

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТЕКОЛ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Дяденко М. В., доц., канд. техн. наук (dyadenko-mihail@mail.ru), Левицкий И. А., проф., д-р техн. наук (levitskii@belstu.by), Левитан А. Г., мл. науч. сотр.

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь
тел. 8 (029) 369-33-63*

Защитная (окрашенная) оболочка жесткого оптического волокна выполняет две основные функции: предупреждает потери световой энергии, распространяющейся вдоль волокна при отражениях от поверхности раздела световедущей жилы и светозащитной оболочки, а также служит оптической изоляцией единичного волокна в пучке оптических волокон.

Толщина оболочки определяется глубиной проникновения света из световедущей жилы и ее оптимальная толщина составляет 1,2–1,5 мкм. Защитная оболочка с этой целью изготавливается окрашенной.

Выбор составов стекол для защитной оболочки оптического волокна должен обеспечивать устойчивость к фазовому разделению и величину температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) максимально близкую к ТКЛР стекла для световедущей жилы. Кроме того, вязкость данного стекла в интервале температур прессования должна быть ниже вязкости стекла световедущей жилы, что обеспечивает равномерную толщину светоизолирующих прослоек между световедущими жилами. Введение красителей в состав данного стекла позволяет исключить проникновение световой энергии из одного волокна в соседнее при передаче ее по оптическому волокну, а также добиться высокой степени контрастности рабочей поверхности волоконно-оптического элемента, в качестве которого выступают торцы изделия.

В качестве базовой для синтеза стекол защитной оболочки принята система $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, ограниченная следующим содержанием компонентов, мол. %: Na_2O 10–15; B_2O_3 13–15; SiO_2 62,5–70. Оксиды Al_2O_3 , K_2O , BaO , ZnO , CaO вводились в суммарном количестве, составляющем 5 мол. %.

Синтез базовых стекол обеспечивался из технических сырьевых материалов в фарфоровых тиглях в газопламенной печи. Скорость подъема температуры составляла 250 ± 5 °С/ч. Выдержка при максимальной температуре обеспечивала однородность стекломассы по пробе на нить и составляла 3ч. Отжиг образцов стекол производился при температуре 570 ± 5 °С. Все синтезированные составы обеспечивали качественный провар и достаточную степень осветления.

Проведение исследований кристаллизационной способности базовых стекол в интервале температур 650–1000°С с выдержкой при максимальной температуре 6 ч позволила определить составы стекол, устойчивые к фазовому разделению.

Особенностью данных стекол является наличие в ряде составов после термообработки поверхностной пленки, которая является рентгеноаморфной.

Электронной сканирующей микроскопией установлена неравномерность поверхности стекол, имеющая сотовую микроструктуру, которая сформировалась, очевидно, за счет изменения поверхностного натяжения стеклорасплава. Данный характер неоднородностей характеризовался предкристаллизационными образованиями.

Показатель преломления исследованных стекол находился в интервале 1,4985–1,5150 и его значения определялись преимущественно содержанием SiO_2 , вводимого взамен B_2O_3 . Значения коэффициента дисперсии составляли 56,85–62,25, а средняя дисперсия – 0,00796–0,00907.

Плотность исследованных стекол находилась в интервале 2367–2441 кг/м³ и зависела от наличия оксидов-модификаторов.

Температурный коэффициент линейного расширения соответствовал широкому интервалу и составлял от $51,3 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ до $72,6 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$.

Температура размягчения базовых стекол составляла от 520 до 612 °С и повышалась с ростом содержания SiO₂. Это обусловлено ростом степени полимеризации структурного каркаса стекла, представленного тетраэдрами [SiO₄], которая повышалась при температурном воздействии.

Микротвердость стекол составляла от 4607 до 5541 МПа и определялась также прочностью связей в структуре исследованных стекол.

Водостойкость стекол по потерям их массы находилась в интервале 0,37–0,86 %.

Графическая зависимость физико-химических свойств базовых стекол от химического состава позволила установить наличие перегибов при содержании В₂О₃, составляющем 15 мол. %, что свидетельствовало об изменении структуры стекол.

Исследование вязкости стекол для защитной оболочки позволило установить, что повышение содержания В₂О₃ в составе стекол от 12,5 до 20,0 мас. %, введенного взамен SiO₂, смещает интервал формирования в более высокотемпературную область. Дальнейшее увеличение содержания В₂О₃ приводит к обратному явлению. Это, вероятно, обусловлено тем, что с увеличением содержания В₂О₃ происходит преобладание группировок треугольников [ВО₃] над тетраэдрами [ВО₄].

Методом ИК-спектроскопии подтверждено наличие в стеклах высокополимеризованных структурных областей, образованных группами [ВО₃] и [ВО₄]. Бор также находится в тройной координации, образуя собственные структурные группировки [ВО₃].

Полученные результаты подтверждают, что ионы Si⁴⁺ могут замещаться кристаллохимически подобными ионами В³⁺ в структуре стекол, богатых оксидами щелочных металлов, с формированием единого смешанного скелета.

По результатам изучения стекол базовой серии определен оптимальный состав, на основе которого осуществлен синтез окрашенных стекол путем варьирования количества красителей, вводимых сверх 100 % в состав базового стекла. В качестве красящих оксидов использовались СоО, Cr₂О₃, Mn₂О₃ и Fe₂О₃. Их введение в состав шихты производилось в количестве от 0,3 до 0,5 мас. % сверх 100% составляющих при содержании от 0,1 до 0,2 мас. %. Полученные цветные стекла характеризовались черным, зеленым, фиолетовым, сине-зеленым, изумрудно-зеленым и другими цветами.

Цветные стекла отличались отсутствием признаков фазового разделения в интервале температур 650–1000 °С при изотермической выдержке 6ч.

Стекла оптимального состава характеризуются температурой варки 1450±10 °С. Показатель преломления составляет 1,5150, ТКЛР –73,8·10⁻⁷К⁻¹. Стекла имеют температуру размягчения 450 °С, микротвердость составляет 5430 МПа. Температурный интервал изменения вязкости в диапазоне 10¹⁰–10⁵ Па·с составляет 305±2 °С.

Для окрашенных стекол получены спектры поглощения, имеющие сходный характер. Для них характерна полоса поглощения в видимой части спектра при 550, 600 и 670 нм. Стекла данных составов, несмотря на то, что они поглощают излучение в видимом диапазоне, являются более предпочтительными, поскольку данные колебания позволяют не только создать оптический буфер между волокнами в элементе, но и исключить вероятность диффузии красящих ионов из стекла защитной оболочки в световедущую жилу ввиду их низкой концентрации. Кроме того, такая комбинация красителей обеспечивает требуемое пропускание в ближайшем ИК-диапазоне.

Исследованием светопропускания синтезированных стекол установлены составы со сниженной диффузией красящих оксидов из защитной оболочки в светоотражающую и с повышением прозрачности стекол в ближнем ИК-диапазоне. Это позволит стеклам более интенсивно прогреваться в процессе изготовления многожильного волокна, обеспечивая снижение потерь продукции от брака.