

Сравнительный анализ методов записи информации в твердотельных материалах с использованием наносекундного лазерного излучения

В. А. Дубовик, М. В. Лобанок, О. Р. Людчик, Е. В. Вишневская

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: lyudchik@bsu.by*

В ходе данной работы было изучено формирование лазерно-модифицированных областей на поверхности непрозрачных и внутри прозрачных материалов. Исследованы характеристики лазерно-модифицированных областей, представлены возможные методы лазерной записи информации, основанные на различающихся устойчивых состояниях, и проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: лазерное излучение, наносекундный импульс, запись информации, лазерный пробой, твердотельный материал.

Comparative analysis of methods for recording information in solid-state materials using nanosecond laser radiation

V. A. Dubovik, M. V. Lobanok, O. R. Lyudchik, A. V. Wishnevskaya

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail lyudchik@bsu.by

This paper analyzes the creation of laser-treated breakdown regions on the surface of opaque materials and within transparent ones. The characteristics of these regions were investigated, possible methods of laser recording of information based on different stable states are presented and their comparative analysis is carried out.

Keywords: laser radiation, nanosecond pulse, information recording, laser breakdown, solid-state material.

Введение

Проблема длительного хранения критически важных данных в настоящее время становится все более актуальной, поскольку объемы информации постоянно растут. Существует большое количество систем хранения информации, обладающих высокой плотностью записи и скоростью работы, однако большинство этих систем подвержено неблагоприятному влиянию внешних факторов, таких как механические повреждения, высокие температуры, электромагнитные и радиационные излучения. Таким образом, появляется риск потери данных.

На протяжении последних десяти лет начали активно развиваться методы лазерной записи информации, основанные 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 записи и считывания требуется специализированное высокоточное лазерное и оптическое оборудование. Таким образом, актуальными остаются вопросы поиска альтернативных способов записи информации, для работы которых достаточно наличия относительно простого недорогого оборудования как для записи,

так и для считывания информации. Также актуальной является задача увеличения плотности и объема записываемой информации в различных твердо-тельных материалах, обладающих необходимыми механическими и оптическими свойствами, которые также могут сохранять их в течение длительного времени в определенных неблагоприятных условиях. К их числу относят металлы, полимерные материалы, диэлектрики, устойчивые к внешним воздействиям.

В настоящей работе для экспериментальных исследований были использованы два материала: светочувствительный полимер и неорганическое стекло. Путем импульсной лазерной обработки в различных режимах были созданы массивы лазерно-модифицированных областей. В каждом материале были исследованы размеры областей и найдены устойчивые состояния, различающиеся по размеру и оптическим свойствам. Учитывая эти состояния, особенности использованных веществ и предельные возможности имеющегося оборудования, были созданы и проанализированы возможные методы записи информации на поверхности непрозрачных и внутри прозрачных материалов.

Данное исследование является продолжением работ, проводимых с целью выяснения возможностей увеличения плотности лазерной записи информации в твердотельных материалах за счет увеличения количества устойчивых и надежно распознаваемых состояний, реализуемых в заданной области материала при варьировании режимов лазерной импульсной наносекундной обработки [2].

1. Импульсная лазерная обработка полимеров и анализ лазерно-модифицированных состояний

Обработка светочувствительного полимера отличается тем, что при использовании сфокусированных наносекундных лазерных импульсов с гауссовским распределением интенсивности и изменении местоположения фокусирующей линзы относительно поверхности полимерного образца, возможно формирование одинаковых по размеру (диаметру) лазерно-модифицированных областей, но с различной внутренней структурой и, соответственно, различными оптическими свойствами, которые возможно распознать при обработке изображений как различные состояния. Так при определенных режимах фокусировки и энергии лазерных импульсов формируются области заданного размера с однородным изменением цвета по всей модифицированной площади. В этом случае практически не наблюдается испарения полимера с поверхности, а изменение цвета происходит за счет стимулированных лазерным излучением термо- и фото-химических процессов. При других режимах импульсной обработки, когда плотность энергии (мощности) лазерного излучения в области фокусировки на поверхности превышает определенные критические значения, за счет неравномерного распределения интенсивности гауссовского пучка, наряду с изменением цвета на периферии пятна фокусировки (темная область), происходит частичное испарение полимерного материала в центральной части, что отражается на изменении структуры микродефекта и его оптических свойств (формируется более светлая область определенного размера в центральной части). На рис. 1 приведена фотография массивов лазерно-модифицированных областей на поверхности светочувствительного полимера, сформиро-

ванных при различных энергиях наносекундного лазерного импульса с длиной волны 1064 нм и различных режимах фокусировки.

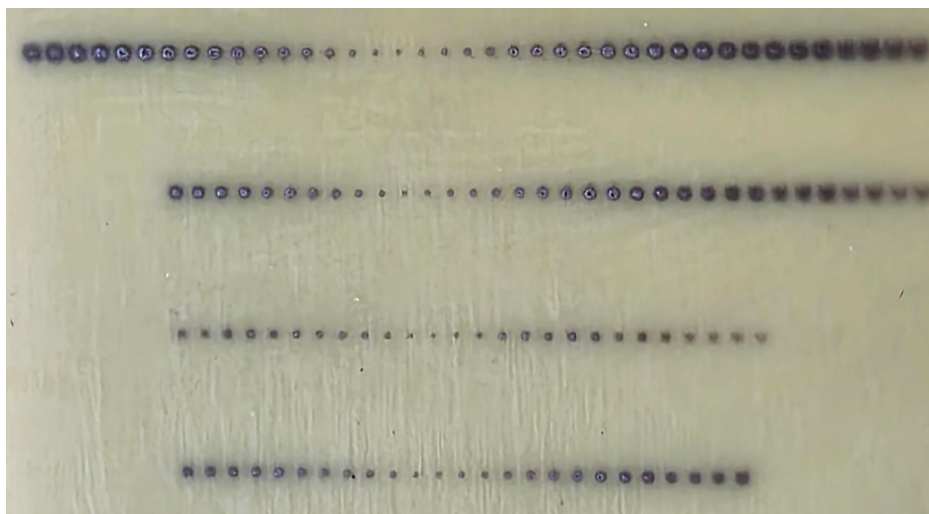


Рис. 1. Фотография обработанной поверхности полимера.
Первый ряд сверху – энергия лазерного импульса $E_{\text{и}} = 26,21$ мДж.
Второй ряд сверху – $E_{\text{и}} = 23,22$ мДж. Третий ряд сверху – $E_{\text{и}} = 17,6$ мДж.
Четвёртый ряд сверху – $E_{\text{и}} = 20,44$ мДж

Полученные результаты указывают на возможность реализации в требуемой области на поверхности непрозрачного полимерного материала в пределах заданного разрешения нескольких различных устойчивых состояний, основанных на отличии в размерах и внутренней контрастности, которые можно распознать как независимые в задачах повышения плотности записываемой информации.

2. Импульсная лазерная обработка прозрачных материалов и анализ лазерно-модифицированных состояний

В основе записи информации внутри прозрачных материалов лежит явление оптического пробоя, при котором в области фокусировки лазерного излучения может быть превышена пороговая плотность мощности излучения, приводящая к формированию области, рассеивающей падающий на нее свет. В силу особенностей фокусировки лазерного излучения и строения стекла, формируемая модифицированная область является пространственно неоднородной по размерам с системой микротрещин, которые анизотропно рассеивают свет.

Использование этого эффекта позволяет реализовать при лазерной записи информации несколько различных устойчивых состояний в заданной области пространства внутри прозрачного материала. Это позволяет увеличить плотность записываемой информации. Кроме того, преимуществом такого способа записи является возможность формирования и распознавания многочисленных слоев микропробоев, записанных независимо друг над другом внутри стеклоэлементов при перемещении фокусирующей линзы на заданное расстояние вдоль распространения лазерного луча. Многослойность значительно увеличивает плотность записи, однако каждый

последующий слой требует дополнительной методики считывания и распознавания, что также нужно учитывать.

В данной работе в стеклянной неорганической пластине были сформированы группы областей пробоя при фокусировке наносекундного лазерного излучения с длиной волны 1064 нм и различной энергией импульса. Внешний вид типичного микродефекта, сфотографированного в двух взаимно перпендикулярных направлениях, приведен на рис. 2.

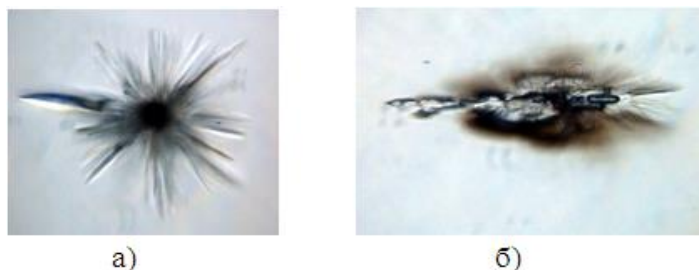


Рис. 2. Фотографии области лазерного микропробоя внутри стекла:
а – вид микродефекта сверху, б – вид микродефекта сбоку

Для определения размера микродефектов была использована лупа с 10-ти кратным увеличением. Соответствующие усредненные размеры областей микропробоев приведены в таблице. Усреднение проводилось на основании измерений размеров 50 дефектов для каждой энергии лазерного импульса.

Зависимость размера области пробоя от энергии лазерного импульса

Фокусное расстояние линзы f , мм	Энергия в импульсе $E_{\text{и}}$, мДж	Размер области пробоя в диаметре по оси		
		X, мм	Y, мм	Z, мм
150	16,6	0,2	0,2	0,4
	19,5	0,25	0,35	0,5
	22,2	0,35	0,4	0,6

Как отмечено выше, область лазерного микропробоя внутри стекла является анизотропной, при этом ее размеры и местоположение могут быть изменены выбором режимов лазерной обработки и фокусировки. Это позволяет реализовать на практике несколько подходов для повышения плотности записи информации, основанных на формировании в требуемой области внутри прозрачного материала в пределах заданного разрешения различных устойчивых состояний, которые можно надежно распознать в условиях многослойной записи.

Самый распространенный подход основывается на ориентации в массиве стекла областей микропробоя. Поскольку размеры микродефектов в плоскости ХУ и Z заметно различаются (см. таблицу), то изменение положения микродефекта в заданной локальной области позволяет получить три различных устойчивых состояния, которые надежно различаются. Дефекту, который расположен вертикально, можно присвоить состояние «1», находящемуся в горизонтальном положении – состояние «2», а дефекту, сформированному перпендикулярно первым двум, – состояние «3». Таким образом, данные можно записать в закодированном виде (числа 1,

2, 3), в зависимости от выбранной ориентации внутри стекла области лазерного пробоя по отношению к системе считывания.

Второй подход основан на использовании различий в размерах областей пробоя в плоскости ХУ при изменении энергии лазерного импульса. В этом случае разным состояниям (1, 2, 3 или более) соответствуют дефекты, сформированные при разных энергиях лазерного импульса в процессе записи информации. К достоинствам такого подхода можно отнести более простую техническую реализацию многослойного формирования массивов дефектов. Недостатком является необходимость постоянного изменения энергии накачки лазера (энергии лазерного импульса) в рабочем процессе записи, что снижает устойчивость информационных состояний из-за особенностей работы лазерного оборудования.

Третий подход основан на возможности управления размером микропробоя за счет изменения количества импульсов, сфокусированных в заданную область внутри прозрачного материала. Проведенные исследования показали, что при использовании одного, двух и четырех лазерных импульсов, удается реализовать три различных устойчивых состояния, надежно распознаваемых при обработке изображений дефектов. Рисунок 3 иллюстрирует вышесказанное. В данном методе энергия лазерного импульса не изменяется, что повышает его надежность.



Рис. 3. Три состояния заданной области внутри объема стекла

Заключение

В ходе данной работы было изучено формирование лазерно-модифицированных областей на поверхности непрозрачных и внутри прозрачных материалов при воздействии наносекундных лазерных импульсов. Выполненные исследования показали возможность увеличения плотности лазерной записи информации за счет увеличения числа различных устойчивых состояний, основанных на отличии в размерах, форме, внутренней структуре модифицированных областей, которые можно распознать как независимые.

Библиографические ссылки

1. Seemingly unlimited lifetime data storage in nanostructured glass / J. Zhang [et al.] // Phys. Rev. Lett., 2014. V.112(3): 033901.
2. Формирование и распознавание лазерно-модифицированных областей в твердотельных прозрачных материалах / Е. В. Вишневская [и др.] // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Квантовая электроника». – Минск, 2017. С.242–243.