

НОВАЯ ПРОСВЕТЛЯЮЩАЯСЯ СРЕДА НА ОСНОВЕ СТЕКЛОКЕРАМИКИ С НАНОКРИСТАЛЛАМИ $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$ ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ ЛАЗЕРОВ

Скопцов Н. А.¹, Глазунов И. В.¹, Маляревич А. М.¹, Юмашев К. В.¹,
Дымшиц О. С.², Жилин А. А.², Алексеева И. П.², Шемчук Д. В.²

¹ НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

² НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Источники импульсного лазерного излучения широко применяются в прецизионной обработке материалов, дальнометрии, для передачи и обработки информации. Одним из способов получения такого лазерного излучения является применение пассивных затворов на основе просветляющихся сред.

В настоящее время в эрбиевых лазерах широко используются пассивные затворы на основе кристаллических и стеклокристаллических сред с тетраэдрически координированными ионами кобальта Co^{2+} [1]. По этой причине поиск новых материалов с такими ионами остаётся актуальной задачей. Целью данной работы является изучение спектроскопических характеристик и применение в лазерах нового материала для пассивных затворов – прозрачной стеклокерамики (ситалла) с наноразмерными кристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$.

Для изготовления ситалла синтезировалось исходное стекло системы $\text{K}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ с добавкой оксида кобальта в платинородиевом тигле при температуре 1590 °С. Стекломасса отливалась на металлическую плиту и отжигалось при температуре 500 °С. В результате вторичной термообработки стекла при температуре 700 °С в течение 24 часов был получен прозрачный материал сине-фиолетового цвета.

Определение структуры кристаллической фазы, выделившейся при термообработке, выполнялся рентгенофазовый анализ (РФА). Измерения производилась с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 6000 при излучении $\text{Cu K}\alpha$ с никелевым фильтром. Согласно данным РФА (рис. 1), сформированный ситалл содержит кристаллы ZnO нанометрового размера.

Регистрация спектров пропускания осуществлялась с помощью спектрофотометра Cary Varian 5000.

В спектре (рис. 2) в области длин волн 1.1–1.9 мкм наблюдается полоса поглощения, характерная для тетраэдрически координированных двухвалентных ионов кобальта Co^{2+} , которая обусловлена переходами ионов из основного 4A_2 в возбуждённое $^4T_1(^4F)$ состояние. Структурирование полосы позволяет заключить, что ионы кобальта располагаются в нанокристаллах ZnO , замещая часть ионов цинка. Важной особенностью данного спектра является большая ширина

полосы, поглощение в которой наблюдается на длинах волн больше 1.6 мкм. Это нетипично для тетракоординированных ионов Co^{2+} в оксидных матрицах. Это позволяет рассчитывать на применимость данного материала в твёрдотельных лазерах с длиной волны излучения диапазона 1.6–1.7 мкм.

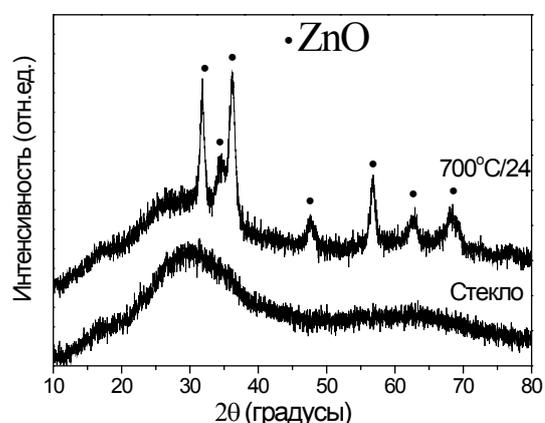


Рисунок 1 – Рентгенограмма исходного стекла и стеклокерамики с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$

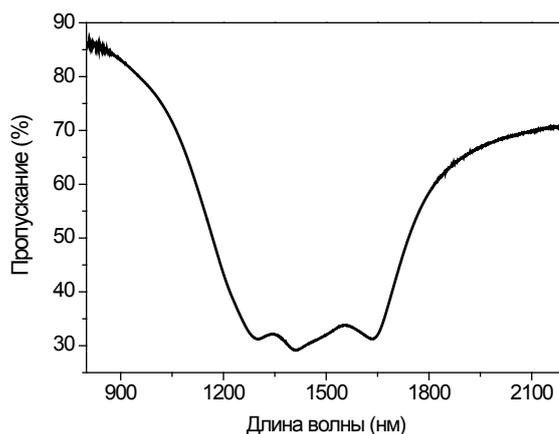


Рисунок 2 – Спектр пропускания ситалла с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$

Исследована зависимость пропускания материала от плотности энергии падающего излучения. Образец толщиной $L=3.9$ мм облучался лазерными импульсами с энергией 1.3 мДж, дли-

тельностью 87 нс на длине волны 1540 нм. Излучение фокусировалось на образец линзой, а изменение плотности энергии E_0 на его поверхности осуществлялось путём перемещения образца вдоль оптической оси линзы. Минимальный диаметр сфокусированного пятна составлял 70 мкм.

Кривая просветления ситалла с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$ приведена на рис. 3. Видно, что материал хорошо просветляется, при возрастании плотности энергии до 5 Дж/см² пропускание возрастает до 52% (при начальном пропускании для низкоинтенсивного потока – $T_0=36\%$). Анализ экспериментальных данных проводился в рамках модели медленно релаксирующего поглотителя [1]:

$$\frac{dE_0}{dz} = -E_{sa} \cdot \frac{\ln(1/T_0)}{L} \cdot \left[(1-\gamma) \cdot (1 - e^{-\frac{E_0}{E_{sa}}}) + \gamma \cdot \frac{E_0}{E_{sa}} \right]$$

где $E_{sa} = h\nu/\sigma_a$ – плотность энергии насыщения поглощения; $\gamma = \sigma_{esa}/\sigma_a$ – контраст просветления среды; σ_a и σ_{esa} – поперечные сечение поглощения из основного и возбужденного состояний, соответственно. По результатам моделирования установлено, что контраст просветления равен $\gamma=0.6$, поперечное сечение поглощения из основного состояния составляет $\sigma_a = 2 \cdot 10^{-19}$ см², плотность энергии насыщения поглощения – $E_{sa} = 0.65$ Дж/см².

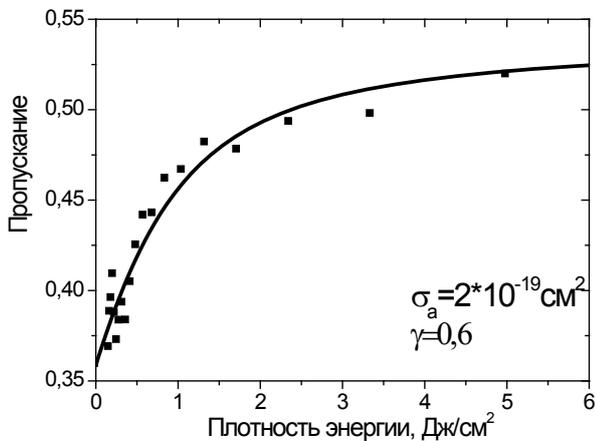


Рисунок 3 – Насыщение поглощения ситалла с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$ на длине волны 1,54 мкм

Эксперименты по использованию ситалла с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$ в качестве пассивного затвора проводились в лазере на эрбиевом

стекле с ламповой накачкой. Резонатор лазера длиной 280 мм был образован сферическим зеркалом с радиусом кривизны 1 м и плоским выходным зеркалом. Пропускание выходного зеркала на длине волны генерации (1540 нм) составляло 10%. Затвор толщиной 0,44 мм устанавливался в резонатор под углом Брюстера, при этом его начальное пропускание составляло 89,4%. В этих условиях была получена модуляция добротности лазера, излучались импульсы с энергией 0,8 мДж и длительностью 225 нс. На рис. 4 приведена осциллограмма отдельного импульса.

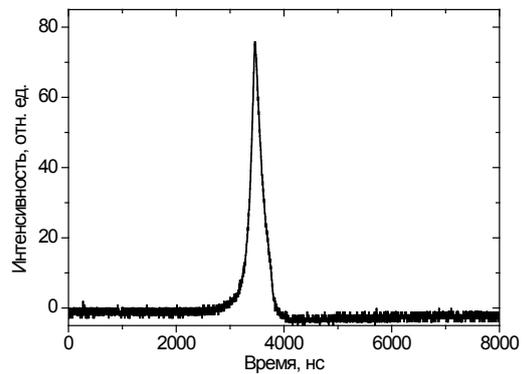


Рисунок 4 – Импульс излучения эрбиевого лазера в режиме модуляции добротности при использовании в качестве пассивного затвора ситалла с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$

Синтезирована новая просветляющаяся среда на основе стеклокристаллического материала с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{ZnO}$ для обеспечения пассивной модуляции добротности лазеров ближнего инфракрасного диапазона. Исследованы его структурные, спектроскопические и нелинейно-оптические свойства, получена пассивная модуляция добротности эрбиевого лазера с ламповой накачкой. Показано, что указанный материал является перспективной средой для пассивной модуляции добротности лазеров спектрального диапазона 1,4-1,7 мкм.

1. А.М. Маляревич, К.В. Юмашев. Твёрдые просветляющиеся среды. – Мн. БНТУ, 2008. 204 с.