

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ ИМ. АКАДЕМИКА Ж. ЖЕЕНБАЕВА
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Б. ЕЛЬЦИНА

Диссертационный совет Д.01.16.537

На правах рукописи
УДК: 728. 38:621.397

Шамшиев Тойчубек Сатыбаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НОСИТЕЛЯ
В ПРОЦЕССЕ РЕГИСТРАЦИИ ГОЛОГРАММ**

Специальность: **01.04.05 - Оптика**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек 2017

**Работа выполнена в Институте физико-технических проблем
и материаловедения им. академика Ж. Жеенбаева Национальной академии
наук Кыргызской Республики**

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сагымбаев Абдисамат Акимович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
доцент Джаманкызов Н. К.
(Институт физико-технических проблем
и материаловедения
им. академика Ж. Жеенбаева НАН КР,
г. Бишкек).

кандидат технических наук, доцент
Зимин И.В. (КГТУ им. И. Раззакова,
г. Бишкек).

Ведущая организация: Ошский государственный университет,
кафедра «Экспериментальная и
теоретическая физика»,
Кыргызская Республика, г. Ош,
ул. Ленина, 331

Защита состоится 8 сентября 2017 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д. 01.16.537.при Институте физико-технических проблем и материаловедения НАН КР им. академика Ж. Жеенбаева и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б. Ельцина по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а. Веб-сайт: www.phyzics.kg.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке НАН Кыргызской Республики.

Автореферат разослан «_____» июня 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук



Фоломеев В. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В настоящее время создан ряд экспериментальных голографических систем памяти. Однако в них в качестве носителя информации служат фотоэмульсии на основе галлоидного серебра. Одним из требований, предъявляемых к системам голографической памяти, является возможность введения частичной корректировки в информационное содержание памяти. Очевидно, что это требование в системах нереверсивными носителями не выполняется. Кроме того, при записи больших массивов информации и при неудовлетворительном качестве хотя бы одной голограммы, приходится выбрасывать весь массив информации, также отсутствует возможность оперативного контроля записанной информации и требуется «мокрая» химическая обработка после записи голографической информации.

Требованиям, предъявляемым к регистрирующим средам для голографических запоминающих устройств, наиболее полно отвечают фототермопластические (ФТП) и фотополимеризующиеся (ФП) носители. В них удачно сочетаются высокая чувствительность ($\sim 10^{-5}$ Дж/см² для фототермопластика и $\sim 10^{-3}$ Дж/см² для фотополимеризующегося носителя), с высокой дифракционной эффективностью ($\sim 30\%$), высокая цикличность (~ 1000) для фототермопластика и длительным временем хранения записанной информации (~ 10 лет)

Применение в устройствах голографической памяти рельефографических носителей с использованием термопластических сред предъявляет высокие требования к их параметрам. Достигнутые в последнее время успехи в области технологии получения фоточувствительных полупроводниковых структур и синтез деформируемых термопластических материалов позволили разработать целый ряд способов записи, основанных на явлениях внутреннего фотоэффекта в полупроводниках и деформационных явлениях в пластических средах. Соответственно, интенсивная разработка рельефографических сред привела к созданию большого количества носителей информации различных конструкции, которые в той или иной мере удовлетворяют предъявленным к ним требованиям с точки зрения практического применения.

Разработанные сравнительно недавно фототермопластические носители с внешним защитным (деформируемым) полупроводниковым слоем системы термопластик-полупроводник и полупроводник – термопластик - полупроводник призваны дополнить достоинства существующих рельефографических систем и поэтому представляет особый интерес. Такие структуры получают нанесением на свободную поверхность термопластика однослойного термопластического носителя, либо двухслойного фототермопластического тонкого полупроводникового слоя, как правило сульфида мышьяка, играющего роль как защитный. Так и дополнительной активной среды.

Особенно перспективны носители второй модели. Они обладают большой чувствительностью и позволяют повысить контраст записанного изображения за счет повышения устойчивости деформируемой поверхности, к воздействию предварительно наносимого заряда до экспонирования и других факторов приводящих, двухслойной системе при длительной зарядке, к вуалированию изображения и ухудшению качества записи.

Разработки в области записи оптической информации в фотополимеризующийся носитель, являющийся в настоящее время одним из более перспективных регистрирующих сред, подошли к состоянию, когда дальнейший прогресс определяется не созданием принципиально новых структур носителей, а совершенствованием способов записи на уже существующих носителях. Применение различных режимов записи и термохимической фиксации голограмм позволяет уменьшить влияние шумов при их записи.

Однако, до настоящего времени недостаточно исследованы закономерности термического проявления скрытого изображения на фототермопластических носителях (ФТПН). Не исследованы методы термохимической фиксации записанной голографической фиксации в фотополимеризующихся носителях, и термические искажения, вызванные неравномерностью интенсивности светового пучка инфракрасного лазера. Также не проработаны и не спрогнозированы варианты практического использования носителей в системах голографического запоминающего устройства и обработки оптической информации.

Отсутствие этих результатов не позволяет полностью раскрыть возможности фототермопластических (ФТП) и фотополимеризующихся (ФП) – носителей и определить их место в ряду носителей, применяемых в технике регистрации голографической аналоговой и цифровой информации, а также вести целенаправленные работы по их усовершенствованию. Поэтому работа по исследованию характеристик проявления ФТП и термохимической фиксации ФП – носителей при нагреве ИК – лазером, ИК – лампой и лампой накаливания является весьма важной и актуальной.

Целью диссертационной работы является: Исследование и разработка режимов температурной обработки носителя в процессе регистрации голограмм в фотополимеризующихся и фототермопластических носителях при нагреве тепловым и инфракрасным излучениями.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие основные задачи:

- исследование процесса нагрева ФТП и ФП – носителей тепловым и инфракрасным излучениями;
- исследование локальной записи голограмм в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 записанных голограмм лампой накаливания и CO₂ лазером;

- теоретическое исследование процессов нагрева ФТП и ФП – носителей с учетом температурной зависимости термических коэффициентов;
- теоретическое исследование процессов термических искажений, вызванных неравномерностью светового пучка лазера и разработка методов устранения неравномерности температурного поля;
- разработка методов локальной термохимической фиксации записных голограмм в ФПН.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Теоретически и экспериментально исследованы процессы термохимической фиксации записанной голографической информации в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 при нагреве тепловым излучением. Получена зависимость от времени нагрева дифракционной эффективности записанных голограмм при изменении плотности мощности теплового излучения и определены основные параметры нагрева при термохимической фиксации;

2. Для локальной термохимической фиксации записанной голографической информации в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 предложен и исследован метод термохимической фиксации инфракрасным лазерным излучением и лампой накаливания;

3. Теоретически исследованы процессы нагрева ФТП и ФП – носителей с учетом температурной зависимости термических коэффициентов и термических искажений, вызванные неравномерностью интенсивности светового пучка инфракрасного лазера. Предложен новый метод записи голограмм при совмещении процессов проявления и термохимической фиксации голограмм в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 при нагреве излучениями ИК- лампы и лампы накаливания;

4. Установлено, что время термохимической фиксации голограмм, записанных в фотополимеризующейся среде HRF 700-20 сокращается с повышением температуры нагрева регистрирующего слоя.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, приведенных в данной работе, подтверждается корректным математическим обоснованием и наглядностью полученных результатов экспериментальным методом.

Практические результаты исследований и разработок, выполненных в диссертационной работе, показали целесообразность применения записи голограмм в ФТП и ФП – носителях с лазерным проявлением и фиксированием в голографических системах памяти. Фотополимеризующаяся среда HRF-700-20 может быть применена в качестве постоянного накопителя оптической информации современных голографических системах хранения и обработки информации.

Разработка и исследования по теме диссертации выполнялись в рамках координационных планов НИР ИФТП и М им. Ж. Жеенбаева.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Закономерности динамики изменения физико – технических характеристик фотополимеризующейся среды HRF-700-20 при термохимической фиксации зарегистрированных голограмм ИК – излучением;
2. Методы термохимической фиксации объемных голограмм излучением ИК – лампы и Фурье голограмм излучениями сфокусированной лампы накаливания и CO₂- лазера;
3. Метод записи голограмм в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 при совмещении процессов проявления и термохимической фиксации. Установлено, что время термохимической фиксации голограмм, записанных в материале HRF-700-20, сокращается с ростом температуры нагрева регистрирующего слоя.

Личный вклад соискателя. Представленные в диссертации результаты являются итогом самостоятельных исследований автора. Личный вклад соискателя заключается в выборе путей и методов достижения цели работы, выполнение исследований, анализе результатов исследований, подведение итогов и выводов, написании и публикации научных статей. В определении цели работы и обсуждение результатов участвовал научный руководитель работы д.т.н., профессор Сагымбаев А.А. Все основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором под руководством научного руководителя.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы представлялись на международных семинарах и конференциях: II Международная конференция «Оптика и фотоника - 2013» 25–27 сентября 2013 г. Самарканд, XXXIII международная научно-практическая конференция «Наука вчера, сегодня, завтра» 18–26 апреля 2016 г. в г. Новосибирск, Международная научная конференция, посвященная 70-летию профессора Б. Арапова 2013 г. в г. Ош, Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии в Азии: состояние, проблемы и перспективы ИТРА-2014» 2014 г. в г. Бишкек; Вторая Республиканская научно-практическая конференция, посвященная памяти профессора Р. Усубакунова 2013 г. в г. Бишкек; Международная научно-практическая конференция посвященная 75-летию Ошского государственного университета, Международная научно-методическая конференция «Современные проблемы обучения физики, математики, информатики и актуальные задачи прикладной информатики» 19–20 мая 2017 г. в г. Бишкек; Международная научно-методическая конференция «Актуальные вопросы технологии обучения информатики и информационных технологий» 17–18 мая 2016 г. в г. Бишкек.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Результаты выполненной научной работы были опубликованы в виде 13 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК КР, а также трудах международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 169 страниц машинописного текста, включая содержит 1 таблицу, 33 рисунков, приложение на 5 стр. и библиографический список из 140 литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении аргументирована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, представлены основные результаты, показаны наиболее значительные новые результаты, научная и практическая ценность, кратко изложена структура диссертации и формируются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе сделан обзор литературы, посвященной принципам фототермопластической и фотополимеризующейся записи голографической информации. Рассмотрены среды, где записывающим излучением создается скрытое изображение регистрируемой информации, затем осуществляется ее тепловое проявление. А также рассмотрены фотополимеризующихся материалов, где в процессе формирования голограмм применяется термохимическая фиксация записанных голограмм путем их нагревания.

В первом параграфе проводится классификация основных способов рельефной записи, рассматриваются их физические особенности и конструкция соответствующих носителей оптической информации. Проведен анализ с точки зрения оперативности регистрации информации и информационных характеристик современных разработок бессеребрянных носителей.

Показано, что наиболее перспективные среди бессеребрянных методов записи близким практическому внедрению является метод одновременной фототермопластической записи. Этот записи обеспечивает критереального масштаба времени» и реализуемы с применением менее высоко обменных полупроводников. Выявлены по своим характеристикам сравнимых с классическими аналогами приоритетные структуры фототермопластических носителей системы полупроводник термопластик.

Во втором параграфе приводится анализ механизма образования скрытого электростатического изображения на системе полупроводник – термопластик. Приводятся основные математические модели расчета электростатического контраста. Результаты математических и экспериментальных исследований приводятся в режиме коронной зарядки.

В третьем параграфе рассматриваются теоретические представления деформации термопластических материалов под действием электрических сил, как вязко – упру-

гой жидкости модели Кельвина – Фойгта. Показано, что при образовании авторегулярной деформации, важным фактором выступает электрокапиллярный эффект, выражающий изменение коэффициента поверхностного натяжения под действием нанесенного электрического заряда в зависимости от состояния термопластического слоя, величины и характера поперечных сил, структура деформации может быть морозной, лунной и канавочной.

В четвертом параграфе рассмотрены особенности процессов фотополимеризации, голограмм и сделан обзор по фотополимеризующимся носителям.

На основе изученных литературных источников осуществлена постановка задачи для диссертационной работы.

Вторая глава посвящена математическому вычислению и экспериментальному исследованию процессов термохимической фиксации и проявления записанных голограмм тепловым излучением и теоретическому исследованию локальной термообработке излучением CO₂- лазера. Образцы фотополимеризующихся сред состоит из фотополимеризующегося мономера и представляет собой твердые слои, состоящие, целлюлозного связывающего и инициатора фотополимеризации. Толщина слоя составляет 0,250 мм. Такие слои наносятся на лавсановые подложки. Слои покрываются защитной пленкой. Образцы предварительно обезжиривают растворителем КРОТ-М и протирают метиловым или этиловым спиртом. Для обеспечения герметичности образцов и придание жесткости их наклеивают на стеклянную пластинку. Потом, отсоединяют защитную пленку от фотополимеризующего слоя. Затем липучей стороной с помощью валика наклеивают на стеклянную пластинку.

Вслед затем записи голограмм фотополимеризующегося материала облучают равномерным некогерентным опорным пучком или ультрафиолетовым - излучением. Как будто остаточного мономера приводит к фотополимеризации. Следовательно, в слое создается пленка с неровным распределением полимера. В этом случае дифракционная эффективность резко увеличивается. Существенно превышает дающую в процессе записи голограмм.

В слое фотополимеризующегося материала HRF-700-20 для получения более устойчивых голограмм используется термохимическая фиксация. Данный метод создан в термохимическом превращении инициатора полимеризации, как менее реакционно способное вещество. При обычном хранении зарегистрированных голограмм в темноте удастся получить результаты в течение двух суток. Предельная дифракционная эффективность в пределах 10-50°C не зависит от температурных условий. Когда температура достигает 100°C время термохимической фиксации сокращается до 1 часа. При увеличении температуры дальнейшем уменьшается время термохимической фиксации. Однако дифракционная эффективность фикс-

сированных голограмм уменьшается. Время термохимической фиксации при температуре 150°C составляет 10с. При этом с первоначального уровня через 5мин дифракционная эффективность уменьшается до 49 % .

Теплофизические и оптические свойства разнообразных фотополимеризующихся носителей значительно различаются. В таких случаях в области спектра 350-550 нм наблюдается спектральная чувствительность фотополимеризующихся носителях (ФПН). В дальнейшем проанализируем теплофизические и оптические параметры ФПН. Эти параметры необходимо и достаточно для проявления, вычисления характера нагрева, а также для вычисления плотности мощности теплового излучения. фототермопластического носителя (ФТПН).

При этом дифференциальные уравнения теплопроводности с краевыми условиями имеют следующий вид:

$$\frac{\partial T_{1,2}(x, \tau)}{\partial \tau} - b_{1,2} \frac{\partial^2 T_{1,2}(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{q_{1,2}(x, \tau)}{\rho_{1,2} k_{1,2}} H(\tau - t) \quad (1)$$

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = T_0, \quad \frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial T_2(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$T_1(d_1, \tau) = T_2(d_1, \tau), \quad c_1 \frac{\partial T_1(d_1, \tau)}{\partial x} = c_2 \frac{\partial T_2(d_1, \tau)}{\partial x}$$

Здесь индексы 1 и 2 относятся к регистрирующей среде и подложке соответственно; b - температуропроводность T – температура; τ – время; t – время нагрева c – теплопроводность; ρ – плотность; k – удельная теплоемкость; T_0 – температура окружающей среды; d_1 и d_2 – толщина пленки и подложки; $d = d_1 + d_2$ – суммарная толщина; координата x отсчитывается от поверхности пленки в глубь к подложке; q - плотность тепловых источников; $H(\tau - t)$ – функция Хэвисайда.

Далее рассматриваются решение уравнение (1).

При нагреве тепловым излучением решались необходимые теплофизические задачи. **Когда подложка имеет конечные размеры**, исследования закономерности развития температурных полей нагрева структуры подложка-регистрирующая среда излучением лазера не проводились (рис. 1.).

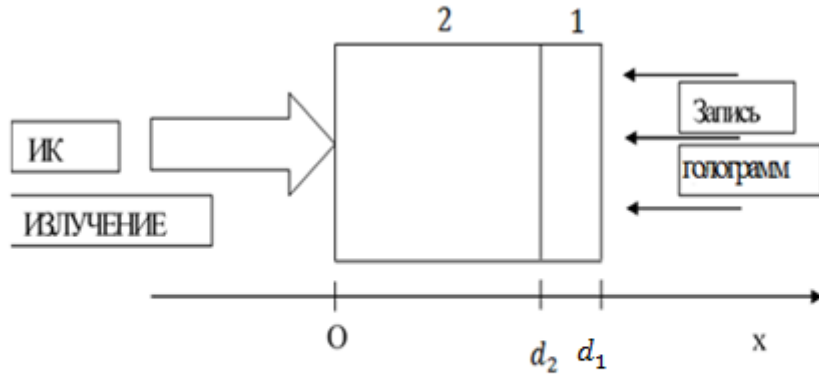


Рис.1. Модель структуры, при нагреве лазером со стороны подложки;
1-регистрирующая среда, 2-подложка.

Рассмотрим краевую задачу теплопроводности. Для упрощения задачи в одномерном случае допускается следующее приближение:

Так как слой образует идеальный тепловой контакт между подложкой и регистрирующим слоем. Поскольку регистрирующий слой имеет несравненно более высокую теплопроводность, чем подложка. Поэтому слой прозрачного проводника в модели не учитывается. Оптические и теплофизические параметры системы не зависят от интенсивности облучения и температуры. В поперечном сечении излучение одномерно.

Полагаем, что по толщине пленки тепло выделяется равномерно.

Для решения краевой задачи теплопроводности (1) с учетом начальных и граничных условий (2) воспользуемся преобразованием Лапласа во времени. Полученная неоднородная система дифференциальных уравнений для лапласового образа решается стандартным образом. При переходе к оригиналу Лапласового образа, сначала упрощается, применяя для регистрирующей среды и подложки условие тонкости

$$(d_1 \ll \sqrt{t}b_1, \quad d_2 \ll \sqrt{t}b_2)$$

После преобразований перехода к оригиналу Лапласового образа, окончательно получим значение температуры регистрирующего слоя. Полученное выражение имеет вид:

$$\begin{aligned} T_1(x, \tau) = & \frac{q_0 \sqrt{b_1}}{c_1} \left[\frac{\exp(u^2 \tau)}{u} \operatorname{erfc}(u \sqrt{\tau}) + \frac{2v}{1+v} \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \right. \\ & \left. - \frac{1}{u} \right] + \\ & + \frac{2q_0 \sqrt{b_1}}{c_1} \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \exp(-x^2/4b_1\tau) - \frac{q_0 x}{c_1} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{b_1\tau}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$u = \sqrt{b_1}/vd_1, \quad v = (c_1\sqrt{b_2})/(c_2\sqrt{b_1})$$

А также проводились теоретические исследования процесса нагрева ФП – носителей. Носители обрабатывались излучением ИК – лазера со стороны регистрирующего слоя и со стороны подложки. При этом учитывались действие тепловых источников, обусловленных помещением светового потока, как на пленке, так и в подложке. В данном случае уравнение теплопроводности (1) с краевыми условиями (2) рассматривалось с источниками (4) при нагреве со стороны регистрирующего слоя

$$q_1 = IG_1/d_1, \quad q_2 = 0 \quad (4)$$

и с источниками (5) при нагреве со стороны подложки

$$q_1 = 0, \quad q_2 = IG_2/d_2 \quad (5)$$

где I – интенсивность лазерного излучения, G_1 – поглощательная способность регистрирующей среды и- G_2 – поглощательная способность подложки. При этом получено выражение, описывающие значение температуры на поверхности регистрирующего слоя.

Значение температуры при нагреве со стороны регистрирующего слоя:

$$\begin{aligned} T_1(\tau) = & \frac{IG_1}{d_1\rho_1k_1} \left[\left(1 - \frac{n}{u}\right)t + \frac{n}{u^3} \exp(u^2\tau) \operatorname{erfc}(u\sqrt{\tau}) + \frac{2n}{u^2\sqrt{\pi}}\sqrt{\tau} - -\frac{n}{u^3} \right] H(t \\ & - \tau) - \\ & - \frac{IG_1}{d_1\rho_1k_1} \left[\left(1 - \frac{n}{u}\right)(\tau - t) + +\frac{n}{u^3} \exp(u^2(\tau - t)) \operatorname{erfc}(u\sqrt{(\tau - t)}) \right. \\ & + \frac{2n}{u^2\sqrt{\pi}}\sqrt{\tau - t} + \\ & \left. + \frac{n}{u^3} \right] H(t - \tau) + T_0 \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$u = \sqrt{b_1}/vd_1 + \sqrt{b_2}/d_2,$$

$$n = \sqrt{b_1}/vd, \quad v = (c_1\sqrt{b_2})/(c_2\sqrt{b_1})$$

При нагреве со стороны подложки:

$$\begin{aligned}
 T_1(\tau) = & \frac{IG_2}{d_2\rho_2k_2} \left[\left(\frac{m}{R} \right) \tau + \left(\frac{1}{R^2} - \frac{m}{R^3} \right) \exp(R^2\tau) \operatorname{erfc}(R\sqrt{\tau}) + \left(1 - \frac{m}{R} \right) \times \right. \\
 & \left. \frac{2\sqrt{\tau}}{R\sqrt{\pi}} - \frac{1 - m/R}{R^2} \right] H(t - \tau) - \frac{IG_2}{d_2\rho_2k_2} \left[\left(\frac{m}{R} \right) (\tau - t) - \left(\frac{1}{R^2} - \frac{m}{R^3} \right) \times \right. \\
 & \left. \exp(R^2(\tau - t)) \operatorname{erfc}(R\sqrt{\tau - t}) + \frac{(1 - m/R)}{R\sqrt{\pi}} 2\sqrt{\tau - t} - \frac{1 - m/R}{R^2} \right] \times \\
 & \times H(t - \tau) + T_0
 \end{aligned} \tag{7}$$

где

$$R = \sqrt{b_1}/d_1 + v(\sqrt{b_2}/d_2), \quad m = \sqrt{b_1}/d_1$$

С учетом температурной зависимости термических коэффициентов проанализирована теплофизическая задача. При этом, из (1) получается нелинейное дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$f_{1,2}(T_{1,2}) \frac{\partial T_{1,2}(x, \tau)}{\partial \tau} - \frac{\partial c_{1,2}(T_{1,2})}{\partial x} \frac{\partial T_{1,2}(x, \tau)}{\partial x} = q_{1,2}(x, \tau) \tag{8}$$

Рассмотрена как частный случай, линейная зависимость термических коэффициентов от температуры. В этом случае в (6), возникли дополнительные слагаемые. Эти слагаемые возникли при температурном изменении теплофизических параметров регистрирующего слоя и подложки и существенно корректируют конечное значение температуры на поверхности регистрирующего слоя. Таким образом, для некоторых материалов, где имеет место температурная зависимость теплофизических параметров, его учет становится необходимым. Так как от этого существенно зависит качество записанных голограмм.

В третьей главе при локальном нагреве анализируется термические искажения записанной голограммы и методы их уменьшения. Анализировались теплофизические задачи при нагреве регистрирующего слоя со стороны стеклянной подложки лазерным излучением. При этом учитывались гауссово распределение плотности мощности. Учитывая, что стеклянная подложка пропускает ИК – излучение до определенной толщины, анализировались поверхностная распределение тепловых источников.

В данном случае уравнение теплопроводности анализировалось в цилиндрической системе координат:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T_{1,2}(r, z, \tau)}{b_{1,2} \partial \tau} &= \frac{\partial^2 T_{1,2}(r, z, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{1,2}(r, z, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_{1,2}(r, z, \tau)}{\partial z^2} \times \frac{\partial T_1(r, d, \tau)}{\partial z} = 0 \\
-c_2 \frac{\partial T_2(r, 0, \tau)}{\partial z} &= F(r), \\
T_1(r, d_2, \tau) &= T_2(r, d_2, \tau), \\
T_1(r_0, z, \tau) &= T_2(r_0, z, \tau) = T_0, \\
c_1 \frac{\partial T_1(r, d_2, \tau)}{\partial z} &= c_2 \frac{\partial T_2(r, d_2, \tau)}{\partial z}.
\end{aligned} \tag{9}$$

где r – радиальная координата; z – продольная координата; r_0 – радиус пучка лазера, измеряемый на уровне $\exp(-2)$;

$$F(r) = \frac{2P \exp(-2(r/r_0)^2)}{\pi r_0^2}$$

P – полная выходная мощность излучения; координата z отсчитывается в глубину к регистрирующей среде от поверхности стеклянной подложки.

Учитывая краевые условия (9) чтобы решить уравнения теплопроводности применяем интегральные преобразования Лапласа по временной и Ханкеля по радиальной переменной r . После необходимых преобразований имеем:

$$\begin{aligned}
T_2 = \frac{\sum_{n=1}^{\alpha} \Phi(\ell_n) j_0(\ell_n, r)}{c_2 \sum_{m=1}^{\alpha} \sigma^{n-1}} &\left\{ 2 \sqrt{\frac{b_2 \tau}{\pi}} \left[\frac{\exp(-(2d_2(m-1) + z)^2)}{4b_2 \tau} \right. \right. \\
&+ \left. \left. \frac{\sigma \exp(-(2d_2 m - z)^2)}{4b_2 t} \right] \right. \\
&- \left. \left[\frac{(2d_2(m-1) + z) \operatorname{erfc}((2d_2(m-1) + z)}{2\sqrt{bt}} \right. \right. \\
&+ \left. \left. \frac{\sigma(2d_2 m - z) \operatorname{erfc}(2d_2 m - z)}{2\sqrt{b_2 \tau}} \right] \right\},
\end{aligned} \tag{10}$$

где

$$\Phi(\ell_m) = \int_0^{r_0} K(r)f(r)dr; K(r) = \frac{2rj_0(\ell, r)}{r_0^2 j_1^2(\ell, r_0)},$$

$$\sigma = \frac{c_2/\sqrt{b_2} - c_1/\sqrt{b_1}}{c_2\sqrt{b_2} + c_1\sqrt{b_1}}$$

Графики отражающие радиальное распределение температуры приведены на рис. 3.2.1. глава III. Показано, что происходящее на границе подложки с регистрирующей средой важнейшее выравнивание температурного поля (кривая 2). Доказано, что уменьшение термического искажения при нагреве со стороны стеклянной подложки.

Устранения, вызванные из-за неравномерности светового пучка лазера неравномерности температурного поля, является метод - это нагрев со стороны подложки. Температурное поле при этом в записываемой участке выравнивается. однако нагреваемая площадь увеличивается. В этом случае уменьшается плотность записи и ухудшается качества соседних голограмм. В записываемом участке происходит выравнивание температурного поля в процессе остывание. Поэтому запись для ФПН можно произвести поле нагрева через время задержки.

Устранение неравномерности светового пучка лазера – это способ применение оптического волокна. При применении оптического волокна, свет отражается от внутренней поверхности многократно. Поэтому на выходе пучка света распределяется равномерно.

В четвертой главе приводятся экспериментальные результаты, полученные в ходе исследований, экспериментальные данные при нагреве излучением CO_2 лазера, а также математические расчеты процессов нагрева ФПН излучениями лампы накаливания и ИК – лампы.

Результаты проведенных с экспериментально полученными данными и математических расчетов нагрева фотополимеризующегося материала качественно совпадают с погрешностью $\pm(8 \div 10)\%$. При решении теплофизических задач эта погрешность объясняется допущениями и погрешностью, допущенной при эксперименте. Схема оптической экспериментальной голографической установки показана на рис.2.

Устройство обеспечивает последовательную регистрацию матриц.

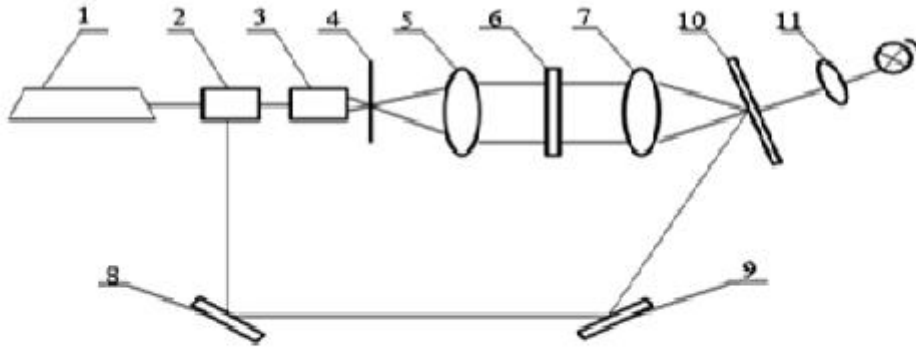


Рис.2. При нагреве лампой накаливания со стороны подложки.

Двухлучевая схема записи голограмм.

1-лазер, 2-расщепитель пучка, 3-микрообъектив, 4-диафрагма, 5-коллимирующая линза, 6-транспарант, 7-собирающая линза, 8,9-зеркала, 10-пленка, 11-система собирающих линз, 12-лампа накаливания.

Проводился эксперимент по записи голограмм на ФПН. Когда интенсивность светового потока равна $10-25 \text{ Вт/см}^2$ температура термохимической фиксации лежит в пределах $100-170^\circ \text{C}$. Зависимость плотности мощности q_1 лампы накаливания от времени нагрева фотополимеризующего слоя, рассчитанная по формуле (11) приведена на рис.3.

$$q_1 = \frac{T_1(x, \tau) - T_0}{\frac{\sqrt{b_2 \tau}}{c_2} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} + \varphi F \left(\frac{1}{\varphi} \right) \right] + \frac{1}{c_2} \frac{x^2 - d^2}{d} F \left(\frac{1}{\varphi} \right)} \quad (11)$$

Дифракционная эффективность записанной голограммы постепенно уменьшается с уменьшением времени нагрева или с увеличением интенсивности излучения.

Падающего на поверхность ФПН изменяя плотности мощности потока, фиксировали голограммы с различными диаметрами. Радиальное распределение температуры поверхности ФП слоя в процессе нагрева ФПН, при различной плотности мощности лампы накаливания приведено на рис.4. Плотности мощности лампы соответствует 25 Вт/см^2 первая кривая, (рис.4), а 10 Вт/см^2 плотности мощности соответствует вторая кривая. Результаты эксперимента показывает, что, повышается стабильность записанных голограмм в ФПН при термохимической фиксации излучением лампы накаливания. Это объясняется тем, что поверхность ФПН нагревается равномерно.

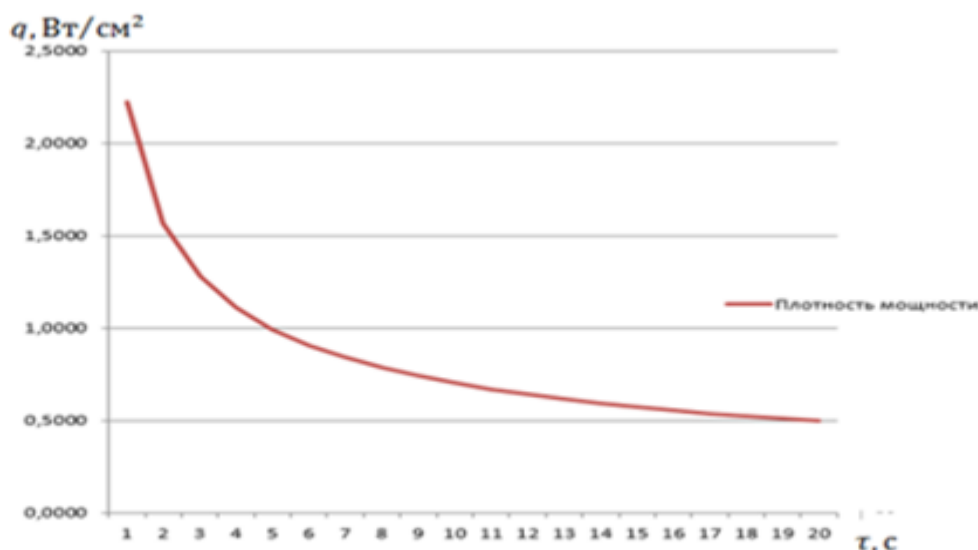


Рис.3. Зависимость плотности мощности лампы накаливания от продолжительности нагрева ФП слоя HRF-700-20

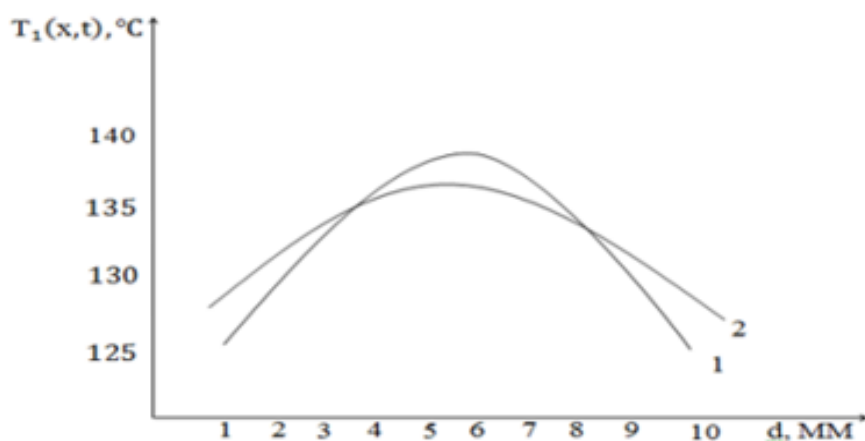


Рис.4. При различных плотностях мощности лампы нагрева
Распределение температуры на поверхности ФПН

При записи голограмм различных плотностях мощности лампы нагрева зависимость дифракционной эффективности от времени нагрева ФПН приведена на рис. 5.

Во время термохимической фиксации записанных голограмм в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 установлены закономерности процессов, протекающие в ходе экспериментальных исследований. ИК-лампа с мощностью 250 Вт использовалась при термохимической фиксации записанных голограмм с площадью 10см^2 . При этом получена, дифракционная эффективность $\sim 16\text{--}18\%$.

В регистрирующей среде HRF-700-20 применялся с мощностью 250 Вт ИК-лампа для фиксирования записанных объемных голограмм. Экспериментальная установка показана на рис. 6.

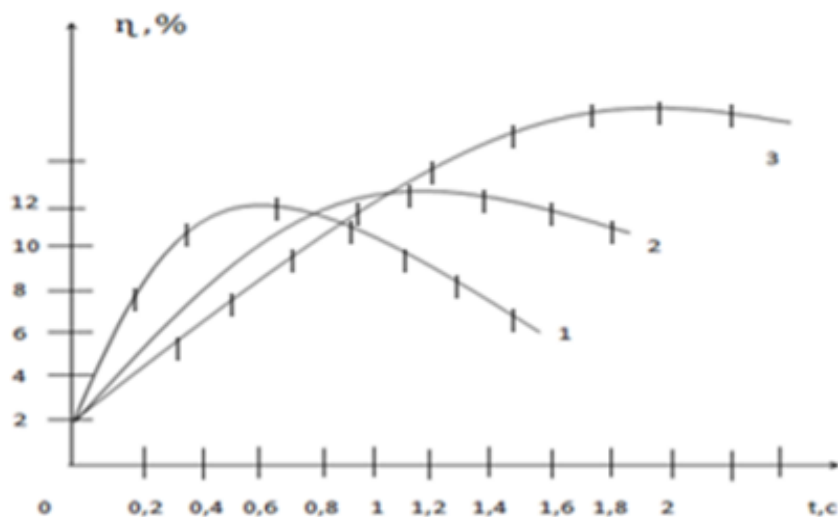


Рис.5. Зависимость дифракционной эффективности от времени
Нагрева при различных плотностях мощности лампы нагрева
1-кривая соответствует плотности мощности 25Вт/см²,
2-кривая соответствует плотности мощности 18Вт/см²,
3-кривая соответствует плотности мощности 10Вт/см²,

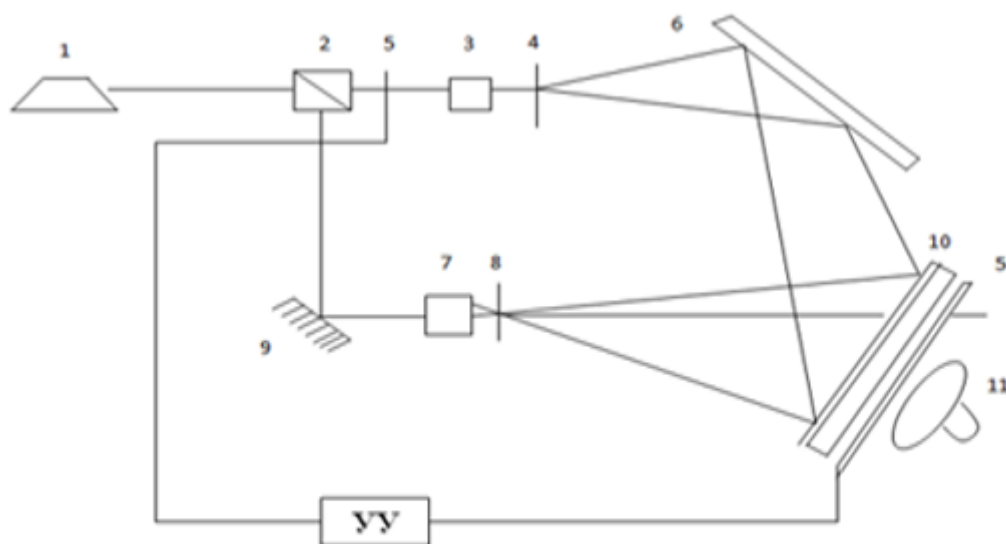


Рис.6. Схема экспериментальной голографической установки при нагреве
ИК-лампой со стороны подложки.
1-лазер, 2-расщепитель пучка, 3,7-микрообъектив, 4,8-диафрагма,
5-прерыватель, 6-объект, 9-зеркала, 10-регистрирующая среда, 11-ИК-лампа.

Со стороны регистрирующего слоя и со стороны подложки подавали ИК-излучение. Экспериментально определили при различных интенсивностях излучения зависимость дифракционной эффективности от времени нагрева (рис. 7). При этом с уменьшением величины дифракционной эффективности, увеличивается интенсивность излучения.

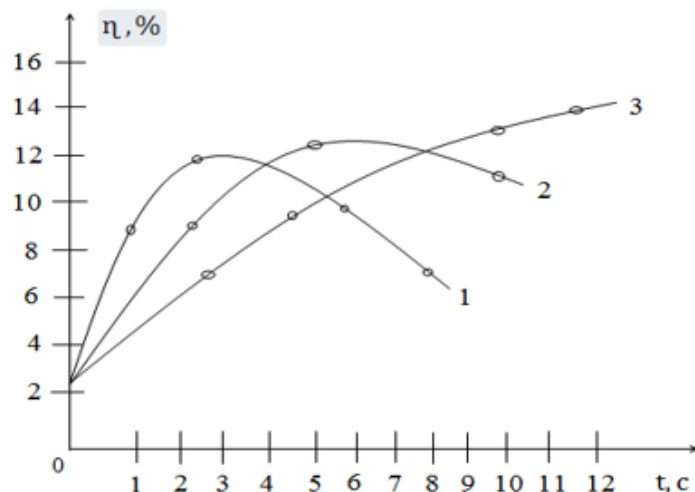


Рис. 7. при различных плотностях мощности лампы нагрева, зависимость дифракционной эффективности от времени нагрева.

1-кривая соответствует плотности мощности 3 Вт/см^2 ,

2-кривая соответствует плотности мощности $2,5 \text{ Вт/см}^2$,

3-кривая соответствует плотности мощности $1,5 \text{ Вт/см}^2$.

Применены сфокусированные излучения лампы накаливания и CO_2 -лазера для локальной термохимической фиксации голограмм. Оптическая схема экспериментальной голографической установки показана на рис. 8 а), б).

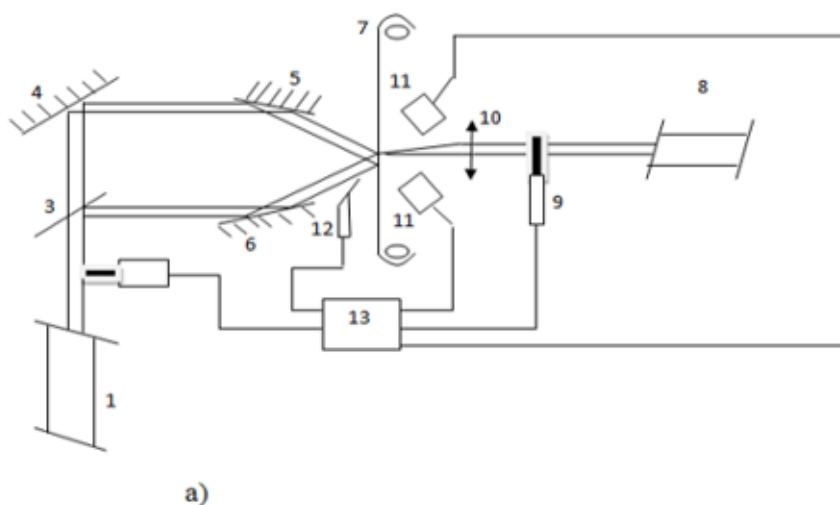
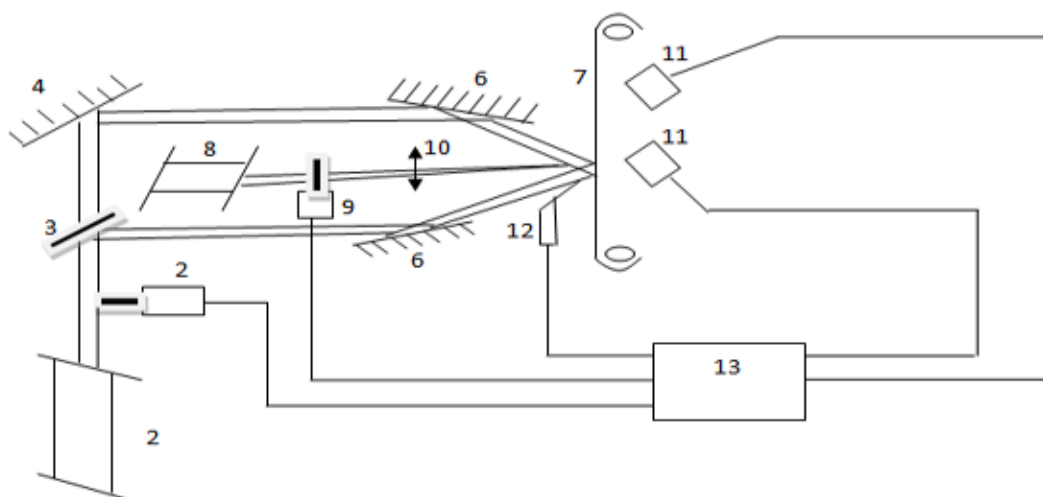


Рис. 8. Схема записи голограмм плоского волнового фронта.

а) Запись при нагреве ФП слоя при термохимической фиксации.



б)

Рис. 8. Схема записи голограмм плоского волнового фронта.

б) Запись при нагреве ФП слоя с исключением термохимической фиксации.

При нагреве сфокусированной лампой накаливания и CO_2 – лазером получены результаты дифракционной эффективности $\sim 13\text{-}16\%$ и соответственно $\sim 6\text{-}10\%$. На основе экспериментальных исследований излучением ИК- лампы и CO_2 -лазера предложены методы термохимической фиксации объемных голограмм. При совмещении процессов проявления и термохимической фиксации исследован и предложен метод записи голограмм фотополимеризующейся среде HRF-700-20.

Для получения оптимального режима записи голограмм надо рассмотреть какие факторы в процессе записи влияют на качество получаемых изображений. С данной целью были проведены эксперименты на ленточные ФПН по записи плоского волнового фронта. Опыты проводились излучением CO_2 - лазера при термохимической фиксации. Такой метод фиксации является наиболее важной задачей определение оптимальной энергии нагрева CO_2 - лазера. Регулирование энергией нагрева в экспериментах происходило путем изменения мощности и времени подачи лазерного излучения. При записи голограмм исследовались два метода нагрева ФПН: со стороны защитной пленки фотополимеризующего слоя и со стороны подложки.

Рассматриваемые две схемы записи имеют свои преимущества и недостатки. Фотополимеризующейся среда HRF-700-20 применялась в проводимых экспериментах. ФПН выдерживает гораздо большую энергию нагрева, чем в случае, когда, нагрев происходит со стороны подложки. Это было установлено экспериментально. Что при нагреве фотополимеризующейся пленки со стороны защитной пленки увеличивается скорость записи. Значит появляется возможность за счет увеличения интенсивности ИК – излучения увеличить скорость записи.

Выводы

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Теоретически и экспериментально исследованы процессы термохимической фиксации голограмм в фотополимеризующихся средах при нагреве тепловым излучением. и установлено, что с повышением температуры дифракционная эффективность уменьшается при этом время термохимической фиксации сокращается. Также исследованы процессы локального появления и фиксации голограмм в ФП и ФТП – носителях при нагреве излучением CO_2 - лазера со стороны регистрирующего слоя и со стороны подложки. В результаты экспериментальных исследований получено, изменения температуры пленки от времени нагрева при различных интенсивностях лазерного излучения. Нагрев регистрирующего слоя осуществляется через теплопроводность.

2. Исследованы записи голограмм в ФП и ФТП – носителях на поглощающих подложках при лазерном нагреве с учетом температурной зависимости термических коэффициентов и установлено, для некоторых материалов, необходимо учитывать температурную зависимость теплофизических параметров.

3. Исследованы термические искажения голограмм, вызванные неравномерностью светового пучка лазера при проявлении и термохимической фиксации. Для устранения термических искажений предложены методы устранения, вызванные из-за неравномерности светового пучка лазера. Неравномерность температурного поля, является метод - это нагрев со стороны подложки. Температурное поле при этом в записываемой участке выравнивается. Однако нагреваемая площадь увеличивается. В этом случае уменьшается плотность записи и ухудшается качества соседних голограмм. В записываемом участке происходит выравнивание температурного поля в процессе остывание. Поэтому запись для ФПН можно произвести поле нагрева через время задержки.

Список опубликованных работ

1. Шамшиев Т.С. Интегрально-оптическое устройство для записи голографической информации [Текст] / Сагымбаев Д.А., Сагымбаев А.А., Шамшиев Т.С., Алтыбаев С.Ы., Сагымбаева К.А., Аданбаев А.М. Сборник научных трудов. КРСУ. Вып.2. Бишкек, 2000. С 67-69.
2. Шамшиев Т.С. Лазерный нагрев движущего ленточного ФТП на поглощающих подложках [Текст] / [Текст] / Сагымбаев А. А., Шамшиев Т.С. – Наука вчера, сегодня, завтра. №4 (26). Новосибирск. 2016. С. 174–178.
3. Шамшиев Т. С. К вопросу прохождения временной информации в акустооптических анализаторах спектра [Текст] / Жумалиев К.М., Шамшиев Т.С. Вестник. ОшГУ, Ош, 2013. №2. С. 177–180.
4. Шамшиев Т.С. Особенности регистрации Фурье-голограмм с помощью спекл волн [Текст] / Шамшиев Т.С., Сагымбаева К.А. Вестник. Ош ГУ, Ош, 2013. №2. С. 216–220.
5. Шамшиев Т.С. О перспективах развития системы голографической памяти [Текст] / Жумалиев К.М., Шамшиев Т.С. Вестник КГУ. Бишкек, 2013. С. 151–156.
6. Шамшиев Т.С. Теоретический анализ при лазерном нагреве движущего ленточного ФТП на поглощающих подложках [Текст] / Шамшиев Т.С. Вестник. КГУСТА. Бишкек, 2014. №2 (44). С. 160–162.
7. Шамшиев Т. С. Моделирование фотополимеризующихся носителей при нагреве тепловым излучением [Текст] / Шамшиев Т.С. Известия вузов. г. Бишкек, 2016. №5. С. 181–183.
8. Шамшиев Т. С. Теоретическое исследование при лазерном нагреве дисковых фототермопластических носителей [Текст] / Сагымбаев А.А., Шамшиев Т.С. Известия вузов. Бишкек, 2017. №5. II часть. С. 87–90.
9. Шамшиев Т. С. Режим записи голограмм при нагреве лампой накаливания со стороны подложки – [Текст] / Шамшиев Т.С. Инженер. Бишкек, 2014. №7, 8. С. 67–71.
10. Шамшиев Т.С Математический анализ термических искажений голограмм при нагреве регистрирующей среды излучением лазера через подложку. [Текст] / Сагымбаев А. А., Инженер. Бишкек, 2014. №7, 8. С. 60–66.
11. Шамшиев Т.С. Запись голограмм при нагреве стороны подложки – [Текст] / Сагымбаев А. А., Шамшиев Т.С. Международный научный журнал. Инновационная наука. Уфа, 2016. С. 45–49.
12. Шамшиев Т.С. Исследование записи голограмм цифровой и аналоговой информации на вращающийся диск. Шамшиев Т.С. Вестник. ОшГУ, Ош, 2014. №3. С. 104–109.
13. Шамшиев Т.С. Экспериментальное исследование характеристик акустооптического дефлектора, Аккозиев Э. А., Сагымбаев А. А., Шамшиев Т.С., Сагымбаева К.А. II международная конференция «оптика и фотоника - 2013». Самарканд, 2013. С. 152–154.

Шамшиев Тойчубек Сатыбаевичтин 01.04.05- оптика адистиги боюнча Физика- математика илиминин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган «Голограмманы регистрациялоо процессин алып жүрүүчүнүн температуралык иштетүү режиминде изилдөөсү жана иштеп чыгуусу» атуу темадагы диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: фотополимердик чөйрө, термохимиялык бекитүү, теплофизикалык маселелер, жылуулук өткөрүмдүүлүктүн чектүү маселелери, жана инфра кызыл нурдануу.

Изилдөөнүн объектиси: ФТП (фототермопластик) жана ФП (фотополимер) алып жүрүүчүлөрдү инфра кызыл жана жылуулук нурдануу менен жылытуу процессин изилдөө.

Иштин максаты: голограмманы каттоо процесинде ФТП жана ФПны алып жүрүүчүлөрдүн инфра кызыл жана жылуулук нурданууда алып жүрүүчү температуралык иштетүү режимдерин изилдөө жана иштеп чыгуу.

Изилдөө ыкмалары: теоретикалык, эксперименталдык изилдөө.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жанылыгы:

— голографиялык мааламаттар түрүндө жазылган термохимиялык тактоодо, жаны ФП HRF-700-20 чөйрөсүндө жылуулук нурдануу менен диффракциялык эффективдүүлүгүнүн голограммалык жазууларынын көз карандылыгын ысытуунун убакыт боюнча ар түрдүү тыгыздыгынын кубаттуулугун жылуулук нурданууда жана оптималдык көз карандылыгы термохимиялык тактоодо изилденди жана жыйынтыктар алынды.

— жазылган голографиялык маалыматты термохимиялык тактоодо HRF-700-20 чөйрөсүндө сунушталды. Ар тараптан инфра кызыл лазер нурдануусу узундугу 1-10,6 мкм толкунунун негизинде жана кактоо лампасынын жардамы менен изилденди.

— ФТП жана ФП алып жүрүүчүлөрдүн температурадан көз карандылыгын эске алуу менен жана термикалык чачырандыларын инфра кызыл лазер нурунун ар түрдүү бирдей эместигинин ысытуу жолу менен алынган жыйынтык теоретикалык жактан изилденди. HRF-700-20 инфра кызыл жана кактоо лампасынын жардамы менен голограммаларды жазуунун термохимиялык тактоодо жаңы жолу сунушталды.

— сунушталган иште илимий жоболор, жыйынтыктар жана колдонмо сунуштар математикалык тактыкта негизделди жана алынган жыйынтыктардын эксперименталдык көргөзмөлүктүүлүк ыкмасы менен толукталды..

Колдонуу чөйрөсү: иштен алынган жыйынтыктар ФТП жана ФП алып жүрүүчүлөрдө голографиялык эске тутуу колдонулат алат. HRF-700-20 чөйрөсү жаны голографиялык маалыматтарды сактоодо жана кайра иштетүүдө колдонууга болот.

РЕЗЮМЕ

диссертации Шамшиева Тойчубека Сатыбаевича на тему: «Исследование и разработка режимов температурной обработки носителя в процессе регистрации голограмм» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05-оптика.

Ключевые слова: фотополимеризующаяся среда, термохимическая фиксация, теплофизические задачи, краевые задачи теплопроводности, инфракрасное излучение.

Объект исследования: исследование процесса нагрева ФТП и ФП – носителей тепловым и инфракрасным излучениями.

Цель работы: Исследование и разработка режимов температурной обработки носителя в процессе регистрации голограмм в фотополимеризующихся и фототермопластических носителях при нагреве тепловым и инфракрасным излучениями.

Методы исследования: теоретически экспериментальное исследование.

Полученные результаты и их новизна:

– исследованы процессы термохимической фиксации записанной голографической информации в совершенно новой фотополимеризующейся среде HRF-700-20 при нагреве тепловым излучением, получена зависимость дифракционной эффективности записанных голограмм от времени нагрева при различных плотностях мощности теплового излучения и установлены оптимальные параметры нагрева при термохимической фиксации.

– для локальной термохимической фиксации записанной голографической информацией в фотополимеризующейся среде HRF-700-20 предложен и всесторонне исследован метод термохимической фиксации инфракрасным лазерным излучением в диапазоне длин волн 1-10,6 мкм и лампой накаливания.

– теоретически исследованы процессы нагрева ФТП и ФП – носителей с учетом температурной зависимости термических коэффициентов и термические искажения, вызванные неравномерностью интенсивности светового пучка инфракрасного лазера предложен новый метод записи голограмм при совмещении процессов проявления и термохимической фиксации фотополимеризующейся среде HRF-700-20 при нагреве излучениями ИК- лампы и лампы накаливания.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, приведенных в данной работе, подтверждается корректным математическим обоснованием и наглядностью полученных результатов экспериментальным способом.

Область применения: Результаты могут найти целесообразное применение записи голограмм в ФТП и ФП – носителях с лазерным проявлением и фиксированием в голографических системах памяти. Фотополимеризующаяся среда HRF-700-20 может быть применена в качестве постоянного накопителя оптической информации в современных голографических системах хранения и обработки.

RESUME

of the thesis on the theme: "Research and development modes of heat treatment media in the process of hologram recording" for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Specialty: 01.04.05 - Optics.

Shamshiev Toichubek Satybaevich

Keywords: photo polymerising environment, thermochemical fixing, thermal problem, boundary value problems of heat conduction, infrared radiation.

The object of study: study the heating process of the photo thermoplastic (PTP) and photopolymer (PP) - carriers thermal and infrared radiation.

Objective: Research and development of modes of heat treatment medium during the recording of holograms in photo polymerizable and photo thermoplastic media when heated by thermal and infrared radiation.

Methods: theory, experimental research.

The results obtained and their novelty:

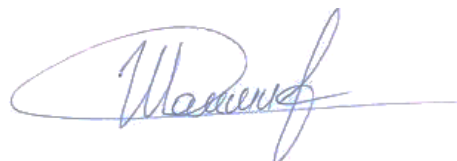
- The processes of thermochemical fixing the recorded holographic information in a completely new environment photopolymerising HRF-700-20 when heated by thermal radiation, the dependence of the diffraction efficiency of holograms recorded on the heating time at different power densities of thermal radiation and optimum parameters of heating during thermochemical fixing.

- For local thermo-chemical fixation of the recorded holographic information photopolymerizable medium HRF-700-20 proposed and investigated in comprehensive way thermochemical fixing infrared laser radiation in the wavelength range 1-10,6 mm and the bulb.

- Theoretically investigated the processes of heating, PTP and PP - carriers with the temperature dependence of the thermal coefficients and thermal distortion caused by uneven light intensity infrared laser propose a new method for recording holograms when combined processes of manifestation and thermochemical fixing photopolymerizable medium HRF-700-20 with radiation heating IR and incandescent lamps.

The reliability of scientific statements, conclusions and practical recommendations which given in this paper, it confirms that the mathematical justification and clarity of the results obtained experimental method.

Scope: The results can be the appropriate use of holograms in PTP and PP - media laser developing and fixing in holographic memory systems. New photopolymerizable medium HRF-700-20 can be used as a permanent storage of optical information systems of modern holographic data storage and processing.



Подписано в печать 21.06.17. Формат 60х84¹/₁₆
Офсетная печать. Объем 1,5 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ 314.

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, Бишкек, ул. Горького, 2