

ПРОБЛЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ПРОБОЕВ СТЕКЛА В ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДЛЯ ЗАПИСИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

И. Г. Лопато, О. Р. Людчик

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: lopato.ignat@gmail.com*

Кварцевое стекло, благодаря своей устойчивости к тепловым и радиационным воздействиям, а также крайне низкой восприимчивости к электромагнитным полям, является перспективным материалом для долгосрочного хранения информации. Однако, для создания конкурентоспособной системы хранения информации должен существовать способ ее считывания – и этот способ будет во многом определять характеристики системы сбора и хранения информации. В кварцевом стекле возможно создание дефектов с немалым количеством различных состояний - но эти состояния лучше всего различаются визуально, что обуславливает использование методов обработки изображений для распознавания дефектов и их состояний.

Ключевые слова: лазерный пробой, стекло, обработка изображений.

В настоящее время актуальна проблема поиска альтернативных методов записи и хранения информации, в особенности с целью ее долгосрочного хранения. Одним из направлений является хранение информации в стекле, и в нем ведутся научные работы [1-2]. В работе [3] был найден способ записи и чтения информации в стекле с использованием ELS-системы и микроскопа. В ней массив дефектов имел только один слой и состояния различались, основываясь на размере дефекта. Однако, для повышения плотности записи информации в объемном прозрачном материале, в отличие от непрозрачных материалов, можно создавать многослойные массивы. Целью данной работы является надежное распознавание формы дефектов в многослойном массиве.

Интересующие нас свойства дефектов внутри стекла связаны с особенностями их создания, которые будут рассмотрены в рамках модели теплового воздействия. Поглощение лазерного излучения веществом приводит к его нагреву и плавке при достаточной для этого энергии луча. При остывании вещество возвращается к кристаллическому состоянию, но его механические свойства отличаются от таковых у исходного вещества, что приводит к появлению механических напряжений. Из-за этого появляются микродефекты и распределение плотности вещества становится неоднородным, что приводит к изменению показателя преломления и образованию трещин. В связи с этим и особенностями фокусировки лазерного луча форма типичного микродефекта асимметрична и похожа на эллипсоид со сложной системой трещин (рис.1).

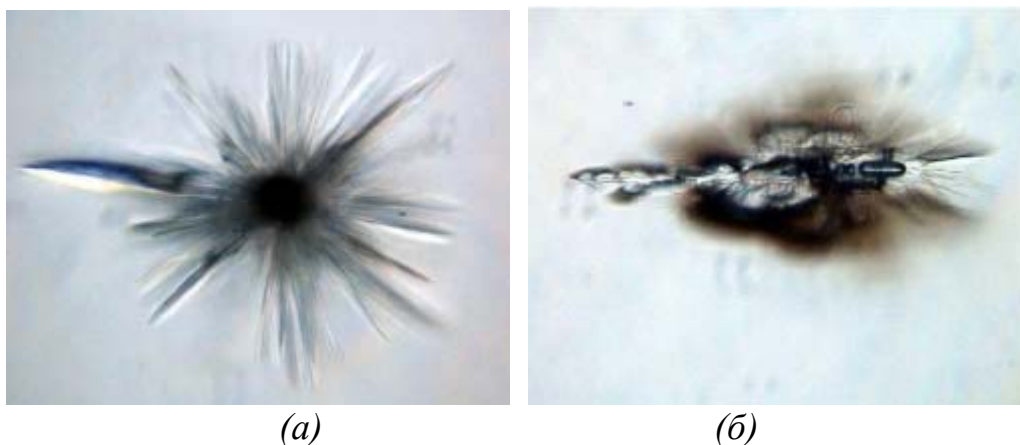


Рис. 1. Область лазерного микропробоя в стекле: вид сверху – (а), вид сбоку – (б)

Для того, чтобы в дальнейшем повысить плотность информации, нужно изменить методы ее записи и распознавания по сравнению с [3]. Во-первых, для повышения плотности записи информации следует увеличить количество распознаваемых состояний дефекта, например, используя ориентацию дефекта, для чего нужно распознать не только размер, но и форму дефекта. Для рационального использования объема стекла следует создавать многослойные массивы дефектов, но в таком случае на изображении одного слоя дефектов могут проявиться дефекты из других слоев, что также следует учесть.

Так как область дефекта состоит из трещин, вызванных механическими напряжениями, их следует распознавать по тому, что они рассеивают свет иначе, чем окружающий их материал. При распознавании на основе яркости дефекты, проявившиеся из других слоев тяжело отличить от искомым, из-за чего не следует использовать для распознавания области дефекта бинаризацию. Алгоритмы сегментации наподобие Watershed, ориентирующиеся на границы объектов, могут лучше справиться с отсеянием искомым дефектов, так как области пробоя, проявившиеся из других слоев, будут нечеткими. Но эти алгоритмы не могут четко определить границы области, так как область характеризуется многочисленными перепадами яркости, не образующими непрерывную границу. Для того, чтобы выделить искомую область, нужно рассматривать перепады яркости не как границу области, а как её свойство, с помощью которого её можно выделить. Для поиска перепадов яркости можно использовать оператор Собеля, после чего нужно выделить некоторую площадь вокруг дефектов, чтобы площади, связанные с трещинами в одном дефекте, слились в искомый нами сегмент.

Внутри образцов стекла марки К8 были созданы массивы лазерных пробоев. Для создания массивов использовалась лазерная система с Nd:YAG лазером и трехкоординатным столом с программным управле-

нием. Массив состоит из пяти слоев на расстоянии 1,5 мм друг от друга вглубь образца, и каждый слой представляет собой квадрат из 400 дефектов, где дефекты расположены на расстоянии не менее 0,5 мм во избежание разрушения стеклянного образца. Массивы созданы лучом с длиной волны 1064 нм и диапазоном энергии импульса от 1 до 10 мДж. Половина массивов была создана со всеми слоями строго друг над другом, чтобы дефекты в слоях перекрывали друг друга при наблюдении сверху; в остальных массивах слои несколько смещены относительно друг друга, устраняя перекрытие.

С помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150N со встроенным освещением и веб-камеры разрешением 2048*1536px из каждого слоя каждого массива были получены фотографии дефектов. Область съемки составляет 0,27 мкм² на пиксель. Благодаря использованию объектива с малым фокусным расстоянием, в изображениях не проявлялись дефекты из других слоев, как можно увидеть из рис. 2.

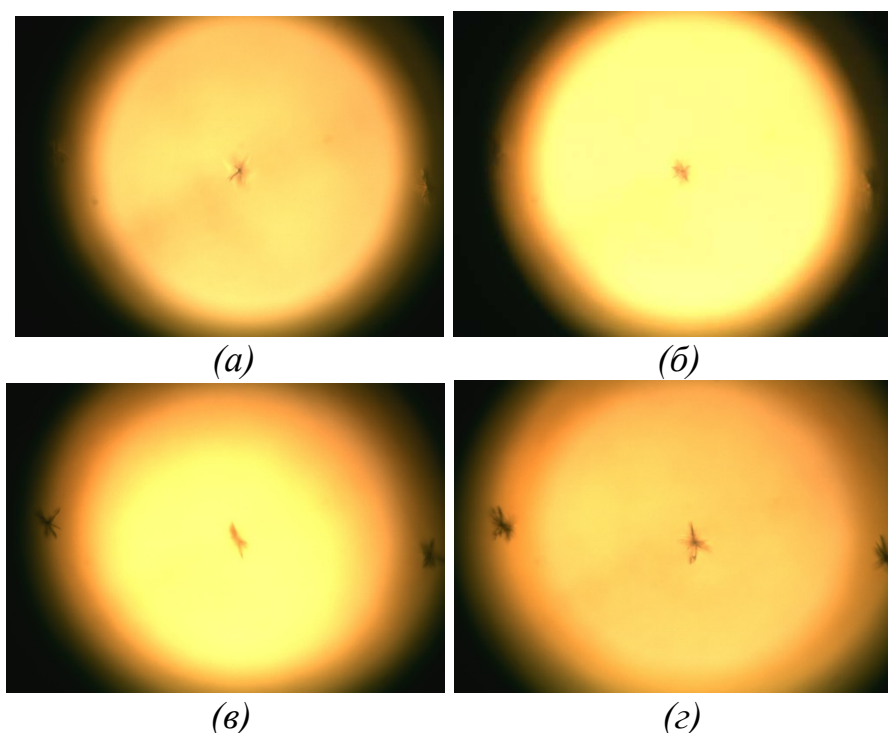


Рис. 2. Фотографии дефектов в первом (а), втором (б), третьем (в) и четвертом (г) слое

Фотографии были обработаны следующим образом: во-первых, изображение обрезано, чтобы избавиться от темного круга. Во-вторых, все цвета в изображении были переведены в оттенки серого. После этого, в изображении с помощью оператора Собеля были найдены перепады яркости в изображении. Все точки в радиусе до 5 пикселей от перепадов были закрашены белым, после чего было залито все пространство, окру-

женное белыми точками. Наконец, изображение сегментируется и все заведомо слишком малые сегменты удаляются, оставляя площадь дефекта выделенной (рис. 3).

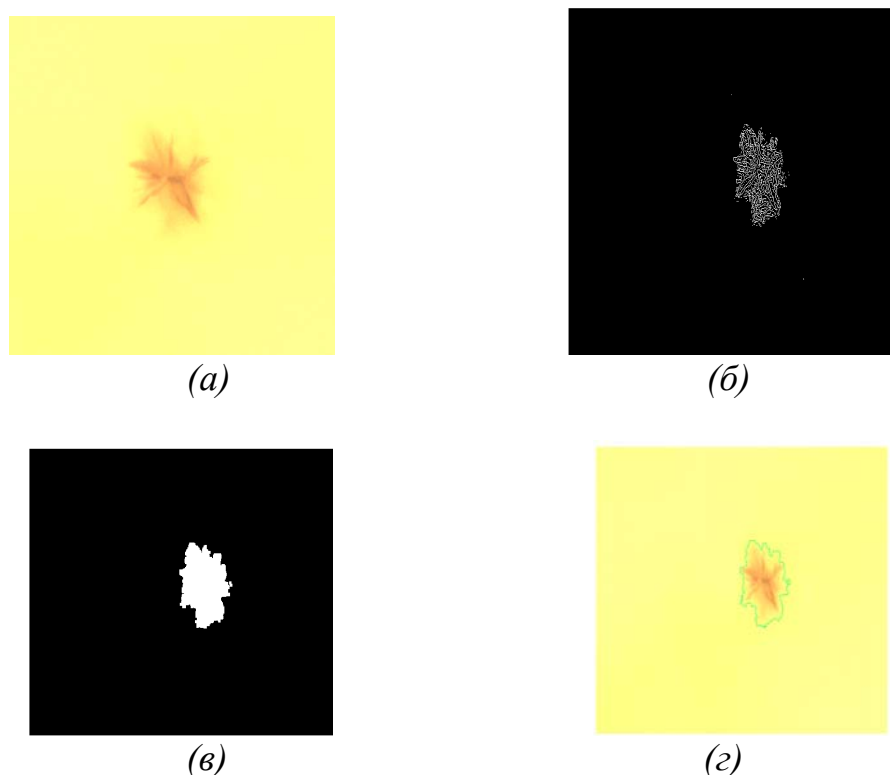


Рис. 3. Изображение после обрезки (а), с выделенными перепадами яркости (б), с выделенной областью дефекта (в) и с областью, наложенной на дефект (г)

Используемый алгоритм позволяет распознавать и измерять область дефекта с точностью до 80px. В ходе настоящей работы приложение смогло безошибочно различить области пробоя в 3 независимых состояниях. Таким образом, возможность распознавания областей микропробоя в стекле в многослойных массивах подтверждена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Евтихеев В. Е., Немец В.М., Ошемков С.С. Исследование морфологии зоны лазерного пробоя в стекле К8 // Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика. Химия 2006. № 1. С. 3-9. УДК: 535:621.373
2. Zhang J., Gecevičius M., Beresna M. Seemingly unlimited lifetime data storage in nano-structured glass // Phys. Rev. Lett. Vol 112, Iss. 3 (2014). DOI:10.1103/physrevlett.112.033901
3. Application of laser breakdown for recording information inside optically transparent materials / Lyudchik O, Lyudchik J, Wishnevskaya A // Österreichisches Multiscience Journal. – Vol 1, № 13 (2018) С. 45–47.