

11. Голографические и лазерные свойства фото-термо-рефрактивных стекол, активированных редкоземельными ионами

Н. В. Никоноров, С. А. Иванов, Х. Нассер, В. А. Асеев, А. И. Игнатъев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

Фото-термо-рефрактивное (ФТР) стекло, активированное редкоземельными (РЗ) ионами, является перспективным полифункциональным материалом для создания лазеров с распределенной обратной связью. В данной работе были исследованы голографические и лазерные свойства ФТР стекол, активированных РЗ ионами. Лазерная генерация была получена на неодимовом и иттербий-эрбиевом ФТР стеклах. Рассчитана зависимость величины модуляции первой гармоники показателя преломления от времени термообработки для всех стекол. Показано, что РЗ активаторы удерживают ионы фтора в процессе фото-термо-индуцированной кристаллизации, что приводит к уменьшению способности фтора формировать нанокристаллы фторида натрия, отвечающие за изменение показателя преломления в матрице стекла.

Ключевые слова: Фото-термо-рефрактивное стекло, Редкоземельный ион, Фото-термо-индуцированная кристаллизация, Лазеры с распределенной обратной связью, Брэгговская решетка.

Цитирование: **Никоноров, Н. В.** Голографические и лазерные свойства фото-термо-рефрактивных стекол, активированных редкоземельными ионами / Н. В. Никоноров, С. А. Иванов, Х. Нассер, В. А. Асеев, А. И. Игнатъев // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 60–63.

Введение

Фото-термо-рефрактивное (ФТР) стекло используется для записи высокоэффективных объемных фазовых брэгговских решеток для элементов и устройств лазерной техники [1, 2]. В этом стекле после УФ облучения и последующей термообработки (ТО), образовывается кристаллическая фаза AgBr-NaF на наночастицах серебра, что приводит к изменению показателя преломления. Благодаря этому, ФТР стекло представляет большой интерес как голографическая среда. Оно обладает уникальными голографическими характеристиками, которые дают ему конкурентные преимущества перед известными голографическими средами на основе полимеров, эмульсий, пористых стекол и т. д. К этим характеристикам прежде всего можно отнести высокую механическую, термическую и оптическую прочность, химическую устойчивость, возможность формообразования за счет прессования, шлифования и полирования, вытяжки оптического волокна и т. д. [1].

В университете ИТМО разработано новое лазерное ФТР стекло, активированное редкоземельными (РЗ) ионами (неодимом, иттербием и эрбием). Это существенно расширяет функциональные возможности ФТР стекла, т. е. на его основе открывается возможность создания

голографических оптических элементов и устройств, в которых возможно осуществление генерации и усиления, а также создание лазеров с брэгговскими зеркалами или лазеров распределенной обратной связью (РОС-лазеров). Преимущества такой лазерной конструкции очевидны: решетка Брэгга действует как селективное зеркало с очень узкой полосой отражения и, таким образом, обеспечивает узкую спектральную линию на выходе лазера [3, 4].

Целью данной работы является исследование влияния РЗ активаторов на процесс фото-термо-индуцированной (ФТИ) кристаллизации, а также изучение лазерных свойств ФТР стекол, активированных РЗ-ионами.

1. Объекты исследования и методика экспериментов

В данной работе было синтезировано три типа ФТР стекол системы $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-NaF-KBr}$, активированных Ag_2O , CeO_2 и Sb_2O_3 , с различной концентрации РЗ ионов: эрбием, иттербий-эрбием и неодимом). Запись голограммы проводилась He–Cd лазером (Kimmon) на длине волны 325 нм (1 Дж/см^2), затем стекла проходили последовательную термообработку при температуре 485 °С. Для исследования лазерной генерации был использован плоско-вогнутый резонатор. Накачка проводилась диодным лазером на длине волны 808 нм.

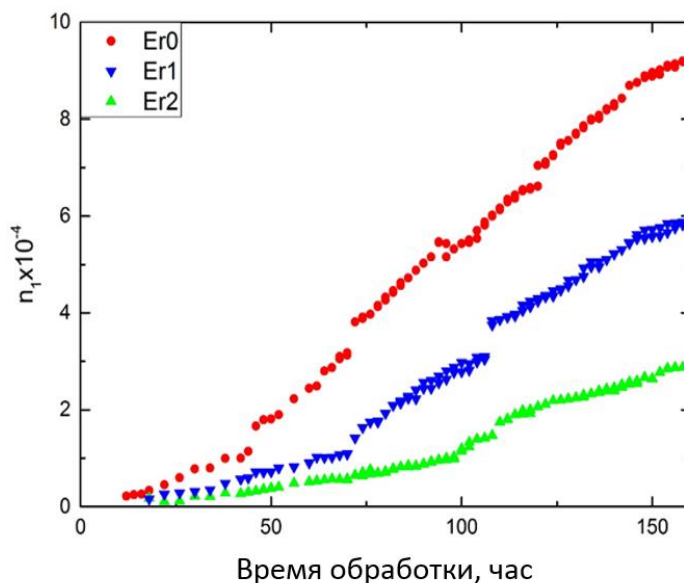
2. Результаты и обсуждения

2.1. Голографические свойства

Продемонстрированы спектральные свойства и амплитуда модуляции показателя преломления ФТР стекол, активированных РЗ ионами, после процесса записи голограммы. Измерения спектров поглощения исходного ФТР стекла и стекол, активированных неодимом, иттербием и эрбием, показали, что отсутствует влияние РЗ ионов на фоточувствительность стекла. Этот вывод был сделан исходя из отсутствия полос поглощения данных ионов в области полосы поглощения трехвалентного иона церия в стекле. Решетка Брэгга успешно записана в данных стеклах и показано, что запись решетки не оказывает влияние на спектральные лазерные переходы эрбия и неодима в инфракрасной области, которые используются для генерации.

Было проведено исследование кинетики ФТИ кристаллизации в ФТР стеклах, активированных РЗ ионами. На рисунке 1 представлены зависимости величины модуляции первой гармоники показателя преломления n_1 от продолжительности ТО для исходного ФТР стекла и стекол с различной концентрацией эрбия.

Можно заметить, что каждая кривая состоит из двух частей (этапов). В первом этапе медленно растет величина n_1 с увеличением времени ТО. Чем больше концентрации эрбия в стекле, тем больше времени длится этот этап. Во втором этапе наклон кривой меняется и начинается активный рост величины n_1 из-за интенсивного роста кристаллической фазы NaF. Наиболее быстрое увеличение происходит в исходном стекле Er0, а в Er2 величина n_1 очень медленно вырастает. Было установлено, что даже при увеличении времени или температуры ТО, не достигаются одинаковые значения изменения показателя преломления для всех стекол. Поэтому, было предположено, что при повышении концентрации РЗ ионов, меньшая



Er0 — $E_2O_3 = 0$ мол. %; Er1 — $E_2O_3 = 0,1$ мол. %; Er2 — $E_2O_3 = 0,2$ мол. %

Рис. 1. Зависимость величины модуляции первой гармоники показателя преломления от продолжительности те ТО исследуемых стекол для разных концентраций эрбия

доля фтора участвует в процессе ФТИ кристаллизации т. к. часть фтора удерживается РЗ активатором. Таким образом, для сохранения голографических свойств материала, необходимо увеличивать содержание фтора при синтезе.

Такое же поведение амплитуды модуляции показателя преломления мы наблюдали в случае неодимового ФТР стекла.

2.2. Лазерные свойства

В настоящей работе была получена генерация в ФТР стеклах в оптимальной концентрации неодима и иттербий-эрбия. Рисунок 2 показывает выходную мощность генерации от поглощенной мощности накачки для ФТР стекла, активированного неодимом, для зеркал с пропусканием 0,5 % и 1 %. Для этих значений наклон кривых (эффективность преобразования) составил 13,4 %, 16,8 %, соответственно. Результаты показали, что величина пассивных потерь в неодимовом ФТР стекле за два прохода составляет 0,34 %, что является довольно низким значением и сопоставимо с коммерчески производимым активным элементом на основе кристаллов Nd-YAG. В иттербий-эрбиевом ФТР стекле пассивные потери составили 0,28 %. Это низкое значение объясняется лучшим качеством подготовки поверхностей данного активного элемента.

Заключение

ФТР стекло, активированное РЗ ионами можно рассматривать как полифункциональный материал, объединяющий в себе две возможности: запись голограмм и получение генерации. В данной работе брэгговские решетки были успешно записаны в активированных ФТР стеклах. Рассчитаны величины модуляции первой гармоники показателя преломления при различной концентрации РЗ ионов. Обнаружено, что введение РЗ активаторов приводит к замедлению

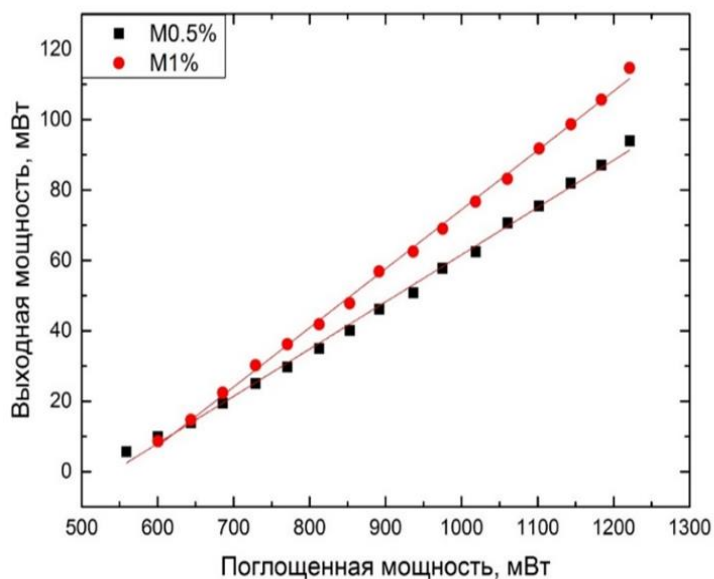


Рис. 2. Эффективность генерации для ФТР стекла, активированного Nd_2O_3 (0,5 мол. %), для разных значений пропускания выходного зеркала

кинетики ФТИ кристаллизации. Для сохранения голографических свойств материала, предложено увеличить содержание фтора. Лазерная генерация была получена на неодимовом и иттербий-эрбиевом ФТР стеклах.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Проект 16.1651.2017/4.6).

Список источников

- [1] **Nikonorov, N.** Photonic, Plasmonic, Fluidic, and Luminescent Devices Based on New Polyfunctional Photo-Thermo-Refractive Glass / N. Nikonorov, V. Aseev, V. Dubrovin, A. Ignatiev, S. Ivanov, E. Sgibnev. — Cham: Springer, 2018. — 83 p.
- [2] **Nikonorov, N.** New photo-thermo-refractive glasses for holographic optical elements: properties and applications / N. Nikonorov, S. Ivanov, V. Dubrovin, A. Ignatiev. — Dublin: InTech, 2017. — 435 p.
- [3] **Kogelnik, H.** Stimulated emission in a periodic structure / H. Kogelnik, C. V. Shank // Appl. Phys. Lett. — 1971. — Vol. 18. — № 4. — P. 152–154.
- [4] **Nakamura, M.** Laser oscillation in epitaxial GaAs waveguides with corrugation feedback / M. Nakamura, H. W. Yen, A. Yariv, E. Garmire, S. Somekh, H. L. Garvin // Appl. Phys. Lett. — 1973. — Vol. 23. — № 5. — P. 224–225.