

ЯЧЕЙКИ ОПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ ПЛАНАРНОЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ

Денисов Б. Н., Горюнов В. А., Бибанина Е. М.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
Тел. (834-2) 29-07-63, E-mail: boris117@mail.ru

Аннотация. Описана конструкция ячейки оптической памяти на основе планарной электролюминесцентной структуры. Предложен механизм записи оптической информации в таких структурах. Проведены исследования зависимости интенсивности вспышки излучения от времени хранения и температуры для различных типов электролюминофоров с рекомбинационным типом свечения. Предложена математическая модель явления оптической памяти.

Ключевые слова: оптическая память, конструкция, планарная технология, электролюминесценция, интенсивность вспышки, время хранения, температура, исследование, модель.

Создание недорогих запоминающих устройств, способных длительное время хранить и отображать оптическую информацию многократно является актуальной задачей оптоэлектроники. Известно, что порошковые электролюминесцентные конденсаторы (ЭЛК) находят свое применение не только как источники излучения, но и как устройства для долговременного хранения оптической информации [1]. Следовательно, они могут осуществлять несколько функций, т.е. являются многофункциональными устройствами. Устаревшая технология изготовления порошковых ЭЛК – главное препятствие их применения и совершенствования. Поэтому нами была разработана новая технология изготовления порошковых ЭЛК, совместимая с технологией применяемой в микроэлектронике. Полученный нами ЭЛК представляет собой планарную щелевую структуру с системой проводящих алюминиевых дорожек (электродов), нанесенных методом фотолитографии на подложку из ситалла, поверх которых в виде спиртовой суспензии нанесен слой люминофора [2, 3]. Высокое качество современных порошковых люминофоров, простота разработанной нами технологии изготовления ЭЛК на их основе, высокая светоотдача, сравнимая с плёночными ЭЛК, делают перспективными полученные порошковые ЭЛК при создании различных устройств на их основе, в том числе, и в качестве устройств оптической памяти.

Рассмотрим процесс осуществление записи оптической информации с помощью данной структуры. На устройство одновременно подавались постоянное напряжение (ниже порогового) и освещение ($\lambda = 365$ нм). После отключения освещения через различные промежутки времени осуществлялось считывание оптической информации путем короткого замыкания образца. При этом наблюдалась вспышка свечения областей, предварительно возбужденных светом. Интенсивность вспышки зависела от времени прошедшего с момента отключения освещения образца и температуры. С понижением температуры интенсивность вспышки возрастала при сохранении условий записи.

Рассмотрим механизм оптической памяти в данных структурах. Исследуемые образцы являются симметричными структурами металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) [4]. В роли диэлектрика выступает пленка окиси алюминия, образующая на поверхности металла за счет окисления на воздухе. В качестве полупроводника выступает слой люминофора с рекомбинационным типом свечения. При освещении такого полупроводника светом происходит переход электронов в зону проводимости, а 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 (Al_2O_3) на поверхности дорожек. После снятия заряда с дорожек за счет замыкания контактов, свободные носители возвращаются в объем кристалла и рекомбинируют со свободными центрами свечения с излучением.

Нами были проведены исследования зависимости интенсивности вспышки свечения

структур на основе люминофоров ЭЛ-515 и ЭЛ-525 от времени хранения запасенной оптической энергии и температуры. Было показано, что с повышением температуры время хранения оптической информации резко уменьшается. Это явление связано с повышением проводимости зерен люминофора. Измерения интенсивности вспышек проводились через различные промежутки времени после снятия возбуждения. Было замечено, что интенсивность вспышки для люминофора ЭЛ-515 при температуре $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ значительно меньше, чем для люминофора ЭЛ-525. Мы предполагаем, что разница во времени хранения информации связана с тем, что омическое сопротивление структуры с ЭЛ-525 было в 3–5 больше раз, чем у структуры на основе ЭЛ-515. Согласно проведенным измерениям, сопротивление структур составляло $10^{11}\div 10^{12}$ Ом в темноте и $10^{10}\div 10^{11}$ Ом при освещении. Следовательно, сопротивление слоя люминофора было на порядок выше, чем сопротивление диэлектрического слоя на поверхности дорожек. Емкость структур была равна ~ 50 пФ в отсутствии освещения и 400 пФ при освещении. Исходя из этих измерений, можно сделать вывод, что за счет токов утечки происходит разряд конденсатора. За время $t = RC \approx 40\text{ с}$ накопленный заряд уменьшится в e раз. Поэтому, если сопротивление люминофора меньше, то и время хранения меньше. Для резкого увеличения времени хранения необходимо увеличить толщину диэлектрического слоя на поверхности алюминиевых дорожек. Сопротивление диэлектрика должно быть сравнимо или на порядок больше, чем сопротивление освещенного образца ($R_d = 10^{12}\div 10^{13}$ Ом). Это позволит довести время хранения оптической информации при комнатной температуре до величины ~ 60 минут, а при азотной – до ~ 12 часов.

Рассмотрим математическую модель явления оптической памяти на основе предложенного механизма. В случае полной экранировки величина объемного заряда на границе зерен может быть найдена с помощью соотношения [4, 5]:

$$E_{\text{э}} = en / (\varepsilon_{\text{л}} \varepsilon_0 S), \quad (1)$$

где $E_{\text{э}}$ – напряженность электрического поля, создаваемая объемным зарядом, n – концентрация носителей в области объема, S – площадь контактов. Воспользуемся более простым соотношением

$$en = CU, \quad (2)$$

где C – емкость конденсатора, U – приложенное напряжение. Из уравнения (2) находим:

$$n = CU / e. \quad (3)$$

Энергия излучения вспышки может быть найдена согласно [4, 5]:

$$W = hv\gamma n = hv\gamma CU / e, \quad (4)$$

где γ – квантовый выход. Выражение (4) верно для случая полной экранировки. Получим выражение математической модели вспышки свечения. При расчетах будем полагать, что время возвращения свободных носителей с границ зерен кристаллов определяется временем стекания зарядов с металлических дорожек конденсатора. Закон изменения числа носителей зарядов на обкладках конденсатора запишется в виде:

$$N = N_0 \exp(-t / RC), \quad (5)$$

где N_0 – начальное число зарядов на обкладках конденсатора. Дифференциальное уравнение изменения числа ионизованных центров при возвращении свободных носителей с границ зерен кристаллов в объем будет иметь вид:

$$dN / dt = (N_0 / RC) \exp(-t / RC) - \beta N^2. \quad (6)$$

Уравнение (6) не имеет решения в элементарных функциях, поэтому оно было решено нами численным методом в системе Mathcad. На рис. 1 приведена осциллограмма вспышки свечения, которые наблюдалась на структуре с люминофором ЭЛ-515. Кривая получены спустя 30 с после отключения света. Длительность возбуждения составляла 3 минуты ($\lambda = 365\text{ нм}$). На рис. 2 представлен теоретический график зависимости интенсивности вспышки свечения от времени при следующих значениях параметров в уравнении (6): $RC = 10^{-6}\text{ с}$, $\beta = 5 \cdot 10^{-8}\text{ с}^{-1}$, $N_0 = 1$ отн.ед. Хорошее соответствие кривых, представленных на рис. 1 и рис. 2, говорит о правильности выбранной для расчета модели.

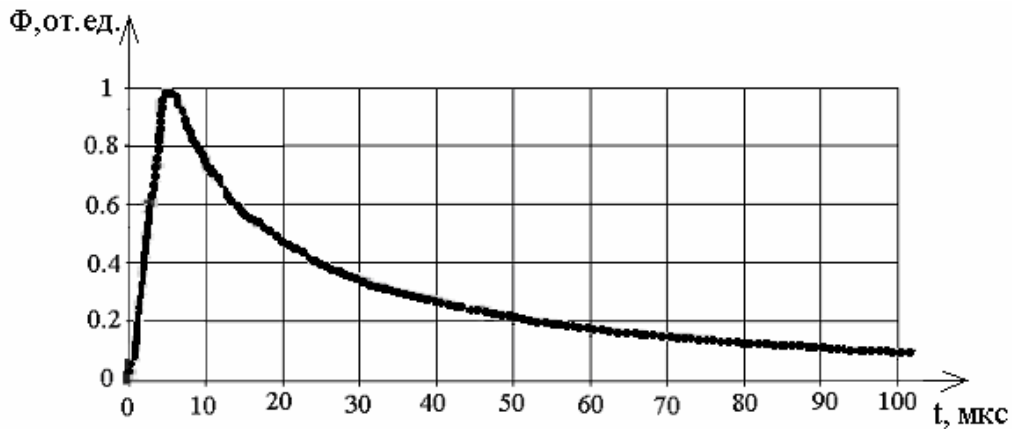


Рис. 1. Оциллограмма вспышки свечения структуры с люминофором ЭЛ-515

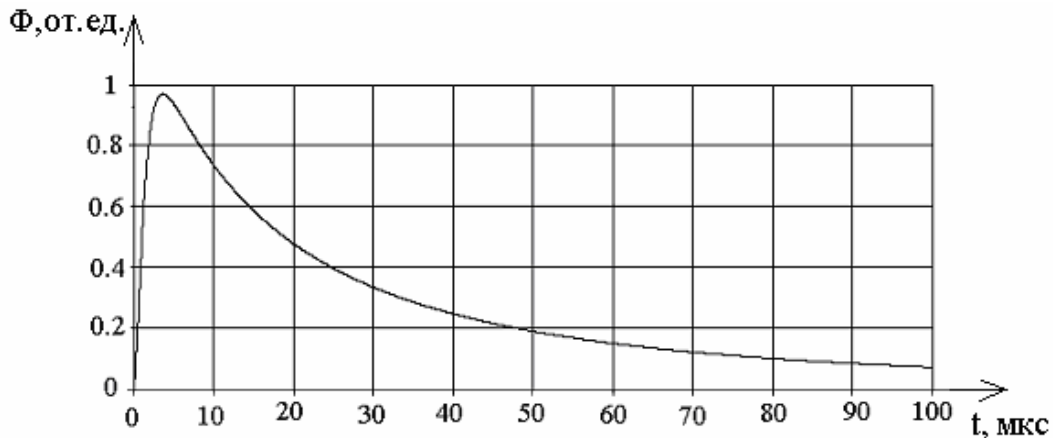


Рис. 2. Теоретический график зависимости интенсивности вспышки свечения от времени

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 5–10 мкм. Для получения цветных изображений необходимо использовать смеси люминофоров, излучающих в различных областях спектра. Технология создания планарных структур позволяет получать запоминающие устройства большой площади.

Литература

1. Ковтонюк Н.Ф., Сальников Е.Н. Фоточувствительные МДП-приборы для преобразователей изображений. М.: Радио и связь, 1990. –160 С.
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. Денисов Б.Н., Бибанина Е.М., Беглов В.И. Устройство оптической памяти на основе планарных щелевых структур.//Письма ЖТФ.–2006.–Т.32.–Вып.4–С.70–75.
4. Ковтонюк Н.Ф. Электронные элементы на основе структур полупроводник – диэлектрик. М.: Энергия, 1976.–184С.
5. Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.М., Воробьев А.А. и др. Теория диэлектриков. М.-Л.: Энергия, 1965.–344С.