

порядок требованиям, предъявляемым к стеклам для легкоплавких защитных диэлектрических покрытий: температура варки ( $1050 \pm 10$ ) °С при выдержке в течение 0,5...1 ч;  $t_p = 400$  °С; ТКЛР =  $85 \cdot 10^{-7}$  °С<sup>-1</sup>; стекло не кристаллизуется в интервале температур 450...770 °С; хорошо растекается по керамической подложке; удельное электросопротивление при 200 °С —  $10^{12}$  Ом·см; по водоустойчивости относится к I гидролитическому классу.

На основе полученного стекла ионно-лучевым распылением создавалось стеклозащитное покрытие образцов КМОП БИС часового типа со следующими характеристиками: удельное электросопротивление стеклопенки при комнатной температуре —  $10^{16}$  Ом·см, пористость —  $1...3$  см<sup>-2</sup>, водоустойчивость соответствует I гидролитическому классу; уменьшение токов утечки на RC-матрицах со стеклопенкой составляет 12%.

Полученные результаты позволяют рекомендовать стекло разработанного состава для защиты и пассивации интегральных схем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлушкин Н.М., Журавлев А.К. Легкоплавкие стекла. — М., 1975. — С. 91.
2. Мидлер М., Крайдл Н. Свинцовосиликатные стекла // Стеклообразное состояние. — М., 1971. — С. 139–144.
3. Janakigama Rao. Dielectric Properties of Glasses in the Systems CdO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, CdO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CdO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GeO<sub>2</sub> and The Relation to the Structure of Glasses // Journ. of the American Soc. — 1962. — Vol. 45, N 11. — P. 555–563.
4. Keynes M.S.R., Rawson H. Wismuth trioxide glasses // Journ. of the Soc. Glass Technol. — 1957. — Vol. 41. — P. 347–349.

УДК 660.01

Н.М. БОБКОВА, И.М. ЕГОРОВА,  
Г.Г. СКРИПКО

### НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СТЕКЛОВИДНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСХЕМ

В современной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) широко применяются гибридные интегральные схемы (ГИС), созданные по наиболее экономически выгодной толсто пленочной технологии. Для дальнейшего усовершенствования толсто пленочных схем требуются новые материалы с повышенными значениями параметров физико-химических свойств, определяемых условиями эксплуатации [1].

В настоящее время при производстве ГИС применяются подложки из керамики, недостаточно высокая механическая прочность которой не позволяет выполнять из нее платы больших размеров. В связи с этим ведутся работы по замене керамических подложек ГИС и печатных плат подложками из металла, покрытого слоем стекловидного диэлектрика.

Материал подложки должен иметь большое удельное сопротивление, быть механически прочным, химически инертным к наносимым материалам пассивных элементов, термостойким при нагревании, ТКЛР материалов наносимых слоев и подложки должны быть близки. Кроме того, материал подложки должен быть недефицитным, дешевым и технологичным [2].

Материал диэлектрика должен характеризоваться высоким электро-сопротивлением и малыми диэлектрическими потерями, хорошей адгезией к материалу подложки, минимальной гигроскопичностью, удовлетворять ряду требований технологического процесса изготовления микросхем. Наиболее перспективными материалами в этом отношении являются стекла [2].

Разработку составов стекол для вышеуказанной цели целесообразно проводить в бесщелочной алюмоборосиликатной системе, содержащей оксиды щелочноземельных металлов Ba, Ca, Sr, Mg [3, 4]. Это даст возможность получения материала, обладающего одновременно высокими диэлектрическими параметрами,  $T_{КЛР} = (85 \dots 110) 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  и необходимой тугоплавкостью.

В настоящей работе проводились исследования стекол на основе системы  $\text{CaO}-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  с целью получения диэлектрических покрытий по металлу для защиты элементов микросхем.

Стекла экспериментальных составов синтезировали путем сплавления шихты из реактивов марок "ХЧ" и "ЧДА" и обогащенного кварцевого песка в корундизовых тиглях в газовой печи прямого нагрева. Максимальная температура варки составляла  $(1500 \pm 20) \text{ } ^\circ\text{C}$ , выдержка – 2 ч. Полученную стекломассу выливали в воду. Образовавшийся при этом стеклогранулят высушивали и измельчали в планетарной мельнице "Санд" до достижения удельной поверхности порошка  $6000 \dots 8000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Образцы для изучения физико-химических свойств опытных стекол получали отливкой стекломассы в формы.

Изучение кристаллизационной способности стекол исследуемой системы показало, что ряд их кристаллизуется с образованием поверхностной пленки. Склонность стекол к кристаллизации уменьшается с увеличением содержания в них  $\text{SiO}_2$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

При исследовании процессов кристаллизации тонкоизмельченных стекол методом дифференциально-термического анализа (ДТА) можно судить об их интенсивности, определять температуру образования отдельных кристаллических фаз, выбирать режимы термообработки стекла в зависимости от термических эффектов на кривых ДТА исходного стекла. Для исследуемых стекол характерна вытянутая форма эндозффекта в довольно широком интервале температур (680 до  $880 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Стекло в этой области температур размягчается, оплавляется и растекается до момента начала выделения кристаллической фазы.

Для выяснения характера явлений, происходящих в стекле с изменением температуры, продукты термообработки подвергались рентгенофазовому анализу. Было установлено, что основными кристаллическими фазами являются  $\alpha$ - и  $\beta$ -цельзиан, а в стеклах некоторых составов – волластонит и анортит.

Цельзиан, выделяющийся в качестве основной кристаллической фазы, служит основой для получения стеклокристаллических материалов с высокими диэлектрическими свойствами [5].

Температура начала размягчения  $t_p$  стекол, предназначенных для диэлектрических покрытий металлических оснований, должна быть в пределах  $700 \dots 750 \text{ } ^\circ\text{C}$ . При этом обеспечивается хорошее растекание стекол по подложке. В первую очередь  $t_p$  зависит от содержания в стекле щелочноземельных оксидов. Оксид бария резко снижает  $t_p$  стекол, что, очевидно, объясняется низкой

степенью ковалентности его связей с кислородом и большим ионным радиусом. С увеличением содержания  $\text{SiO}_2$  в стеклах возрастает.

Возможность получения согласованного спая эмали с металлической подложкой характеризуется ТКЛР, значения которого для металла и стекла должны быть близки, чтобы в стекле не возникали напряжения сжатия или растяжения. Значения ТКЛР опытных стекол лежат в интервале  $(80 \dots 120) \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Это дает основание применять данные стекла для диэлектрических покрытий по подложкам из титана и стали.

По значению электросопротивления исследованные стекла можно отнести к изоляторам. С ростом содержания в них  $\text{BaO}$  и  $\text{CaO}$  электросопротивление увеличивается.

Таким образом, изучение свойств исследуемых стекол системы  $\text{CaO}-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  показало, что они удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям к электроизоляционным покрытиям металлов.

Защитные толсто пленочные покрытия на металлическую подложку наносились методами электрофореза и трафаретной печати. При этом для стабильности реакций, сопровождающих оплавление покрытий, с поверхности металлических изделий удаляли органические загрязнения, а также пленки оксидов, солей, гидратов и пр.

Наиболее распространены химические способы очистки поверхности. Они предполагают обезжиривание изделий в растворах органических растворителей (спирт, ацетон, бензин) и травление в неорганических кислотах ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ) с последующей тщательной промывкой в воде и механической обработкой для снятия налета после травления.

Пластины с нанесенным и высушенным покрытием помещали в муфельную печь, где их подвергали обжигу по разработанному режиму. Покрытия на основе полученных стекол характеризовались хорошей адгезией к металлу.

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что синтезированные стекла системы  $\text{CaO}-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  могут служить основой для получения толсто пленочных диэлектрических покрытий металлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. — М., 1980. — С. 191–193.
2. Лобанов А.А. Физико-химические свойства материалов электронной техники. — Казань, 1984. — С. 240–246.
3. Журавлев Г.И. Стекла в электронной промышленности // Ж.ВХО им. Д.И. Менделеева. — 1982. — Т. 27, № 5. — С. 142–151.
4. Китайгородский И.И., Бобкова Н.М., Немкович И.К. Электрические свойства алюмоборосиликатных стекол // Стекло и керамика. — 1964. — № 6. — С. 39–40.
5. Машкович М.Д. Диэлектрические свойства ситалла. Цельзиановая система // Физика твердого тела. — 1964. — Т. 6, вып. 6. — С. 1862–1865.