

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,
металлургии и химической промышленности



Обзор рынка оптического стекла в России

Москва
июнь, 2015

Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/30/478>

Общее количество страниц: 77 стр.
Стоимость отчета – 48 000 рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн»» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов ИНФОМАЙН, являются надежными, однако ИНФОМАЙН не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. ИНФОМАЙН не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации. Информация, представленная в настоящем отчете, получена из открытых источников либо предоставлена упомянутыми в отчете компаниями. Дополнительная информация предоставляется по запросу. Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения ИНФОМАЙН либо тиражироваться любыми способами.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн»».

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ	7
Введение.....	9
1. Технология производства и виды оптического стекла	10
1.1. Технология производства оптического стекла.....	10
1.2. Классификация и химический состав оптического стекла	13
1.3. Требования к качеству оптического стекла.....	24
2. Производство оптического стекла в России	31
2.1. История производства оптического стекла в России.....	31
2.2. Объем производства оптического стекла в России в 2007-2014 гг.	34
2.3. Основные предприятия-производители оптического стекла в РФ; их мощности и текущее состояние	34
ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла».....	35
3. Анализ внешнеторговых операций с оптическим стеклом в России в 2008- 2014 гг.....	43
3.1. Экспорт оптического стекла из России в 2008-2014 гг.	44
3.2. Импорт оптического стекла в Россию в 2007-2014 гг.	49
4. Анализ экспортно-импортных цен на оптическое стекло в России в 2007- 2014 гг.....	57
5. Потребление оптического стекла в России	62
5.1. Баланс производства-потребления оптического стекла в 2008-2014 гг.....	62
5.2. Основные потребители оптического стекла	63
ОАО «Красногорский завод имени С.А Зверева» (Московская обл.)	64
ОАО «Швабе – Оборона и Защита» (ОАО «ПО «Новосибирский приборостроительный завод»)	66
ОАО «ПО «Уральский оптико-механический завод им. Э.С.Яламова» (г. Екатеринбург)	69
ОАО «Вологодский оптико-механический завод».....	70
ОАО «ЛОМО» (г. Санкт-Петербург)	72
6. Прогноз развития рынка оптического стекла в России в 2015-2020 гг.	74
Приложение: Адреса и контактная информация основных производителей и потребителей оптического стекла.....	76

Список таблиц

- Таблица 1. Химический состав оптических стекол, %
- Таблица 2. Значения предельных отклонений показателя преломления и средней дисперсии
- Таблица 3. Значения предельных отклонений показателя преломления и средней дисперсии партии заготовок
- Таблица 4. Значения предельных диаметров пузырей в заготовках оптического стекла
- Таблица 5. Среднее число пузырей диаметром более 0,03 мм в 1 кг сырьевого оптического стекла
- Таблица 6. Динамика производства оптического стекла в России в 2007-2014 гг., т
- Таблица 7. Основные финансовые показатели ОАО «ЛЗЭС» в 2007-2014 гг., млн руб., чел., руб., %
- Таблица 8. Объемы экспортных поставок оптического стекла из России по направлениям в 2007-2014 гг., кг
- Таблица 9. Объемы российских экспортных поставок оптического стекла по видам в 2008-2014 гг., кг
- Таблица 10. Российские экспортеры оптического стекла в 2007-2014 гг., кг
- Таблица 11. Объемы импортных поставок оптического стекла в Россию по направлениям в 2007-2014 гг., кг
- Таблица 12. Объемы импортных поставок оптического стекла в Россию по видам в 2007-2014 гг., кг
- Таблица 13. Основные поставщики оптического стекла в РФ в 2007-2014 гг., кг
- Таблица 14. Объемы импортных поставок оптического стекла основным российским получателям в 2007-2014 гг., кг
- Таблица 15. Экспортные цены на оптическое стекло по направлениям в 2007-2014 гг., \$/кг
- Таблица 16. Импортные цены на оптическое стекло по направлениям в 2007-2014 гг., \$/кг
- Таблица 17. Импортные цены на оптическое стекло основных поставщиков в 2012-2014 гг., кг, \$/кг
- Таблица 18. Баланс производства-потребления оптического стекла в России в 2008-2014 гг., т
- Таблица 19. Финансовые показатели ОАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева» в 2012-2014 гг., млн руб.
- Таблица 20. Финансовые показатели ОАО «Швабе – Оборона и
- Таблица 21. Поставки оптического стекла импортного производства в ОАО «Швабе – Оборона и Защита» в 2009-2014 гг., кг
- Таблица 22. Финансовые показатели ОАО «Вологодский оптико-механический завод» в 2012-2014 гг., млн руб.
- Таблица 23. Финансовые показатели ОАО «ЛОМО» в 2012-2014 гг., млн руб.

Таблица 24. Поставки оптического стекла импортного производства в ОАО «ЛОМО» в 2007-2014 гг., кг

Таблица 25. Темпы роста производства электрооборудования, электронного и оптического оборудования в РФ в 2007-2014 гг., %

Список рисунков

- Рисунок 1. Типовая горшковая стекловаренная печь
- Рисунок 2. Диаграмма Аббе $n_e = f(\nu_e)$ для оптического бесцветного стекла
- Рисунок 3. Динамика выпуска товарной продукции ОАО «ЛЗОС» в 2000-2014 гг., млн руб.
- Рисунок 4. Объемы выпуска оптического стекла в ОАО «ЛЗОС» в 2009-2014 гг., т
- Рисунок 5. Динамика внешнеторговых операций России с оптическим стеклом в 2008-2014 гг., тыс. т
- Рисунок 6. Динамика экспорта оптического стекла из России в 2008-2014 гг., т, млн \$
- Рисунок 7. Региональная структура российского экспорта оптического стекла в 2008-2014 гг., %
- Рисунок 8. Товарная структура российского экспорта оптического стекла (средние данные за 2008-2014 гг.), %
- Рисунок 9. Динамика импорта оптического стекла в Россию в 2007-2014 гг., т, млн \$
- Рисунок 10. Региональная структура импорта оптического стекла в Россию в 2007-2014 гг., %
- Рисунок 11. Товарная структура российского импорта оптического стекла (средние данные за 2007-2014 гг.), %
- Рисунок 12. Структура импорта оптического стекла в Россию по изготовителям (средние данные за 2007-2014 гг.), %
- Рисунок 13. Динамика среднегодовых экспортных и импортных цен на оптическое стекло в России в 2008-2013 гг., \$/кг
- Рисунок 14. Динамика выручки от реализации продукции ОАО «УОМЗ» в 2011-2014 гг., млн руб.
- Рисунок 15. Поставки оптического стекла производства ГП «Ижумский приборостроительный завод» для ОАО «ВОМЗ» в 2007-2014 гг., кг
- Рисунок 16. Прогноз производства оптического стекла в России в 2015-2020 гг., т

АННОТАЦИЯ

Настоящий отчет является первым изданием исследования рынка оптического стекла в России.

Цель исследования – анализ российского рынка оптического стекла.

Объектом исследования является оптическое стекло в форме заготовок и блоков.

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались Федеральная таможенная служба РФ, отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, а также интернет-сайтов производителей и потребителей оптического стекла.

Хронологические рамки исследования: 2007-2014 гг., прогноз – 2015-2020 гг.

География исследования: Российская Федерация – комплексный подробный анализ рынка.

Отчет состоит из 6 частей, содержит 77 страниц, в том числе 25 таблиц, 16 рисунков и 1 приложение.

В **первой главе** отчета описана технология производства и дана классификация видов оптического стекла. Приведены требования к качеству оптического стекла, выпускаемого в РФ.

Вторая глава отчета посвящена производству оптического стекла в России. В этом разделе приведены статистика выпуска данной продукции в 2007-2014 гг., описаны основные производители оптического стекла. Также в главе дан краткий очерк истории производства оптического стекла в России.

В **третьей главе** анализируются российские внешнеторговые операции с оптическим стеклом за период 2007-2014 гг. Приведены данные об объемах экспорта и импорта изучаемой продукции, оценены товарная и региональная структура поставок.

Четвертая глава посвящена анализу экспортно-импортных цен на оптическое стекло.

В **пятой главе** отчета, посвященной потреблению оптического стекла, приведен баланс производства-потребления данной продукции в России, оценена динамика «видимого» потребления стекла. Также в данном разделе описаны основные потребители оптического стекла.

В **шестой главе** отчета приводится прогноз развития рынка оптического стекла до 2020 г.

В **приложении** приведена контактная информация основных производителей и потребителей оптического стекла в России.

Целевая аудитория исследования:

- участники рынка оптического стекла – производители, потребители, трейдеры;

- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынке оптических материалов.

Введение

К оптическим материалам относят материалы прозрачные для оптического излучения и имеющие высокую оптическую однородность.

Оптические материалы подразделяются на следующие виды: бесцветное, цветное и кварцевое стекла, ситаллы, волоконно-оптические элементы, монокристаллы, поликристаллы, обычно называемые оптической керамикой.

Наибольшее распространение в качестве оптического материала получили оптические стекла, которым присущи многообразие оптических свойств, хорошие технологические и эксплуатационные качества. Оптическое стекло используют в производстве оптических деталей (очуляров, луп и пр.), приборов (микроскопов, фотокинопроекционной аппаратуры и пр.), оптико-технических устройств (рефлекторов, отражателей) и астрономических приборов. Оптические ситаллы применяют в оптико-механической промышленности для изготовления астрономических зеркал, телескопов.

Сравнительно с техническими стеклами в состав оптических стекол входит гораздо большее число компонентов, в том числе соединения редких и рассеянных элементов. Это позволяет получать стекла с экстремальными значениями оптических постоянных, а значит – создавать новые, весьма совершенные оптические системы. Помимо оптических постоянных, оптическое стекло должно удовлетворять целой совокупности технологических и эксплуатационных свойств, определяющихся химическим составом стекла.

Россия является одним из крупных производителей оптического стекла, уступая на мировом рынке Германии, США, Японии и Китаю.

1. Технология производства и виды оптического стекла

1.1. Технология производства оптического стекла.

Приготовление шихты

Шихта для варки стекла представляет собой механическую смесь сырьевых химических материалов: солей, окислов, гидроокисей. Используют как природные материалы (кварц, сульфат натрия), так и синтетические: основные и кислотные окислы, азотнокислые соли калия и бария, углекислые соли кальция, калия и др.

В сырьевых смесях для оптического стекловарения не должны присутствовать красящие примеси – соединения железа, никеля, хрома, меди.

Перед составлением шихты материалы подвергают измельчению, помолу до зернистости 0,05-0,3 мм. Составляют шихту по строго определенной рецептуре с учетом поправок на фактическую влажность материала в партии и процентного содержания в нем вводимого окисла. Взвешивание компонентов осуществляется на механизированной линии.

Для варки оптических стекол используют также бой стекла той же марки в виде кусков весом 10-100 г и количестве до 40% теоретической массы навариваемой стекломассы.

От тщательности приготовления шихты и чистоты сырьевых материалов во многом зависит качество сваренного стекла.

Варка и выработка стекла

Варка стекла – это термический процесс, в результате которого шихта и бой стекла превращаются в расплавленную однородную стекломассу.

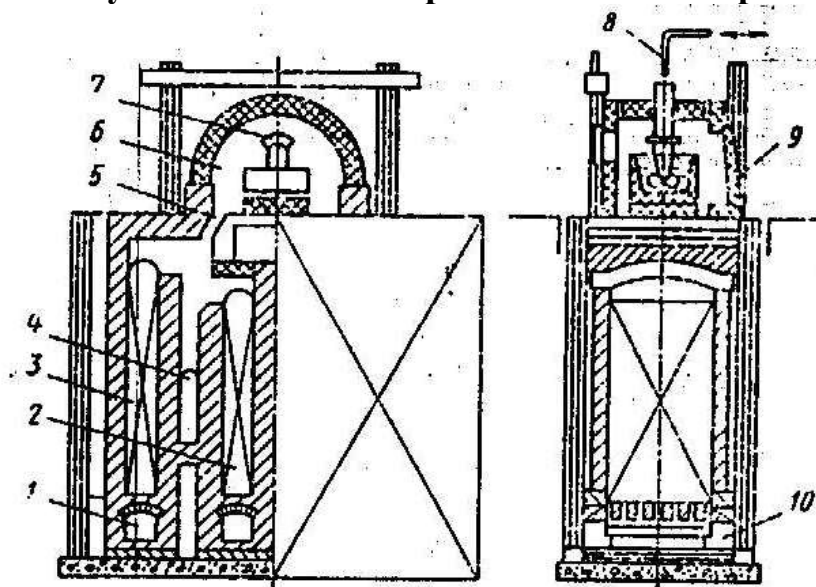
Варят стекло в пламенных *горшковых печах периодического действия* или в *ваннных печах непрерывного действия*. Стекла некоторых марок с повышенными требованиями по однородности и пузырности, имеющие склонность к разъеданию стенок керамических сосудов ввиду химической активности компонентов варят в *платиновых тиглях в печах с индукционным нагревом*.

Выбор печи и метода варки определяется прежде всего объемом производства и требованиями к показателям качества стекла. Стекла наиболее распространенных марок К8, ТК14, ТФ5, требующиеся в больших объемах, целесообразно варить в ваннных печах непрерывного действия, так как при этом значительно облегчается механизация и автоматизация процессов превращения стекломассы непосредственно в заготовки оптических деталей.

Несмотря на ряд различий, варка стекла в горшковых и ваннных печах имеет одну и ту же физико-химическую и технологическую основу и может

быть рассмотрена на примере технологического процесса варки в одногоршковой печи периодического действия (рис. 1).

Рисунок 1. Типовая горшковая стекловаренная печь



Источник: литературные данные

Печь состоит из основания, сложенного из огнеупорного кирпича, двух пар регенераторов и рабочей камеры. Пол рабочей камеры выложен огнеупорными плитами. На задней стенке рабочей камеры имеется окно для засыпки шихты, взятия проб и наблюдения за ходом процесса варки. Передняя стенка имеет проем для вставки и вывоза стекловаренного горшка. Рабочая камера обогревается пламенем от сгорания природного газа, подаваемого попеременно через 2 пары горелок. Температура в рабочей камере печи достигает 1550-1570°C, контроль температуры осуществляется термопарой.

На металлической обвязке печи сверху устанавливают стекло-мешальную машину, на конец штанги машины при варке стекла надевают керамическую мешалку.

Технологический процесс варки стекла можно разделить на этапы: засыпка и развар шихты, осветление и гомогенизация расплава, охлаждение расплава до температуры выработки, вывоз горшка со стекломассой из печи на отлив.

В период *развара* испаряется влага, плавятся основные компоненты шихты и происходят химические реакции в стекломассе, в результате которых выделяется большое количество газообразных соединений CO_2 , O_2 , CO и других. На операциях осветления и гомогенизации стекломассы повышается однородность, и удаляются пузыри. Температуру в печи повышают до значения, соответствующего вязкости стекла 1-10 Па·с, расплав становится менее вязким, что интенсифицирует процесс выделения и подъема на поверхность пузырей. При перемешивании происходит выравнивание

химического состава стекломассы и удаление оставшихся пузырей. Процесс осветления считается законченным, когда в пробе стекла, взятой из горшка, количество пузырей не превышает допустимого. В период *охлаждения* стекломассу продолжают интенсивно размешивать во избежание образования свилей.

Выработку стекла из горшка осуществляют двумя способами: отливом в форму или на литейный стол с прокаткой в лист. После прокатки лист стекла помещают в печь для отжига. Отжиг оптического стекла проводят в камерных электрических печах.

Изготовление заготовок оптических деталей

Заготовки оптических деталей из оптического стекла получают в виде прямоугольных или круглых пластин, плиток, штабиков и прессовок. Наиболее рациональной заготовкой для деталей типа линз и призм является прессовка. Для изготовления прессовок необходима технологическая оснастка: прессформы, шаблоны и др.

Технологические процессы изготовления заготовок оптических деталей можно разделить на 2 группы:

- холодная разделка;
- горячее формование.

При холодной разделке сырьевое стекло: стеклоблоки, плитку – после визуального осмотра и разметки раскалывают или распиливают алмазным инструментом.

Горячее формование заготовок осуществляют в формах из кусочков стекла, разогретых до температуры пластической деформации, или жидкой стекломассы, вырабатываемой из ванной стекловаренной печи.

Тонкий отжиг – последняя операция технологического процесса изготовления заготовок оптических деталей. Цель его – снизить до минимально допустимых значений остаточные термические напряжения в стекле, т.е. ликвидировать физические неоднородности и получить заготовки с одинаковыми для данной партии значениями показателей преломления и дисперсии.

1.2. Классификация и химический состав оптического стекла

Химический состав оптических стекол

В зависимости от стеклообразующего вещества стекла относятся к различным группам:

- силикатные (основа SiO_2);
- боратные (основа B_2O_3);
- фосфатные (основа P_2O_5) и др.

Большинство оптических стекол многокомпонентны. Многообразие их оптических свойств достигается введением в состав различных соотношениях окислов многих элементов периодической системы Менделеева. Каждый окисел оказывает определенное влияние на оптические свойства стекла.

Чем больше в стекле кремнезема, тем меньше его показатель преломления.

Увеличение окислов свинца приводит к увеличению показателя преломления и средней дисперсии.

Для улучшения технологических свойств расплавленной стекломассы: уменьшения температуры плавления, снижения вязкости и повышения химической устойчивости стекла – в состав вводят окислы щелочно-земельных элементов (K, Li, Ca).

Добавление небольшого количества Al_2O_3 способствует снижению кристаллизационной способности стекла.

Соединения Sb, As, Se в массовых долях 0,2-1% используют в качестве осветителей расплавленной стекломассы, они ускоряют процесс удаления из расплава пузырей и нейтрализуют окрашивающее действие окислов железа.

Бесцветные оптические стекла

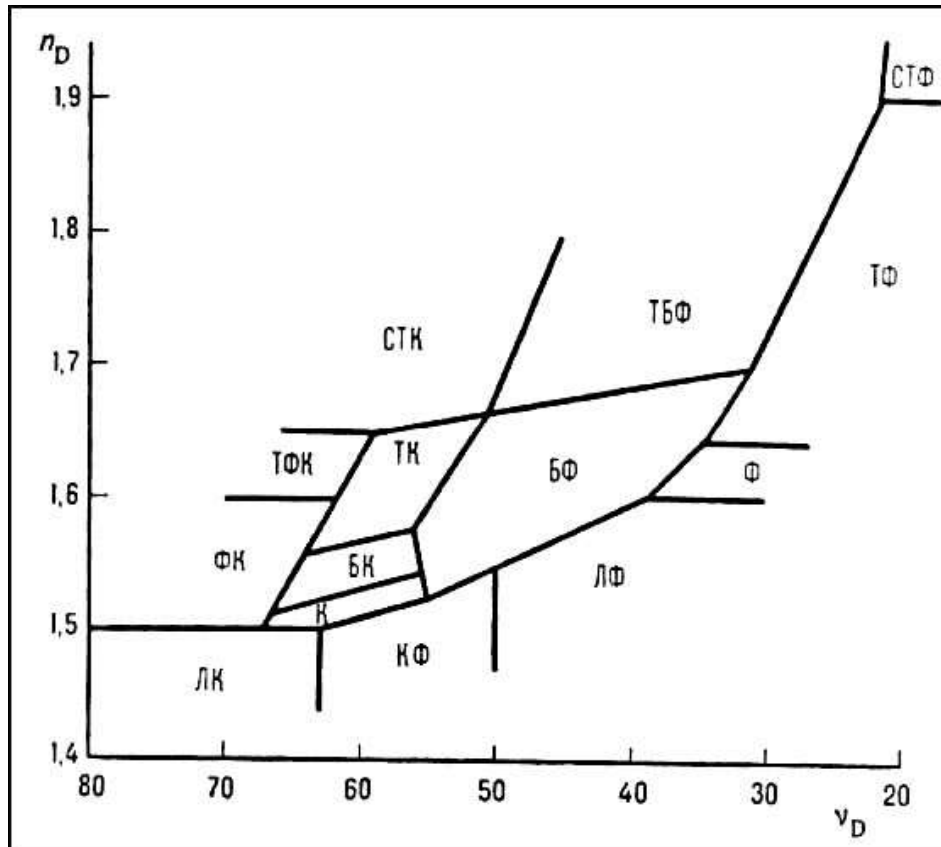
Оптические стекла характеризуются показателем преломления и дисперсией, которые определяют область применения оптических стекол в соответствующих приборах.

Главной оптической характеристикой оптического материала является показатель преломления n , измеренный для различных длин волн света. Показатель преломления – величина, равная отношению скорости света в вакууме к фазовой скорости света в данной среде. Значение показателя преломления с изменением длины волны непрерывно и плавно меняется. В фиолетовой части спектра показатель преломления больше, чем в красной. Это явление называется дисперсией света.

В основу классификации оптических стёкол легло общее представление о связи между химическим составом и оптическими постоянными. До XIX в.

оптические стёкла состояли почти исключительно из кремнезёма в соединении с окислами натрия, калия, кальция и свинца. Для таких стёкол существует функциональная зависимость между показателями преломления n и коэффициентами средней дисперсии ν , что и было отражено в так называемой диаграмме Аббе (рис. 1).

Рисунок 2. Диаграмма Аббе $n_e=f(\nu_e)$ для оптического бесцветного стекла



ЛК - лёгкий крон, ФК - фосфатный крон, ТК - тяжёлый фосфатный крон, К - крон, БК - баритовый крон, ТК - тяжёлый крон, СТК -сверхтяжёлый крон, КФ - кронфлинт, ЛФ - лёгкий флинт, Ф - флинт, БФ - баритовый флинт, ТБФ - тяжёлый баритовый флинт, ТФ - тяжёлый флинт, СТФ - сверхтяжёлый флинт, ОК -особый крон, ОФ - особый флинт

Источник: литературные данные

На этой диаграмме бесцветные оптические стёкла располагаются в виде широкой области вытянутой от нижнего левого угла диаграммы к её правому верхнему углу. Таким образом, можно было увидеть взаимосвязь изменения двух основных оптических характеристик с химическим составом оптических стёкол. Причём, с возрастанием показателя преломления, коэффициент дисперсии, как правило, уменьшался.

В связи с этим были выделены два основных типа оптических стёкол: **крóны** (стёкла с низким показателем преломления и высокими значениями коэффициента дисперсии) и **флйнты** (стёкла с низкими значениям коэффициента дисперсии и высоким показателем преломления). При этом к

группе кронов относились натриево-силикатные стекла, а к группе флинтос – стёкла, содержащие свинец.

В дальнейшем, в связи с ростом числа оптических стёкол, потребовалось делить диаграмму Аббе на большее число участков, соответствующих новым типам. Так, от кронов отделились лёгкие, тяжёлые и сверхтяжёлые кроны (ЛК, ТК, СТК), а от флинтос – лёгкие, тяжёлые и сверхтяжёлые флинты (ЛФ, ТФ, СТФ). К тому же, между лёгкими кронами и лёгкими флинтами появилась группа кронфлинтов.

Появились новые типы стёкол, как на основе несиликатных стеклообразователей (боратные, фосфатные, фторидные и др.), так и включающие новые компоненты (окислы лантана, тантала, титана).

Группа кроновых стёкол (ЛК, ФК, ТФК, К, БК, ТК, СТК, ОК, КФ) имеет показатели преломления в пределах от 1,44 до 1,77, коэффициент основной средней дисперсии – от 92 до 50, а группа флинтосых стёкол (БФ, ТБФ, ЛФ, Ф, ТФ, СТФ, ОФ) – соответственно от 1,52 до 2,18 и от 54 до 16. Названия типов оптических стёкол соответствуют их основному химическому составу (табл. 1).

По химическому составу основную группу среди бесцветных оптических стёкол составляют силикатные стекла, в которых содержание массовых долей стеклообразующего диоксида кремния составляет от 30 до 80%.

Основой стёкол типа флинтос и тяжёлых флинтос является тройная система из оксидов кремния, свинца и калия; некоторые марки флинтос содержат диоксид титана. Баритовые кроны, баритовые и особые флинты и кронфлинты в некоторых случаях содержат оксиды цинка и сурьмы. Широко применяют стекла, в которых основным стеклообразователем вместе с кремнеземом является борный ангидрид. Так, основой всех тяжёлых кронов являются оксиды кремния, бора, алюминия и бария.

Таблица 1. Химический состав оптических стекол, %

Тип стекла	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	As ₂ O ₃	P ₂ O ₅	PbO	BaO	ZnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	F
Кроны														
ЛК	53,3	16,2	8,8	-	0,2	-	-	-	-	-	-	16,2	-	5,3
ФК	-	3	10	-	0,5	70,5	-	-	-	-	4	12	-	-
К	72	8,1	-	-	0,2	-	-	-	-	1,5	0,5	10,5	7,2	-
БК	49,5	4,8	-	-	0,2	-	2,6	21,6	12,5	-	-	7,6	1,2	-
ТК	32,7	13,2	3,1	-	0,6	-	-	45,9	3,5	-	-	-	-	-
КФ	63	1,8	-	-	0,2	-	16	-	-	2	-	11	6	-
Флинты														
БФ	41,8	-	-	-	0,2	-	33,2	11,4	5,2	-	-	8,2	-	-
ЛФ	61	-	-	-	0,2	-	26,3	-	-	-	-	8	4,5	-
Ф	47	-	-	-	0,2	-	46,4	-	-	-	-	6,4	-	-
ТФ	31,6	-	-	-	0,2	-	65,4	-	-	-	-	2,8	-	-
ОФ	53,1	17,5	1,1	21,3	0,5	-	-	-	-	-	-	6,5	-	-

Источник: литературные данные

Легкие кроны - ЛК

Эти стекла принадлежат пятикомпонентной системе: $K_2O-B_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-F$. К легким кронам причисляют стекла с показателем преломления меньше 1,5 и коэффициентом дисперсии большим 67. Для получения стекол с особо низким показателем преломления в состав вводят возможно большее количество компонентов с $n_e < 1,5$. Такими компонентами являются SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 . Наиболее действенное влияние оказывает фтор. В состав стекол типа ЛК всегда вводят окислы щелочных металлов.

Кроны - К

Основой является система $K_2O-Na_2O-B_2O_3-SiO_2$, которая осложняется небольшим количеством окислов двухвалентных металлов - PbO , BaO , CaO , MgO , ZnO , общее содержание которых, за единичным исключением не превышает 10-12 масс. %. Показатель преломления кронов лежит в пределах 1,50-1,54, а коэффициент дисперсии от 67 до 55.

Борный ангидрид, содержащийся в кронах, приводит к существенному повышению коэффициента дисперсии, уменьшает вязкость стекломассы при температуре «осветления», при определенном содержании способствует повышению химической устойчивости стекла. Последней цели достигают также введением в стекло окиси алюминия (Al_2O_3). В небольших количествах она снижает кристаллизационную способность стекла. Однако в кронах окись Al_2O_3 применяют лишь в исключительных случаях, т.к. она повышает вязкость и без того вязкого расплава и способствует обильному пенообразованию стекломассы в период осветления. Помимо большой потери стекла, пенообразование повышает пузырность стекла, т.к. трудно установить окончание периода осветления, при включении же мешалки пена частично попадает в стекломассу. Повышения химической устойчивости кронов достигают главным образом с помощью борного ангидрида.

Баритовые кроны - БК

Стекла типа БК являются многокомпонентной системой, с основой $K_2O-Na_2O-BaO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$. Показатель преломления стекол этого типа находится в пределах 1,510-1,575, а коэффициент дисперсии от 66,5 до 55,5. Как и в кронах, коэффициент дисперсии повышают введением в состав стекла борного ангидрида. Вязкость БК в период осветления несколько ниже, чем у кронов.

Тяжелые кроны - ТК

Основой стекол служит система $BaO-B_2O_3-SiO_2$. Стекла этой системы обладают высокой кристаллизационной способностью и склонностью к расслаиванию (ликвации). Поэтому во все стекла типа ТК вводят Al_2O_3 (до 5-6 масс. %), которая сужает область расслаивания. В некоторые стекла с этой же целью вводят ZnO . Несмотря на усвоение состава, стекла типа ТК обладают повышенной кристаллизационной способностью, что усложняет их

производство. Показатель преломления стекло типа ТК от 1,555 до 1,665. Коэффициент дисперсии $\nu=64-50,5$.

Сверхтяжелые кроны - СТК

Получение таких стекол на основе системы BaO-B₂O₃-SiO₂ невозможно из-за высокой кристаллизационной способности, которую компонентами Al₂O₃, CaO, ZnO, обычными для стекол типа ТК, снизить не удастся. Поэтому в стекла типа СТК вводят окислы, обладающие низкой дисперсией, в частности - ThO₂, ZnO₂, La₂O₃, CdO. В этих стеклах содержание SiO₂ еще ниже, чем в ТК, и составляет 7-40 мол. %. В результате вязкость расплава СТК очень мала и он показывает сильное разрушающее действие на огнеупор. Поэтому стекла типа СТК варят в сосудах из платины. Показатель преломления стекол типа СТК в пределах 1,65 - 1,67. Коэффициент дисперсии 50-45.

Группа **флинтов** включает в себя собственно флинты, а также стекла, в состав которых входят компоненты характерные для кронов и флинтов. Последние имеют в названии «приставку», отражающую сочетание данного флинта с кронами: кронфлинты, баритовые флинты, тяжелые баритовые флинты.

Флинты типов: ЛФ, Ф, ТФ, СТФ

В основе флинтов лежит тройная системы K₂O-PbO-SiO₂, и лишь в некоторые флинты вводят небольшое количество Na₂O, BaO или B₂O₃.

Показатель преломления и коэффициент дисперсии флинтов разных типов ограничены значениями:

Кронфлинты -КФ

Кронфлинты занимают промежуточное положение между кронами и легкими флинтами, как по составу, так и по оптическим постоянным. Основой стеклок КФ служит система K₂O-Na₂O-PbO-SiO₂. В стекла дополнительно вводят B₂O₃ и Al₂O₃. Из щелочных окислов предпочтение отдают Na₂O, что при том же показателе преломления стекла позволяет получить его с меньшим коэффициентом дисперсии.

Показатель преломления этих стекол от 1,50 до 1,545. Коэффициент дисперсии $\nu_e=63-50$.

Все стекла типа КФ содержат большое количество SiO₂ – от 73 до 83 мол. %, почему и являются тугоплавкими. Для снижения вязкости расплава в период «осветления», в КФ вводилось большое количество Na₂O, в результате чего стекла получались налетоопасными. В связи с этими особенностями натриевых КФ были разработаны их заменители, в которых часть Na₂O заменена на K₂O, и часть PbO на TiO₂. В большое число марок КФ введен фтор, сильно снижающий вязкость расплава. Все это делает стекла типа КФ химически более устойчивыми и технологичными.

Баритовые флинты - БФ

Стекла БФ занимают широкий центральный участок диаграммы «показатель преломления – коэффициент дисперсии». Слева они ограничены

стеклами БК и ТК, справа флинтами типа ЛФ, Ф и ТФ, снизу – КФ и сверху ТБФ. Соответственно и состав БФ является промежуточным между составом стекол соседних с ним типов.

Показатель преломления стекол БФ лежит в пределах от 1,52 до 1,70. Коэффициент дисперсии – от 56 до 31.

Тяжелые баритовые флинты - ТБФ

По оптическим постоянным стекла типа ТБФ являются промежуточными между ТФ и СТК. Как и у СТК, в качестве кислотных окислов в них входят 20-40 мол. % SiO_2 и около 20 мол. % V_2O_3 . Компонентами, повышающими показатель преломления, помимо тех, которые входят в состав стекол типа СТК, служат окислы, обладающие высокой дисперсией, а именно - PbO , TiO_2 , WO_3 .

Несиликатные стекла

В несиликатных стеклах в качестве стеклообразователя входит фосфорный ангидрид P_2O_5 , борный ангидрид B_2O_3 , двуокись германия GeO_2 или двуокись теллура TeO_2 . Соответственно стекла носят название – фосфатных, боратных, германатных, теллуридных. В зависимости от требуемых значений показателя преломления и коэффициента дисперсии в них вводят окислы и фториды различных элементов.

Фосфатные и тяжелые фосфатные кроны ФК и ТФК

При показателе преломления 1,50-1,62 их коэффициент дисперсии лежит в пределах от 70 до 63-64. Фосфатные кроны обладают повышенной относительной дисперсией в синей части спектра, т.е. являются лангкронами.

Стеклообразователем здесь служит фосфорный ангидрид. Содержание P_2O_5 в стеклах типа ФК находится в пределах 70-45 масс.%, а в стеклах типа ТФК – 45-30 масс. %. В качестве компонентов, повышающих показатель преломления стекол, используют окислы бария, стронция, лантана. Окислы алюминия значительно повышают химическую устойчивость фосфатных кронов. Борный ангидрид существенно не повышает химическую устойчивость стекол к действию влажной атмосферы, но способствует их кислотоустойчивости.

Для понижения кристаллизационной способности в некоторых стеклах часто фосфатный ангидрид замещается на кремнезем. Осветлителем служит окись мышьяка или окись сурьмы.

Особые кроны - ОК

Обладают повышенной относительной дисперсией в синей части спектра. В диаграмме Аббе они могут располагаться в полях кронов всех типов. Показатель преломления особых кронов 1,485-1,52, коэффициент дисперсии лежит в пределах 81 и 85.

По своему свойству особые кроны являются промежуточными между чисто фосфатными и фторидными стеклами. Основными компонентами особых

кронов являются фториды элементов I, II или III групп периодической системы и метафосфат алюминия, способствующий повышению химической устойчивости стекла. Чем больше в стекле содержится фтора, тем выше его коэффициент дисперсии. Показателя преломления достигается введением в стекло окиси бария или окислов других элементов II группы периодической системы.

Особые флинты - ОФ

Особые флинты – оптические стекла с пониженной, по сравнению с обычными флинтами, относительной частной дисперсией в синей части спектра. Эти стекла, наряду с особыми кронами, используются в апохроматах для исправления вторичного спектра. Как и особые кроны, особые флинты не занимают особого участка в диаграмме Аббе и практически располагаются на участках кронфлинтов и баритовых флинтов. Особые флинты получают на щелочно-сурьмяноборосиликатной (ОФ1) или свинцовоборатной (ОФ4, ОФ5) основе. В последнем случае третьим компонентом служит оксид алюминия и оксид лантана.

Цветные оптические стекла

Цветные оптические стекла применяют для изготовления светофильтров, ограничивающих или ослабляющих пропускание света, заданного спектрального состава. Основной характеристикой цветного оптического стекла является нормированная спектральная кривая зависимости светопропускания τ_λ или оптической плотности D_λ от длины волны λ , а также спектральный показатель поглощения k_λ .

Марку цветного стекла обозначают буквами наименования цвета (типа), буква С означает сокращенно слово стекло, цифра указывает порядковый номер марки стекла данного типа.

В соответствии с ГОСТ 9411-81 «Стекло оптическое цветное» выпускаются цветные стекла 14 типов: УФС – ультрафиолетовое, ФС – фиолетовое, СС – синее, СЗС – сине-зеленое, ЗС – зеленое, ЖЗС – желто-зеленое, ЖС – желтое, ОС – оранжевое, КС – красное, ИКС – инфракрасное, ПС – пурпурное, НС – нейтральное, ТС – темное, БС – бесцветное.

Стекла БС предназначены для ограничения пропускания света в ультрафиолетовой и длинноволновой инфракрасной областях спектра при сохранении пропускания в видимой части.

Для варки цветного оптического стекла используют силикатную, фосфатную, алюмокальциевую и другие основы бесцветного стекла. Окраска стекла обуславливается введением в его состав химических красящих веществ (красителей), которые могут находиться в стекле в молекулярном растворенном или коллоидном состоянии.