

ОСОБЕННОСТИ СОГЛАСОВАНИЯ СТЕКОЛ СВЕТОВЕДУЩЕЙ ЖИЛЫ И СВЕТООТРАЖАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ ЖЕСТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Дяденко М.В., Левицкий И.А., Кичкайло О.В., Костик Е.А.
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
dyadenko-mihail@mail.ru, levitskii@belstu.by

Оптическое волокно представляет собой систему, состоящую из световедущей жилы и двух (светоотражающей и защитной) оболочек.

Световедущая жила служит для передачи световой энергии, сконцентрированной на входном ее торце, на его выходной торец путем полного внутреннего отражения светового луча.

Светоотражающая оболочка в оптическом волокне выполняет две основные функции, обеспечивающие предупреждение потерь световой энергии, распространяющейся вдоль волокна при отражениях от поверхности раздела в системе «жила – оболочка», а также выполняет функцию оптической изоляции единичного волокна в пучке оптических волокон.

Защитная оболочка служит для предупреждения нежелательного попадания светового луча из светоотражающей оболочки в соседний световод и окружающую среду. Она обычно изготовлена из цветного стекла и не является предметом данных исследований.

Стекла для волоконной оптики должны обладать следующим особым комплексом физико-химических свойств:

- составы, применяемые для получения световедущей жилы и светозащитной оболочки оптических волокон, должны быть химически совместимы и не взаимодействовать между собой в месте спая в процессе получения волокна. Особенно это касается границы, возникающей между световедущей жилой и светоотражающей оболочкой, где исключены процессы фазового разделения, образование пузырей и других явлений, приводящих к потере пропускания света;

- показатели вязкости стекол для световедущей жилы и светозащитной оболочки должны быть согласованы в сравнительно широком температурном интервале. Причем вязкость стекла светозащитной оболочки в районе температур прессования должна быть выше вязкости стекла световедущей жилы. Оптимальные результаты достигаются в том случае, когда вязкость стекол для световедущей жилы отличается не более чем $\pm 0,5$ порядка логарифмической вязкости;

- для обеспечения требуемой числовой апертуры изготавливаемых деталей пара данных стекол должна иметь определенную разность квадратов показателей преломления;

- стекла должны быть подобраны по температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР) как между собой, так и по отношению к материалу деталей, с которыми они будут сочленяться;

- светопропускание данных стекол должно быть существенно выше, чем стекло иного назначения и потери света на поглощение и рассеяние по всей длине волокна не должны превышать 10 %.

Жесткие волокна имеют диаметр более 3 мм и в отличие от гибких обладают пониженной гибкостью. Одножильные волокна, имеющие одну световедущую жилу, и многожильные волокна, обладающие большим количеством световедущих жил, разделенных светоотражающими оболочками, являются основными полуфабрикатами для изготовления волоконно-оптических элементов: пластин, жгутов, фоконов, твистеров и др.

Для производства стекол световедущей жилы нами использован тяжелый баритовый флинт, синтезированный в системе $\text{BaO-La}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-SiO}_2$ при содержании оксидов, мол. %: 15–40 BaO; 0–25 La_2O_3 ; 0–25 TiO_2 ; и постоянном количестве $(\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$, составляющем 60 мол. %.

Исследованиями данных стекол установлена склонность их к ликвационному разделению, которая подавляется введением оксидов WO_3 , Y_2O_3 и Cd_2O_3 , вводимых взамен La_2O_3 , которые обуславливают подавление процессов фазового разделения.

Установлено, что ТКЛР опытных стекол находится в интервале $(69,0-97,8) \cdot 10^{-7} K^{-1}$.

Определено, что оксиды титана могут выступать как в роли модификатора, так и стеклообразователя. При увеличении основности стекла и температуры расплава равновесие между координационными группировками $[TiO_4]$ сдвигается в сторону тетраэдрической. С ростом количества TiO_2 влияние La_2O_3 и BaO на величину ТКЛР выражено в меньшей степени, что, очевидно, связано с отсутствием координационных изменений стекла по бору.

Замена BaO на La_2O_3 в составе этих стекол вызывает рост показателей вязкости во всем диапазоне значений. Рост количества B_2O_3 от 15 до 30 мол. % приводит к росту доли групп $[BO_4]$ и увеличению связности борокремнекислородного каркаса стекла.

На основе изучения вязкости стекол системы в интервале значений $10^{10}-10^4 Pa \cdot s$ установлено, что замена BaO на La_2O_3 вызывает рост показателей вязкости во всем диапазоне значений. Замена TiO_2 на BaO также приводит к повышению вязкости в интервале значений $10^{10}-10^5 Pa \cdot s$. С ростом содержания BaO от 15 до 30 мол. % происходит рост доли групп $[BO_4]$ и, соответственно, увеличение степени связности борокремнекислородного каркаса.

Разработан состав стекла для световедущей жилы жесткого оптического волокна. Стекло устойчиво к фазовому разделению при 24-часовой термообработке в интервале температур $600-1000^\circ C$. Температурный интервал изменения вязкости в диапазоне $10^{10}-10^{4.5} Pa \cdot s$ составляет $145 \pm 2^\circ C$.

ТКЛР стекла составляет $(77,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-7} K^{-1}$, показатель преломления – 1,805; Величина светопропускания при длине волны 540 нм имеет значение $84 \pm 2\%$, а показатель ослабления – $(0,0027 \pm 2) \cdot 10^{-4} mm^{-1}$.

Для получения стекла светоотражающей оболочки жесткого многожильного волокна, устойчивого к фазовому разделению, с показателем преломления не выше 1,49 выполнен синтез стекол для светозащитной оболочки в системе $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ при следующем содержании оксидов, мол. %: 74,8–84,2 SiO_2 ; 9,1–18,4 B_2O_3 ; 6,7–14,0 K_2O . Температура синтеза стекол составляет $1500 \pm 10^\circ C$.

Установлено, что для получения оптического волокна с числовой апертурой, составляющей 1,02–1,04 и требуемой термомеханической прочностью введение K_2O должно быть ограничено его содержанием в количестве 6–10 мол. %.

По результатам систематического исследования вязкости стекол данной системы установлено, что повышение энергии активации вязкого течения в интервале значений $10^{10}-10^{6.5} Pa \cdot s$ обуславливает рост скорости твердения стекла светоотражающей оболочки. Для обеспечения широкого выработочного интервала стекла, составляющего порядка $300^\circ C$ при изменении вязкости с 10^{10} до $10^4 Pa \cdot s$, содержание K_2O в составе стекла для светоотражающей оболочки не должно превышать 6–10 мол. %.

Разработан состав стекла для светоотражающей оболочки оптического жесткого волокна, устойчивый к фазовому разделению при 6-ти часовой выдержке в температурном интервале $600-1000^\circ C$. Показатель преломления стекла имеет значение 1,488, а ТКЛР составляет $(53,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-7} K^{-1}$.

Температурный интервал изменения вязкости в диапазоне $10^{10}-10^5 Pa \cdot s$ составляет $340 \pm 2,5^\circ C$, значение апертуры – $A > 1$.

Данные стекла отвечают требованиям согласованности их структур, физико-химических, оптических и технологических характеристик.

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