

**Разработка стекол для волоконной оптики**

Студент 5 к., 8 гр. ХТиТ Янукевич Е.Н.

Научный руководитель – Папко Л.Ф.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

При изготовлении волоконно-оптических изделий используется жесткое оптическое волокно, состоящее из световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек.

Цель настоящего исследования – разработка составов стекол для получения оболочек жесткого оптического волокна.

К данным стеклам предъявляются следующие требования:

– для обеспечения требуемого прохождения световых лучей, падающих под большим углом к оптической оси, и создания необходимой частотно-контрастной характеристики волоконной детали апертурное число жесткого оптического волокна должно быть больше 1,0;

– для получения жесткого оптического волокна с требуемой термомеханической прочностью необходимо, чтобы ТКЛР стекла для светоотражающей оболочки был ниже ТКЛР стекла световедущей жилы: оптимальная разность ТКЛР жилы и оболочки находится в интервале  $(5 - 12) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , что обусловлено необходимостью создания напряжений сжатия в оболочке жесткого волокна;

– для предотвращения возникновения диффузии на границе жила–оболочка показатели вязкости стекол должны иметь минимальное различие, однако вязкость оболочки должна быть несколько выше ввиду того, что она определяет условия технологического процесса вытягивания волокна;

При подборе пары стекол для оптического волокна необходимо учитывать их “химическое родство” для минимизации диффузионных процессов на границе раздела сердцевина–оболочка, что позволит максимально сохранить исходные значения показателя преломления каждого стекла.

При получении светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна используют составы стекол из группы кронов. В качестве базовой системы для исследования выбрана система  $\text{R}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  с добавками  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Данные стекла характеризуются низкими показателями преломления (1,47 – 1,50). Использование оксидов типа  $\text{RO}$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$  связано с плотностью упаковки элементов структуры стекла, которая играет важную роль при вытягивании жестких оптических волокон. В структуре стекол имеются замкнутые полости, которые могут стать причиной диффузии красящих примесей из защитной оболочки в световедущую жилу. Для повышения плотности упаковки и предупреждения диффузии ионов с малым радиусом в качестве оксидов двух- и трехвалентных элементов использованы  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Синтезированы составы стекол, включающие, мас. %: 57,5 – 70,0  $\text{SiO}_2$ ; 10,0 – 25,0  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 0 – 20,0  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0 – 15,0  $\text{K}_2\text{O}$ ; 3,0 – 5,0  $\text{CaO}$ ; 2,5  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Варка стекол производилась при температуре  $1500 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$  газопламенной печи.

По результатам оценки качества стекла установлено, что образцы, имеющие в своем составе значительное количество легкоплавких компонентов ( $\text{R}_2\text{O}$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ ) однородны, не имеют кристаллических включений. Образцы стекол с высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  имеют газообразные включения.

Кристаллизационная способность опытных стекол имеет огромное значение, так как для получения качественного волокна и сохранения стабильности процесса его производства необходимо, чтобы стекла как для световедущей жилы, так и для оболочек имели высокую устойчивость к кристаллизации при длительных изотермических выдержках.

Стекла, содержащие, мас. %: 60,0 – 70,0 SiO<sub>2</sub>; 15,0 – 25,0 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 10,0 – 20,0 Na<sub>2</sub>O; 5,0 CaO, по данным градиентной термообработки, которая проводилась в температурном интервале 600 – 1100 °С в течение трех часов, проявляют склонность к поверхностной кристаллизации. При замене в этих составах 2,5 мас. % SiO<sub>2</sub> на эквивалентное количество Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> склонность к кристаллизации снижается: уменьшается температурный интервал появления поверхностной корки. Кроме того, снижению кристаллизационной способности способствует одновременное введение в состав стекол Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O. При этом получены образцы стекол, не проявляющие признаков кристаллизации при длительной градиентной термообработке.

При изготовлении оптического волокна важное значение имеет величина термического коэффициента линейного расширения. ТКЛР синтезированных стекол составляет  $(55,2 - 77,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  и повышается с ростом содержания Na<sub>2</sub>O. Это обусловлено уменьшением степени связности структурной сетки. При повышении содержания в стекле B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> термический коэффициент линейного расширения уменьшается.

Также на термический коэффициент линейного расширения оказывает влияние природа щелочного компонента. При сравнении ТКЛР опытных стекол видно, что при замене Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O ТКЛР увеличивается.

Показатель преломления синтезированных стекол составляет 1,487 – 1,532 и растет с ростом содержания Na<sub>2</sub>O. Замена Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O приводит к снижению показателя преломления. Стекла с показателем преломления более 1,5 для оболочки оптического волокна не пригодны, т.к. часть светового потока, падающего на поверхность входного торца, будет проходить через боковую поверхность. Это обусловлено близкими значениями показателя преломления жилы и оболочки.

Коэффициент дисперсии опытных стекол равен 60,9 – 69,9 и возрастает с увеличением количества SiO<sub>2</sub>. Повышение содержания щелочных компонентов в стекле приводит к снижению коэффициента дисперсии, однако замена Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O приводит к возрастанию коэффициента дисперсии.

Для получения защитной оболочки проведен синтез стекол системы Na<sub>2</sub>O–K<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> с добавками красителей. Данные стекла должны быть согласованы по величине ТКЛР со стеклом световедущей жилы, составляющим  $77 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Такие показатели ТКЛР обеспечиваются при введении до 17 мас. % оксидов щелочных металлов.

Составы синтезированных стекол содержат в качестве красителей оксиды кобальта, никеля и хрома в количестве 0,4 – 0,8 мас. % (сверх 100 %). По результатам градиентной термообработки данных стекол можно сделать вывод о снижении кристаллизационной способности стекол при введении в их состав красителей.

При оценке поглощающей способности опытных образцов установлено, что введение оксида никеля обеспечивает поглощение в узкой области оптического диапазона, составляющей от 420 до 560 нм. При совместном введении в состав стекла оксидов кобальта и никеля полоса поглощения расширяется и составляет 420 – 700 нм. Требуемая степень поглощения в видимой части спектра обеспечивается также при совместном введении оксидов хрома и кобальта. Данная комбинация красителей обеспечивает интенсивное поглощение в УФ- и видимой частях спектра в диапазоне 200 – 700 нм.

По показателям технологических и физико-химических свойств определены оптимальные составы стекол для светоотражающей и защитной (светопоглощающей) оболочек жесткого оптического волокна.

Стекло для светоотражающей оболочки оптического волокна характеризуется отсутствием признаков кристаллизации при термообработке в интервале температур

600 – 1100 °С, имеет показатель преломления 1,487 и термический коэффициент линейного расширения, равный  $66,0 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Стекло для защитной оболочки обладает устойчивостью к фазовому разделению в интервале температур 600 – 1100 °С, имеет значение ТКЛР, равное  $76,8 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  и обеспечивает интенсивное поглощение в видимой части спектра.

Испытание разработанных стекол проведены на ОАО “Завод “Оптик”, на котором производятся изделия волоконной оптики. Испытания подтвердили хороший уровень согласования разработанных стекол для оболочек оптического волокна со стеклом для световедущей жилы по оптическим характеристикам.