На правах рукописи

Мельникова Мария Александровна

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЁНОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СКРЫТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

05.02.07 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2013

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

ГРИГОРЬЯНЦ Александр Григорьевич

Официальные оппоненты:

ЕВСТИГНЕЕВ Андрей Рудольфович доктор технических наук, профессор, генеральный директор ЗАО «Калужский медико-технический лазерный центр Лазерной Академии Наук РФ» (КМТЛЦ)

ЛЯБИН Николай Александрович кандидат технических наук, начальник сектора ФГУП «НПП» Исток»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем лазерных и информационных технологий Российской академии наук (ИПЛИТ РАН)

Защита диссертации состоится « 18 » декабря 2013 г. в 1430 на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2–я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мс государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Телефон для справок 8-499-267-0963.

Автореферат разослан « 11 » ноября 2013 г.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
2039249
Мельникова М.А. Разработк.

Учёный секретарь
диссертационного совета
д.т.н., доцент Михайлов В.П.

Они или

Актуальность. В настоящее время остро стоит вопрос распространения контрафактной продукции во всех областях техники. Большие объёмы производства промышленных изделий не всегда позволяют отслеживать поступаемые к потребителю товары, поэтому случается так, что при изготовлении или ремонте ответственных деталей, например в авиастроении, используют недоброкачественные изделия, которые значительно снижают срок службы механизма, подвергая опасности жизни людей. Однако отследить и обезопасить предприятия от подобных ситуаций достаточно сложно даже с учётом всех способов защиты товаров.

Одним из решений подобной проблемы является разработка новой технологии защиты продукции – нанесение скрытых меток. Поскольку все товары в настоящее время имеют ту или иную упаковку, то целесообразнее всего наносить скрытые от глаз дилетантов и пиратов защитные метки на саму упаковку, подтверждая тем самым подлинность «начинки» изделия. В качестве упаковочного материала наибольшее распространение во всём мире получили полиэтиленовые плёнки.

Технология нанесения меток на полимеры связана со сложным процессом структурных преобразований. Систем и технологий, которые позволяли бы создавать невидимые метки, весьма мало и, как правило, они строго специализированы для определённого материала или процесса. Отсутствие оборудования и технологий для нанесения и считывания меток защиты в полимерных плёнках подтверждает новизну разрабатываемого способа и обуславливает необходимость создания и внедрения ноу-хау, в то время как имеющиеся теоретические сведения подтверждают возможность создания такого способа. Таким образом, исследование особенностей взаимодействия лазерного излучения с полиэтиленовыми плёнками с целью разработки способа нанесения защитных меток, а так же разработки технологии считывания являются актуальной научно-технической задачей.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование процесса нанесения защитных меток в прозрачных полиэтиленовых плёнках с помощью лазерного излучения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Установить особенности и закономерности превращений в полиэтиленовых плёнках в результате воздействия лазерного излучения.
2. Выявить методы и этапы изменений в структуре полиэтилена при воздействии лазерного излучения с различными параметрами с целью определения оптимальных режимов обработки.
3. Разработать технологии нанесения и регистрации защитных меток в полиэтиленовых плёнках.
4. Разработать и создать устройства для регистрации и нанесения защитных меток в полиэтиленовых плёнках.

Методы исследований. Для определения изменений, происходящих в полиэтиленовой плёнке, использовались спектрометры Specord M40 и Agilent 8453, лазерный комплекс Solar LS. Была рассчитана фокусирующая линза и

разработаны системы закрепления и перемещения плёнки. Вычисления при теоретических исследованиях и статистической обработке данных проводились при помощи программной среды MathCad. Для проведения чертёжных работ использовалась среда Bentley Microstation.

Научная новизна. Научная новизна заключается в разработке и исследовании процесса нанесения защитной маркировки в полимерную плёнку с целью разработки технологии и оборудования по нанесению и считыванию скрытых меток:

1. Установлено, что в случае воздействия импульса лазерного излучения с длиной волны 337 нм и интенсивностью ниже порога образования выпуклостей, менее 1,27 Дж/см^2, в полиэтиленовых плёнках происходят структурные изменения в объёме, а так же образование зоны локальных преобразований вокруг неоднородностей, приводящие к изменению оптической плотности материала в диапазоне длин волн от 230 до 240 нм по сравнению с необработанным образцом.
2. Установлено, что в результате воздействия лазерного излучения с заданными параметрами в полиэтилене происходят локальные изменения, на основании которых можно производить регистрацию меток по методу рассеяния или изменению оптической плотности материала для диапазона длин волн от 230 до 240 нм.

Практическая ценность. Практическая ценность заключается в том, что разработанная технология для нанесения скрытой защитной маркировки в полиэтиленовую плёнку является инновационной. Разработаны технология и устройства для маркировки и считывания полученных меток в материале, являющиеся основой для промышленного применения. Получен патент на полезную модель №131208: устройство для нанесения информации в полимерную плёнку.

Достоверность разработанных технологий обеспечивается использованием общих положений фундаментальных наук (уравнения теплопроводности, деформаций и т.д.), теоретических расчётов для тепловых полей (книги Григорьянца А.Г., Виноградова Б.А., Вейко В.П.), теорией физических процессов при оптическом воздействии на прозрачные материалы (книги Вейко В.П.) и сопоставлением полученных экспериментальных результатов с теоретическими положениями.

Апробация работы

Результаты работы докладывались на:

- Конференции «Современные научные достижения», Прага, 27 января - 05 февраля 2013 г.
- 2-ая международная заочная конференция «Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве», Орск, 21 февраля 2013 г.
- 6-ая международная конференция по лучевым технологиям и применениям лазеров, Санкт-Петербург, ГПУ, 2010 г.

– Бауманская русско-французская конференция молодых специалистов, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г.

– Научных семинарах кафедры лазерных технологий в машиностроении (МТ-12) МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 - 2013 гг.

Публикации. Основные материалы работы опубликованы в 9 научных работах, из них 4 в цитируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ. Материалы работы составили также содержание глав научно-технического отчёта по НИОКР.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов по работе, списка литературы (95 наименований), изложена на 173 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков и 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. В настоящее время в Российской Федерации остро стоит вопрос борьбы с разрастающимся рынком контрафактной продукции. Существование громаднейшего разнообразия и количества подделок стало камнем преткновения и одним из основополагающих критериев для вступления России в ВТО. Поэтому на решение подобной задачи брошены все усилия как государственных структур, так и частных организаций.

Для борьбы с подделками большое значение имеет выявление каналов поступления контрафактной продукции, а также её изъятие и уничтожение. Данный вопрос осложняется немалым количеством промежуточных точек отгрузки при транспортировке от производителя до потребителя. К настоящему моменту предложено значительное количество методов для кодирования информации, нанесения и хранения данных о каждом предмете в базе данных, как решение этой проблемы. Такая методика весьма удобна, однако на данный момент она строго индивидуальна и каждая компания имеет свой собственный засекреченный способ защиты, что позволяет в достаточной мере обеспечить контроль поставляемого товара в пределах этой фирмы. Такое решение является удачным только для производителя, в то время как потребитель остаётся подвержен риску приобретения контрафактного товара. Поэтому для борьбы с подделками требуется унификация всех способов кодирования информации и создание особого единого способа маркировки.

Изучение эволюции развития технологий в данной области помогло определить основное направление для разработки новой технологии защиты товаров от контрафакта. Так, разработанные в XX веке способы маркировки материалов позволили сертифицировать товары. Дальнейшее развитие техники привело к новой необходимости – маркировке кодированной информации. Существующие способы для регистрации подобных кодов позволяют лишь частично отслеживать наличие некачественных изделий, поскольку «пираты» постоянно совершенствуют свои технологии и обходят существующие запреты. Создание инновационного метода и методики по нанесению скрытых меток позволит оградить потребителей от некачественной продукции, а применение широко распространённого материала совместно с созданием особых

изображений на этапе производства товаров и оборудования позволит решить проблему защиты продукции от контрафакта. Лазерная обработка, прочно занимающая свою нишу среди различных методов маркировки, была обозначена как наиболее перспективная и выгодная с точки зрения эффективности.

Выбор материала обусловлен наличием практически у каждого товара этикетки и упаковки из полиэтилена. Тогда, при условии, что на упаковке будет находиться защитная метка, с помощью устройства считывания всегда можно будет проверить подлинность товара, а возможность нанесения маркировки на конечном этапе производства позволит оградить настоящий товар от контрафакта. При этом для внедрения подделок потребуется нарушать целостность упаковки. На основании проведённого обзора сформулированы цели и задачи исследования.

Глава 2 посвящена исследованию свойств полиэтилена при воздействии лазерным излучением с целью определения технологии и параметров для нанесения невидимых меток. Для этого, прежде всего, была проверена гипотеза состава наносимой метки: рассмотрены возможные механизмы превращений в структуре при различных способах воздействия. В качестве оптимального определён метод воздействия на включения, что обусловлено стабильностью эффекта и достаточной простотой методики.

Сущность данного метода заключается в воздействии лазерного излучения на включения, находящиеся по всему объёму полиэтилена. Они нагреваются до определённой температуры, в нашем случае менее температуры плавления. После завершения действия лазерного излучения на плёнке появляется область с набором дискретных точек, физические свойства которых изменены по отношению к основному механизму. Такая особенность предопределяет возможность дальнейшей регистрации невидимой метки.

Поскольку с точки зрения распространённости плёнок широкое распространение получил полиэтилен высокого давления, то этот материал выбран как основной и далее все расчёты и отработки технологий проводились с учётом свойств и характеристик именно этого материала. В частности, рассмотрены свойства полимера при нагреве. На основе закона Бугера–Ламберта:

$$I(x) = I_0 A \cdot e^{-\alpha x}, \qquad (1)$$

где $\mathrm{I}(x)$ - световая энергия, проникающая на глубину x; I_0 - энергия, падающая на поверхность; $A = 1 - R$ – поглощательная способность материала; R - коэффициент отражения; α - линейный коэффициент поглощения; x - координата, отсчитываемая от поверхности вглубь материала; – рассмотрены такие оптические свойства как отражательная и поглощательная способности. Установлено, что для полиэтиленовых плёнок, в целом, можно выделить 2 зоны поглощения: более 2500 нм и менее 500 нм. Выбор длины волны обусловлен литературными данными, возможностями современных установок и полученными экспериментальными результатами. Таким образом, область ближнего УФ была выбрана как оптимальная для проведения процесса неразрушающей обработки полиэтилена.

Переходя к энергетическим параметрам обработки, выбран импульсно-периодический режим облучения. На основании теории рассеяния Ми коэффициент рассеяния:

$$k_p = \frac{\lambda^2}{4\cdot\pi\cdot r^2\cdot n_2^2}\cdot Re(\sum_{i=1}^{\infty}((-1)^i\cdot(2\cdot i+1)\cdot(C_i+B_i))), \qquad (2)$$

где λ - длина волны излучения; r – радиус рассеивающей частицы; n_2 – показатель преломления матрицы; Re – действительная часть; C_i и B_i – коэффициенты; – были выявлены общие зависимости коэффициента рассеяния от размеров частиц и длины волны лазерного излучения (Рисунок 1). Можно отметить, что наибольшее рассеяние происходит при совпадении длины волны излучения и размеров частиц.

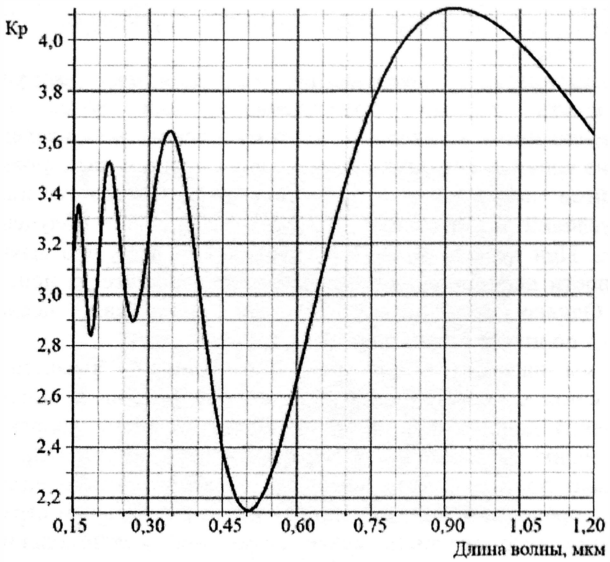


Рисунок 1.
Зависимость коэффициента рассеяния от длины волны лазерного излучения (размер частицы 0,9 мкм)

Следующим важным процессом, определяющим возникновение разрушения, является накопление необратимых изменений. Предложена модель формирования невидимых изображений с учётом нагрева и стока теплоты от облучённой зоны матрицы ПВД.

Исследована возможность фотохимического травления плёнки под действием лазерного излучения на режимах, обусловленных построенной теоретической моделью. Установлено, что на данных режимах фотохимического травления не происходит.

Исследовано образование напряжённо-деформированного состояния в плёнке ПВД при действии лазерного излучения (образование свеллинга), установлено, что на выбранных в теоретической модели режимах заметного свеллинга образовываться не будет при плотности энергии менее 1,27 Дж/см^2. Предложен алгоритм проведения экспериментальных исследований.

Проведённые теоретические изыскания легли в основу при разработке экспериментального стенда для проведения экспериментов, который описан в **главе 3.** Данная глава посвящена определению параметров для наиболее эффективной маркировки невидимых меток в материале. Определены основные направления исследований и схемы с использованием различных конструктивных элементов. Рассчитана фокусирующая система и предложено устройство для закрепления и перемещения плёнки. Контроль зависимостей поглощения для каждого случая облучения осуществлялся спектрофотометрами.

Сложный характер поведения полиэтилена в различных условиях может сильно менять картину происходящего или вовсе препятствовать возникновению меток в материале, поэтому в основе всех исследований лежит определение влияния внешних параметров на процесс маркировки. Результаты экспериментов показали, что при варьировании одного или нескольких внешних условий значительных изменений в процессе облучения плёнки не происходит. При исследовании структуры материала было выявлено наличие на поверхности неоднородностей и несовершенств, всегда присутствующих в плёнках. Однако результаты позволили продолжать исследования без ограничения по шкале погрешностей.

Важным параметром при работе с плёнками является их толщина, которая в связи с достаточной пластичностью материала может изменяться. Для уточнения данных и возможной последующей их корректировке, была проведена оценка расхождения экспериментальных результатов с указанными в ГОСТе. Было показано, что существует некоторое отклонение по толщине материала в пределах 5 %, что не приводит к значительным ограничениям при исследованиях (его значение менее возможной максимальной допустимой погрешности).

При исследовании взаимодействия лазерного излучения с веществом необходимо учитывать особенности лазерных установок. В зависимости от материалов и технологии для каждого конкретного случая выбираются особые параметры установки. Как правило, при обработке материалов и подборе параметров лазерного излучения отталкиваются от известных характеристик материала и особенностей взаимодействия лазерного излучения с веществом. Неоднозначность поведения полиэтилена и ограниченность теоретических сведений в области его модификации привело к необходимости использования в качестве излучателя параметрического генератора с плавной перестройкой длин волн в широком диапазоне, который позволил рассмотреть основные зависимости взаимодействия лазерного излучения с материалом. Так, было установлено, что при обработке полимерной плёнки распределение луча в месте облучения неравномерное. Достаточно отчётливо видны две зоны

воздействия: центральная область и окружающий её менее интенсивный ореол круглой формы, повторяющий диаметр пятна. Общая последовательность преобразований, происходящих в полимерной плёнке от минимально видимого до полного разрушения, а так же вид метки, представлены на Рисунке 2. Неравномерный характер метки обусловлен как свойствами полиэтилена и эффектом накопления, так и неравномерным распределением энергии по сечению пучка, профиль которого показан на Рисунке 3.

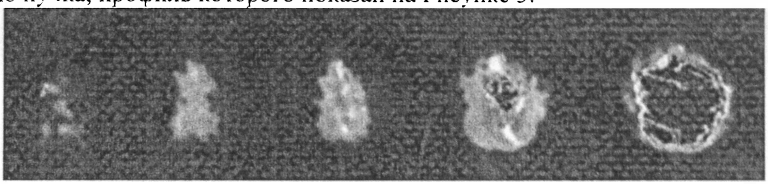


Рисунок 2.
Последовательность изменений в полимерных плёнках при облучении лазером

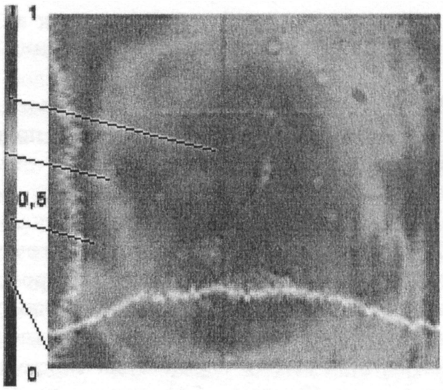


Рисунок 3.
Профиль пучка перестраиваемого лазера (355 нм)

Была подтверждена воспроизводимость эксперимента на основании критерия Кохрена. Дальнейшее исследование взаимодействия лазерного излучения с полимерными плёнками показало, что имеется несколько этапов видимых преобразований, характерных только для полиэтилена. В результате воздействия различных мощностей и времени облучения были получены результаты, которые выделили основные характерные этапы. Рисунок 4 показывает эту зависимость при наиболее наглядной энергии излучения 260 мДж. Определена следующая последовательность. Спустя некоторое время после начала облучения происходит небольшое помутнение, которое постепенно переходит в насыщение, т.е. помутнение на метке становится однородным. Далее происходит концентрированное поглощение вплоть до

достижения полной однородности метки в месте облучения. Далее никаких видимых изменений не происходит. При продолжении облучения или увеличении энергии происходит микро- или макроразрушение материала. Таким образом, характер воздействия на полиэтиленовую плёнку – сложный и многоступенчатый, что можно сказать на основании периодичности поглощения энергии с течением времени. В результате дополнительных экспериментов установлено, что насыщение происходит за одинаковое количество импульсов при различных мощностях и частотах.

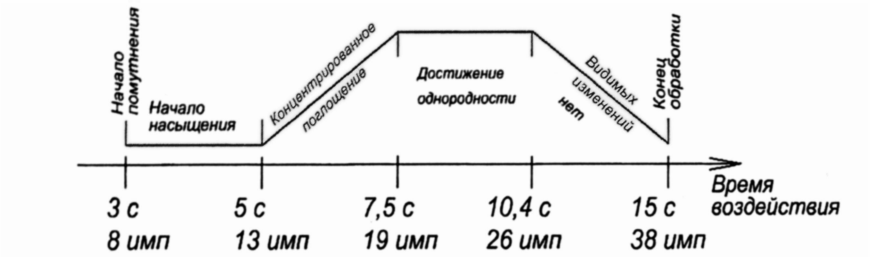
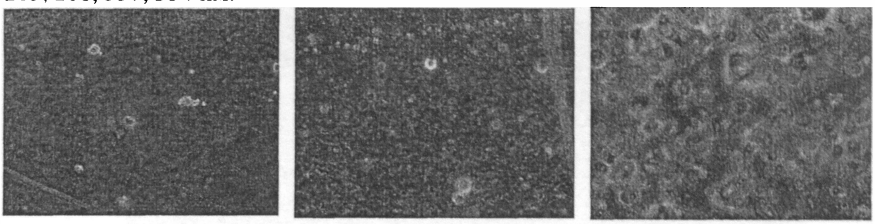


Рисунок 4.
Пример последовательности этапов преобразования полимерной плёнки

Детальное исследование визуального преобразования после воздействия излучения лазера на материал подтвердило, что в полиэтиленовой плёнке происходит точечное поглощение. Такой эффект объясняется наличием различных включений в матрице, обладающих более интенсивным поглощением по отношению к остальному материалу. При увеличении интенсивности облучения размер поглощающих точек увеличивается в результате механохимических, термических и прочих реакций, рассмотренных в Главе 2, инициируемых в окрестностях включений импульсными термоупругими напряжениями в т. ч. из-за нагрева включения. На Рисунке 5 представлена общая картина этапов образования микродефектов, начиная от минимального воздействия (Рисунок 5,а) вплоть до пороговых значений энергии при облучении – видимых преобразований (Рисунок 5, в). Рисунок 5,б отображает пограничное состояние для видимых меток – начало образования видимых дефектов. При продолжении облучения происходит разрушение с обугливанием краёв. Полученные результаты позволили определить чёткую закономерность увеличения размеров дефектов от времени облучения (поглощённой энергии).

Для решения задачи обнаружения меток (подтверждение, что метка действительно есть) требуется определить те параметры, при которых метка будет невидимой. Для этого экспериментально определена поглощательная способность полиэтиленовой плёнки, которая всегда связана с выявлением зависимости поглощения от длин волн и толщины материала в требуемом диапазоне спектра. Диапазон длин волн для исследования был ограничен некоторыми конкретными значениями, соответствующими основным, наиболее распространённым источникам твердотельных и газовых лазеров, работающих

в ультрафиолетовом диапазоне. К ним относятся установки с длинами волн: 213, 266, 337, 354 нм.



а б в

Рисунок 5.

Вид дефектов в результате лазерного воздействия:
а – Вид плёнки при минимальной интенсивности воздействия; б – Вид плёнки при средней интенсивности воздействия; в – Вид плёнки при большой интенсивности воздействия

Для выбранных длин волн излучения были определены оптимальные параметры облучения и основные зависимости поглощения и превращений в материале. Была получена диаграмма эффективности использования каждой из исследуемых длин волн (Рисунок 6). Воздействие длин волн излучения на полиэтиленовую плёнку отличается для каждого случая: на 213 нм была показана возможность получения пусть и незначительного эффекта; на 266 нм было показано, что на плёнке невозможно получить достаточно сильный эффект; на 354 нм было выявлено слишком большое влияние тепловых процессов (перегрева) при обработке полиэтиленовой плёнки; на 337 нм был найден наибольший и стабильный эффект с характерным увеличением эффекта поглощения. Таким образом, оптимальной для дальнейших исследований является длина волны 337 нм.

Была показана возможность создания невидимой метки в материале, однако было установлено, что время воздействия для различных толщин плёнки отличается. Наибольшей эффективностью поглощения обладает плёнка толщиной 160 мкм, требуемая длительность облучения, для создания защитной метки в которой составляет 30 с. Использование таких параметров для облучения материала доказывает возможность эффективного нанесения метки только с применением несфокусированного излучения. Требование по созданию рисунка или надписи поставило следующую задачу текущего исследования: совершенствование и оптимизация процесса нанесения с целью создания системы, позволяющей наносить конкретные метки с определённой информацией за сравнительно небольшие отрезки времени.

Возможным решением подобной задачи является использование масок. При облучении лазерным излучением, перед образцом, на пути лазерного излучения, ставится заранее разработанная и созданная пластина с требуемой формой (маской). Результатом воздействия является метка определённой формы и размера, при необходимости текст. При воздействии излучения через

маску происходит чёткое ограничение области воздействия по границам метки, что видно на Рисунке 7. Такой способ обладает рядом недостатков, поэтому данная методика не всегда эффективна. Решением такой проблемы является применение фокусирующей системы, которая позволяет обрабатывать полиэтиленовые плёнки меньшим диаметром пятна с большей концентрацией энергии излучения в пучке. Результат эффективности облучения, проведённого с использованием фокусирующей системы и без неё, приведён на Рисунке 8. Таким образом, использование фокусирующей системы решает вопрос повышения скорости нанесения метки. В дальнейшем необходимо решить вопрос создания изображения, формируемого путём перемещения излучения относительно материала.

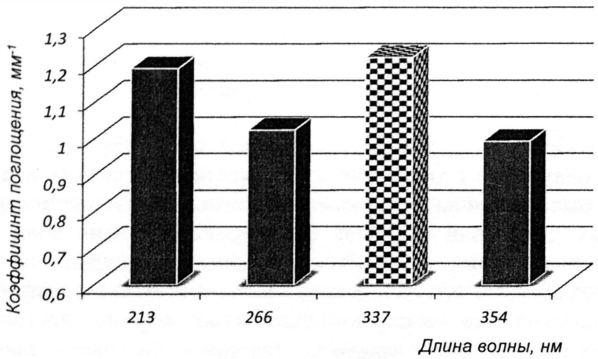


Рисунок 6.
Зависимость коэффициента поглощения от длины волны

Возможность использования системы перемещения для нанесения изображений в полиэтиленовую плёнку была проведена при скоростях от 0,5 до 4 мм/с. Полученные результаты подтвердили возможность использования системы перемещения для создания информационных защитных меток.

Важным компонентом разработки методики облучения и считывания является определение стабильности сохранения свойств нанесённой защитной метки во времени в связи со склонностью полиэтилена к старению, которое может негативно сказаться на последующем считывании защитной метки. Однако результаты экспериментов для полиэтиленовой плёнки доказали, что при условии их хранения в течение длительного времени без прямого воздействия солнечного света и прочих негативных влияний нанесённая метка будет сохранять свои свойства, оставляя возможность регистрации и проверки подлинности изделия.

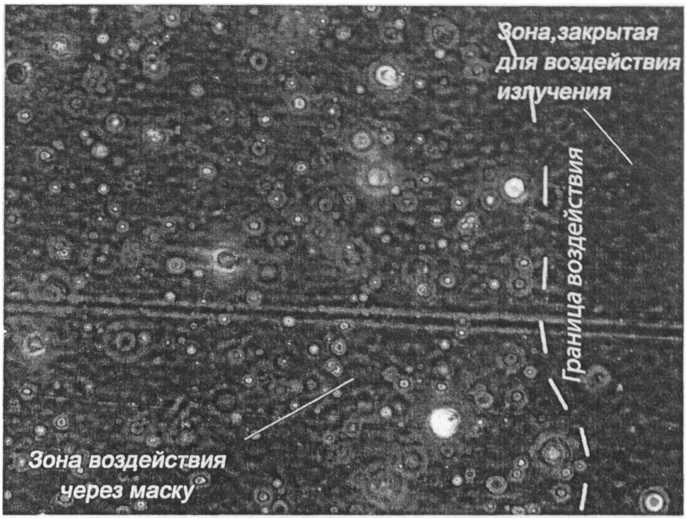


Рисунок 7.
Структура материала при облучении через маску

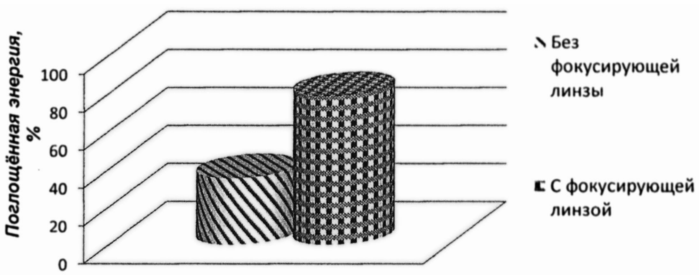


Рисунок 8.
Сравнительная характеристика обработанных плёнок

Глава 4 посвящена разработке технологии и комплексов для нанесения и считывания изображений, поскольку борьба с контрафактной продукцией предполагает создание полноценного комплекса методик и оборудования с целью внедрения в производственную цепь.

Выявленные в Главе 3 параметры позволили определить суть данной технологии, которая заключается в нанесении защитной метки излучением лазера на полиэтиленовую плёнку, закреплённую в оправку на столе перемещения. На данную полезную модель получен патент. Такая технология и оборудование для нанесения невидимых защитных меток в полиэтиленовые плёнки является лишь частью способа для выявления контрафактной продукции.

В основу технологии для регистрации меток положена оптическая теория изменения коэффициента поглощения материала после воздействия лазерным излучением. Предложен и разработан экспериментальный лабораторный стенд. Была проведена отработка правильности работы данной методики. С использованием метода масок было нанесено изображение, которое было распознано в лабораторных условиях по предложенному способу (Рисунок 9).

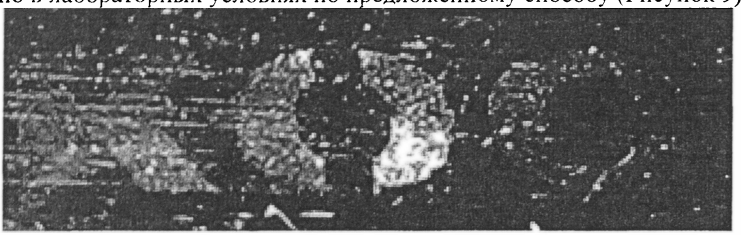


Рисунок 9.
Фотография распознанных дефектов после облучения с помощью маски

На основании имеющихся результатов были рассмотрены варианты для создания промышленного комплекса. Основываясь на том, что после нанесения защитной метки в материале происходит изменение оптической плотности для некоторого диапазона длин волн по отношению к необлучённым образцам, можно сказать, что эффект в них проявляется в виде увеличения поглощения с разностным максимумом, практически одинаковым для каждой длины волны, вне зависимости от толщины. Среди наиболее ярко выраженных длин волн можно отметить 234, 237 и 240 нм. Именно для таких значений в диапазоне от 230 до 240 нм необходимо считывать изображение в полиэтиленовых плёнках.

При создании компактного устройства возможно применение схемы по методу эффекта отражения (Рисунок 10,а) или метода сканирования. Однако для внедрения в массовое производство была предложена альтернативная схема визуализации (Рисунок 10,б). Принцип работы следующий. Плёнка устанавливается в оправку на координатном столе. Излучением лазера формируется метка, которая затем считывается с помощью установленного параллельно с ним излучателя. Результат прохождения через плёнку регистрируется приёмником излучения. Наиболее удобным приёмником является ПЗС матрица с узлом ввода излучения через световод, который позволяет устанавливать приёмник удалённо. Все комплектующие связаны и синхронизированы. Представленная на Рисунке 10,б схема позволяет наносить метку с помощью основного излучения лазера, а адаптированная автоматизированная компьютерная система по управлению процессом маркировки при выключении маркировщика включает излучение для регистрации метки и регистрирует данные. Преимуществом данной схемы прибора является его компактность.

Так же предложены две схемы визуализации: во время нанесении и на месте покупки, которые заключаются в измерении отклонений оптический

плотности по площади и, в результате анализа, выводящие подтверждение или опровержение подлинности в виде получаемого рисунка на дисплей.

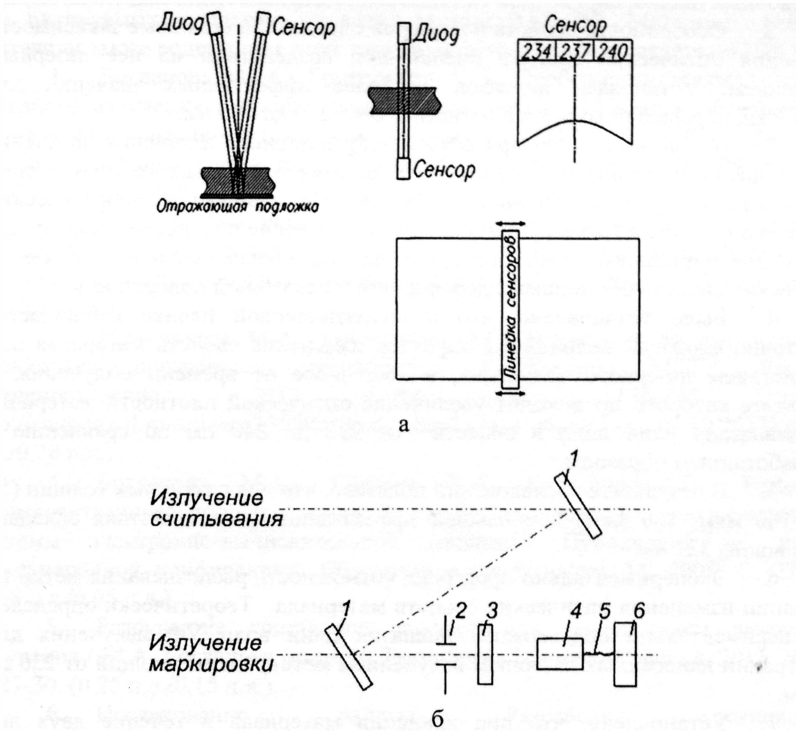


Рисунок 10.

Схема визуализации скрытых защитных меток:

а – схемы регистрации; б – устройство считывания: 1- Поворотное зеркало, 2 – Диафрагма, 3 – Образец, 4 – Узел ввода излучения в волокно, 5 – Волоконный световод, 6 – Приёмник излучения

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Проблема роста количества контрафактной продукции в РФ приводит к существенным убыткам в экономике страны. В связи с чем, в настоящее время ведутся работы по борьбе с пиратами и постоянно разрабатываются новые технологии, которые могли бы обеспечивать надёжную защиту товаров от подделок. Таким образом, в результате диссертационной работы были получены следующие результаты:

1. Проанализировав возможные способы и технологии по борьбе с контрафактом было показано, что наиболее эффективным направлением в данной области является совмещение методов кодирования информации с

занесением её в материал с помощью невидимой маркировки. Широкое распространение полимерной продукции, а именно полиэтилена, в качестве упаковочных плёнок определило тип материала для нанесения защитных меток.

2. Особенности свойств полимеров определили основные зависимости изменения оптических свойств плёнки при воздействии на неё лазерным излучением. Установлен диапазон наиболее эффективных значений для обработки, который находится в области УФ от 200 до 400 нм.

3. Установлено, что при воздействии лазерного излучения на плёнку происходит структурное преобразование в материале, приводящее к изменению оптических свойств облучённого участка. На основании теоретических расчётов определено граничное максимальное значение плотности энергии 1,27 Дж/см^2 для маркировки полиэтиленовых плёнок, обеспечивающее изменение оптических свойств без видимых деформаций и искажений поверхности.

4. Было установлено, что в полиэтиленовой плёнке наблюдается достаточно сложный нелинейный характер изменения свойств материала под воздействием лазерного излучения, в том числе от времени облучения, в результате которого происходит увеличение оптической плотности материала для диапазона длин волн в области от 230 до 240 нм по сравнению с необработанным образцом.

5. В результате исследований показано, что для различных толщин (50 мкм, 100 мкм, 160 мкм) наибольшей эффективностью воздействия обладает длина волны 337 нм.

6. Экспериментально проверена возможность распознавания метки на основании изменения оптических свойств материала. Теоретически определён и экспериментально подтверждён диапазон длин волн УФ излучения для регистрации нанесённых лазерным излучением меток, составляющий от 230 до 240 нм.

7. Установлено, что при хранении материала в течение двух лет происходит его старение, однако полученный эффект модификации плёнок сохраняется и не происходит отклонения границ диапазона длин волн, необходимых для регистрации изображения.

8. Разработана, изготовлена и апробирована фокусирующая система для получения изображения из множества точек в виде определённого рисунка или текста, которая позволяет фокусировать излучение в диаметр менее 3 мм.

9. Разработан, изготовлен и апробирован оптико-механический узел устройства, обеспечивающий крепление и перемещение плёнки по одной координате со скоростями от 0,7 до 55,0 мм/с с полным ходом плёнки 33 мм.

10. Разработан способ нанесения защитной маркировки на полиэтиленовые плёнки, на основании которого спроектирован экспериментальный стенд для нанесения меток, запатентована полезная модель № 131208.

11. Разработана экспериментальная лабораторная установка для считывания защитных меток, нанесённых в полиэтиленовые плёнки с помощью лазерной установки с длиной волны излучения 337 нм и интенсивностью менее 1,27 Дж/см^2.

РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные материалы работы опубликованы в 9 научных работах, из них 4 в цитируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ. Материалы работы составили также содержание двух глав научно-технического отчёта по НИОКР:

1. Богданова М. А., Григорьянц А. Г. Особенности взаимодействия лазерного излучения с прозрачными диэлектриками // Наука и образование: Электронное научно-техническое издание. 2012. № 03. 7 стр. URL.http://technomag.bmstu.ru/doc/325485.html (дата обращения 09.10.2013) (0,44 п.л./0,4 п.л.)
2. Перспективы использования лазерного излучения для создания структурных неоднородностей в полимерах / М.А. Богданова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. №1. С. 63-69. (0,44 п.л./0,15 п.л.)
3. Мельникова М.А., Григорьянц А.Г. Теоретические предпосылки маркировки прозрачных диэлектриков // Вестник МГТУ. Раздел: Машиностроение. 2012. №6 С. 136-140 URL. http://engjournal.ru/articles/235/html/index.html (дата обращения 09.10.2013) (0,31 п.л./0,28 п.л.)
4. Богданова М.А., Груздев В.А, Богданов А.В., Развитие производственного процесса лазерной обработки с помощью распределенной системы электронно-вычислительной машины// Публикация по итогу международной конференции: Образование через науку. М. 2005. С. 27-29. (0,18 п.л./0,05 п.л.)
5. Разрушение кристаллов сапфира под воздействием лазерного излучения / М.А. Богданова [и др.] // Технология Машиностроения. 2011. №11. С. 27-30. (0,25 п.л./0,15 п.л.)
6. Исследование работы Разработка технологии высокопроизводительной маркировки внутри стекла, выбор режимов, обеспечение качества изображений: Отчёт по теме «Разработка технологии и создание промышленной лазерной установки для нанесения специальной маркировки на изделия из стекла» / МГТУ. Руководитель темы А.Г. Григорьянц. Исполнители Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Богданова М.А. [и др.] ГР № 012010066638, Инв. № 621 М. 2010. 102 с.
7. Богданова М.А., Голубенко Ю.В., Богданов А.В., Инженерный подход к расчёту оптических систем для непрерывных волоконных лазеров // Конференция по лучевым технологиям и применениям лазеров: аннотации и программа VI международной конференции. Спб (Государственный Политехнический Университет). 2009. С. 137-138 (0,125 п.л./0,1 п.л.)
8. Мельникова М.А., Богданов А.В., Мельников Д.М., Исследование особенностей взаимодействия лазерного излучения с полиэтиленом при маркировке // Материалы 9 международной научно-технической конференции «Современные достижения в области науки - 2013» Чехия (Прага). 2013. С.21-25. (0,31 п.л./0,25 п.л.)

9. Мельникова М. А. Обзор особенностей взаимодействия лазерного излучения с полимерными плёнками при маркировке // Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве: Материалы 2 Международной заочной конференции / Отв. ред. А.А. Веселовский. Орск. 2013. С. 144-145.