

## ЛИТЕРАТУРА

1. J. Feimleib, D. S. Oliver. Reusable optical image storage and processing device.—“Appl. Opt.”, 1972, vol. 11, p. 2752.
2. И. Бордонья, С. А. Кениман, И. И. Амадей. Обратимые среды для хранения голографической информации.—«Зарубеж. радиоэлектроника», 1973, № 11, с. 68.
3. Э. Г. Косцов, З. В. Шапочанская. Диффузионные процессы в тонких пленках.—«Вычислительные системы», 1972, вып. 52, с. 21.

Поступила в редакцию 27 февраля 1976 г.

УДК 539.216.2.53.547 : 537

И. Л. БАГИНСКИЙ, Э. Г. КОСЦОВ, Л. Н. СТЕРЕЛЮХИНА

(Новосибирск)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ПРИЛИПАНИЯ В ПЛЕНКАХ СИЛИКАТА ВИСМУТА

Одним из перспективных направлений работ по созданию оптических реверсивных сред для записи информации представляется создание многослойных конструкций на базе тонких слоев электрооптических материалов. Модуляция коэффициента преломления в указанных слоях осуществляется внутренним электрическим полем, создаваемым за счет захвата электронов локальными центрами за время воздействия импульса напряжения. Пример подобной конструкции описан в [1]. Ее динамические свойства определяются в основном процессом образования заряда и его изменением в темноте и на свету и могут быть охарактеризованы совокупностью параметров:  $N_t$  — концентрация центров захвата электронов,  $E_t$  — энергетическая глубина их залегания,  $\sigma$  — сечение захвата электрона,  $\sigma_{opt}$  — сечение фотоионизации центра в электрооптическом материале.

В настоящей работе рассмотрены некоторые особенности распределения заряда в тонких слоях электрооптического материала силиката висмута. Изготовление образцов осуществлялось методом ВЧ-распыления, толщина текстурированного слоя составляла 0,5—2 мк. Величина накопленного в диэлектрике заряда определялась интегрированием тока разряда ловушек, возникающего после окончания действия одиночного прямоугольного импульса напряжения. При исследовании «глубоких» ловушек, время разряда которых составляло 0,3—10<sup>3</sup> с и более, использовался совмещенный с электрометром интегратор тока, а при исследовании «мелких» — запоминающий осциллограф. Длительность одиночных импульсов напряжения составляла 4·10<sup>-7</sup>—10<sup>-3</sup> с. Для компенсации емкостной составляющей тока, вызванной разрядом и зарядом геометрической емкости МДМ-системы, использовалась мостиковая схема, аналогичная описанной в работе [2]. Точность компенсации составляла 10<sup>-13</sup> Ф, время разряда геометрической емкости было меньше 10<sup>-7</sup> с.

Анализ экспериментальных данных проводился, исходя из уравнения, описывающего кинетику захвата электронов на моноэнергетические ловушки:

$$dn_t/dt = -\tau n_t + n_1 \sigma v (N_t - n_t), \quad (1)$$

где  $n_t$  — концентрация электронов, захваченных на ловушки;  $v$  — тепловая скорость электронов;  $n_1$  — их концентрация в зоне проводимости, определяемая величиной тока;  $\tau = \sigma v N_c \exp(-E_t/kT)$  в темноте,  $\tau = \sigma v N_c \exp(-E_t/kT) + \sigma_{opt} N_\Phi$  на свету,  $N_c$  — эффективная плотность

квантовых состояний в зоне проводимости,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура,  $N_\Phi$  — плотность потока фотонов.

Указанный выше метод накладывает ограничения на возможность наблюдения «мелких» ловушек, таких, которые успевают разрядиться за время действия заднего фронта импульса  $t_1$  или за время, характеризующее инерционность регистрирующих приборов  $t_2$ . Наблюдение же вклада в ток разряда «глубоких» ловушек зависит от чувствительности измерительных приборов. Таким образом, энергетическая «щель» размещения уровней захвата в запрещенной зоне, поддающаяся зондированию методом заряда — разряда ловушек, достаточно узка в силу экспоненциальной зависимости времени опустошения ловушек от  $E_t$ , и мы имеем основание при анализе экспериментальных данных использовать уравнение (1). Изменением температуры окружающей среды или подачей на образец постоянного смещения в момент действия импульса напряжения возможно перемещение указанной «щели», ширина которой для «мелких» ловушек составляла 0,1—0,12 эВ, а для «глубоких» — 0,09—0,13 эВ в достаточно широком диапазоне энергетического спектра (0,1—1,5 эВ).

На рисунке представлены типичные кривые, характеризующие изменение плотности накопленного в диэлектрике заряда в зависимости от напряженности электрического поля. Как видно, величина заряда достигает насыщения, соответствующего заполнению уровней в достаточно узком интервале энергий (для кривой  $A$  — 0,35—0,45 эВ, для  $B$  — 0,6—0,7 эВ); этот момент дает возможность оценить  $N_t$ .

Величина  $\sigma_{opt} = 1/N_\Phi n_t (dn_t/dt|_c - dn_t/dt|_i)$  определялась путем исследования тока разряда в темноте и на свету и оказалась равной  $10^{-20}$ — $10^{-21}$  м<sup>2</sup> для центров с  $E_t = 0,6$ — $0,7$  эВ. Фотопроводимость слоев силиката висмута имеет примесный характер; установлена высокая фоточувствительность, когда длина волны возбуждающего света 632,8 нм в отличие от кристаллов  $Bi_{12}SiO_{20}$ . Механизм возрастания тока при освещении образца заключается в частичном опустошении светом ловушек, в уменьшении объемного заряда, сосредоточенного на неподвижных центрах, и его влияния на уровень инжекции электронов в диэлектрик. Эффективное понижение глубины залегания ловушек при действии света, как нетрудно показать, можно выразить следующим образом:

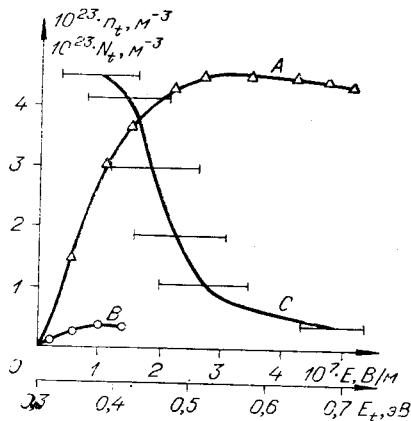
$$\Delta E_t = kT \ln \{ 1 + [\sigma_{opt} (N_\Phi) / (\sigma v N_c)] \exp(E_t/kT) \}. \quad (2)$$

Для высокой плотности тока, достигаемой при импульсном воздействии, когда зондированию доступны более «мелкие» ловушки, эффект увеличения тока в момент освещения даже с высокой интенсивностью света не наблюдался. Указанное обстоятельство обусловлено в данном случае небольшой величиной  $\Delta E_t$ , определяемой в основном значением  $E_t$  и равной приблизительно  $10^{-2}$  кТ.

Величина  $\sigma/\mu_{эфф}$  ( $\mu_{эфф}$  — эффективная подвижность электронов) оценивалась, исходя из анализа скорости накопления заряда в первые моменты времени после подачи импульса напряжения:

$$\sigma/\mu_{эфф} = dn_t/dt|_{t \rightarrow +0} eE / (N_t v j), \quad (3)$$

где  $j$  — плотность тока при  $t \rightarrow +0$ ,  $E$  — напряженность электрического



Зависимость  $n_t$  от  $E_t$ : при  $A$   $E_t = 0,37 \pm 0,05$  эВ, при  $B$   $E_t = 0,68 \pm 0,05$  эВ;  $C$  — зависимость  $N_t$  от  $E_t$ .

поля. Эта величина оказалась равной  $5 \cdot 10^{-14}$  В/с для «мелких» уровней и  $10^{-14}$  — для «глубоких».

Получение значения  $\mu_{эфф}$  является сложной комплексной задачей, так как этот параметр — нелинейная функция от других параметров:  $N_i$ ,  $j$ ,  $E_i$ ,  $t$ ,  $\sigma$ . Непосредственное определение величины  $\mu_{эфф}$  путем наблюдения всплеска тока в момент прихода переднего фронта электронов к аноду [2] показало, что она превышает значение  $10^{-5}$  м<sup>2</sup>/В·с.

Исходя из кинетики разряда, установлено значение  $E_i$  для двух вышеуказанных групп уровней. Оно оказалось равно 0,35—0,45 и 0,6—0,7 эВ. Однако исследования показали, что в пленках висмута имеется более широкий и сложный спектр уровней захвата, существенно зависящий от технологии изготовления образца. Один из примеров такого спектра в узком интервале энергий показан на рисунке.

Изготовление образцов в атмосфере с недостатком кислорода приводит к уменьшению величины стационарного тока, увеличению величины заряда и фоточувствительности. Это дает основание полагать, что природа центров захвата электронов — вакансии кислорода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Авдеева, П. И. Перов, В. И. Поляков, М. И. Елинсон. Оптическая запись и списывание информации в структурах МДПМ.— «Микроэлектроника», 1973, т. 2, № 4, с. 359.
2. М. Ламперт, П. Марк. Инжекционные токи в твердых телах. М., «Мир», 1973, с. 133.

*Поступила в редакцию 27 февраля 1976 г.*

УДК 621.382.088.8

**В. А. ДЕТИНЕНКО**

*(Новосибирск)*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ МЕТОДОМ АНОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА**

В современной интегральной микро- и оптоэлектронике широко применяются многослойные пленочные структуры. При их изготовлении в результате технологических операций, связанных с температурным воздействием, между контактирующими материалами образуются различные типы промежуточных слоев, состоящих из твердых растворов, и новых химических соединений, которые существенно изменяют оптические и электрические параметры приборов и схем. В частности, многослойные системы, в которых используются электрооптические материалы сложного состава (ниобат лития, германат и силикат висмута и т. д.) с легко диффундирующими компонентами, обладают повышенной склонностью к образованию переходных слоев.

При рассмотрении возможностей существующих в настоящее время методов исследования диффузии в указанных структурах отметим следующее. Оптическим методом [1], который заключается в измерении изменения отражательной способности поверхности металлов в зависимости от количества продиффундировавшей примеси, можно определять только значительные концентрации диффундирующего вещества