

И. А. Левицкий, проф., д-р техн. наук
Л. Ф. Папко, доц., канд. техн. наук
М. В. Дяденко, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СТЕКЛА ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЖЕСТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Волоконно-оптические элементы (волоконно-оптические пластины и жгуты, твистеры, фоконы), используемые в оптоэлектронике, должны отвечать целому ряду требований, таких как вакуумплотность, чистота поля зрения, требуемая контрастность.

Процесс изготовления волоконно-оптических элементов является многостадийным и включает вытягивание одножильного жесткого волокна, перетяжку пакета одножильных волокон с целью формирования многожильного волокна и прессование пакета многожильных волокон. Стабильность процесса изготовления волоконно-оптических элементов и их качество существенно зависят от технологических характеристик стекол для оптического волокна.

Поскольку пропускная способность жесткого оптического волокна определяется соотношением показателей преломления стекол световедущей жилы и светоотражающей оболочки, то составы таких стекол достаточно стабильны и, как правило, не подвергаются корректировке. Стекло для защитной оболочки выполняет в определенной мере вспомогательную функцию, его оптические постоянные не нормируются, поэтому в процессе изготовления волоконно-оптических элементов различного назначения состав данного стекла подвергается корректировке с целью регулирования их поглощающей способности и реологических характеристик.

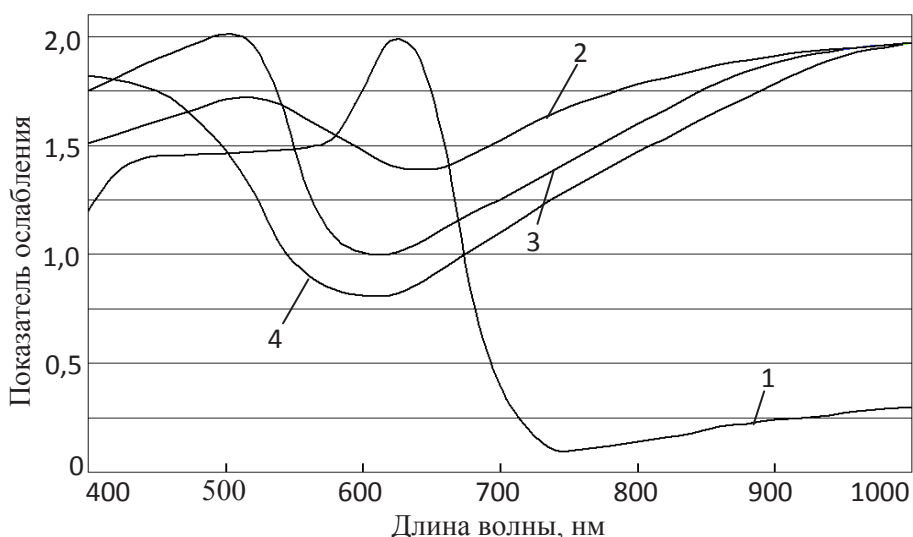
В связи с этим в настоящей работе проводились исследования, направленные на оптимизацию составов стекол для защитной оболочки.

Стекла для защитной оболочки синтезированы на основе системы $K_2O-Na_2O-B_2O_3-SiO_2$ при содержании компонентов, мол. %: SiO_2 67,5–72,5; B_2O_3 7,5–12,5; K_2O+Na_2O 12,5–17,5. Температура синтеза стекол в газовой пламенной печи составляет 1450 ± 20 °С.

Промышленные составы стекол для защитной оболочки оптического волокна содержат красители CoO , Cr_2O_3 и Mn_2O_3 , которые характеризуются высокой поглощающей способностью в видимой части спектра. С целью расширения области применения оптического волокна в качестве красителей апробировалось введение оксидов Fe_2O_3 и TiO_2 в соотношении (0,8–1):1.

При длительных изотермических выдержках стекла должны обеспечивать высокую устойчивость стеклообразного состояния в температурном интервале вытягивания оптического волокна. Одновременное введение оксидов щелочных металлов обуславливает снижение кристаллизационной способности, при этом отсутствие признаков кристаллизации при длительных изотермических выдержках обеспечивается при соотношении K_2O/Na_2O свыше 1. При введении оксидов железа и титана в суммарном количестве 3,0 мол. % признаки кристаллизации не наблюдаются при длительных изотермических выдержках в интервале температур 600–1100 °С.

Спектральное пропускание образцов окрашенных стекол толщиной 2 мм определялось с помощью спектрофотометра PROSCAN 122 в диапазоне длин волн 400–1100 нм. Для стекла защитной оболочки нормируется коэффициент ослабления, который выражает оптическую плотность образца толщиной 1 мм и должен составлять не менее 1,5 в интервале длин волн 400–600 нм (рисунок 1).



1 – ВТО-73; опытные стекла с соотношением Fe_2O_3 и TiO_2 :
2 – 1:1; 3 – 0,9:1; 4 – 0,8:1

Рисунок 1 – Коэффициент ослабления опытных стекол

Коэффициент ослабления стекол, содержащих Fe_2O_3 и TiO_2 в количестве 3,0 мол. %, в видимой области спектра возрастает с увеличением соотношения $Fe_2O_3:TiO_2$ от 1,2 до 2,0 mm^{-1} . Для промышленного состава стекла защитной оболочки марки ВТО-73 коэффициент ослабления в диапазоне длин волн 400–540 нм составляет 1,2–1,5 mm^{-1} .

По результатам исследования спектральных характеристик установлено, что введение оксидов титана и железа обеспечивает высоко-

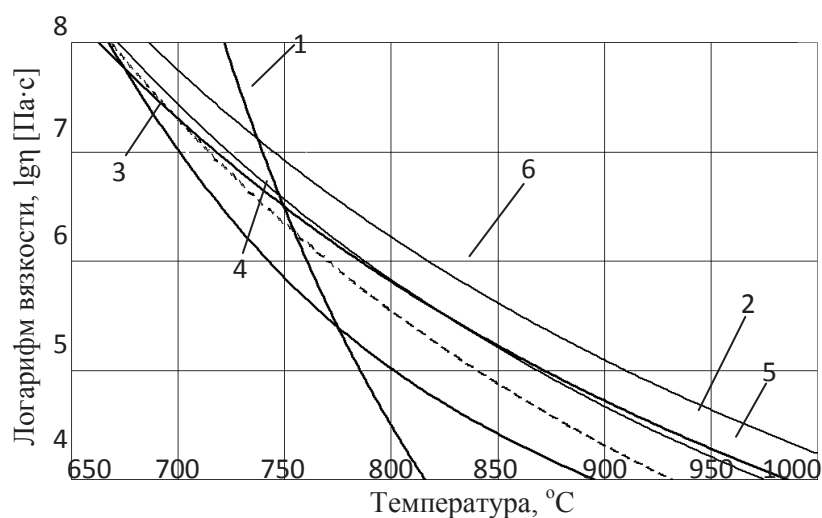
кие показатели коэффициента ослабления в видимой и ближней ИК-области спектра.

Ионы Ti^{3+} дают широкую полосу поглощения около 500 нм, при этом в окислительных условиях синтеза стекла практически не окрашиваются. Особенностью окрашивания титансодержащих стекол является существенное влияние на поглощающую способность ионов титана окислительно-восстановительных условий варки, а также наличия d-элементов в их составе. В присутствии оксидов железа образуется ряд хромофорных комплексов, поглощающая способность которых усиливается в ряду $Ti^{4+}-O-Fe^{3+} \rightarrow Ti^{3+}-O-Fe^{3+} \rightarrow Ti^{4+}-O-Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}-O-Fe^{2+}$ [1].

Следовательно, при одновременном введении Fe_2O_3 и TiO_2 в состав стекол высокие показатели коэффициента ослабления достигаются за счет образования хромофорного комплекса $Ti^{4+}-O-Fe^{2+}$. В сравнении со стеклом защитной оболочки марки ВТО-73 опытные стекла имеют высокую поглощающую способность как в видимой, так и в ближней ИК-области спектра. Геометрия одно- и многожильного волокна и волоконно-оптических элементов определяется температурной зависимостью вязкости стекол, поэтому оптимизация их составов проводилась по результатам исследования реологических свойств. Варьирование составов стекол производилось путем изменения соотношения K_2O/Na_2O и $(K_2O+Na_2O)/V_2O_3$. Как показано нами ранее [2], на реологические характеристики боросиликатных стекол существенное влияние оказывает соотношение группировок $[VO_3]$ и $[VO_4]$ в их структуре, т.е. степень связности борокремнекислородного каркаса.

На рисунке 2 представлены результаты определения вязкостных характеристик стекол для защитной оболочки, а также стекол для световедущей жилы и светоотражающей оболочки методом деформации цилиндрических образцов с применением вискозиметра PPV-1000 (США).

Введение Fe_2O_3 и TiO_2 в состав боросиликатных стекол приводит к снижению показателей вязкости во всем температурном интервале. Однако увеличение соотношения K_2O/Na_2O в составе опытных стекол и снижение соотношения $(K_2O+Na_2O)/V_2O_3$ в сравнении со стеклом марки ВТО-73 обуславливает рост показателей вязкости и уменьшение рабочего интервала, соответствующего изменению вязкости от 10^8 до 10^4 Па·с. Высокие показатели вязкости стекла для защитной оболочки в области температур вытягивания одножильного волокна (700–1100 °С) могут привести к эффекту «гашения» световода. Повышение вязкости стекла защитной оболочки в интервале температур прессования пакета многожильных волокон (650–700 °С) может привести к нарушению геометрии волоконно-оптического элемента и, как следствие, к снижению чистоты поля зрения.



Разработанные составы стекол для: 1 – световедущей жилы;
2 – светоотражающей оболочки; защитной оболочки при соотношении K_2O/Na_2O ;
3 – 1,0; 4 – 1,2; 5 – 1,3; 6 – 1,5

Рисунок 2 – Температурная зависимость вязкости стекол для оптического волокна

По соотношению показателей вязкости стекол для световедущей жилы и оболочек оптического волокна в интервале значений 10^9-10^4 Па·с для использования в качестве стекла защитной оболочки определены стекла с соотношением K_2O/Na_2O , составляющим 1–1,2, и соотношением $(K_2O+Na_2O)/B_2O_3$ – 1,5.

Разработано стекло для защитной оболочки жесткого оптического волокна, которое характеризуется спектральным показателем ослабления, составляющим $1,5-2 \text{ мм}^{-1}$, и устойчивостью к кристаллизации при 24-часовой термической обработке в интервале температур 600–1100 °C. Апробация разработанного состава стекла для защитной оболочки в условиях производства подтвердила, что его использование обеспечивает стабильность процесса вытягивания и требуемую геометрию одно- и многожильного волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ходаковская, Р. Я. Химия титансодержащих стекол и ситаллов / Р. Я. Ходаковская. – М.: Химия, 1978. – 288 с.

2 Левицкий, И. А. Реологические свойства боросиликатных стекол и расплавов / И. А. Левицкий, Л. Ф. Папко, М. В. Дяденко // Стекло и керамика. – 2013. – №6. – С. 6–10.