

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ БАРЬЕРОВ В НАНОПОРИСТОЙ СИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЕ

Яндыбаева Ю.И. (Университет ИТМО), Заколдаев Р.А. (Университет ИТМО), Андреева О.В. (Университет ИТМО)

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

В данной работе мы рассматриваем внедрение в нанопористую силикатную матрицу независимых друг от друга ячеек, разделенных непроницаемыми молекулярными барьерами. Формирование барьеров происходит с помощью фемтосекундного лазерного излучения на длине волны 1030 нм и длительностью импульса 220 фс.

Введение. В течение последних нескольких лет большой толчок к развитию получили микрофлюидные устройства. Это связано с нарастающим спросом на лабораторные исследования молекул, ДНК, вирусов. Одной из главных проблем в настоящее время является позднее диагностирование злокачественных опухолей. В 2018 году в мире было выявлено 18.1 млн случаев заболевания раком, при этом 9.6 млн человек умерли от данного заболевания [1]. Поэтому наравне с поиском лекарства от злокачественных опухолей необходимо разработать точную систему ранней диагностики заболевания. Одним из решений проблемы являются микрофлюидные чипы. Благодаря тому, что они оперируют с малыми объемами веществ, снижается стоимость и увеличивается чувствительность исследований по сравнению с традиционными методами.

Пористые материалы представляют перспективную базу для создания микрофлюидных устройств. Например, в научной группе из Optoelectronics Research Centre, University of Southampton [2] широко используется микропористая целлюлоза для создания микрофлюидных диагностических устройств. Лазерная фотополимеризация в целлюлозе приводит к формированию непроницаемых, гидрофобных барьеров, что позволяет физически разделять, направлять смешиваемые вещества на единой подложке.

Данная система имеет ряд преимуществ: низкая стоимость расходных материалов и легкая технология обработки с широко доступных полупроводниковых лазерных источников со средней мощностью до 2 Вт. К недостаткам метода можно отнести одноразовость использования бумажных матриц, отсутствие стойкости к химическим и механическим воздействиям.

В настоящем докладе мы демонстрируем результаты фемтосекундной лазерной записи барьеров [3,4] в нанопористой силикатной матрице (НПСМ) [5]. В зависимости от типов лазерной модификации были созданы барьеры с избирательной проницаемостью по отношению к молекулам различного размера.

Основная часть. В данной работе мы предлагаем усовершенствование технологии лазерной записи молекулярных барьеров в нанопористой силикатной матрице. Существенным отличием является то, что запись осуществляется за одно сканирование лазерным излучением вместо множества проходов, как это было предложено ранее.

Для лазерно-индуцированной модификации структуры стекла был использован фемтосекундный иттербиевый волоконный лазер Antaus-20W-20u/1M, Avesta Ltd. с длиной волны $\lambda = 1030$ нм, длительностью импульсов $\tau = 220$ фс и максимальной частотой следования импульсов $\nu = 1$ МГц.

Барьеры формировались в НПСМ ($91.4\text{SiO}_2\text{-}7.4\text{B}_2\text{O}_3\text{-}1.2\text{Na}_2\text{O}$), 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, а также сквозной характер пор.

Применяя различные режимы лазерного излучения, при $P = 1540$ мВт и скорости сканирования 1 мм/с мы получили трек уплотнения с высотой ~ 700 мкм. Для проверки проницаемости полученного барьера необходимо проводить пропитывание образца раствором красителя, чтобы исследовать, какой размер молекул барьер способен пропустить. Для тестирования был выбран водный раствор красителя тионина с массовой долей 0.009%. Результат показал, что в области уплотнения НПСМ барьер остановил распространение красителя. Это говорит о том, что создав массив барьеров по всей пластине стекла мы можем получить независимые друг от друга ячейки в пределах одной матрицы, что в свою очередь может стать базой для микрофлюидных чипов нового вида.

Выводы. В данной работе мы предложили технологию совмещения исследований на одном микрофлюидном чипе с помощью создания независимых по химическим свойствам ячеек на одной нанопористой силикатной матрице. Создание таких ячеек представляется возможным при правильном подборе режимов прямой лазерной записи молекулярных барьеров, которые и ограничивают данные ячейки. Также были проведены опыты по проверке проницаемости барьеров, которые показали, что созданные уплотнения в НПСМ останавливают распространение молекул красителя тионина.

Список литературы.

1. Макимбетов Э.К., Салихар Р.И., Туманбаев А.М., Токтаналиева А.Н., Керимов А.Д. Эпидемиология рака в мире // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 2.
2. Galanis P. P. et al. Local photo-polymer deposition-assisted fabrication of multilayer paper-based devices //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2020. – Т. 322. – С. 128574.
3. Veiko V. P. et al. Direct laser writing of barriers with controllable permeability in porous glass //Optics Express. – 2018. – Т. 26. – №. 21. – С. 28150-28160.
4. Zakoldaev R. A. et al. Direct Laser Writing of Functional Optofluidic Elements in Porous Silicate Matrix //Journal of Laser Micro/Nanoengineering . – 2021. – Т. 16. – №. 3. – С. 155-159.
5. Andreeva O. V. et al. Silver-halide photographic materials based on nanoporous glasses //Journal of optical technology. – 2005. – Т. 72. – №. 12. – С. 916-922.

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

Яндыбаева Ю.И. (автор)

Подпись

Заколдаев Р.А. (научный руководитель)

Подпись