

Стекла для светоотражающей оболочки оптического волокна – компонента цифровой телекоммуникационной системы*

М. В. Дяденко, И. А. Левицкий, О. В. Кичкайло, Е. А. Костик

Приведены результаты синтеза и исследования технологических, оптических и теплофизических свойств стекол для светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна, полученных в системе $K_2O-B_2O_3-SiO_2$.

Ключевые слова: оптическое волокно, светоотражающая оболочка, кристаллизационная способность, показатель преломления, вязкость.

Glasses for a reflective coat of an optical fiber – a component of a digital telecommunication system

M. V. Dyadenko, I. A. Levitskii, O. V. Kichkailo, E. A. Kostik

The results of the synthesis and study of the technological, optical and thermophysical properties of glasses for the reflective coat of a rigid optical fiber obtained in the $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ system are presented.

Keywords: optical fiber, reflective coat, crystallization ability, refractive index, viscosity.

В настоящее время многожильное оптическое волокно широко используется для изготовления элементов волоконно-оптической техники (пластины, твистеры, фоконы) в оптоэлектронных устройствах. Оптические волокна состоят из световедущей жилы и одной (светоотражающей) или двух (светоотражающей и защитной) оболочек.

Световедущая жила предназначена для передачи световой энергии, сконцентрированной на входном торце, на его выходной торец путем полного внутреннего отражения.

Светоотражающая оболочка в оптическом волокне обеспечивает полное внутреннее отражение светового луча в световедущей жиле; предупреждает потери световой энергии вдоль волокна; является оптической изоляцией единичного волокна в пучке оптических волокон.

Толщина данной оболочки определяется глубиной проникновения света из световедущей жилы и оптимальное ее значение, при котором наблюдается минимальное проникновение света через боковую поверхность оптического волокна, составляет 1,2–1,5 мкм. Стекла светоотражающей оболочки должны обладать показателем преломления порядка 1,47–1,49 и широким выработочным интервалом.

© Дяденко М. В., Левицкий И. А., Кичкайло О. В., Костик Е. А., 2022

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

Для синтеза стекол светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна выбрана система $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ при следующем содержании составляющих, % (здесь и далее по тексту, если не оговорено особо, содержание приведено в мол. %): 4,7–14,1 K_2O ; 9,1–18,6 B_2O_3 ; 72,9–84,2 SiO_2 . С целью устранения признаков фазового разделения в исследуемые стекла дополнительно вводился Al_2O_3 , количество которого составляло 0,8–1,6 %.

В качестве исходных компонентов использовались обогащенный кварцевый концентрат марки КГО (ТУ 5726-002-11496665), борная кислота квалификации ос.ч. для волоконной оптики (ТУ 6-09-4485), калий углекислый квалификации х.ч. (ГОСТ 4221) и глинозем марки Г-000 (ГОСТ 30558), которые предварительно подготавливались и смешивались согласно заданной рецептуре. Используемые сырьевые материалы характеризовались содержанием красящих примесей порядка 10^{-7} мас. %.

Синтез стекол осуществлялся в корундовых тиглях в газопламенной печи при температуре 1500 ± 20 °С с выдержкой при ней в течение 3 ч. В результате синтеза получены однородные прозрачные стекла без видимых признаков фазового разделения, при этом все образцы стекол обладали удовлетворительными выработочными характеристиками.

По результатам изучения кристаллизационной способности опытных стекол в градиентной печи установлено, что они характеризуются высокой устойчивостью стеклообразного состояния при длительных изотермических выдержках. Определено, что для получения боросиликатных стекол для светоотражающей оболочки, устойчивых к кристаллизации в процессе шестичасовой термообработки в температурном интервале 600–1000 °С, количество вводимых оксидов необходимо ограничить следующим содержанием, %: 72,9–84,2 SiO_2 ; 22,5–30,0 B_2O_3 ; 4,7–10,3 K_2O . Установлено, что использование K_2O в составе исследуемых стекол системы $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ в количестве 10,3–14,1 % при содержании B_2O_3 9,1–11,6 % повышает их склонность к кристаллизации с образованием кристаллической корки. Введение добавок Al_2O_3 обеспечивало подавление процессов фазового разделения.

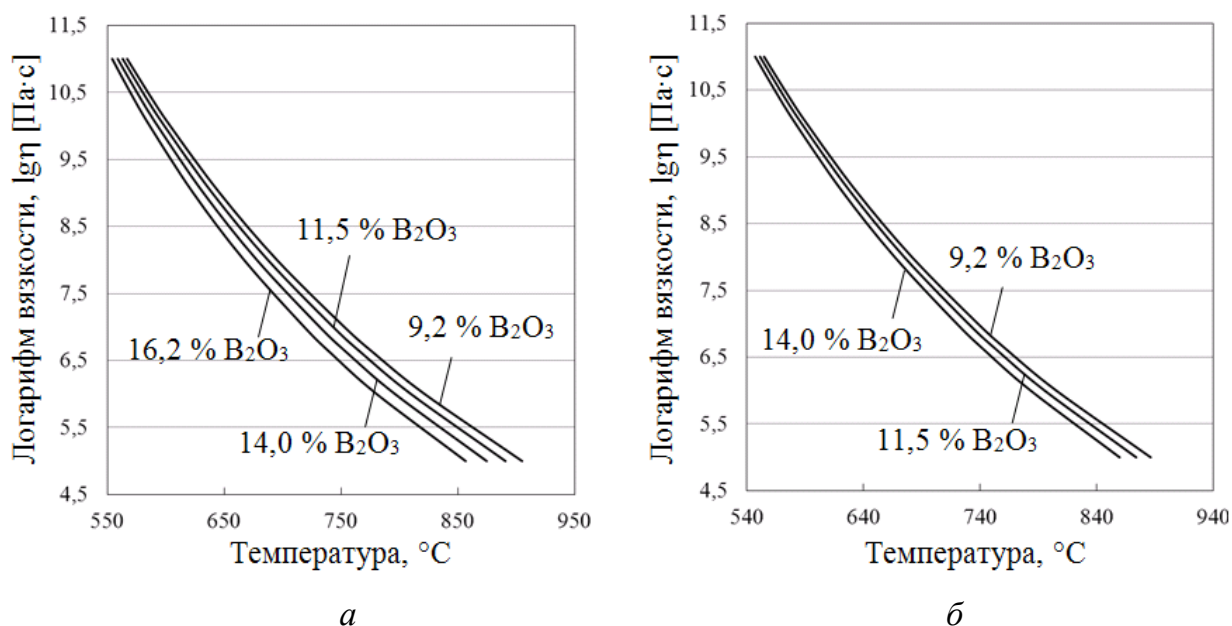
Исследование оптических постоянных: показателя преломления, коэффициента дисперсии, средней дисперсии позволило установить их зависимость от химического состава стекол.

Иммерсионным методом определено, что значения показателя преломления синтезированных оптических стекол находятся в интервале 1,4740–1,5040. Увеличение содержания оксида калия от 4,7 до 14,1 % способствует повышению показателя преломления опытных стекол от 1,4846 до 1,5040, что связано с ростом доли немостиковых атомов кислорода, являющихся более поляризуемыми, чем мостиковые [1]. Повышение количества SiO_2 вместо B_2O_3 от 72,9 % до 84,2 % при постоянном содержании K_2O способствует некоторому росту значений показателя преломления. Это обусловлено различием в поляризуемости катионов Si^{4+} и B^{3+} . Значения средней дисперсии синтезированных оптических стекол составляют 0,00700–0,00764, коэффициент дисперсии при этом находится в интервале 65,98–67,80.

Для получения оптического волокна с требуемой термомеханической прочностью необходимо, чтобы значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) для стекла светоотражающей оболочки составляли $(52-60) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Это обусловлено необходимостью создания напряжений сжатия в оптическом волокне, которые достигаются при существенной разности ТКЛР стекол световедущей жилы и светоотражающей оболочки. Стекла с указанным значением ТКЛР находятся в следующем интервале содержания оксидов, %: 4,7–6,8 K_2O ; 13,7–18,6 B_2O_3 ; 72,9–79,5 SiO_2 ; 0,8–1,6 Al_2O_3 . Увеличение содержания оксида калия приводит к повышению значений ТКЛР до $(70-85) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ в связи с ростом степени ионности связей в стеклах. Кроме этого, заполнение пустот в структуре стекла катионами калия препятствует изгибанию связей, что также отражается на увеличении данного показателя.

С целью получения согласованных по реологическим свойствам стекол для оптического волокна проводилось исследование их показателей вязкости.

На рисунке представлено влияние оксида бора, вводимого взамен SiO_2 , на температурную зависимость вязкости в интервале значений $10^{11}-10^{4,5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ при постоянном содержании K_2O , равном 6,7 и 8,5 %.



Влияние B_2O_3 , вводимого взамен SiO_2 , на вязкость синтезированных стекол при постоянном содержании K_2O . Содержание K_2O , %: *a* – 6,7; *б* – 8,5

Как известно [2], вязкость силикатных стекол зависит от прочности химических связей между частицами вещества и от степени связности кремнекислородного каркаса. В боросиликатных стеклах, кроме этого, на величину вязкости оказывает значительное влияние координация бора и соотношение групп $[\text{BO}_3]$ и $[\text{BO}_4]$ в структуре стекла. Как видно из данных рис. 1, при изменении содержания B_2O_3 от 9,2 до 16,2 % вязкость исследуемых стекол снижается в интервале значений $10^{11}-10^{4,5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ в связи с деполимеризацией кремнекислородного каркаса за счет уменьшения содержания SiO_2 и увеличения доли групп $[\text{BO}_3]$.

Таким образом, по результатам проведенных исследований определена область составов стекол для светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна на основе системы $K_2O-B_2O_3-SiO_2$, устойчивых к кристаллизации при длительных изотермических выдержках в температурном интервале термообработки 600–1000 °С, вязкостные характеристики которых обеспечивают стабильность процесса вытягивания оптического волокна. Показатель преломления разработанных стекол оптимальной области составляет 1,47–1,49, а величина ТКЛР изменяется в пределах $(52-60) \cdot 10^{-7} K^{-1}$.

Библиографический список

1. Шелби, Дж. Структура, свойства и технология стекла / Дж. Шелби. – Москва : Мир, 2006. – 288 с.
2. Смирнов, В. Г. Вязкость стекла : учеб. пособие / В. Г. Смирнов, М. А. Семин. – Москва : МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1987. – 84 с.

Сведения об авторах

Михаил Васильевич Дяденко, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики, начальник научно-исследовательской части учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск), dyadenko-mihail@mail.ru

Иван Адамович Левицкий, доктор технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск), levitskii@belstu.by

Ольга Владимировна Кичкайло, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры технологии стекла и керамики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск), kichkailo@belstu.by

Евгений Андреевич Костик, младший научный сотрудник кафедры технологии стекла и керамики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск), evgenij.kostik.2013@mail.ru