

РАБОТА МДЦМ-СТРУКТУРЫ С ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМ СЧИТЫВАНИЕМ
В РЕЖИМЕ ЗАПИСИ И СТИРАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ГАЗОВЫМ ЛАЗЕРОМ

Г. Басов, В. Н. Батог, И. Н. Компанец,
А. Е. Краснов, В. В. Никитин, Г. М. Сайронов, В. А. Степанов

Создание и исследование МДЦМ-структур с оптическим считыванием представляет значительный интерес с точки зрения применения их в качестве запоминающих устройств для параллельной обработки информации, а также в качестве высокочувствительных приемников и преобразователей светового излучения. Известно /1/, что структура металл-диэлектрик-высокоомный полупроводник обладает свойством запоминать действие внешних источников ионизации, накапливая в приэлектродной области свободные носители заряда. Для этого к структуре надо приложить электрическое напряжение, под действием которого носители дрейфуют к границе раздела полупроводник-диэлектрик, создавая поверхностный заряд и тем самым экранируя поле в объеме полупроводника. Таким образом происходит запись оптического сигнала (изображения). Оптическое считывание, не нарушающее записанной информации, может осуществляться длинноволновым излучением, для которого данный полупроводник прозрачен, например, за счет электрооптического эффекта /2,3/. В данной работе исследовалась динамика записи и стирания информации когерентным светом He-Cd лазера для несимметричной структуры на основе фоточувствительного электрооптического кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ /4/.

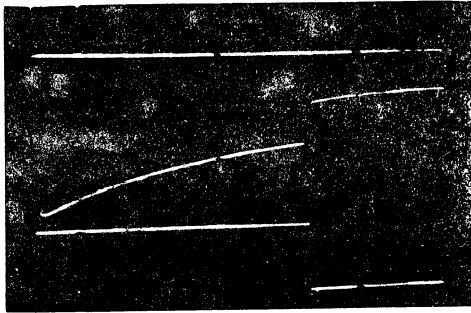
Конструктивно структура состояла из ориентированной по плоскости (100) плоскопараллельной пластинки $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ толщиной $d_1 = 150$ мкм с нанесенным на одну сторону зеркальным серебряным электродом, а также из изолирующей пленки и прозрачного проводящего слоя SnO_2 на кварцевой подложке с другой стороны пластинки. Полимер Ф32Л толщиной $d_2 = 5$ мкм обеспе-

чивал необходимые изолирующие свойства, выдерживая без пробоя электрические поля $E \sim 10^6$ в/см, и был прозрачен в широкой области спектра. Используемый фотополупроводник имел темновое сопротивление $\rho \sim 10^{13}$ ом.см, а коэффициент поглощения K в нем на длине волны записи 0,44 мкм составлял 80 см^{-1} . Непрерывное фиксирование состояния кристалла осуществлялось излучением He-Ne лазера ($\lambda = 0,63 \text{ мкм}$) по эффекту Поггелса в схеме с отражением /3/, компенсирующей оптическую активность $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_2$. Измеренное полуволновое напряжение для него было равно 5,1 кв. С учетом диэлектрических параметров пленки ($\epsilon_d = 2$) и кристалла ($\epsilon_n = 40$) прикладываемое напряжение (0 - 500 в) в отсутствие освещения распределялось в структуре в отношении $U_n/U_d = \epsilon_d d_n / \epsilon_n d_d = 1,5$.

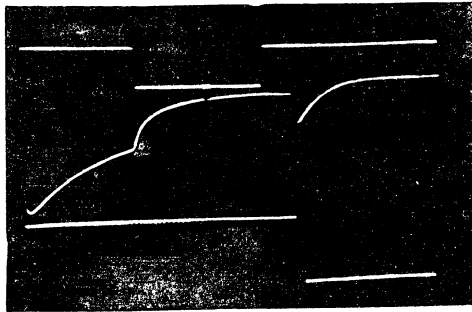
Динамику экранирования поля в полупроводнике в процессе записи информации иллюстрируют осциллограммы, представленные на рис. 1. В отсутствие импульса He-Cd лазера при подаче импульса поля на структуру форма сигнала электрооптического отклика в основном повторяет форму импульса поля (рис. 1а). Наблюдаемый спад амплитуды отклика объясняется эффектом самоэкранирования поля в кристалле равновесными носителями, а также свободными носителями, образующимися под действием внешнего поля и красной подсветки. При включении импульса света (рис. 1б) сигнал отклика уменьшается вследствие экранирования поля в объеме полупроводника. Степень и время экранирования определяются количеством иницируемых носителей, то есть интенсивностью света. При падающей на полупроводник плотности светового потока $I \sim 10 \text{ мвт/см}^2$ полное экранирование наблюдалось при напряжениях U на структуре вплоть до 200 в ($U_n = 120 \text{ в}$). Время полного экранирования поля, достигнутое при этом, составило $5 \cdot 10^{-4}$ сек. Отсюда энергетическая чувствительность данной структуры на $\lambda = 0,44 \text{ мкм}$ оценивается в $5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/см}^2$, или $4 \cdot 10^{-8} \text{ Дж/см}^2$. Последняя оценка является более универсальной. Подсчитаем также количество зарядов, необходимых для экранирования поля $U_n = 120 \text{ в}$. Если плотность поверхностного заряда на границе раздела полупроводник-диэлектрик обозначить σ_s , то, интегрируя уравнение Пуассона, получим

$$\epsilon_d E_d - \epsilon_n E_n = 4\pi \sigma_s \quad (1)$$

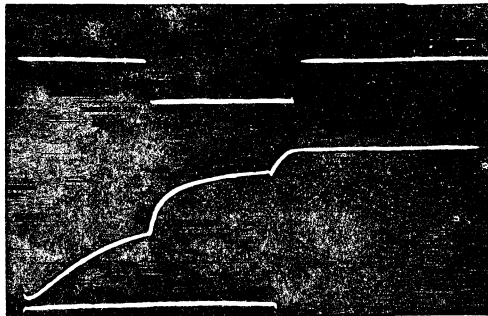
а



б



в



Р и с. 1. Динамика работы структуры: а) импульс света отсутствует, б) запись информации, в) стирание информации. Нижний луч - импульс электрического поля ($U = 200$ в), верхний луч - импульс He-Cd лазера длительностью 10 мсек ($I \sim 4$ мвт/см²), средний луч - импульс электрического поля (отч. эд.).

и тогда

$$U_n = (U \epsilon_0 d_n - d_0 d_n \sigma_s 4\pi) / (\epsilon_0 d_n + \epsilon_n d_0). \quad (2)$$

Отсюда необходимая плотность заряда

$$\sigma_s = U \epsilon_0 / 4\pi d_0, \quad (3)$$

и количество зарядов $n_s = \sigma_s / e = 0,4 \cdot 10^{12}$ (здесь e - заряд электрона).

По осциллограммам, снятым при напряжениях 0 - 200 в на МДПМ-структуре, была определена зависимость времени экранирования поля $\tau_{\text{экр}}$ от степени освещенности полупроводника I (см. рис. 2). Скорость записи информации определяется скоростью образования поверхностного заряда σ_s потоком свободных носителей из объема полупроводника

$$d\sigma_s/dt = j_n = en\mu(E_0 - \alpha\sigma_s), \quad (4)$$

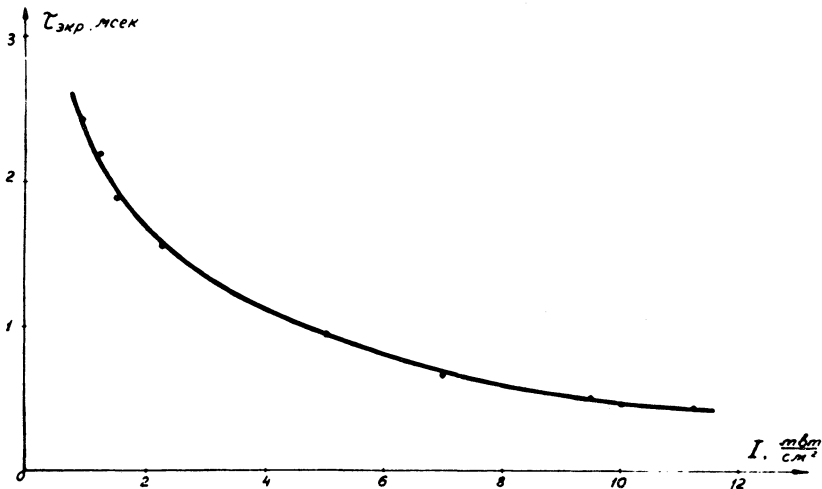
где: n - концентрация свободных носителей; μ - подвижность носителей; $\alpha = 4\pi d_0 / (\epsilon_0 d_n + \epsilon_n d_0)$ вводится на основании (2). Считая, что время записи больше эффективного времени жизни носителей $\tau_{\text{эфф}}$ и что $\Delta n \gg n_0$, где n_0 - концентрация равновесных носителей, получаем

$$\tau_{\text{экр}} = (\alpha e \mu \beta k T \tau_{\text{эфф}})^{-1}, \quad (5)$$

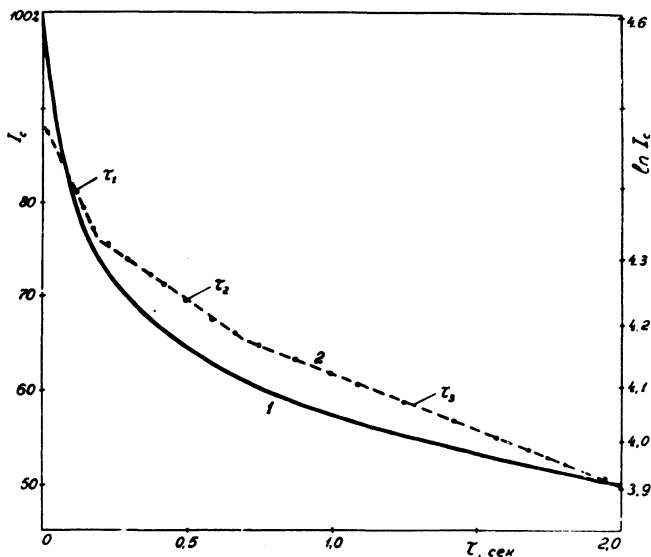
так как $\Delta n = \beta k T \tau_{\text{эфф}}$ (здесь β - квантовый выход). Имеем $\tau_{\text{экр}} \sim I^{-1}$, что согласуется с экспериментальным результатом для времен $\tau_{\text{экр}}$, больших $5 \cdot 10^{-4}$ сек. Для меньших времен $\tau_{\text{экр}}$, достигаемых при плотности излучения свыше 10 мвт/см^2 , имеет место переход к зависимости $\tau_{\text{экр}} \sim I^{-1/2}$, характерной для случая $\tau < \tau_{\text{эфф}}$. Измерение фотоотклика также дало величину эффективного времени жизни носителей для данного материала $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ сек.

Исходя из экспериментальных результатов можно оценить подвижность носителей. На основании (5) и полагая $\beta = 0,1$, находим $\mu = (\tau_{\text{экр}} \alpha e \beta k T \tau_{\text{эфф}})^{-1} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см/в.сек.}$ Такое значение подвижности, по-видимому, связано с недостаточно высокой чистотой материала $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (99,99%).

При выключении импульса света в присутствии электрического поля поверхностный заряд на границе полупроводник-диэлектрик



Р и с. 2. Зависимость времени записи от интенсивности возбуждающего излучения.



Р и с. 3. Временная характеристика "памяти" структуры: 1 - изменение сигнала электрооптического отклика; 2 - логарифмический график кривой 1.

полностью рассасывался за время ~ 20 сек. Характер изменения заряда, зафиксированный по изменению электрооптического отклика на осциллографе с послесвечением, изображен на рис. 3 (кривая I). Кривая 2 является логарифмической функцией кривой I и указывает на существование нескольких времен рекомбинации ($\tau_{1,2,3}$), связанных с наличием поверхностных ловушек различного типа.

Применение МДЦМ-структур в качестве элементов памяти требует оперативного стирания записанной информации. На рассматриваемой структуре оно осуществлялось также излучением He-Cd лазера. Осциллограмма рис. 1в отражает динамику процесса стирания при снятии электрического поля со структуры. Время стирания зависит от интенсивности света, поскольку определяется потоком генерируемых носителей, которые дрейфуют в поле поверхностного заряда. Так как процессы стирания и записи информации носят одинаковый характер, то время стирания будет не большим, чем время записи. Тем не менее готовность структуры к новому циклу записи, очевидно, будет определяться эффективным временем жизни носителей в объеме полупроводника.

Полученные в работе результаты можно считать обнадеживающими. Кроме того, они позволяют наметить пути дальнейших исследований. В заключение авторы благодарят О. Я. Майсурадзе, С. И. Сагитова, П. Д. Березина и А. А. Васильева за помощь в проведении работы, а также Ковтоника Н. Ф., Морозова В. А., И. А. Полуэктова и А. С. Семенова за полезные обсуждения.

Поступила в редакцию
20 марта 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Ф. Ковтоник и др. ФТП, 5, II74 (1971).
2. D. S. Oliver et al. Appl. Phys. Letts., 17, 416 (1970).
3. S. L. Hou, D. S. Oliver. Appl. Phys. Letts., 18, 325 (1971).
4. Г. М. Сафронов и др. Неорганические материалы, 6, 284 (1970).