

симось водоустойчивости исследуемых стекол от химического состава. Однако прослеживается некоторое увеличение потерь при повышении содержания SrO вместо PbO. Высокая водоустойчивость свинцовых цинксодержащих стекол объясняется незначительной растворимостью этих окислов в воде [5]. По-видимому, увеличение времени обработки порошка стекла позволит сделать более обстоятельные выводы о влиянии химического состава на водоустойчивость.

Удельное объемное электросопротивление стекол системы SrO—PbO—SiO<sub>2</sub>—10ZnO—10 V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при 200 °С находится в пределах 10<sup>12</sup>—10<sup>13</sup> Ом·см. Таким образом, в результате выполненного исследования выявлены легкоплавкие стекла с удовлетворительным комплексом свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение стеклообразования, кристаллизационной способности и некоторых свойств стекол системы SrO—ZnO—PbO—SiO<sub>2</sub> с целью получения на их основе резисторов/И.Л. Р а к о в, Н.П. С о л о в е й, З.Н. Ш а л и м о и др. — В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1980, вып. 10, с. 21—26.
2. Стеклообразование и некоторые свойства стекол системы SrO—PbO—SiO<sub>2</sub>—10ZnO—10V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/З.Н. Ш а л и м о, А.П. М о л о ч к о, И.Л. Р а к о в и др. — В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1982, вып. 11, с. 43—48.
3. А п п е н А.А. Химия стекла. — Л., 1974, с. 314—315.
4. Тепловое расширение стекла/О.В. М а з у р и н, А.С. Т о т е ш, М.В. С т р е л ь ц и н а и др. — Л., 1969, с. 99, 140.
5. Д у б р о в о С.К. Стекло для лабораторных изделий и химической аппаратуры. — М.—Л., 1965.

УДК 666.117.3

Е.Ф. КАРПОВИЧ, канд.техн.наук.  
А.М. НАУМЕНКО, канд.техн.наук (БПИ)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМСОСТАВА НА СВОЙСТВА СТЕКОЛ СИСТЕМЫ MgO—SrO—V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> МЕТОДОМ РЕГРЕССИВНОГО АНАЛИЗА\*

С целью синтеза термостойких тугоплавких стекол исследована система MgO—SrO—V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> [1,2]. В ней установлена оптимальная область составов, обладающих ТКЛР 25—35·10<sup>-7</sup> град<sup>-1</sup> и температурой начала размягчения 860—910 °С. Для повышения варочных и выработочных свойств синтезированных составов стекол целесообразно введение в них оксидов цинка и натрия. В связи с вышеизложенным нами поставлена задача определить влияние оксидов, входящих в составы оптимальных стекол, на изучаемые нами свойства — коэффициент теплового расширения и температуру начала размягчения.

Для решения этой задачи применен математико-статистический метод — факторного эксперимента [3,4]. Поскольку синтез стекол является многофакторным процессом, для которого характерны тесные взаимосвязь и взаи-

\* Работа выполнена под руководством докт.техн.наук, профессора Н.Н. Ермоленко.

мообусловленность основных параметров, необходимо найти интерполяционную формулу, позволяющую определить зависимость свойств полученного материала от каждого параметра в отдельности, а также их комплексное влияние.

В качестве факторов варьирования при постановке данного эксперимента выбраны оксиды, входящие в состав стекла:  $\text{SiO}_2$  ( $X_1$ );  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $X_2$ );  $\text{B}_2\text{O}_3$  ( $X_3$ );  $\text{MgO}$  ( $X_4$ );  $\text{SrO}$  ( $X_5$ );  $\text{ZnO}$  ( $X_6$ );  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $X_7$ ), в качестве основного уровня — оптимальный состав стекла № 467, синтезированный в системе  $\text{MgO}-\text{SrO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .

Условия изменения переменных показаны в табл. 1.

Для составления модели воспользовались матрицей планирования  $2^{7-4}$  с определяющим контрастом [3]. В качестве контрольных свойств выбраны: коэффициент теплового расширения ( $\alpha$ ) и температура начала размягчения ( $t_{н.р}$ ). Для каждого эксперимента проводилось два параллельных опыта.

Переход от абсолютных значений переменных  $\bar{X}_i$  к относительным  $X_i$  производился с помощью известной формулы [3].

По данным двух параллельных определений коэффициента теплового расширения и температуры начала размягчения, определяли дисперсию опыта, по которой находили критическое значение (при критерии Стьюдента 0,5).

Значения коэффициентов регрессии определяли по формуле [4].

Таким образом были рассчитаны коэффициенты регрессии. Сравнение величин  $b_{\text{крит}}$  опыта с коэффициентом регрессии позволило оценить их значение, т.е. факторы и их эффекты парного взаимодействия, влияние которых следует учитывать в данном интервале варьирования. При оценке членов уравнения регрессии, которые связаны с взаимодействием, не включенным в интерполяционное уравнение, и эффектами высших порядков были поставлены два параллельных опыта для определения коэффициента теплового расширения и температуры начала размягчения. Среднее арифметическое данного опыта  $b_0$  для  $\alpha_0 = 33,89 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$  и для  $t_{н.р} = 832$  °С. Разность

Табл. 1. Условия изменения переменных

Компонент	Код	Основной уровень, мол. %	Интервал варьирования, мол. %	Нижний уровень, мол. %	Верхний уровень, мол. %
$\text{SiO}_2$	$X_1$	75	2,0	73,0	77,00
$\text{Al}_2\text{O}_3$	$X_2$	7,5	2,5	5,0	10,0
$\text{B}_2\text{O}_3$	$X_3$	7,5	1,0	6,5	8,5
$\text{MgO}$	$X_4$	5,0	2,5	2,5	7,5
$\text{SrO}$	$X_5$	5,0	1,5	3,5	6,5
$\text{ZnO}$	$X_6$	1	0,5	0,5	1,5
$\text{Na}_2\text{O}$	$X_7$	0	1,5	0	1,5

$\alpha_0 - b_0 = 3,09 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$  для коэффициента теплового расширения и  $t_{\text{н.р}} - b_0 = 17,81 \text{ }^\circ\text{C}$  для температуры начала размягчения не превысили ошибку опыта в одном и в другом случае.

Полученные уравнения регрессии имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} a = & 33,89 - 1,24 X_1 - 3,27 X_2 - 2,92 X_3 + 0,98 X_4 + 1,856 X_5 + \\ & + 3,2 X_6 - 1,95 X_7 - 1,96 X_1 X_2 - 3,2 X_2 X_3 - 1,86 X_2 X_4 - \\ & - 0,98 X_2 X_5 + 2,96 X_2 X_6 + 1,17 X_2 X_7; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{н.р.}} = & 832,2 + 18,4 X_1 + 17,2 X_2 + 15,6 X_3 - 14,1 X_4 + 15,3 X_5 \\ & 12,2 X_6 - 14,7 X_7 + 14,69 X_1 X_2 - 15,31 X_1 X_3 + 12,2 X_1 X_4 - \\ & - 19,7 X_1 X_5 + 14,1 X_1 X_6 - 2,19 X_1 X_7. \end{aligned}$$

Линейность данных математических моделей была проверена по критерию Фишера. Проверка показала их адекватность опытным данным.

Анализ уравнения регрессии для коэффициента теплового расширения показал, что самое существенное влияние на коэффициент теплового расширения оказывает  $X_2$  и  $X_6$ , т.е. оксид алюминия и оксид цинка — самые значимые по сравнению с другими оксидами. Из эффектов парного взаимодействия можно выделить  $(X_2 X_3)$  и  $(X_2 X_6)$ , т.е. совместное влияние оксидов алюминия и цинка, оксида алюминия и оксида бора.

Анализ уравнения регрессии для температуры начала размягчения показывает, что самыми значимыми оказались коэффициенты регрессии  $X_1$  и  $X_2$ , т.е. оксиды кремния и алюминия. Из эффектов парного взаимодействия можно выделить  $(X_1 X_5)$  и  $(X_1 X_3)$ , т.е. совместное влияние оксидов кремния и стронция, оксидов кремния и бора.

Путем расчета уравнений регрессии установлено, что в данном интервале исследования стекла могут иметь максимальную температуру начала размягчения —  $896 \text{ }^\circ\text{C}$  и коэффициент теплового расширения  $31,2 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$ . Таким образом, получены стекла с хорошими технологическими свойствами, а также уравнения регрессии, характеризующие влияние оксидов, входящих в состав стекла, на основные свойства изучаемых стекол.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 590274 (СССР). Термостойкое стекло/Н.Н. Ермоленко, Е.Ф. Карпович, Л.Г. Ясинский и др. — Оpubл. в Б.И., 1978, № 4. 2. Ермоленко Н.Н., Карпович Е.Ф., Науменко А.М. Синтез термостойких тугоплавких стекол в системе  $\text{SiO}_2\text{—B}_2\text{O}_3\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—SrO}$ : Тез. докл. Республ. науч.-техн. конф. молодых ученых. — Ташкент, 1976, с. 156. 3. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экспериментов. — М., 1965. — 111 с. 4. Вознесенский В.А. Статистические решения в технологических задачах. — Кишинев, 1968. — 171 с.