

## РЕАЛИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВОВ ЛАЗЕРНЫХ ПРОБОВ В СТЕКЛЕ

С.С. Гринько, С.С. Индюков, М.В. Лобанок, О.Р. Людчик

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*  
*E-mail: [Lyudchik@bsu.by](mailto:Lyudchik@bsu.by)*

На базе спектрофотометра *S100* и микроконтроллера *Atmel328* собран учебный стенд для измерения оптических характеристик. Проведены исследования влияния плотности записи оптических пробов на пропускание оптического стекла. Наносекундными лазерными импульсами (излучаемыми лазерной системой *Nd:YAG*,  $\lambda=1064$  и  $W_{\text{имп}}=10-12$  мДж) в оптическом стекле марки К8 сформированы массивы дефектов с разной степенью заполнения и различным количеством слоёв.

**Ключевые слова:** микроконтроллеры; лазерная обработка; оптические свойства; наносекундное облучение; обработка спектра.

Надёжное долгосрочное хранение и многократное считывание информации является одной из важнейших задач при создании архивов и дата-центров. Концепция долговременной памяти прорабатывается долгое время, однако существенных успехов в записи большого объёма информации удалось достичь только при развитии технологий лазерного взаимодействия с материалами и систем оптического считывания информации. В ряде работ сообщается о возможности записи и хранения информации в кварцевом стекле – технологически простом и бюджетном материале [1,2]. Однако, остаётся ряд не решённых задач, связанных с развитием физико-технологических режимов записи и чтения информации в стекле. Таким образом, создание и стандартизация систем измерения оптических характеристик для прозрачных сред с массивами дефектов является важной задачей для развития технологии долговременной энергонезависимой памяти. С другой стороны, подобная система может быть использована и для проведения рутинных измерений оптических свойств гетероструктур [3]. В работе представлено аппаратно-программное решение измерения оптических характеристик на базе спектрофотометра *S-100*, которое позволяет исследовать зависимости рассеяния проходящего излучения от геометрических параметров дефектов и количества их слоёв.

Массивы дефектов формировали в оптическом стекле марки К8 размером 80x80x10 мм. Лазерную обработку проводили с помощью лазерной системы *Nd:YAG*,  $\lambda=1064$  и  $W_{\text{имп}}=8-10$  мДж. Интенсивность лазерного излучения контролировалась с помощью *Thorlabs PM100USB*. В работе изучались массивы, приведённые на рис. 1а и содержащие от 1 до 6 слоёв дефектов. Первый слой массива дефектов формировался в 2 мм от ниж-

него края стекла. Дефекты в плоскости слоя находятся в центрах равно-  
 сторонних треугольников на расстоянии 650 мкм. Они были созданы с раз-  
 ными энергиями накачки 8-8,6 Дж что соответствует энергиям генерации  
 12,2-19,5 мДж. Расстояние между соседними слоями дефектов задавалось  
 таким образом, чтобы расстояние между центрами дефектов составляло  
 не 1мм.

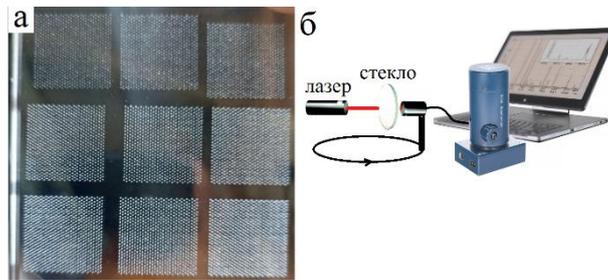


Рис. 1. а – Массивы микродефектов, сформированных с разными энергиями накачки (8, 8,3, 8,6 Дж) и количеством слоёв (1-3 слоя); б – Схема измерительной установки интенсивности пропускания с угловым разрешением, используемой для измерения рассеяния на дефектах.

Принципиальная схема измерения приведена на рис. 1б. На столе размещены лазер с длиной волны  $\lambda \sim 680$  нм, мощностью 0,6 мДж и неподвижный предметный столик с закреплённым образцом, а также подвижный световод спектрофотометра *S100*. Для проведения экспресс-измерений состояний оптических пробоев реализована также схема с неподвижным предметным столиком и независимыми подвижными камерой и лазером с длиной волны  $\lambda \sim 532$  нм и линзой для линейной развёртки. Управление скоростью и направлением подвижной частью осуществляется с помощью микроконтроллера Atmel328 и подключённых к нему драйверов шагового двигателя. Массив спектральных данных спектрометра *S100* и данные с камеры поступают на компьютер. Последующая обработка и анализ данных происходит с помощью *MATLAB*.

Обработанные экспериментальные данные зависимости проходящего излучения от количества слоёв и угла падения на массив оптических пробоев представлены на рис. 2. Отмечается, что при наличии одного слоя интенсивность света уменьшается на 20%.

При увеличении количества слоёв дефектов интенсивность проходящего излучения снижается в 2 раза. При этом в многослойной системе наблюдается хорошая равномерность (разница не более 5%), поскольку слои формировались строго друг над другом, таким образом, чтобы между областями пробоя оставались промежутки без точек рассеяния. Из зависимости интенсивности (рис. 2а) следует, что варьирование энергией лазерных импульсов приводит к изменению рассеяния излучения.

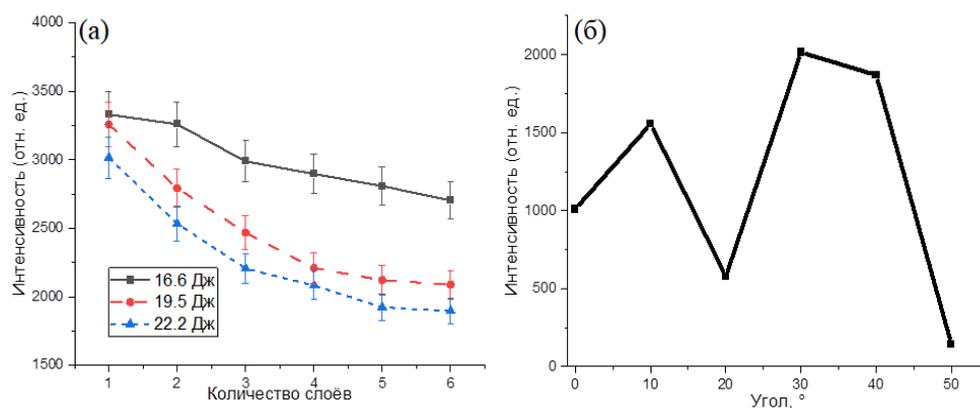


Рис. 2. Зависимость интенсивности проходящего излучения: *а* – от количества слоёв с дефектами; *б* – от угла прохождения в одном дефекте

Увеличение энергии приводит к изменению структурных характеристик массивов дефектов, а именно к увеличению размера дефектов от 0,2 до 0,3 мм по осям  $x$ ,  $y$ , а также от 0,4 до 0,6 мм по оси  $z$ . Увеличение плотности записи дефектов приводит к снижению интенсивности пропускания, а также к изменению равномерности рассеяния по площади массива (снижение разницы интенсивности пропускания излучения до 5%). С помощью измерительной системы были проведены измерения рассеяния в зависимости от стороны, с которой излучение попадает на дефект. Для этого в стеклянном цилиндре был сформирован дефект. Результаты измерения коррелируют с известными [4]. В исследовании [4] показано, что геометрия рассеивающей точки оказывает определяющее влияние на оптические характеристики системы. Стоит отметить, что влияние геометрии дефекта на равномерность рассеяния недостаточно изучено.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. 100-Layer Error-Free 5D Optical Data Storage by Ultrafast Laser Nanostructuring in Glass / H. Wang, Y. Lei, L. Wang, M. Sakakura [et al.] // *Laser & Photonics Reviews* 2022, 16, 2100563.
2. C-H, Park, Y. Petit, L. Canioni, S-H. Park. Five-Dimensional Optical Data Storage Based on Ellipse Orientation and Fluorescence Intensity in a Silver-Sensitized Commercial Glass // *Micromachines*. 2020; 11(12):1026.
3. М.В. Лобанок, А.И. Мухаммад, П.И. Гайдук. Структурные и оптические характеристики гетероструктур SiC/Si, полученных методом быстрой вакуумно-термической карбидизации кремния // *Журнал прикладной спектроскопии*. 2022. №2 (89). С. 204-209.
4. T. Alqurashi, A. Alhosani, M. Dauleh, A.K. Yetisen, H. Butt. Laser inscription of pseudorandom structures for microphotonic diffuser applications // *Nanoscale*, 2018; 10: 7095-7107.