

07;12

## Устройство оптической памяти на основе планарных щелевых структур

© Б.Н. Денисов, Е.М. Бибанина, В.И. Беглов

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
E-mail: bib-em@mail.ru

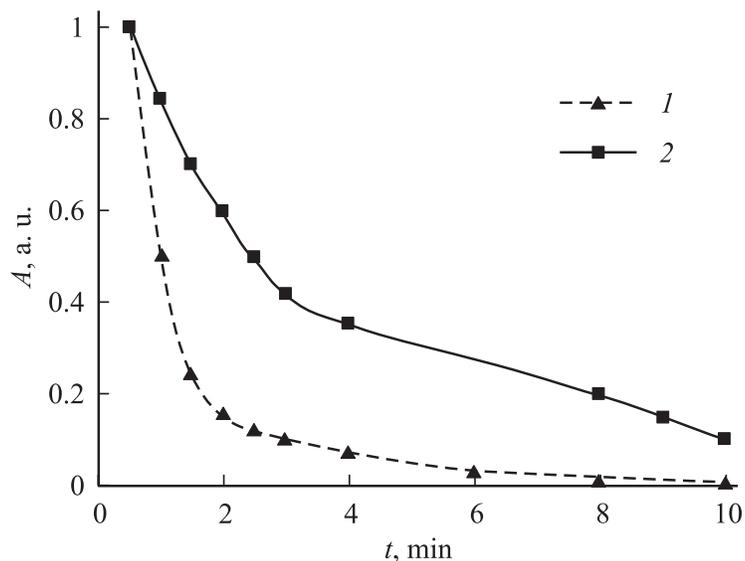
Поступило в Редакцию 23 мая 2005 г.

Предложена конструкция ячейки памяти на основе электролюминесцентных планарных щелевых структур с порошковыми люминофорами, обладающими фоторезистивным эффектом. Проведено исследование времени хранения оптической информации в зависимости от температуры для различных люминофоров с рекомбинационным типом свечения. Получено выражение кинетики восстановления изображения.

PACS: 42.79.Vb

Создание запоминающих устройств, способных длительное время хранить и отображать оптическую информацию многократно, является важной задачей оптоэлектроники. В качестве устройств оптической памяти нами были использованы электролюминесцентные конденсаторы на основе планарных щелевых структур, представляющих собой систему проводящих алюминиевых дорожек (электродов), нанесенных методом фотолитографии на подложку из ситалла [1,2]. Расстояние между проводящими дорожками составляло  $70\ \mu\text{m}$  при их ширине  $30\ \mu\text{m}$ . Площадь исследуемой структуры была  $0.8\ \text{cm}^2$ . При приложении к структуре напряжения меньше порогового и освещении светом возникает явление „запоминания“ освещенных участков структуры. Если после прекращения освещения (фотовозбуждения) отключить напряжение и спустя некоторое время замкнуть контакты структуры, то возникает вспышка свечения областей, которые были освещены светом.

Нами были проведены исследования зависимости интенсивности вспышки свечения структур на основе люминофоров ЭЛ-515 и ЭЛ-525 от времени хранения и температуры. На рис. 1 приведена зависимость интенсивности вспышки в максимуме от времени хранения при различных температурах для люминофора ЭЛ-515. Возбуждение образца



**Рис. 1.** Зависимость интенсивности вспышки свечения от времени хранения изображения для структуры с люминофором ЭЛ-515 при температуре 295 К (1) и 77 К (2).

осуществлялось светом  $\lambda = 365 \text{ nm}$ , выделенной из спектра свечения кварцевой лампы накаливания с помощью монохроматора МДР-23. Интенсивность облучения составляла  $\sim 10^{-9} \text{ W/cm}^2$ . Измерения интенсивности вспышек проводились с помощью фотоумножителя (ФЭУ-100) спустя различные промежутки времени после снятия возбуждения, длительность которого составляла 180 с. Напряжение, прикладываемое к образцу, равнялось 120 В. Как видно из рис. 1, с повышением температуры время хранения оптической информации резко уменьшается. Это явление связано с повышением проводимости зерен люминофора. Исследование центров захвата люминофора ЭЛ-515 методами термостимулированной емкости и термовысвечивания показали наличие донорных уровней с глубиной залегания 0.149 eV. При температуре 293 К эти уровни являются полностью ионизованными, что приводит к значительному увеличению проводимости зерен люминофора. Использование

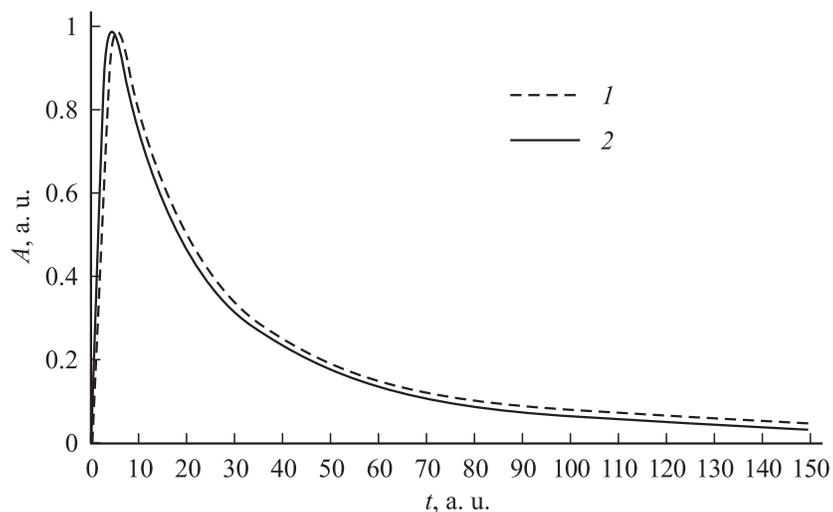
другого люминофора марки ЭЛ-525 позволило увеличить срок хранения оптической информации при 77 К до одного часа. Мы предполагаем, что разница во времени хранения информации связана с тем, что омическое сопротивление структуры с люминофором ЭЛ-525 было в 3–5 раз больше, чем у структуры на основе люминофора ЭЛ-515.

Рассмотрим механизм явления оптической памяти. Исследуемые образцы являются симметричными структурами металл–диэлектрик–полупроводник (МДП), где в роли диэлектрика выступает пленка окиси алюминия, образующаяся на поверхности металла алюминия за счет окисления на воздухе. В качестве полупроводника использовались люминофоры с рекомбинационным типом свечения. При освещении такого полупроводника светом происходит переход электронов в зону проводимости и под действием приложенного напряжения часть электронов выходит из области кристалла на границу с диэлектриком. После отключения света и внешнего поля свободные носители удерживаются на границе кристаллов полем заряда металлических дорожек. Эти дорожки образуют плоский конденсатор. Разряду такого конденсатора препятствует слой диэлектрика (окиси алюминия) на поверхности дорожек и высокое сопротивление зерен люминофора. После удаления заряда с дорожек за счет замыкания контактов, свободные носители из приконтактных областей возвращаются в объем кристалла и рекомбинируют с излучением со свободными центрами свечения.

Нами был исследован процесс развития интенсивности вспышки во времени. Для исследований использовались вышеуказанные марки электролюминофоров. На рис. 2 (1) приведена нормированная осциллограмма вспышки свечения ( $A$  (a.u) =  $A/A_{\max}$ ,  $t' = t \cdot 10^6$ ), которая наблюдалась на структуре с люминофором ЭЛ-515 спустя 30 s после снятия освещения. Рассмотрим математическую модель кинетики вспышки свечения при восстановлении изображения. В случае полной экранировки приложенного к конденсатору поля величина объемного заряда на границах зерен может быть найдена с помощью соотношения [3]:

$$n = \frac{E\varepsilon\varepsilon_0 S}{e}, \quad (1)$$

где  $E$  — напряженность электрического поля, создаваемая объемным зарядом,  $n$  — концентрация носителей заряда на границах зерен,  $e$  — элементарный заряд,  $\varepsilon_0$  — электрическая постоянная,  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость люминофора,  $S$  — площадь контактов. Получим



**Рис. 2.** Экспериментальная (1) и теоретическая (2) осциллограммы вспышек свечения структуры с люминофором ЭЛ-515.

математическую модель вспышки свечения. При расчете будем полагать, что возвращение свободных носителей с границ зерен в объем кристаллов начинается после разряда конденсатора при замыкании контактов. В нашем случае емкость структуры составляла  $\sim 100$  пФ, а время разряда конденсатора  $\sim 10^{-10}$  с. Процесс возвращения зарядов с границ зерен в объем кристаллов является более медленным ( $\sim 10^{-6}$  с), так как омическое сопротивление отдельных кристаллов  $R \sim 10^6 \Omega$ . После возвращения разделенных зарядов в объем кристаллов они рекомбинируют с центрами свечения с излучением. Предположим, что скорость возвращения неравновесных зарядов в объем кристаллов равна скорости уменьшения концентрации разделенных зарядов на границах зерен за счет возвращения их в объем люминофора:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_0}{RC} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right), \quad (2)$$

где  $n_0$  — начальная концентрация разделенных зарядов на границах зерен,  $C$  — емкость зерен люминофора. Дифференциальное уравнение

изменения концентрации ионизованных центров свечения при возвращении свободных носителей с границ зерен кристаллов в объем будет иметь вид:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_0}{RC} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) - \beta n^2, \quad (3)$$

где  $\beta$  — коэффициент рекомбинации. Уравнение (3) было решено нами численным методом в системе Mathcad. На рис. 2 (2) представлен теоретический график нормированной зависимости интенсивности вспышки свечения ( $A$ , а.е.) от времени ( $t'$ ). При нормировке полагалось, что интенсивность свечения (quantum/s) в максимуме равна единице ( $A_{\max} = \beta n^2 = 1$ ). При этом из (3) следует, что в точке максимума должно выполняться соотношение  $[(n_0/RC) \exp(-t'_{\max})]/A_{\max} = 1$ , где  $t'_{\max}$  — нормированное значение времени в максимуме кривой разгорания. Расчет кривой был проведен при следующих значениях нормированных параметров в уравнении (3):  $n_0/RC A_{\max} = 35.5$ ,  $\beta = 0.00095$ . Хорошее соответствие экспериментальной и теоретической кривых, представленных на рис. 2, говорит о корректности выбранной для расчета модели.

Из проведенных исследований следует, что для получения устройств памяти на основе планарных симметричных МДП-структур необходимо использовать люминофоры с рекомбинационным типом свечения. Разрешающая способность таких структур сравнима с размером зерна люминофора и составляет  $5 \div 10 \mu\text{m}$ . Для получения цветных изображений необходимо использовать смеси люминофоров, излучающих в различных областях спектра. Технология создания планарных структур позволяет получать запоминающие устройства большой площади ( $> 10 \text{ dm}^2$ ).

## Список литературы

- [1] Денисов Б.Н., Бибанина Е.М., Горюнов В.А., Никишин Е.В. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 11. С. 47–51.
- [2] Денисов Б.Н., Горюнов В.А., Королев А.П., Бибанина Е.М. Электролюминесцентный источник света. Патент 2175468, Россия, МПК-7 НО5 В33/26, F21K2/08. Оpubл. 27.10.2001. Бюл. № 30.
- [3] Ковтонюк Н.Ф., Сальников Е.Н. Фоточувствительные МДП-приборы для преобразователей изображений. М.: Радио и связь, 1990. 160 с.