

### 3. СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

#### 3.1. Лазеры

Для систем когерентной оптической обработки информации в качестве источников излучения обычно используются лазеры, обладающие достаточно высокой когерентностью. Необходимая степень когерентности источника зависит от конкретной схемы и в каждом конкретном случае может быть рассчитана. В пространственно-некогерентных системах обычно также требуется высокая интенсивность источника излучения в достаточно узкой области спектра, какой обладают лазеры. Пространственная когерентность такого источника при необходимости может быть специально разрушена, например, с помощью вращающегося матового стекла. Возможность импульсного режима работы, простота временной модуляции излучения дают также преимущество лазерам перед другими источниками излучения. В настоящее время в системах оптической обработки используются газовые, твердотельные и полупроводниковые лазеры. Их основные характеристики приведены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

| Характеристики   | Гелий-неоновый атомарный | Аргоновый ионный | Рубиновый импульсный | АИГ-лазер          | П/п лазер                        |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|
| Длина волны излучения, мкм   | 0,6328                   | 0,488-0,5145     | 0,6943               | 1,064<br>0,53      | 0,4-1,5                          |
| Выходная мощность в режиме генерации одной моды Р, Вт (многомодовый) | 0,002-0,05<br>(0,2)      | 1<br>(10)        | -                    | 50<br>(500)        | 0,05<br>(1)                      |
| Энергия импульса, Дж   | -                        | -                | 1-5                  | 10-100             | 10 <sup>-4</sup>                 |
| Длительность импульса, нс  | -                        | -                | 10-100               | 10-100             | 100                              |
| Максимальная мощность, МВт   | -                        | -                | 10-10 <sup>2</sup>   | 10-10 <sup>3</sup> | 2·10 <sup>-3</sup>               |
| Средняя мощность, Вт   | -                        | -                | 1                    | 10-100             | 0,01-1                           |
| Частота повторения импульсов, Гц                                     | -                        | -                | 0,1                  | 400                | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> |
| Диаметр выходного луча, мм   | 2                        | 1,4              | 8                    | 4                  | -                                |
| Расходимость луча, мрад  | 0,7                      | 0,5              | 10                   | 1-8                | 10°-20°                          |
| КПД, %   | 0,1                      | 0,01             | 2                    | 2                  | 30                               |

Гелий-неоновые лазеры, работающие в непрерывном режиме, характеризуются наиболее высокой стабильностью излучения и большим сроком службы. Эти лазеры нашли широкое применение для систем обработки информации. Их недостатком является сравнительно небольшая мощность (1-50 мВт) выходного излучения.

Значительно большей мощностью (1-10 Вт) обладают другие газовые лазеры - аргоновые. К сожалению, из-за низкого к.п.д. эти лазеры требуют энергоёмких источников питания и принудительного охлаждения активных элементов, что затрудняет их применение в системах обработки.

Твердотельные лазеры наиболее приспособлены для работы в импульсном режиме. Широкое применение среди таких лазеров находят рубиновые и лазеры на алюминиево-иттриевом гранате (АИГ), активированном неодимом. Твердотельные лазеры позволяют получать очень высокую мощность (до 1000 МВт на АИГ-лазере) в режиме излучения коротких импульсов. Недостатком мощных твердотельных лазеров является невысокая стабильность излучения и сравнительно низкая частота повторения при работе в импульсном режиме (до 100 Гц в лазере на АИГ с ламповой накачкой).

Полупроводниковые лазеры являются во многих отношениях наиболее перспективными. Они малогабаритны, обладают высоким к.п.д. и низкой стоимостью, а также просты и удобны в обращении. Недостатками полупроводниковых лазеров является низкая пространственная когерентность для лазеров повышенной мощности и широкий спектр излучения (до  $\sim 10 \text{ \AA}^\circ$ ). Однако полупроводниковые лазеры в настоящее время постоянно совершенствуются, и их характеристики постепенно улучшаются.

Лазеры, выпускаемые промышленностью, не всегда обладают параметрами, необходимыми для их применения в системах обработки информации. В этих случаях могут быть использованы различные методы модернизации лазеров, позволяющие улучшить их характеристики. Так, например, для повышения когерентности излучения используют селекцию поперечных или продольных типов колебаний.

### 3.2. Когерентность света

Рассмотрим два оптических сигнала (одной поляризации и частоты):

$$u_1 = a_1 e^{ij_1}; \quad u_2 = a_2 e^{ij_2}.$$

При их сложении интенсивность суммарного поля будет равна:

$$|u_1 + u_2|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos Dj, \quad (3.1)$$

где  $Dj = j_1 - j_2$ . Из (3.1) следует, что интенсивность суммы двух полей зависит от разности фаз складываемых колебаний. Если разность фаз может меняться с течением времени, то интенсивность, регистрируемая детектором за время усреднения  $T$ , будет равна:

$$I = \left\langle |u_1 + u_2|^2 \right\rangle = \frac{1}{T} \int_0^T |u_1 + u_2|^2 dt = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \frac{1}{T} \int_0^T \cos Dj dt. \quad (3.2)$$

Обозначим  $I_1 = a_1^2$ ;  $I_2 = a_2^2$ . Тогда  $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \frac{1}{T} \int_0^T \cos Dj dt$ .

Если разность фаз  $Dj$  не меняется за время наблюдения  $T$ , то

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos Dj.$$

Если же  $Dj$  - случайная величина, то  $\int_0^T \cos Dj dt = 0$ . Тогда  $I = I_1 + I_2$ .

В первом случае колебания полностью когерентные, во втором полностью некогерентные. В случае когерентных колебаний суммарная интенсивность в зависимости от разности фаз меняется от  $I_{\max} = (a_1 + a_2)^2$  ( $Dj = 0, 2p, \dots$ )

до  $I_{\min} = (a_1 - a_2)^2$  ( $Dj = p, 3p, \dots$ ). В особом случае, когда  $I_1 = I_2$ , суммарная интенсивность приобретает вид:

$$I = 2I_1(1 + \cos Dj) = 4I_1 \cos^2 \frac{Dj}{2}. \quad (3.3)$$

Для наблюдения двухлучевой интерференции можно использовать экспериментальную установку Юнга, рис.3.1. Свет от точечного монохроматического источника  $S$  падает на два точечных отверстия  $S_1$  и  $S_2$  в экране  $\mathcal{E}$  на расстоянии  $d$  друг от друга. Отверстия  $S_1$  и  $S_2$  могут рассматриваться как точечные монохроматические и синфазные источники. Рассмотрим поле в плоскости  $XOY$  в области перекрытия световых пучков от  $S_1$  и  $S_2$ . Ось  $X$  параллельна линии  $S_1S_2$ .

Для точки  $P$  в плоскости наблюдения:

$$r_1 = S_1P = \sqrt{a^2 + y^2 + \frac{z^2}{4} - \frac{d^2}{4} \frac{y}{a}}; \quad r_2 = S_2P = \sqrt{a^2 + y^2 + \frac{z^2}{4} + \frac{d^2}{4} \frac{y}{a}}.$$

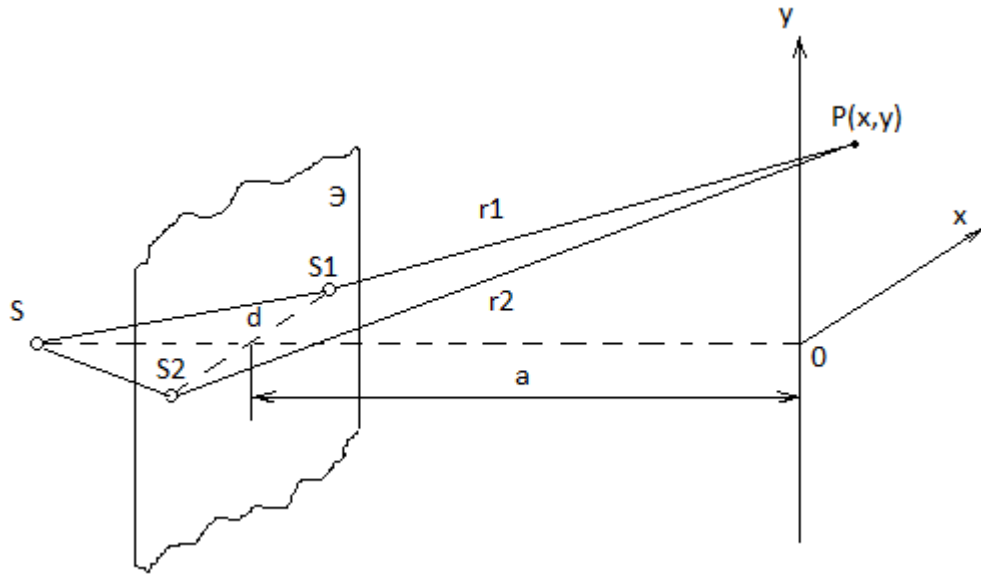


Рис.3.1. Схема установки Юнга

Полагая  $a \gg d$ , получим, что разность путей световых пучков от отверстий  $S_1$  и  $S_2$  до точки наблюдения  $P$   $\Delta r = r_2 - r_1 = \frac{xd}{a}$ , а разность фаз в точке наблюдения

$$\Delta j = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{xd}{a}. \quad (3.4)$$

Согласно (3.3), интенсивность в плоскости наблюдения будет иметь вид:

$$I = 2I_1 \left[ 1 + \cos \frac{2\pi dx}{\lambda a} \right] = 4I_1 \cos^2 \frac{\pi dx}{\lambda a}, \quad (3.5)$$

где  $I_1$  - интенсивность в точке  $P$  от  $S_1$  или  $S_2$ , т.е. вдоль оси  $x$  будет наблюдаться чередование максимумов и минимумов линий интерференции.

Пусть точечный источник  $S$  является полихроматическим, т.е. представляет собой совокупность монохроматических источников, излучающих в диапазоне длин волн  $\Delta\lambda$  при средней длине волны  $\lambda$ .

Очевидно, что центральные максимумы всех монохроматических картин (при  $x = 0$ ) совпадают друг с другом, а положение максимумов при  $x \neq 0$  будет зависеть от длины волны в соответствии с выражением (3.5), в результате чего интенсивность интерференционной картины будет усредняться, а ее контраст (видность полос) - уменьшаться. Смещение максимумов интерференции будет пренебрежимо мало, если изменение разности фаз световых пучков в точке

наблюдения из-за изменения длины волны будет гораздо меньше  $2\pi$ . Это условие нетрудно записать из выражения (3.4) для квазимонохроматического источника

(когда  $\frac{Dl}{l} = 1$ ):  $D(Dj) = \frac{2p}{l^2} Dr Dl = 2p$ , откуда получаем выражение для разности хода:

$$Dr = \frac{l^2}{Dl} = \frac{c}{Dn}, \quad \text{где } c - \text{ скорость света, } Dn - \text{ полоса частот источника. Разность}$$

хода, удовлетворяющую данному условию, называют длиной когерентности квазимонохроматического источника.

Рассмотрим теперь частично когерентный свет некоторого квазимонохроматического источника. Пусть  $\gamma$  характеризует долю интенсивности когерентного света в общей интенсивности источника, освещающего отверстия в экране. Это соотношение интенсивностей когерентного и некогерентного света сохранится и во вторичных источниках  $S_1$  и  $S_2$ . Тогда интенсивность света в плоскости наблюдения от отверстия  $S_1$  или  $S_2$  можно представить в виде:

$I_1 = gI_1 + (1 - g)I_1$ , где  $gI_1$  - интенсивность когерентного света, интенсивность когерентного света,  $(1 - g)I_1$  - интенсивность некогерентного света,  $I_1 = I_2$  - общая интенсивность света в плоскости наблюдения от каждого из вторичных источников. Суммарная интенсивность в плоскости наблюдения будет равна:

$$\begin{aligned} I_e &= (1 - g)I_1 + (1 - g)I_1 + gI_1 + gI_1 + 2\sqrt{gI_1}\sqrt{gI_1} \cos Dj = \\ &= 2I_1(1 + g \cos Dj). \end{aligned} \quad (3.6)$$

Отсюда находим, что видность полос интерференции  $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = g$ .

Таким образом, при равной интенсивности света когерентных и некогерентных составляющих света в двух вторичных источниках, видность полос равна доле когерентной составляющей интенсивности света.

Более строго проблема когерентности рассматривают с помощью функции взаимной когерентности.

Пусть имеется волновое поле протяженного полихроматического источника. На пути этого поля помещаем два точечных отверстия  $S_1$  и  $S_2$  в экране. Считая эти точки вторичными источниками, находим поле в точке наблюдения  $P$ ,

находящимися от них на расстояниях  $r_1$  и  $r_2$ :  $V(P, t) = V_1 \frac{z}{c} - \frac{r_1}{c} + V_2 \frac{z}{c} - \frac{r_2}{c}$ .

Интенсивность поля в точке наблюдения равна:

$$I_p = \langle V(P, t) V^*(P, t) \rangle = I_1 + I_2 + 2 \operatorname{Re} \langle V_1(t + t) V_2^*(t) \rangle, \quad (3.7)$$

где:  $I_1 = \langle |V_1|^2 \rangle$ ;  $I_2 = \langle |V_2|^2 \rangle$ ;  $t = t_2 - t_1$ ;  $t_1 = \frac{r_1}{c}$ ;  $t_2 = \frac{r_2}{c}$ .

Функция взаимной когерентности интерферирующих полей определяется как:

$$G_{12}(t) = \langle V_1(t + t) V_2^*(t) \rangle. \quad (3.8)$$

Это выражение представляет корреляционную функцию полей  $V_1$  и  $V_2$ .

Нормированная величина  $g_{12}(t)$  называется комплексной степенью когерентности полей в точках  $S_1$  и  $S_2$ :

$$g_{12}(t) = \frac{G_{12}(t)}{\sqrt{G_{11}(0)G_{22}(0)}}. \quad (3.9)$$

С учетом (3.8) и (3.9) получим из (3.7):

$$I_p = I_1 + I_2 + 2 \operatorname{Re} G_{12}(t) = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \operatorname{Re} g_{12}(t). \quad (3.10)$$

Величину  $g_{12}(t)$  можно записать в виде  $g_{12} = |g_{12}| e^{ij_{12}}$ . При  $I_1 = I_2$  выражение

(3.10) по форме совпадает с (3.6):  $I_p = 2I_1 \frac{1}{2} + |g_{12}(t)| \cos j_{12}(t) \frac{1}{2}$ . Отсюда следует,

что при равных интенсивностях интерферирующих пучков, видность полос определяется модулем  $|g_{12}(t)|$ .

Заметим, что величины  $G_{11}(t), g_{11}(t), G_{22}(t)$  и  $g_{22}(t)$  характеризуют временную когерентность источников  $S_1$  и  $S_2$ , а  $G_{12}(0)$  и  $g_{12}(0)$  - пространственную. Если имеется протяженный источник излучения, то его пространственная когерентность будет функцией расстояния между вторичными источниками на его излучающей поверхности.

### 3.2. Пространственные модуляторы света

Пространственные модуляторы света (ПМС) предназначены для изменения пространственного распределения световой волны в оптической системе по

амплитуде, фазе или поляризации. На входе оптической системы ПМС применяются для ввода обрабатываемой информации; ПМС, расположенный в плоскости пространственных частот, используется для формирования импульсного отклика системы пространственной фильтрации.

По возможности обновления информации ПМС делятся на устройства с однократной записью и на реверсивные. Последние используются для обработки сигналов в реальном масштабе времени.

Примером модулятора света с однократной записью является слайд на фотопленке, который осуществляет амплитудную модуляцию проходящей световой волны за счёт её поглощения в фотослое с пространственным распределением почернения, соответствующем записанной информации. Для исключения паразитной фазовой модуляции, связанной с вариациями толщины подложки фотоматериала, слайд помещают в кювету с иммерсионной жидкостью, имеющей коэффициент преломления, близкий к коэффициенту преломления фотоплёнки. Галогено-серебряные материалы, как устройства ввода обычно используются в тех задачах, когда исходная информация представлена в виде изображений, а время обработки не имеет решающего значения.

В ПМС, работающих в реальном масштабе времени, используются различные физические эффекты. Явления затемнения и просветления в фотохромных кристаллах, например, нашли применение для амплитудной модуляции света. Пространственная модуляция фазы может осуществляться изменением распределения толщины или коэффициента преломления материала ПМС под действием несущего информацию света, тепла, электрических или магнитных полей или акустических волн. Для модуляции по поляризации используются электрооптические эффекты.

По способу управления ПМС делятся на электрически и оптически управляемые. Электрически управляемый ПМС представляет собой устройство матричного типа, в котором оптические свойства ячеек управляются независимыми электрическими сигналами. В другом варианте ПМС оптические свойства модулирующей среды изменяются под действием сканирующего по её поверхности электронного луча. К ПМС с электрическим управлением относятся также акустооптические устройства, в которых модуляция света осуществляется под действием акустической волны, возбуждаемой в оптически прозрачном материале под действием входного электрического сигнала.

В оптически управляемом ПМС свойства модулирующего слоя управляются под действием сканирующего светового луча, либо под действием проецируемого на ПМС распределения интенсивности света, несущего входную информацию.

По конструкции ПМС может представлять собой однородный материал, но чаще используются более сложные, многослойные устройства с преобразованием носителей информации. В таких устройствах исходное электрическое или оптическое воздействие вызывает промежуточный эффект с привлечением дополнительного источника энергии, что позволяет увеличить чувствительность ПМС.

К настоящему времени исследовано большое число материалов и устройств, используемых в качестве ПМС в оптических системах. Ни одно из этих устройств не обладает совокупностью характеристик, которая позволила бы считать его идеальным; к тому же, следует учитывать, что сами требования к ПМС в значительной мере зависят от решаемой задачи. Ниже мы рассмотрим некоторые ПМС, из числа устройств, получивших наибольшее распространение.

*Фотополупроводниково-термопластические слои.* Процесс модуляции света основан на изменении толщины термопластичного материала в соответствии с пространственным распределением интенсивности света. Один из вариантов устройства показан на рис.3.2.

Устройство состоит из стеклянной подложки с прозрачным проводником, на которую нанесены слои фотополупроводника и термопластика. Токопроводящий слой служит для нанесения равномерного электрического заряда на поверхность термопластика с помощью установки коронного разряда, а также используется в качестве тепловыделяющего элемента при тепловом проявлении зарегистрированной информации.



Рис.3.2. ПМС на основе термопластика

Для существующих способов записи голограмм на фототермопластике характерны два момента: 1) создание электрического поля в слое термопластика, соответствующего распределению интенсивности света при экспонировании; 2) тепловое проявление, при котором под действием кратковременного теплового



импульса температура термопластика повышается до температуры размягчения, в результате чего электростатические силы деформируют поверхность термопластика в соответствии с распределением электрического поля на ней. Фиксация полученного фазового рельефа осуществляется с помощью быстрого охлаждения до комнатной температуры. Стирание информации можно производить нагреванием материала до температуры размягчения.

Особенностью термопластических материалов является то, что они реагируют на ограниченную полосу пространственных частот. Максимальный отклик приближённо соответствует пространственной частоте  $1/2h$ , где  $h$  - толщина термопластического слоя. Поэтому фототермопластики, как правило, используются для реверсивной записи голограмм, а не как устройства ввода. Их достоинствами являются высокая чувствительность ( $10^{-5}$  Дж/см<sup>2</sup>) и дифракционная эффективность (до 20-30%), недостатками - малое быстродействие (0,1с) и ограниченное число циклов (до  $10^3$ ).

*ПМС на жидких кристаллах.* Общая структура простейшей жидкокристаллической ячейки включает жидкокристаллический слой, помещённый между двумя прозрачными электродами. Для пространственной модуляции света используются, в основном, два электрически управляемых эффекта, наблюдающихся в жидких кристаллах: динамическое рассеяние и наведённое двулучепреломление.

Эффект динамического рассеяния заключается в следующем. В невозбуждённом состоянии слой жидкого кристалла совершенно прозрачен. При приложении электрического поля к слою его молекулы ориентированы определённым образом. Если электрическое поле превышает некоторый порог, то заряды, протекающие через жидкий кристалл, нарушают ориентацию молекул. Возникает турбулентность, и интенсивность проходящего света ослабляется. После окончания действия электрического поля жидкий кристалл вновь становится прозрачным.

Эффект двулучепреломления, индуцированного полем, имеет место в так называемых нематических жидких кристаллах с отрицательной диэлектрической анизотропией. Если нет внешнего поля и падающий свет поляризован в плоскости поверхностей электродов, то жидкий кристалл изотропен. При скрещенных входном и выходном поляризаторах свет не проходит. Если к электродам прикладывается напряжение, жидкий кристалл становится двулучепреломляющим, и проходящим светом можно управлять.

Для построения пространственного модулятора света можно использовать матрицу электродов или между электродами поместить наряду с жидким кристаллом слой фотополупроводника. Приложенное напряжение первоначально падает на фотополупроводнике. Однако если структуру осветить светом, интенсивность которого меняется в пространстве, сопротивление полупроводника падает пропорционально распределению входной интенсивности. В результате получается пространственно переменное поле в жидком кристалле, т.е. оптически управляемая структура. Считывание обычно осуществляется светом, к которому фотополупроводник нечувствителен, либо методом отражения с использованием светоблокирующего слоя.

Достоинствами ПМС на жидких кристаллах являются высокая чувствительность ( $\sim 10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>) и малые управляющие напряжения, а также простота изготовления и дешевизна. Число разрешимых элементов ЖК модуляторов определяется плотностью размещения электродов, подводящих управляющие сигналы к элементам ЖК матрицы. Оно достигает величины порядка  $1000 \times 1000$ , при размере модулятора около 1-2 см. [8]. Быстродействие таких устройств составляет десятки кадров в секунду и обеспечивает обработку ТВ изображений в реальном масштабе времени.

*ПМС с сегнетоэлектрическими кристаллами.* Для модуляции света в таких кристаллах обычно используется эффект изменения двулучепреломления в кристалле при изменении его электрической поляризации под действием электрического поля. Устройство состоит из монокристалла сегнетоэлектрика, на поверхность которого нанесена матрица электродов, управляющая полем в ячейках ПМС. Оптически управляемый ПМС имеет сплошные прозрачные электроды, между которыми расположен кристалл сегнетоэлектрика с нанесённым на его поверхность фотополупроводником. Под действием управляющего света в фотополупроводнике создаются электрические заряды, которые дрейфуют к поверхности сегнетоэлектрика, приводя к перераспределению приложенного к нему электрического поля.

Особенностью сегнетоэлектрических кристаллов является возможность их работы с заминанием, что связано с гистерезисным характером зависимости их поляризации от приложенного электрического поля. Стирание остаточной поляризации в модуляторе для возврата в исходное состояние производится путём приложения к сегнетоэлектрику напряжения противоположной полярности.

Примером оптически управляемого ПМС рассмотренного типа является "ФОТОТИТУС", рис.3.3. В качестве сегнетоэлектрика здесь используется

кристалл DKDP ( $KD_2PO_4$ ), фотопроводник - аморфный селен. Запись производится со стороны фотопроводника коротковолновым излучением (синий или ультрафиолетовый свет) с одновременной подачей постоянного напряжения 80В. Для уменьшения влияния считывающего света на распределение зарядов считывание производится в отражённом свете с использованием диэлектрического зеркала, расположенного между слоем фотопроводника и сегнетоэлектрика. Типичные параметры ПМС "ФОТОТИУС": чувствительность  $10^{-5}$  Дж/см, разрешение 40 лин/мм, время записи 0,3 мкс, время стирания 30-300 мкс. Недостатками являются необходимость работы при -50 С, малое разрешение, сложность.

Перспективным ПМС, использующим линейный электрооптический эффект, является прибор PROM на основе кристалла  $Bi_{12}SiO_{20}$ . В отличие от DKDP кристалл силиката висмута является как электрооптическим, так и фотопроводящим, поэтому для модуляции поля, приложенного к прибору, нет необходимости иметь в устройстве отдельный слой фотопроводника. Структура PROM включает в себя кристалл и два тонких изолирующих слоя (парилен), расположенных между кристаллом и прозрачными электродами. При освещении записывающим излучением генерируемые в полупроводнике носители заряда дрейфуют к границе кристалла с диэлектриком, где захватываются ловушками, и компенсируют заряд на электродах, что приводит к модуляции поля, действующего на кристалл. Характеристики прибора PROM близки характеристикам "ФОТОТИУСА", однако PROM проще и не требует охлаждения.

*Электронно-адресуемая трубка с кристаллом DKDP.* Оптически управляемые ПМС типа PROM и другие требуют различных длин волн для записи и считывания информации, что ограничивает их применение на практике. Электрически управляемые устройства матричного типа имеют небольшое число разрешимых точек. Эти проблемы могут быть решены в устройстве с электронной адресацией, показанном на рис.3.4. В устройстве используется мишень из кристалла DKDP 1 с одиночным прозрачным электродом 3, помещённая в вакуумную трубку. Модулирующее пространственное распределение напряжения на кристалле создаётся с помощью модуляции тока сканирующего электронного пучка 2 входной информацией. Задний электрод заземлён, а на катод подан отрицательный потенциал. При записи передняя поверхность кристалла заряжается отрицательно. Стирание осуществляется с использованием вторичной записи с помощью стирающей электронной пушки 4.

Такое устройство имеет число разрешимых точек  $1000 \times 1000$ , разрешение 40 лин/мм. Прибор обычно работает в телевизионном режиме (30 кадр/с) с записью за время сканирования строки и со считыванием за время обратного хода луча.



Рис. 3.3. Устройство ПМС  
«Фототитус»

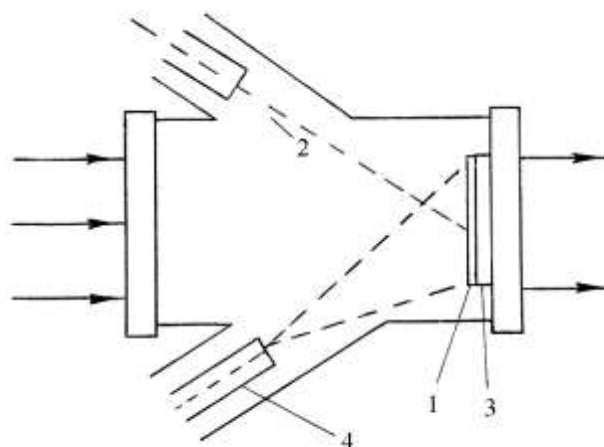


Рис.3.4. ПМС с адресацией  
электронным лучом

### 3.3. Фотоприёмники

Выходные сигналы оптической системы обработки информации обычно регистрируются с помощью квадратичного фотоприёмника, реагирующего на распределение интенсивности света. На стадии исследования оптической системы в качестве фотоприёмника могут использоваться фотодиод с щелью, фотоплёнка, матовый экран, человеческий глаз, вооружённый микроскопом и т.д. В системах обработки, готовых к практическому применению, обычно осуществляется преобразование выходных распределений интенсивности света в электрические сигналы с помощью фотодетекторов, которые работают в реальном масштабе времени. Для систем с одноканальным выходом при этом используются фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Для многоканальных устройств - трубки типа ортikon, диссектор, видикон и другие, в которых элементы фоточувствительной поверхности последовательно опрашиваются электронным

лучом. Наибольшее применение в системах оптической обработки нашли матрицы полупроводниковых фотодетекторов.

Различают два режима работы фотоприёмников: 1) режим непосредственного отсчёта; 2) режим с накоплением заряда. В первом случае выходной электрический сигнал фотоприёмника в каждый момент времени пропорционален интенсивности падающего на него оптического сигнала, а во втором - полной световой энергии, падающей за время накопления. Устройства, работающие с непосредственным отсчётом отличаются повышенным быстродействием (~0,3 мкс), а устройства с накоплением заряда - повышенной чувствительностью.

Для считывания выходных сигналов с отдельных элементов, матричные фотоприёмники могут иметь или независимые выходы с параллельным преобразованием оптических сигналов в электрические, или структуру адресных шин, позволяющих осуществлять последовательный выбор элементов матрицы для считывания. Фотоприёмники с независимыми выводами имеют сравнительно мало фоточувствительных элементов (не более нескольких десятков): дальнейшее увеличение числа элементов нецелесообразно по конструктивным соображениям, связанным с количеством подводящих проводников. Широкое распространение получили ПЗС-фотоматрицы, в которых считывание осуществляется последовательным переносом накопленного за время регистрации заряда по элементам матрицы до выходного регистрирующего узла. ПЗС-фотоматрицы характеризуются высокой чувствительностью, большим числом элементов и хорошо согласуются с последовательным способом ввода информации в ЭВМ, обычно используемой для дальнейшей обработки сигналов.

Кроме основных элементов оптических систем обработки - лазеров, устройств ввода, пространственных фильтров и фотоприёмников, в состав таких систем входят линзы, зеркала, призмы и другие оптические детали. Особенности когерентных устройств требуют высокой точности обработки оптических деталей и их установки в системе. В наиболее чувствительных интерференционных схемах необходимая точность установки составляет десятые доли длины волны используемого света; это требует применения высококачественной оптики и прецизионных механических юстировочных узлов. Важными требованиями при работе когерентных устройств являются отсутствие в системе пыли и движения воздуха.

Промышленностью освоен выпуск лабораторных установок для экспериментальных исследований оптических систем, удовлетворяющих требуемой точности (типа СИН, УИГ и др.). Основанием для крепления оптики в них служат массивные плиты из металла, гранита, бетона; предусмотрена амортизация

оснований от внешней вибрации. Названные выше требования сохраняются и при конструировании малогабаритных переносных систем, однако их выполнение в малогабаритных устройствах значительно упрощается.