

УДК 535.21

ПРЯМАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЬ ОПТОФЛЮИДНЫХ МИКРОКАНАЛОВ В ПОРИСТОМ СТЕКЛЕ

Шишкина А.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – научный сотрудник, кандидат технических наук, Заколдаев Р.А.

(Университет ИТМО)

Введение. Объемные оптофлюидные системы позволяют комбинировать волноводные и микрофлюидные свойства и проводить реакции в замкнутом пространстве, избегая влияния окружающей среды. Такие интегральные элементы используются в сенсорики, микро- и нанофлюидике. Разработка более универсальных и доступных широкому кругу пользователей методов изготовления оптофлюидных микроканалов в силикатных материалах является актуальной задачей в настоящее время.

Прямая лазерная запись (ПЛЗ) с использованием ультракоротких лазерных импульсов стала мощным инструментом для субтрактивной трехмерной обработки оптически прозрачных материалов. Данный метод модификации стекла позволяет формировать области с измененными оптическими свойствами для создания интегральных оптических элементов - волноводов [1], микрофлюидных каналов [2], нанорешеток [3]. Оптофлюидные микроканалы формируются в оптически прозрачных материалах, так как материал обладает рядом преимуществ: механическая прочность, химическая устойчивость, позволяет проводить постоянный мониторинг протекающих реакций, а также появляется возможность их многократного использования после термической или химической очистки.

В данной работе исследована технология лазерной записи двулучепреломляющих структур и дальнейшее химическое травление полученных треков для формирования оптофлюидного элемента в объеме пористого стекла.

Основная часть. Методика формирования оптофлюидных элементов заключается в следующих ключевых этапах: (I) ПЛЗ структурной модификации протяженной формы внутри пластин нанопористой силикатной матрицы (НПСМ-7); (II) этап химического травления стекла с записанными структурами в растворе гидроксида калия, где происходит увеличение свободного объема пор и очистка записанных структур; (III) очистка и сушка пластины НПСМ-17

В качестве материала для лазерной записи интегральных элементов была использована нанопористая силикатная матрица (НПСМ-7) со средним размером нанопор 7 нм, пористостью 25% и показателем преломления 1,34. Описание процесса изготовления пористых матриц приведено в работе [4].

ПЛЗ пористого стекла осуществлялась на экспериментальной установке по трехмерной обработке оптических материалов. Использовалась вторая гармоника фемтосекундного волоконного иттербиевого лазера (ANTAUS-20W-20u/1M, АВЕСТА-ПРОЕКТ) с длиной волны $\lambda=515$ нм. Фокусировка лазерного излучения осуществлялась с помощью объектива с увеличением 20X и числовой апертурой 0,4. Щелочное травление производилось в растворе гидроксида калия (KOH) 0,5M при температуре 0°C, которое позволило очистить трек от разрушенной фазы стекла и увеличить свободный объем пор по всей матрице.

В результате после ПЛЗ ($\nu = 25$ кГц, $\tau = 500$ фс, $v = 5$ мм/с, $P = 15-50$ мВт) были получены двулучепреломляющие структуры. Сформированные микроканалы представляли из себя оболочку из нанорешеток, селективно отражающие определенную длину волны, и центральную полость. С помощью спектроскопии, были замечены пики интенсивности отраженного света от сформированных треков на длинах волн 534 и 480 нм до и после травления соответственно. Данный эффект может быть связан с изменением показателем преломления среды - пористого стекла. В данный вид модификации была введена жидкость, а также проверены светопроводящие свойства с помощью ввода лазерного излучения в

оболочку микроканала.

Выводы. В работе продемонстрирована гибридная лазерная субтрактивная технология формирования оптофлюидных микроканалов в объеме пористого стекла. С помощью двухстадийной методики были сформированы треки, имеющие свойства: (i) микроканал окружен более плотной оболочкой, что позволило проверить его волноводные свойства; (ii) наличие узкополосного отражения микроканала до и после травления на длинах волн 535 и 480 нм соответственно. Данное исследование открывает новые задачи для изучения сенсорных свойств оптофлюидных элементов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-71-10103)

Список использованных источников:

1. Macias-Montero M. et al. Femtosecond laser induced thermophoretic writing of waveguides in silicate glass //Scientific Reports. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 8390.
2. Fedotov S. et al. Hollow Channel Formation inside Sodium Aluminoborate Glass by Femtosecond Laser Writing and Distilled Water Etching //Materials. – 2021. – Т. 14. – №. 19. – С. 5495.
3. Li X. et al. Polarization-insensitive space-selective etching in fused silica induced by picosecond laser irradiation //Applied Surface Science. – 2019. – Т. 485. – С. 188-193.
4. Bykov E. P. et al. Production of nanoporous silicate matrices—problems of optical homogeneity //Journal of Optical Technology. – 2022. – Т. 89. – №. 3. – С. 161-168.