

УДК 535.399

ИССЛЕДОВАНИЕ ХЛОРИДНЫХ ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНЫХ СТЁКОЛ ДЛЯ ЗАПИСИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ОБЪЁМНО-ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАММ

Харисова Р.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – Игнатъев А.И.

(Университет ИТМО)

В настоящей работе был исследован новый класс ФТР стёкол – хлоридное ФТР стекло с увеличенным содержанием серебра и с классическим содержанием фторидов. Исследованы спектральные свойства этих стёкол, показана возможность записи объёмных фазовых голограмм на этом стекле. Измерены дозовые зависимости амплитуды модуляции показателя преломления в брэгговских решётках.

Введение. В настоящее время фото-термо-рефрактивное (ФТР) стекло – широко известный материал для записи объёмных фазовых голографических решёток. Запись голографических решёток в этих стёклах возможна благодаря процессу фото-термо-индуцированной кристаллизации. Происходит он следующим образом. Облучение УФ излучением в полосу поглощения ионов церия (ок. 310 нм) приводит к их фотоионизации, после этого проводится термообработка облучённого стекла при температурах около температуры стеклования (ок. 475 °С). Это приводит к захвату электронов ионами серебра и их объединению в металлические наночастицы. На наночастицах вырастает смешанная кристаллическая оболочка AgBr + NaBr, на которой затем вырастает кристаллическая фаза фторида натрия. Кристаллы NaF имеют меньший показатель преломления (1,32) по сравнению с матрицей стекла (1,49), что приводит к уменьшению показателя преломления в облучённой области.

ФТР стекло используется как среда для записи голографических оптических элементов: узкополосных угловых и спектральных селективных элементов, чирпированных голографических решёток для сжатия и растяжения импульсов в усилителях сверхкоротких лазерных импульсов, фазовых пластинок, голографических призм как высокоточных мер для плоских углов. Кроме того, сейчас активно исследуется ФТР стекло, активированное ионами редкоземельных элементов, для создания лазеров с распределённой обратной связью.

Классическое, коммерчески доступное ФТР стекло – стекло системы $\text{Na}_2\text{O-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-NaF-NaBr}$ с добавками Ce^+ , Ag^+ и Sb^+ . Оно содержит в составе 0,006 мол.% Ag_2O и 6,4 мол.% NaF. Также исследовались несколько классов ФТР стёкол с изменённым составом: в них вводилось содержание серебра в 5 – 20 раз большее чем в классическом варианте, однако для возможности введения большого количества серебра значительно уменьшалась концентрация фторидов. Одновременно с этим был исследован класс ФТР стёкол с повышенным содержанием серебра и уменьшенным – фтора, но NaBr был заменён на NaCl. Эти стёкла отличаются тем, что изменение показателя преломления происходит благодаря кристаллической оболочке AgBr (или AgCl), показатель преломления которого выше аналогичного значения у матрицы стекла. Это позволяет записывать в них градиентные волноводы, однако амплитуда показателя преломления в голографических решётках ниже (ок. $8 \cdot 10^{-4}$ по сравнению с $1,5 \cdot 10^{-3}$ для классического состава). Остаётся практически неизученным большой класс ФТР стёкол – хлоридных стёкол с содержанием фторидов равным содержанию в классическом составе ФТР стекла.

Одним из необходимых для практических применений направлений модификаций ФТР стекла является уменьшение рассеяния на кристаллической фазе в голографических решётках. Предварительные расчёты показывают, что уменьшение рассеяния может быть достигнуто путём уменьшения размеров кристаллической фазы при увеличении концентрации серебра в стекле.

Основная часть. Эксперимент показал, что значительное увеличение концентрации серебра невозможно в бромидном ФТР стекле, т.к. серебро восстанавливается при синтезе стекла и фото-термо-индуцированная кристаллизация становится невозможной. Однако для хлоридного ФТР стекла таких ограничений не наблюдается вплоть до десятикратного увеличения Ag_2O .

В работе были рассчитаны составы и синтезирована серия стёкол на основе системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{NaF}-\text{NaCl}$, содержащих в составе CeO_2 , Sb_2O_3 и Ag_2O , концентрация NaF 6,4 мол.%. В серии стёкла со стандартным содержанием серебра и увеличенным по сравнению с классическим составом в 5 и 10 раз. Температура стеклования для всех стекол измерялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе NETZSCH STA 449F1 и для всех образцов составила примерно 473°C . Каждое стекло облучалось УФ излучением и подвергалось дальнейшей термообработке при различных температурах около температуры стеклования. После каждой термообработки измерялся спектр поглощения на спектрофотометре Lambda 650 фирмы PerkinElmer. Кроме того, была подтверждена возможность записи объёмных голограмм на хлоридном ФТР стекле. Голограммы записывались He-Cd лазером на длине волны 325 нм с разными дозами, после чего происходила термообработка.

Выводы. В настоящей работе был исследован новый класс ФТР стёкол – хлоридное ФТР стекло с увеличенным содержанием серебра и с классическим содержанием фторидов. Исследованы спектральные свойства этих стёкол, показана возможность записи объёмных фазовых голограмм на этом стекле. Измерены дозовые зависимости амплитуды модуляции показателя преломления в брэгговских решётках.

Спектральные измерения показали, что при термообработке записанных голограмм нельзя использовать температуры выше 500°C , т.к. выше этой температуры сильно растёт кристаллическая фаза и значительно увеличивается рассеяние в стекле. Кроме того, пик полосы поглощения плазмонного резонанса в хлоридном стекле сдвинут в коротковолновую область по сравнению с классическим ФТР стеклом, что увеличивает спектральный диапазон использования фазовых голографических решёток.

Харисова Р.Д. (автор)

Подпись

Игнатьев А.И. (научный руководитель)

Подпись