

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

**ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ, ИННОВАЦИИ
(ИКТ-2018)**

Электронный сборник статей

I Международной научно-практической конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 14–15 июня 2018 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) [Электронный ресурс] : электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 14–15 июня 2018 г. / Полоцкий государственный университет. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Представлены результаты новейших научных исследований, в области информационно-коммуникационных и интернет-технологий, а именно: методы и технологии математического и имитационного моделирования систем; автоматизация и управление производственными процессами; программная инженерия; тестирование и верификация программ; обработка сигналов, изображений и видео; защита информации и технологии информационной безопасности; электронный маркетинг; проблемы и инновационные технологии подготовки специалистов в данной области.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3201815009 от 28.03.2018.

Компьютерный дизайн М. Э. Дистанова.

Технические редакторы: Т. А. Дарьянова, О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Д. М. Севастьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53-21-23, e-mail: irina.psu@gmail.com

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЛАСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО ПРОБОЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

*Ю.О. ЛЮДЧИК, О.О. ЛЮДЧИК, Е.В. ВИШНЕВСКАЯ
(Белорусский государственный университет, Минск)*

Введение. Бурное развитие информационных технологий в последние годы привело к резкому росту объема информации. Одновременно с этим остро встает проблема длительного хранения данной информации. Существующие методы позволяют записывать огромные потоки данных в миниатюрном виде, однако в этих случаях присутствует риск потери информации при различных неблагоприятных внешних факторах.

В последние годы активно развивается метод записи информации, основанный на изменении поляризации света, проходящего через лазерно-модифицированные области стекла [1]. Успешно доказано, что записанные таким образом данные способны храниться миллионы лет, однако для их считывания требуется специализированное высокоточное оптическое оборудование. Таким образом, актуальными остаются вопросы поиска альтернативных способов записи информации, для работы которых достаточно наличия простого недорогого оборудования. Целью данной работы является разработка метода записи информации внутри прозрачных материалов на основе явления лазерного пробоя и прецизионной лазерной обработки [2].

Запись информации. Для формирования микропробоев в объеме стекла используется установка для лазерной обработки материалов ELS-02M. Установка предназначена для точечной гравировки (маркировки) объектов из прозрачных (для 532 нм) диэлектриков в объеме. В неорганических стеклах область лазерного пробоя имеет несимметричную структуру, представляющую собой протяженный объект сложной формы близкой к эллипсоиду с системой микротрещин. Внешний вид типичного микродефекта, сфотографированного в двух взаимно перпендикулярных направлениях, приведен на рисунке 1 (а, б).

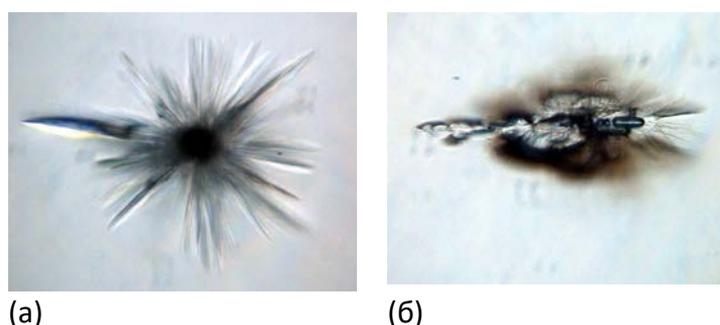


Рисунок 1. – а) – вид микродефекта сверху, б) – вид микродефекта сбоку

Диаметр области микропробоя зависит от многих параметров, таких как энергия лазерного импульса, диаметр лазерного луча, длина волны излучения, фокусное расстояние линзы [3]. В процессе эксперимента энергия лазерного импульса регулировалась с помощью изменения энергии лампы накачки. Зависимость размеров микродефекта вдоль осей Z и X от энергии лампы накачки представлена на рисунке 2.

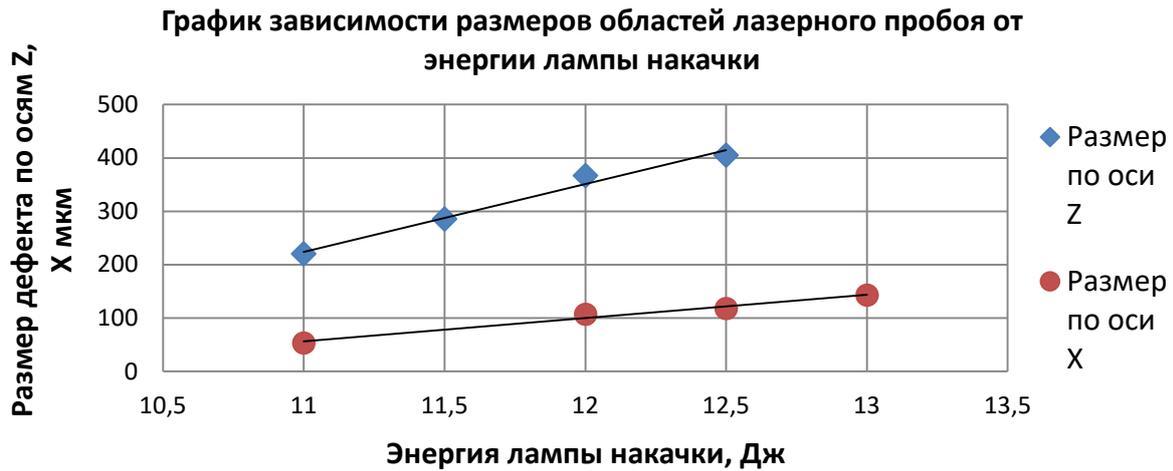


Рисунок 2. – График зависимости размеров областей микропробоя от энергии лампы накачки

В основе принципа записи информации лежит возможность управления размером области микропробоя. Для формирования информационных состояний в стекле создаются микродефекты двух размеров, отсутствие микродефекта определяется как третье информационное состояние. На рисунке 3 представлены микродефекты, сформированные при значениях энергии лампы накачки 11 Дж и 13 Дж. Области без микродефекта присваивается состояние «0», а дефектам, расположенным в порядке возрастания размеров, – «1» и «2» соответственно.

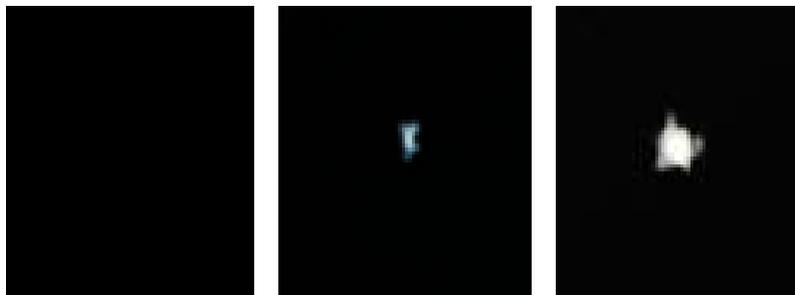


Рисунок 3. – Три состояния заданной области внутри объема стекла

Чтение информации. Учитывая малый размер микродефектов, получение изображений областей микропробоя основывается на послойной регистрации массивов дефектов, наблюдаемых в оптический микроскоп с необходимым разрешением. Регистрация изображений производилась с использованием совмещенной с окуляром микроскопа камерой, с разрешением 13 мегапикселей.

Несмотря на то, что использование микроскопа позволяет фокусироваться на каждом конкретном слое микропробоев, рассеянный свет от других слоёв дефектов вносит искажения в изображение текущего массива дефектов. В связи с этим, одной из задач распознавания областей лазерного пробоя является обработка изображения для возможности дальнейшего независимого анализа изображений слоёв микропробоев.

В разработанном приложении реализовано несколько стадий обработки изображений. Вначале, исходное изображение областей микродефектов преобразуется в полутоновое. После этого к изображению применяется процедура медианной фильтрации. Данная процедура позволяет сгладить острые контуры микродефектов, что впоследствии улучшает качество бинарного изображения. Далее для устранения шумов, связанных с послойной регистрацией массивов микродефектов, производится процедура оценки и аппроксимации значений пикселей фона. Для этого производится морфологическое открытие исходного изображения с использованием структурного элемента типа 'disk'. Подбором оптимального радиуса диска можно добиться того, что размытые пятна микродефектов из других слоёв будут точно отделены от сфокусированных дефектов текущего слоя. Завершающей стадией обработки изображения является повышение его контрастности путем комбинации низкочастотной и высокочастотной фильтрации. Стадии обработки изображения массива микропробоев представлены на рисунке 4.

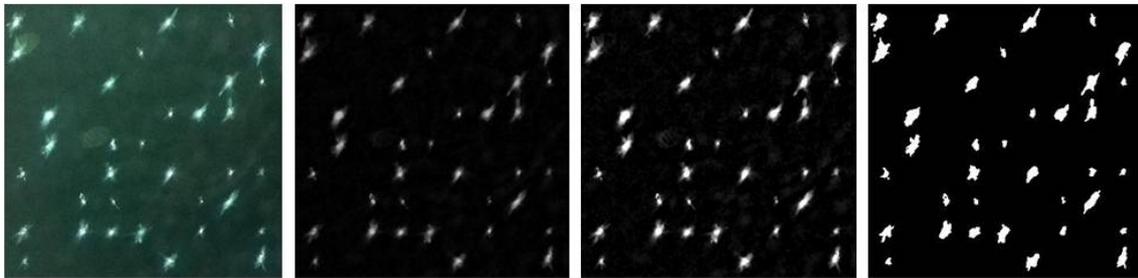


Рисунок 4. – Стадии обработки изображения микропробоев

Наконец, для дальнейшей процедуры распознавания формируется бинарное изображение.

Для распознавания областей микропробоя было решено использовать алгоритмы кластерного анализа. Так как в решаемой задаче точно известно количество кластеров, оптимальным вариантом является использование методов неиерархического кластерного анализа. На вход алгоритма кластеризации необходимо подавать вектор признаков. Процесс преобразования бинарного изображения в данные для кластеризации состоит в следующем:

1. Все области микропробоя аппроксимируются окружностями. Результирующий массив содержит информацию о координатах центра и диаметре окружностей, эквивалентных областям лазерного пробоя.
2. Вектор диаметров эквивалентных окружностей используется в качестве массива одномерных данных, подлежащих кластеризации.

Так как мы имеем дело с данными малой размерности, для данной задачи вполне оптимальным решением будет использование алгоритма «к-средних». Его основными преимуществами являются простота реализации, а также высокая скорость работы, что является важным критерием качества системы считывания информации. В качестве меры расстояния между объектами выбрано расстояние городских кварталов.

Завершающим этапом распознавания областей микропробоя является упорядочение полученных результатов кластеризации в матрицу.

Заключение. Обнаруженная в ходе работы возможность управлять размером области микропробоя легла в основу метода записи информации. Предлагаемый метод

обладает достаточно высокой плотностью записи, поскольку одной области микропробоя соответствует 3 информационных состояния, и для наших экспериментальных условий в кубическом сантиметре стекла можно сформировать около 80 000 дефектов. Разработанная система считывания информации успешно апробирована на тестовых массивах лазерных пробоя и для работы требует наличие простого оптического микроскопа и цифрового фотоаппарата.

Существующий на данный момент метод записи информации в стекле, основанный на изменении поляризации света [1], требует высокоточного специализированного оборудования для считывания данных. В свою очередь система распознавания информации, разработанная в ходе данного исследования, требует наличия простого оптического микроскопа и цифрового фотоаппарата.

Литература

1. J. Zhang, M. Gecevičius, M. Beresna, P. G. Kazansky, Seemingly unlimited lifetime data storage in nanostructured glass, *Phys. Rev. Lett.* 112, p. 033901, 2014.
2. Делоне, Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом / Н.Б. Делоне. – М. : Наука, 1989.
3. Евтихеев, В.Е. Исследование морфологии зоны лазерного пробоя в стекле К8 / В.Е. Евтихеев, В.М. Немец, С.С. Ошемков // *Вестн. С.-Петербур. Ун-та.* – 2006.