

СТЕКЛА ДЛЯ ОЧКОВОЙ ОПТИКИ С ПОВЫШЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Д-р техн. наук **И. А. ЛЕВИЦКИЙ** (e-mail: keramika@bstu.unibel.by), канд. техн. наук **Л. Ф. ПАПКО**, канд. техн. наук **М. В. ДЯДЕНКО**

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Беларусь, г. Минск)

На основе системы $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{--MgO--CaO--BaO--ZnO--B}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ разработаны стекла с показателем преломления, составляющим 1,60 – 1,65, плотностью 2,80 – 3,08 г/см³ и коэффициентом дисперсии не менее 45. Стекла рекомендуются к использованию при производстве очковых линз

Ключевые слова: оптическое стекло, очковая оптика, показатель преломления, плотность, коэффициент дисперсии

При изготовлении очковых линз все более широкое применение находят органические материалы, преимуществом которых является гораздо меньшая по сравнению с силикатным стеклом плотность. Соответственно, масса линзы из органического материала при одинаковых оптических свойствах существенно меньше. Конкуренентоспособность оптического стекла как материала для очковых линз может быть повышена за счет уменьшения толщины очковой линзы, что возможно при высоком показателе преломления оптического стекла. В связи с этим производителями очковых линз используются высокоиндексные стекла, показатель преломления которых превышает 1,60. Однако преимущества высокоиндексных стекол могут быть реализованы лишь при относительно малой плотности стекла. Важное значение имеет также коэффициент дисперсии (число Аббе): чем выше данный показатель, тем меньше хроматические аберрации у линзы [1].

Таким образом, стекла, используемые для изготовления очковых линз, должны удовлетворять целому комплексу требований: иметь высокий показатель преломления, большую величину коэффициента дисперсии, малую плотность. Кроме этого они должны обладать достаточно высокой твердостью, малым коэффициентом пропускания ультрафиолетового и инфракрасного излучений, быть химически устойчивыми к воздействию влажной атмосферы и пятняющих агентов.

Применяемое в настоящее время на ОАО «Завод «Оптик» (г. Лида, Республика Беларусь) для изготовления очковых линз стекло марки БОК-3 имеет показатель преломления $n_e = 1,525$, число Аббе 58,3 и плотность, равную 2,53 г/см³.

Указанное стекло по величине показателя преломления относится к средненижеским. ГОСТ 3-465-84 регламентирует стекла марок БОФ-60 и БОФ-65, показатель преломления которых составляет соответственно 1,6097 и 1,6530. Недостатком стекол данных марок является их высокая плотность, составляющая 3,16 и 3,37 г/см³ соответственно, а также наличие в рецептуре стекол оксида свинца – компонента первого класса опасности.

В соответствии с ГОСТ 3514-94 для производства очковых линз могут быть выбраны марки оптических стекол с показателем преломления n_e , составляющим 1,60 – 1,65. Это стекла марок: ТК – тяжелые кроны, Ф – флинт, БФ – баритовые флинт. Основные характеристики стекол данных марок приведены в табл. 1.

Стекла марок Ф1, Ф6, Ф9 получены на основе системы $\text{K}_2\text{O--PbO--SiO}_2$ при молярном содержании оксида свинца до 17 – 22 %* [2]. При показателе преломления, составляющем 1,6070–1,6180, данные стекла характеризуются низким коэффициентом дисперсии и высокой плотностью, что обусловлено значительным молярным содержанием оксида свинца (до 19 – 35 %). Более низкую плотность, составляющую 2,93 г/см³, имеет стекло марки Ф9, однако его состав включает соединения фтора (содержание F⁻ – 18,44 %).

Баритовые флинт получены на основе системы $\text{K}_2\text{O--BaO--ZnO--PbO--SiO}_2$ с добавками Na_2O , CaO , B_2O_3 . Они характеризуются более высоким коэффициентом дисперсии, однако плотность их

* Здесь и далее молярное содержание, %, если не оговорено особо.

Таблица 1. Основные характеристики стекол с показателем преломления 1,60 – 1,65

Марка стекла	n_e	v_e	Плотность, г/см ³	Марка стекла	n_e	v_e	Плотность, г/см ³
TK4	1,6138	55,55	3,58	Ф1	1,6169	36,70	3,57
TK8	1,6168	54,83	3,61	Ф6	1,6070	37,68	3,48
TK13	1,6063	60,39	3,44	Ф9	1,6180	34,31	2,93
TK14	1,6155	60,34	3,51	БФ11	1,6251	52,84	3,66
TK16	1,6152	58,09	3,56	БФ12	1,6298	38,43	3,67
TK17	1,6305	59,09	3,66	БФ21	1,6178	39,76	3,56
TK20	1,6247	56,43	3,58	БФ25	1,6108	45,82	3,47

составляет не менее 3,47 г/см³ и повышается с ростом показателя преломления.

Тяжелые кроны синтезированы в системе BaO–B₂O₃–SiO₂ при содержании, %: SiO₂ 34,0 – 58,7, BaO – до 31,8. Кроме того, в состав стекол марки ТК могут входить Na₂O, K₂O, ZnO, Al₂O₃. Коэффициент дисперсии тяжелых кронов, указанных в табл. 1, изменяется в пределах 54,83 – 60,39 при показателе преломления не менее 1,6063. Однако повышенное содержание оксида бария обуславливает достаточно высокие показатели плотности данных стекол.

Таким образом, оптические стекла известных марок не отвечают комплексу требований, предъявляемых к стеклам для очковой оптики. Поэтому была поставлена задача получения стекол с показателем преломления не менее 1,60 и плотностью, не превышающей 3,0 г/см³. При этом следовало учитывать также необходимость обеспечить требуемые технологические свойства: исключение кристаллизации в процессе формования изделий и невысокую агрессивность стеклорасплава. Немаловажным является также экономический фактор, так как при разработке оптических стекол с высоким показателем преломления широко используются оксиды редкоземельных элементов, в частности оксид лантана, который является дорогостоящим материалом. Кроме того, нежелательно использование компонентов первого класса опасности, в частности соединений свинца.

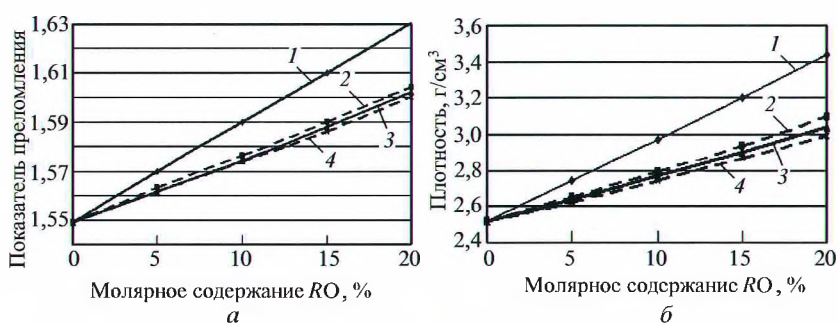
Основой для синтеза стекол была выбрана многокомпонентная система Na₂O–RO–B₂O₃–SiO₂, где RO – MgO, CaO, ZnO, SrO, BaO. При подборе составов стекол учитывалось влияние компонентов на плотность стекол, поэтому в качестве основного оксида

группы RO выбран оксид кальция, который вводится в состав опытных стекол в количестве до 20 %. Базовый состав стекла включает, %: 10 Na₂O; 20 CaO; 5 B₂O₃; 65 SiO₂.

Варка стекол осуществлялась в газовой пламенной печи при температуре 1400 – 1450 °С в фарфоровых и корундовых тиглях.

Стекло базового состава характеризуется показателем преломления 1,5493 и значением плотности 2,518 г/см³. Для повышения показателя преломления, а также улучшения технологических свойств синтезированных стекол вводили в базовый состав два и более компонента из группы RO в различных соотношениях путем частичной замены SiO₂ на оксиды BaO, ZnO, SrO, MgO. При этом содержание компонентов варьировали в следующих пределах, %: BaO – от 1 до 20, ZnO – от 5 до 12, SrO – от 2 до 6 и MgO – от 2 до 6.

На рис. 1 приведены результаты определения показателя преломления стекол иммерсионным методом и плотности опытных стекол, которые характеризуются лучшими технологическими свойствами.

**Рис. 1.** Влияние оксидов группы RO на показатель преломления (а) и плотность (б)

Компоненты и их молярное соотношение: 1 – BaO; 2 – BaO:ZnO = 1:4; 3 – MgO:BaO:ZnO = 1:1:2; 4 – MgO:SrO:BaO:ZnO = 2:2:1:5

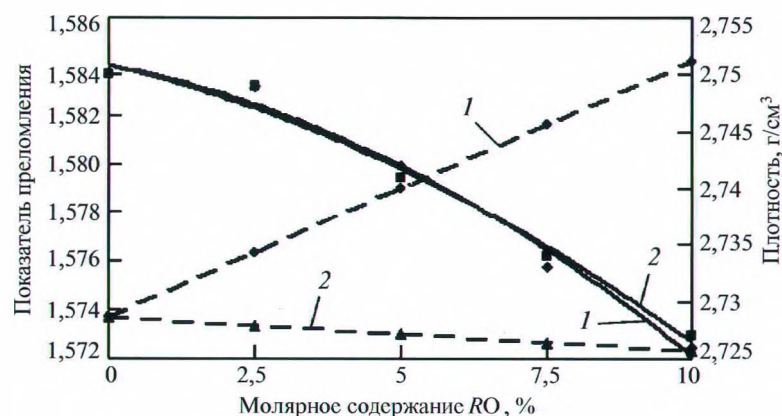


Рис. 2. Влияние оксидов группы R_2O на показатель преломления и плотность опытных стекол

— — плотность, - - - - показатель преломления; 1 — Li_2O ; 2 — K_2O

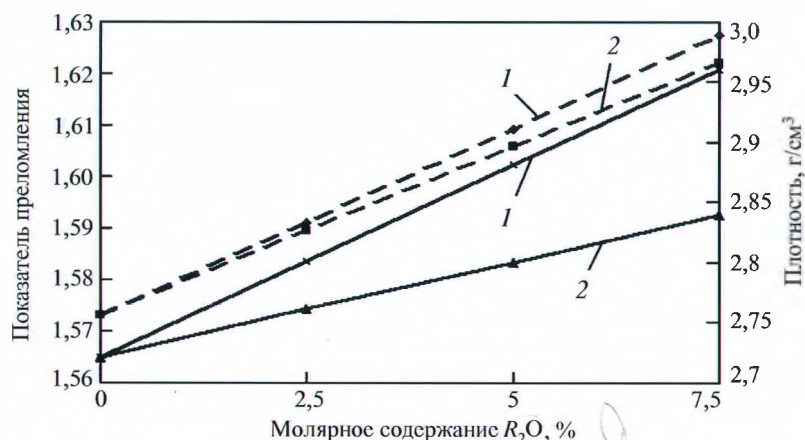


Рис. 3. Влияние оксидов TiO_2 и ZrO_2 на показатель преломления и плотность опытных стекол

— — плотность, - - - - показатель преломления; 1 — ZrO_2 ; 2 — TiO_2

Определено, что наиболее эффективно обеспечивается повышение показателя преломления при совместном введении CaO и BaO , однако при достижении показателя преломления 1,60 плотность стекол составляет свыше $3,1 \text{ г/см}^3$.

При введении оксидов бария и цинка в соотношении 1:4, оксидов магния, бария и цинка — 1:1:2, оксидов магния, стронция, бария и цинка — 2:2:1:5 показатель преломления возрастает в меньшей степени, чем в случае введения только BaO , однако плотность опытных стекол при этом повышается не столь существенно. Эффективно использование оксида магния, однако его содержание ограничено 4 % в связи с повышением кристаллизационной способности стекол при термической обработке.

Совместное введение оксидов CaO , ZnO , MgO , SrO , BaO обеспечивает снижение кристаллизационной способности, которая проявляется при градиентной термообработке образованием кристаллической пленки в температурном интервале $700 - 950 \text{ }^\circ\text{C}$. Стеклообразующие расплавы не проявляют агрессивность к материалу фарфоровых тиглей, используемых для варки стекла.

При разработке стекла с повышенным показателем преломления проводили также замену в составе опытных стекол при соотношении $MgO : SrO : BaO : ZnO = 2 : 2 : 1 : 5$ оксида натрия на оксиды калия и лития (рис. 2).

Установлено, что введение Li_2O не только повышает показатель преломления стекол, но и снижает их плотность. Температура варки литийсодержащих стекол составляет $1350 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Кристаллизационная способность опытных стекол возрастает с ростом количества Li_2O , в связи с чем его содержание должно быть ограничено 5–8 %. Низкая вязкость стеклорасплава обуславливает их более высокую агрессивность в сравнении с натрийсодержащими, что в случае промышленного синтеза требует использования огнеупоров с высокой стеклоустойчивостью. Введение оксида лития может быть целесообразным только при синтезе стекол с показателем преломления порядка 1,65 и выше.

Введение K_2O взамен Na_2O в количестве 10 % обуславливает снижение показателя преломления на 0,015, при этом плотность уменьшается на $0,023 \text{ г/см}^3$. Варьирование содержания данных компонентов за счет оксидов группы RO показало, что оптимально введение K_2O в количестве 5–10 %.

Поскольку при варьировании содержания оксидов групп RO и R_2O не достигнуты показатели преломления, соответствующие высокоиндексным стеклам, на последующем этапе работы проводили модифицирование стекол добавками оксидов титана и циркония, вводимых взамен SiO_2 , в количестве до 7,5 % (рис. 3).

Как отмечают авторы [3], при разработке состава оптического стекла оксиды свинца, титана и лантана широко применяются в качестве компонентов, позволяющих существенно повысить показате-

тель преломления, при этом TiO_2 в гораздо меньшей степени повышает плотность стекла.

Введение оксида титана в количестве 4 – 7,5 % позволяет повысить показатель преломления опытных стекол до 1,60 и выше. При использовании TiO_2 получены технологичные стекла с показателем преломления не менее 1,605 при плотности, составляющей $2,8 \text{ г/см}^3$. Содержание TiO_2 при этом ограничено 5 % в связи с появлением светло-желтого оттенка опытных стекол.

При оптимизации соотношения SiO_2 и оксидов группы RO, а также при совместном введении оксидов титана и циркония в соотношении 2 : 1 получены стекла на основе системы $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{--MgO--CaO--BaO--ZnO--B}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ с показателем преломления 1,65, плотность которых составляет $3,08 \text{ г/см}^3$.

Таким образом, установлена возможность получения стекол с показателем преломления 1,60 –

1,65 и плотностью $2,80\text{ – }3,08 \text{ г/см}^3$ на основе системы $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{--RO--B}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ при совместном введении оксидов кальция, магния, цинка и бария. Коэффициент дисперсии разработанных стекол составляет не менее 45. Стекла предназначены для использования при производстве очковых линз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хацевич Т. И.* Медицинские оптические приборы. Ч. II. Очковая оптика. Новосибирск: СГГА, 2002. 241 с.
2. *Физико-химические основы* производства оптического стекла / под ред. Л. И. Демкиной. Л.: Химия, 1976. 456 с.
3. *Недоспасова Т. А., Козжеваткин С. Г., Артамонова М. В., Молев В. М.* Оптическое стекло с показателем преломления 1,75 и высокой удельной рефракцией // Стекло и керамика. 1995. № 6. С. 13 – 16.
Nedospasova T. A., Kozhevatskin S. G., Artamonova M. V., Molev V. M. Optical glass with refractive index of 1.75 and high specific refraction for spectacle optics // Glass and Ceram. 1995. V. 52. N 6. P. 143 – 146.

Информация

КАМЕННОЕ ЛИТЬЕ

Научно-промышленная компания ООО «Научно-промышленная компания «ТехноМ» ищет инвестора для организации производства и продажи строительных и отделочных материалов – изделий из каменного литья (аналогов природного гранита).

В Москве отделочные материалы, полученные по такой технологии, ранее применялись при реконструкции стен Московского Кремля, строительства метрополитена, ряда жилых и служебных зданий.

Способ получения материала методом каменного литья позволяет воспроизводить природную кристаллизацию каменных пород в промышленных условиях. Получаемый таким образом материал является полностью кристаллическим и не содержит каких-либо сторонних химических соединений и веществ. Структура поверхности литого камня имеет характерный для природных камней зернистый характер, и по внешнему виду каменное литье не отличается от природных гранитов.

Прочность, устойчивость к воздействию агрессивных компонентов атмосферы у литого камня выше, чем у гранита. Высокая химическая стойкость, прекрасная морозостойкость в условиях отечественного климата позволяет применять такой отделочный материал для строительства зданий и сооружений: внешняя и внутренняя облицовка зданий, брусчатка и напольные плиты, полы, ступени, колонны и пилястры, перила и балясины, архитектурно-отделочные элементы, декоративные изделия, монументы и прочие изделия из камня. В отличие от природного гранита получаемый материал не имеет повышенной фоновой радиоактивности.

Литой камень, изготовленный без минеральных красителей, имеет белый цвет, что позволяет использовать такой материал для изготовления из статуарного камня внешней и внутренней облицовки зданий, брусчатки и плит мощения. Цвета литого камня можно получать практически любые, в том числе и особо редкие и ценные.

Применение каменного литья позволяет либо полностью исключить, либо существенно снизить механическую обработку камня и за счет этого снизить стоимость готовых изделий из камня.

Директор ООО «Научно-промышленной компании
«ТехноМ» (Россия, г.Москва)
Колдаев Александр Борисович
e-mail: akold@rambler.ru