







## Содержание

### ЧАСТЬ I

|  |    |  |    |
|--|----|--|----|
| Предисловие и обзор .....  | 6  | <b>4</b> <b>Механические свойства</b> .....                          | 36 |
| <b>1</b> <b>Оптические характеристики</b> .....  | 14 | 4.1 Твердость по Кнупу .....   | 36 |
| 1.1 Показатель преломления, число Аббе, показатели дисперсии, обозначения стекол ..... | 14 | 4.2 Шлифуемость (ISO 12844) .....                                    | 36 |
| 1.2 Допуски для показателя преломления и числа Аббе. ....                              | 15 | 4.3 Вязкость .....   | 37 |
| 1.3 Сертификаты испытаний на показатели преломления и дисперсии .....                  | 16 | 4.4 Коэффициент линейного теплового расширения .....                 | 38 |
| 1.4 Однородность показателя преломления. ....  | 19 | <b>5</b> <b>Тепловые свойства</b> .....                              | 40 |
| 1.5 Коэффициент внутреннего пропускания, цветовой код .....                            | 21 | 5.1 Теплопроводность .....   | 40 |
| 1.6 Возможности методов измерения оптических свойств .....                             | 23 | 5.2 Теплоемкость .....   | 40 |
| <b>2</b> <b>Внутренние характеристики.</b> .....                                       | 24 | <b>6</b> <b>Качество поставляемого материала.</b> .....              | 41 |
| 2.1 Свилы .....  | 24 | 6.1 Управление качеством и обеспечение качества. ....                | 41 |
| 2.2 Пузыри и включения. ....   | 25 | 6.2 Стандартное качество поставляемого материала .....               | 42 |
| 2.3 Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений .....               | 27 | 6.3 Повышенное качество поставляемого материала .....                | 42 |
| <b>3</b> <b>Химические свойства</b> .....  | 29 | <b>7</b> <b>Виды поставляемого материала и допуски.</b> .....        | 45 |
| 3.1 Климатическая стойкость (ISO/WD 13384) .....                                       | 29 | 7.1 Стекло стандартных размеров .....                                | 45 |
| 3.2 Стойкость к травлению .....  | 30 | 7.2 Резанные заготовки .....   | 46 |
| 3.3 Кислотостойкость (ISO 8424: 1996) .....  | 31 | 7.3 Прессованные изделия .....                                       | 52 |
| 3.4 Щёлочестойкость (ISO 10629: 1996) и стойкость к фосфатам (ISO 9689: 1990) .....    | 33 | 7.4 Стержни из оптического стекла .....                              | 54 |
| 3.5 Идентификация видимых изменений поверхности .....                                  | 34 | <b>8</b> <b>Оптические стекла для прецизионного формования</b> ..... | 56 |
| 3.6 Экологические аспекты, опасные вещества, RoHS .....                                | 35 |  |    |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>9</b>  | <b>Номенклатура выпускаемых оптических материалов</b>  | <b>58</b> |
| 9.1       | Предпочтительные материалы                             | 58        |
| 9.2       | Стекла по заказу                                       | 58        |
| <b>10</b> | <b>Подборка формул и таблица длины волн</b>            | <b>59</b> |
| <b>11</b> | <b>Техническая информация в электронном виде – ТИЕ</b> | <b>65</b> |

## ЧАСТЬ II

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Оптическое стекло – Свойства 2011 | 67  |
| Словарь специальных терминов      | 104 |
| Контактные адреса в Европе        | 105 |

## Перечень таблиц

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Оптические характеристики</b>  |    |
| 1.1      | Примеры кода стекла . . . . .   | 14 |
| 1.2      | Допуски для показателя преломления и числа Аббе (по стандарту ISO 12123) . . . . .  | 15 |
| 1.3      | Допуски на разброс значений показателя преломления в партии тонко отожженного стекла (по стандарту ISO 12123) и в партии прессованных изделий . . . . . | 16 |
| 1.4      | Информация на показатели преломления и дисперсии в стандартных актах испытаний. . . . .   | 18 |
| 1.5      | Однородность оптических стекол . . . . .  | 20 |
| 1.6      | Возможности методов измерения оптических характеристик . . . . .  | 23 |
| <b>2</b> | <b>Внутренние характеристики</b>  |    |
| 2.1      | Пределы допуска (в соответствии со стандартом ISO 12123) . . . . .  | 24 |
| 2.2      | Допуски на пузыри и включения в оптических стеклах . . . . .  | 26 |
| 2.3      | Предельные значения двойного лучепреломления под воздействием внутренних напряжений в граненых заготовках различных размеров . . . . .                  | 28 |
| <b>3</b> | <b>Химические свойства</b>  |    |
| 3.1      | Классификация оптических стекол по классам климатической стойкости CR 1–4 . . . . .   | 29 |
| 3.2      | Классификация оптических стекол по классам стойкости к травлению FR 0–5 . . . . .   | 31 |
| 3.3      | Классификация оптических стекол по классам кислотостойкости SR 1–53 . . . . .   | 32 |
| 3.4      | Классификация оптических стекол по классам щелочестойкости AR 1–4 и классам фосфатной стойкости PR 1–4 . . . . .  | 34 |
| <b>4</b> | <b>Механические Свойства</b>  |    |
| 4.1      | Шлифуемость (согласно ISO 12844) . . . . .  | 37 |
| <b>6</b> | <b>Качество поставляемого материала</b>   |    |
| 6.1      | Дополнительные категории качества для различных видов поставок . . . . .  | 43 |
| <b>7</b> | <b>Виды поставляемого материала и допуски</b>   |    |
| 7.1      | Допуски на размеры и минимальные размеры пластин . . . . .  | 47 |
| 7.2      | Допуски на размеры и минимальные размеры для круглых пластин . . . . .  | 49 |
| 7.3      | Размеры и допуски для обработанных стержней в диапазоне диаметров 6–80 мм . . . . .   | 50 |
| 7.4      | Размеры и допуски для граненых призм . . . . .  | 51 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 7.5       | Размеры и допуски для прессованных заготовок (согласно стандарту DIN 58 926, часть 2) . . . . . | 52 |
| 7.6       | Размеры и допуски для прессованных призм . . . . .  | 53 |
| 7.7       | Оптические стеклянные стержни – спецификации . . . . .  | 55 |
| <b>10</b> | <b>Подборка формул и таблица длины волн</b>   |    |
| 10.1      | Длина волн для выбранных, часто используемых спектральных линий . . . . .                       | 64 |

## Перечень рисунков

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Оптические характеристики</b>  |    |
| 1.1      | Состав поставляемой партии стекла для горячей обработки и тонко отожженного стекла. . . . .                             | 17 |
| 1.2      | Качество H4 заготовки из стекла N-BK7® диаметром 1 м, измеренное с использованием центральной апертуры 500 мм . . . . . | 21 |

## Предисловие и обзор

**Подразделение “Передовая Оптика” компании SCHOTT – Ваш Партнер для достижения превосходства в оптике.**

Компания “SCHOTT”, международный технологический концерн, разрабатывает и производит стекло, специальные материалы и компоненты на протяжении более 125 лет.

На сегодня, подразделение “Передовая Оптика” компании SCHOTT предлагает оптические материалы, компоненты и фильтры, и является новатором в различных областях их применения. Имея в ассортименте более ста видов оптического стекла, специальных материалов (например, активное стекло для лазеров, ИК-материалы, сапфир), сверхтонкого стекла, оптических компонентов высокой точности, тонких пластин, и оптических фильтров, подразделение «Передовая Оптика» разрабатывает в различных регионах мира специализированные решения для применения в оптике, литографии, астрономии, оптоэлектронике, медико-биологических науках, исследованиях и др.



*Отто Шотт (1851–1935)*

В подразделении “Передовая Оптика” освоена полная стоимостная цепочка выпуска продукции, от разработки стекла с учетом требований заказчика и его производства через все стадии вплоть до измерений, обработки и чистовой отделки высокоточной оптической продукции.

Для получения более подробной информации о подразделении “Передовая Оптика”, посетите наш вебсайт: [http://www.schott.com/advanced\\_optics/english/index.html](http://www.schott.com/advanced_optics/english/index.html)

## Номенклатура продукции подразделения “Передовая Оптика”:

“Передовая Оптика” предлагает широкий ассортимент оптических материалов, фильтров и компонентов. В данном каталоге дается краткий обзор нашей основной продукции и областей ее применения:

### МАТЕРИАЛЫ



#### Оптическое стекло

Компания SCHOTT предлагает большой ассортимент высококачественных оптических стекол, которые могут обеспечить потребности широкого круга практических задач, стоящих перед оптикой и промышленностью. Ассортимент продукции включает: стекла типа “N”, не содержащие свинца и мышьяка, стекла, предназначенные для прецизионного формования (стекла с низкой температурой  $T_g$ ), а также марки стекол, содержащие оксид свинца в качестве ключевого компонента, обеспечивающего исключительные оптические характеристики. Кроме этого, мы также предлагаем специальные модификации, например, стекла “HTultra” с исключительными характеристиками пропускания.



#### Оптическое стекло с низкой температурой трансформации ( $T_g$ )

Эти специальные стекла с низкой температурой  $T_g$ , не содержащие свинца и мышьяка, предназначены для процессов прецизионного формования (стекла типа “P”). Составы этих стекол были подобраны таким образом, чтобы в них слабо проявлялась склонность к кристаллизации, и не проходили реакции с материалами формования в интервале температур формования.



#### Активные и пассивные стекла для лазеров

Компания SCHOTT предлагает самые новейшие силикатные и фосфатные лазерные стекла для применения в таких областях, как безопасность, медицина (дерматология) и для различных высокоэнергетических приложений. Эти стекла предлагаются в виде готовых компонентов с возможностью дополнительной полировки или нанесения покрытия при оформлении соответствующего заказа.



#### Стекло, устойчивое к радиации

Компания SCHOTT предлагает широкий ассортимент различных видов стекол, устойчивых к радиации, характеристики которых находятся в пределах основных участков диаграммы Аббе. Эта продукция предназначена для использования в космических аппаратах, движущихся по околоземным орбитам со сроком эксплуатации до 10 лет.



### Радиационно-защитное стекло

Радиационно-защитное стекло было специально разработано для ядерных технологий. Некоторые виды наших стекол содержат свинец, чтобы использовать его свойство интенсивно поглощать излучение.



### Техническое стекло

Техническое стекло компании SCHOTT разработано с целью обеспечения специальных требований. Свойства этого стекла, такие как высокое электрическое сопротивление (для герметичных уплотнений), исключительная стойкость (для коррозионных сред), а также высокая температура трансформации, делают его идеальным решением для систем, работающих при повышенных температурах.



### ИК-материалы \*

Компания SCHOTT предлагает халькогенидные стекла с очень высоким пропусканием и малыми температурными изменениями показателя преломления. Стекла на основе поликристаллического ZnS марок FLIR и CLEAR изготавливаются с использованием процесса CVD (химическое осаждение из газовой фазы). Они поставляются в виде изделий с большими размерами, в формате и с формами, установленными потребителями в их заказах, например, в виде окон, куполов или заготовок для линз. \*ИК-материалы частично поставляются нашим партнером, компанией VITRON Spezialwerkstoffe GmbH



### ZERODUR®

Стеклокерамика с нулевым коэффициентом расширения предназначена для ответственных применений, в которых чрезвычайно важным и необходимым является идеальный контроль геометрических характеристик и точности со-

блюдения расстояний при изменении температуры. Этот материал обладает исключительными характеристиками: чрезвычайно малым коэффициентом теплового расширения, очень высокой однородностью теплового расширения, хорошей обрабатываемостью, возможностью полироваться с высокой точностью и очень высокой химической стойкостью

## ФИЛЬТРЫ



### Оптические фильтры

Оптические фильтры ("цветные стекла") поглощают нежелательную часть оптического спектра ("цвета"), и поэтому относительно нечувствительны к изменению угла падения света, и обычно очень прочные по своим механическим характеристикам, поскольку стекла для светофильтров также можно упрочнять. Такие светофильтры, как, например, фильтр с поглощением ИК излучения, пропускают только свет в видимом спектральном диапазоне, и блокируют спектр инфракрасного (ИК) излучения. В частности, компания SCHOTT предлагает более 55 различных стекол для фильтров, которые могут применяться для аналитических исследований, в фотографии, медицине и для защиты от лазерного излучения.



### Интерференционные фильтры – функции фильтров с учетом требований заказчиков

В интерференционных Фильтрах используется волновое свойство света – интерференция. При помощи тонких оптических слоев можно получать полосовые, длинноволновые, коротковолновые и режекторные фильтры. Такие тонкие слои наносятся в условиях глубокого вакуума с использованием метода осаждения из газовой фазы. Могут также поставляться декоративные и защитные покрытия. Для этого в компании SCHOTT используются различные технологии, такие как, реактивное осаждение из газовой фазы, реактивное ионное осаждение и магнетронное распыление. Наши интерференционные фильтры, выполненные под индивидуальный заказ, применяются в области медицинских технологий, для анализа питьевой и осветленной воды, для флуоресцентной микроскопии и т.п. Также могут поставляться фильтры с дополнительной обработкой после их изготовления – с клеевыми соединениями или заключенными в рамку.

## КОМПОНЕНТЫ



### Окна и подложки

В изготовлении сверхпрецизионных плоско-параллельных полированных подложек компания SCHOTT является признанным специалистом. При изготовлении подложек диаметром до 625 мм могут быть достигнуты следующие показатели: плоскопараллельность поверхности – 1/20, шероховатость – меньше 8 ангстрем, царапины и “выколки” – до 5-2. Также могут наноситься покрытия.



### Линзы

Линзы являются существенным элементом любой оптической системы. Компания SCHOTT предлагает различные виды линз: сферические, цилиндрические, асферические (формованные или обработанные на станке с ЧПУ, полированные, с покрытием), одиночные, комбинации из двух или трех линз. Могут обеспечиваться следующие характеристики: диаметр – до 200 мм, плоскопараллельность поверхности – до 1/10, царапины и выемки – до 10-5, центровка – лучше 30 угловых секунд.



### Призмы

Компания SCHOTT предлагает призмы в качестве прозрачных оптических элементов с плоскими полированными поверхностями, которые преломляют, отражают или рассеивают свет. Компания SCHOTT поставляет все виды призм: прямоугольные призмы, призмы Порро, призмы с крышей и т.п., с размерами до 200 мм, плоскопараллельностью поверхности до 1/10, с количеством царапин и выемок до 10-5. Также возможны различные покрытия на заказ.



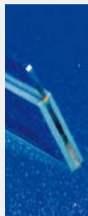
### Прецизионные изделия с обработкой на станках с ЧПУ

Изделия, обработанные на станках с ЧПУ – это оптические компоненты, которые обрабатываются до придания им сложных форм, например, корпуса лазерных гироскопов, пластины для литографии или зеркала с малой мас-сой. При использовании вместе с программами САПР могут быть получены все геометрические формы с очень высокой точностью.



### Покрытия

Компания SCHOTT выполняет работы по нанесению стандартных и заказных покрытий. В компании используются различные технологии нанесения покрытий для типичного спектрального диапазона с длинами волн от 200 нм до 3000 нм. Ассортимент нашей продукции включает как просветляющие покрытия, зеркала, диэлектрические светоделители и поляризаторы, так и высокотехнологичные интерференционные фильтры с резкими краями пропускания и интервалами эффективного блокирования. Покрытия могут наноситься на все виды материалов: плавленый кварц, стекло для оптических фильтров и оптическое стекло.



### Сборочные узлы

Компания SCHOTT поставляет оптические и оптико-механические сборочные компоненты на основе требований заказчика, например, сборки фильтров, приборные панели для авиации, сборки призм, объективы. Мы гарантируем, что могут выполняться такие требования, как обеспечение высокой точности и качества, надежности сборки, вакуумной герметичности и оптических характеристик (например, пропускание и отражение).

## Каталог оптических стекол

В этом каталоге Вы найдете сводку данных о наших оптических стеклах и материалах, которые обеспечивают потребности широкого спектра применений, от потребительских товаров до оптических систем, используемых в передовых научных исследованиях.

### Мы рассматриваем следующие категории:

- Стекла типа “N”, не содержащие свинца и мышьяка.
- Марки стекол с низкой температурой трансформации ( $T_g$ ), предназначенные для процессов прецизионного формования
- Классические виды стекол с оксидом свинца в качестве основного компонента, обеспечивающего исключительные оптические характеристики
- Виды стекол, стойкие к воздействию излучения

→ Оптические стекла с повышенными коэффициентами пропускания в видимом спектральном диапазоне, особенно в сине-фиолетовой области, стекла NT и NTultra.

При рассмотрении этих разных категорий компания SCHOTT разделяет материалы на **предпочтительные**, usually kept in stock for immediate delivery, которые обычно имеются в наличии на складе и могут поставаться незамедлительно, и на те виды стекла, которые **поставляются по запросу**. Эти стекла могут быть заказаны, но компания SCHOTT не гарантирует их наличие на складе. Подробности указаны в разделе каталога “Данные”.

### Соответствующие определения этих материалов указываются в данном каталоге:

Стабилизированные церием, **стойкие к воздействию излучения** стекла используются для обеспечения характеристик пропускания в среде с ионизирующим излучением, они также относятся к нашим стеклам, изготавливаемым на заказ.



Оптические данные материалов, указанных в этом каталоге, предназначены для использования в оптических системах, и поэтому их характеристики указаны относительно воздуха. Для использования материалов в литографии, где требуются характеристики пропускания в области 250 нм, мы настоятельно советуем связаться с нами напрямую для более детального обсуждения технических аспектов. Это также относится к используемым в литографии стеклам с очень хорошими характеристиками пропускания в ближнем УФ диапазоне (365 нм, i-линия) и высокой оптической однородностью. По Вашему запросу мы будем готовы предоставить соответствующие справочные листки с техническими данными и оказать техническую поддержку.

### **Виды поставляемого материала**

Компания SCHOTT предлагает поставки имеющихся в продаже материалов **в различном виде**.

Более подробные сведения представлены в главе 7.

### **Управление качеством**

Мы изготавливаем, обрабатываем и распространяем наши материалы в соответствии с нашей интегрированной системой управления по обеспечению безопасности и защиты окружающей среды (IMSU), которая позволяет избежать загрязнения окружающей среды и дает возможность сохранять природные ресурсы. Кроме того, недавно компания SCHOTT внедрила части нового стандарта ISO 12123 “Оптика и фотоника – спецификация исходного оптического стекла”, которые учтены в этой обновленной версии каталога. Ссылки указаны в описаниях.

## Дополнительная информация о продукции

Одним из вопросов, которому в компании SCHOTT уделяют большое внимание, является предоставление профессиональной помощи специалистов дополнительно к поставкам имеющейся продукции. Наша уникальность заключается в широкой технической поддержке, в предоставлении подробной информации о нашей продукции и помощи в ее применении до и после покупки, а также в совместных разработках согласно техническим условиям заказчика. Мы предлагаем подробные информационные листы с техническими данными, базы данных для использования в программах конструирования оптических систем и обзорные диаграммы для всех материалов, указанных в данном каталоге. Могут предоставляться также электронные версии технической информации, или, так называемые, TIE.

Метка, относится к соответствующему документу TIE, их обзор представлен на странице 65 данного каталога. Подробную техническую информацию можно найти на нашем веб-сайте: [http://www.schott.com/advanced\\_optics/technical\\_information](http://www.schott.com/advanced_optics/technical_information)

TIE  
имеется



## 1 Оптические характеристики

### 1.1 Показатель преломления, число Аббе, показатели дисперсии, обозначения стекол



Наиболее общими определяющими характеристиками оптического стекла являются показатель преломления  $n_d$  в среднем диапазоне видимого спектра и число Аббе  $v_d = (n_d - 1)/(n_f - n_c)$ , как мера дисперсии. Разница  $n_f - n_c$  называется главной дисперсией.

Оптическое стекло также можно обозначать цифровым кодом, часто называемым кодом стекла. Компания SCHOTT использует код, состоящий из девяти цифр. Первые шесть цифр соответствуют общему международному коду стекла. Они показывают оптические характеристики отдельного стекла. Первые три цифры показывают показатель преломления  $n_d$ , вторые три цифры – число Аббе  $v_d$ . Три дополнительные цифры показывают плотность стекла.

При задании характеристик оптических систем, значения, полученные на основе e-линии  $n_e$  и  $v_e = (n_e - 1)/(n_f - n_c)$ , являются другими часто используемыми величинами.

Таблица 1.1: Примеры кода стекла

| Тип стекла | $n_d$   | $v_d$ | Плотность | Код стекла   |
|------------|---------|-------|-----------|--|
| N-SF6      | 1,80518 | 25,36 | 3,37      | 805254.337<br>стекло без свинца и мышьяка              |
| SF6        | 1,80518 | 25,43 | 5,18      | 805254.518<br>классическое свинцовое силикатное стекло |

Предпочтительные оптические стекла группируются в виде семейств на схеме  $n_d/v_d$  или  $n_e/v_e$ . Семейства стекол перечисляются в порядке уменьшения чисел Аббе в разделе с данными.

## 1.2 Допуски для показателя преломления и числа Аббе

Допуски для показателя преломления и числа Аббе приведены в таблице 1.2. Стандартное качество при поставке тонко отожденного стекла соответствует категории 3 для  $n_d$  и категории 4 для  $v_d$ . Мы будем поставлять материал с более высоким уровнем требований по запросу.

Таб. 1.2: Допуски для показателя преломления и числа Аббе (по стандарту ISO 12123)

|             | $n_d$        | $v_d$       |
|-------------|--------------|-------------|
| Категория 1 | $\pm 0,0002$ | $\pm 0,2\%$ |
| Категория 2 | $\pm 0,0003$ | $\pm 0,3\%$ |
| Категория 3 | $\pm 0,0005$ | $\pm 0,5\%$ |
| Категория 4 | –            | $\pm 0,8\%$ |

Все поставки тонко отожденного оптического стекла и резанных заготовок выполняются партиями, полученными из одной порции стекольной шихты (см. Рис. 1.1).

Порция шихты может быть в виде одного блока или в виде нескольких полос. Поставляемые партии обозначаются номером поставляемой партии.

Поставляемые партии формируются на основе определенного максимума, который обеспечивает для отдельных порций заданное отклонение показателя преломления и числа Аббе от номинальных значений, указанных в листах с техническими данными (допуски согласно таблицы 1.2), и разброс значений показателя преломления от партии к партии, указанный в таблице 1.3.

Поскольку порции могут иметь разные характеристики тонкого отжига, то такие поставляемые партии не пригодны для операций допрессовки.

Все части поставляемой партии тонко отожденного оптического стекла, резанных заготовок и прессованных изделий отвечают требованиям нормального качества по изменениям показателя преломления, как это указано в таблице 1.3. По требованию части могут также поставляться партиями с более жесткими условиями на изменения показателя преломления, по сравнению с теми, что указаны в таблице 1.3.

### 1.3 Сертификаты испытаний на показатели преломления и дисперсии

#### 1.3.1 Стандартные сертификаты испытаний

Мы предоставляем стандартные сертификаты испытаний в соответствии со стандартом ISO 10474

Таблица 1.3: Допуск на разброс показателя преломления в партии тонко отожденного стекла (в соответствии со стандартом ISO 12123) и в партии прессованных изделий

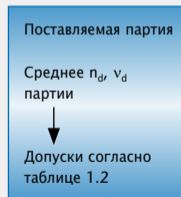
| Тонко отоженное стекло, граненые заготовки |                                 | Прессованные изделия      |                                 |
|--|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Обозначение                                | Разброс показателей преломления | Обозначение <sup>1)</sup> | Разброс показателей преломления |
| SN   | $\pm 1 \cdot 10^{-4}$           | LN                        | $\pm 2 \cdot 10^{-4}$           |
| S0   | $\pm 5 \cdot 10^{-5}$           | LH1                       | $\pm 1 \cdot 10^{-4}$           |
| S1   | $\pm 2 \cdot 10^{-5}$           | LH2                       | $\pm 5 \cdot 10^{-5}$           |

<sup>1)</sup> Все допуски на разброс для прессованных изделий только по запросу

Рисунок 1.1: Состав поставляемой партии стекла для горячей обработки и тонко отожженного стекла

Поставляемая партия:  
партия, полученная из одной  
порции стекольной шихты

Партия:  
отдельный блок стекла или не-  
сколько полос, изготовленные  
в заданный период времени.



Партия 1:  $n_{d1}, v_{d1}$

Партия 2:  $n_{d2}, v_{d2}$

Партия 3:  $n_{d3}, v_{d3}$

⋮

Максимальный разброс показателя  
преломления от одной партии к дру-  
гой: SN, S0 или S1 по таблице 1.3

За подбор комбинации номеров партий отвечает компания SCHOTT.

для всех поставляемых партий тонко отожженного оптического стекла. Содержащаяся в них информация основана на выборочных испытаниях и относится к среднему положению оптических значений для поставленной партии. Значение для отдельной части может отличаться от сообщаемого среднего значения на величину допуска для разброса значений показателя преломления.

Измерения проводятся с точностью  $\pm 3 \cdot 10^{-5}$  для показателя преломления и  $\pm 2 \cdot 10^{-5}$  для дисперсии. Числовые данные приводятся в формате 5 десятичных разрядов.

По требованию сертификаты испытаний с повышенной точностью могут предоставляться на отдельные стеклянные изделия ( $\pm 2 \cdot 10^{-5}$

Таблица 1.4: Информация на показатели преломления и дисперсии в стандартных актах испытаний

|       |       |             |             |              |             |
|-------|-------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| $n_d$ | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_F - n_d$ | $n_F - n_C'$ | $n_g - n_F$ |
| $n_e$ | $v_e$ | $n_d - n_C$ | $n_F - n_e$ | $n_F - n_e$  |             |

для показателя преломления и  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$  для дисперсии). В этих сертификатах дополнительно приводятся константы для дисперсионной формулы Селмейера для применяемого спектрального диапазона, которые были определены на основе полной серии измерений.

### 1.3.2 Сертификаты прецизионных испытаний УФ-ВИД-ИК

Сертификаты прецизионных испытаний выдаются по требованию и в каждом случае они относятся к отдельным стеклянным заготовкам. Для видимого спектрального диапазона в этих сертификатах приводятся те же самые величины, как и в сертификатах испытаний для стандартной точности, однако с той разницей, что данные по дисперсии приводятся в формате с 6 десятичными разрядами.

По требованию данные по показателю преломления могут предоставляться для расширенного спектрального диапазона от 185 нм до 2325 нм, а константы для дисперсионной формулы Селмейера могут указываться для применяемого спектрального диапазона.

Измерения проводятся с использованием призмного гониометра. Точность составляет: для показателя преломления  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ , для дисперсии  $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ . По запросу, независимо от типа стекла и длины волны, на которой проводятся измерения, может быть обеспечена точность: для показателя преломления до  $\pm 4 \cdot 10^{-6}$ , для дисперсии до  $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ .

Стандартная температура измерений составляет 22 °С. По запросу, температура измерений может быть изменена на постоянное значение в диапазон

от 18 до 28 °С. Стандартная атмосфера при проведении измерений: воздух при давлении 1013,3 гПа. Фактические значения температуры и давления при измерениях указываются на индивидуальных сертификатах испытаний. По специальному запросу, возможно проведение измерений в азоте.

#### 1.4 Однородность показателя преломления



Однородность показателя преломления – это мера, характеризующая отклонения показателя преломления в отдельных элементах стеклянных изделий. Путем принятия специальных мер при плавке и тонком отжиге частей стеклянных изделий можно достигнуть высокой однородности показателя преломления. Достигаемая однородность показателя преломления зависит от марки стекла, объема и формы отдельного стеклянного элемента.

Требуемая оптическая однородность должна быть указана в соответствии с областью применения и конечными размерами изделия. В об-

щем случае, указываемые значения оптической однородности являются значениями, изменяющимися от максимума до минимума и рассчитанными для отклонений волнового фронта, с учетом всех aberrаций. Во многих случаях допустимо вычитание некоторых aberrационных членов, имеющих пренебрежимо малое влияние для данной области применения. Например, фокальные aberrации (выраженные фокальным элементом) часто могут быть устранены изменением геометрии готового изделия. Это должно быть указано заранее.

По требованию градиент распределения однородности может быть оценен на основе изменения показателя преломления на сантиметр апертуры. Это должно быть также указано заранее.

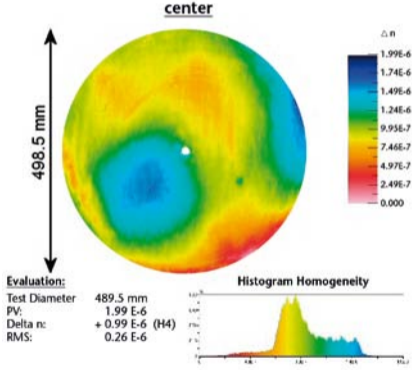
Повышенные требования к однородности показателя преломления разделены на 5 классов в соответствии со стандартом ISO 10110, часть 4 (см. таблицу 1.5). Максимальное изменение показателя преломления выражается в значениях “максимум – минимум” в соответствии со стандартом ISO 12123.

Таблица 1.5: Однородность оптических стекол

| Класс однородности | Максимальное изменение показателя преломления | Применимость, возможность поставки  |
|--------------------|---|---|
| H 1                | $40 \cdot 10^{-6}$                            | Для отдельных граненых заготовок  |
| H 2                | $10 \cdot 10^{-6}$                            | Для отдельных граненых заготовок  |
| H 3                | $4 \cdot 10^{-6}$                             | Для отдельных граненых заготовок, но не для всех размеров.                          |
| H 4                | $2 \cdot 10^{-6}$                             | Для отдельных граненых заготовок, но не для всех размеров, не для всех типов стекол |
| H 5                | $1 \cdot 10^{-6}$                             | Для отдельных граненых заготовок, но не для всех размеров, не для всех типов стекол |



Рис. 1.2: Качество H4 заготовки типа N-BK7® диаметром 1 м, измеренное в центральной апертуре 500 мм



### 1.5 Коэффициент внутреннего пропускания, цветовой код

Внутренняя пропускная способность, т. е. коэффициент пропускания света без потерь на отражение, тесно связана с оптическими свойствами данной марки стекла в соответствии с общей дисперсионной теорией. Используя самые чистые исходные материалы и новейшие технологии плавления, можно достичь предельных дисперсионных параметров для внутреннего пропускания, в коротковолновом спектральном диапазоне.

Компания SCHOTT стремится обеспечить получение наилучших показателей внутреннего пропускания в разумных экономически выгодных пределах.

В разделе с техническими данными приводятся средние значения коэффициента внутреннего пропускания и цветового кода, полученные для нескольких плавок стекла выбранной марки. По специальному требованию для стекол всех марок также может обеспечиваться полу-

чение минимальных значений коэффициента внутреннего пропускания. Для этого необходимо уточнить условия поставки. В разделе с техническими данными приведены значения коэффициента внутреннего пропускания на длине волны 400 нм для образца толщиной 10 мм.

Некоторые типы стекол поставляются с улучшенным внутренним пропусканием в видимой части спектра, особенно, в сине-фиолетовом диапазоне. Такие изделия обозначаются суффиксом НТ (высокая степень пропускания) или ННТ (наивысшая степень пропускания); в разделе технических данных они будут обозначаться отдельно (например, N-SF6HT или SF57HTultra). Для марок НТ и ННТ приводятся гарантированные минимальные значения коэффициента внутреннего пропускания в видимой области спектра.

Граница области пропускания оптических стекол в ультрафиолетовом диапазоне представляет особый интерес для стекол с высоким показателем преломления, так как она смещается в направлении видимого спектрального диапазона, с увеличением коэффициента преломления. Простое описание положения и наклона графика кривой поглощения ультрафиолетового излучения дается цветовым кодом.

Цветовой код указывает длины волн  $\lambda_{80}$  и  $\lambda_5$ , для которых коэффициент пропускания (учитывая потери на отражение) составляет 0,80 и 0,05 при толщине образца 10 мм. Значения округлены до 10 нм и приведены без первой значащей цифры. Например, цветовой код 33/30 означает  $\lambda_{80} = 330$  нм и  $\lambda_5 = 300$  нм.

Для стекол с высоким показателем преломления с  $n_d > 1,83$  данные по цветовому коду (обозначены знаком \*) относятся к значениям коэффициента пропускания 0,70 и 0,05 ( $\lambda_{70}$  и  $\lambda_5$ ) из-за высоких потерь на отражение в этих стеклах. Допуск для цветового кода обычно находится в пределах  $\pm 10$  нм.

## 1.6 Возможности методов измерения оптических характеристик

Таблица 1.6 дает обзор точности методов измерения, используемых для определения оптических характеристик в обеспечении качества оптического стекла.

|                                  | Измерение  | Точность  |                         | Оборудование   | Спектральный диапазон                              | Образец  |                                 |
|----------------------------------|--|---|-------------------------|--|--|--|---------------------------------|
|                                  |  | показатель преломления                                      | дисперсия               |  |  | Форма  | Формат                          |
| Измерение показателя преломления | Измерение показателя преломления   | $\pm 3 \cdot 10^{-5}$                                       | $\pm 2 \cdot 10^{-5}$   | Рефрактометр с V-блоком  | g, F', F, e, d, C', C (vd, ve)                     | кубическая   | 20x20x5 мм <sup>3</sup>         |
|                                  | Стандартное измерение с повышенной точностью                                     | $\pm 2 \cdot 10^{-5}$                                       | $\pm 1 \cdot 10^{-5}$   |  |  |  |                                 |
|                                  | Прецизионное измерение   | $\pm 0.4 \cdot 10^{-5}$                                     | $\pm 0.2 \cdot 10^{-5}$ | Спектрометр URIS метод минимального отклонения                                 | 185–2325 нм  | призматическая                                     | сторона: 30 мм<br>высота: 22 мм |
|                                  | Внутренний коэффициент пропускания   | $\pm 0.5\% T$<br>$\pm 0.3\% T$                              |                         | спектральный фотометр  | 250–2500 нм<br>400–700 нм                          | кубическая   | 30x30xтолщина мм <sup>3</sup>   |
|                                  | Однородность показателя преломления  | ~10 нм волн. фронт pv                                       |                         | Интерферометр ZEISS Direct 100, максимальная апертура 500 мм                   | 633 нм   | прямоугольная, округлая                            | до ~1000 мм диаметр             |
|                                  | Температурные коэффициенты преломления   | $\pm 5 \cdot 10^{-7} \cdot K^{-1}$                          |                         | спектральный гониометр, камера для образцов с медленным изменением температуры | i, h, g, F', e, d, C', t, 1060 от -100°C до +140°C | полупризматическая односторонняя металлизированная | сторона: 30 мм<br>высота: 22 мм |
|                                  | Двойное лучепреломление под действием внутренних напряжений, с высокой точностью | 1 нм абсолютное значение (1 мм пространственное разрешение) |                         | Strainmatic (ILIS), метод "de Senarmont method"                                | 587 нм   | произвольная форма                                 | до 300 мм диаметр               |

## 2 Внутренние характеристики

### 2.1 Свилы



Отклонения показателя преломления в стекле на небольших расстояниях называются свилы. Эти дефекты похожи на полосы, в которых показатель преломления изменяется с типичным периодом от десяти долей до нескольких миллиметров. Стандарт ISO 10110, часть 4, содержит классификацию по отношению к свилам. Поскольку этот стандарт относится к готовым оптическим компонентам, то эта характеристика только условно применима к оптическому стеклу в первоначально поставляемом виде. Стандарт оценивает свилы по классам 1–4 согласно площади, которую занимает этот дефект на оптически эффективной общей поверхности компонента. Таким образом, рассматривается только такие свилы, которые искажают фронт плоской волны более чем на 30 нм. Пятый класс определяет стекло, которое в высшей степени свободно от свилей. Этот класс также включает свиль с искажением волнового фронта менее 30 нм, однако, стандарт рекомендует пользователю со всеми вопросами обращаться к изготовителю стекла.

Промышленный ассортимент всех оптических стекол, выпускаемых компанией SCHOTT, отвечает требованиям классов 1–4 стандарта

ISO 10110, часть 4. Толщина проверяемых стекол обычно намного больше, чем в готовых оптических компонентах. Поэтому эффективное качество по наличию свилей в оптической системе *намного выше*.

Свилы в оптических стеклах определяются при помощи теневого графического метода с использованием стандартов сравнения с известными отклонениями волнового фронта. В таблице 2.1 представлены предельные допуски в соответствии со стандартом ISO 12123.

Таблица 2.1: Пределы допуска (в соответствии со стандартом ISO 12123)

| Класс свилы | Допустимый предел отклонения фронта свилы на 50 мм длина пути [нм] | Обычно применяется для |
|-------------|--|------------------------|
| Стандарт    | < 30   | исходное стекло        |
| VS1 / VS2   | не видно   | граненые заготовки     |

Степень качества VS1 определяет оптическое стекло с повышенными требованиями к наличию свилей при отборе. Для оптического стекла с этой степенью качества чувствительный теневой метод не регистрирует наличие свилей. Для применения в призмах компания SCHOTT предлагает категорию качества VS2. Для таких стеклянных изделий теневой метод не выявляет наличие свилей по двум направлениям, перпендикулярным друг к другу.

## 2.2 Пузыри и включения



Оптическое стекло в исключительно высокой степени свободно от пузырей. Тем не менее, вследствие состава стекла и необходимости использовать экономичную технологию его изготовления, полностью избежать наличия пузырей в стекле не удастся. Количество пузырей описывается их полной площадью поперечного сечения в мм<sup>2</sup> в объеме стекла

100 см<sup>3</sup>, рассчитываемой как сумма площадей поперечного сечения всех пузырей. Включения в стекле, например, камни и кристаллы, рассматриваются как пузыри того же самого поперечного сечения. При оценке учитываются все пузыри и включения  $\geq 0,03$  мм. Классы пузырьности и максимально допустимые количества и диаметры пузырей и включений приведены в таблице 2.2. В категориях повышенного качества VB (более строгий отбор по наличию пузырей) и EVB (очень строгий отбор по наличию пузырей) стекло может поставляться только в виде обработанных стеклянных изделий.

В соответствии со стандартом ISO 10110, часть 3, допускается наличие пузырей в распределенном состоянии. Вместо одного пузыря указанного размера допускается наличие большего количества пузырей меньших размеров.

Специальные области применения, например, мощные лазеры, светоделительные призмы, электронно-оптические видеокамеры и дифракционные решетки высокого разрешения допускают использование только стекол с очень малым количеством очень мелких пузырей/включений. По запросу мы можем поставлять стекло, отвечающее таким требованиям.

Таблица 2.2: Допуски на пузыри и включения в оптических стеклах

| Класс пузырьности  |     | B0   | B0   | B0    | B1   | B1   | B1   |
|--|-----|------|------|-------|------|------|------|
| Степень качества   |     |      | VB   | EVB   |      | VB   | EVB  |
| Максимально допустимая площадь поперечного сечения всех пузырей и включений в мм <sup>2</sup> на 100 см <sup>3</sup> объема стекла |     | 0,03 | 0,01 | 0,006 | 0,1  | 0,03 | 0,02 |
| Максимально допустимое количество на 100 см <sup>3</sup>   |     | 10   | 4    | 2     | 30   | 10   | 4    |
| Максимально допустимый диаметр пузырей или включений в мм в пределах частей диаметра или макс. длины кромки в мм.                  | 50  | 0,10 | 0,10 | 0,10  | 0,15 | 0,15 | 0,10 |
|  | 100 | 0,15 | 0,15 | 0,10  | 0,20 | 0,15 | 0,10 |
|  | 200 | 0,20 | 0,15 | 0,10  | 0,30 | 0,20 | 0,10 |
|  | 300 | 0,25 | 0,20 | 0,10  | 0,40 | 0,25 | 0,10 |
|  | 500 | 0,40 | –    | –     | 0,60 | –    | –    |
|  | 800 | 0,55 | –    | –     | 0,80 | –    | –    |

### 2.3 Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений



Величина и распределение постоянных внутренних напряжений в стекле зависит от условий отжига, типа стекла и его размеров. Степень, в которой внутренние напряжения вызывают двойное лучепреломление, зависит от типа стекла.

Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений измеряется как разность хода лучей по методу Сенармона–Фриделя и указывается в нм/см на основе контрольной толщины. Точность метода составляет 3-5 нм для контрольных образцов с простыми геометрическими формами. Измерения проводятся на круглых дисках на расстоянии от края, составляющем 5 % от диаметра. Для прямоугольных пластин измерения проводятся по центру более длинной стороны на расстоянии, составляющем

5 % ширины пластины. Подробное описание метода можно найти в стандарте ISO 11455.

Метод Сенармона–Фриделя не эффективен при измерении двойного лучепреломления под воздействием малых внутренних напряжений и при малых толщинах. Для этих случаев у нас есть другие методы, обеспечивающие точность измерений в 1 нм и меньше.

Нашими методами отжига мы можем достигать как высокой оптической однородности, так и очень малого двойного лучепреломления под воздействием внутренних напряжений. Поставляемые изделия из стекла обычно имеют симметричное распределение внутренних напряжений. Поверхность стекла обычно находится под воздействием напряжений сжатия. Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений значительно снижается при обработке полосы или блока стекла резанием. Если оптические элементы намного меньше размеров исходного стекла, из которого они изготавливаются, тогда остаточное двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений намного меньше даже предельных значений, указанных в таблице 2.3.

Предельные значения для двойного лучепреломления под воздействием внутренних напряжений в изделиях с размером более 600 мм могут быть предоставлены по запросу.

Для стекла, используемого для дополнительного горячего прессования, допустимыми являются более высокие внутренние напряжения. Это не относится к механической обработке.

Таблица 2.3: Предельные значения двойного лучепреломления под воздействием внутренних напряжений в резанных заготовках различных размеров ( $\emptyset$  – диаметр или максимальная длина,  $d$  – толщина)

| Размеры                                      | Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений |                                   |                                     |
|--|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
|  | Тонкий отжиг<br>[нм/см]  | Специальный отжиг<br>(SK) [нм/см] | Прецизионный отжиг<br>(SSK) [нм/см] |
| $\emptyset \leq 300$ мм<br>$d \leq 60$ мм    | $\leq 10$  | $\leq 6$                          | $\leq 4$                            |
| $\emptyset: > 300-600$ мм<br>$d: > 60-80$ мм | $\leq 12$  | $\leq 6$                          | $\leq 4$                            |

### 3 Химические свойства



Для оценки химической стойкости полированных стеклянных поверхностей используются пять методов испытаний, описанных далее.

#### 3.1 Климатическая стойкость

Климатическая стойкость описывает поведение оптических стекол при высокой относительной влажности и высоких температурах. На поверхности чувствительных стекол может образовываться пленка из белых пятен, которые, обычно, невозможно стереть.

Согласно стандарту ISO/WD 13384 для испытания климатической стойкости стекла используется ускоренная процедура, в которой полированные, без покрытия, стеклянные пластины подвергаются воздействию атмосферы с насыщенными парами

Таблица 3.1: Классификация оптических стекол по классам климатической стойкости CR 1–4

| Класс климатической стойкости CR | 1         | 2                         | 3                         | 4            |
|----------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Увеличение мутности $\Delta H$   | $< 0,3\%$ | $\geq 0,3\%$<br>$< 1,0\%$ | $\geq 1,0\%$<br>$< 2,0\%$ | $\geq 2,0\%$ |

воды, температура которой изменяется от 40 °С до 50 °С. Это приводит к периодической смене режимов конденсации влаги на стекле и последующего высушивания.

После периода экспозиции в 30 часов стеклянные пластины вынимаются из климатической камеры. Разница  $\Delta H$  между матовостью до и после испытания используется в качестве меры результирующего изменения поверхности. Измерения выполняются с использованием сферического мутномера. Классификация проводится на основе увеличения мутности на пропускание  $\Delta H$  после 30-часового периода испытаний. В таблице 3.1 приводятся классы климатической стойкости.

На стеклах в классе CR 1 не видны видимые следы воздействия после 30 часов выдержки в условиях изменения климата. При нормальных условиях влажности в процессе изготовления и хранения оптического стекла класса CR 1 не следует ожидать агрессивного воздействия на поверхность. С другой стороны, изготовление и хранение оптических стекол в классе CR 4 следует проводить с осторожностью, поскольку эти стекла очень чувствительны к климатическим воздействиям.

Для хранения оптических полированных элементов мы рекомендуем наносить защитное покрытие и/или обеспечивать условия, при которых относительная влажность поддерживается на как можно более низком уровне.

### 3.2 Стойкость к травлению

Данный метод испытания дает информацию о возможных изменениях поверхности стекла (образование пятен) под воздействием слегка подкисленной воды (например, запотевание, кислотные конденсаты) без испарения.

Класс стойкости к травлению определяется в соответствии со следующей процедурой. Плоский полированный образец стекла впрессовывается в контрольную кювету, которая имеет сферическое углубление максимальной глубиной 0,25 мм, в котором находится несколько капель контрольного раствора.

Контрольный раствор I:

буферный раствор ацетат натрия pH = 4,6

Контрольный раствор II:

буферный раствор ацетата натрия pH = 5,6

В результате разложения поверхности стекла под действием контрольного раствора появляются интерференционные цветные пятна. Мерой классификации стекла является время, прошедшее до появления первого сине-коричневого пятна при температуре 25 °С. Изменения цвета соответствуют определенным толщинам поверхностных слоев, установленным ранее на контрольных образцах. Сине-коричневое изменение цвета указывает на химическое изменение поверхностного слоя толщиной 0,1 мкм (насколько стекло может образовывать слои). В таблице 3.2 приводятся классы стойкости к травлению.

Класс стойкости к травлению FR 0 включает все стекла, на которых фактически не появляются интерференционные цвета, даже после 100 часов воздействия контрольного раствора I. Стекла с классификацией FR 5 требуют особого внимания в процессе их обработки.

Таблица 3.2: Классификация оптических стекол по классам стойкости к травлению FR 0–5

| Класс стойкости к травлению FR | 0   | 1      | 2  | 3  | 4  | 5    |
|--------------------------------|-----|--------|----|----|----|------|
| Контрольный раствор            | I   | I      | I  | I  | II | I/II |
| Время (ч)                      | 100 | 100    | 6  | 1  | 1  | 0,2  |
| Появление пятен                | нет | да     | да | да | да | да   |
| Изменение цвета                | нет | да/нет | да | да | да | да   |

### 3.3 Кислотостойкость

Кислотостойкость классифицирует поведение оптического стекла, соприкасающегося с большими количествами кислотных растворов (например, запотевание, ламинирующие вещества, газированная вода, и т.д.). Кислотостойкость определяется в соответствии со стандартом ISO 8424 (1996).

Кислотостойкость обозначается двух- или трехзначным числом. Первая или первые две цифры показывают класс кислотостойкости SR. Последняя цифра, которая отделяется десятичной точкой, показывает видимые изменения поверхности, возникшие в результате воздействия. Последняя цифра рассматривается в главе 3.5.

Время  $t$ , необходимое для растворения слоя толщиной 0,1 мкм при 25 °С служит мерой кислотостойкости. При определении кислотостойкости используются два коррозионных раствора. Сильная кислота (азотная кислота,  $c = 0,5$  моль/л, pH 0,3) используется для более стойких видов стекол, в то время как менее кислотостойкие стекла подвергаются воздействию слабого кислотного раствора со значением pH 4,6 (буферный раствор ацетата натрия).

Толщина слоя рассчитывается по потерям массы на единицу площади поверхности и плотности стекла. В таблице 3.3 приводятся классы кислотостойкости.

Класс SR 5 является переходным между более кислотостойкими стеклами в классах SR 1–4 и более чувствительными к воздействию кислот стеклами в классах SR 51–53. Класс SR 5 включает стекла, для которых время удаления слоя толщиной 0,1 мкм при значении pH 0,3 составляет менее 0,1 ч, а при значении pH 4,6 – более 10 часов.

Таблица 3.3: Классификация оптических стекол по классам кислотостойкости SR 1–53

| Класс кислотостойкости SR | 1     | 2      | 3    | 4     | 5          | 51   | 52    | 53    |
|---------------------------|-------|--------|------|-------|------------|------|-------|-------|
| Значение pH               | 0,3   | 0,3    | 0,3  | 0,3   | 0,3 4,6    | 4,6  | 4,6   | 4,6   |
| Время (ч)                 | > 100 | 10–100 | 1–10 | 0,1–1 | < 0,1 > 10 | 1–10 | 0,1–1 | < 0,1 |

### 3.4 Щелочестойкость и стойкость к воздействию фосфатов

Оба метода испытаний предназначены для классификации стойкости стекол к водному щелочному раствору, находящемуся в избытке, в них используется одна и та же схема классификации.

Щелочестойкость показывает чувствительность оптического стекла, находящегося в контакте с нагретыми щелочными жидкостями, например, охлаждающими жидкостями в процессах шлифования и полирования. Щелочестойкость определяется в соответствии со стандартом ISO 10629 (1996).

Стойкость к фосфатам описывает поведение оптического стекла во время очистки промывными растворами, содержащими фосфаты (детергенты). Стойкость к воздействию фосфатов определяется в соответствии со стандартом ISO 9689 (1990).

Стойкость к щелочам, а также к фосфатам обозначается с использованием двух цифр, разделенных десятичной точкой. Первая цифра показывает класс щелочестойкости AR или класс фосфатной стойкости PR, а десятичная дробная часть показывает видимое изменение поверхности, которое происходит в результате воздействия.

Класс щелочестойкости AR показывает время, необходимое для удаления слоя стекла толщиной 0,1 мкм в щелочном растворе (гидроксид натрия,  $c = 0,01$  моль/л,  $pH = 12$ ) при 50 °С.

Класс фосфатной стойкости PR показывает время, необходимое для удаления слоя стекла толщиной 0,1 мкм в растворе, содержащем фосфаты (трифосфат пентанатрия  $Na_5P_3O_{10}$ ,  $c = 0,01$  моль/л,  $pH = 10$ ) при температуре 50 °С. Толщина слоя рассчитывается по потерям массы на единицу площади поверхности и плотности стекла. В таблице 3.4 приводятся классы щелочной и фосфатной стойкости.

Таблица 3.4: Классификация оптических стекол по классам щелочестойкости AR 1–4 и классам фосфатной стойкости PR 1–4

| Класс щелочестойкости AR<br>Класс фосфатной стойкости PR | 1   | 2   | 3      | 4      |
|--|-----|-----|--------|--------|
| Время (ч)  | > 4 | 1–4 | 0,25–1 | < 0,25 |

Стекла в классе 1 обладают большей стойкостью в контрольных растворах, чем стекла в классе 4. Цифра после классификации обозначает видимое изменение поверхности, возникающее в процессе воздействия. Цифры поясняются в главе 3.5.

### 3.5 Идентификация видимых изменений поверхности

Изменения поверхности испытанных образцов оцениваются качественно невооруженным глазом. Определение цифр, стоящих

после классификации кислотной, щелочной и фосфатной стойкости, приводится ниже:

- .0 видимые изменения отсутствуют;
- .1 прозрачная, но неровная поверхность (волнистая, ноздреватая, выщербленная);
- .2 пятна и/или интерференционные цвета (незначительное, селективное выщелачивание)
- .3 прочный тонкий беловатый слой (сильное, селективное выщелачивание, мутная/матовая/тусклая поверхность);
- .4 слабосвязанный, толстый слой, например, нерастворимое хрупкое отложение на поверхности (может быть растрескавшаяся и/или отслаивающаяся поверхность, поверхностная корка или трещины на поверхности; сильная коррозия)

### 3.6 Экологические аспекты, опасные вещества, RoHS

Производство, обработка и распространение материалов, входящих в ассортимент нашей продукции, проводятся с нашей интегрированной системой управления для обеспечения безопасности и защиты окружающей среды (ISMS), а также системой мер по охране окружающей среды, безопасности и охране труда (EHS), чтобы не допускать загрязнения окружающей среды, сохранять природные ресурсы и следовать процедурам и основным принципам нашей системы управления качеством.

Обработка исходного материала, плавка стеклянной шихты и горячее формование проводятся с соблюдением принятых правил техники безопасности. Шлам от резки, шлифования и полировки должен обрабатываться в соответствии с правила-

ми утилизации отходов, установленными местными органами власти. Стеклянные изделия остаются в рабочем состоянии и после окончания срока их эксплуатации, не выделяя никаких своих химических компонентов. Их утилизация является редким и рассредоточенным событием, поэтому не происходит накопления отходов до критических уровней.

Все оптические материалы в этом каталоге отвечают требованиям Европейской директивы 2002/95/EC (RoHS). Ртуть (Hg), хром VI (CrVI), кадмий, а также огнезащитные вещества PBB и PBDE вообще не присутствуют в оптических материалах нашего каталога. Стекла N- и P-типов отвечают требованиям по предельной величине в 0,1 % для свинца, указанным в директиве 2005/618/EC, устанавливающей допустимые предельные значения для опасных веществ, указанных в RoHS. Классические виды стекол могут в значительных количествах содержать оксид свинца. Они отвечают требованиям RoHS, благодаря исключению, документально представленному в решении Комиссии 2010/95/EC. Кроме этого, все материалы, рассматриваемые в данном каталоге, отвечают требованиям Европейских правил 2006/1907/EC (REACH: регистрация, оценка и санкционирование химических веществ).

## 4 Механические свойства



### 4.1 Твердость по Кнупу

Твердость по Кнупу показывает степень изменения поверхности материала после вдавливания испытательного алмазного индентора при заданном давлении и в течение заданного времени. Стандарт ISO 9385 описывает методику измерений для стекол. В соответствии с этим стандартом значения твердости по Кнупу, НК, приводятся в листках с техническими данными для контрольного усилия 0,9807 Н (соответствует 0,1 кфунт) и эффективного времени испытания 20 с. Это испытание проводится на полированных стеклянных поверхностях при комнатной температуре. Данные по значениям твердости округляются до 10 НК 0,1/20. Микротвердость является функцией величины испытательного усилия, и она уменьшается с увеличением контрольного усилия.

### 4.2 Шлифуемость (ISO 12844)

Согласно стандарту ISO 12844 шлифуемость дает возможность сравнивать процессы шлифования, используемые для различных стекол. Двадцать образцов классифицируемого стекла шлифуются в течение 30 секунд в стандартизованном инструменте с алмазными гранулами в заранее установленных условиях. После этого удаленный объем стекла сравнивается с аналогичным объемом для стандартного стекла, N-SK16. Значение для N-SK16 произвольно принимается за 100.

Классификация проводится по следующей схеме.

Таблица 4.1: Шлифуемость согласно ISO 12844

| Класс шлифуемости | Шлифуемость      |
|-------------------|------------------|
| HG 1              | $\leq 30$        |
| HG 2              | $> 30 \leq 60$   |
| HG 3              | $> 60 \leq 90$   |
| HG 4              | $> 90 \leq 120$  |
| HG 5              | $> 120 \leq 150$ |
| HG 6              | $> 150$          |

Шлифуемость N-SK16 принимается за 100.

Согласно этой схеме, удаление объема стекла в процессе шлифования меньше в более низкой классификации и выше в более высокой классификации по сравнению со стандартным стеклом N-SK16.

### 4.3 Вязкость

В интервале от температуры плавления до комнатной температуры стекла проходят через три диапазона вязкости: диапазон плавления, диапазон суперохлажденного расплава и диапазон застывания. Вязкость стекла постоянно увеличивается в процессе охлаждения расплава ( $10^0 - 10^4$  дПа·с). Переход от жидкого состояния в пластическое состояние может наблюдаться от  $10^4$  до  $10^{13}$  дПа·с.

Так называемая температура размягчения  $EW$  определяет область пластичности, в которой стеклянные изделия быстро деформируются под собственным весом. Это – температура  $T_{10}^{7,6}$ , при которой стекло обладает вязкостью  $10^{7,6}$  дПа·с. Выше  $10^{13}$  дПа·с структуру стекла можно описать как застывшую или “замороженную”. При этой вязкости внутренние напряжения в стекле выравниваются приблизительно за 15 минут.

Другой возможностью идентифицировать область превращения является изменение скорости относительного линейного теплового расширения. В соответствии со стандартом ISO 7884-8 этот параметр может использоваться для определения так называемой температуры трансформации  $T_g$ . Обычно эта температура находится вблизи значения  $T_{10}^{13}$ .

Если в процессе тепловой обработки превышает температура  $T_{10}^{13} - 200$  К, то прецизионные оптические поверхности могут деформироваться, и могут изменяться значения показателя преломления.

#### 4.4 Коэффициент линейного теплового расширения

Типичная кривая линейного теплового расширения стекла начинается вблизи абсолютного нуля, и наклон ее увеличивается приблизительно до комнатной температуры. Затем идет почти линейное увеличение до начала заметного пластического режима. Область трансформации характеризуется четким изгибом кривой расширения, что является результатом усиления структурного движения в стекле. Выше этой области расширение снова ведет себя почти линейным образом, однако с существенно большей скоростью нарастания.

Вследствие зависимости коэффициента теплового расширения  $\alpha$  от температуры, для следующих температурных интервалов обычно приводятся два средних значения коэффициента линейного теплового расширения  $\alpha$ :

$\alpha$  ( $-30^{\circ}\text{C}$ ;  $+70^{\circ}\text{C}$ ) в качестве информации, необходимой для описания поведения стекла при комнатной температуре (значения указываются в информационных листках с техническими данными).

$\alpha$  ( $+20^{\circ}\text{C}$ ;  $+300^{\circ}\text{C}$ ) в качестве стандартной международной величины для целей сравнения и использования в технологическом процессе плавления и при воздействии нагрузок в условиях изменяющихся температур.

## 5 Тепловые свойства



### 5.1 Теплопроводность

Диапазон значений теплопроводности для стекол при комнатной температуре находятся в диапазоне от 1,38 Вт/(м·К) (чистое кварцевое стекло) до 0,5 Вт/(м·К) (стекла с высокой концентрацией свинца). Используемые чаще всего силикатные стекла имеют значения от 0,9 до 1,2 Вт/(м·К).

Значения теплопроводности, представленные в информационных листках с техническими данными, относятся к стеклам при температуре 90 °С.

### 5.2 Теплоемкость

Для некоторых стекол приводятся данные по средней изобарической удельной теплоемкости  $c_p$  (20 °С; 100 °С), которые измеряются в жидком калориметре при температуре 20 °С по теплопередаче в стекле, нагретом до 100 °С. Диапазон значений  $c_p$  (20 °С; 100 °С), а также истинная теплоемкость  $c_p$  (20 °С) для силикатных стекол находятся в интервале от 0,42 до 0,84 Дж/(г·К).

## 6 Качество поставляемого материала

### 6.1 Управление качеством и обеспечение качества

Подразделение «Передовая оптика» компании SCHOTT AG в Майнце использует систему управления качеством, сертифицированную по стандарту ISO 9001/ISO 14001, который основное внимание обращает на технологический процесс. Сертификат был выдан Комиссией по обеспечению качества Регистра Ллойда (Lloyd's Register Quality Assurance), Кельн, Германия, в декабре 2007 года и подтвержден в марте 2010 года также Комиссией по обеспечению качества Регистра Ллойда. Система управления качеством охватывает все линии продукции, которую предлагает «Передовая оптика».

Лаборатории для измерения физических и химических свойств прошли аккредитацию полномоч-

ной организации Германии “GAZ Association for the accreditation and certification GmbH” (ГАЗ Ассоциация по аккредитации и сертификации ГмбХ) на основе стандартов серий EN 45000, EN 29000 и ISO 9000. Регулярно выполняются тесты с круговым сличением с институтом PTB, “Physikalisch-Technische Bundesanstalt” in Braunschweig, Германия. Институт PTB – это национальный метрологический институт, который предоставляет научно-технические услуги (<http://www.ptb.de/index.en.html>), организация аналогичная NIST (Национальный институт стандартов и технологий) в Соединенных Штатах Америки.

Как техническому материалу оптическим стеклам необходимы определенные, воспроизводимые характеристики, на которые может рассчитывать конструктор. Обеспечение качества по таким характеристикам основано на статистических измерениях образцов (иногда 100 % измерения) и определения оптических характеристик и характеристик внутреннего качества в процессе непрерывного изготовления оптического стекла, а также на индивидуальных измерениях граненых образцов с учетом требований заказчика.

Профессиональная работа с высококачественными материалами требует точных сведений о свойствах этих материалов. Поэтому, как это понял еще Фраунгофер, прогресс в производстве оптических стекол и их применения всегда ограничиваются измерительными возможностями. Все возрастающие требования к качеству в промышленных и научных областях применения стекол требуют постоянного совершенствования измерительной техники, и такое совершенствование продолжается и сегодня.

## 6.2 Стандартное качество поставляемого материала

Если не запрашивается специальное качество, то стекло будет поставляться с качеством, при котором параметр “показатель преломления/число Аббе” имеет значение 3/3, со стандартным сертификатом испытаний. Стандартный сертификат испытаний относится к партии поставляемого материала, для которой соблюдаются стандартные допуски к вариациям. Вариация показателя преломления от шихты до шихты в пределах партии не будет превышать  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  ( $\pm 2 \cdot 10^{-4}$  для прессованных изделий, если это требуется). Стекло проверяется на

наличие пузырей и включений, свилей и двойного лучепреломления под воздействием внутренних напряжений.

Производство оптических стекол является стабильным технологическим процессом, при котором химические, механические и тепловые свойства стекла изменяются весьма незначительно. Эти свойства не измеряются индивидуально при заказе, а контролируются статистически путем сравнения со стандартными значениями, указанными в листках с техническими данными.

## 6.3 Повышенное качество поставляемого материала

В соответствии со следующей таблицей предлагаются дополнительные категории качества.

Таблица 6.1: Категории повышенного качества для различных видов поставок

|   | Стекло для горячего прессования   | Прессованные изделия               | Тонко отожженное стекло               | Резанные заготовки  |
|---|---|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Категории по показателю преломления – числу Аббе            | 2, 1<br>3, 2, 1   | 2, 1<br>3, 2, 1                    | 2, 1<br>3, 2, 1                       | 2, 1<br>3, 2, 1   |
| Сертификаты испытаний                                       | Регламент отжига  | Стандартный (S)                    | Стандартный (S)                       | Стандартный (S)   |
| Точность измерений, диапазоны измерений                     | С данными по значениям скорости отжига для получаемых категорий по показателю преломления – числу Аббе после тонкого отжига | Если требуется допуск на вариацию. | Стандарт с повышенной точностью (SE)  | Стандарт с повышенной точностью (SE), прецизионностью (PZ), dn/dT (DNDDT) |
| Разброс показателя преломления                              | S0, S1  | LH1, LH2                           | S0, S1                                | S0, S1  |
| Однородность  | –   | –                                  | –                                     | H1–H5   |
| Двойное лучепреломление под действием внутренних напряжений | –   | SK                                 | SK                                    | SK, SSK   |
| Свиль   | –   | VS1                                | –                                     | VS1, VS2  |
| Пузыри/включения  | –   | VB, EVB                            | –                                     | VB, EVB   |
| Примечания  |   |                                    | Может обрабатываться одна поверхность | Свиль и однородность измерены в одном и том же направлении                |

Категории качества, указанные для какого-либо вида поставки, могут комбинироваться друг с другом. Однако, расплавы, пригодные для различных комбинаций, не всегда могут быть в наличии.

Мы рекомендуем проверять наличие материала как можно раньше.

Могут также выполняться и такие требования, которые выходят за рамки указанных категорий качества. В этом случае следует подать запрос.

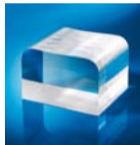
## 7 Виды поставляемого материала и допуски

В подразделении “Передовая оптика” освоен выпуск полной стоимостной цепочки продукции от разработки стекла с учетом требований заказчика и его производства через все стадии вплоть до измерений, обработки и чистовой отделки высокоточной оптической продукции. За счет эффективного распределения наших широких возможностей в выполнении различных видов обработки (полировка, нанесение покрытий, связывание и т.п.) мы предлагаем широкий набор различных заказных оптических компонентов, таких как линзы (асферические, сферические, цилиндрические), призмы, зеркала, пластинки, подложки и др.

В каталоге вы найдете подборку некоторых видов поставляемых материалов:

### 7.1 Стекло стандартных размеров (блоки, полосы)

#### 7.1.1 Блоки



Блоки имеют пять необработанных поверхностей в состоянии непосредственно после отливки. Обычно, как минимум, одна поверхность находится в обработанном состоянии. Кромки скруглены. Блоки прошли тонкий отжиг и поэтому пригодны для холодной обработки. Характеризуются параметрами: *длина, ширина, толщина.*

#### 7.1.2 Полосы



Обычно полосы имеют необработанные или шлифованные поверхности и отломанные или отрезанные края. Полосы подверглись либо грубому отжигу, либо тонкому отжигу. Грубо отожженные полосы пригодны только для производства прессовок. Характеризуются параметрами: *длина, ширина, толщина.*

## 7.2 Резанные заготовки

### 7.2.1 Пластины



Пластины – это четырехсторонние обработанные изделия. Все шесть сторон обработаны, кромки имеют защитные фаски.

Характеризуются параметрами: *длина, ширина, толщина.*

При стандартной обработке мы получаем поверхность с шероховатостью  $R_a = 20\text{--}25$  мкм. По запросу могут поставляться пластины с меньшими допусками на размеры и более тонкой обработкой поверхности.

Таблица 7.1: Допуски на размеры и минимальные размеры пластин

| Длина наибольшей кромки [мм] | Возможные допуски |                   |                  |                   | Минимальная толщина <sup>1)</sup> [мм] |
|------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|--|
|                              | Для длины кромки  |                   | Для толщины      |                   |  |
|                              | Стандартный [мм]  | Прецизионный [мм] | Стандартный [мм] | Прецизионный [мм] |  |
| > 3–80                       | ± 0,2             | ± 0,1             | ± 0,3            | ± 0,15            | 2                                      |
| > 80–120                     | ± 0,3             | ± 0,15            | ± 0,5            | ± 0,25            | 4                                      |
| > 120–250                    | ± 0,5             | ± 0,25            | ± 0,5            | ± 0,25            | 6                                      |
| > 250–315                    | ± 0,9             | ± 0,45            | ± 0,8            | ± 0,4             | 8                                      |
| > 315–400                    | ± 1,2             | ± 0,6             | ± 0,8            | ± 0,4             | 8                                      |
| > 400–500                    | ± 1,3             | ± 0,65            | ± 0,8            | ± 0,4             | 20                                     |
| > 500–630                    | ± 1,5             | ± 0,75            | ± 0,8            | ± 0,4             | 20                                     |
| > 630–800                    | ± 1,8             | ± 0,9             | ± 0,8            | ± 0,4             | 20                                     |
| > 800–1000                   | ± 2,0             | ± 1,0             | ± 0,8            | ± 0,4             | 20                                     |
| > 1000                       | Запрос            | Запрос            | Запрос           | Запрос            |  |

<sup>1)</sup> Возможна толщина меньше указанных значений. Направляйте запрос.

### 7.2.2 Круглые пластины



Круглые пластины – это цилиндрические изделия, в которых диаметр больше толщины. В круглых пластинах все поверхности прошли механическую обработку.

Характеризуются параметрами: *диаметр, толщина.*

При стандартной обработке мы получаем поверхность с шероховатостью  $R_a = 20\text{--}25$  мкм. По требованию могут поставляться круглые пластины с меньшими допусками на размеры и более тонкой обработкой поверхности.

Таблица 7.2: Допуски на размеры и минимальные размеры для круглых пластин

| Диаметр [мм] | Возможные допуски |                   |                  |                   | Минимальная толщина <sup>1)</sup> [мм] |
|--------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|--|
|              | Для диаметра      |                   | Для толщины      |                   |  |
|              | Стандартный [мм]  | Прецизионный [мм] | Стандартный [мм] | Прецизионный [мм] |  |
| > 3–80       | ± 0,2             | ± 0,1             | ± 0,3            | ± 0,15            | 2                                      |
| > 80–120     | ± 0,3             | ± 0,15            | ± 0,5            | ± 0,25            | 4                                      |
| > 120–250    | ± 0,3             | ± 0,15            | ± 0,5            | ± 0,25            | 6                                      |
| > 250–500    | ± 0,5             | ± 0,25            | ± 0,8            | ± 0,4             | 20                                     |
| > 500–800    | ± 0,8             | ± 0,4             | ± 0,8            | ± 0,4             | 20                                     |
| > 800–1250   | ± 1,0             | ± 0,5             | ± 0,8            | ± 0,4             | 40                                     |
| > 1250       | Запрос            | Запрос            | Запрос           | Запрос            |  |

<sup>1)</sup> Возможна толщина меньше указанных значений. Направляйте запрос.

### 7.2.3 Стержни, обработанные



Обработанные стержни – это цилиндрические изделия, которые механически обработаны со всех сторон. Длина стержня всегда больше диаметра. Характеризуется параметрами: *диаметр, длина*.

Таблица 7.3: Размеры и допуски для обработанных стержней в диапазоне диаметров 6–80 мм

| Диаметр<br>[мм] | Стандартный<br>допуск [мм] | Допуски, сверления и закругления согласно ISO 286 |               |              |              | Диапазон длин<br>[мм] | Допуск на<br>длину [%] |
|-----------------|----------------------------|---|---------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|
|                 |                            | [мм]  | [мм]          | [мм]         | [мм]         |                       |                        |
| 6–10            | ± 0,2                      | h11 +0/–0,09                                      | h10 +0/–0,058 | h9 +0/–0,036 | h8 +0/–0,022 | макс. 130             | ± 2                    |
| > 10–18         | ± 0,2                      | h11 +0/–0,11                                      | h10 +0/–0,070 | h9 +0/–0,043 | h8 +0/–0,027 | макс. 130             | ± 2                    |
| > 18–30         | ± 0,2                      | h11 +0/–0,13                                      | h10 +0/–0,084 | h9 +0/–0,052 | h8 +0/–0,033 | макс. 130             | ± 2                    |
| > 30–50         | ± 0,2                      | h11 +0/–0,16                                      | h10 +0/–0,100 | h9 +0/–0,062 | h8 +0/–0,039 | макс. 130             | ± 2                    |
| > 50–80         | ± 0,3                      | h11 +0/–0,19                                      | h10 +0/–0,120 | h9 +0/–0,074 |              | макс. 130             | ± 2                    |

#### 7.2.4 Резанные призмы



Граненые призмы – это призмы, получаемые резанием. В конечном счете они могут шлифовать-ся со всех сторон. При помощи различных технологических операций изготовления можно получать равно-сторонние и неравно-сторонние призмы различной формы (коньковые, пентапризмы, трехгранные, ...)  
Характеризуется параметрами: *чертеж*.

Таблица 7.4: Размеры и допуски для граненых призм

| Максимальная длина ребра [мм] | Допуски на размеры [мм] | Допуски на ширину [мм] |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| < 50                          | +1,0/-0                 | ± 0,5                  |
| 50–100                        | +1,5/-0                 | ± 1,0                  |
| > 100                         | +2,0/-0                 | ± 1,0                  |

### 7.3 Прессованные изделия

#### 7.3.1 Прессованные заготовки

Прессованные заготовки – это изделия горячего формования, преимущественно, круглого сечения, с заданными радиусами и фасками.

Характеризуются параметрами: диаметр, толщина по центру, радиус 1, радиус 2, фаски.

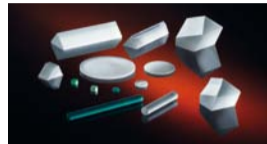


Таблица 7.5: Размеры и допуски для прессованных заготовок (согласно стандарту DIN 58 926, часть 2)

| Диаметр [мм] | Допуски на диаметр [мм] | Допуски на толщину [мм] | Минимальная толщина по центру [мм] | Минимальная толщина на краю [мм] | Максимальная толщина на краю [мм] |
|--------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 5–18         | ± 0,075                 | ±0,3                    | 2                                  | 1                                | 0,6 x Ø                           |
| > 18–30      | ± 0,11                  | ±0,3                    | 3                                  | 1,5                              | 0,45 x Ø                          |
| > 30–60      | ± 0,14                  | ±0,3                    | 4                                  | 3                                | 0,4 x Ø                           |
| > 60–90      | ± 0,175                 | ±0,3                    | 5                                  | 4                                | 0,3 x Ø                           |
| > 90–120     | ± 0,25                  | ±0,4                    | 6                                  | 5                                | 0,3 x Ø                           |
| > 120–140    | ± 0,3                   | ±0,4                    | 7                                  | 5                                | 0,3 x Ø                           |
| > 140–180    | ± 0,4                   | ±0,4                    | 7                                  | 6                                | 0,3 x Ø                           |
| > 180–250    | ± 0,5                   | ±0,5                    | 10                                 | 8                                | 0,3 x Ø                           |
| > 250–320    | ± 0,6                   | ±0,6                    | 10                                 | 8                                | 0,3 x Ø                           |

### 7.3.2 Прессованные призмы

Прессованные призмы – это изделия горячего формования угловой призматической формы. По требованию возможны другие размеры. Характеризуются параметрами: *чертеж*.

Таблица 7.6: Размеры и допуски для прессованных призм

| Максимальная длина ребра [мм] | Допуски на длину ребра [мм] | Допуски на толщину по центру [мм] | Углы  | Углубление [мм] |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------|
| 5–30                          | ±0,2                        | ±0,3                              |       | 2               |
| > 30–60                       | ±0,3                        | ±0,4                              |       | 2               |
| > 60–90                       | ±0,4                        | ±0,5                              | ±0,5° | 2,5             |
| > 90–150                      | ±0,5                        | ±0,5                              |       | 2,5             |
| > 150–180                     | ±0,7                        | ±0,7                              |       | 3               |
| > 180–305                     | ±1,0                        | ±1,0                              |       | 4               |

#### **7.4 Оптические стеклянные стержни для миниатюрных шаровых линз, дисков и др.!**

Компания SCHOTT предлагает широкий ассортимент стержней с разными геометрическими форматами и из разных материалов.

Оптические стеклянные стержни, поставляемые компанией SCHOTT для таких областей применения, в которых используются небольшие оптические компоненты, например, шаровые линзы, стержневые линзы, асферические линзы и диски, изготавливаются при помощи различных уникальных технологических процессов.



Таблица 7.7: Оптические стеклянные стержни – спецификации\*

| Описание                      | Поверхность огневой полировки      |                                    | Матовая поверхность  |                      |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                               | Стандартное качество               | Высшее качество                    | Стандартное качество | Высшее качество      |
| Диаметр/допуск                | $\pm 5\%$ от номинального диаметра | $\pm 3\%$ от номинального диаметра | $\pm 0.1$ мм         | $\pm 0.05$ мм        |
| Отклонение от прямолинейности | макс. 0.1 мм/100 мм                | макс. 0.1 мм/100 мм                | макс. 0.05 мм/100 мм | макс. 0.03 мм/100 мм |
| Допуск на длину               | + 5 мм                             | + 2 мм                             | + 5 мм               | + 2 мм               |
| Диапазон диаметров            | < 1.0–7.0 мм                       | < 1.0–7.0 мм                       | 2.0–12.5 мм          | 2.0–12.5 мм          |
| Качество поверхности          | огневая полировка                  | огневая полировка                  | матовая              | матовая              |
| Длина                         | до 1000 мм                         |                                    | до 150 мм            |                      |

\* Смотрите описание изделий круглой формы и стекла типа P-LASF47

## 8 Оптические стекла для прецизионного формования



За последние годы технология прецизионного формования для прямого прессования асферических линз или объемных изделий с произвольной поверхностью приобретает, в целом, все более важное значение в мировом масштабе. В процессе прецизионного формования предварительно отформованная стеклянная заготовка с очень высоким качеством поверхности формируется до окончательной асферической геометрии, при одновременном сохранении качества поверхности предварительно отформованной заготовки. Процесс формования – это процесс низкотемпературного формования с типичными температурами в интервале от 500 °С до 700 °С. Низкотемпературные процессы способствуют продлению срока службы материала, из которого изготавливается форма.

P-стекла – это недавно разработанные стекла с низкой температурой трансформации, которые специально предназначены для прецизионного формования. Буква “P” указывает на то, что эти стекла изготавливаются исключительно для прецизионного формования, и что они не содержат свинца и мышьяка. Кроме этого, были подобраны некоторые традиционные оп-

тические стекла, которые также можно использовать для прецизионного формования, главным образом, благодаря их низкой температуре стеклования.

Обычно, стекла для прецизионного формования – это грубоотожженные стекла. Они будут выпускаться в категории “показатель преломления/ число Аббе” 3/3 на основе стандартной скорости отжига 2 К/ч. Однако, фактический показатель преломления стекла для поставляемой партии будет отличаться от этого значения.

Большая скорость охлаждения в процессе прецизионного формования приводит к падению показателя преломления, при котором происходит существенное уменьшение коэффициента преломления по сравнению с первоначальным значением. Падение показателя преломления определяется как разность между коэффициентом преломления стекла после формования и начальным коэффици-

ентом преломления, полученным на основе стандартной скорости отжига 2 К/ч.

Раздел с данными содержит значения  $n_d$  и числа Аббе после формования с использованием стандартного процесса компании SCHOTT. Некоторые из этих значений являются предварительными данными, полученными на основе теоретической стандартной скорости отжига 5000 К/ч. Указанные в каталоге значения  $nd$  служат начальными значениями показателя преломления на основе стандартной скорости отжига 2 К/ч, для расчета падения показателя преломления.

Кроме этого, падения показателя преломления можно рассчитать и на основе более высокой начальной стандартной скорости отжига 25 К/ч. С этой целью приводятся стандартные значения  $n_d$  на основе скорости отжига 25 К/ч.

Падение показателя преломления для заданного вида стекла зависит от конкретного технологического процесса и геометрии изделия, оно будет слегка отличаться от значений, указанных в разделе с техническими данными.

В том случае, если показатель преломления после формования не отвечает конкретным требованиям заказчика, по требованию можно будет выполнить специальную коррекцию показателя с учетом заданных условий технологического процесса.

Поставляемые оптические стекла, которые могут использоваться для прецизионного формования, представлены в разделе с техническими данными в этом карманном каталоге. В их число входят недавно разработанные Р-стекла, а также традиционные стекла, которые пригодны для прецизионного формования. Раздел с техническими данными также содержит некоторую дополнительную информацию: кислотостойкость согласно JOG1S (Японский промышленный стандарт на оптические стекла), водостойкость согласно JOG1S, а также предел текучести/ температура пластического течения стекла.

## 9 Номенклатура выпускаемых оптических материалов

### 9.1 Предпочтительные материалы

Материалы, указанные в первой части раздела с техническими данными, являются предпочтительными материалами. Они выпускаются без специального заказа покупателя и обычно хранятся на складе для немедленной поставки. Для этих материалов мы гарантируем надежные и долговременные поставки. Поэтому рекомендуется использовать предпочтительные материалы для разработки новых оптических систем, они перечислены в наших, так называемых, положительных перечнях оптических стекол. Действующий вариант положительного перечня оптических стекол можно найти на нашем веб-сайте.

### 9.2 Стекла по заказу

Вторая часть раздела с техническими данными содержит стекла, поставляемые по заказу. Эти стекла регулярно выпускаются по вашему специальному требованию. Для некоторых из этих стекол у нас могут быть готовые к поставке запасы, оставшиеся от предыдущих длительных проектов. Однако такие запасы не создаются специально, если отсутствуют заказы наших покупателей. Но даже, если такие стекла и отсутствуют на складе, они будут изготавливаться и поставляться по требованию.

## 10 Подборка формул и таблица длин волн

Относительная частная дисперсия  $P_{x, y}$  для длин волн  $x$  и  $y$  на основе синей F и красной C водородной линии

$$P_{x, y} = (n_x - n_y) / (n_F - n_C) \quad (10.1)$$

или на основе синей F' и красной C' линии кадмия

$$P'_{x, y} = (n_x - n_y) / (n_{F'} - n_{C'}) \quad (10.2)$$

Линейное соотношение между числом Аббе и относительной частной дисперсией для "нормальных стекол"

$$P_{x, y} \approx a_{xy} + b_{xy} \cdot v_d \quad (10.3)$$

Отклонение  $\Delta P$  от "нормальных линий"

$$P_{x, y} = a_{xy} + b_{xy} \cdot v_d + \Delta P_{x, y} \quad (10.4)$$

$$\Delta P_{C, t} = (n_C - n_t) / (n_F - n_C) - (0.5450 + 0.004743 \cdot v_d) \quad (10.5)$$

$$\Delta P_{C, s} = (n_C - n_s) / (n_F - n_C) - (0.4029 + 0.002331 \cdot v_d) \quad (10.6)$$

$$\Delta P_{F, e} = (n_F - n_e) / (n_F - n_C) - (0.4884 - 0.000526 \cdot v_d) \quad (10.7)$$

$$\Delta P_{g, F} = (n_g - n_F) / (n_F - n_C) - (0.6438 - 0.001682 \cdot v_d) \quad (10.8)$$

$$\Delta P_{i, g} = (n_i - n_g) / (n_F - n_C) - (1.7241 - 0.008382 \cdot v_d) \quad (10.9)$$

Положение нормальных линий было определено на основе пар значений для стекол типа K7 и F2.

**Дисперсионная формула Зелмейера**

$$n^2(\lambda) - 1 = B_1 \lambda^2 / (\lambda^2 - C_1) + B_2 \lambda^2 / (\lambda^2 - C_2) + B_3 \lambda^2 / (\lambda^2 - C_3) \quad (10.10)$$

При вычислении показателя преломления с использованием коэффициентов Зелмейера, приводимых в информационных листках с техническими данными компании SCHOTT, значения длин волн должны вводиться в мкм.

**Изменение показателя преломления и числа Аббе во время отжига****при различных скоростях отжига**

$$n_d(h_x) = n_d(h_0) + m_{nd} \cdot \log(h_x/h_0) \quad (10.11)$$

$$v_d(h_x) = v_d(h_0) + m_{vd} \cdot \log(h_x/h_0) \quad (10.12)$$

$$m_{vd} = (m_{nd} - v_d[h_0] \cdot m_{nF-nC}) / ((n_F - n_C) + 2 \cdot m_{nF-nC} \cdot \log(h_x/h_0)) \quad (10.13)$$

$h_0$  Начальная скорость отжига

$h_x$  Новое значение скорости отжига

$m_{nd}$  Коэффициент отжига для показателя преломления, зависит от вида стекла

$m_{vd}$  Коэффициент отжига для числа Аббе, зависит от вида стекла

$m_{nF-nC}$  Коэффициент отжига для главной дисперсии, зависит от вида стекла

**Точность измерения числа Аббе**

$$\sigma_{vd} \approx \sigma_{n_F - n_C} \cdot v_d / (n_F - n_C) \quad (10.14)$$

**Спектральный коэффициент внутреннего пропускания**

$$\tau_{i\lambda} = \Phi_{e\lambda} / \Phi_{i\lambda} \quad (10.15)$$

**Спектральный коэффициент пропускания**

$$\tau_{\lambda} = \tau_{i\lambda} \cdot P_{\lambda} \quad (10.16)$$

$P_{\lambda}$  коэффициент отражения

**Френелевский коэффициент отражения** для пучка света при нормальном падении, независимо от поляризации

$$R = ((n-1)/(n+1))^2 \quad (10.17)$$

**Коэффициент отражения с учетом многократного отражения**

$$P = (1-R)^2 / (1-R^2) = 2n / (n^2 + 1) \quad (10.18)$$

$n$  Показатель преломления для длины волны  $\lambda$

**Преобразование коэффициента внутреннего пропускания в толщину дополнительного слоя**

$$\log \tau_{i1} / \log \tau_{i2} = d_1 / d_2 \text{ или} \quad (10.19)$$

$$\tau_{i2} = \tau_{i1}^{(d2/d1)} \quad (10.20)$$

$\tau_{i1}, \tau_{i2}$  Коэффициенты внутреннего пропускания для толщин  $d_1$  и  $d_2$

**Двойное лучепреломление под действием внутренних напряжений, разница оптического пути**

$$\Delta s = 10 \cdot K \cdot d \cdot \sigma \text{ в нм} \quad (10.21)$$

$K$  Оптическая постоянная при наличии внутренних напряжений, зависящая от типа стекла в  $10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/Н

$d$  Длина пути светового пучка в образце в см

$\sigma$  Механические напряжения (положительные для растягивающего напряжения) в Н/мм<sup>2</sup> (= МПа)

**Однородность отклонений фронта волны по интерферометрическим измерениям**

$$\Delta n = \Delta W / (2 \cdot d) \quad (10.22)$$

$$= \Delta W [\lambda] \cdot 633 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot d [\text{мм}])$$

при указании деформации фронта волны в единицах длины волны и контрольной длины волны 633 нм (лазер на He-Ne)

$\Delta W$  Деформация фронта волны при двойном прохождении пучка (интерферометрическое испытание)

$d$  Толщина исследуемого образца

Примечание: Формулы были включены после тщательной подборки.

Тем не менее, компания SCHOTT не может быть привлечена к ответственности за ошибки, возникшие в результате их применения.

Таблица 10.1: Длины волн для выбранных, часто используемых спектральных линий

| Длина волны [нм] | Обозначение | Используемая спектральная линия | Элемент |
|------------------|-------------|---------------------------------|---------|
| 2325.42          |             | Инфракрасная линия ртути        | Hg      |
| 1970.09          |             | Инфракрасная линия ртути        | Hg      |
| 1529.582         |             | Инфракрасная линия ртути        | Hg      |
| 1060.0           |             | Лазер на неодимовом стекле      | Nd      |
| 1013.98          | t           | Инфракрасная линия ртути        | Hg      |
| 852.11           | s           | Инфракрасная линия цезия        | Cs      |
| 706.5188         | r           | Красная линия гелия             | He      |
| 656.2725         | C           | Красная линия водорода          | H       |
| 643.8469         | C'          | Красная линия кадмия            | Cd      |
| 632.8            |             | Гелий-неоновый газовый лазер    | He-Ne   |
| 589.2938         | D           | Желтая линия натрия             | Na      |
|                  |             | (центр двойной линии)           |         |

| Длина волны [нм] | Обозначение | Используемая спектральная линия | Элемент |
|------------------|-------------|---------------------------------|---------|
| 587.5618         | d           | Желтая линия гелия              | He      |
| 546.0740         | e           | Зеленая линия ртути             | Hg      |
| 486.1327         | F           | Синяя линия водорода            | H       |
| 479.9914         | F'          | Синяя линия кадмия              | Cd      |
| 435.8343         | g           | Синяя линия ртути               | Hg      |
| 404.6561         | h           | Фиолетовая линия ртути          | Hg      |
| 365.0146         | i           | Ультрафиолетовая линия ртути    | Hg      |
| 334.1478         |             | Ультрафиолетовая линия ртути    | Hg      |
| 312.5663         |             | Ультрафиолетовая линия ртути    | Hg      |
| 296.7278         |             | Ультрафиолетовая линия ртути    | Hg      |
| 280.4            |             | Ультрафиолетовая линия ртути    | Hg      |
| 248.3            |             | Ультрафиолетовая линия ртути    | Hg      |

## 11 Техническая информация в электронном виде – TIE

Соответствующие материалы TIE можно найти по следующему адресу  
[http://www.schott.com/advanced\\_optics/technical\\_information](http://www.schott.com/advanced_optics/technical_information)



| Название |  |                                 |
|----------|--|---------------------------------|
| TIE-25:  | Свиль в оптических стеклах                         | (Глава 2.1)                     |
| TIE-26:  | Однородность оптического стекла                    | (Глава 1.4)                     |
| TIE-27:  | Напряжение в оптическом стекле                     | (Глава 2.3)                     |
| TIE-28:  | Пузыри и включения в оптическом стекле             | (Глава 2.2)                     |
| TIE-29:  | Показатель преломления и дисперсия                 | (Глава 1.1)                     |
| TIE-30:  | Химические свойства оптических стекол              | (Глава 3.1)                     |
| TIE-31:  | Механические и тепловые свойства оптических стекол | (Глава 4.1, 4.2, 4.4, 5.1, 5.2) |
| TIE-35:  | Пропускание оптических стекол                      | (Глава 1.5)                     |
| TIE-40:  | Оптические стекла для прецизионного формования     | (Глава 8)                       |
| TIE-42:  | Радиационно-стойкие оптические стекла              | (Предисловие и обзор)           |





**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Оптическое стекло

Свойства  
2011







| CR | FR | SR | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10<sup>7,6</sup></sub> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|----|-----|-----|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 1  | 0  | 1  | 2,3 | 2,3 | 7,1                   | 557            | 719                           | 2,51   | 610 | 3  | 0 | 0,997                | 33/29 |
| 1  | 0  | 1  | 2,3 | 2,3 | 7,1                   | 557            | 719                           | 2,51   | 610 | 3  | 0 | 0,998                | 33/29 |
| 1  | 0  | 1  | 1   | 1   | 5,8                   | 551            | 753                           | 2,39   | 560 | 4  | 1 | 0,996                | 31/27 |
|    |    |    |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 1  | 1   | 1   | 8,2                   | 546            | 720                           | 2,59   | 530 | 3  | 1 | 0,995                | 34/30 |
| 3  | 0  | 2  | 1   | 2,3 | 8,4                   | 513            | 712                           | 2,53   | 520 | 3  | 1 | 0,996                | 33/30 |
| 1  | 0  | 1  | 1   | 1,2 | 6,5                   | 459            | 691                           | 2,52   | 470 | 4  | 1 | 0,994                | 33/30 |
|    |    |    |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 2  | 1,2 | 2,2 | 4,5                   | 539            | 721                           | 2,49   | 530 | 4  | 1 | 0,990                | 34/29 |
|    |    |    |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |    |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |       |

BK  
K  
ZK

| Марка стекла                 | $n_d$   | $V_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $V_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| <b>N-BAK1</b><br>573576,319  | 1,57250 | 57,55 | 0,009948    | 1,57487 | 57,27 | 0,010039          | 1,56778 | 1,56949 | 1,58000  | 1,58488 | 1,58941 | 0,5472    | 0,0002           |
| <b>N-BAK2</b><br>540597,286  | 1,53996 | 59,71 | 0,009043    | 1,54212 | 59,44 | 0,009120          | 1,53564 | 1,53721 | 1,54677  | 1,55117 | 1,55525 | 0,5437    | 0,0004           |
| <b>N-BAK4</b><br>569560,305  | 1,56883 | 55,98 | 0,010162    | 1,57125 | 55,70 | 0,010255          | 1,56400 | 1,56575 | 1,57649  | 1,58149 | 1,58614 | 0,5487    | -0,0010          |
|                              |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| <b>N-SK2</b><br>607567,355   | 1,60738 | 56,65 | 0,010722    | 1,60994 | 56,37 | 0,010821          | 1,60230 | 1,60414 | 1,61547  | 1,62073 | 1,62562 | 0,5477    | -0,0008          |
| <b>N-SK2HT</b><br>607567,355 | 1,60738 | 56,65 | 0,010722    | 1,60994 | 56,37 | 0,010821          | 1,60230 | 1,60414 | 1,61547  | 1,62073 | 1,62562 | 0,5477    | -0,0008          |
| <b>N-SK4</b><br>613586,354   | 1,61272 | 58,63 | 0,010450    | 1,61521 | 58,37 | 0,010541          | 1,60774 | 1,60954 | 1,62059  | 1,62568 | 1,63042 | 0,5448    | -0,0004          |
| <b>N-SK5</b><br>589613,330   | 1,58913 | 61,27 | 0,009616    | 1,59142 | 61,02 | 0,009692          | 1,58451 | 1,58619 | 1,59635  | 1,60100 | 1,60530 | 0,5400    | -0,0007          |
| <b>N-SK11</b><br>564608,308  | 1,56384 | 60,80 | 0,009274    | 1,56605 | 60,55 | 0,009349          | 1,55939 | 1,56101 | 1,57081  | 1,57530 | 1,57946 | 0,5411    | -0,0004          |
| <b>N-SK14</b><br>603606,344  | 1,60311 | 60,60 | 0,009953    | 1,60548 | 60,34 | 0,010034          | 1,59834 | 1,60008 | 1,61059  | 1,61542 | 1,61988 | 0,5415    | -0,0003          |
| <b>N-SK16</b><br>620603,358  | 1,62041 | 60,32 | 0,010285    | 1,62286 | 60,08 | 0,010368          | 1,61548 | 1,61727 | 1,62814  | 1,63312 | 1,63773 | 0,5412    | -0,0011          |

| CR | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10</sub> <sup>7,6</sup> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 2  | 1  | 3,3  | 1,2 | 2   | 7,6                   | 592            | 746                            | 3,19   | 530 | 2  | 1 | 0,996                | 33/29 |
| 2  | 0  | 1    | 1   | 2,3 | 8,0                   | 554            | 727                            | 2,86   | 530 | 2  | 1 | 0,997                | 32/28 |
| 1  | 0  | 1,2  | 1   | 1   | 7,0                   | 581            | 725                            | 3,05   | 550 | 2  | 0 | 0,992                | 36/33 |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 2  | 0  | 2,2  | 1   | 2,3 | 6,0                   | 659            | 823                            | 3,55   | 550 | 2  | 0 | 0,994                | 35/30 |
| 2  | 0  | 2,2  | 1   | 2,3 | 6,0                   | 659            | 823                            | 3,55   | 550 | 2  | 0 | 0,996                | 34/30 |
| 3  | 1  | 51,2 | 2   | 2   | 6,5                   | 658            | 769                            | 3,54   | 580 | 3  | 1 | 0,990                | 36/32 |
| 3  | 1  | 4,4  | 2   | 1,3 | 5,5                   | 660            | 791                            | 3,30   | 590 | 3  | 1 | 0,992                | 34/29 |
| 2  | 0  | 2    | 1   | 2,3 | 6,5                   | 610            | 760                            | 3,08   | 570 | 2  | 1 | 0,990                | 34/29 |
| 4  | 2  | 51,3 | 2   | 2,3 | 6,0                   | 649            | 773                            | 3,44   | 600 | 3  | 1 | 0,990                | 35/29 |
| 4  | 4  | 53,3 | 3,3 | 3,2 | 6,3                   | 636            | 750                            | 3,58   | 600 | 4  | 1 | 0,988                | 36/30 |

BAK  
SK

| Марка<br>стекла       | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|-----------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-KF9<br>523515,250   | 1,52346 | 51,54 | 0,010156    | 1,52588 | 51,26 | 0,010258          | 1,51867 | 1,52040 | 1,53114  | 1,53620 | 1,54096 | 0,5558    | -0,0014          |
|                       |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| N-BALF4<br>580539,311 | 1,57956 | 53,87 | 0,010759    | 1,58212 | 53,59 | 0,010863          | 1,57447 | 1,57631 | 1,58769  | 1,59301 | 1,59799 | 0,5520    | -0,0012          |
| N-BALF5<br>547536,261 | 1,54739 | 53,63 | 0,010207    | 1,54982 | 53,36 | 0,010303          | 1,54255 | 1,54430 | 1,55510  | 1,56016 | 1,56491 | 0,5532    | -0,0004          |
|                       |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| N-SSK2<br>622533,353  | 1,62229 | 53,27 | 0,011681    | 1,62508 | 52,99 | 0,011795          | 1,61678 | 1,61877 | 1,63112  | 1,63691 | 1,64232 | 0,5526    | -0,0016          |
| N-SSK5<br>658509,371  | 1,65844 | 50,88 | 0,012940    | 1,66152 | 50,59 | 0,013075          | 1,65237 | 1,65455 | 1,66824  | 1,67471 | 1,68079 | 0,5575    | -0,0007          |
| N-SSK8<br>618498,327  | 1,61773 | 49,83 | 0,012397    | 1,62068 | 49,54 | 0,012529          | 1,61192 | 1,61401 | 1,62713  | 1,63335 | 1,63923 | 0,5602    | 0,0002           |
|                       |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| N-LAK7<br>652585,384  | 1,65160 | 58,52 | 0,011135    | 1,65425 | 58,26 | 0,011229          | 1,64628 | 1,64821 | 1,65998  | 1,66539 | 1,67042 | 0,5433    | -0,0021          |
| N-LAK8<br>713538,375  | 1,71300 | 53,83 | 0,013245    | 1,71616 | 53,61 | 0,013359          | 1,70668 | 1,70897 | 1,72297  | 1,72944 | 1,73545 | 0,5450    | -0,0083          |

| CR | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10</sub> <sup>7,6</sup> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 9,6                   | 476            | 640                            | 2,50   | 480 | 1  | 1 | 0,986                | 37/34 |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 6,5                   | 578            | 661                            | 3,11   | 540 | 2  | 1 | 0,985                | 37/33 |
| 1  | 0  | 1    | 2   | 1   | 7,3                   | 558            | 711                            | 2,61   | 600 | 2  | 1 | 0,983                | 37/34 |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 1,2  | 1   | 1   | 5,8                   | 653            | 801                            | 3,53   | 570 | 3  | 1 | 0,981                | 37/33 |
| 2  | 3  | 52,2 | 2,2 | 3,2 | 6,8                   | 645            | 751                            | 3,71   | 590 | 5  | 1 | 0,959                | 38/34 |
| 1  | 0  | 1    | 1,3 | 1   | 7,2                   | 616            | 742                            | 3,27   | 570 | 3  | 1 | 0,950                | 39/35 |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 3  | 2  | 53,3 | 3,3 | 4,3 | 7,1                   | 618            | 716                            | 3,84   | 600 | 5  | 0 | 0,988                | 35/29 |
| 3  | 2  | 52,3 | 1   | 3,3 | 5,6                   | 643            | 717                            | 3,75   | 740 | 2  | 0 | 0,977                | 37/30 |

KF  
BALF  
SSK  
LAK







| CR | FR | SR  | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10</sub> <sup>7,6</sup> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|-----|-----|-----|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 1  | 0  | 1   | 2   | 1   | 8,1                   | 431            | 628                            | 2,94   | 450 | 3  | 1 | 0,997                | 33/31 |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 1   | 1,2 | 1,3 | 7,2                   | 580            | 709                            | 2,89   | 610 | 3  | 1 | 0,946                | 39/35 |
| 1  | 0  | 4,3 | 1,3 | 1   | 6,2                   | 660            | 790                            | 3,75   | 620 | 4  | 1 | 0,950                | 39/35 |
| 2  | 0  | 5,4 | 1,3 | 1   | 8,4                   | 569            | 712                            | 3,33   | 560 | 5  | 1 | 0,954                | 39/34 |
| 1  | 0  | 1   | 1,3 | 1   | 6,9                   | 594            | 716                            | 3,05   | 600 | 3  | 1 | 0,950                | 39/35 |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |

LLF  
BAF

| Марка стекла                  | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|-------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| LF5<br>581409,322             | 1,58144 | 40,85 | 0,014233    | 1,58482 | 40,57 | 0,014413          | 1,57489 | 1,57723 | 1,59231  | 1,59964 | 1,60668 | 0,5748    | -0,0003          |
|                               |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| N-F2<br>620364,265            | 1,62005 | 36,43 | 0,017020    | 1,62408 | 36,16 | 0,017258          | 1,61229 | 1,61506 | 1,63310  | 1,64209 | 1,65087 | 0,5881    | 0,0056           |
| F2 <sup>H</sup><br>620364,360 | 1,62004 | 36,37 | 0,017050    | 1,62408 | 36,11 | 0,017284          | 1,61227 | 1,61503 | 1,63310  | 1,64202 | 1,65064 | 0,5828    | 0,0002           |
| F5<br>603380,347              | 1,60342 | 38,03 | 0,015867    | 1,60718 | 37,77 | 0,016078          | 1,59616 | 1,59875 | 1,61556  | 1,62381 | 1,63176 | 0,5795    | -0,0003          |
|                               |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| N-BASF2<br>664360,315         | 1,66446 | 36,00 | 0,018457    | 1,66883 | 35,73 | 0,018720          | 1,65607 | 1,65905 | 1,67862  | 1,68838 | 1,69792 | 0,5890    | 0,0057           |
| N-BASF64<br>704394,320        | 1,70400 | 39,38 | 0,017875    | 1,70824 | 39,12 | 0,018105          | 1,69578 | 1,69872 | 1,71765  | 1,72690 | 1,73581 | 0,5769    | -0,0006          |
|                               |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                               |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                               |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |

<sup>H</sup> Также имеется с типы НТ или НТultra.

| CR | FR | SR  | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10</sub> <sup>7,6</sup> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|-----|-----|-----|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 2  | 0  | 1   | 2,3 | 2   | 9,1                   | 419            | 585                            | 3,22   | 450 | 2  | 1 | 0,997                | 34/31 |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1   | 7,8                   | 569            | 686                            | 2,65   | 600 | 2  | 1 | 0,946                | 39/36 |
| 1  | 0  | 1   | 2,3 | 1,3 | 8,2                   | 434            | 594                            | 3,60   | 420 | 2  | 0 | 0,994                | 35/32 |
| 1  | 0  | 1   | 2,3 | 2   | 8,0                   | 438            | 608                            | 3,47   | 450 | 3  | 0 | 0,993                | 35/32 |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1   | 7,1                   | 619            | 766                            | 3,15   | 580 | 3  | 1 | 0,891                | 41/36 |
| 1  | 0  | 3,2 | 1,2 | 1   | 7,3                   | 582            | 712                            | 3,20   | 650 | 4  | 0 | 0,924                | 40/35 |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |     |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |

| Марка стекла                       | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|------------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-LAF2<br>744449,430               | 1,74397 | 44,85 | 0,016588    | 1,74791 | 44,57 | 0,016780          | 1,73627 | 1,73903 | 1,75659  | 1,76500 | 1,77298 | 0,5656    | -0,0027          |
| N-LAF7<br>750348,373               | 1,74950 | 34,82 | 0,021525    | 1,75459 | 34,56 | 0,021833          | 1,73972 | 1,74320 | 1,76602  | 1,77741 | 1,78854 | 0,5894    | 0,0042           |
| LAFN7<br>750350,438                | 1,74950 | 34,95 | 0,021445    | 1,75458 | 34,72 | 0,021735          | 1,73970 | 1,74319 | 1,76592  | 1,77713 | 1,78798 | 0,5825    | -0,0025          |
| N-LAF21<br>788475,428              | 1,78800 | 47,49 | 0,016593    | 1,79195 | 47,25 | 0,016761          | 1,78019 | 1,78301 | 1,80056  | 1,80882 | 1,81657 | 0,5555    | -0,0084          |
| N-LAF33<br>786441,436              | 1,78582 | 44,05 | 0,017839    | 1,79007 | 43,80 | 0,018038          | 1,77751 | 1,78049 | 1,79937  | 1,80837 | 1,81687 | 0,5626    | -0,0071          |
| N-LAF34<br>773496,424              | 1,77250 | 49,62 | 0,015568    | 1,77621 | 49,38 | 0,015719          | 1,76515 | 1,76780 | 1,78427  | 1,79196 | 1,79915 | 0,5518    | -0,0085          |
| N-LAF35<br>743494,412              | 1,74330 | 49,40 | 0,015047    | 1,74688 | 49,16 | 0,015194          | 1,73620 | 1,73876 | 1,75467  | 1,76212 | 1,76908 | 0,5523    | -0,0084          |
| N-LAF36 <sup>i</sup><br>800424,443 | 1,79952 | 42,37 | 0,018871    | 1,80400 | 42,12 | 0,019090          | 1,79076 | 1,79390 | 1,81387  | 1,82345 | 1,83252 | 0,5659    | -0,0067          |
|                                    |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                                    |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                                    |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |

<sup>i</sup> Будет выпускаться только по запросу с 01.01.2014. Не рекомендуется для новых разработок.



| Марка стекла             | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|--------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-LASF9<br>850322,441    | 1,85025 | 32,17 | 0,026430    | 1,85650 | 31,93 | 0,026827          | 1,83834 | 1,84255 | 1,87058  | 1,88467 | 1,89845 | 0,5934    | 0,0037           |
| N-LASF9HT<br>850322,441  | 1,85025 | 32,17 | 0,026430    | 1,85650 | 31,93 | 0,026827          | 1,83834 | 1,84255 | 1,87058  | 1,88467 | 1,89845 | 0,5934    | 0,0037           |
| N-LASF31A<br>883408,551  | 1,88300 | 40,76 | 0,021663    | 1,88815 | 40,52 | 0,021921          | 1,87298 | 1,87656 | 1,89950  | 1,91050 | 1,92093 | 0,5667    | -0,0085          |
| N-LASF40<br>834373,443   | 1,83404 | 37,30 | 0,022363    | 1,83935 | 37,04 | 0,022658          | 1,82380 | 1,82745 | 1,85114  | 1,86275 | 1,87393 | 0,5786    | -0,0024          |
| N-LASF41<br>835431,485   | 1,83501 | 43,13 | 0,019361    | 1,83961 | 42,88 | 0,019578          | 1,82599 | 1,82923 | 1,84972  | 1,85949 | 1,86872 | 0,5629    | -0,0083          |
| N-LASF43<br>806406,426   | 1,80610 | 40,61 | 0,019850    | 1,81081 | 40,36 | 0,020089          | 1,79691 | 1,80020 | 1,82122  | 1,83137 | 1,84106 | 0,5703    | -0,0052          |
| N-LASF44<br>804465,444   | 1,80420 | 46,50 | 0,017294    | 1,80832 | 46,25 | 0,017476          | 1,79609 | 1,79901 | 1,81731  | 1,82594 | 1,83405 | 0,5572    | -0,0084          |
| N-LASF45<br>801350,363   | 1,80107 | 34,97 | 0,022905    | 1,80650 | 34,72 | 0,023227          | 1,79066 | 1,79436 | 1,81864  | 1,83068 | 1,84237 | 0,5859    | 0,0009           |
| N-LASF45HT<br>801350,363 | 1,80107 | 34,97 | 0,022905    | 1,80650 | 34,72 | 0,023227          | 1,79066 | 1,79436 | 1,81864  | 1,83068 | 1,84237 | 0,5859    | 0,0009           |
| N-LASF46A<br>904313,445  | 1,90366 | 31,32 | 0,028853    | 1,91048 | 31,09 | 0,029287          | 1,89064 | 1,89526 | 1,92586  | 1,94129 | 1,95645 | 0,5953    | 0,0042           |
| N-LASF46B<br>904313,451  | 1,90366 | 31,32 | 0,028852    | 1,91048 | 31,09 | 0,029289          | 1,89065 | 1,89526 | 1,92586  | 1,94130 | 1,95647 | 0,5956    | 0,0045           |

| CR | FR | SR   | AR | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10<sup>7,6</sup></sub> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|----|----|------|----|-----|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|--------|
| 1  | 0  | 2    | 1  | 1   | 7,4                   | 683            | 817                           | 4,41   | 515 | 4  | 1 | 0,799                | 41/36* |
| 1  | 0  | 2    | 1  | 1   | 7,4                   | 683            | 817                           | 4,41   | 515 | 4  | 1 | 0,843                | 40/36* |
| 1  | 0  | 2,3  | 1  | 1   | 6,7                   | 719            | 830                           | 5,51   | 650 | 2  | 1 | 0,933                | 38/33* |
| 1  | 1  | 51,2 | 1  | 1,3 | 5,8                   | 590            | 677                           | 4,43   | 580 | 1  | 0 | 0,891                | 39/35* |
| 1  | 1  | 4    | 1  | 1   | 6,2                   | 651            | 739                           | 4,85   | 760 | 2  | 0 | 0,948                | 37/32* |
| 1  | 1  | 51,3 | 1  | 2   | 5,5                   | 614            | 699                           | 4,26   | 720 | 2  | 1 | 0,919                | 42/34  |
| 1  | 1  | 4    | 1  | 1   | 6,2                   | 655            | 742                           | 4,44   | 770 | 2  | 0 | 0,963                | 40/31  |
| 1  | 0  | 3,2  | 1  | 1   | 7,4                   | 647            | 773                           | 3,63   | 630 | 3  | 0 | 0,857                | 44/35  |
| 1  | 0  | 3,2  | 1  | 1   | 7,4                   | 647            | 773                           | 3,63   | 630 | 3  | 0 | 0,886                | 43/35  |
| 1  | 0  | 3    | 1  | 1   | 6,0                   | 638            | 733                           | 4,45   | 666 | 1  | 0 | 0,815                | 41/37* |
| 1  | 0  | 3,3  | 1  | 1   | 6,0                   | 611            | 703                           | 4,51   | 712 |    | 0 | 0,847                | 40/36* |

\* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

LASF

| Марка стекла               | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|----------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-SF1<br>717296,303        | 1,71736 | 29,62 | 0,024219    | 1,72308 | 29,39 | 0,024606          | 1,70651 | 1,71035 | 1,73605  | 1,74919 | 1,76224 | 0,6037    | 0,0097           |
| N-SF2<br>648338,272        | 1,64769 | 33,82 | 0,019151    | 1,65222 | 33,56 | 0,019435          | 1,63902 | 1,64210 | 1,66241  | 1,67265 | 1,68273 | 0,5950    | 0,0081           |
| N-SF4<br>755274,315        | 1,75513 | 27,38 | 0,027583    | 1,76164 | 27,16 | 0,028044          | 1,74286 | 1,74719 | 1,77647  | 1,79158 | 1,80668 | 0,6096    | 0,0118           |
| N-SF5<br>673323,286        | 1,67271 | 32,25 | 0,020858    | 1,67763 | 32,00 | 0,021177          | 1,66330 | 1,66664 | 1,68876  | 1,69998 | 1,71106 | 0,5984    | 0,0088           |
| N-SF6<br>805254,337        | 1,80518 | 25,36 | 0,031750    | 1,81266 | 25,16 | 0,032304          | 1,79114 | 1,79608 | 1,82980  | 1,84738 | 1,86506 | 0,6158    | 0,0146           |
| N-SF6HT<br>805254,337      | 1,80518 | 25,36 | 0,031750    | 1,81266 | 25,16 | 0,032304          | 1,79114 | 1,79608 | 1,82980  | 1,84738 | 1,86506 | 0,6158    | 0,0146           |
| N-SF6HTultra<br>805254,337 | 1,80518 | 25,36 | 0,031750    | 1,81266 | 25,16 | 0,032304          | 1,79114 | 1,79608 | 1,82980  | 1,84738 | 1,86506 | 0,6158    | 0,0146           |
| N-SF8<br>689313,290        | 1,68894 | 31,31 | 0,022005    | 1,69413 | 31,06 | 0,022346          | 1,67904 | 1,68254 | 1,70589  | 1,71775 | 1,72948 | 0,5999    | 0,0087           |
| N-SF10<br>728285,305       | 1,72828 | 28,53 | 0,025524    | 1,73430 | 28,31 | 0,025941          | 1,71688 | 1,72091 | 1,74800  | 1,76191 | 1,77578 | 0,6066    | 0,0108           |
| N-SF11<br>785257,322       | 1,78472 | 25,68 | 0,030558    | 1,79192 | 25,47 | 0,031088          | 1,77119 | 1,77596 | 1,80841  | 1,82533 | 1,84235 | 0,6156    | 0,0150           |
| N-SF14<br>762265,312       | 1,76182 | 26,53 | 0,028715    | 1,76859 | 26,32 | 0,029204          | 1,74907 | 1,75356 | 1,78405  | 1,79986 | 1,81570 | 0,6122    | 0,0130           |

| CR | FR | SR  | AR  | PR | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10<sup>7,6</sup></sub> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|-----|-----|----|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1  | 9,1                   | 553            | 660                           | 3,03   | 540 | 5  | 1 | 0,867                | 41/36 |
| 1  | 0  | 1   | 1,2 | 1  | 6,7                   | 608            | 731                           | 2,72   | 539 |    | 1 | 0,928                | 40/36 |
| 1  | 0  | 1,3 | 1   | 1  | 9,5                   | 570            | 661                           | 3,15   | 520 | 6  | 1 | 0,830                | 43/36 |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1  | 7,9                   | 578            | 693                           | 2,86   | 620 | 3  | 1 | 0,905                | 40/36 |
| 1  | 0  | 2   | 1   | 1  | 9,0                   | 589            | 683                           | 3,37   | 550 | 4  | 0 | 0,821                | 44/37 |
| 1  | 0  | 2   | 1   | 1  | 9,0                   | 589            | 683                           | 3,37   | 550 | 4  | 0 | 0,877                | 44/37 |
| 1  | 0  | 2   | 1   | 1  | 9,0                   | 589            | 683                           | 3,37   | 550 | 4  | 0 | 0,887                | 43/37 |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1  | 8,6                   | 567            | 678                           | 2,90   | 600 | 4  | 1 | 0,901                | 41/36 |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1  | 9,4                   | 559            | 652                           | 3,05   | 540 | 5  | 1 | 0,837                | 42/36 |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1  | 8,5                   | 592            | 688                           | 3,22   | 615 | 4  | 1 | 0,815                | 44/37 |
| 1  | 0  | 1   | 1   | 1  | 9,4                   | 566            | 657                           | 3,12   | 515 | 5  | 0 | 0,891                | 42/36 |

SF

| Марка<br>стекла                    | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|------------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| <b>N-SF15</b><br>699302,292        | 1,69892 | 30,20 | 0,023142    | 1,70438 | 29,96 | 0,023511          | 1,68854 | 1,69222 | 1,71677  | 1,72933 | 1,74182 | 0,6038    | 0,0108           |
| <b>N-SF57</b><br>847238,353        | 1,84666 | 23,78 | 0,035604    | 1,85504 | 23,59 | 0,036247          | 1,83099 | 1,83650 | 1,87432  | 1,89423 | 1,91440 | 0,6216    | 0,0178           |
| <b>N-SF57HT</b><br>847238,353      | 1,84666 | 23,78 | 0,035604    | 1,85504 | 23,59 | 0,036247          | 1,83099 | 1,83650 | 1,87432  | 1,89423 | 1,91440 | 0,6216    | 0,0178           |
| <b>N-SF57HTultra</b><br>847238,353 | 1,84666 | 23,78 | 0,035604    | 1,85504 | 23,59 | 0,036247          | 1,83099 | 1,83650 | 1,87432  | 1,89423 | 1,91440 | 0,6216    | 0,0178           |
| <b>N-SF66</b><br>923209,400        | 1,92286 | 20,88 | 0,044199    | 1,93322 | 20,70 | 0,045076          | 1,90368 | 1,91039 | 1,95739  | 1,98285 |         | 0,6394    | 0,0307           |
| <b>SF1</b><br>717295,446           | 1,71736 | 29,51 | 0,024307    | 1,72310 | 29,29 | 0,024687          | 1,70647 | 1,71031 | 1,73610  | 1,74916 | 1,76201 | 0,5983    | 0,0042           |
| <b>SF2</b><br>648339,386           | 1,64769 | 33,85 | 0,019135    | 1,65222 | 33,60 | 0,019412          | 1,63902 | 1,64210 | 1,66238  | 1,67249 | 1,68233 | 0,5886    | 0,0017           |
| <b>SF4</b><br>755276,479           | 1,75520 | 27,58 | 0,027383    | 1,76167 | 27,37 | 0,027829          | 1,74300 | 1,74730 | 1,77636  | 1,79121 | 1,80589 | 0,6036    | 0,0062           |
| <b>SF5</b><br>673322,407           | 1,67270 | 32,21 | 0,020885    | 1,67764 | 31,97 | 0,021195          | 1,66327 | 1,66661 | 1,68876  | 1,69986 | 1,71069 | 0,5919    | 0,0023           |
| <b>SF6</b><br>805254,518           | 1,80518 | 25,43 | 0,031660    | 1,81265 | 25,24 | 0,032201          | 1,79117 | 1,79609 | 1,82970  | 1,84707 | 1,86436 | 0,6102    | 0,0092           |
| <b>SF6HT</b><br>805254,518         | 1,80518 | 25,43 | 0,031660    | 1,81265 | 25,24 | 0,032201          | 1,79117 | 1,79609 | 1,82970  | 1,84707 | 1,86436 | 0,6102    | 0,0092           |

| CR | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10<sup>7,6</sup></sub> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|--------|
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 8,0                   | 580            | 692                           | 2,92   | 610 | 3  | 1 | 0,857                | 42/37  |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 8,5                   | 629            | 716                           | 3,53   | 520 | 4  | 0 | 0,733                | 42/37* |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 8,5                   | 629            | 716                           | 3,53   | 520 | 4  | 0 | 0,793                | 41/37* |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 8,5                   | 629            | 716                           | 3,53   | 520 | 4  | 0 | 0,830                | 40/37* |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 5,9                   | 710            | 806                           | 4,00   | 440 | 3  | 1 | 0,504                | 45/39* |
| 2  | 1  | 3,2  | 2,3 | 3   | 8,1                   | 417            | 566                           | 4,46   | 390 | 1  | 1 | 0,967                | 39/34  |
| 1  | 0  | 2    | 2,3 | 2   | 8,4                   | 441            | 600                           | 3,86   | 410 | 2  | 0 | 0,981                | 37/33  |
| 1  | 2  | 4,3  | 2,3 | 3,3 | 8,0                   | 420            | 552                           | 4,79   | 390 | 1  | 1 | 0,954                | 40/35  |
| 1  | 1  | 2    | 2,3 | 3   | 8,2                   | 425            | 580                           | 4,07   | 410 | 2  | 1 | 0,980                | 37/33  |
| 2  | 3  | 51,3 | 2,3 | 3,3 | 8,1                   | 423            | 538                           | 5,18   | 370 | 1  | 0 | 0,915                | 42/36  |
| 2  | 3  | 51,3 | 2,3 | 3,3 | 8,1                   | 423            | 538                           | 5,18   | 370 | 1  | 0 | 0,941                | 41/36  |

\* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05



| CR | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10<sup>7,6</sup></sub> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|--------|
| 1  | 0  | 1    | 1,2 | 2   | 7,5                   | 454            | 595                           | 4,28   | 430 | 1  | 0 | 0,862                | 41/37  |
| 1  | 0  | 1    | 1,2 | 1   | 6,1                   | 503            | 635                           | 4,74   | 450 | 1  | 1 | 0,525                | 44/39  |
| 1  | 1  | 3,2  | 2,2 | 3,2 | 7,9                   | 429            | 556                           | 4,92   | 380 | 1  | 1 | 0,857                | 42/37  |
| 2  | 5  | 52,3 | 2,3 | 4,3 | 8,3                   | 414            | 519                           | 5,51   | 350 | 1  | 0 | 0,847                | 40/37* |
| 2  | 5  | 52,3 | 2,3 | 4,3 | 8,3                   | 414            | 519                           | 5,51   | 350 | 1  | 0 | 0,924                | 39/36* |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |
|    |    |      |     |     |                       |                |                               |        |     |    |   |                      |        |

\* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

| Марка стекла                      | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|-----------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-KZFS2<br>558540.255             | 1,55836 | 54,01 | 0,010338    | 1,56082 | 53,83 | 0,010418          | 1,55337 | 1,55519 | 1,56612  | 1,57114 | 1,57580 | 0,5419    | -0,0111          |
| N-KZFS4<br>613445.300             | 1,61336 | 44,49 | 0,013785    | 1,61664 | 44,27 | 0,013929          | 1,60688 | 1,60922 | 1,62380  | 1,63071 | 1,63723 | 0,5590    | -0,0100          |
| N-KZFS5<br>654397.304             | 1,65412 | 39,70 | 0,016477    | 1,65803 | 39,46 | 0,016675          | 1,64649 | 1,64922 | 1,66667  | 1,67511 | 1,68318 | 0,5710    | -0,0060          |
| N-KZFS8<br>720347.320             | 1,72047 | 34,70 | 0,020763    | 1,72539 | 34,47 | 0,021046          | 1,71099 | 1,71437 | 1,73637  | 1,74724 | 1,75777 | 0,5833    | -0,0021          |
| N-KZFS11<br>638424.320            | 1,63775 | 42,41 | 0,015038    | 1,64132 | 42,20 | 0,015198          | 1,63069 | 1,63324 | 1,64915  | 1,65670 | 1,66385 | 0,5605    | -0,0120          |
| KZFS12 <sup>1</sup><br>696363.384 | 1,69600 | 36,29 | 0,019179    | 1,70055 | 36,06 | 0,019425          | 1,68717 | 1,69033 | 1,71065  | 1,72059 | 1,73017 | 0,5778    | -0,0050          |
|                                   |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                                   |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                                   |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                                   |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
|                                   |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |

<sup>1</sup> Будет выпускаться только по запросу с 01.01.2014. Не рекомендуется для новых разработок.

| CR | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10</sub> <sup>7.6</sup> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|-------|
| 1  | 4  | 52,3 | 4,3 | 4,2 | 4,4                   | 491            | 600                            | 2,55   | 490 | 3  | 1 | 0,985                | 34/30 |
| 1  | 1  | 3,4  | 1,2 | 1   | 7,3                   | 536            | 664                            | 3,00   | 520 | 3  | 1 | 0,979                | 36/32 |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 6,4                   | 584            | 739                            | 3,04   | 555 |    | 1 | 0,976                | 37/32 |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 7,8                   | 509            | 635                            | 3,20   | 570 | 4  | 1 | 0,963                | 38/33 |
| 1  | 1  | 3,4  | 1   | 1   | 6,6                   | 551            |                                | 3,20   | 530 | 3  | 1 | 0,987                | 36/30 |
| 4  | 1  | 53,3 | 4,3 | 4,3 | 5,2                   | 492            | 549                            | 3,84   | 440 | 4  | 1 | 0,919                | 40/35 |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |
|    |    |      |     |     |                       |                |                                |        |     |    |   |                      |       |

KZFS

| Марка стекла                      | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|-----------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| P-BK7<br>516641.243               | 1,51640 | 64,06 | 0,008061    | 1,51832 | 63,87 | 0,008115          | 1,51248 | 1,51392 | 1,52243  | 1,52628 | 1,52982 | 0,5335    | -0,0025          |
| P-PK53 <sup>i</sup><br>527662.283 | 1,52690 | 66,22 | 0,007957    | 1,52880 | 65,92 | 0,008022          | 1,52309 | 1,52447 | 1,53288  | 1,53673 | 1,54029 | 0,5408    | 0,0084           |
| P-SK57Q1<br>586595.301            | 1,58600 | 59,50 | 0,009849    | 1,58835 | 59,26 | 0,009928          | 1,58127 | 1,58299 | 1,59340  | 1,59817 | 1,60260 | 0,5414    | -0,0024          |
| P-SK57<br>587596.301              | 1,58700 | 59,60 | 0,009849    | 1,58935 | 59,36 | 0,009928          | 1,58227 | 1,58399 | 1,59440  | 1,59917 | 1,60359 | 0,5412    | -0,0024          |
| P-SK58A<br>589612.297             | 1,58913 | 61,15 | 0,009634    | 1,59143 | 60,93 | 0,009707          | 1,58449 | 1,58618 | 1,59636  | 1,60100 | 1,60530 | 0,5386    | -0,0023          |
| P-SK60<br>610579.308              | 1,61035 | 57,90 | 0,010541    | 1,61286 | 57,66 | 0,010628          | 1,60530 | 1,60714 | 1,61828  | 1,62340 | 1,62815 | 0,5427    | -0,0037          |
| P-SF8<br>689313.290               | 1,68893 | 31,25 | 0,022046    | 1,69414 | 31,01 | 0,022386          | 1,67901 | 1,68252 | 1,70591  | 1,71778 | 1,72950 | 0,5991    | 0,0079           |
| P-LAK35<br>693532.385             | 1,69350 | 53,20 | 0,013036    | 1,69661 | 52,95 | 0,013156          | 1,68732 | 1,68955 | 1,70334  | 1,70974 | 1,71569 | 0,5482    | -0,0061          |
| P-SF69<br>723292.293              | 1,72250 | 29,23 | 0,024718    | 1,72883 | 29,00 | 0,025116          | 1,71144 | 1,71535 | 1,74158  | 1,75502 | 1,76840 | 0,6050    | 0,0104           |
| P-LAF37<br>755457.399             | 1,75550 | 45,66 | 0,016546    | 1,75944 | 45,42 | 0,016722          | 1,74775 | 1,75054 | 1,76804  | 1,77633 | 1,78414 | 0,5590    | -0,0080          |

<sup>i</sup> Будет выпускаться только по запросу с 01.01.2014. Не рекомендуется для новых разработок.

| n <sub>d</sub> ref.*1 | после формования*2 |                | SR-J | WR-J | $\alpha$<br>(-30/+70) | $\alpha$<br>(20/300) | T <sub>g</sub> | AT  | $\rho$ | HK  | Истира-<br>ние Aa | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC    |
|-----------------------|--------------------|----------------|------|------|-----------------------|----------------------|----------------|-----|--------|-----|-------------------|---|----------------------|-------|
|                       | n <sub>d</sub>     | v <sub>d</sub> |      |      |                       |                      |                |     |        |     |                   |   |                      |       |
| 1,51576               | 1,5144*3           | 63,9*3         | 1    | 4    | 6,0                   | 7,3                  | 498            | 546 | 2,43   | 627 | 66                | 1 | 0,997                | 33/30 |
| 1,52567               | 1,5232             | 66             | 3    | 1    | 13,3                  | 16,0                 | 383            | 418 | 2,83   | 335 | 977               | 1 | 0,994                | 36/31 |
| 1,58496               | 1,5833             | 59,4           | 4    | 1    | 7,2                   | 8,9                  | 493            | 522 | 3,01   | 535 | 124               | 1 | 0,994                | 34/31 |
| 1,58596               | 1,5843             | 59,4           | 4    | 1    | 7,2                   | 8,9                  | 493            | 522 | 3,01   | 535 | 124               | 1 | 0,994                | 34/31 |
| 1,58795               | 1,5860             | 60,8           | 4    | 2    | 6,8                   | 8,4                  | 510            | 551 | 2,97   | 662 | 102               | 1 | 0,994                | 35/31 |
| 1,60918               | 1,6068             | 57,7           | 4    | 3    | 7,1                   | 8,9                  | 507            | 547 | 3,08   | 601 | 86                | 1 | 0,997                | 33/29 |
| 1,68623               | 1,6814             | 31,7           | 1    | 1    | 9,4                   | 11,1                 | 524            | 580 | 2,90   | 533 | 200               | 1 | 0,924                | 40/36 |
| 1,69234               | 1,6904             | 53,0           | 4    | 3    | 8,1                   | 9,7                  | 508            | 544 | 3,85   | 616 | 119               | 0 | 0,988                | 36/29 |
| 1,72006               | 1,7155             | 29,7           | 1    | 1    | 9,0                   | 11,1                 | 508            | 547 | 2,93   | 612 | 142               | 1 | 0,915                | 41/36 |
| 1,75396               | 1,7508             | 45,5           | 4    | 1    | 6,3                   | 7,8                  | 506            | 546 | 3,99   | 697 | 67                | 0 | 0,980                | 37/31 |

\*1 n<sub>d</sub> исходное значение (скорость отжига 25 K/h) \*2 отпрессовано в компании ШОТТ; за дополнительной информацией обращайтесь в компанию ШОТТ \*3 предварительные данные

Low T<sub>g</sub>

| Марка стекла                       | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|------------------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| P-LASF47<br>806409.454             | 1,80610 | 40,90 | 0,019709    | 1,81078 | 40,66 | 0,019941          | 1,79696 | 1,80023 | 1,82110  | 1,83112 | 1,84064 | 0,5671    | -0,0079          |
| P-LASF50<br>809405.454             | 1,80860 | 40,46 | 0,019985    | 1,81335 | 40,22 | 0,020223          | 1,79934 | 1,80266 | 1,82382  | 1,83399 | 1,84367 | 0,5680    | -0,0078          |
| P-LASF51<br>810409.458             | 1,81000 | 40,93 | 0,019792    | 1,81470 | 40,68 | 0,020025          | 1,80082 | 1,80411 | 1,82506  | 1,83512 | 1,84467 | 0,5670    | -0,0080          |
| P-SF67 <sup>ii</sup><br>907214.424 | 1,90680 | 21,40 | 0,042374    | 1,91675 | 21,23 | 0,043191          | 1,88833 | 1,89480 | 1,93985  | 1,96401 |         | 0,6334    | 0,0256           |
| P-SF68<br>005210.619               | 2,00520 | 21,00 | 0,047867    | 2,01643 | 20,82 | 0,048826          | 1,98449 | 1,99171 | 2,04262  | 2,07018 |         | 0,6392    | 0,0308           |
|                                    |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| N-FK51A<br>487845.368              | 1,48656 | 84,47 | 0,005760    | 1,48794 | 84,07 | 0,005804          | 1,48379 | 1,48480 | 1,49088  | 1,49364 | 1,49618 | 0,5359    | 0,0342           |
| N-FK5<br>487704.245                | 1,48749 | 70,41 | 0,006924    | 1,48914 | 70,23 | 0,006965          | 1,48410 | 1,48535 | 1,49266  | 1,49593 | 1,49894 | 0,5290    | 0,0036           |
| N-PK52A<br>497816.370              | 1,49700 | 81,61 | 0,006090    | 1,49845 | 81,21 | 0,006138          | 1,49408 | 1,49514 | 1,50157  | 1,50450 | 1,50720 | 0,5377    | 0,0311           |
| N-PK51<br>529770.386               | 1,52855 | 76,98 | 0,006867    | 1,53019 | 76,58 | 0,006923          | 1,52527 | 1,52646 | 1,53372  | 1,53704 | 1,54010 | 0,5401    | 0,0258           |

<sup>ii</sup> Будет выпускаться только по запросу с 01.01.2016. Не рекомендуется для новых разработок.

| n <sub>d</sub> ref.*1 | после формования*2 |                | SR-J | WR-J | $\alpha$<br>(-30/+70) | $\alpha$<br>(20/300) | T <sub>g</sub> | AT  | $\rho$ | HK  | Истира-<br>ние Aa | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|-----------------------|--------------------|----------------|------|------|-----------------------|----------------------|----------------|-----|--------|-----|-------------------|---|----------------------|--------|
|                       | n <sub>d</sub>     | v <sub>d</sub> |      |      |                       |                      |                |     |        |     |                   |   |                      |        |
| 1,80449               | 1,8016             | 40,8           | 3    | 1    | 6,0                   | 7,3                  | 530            | 580 | 4,54   | 620 | 70                | 1 | 0,967                | 39/33  |
| 1,80699               | 1,8036*3           | 40,3*3         |      |      | 5,9                   | 7,3                  | 527            | 571 | 4,54   | 655 | 62                | 1 | 0,967                | 39/32  |
| 1,80842               | 1,8056             | 40,8           | 3    | 1    | 6,0                   | 7,4                  | 526            | 570 | 4,58   | 722 | 66                | 1 | 0,967                | 39/33  |
| 1,90439               | 1,8998             | 21,6           | 1    | 1    | 6,2                   | 7,4                  | 539            | 601 | 4,24   | 440 | 309               | 1 | 0,276                | 48/39* |
| 2,00365               | 1,9958             | 20,9           | 4    | 1    | 8,4                   | 9,7                  | 428            | 468 | 6,19   | 404 | 298               |   | 0,007                | 49/41* |
|                       |                    |                |      |      |                       |                      |                |     |        |     |                   |   |                      |        |
| 1,48597               | 1,4847             | 84,2           | 3    | 1    | 12,7                  | 14,8                 | 464            | 503 | 3,68   | 345 | 528               | 1 | 0,997                | 34/28  |
| 1,48666               | 1,485              | 70,2           | 5    | 4    | 9,2                   | 10,0                 | 466            | 557 | 2,45   | 520 | 109               | 1 | 0,998                | 30/27  |
| 1,49640               | 1,4952             | 81,3           | 4    | 1    | 13,0                  | 15,0                 | 467            | 520 | 3,70   | 355 | 526               | 1 | 0,997                | 34/28  |
| 1,52784               | 1,5267             | 76,7           | 3    | 1    | 12,4                  | 14,1                 | 487            | 528 | 3,86   | 415 | 592               | 1 | 0,994                | 34/29  |

\*1 n<sub>d</sub> опорное значение (скорость отжига 25 K/h)  
в компанию ШОТТ

\*2 отпрессовано в компании ШОТТ; за дополнительной информацией обращайтесь  
\*3 предварительные данные \* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

| Марка стекла              | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|---------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-KZFS2<br>558540.255     | 1,55836 | 54,01 | 0,010338    | 1,56082 | 53,83 | 0,010418          | 1,55337 | 1,55519 | 1,56612  | 1,57114 | 1,57580 | 0,5419    | -0,0111          |
| N-KZFS4<br>613445.300     | 1,61336 | 44,49 | 0,013785    | 1,61664 | 44,27 | 0,013929          | 1,60688 | 1,60922 | 1,62380  | 1,63071 | 1,63723 | 0,5590    | -0,0100          |
| N-KZFS11<br>638424.320    | 1,63775 | 42,41 | 0,015038    | 1,64132 | 42,20 | 0,015198          | 1,63069 | 1,63324 | 1,64915  | 1,65670 | 1,66385 | 0,5605    | -0,0120          |
| N-KZFS5<br>654397.304     | 1,65412 | 39,70 | 0,016477    | 1,65803 | 39,46 | 0,016675          | 1,64649 | 1,64922 | 1,66667  | 1,67511 | 1,68318 | 0,5710    | -0,0060          |
| N-KZFS8<br>720347.320     | 1,72047 | 34,70 | 0,020763    | 1,72539 | 34,47 | 0,021046          | 1,71099 | 1,71437 | 1,73637  | 1,74724 | 1,75777 | 0,5833    | -0,0021          |
| N-LAF33<br>786441.436     | 1,78582 | 44,05 | 0,017839    | 1,79007 | 43,80 | 0,018038          | 1,77751 | 1,78049 | 1,79937  | 1,80837 | 1,81687 | 0,5626    | -0,0071          |
| N-LASF46B<br>904313.451   | 1,90366 | 31,32 | 0,028852    | 1,91048 | 31,09 | 0,029289          | 1,89065 | 1,89526 | 1,92586  | 1,94130 | 1,95647 | 0,5956    | 0,0045           |
|                           |         |       |             |         |       |                   |         |         |          |         |         |           |                  |
| SF57<br>847238.551        | 1,84666 | 23,83 | 0,035536    | 1,85504 | 23,64 | 0,036166          | 1,83102 | 1,83650 | 1,87425  | 1,89393 | 1,91366 | 0,6160    | 0,0123           |
| SF57HTultra<br>847238.551 | 1,84666 | 23,83 | 0,035536    | 1,85504 | 23,64 | 0,036166          | 1,83102 | 1,83650 | 1,87425  | 1,89393 | 1,91366 | 0,6160    | 0,0123           |

| n <sub>d</sub> ref.*1 | после формования*2 |                | SR-J | WR-J | $\alpha$<br>(-30/+70) | $\alpha$<br>(20/300) | T <sub>g</sub> | AT  | $\rho$ | HK  | Истира-<br>ние Aa | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|-----------------------|--------------------|----------------|------|------|-----------------------|----------------------|----------------|-----|--------|-----|-------------------|---|----------------------|--------|
|                       | n <sub>d</sub>     | v <sub>d</sub> |      |      |                       |                      |                |     |        |     |                   |   |                      |        |
| 1,55666               | 1,5534             | 53,7           | 6    | 6    | 4,4                   | 5,4                  | 472            | 533 | 2,54   | 490 | 70                | 1 | 0,985                | 34/30  |
| 1,61227               | 1,6100*3           | 44,5*3         | 6    | 4    | 7,3                   | 8,2                  | 536            | 597 | 3,00   | 520 | 130               | 1 | 0,979                | 36/32  |
| 1,63658               | 1,6341*3           | 42,3*3         |      |      | 6,6                   | 7,6                  | 551            |     | 3,20   | 530 | 74                | 1 | 0,987                | 36/30  |
| 1,65272               | 1,6498*3           | 39,8*3         | 1    | 1    | 6,4                   | 7,4                  | 584            | 648 | 3,04   | 555 | 122               | 1 | 0,976                | 37/32  |
| 1,71896               | 1,7158*3           | 34,8*3         | 1    | 1    | 7,8                   | 9,4                  | 509            | 561 | 3,20   | 570 | 152               | 1 | 0,963                | 38/33  |
| 1,78425               | 1,7811             | 43,9           | 6    | 1    | 5,6                   | 6,7                  | 600            | 628 | 4,36   | 730 | 67                | 0 | 0,963                | 39/32  |
| 1,90165               | 1,8977             | 31,4           | 1    | 2    | 6,0                   | 7,1                  | 611            | 649 | 4,51   | 712 | 55                | 0 | 0,847                | 40/36* |
|                       |                    |                |      |      |                       |                      |                |     |        |     |                   |   |                      |        |
| 1,84608               | 1,8447             | 23,6           | 6    | 1    | 8,3                   | 9,2                  | 414            | 449 | 5,51   | 350 | 344               | 0 | 0,847                | 40/37* |
| 1,84608               | 1,8447             | 23,7           | 6    | 1    | 8,3                   | 9,2                  | 414            | 449 | 5,51   | 350 | 344               | 0 | 0,924                | 39/36* |

\*1 n<sub>d</sub> опорное значение (скорость отжига 25 K/h)  
в компанию ШОТТ

\*2 отпрессовано в компании ШОТТ; за дополнительной информацией обращайтесь  
\*3 предварительные данные \* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

# Стекла по запросу

классические стекла

| Марка стекла          | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|-----------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| FK3<br>464658.227     | 1,46450 | 65,77 | 0,007063    | 1,46619 | 65,57 | 0,007110          | 1,46106 | 1,46232 | 1,46978  | 1,47315 | 1,47625 | 0,5329    | -0,0003          |
| N-SK10<br>623570.364  | 1,62278 | 56,98 | 0,010929    | 1,62539 | 56,70 | 0,011029          | 1,61759 | 1,61947 | 1,63102  | 1,63638 | 1,64137 | 0,5474    | -0,0005          |
| N-SK15<br>623580.362  | 1,62296 | 58,02 | 0,010737    | 1,62552 | 57,75 | 0,010832          | 1,61785 | 1,61970 | 1,63105  | 1,63629 | 1,64116 | 0,5453    | -0,0009          |
| N-BAF3<br>583466.279  | 1,58272 | 46,64 | 0,012495    | 1,58569 | 46,35 | 0,012637          | 1,57689 | 1,57899 | 1,59222  | 1,59857 | 1,60463 | 0,5669    | 0,0015           |
| BAFN6<br>589485.317   | 1,58900 | 48,45 | 0,012158    | 1,59189 | 48,16 | 0,012291          | 1,58332 | 1,58536 | 1,59823  | 1,60436 | 1,61017 | 0,5625    | 0,0002           |
| N-LAF3<br>717480.414  | 1,71700 | 47,96 | 0,014950    | 1,72055 | 47,68 | 0,015112          | 1,71001 | 1,71252 | 1,72834  | 1,73585 | 1,74293 | 0,5603    | -0,0028          |
| SFL57<br>847236.355   | 1,84666 | 23,62 | 0,035841    | 1,85510 | 23,43 | 0,036489          | 1,83089 | 1,83643 | 1,87451  | 1,89456 | 1,91488 | 0,6218    | 0,0177           |
| SFL6<br>805254.337    | 1,80518 | 25,39 | 0,031708    | 1,81265 | 25,19 | 0,032260          | 1,79116 | 1,79609 | 1,82977  | 1,84733 | 1,86500 | 0,6159    | 0,0148           |
| N-SF19<br>667331.290  | 1,66679 | 33,12 | 0,020131    | 1,67154 | 32,86 | 0,020435          | 1,65769 | 1,66092 | 1,68228  | 1,69309 | 1,70377 | 0,5976    | 0,0095           |
| N-PSK53<br>620635.360 | 1,62014 | 63,48 | 0,009769    | 1,62247 | 63,19 | 0,009851          | 1,61547 | 1,61717 | 1,62749  | 1,63223 | 1,63662 | 0,5423    | 0,0053           |
| KZFSN5<br>654396.346  | 1,65412 | 39,63 | 0,016507    | 1,65803 | 39,40 | 0,016701          | 1,64644 | 1,64920 | 1,66668  | 1,67512 | 1,68319 | 0,5700    | -0,0071          |

| CR | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10<sup>7.6</sup></sub> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|--------|
| 2  | 3  | 52,4 | 2   | 1   | 8,2                   | 362            | 622                           | 2,27   | 380 |    | 1 | 0,994                | 33/30  |
| 3  | 3  | 52,2 | 2   | 2,2 | 6,8                   | 633            | 758                           | 3,64   | 550 | 3  | 1 | 0,988                | 36/32  |
| 3  | 3  | 52,2 | 2   | 3,2 | 6,7                   | 641            | 752                           | 3,62   | 620 | 3  | 1 | 0,984                | 36/31  |
| 1  | 0  | 1    | 1   | 1   | 7,2                   | 583            | 714                           | 2,79   | 560 | 2  | 1 | 0,959                | 39/35  |
| 2  | 0  | 2    | 2   | 1   | 7,8                   | 549            |                               | 3,17   | 540 |    | 1 | 0,971                | 38/33  |
| 2  | 3  | 52,3 | 1,2 | 3,3 | 7,6                   | 646            | 740                           | 4,14   | 580 | 5  | 1 | 0,954                | 39/34  |
| 1  | 0  | 1,3  | 1   | 1,3 | 8,7                   | 598            | 700                           | 3,55   | 580 | 3  | 1 | 0,525                | 44/38* |
| 1  | 0  | 2    | 1   | 1   | 9,0                   | 585            |                               | 3,37   | 570 |    | 0 | 0,850                | 45/37  |
| 1  | 0  | 1    | 1,2 | 1   | 7,2                   | 598            | 707                           | 2,90   | 630 | 3  | 1 | 0,901                | 40/36  |
| 2  | 1  | 52,3 | 1,2 | 4,3 | 9,4                   | 618            | 709                           | 3,60   | 440 | 6  | 1 | 0,985                | 36/31  |
| 3  | 2  | 52,3 | 4,3 | 4,3 | 4,5                   | 501            |                               | 3,46   | 460 | 5  | 1 | 0,976                | 37/34  |

\* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

**Стекла по запросу**  
радиационно-стойкие стекла – классические стекла

| Марка стекла          | $n_d$   | $v_d$ | $n_F - n_C$ | $n_e$   | $v_e$ | $n_{F'} - n_{C'}$ | $n_r$   | $n_C$   | $n_{F'}$ | $n_g$   | $n_h$   | $P_{g,F}$ | $\Delta P_{g,F}$ |
|-----------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|------------------|
| N-SF64<br>706302.299  | 1,70591 | 30,23 | 0,023350    | 1,71142 | 29,99 | 0,023720          | 1,69544 | 1,69914 | 1,72392  | 1,73657 | 1,74912 | 0,6028    | 0,0099           |
| N-SF56<br>785261.328  | 1,78470 | 26,10 | 0,030071    | 1,79179 | 25,89 | 0,030587          | 1,77137 | 1,77607 | 1,80800  | 1,82460 | 1,84126 | 0,6139    | 0,0140           |
| LASF35<br>022291.541  | 2,02204 | 29,06 | 0,035170    | 2,03035 | 28,84 | 0,035721          | 2,00628 | 2,01185 | 2,04916  | 2,06805 | 2,08663 | 0,5982    | 0,0033           |
| BK7G18<br>520636.252  | 1,51975 | 63,58 | 0,008174    | 1,52170 | 63,36 | 0,008233          | 1,51579 | 1,51724 | 1,52587  | 1,52981 | 1,53345 | 0,5376    | 0,0007           |
| LF5G19<br>597399.330  | 1,59655 | 39,89 | 0,014954    | 1,60010 | 39,60 | 0,015153          | 1,58970 | 1,59214 | 1,60799  | 1,61578 | 1,62330 | 0,5803    | 0,0036           |
| LF5G15<br>584408.322  | 1,58397 | 40,83 | 0,014301    | 1,58736 | 40,55 | 0,014484          | 1,57739 | 1,57974 | 1,59489  | 1,60228 |         | 0,5759    | 0,0008           |
| K5G20<br>523568.259   | 1,52344 | 56,76 | 0,009222    | 1,52564 | 56,47 | 0,009308          | 1,51906 | 1,52065 | 1,53040  | 1,53494 | 1,53919 | 0,5500    | 0,0017           |
| LAK9G15<br>691548.353 | 1,69064 | 54,76 | 0,012612    | 1,69364 | 54,53 | 0,012721          | 1,68462 | 1,68680 | 1,70013  | 1,70630 | 1,71205 | 0,5462    | -0,0055          |
| F2G12<br>621366.360   | 1,62072 | 36,56 | 0,016979    | 1,62474 | 36,30 | 0,017212          | 1,61298 | 1,61573 | 1,63373  | 1,64261 | 1,65121 | 0,5831    | 0,0008           |
| SF6G05<br>809253.520  | 1,80906 | 25,28 | 0,032015    | 1,81661 | 25,08 | 0,03257           | 1,79491 | 1,79988 | 1,83387  |         |         | 0,6121    | 0,0108           |

| CR  | FR | SR   | AR  | PR  | $\alpha$<br>(-30/+70) | T <sub>g</sub> | T <sub>10</sub> <sup>7.6</sup> | $\rho$ | HK  | HG | B | $\tau_i$<br>(10/400) | FC     |
|-----|----|------|-----|-----|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------|-----|----|---|----------------------|--------|
| 1   | 0  | 1    | 1,2 | 1   | 8,5                   | 572            | 685                            | 2,99   | 620 | 4  | 1 | 0,850                | 42/37  |
| 1   | 0  | 1    | 1,3 | 1   | 8,7                   | 592            | 691                            | 3,28   | 560 | 5  | 1 | 0,799                | 44/37  |
| 1   | 0  | 1,3  | 1   | 1,3 | 7,4                   | 774            |                                | 5,41   | 810 | 1  | 2 | 0,634                | 45/37* |
|     | 0  | 1    | 2   |     | 7,0                   | 585            | 722                            | 2,52   | 580 |    | 0 | 0,764                | 41/37  |
| 2-3 | 2  | 3,4  | 2,2 | 3   | 10,7                  | 474            | 606                            | 3,30   | 410 | 2  | 1 | 0,276                | 45/39  |
| 2   | 0  | 1    | 1,3 | 2,3 | 9,3                   | 407            | 578                            | 3,22   | 446 |    | 1 | 0,569                | 43/37  |
|     | 0  | 1    | 1   |     | 9,0                   | 483            | 679                            | 2,59   | 510 |    | 1 | 0,821                | 41/37  |
| 1-2 | 2  | 53,0 | 1,3 | 4,3 | 6,3                   | 634            | 710                            | 3,53   | 721 |    | 2 | 0,292                | 46/38  |
| 1   | 0  | 1    | 1,3 | 2,3 | 8,1                   | 435            | 604                            | 3,60   | 428 |    | 1 | 0,325                | 45/39  |
| 4   | 3  | 51,3 | 2,3 | 3,3 | 7,8                   | 427            | 529                            | 5,20   | 360 |    | 1 |                      | 52/46* |

\* Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

## Свойства

|                           |  |   |   |
|---------------------------|--|---|---|
| <b>Код стекла</b>         | – международный код стекла на основе показателя преломления $n_d$ и числа Аббе $v_d$ и по плотности.                       | <b>HG</b>   | – класс шлифуемости (ISO 12844)   |
| $n_x, v_x, n_x - n_y$     | – показатель преломления, число Аббе и дисперсия при различной длине волн  | <b>B</b>  | – класс пузырности  |
| $P_{g,F}, \Delta P_{g,F}$ | – относительная частичная дисперсия и отклонение относительной частичной дисперсии от нормальной линии между линиями g и F | $\tau_1$ (10/400)                                   | – внутреннее пропускание при 400 нм; толщина стекла: 10 мм  |
| <b>CR</b>                 | – класс устойчивости к климатическим воздействиям (ISO/WD 13384)   | <b>FC</b>   | – цветовой код: длина волны для пропускания 0,80 (при*: 0,70) и 0,05; толщина стекла: 10 мм (JOGIS)     |
| <b>FR</b>                 | – класс сопротивления пятнаемости  | <b>Только стекла для прецизионного прессования:</b> |   |
| <b>SR</b>                 | – класс устойчивости к воздействию кислот (ISO 8424)   | <b>Истирание Aa</b>                                 | – шлифуемость согласно стандарту JOGIS  |
| <b>AR</b>                 | – класс устойчивости к воздействию щелочей (ISO 10629)   | $n_d$ ref.  | – $n_d$ стандартное значение (скорость отжига 25 К/ч)   |
| <b>PR</b>                 | – класс устойчивости к воздействию фосфатов (ISO 9689)   | $n_d, v_d$ после формования                         | – сразу после прессования в компании SCHOTT (предварительные данные на основе скорости отжига 5000 К/ч) |
| $\alpha$ (-30/+70)        | – коэффициент линейного термического расширения между -30 °С и +70 °С в $10^{-6}/K$  | <b>SR-J</b>   | – класс устойчивости к воздействию кислот JOGIS   |
| $T_g$                     | – температура трансформации в °С (ISO 7884-8)  | <b>WR-J</b>   | – класс устойчивости к воздействию воды JOGIS   |
| $T_{10}^{7.6}$            | – температура стекла при вязкости $10^{7.6}$ дПа с   | <b>AT</b>   | – температура размягчения в °С  |
| $\rho$                    | – плотность в г/см <sup>3</sup>  | $\alpha$ (20/300)                                   | – коэффициент линейного теплового расширения между + 20 °С и + 300 °С в $10^{-6}/K$                     |
| <b>HK</b>                 | – твердость по шкале Кнупа (ISO 9385)  | <b>JOGIS</b>  | – Японские промышленные стандарты по оптическому стеклу   |

Указанная информация представляет современный известный уровень знаний.

Оставляем за собой право на внесение изменений, обусловленных техническим прогрессом.



Контактные  
адреса в Европе

## Контактные адреса в Европе

Германия, Африка:

Advanced Optics

**SCHOTT AG**

Hattenbergstrasse 10

55122 Mainz, Germany

Phone +49 (0)6131/66 - 1812

Fax +49 (0)3641/2888 - 9047

info.optics@schott.com

www.schott.com/advanced\_optics

Франция, Испания, Португалия:

**SCHOTT France SAS**

6 bis rue Fournier

92110 Clichy, France

Phone +33 (0)1/40873900

Fax +33 (0)1/42707322

info.optics@schott.com

www.schott.com/france

Швейцария, Италия, Лихтенштейн:

**SCHOTT Suisse SA, Yverdon**

2, Rue Galilée

1401 Yverdon-les-Bains VD

Switzerland

Phone +41 (0)24/423-9900

Fax +41 (0)24/423-9910

info.optics@schott.com

www.schott.com/advanced\_optics

Бенилюкс:

**SCHOTT Benelux B.V.**

Randweg 3 A

4104 AC Culemborg, Netherlands

Phone +31 (0)344/670911

Fax +31 (0)344/621802

info.optics@schott.com

www.schott.com/advanced\_optics

## Контактные адреса в Европе

Австрия, Восточная Европа:

**SCHOTT Austria GmbH**

Ignaz-Köck-Straße 10

1210 Wien, Austria

Phone +43 (0)1 290 1748 - 0

Fax +43 (0)1 290 1748 - 20

info.optics@schott.com

www.schott.com/austria

Скандинавия и Балтика:

**SCHOTT Scandinavia A/S**

Lyngby Port

Lyngby Hovedgade 98, stuen – K16

2800 Kgs. Lyngby, Denmark

Phone +45 (0)43 43 6030

Fax +45 (0)43 43 3566

info.optics@schott.com

www.schott.com/scandinavia

Израиль:

**SCHOTT Glass Export GmbH**

**Representative Office**

Top Rasko Bld.

40 Ha'atzmaut St.

P.O. Box #98

56304, Yehud, Israel

Phone +972-3-5361711

Fax +972-3-5361710

info.optics@schott.com

www.schott.com/advanced\_optics

Великобритания, Ирландия:

**H.V. Skan Ltd., Solihull/GB**

Phone +44 (0)121/733-3003

Fax +44 (0)121/733-1030

info@skan.co.uk

www.skan.co.uk

**Для заметок**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Для заметок

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Advanced Optics

**SCHOTT**

Москва

Россия

Phone +7 495 933 51 53

[info.russia@schott-export.com](mailto:info.russia@schott-export.com)

[www.schott.com/](http://www.schott.com/)

[advanced\\_optics](http://www.schott.com/advanced_optics)

10356 RUSSIAN 12110.3 kn/rohland Printed in Germany