнометрии, медицине, системах оптической локации и лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии.

Появление доступных источников накачки – лазерных диодов на основе соединений $InGaAsP/InP$, излучающих в области 1,5 мкм, с приемлемыми пространственными и спектральными характеристиками пучка вызвало повышенный интерес исследователей к изучению генерационных характеристик материалов, активированных только ионами Er^{3+} , при резонансной накачке непосредственно на верхний лазерный уровень $^4I_{13/2}$. В этом случае тепловыделение из-за малой относительной разности энергий квантов накачки и генерации сводится к минимуму. Открывается возможность применения материалов с низкой эффективностью переноса энергии от ионов иттербия к ионам эрбия в качестве активных сред лазеров спектрального диапазона 1,5–1,6 мкм. Ранее сообщалось о получении ла-