

таллические формы. Полученные диски \varnothing 40 мм отжигали в лабораторной муфельной печи и затем шлифовали до толщины 3 мм. Замеры электрических свойств стекол с добавками CdO, MnO и GeO_2 показали, что они имеют $\epsilon = 4-12$ и $\text{tg } \delta = (3-19) \cdot 10^{-4}$ при $f = 10^6$ Гц, т.е. отвечают требованиям, предъявляемым к диэлектрикам для межслойной изоляции.

Таким образом, в результате выполненного исследования установлено, что, изменяя род и количество вводимых добавок, можно получить стекла с определенным ТКЛР в диапазоне от $36 \cdot 10^{-7}$ до $64 \cdot 10^{-7}$ град $^{-1}$.

Стекла, модифицированные различными добавками, перспективны с точки зрения синтеза на их основе стекловидных покрытий для межслойной изоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев Г.И. Стекла для электронной промышленности. — Ж. ВХО им. Д.М. Менделеева, 1982, т. 27, № 5, с. 38—45.
2. Петрова В.З., Дорохова Л.Б., Чиликина Т.Д. Воспроизводимость свойств легкоплавких стекол в пленках, полученных методом центрифугирования. — В кн.: Сб. научн. тр. по проблемам микроэлектроники. Сер. Хим.-технол. М., 1975, вып. 21, с. 170—174.
3. Петрова В.З., Ермолаева Д.И., Иванов В.В. Синтез стекол системы $\text{SiO}_2\text{-PbO-ZnO}$ и применение метода симплексного планирования для исследования электрических свойств стекол данной системы. — Там же, вып. 2, с. 159—161.

УДК 666.01

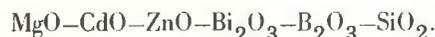
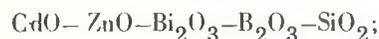
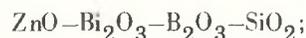
Н.Н. ЕРМОЛЕНКО, д-р техн. наук,
З.Ф. МАНЧЕНКО,
Е.Ф. КАРПОВИЧ, канд-ты техн. наук,
Н.Г. САЕВИЧ, И.А. ТИХОНОВ (БПИ)

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ЛЕГКОПЛАВКИХ ВИСМУТСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Висмутсодержащие стекла представляют интерес как легкоплавкие составляющие композиционных материалов, применяемых в толстопленочной технологии интегральных схем. Преимущества этих стекол [1] обусловлены их инертностью по отношению к материалам проводящих элементов интегральных схем, устойчивостью к образованию самостоятельных кристаллических фаз, вносящих определенный вклад в фазовый состав и свойства композитов, и, следовательно, исключением явлений изоморфизма между компонентами висмутсодержащего стекла и кристаллическими фазами композиционных материалов. Это обуславливает стабилизацию их параметров при неоднократном термоциклировании как в процессе изготовления схем, так и при их эксплуатации.

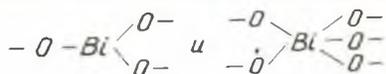
Кроме того, висмутсодержащие стекла перспективны с точки зрения применения их в качестве легкоплавких припоев, защитных покрытий полупроводниковых приборов и интегральных схем, ибо они характеризуются широким диапазоном температурного коэффициента линейного расширения, высокой химической устойчивостью, легкоплавки и имеют высокие изоляционные свойства.

В работе проведено исследование свойств и структуры висмутсодержащих стекол систем:



Изучение стеклообразования данных систем показало, что стабильные стекла образуются при температуре 1273–1373 К в области повышенного содержания оксида висмута [2–5]. Они характеризуются повышенной устойчивостью к кристаллизации в области температур 573–1073 К. Устойчивость стекол к кристаллизации возрастает по мере увеличения в их составах оксида висмута.

Основываясь на результатах изучения структуры висмутсодержащих стекол [6] и принимая во внимание вышеуказанные факторы, можно сделать предположение о возможности образования в стекле висмуткислородных фрагментов (полиэдров) с разветвленными в пространстве химическими связями типа



или в общем виде $[\text{BiO}_{3/2}]^{3-}$ и $[\text{BiO}_{5/2}]^{5-}$.

Формирование полиэдров типа $[\text{BiO}_{5/2}]^{5-}$ может быть обусловлено способностью висмута повышать свои валентные возможности при возбуждении за счет распаривания S-электронов и перехода одного из них с подуровня 6S на самый близкий в энергетическом отношении S-подуровень седьмого энергетического уровня с последующим образованием пяти ковалентных связей.

В результате изучения зависимости температуры начала размягчения висмутсодержащих стекол от их химического состава установлено, что ее абсолютные величины лежат в пределах 623–773 К и, соответственно, превышают значения температуры размягчения аналогичных стекол свинецсодержащих систем [7].

Величины температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) определяются химическим составом всех компонентов стекла и составляют $70-110 \cdot 10^{-7}$ град $^{-1}$.

Анализ результатов исследования показал, что определяющим фактором, оценивающим зависимость свойств стекол от их химического состава, являются средняя напряженность структурного каркаса стекла E_y [8], которая определяется формулой $E_y = Y E_c$,

где Y — фактор связанности структурного каркаса стекла (среднее количество мостиковых связей); E_c — средняя напряженность мостиковых связей, которая для бесщелочных стекол выражается следующей формулой:

$$E_c = \frac{\sum I_i Z_i F_i}{\sum I_i Z_i [1 + \sum I_i \frac{r^2}{R^2} 10^{-2}]}$$

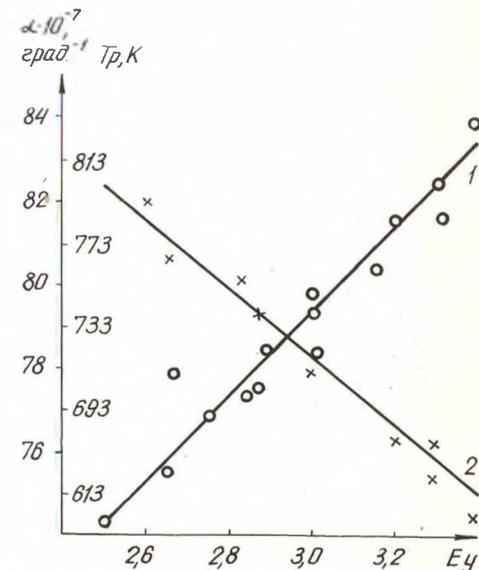
Здесь $\sum I_i$ — сумма ионов с положительным зарядом Z_i ; F_i — сила единичной мостиковой связи катион—кислород; r и R — радиусы соответственно меньшего и большего ионов в катионкислородных полиэдрах стекла.

На рис. 1 представлена зависимость экспериментальных значений температуры начала размягчения и температурного коэффициента линейного расширения, приведенного к 298 К, висмутсодержащих стекол от средней напряженности их структурного каркаса. Увеличение E_y стекол приводит к повышению температуры начала размягчения и снижению значений ТКЛР. При этом зависимость указанных свойств от E_y является линейной. Некоторый разброс данных, имеющий место на рисунке, по-видимому, обусловлен ошибкой эксперимента и трудностью получения однородных висмутсодержащих стекол. На электронно-микроскопических снимках опытных стекол просматриваются отдельные микронеоднородности, несмотря на то что все изученные стекла характеризуются повышенной устойчивостью к кристаллизации.

Установленные зависимости экспериментальных значений коэффициента теплового расширения и температуры начала размягчения от средней напряженности структурного каркаса стекла могут быть использованы для предварительной количественной оценки их свойств без экспериментальных исследований.

Учет этих закономерностей при синтезе новых легкоплавких стекол для композиционных материалов позволил достаточно точно определить оптимальные области составов на диафрагмах, в

Рис. 1. Зависимость температуры начала размягчения (1) и температурного коэффициента линейного расширения (2) висмутсодержащих стекол от средней напряженности их структурного каркаса E_y .



частности, со свойствами, близкими к заданным. Экспериментальная проверка теоретических данных показала их удовлетворительную сходимость. В результате для небольшого числа опытных составов (по 6-10 в каждой системе) разработаны стекла, которые по комплексу физико-химических свойств пригодны в качестве легкоплавкого компонента диэлектрических и резистивных композиционных материалов, применяемых в толстопленочной технологии интегральных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлушкин Н.М., Журавлев А.К. Легкоплавкие стекла. — М., 1970.
2. Самуйлова В.Н., Манченко З.Ф. Синтез и исследование свойств висмутсодержащих легкоплавких стекол. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1978, вып. 7, с. 18-24.
3. Синтез и исследование свойств бесщелочных легкоплавких стекол/Н.Н. Ермоленко, З.Ф. Манченко, В.Н. Самуйлова, В.И. Шамкалович. — В кн.: Вопросы радиоэлектроники. Сер. Технология производства и оборудование. М., 1978, вып. 2, с. 75-79.
4. Манченко З.Ф. Самуйлова В.Н., Шамкалович В.И. Синтез и исследование свойств стекол в висмутсодержащей системе для покрытий интегральных схем. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1979, вып. 8, с. 35-41.
5. Ермоленко Н.Н., Манченко З.Ф., Самуйлова В.Н. Легкоплавкие висмутсодержащие стекла для защиты полупроводниковых приборов. — Электронная техника. Сер. 6. Материалы, 1982, вып. 9 (170), с. 60-63.
6. Манченко З.Ф., Самуйлова В.Н. Инфракрасно-спектроскопические исследования структуры висмутсодержащих стекол. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1980, вып. 9, с. 16-20.
7. Манченко З.Ф. Вопросы синтеза и исследование свойств легкоплавких свинецсодержащих стекол для микроэлектроники. — Там же, с. 3-7.
8. О взаимосвязи свойств, химического состава и строения висмутсодержащих стекол/Н.Н.Ермоленко, З.Ф. Манченко, Н.Г. Саевич и др. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1982, вып. 11, с. 3-8.

УДК 660.01

Г.Г. СКРИПКО, М.П. ГЛАСОВА, канд-ты техн. наук (БТИ),
С.П. РЖЕВСКАЯ (БПИ)

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКОЛ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В настоящее время в качестве подложек для печатных плат интегральных микросхем широко используется керамика. Однако в последнее время наметилась тенденция к замене керамических подложек микросхем стальными пластинами, покрытыми слоем стекломали. Технологичность и лучший теплоотвод стали позволяют снизить стоимость и увеличить выходную мощность микросхем.

Материал, применяемый для покрытия стальных подложек, должен сохранять стабильность фазового состава при многократ-