

06; 07

© 1990 г.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПВМС ПРИЗ С УСИЛИТЕЛЕМ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. В. Хоменко, М. Г. Шлягин, В. М. Петров, И. О. Железнова

Приводятся результаты исследования основных параметров пространственно-временного модулятора ПРИЗ, работающего совместно с усилителем яркости изображений (электронно-оптическим преобразователем). Выполнен расчет и экспериментально измерены передаточные характеристики при различных рабочих напряжениях, достигнута чувствительность к записываемому свету  $10^{-9}$  Дж/см<sup>2</sup>, выявлены факторы, влияющие на быстродействие ПВМС.

### Введение

Оптически управляемые пространственно-временные модуляторы света (ПВМС) ПРИЗ предназначены для ввода информации в когерентно-оптические системы обработки [1]. Такие модуляторы изготавливаются из фоторефрактивных кристаллов типа  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ , имеют высокую информационную плотность записи (до  $10^5$  бит/см<sup>2</sup>) и обеспечивают низкие потери помехоустойчивости когерентно-оптических спектроанализаторов и корреляторов. Это стимулирует работы, направленные на совершенствование модуляторов типа ПРИЗ, в частности, с целью увеличения чувствительности к записываемому свету и расширения ее спектрального диапазона.

ПРИЗ имеет чувствительность  $\sim 10^{-6}$  Дж/см<sup>2</sup> к синему записываемому свету (420—460 нм). Анализ показывает [1], что такая чувствительность весьма близка к теоретическому пределу для ПВМС, в которых для модуляции света используется электрооптический эффект в кристаллах. Предельная чувствительность таких ПВМС, которая может быть получена при абсолютной эффективности формирования фотоиндуцированного заряда и его оптимальном расположении в структуре модулятора, зависит только от произведения диэлектрической проницаемости кристалла на его полуволновое напряжение. Хотя каждый из этих параметров в отдельности может значительно изменяться от кристалла к кристаллу, их произведение для подавляющего большинства электрооптических кристаллов остается в пределах порядка величины. Представляется, что в такой ситуации нельзя рассчитывать на существенное увеличение чувствительности ПВМС ПРИЗ за счет совершенствования его конструкции или применения новых фоторефрактивных кристаллов. Решением проблемы резкого (на несколько порядков) увеличения чувствительности и значительного расширения ее спектрального диапазона может быть применение внешнего усилителя яркости записываемых изображений, который одновременно с усилением преобразует записываемый свет в синюю область спектра. В качестве такого усилителя может быть использован электронно-оптический преобразователь (ЭОП) или телевизионная система.

Комбинированное устройство, объединяющее ПВМС и ЭОП, может быть выполнено в виде компактного прибора с эффективным использованием света, поступающего с выхода ЭОП. Для этого ПВМС размещается непосредственно на выходном окне ЭОП, выполненном в виде волоконно-оптической планшайбы (ВОП). Такая конструкция была предложена в [2] для модулятора ПРОМ, позднее использована для ПВМС на основе жидких кристаллов [3, 4] и продемонстрирована для модулятора ПРИЗ [5-7].

Данная статья посвящена анализу основных параметров ПВМС ПРИЗ с ЭОП. Рассматриваются факторы, влияющие на форму передаточной характеристики и ограничивающие разрешающую способность, а также чувствительность и быстродействие комбинированного ПВМС.

## 1. Конструкция ПВМС

Было исследовано несколько вариантов конструкции ПВМС ПРИЗ, отличающихся в основном технологичностью изготовления. На рис. 1 схематически показана конструкция одного из экспериментальных образцов. Модулятор изготовлялся из пластины кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ , имеющей ориентацию (110) и толщину 400 мкм. На внешнюю поверхность пластины напылялся прозрачный электрод 3 из  $\text{In}_2\text{O}_3\text{—SnO}_2$ , на вторую поверхность — диэлектрическое зеркало 2. Кристалл склеивался с ВОП двухкомпонентным оптическим клеем ОК-72Ф. Второй прозрачный электрод 4 наносился на поверхность ВОП. Модулятор работал на отражение считывающего света. Диэлектрическое зеркало изготавливалось так, что, отражая красный считывающий свет, оно пропускало синий записывающий свет, поступающий через ВОП с выхода ЭОП.

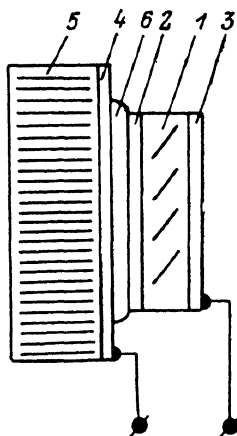


Рис. 1. ПВМС ПРИЗ с ВОП.

1 — пластина кристалла; 2 — диэлектрическое зеркало; 3, 4 — прозрачные электроды; 5 — ВОП; 6 — оптический клей.

Для стыковки с ЭОП модулятор прижимался к его выходному окну поверхностью ВОП. Аналогичным образом ПВМС данной конструкции может быть использован совместно с электронно-лучевой трубкой, образуя по существу электрически управляемый ПВМС. При этом основные выводы об особенностях передаточной характеристики, обсуждаемые ниже, справедливы и для этого случая.

## 2. Расчет передаточной характеристики

Ранее в [1] для расчета передаточной характеристики ПВМС ПРИЗ, не содержащего в своей конструкции ВОП, была использована следующая модель распределения в кристалле фотоиндуцированного заряда. Предполагалось, что модуляция считывающего света обусловлена только положительным зарядом, который располагается в слое кристалла толщиной  $z_0$ , примыкающем к поверхности кристалла у отрицательного электрода. Объемная плотность заряда при записи синусоидальной решетки представлялась в виде

$$\rho(x, z) = \rho_0 (1 + m \sin kx) \text{rect} \left( \frac{2z - z_0}{z_0} \right), \quad (1)$$

где начало координат на оси  $z$ , ортогональной поверхности пластины кристалла, совпадает с ее поверхностью у отрицательного электрода;  $k$  — длина волнового вектора записанной решетки;  $m$  — глубина модуляции решетки;  $\text{rect}(z)$  — функция единичного импульса.

Согласно (1), глубина модуляции заряда  $m$  не зависит в приповерхностном слое кристалла от координаты  $z$ . Такая модель не учитывает некоторых деталей процесса формирования фотоиндуцированного заряда в ПВМС ПРИЗ, например поглощения записывающего света и влияния внутренних полей на дрейф фотовозбужденных носителей [8, 9]. Несмотря на это, расчеты, выполненные на основе этой модели, хорошо согласуются с результатами экспериментального измерения передаточной характеристики модулятора ПРИЗ, выполненными голографическим методом при малых экспозициях записывающим светом, когда модулятор работает в линейном режиме.

Одной из особенностей голографического метода является практически неограниченная глубина фокусировки записываемого изображения синусоидальной решетки. В конструкции модулятора, рассматриваемого в данной работе, записывающий свет проходит через ВОП, образуя на выходе конус лучей, имеющий угол при вершине в несколько десятков градусов. Это ведет к расфокусировке изображения по мере удаления от выходной поверхности ВОП. Расчеты показывают, что такая расфокусировка оказывает существенное влияние на передаточную характеристику модулятора ПРИЗ, где, как известно [10], фотоиндуцированный заряд формируется в слое толщиной в несколько десятков или даже сотен мкм.

Для учета влияния расфокусировки на распределение фотоиндуцированного заряда будем полагать, что распределение интенсивности света  $h(x, y)$  в любом сечении светового конуса, выходящего из точки на поверхности ВОП, является гауссовым, так что

$$h(x, y) = h_0(z) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2B^2(z)}\right). \quad (2)$$

Параметр  $B(z)$  определяет диаметр сечения светового пучка в плоскости, параллельной поверхности ВОП. Если ВОП располагается на расстоянии  $d$  от поверхности кристалла, то  $B(z) = (z+d) \operatorname{tg}(\alpha/2)$ , где  $\alpha$  — угол при вершине светового конуса, определенной по спаду интенсивности в  $\sqrt{e}$  раз. Нормировочный множитель  $h_0(z)$  получим в приближении, когда можно пренебречь поглощением записываемого света в пределах слоя кристалла, в котором происходит формирование заряда. В этом случае  $\int \int h(x, y) dx dy = \text{const}$ , что позволяет получить  $h_0(z) = 1/2\pi B^2(z)$ . Кроме того, для упрощения выкладок угол  $\alpha$  определим для света, распространяющегося в кристалле, и будем полагать, что слои, входящие в структуру модулятора, имеют равные показатели преломления.

Разрешающая способность ВОП, использовавшихся в экспериментах, согласно паспортным данным, составляла 90 л/мм, что заметно превосходит разрешающую способность модулятора ПРИЗ. Поэтому дискретной структурой ВОП можно пренебречь и рассматривать (2) как описание импульсного отклика ВОП в плоскости с координатой  $z$ . Тогда при записи синусоидальной решетки с интенсивностью в выходной плоскости ВОП  $I(x) = I_0(1 + m \sin kx)$  в плоскости  $z$

$$I(x, z) = I_0(1 + mH(k, z) \sin kx), \quad (3)$$

где  $H(k, z)$  — функция, получаемая в результате Фурье-преобразования  $h(x, y)$  по координатам  $x$  и  $y$ .

Для случая, когда  $h(x, y)$  представляется выражением (2),

$$H(k, z) = \frac{1}{2\pi} \exp\left[-k^2(z+d)^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}\right]. \quad (4)$$

Полагая, что заряд формируется в слое кристалла толщиной  $z$ , так что его плотность  $\rho(x, z)$  в каждой точке пропорциональна интенсивности записываемого света, можно записать

$$\rho(x, z) = \rho_0 \left\{ 1 + \frac{m}{2\pi} \exp\left[-k^2(z+d)^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}\right] \operatorname{rect}\left(\frac{2z-z_0}{z_0}\right) \right\} \sin kx. \quad (5)$$

Рассматривая (5) как модель распределения фотоиндуцированного заряда, можно получить формулу для передаточной характеристики ПВМС  $\times(k)$ , воспользовавшись приемами, описанными в [1],

$$\begin{aligned} \times(k) = & \frac{C(k/k) \sqrt{\pi} \rho_0}{\epsilon_0 \epsilon_c k^2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ \operatorname{erf}\left[k(z_0+d) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right] - \operatorname{erf}\left(kd \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right) - \right. \\ & \left. - \frac{\exp\left(4 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}\right)^{-1}}{2 \operatorname{ch} \frac{kd_c}{2}} \left[ A_+ \exp\left(k\left(\frac{d_c}{2} + d\right)\right) + A_- \exp\left(-k\left(\frac{d_c}{2} + d\right)\right) \right] \right\}, \quad (6) \end{aligned}$$

где

$$A_{\pm} = \operatorname{erf} \left[ k(z_0 + d) \pm \left( 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^{-1} \right] - \operatorname{erf} \left[ kd \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \pm \left( 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^{-1} \right],$$

$C(k/k)$  — множитель, зависящий от направления волнового вектора записываемой решетки и определяющий анизотропию передаточной характеристики за счет электрооптического эффекта;  $d_c$  и  $\epsilon_c$  — толщина и относительная диэлектрическая проницаемость кристалла;  $\operatorname{erf}(x) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^x \exp(-t^2) dt$  — функция, называемая интегралом вероятности.

Можно показать, что в пределе больших пространственных частот, когда  $k \gg 1/z_0, 1/d$ , выражение (6) упрощается и принимает вид

$$\kappa(k) = \frac{C(k/k) \sqrt{\pi} \rho_0}{\epsilon_0 \epsilon_c k^2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что при больших пространственных частотах  $\kappa(k) \sim 1/k^2$ . Ранее было показано [1], что для ПРИЗа, конструкция которого не включает ВОП,  $\kappa(k) \sim 1/k$ . Причем экспериментально такая характеристика получена голографическим методом, когда глубина фокусировки записываемой решетки практически неограничена. В то же время передаточная характеристика, при больших пространственных частотах убывающая как  $1/k^2$ , характерна для ПВМС ПРОМ, в котором используется продольный электрооптический эффект.

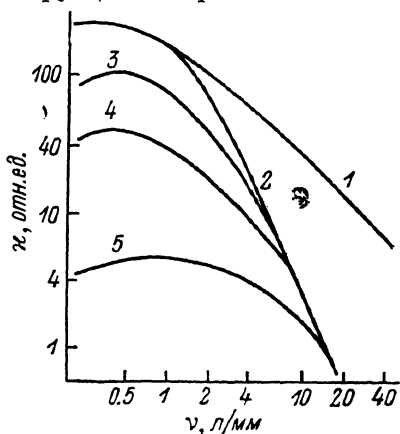


Рис. 2. Расчетные передаточные характеристики ПВМС ПРИЗ.

толщина кристалла 0.5 мм; 1 — при неограниченной глубине фокусировки;  $z_0 = 200$  мкм; 2 —  $\alpha = 60^\circ$ ,  $z_0 = 200$ ; 3 — 100; 4 — 50; 5 — 25 мкм.

Можно сказать, что в определенном смысле причины, приводящие к зависимости  $1/k^2$ , в случае ПРОМа и ПРИЗа с ВОП эквивалентны. В обоих случаях с увеличением пространственной частоты убывает толщина слоя заряда, участвующего в модуляции считываемого света. Однако у ПРОМа это связано с электростатикой [1], а у ПРИЗа с ВОП — с уменьшением глубины фокусировки записываемого изображения.

На рис. 2 показаны результаты расчета передаточной характеристики, выполненные на ЭВМ по формуле (6) при различных значениях толщины слоя заряда  $z_0$ . Как известно [3], толщина  $z_0$  увеличивается с напряжением, приложенным к электродам модулятора во время записи изображения. Поэтому кривые, соответствующие на рис. 2 различным значениям  $z_0$ , можно трактовать как передаточные характеристики модулятора, работающего при различных рабочих напряжениях. Для сравнения здесь же приведена передаточная характеристика модулятора, рассчитанная для случая бесконечной глубины фокусировки ( $\alpha = 0$ ). Эта характеристика в низкочастотной части совпадает с зависимостью  $\kappa(k)$ , рассчитанной для ПРИЗа с ВОП при той же толщине слоя заряда.

Из рис. 2 видно, что при больших пространственных частотах, когда глубина фокусировки меньше толщины слоя заряда, передаточная характеристика в соответствии с (7) не зависит от толщины слоя заряда и, следовательно, от величины рабочего напряжения модулятора. При уменьшении толщины слоя заряда зависимость  $\kappa(k)$  принимает более плоский вид, т. е. разрешающая способность модулятора увеличивается. Расчеты показали, что толщина слоев, отделяющих ВОП от поверхности кристалла, не оказывает существенного влияния на передаточную характеристику ПВМС. Это объясняется тем, что в рас-

четах эта величина принималась равной нескольким мкм и оказывалась малой в сравнении с толщиной заряженного слоя кристалла. Значение в несколько мкм соответствовало суммарной толщине слоя оптического клея, диэлектрического зеркала и прозрачного электрода (рис. 1) в образцах ПВМС, исследованных в данной работе экспериментально.

### 3. Результаты измерения передаточных характеристик

Экспериментально исследовались передаточные характеристики ПВМС ПРИЗ, конструкция которого показана на рис. 1. Модулятор стыковался с ЭОП, имевшим ВОП на входе и выходе, электростатическую фокусировку, ускоряющее напряжение 14.5 кВ, синее свечение люминофора и максимальный коэффициент усиления около 30. Передаточная характеристика измерялась голографическим методом [1]. Изображение синусоидальной решетки генерировалось интерферометром и проецировалось на входное окно ЭОП. В качестве источника записывающего света использовался аргоновый лазер ( $\lambda = 488$  нм). Считывание результатов записи производилось светом гелий-неонового лазера

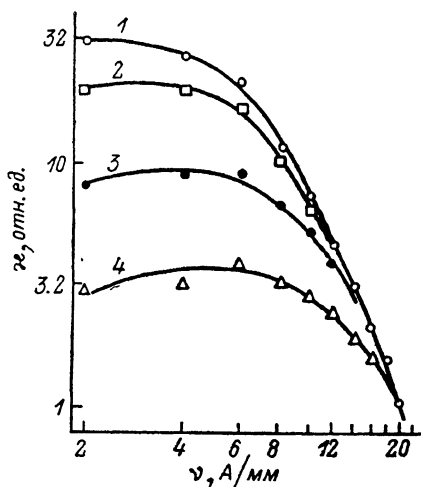
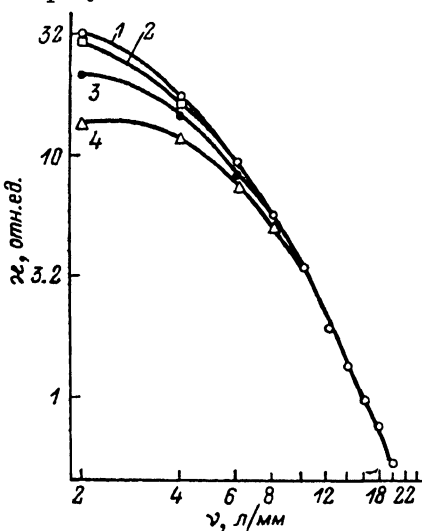


Рис. 3. Результат измерения передаточной характеристики при экспозиции  $W = 5 \cdot 10^{-8}$  Дж/см<sup>2</sup>.

1 —  $U = 1.5$ , 2 — 1.0, 3 — 0.5, 4 — 0.25 кВ.

Рис. 4. Результат измерения передаточной характеристики при  $W = 1 \cdot 10^{-7}$  Дж/см<sup>2</sup>.

1 —  $U = 1.5$ , 2 — 1.0, 3 — 0.6, 4 — 0.25 кВ.

( $\lambda = 633$  нм). Непосредственно в эксперименте измерялась интенсивность дифракции считывающего света  $I_1$  при фиксированной экспозиции записывающим светом на различных пространственных частотах  $\nu$ . Эти данные затем использовались для расчета передаточной характеристики  $x(\nu)$ . Как известно [1],  $x(\nu) \sim \sqrt{I_1}$ . Поскольку передаточная характеристика может быть строго определена лишь для линейной системы, то для контроля линейности записи на ПВМС измерялась интенсивность второго порядка дифракции  $I_2$ . Величина нелинейности записи характеризовалась коэффициентом искажений по второй гармонике, который выражался в процентах и вычислялся как  $100 I_2/I_1$ .

На рис. 3 и 4 приведены зависимости  $x(\nu)$ , полученные при экспозициях  $W = 5 \cdot 10^{-8}$  и  $1 \cdot 10^{-7}$  Дж/см<sup>2</sup> соответственно. Видно, что в основных своих особенностях экспериментальные данные совпадают с результатами расчета, обсуждавшимися выше. В частности, при уменьшении рабочего напряжения модулятора происходит уменьшение амплитуды модуляции на низких пространственных частотах. В то же время при достаточно больших частотах ( $\nu > 8$  л/мм для  $W = 5 \cdot 10^{-8}$  Дж/см<sup>2</sup>) (рис. 3) амплитуда модуляции практически не зависит от рабочего напряжения. Кроме того, построенные в двойном логарифме

ифмическом масштабе зависимости имеют угол наклона  $\gamma$ , для которого  $\operatorname{tg} \gamma$  близок к 2. В то же время для модуляторов ПРИЗ без ВОП  $\operatorname{tg} \gamma = 1$  [1]. Таким образом, сравнение результатов расчета и эксперимента дает основания считать, что существенным фактором, влияющим на передаточную характеристику ПВМС ПРИЗ, работающего совместно с ЭОП, является расфокусировка запи-ываемого изображения в объеме фоторефрактивного кристалла. Эта расфоку-ировка, связанная с расходимостью записывающего света при выходе из ВОП, аметно снижает разрешающую способность модулятора, если он работает ри рабочих напряжениях свыше 1000 В. При уменьшении рабочего напряже-ия влияние расфокусировки ослабляется. Это связано с тем, что с уменьшением напряжения уменьшается толщина слоя заряда, формируемого в процессе аписи, т. е. активного слоя кристалла, в котором происходит запись изобра-ения.

Как видно из рис. 3 и 4, увеличение экспозиции и (или) уменьшение рабо-его напряжения ведут к передаточной характеристике более плоской формы, . е. к увеличению разрешающей способности ПВМС. Одновременно с этим уве-личиваются нелинейные искажения записи. Так, при экспозиции  $5 \cdot 10^{-8}$  Дж/см<sup>2</sup> коэффициент искажений по второй гармонике равен приблизительно 3,3 и 4 % для рабочих напряжений 1500, 1000 и 500 В соответственно. В то же время дя этих же напряжений, но при экспозиции  $1 \cdot 10^{-7}$  Дж/см<sup>2</sup> коэффициент вто-рых гармоник составляет соответственно 10, 13 и 26 %. Таким образом, нели-нейные искажения возрастают не только с увеличением экспозиции, как это отмечалось в [11], но и с уменьшением рабочего напряжения. Последнее может иметь следующее физическое объяснение. Как известно [11], основная причина нелинейности ПВМС ПРИЗ связана с возникновением в объеме кристалла при записи изображения так называемого «узкого горла» электрического поля. В области «узкого горла» внешнее поле, созданное электродами, оказывается в значительной степени экранировано фотоиндуцированным зарядом, накапли-ваемым при записи в прикатодной области кристалла. Это затрудняет удаление электронов, возбужденных записывающим светом из прикатодной области, и ведет к нелинейности записи. При пониженных напряжениях для экрани-рования внешнего поля требуется меньшая плотность фотоиндуцированного заряда и, следовательно, нелинейные искажения начинают проявляться при меньших экспозициях модулятора записывающим светом.

Максимальная дифракционная эффективность, достигнутая в наших экспе-риментах при рабочем напряжении 1.5 кВ и частоте записи 2 л/мм, составила 0.8 %.

#### 4. Чувствительность

При измерении чувствительности к записывающему свету были использо-ваны ЭОП двух типов. Первый из них был однокамерным электростатическим, имевшим максимальный коэффициент усиления, равный 27. Второй — ЭОП с микроканальной пластиной (МКП), коэффициент усиления которого достигал  $10^3$ . Оба ЭОП имели многощелочные фотокатоды, люминофор с синим свечением и ВОП на входе и выходе.

На рис. 5 приведены спектральная зависимость коэффициента усиления электростатического ЭОП и спектральная чувствительность модулятора ПРИЗ, работающего совместно с этим ЭОП. В данном случае чувствительность опре-делялась в голографическом варианте как плотность экспозиции записываю-щим светом, необходимая для достижения дифракционной эффективности  $\eta = 1$  %. Измерения производились при малых экспозициях  $W$ , когда модуля-тор работает в режиме, близком к линейному, и  $\eta \sim W^2$ . Источником записы-вающего света служил монохроматор, освещавший тестовую решетку, изобра-жение которой проецировалось на входное окно ЭОП. Пространственная ча-стота решетки равнялась 2 л/мм. Чувствительность модулятора, измеренная без ЭОП при синем записывающем свете, была  $5 \cdot 10^{-6}$  Дж/см<sup>2</sup>. Рис. 5 показы-вает, что при работе модулятора совместно с ЭОП увеличение чувствительности пропорционально коэффициенту усиления ЭОП  $K$ , причем коэффициент про-порциональности оказался не менее  $K/2$ . Последнее свидетельствует, что спектр свечения люминофора удовлетворительно совпадает с областью максимальной

спектральной чувствительности модулятора и, кроме того, потери света, поступающего с выхода ЭОП, невелики ( $< 50\%$ ). Максимальная чувствительность была достигнута при длине волны записываемого света  $\lambda = 450$  нм и составляла  $10^{-7}$  Дж/см<sup>2</sup>.

Еще более высокая чувствительность была получена при стыковке модулятора ПРИЗ и ЭОП с МКП. В этом случае измерения производились на одной длине волны записываемого света ( $\lambda = 488$  нм), близкой к максимуму спектральной чувствительности фотокатода. При этом чувствительность составляла  $10^{-9}$  Дж/см<sup>2</sup>. Время памяти ПРИЗа может превышать 1 мин. Это позволяет при достигнутой энергетической чувствительности регистрировать изображения с интенсивностью вплоть до  $10^{-10}$ — $10^{-11}$  Вт/см<sup>2</sup>.

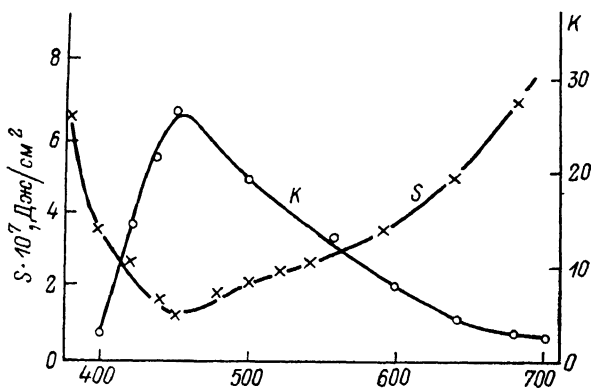


Рис. 5. Спектральная чувствительность  $S$  ПВМС ПРИЗ с электростатическим ЭОПом и коэффициент усиления ЭОПа  $K$ .

## 5. Быстродействие

Минимальное время записи изображений на ПРИЗ после усиления ЭОПом на практике ограничивается максимальной яркостью изображения на выходе ЭОП и чувствительностью самого модулятора ПРИЗ. Для использованного в данной работе электростатического ЭОП ограничение яркости было связано с насыщением люминофора. При записи изображения с такого ЭОП дифракционная эффективность достигала максимального значения на пространственной частоте 2—4 л/мм за 10 мс. С учетом времени, которое необходимо для считывания и последующего стирания изображения, это позволило с исследованными образцами модулятора ПРИЗ обеспечить минимальное время полного цикла работы 40—50 мс, т. е. достигнуть быстродействия 25 Гц.

Максимальная яркость изображения на выходе ЭОП с МКП была на порядок меньше, чем у электростатического ЭОП. Яркость в этом случае ограничивалась насыщением тока МКП. В результате минимальное время записи для ЭОП с МКП было около 200 мс, а быстродействие не превышало 5 Гц. Несмотря на это, ЭОП с МКП может быть использован в системах, требующих более высокого быстродействия при высокой чувствительности. Для этого необходимо использовать дополнительный каскад усиления яркости записываемого изображения после ЭОП с МКП. В качестве такого каскада может быть использован электростатический ЭОП.

## Заключение

Применение совместно с ПВМС ЭОПов в качестве усилителей яркости изображений кардинально решает проблему чувствительности. Представляется, что соответствующие ЭОПы позволяют довести чувствительность ПВМС до величины, необходимой для регистрации отдельных фотонов. При этом, как показали эксперименты, может быть достигнуто быстродействие ПВМС в десятки Гц, что достаточно для решения многих практических задач.

Модулятор ПРИЗ с ВОП может рассматриваться как универсальный ПВМС, который в сочетании с ЭЛТ является электрически управляемым модулятором, а в сочетании с ЭОП — высокочувствительным, оптически управляемым модулятором. Причем в последнем случае чувствительным к записываемому свету элементом оказывается фотокатод ЭОП. Это позволяет не только расширить область спектральной чувствительности, но и полностью развязать тракты записи и считывания изображений. В результате модулятор может использоваться в многокаскадных системах оптической обработки информации, в которых требуется перезапись оптической информации с одного модулятора на другой. Примером многокаскадной схемы может служить когерентно-оптический коррелятор.

Авторы выражают искреннюю признательность С. Г. Шульману за помощь в изготовлении модуляторов, а В. П. Симонову и Б. О. Минасяну за предоставленную возможность использовать в экспериментах ЭОП с МКП.

#### Список литературы

- [1] Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 270 с.
- [2] Nisenson P., Iwasa S. // Appl. Opt. 1972. Vol. 11. N 12. P. 2760—2767.
- [3] Васильев А. А., Касасент Д., Компанец И. Н., Парфенов А. В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
- [4] Думаревский Ю. Д., Костюлюк Н. Ф., Савин А. И. Преобразование изображений в структурах полупроводник—диэлектрик. М.: Наука, 1987. 176 с.
- [5] Бережной А. А., Бужинский А. А., Попов Ю. В. // Опт.-мех. пром-сть. 1985. № 8. С. 24—27.
- [6] Близицов А. М., Гусаков Г. А., Красилькова М. В. и др. // Пространственно-временные модуляторы света для оптической обработки информации. Л.: ФТИ, 1987. С. 74—80.
- [7] Кочкин В. А., Кутаев Ю. Ф., Минасян Б. О., Симонов В. П. // Тез. XIII Всесоюз. конф. «Высокоскоростная голография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов». М., 1987. С. 57.
- [8] Брыксин В. В., Коровин Л. И., Марагонов В. И. // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 6. С. 1133—1138.
- [9] Брыксин В. В., Коровин Л. И., Кузьмин Ю. И. // ФТТ. 1986. Т. 28. Вып. 1. С. 148—155.
- [10] Брыксин В. В., Коровин Л. И., Марагонов В. И., Хоменко А. В. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. Вып. 7. С. 385—390.
- [11] Шлягин М. Г., Хоменко А. В., Брыксин В. В. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 1. С. 119—126.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
29 марта 1989 г.