

В. А. ДЕТИНЕНКО, О. В. ЖБАНОВ, А. Т. КЛИПКО,  
Л. Д. ПОКРОВСКИЙ  
(Новосибирск)

## ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК СИЛИКАТА ВИСМУТА И ИХ ДИФфуЗИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЭЛЕКТРОДАМИ

Представителем новых электрооптических материалов является силикат висмута ( $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ), обладающий относительно низким полуволновым напряжением и высокой фоточувствительностью [1]. Совокупность двух указанных качеств дает возможность использовать его при разработке пространственно-временных модуляторов света, управляемых световым потоком [2].

В связи с этим представляет интерес выявление возможности создания элементов пленочных оптоэлектронных устройств на основе слоев силиката висмута.

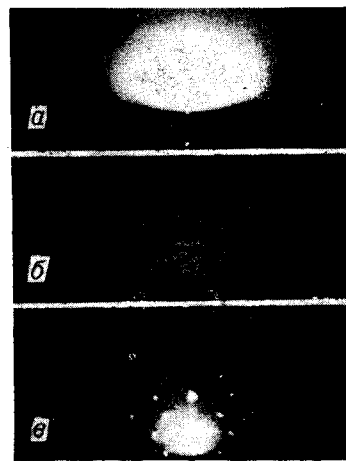
Первая часть настоящей работы посвящена исследованию влияния температуры подложек на структуру пленок  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ , получаемых методом ВЧ-распыления. Технические параметры, характеризующие процесс осаждения, были следующими: рабочая частота  $\sim 30$  МГц; стартовый вакуум  $10^{-6}$  торр; рабочий вакуум  $7 \cdot 10^{-3}$  торр при парциальных давлениях кислорода и аргона 30 и 70% соответственно. Скорость осаждения регулировалась смещением, поддерживаемым на мишени, и составляла  $\sim 0,2$  нм/с. Диаметр мишени  $\sim 120$  мм. Состав шихты 3 мол. %  $\text{SiO}_2$  и 97 мол. %  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

Электроннографические исследования проводились в электронно-оптической установке ЕФ-4 по методу отражения при напряжении 50 кВ с эталоном ТС1.

На подложках из стекла, кварца и ситалла формируются аморфные слои (рисунок, а), когда температура  $T \sim 20-100^\circ\text{C}$ , а при  $T \sim 400^\circ\text{C}$  получены пленки с поликристаллической структурой  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (см. рисунок, б). Отжиг последних на воздухе при  $T = 400^\circ\text{C}$  в течение 30 мин приводит к возникновению текстуры. Более совершенная текстура получена выращиванием пленок на кварце при температурах  $\sim 500-550^\circ\text{C}$  (см. рисунок, в). На стекле при этих же температурах образцы в одних местах аморфны, а в других — имеют слабо выраженную поликристаллическую структуру. Изготовление слоя силиката висмута при  $T \sim 650^\circ\text{C}$  ухудшает качество структуры (переходное состояние между аморфной и поликристаллической структурой). Последующий отжиг ( $T = 500-750^\circ\text{C}$ ) не способствует возникновению более развитой структуры.

Итак, получение пленок  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  с совершенной структурой связано с достаточно высокими температурами и создание элементов (пленка силиката висмута—электрод) требует изучения диффузионного поведения рассматриваемых конструктивных элементов при их изготовлении.

В качестве электродов использовались пленки алюминия, титана и  $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2$ .



Электроннограммы пленок силиката висмута:

а —  $T_{\text{п}} = 20 - 100^\circ\text{C}$ , б —  $T_{\text{п}} = 400^\circ\text{C}$ , в —  $T_{\text{п}} = 500 - 550^\circ\text{C}$ .

Слой Al и Ti наносился термическим испарением в вакууме. Получение прозрачного электрода осуществлялось распылением мишени, состоящей из сплава, содержащего 93% In и 7% Sn, в атмосфере кислорода с последующим отжигом на воздухе при  $T=400^{\circ}\text{C}$ —60 мин. При толщине слоя  $\sim 220$  нм этот электрод характеризуется сопротивлением 200—400 Ом и пропусканием света  $\sim 92\%$ .

Изучение диффузионных процессов осуществлялось электрометрическим методом [3]. Наблюдается различие в диффузионном поведении титана, алюминия и прозрачного электрода. Титан диффундирует в объем слоя силиката висмута, легируя его (коэффициент диффузии в режиме получения текстурированного слоя  $\sim 1,3 \cdot 10^{-13}$  см<sup>2</sup>/с), а алюминий и прозрачный электрод образуют переходные слои. Для алюминия переходный слой, состоящий, по-видимому, из продуктов химической реакции в твердой фазе с окислами кремния и висмута, при температуре подложки  $T_{\text{п}}=400^{\circ}\text{C}$  равен  $\sim 80$  нм, а при  $T_{\text{п}}=500$ — $550^{\circ}\text{C}$  составляет от 270 до 400 нм. Переходный слой между прозрачным электродом и пленкой силиката висмута проникает в объем прозрачного электрода на гораздо меньшие расстояния, чем в алюминий (при  $T \approx 500^{\circ}\text{C}$  на 60—120 нм).

Диффузионные константы для алюминия и титана определялись путем изотермических отжигов образцов с  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  ( $\sim 300$  нм), на которые наносились пленки исследуемых электродов толщиной  $\sim 100$  нм, и составляли: энергия активации ( $\varphi$ ) 2,3 и 2,9 эВ, предэкспоненциальные члены ( $k_0$ )  $4 \cdot 10^{-1}$  и  $4,5$  см<sup>2</sup>/с соответственно для Al и Ti.

Эффективная поверхностная температура при росте текстурированного слоя силиката висмута, определенная по полученным диффузионным параметрам и константам проникновения, оценивается  $\sim 770$ — $800^{\circ}\text{C}$ , что, по-видимому, объясняет отличия в структуре пленок силиката на кварце и стекле при  $T_{\text{п}}=500$ — $550^{\circ}\text{C}$  и ухудшение ее качества на кварце при  $T_{\text{п}}=650^{\circ}\text{C}$  за счет диффузии материала подложек в растущий слой.

Влияние диффузионного взаимодействия обследованных электродов с выращиваемой на них пленкой электрооптического материала на структуру  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  исследовалось следующим образом. На кварцевые подложки с промежутками наносились площадки изучаемых электродов, после чего при  $T_{\text{п}}=500$ — $550^{\circ}\text{C}$  изготовлялся слой силиката висмута. На поверхности алюминия и титана образуется поликристаллическая структура, а на прозрачном электроде и кварце (в промежутках) формируется текстура. Проводимость прозрачного электрода сохраняется.

## ВЫВОДЫ

1. Текстурированные пленки силиката висмута формируются при температуре 500—550°C.

2. Определены константы диффузионного взаимодействия обследованных структур и показано, что диффузионные процессы при выращивании пленок силиката висмута на электродах из алюминия и титана оказывают существенное влияние на структуру наносимого слоя.

Выяснено, что конструктивный элемент (слой силиката висмута — прозрачный электрод) может быть использован в качестве базового для создания пленочного модулятора света.

## 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