

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Институт Физики

на правах рукописи

Аттокуров Урмат Тологонович

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЗАПИСИ
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ В
ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ СРЕДАХ И АНАЛИЗ
ДИСКОВЫХ ГЗУ НА ЭТИХ СРЕДАХ**

Специальность: 01.04.05 - ОПТИКА

А в т о р е ф е р а т

**Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

БИШКЕК 1999

**Работа выполнена в Институте Физики Национальной Академии наук
Кыргызской Республики**

Научные руководители: доктор технических наук,
академик НАН Кыргызской Республики,
профессор К.М. Жумалиев;

кандидат технических наук
А.А. Сагымбаев.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
почетный академик НАН КР,
профессор С.Б. Гуревич;

доктор технических наук,
член-корреспондент НАН КР,
профессор У.Н. Бримкулов

Ведущая организация: Казахский государственный национальный
университет имени Аль - Фараби
Республики Казахстан

Защита состоится «_____» _____1999 г. в ____ часов на
заседании специализированного совета **Д.01.97.65.** в Институте Физики
Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу 720071,
г. Бишкек, проспект Чуй, 265 а.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Автореферат разослан «____» _____1999 г.

Ученый секретарь специализированного совета,
кандидат физико-математических наук _____ Л.К. Меренкова.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диссертационная работа посвящена исследованию физико-технических характеристик, способов и режимов записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующихся материалах (ФПМ) и анализу дисковых устройств записи голографической информации.

Способ хранения информации в виде голограмм является наиболее рациональным и выгодным, позволяет реализовать наивысшую плотность записи и, что самое важное, высокую надежность хранения информации. Голограмма почти не чувствительна к внешним помехам "импульсного характера" - пылинкам, царапинам и др.: элементы информации записываются на большой площади фоточувствительного слоя путем их мультиплексирования, а не локализуется в отдельных точках фотополимеризующего (ФП) слоя. Фоточувствительность в полимерах больше чувствительности, чем фоторезистов и фотохромных материалов. На них записываются фазовые голограммы, образуемые как модуляцией коэффициента преломления вещества слоя, так и модуляцией толщины слоя.

Фотополимеризующиеся среды в настоящее время рассматриваются как перспективные носители для голографии. Это новый класс регистрирующих сред для голографии и он довольно активно исследуется во всем мире. Каждый участок голограммы содержит информацию о всех элементах объекта и позволяет воссоздать полное его изображение. Очевидна и высокая надежность хранения информации, записанной таким способом.

Необходимость записывать и хранить большие объемы информации потребовала создания систем памяти, основанных на иных, отличных от магнитных или полупроводниковых, принципов записи и хранения информации. Перспективным вариантом решения такой задачи является создание голографических запоминающих устройств (ГЗУ), позволяющих записывать информацию с большой плотностью, информационные емкости и хранить ее длительный срок.

При создании ГЗУ с мультиплексированной записью одной из основных задач является разработка блока записи. Определяем две подзадачи. Это исследование физико-технических характеристик, способов и режимов записи голографической информации, а затем разработка оптических схем, осуществляющих мультиплексированную запись.

Исходя из сказанного, следует, что проведенные в настоящей работе анализ и исследования являются актуальными.

Указанная тема исследований выполнялась согласно координационного плана НИР НАН КР, Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН и лаборатории «Оптоэлектроники» института Физики НАН КР по проблеме «Оптическая голография» на 1995-99 гг.

Целью диссертационной работы является: исследование физико-технических характеристик, разработка способов и режимов записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующихся материалах (ФПМ), и на основе теоретических и экспериментальных исследований дать оценку возможности применения данного материала в качестве регистрирующей среды для решения задач мультиплексирования голограмм и анализ дисковых ГЗУ.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие основные задачи:

-анализ фоточувствительных материалов и сравнение особенностей регистрирующих сред для записи мультиплексированных голограмм;

-экспериментальное исследование и разработка режимов записи голографической информации с высокой дифракционной эффективностью, при возможно большей плотности;

-экспериментальное исследование физико-технических характеристик, способов и режимов записи мультиплексированных голограмм;

-теоретическое исследование термохимической фиксации и режимов проявления голограмм в фотополимеризующихся материалах при нагреве различными источниками излучения;

-анализ записи мультиплексированных голограмм в системах ГЗУ с целью определения оптимальных параметров, необходимых при разработке оптической схемы для записи в дисковый накопитель на ФПМ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

-разработаны способы и режимы оптимальной записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующихся материалах фирмы DU PONT изменением угла между опорным и предметным пучками, при конической развертке опорного пучка, а также поворотом регистрирующей среды вокруг точки записи;

-установлены оптимальные параметры дифракционной эффективности (ДЭ), при которых происходит фазовое голографическое самоусиление в фотополимеризующихся материалах. Максимально достигнутый коэффициент самоусиления $\xi_{yc} \approx 16,5$;

-исследованы зависимости ДЭ от угла восстановления, угла поворота, количества наложений и влияния сигнал/шум ФПМ при записи мультиплексированных голограмм.

-проведены теоретическое и экспериментальные исследования для повышения плотности записи мультиплексированных голограмм на ФПМ при проявлении различными источниками. При этом получены максимальные дифракционные эффективности (ДЭ) 7-8%;

-предложены оптические принципиальные схемы, для записи дискового голографического запоминающего устройства (ГЗУ), реализующие мультиплексированную запись на ФПМ.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, приведенных в данной работе, подтверждается корректным обоснованием принципов построения моделей, наглядностью технической интерпретации этих моделей, экспериментальными результатами.

Практическая ценность работы заключается в том, что фотополимеризующиеся материалы фирмы DU PONT пригодны для регистрации мультиплексированных голографических информационных систем памяти. Разработаны способы и режимы записи мультиплексированных голограмм на ФПМ, предложены оптические принципиальные схемы для записи мультиплексированных голограмм на ФП-диск для дискового накопителя информации. Предложены модельные представления о дополнительных голографических решетках, векторных диаграммах в случае когерентного СУ голограмм. Преимущество фотополимеризующихся материалов фирмы DU PONT перед другими фоточувствительными материалами для голографии состоит в возможности воспроизведения голограмм с высокой дифракционной эффективностью непосредственно при воздействии записывающего лазерного излучения, не требует «мокрой» обработки и устойчивых к таким внешним воздействиям как пыль, электромагнитные поля, а также обеспечивает долговечность хранения голографической информации. В начале, после экспонирования когерентным излучением, образуются центры полимеризации и происходит изменение оптической плотности материала и соответственно запись фазовых голограмм.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований и разработанные способы и режимы записи мультиплексированных голограмм на накопитель и методика записи мультиплексированных голограмм дают возможность создания устройств, которые, в свою очередь, позволяют повысить скорость записи и считывания голографической информации в ГЗУ.

Основные защищаемые положения:

1. Фотополимеризующиеся материалы фирмы Du Pont при записи голографической информации характеризуются наличием эффекта СУ, развитие которого после прекращения двухлучевой записи приводит к росту исходной дифракционной эффективности (ДЭ) до стационарного значения.

2. Дано теоретическое объяснение когерентного самоусиления (СУ) голограмм при восстановлении опорным пучком и экспериментально доказано сдвиг основной решетки на $\pi/2$. Предложены модельные представления о дополнительных голографических решетках, векторных диаграммах в случае когерентного СУ голограмм. Сдвиг максимума восстановленного сигнала в зависимости от условий записи связан с наклоном результирующей решетки, сформировавшейся при когерентном СУ.

3. Экспериментально получены зависимости ДЭ голографической решетки от угла восстановления, угла поворота и от количества мультиплексирования изменением угла между опорным и предметным пучками, а также путем конической развертки опорного пучка. С увеличением количества мультиплексирования уменьшается ДЭ и отношения сигнал/шум. При конической развертки опорного пучка возникает помеха в виде нежелательных положений векторов поляризации между опорным и предметным пучками. Для устранения данного недостатка необходимо применять пластинку с $1/4$ длины волны.

4. Предложенный способ записи мультиплексированных голограмм на дисковый накопитель, покрытый ФПМ, во время вращения диска обладает существенным преимуществом перед другими способами, в частности, при регистрации мультиплексированных голограмм во время поворота диска на угол около 9 градусов и вариации угла падения опорного пучка повышается увеличить быстродействие и обеспечить параллельности записи информации.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- международной конференции «Современные методы и средства информационных технологий» (г. Ош, 1995 г.);
- IV научной конференции «КРСУ» (г. Бишкек, 1997 г. 15-16 мая);
- международном семинаре «Голография и оптическая обработка информации» (г. Бишкек, 1997 г. 2-4 сентября);
- международной научно-теоретической конференции «Проблемы и перспективы интеграции образования» (КРСУ г. Бишкек, 1998 г. 17-19 сентября);
- на научных семинарах лаборатории «Оптоэлектроники» Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Основные результаты по теме диссертации: опубликовано 12 статей и 11 тезисов докладов, в республиканских и международных журналах, в том числе получено 1 положительное решение на изобретение.

Структура и объем работы.

Основное содержание диссертационной работы изложено на 175 страницах машинописного текста, иллюстрированного 37 рисунками, содержащего 3 таблицы.

Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список используемой литературы и приложение. Список литературы содержит 140 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель работы, представлены основные результаты, показана их новизна, научная и практическая ценность, кратко изложена структура диссертации и формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе сделаны обзор и анализ регистрирующих сред для голографии. Рассмотрены физические основы светочувствительных материалов и возможные области их применения. Подчеркнуто, что при известных успехах в создании высокочувствительных мелкозернистых фотографических эмульсий для голографии, немалый интерес представляют и фотополимеры, обладающие высокой чувствительностью, хотя она и меньше чувствительности галогенидосеребряных эмульсий. Значит, применение фотополимеризующихся материалов для голографии требует улучшения их параметров, прежде всего, увеличения светочувствительности и ее сохранения в процессе экспозиции.

По своим показателям фотополимеризующийся материал (ФПМ) пригоден для эффективного использования в голографических запоминающих устройствах (ГЗУ). В недалеком будущем этот вид регистрирующих сред будет одним из наиболее широко применяемых.

Фотополимеризующийся материал (ФПМ) является разновидностью органических светочувствительных сред. Под действием света в нем происходит полимеризация исходного мономера, которая приводит к увеличению показателя преломления материала. ФПМ просты в обращении, позволяют вести запись трехмерных фазовых голограмм в реальном масштабе времени с дифракционной эффективностью (ДЭ) до 100%, имеют разрешающую способность не менее 2000 лин/мм, не требуют дополнительных приспособлений для записи (как, например, фототермопластические носители), мокрых стадий обработки материала (в отличие от бихромированной желатины и фотоэмульсий).

Развитие режимов и методов записи мультиплексированных голограмм на ФПМ стимулирует к исследованиям эффективных светочувствительных сред, в частности фотополимерных материалов фирмы Du Pont.

Обосновывается актуальность проведения отмеченных исследований и формулируются задачи, решаемые в диссертационной работе.

Во второй главе исследуются процессы, протекающие в фотополимеризующихся материалах при записи мультиплексированных голограмм. Установлена динамика образования голограмм в процессе мультиплексирования плоских волн и Фурье-голограмм, и фазовое голографическое самоусиление (СУ) в однопучковом режиме считывания.

В фотополимерных материалах важно определить динамику и зависимость дифракционной эффективности мультиплексированных голограмм от угла между опорным и предметным пучками.

Приведены некоторые свойства фотополимеризующихся сред фирмы Du Pont, полученные экспериментальным путем при регистрации мультиплексированных голограмм.

Исследовались фотополимеризующие регистрирующие слои толщиной 15-25 мкм наносимые на лавсановые подложки и покрываемые тонкой защитной пленкой. Для придания жесткости и обеспечения герметичности образцов в процессе эксперимента их наклеивают на стеклянную пластинку, предварительно обезжиренную растворителем КРОТ-М и протертую метиловым или этиловым спиртом. Для этого защитную пленку отсоединяют от фотополимеризующегося слоя и липкой стороной наклеивают на стеклянную пластинку с помощью валика.

В качестве источников света использовалось Ag^+ - лазер ЛГН - 503 ($\lambda=488$ нм) с мощностью непрерывного излучения до 1 Вт и He-Ne - лазер ЛГН-215 ($\lambda=632,8$ нм) с

мощностью до 40 мВт. Применялись следующие схемы (рис. 1,2) записи считывания голограмм.

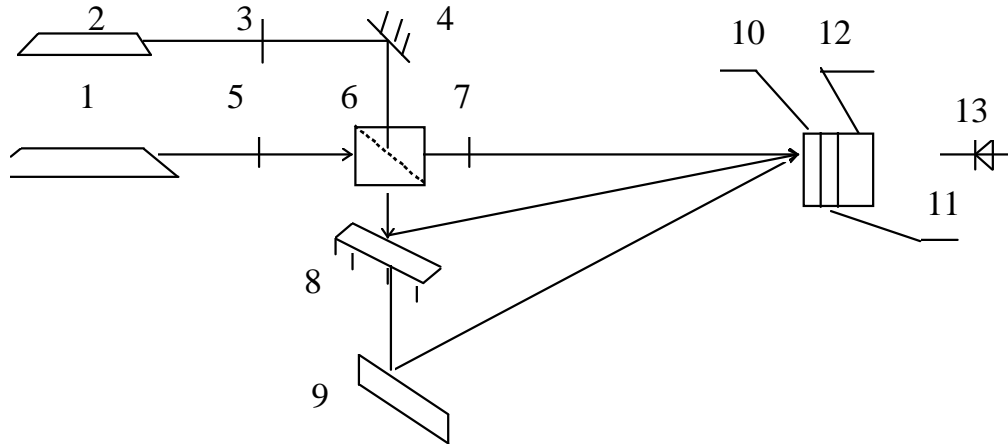


Рис.1. Схема исследования динамики записи фазовых плоских голограмм в фотополимеризующей среде фирмы Du Pont:

1 - аргонный лазер; 2 - He - Ne - лазер, 3,5,7 - прерыватели лазерного пучка; 6 - светоделительный кубик; 4 - зеркала; 8 - подвижное зеркало; 10 - лавсановая пленка; 11 - регистрирующая среда; 12 - стеклянная подложка; 13 - фотодиод.

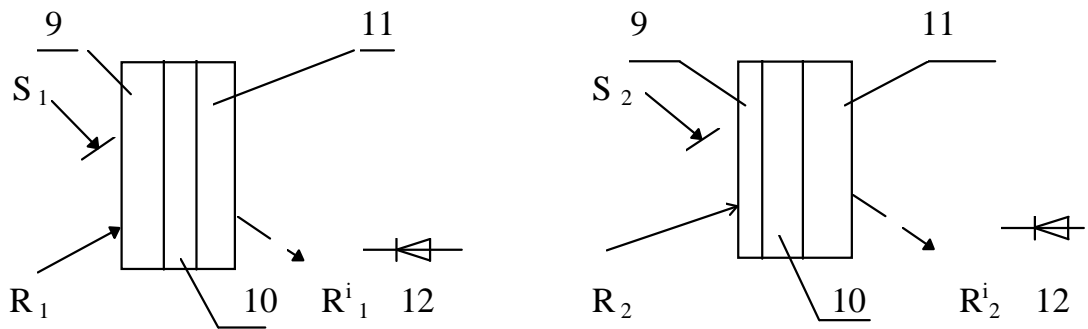


Рис.2. Схемы считывания голограмм.

Пучки R_1 и S_1 соответствуют падающему свету при записи и считывании; R_1^i - дифрагированному свету с длиной волны $\lambda=488$ нм, R_2 и R_2^i - считывающему и дифрагированному свету с длиной волны $\lambda=632,8$ нм.

Мультиплексирование голограмм с изменением угла между опорным и предметным пучками реализуется следующим образом: пучок возбуждающего света с $\lambda=488$ нм разделяется на два эквивалентных компонента - пучки R_1 и S_1 ($I_{R1} = I_{S1} \cong 15$ мВт/см²) - при падении по нормали к регистрирующей среде - R_1 и под углом ϖ_{S1} относительно нормали плоскости регистрирующей среды - S_1 . Мультиплексированные голограммы записывались с изменением угла ϖ_{S1} - пучка S_1 , т.е. при экспериментальном исследовании угловой чувствительности, угол ϖ_{S1} изменялся в диапазоне от 15 до 70°. Нижний предел обусловлен апертурой предметного пучка при записи Фурье-голограмм, верхний - значительными потерями света на отражение от поверхности регистрирующей среды при восстановлении. На рис.3 показано семейство кривых зависимости η/η_0 от угла восстановления ϖ_{S1} для фотополимеризующихся материалов.

Угловую чувствительность регистрирующей среды удобно характеризовать величиной $\xi = \Delta\varpi_{S1}/2$, которую назовем угловой селективностью, где $\Delta\varpi_{S1}$ - угол, на который опирается

кривая $\eta/\eta_0=f(\varpi_{sr1})$ при $\eta/\eta_0=M$. Выбор M обусловлен и зависит от целей использования голографической записи.

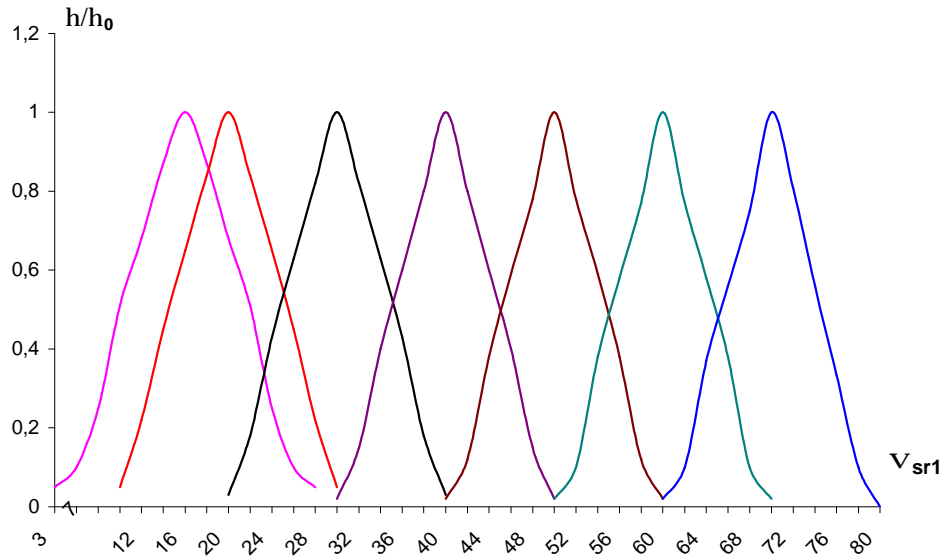


Рис.3. Зависимости относительной дифракционной эффективности голографической решетки от угла восстановления при различных периодах голографической решетки

На рис.4 приведена зависимость $\xi=f(\varpi_{sr1})$ при $M=0,5$. Анализируя эту зависимость, можно сделать вывод, что с увеличением угла записи ϖ угловая селективность фотополимеризующихся материалов фирмы DU PONT улучшается (значение ξ падает), однако начиная $\varpi_{sr1}=30^0$ она остается приблизительно постоянной и равной 9^0 . Следовательно, в диапазоне рабочих углов записи $\Delta\varpi_{S1}=\varpi_{S1k}-\varpi_{S1n}$, где ϖ_{S1k} и ϖ_{S1n} - крайние значения диапазона, на одном и том же участке среды можно записывать $N_{\varpi}=2h(\Delta\varpi_{S1}/\xi)+1$ независимых голограмм с максимальным уровнем перекрестных помех, равным M . Символ h означает целую часть дроби а число «2» показывает возможность записи мультиплексированных голограмм с двух сторон от сигнального пучка. Уровень перекрестных помех можно при необходимости уменьшить, но при этом число независимых голограмм также уменьшится.

При $15^0 < \varpi_{S1} < 70^0$ экспериментальные результаты (рис.4) хорошо согласуются с рассчитанными по теории Х. Когельника данными, что позволяет распространить эту теорию на исследование азимутальной чувствительности.

Теперь проанализируем особенности мультиплексирования голограмм в толстослойной регистрирующей среде, когда опорный пучок перемещается по образующей конуса относительно нормали к плоскости среды.

Мультиплексированные голограммы записываются с изменением угла φ , т.е. при экспериментальном исследовании азимутальной чувствительности, угол φ изменялся в диапазоне от 0 до 360^0 . В идеальном случае угол между направлением распространения восстанавливающего волнового фронта и плоскостью голографической решетки равен углу Брэгга θ_0 , что соответствует максимальному значению дифракционной эффективности голограммы. При конической развертке опорной волны, происходит изменение угла скольжения на величину $\delta=\theta_0-\theta$ и, следовательно, дифракционная эффективность η падает.

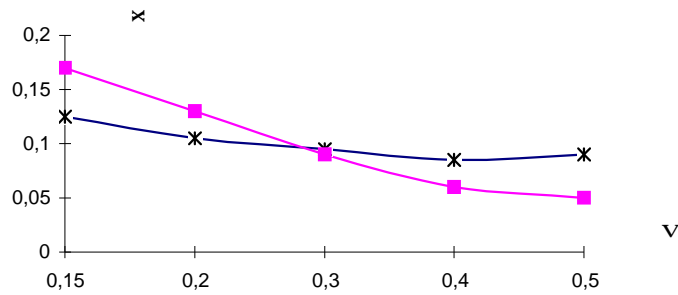


Рис.4. Зависимость угловой избирательности x от угла между сигнальным и предметным пучками

Теоретические зависимости относительной дифракционной эффективности решетки для фотополимеризующихся сред фирмы Du Pont представлены на рис.6, а также показаны аналогичные экспериментальные зависимости. Результаты измерений приведены для изменения φ в диапазоне от 0 до 180° , т.к. для значений φ от 180 до 360° кривые будут симметричны относительно оси ординат.

По аналогии с угловой чувствительностью введем понятие азимутальной чувствительности χ , численно равной углу φ_χ , при котором значение η/η_0 спадает до уровня K . Следует отметить, что в отличие от угловой селективности, для которой значение M определяет уровень перекрестных помех в восстановленном изображении, для азимутальной чувствительности значение K определяет долю потерь световой энергии на восстановление соседних изображений. Из анализа кривых следует, что с увеличением φ значение χ уменьшается, т.е. азимутальная селективность улучшается.

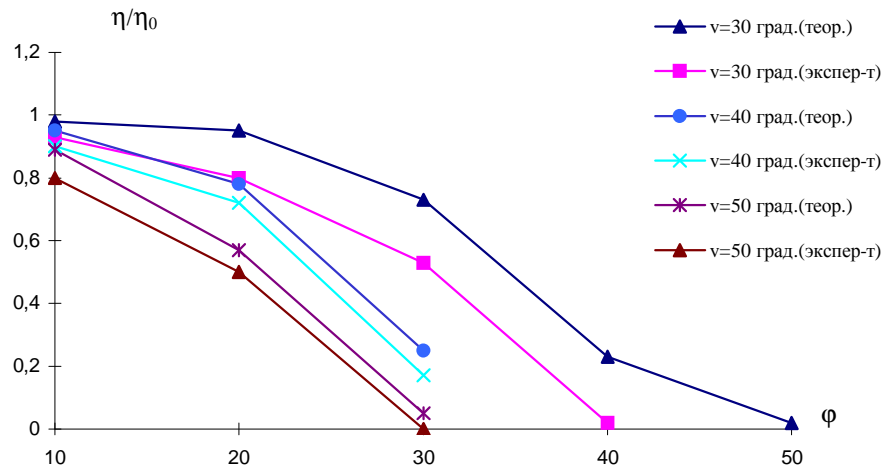


Рис.5. Зависимости относительной дифракционной эффективности голографической решетки η/η_0 от угла восстановления

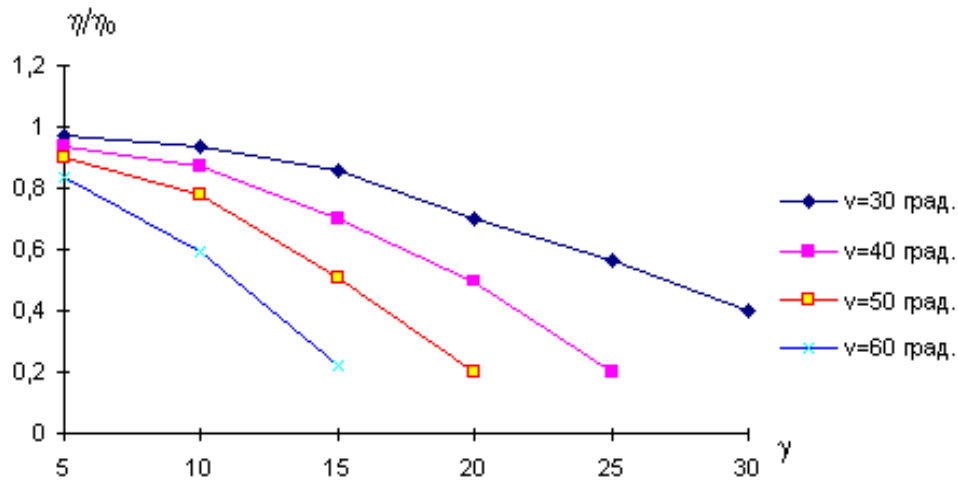


Рис.6. Зависимость относительной ДЭ голографической решетки η/η_0 от угла поворота регистрирующей среды.

В результате эксперимента установлена зависимость ДЭ и отношение сигнал/шум от количества мультиплексирования (рис.7 и рис.8). С увеличением количества мультиплексирования уменьшаются дифракционная эффективность и отношение сигнал/шум.

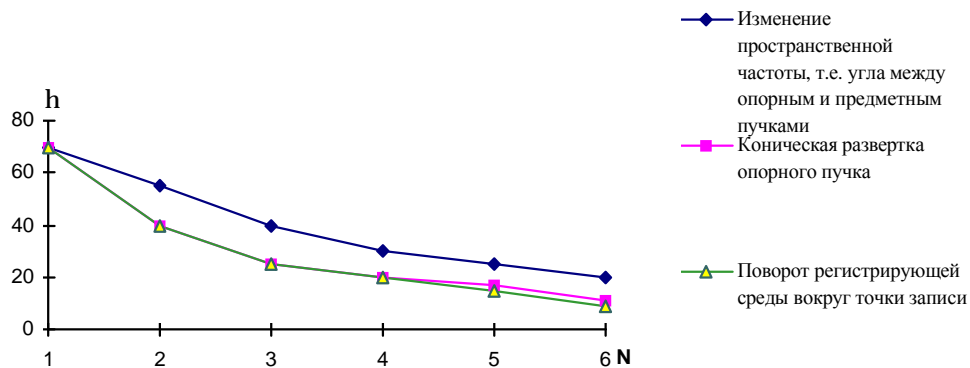


Рис.7. Зависимость дифракционной эффективности мультиплексированных голограмм плоских волн от количества наложений

Разработанные фирмой Du Pont ФПМ позволяет регистрировать мультиплексированные голограммы и многократное неразрушающее их считывание, т.е. является материалом класса WORM (Write Once Read Many). Представленная модификация фотополимеризующегося материала с торговой маркой HRF 700-20 апробирована в качестве объемной фазовой среды для записи мультиплексированных голограмм и интерференционного копирования Фурье-голограмм цифровых данных в голографической памяти, а также для изготовления голографических оптических элементов ввода/вывода излучения в устройствах оптических межсоединений.

Опыт работы с ФПМ показал также возможность эффективного и наглядного применения этих материалов в модельных экспериментах по голографической интерферометрии и оптической обработке информации.

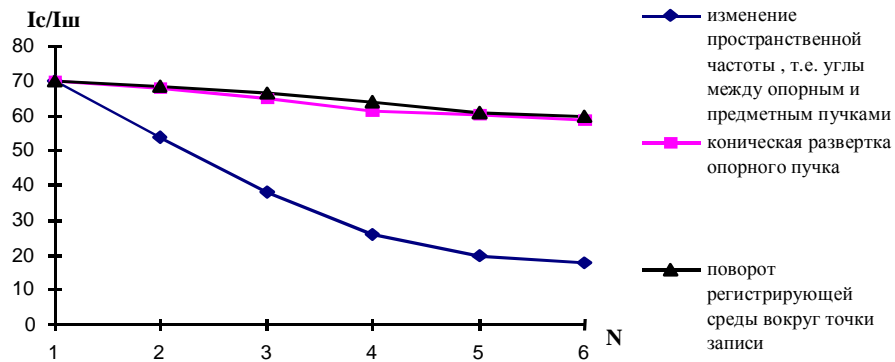


Рис.8. Зависимость отношения сигнал/шум мультимплексированных голограмм от количества наложений.

Во второй главе производится, исследование процессов регистрации голограмм аналоговых информации, установленных физико-техническими закономерностями записи голограмм, разработка методов записи мультимплексированных голограмм на фотополимеризующихся средах фирмы Du Pont.

Третья глава посвящена теоретическому исследованию, процессов термохимической фиксации и проявления записанных голограмм в ФПМ различными источниками излучения. А также проводилось теоретическое исследование процесса нагрева фотополимеризующейся среды фирмы DU PONT со стороны регистрирующего слоя и со стороны подложки с учетом тепловых источников.

Одним из основных этапов при обработке записанных голограмм в фотополимеризующихся материалах является термохимическая фиксация голограмм.

При термохимической фиксации мультимплексированных голограмм используется тепловое излучение, при этом экспонированная регистрирующая среда держится в печи с высокой температурой. Кроме тепловых излучений используется некогерентное оптическое излучение лампы накаливания и излучение инфракрасной зеркальной лампы. Все эти источники используются при различных термохимических фиксациях голограмм.

Определено, что при термохимической фиксации сфокусированное оптическое излучение лампы накаливания целесообразно использовать в тех задачах, в которых достаточно записывать голограммы диаметром от 0,8 мм до 20 мм, т.е. для записи голограмм Фурье и Френеля. При диаметре меньше 0,8 мм необходима специальная коллимирующая и фокусирующая оптика для фокусировки излучения источника света на поверхность фотополимеризующейся среды. Для записи голограмм диаметром больше 20 мм необходимо использовать лампы накаливания с большой мощностью.

Требованиям, предъявляемым к способам нагрева ФПМ для систем памяти с высокой плотностью записи информации, наиболее полно отвечает нагрев инфракрасным излучением.

С увеличением плотности, мощности излучения характер изменения дифракционной эффективности остается тем же, но смещается в сторону уменьшения координаты по времени. С увеличением плотности, мощности излучения уменьшается время термохимической фиксации, при этом энергия термохимической фиксации остается такой же, составляя ~ 14 Вт/см². При этом получена максимальная дифракционная эффективность $\sim 7-8$ %.

Перспективным надо признать пока непроведенное исследование, отражающее разницу закономерностей развития температурных полей при нагреве регистрирующей среды инфракрасным излучением непосредственно (рис.9) со стороны регистрирующего слоя и со стороны подложки.

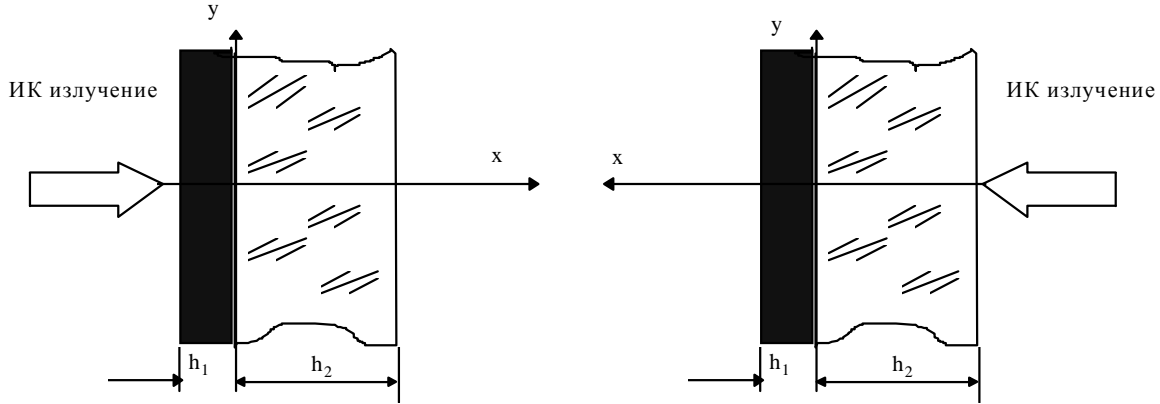


Рис.9. Модели структуры подложка - регистрирующая среда при различных условиях нагрева ИК излучением:

а - нагрев со стороны регистрирующего слоя; б - нагрев со стороны подложки.

С целью упрощения задачи рассмотрена краевая задача теплопроводности в одномерном приближении при следующих допущениях:

- теплофизические и оптические параметры системы не зависят от температуры и интенсивности облучения;

- излучение в поперечном сечении равномерно.

Считается, что тепло выделяется равномерно по толщине регистрирующего слоя, тогда система дифференциальных уравнений теплопроводности с начальными и граничными условиями будет иметь вид:

$$\frac{dT_1(x,t)}{dt} - a_1 \frac{d^2T_1(x,t)}{dx^2} = \frac{I_0 A_1}{h_1 r_1 c_1} H(t-t), \quad T_1(x,0) = T_2(x,0) = T_0$$

$$\frac{dT_1(0,t)}{dx} = 0, \quad \frac{dT_2(h,t)}{dx} = 0,$$

$$T_1(h_1,t) = T_2(h_1,t), \quad k_1 \frac{dT_1(h_1,t)}{dx} = k_2 \frac{dT_2(h_1,t)}{dx}$$

(1)

где T - температура; I_0 - интенсивность излучения; t - время; \underline{t} - время нагрева; A_1 - поглощающая способность регистрирующего слоя; $H(z)$ - функция Хевисайда; a - температуропроводность; k - теплопроводность; ρ - плотность; c - удельная теплоемкость; h_1, h_2 - толщины регистрирующего слоя и подложки; $h = h_1 + h_2$ - суммарная толщина.

Процесс передачи тепла к нагреваемому телу в печах с высокой температурой в основном передается излучением. Тепловой поток, получаемый поверхностью тела от нагретых стен и свода печи, прямо пропорционален разности четвертых степеней абсолютных температур поверхностей, участвующих в теплообмене:

$$q_c = \sigma c (\bar{T}_u^4 - \bar{T}_n^4) \quad (2)$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; c - постоянный коэффициент, зависящий от способности и поверхности тела поглощать лучистую энергию и от взаимного расположения облучаемого и излучающего тел. Индекс «n» - обозначает, что данная величина соответствует поверхности тела, а индекс «e» - поверхности излучения.

В ходе эксперимента установлена зависимость дифракционной эффективности от времени термохимической фиксации при различных плотностях теплового излучения и определены оптимальные параметры термохимической фиксации при каждом источнике

тепла для фотополимеризующейся среды HRF 700-20. Максимальная дифракционная эффективность при нагреве сфокусированного накаливания составлял 6-7%.

Экспериментально исследованы процессы термохимической фиксации при нагреве тепловым, некогерентным оптическим и инфракрасным излучениями и построены графики зависимости дифракционной эффективности голограмм от времени нагрева при различных плотностях мощности излучений в ФПМ. По полученным характеристикам определены оптимальные параметры термохимических фиксаций.

Четвертая глава посвящена анализу устройств записи голографической информации для различных типов ГЗУ. Предлагаются методы записи мультиплексированных голограмм и оптические схемы записи на дисковом запоминающем устройстве.

В голографической дисковой памяти должны быть использованы новые элементы и методы, отличающиеся от тех, которые используются в неподвижной памяти. В частности в них запись мультиплексированных голограмм целесообразно осуществлять использованием в качестве светоделителя движущегося носителя. Кроме того, должна быть реализована оптическая схема регистрации голограмм, позволяющая автоматически согласовать скорости движения носителя и регистрирующей среды и обеспечивать синхронизацию записи.

Голографические дисковые накопители информации среди других обладают рядом преимуществ, первые заключаются в снижении требований к точности позиционирования в сравнении с другими оптическими дисками.

Разработаны оптические принципиальные схемы для записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующихся средах. Предлагается оптическая схема и способ записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующий материал, когда опорный пучок перемещается по образующей конуса относительно нормали к плоскости среды. При конической развертке, когда опорная волна падает по нормали к регистрирующей среде, мультиплексированные голограммы записываются с изменением угла φ т.е. в диапазоне от $0-360^0$. В идеальном случае угол между направлением распространения восстанавливающего волнового фронта и плоскостью голографической решетки равен углу Брегга θ_0 в диапазоне от $0-180^0$, так как для значения φ от $180-360^0$ кривые будут симметричны относительно оси ординат.

Однако существует геометрический предел числа мультиплексированных записей в выбранном объеме регистрирующей среды за счет азимутальной чувствительности голограммы. Он определяется минимальным изменением азимутального угла $\Delta\varphi_{\min}$ от записи к записи, при котором каждая из восстановленной голограммы не набегают на соседние. Для коллимированного предметного пучка и транспаранта, расположенного перед Фурье-объективом, $\Delta\varphi_{\min}$ определяется из выражения:

$$\Delta\varphi_{\min} = 2\arcsin [D / 2f \sin \varphi_v], \quad (3)$$

где D- диагональ транспаранта; f - фокусное расстояние Фурье-объектива; φ_v - угол восстановления, при отсутствии усадки регистрирующей среды.

Если число мультиплексированных голограмм при азимутальной развертке опорного пучка определяется $N_\varphi = (2\pi - \varphi_\chi) / \varphi_\chi$, то общее число мультиплексированных голограмм в данном объеме регистрирующей среды для исследуемой схемы с нормальным предметным пучком определится выражением:

$$N = (2h(\Delta\varpi_{s1}/\xi) + 1)(2\pi - \varphi_\chi) / \varphi_\chi. \quad (4)$$

Оптическая схема для записи мультиплексированных голограмм с конической разверткой работает следующим образом. Луч лазера 1 отражаясь от зеркала 2 светоделителем 3, закрепленных в центре голографического дискового расщепителя 5, делится на предметный и опорный пучки. Опорный пучок, расщепляясь светоделителем 4 закрепленных на краю голографического дискового расщепителя, направляется на фотополимеризующийся материал. Голографический дисковый расщепитель жестко закреплен на ось, в котором предметный пучок проходит через трубкой беспрепятственно, и

радиально вращается с шаговым приводом 6. Опорный пучок минимальным изменением азимутально поворачивается угол $\Delta\varphi_{\min}$ от записи к записи, при котором каждая из восстановленной голограммы не набегают на соседние. Предметный пучок после разделения попадает на микролинзу 7. Расщепленный пучок коллимируется линзой 8 и проходит через управляющий транспарант 9, далее свет несущий информацию транспаранта, фокусируется объективом 10 на ФПМ 11. Проецируя опорные и предметные пучки на фотополимеризующем материале получим мультиплексированную голограмму. С обратной стороны каждый момент мультиплексирования (записанная голограмма) устройство управления 14 фиксирует через фотодиоды 12,13 для считывания.

Следующая оптическая схема для записи и считывания мультиплексированных голограмм на дисковый накопитель, покрытый фотополимеризующейся средой, при котором запись мультиплексированных голограмм ведут на одном и том же участке данной среды, во время поворота диска радиально вращающаяся на определенный угол γ , около 9 градусов.

Для обеспечения селективности восстанавливаемых сигналов и запись следующей голограммы производится с помощью акустооптического модулятора. Таким образом, можно произвести запись мультиплексированных голограмм в одной точке N раз.

Мультиплексирование голограмм путем вращения регистрирующей среды реализуется следующим образом: регистрирующая среда радиально поворачивается на угол равный углу селективности регистрирующей среды относительно нормали точки записи в пределах от $0-360^{\circ}$ и в каждый момент мультиплексирования поворачивается на угол $\Delta\gamma_{\min}$. В процессе восстановления голографической решетки, записанной при 0 градусе, на нее будет накладываться мнимое изображение голографической решетки, записанной после поворота регистрирующей среды на 180 градусов. Это соответственно уменьшает отношение сигнал/шум и увеличивает вероятность ошибки в процессе считывания сигналов «1» или «0». Поэтому количество записей мультиплексированных голограмм, для этого случая определяется с помощью следующего выражения:

$$N_{\gamma} = (180^{\circ} - \Delta\gamma_{\min}) / \Delta\gamma_{\min}, \quad (5)$$

где N-количество мультиплексированных голограмм; $\Delta\gamma_{\min}$ -угол селективности регистрирующей среды, при котором восстановленные голографические решетки не накладываются друг на друга.

Тогда общее число мультиплексированных голограмм в данном объеме регистрирующей среды для исследуемой схемы, когда записывающие пучки падают симметрично относительно нормали, определится выражением:

$$N = (2h(\Delta\omega_{S1}/\xi) + 1) [(180^{\circ} - \Delta\gamma_{\min}) / \Delta\gamma_{\min}] \quad (6)$$

Оптическая схема работает следующим образом. Для сохранения быстродействия записи и считывания потребуется заметное увеличение мощности лазера. Луч лазера 1 светоделителем 2 делится опорный и предметный пучки. Опорный пучок с помощью жестко закрепленного зеркала 6 направляется на ФП носитель. Предметный пучок после голографического расщепителя 3 попадает на линзу 4. Расщепленный пучок коллимируется линзой и подвергается акустооптическому взаимодействию созданным Брэгговским акустооптическим модулятором 7. Акустооптические волны возбуждаются с помощью электродов, в виде встречно-штыревого преобразователя и соответствующим кодом сигнальные пучки кодируется. Акустооптический модулятор составлял угол Брегга θ_b с направлением распространения оптического пучка, тогда отраженный сигнал изменит свое направление на угол величиной $2\theta_b$, чтобы этот отраженный сигнал не создавал далее таких помех. Проецируя опорные и предметные пучки через телескопическую систему 5 на оптический диск 9, получим на фотополимеризующем материале мультиплексированную голограмму (рис. 11). Записанную голограмму устройство управления 14 фиксирует через фотодиоды 10,11 и сумматор 13 для считывания.

Ввод и вывод излучения в акустооптический модулятор требуют применения коллимирующих и фокусирующих систем (рис.12). Акустооптический модулятор кодирует луч лазера через генератор N частот. Каждому коду соответствует свой частотный октав и соответствующая побитовая запись голограмм.

Считывание записанной голограммы производится с помощью фотодиоды 10,11 через устройство управления 14. При считывании записанная голограмма восстанавливается проецируемым опорным пучком и соответствующим кодовым состоянием восстанавливающего пучка, который контролируется устройством управления.

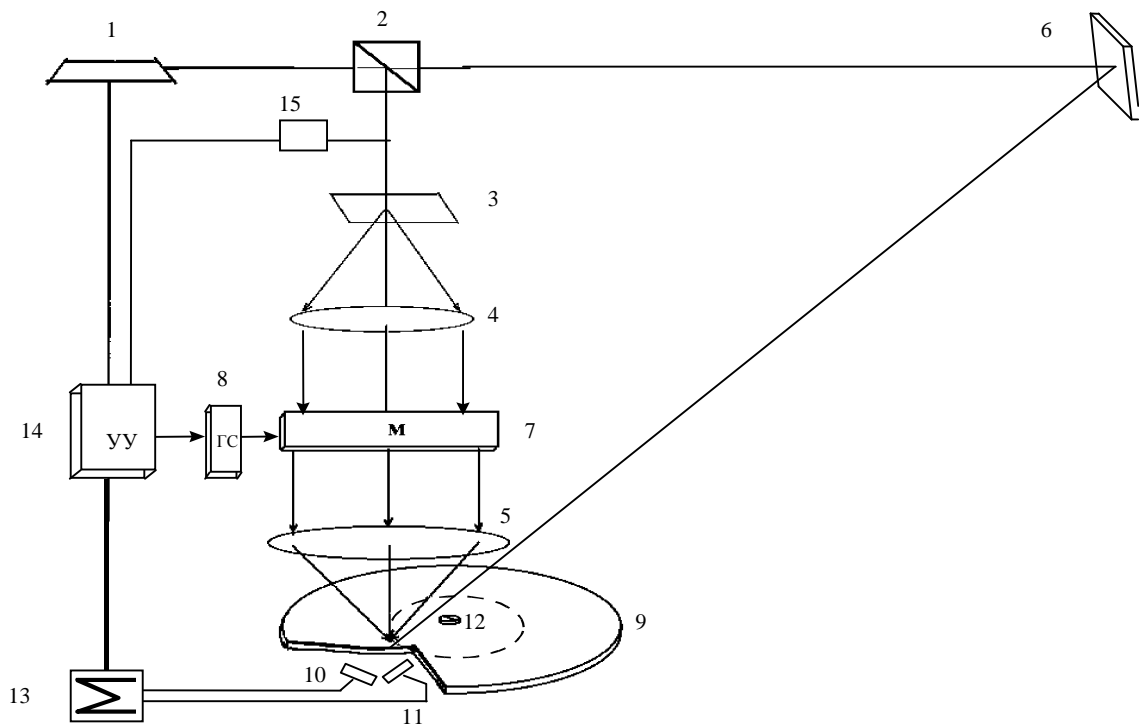


Рис.11 Оптическая принципиальная схема голографического дискового накопителя для записи мультиплексированных голограмм в ФПМ.

1 - перестраиваемый Ag^+ - лазер, 2 - светоделитель, 3 - голографический расщепитель, 4,5 - линзы (коллимирующих и фокусирующих), 6 - зеркало, 7 - акустооптический модулятор, 8 - генератор сигнала, 9 - регистрирующая среда на оптическом диске, 10,11 - фотодиоды, 12 - привод дискового носителя, 13 - сумматор, 14 - устройство управление, 15 - затвор.

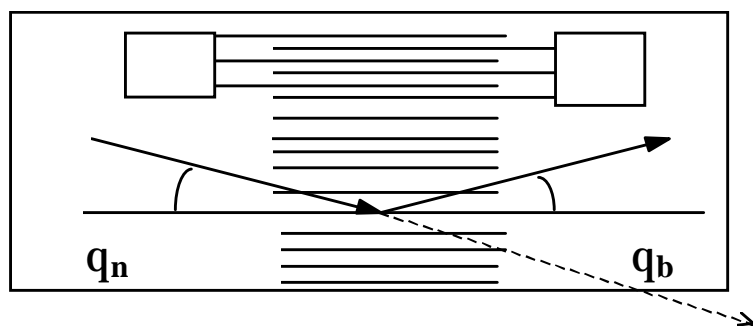


Рис. 12 Принцип акустооптического модулирования оптического сигнала

На основе предложенной оптической схемы с применением акустооптического модулятора можно записать голограммы с N частотным мультиплексированием. Данная оптическая - принципиальная схема голографического дискового накопителя, основанная на записи голограмм в фотополимеризующихся средах, компактна и проста в использовании для записи мультиплексированных голограмм и позволяющая повысить быстродействие записи и считывания информации.

В заключении приводятся общие выводы по содержанию диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны новые способы и режимы записи мультиплексированных голограмм с изменением пространственной частоты, т.е. угла между опорным и предметным пучками, при конической развертке и поворотом регистрирующей среды вокруг точки записи в фотополимеризующихся материалах фирмы DU PONT.

2. Установлены оптимальные режимы самоусиления: коэффициент СУ увеличивается с уменьшением периода голографической решетки.

3. Исследованы фотополимеризующиеся материалы фирмы Du Pont для записи голографической информации, которые характеризуются наличием эффекта СУ, развитие которого после прекращения двухлучевой записи приводит к росту исходной ДЭ до стационарного значения. При начальной дифракционной эффективности $\eta_0=2.5\%$ значение коэффициента самоусиления $\xi_{yc}\approx 16.5$, при этом максимальная стационарная скорректированная дифракционная эффективность достигала около $\eta_{ст}=41\%$.

4. Получена максимальная чувствительность $t=30$ сек. обеспечивающая достижения максимального значения ДЭ голограмм при темновом СУ от времени некогерентным световым излучением (УФ- лампа с мощности 70 Вт) в фотополимеризующихся материалах.

5. Получены данные, что с увеличением мощности излучения уменьшается время термохимической фиксации, при этом энергия термохимической фиксации остается такой же, составляя ~ 14 Вт/см². При этом получена максимальная дифракционная эффективность $\sim 7-8\%$. Получены приближенные аналитические решения для температуры регистрирующей среды. По полученным характеристикам определены оптимальные параметры термохимической фиксации.

6. Разработаны оптические - принципиальные схемы голографического дискового накопителя, основанные на записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующихся материалах, при конической развертке и поворотом регистрирующей среды вокруг точки записи на дисковый накопитель.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Акаев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сайдамаев Ш.М., Аттокуров У.Т., Сагынбаев Д.А. Особенности образования голограмм в фотополимеризующейся среде. //Сборник научных трудов Ош ТУ, Ош, 1997. стр. 90.

2. Жумалиев К.М., Сайдамаев Ш.М., Аттокуров У.Т. Ассоциативный метод восстановления лазерного излучения. //Сборник научных трудов Ош ТУ, Ош, 1997, стр.118.

3. Аттокуров У.Т. Исследование фотооптических свойства светочувствительного материала HRF 700-20. //Сборник научных трудов Ош ТУ, Ош, 1997, стр. 121.

4. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т. Особенности регистрации наложенных голограмм в фотополимеризующейся среде OMNI DEX^R 352. //Наука и новые технологии, Бишкек, 1997, № 3, стр. 5.
5. Акаев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сагынбаева К.А. Особенности образования голограмм в фотополимеризующейся среде. //Голография и оптическая обработка информации: труды международного семинара. Бишкек, 1997, стр. 13-21.
6. Джаманкызов Н.К., Сагынбаев Д.А., Сагымбаев А.А., Аттокуров У.Т., Темирова Т. Теоретический анализ термохимических искажений голограмм при нагрева регистрирующей среды излучением лазера через подложки. //Голография и оптические обработка информации: труды международного семинара; Бишкек, 1997, стр. 94.
7. Акаев А.А., Jumaliev K.M., Sagymbaev A.A., Jamankyzov N.K., Sagymbaev D.A., Attokurov U.T. Rekordiny Holograms in photopolymerezind medium Omni DEX^R 352. Bishkek, 1997, p. 29.
8. Жумалиев К.М., Аттокуров У.Т., Сагынбаев Д.А., Сагымбаев А.А., Сайдаматыв Ш.М. Термохимическая фиксация голограмм в фотополимеризующихся материалах при нагреве тепловым излучением. //Сборник трудов международной конференции КТУ. Часть II. Бишкек, 1998, стр. 151-154.
9. Акаев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Сайдаматыв Ш.М., Аттокуров У.Т. Динамика образования голограмм в фотополимеризующейся среде. //Оптический журнал. Санкт - Петербург, 1998, том 65, № 4, стр. 37.
10. Жумалиев К.М., Сагынбаев Д.А., Сагымбаева К.А., Аттокуров У.Т. Исследование температурных полей фотополимеров при термохимической фиксации голограмм тепловым излучением. // Сборник научных трудов Ош ГУ. Вып. II, 1999, стр. 150-154.
11. Жумалиев К.М., Сагынбаев А.Д., Сагымбаев А.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М., Кимсанов А.А. Информационно - голографические характеристики в фотополимеризующихся носителях. // Сборник научных трудов Ош ТУ, 1999., стр. 27-33.
12. Жумалиев К.М., Сагынбаев Д.А., Кимсанов А.А., Сагымбаев А.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Особенности записи голограмм в фотополимеризующихся материалах при тепловым излучением. // Сборник научных трудов Ош ТУ, 1999., стр. 33-40.
13. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аккозиев И.А., Аттокуров У.Т. //Способ записи наложенных поляризованных голограмм на дисковый накопитель и голографический дисковый накопитель информации. (19) KG (11) 134 (13) C1; (51) 6 GO2 B 5/30; G 11 13/04. Бишкек, Положительное решение от. 28.06. 1996 г. по № 950274.1.
14. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Экспериментальное исследование материала OMNI DEX^R 352 фирмы DU PONT для записи наложенных голограмм. //Современные методы и средства информационных технологий: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Ош, 1995. с. 57.
15. Жумалиев К. М., Сагымбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Экспериментальное исследование фотооптических свойств материала OMNI DEX^R 352 фирмы DU PONT. //Современные методы и средства информационных технологий: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Ош, 1995. с. 58.
16. Жумалиев К.М., Сагымбаев Д.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Экспериментальное исследование материала HRF-700-20 фирмы DU PONT для наложенных голограмм. //Современные методы и средства информационных технологий: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Ош, 1995, с. 59-60.
17. Джаманкызов Н.К., Сагынбаев Д.А., Сагымбаев А.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Теоретическое исследование записи на ФПМ при лазерном нагреве с учетом температурной зависимости термических коэффициентов. //Современные методы и средства информационных технологий: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Ош, 1995, с. 61-62.

18. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Фотооптические свойства светочувствительного материала. HRF 700-20. Тезисы докладов IV международной научно-практической конференции (КРСУ). Бишкек, 1997, стр. 55.
19. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Устройства записи для компактных голографических устройств памяти. Тезисы докладов IV международной научно-практической конференции (КРСУ). Бишкек, 1997, стр. 56.
20. Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Сайдаматыв Ш.М., Аттокуров У.Т., Эсенбаева Д.К. Многократная запись голограмм в фотополимеризующейся среде OMNI DEX^R 352. Тезисы докладов IV международной научно-практической конференции (КРСУ). Бишкек, 1997, стр. 63.
21. Акаев А.А., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. // Многократная запись объемных голограмм в среде OMNIDEX^R 352. Сборник материалов международной научно-теоретической конференции «Ошский оазис на стыке континентов и цивилизации». Ош, 1997, 27-29 май, стр. 60.
22. Акаев А.А., Сайдаматыв Ш.М., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т. // Компактные голографические устройства памяти ЭВМ и их запись. Сборник материалов международной научно-теоретической конференции «Ошский оазис на стыке континентов и цивилизации», Ош, 1997 г. 27-29 май, стр. 61.
23. Акаев А.А., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Сайдаматыв Ш.М., Аттокуров У.Т. // Динамики голограмм в фотополимеризующейся среде OMNI DEX^R 352 фирмы DU PONT. Международного семинара «Голография и оптическая обработка информации». Бишкек - Чолпон - Ата, 1997, 2-4 сентябрь.
24. Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагынбаев Д.А., Аттокуров У.Т., Сайдаматыв Ш.М. Способ записи мультиплексированных голограмм на дисковый носитель. // Проблемы и перспективы интеграции образования; Международная научно-теоретическая конференция (КРСУ). Бишкек, 1998.

Ōī ōī ī ī èèì áðëáí ²²÷² ì àðáðè-àëääðäà ì óëüðèì
 éáëñðèé (éààððàéääí) āī ēī āðàì ì à æàçóóí óí
 ðāæèì äáðèí èçèëä°° æàí à óøéé ýëá
 ì àðáðè-àëääð ²²÷²í äèñëàëüé āī ēī āðàòè
 ýëüé ýñëá òóòóó÷ó ò²ç²è²øò° ð²í (ĀÇÓ) àí à
 èèçä°°

ÐĀÇŦĬ Ā (Ō1 . Ō4. Ō5- Ĭ Ĭ ÒÈĒÀ)

Àèññáððàòèýëüé æóì óøðà ōī ōī ī ī èèì áðèç àò
 èýëáí óó÷ó ì àðáðè-àëääðäüí òèçèéà- ðáðí èéàè
 üé ì²í° çä° ìñ² æàí à áóé ì àðáðè-àëääðäà ì óëü
 ðèì éáëñðèé (éààððàéääí) āī ēī - āðàì ì àèàðäü
 æàçóó úēì àèàðü æàí à ðāæèì äáðèí èçèëä°° éàð
 àëääí .

Ōáí ðèýëüé æàí à òàæðüéáàëüé èçèëä°° è° ðä²í í
 äáèçèí äá áóé ì àðáðè-àëääðäü ðāãèñ- ððàòèýëüé
 ì àðáðè-àè éàðàðüí äà ēī éäí í óó æàí à Ĭ Ĭ òèéàëüé
 ýñëá ñàèòí Ĭ ñèñòáì àèàðüí àí àèèçä°° ì áí áí àè

ñèàëùê ãî ëî ãðàòèýèùê ýñèá ñàèòîî ÷ó ò²ç²ë²øò° ð
 ä² æàçäüðóó.

Ôî òî î î èèì áðèçàòèýèàí óó÷ó ì àòáðèèäèäðäð ð
 àçóóíóí îî òèì àèäùè ì àðàì àððèáðèí àí úèòîî ì àí
 áí ãî ëî ãðàìì à æàçóóäà òàçàèùè ãî ëî ãðàòèýèùè
 ° ç²í - ° ç² ê²÷° ò²²ñ² ì àéäà áí ëî ò. Íøííãí é ýèá
 æüèóóèóè æàí à èí óðà- èúçúè í óðäááí óóíóí òàñè
 ðèí äá òî òî î î èèì á- ðèçàòèýèàí äáí ì àòáðèèäèäðäð
 àðäð æàçóó ðáæèì äáðè æàí à òáðîì òèì èýèùè
 òèèñàòèýñú èçèèäááí äáí.

Èààòòàèäáí (ì óèùòèì èáèñòèè) ãî ëî ãðàòèýèùè
 ì ààèùì àòòú æàçäüðóóäà àèñèàèùè ãî ëî ãðàòèýèùè
 ýñèá ñàèòîî ò²ç²ë²øò° ð²í²í îî òèèàèùè ñðáí
 àñú ò²ç²èã° í.

**Исследование режимов записи мультиплексированных голограмм в
 фотополимеризующихся средах и анализ дисковых ГЗУ на этих средах**

Р Е З Ю М Е (01.04.05- ОПТИКА)

Диссертационная работа посвящена исследованию физико-технических характеристик, способов и режимов записи мультиплексированных голограмм в фотополимеризующихся материалах. На основе теоретических и экспериментальных исследований дана оценка возможности применения данного материала в качестве регистрирующей среды, а также для анализа оптических систем памяти.

Установлены оптимальные параметры записи, при которых происходит фазовое голографическое самоусиление записи фотополимеризующейся среды, а также исследована термохимическая фиксация и проявление режимов в фотополимеризующихся носителях при нагреве тепловым и инфракрасным излучениями.

Разработаны оптические схемы голографического запоминающего устройства, реализующие мультиплексированную запись на голографическом дисковом носителе.

Regime investigation of recording multiplexible holograms in photo polymerized mediums and disk analysis of holographic memory devices (HMD) in these mediums

ABSTRAKT (01.04.05- OPTICAL)

The research work is dedicated to investigation of physics-technical characteristics, methods and regimes of recording multiplexible holograms in photo polymerized mediums. On the basis of theoretical and experimental investigation as register medium for the tasks decision of picture processing in real time and optical system analysis of memory for the duality HMD.

The optimum parameters of recording are established, according which the phase hologram self-intensification of recording photo polymerized medium occurs, also thermochemical reaction and development of photopolymerized medium during thermal and infra -red rays heating are researched.

Optic scheme of holographic memory device that realizes multiplexible recording of holographic disk is worked out.