

## СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

УДК 681.327.68 : 778.38

А. А. Блок, В. А. Домбровский, С. А. Домбровский, Е. Ф. Пен,  
А. Н. Потапов, П. Е. Твердохлеб

(Новосибирск)

### ДИСКОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ

Рассмотрены принципы записи и считывания двумерных голограмм с дискового носителя. Показано, что запись голограмм целесообразно осуществлять с использованием в качестве светоделиителя движущегося носителя гололинз. Описана оптическая схема регистрации голограмм, позволяющая автоматически согласовывать скорости движения носителя гололинз и регистрирующей среды и обеспечивать синхронизацию записи. Предложен метод и описана оптическая схема считывания голограмм с подвижного носителя, обеспечивающая формирование сигналов управления положением восстанавливающего пучка и синхронизацию считывания по самим голограммам. Показана возможность создания оптического ЗУ емкостью 500 Мбайт на 150-миллиметровом диске, скоростью обмена до 200 Мбит/с и временем доступа 100 мс.

Интерес к нетрадиционным видам оптических ЗУ с большой емкостью памяти (0,5—1 Гбайт/носитель) и высокой скоростью выдачи данных (0,1—1 Гбит/с) возникает, по меньшей мере, в трех важных приложениях:

- создание специализированных вычислителей реального времени, например, для хранения и обработки цифровых карт местности;
- построение оптических машин баз данных (знаний);
- организация иерархического семейства систем памяти оптических вычислительных машин.

Исходя из специфики решаемых задач, ЗУ такого вида могут взаимодействовать с высокоскоростными процессорами, сетями передачи данных, запоминающими устройствами более высокого уровня иерархии и т. п.

Наш опыт работы в области оптической памяти свидетельствует о том, что требуемое сочетание емкости памяти и скорости выдачи данных можно обеспечить при использовании, в частности, дискового носителя и голографического способа записи/чтения данных в формате страниц. Доказательству этого тезиса и посвящена настоящая статья, где предложены и обоснованы методы построения оптического ЗУ емкостью памяти 500 Мбайт/диск (Ø 150 мм), скоростью выдачи данных ~200 Мбит/с и временем доступа 0,1—0,5 с.

В статье основное внимание уделено решению следующих узловых вопросов:

- обеспечение голографической записи страниц данных на вращающийся носитель с предельной практически достижимой плотностью упаковки данных;
- восстановление изображений страниц с вращающегося носителя и синхронизация процесса чтения данных;
- достижение в оптическом ЗУ «дискового» времени доступа, что тесно связано с обеспечением малых весогабаритных характеристик оптической головки чтения данных.

Запись голограмм на подвижный носитель. Запись на непрерывно действующий носитель может быть осуществлена несколькими способами. Один из

путей — регистрация одномерных голограмм [1, 2], интерференционные полосы которых ориентированы вдоль направления движения носителя. Этот метод является компромиссным между поразрядным способом и записью двумерных голограмм. Для регистрации двумерных голограмм также есть ряд возможностей. Например, можно использовать мощные импульсные лазеры (мощность в импульсе длительностью 0,1 мкс — десятки ватт), что ведет к существенному увеличению габаритов и стоимости устройства. В работах [3, 4] предложен метод записи голографических решеток «бегущей» интерференционной картины. Основная идея метода заключается в синхронном перемещении фотоносителя и системы полос, образованных интерференцией сигнального и опорного пучков. Последнее достигается при использовании в качестве светоделителя движущейся одновременно с фотоносителем дифракционной решетки [3] или гололинзы [4]. Этот метод позволяет на два порядка увеличить скорость записи двумерных голограмм и использовать полупроводниковые (п/п) лазеры мощностью излучения ~10 мВт.

Остановимся на методе записи двумерных голограмм на подвижный носитель с использованием в качестве светоделителя гололинзы.

При регистрации голограммы на непрерывно движущийся фотоноситель интерференционная картина, образованная сигнальным и опорным пучками, должна двигаться вместе с носителем, причем в том же направлении и с той же скоростью. Система, осуществляющая такую запись, предложена в [4] и показана на рис. 1. Основными элементами здесь являются лазер 1, модулятор 2, носитель гололинз (гололинза выполняет роль расщепителя пучка и представляет собой голограмму, в которой зарегистрирован растр пучков) 3, оптическая система двойного Фурье-преобразования (ДФП), управляемый транспарант 4, регистрирующая среда 5, приводы 6, 7, система управления 8.

Определим условия записи голограмм на подвижный носитель в этом устройстве. Пусть, для простоты, гололинза 1 получена путем регистрации интерференционной картины двух плоских волн: объектной —  $a = e^{ikx \sin \beta_i}$  и опорной —  $r = e^{-ikx \sin \alpha}$  (рис. 2), где  $\beta_i$  и  $\alpha$  — углы  $i$ -го объектного и опорного пучков;  $k = 2\pi/\lambda$ ;  $\lambda$  — длина волны света. Амплитудное пропускание такой гололинзы запишется в виде

$$\tau = |a + r|^2 = 2\{1 + \cos[kx(\sin \beta_i + \sin \alpha)]\}.$$

Период решетки в направлении  $x$  равен  $d = \frac{\lambda}{\sin \beta_i + \sin \alpha}$ . Предположим, что гололинза смещена в направлении  $x$  на расстояние  $x_0$  и восстанавливается пучком  $r = e^{-ikx \sin \alpha}$ . Тогда мнимая часть восстановленного изображения сразу после гололинзы запишется как  $ar^*r = e^{ikx \sin \beta_i} e^{-ikx_0(\sin \beta_i + \sin \alpha)}$ . Оптическая система 2 (см. рис. 2) преобразует восстановленный плоский пучок к виду

$$M(ar^*r) = e^{ikx \sin(\beta_i/m)} e^{-ikx_0(\sin \beta_i + \sin \alpha)},$$

где  $m$  — масштаб преобразования оптической системой.

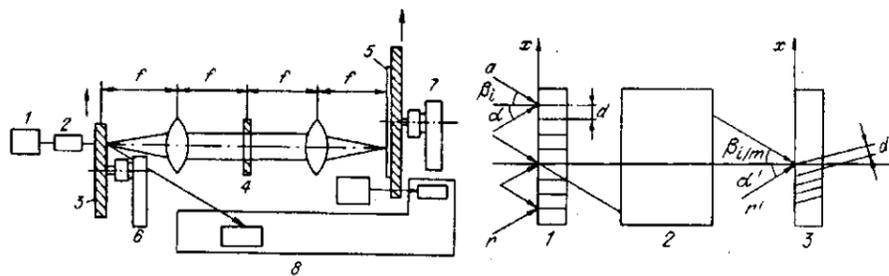


Рис. 1

Рис. 2

Информационная голограмма 3 получается путем записи интерференционной картины, образованной пучком  $M(ar^2r)$  и опорным пучком  $r' = e^{-ikx \sin \alpha'}$ . Амплитудное пропускание этой голограммы запишется в виде

$$\begin{aligned} \tau' &= |M(ar^2r) + r'|^2 = \\ &= 2 \left\{ 1 + \cos \left[ k(\sin(\beta_i/m) + \sin \alpha') \left( x - \frac{\sin \beta_i + \sin \alpha}{\sin(\beta_i/m) + \sin \alpha'} x_0 \right) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Из последнего выражения видно, что при смещении гололинзы на  $x_0$  интерференционная картина информационной голограммы смещается на расстояние

$$x_0 \frac{\sin \beta_i + \sin \alpha}{\sin(\beta_i/m) + \sin \alpha'}.$$

Условие регистрации голограммы на движущийся носитель можно записать как

$$\left| V t_i - \frac{\sin \beta_i + \sin \alpha}{\sin(\beta_i/m) + \sin \alpha'} V' t_i \right| \leq d/10, \quad (2)$$

где  $V, V'$  — векторы скорости движения носителей гололинз и регистрирующей среды;  $t_i$  — время экспозиции;  $d$  — период решетки интерференционной картины. Из выражения (2) видно, что несогласование масштаба  $m$  или углов  $\alpha \neq \alpha'$  приводит к тому, что интерференционные полосы, образованные разными сигнальными пучками ( $\beta_i$ ), будут двигаться с разными скоростями. На этапе восстановления это приведет к сильным флуктуациям яркости информационных пучков. Несогласование скоростей  $V$  и  $V'$  снижает суммарную дифракционную эффективность голограммы.

Оценим точность согласования масштаба, углов, а также скоростей носителей. Пусть, например,  $V t_i = 8$  мкм,  $\beta_i = 8^\circ$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $d \sim 1$  мкм, тогда

$$\begin{aligned} |\Delta m| &= |1 - m| \leq 1 - \frac{\beta_i}{\arcsin\left(\frac{\sin \beta_i}{1 - d/10V t_i}\right)} \approx 0,0125; \\ \Delta \alpha &< \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{1 - d/10V t_i}\right) - \alpha \approx 25'; \\ \left| \frac{V - V'}{V} \right| &< \frac{d}{10V t_i} \approx 0,012, \end{aligned}$$

где  $\alpha' = \alpha + \Delta \alpha$ . Таким образом, масштаб и скорости носителей должны быть согласованы с точностью 1%, а  $\Delta \alpha < 25'$  соответственно.

Если опорный пучок  $r'$  для записи информационной голограммы формируется с помощью той же оптической системы ДФП (см. рис. 1), то условие (2) записи голограмм примет вид

$$\left| V t_i - \frac{\sin \beta_i + \sin \alpha}{\sin(\beta_i/m) + \sin(\alpha/m)} V' t_i \right| \leq d/10.$$

Видно, что в этом случае необходимо согласовать только масштаб и скорости движения носителей. Кроме того, здесь автоматически выравниваются оптические пути сигнального и опорного каналов (можно использовать п/п лазеры с низкой временной когерентностью), а также просто решается задача совмещения объектного и опорного пучков. Однако существенным недостатком является снижение плотности записи, по крайней мере, в 4 раза, а также

трудности с изменением соотношения интенсивностей сигнального и опорного пучков.

Система записи голограмм, в основу работы которой положен принцип движущейся гололинзы [4], может быть усовершенствована путем выполнения схемы регистрации голограмм в виде головки записи с волоконно-оптическими компонентами (рис. 3), что позволяет автоматически согласовать скорости движения носителей, обеспечить слежение пучка за дорожкой гололинз и синхронизацию записи.

Работа системы записи на подвижный носитель сводится к следующему. Луч лазера 1 (см. рис. 3) через светоделитель 2 линзой 4 вводят в анизотропный одномодовый волоконный световод (АОВС) 6, с выходного торца которого пучок фокусируют линзой 17 на носитель 9 гололинз. Носитель 9 гололинз жестко связан с носителем 10 регистрирующей среды и вращается приводом 11. Часть дифрагированных с гололинзы пучков через оборачивающую оптическую систему 19 проецируют фурье-объективом 18 и линзой 25 на четырехсекторный фотоприемник 26. Электрические сигналы с секторов этого фотоприемника, ориентированных поперек оси дорожки гололинз, направляют в блок 27 формирования сигналов управления. Выходное напряжение с блока синхронизации 20 через блок 12 формирования сигнала слежения за дорожкой используется для перемещения головки записи 8 приводом 13. Одновременно электрические сигналы с секторов фотоприемника 26, ориентированных вдоль оси дорожки гололинз, через блок 27 поступают на блок 14 стабилизации скорости, первый выходной сигнал с которого через привод диска 11 обеспечивает постоянную линейную скорость движения носителя 9 гололинз. Со второго выхода блока 14 сигнал поступает в блок 15

формирования сигнала синхронизации. По сигналу с блока 15 включается модулятор 3, пучок лазера 1 вводят линзой 5 в АОВС 7, с выходного торца которого линзой 24 формируют опорный пучок для записи информационной голограммы. Одновременно пучки, восстановленные из текущей гололинзы, проецируют фурье-объективом 18 через первую оборачивающую систему 19 на управляемый транспарант (УТ) 21. Транспарант модулирует входные пучки информацией, поступившей из ЭВМ 16. Промодулированные пучки, прошедшие вторую оборачивающую систему 22, фокусируются фурье-объективом 23 в плоскость регистрирующей среды. По окончании времени экспозиции модулятор 3 отключает пучок.

Введение анизотропных ОВС, сохраняющих поляризацию, позволяет: 1) развязывать головку записи от источника излучения; 2) формировать

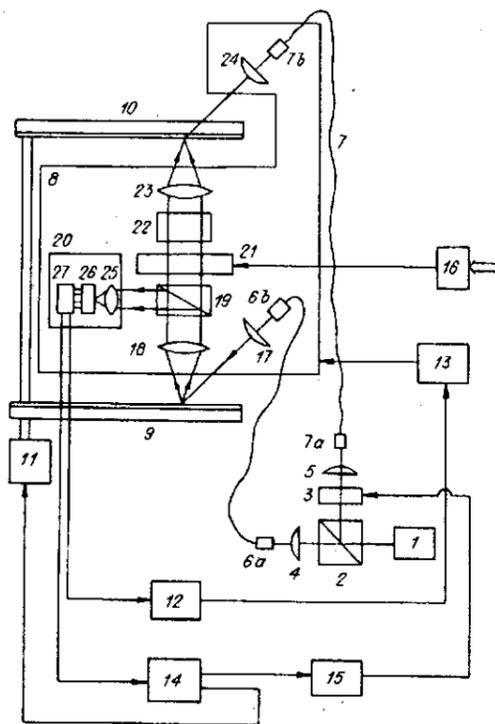


Рис. 3

пучки высокого качества с заданным состоянием плоскости поляризации; 3) использовать полупроводниковый лазер с временной когерентностью 1—3 мм. Согласование оптических путей опорного и сигнального каналов достигается подбором соответствующих длин световодов.

**Характеристики системы записи.** Пусть носители гололинз 9 и регистрирующей среды 10 выполнены в виде дисков диаметром 150 мм. Время записи голограммы на информационный диск 10 дается выражением  $t_h = t_i + t_{pr} + t_w$ , где  $t_i$  — время экспонирования голограммы;  $t_{pr}$ ,  $t_w$  — время подготовки и ввода данных в управляемый транспарант соответственно. Положим, что в устройстве используется жидкокристаллический управляемый транспарант размерностью  $64 \times 64$  с временем цикла  $t_{pr} + t_w = 0,02$  с [5], а информация кодируется в парафазном коде. Пусть размер гололинз и шаг между ними составляют  $d_h = h_h = 0,16$  мм, а в качестве регистрирующей среды взята фотографическая эмульсия ПЭ-2. Тогда:

1. Время экспозиции

$$t_i = \frac{d_h^2 E_m}{\eta P_i} = \frac{(0,16)^2 \text{ мм}^2 \cdot 8 \cdot 10^{-2} \text{ мДж/мм}^2}{0,2 \cdot 20 \text{ мВт}} \approx 0,5 \text{ мс,}$$

где  $E_m$  — коэффициент, характеризующий фоточувствительность материала ( $E_m = 8 \cdot 10^{-3}$  Дж/см<sup>2</sup> [6]);  $P_i = 20$  мВт — мощность излучения лазера;  $\eta = 0,2$  — КПД оптической системы формирования сигнальных пучков.

2. Линейная скорость перемещения голограммы

$$V = \frac{h_h}{t_h} \approx \frac{0,16 \text{ мм}}{0,02 \text{ с}} = 8 \text{ мм/с.}$$

3. Размер информационной голограммы: вдоль дорожки голограмм  $d_{h2} = 0,164$  мм, поперек дорожки  $d_{h1} = 0,16$  мм.

4. Средняя скорость вращения диска

$$\Omega_m = \frac{60 h_h}{t_h \pi D_m} \approx 1,36 \text{ об./мин,}$$

где  $D_m = (D_{in} + D_{out})/2 = 112,5$  мм — диаметр средней информационной дорожки.

5. Плотность и скорость записи:  $n = 0,8 \cdot 10^5$  бит/мм<sup>2</sup>,  $V_w = 0,1$  Мбит/с.

6. Время, требуемое для записи полного диска емкостью 132 Мбайт:

$$T = \frac{s_1 - s_2}{s_h} t_h = \frac{\pi(D_{out}^2 - D_{in}^2)}{4d_{h1}d_{h2}} t_h \approx 2,8 \text{ ч,}$$

где  $s_1 - s_2$  — полезная площадь носителя;  $s_h$  — площадь голограммы.

Считывание голограммы с подвижного носителя. В работе [4] предложены принцип и устройство считывания двумерных голограмм с подвижного носителя. Задача синхронизации и слежения за дорожкой решается путем записи на голограмму дополнительных контрольных пучков. Эти пучки на этапе восстановления принимаются фотоприемниками, работающими в режиме прямого детектирования. Выходные сигналы с фотоприемников служат для управления положением восстанавливающего пучка и синхронизации считывания.

Ниже предложены новый метод считывания голограмм в движении и устройство на его основе. Оптико-электронная структурная схема предлагаемой системы считывания приведена на рис. 4, где 1 — источник когерентного излучения; 2 — линза; 3 — одномодовый волоконный световод; 4 — оптическая головка считывания, включающая выходной торец 3b одномодового волоконного световода 3, линзу 5, фурие-объектив 6, светоделитель 7, выходной торец 8a матричного волоконного световода 8, линзу 9, четырехсекторный

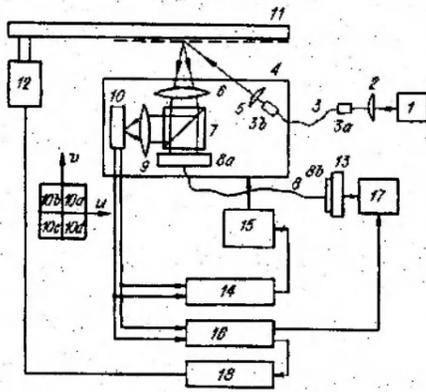


Рис. 4

приемник 10; 11 — носитель информации; 12 — привод носителя; 13 — матричный фотоприемник; 14 — блок формирования сигнала слежения за дорожкой 14; 15 — привод головки считывания; 16 — блок формирования сигнала синхронизации; 17 — блок управления фотоматрицей; 18 — блок формирования сигнала управления скоростью движения носителя.

Луч лазера 1 вводят в одномодовый волоконный световод линзой 2, с выходного торца 3b световода 3 пучок с помощью линзы 5 фокусируют на дисковый информационный носитель 11 с отража-

тельными голограммами, который вращается приводом 12. Восстановленное из голограммы изображение фурье-объективом 6 через светоделитель 7 проецируют на выходной торец 8a матричного световода 8, с выхода которого 8b оптические сигналы поступают на фотоматрицу 13; часть восстановленных пучков, отраженных от светоделителя 7, собирают линзой 9 в плоскости четырехсекторного приемника 10. Электрические сигналы с секторов фотоприемника 10 направляют на входы блока формирования сигнала слежения за дорожкой 14, который вырабатывает сигнал, пропорциональный разности сигналов, снимаемых с половин фотоприемника, ориентированных поперек оси дорожки голограмм. Одновременно электрические сигналы с секторов четырехсекторного фотоприемника 10, ориентированных вдоль оси дорожки голограмм, направляют на выходы блока формирования сигнала синхронизации 16, с первого выхода которого сигнал синхронизации через блок управления фотоматрицей 17 задает начало и конец считывания данных фотоматрицей 13. Со второго выхода блока 16 сигнал поступает на вход блока формирования сигнала управления скоростью движения носителя 18, выходной сигнал с которого управляет приводом носителя информации 12 и обеспечивает постоянную линейную скорость движения голограмм.

На каждом участке носителя размещается одна голограмма. Однако емкость ЗУ можно значительно увеличить, если на каждой позиции записать  $N$  наложенных голограмм с различно ориентированными векторами решетки [7]. На рис. 5, а показана геометрия записи двух таких наложенных голограмм, в которых опорные пучки (с векторами  $K_1$  и  $K_2$ ) лежат в плоскостях, развернутых друг относительно друга на некоторый угол  $\varphi$ . Для того чтобы наложенные голограммы не создавали взаимных помех, необходимо выполнить следующее условие пространственного разделения восстановленных изображений:

$$\varphi > 2 \arctg \left[ \frac{\lg \Theta_0}{\lg \Theta_1} - \frac{m}{n} \right]^{-1}, \quad (3)$$

которое легко получить из рис. 5, б. Здесь  $\Theta_0$  — угол падения опорных пучков;  $2\Theta_1$  — угловой размер записываемой страницы (фотоматрицы) по координате  $x$ ;  $n$  и  $m$  — размерность страницы по координатам  $x$  и  $y$  соответственно;  $d_T$  — расстояние между ячейками транспаранта.

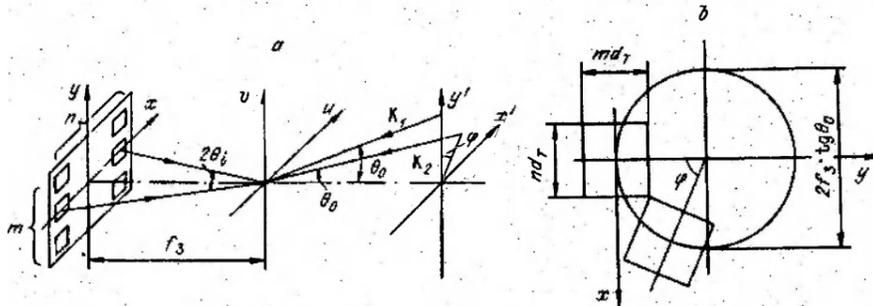


Рис. 5

Максимальное количество наложенных голограмм в одной позиции дается выражением

$$N = 2\pi/\varphi. \quad (4)$$

Угол падения опорных пучков для отражательных голограмм выбирается таким, чтобы записываемая страница и опорный пучок в плоскости транспаранта не перекрывались:

$$\operatorname{tg} \Theta_0 = \gamma \frac{d_1}{2f_w} \sqrt{n^2 + m^2}, \quad (5)$$

где  $\gamma \geq 1$ . Угол  $\Theta_0$  через геометрические параметры оптической системы можно записать в виде

$$\Theta_0 = \operatorname{arctg} \left( \frac{nd_1}{2f_w} \right). \quad (6)$$

С учетом (3), (5) и (6) выражение (4) для максимального количества наложений преобразуется к виду

$$N = \pi / \operatorname{arctg} \left[ \gamma \frac{\sqrt{n^2 + m^2}}{n} - \frac{m}{n} \right]^{-1}.$$

Например, при  $m = n$  и  $\gamma = 2,4$  получим  $\varphi = 45^\circ$ , а количество наложений  $N = 8$ .

При записи наложенных голограмм падает их дифракционная эффективность (ДЭ), например, для тонких амплитудных голограмм как  $1/N^2$  [7], где  $N$  — количество наложений. Для повышения ДЭ голограмм целесообразно использовать метод частично наложенных записей [8, 9]. На рис. 6 показана геометрия размещения голограмм с четырехкратным частичным наложением на дисковом носителе. Векторы решеток двух соседних голограмм (например,  $K_1$  и  $K_2$ ) развернуты на угол  $90^\circ$ . Такая геометрия позволяет также снять проблему «холостого пробега» голограмм при считывании. Этот пробег связан с тем, что максимальный интервал считывания составляет 25 % от размера голограммы, а 75 % времени прохождения голограммы относительно восстанавливающего пучка не используются. Если каждая последующая наложенная голограмма (см. рис. 6) смещена на четверть своего размера ( $\Delta = 1/4h_n$ ), то конец считывания предыдущей голограммы совпадает с началом считывания последующей и «холостой пробег» отсутствует.

Вместо матричного волоконного световода (см. рис. 4), можно использовать регулярный гибкий волоконный жгут (РГВЖ). На рис. 7 представлена оптическая часть устройства считывания (нумерация элементов соответствует их обозначению на рис. 4), в котором оптический информационный и конт-

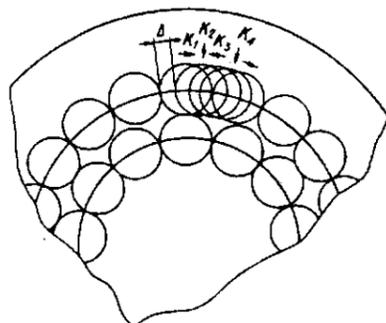


Рис. 6

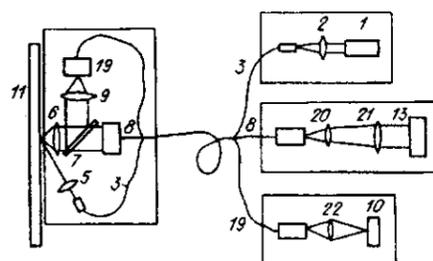


Рис. 7

рольный пучки передаются с помощью РГВЖ 8, 19. Неподвижная оптическая часть устройства включает схему считывания, состоящую из выходного торца РГВЖ 8, проекционной системы 20, 21 и фотоматрицы 13, а также схему формирования сигналов управления, содержащую выходной торец РГВЖ 19, объектив 22, четырехсекторный фотоприемник 10. Применение волоконных элементов в восстанавливающем, информационном и контрольном каналах дает целый ряд преимуществ: уменьшение веса и габаритов подвижной части головки считывания, возможность использования малогабаритного объектива для восстановления голограммы, устранение проблемы в настройке подвижной части оптической головки, так как не требуется совмещение восстановленного изображения с приемными элементами, как в варианте с матричным световодом, а также согласование положения контрольного пучка относительно четырехсекторного фотоприемника. Все юстировки выполняются в неподвижной части головки считывания. Поскольку в подвижную головку не входят электронные элементы, то не возникает проблем с электронными помехами.

**Характеристики дисковой голографической памяти.** Пусть диаметр диска  $D = 150$  мм, радиусы внешней и внутренней дорожек голограммы  $R_{out} = 75$  мм,  $R_{in} = 37,5$  мм, размер и емкость голограммы  $d_h = 0,16$  мм,  $c_h = 32 \times 64 = 2 \cdot 10^3$  бит, имеется четырехкратное наложение голограмм с различно ориентированными векторами решеток (см. рис. 6), голограммы размещены вдоль дорожек с постоянным линейным шагом  $h_h = 40$  мкм, а расстояние между дорожками  $h_c = 0,16$  мм, дифракционная эффективность голограмм 2 %, эффективность оптической системы считывания 30 %, мощность лазеров в устройстве считывания 5 мВт, чувствительность парафазной фотоматрицы  $\sim 10^{-13}$  Дж/эл., минимальный цикл считывания (включающий время подготовки фотоматрицы, время накопления и передачи данных)  $t_c = 10^{-5}$  с. Тогда плотность записи  $3,2 \cdot 10^5$  бит/мм<sup>2</sup>, емкость диска 530 Мбайт, средняя скорость вращения диска 13 об./с, скорость считывания данных 200 Мбит/с, среднее время доступа 100 мс.

**Заключение.** В результате сравнительного анализа методов регистрации двумерных голограмм на подвижный носитель сделан вывод о том, что такую запись целесообразно осуществлять с использованием в качестве светоделиителя движущийся носитель гололинз.

Выполнение схемы регистрации голограмм в виде компактной головки записи, в состав которой входят оптические оборачивающие и волоконные компоненты, позволяет автоматически согласовать скорости движения

носителей, обеспечить слежение лазерного пучка за дорожкой гололинз и синхронизацию записи.

Предложен новый метод считывания голограмм с подвижного носителя, отличающийся от известных тем, что сигналы управления положением восстанавливающего пучка и синхронизации считывания формируются по самим информационным голограммам.

Предложена схема волоконно-оптической головки считывания голограмм, в которой осуществлена развязка элементов восстанавливающей оптики от источников излучения и фотоприемных устройств. Это позволяет резко уменьшить габариты и вес головки и упростить процесс ее юстировки.

Показана возможность создания оптического ЗУ емкостью 500 Мбайт на 150-миллиметровом диске, скоростью обмена до 200 Мбит/с и временем доступа 100 мс.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вовк Ю. В., Щепеткин Ю. А. Использование частотного разделения сигналов при записи одномерных голограмм излучением полупроводниковых лазеров // *Автометрия*.—1981.— № 1.
2. Микаэлян А. А., Ванин А. Ф., Гулянян Э. Х., Прокопенко С. А. Голографический диск — накопитель информации // *Квантовая электроника*.—1987.—14, № 5.
3. Пилипович В. А., Романов А. В., Ярмолицкий В. Ф., Богданович Н. И. Запись голографических решеток на непрерывно движущийся носитель // *Тез. докл. V Всесоюз. школы по оптической обработке информации*.—Киев, 1984.
4. Satoh I., Kato M. Holographic disk recording of digital data with fringe stabilization // *Appl. Opt.*—1988.—27, N 14.—P. 2987.
5. Атаманчук Л. М., Лещенко П. Т., Петров А. А. Жидкокристаллический ПВМС с активной управляющей матрицей // *Тез. докл. VI Всесоюз. школы-семинара по оптической обработке информации*.—Фрунзе: ФПИ, 1986.—Ч. 2.
6. Блок А. А., Ванюшев Б. В., Волков А. В. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных // *Автометрия*.—1984.—№ 3.
7. La Macchia J. T., Vincelette C. J. Comparison of the diffraction efficiency of multiple exposure and single exposure holograms // *Appl. Opt.*—1968.—7, N 9.—P. 1857.
8. Блок А. А., Кучерук Р. С., Пен Е. Ф. Дифракционная эффективность частично наложенных голограмм // *Автометрия*.—1989.—№ 3.
9. Блок А. А., Домбровский В. А., Домбровский С. А. и др. Практический предел плотности записи данных в голографических ЗУ на плоских носителях // *Автометрия*.—1990.—№ 5.

*Поступила в редакцию 21 октября 1991 г.*

УДК 535.215.12 : 537.226.33

С. Малик

(Орсей, Франция)

#### АССОЦИАТИВНАЯ ПАМЯТЬ НА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Оптическая реализация структуры типа нейронных сетей требует высокой плотности репрограммируемых оптических связей между плоскостями нейронов. Обсуждается использование фоторефрактивных материалов для реализации этих соединений. Фоторефрактивные материалы используются в голографической ассоциативной памяти, в которой в качестве адресного сигнала применяется неполная копия одного из хранимых изображений. Наблюдаемый яркий корреляционный пик соответствует изображению, наиболее близкому к искомому. Применение фазосопряженного зеркала позволяет устранить все корреляционные пики, кроме самого интенсивного, усилить его и использовать для считывания.

**Введение.** Фоторефрактивные материалы обладают большими оптическими нелинейностями при облучении их достаточно слабыми свето-