

УДК 544.032.656

ПРЯМАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЬ ФАЗОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАНОПОРИСТОЙ СИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЕ

Яндыбаева Ю.И. (Университет ИТМО)
Научный руководитель – к.т.н., н.с. Заколдаев Р.А.
(Университет ИТМО)

Введение. Прямая лазерная запись с использованием ультракоротких импульсов позволяет формировать различные функциональные структуры в объеме стекол [1]. Широкое применение получили двулучепреломляющие структуры из периодических массивов нанорешеток. Такое наведенное двулучепреломление свидетельствует об изменении фазовой скорости проходящего света и появлении задержки на данных областях.

Этот эффект позволяет создавать фазовые оптические элементы в толще силикатных материалов [2]. Как правило фазовые пластинки изготавливаются из кристаллических материалов с высоким двулучепреломлением. Также известна технология создания фазовых пластин на поверхности плавленого кварца [3]. Однако, создание фазовых элементов на базе двулучепреломляющих структур в объеме стекла представляет актуальную задачу, так как в данном случае они будут защищены от внешнего воздействия.

В настоящей работе исследуется запись двулучепреломляющих структур в нанопористой силикатной матрице (НПСМ) [4] с целью дальнейшего создания фазового элемента.

Основная часть. В данной работе мы предлагаем использование технологии прямой лазерной записи в нанопористых силикатных матрицах двулучепреломляющих структур для создания фазовой задержки и поворота поляризации проходящего излучения.

Двулучепреломляющие структуры формировались в НПСМ ($91.4\text{SiO}_2-7.4\text{B}_2\text{O}_3-1.2\text{Na}_2\text{O}$), которая обладает средним размером пор 17 нм и пористостью 50%. Главными преимуществами данного материала являются его высокая пропускательная способность в диапазоне длин волн 600-1100 нм (>80%), а также наличие свободного порового пространства для пропитывания образца реагентами.

Лазерная запись в пластинах НПСМ производилась на экспериментальной установке по трехмерной обработке материалов (рис. 1) с использованием волоконного иттербиевого фемтосекундного лазера (Antaus-20W-20u/1M, Avesta Ltd.) на второй гармонике с длиной волны $\lambda = 515$ нм, длительностью импульсов $\tau = 220$ фс и максимальной частотой следования импульсов $\nu = 1$ МГц. Фокусировка лазерного излучения производилась с помощью объектива (20x0,4, ЛОМО) на глубине 400 мкм в объеме образца НПСМ.

Значение фазовой задержки измерялось на двулучепреломляющем микроскопе излучением с длиной волны 633 нм, спектры пропускания - на микроскопе-спектрофотометре МСФУ-К (ЛОМО).

Запись двулучепреломляющих структур производилась с различными параметрами лазерного излучения: со средней мощностью излучения от 50 до 160 мВт и частотой повторения от 50 до 150 кГц. Скорость сканирования была выбрана 25 мм/с.

В результате, массив структур в виде квадратов 300x300 мкм, состоящих из линий с периодом записи 8 мкм, был сформирован в объеме НПСМ. Данные структуры обладают разной фазовой задержкой и поворотом поляризации. Наибольшее значение достигается при энергии в импульсе 2,2 мкДж и частоте 50 кГц и равно 160 нм. Данная величина соответствует $\lambda/4$ анализирующего лазерного излучения ($\lambda = 633$ нм) или $\pi/2$. Соответственно, модификация структуры НПСМ позволяет создавать четвертьволновую пластину в объеме пластины. Увеличение записанных слоев приведет также к увеличению фазовой задержки, что позволит создать полуволновую пластину.

При этом пропускание НПСМ с данной структурой составляет 69%. Это накладывает определенные ограничения на ее применение в качестве оптического элемента и требует дальнейшей отработки параметров.

Выводы. В данной работе мы предложили технологию прямой лазерной записи двулучепреломляющих структур на базе нанопористой силикатной матрицы. Исследование двулучепреломляющих свойств показало, что наибольшая величина фазовой задержки на структурах достигает 160 нм, что соответствует $\lambda/4$ анализирующего лазерного излучения. Таким образом, технология позволяет создавать четвертьволновую пластину для длины волны 633 нм за 1 слой записи, или же полуволновую пластину за 2 слоя записи. Однако, необходима дальнейшая отработка параметров лазерного излучения для увеличения пропускания света данной пластиной.

Список использованных источников:

1. Lei Y. et al. Ultrafast laser nanostructuring in transparent materials for beam shaping and data storage //Optical Materials Express. – 2022. – Т. 12. – №. 9. – С. 3327-3355.
2. Fedotov S. S. et al. Direct writing of birefringent elements by ultrafast laser nanostructuring in multicomponent glass //Applied Physics Letters. – 2016. – Т. 108. – №. 7. – С. 071905.
3. Рымкевич В. С. и др. Использование лазерно-индуцированной микроплазмы для изготовления многоуровневых фазовых пластин //Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2017. – Т. 60. – №. 5. – С. 431-439.
4. Vykov E. P. et al. Production of nanoporous silicate matrices—problems of optical homogeneity //Journal of Optical Technology. – 2022. – Т. 89. – №. 3. – С. 161-168.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта НИРМА ФТ МФ Университета ИТМО.

Яндыбаева Ю.И. (автор)

Подпись

Заколдаев Р.А. (научный руководитель)

Подпись