

h , она равна $\psi_{\Phi}^2/\lambda h (\sqrt{n}\psi_{\Phi} + 1)^2 \text{ см}^{-2}$, соответственно объемная плотность $N_V = \psi_{\Phi}^2/\lambda h^2 (\sqrt{n}\psi_{\Phi} + 1)^2 \text{ см}^{-3}$.

Произведем численную оценку, допуская, что потери света на краях отверстий не должны превосходить 5% (это соответствует, согласно спирали Корню [10], значению $\psi_{\Phi} \approx 0,3$), а влияние соседних элементов уже несущественно, если $b_2 = 3(\lambda h)^{1/2}$. Мы не допустим большой ошибки, если минимальное значение h оценим в 100 мк: эта величина может иметь смысл и как толщина подложки, и как суммарная толщина всех слоев, компонент устройства. Когда $\lambda = 630 \text{ нм}$, плотность размещения элементов равна $\sim 10^5 \text{ см}^{-2}$, при этом $b_1 = 27 \text{ мк}$, $b_2 = 24 \text{ мк}$. С учетом сказанного можно сформулировать основные требования к конструкции устройства, предназначенного для дискретной обработки оптической информации. Эта конструкция должна обеспечивать минимальные расстояния между отдельными плоскостями ($10^{-3} - 10^{-2} \text{ см}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Адирович. Оптоэлектроника.— В кн.: Микроэлектроника. М., «Сов. радио», 1967, вып. 1, с. 75—128.
2. С. В. Свечников. Элементы оптоэлектроники. М., «Сов. радио», 1971.
3. Брей. Переключение с помощью света.— «Электроника», 1965, № 22, с. 3—12.
4. C. E. Land, W. D. Smith. Reflectivemode ferroelectric-photoconductor image storage and display devices.— "Appl. Phys. Lett.", 1973, vol. 23, № 2, p. 57—59.
5. Мейтцлер, Мальдональдо. Сегнетоэлектрические устройства отображения с селективным стиранием и записью.— «Электроника», 1971, т. 3, с. 21.
6. Нисенсон, Иваса. Оптическая обработка информации в реальном масштабе времени с использованием пространственного модулятора на $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.— «Зарубеж. радиоэлектроника», 1973, № 12, с. 3.
7. К. К. Свидзинский, В. П. Лаврищев. Проблемы построения оптоэлектронных систем обработки информации.— «Микроэлектроника», 1973, т. II, вып. 1, с. 3—17.
8. Лоу. Физическая реализация цифровых логических схем.— В кн.: Микромошная электроника. М., «Сов. радио», 1967, с. 30—55.
9. Е. И. Беляев, А. И. Мишин, В. Г. Хрущев. Элементы вычислительной и запоминающей среды на МДП-транзисторах.— В кн.: Вычислительные системы. Вып. 33. Новосибирск, «Наука», 1969, с. 115—140.
10. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., «Наука», 1973.

Поступила в редакцию 7 мая 1974 г.

УДК 621.396.535.8

А. Т. КЛИПКО, П. Е. КОТЛЯР, Е. С. НЕЖЕВЕНКО,
В. И. ФЕЛЬДБУШ, В. С. ШИБАНОВ

(Новосибирск)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ МОДУЛЯТОРЫ СВЕТА НА МОНОКРИСТАЛЛАХ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

Постановка задачи. Реализация оперативной оптической обработки информации сдерживается в основном из-за отсутствия устройств вывода изображений в когерентно-оптическую систему и управляемых пространственных фильтров. Решение этих задач однозначно связано с проблемой высокочувствительных реверсивных сред для записи оптической информации.

На рис. 1 представлена сводная таблица параметров основных типов регистрирующих сред по данным работы [1]. Рассмотрение области высокочувствительных сред ($10^{-5} - 10^{-2} \text{ Дж/см}^2$) показывает, что

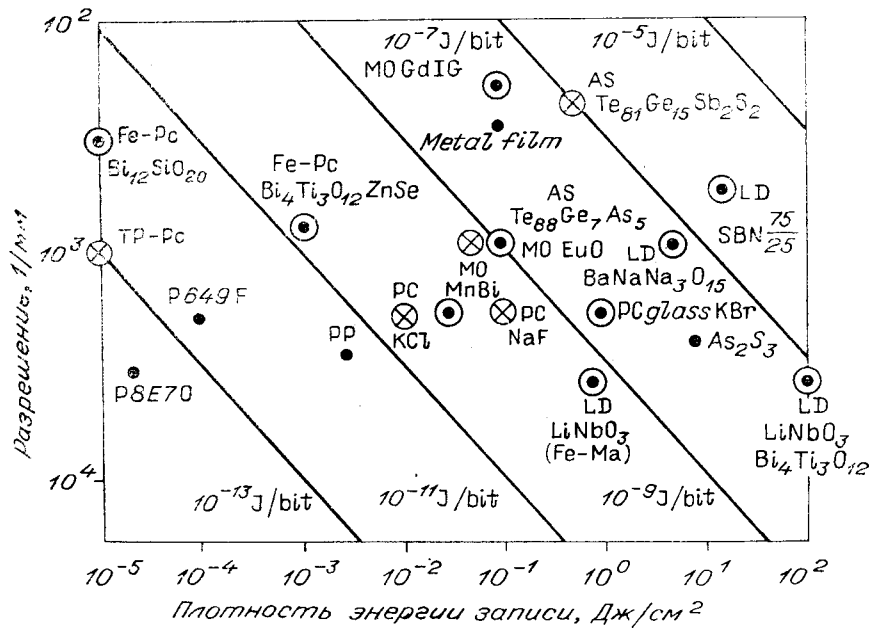


Рис. 1. Плотность энергии записи и разрешение материалов для регистрации оптической информации:

LD — оптическое повреждение; MO — магнитооптика; P — фотоматериалы; PC — фотохромные материалы; PP — фотополимеры; Fe-Pc — сегнетоэлектрик — фотопроводник; AS — аморфные полупроводники; T — термопластики; ● — необратимые регистрирующие среды; ⊗ — среды с ограниченным числом циклов перезаписи; ⊙ — среды с неограниченным числом циклов перезаписи.

в этих материалах информативный световой поток, как правило, служит лишь «катализатором» в процессах формирования изображения, а энергия, необходимая для полного формирования изображения, черпается из других источников (энергия химических реакций, электрических и тепловых полей и т. д.).

Таким образом, высокочувствительная обратимая среда для оптической обработки должна содержать, как правило, два функциональных слоя: фоторезистивный обратимый слой (ФС) и модулирующий слой (МС).

Известны многочисленные комбинации «фотопроводник — модулирующая среда». Достаточно полная классификация физических эффектов, используемых для модуляции светового потока, видов модулирующих сред и созданных на этой основе приборов приведена в обзоре [2].

Особое внимание в этой классификации привлекают материалы, органически сочетающие фотопроводимость в видимой области спектра и линейный электрооптический эффект. Такими материалами являются ZnS, GaAs, ZnSe и соединения типа $n\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot m\text{R}$.

Несомненное достоинство соединений типа $n\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot m\text{R}$ — возможность их получения в виде больших монокристаллов оптического качества и более низкие значения полуволновых напряжений.

Цель этой работы — создание многофункционального оптического устройства, необходимого для восприятия, обработки и отображения больших массивов оптической информации.

Для решения этой задачи потребовалось проведение систематических исследований электрофизических свойств монокристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, выполнение которых позволило осуществлять инженерные расчеты параметров пространственно-временных модуляторов света (ПВМС).

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ТИПА $n\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot m\text{R}$ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПВМС НА ИХ ОСНОВЕ

Соединения типа $n\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot m\text{R}$ (R — окись германия, титана, кремния, алюминия, цинка, свинца и т. д.) относятся к структурному типу силленита [3]. В настоящее время синтезировано более 20 изоморфных соединений силленита, однако все они получены в виде поликристаллических образцов и лишь два изоструктурных соединения (германосилленит $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ [4] и силикосилленит $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ [5, 6]) получены в виде монокристаллов.

Выращивание кристаллов обычно осуществляется методом Чохральского. Силлениты обладают низкой температурой плавления (около 900°C), и в настоящее время отечественной промышленностью оптоэлектрическим эффектом Шоккельса. Так, для германосилленита темновое сопротивление 10^{14} Ом·см уменьшается до $6 \cdot 10^8$ Ом·см при плотности мощности засветки $5,7$ мВт/см² на длине волны гелий-кадмиевого лазера $441,6$ нм. Оптически изотропные в отсутствие электрического поля кристаллы под воздействием поля становятся двулучепреломляющими, причем разность хода между обыкновенной и необыкновенной электромагнитными волнами линейно зависит от приложенного напряжения.

Некоторые варианты конструктивного оформления ПВМС на монокристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ представлены на рис. 2.

Принцип действия устройства в реальном времени сводится к следующему. При экспонировании кристалла светом с длиной волны в диапазоне $380\text{--}450$ нм происходит генерация фотоэлектронов и соответственно резкое снижение сопротивления в засвеченных участках. Внешнее электрическое поле, приложенное к устройству, при этом перераспределяется между слоем К и ПДС. Пространственная модуляция электрического поля в кристалле приводит к локальному изменению коэффициента преломления и наведенному двулучепреломлению.

Устройство может работать и в режиме хранения информации. В этом случае вызванные засветкой фотоэлектроны под действием внешнего электрического поля дрейфуют к электродам ПЭ и захватываются ловушками на границах раздела К—ПДС. Если после экспонирования произвести закорачивание ПЭ, то поле на незасвечен-

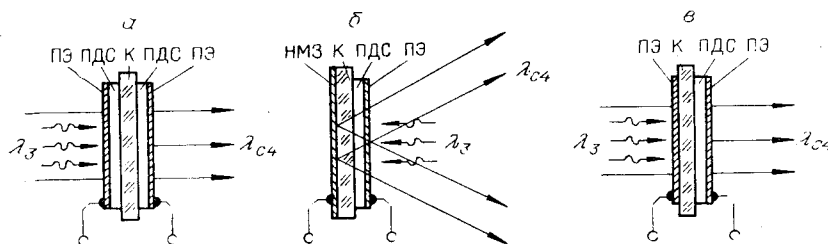


Рис. 2. Различные варианты конструктивного оформления ПВМС:

a — симметричная конструкция, работающая в проходящем свете; *б* — асимметричная конструкция, работающая в отраженном свете; *в* — асимметричная конструкция, работающая в проходящем свете; ПЭ — прозрачный электрод; ПДС — прозрачный диэлектрический слой; К — кристалл, сочетающий электрооптические и фотопроводящие свойства; НМЗ — непрозрачное металлическое зеркало.

ных участках будет нулевым, а в засвеченных участках будет определяться величиной ловушечных зарядов.

Таким образом реализуется двумерная модуляция электрического поля, приложенного к кристаллу.

Характер преобразований, осуществляемых в ПВМС, достаточно наглядно виден из выражения для определения чувствительности:

$$C = (dI_{\text{син}}/d\rho_{\text{кр}}) (d\rho_{\text{кр}}/dE_{\text{кр}}) (dE_{\text{кр}}/dn) (dn/d\varphi) (d\varphi/dI_{\text{кр}}),$$

где $dI_{\text{син}}$ — изменение интенсивности записывающего излучения; $d\rho_{\text{кр}}$ — изменение объемного сопротивления кристалла за счет генерации фотоэлектронов; $dE_{\text{кр}}$ — изменение напряженности поля, приложенного к кристаллу, за счет перераспределения внешнего поля между кристаллом и диэлектриком; dn — изменение показателя преломления кристалла; $d\varphi$ — изменение разности хода между обыкновенной и необыкновенной электромагнитной волной считывающего света; $dI_{\text{кр}}$ — изменение интенсивности считывающего света.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОНОКРИСТАЛЛОВ $n\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot m\text{R}$

Проведенные исследования охватывали спектральные измерения, спектросенситометрические измерения, изучение вольт-амперных и фотоэлектрических характеристик монокристаллических пластин $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ с целью получения данных, необходимых для конструирования ПВМС.

Образцы для исследований. Образцы для спектральных измерений представляли собой плоскопараллельные пластины из германосилленита размерами $15 \times 15 \times 1,015$ мм, силикосилленита размерами $15 \times 15 \times 0,54$ мм, вырезанные в направлении (100) и обработанные по 14-му классу чистоты. Для выполнения электрофизических измерений испытывались образцы тех же размеров, на обе поверхности которых методом высокочастотного напыления были нанесены прозрачные электроды из $\text{SnO}_2 + \text{In}_2\text{O}_3$.

а) Спектральные характеристики $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.

Спектральные характеристики пропускания и отражения монокристаллического германосилленита представлены на рис. 3. Измерения проводились на спектрофотометре СФ-14, оборудованном специальным приспособлением для измерения коэффициента отражения. Кривые 1, 1' соответствуют образцу толщиной 1,015 мм, а кривые 2, 2' и 3, 3' — образцу той же толщины с прозрачными проводящими покрытиями. Расчетные значения коэффициентов поглощения и отражения были выполнены для трех значений длин волн:

$\lambda_{\text{max}} = 420$ нм (максимум спектральной фотопроводимости материала), $\alpha_1 = 20,4$ 1/см, α_2 и $\alpha_3 = 24$ 1/см;

$\lambda_{\text{зап}} = 441,6$ нм (ближайшая лазерная линия к длине волны, соответствующей максимуму фотопроводимости), $\alpha_1 = 12,6$ 1/см; α_2 и $\alpha_3 = 14,6$ 1/см;

$\lambda_{\text{счит}} = 632,8$ нм — длина волны считывающего света в наших экспериментах $\alpha_1 = 0,2$ 1/см, α_2 и $\alpha_3 = 0,3 - 0,4$ 1/см.

Аналогичные измерения, выполненные на образцах силикосилленита, дали следующие значения коэффициентов поглощения:

для $\lambda_{\text{max}} = 420$ нм $\alpha_1 = 30$ 1/см, α_2 и $\alpha_3 \sim 35$ 1/см;

для $\lambda_{\text{зап}} = 441,6$ нм $\alpha_1 = 24$ 1/см, α_2 и $\alpha_3 \sim 28$ 1/см;

для $\lambda_{\text{счит}} = 632,8$ нм $\alpha_1 = 1,3$ 1/см, α_2 и $\alpha_3 \sim 0,8$ 1/см.

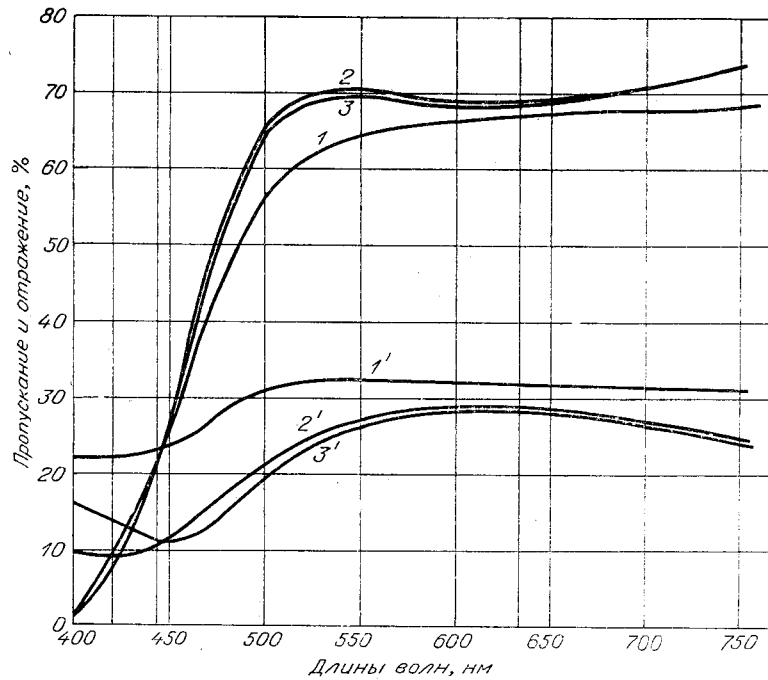


Рис. 3. Спектры пропускания и отражения монокристаллического германосилленита (толщина образца 1 мм).

Измерения, выполненные в ИК диапазоне, показывают, что полоса прозрачности $Bi_{12}GeO_{20}$ и $Bi_{12}SiO_{20}$ простирается до 6 микрон.

Полученные значения коэффициентов поглощения наряду с высокой однородностью монокристаллов свидетельствуют о высоком оптическом качестве исследованных монокристаллов, превосходящих производимые фирмой «United Mineral and Chemical Company» (США) (см. работу [7]).

Характер кривых показывает, что рациональным выбором толщины прозрачных проводящих покрытий можно добиться частичного просветления материала.

б) Спектральная фотопроводимость.

Зависимости спектральной фотопроводимости монокристаллического силикосилленита от напряженности электрического поля представлены соответственно на рис. 4.

Изменение длины волны падающего света осуществлялось с помощью монохроматора МДР-2. Токковые измерения выполнялись по схеме с охраняемым кольцом,

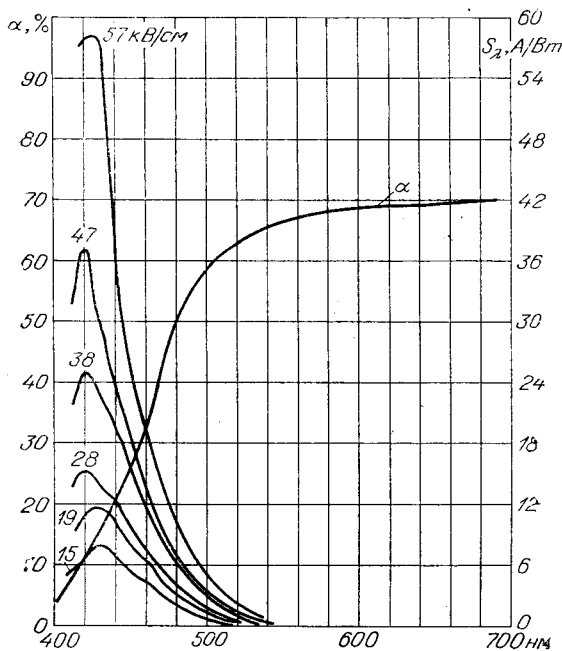


Рис. 4. Спектральная фотопроводимость образцов монокристаллического силикосилленита (толщина образца 0,54 мм).

и результаты фиксировались цифровым прибором типа ВК2-20. Изменение удельной мощности осуществлялось прибором ИМО-2 и фотодиодным измерителем мощности на базе фотодиода ФД-7к.

В обоих материалах максимум спектральной фотопроводимости соответствует длине волны 420 нм. Однако положение максимума фотопроводимости не является абсолютным (с увеличением толщины образца максимальное значение фотопроводимости уменьшается и смещается в длинноволновую область).

Рассмотрим влияние конечной толщины фотопроводящего слоя на фотопроводимость. При создании и анализе ПВМС нас интересует случай, когда направления распространения света и приложенного электрического поля параллельны и направлены поперек слоя. Из рис. 3, 4 следует, что в области существования фотоэффекта всегда имеется достаточно сильное поглощение света. Это приводит к тому, что в соответствии с законом Ламберта из-за поглощения интенсивность света для каждого элементарного сечения ФС не остается постоянной, а экспоненциально убывает.

Интенсивность света по мере проникновения в глубь образца убывает по закону $I = I_0 e^{-\alpha x}$. Концентрация носителей равна $n_0 + \Delta n_x$, причем Δn_x уменьшается по глубине образца по тому же закону. Разобьем образец на слои толщиной dh . Так как все слои dn оказываются включенными последовательно, то фотопроводимость образца в значительной степени определяется глубинными слоями dn , обедненными носителями тока.

В связи с этим толщина кристалла должна выбираться с учетом коэффициента поглощения в максимуме фотопроводимости (или на длине волны записи) таким образом, чтобы неоднородность поглощения не превышала некоторой заданной величины m .

Типичные расчетные кривые, устанавливающие оптимальную связь между фотопроводимостью и толщиной образца для различных значений коэффициента поглощения и m , представлены на рис. 5.

Используя приведенные выше данные о поглощении образцов на длине волны записи и принимая $m = 0,7$, получаем, что максимальная глубина модуляции сопротивления для образцов силикосилленита практически достигается при толщинах менее 140 мкм и для образцов германосилленита — при толщинах менее 240 мкм (рис. 5).

Наблюдаемое в экспериментах резкое увеличение фотопроводимости с ростом напряженности поля связано, по-видимому, с увеличением подвижности фотоиндуцированных носителей.

в) Вольт-амперные и фотоэлектрические характеристики.

Изучение вольт-амперных характеристик монокристаллов необходимо для получения данных о температурном сопротивлении и его изменении при освещении, которые являются исходными для решения задачи согласования монокристалл — диэлектрический слой.

Общая задача согласования монокристалл — диэлектрический слой сводится к определению «кватизименовой» проводимости монокристаллической пластинки, находящейся под воздействием считывающего светового потока ($\lambda_{\text{счит}} = 632,8$ нм). Затем определяется изменение фотопроводимости под воздействием записывающего излучения ($\lambda_{\text{зп}} = 441,6$ нм).

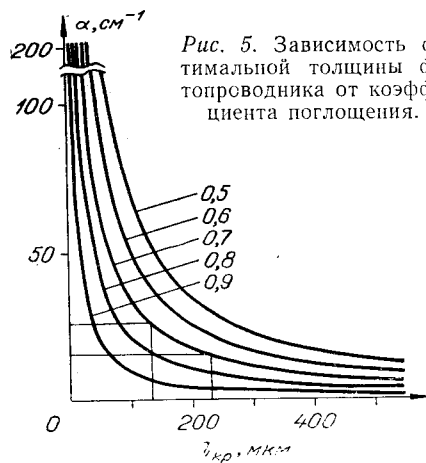


Рис. 5. Зависимость оптимальной толщины фотопроводника от коэффициента поглощения.

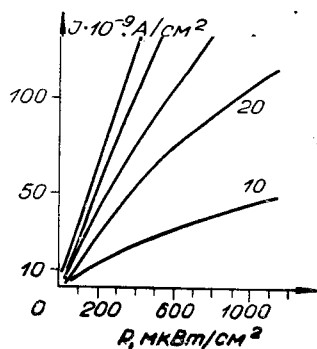


Рис. 6. Зависимость плотности фототока от удельной плотности мощности засветки ($\lambda = 632,8$ нм) и напряженности электрического поля для германосилениита (толщина образца 1 мм).

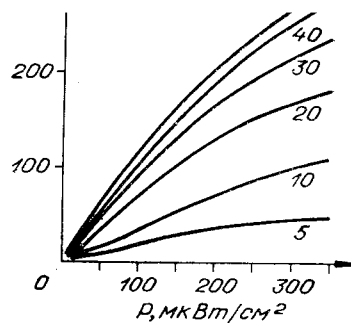


Рис. 7. Зависимость плотности фототока от удельной плотности мощности засветки ($\lambda = 441,6$ нм) и напряженности электрического поля для германосилениита (толщина образца 1 мм).

На рис. 6, 7 представлены соответствующие фотоэлектрические характеристики для широкого диапазона изменения мощностей падающих световых потоков. Значения темнового сопротивления для $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ $\rho_{\text{темн}} \sim 1 \cdot 10^{14}$ Ом·см и для $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ $\rho_{\text{темн}} > 10^{15}$ Ом·см.

Отношение фоточувствительностей на длине волны записи ($\lambda_{\text{зап}} = 441,6$ нм) и считывания ($\lambda_{\text{чит}} = 632,8$ нм), характеризующее коэффициент усиления ПВМС по яркости, составило для $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 3000 и 1600 для $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТОВ ПВМС

Первые экспериментальные исследования макетов ПВМС на силениитах стали возможными благодаря успешному синтезу монокристаллов, необходимых размеров и оптического качества [4], и работам [8—9].

Разработанный нами симметричный и асимметричный (см. рис. 2, в) макет ПВМС, работающий в проходящем свете, представлял собой плоскопараллельный монокристаллический диск $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ толщиной 1,0 мм и диаметром 40 мм ориентации (100), на одну поверхность которого наносился прозрачный электрод, а с другой поверхностью с помощью различных клеев или иммерсии осуществлялся оптический контакт с омическим согласованной пластинкой из оптического стекла, на наружную поверхность которой также был нанесен прозрачный электрод из $\text{SnO}_2 + \text{Zn}_2\text{O}_3$. [В симметричной конструкции ПВМС (см. рис. 2, а) осуществлялся оптический контакт монокристаллического диска с двумя прозрачными диэлектрическими слоями из оптического стекла].

Для омического согласования выполнялось условие

$$\rho_d I_d = I_{\text{кр}} (\rho_{\text{кр-темн}} \rho_{\text{кр-осв}})^{1/2},$$

где ρ_d — удельное объемное сопротивление диэлектрика; $\rho_{\text{кр-осв}}$

и $\rho_{кр-темн}$ — удельное объемное сопротивление освещенного и затемненного кристалла; l_d — толщина диэлектрического слоя; $l_{кр}$ — толщина кристалла.

Запись информации осуществлялась путем проектирования на кристалл тестовых двухградационных и полутоновых транспарантов на длине волны 441,6 нм. Схема записи и считывания информации на ПВМС представлена на рис. 8. Вызванная засветкой пространственная модуляция электрического поля в кристалле

приводила к локальному изменению коэффициента преломления и наведенному двулучепреломлению и визуализировалась с помощью лазерных призм Глана. Пропускание устройства на 632,8 нм составило 60%, на 441,6 нм — 15%. Полуволновое напряжение 5920 В. Напряжение питания ПВМС составляло 7,0 кВ. На рис. 9 представлены микрофотографии тестовых изображений. Были осуществлены также успешные эксперименты по записи оптической информации немонахроматическим светом обычной проекционной лампы и лампы-вспышки.

С помощью специального электромеханического коммутатора осуществлялись изменения полярности напряжения, приложенного к ПВМС, и режимы холостого хода и короткого замыкания электродов. На рис. 10 представлено электрически инвертированное изображение на ПВМС. Для считывания информации использовался линейно-поляризованный красный свет проектора и He-Ne лазер.

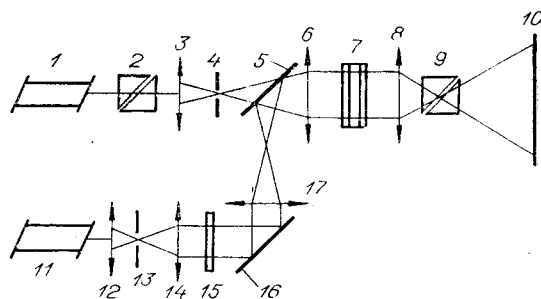


Рис. 8. Схема записи и считывания информации на ПВМС:

1 — He-Ne лазер с $\lambda=632,8$ нм; 2, 9 — поляризационные призмы; 3, 12 — микрообъективы; 4, 13 — диафрагмы; 5 — светоделитель; 6, 8, 14, 17 — объективы; 7 — ПВМС; 15 — входной транспарант; 11 — He-Cd лазер с $\lambda=441,6$ нм; 16 — зеркало; 10 — выходная плоскость.

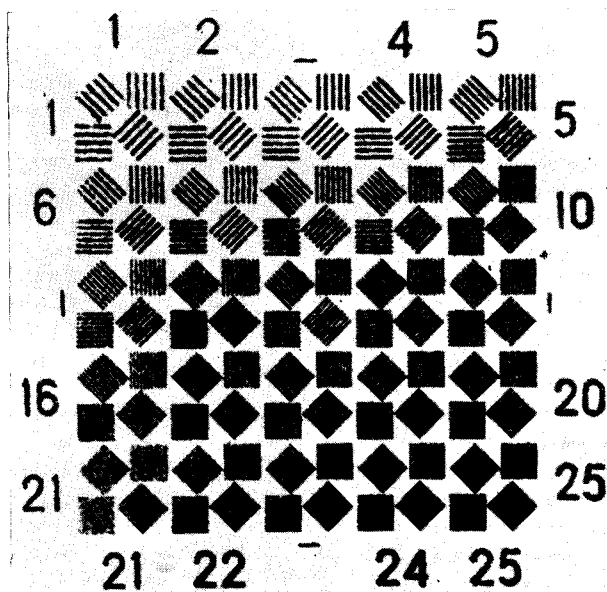


Рис. 9. Тестовая мира, записанная на ПВМС (размер мины на кристалле 4×4 мм).

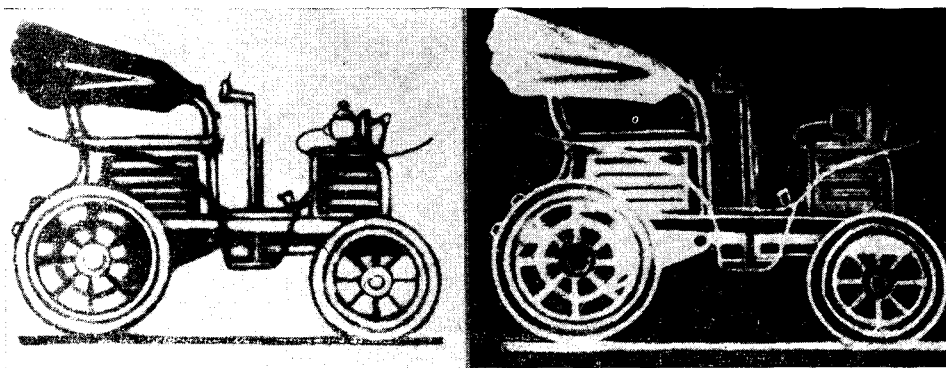


Рис. 10. Электрически инвертированное изображение на ПВМС.

Стирание информации осуществлялось изменением полярности напряжения питания (в асимметричной конструкции) и засветкой устройства расколмированным лучом He-Cd лазера или обычной лампой-вспышкой.

Помимо обычной записи оптической информации, были осуществлены также режимы электрического инвертирования, сложения и вычитания массивов.

Энергоемкость, необходимая для достижения максимального контраста, составила $2,5 \cdot 10^{-5}$ Дж/см²; разрешение — около 40 л/см и определялось разрешающей способностью проекционной оптики; контраст изображений — более 100/1; к. п. д. ПВМС по свету — более 40%; время записи и стирания информации порядка 1 мс; время хранения информации в темноте около 5 мин; коэффициент усиления яркости изображений при считывании информации на 632,8 нм — 300. На макете ПВМС было осуществлено более 1000 циклов перезаписи. Каких-либо усталостных явлений устройство не обнаруживает.

Конструктивное оформление устройства представлено на рис. 11. Разработанная конструкция ПВМС объединяет основные элементы оптической схемы рис. 8.

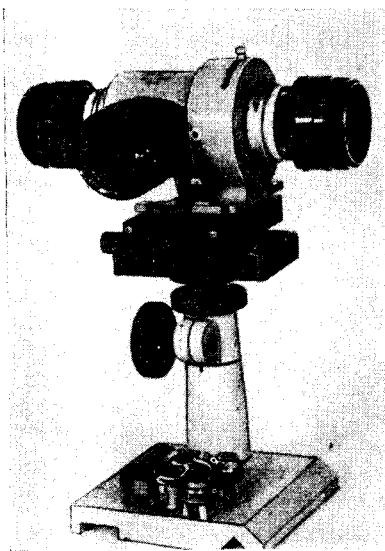


Рис. 11. Конструктивное оформление ПВМС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально показано, что ПВМС на $Bi_{12}GeO_{20}$ наиболее полно реализует основные преимущества оптической обработки информации: 1) параллельную обработку больших массивов информации; 2) полное устранение межэлементных соединений.

Многофункциональность ПВМС определяется его способностью осуществлять: 1) восприятие оптической информации с чувствительностью порядка 10^{-5} Дж/см²; 2) обработку (выполнение полного набора арифметических и логических операций при обработке аналоговой и цифровой оптической информации) [10]; 3) отображение оптической информации с одновременным усилением яркости ($K=300$).

Практически достигнуты характеристики ПВМС, приемлемые для его использования в системах оперативной обработки оптической информации.

Проводится дальнейшая работа по улучшению технических характеристик устройства и детальному исследованию механизма формирования потенциального рельефа и предельно достижимого разрешения.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность Т. И. Греховой за предоставленные образцы монокристаллов, В. К. Машиновскому, П. Е. Твердохлебу и Б. И. Спектору за постоянное внимание к работе и помощь в проведении экспериментов и А. М. Васильеву и А. Н. Опарину за полезные обсуждения и содействие в конструктивном оформлении опытных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. O. N. Tuite, D. Chen. Significant advance make optical storage the leading contende for mass memories of the future.— "IEEE Spectrum", 1973, № 10, p. 26.
2. А. И. Косарев, В. К. Соколов. Пространственно-временные модуляторы света.— «Зарубеж. радиоэлектроника», 1974, № 8, с. 59.
3. А. С. Сонин, А. С. Василевская. Электрооптические кристаллы. М., Атомиздат, 1971.
4. A. A. Ballman. The growth and properties of piezoelectric bismuth germanium oxide ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$).— "J. Cristal Growth", 1967, vol. 1, p. 37.
5. А. И. Сафонов, С. А. Барышев, Т. И. Никифорова, Г. Н. Антонов, С. А. Федюлов. Выращивание и оптические свойства монокристаллов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.— «Кристаллография», 1968, т. 13, вып. 5, с. 914.
6. Б. Н. Литвин, Ю. В. Шалдин, И. Е. Питовранова. Синтез и электрооптические свойства монокристаллов Si-силленита.— «Кристаллография», 1968, т. 13, вып. 6, с. 1106.
7. R. E. Aldrich, S. L. Hou, M. L. Harvill. Electrical and optical properties of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.— "J. Appl. Phys.", 1971, vol. 42, № 1, p. 493.
8. S. L. Hou, D. S. Oliver. Pockels readout optical memory using $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.— "Appl. Phys. Lett.", 1971, vol. 18, № 8, p. 325.
9. S. Lipson, P. Nisenson. Imaging characteristics of the Itek PROM.— "Appl. Opt.", 1974, vol. 13, № 9, p. 2052.
10. P. Nisenson, S. Iwasa. Real time optical processing with $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ PROM.— "Appl. Opt.", 1972, vol. 11, № 12, p. 2760.

Поступила в редакцию 2 февраля 1976 г.

УДК 537.226.33

А. Э. КАПЕНИЕКС, Э. Э. КЛОТИНЬШ, А. Э. КРУМИНЬ,
А. Р. ШТЕРНБЕРГ
(Рига)

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПЫТ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСПАРАНТОВ ИЗ ПРОЗРАЧНОЙ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ

Введение. Прошло около девяти лет со времени появления первых сообщений о перспективах использования прозрачной сегнетокерамики (СК) в устройствах для оптической записи, запоминания, обработки и выдачи информации (разработка сотрудников «Sandia Laboratories» Ленда и Хартлинга, США, 1967 г.) Интересно, что в этом же году в США были начаты также первые исследования в области голографических запоминающих устройств.