

УДК 666.223.9

**М.В. Дяденко, И.А. Левицкий, О.В. Кичкайло**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **СВОЙСТВА И СТРУКТУРА СТЕКОЛ ДЛЯ СВЕТООТРАЖАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ ЖЕСТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

*Аннотация.* Приведены результаты синтеза и исследования свойств и структуры стекол для светоотражающей оболочки оптического волокна, синтезированных в системе  $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ . Определены кристаллизационная способность, физико-химические и оптические свойства стекол во взаимосвязи с их структурой и технологическими свойствами.

**M.V. Dyadenko, I.A. Levitskii, O.V. Kichkailo**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **PROPERTIES AND STRUCTURE OF GLASSES FOR THE REFLECTIVE COAT OF A RIGID OPTICAL FIBER**

*Abstract.* The results of the synthesis and study of the properties and structure of glasses for the reflective coat of a optical fiber synthesized in the  $K_2O-B_2O_3-SiO_2$  system are presented. The crystallization ability, physicochemical and optical properties of glasses are determined in relation to their structure and technological properties.

Светоотражающая оболочка жесткого оптического волокна выполняет следующие основные функции: обеспечивает полное внутреннее отражение светового луча, распространяющегося по световедущей жиле, уменьшает потери световой энергии при отражении от границы световедущая жила–светоотражающая оболочка, а также служит оптической изоляцией, предупреждающей возможность проникновения света из одного волокна в другое в пучке оптических волокон.

В настоящей работе исследовалась возможность получения стекла для светоотражающей оболочки, согласованного по свойствам со стеклом световедущей жилы.

Выбор системы обусловлен необходимостью получения стекол, обладающих показателем преломления, не превышающим 1,49, отсутствием признаков фазового разделения и значениями температурного коэффициента линейного расширения, находящегося в интервале  $(52-55) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ , а также требуемых значений вязкости [1]. Для синтеза использована система  $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ , отвечающая

сниженным значениям показателя преломления стекол и отсутствию фазового разделения в них.

Выбор системы обусловлен тем, что для синтеза стекол с низкими значениями показателя преломления необходимо наличие в их составе значительного количества оксидов-стеклообразователей, обеспечивающих рост мостиковых атомов кислорода в их структуре. Поскольку немостиковые атомы кислорода более поляризуемые, чем мостиковые, уменьшение количества немостиковых атомов кислорода будет способствовать снижению показателя преломления.

Применение оксида бора связано с его способностью снижать склонность силикатных стекол к кристаллизации. Кроме того, данный оксид позволяет получать стекла с температурой стеклования, составляющей 580–620 °С.

Известно также, что калийсодержащие составы более устойчивы к фазовому разделению.

Синтез стекол проводился в указанной системе при следующем содержании оксидов, мас. %: 10,0–20,0  $K_2O$ ; 10,0–20,0  $B_2O_3$ ; 67,5–80,0  $SiO_2$ . С целью подавления процессов ликвационного фазового разделения в некоторые составы осуществлялось введение 2,5 мас. % оксида  $Al_2O_3$ .

В качестве исходного сырья для синтеза стекол использовались обогащенный кварцевый концентрат марки КГО, борная кислота квалификации ос.ч., калий углекислый квалификации х.ч. и глинозем марки Г-000.

Варка стекол производилась в корундовых тиглях в газопламенной печи периодического действия при температуре  $1500 \pm 15$  °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 3 ч.

В результате синтеза получены однородные прозрачные стекла. В них отсутствовали признаки фазового разделения, стекла всех составов обладали удовлетворительными выработочными свойствами.

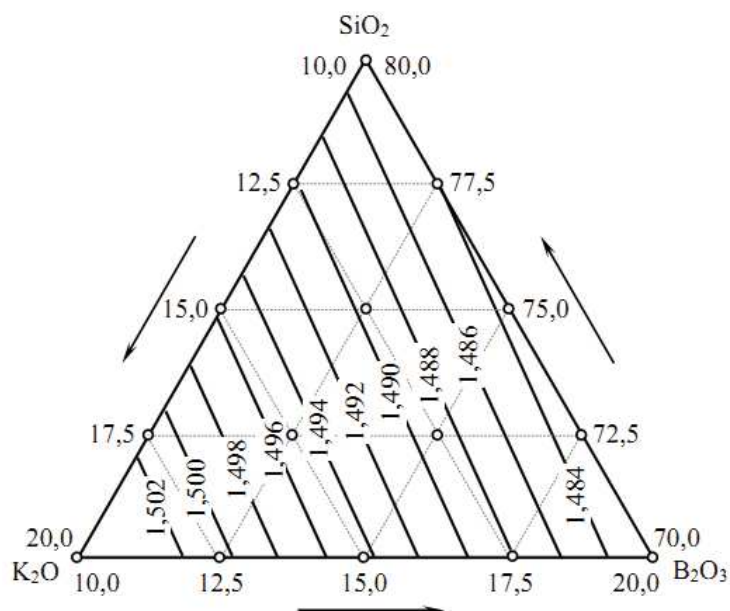
Градиентной термообработкой в течение 6 ч в температурном интервале 600–1000 °С установлено, что отсутствие фазового разделения характерно для области составов, содержащих, мас. %: 72,5–80,0  $SiO_2$ , 17,5–20,0  $B_2O_3$  и 10,0–15,0  $K_2O$ .

Стекла, содержащие 67,5–70,0 мас. %  $SiO_2$  характеризовались поверхностной кристаллизацией, а при содержании 17,5–20,0 мас. %  $K_2O$  – к образованию кристаллической корки.

Введение  $Al_2O_3$  в указанном выше количестве способствовало подавлению процессов фазового разделения.

Выявлено, что введение  $K_2O$  приводит к закономерному повышению значений показателя преломления. Это обусловлено ростом

доли немостиковых атомов кислорода, которые обладают большей поляризуемостью. Рост содержания  $B_2O_3$  и  $SiO_2$  до 20,0 мас. % и 80,0 мас. % соответственно, вводимых вместо  $K_2O$ , обуславливает снижение значений показателя преломления до значений 1,480 и 1,485 (рис. 1).



**Рис. 1 - Влияние химического состава исследуемых стекол для светоотражающей оболочки на их показатель преломления ( $n_d$ )**

Для получения оптического волокна с требуемой термомеханической прочностью необходимо, чтобы значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) для стекла светоотражающей оболочки составляли  $(52-60) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . Это связано с необходимостью создания напряжений сжатия в оптическом волокне, которые достигаются при существенной разности ТКЛР стекол световедущей жилы и светоотражающей оболочки.

Установлено, что ТКЛР опытных стекол изменяется в интервале от  $51,9 \cdot 10^{-7}$  до  $94,1 \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . При этом повышение содержания  $K_2O$  обуславливает увеличение термического расширения в связи с ростом степени ионности связей в стеклах. Требуемыми значениями ТКЛР обладают составы, включающие, мас. %: 10,0  $K_2O$ ; 15,0–20,0  $B_2O_3$ ; 70,0–75,0  $SiO_2$ .

Вязкость стекол определялась с помощью вискозиметра PPV-1000 фирмы Orton (США). Установлено, что повышение энергии активации вязкого течения при замене  $K_2O$  на  $SiO_2$  в интервале значений  $10^{10}-10^{6,5}$  Па·с приводит к росту скорости твердения стекла. Расширение выработочного интервала до 300 °С обеспечивается при содержании  $K_2O$  в составе стекол, не превышающем 15,0 мас. %.

Как известно, вязкость силикатных стекол зависит от прочности

химических связей между частицами вещества и от степени связности кремнекислородного каркаса. В исследованных стеклах на величину вязкости оказывает значительное влияние координация бора и соотношение групп  $[\text{BO}_3]$  и  $[\text{BO}_4]$  в структуре стекла.

Повышение содержания  $\text{K}_2\text{O}$  обеспечивает увеличение доли группировок  $[\text{BO}_{4/2}]\text{K}$ , упрочняющих структуру стекла. Влияние структурных факторов обуславливает неоднозначное изменение энергии активации вязкого течения в интервалах, отвечающих пластическому и жидкотекучему состоянию. Указанная закономерность сохраняется при переходе от составов стекол с постоянным содержанием  $\text{V}_2\text{O}_3$ , составляющим 15 мас. %, к составам, в которых концентрация  $\text{V}_2\text{O}_3$  составляет 20,0 мас. %.

На рис. 2 представлено влияние  $\text{V}_2\text{O}_3$ , вводимого взамен  $\text{SiO}_2$ , на температурную зависимость вязкости в интервале значений  $10^{10}$ – $10^{4,5}$  Па·с при постоянном содержании  $\text{K}_2\text{O}$ , равном 10 мас. %.

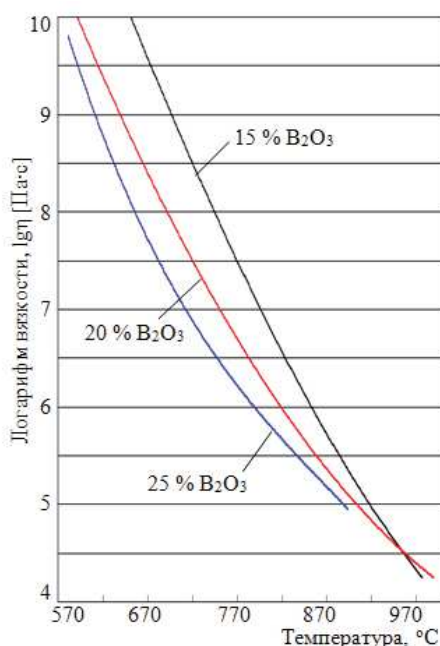


Рис. 2 - Влияние  $\text{V}_2\text{O}_3$  на вязкость опытных стекол

Изменение содержания  $\text{V}_2\text{O}_3$  в составе исследуемых стекол от 15,0 до 20,0 мас. % способствует снижению их вязкости в интервале значений  $10^{10}$ – $10^{6,3}$  Па·с в связи с деполимеризацией кремнекислородного каркаса за счет уменьшения содержания  $\text{SiO}_2$  и увеличения доли групп  $[\text{BO}_3]$ .

ИК-спектроскопические исследования показали, что с ростом массового соотношения  $\text{K}_2\text{O}/\text{V}_2\text{O}_3$  повышается содержание групп

[BO<sub>4</sub>]. При этом закономерно уменьшается доля групп [BO<sub>3</sub>], что обусловлено снижением интенсивности максимума поглощения при 1400 см<sup>-1</sup>. Доля связей Si–O вместе с ростом количества оксидомодификатора повышается, что проявляется также в виде смещения максимума полосы поглощения от 1080 до 1040 см<sup>-1</sup>.

При замене SiO<sub>2</sub> на B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наблюдается усиление интенсивности полос при 1400 см<sup>-1</sup>, а также в области 670–700 см<sup>-1</sup>, что вызвано ростом доли групп [BO<sub>3</sub>]. Кроме того, наблюдается усиление интенсивности полосы при 923 см<sup>-1</sup>, обусловленное увеличением доли группировок [SiO<sub>4</sub>] островного типа в связи со снижением степени полимеризации структурного каркаса стекол.

В результате выполненных исследований определена область составов стекол для светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна на основе системы K<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>, характеризующаяся комплексом технологических, оптических и физико-химических характеристик, максимально согласующихся со стеклом световедущей жилы.

*Работа выполнена при финансировании в рамках НИР ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия».*

#### Список использованных источников

1. Дяденко М. В. Стекла для получения волоконно-оптических элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / М.В. Дяденко; УО Бел. гос. технол. ун-т. – Минск, 2012. – 23 с

УДК 546.723

**Л.С. Ещенко, Р.А. Воронцов**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

#### **ВЫДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТА КАЛИЯ ИЗ ПРОДУКТОВ ТЕРМОЩЕЛОЧНОЙ КОНВЕРСИИ ЖЕЛЕЗНОГО КУПОРОСА**

*Аннотация.* Исследован процесс выделения сульфата калия из продукта, образующегося при термощелочной конверсии железного купороса в системе FeSO<sub>4</sub> – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – KOH – O<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O, имеющих состав, мас. %: соединения железа – 27,0–30,0, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 50–55, H<sub>2</sub>O – 15–17. Разработан процесс противоточной двухступенчатой отмывки, до остаточного содержания K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в твердой фазе на