

ликата свинца, т. е. с повышением молярной доли ВаО фазовый состав продуктов кристаллизации не изменяется, а только интенсифицируется выделение кристаллических фаз.

Стекла барийсодержащих систем обычно относятся к слабокристаллизующимся, что обусловлено присутствием катиона Ва<sup>2+</sup>, имеющего большой ионный радиус (0,138 нм) и увеличивающего устойчивость стеклообразного состояния [3, 4]. В отличие от силикатных стекол, где с введением ВаО снижается подвижность кремнекислородных комплексов и тормозится перестройка структуры, повышается устойчивость стеклообразного состояния, в свинцово-теллуридных стеклах ВаО является модификатором кристаллизации. С увеличением его молярной доли от 1,5 до 5,0% на электронно-микроскопических снимках наблюдается укрупнение кристаллов.

Таким образом, на основании изучения влияния модифицирующих добавок на физико-химические свойства стекол показано, что наиболее эффективна добавка 5% ВаО. Она позволяет улучшить характеристические параметры материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова Н. М., Рачковская Г. Е., Смолонская А. Г. Легкоплавкие стекла для фольговых резисторов // Стекло, ситаллы и силикаты.— Минск, 1985.— Вып. 14.— С. 11—13.

2. Троян В. П., Оганесян Р. М., Костанян К. А. Влияние оксида алюминия на физико-химические свойства алюмобариевооборотных стекол // Армян. хим. журн.— 1980.— Т. 35, № 10.— С. 635—640.

3. Бобкова Н. М., Силич Л. М., Русак В. И. и др. Влияние различного соотношения RO на структуру и механические свойства стекло системы ВаО—MgO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—TiO<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub> // Стекло, ситаллы и силикатные материалы.— Минск, 1973.— Вып. 3.— С. 140—143.

4. Гласова М. П., Скрипко Г. Г., Дащинский Л. Г. и др. Исследование свойств и структурных особенностей бесщелочных алюмоборосиликатных стекол для микроэлектроники // Стекло, ситаллы и силикаты.— Минск, 1985.— Вып. 14.— С. 36—40.

УДК 666.117.3

Н. Н. Ермоленко, А. М. Науменко, Е. Ф. Карпович

#### СИНТЕЗ АЛЮМОБОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Диэлектрический материал, разработанный с использованием алюмоборосиликатной системы, можно применять при изготовлении полупроводниковых приборов

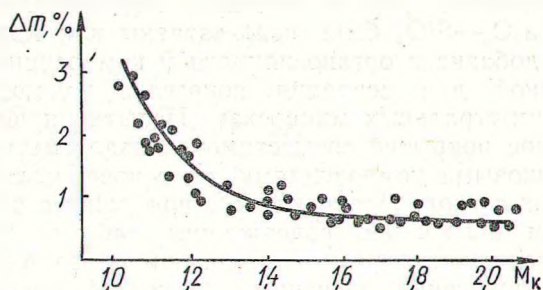
в качестве изоляционных подложек, служащих основой для расположения активных и пассивных элементов интегральных схем, а также в качестве покрытий гибридных интегральных схем [1].

Нами была поставлена задача синтезировать химически устойчивое стекло, обладающее высокой температурой начала размягчения  $T_{н.р.}$ , для применения его как покрытия подложек гибридных интегральных микросхем. С этой точки зрения представляет интерес бесщелочная система  $MgO-SrO-B_2O_3-Al_2O_3-Ga_2O_3-SiO_2$ . Нами были исследованы стеклообразование в данной системе, кристаллизационная способность и физические свойства стекол [2, 3]. При оценке области стеклообразования принимали во внимание составы, которые в результате варки при температуре 1873 К образовали однородные прозрачные стекла, устойчивые к кристаллизации при естественном охлаждении на воздухе. Молярную долю оксидов в опытных составах стекол изменяли в следующих пределах:  $SiO_2-65-75$ ,  $B_2O_3-2,5-7,5$ ,  $Al_2O_3-2,5-25$ ,  $Ga_2O_3-0-2,5$ ,  $MgO-2,5-27,5$ ,  $SrO-0-5\%$ .

Установлено, что присутствие в стеклах оксидов стронция и галлия способствует значительному расширению области стеклообразования за счет как уменьшения области опаловых стекол, так и смещения области стеклообразования в сторону с более высоким содержанием оксида алюминия. Наиболее устойчивые к кристаллизации стекла содержат 7,5—12,5% оксида алюминия. По-видимому, на диаграмме системы здесь проходят пограничные линии между фазовыми полями устойчивости и соответствующие эффекики. Исследование показало, что синтезированные стекла обладают высокой  $T_{н.р.}$  (1108—1233 К) и малым температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) —  $(20 \div 33,5) \times 10^{-7} K^{-1}$ .

Изучение химической стойкости опытных стекол, определявшейся порошковым способом к действию воды, HCl и NaOH, молярная концентрация которых составляла 1 моль/л, показало, что опытные стекла устойчивы к действию воды и относятся к I гидролитическому классу. Потери массы при обработке NaOH составили 0,85—3,00%. Решающее влияние на устойчивость опытных стекол к действию соляной кислоты оказывает оксид кремния, с увеличением молярной доли которого кислотостойкость возрастает. Оксид бора несколько снижа-

ет кислотоустойчивость исследуемых стекол. При этом в стеклах с меньшей молярной долей кремнезема отрицательное влияние оксида бора на кислотоустойчивость более заметно, хотя связь В—О гораздо прочнее связи Si—O. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что оксид бора в стеклах данного типа проявляет не кислотные, а основные свойства [4].



Зависимость кислотоустойчивости стекол системы  $\text{MgO} - \text{SrO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ga}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  от модуля кислотности

Математическая обработка полученных результатов и ранее проведенные исследования кислотоустойчивости других систем [4—6] дают возможность сделать следующий вывод: кислотоустойчивость зависит от модуля кислотности  $M_{\text{к}}$  (см. рисунок):

$$M_{\text{к}} = \frac{n x_{\text{SiO}_2}}{n x_{\text{B}_2\text{O}_3} + n x_{\text{Al}_2\text{O}_3} + n x_{\text{Ga}_2\text{O}_3} + n x_{\text{MgO}} + n x_{\text{SrO}}}$$

где  $x$  — молярная доля соответствующего оксида в стекле, %;  $n$  — количество катионов в оксиде.

Потери массы порошка стекол, для которых  $M_{\text{к}} > 1,2$ , в процессе определения их кислотоустойчивости составляют до 1%. Стекла, имеющие  $M_{\text{к}} < 1,2$ , менее устойчивы к кислоте, и при  $M_{\text{к}} = 1,04$  потери массы равны  $\approx 3\%$ .

На основании анализа полученных данных и результатов исследований, выполненных с использованием других силикатных систем [4—6], установлена количественная зависимость между кислотоустойчивостью исследуемых стекол и их модулем кислотности:

$$\Delta m = \frac{1}{(M_{\text{к}} - 0,3)^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta m$ —потери массы стекла при определении кислотоустойчивости, %.

Сопоставление экспериментальных и расчетных данных, полученных по формуле (1), показало их хорошую сходимость. В связи с этим полученную зависимость можно использовать для прогнозирования химической устойчивости при синтезе новых стекол.

Оптимальные стекла системы  $MgO-SrO-B_2O_3-Al_2O_3-Ga_2O_3-SiO_2$  были использованы как модифицирующая добавка в органосиликатной композиции, предназначенной для создания покрытий подложек гибридных интегральных микросхем. Испытания показали, что данное покрытие совместимо с бездрагметалльными проводниковыми композициями на основе молибденсодержащих стекол. Металлические подложки с органосиликатным покрытием, содержащим добавку 25—30% разработанного стекла, не подвергаются усадке при температуре вжигания пленочных элементов микросборок 903—923 К и могут быть использованы при изготовлении гибридных интегральных микросхем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин Н. Н., Скибинский Г. Л., Новиков П. П. Электроматериалы.— М., 1981.— 292 с.
2. Ермоленко Н. Н., Карпович Е. Ф., Ясинский Л. Г., Науменко А. М. Исследование стеклообразования и кристаллизационных свойств некоторых алюмоборосиликатных стекол // Стекло, ситаллы и силикаты.— Минск, 1977.— Вып. 6.— С. 60—64.
3. Ермоленко Н. Н., Карпович Е. Ф., Науменко А. М., Котов С. Г. Взаимосвязь физико-химических свойств и структурно-энергетических характеристик некоторых бесщелочных стекол // Стекло, ситаллы и силикаты.— Минск, 1985.— Вып. 14.— С. 8—11.
4. Ермоленко Н. Н., Михалевич В. Г., Дятлова Е. М. Кислотоустойчивость стекол системы  $SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-RO$  // Стекло, ситаллы и силикатные материалы.— Минск, 1975.— Вып. 4.— С. 3—8.
5. Ермоленко Н. Н., Пушкаров Н., Манченко З. Ф. Изследване химичната устойчивост на стъклата от системата  $SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-RO$  // Строителни материали и силикатна за промишлеността.— София, 1979.— № 2.— С. 25—27.
6. Ермоленко Н. Н., Науменко А. М., Карпович Е. Ф. Влияние химического состава и структуры на химическую устойчивость стекол алюмоборосиликатной системы // Стекло, ситаллы и силикаты.— Минск, 1981.— Вып. 10.— С. 3—6.