

2008-24  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

Межведомственный диссертационный совет Д 01.07.342

На правах рукописи  
УДК 681.327.68:778.38

Акимжанова Чынара Сагынычбековна

МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАПИСИ  
ГОЛОГРАММ В РЕГИСТРИРУЮЩИЕ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Специальность: 01.04.05 - ОПТИКА

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек 2008

Работа выполнена в лаборатории «Оптоэлектроника» Института физики  
Национальной академии наук Кыргызской Республики

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**А.А.Сагымбаев**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор  
**З.Т.Азаматов**, г. Ташкент, Узбекистан

член-корреспондент НАН КР, доктор технических наук, профессор **У.Н.Бримкулов**  
(КНУ им. Ж.Баласагына), г. Бишкек, Кыргызстан

Ведущая организация: **Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Ельцина**

Защита состоится «11» апреля 2008 г. в 15<sup>30</sup> часов на заседании Межведомственного диссертационного Совета Д 01.07.342 при Институте физики Национальной академии наук Кыргызской Республики, Иссыккульском государственном университете им. К.Тыныстанова и Ошском государственном университете, по адресу: 720071, г.Бишкек, проспект Чуй, 265а.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке НАН КР.

Автореферат разослан «4» марта 2008 г.

Ученый секретарь межведомственного диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук *Меренкова* **А.К.Меренкова**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одной из важнейших проблем, решаемых в информационной оптике, является проблема хранения больших массивов информации, с тем, чтобы необходимой ее частью, в нужный момент, можно было воспользоваться. Среди задач, которые стоят перед устройствами хранения, важной является задача повышения плотности хранимой информации, чтобы размеры устройств были достаточно малыми, поскольку приходится пользоваться большим количеством таких устройств. Другая задача, которая должна быть решена, заключается в том, что доступ к необходимой информации был удобным и быстрым. И здесь среди различных устройств хранения и выборки информации, стала рассматриваться голографическая память, имеющая свои особенности, достоинства и недостатки.

Наряду с уплотненным хранением информации и быстрым поиском и выборкой необходимой ее части, важную роль в устройствах хранения играет ввод информации в память. От техники ввода информации в значительной степени зависит и возможности достижения высокой плотности хранения и скорости и объема выбираемой информации. Это в полной мере относится и к голографическим средствам хранения информации. Актуальность диссертации заключается в том, что она посвящена механизму и методам ввода информации в голографической форме, позволяющим наиболее эффективно ее уплотнять.

**Цель диссертационной работы** – определить возможности уплотнения информации за счет более оптимального введения голограмм в записывающие среды и более рационального использования акустооптических устройств.

**Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:**

- выявить факторы, ограничивающие плотность информации при записи голограмм и определить возможности устранения или компенсации ограничивающих факторов;
- определить возможности увеличения плотности информации при записи наложенных голограмм в плоских и объемных средах;
- провести теоретический и экспериментальный анализ полупроводниковых реверсивных сред для записи голограмм, с тем, чтобы достигнуть максимального уплотнения хранимой и используемой информации, введенной в голографическую среду;
- определить возможности уплотнения информации при использовании акустооптических устройств, как в голографических системах, так и в системах не использующих голографическую запись.

**Методы исследований.** Результаты, изложенные в диссертации, получены путем теоретического анализа, разработки методик и экспериментальных исследований с использованием средств когерентной оптики, голографии, Фурье-оптики, акустооптики и теории информации.

**Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что впервые:**

Определены взаимозависимость факторов, ограничивающих плотность записываемой информации и пути ослабления их действия, в результате чего появилась возможность записывать информацию в более уплотненном виде;

Установлена приоритетность и последовательность эффективного использования методов мультиплексирования голограмм в различных носителях;

Исследованы особенности записи голограмм в халькогенидных стеклообразных полупроводниках, позволяющие повысить плотность записи при сохранении возможности наблюдать за кинетикой процесса записи;

Определены, новые возможности увеличения плотности записи информации с использованием акустооптических устройств.

#### На защиту выносятся следующие положения:

1. Факторы, ограничивающие плотности записи голографической информации и режимы регистрации голограмм, оптимально компенсирующие действия этих факторов.
2. Предложенная приоритетность и последовательность эффективного использования методов мультиплексирования голограмм в различных носителях.
3. Теоретические и экспериментальные результаты регистрации голограмм в реверсивных высокоразрешающих средах - халькогенидных стеклообразных полупроводниках (ХСП).
4. Результаты экспериментальных исследований распределения информационной емкости вдоль апертуры акустооптических устройств.

#### Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. В результате определения факторов, ограничивающих плотность голографической записи информации и установления связи между ними, могут быть подобраны оптимальные комбинации режимов, использованы возможности ослабления действия ограничивающих факторов, в результате чего плотность записанной голографической информации сможет превысить существующие достижения и пределы, установленные Ван Хирденом для объемных голограмм.
2. Проведенный анализ реверсивных записывающих сред позволяет при создании голографических устройств подбирать для записи голограмм такие среды, которые дают наибольшую плотность информации, необходимой для решения поставленной задачи.
3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования выявили достоинства использования полупроводниковых сред записи голограмм, заключающиеся прежде всего в значительном повышении плотности записи и возможности наблюдать процесс записи и в регулировании его результате этого.
4. В результате проведенных исследований акустооптических устройств достигается оптимизация распределения информационной емкости вдоль апертуры, что позволяет улучшить рабочие параметры акустооптических устройств и соответственно увеличить плотность информации, хранимой в записанных голограммах. Получен эффективный способ проекции цветных

изображений путем использования акустооптических перестраиваемых фильтров.

**Апробация работы.** Результаты работы представлялись на международных семинарах и конференциях: Международная конференция «Advances in holography» (2000, Киев, Украина), Международный семинар «Голография и оптическая обработка информации» (2001, Бишкек, Кыргызстан), Международная конференция «Телекоммуникационные и вычислительные системы: состояние и перспективы развития» (2002, Бишкек, Кыргызстан), Международная конференция АОМД-4 (2004, Тарту, Эстония), 6-я Международная конференция «Прикладная оптика» (2004, Санкт-Петербург, Россия).

**Личный вклад автора.** Основные научные результаты диссертационной работы получены автором лично. В работах научному руководителю д.т.н., профессору Сагымбаеву А.А. принадлежит постановка задачи, обсуждение результатов и участие в экспериментах. В диссертацию включены отдельные результаты, полученные в связи с выполнением НИР совместно с Хэ Чен Юу и Нуркамиловым А.Н. и др. в соавторстве с которыми сделаны совместные публикации. В совместных работах автору принадлежит подготовка экспериментальной установки, разработка методики и экспериментальное исследование.

**Публикации.** По теме диссертации автором опубликованы 9 работ, из них 2 за рубежом и 1 без соавторов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы 133 наименований, приложения изложенных на 155 страницах, включая 34 рисунка и 1 таблицу.

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность обсуждаемых в работе проблем, определена цель работы, изложены научная новизна, научная и практическая значимость работы, отмечены защищаемые положения и основные результаты, выносимые на защиту.

**В главе 1** рассматриваются факторы, которые приводят к ограничению информационной емкости голографической записи на регистрирующей среде. Перед этим в п.1.1 рассматриваются емкостные возможности голографической записи.

Голографическая запись дает возможность параллельно записывать и восстанавливать большие массивы данных, плоские и объемные изображения. В п.1.2 оценивается количество информации, хранимое в голографической среде. Звено хранения представляет собой сложную систему (ее возможный вариант представлен на рис.1), включающую набор голограмм  $N_H = N_s N_m$  распределенных по  $N_s$  участкам поверхности и наложенных друг на друга ( $N_m$ ). Так как при этом каждая голограмма хранит в себе в виде интерферограмм, набор бинарных пикселов  $N_p$ , либо изображение, содержащее набор полутоновых пикселов с информационной емкостью  $I_{im} = N_p \log_2(m+1)$ , то

полная информационная емкость звена хранения может быть представлена как произведение:  $I = N_s N_m N_p \log_2(m+1)$ . В бинарном варианте  $m=1$  и  $\log_2(m+1)=1$ .

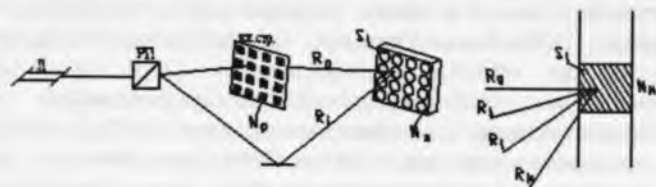


Рис. 1. Распределение информации в узле хранения данных голографического запоминающего устройства

Информационная емкость также может быть представлена, как произведение поверхностной плотности информации  $p_s$  на размер участка среды  $S$ , хранящей информацию:  $I = p_s S$ . Обычно и при объемной записи голограмм и хранении их в трех измерениях пользуются понятием поверхностной плотности  $p_s$ , т.к. размер поверхности играет большую роль в создании ограниченных по размеру устройств, чем толщина среды. Вместе с тем, поверхностная плотность при хранении объемных голограмм, как правило, растет с увеличением толщины. В п.1.3 дается перечень факторов, ограничивающих информационную емкость объемной голографической памяти. П. 1.4 посвящен ограничениям, связанным с дифракционным пределом при вводе и выводе голографической информации. В нем показывается, что в целом для матрицы голограмм, дифракционный предел, установленный Ван Хирденом для информационной емкости набора объемных голограмм может быть превзойден, однако для отдельных голограмм эти ограничения полностью сохраняются. П.1.5. рассматривает ограничения, вызванные уменьшением дифракционной эффективности при увеличении объема хранимой информации. К ограничениям информационной емкости, связанным с особенностями объемной голографической записи, относится рассмотренное в п.1.6 ограничение числа мультиплексированных голограмм, вызванные размером зоны селективности, и числа возможных пространственных выделений нескольких голограмм одним опорным пучком, зависящим от величины произведения пространство-полоса частот (ППЧ). Зона селективности определяется степенью изменения восстанавливающего пучка относительно использованного при записи опорного (изменения по углу падения, по длине волны, по распределению фаз), при котором дифракционная эффективность изменяется от максимальной до пренебрежимо малой.

В главе 2 рассматриваются методы уплотнения информации при записи голограмм. В п.2.1 отмечаются возможности компенсации действия факторов, ограничивающих плотность вводимой голографической информации. Влияние этих факторов может быть уменьшено не только за счет приближения характеристик отдельных компонентов голографической системы к их физическому пределу, но и за счет перераспределения характеристик в пользу

усиления более информативных из них, ослабляя при этом менее информативные. Дифракционные ограничения, сами по себе не могут быть уменьшены, однако параллелизм ввода голографической информации позволяет за счет увеличения времени ввода вписывать в записывающую среду большее количество информации в пределах плотности, допускаемой записывающей средой. Недостаточная пространственная плотность информации на выходе голографической системы может быть компенсирована применением компонент с лучшей разрешающей способностью и лучшим согласованием этого показателя в различных компонентах. Ограниченный динамический диапазон может быть увеличен путем замены отдельных компонентов устройства на другие, с лучшим динамическим диапазоном, а также увеличения отношения сигнал/шум во всей системе. Ограничение плотности, вносимое размерами и качеством оптических элементов, геометрией системы, а также неравномерность распределения информации по поверхности записывающей среды могут быть частично устранены более совершенной и качественной конструкцией голографической системы. К увеличению плотности информации может привести более высокая точность направления восстанавливающего опорного пучка и уменьшение затраты времени на адресацию. Необходимо также позаботиться об уменьшении перекрестных искажений (особенно значительных при объемном хранении), вызываемых рядом причин, в том числе недостаточным качеством акустооптических дефлекторов. Ограничения, связанные с недостаточной величиной затрачиваемой энергии при выборке и низкой чувствительностью фотоприемников могут быть устранены выбором более качественных фотоприемников. В п.2.2 рассматривается оптимизация соотношений между числом пикселей в голограмме, числом участков, на которых записываются голограммы и числом мультиплексных голограмм. Общее число пикселей определяется соотношением  $N = N_p N_s N_m$ . Произведение  $N_p N_m$  составляет число страниц или изображений, вводимых в устройство хранения информации, и так как набор из  $N_s N_m$  голограмм записывается и восстанавливается последовательно, то этот множитель  $N_H = N_s N_m$  может охарактеризован как фактор последовательности. Появление более высоких требований по емкости может привести к необходимости улучшения используемых пространственных модуляторов света и фотодетекторных матриц, как правило, с более замедленным действием. Таким образом, можно отметить, что увеличение емкости страниц при сохранении общей информационной емкости ГЗУ приводит к существенному перераспределению характеристик и возможностей устройства во многом в сторону ограничения их. Однако необходимость иметь при решении ряда задач более содержательные страницы, заставляет принимать и те ограничения, за счет которых достигается большая информационная емкость. В варианте существенного увеличения числа субголограмм и соответственно числа адресов одновременно уменьшается емкость каждой субголограммы. В этом случае степень параллельности низка и система приближается по своим характеристикам к системе, в которой ввод и вывод информации производится

целиком последовательно. Увеличение числа субголограмм не только приводит к увеличению времени, затрачиваемого на адресацию, но и начиная с некоторого числа их, практически трудно реализуемо при неподвижном носителе вследствие ограничений, присущих акустооптическим дефлекторам.

Действительно, такое число положений субголограмм с координатами  $x$ ,  $y$  ограничено максимальным углом отклонения дефлектора  $\theta$  и расхождением лазерного пучка  $\Delta\theta$ . Полное число субголограмм в одном измерении  $M_x = \theta / \Delta\theta$ . Максимальные углы отклонения у существующих быстрых дефлекторов невелики (меньше градуса). Если, однако, обеспечить малое расхождение пучка, близкое к предельному, то и при малом  $\theta$  число разрешимых отклонений может быть достаточно велико, хотя и ограничено. Предельно малая расхожимость может быть определена исходя из апертуры дефлектора

$$\Delta\theta = 4\lambda / \pi D. \quad (7)$$

Полный угол для акустооптического дефлектора определяется формулой

$$\theta = \lambda \Delta f_a / v_a \quad (8),$$

где  $\Delta f_a$  - максимально возможное изменение частоты акустической волны,  $v_a$  - скорость ее распространения в используемом акустооптическом материале.

Общее число разрешимых субголограмм с используемыми дефлекторами

$$N_s = M_x M_y - M_x^2 = (\Delta f_a)^2 \pi^2 D^2 / 16 v_a^2 \quad (9).$$

Для молибдата свинца  $v_a = 3,75 \cdot 10^3$  м/сек и при диапазоне частот 50-150 МГц, апертура дефлектора 10 мм общее число  $N_s \approx 200 \times 200 = 4 \cdot 10^4$ . Приведенные выше рассуждения относились к плоским голограммам, когда  $N_M = 1$ . При использовании мультиплексных голограмм в объемной среде общая информационная емкость существенно вырастет, но на величину меньшую, чем число мультиплексированных голограмм  $N_M$ , так как из-за увеличения площади под мультиплексированными голограммами уменьшается число  $N_s$ . В п.2.3 рассматривается процесс мультиплексирования голограмм. Известно, что дифракция в 2-хмерных и 3-хмерных средах носит разный характер, и дифракция на плоских решетках накладывает менее жесткие условия на наблюдение максимумов дифракции, чем это имеет место в объемных решетках. Тем не менее, и в записи двухмерных голограмм имеет место определенная селективность. Как известно, в этом случае, при падении восстанавливающего пучка в одной плоскости с записывающими опорным и объектным пучками, но под другим углом, чем записывающий, опорный пучок, изображение или набор данных восстанавливаются, хотя и в смещенном направлении. Этого восстановления не происходит, если угол восстанавливающего пучка отклонится от угла опорного пучка с переходом в другую плоскость (естественно, при достаточном отклонении). Поэтому, поворачивая записывающий опорный пучок вокруг оси, образованной падающим объектным пучком, можно записать несколько плоских голограмм, в которых волновой фронт может быть восстановлен без перекрытия. Эта селективность связана с неполным заполнением информацией пространства в тангенциальном направлении относительно плоскости, в которой были

расположены объектный и опорный записывающие пучки. Значительно большая селективность имеет место в случае объемной записи голограмм. В объемных решетках максимум дифракции возникает, когда углы, образованные падающим и дифрагированным пучком с плоскостью решетки равны, причем этот угол  $\theta$ , удовлетворяет условию Брэгга

$$2 d \sin \theta = \lambda. \quad (10)$$

При некотором отклонении  $\theta$  или  $\lambda$  при заданном  $d$  от условия Брэгга для максимумов интенсивность дифрагированного света, а, следовательно, и дифракционная эффективность уменьшается, доходя практически до нуля. Такое или несколько меньшее отклонение и будет определять селективность по углу или по длине волны.

Идеальной была бы объемная решетка, если бы отклонение показателя преломления резко менялось бы в некоторых плоскостях, оставаясь в остальной части пространства неизменной. Такая объемная решетка была бы подобна штриховой плоской решетке. В действительности распределение изменений показателя преломления имеет при пересечении в объеме двух плоских волн синусоидальный характер, как это показано на рис.2. Расчеты изменения дифракционной интенсивности с изменением параметров решетки и падающего света проведены Когельником на основе теории связанных волн. Рассмотрим некоторые результаты этих расчетов, в основном применительно к фазовым пропускающим объемным голограммам.

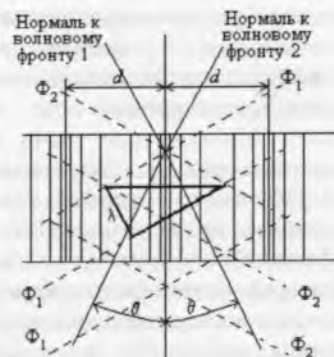


Рис.2. Распределение показателей преломления при пересечении двух плоских фронтов волн.

В п.2.4 рассматривается расширение использованного пространства путем создания фрактальных и перистрофических наложенных голограмм.

Мультиплексированные голограммы накладываются на каждом участке записывающей среды с помощью различных методов. В одном из вариантов восстанавливающий пучок воспроизводит либо несколько изображений, одно из которых соответствует необходимому объекту. В другом - воссоздается только одно изображение, тогда как другие рассеиваются. В первом случае

мультиплексирование может производиться как на тонких слоях, так и на слоях с объемной записью голограмм. Во втором случае могут быть использованы только слои с объемной записью голограмм. В первом случае могут быть использовано фрактальное и перистрофическое мультиплексирование, более полно использующие пространство в области восстановления изображения. Хотя каждый опорный пучок восстановит все наложенные голограммы, нежелательные или дополнительные реконструкции не направляются вдоль оси на которой стоит матрица фотоприемников. Соответственно, требуемое изображение однозначно обнаруживается матрицей. Название «фрактальное мультиплексирование» возникло из масштабной инвариантности, в которой эти картины разделяются на доли. Перистрофическое мультиплексирование является вариантом фрактального мультиплексирования, который особенно удобен для хранения голограмм в тонких средах. Как и в случае фрактального мультиплексирования в этом случае нужным опорным пучком восстанавливаются несколько голограмм, но только одна, нужная, попадает на матрицу фотоприемников. Однако в отличие от фрактального, смещение в перистрофическом мультиплексировании образуется в результате вращения среды хранения. Волновые фронты от не выбираемых голограмм блокируются диафрагмой. **П. 2.5** посвящен увеличению плотности записи информации с использованием Брегговской селективности для увеличения числа мультиплексных голограмм. Существуют несколько видов Брегговского мультиплексирования. К ним относятся: угловое мультиплексирование, мультиплексирование по длине волны, фазово-кодированное, мультиплексирование с малым сдвигом сферической опорной волны, спекл-сдвиговое мультиплексирование мультиплексирование по изменению приложенного электрического поля.

**Глава 3** посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию реверсивных голографических сред повышенной информационной плотности и оптимизация их использования. В **п. 3.1** рассматривается распределение голографической информации в записывающих средах. Информация, записываемая в голографической регистрирующей среде, может быть распределена в ней достаточно сложным образом, например, так, как показано на рис. 1, на котором был представлен набор голограмм  $N_H = N_s N_M$  распределенных по поверхности среды ( $N_s$ ) и наложенных друг на друга ( $N_M$ ). В **п. 3.2** дается мотивация выбора голографических регистрирующих сред. При решении определенных задач необходимо наряду с максимальной плотностью учитывать и другие параметры сред. Последние могут быть разделены по: 1. физическому составу; 2. светочувствительным процессам проходящим в них; 3. обратимости или необратимости изменений, происходящих в них под действием света; 4. По необходимости или отсутствию необходимости специального процесса - процесса проявления, после которого можно начинать считывание. В первом случае считывание происходит только после полной записи, во втором случае считывание может происходить и во время экспонирования. 5. По толщине и размерам. По толщине среды делятся на: тонкие, для записи плоских голограмм; толстые, для записи брегговских,

объемных голограмм. 6. По длительности хранения данных: В **п. 3.3** даются характеристики голографических сред. Соответствие этих сред выставленным требованиям могут быть определены по характеристическим кривым, пространственным и временным модуляционным характеристикам, отношению сигнал/шум, чувствительности, дифракционной эффективности и другим характеристикам. Среди них только дифракционная эффективность специфична для голографии, тогда как другие характеристики в равной степени относятся и к записывающим средам для обычной записи. Вместе с тем, соответствие той или иной характеристики требованиям в случае голографической или обычной записи могут быть различны, а возможность фазовой записи и мультиплексирования дает существенные преимущества голографическим средам. При этом выбирая среды для записи по наибольшей плотности хранимой информации, приходится учитывать и другие характеристики, что существенно ограничивает выбор. В **п. 3.4** в качестве подходящей среды рассматриваются возможности плотной записи в полупроводниковых средах типа ХСП (халькогенидных стеклообразных полупроводников), которые обладают и другими положительными свойствами. Под действием света в пленках ХСП происходят локальные физико-химические изменения, которые в свою очередь приводят к изменению оптических свойств освещенного участка пленки, и, соответственно, к оптической записи. При повышении температуры сверх некоторого значения  $T_c$  пленка размягчается, что существенно влияет на происходящие в ХСП процессы. Они и при достаточно низких температурах имеют обратимый характер, в результате чего, запись может осуществляться с разной скоростью. Существует оптимальная температура, при которой дифракционная эффективность записанной голограммы имеет максимальное значение. При нагревании до высокой температуры с последующим охлаждением происходит восстановление исходных состояний макромолекул ХСП, в результате чего, происходит полное стирание всего того, что было ранее записано. Это свойство ХСП делает его реверсивным. Вместе с тем на ХСП может быть осуществлена фототермическая запись. Фототермическая запись осуществляется путем изменения оптических показателей среды модулированными тепловыми полями, сформированными пространственно и во времени модулированными световыми полями. Практическое применение такого вида записи связано с нахождением среды, имеющей достаточно высокий коэффициент расширения и с возможностью использования записи за тот достаточно короткий промежуток времени, за который эта запись не успеет стереться. Температурный коэффициент расширения оказался достаточно высоким у ряда халькогенидных стеклообразных полупроводников и в частности у селенида мышьяка  $As_2Se_3$ . Соответственно большим оказалось изменение показателя преломления с изменением температуры. Экспериментальные результаты исследования записи голограмм в бинарных и многокомпонентных ХСП даны в **п. 3.4**. Экспериментальное изучение голографических сред на основе ХСП включало выполнение следующих работ: 1) опробование широкого класса ХСП с целью выявления материалов, обладающих достаточной фоточувствительностью; 2)

исследование свойств, характеристик и параметров наиболее перспективных ХСП; 3) исследование влияния химического состава, методов технологии и других факторов на изменение свойств и параметров ХСП. В ходе проведенных работ был исследован весьма обширный класс бинарных и многокомпонентных ХСП, таких как материалы  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$ ,  $Ge_2S_3$ ,  $Ge_2Se_3$ , системы  $As-S-Se$ ,  $As-Se-Te$ ,  $As-S-I$ ,  $Ge^A-S-Se$ ,  $As-Se-I$ ,  $As-Sb-Se$  и др. При этом выяснилось, что почти все материалы в той или иной степени обладают светочувствительностью к лазерному излучению соответствующей длины волны. Экспериментальные образцы в виде пленок толщиной  $0.5+10.0$  мкм получались термическим, ударным или электроннолучевым испарением в вакууме ( $p < 2 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст.) на подложки из оксидного стекла или слюды.

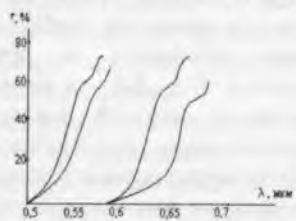


Рис.3 Сдвиг края полосы пропускания в пленках ХСП.

В работе использовались гелий-неоновые лазеры ( $\lambda=0.6328$  мкм), а также аргоновый лазер ( $\lambda=0.4880$  или  $\lambda=0.5145$  мкм). Наиболее чувствительными, помимо пленок  $As_2S_3$  и  $As_2Se_3$ , оказались пленки  $As_2Se_{3.5}$ ,  $As-S-I$  и  $As-Se-I$ . Было обнаружено, что если в большинстве пленок под действием луча лазера пропускание уменьшалось, то в пленках  $Ge_2S_3$ ,  $Ge_2Se_3$ ,  $Ge-S-Se$  и некоторых других оно, наоборот, увеличивалось. Рис. 3 иллюстрирует сдвиг края полосы пропускания в сторону больших длин волн у  $As-S-Se-I$  (а) и в сторону меньших длин волн у  $Ge_2S_3-Ge_2Se_3$  (б) при облучении гелий-неоновым лазером.

Сохраняемость чувствительности проверялась на пленках  $As_2Se_3$  и  $As-S-Se-I$ , хранящихся в темноте при комнатной температуре. При этом в течение 4000 час. не было замечено никаких сколько-нибудь значительных изменений чувствительности.

Во всех исследованных материалах обнаружилась сильная зависимость фоточувствительности образцов от их толщины. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведены кривые зависимости относительного пропускания  $\tau/\tau_0$  пленок  $As_2Se_3$  с разным временем экспонирования  $t$  пучком гелий-неонового лазера от толщины. Критерием толщины служили значения  $lg l/\tau_0$  где  $\tau_0$  — начальное пропускание пленки. Из рисунка видно, что чувствительность образцов вначале возрастает, проходит через максимум (при толщине около 4 мкм) и затем снова уменьшается. При воздействии лазерного излучения материалы могут отличаться не только по чувствительности, но и по достигнутому контрасту. В

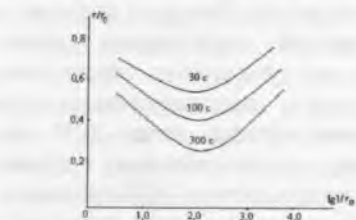


Рис.4 Зависимость относительного пропускания пленок  $As_2Se_3$  от толщины при разных значениях времени облучения  $t$ .

качестве примера на рис. 5 показаны типовые кривые изменения относительного пропускания  $\tau/\tau_0$  во времени для пленок двух составов:  $As_2Se_3$  и  $As-S-Se-I$ , из которых видно, что пленки  $As_2Se_3$  имеют большую чувствительность, в то время как пленки  $As-S-Se-I$  — наибольший достижимый контраст за время  $t=10$  мин.

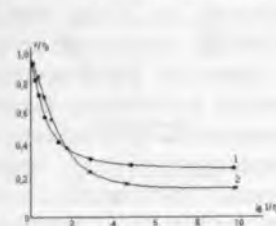


Рис.5 Кривые зависимости относительного пропускания  $\tau/\tau_0$  от времени облучения  $t$  для пленок  $As_2Se_3$  (1) и  $As-S-Se-I$  (2).

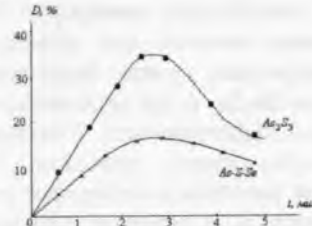


Рис.6. Зависимость дифракционной эффективности от времени записи для пленок  $As-S-Se$ ,  $As_2S_3$ .

Для производства экспрессной оценки материалов с записью по интенсивности мерой чувствительности можно считать количество энергии, необходимое для изменения относительного пропускания на 0.1 (т. е. на 10%). Зная интенсивность падающего потока, из этих же кривых можно рассчитать необходимую для записи энергию  $G=P\Delta t$ . Здесь  $P=P_0/S$  — удельная мощность падающего потока;  $P_0$  — мощность излучения лазера;  $S$  — площадь облучаемой зоны;  $\Delta t$  — время, необходимое для изменения относительного пропускания на 0,1. В данном случае удельная мощность падающего потока  $P$  составляла  $200$  мвт/см<sup>2</sup>, следовательно, для  $As_2Se_3$   $G = 1$  дж/см<sup>2</sup>, для  $As-S-Se-I$   $G \cong 2-3$  дж/см<sup>2</sup>. Для  $As_2S_3$  (при облучении Ar-лазером) чувствительность в несколько раз хуже, чем для  $As_2Se_3$  и  $As-S-Se-I$ , и величина требуемой энергии составляет около  $6-8$  дж/см<sup>3</sup>. В случае значительных изменений показателя преломления, что имеет место в пленках ХСП, это изменение приводит к возрастанию дифракционной эффективности голограмм. Для материалов, на которых запись происходит на длине волны аргонового лазера, а считывание — на длине волны гелий-неонового лазера, таких как  $As_2S_3$ ,  $As-S-I$  и др., дифракционная эффективность достигает 70-80%. В качестве примера на рис.4 представлена зависимость дифракционной эффективности  $D$  простейшей голограммы — двухлучевой дифракционной решетки, записанной и восстановленной на пленке системы  $As-S-Se$  гелий-неоновым лазером, от времени записи  $t$ , а также аналогичная зависимость для голограммы, записанной на пленке  $As_2S_3$  арговым лазером и восстановленной гелий-неоновым лазером. Максимальное значение дифракционной эффективности ( $\approx 80\%$ ) достигается при соответствии угла падения восстанавливающего луча углу Брегга. Столь высокие значения дифракционной эффективности говорят о том, что в исследованных пленках имеет место формирование фазовых голограмм. Разрешающая способность

пленок проверялась на материале состава As—Se—I. Резольвометрическая установка, имеющая источником излучения гелий-неоновый лазер, позволяла получать дифракционные решетки с пространственной частотой до 2800 лин/мм. При восстановлении волнового фронта не было отмечено никакого заметного ухудшения дифракционной эффективности по сравнению с решетками, имеющими более низкие пространственные частоты. Разрешающая способность материала была проверена на более высоких пространственных частотах при использовании метода встречных пучков. Решетка на встречных пучках была записана с помощью гелий-неонового лазера на пленке  $As_2Se_3$  и при восстановлении показала достаточно высокую дифракционную эффективность. Учитывая, что показатель преломления для материала  $As_2Se_3$  имеет значения 2.8-2.9, пространственная частота дифракционной решетки в материале составит около 9000 лин/мм, можно считать, что предельная разрешающая способность пленок ХСП превышает эту величину. Изучение закона взаимозаместимости, производимое на пленках состава  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$  и As—Se—I, показало, что он выполняется как в линейной, так и в нелинейной частях характеристик при весьма значительных изменениях плотности мощности падающего излучения (на 4 порядка).

Глава 4 посвящена проблемам применения акустооптических устройств, для увеличения плотности вводимой и передаваемой информации. В п. 4.1 рассматриваются общие соображения, связанные с применением акустооптических устройств в ГЗУ. В разделе 4.2 предложен и детально рассмотрен принцип оценки разрешающей способности дефлекторов, предназначенных для адресации данных в устройствах голографической памяти, исходящий из следующего критерия. Элемент адресуемой матрицы считается адресованным, если интенсивность света, падающего на данный элемент, больше некоторого порогового значения на величину  $Q$ , а интенсивность света, падающего на соседний элемент – меньше пороговой на ту же величину. При этом  $Q$  определяется исходя из требуемой для конкретной задачи надежности устройства, характеризуемой допустимой вероятностью ложной адресации.

В п. 4.3. на базе представлений, рассмотренных в п. 4.2, рассматривается проблема, связанная с распределением информационной емкости акустооптического устройства вдоль апертуры ячейки Брегга. Показано, что прямого аналитического решения задача не имеет, и в рамках работы предложено ее экспериментальное решение. На рис. 7 представлена схема экспериментальной установки, на которой проводилось исследование, а на рис. 8 – характерные экспериментальные кривые.

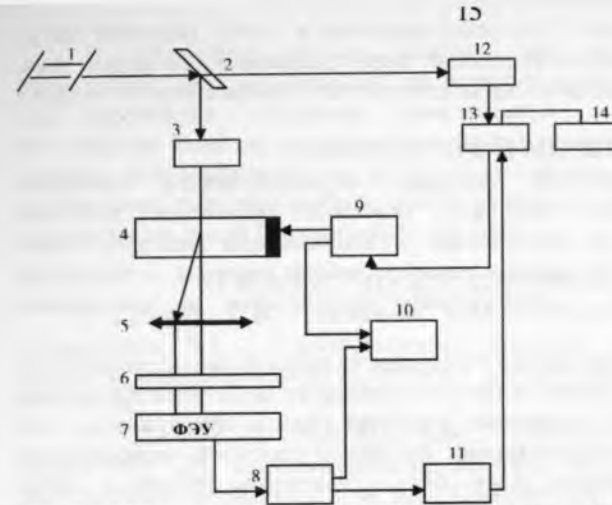


Рис. 7. Схема экспериментальной установки для исследования распределения информационной емкости вдоль апертуры ячейки Брегга: 1 – лазер; 2 – светоделитель; 3 – расширитель пучка; 4 – акустооптическая ячейка; 5 – Фурье-линза; 6 – экран; 7 – ФЭУ; 8 – усилитель; 9 – формирователь импульса; 10 – осциллограф; 11 – АЦП; 12 – фотодиод; 13 – компьютер; 14 – принтер.

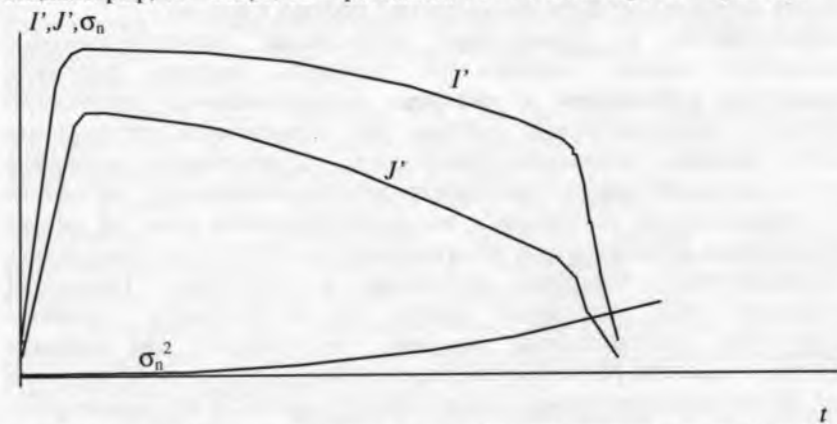


Рис. 8. Осциллограммы интенсивности дифрагированного света  $I'$ , удельной информационной емкости  $J'$  и уровня шума  $\sigma_n$ , снятые на акустооптической ячейке Брегга на базе монокристалла диоксида теллура.

Из экспериментальных данных следует, что существует предельный размер апертуры, при превышении которого дальнейший рост информационной емкости устройства прекращается.

В п. 4.4. рассматривается задача проецирования изображений с помощью акустооптических устройств. Проанализирована роль акустооптических устройств в светопроекционных системах, и показано, что наряду с общеизвестным применением акустооптических дефлекторов для



формирования изображений в реальном времени, в таких системах могут применяться также и акустооптические перестраиваемые фильтры, роль которых заключается в формировании некогерентных пучков соответствующих цветов.

### ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определено, что различные факторы, ограничивающие плотность информации при записи голограмм оказывают различное действие, частичное устранение или компенсация ограничивающих факторов может быть проведены за счет изменения режимов работы системы, в результате чего остаются факторы с минимальным воздействием на уменьшение плотности записи.
2. Плотность информации при записи голограмм на плоских средах может быть увеличена путем фрактального и перистрофического мультиплексирования, охватывающего при восстановлении большую область пространства, чем занимаемая матрицей фотоприемников. Двумерная плотность записываемых в объемной среде голограмм может быть существенно увеличена кроме фрактального и перистрофического мультиплексирования еще целым набором методов мультиплексирования, использующих Брегговскую селективность. При этом используется третье измерение среды, позволяющее, соответственно его увеличению, увеличивать плотность хранимой информации. Расчет показывает, что за счет мультиплексирования плотность записи может быть увеличена на 3 порядка и больше.
3. Экспериментально и теоретически исследованы полупроводниковые записывающие среды, позволяющие получить высокую плотность записываемой информации и высокую информационную пропускную способность голографической системы при возможности регулировать кинетику процесса визуального проявления. Существенное увеличение плотности хранимой информации и быстродействия ее передачи, достигается при использовании реверсивных высокоразрешающих сред на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП), в которых запись и восстановление голограмм происходят одновременно. Технология изготовления ХСП (напыление) такова, что в результате создаются наноструктуры чувствительных доменов, что приводит, как показали измерения, к высокой разрешающей способности (достигается  $10^4$  лин/мм и выше). Ей соответствует размер одного элемента менее 50 нм (нанометров). Невысокая чувствительность, выражаемая в  $\text{см}^2/\text{дж}$ , не отражает высокую информационную чувствительность в бит/дж, т.к. на единицу информации приходится меньшая затрачиваемая энергия.
4. Оптимизация распределения информационной емкости вдоль апертуры позволяет улучшить рабочие параметры акустооптических устройств и соответственно увеличить плотность информации, хранимой в записанных голограммах. Предложенный способ проекции цветных изображений с помощью акустооптических устройств позволяет работать с некогерентными источниками света, что влечет за собой значительное повышение качества проецируемых изображений.

В заключение следует отметить, что в диссертационной работе представлен цикл исследований по использованию голографического метода для увеличения плотности записываемой и хранимой информации: рассмотрены факторы, ограничивающие величину этой плотности и отмечены способы нейтрализации этих факторов и применение методов позволяющих использовать голографический способ записи для существенного увеличения плотности вводимой и хранимой информации.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Гуревич С.Б., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Хе Чен Юу, Акимжанова Ч.С. Ограничивающие факторы информационной емкости объемной голографической памяти (1-я часть) // Известия НАН КР, 2003. №2-3.- С.51-56.
2. Гуревич С.Б., Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Акимжанова Ч.С., Медралиева Б.Н. Ограничивающие факторы информационной емкости 3-D голографической памяти (2-я часть) // Известия НАН КР, 2004. №2.- С.73-78..
3. Жумалиев К.М., Гуревич С.Б., Гуревич Б.С., Джаманкызов Н.К., Акимжанова Ч.С. Возможности анализа изображений в реальном времени при двухпучковом восстановлении голограмм // Наука и новые технологии. 2004, №2.- С.15-20.
4. Жумалиев К.М., Гуревич Б.С., Джаманкызов Н.К., Хэ Чен Юу, Акимжанова Ч.С. Информационные процессы в акустооптических устройствах, используемых в системах голографической памяти // Наука и новые технологии. 2004. №2.- С.10-15.
5. Gurevich B.S., Andreyev S.V., Belyaev A.V., Akimjanova Ch., and Sagymbaeva K., "RF signal analysis using combined acousto-optical correlator and spectrum analyzer", Proceedings of SPIE, 2004, vol. 5477, pp. 330-334.
6. Гуревич Б.С., Жумалиев К.М., Нуркамылов А.Н., Хе Чен Юу, Акимжанова Ч.С. Оптимизация процессов записи голограмм на фототермопластическом носителе // Материалы 6-й международной конференции «Прикладная оптика». Санкт-Петербург.: 2004, т. 2.- С. 212 – 216.
7. Акимжанова Ч.С. Цифроаналоговое преобразование с использованием акустооптического дефлектора для систем регистрации цветных изображений //Наука и новые технологии. 2005, №2.- С.15-20.
8. Гуревич Б.С., Жумалиев К.М., Акимжанова Ч. С. Ограничение плотности 3D голографической памяти // Материалы международной конференции «Голография и оптическая обработка информации». Бишкек.: 2003. - С. 78-86.
9. Жеенбаев Ж.Ж., Акимжанова Ч.С. О критерии разрешения двухкоординатного акустооптического дефлектора, предназначенного для адресации в системах голографической памяти // Известия НАН КР 2006, №2. - С.72-75.

**РЕЗЮМЕ**

Акимжанова Чынара Сагынычбековна

Тема: Голограмма жазууда акустооптикалык тузулушторду колдонуп маалыматтын тыгыздыгын жогорулатуу ыкмаларын изилдоо.

(01.04.05–оптика адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаттыгы илимий даражасын изденууго).

Ачкыч создор: голография, акустооптика, лазер, жазуучу материалдар.

Бул диссертациялык иште жазылуучу жана сакталуучу маалыматтын тыгыздыгын жогорулатуу учун голографиялык ыкманын колдонулушуна арналган изилдоолор чагылдырылган. Бул жерде маалыматтын тыгыздыгын чектоочу факторлор каралган жана бул факторлорду нейтралдаштыруунун ыкмалары белгиленип, жазылуучу жана сакталуучу маалыматтын тыгыздыгын жогорулатуу учун голографиялык турдо жазуу ыкмалары белгиленген. Бул тыгыздыкты дагы жогорулатуу максатында голографиялык жазуу материалдары теория жана тажрыйба жузундо изилденген.

**РЕЗЮМЕ**

Акимжанова Чынара Сагынычбековна

Тема: Методы уплотнения информации при записи голограмм в регистрирующие среды с применением акустооптических устройств

(на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.05-оптика)

Ключевые слова: голография, акустооптика, лазер, регистрирующие среды.

В диссертационной работе представлен цикл исследований по использованию голографического метода для увеличения плотности записываемой и хранимой информации. В работе рассмотрены факторы, ограничивающие величину плотности и отмечены способы нейтрализации этих факторов и применение методов позволяющих использовать голографический способ записи для существенного увеличения плотности вводимой и хранимой информации. Теоретически и экспериментально исследованы голографические записывающие среды, позволяющие еще повысить их плотность.

**ANNOTATION**

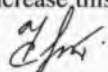
Akimjanova Chinara Sagynychbekovna

Methods of increasing information density of recording holograms in recording media with using acoustic-optics devices

(on competition degree candidate of the technical sciences on professions 01.04.05-optics)

Key words: holography, acoustic-optics, laser, recording media.

The investigation complex regarding to the holographic method application for the recorded and stored information density increasing, has been presented in this work. The factors which provide this density limitations have been considered and the ways to compensate these factors influence have been appointed. The application of the ways providing to use the holographic recording method in order to increase the introduced and stored information density significantly, is also the subject of consideration. The holographic recording media which allow to increase this density more, are studied theoretically and experimentally.



Акимжанова Чынара Сагынычбековна

**МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАПИСИ  
ГОЛОГРАММ В РЕГИСТРИРУЮЩИЕ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Автореферат диссертации

Тех.редактор *Кочоров А.Д.*

Подписано к печати 03.03.2008г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 54  
г.Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ "Текник" КГТУ, т.: 54-29-43  
E-mail: ict@ktu.aknet.kg, beknur@mail.ru