

SCHOTT
glass made of ideas

Оптическое
стекло 2016

Оптическое стекло 2016

Описание свойств

Содержание

Часть I · Оптическое стекло – описание свойств

Предисловие и обзор	8	2	Качество макроструктуры	26
Что изменилось?	9	2.1	Свилы	26
1 Оптические характеристики	14	2.2	Пузыри и включения	27
1.1 Показатель преломления, число Аббе, показатели дисперсии, обозначения стекол	14	2.3	Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений	29
1.2 Допуски на показатель преломления и числа Аббе	15	3 Химические свойства	31	
1.3 Сертификаты испытаний по показателю преломления и дисперсии	18	3.1	Климатическая стойкость	31
1.3.1 Сертификаты типовых испытаний	18	3.2	Стойкость к травлению	32
1.3.2 Сертификаты прецизионных измерений УФ-ВИД-ИК	18	3.3	Кислотостойкость	34
1.4 Однородность показателя преломления	19	3.4	Щелочестойкость и стойкость к фосфатам	35
1.4.1 Стекло высокой однородности в ассортименте	21	3.5	Идентификация видимых изменений поверхности	36
1.5 Коэффициент внутреннего пропускания, цветовой код	22	3.6	Экологические аспекты, директива ЕС RoHS II и регламент ЕС REACH	37
1.5.1 Стекла i-line	24	4 Механические свойства	40	
1.6 Возможности методов измерения оптических характеристик ..	25	4.1	Твердость по Кнупу	40
		4.2	Шлифуемость (ISO 12844)	40
		4.3	Вязкость	41
		4.4	Коэффициент линейного теплового расширения	42

5	Тепловые свойства	44			
5.1	Теплопроводность	44			
5.2	Теплоемкость	44			
6	Качество поставляемого материала	45			
6.1	Управление качеством и обеспечение качества	45			
6.2	Стандартное качество поставляемого материала	46			
6.3	Повышенное качество поставляемого материала	46			
7	Виды поставляемого материала и допуски	49			
7.1	Стекло стандартных размеров (стеклянные блоки и полосы)	50			
	7.1.1 Стеклоблоки	50			
	7.1.2 Стеклопосы	51			
7.2	Резанные заготовки	52			
	7.2.1 Пластины	52			
	7.2.2 Диски	54			
	7.2.3 Обработанные стержни	56			
	7.2.4 Граненные призмы	58			
			7.3	Прессованные изделия	60
				7.3.1 Прессованные заготовки	60
				7.3.2 Прессованные призмы	62
			7.4	Стержни из оптического стекла для миниатюризированных шариковых линз, дисков и др.!	63
			8	Оптические стекла для прецизионного формования	65
			9	Номенклатура выпускаемых оптических стекол	67
			9.1	Предпочтительные стекла	67
			9.2	Стекла на заказ	67
			10	Совершенство формул и таблица длины световых волн	68
			11	Техническая информация в электронном виде – ТИЕ	74

12 Коротко о SCHOTT Advanced Optics 76

ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ 77

Оптическое стекло	77
Стекла HT и HTUltra	78
Стекло XLD	78
Высоко однородное стекло	78
Стекло с низкой температурой моллирования	79
Стекло i-line	79
Радиационно-стойкие стёкла	79
Рентгензащитные стёкла	80
Синтетический сапфир	80
Халькогенидные стекла для ИК-области спектра	81
Стеклокерамика, прозрачная для ИК-излучения	81

ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ. 82

Оптические компоненты.	82
Асферические линзы	83
Сферические линзы	83
Цилиндрические линзы	83
Призмы	84
Окна и подложки	84
Покрытия	85
Обработка на станках с ЧПУ	85
Сборка	85
Активные элементы для лазерных систем	86

ОПТИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ. 88

Стекла для оптических фильтров	88
Интерференционные фильтры	90

Часть II · Оптическое стекло – Свойства

Указатель изменений – Часть II: Оптическое стекло – Свойства. . .	92
Свойства.	94
Словарь специальных терминов.	136
Представительства по всему миру	138
Выходные сведения.	144

Перечень таблиц

1 Оптические характеристики

1.1	Примеры кодов стекла	14
1.2	Допуски по показателю преломления и числу Аббе (согласно ISO 12123)	15
1.3	Допуск на разброс показателя преломления в партии тонко-отожжённого стекла (в соответствии со стандартом ISO 12123) и в партии прессованных изделий	16
1.4	Информация о показателях преломления и дисперсии в сертификатах типовых испытаний	18
1.5	Однородность оптического стекла по стандартам ISO 10110 и ISO 12123	20
1.6	Ассортимент стекол высокой однородности, их максимально допустимые размеры и соответствующие характеристики однородности	22
1.7	Однородность показателя преломления стекол i-line в зависимости от размеров	24
1.8	Погрешности при различных способах измерения	25

2 Качество макроструктуры

2.1	Границы допуска на свили (в соответствии со стандартом ISO 12123)	27
2.2	Допуски на пузыри и включения в оптических стеклах	28
2.3	Предельные значения двойного лучепреломления под воздействием внутренних напряжений в резаных заготовках различных размеров	30

3 Химические свойства

3.1	Классификация оптических стекол по классам климатической стойкости CR 1-4	32
3.2	Классификация оптических стекол по классам стойкости к травлению FR 0-5	33
3.3	Классификация оптических стекол по классам кислотостойкости SR 1-53	34
3.4	Классификация оптических стекол по классам щелочестойкости AR 1-4 и классам фосфатной стойкости PR 1-4	36

4 Механические свойства

4.1	Шлифуемость (согласно ISO 12844)	41
-----	----------------------------------	----

6	Качество поставляемого материала	
6.1	Дополнительные категории качества для различных видов поставок.	47
7	Виды поставляемого материала и допуски	
7.1	Допуски на размеры и минимальные размеры пластин.	53
7.2	Допуски на размеры и минимальные размеры для круглых пластин.	55
7.3	Размеры и допуски для обработанных стержней.	57
7.4	Размеры и допуски для граненых призм.	59
7.5	Размеры и допуски для прессованных заготовок.	61
7.6	Размеры и допуски для прессованных призм.	62
7.7	Оптические стеклянные стержни – спецификации.	64
10	Совокупность формул и таблица длины волн	
10.1	Длина волн для отбора часто используемых спектральных линий.	73

ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

1	Оптические характеристики	
1.1	Состав поставляемой партии стекла для горячей обработки и тонко-отожжённого стекла.	17
1.2	Качество H4 заготовки типа SCHOTT N-BK7® диаметром 1000 мм, измеренное в центральной апертуре 500 мм.	21

Предисловие и обзор

Подразделение Advanced Optics компании SCHOTT – Ваш Партнер для достижения лучших результатов в оптике.

Концерн SCHOTT является мировым лидером в сфере производства специального стекла и стеклокерамики. Компания предлагает широкий ассортимент качественной продукции и высокотехнологичных решений, разработку, проектирование и изготовление которых осуществляет на протяжении уже более 130 лет.

На сегодняшний день подразделение Advanced Optics 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, лазерное стекло, ИК-материалы, синтетический сапфир), сверхтонкого стекла, оптических компонентов высокой точности, тонких пластин и оптических фильтров, подразделение Advanced Optics разрабатывает в различных регионах мира индивидуальные решения для применения в оптике, фотолитографии, астрономии, оптоэлектронике, здравоохранении, медицинских исследованиях и др.

В подразделении Advanced Optics освоен полный цикл производства продукции: от синтеза стекол по индивидуальным заказам до финишной обработки и измерения высокоточных оптических деталей



Отто Шотт (1851-1935)

Для получения более подробной информации о подразделении Advanced Optics, посетите наш вебсайт: http://www.schott.com/advanced_optics/english/index.html.

NEW

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ?

SCHOTT Advanced Optics продолжает внедрять последние инновационные разработки. Это позволяет нам непрерывно расширять наш ассортимент и предлагать новейшие высококачественные стекла для промышленного применения и использования в оптике, а также отвечать постоянно меняющимся потребностям рынка и удовлетворять запросы наших клиентов.

Благодаря тесному сотрудничеству наших высококвалифицированных научно-исследовательских и опытно-конструкторских групп мы можем расширять производство и сферу применения нашей продукции. Это в свою очередь позволяет нам предлагать нашим клиентам по всему миру еще более широкий ассортимент для эффективного удовлетворения всех их потребностей.

Вот лишь несколько примеров инновационных разработок от SCHOTT Advanced Optics:

- Величина допуска 0,5 для показателя преломления и числа Abbe теперь доступна для прессованных изделий (см. Главу 1.2.)
- Протоколы испытаний содержат больше информации о показателе преломления (см. Главу 1.3)
- Измерение однородности показателя преломления больших апертур (см. Главу 1.4)
- Стекла SCHOTT XLD

Мы, компания SCHOTT, считаем чрезвычайно важным регулярно улучшать качество и технологические характеристики нашей продукции. На пути к достижению этой цели в свойствах наших стекол произошли некоторые изменения. Вы сможете найти названия этих продуктов и соответствующие изменения в разделе «Указатель изменений – Часть II: Оптическое стекло – Свойства» главы 12 данного каталога.

Мы также прилагаем очень большие усилия, чтобы гарантировать, что вся продукция из стекла, представленная в данном каталоге, соответствует стандартам директивы ЕС об ограничении использования опасных веществ (RoHS II), регламента ЕС о регистрации, оценке и авторизации химических веществ (REACH). Обеспечение безопасности как для человека, так и для окружающей среды, всегда было одной из приоритетных задач для компании SCHOTT. Поэтому мы чрезвычайно горды тем, что наши усилия по ограничению использования потенциально опасных веществ и применению максимально безопасных методов производства и обработки таких продуктов увенчались успехом.

Если вам требуется информация, которая не была включена в данный каталог, пожалуйста, свяжитесь с региональным представителем нашей глобальной сети продаж. Мы будем рады сотрудничать с вами при разработке индивидуального решения для удовлетворения ваших особых требований.

SCHOTT и впредь будет продолжать расширять ассортимент своей продукции и оставляет за собой право без предварительного уведомления изменять информацию, содержащуюся в данном каталоге. Последнее издание каталога было подготовлено с максимальной тщательностью; однако компания SCHOTT не несет ответственности в том маловероятном случае, если информация, содержащаяся в данном каталоге, содержит ошибки, неточности или опечатки. Настоящий каталог 0116 заменяет и отменяет все предыдущие издания. Юридически обязывающая версия данного каталога доступна на нашем сайте:

www.schott.com/advanced_optics/downloads-e

Advanced Optics
SCHOTT AG
Майнц
Январь 2016 г.



Комиссия по качеству Регистра Ллойда:
Сертификат компании SCHOTT Advanced Optics, Майнц
Золотая медаль за успешную деятельность на протяжении более 10 лет

Дополнительная информация о продукции

Одним из вопросов, которому в компании SCHOTT уделяют большое внимание, в дополнение к поставкам имеющейся продукции, является профессиональная поддержка клиентов. Наша уникальность заключается в широкой технической поддержке, и оказании помощи в ее применении до и после покупки, а также в совместных разработках согласно техническим требованиям заказчика. Мы предлагаем подробные паспорта продуктов 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.

Приведенный здесь знак включен в каталог и показывает доступность соответствующего технического документа (TIE), их обзор представлен на странице 74 данного каталога.



Подробную техническую информацию можно найти на нашем веб-сайте:
http://www.schott.com/advanced_optics/english/knowledge-center/technical-articles-and-tools/tie.html

Каталог оптических стекол

В данном каталоге Вы найдете сводку данных о наших оптических стеклах и материалах, которые находят применение в самых различных областях, от потребительских товаров до оптических систем, и производятся с использованием самых передовых научных разработок.

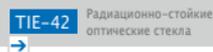
Мы предлагаем следующие категории:

- Стекла типа N, являющиеся экологически чистой альтернативой обычным стеклам, содержащим свинец и мышьяк.
- Классические виды стёкол с оксидом свинца в качестве основного компонента, обеспечивающего исключительные оптические характеристики
- Оптические стёкла с повышенными коэффициентами пропускания в видимом спектральном диапазоне, особенно в ближней ультрафиолетовой области, стекла NT и NTultra.
- Стёкла высокой однородности в ассортименте
- Стекла типа P (стекла с низкой температурой моллирования), предназначенные для процессов прецизионного литья
- Стёкла i-line для фотолитографии

- Радиационнстойкие стёкла
- Стекла XLD

При рассмотрении этих разных категорий, компания SCHOTT разделяет материалы на **предпочтительные**, которые обычно имеются в наличии на складе и могут поставляться незамедлительно, и на те виды стёкол, которые **поставляются на заказ**. Но хотя эти виды стёкол могут быть заказаны, компания SCHOTT не гарантирует их наличие на складе. Подробная информация приводится в разделе «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога.

**Технические характеристики
стекла также указаны
в данном каталоге:**



Стабилизированные церием, **устойчивые к воздействию радиации стёкла** используются для сохранения пропускной способности в среде с ионизирующим излучением, они также входят в число стекол, изготавливаемых на заказ.

Оптические характеристики стекол, приведенные в данном каталоге, предназначены для использования в оптических системах, и поэтому их характеристики указаны относительно воздуха.

Формы поставки

Компания SCHOTT поставляет имеющиеся в продаже стекла **в различном виде**. Более подробные сведения представлены в главе 7.

Управление качеством

Компания SCHOTT имеет глобальную централизованную систему управления производством. Она включает в себя также требования Международной Организации по Стандартизации по управлению качеством (ISO 9001), по управлению природопользованием (ISO 14001), по управлению энергопотреблением (ISO 50001), а также Принципы и Требования компании SCHOTT в отношении защиты окружающей среды, охраны здоровья и труда в соответствии со стандартом Системы управления промышленной безопасностью и здоровьем (OHSAS 18001). В результате достигается соблюдение таких норм природоохранного законодательства, как RoHS II и REACH (подробнее см. Главе 3.6) и обеспечивается высокий уровень качества (см. Главу 6.1). Кроме того, недавно компания SCHOTT внедрила большую часть требований стандарта ISO 12123 «Оптика и фотоника – спецификация исходного оптического стекла». Изменения учтены в данной обновленной версии каталога. Соответствующие ссылки приводятся в описаниях.

1 Оптические характеристики

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



Основными 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 относятся к показателю преломления n_d , вторые три цифры – число Аббе v_d . Три дополнительные цифры показывают плотность стекла.

Таблица 1.1: Примеры кодов стекла

Тип стекла	n_d	v_d	Плотность	Код стекла
N-SF6	1,80518	25,36	3,37	805254.337
SF6	1,80518	25,43	5,18	805254.518

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.

Предпочтительные оптические стекла группируются в виде семейств на схеме n_d/v_d или n_e/v_e . Семейства стёкол перечисляются в порядке уменьшения чисел Аббе в разделе «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога.

1.2 Допуски на показатель преломления и числа Аббе

Допуски на показатель преломления и числа Аббе приведены в таблице 1.2. Стандартное качество при поставке тонко-отожжённого стекла соответствует категории 3 для n_d и v_d . По запросу мы можем поставлять материал с более высоким

Таблица 1.2: Допуски по показателю преломления и числу Аббе (согласно ISO 12123)

	n_d	v_d
Категория 0,5*	$\pm 0,0001$	$\pm 0,1\%$
Категория 1	$\pm 0,0002$	$\pm 0,2\%$
Категория 2	$\pm 0,0003$	$\pm 0,3\%$
Категория 3	$\pm 0,0005$	$\pm 0,5\%$

* только для отдельных марок стекол

уровнем требований. Отдельные марки стекол могут поставляться в категории 0,5 по показателю преломления и числу Abbe. Доступные марки стекол указаны в разделе «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога. Поставка в категории 0,5 также возможна для тонко-отожжённого оптического стекла и прессованных изделий.

Все поставки тонко-отожжённого оптического стекла выполняются отдельными партиями (см. рис. 1.1).

Партия может быть в виде одного блока или в виде нескольких полос. Поставляемые партии обозначаются соответствующими номерами.

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

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

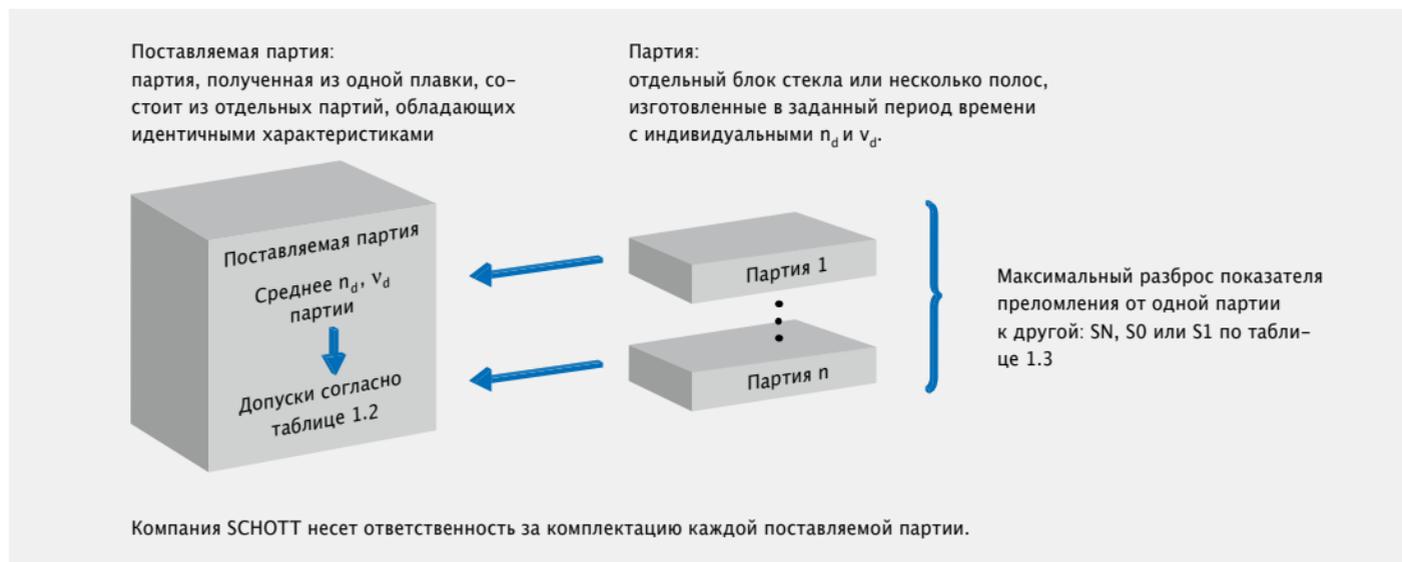
Все части поставляемой партии тонко-отожжённого оптического стекла, резаных заготовок и прессованных изделий отвечают требованиям стандартного качества на изменения показателя преломления, как это указано в Таблице 1.3.

По требованию, заготовки заказа могут также поставляться партиями с более жесткими требованиями на изменения показателя преломления, по сравнению с теми, что указаны в Таблице 1.3.

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

Тонко-отожжённого стекла, граненые заготовки		Прессованные изделия	
Обозначение	Разброс показателей преломления	Обозначение	Разброс показателей преломления
SN	$\pm 10 \cdot 10^{-5}$	LN	$\pm 20 \cdot 10^{-5}$
S0	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$	LH1	$\pm 10 \cdot 10^{-5}$
S1	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	LH2	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$

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



1.3 Сертификаты испытаний по показателю преломления и дисперсии

1.3.1 Сертификаты типовых испытаний

Мы предоставляем сертификаты типовых испытаний в соответствии со стандартом ISO 10474 для всех поставляемых партий тонко-отожжённого оптического стекла. Содержащаяся в них информация основана на выборочных испытаниях и относится к среднему положению оптических констант 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.

Таблица 1.4: Информация о показателях преломления и дисперсии в сертификатах типовых испытаний

Оптическое положение	n_d, v_d, n_e, v_e
Показатель преломления	$n_g, n_F, n_D, n_e, n_d, n_{632,8}, n_C, n_C, n_i, n_s, n_t$
Дисперсия	$n_F - n_C, n_d - n_C, n_F - n_d, n_F - n_e, n_g - n_F, n_F - n_C, n_F - n_e$

По требованию, на отдельные стеклянные изделия ($\pm 2 \cdot 10^{-5}$ для показателя преломления и $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ для дисперсии) могут предоставляться сертификаты прецизионных испытаний (или испытаний с повышенной точностью). В этих сертификатах дополнительно приводятся константы для дисперсионной формулы Зелмейера для применяемого спектрального диапазона, которые были определены на основе полной серии измерений.

1.3.2 Сертификаты прецизионных измерений УФ-ВИД-ИК

Сертификаты прецизионных измерений выдаются по требованию, и в каждом случае они относятся к конкретно взятым стеклянным заготовкам. Для видимого спектрального диапазона в этих сертификатах приводятся те же самые величины, что и в сертификатах типовых испытаний, 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 Зелмейера могут указываться для применяемого спектрального диапазона.

Измерения проводятся с использованием переменного спектрометра. Точность составляет: для показателя преломления $\pm 1 \cdot 10^{-5}$, для дисперсии $\pm 3 \cdot 10^{-6}$. По требованию, независимо от марки 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 требованию, температура измерений может быть изменена на постоянное значение в диапазоне от 18 до 28 °С. Стандартная атмос-

фера 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 азотной среде.

1.4 Однородность показателя преломления



Однородность показателя преломления – это величина, 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 оптического элемента. Данное значение, как правило, отвечает максимальному изменению показателя преломления в пределах желаемой испытательной апертуры (например, 95% от физического размера). Изменение показателя

теля преломления рассчитывается из интерферометрически измеренной деформации волнового фронта. Во многих случаях допустимо вычитание некоторых абберационных членов, имеющих пренебрежимо малое влияние для данной области применения. Например, осевые aberrации (зависящие только от фокуса) 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 поделены 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.

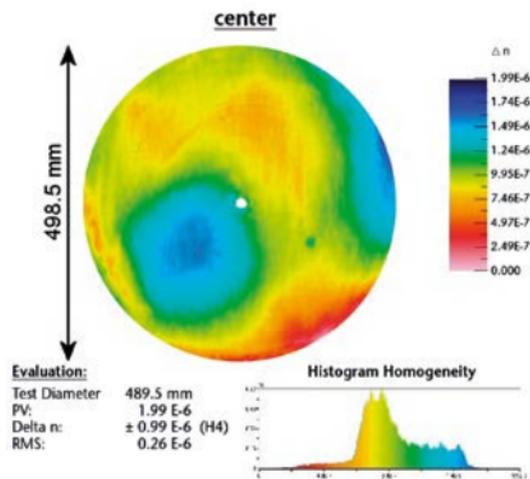
В зависимости от объема оптического элемента, а также других факторов, таких как тип стекла и размер используемой заготовки, измерение волнового фронта деформации может осуществляться на одном стекле. Стекла с диаметром до 500 мм могут быть протестированы с помощью интерферометра Физо. Стекла с диаметром до 1500 мм измеряются в субапертурах с диаметром до 500 мм. В дальнейшем отдельные измерения объединяются с помощью специального программного обеспечения.

Индивидуальные интерферограммы могут быть доступны для каждого отдельного стекла.

Таблица 1.5: Однородность оптического стекла по стандартам ISO 10110 и ISO 12123

Класс одно- род- ности	Максимальное изменение показателя преломления	Применимость, возможность поставки
H1	$40 \cdot 10^{-6}$	Для отдельных граненых заготовок
H2	$10 \cdot 10^{-6}$	Для отдельных граненых заготовок
H3	$4 \cdot 10^{-6}$	Для отдельных граненых заготовок, но не для всех размеров.
H4	$2 \cdot 10^{-6}$	Для отдельных граненых заготовок, но не для всех размеров, не для всех типов стекол
H5	$1 \cdot 10^{-6}$	Для отдельных граненых заготовок, но не для всех размеров, не для всех типов стекол

Рис. 1.2: Качество H4 заготовки типа SCHOTT N-BK7®
диаметром 1000 мм, измеренное в центральной
апертуре 500 мм



1.4.1 Стекло высокой однородности в ассортименте

Компания SCHOTT предлагает большой выбор оптических стекол в виде тонко-отожжённых резаных заготовок высокой однородности в ассортименте.

Таблица 1.6. представляет краткую характеристику имеющихся в наличии марок стекол, их размеров и уровня однородности. Указанное значение однородности достигается как минимум для 90% от диаметра заготовки. Для меньших диаметров также возможна поставка стекол более высокой однородности по запросу.

Таблица 1.6: Ассортимент стекол высокой однородности, их максимально допустимые размеры и соответствующие характеристики однородности

Тип стекла*	Форма поставки*	Максимально допустимые размеры*	Уровень однородности
F2	диски	Д 290 мм, толщина 100 мм	H4
LF5	диски	Д 220 мм, толщина 45 мм	H4
LLF1	диски	Д 220 мм, толщина 45 мм	H4
SCHOTT N-BK7®	блоки	400 мм x 400 мм x 70 мм	H4
	блоки	250 мм x 250 мм x 100 мм	H4
N-FK5	диски	Д 240 мм, толщина 50 мм	H4
N-FK51A	диски	Д 200 мм, толщина 40 мм	H4
N-KZFS11	диски	Д 170 мм, толщина 40 мм	H4
N-LAK22	диски	Д 200 мм, толщина 50 мм	H4
SF5	блоки	150 мм x 150 мм x 60 мм	H4

*Как и ранее, под заказ могут быть доступны и другие марки стекол, формы поставки и размеры (размеры зависят от марки стекла).

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 плавки, 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 «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога 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 получение минимальных значений коэффициента внутреннего пропускания. Для этого необходимо уточнить условия поставки. В разделе «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога приведены значения коэффициента внутреннего пропускания при длине волны 400 нм для образца толщиной 10 мм.

Некоторые марки 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 «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога 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 λ_{80} и λ_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 (λ_{70} и λ_5) из-за высоких потерь на отражение в этих стеклах. Допуск для цветового кода обычно находится в пределах ± 10 нм.

1.5.1 Стекла i-line

Стекла i-line – это марки оптических стекол, которые характеризуются как высоким коэффициентом пропускания ультрафиолетового излучения при длине волны 365 нм, так и высокой однородностью показателя преломления. Такие типы стекол, например, FK5HTi, LF5HTi, LLF1HTi и N-BK7HTi можно заказать по индивидуальным параметрам или в виде готовых компонентов.

Стекла i-line отличаются:

- высоким коэффициентом пропускания при длине волны 365 нм
- высокой однородностью показателя преломления (см. таблицу 1.7)
- превосходным качеством структуры
- пренебрежимо малым двойным лучепреломлением под воздействием внутренних напряжений благодаря четко определенному процессу отжига
- максимальный разброс значений показателя преломления в пределах одной поставляемой партии составляет менее $\pm 5 \cdot 10^{-6}$

Таблица 1.7: Однородность показателя преломления стекол i-line в зависимости от размеров

Размеры	Максимальный разброс значений показателя преломления
Д 150 мм	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Д 200 мм	$1,0 \cdot 10^{-6}$ (H5)
Д 250 мм	$2,0 \cdot 10^{-6}$ (H4)

1.6 Возможности методов измерения оптических характеристик

Таблица 1.8 дает обзор точности методов измерения, используемых для определения оптических характеристик при обеспечении качества оптического стекла.

Показатель		Точность		Метод измерения	Спектральный диапазон	Образец	
						Форма	Формат
Показатель преломления	Стандартное измерение	показатель преломления $\pm 3 \cdot 10^{-5}$	дисперсия $\pm 2 \cdot 10^{-5}$	Рефрактометр с V-блоком	g, F', F, e, d, C', C (v_d, v_e)	кубическая	20·20·5 мм ³
	Измерение с повышенной точностью	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$				
	Прецизионное измерение	$\pm 0,4 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,2 \cdot 10^{-5}$	Призмный спектрометр	185–2325 нм	призматическая	сторона: 30 мм высота: 22 мм
Внутренний коэффициент пропускания		$\pm 0,5\% T$ $\pm 0,3\% T$		Спектральный фотометр	250–2500 нм 400–700 нм	кубическая	30х30хтолщина мм ³
Однородность показателя преломления		~10 нм волн. фронт rv		Интерферометр Физо	633 нм	прямоугольная, округлая	диаметр до ~ 1500 мм
Температурные коэффициенты преломления		$\pm 5 \cdot 10^{-7} \cdot K^{-1}$		Призмный спектрометр	i, h, g, F', e, d, C', t, 1060 от -100°C до +140°C	призматическая односторонняя металлизированная	сторона: 30 мм высота: 22 мм
Двойное лучепреломление под действием внутренних напряжений, с высокой точностью		1 нм абсолютное значение (1 мм пространственное разрешение)		Strainmatic (ILIS), метод Сенармона	587 нм	произвольная форма	диаметр до 300 мм

2 Качество макроструктуры

2.1 Свили



Отклонения показателя преломления в стекле на небольших расстояниях называются свилем. Эти дефекты похожи на полосы, в которых показатель преломления изменяется с типичным периодом от десятых долей миллиметра до одного миллиметра.

Стандарт ISO 10110, часть 4, содержит классификацию свилей. Поскольку этот стандарт относится к готовым оптическим компонентам, то эта характеристика только условно применима к оптическому стеклу в первоначально поставляемом виде. Стандарт оценивает свили по классам 1–4 согласно площади, которую занимает этот дефект на оптически эффективной общей поверхности компонента. Таким образом, рассматриваются только такие свили, 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 в себя свили с искажением вол-

нового 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 свилей в оптической системе намного выше.

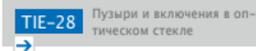
Свилы в оптических стеклах определяются при помощи теневого графического метода с использованием стандартов сравнения с известными отклонениями волнового фронта. В таблице 2.1 представлены предельные допуски в соответствии со стандартом ISO 12123.

Таблица 2.1: Границы допуска на свили (в соответствии со стандартом ISO 12123)

Класс свили	Допустимый предел отклонения фронта свили на 50 мм длина пути [нм]	Обычно применяется для
Стандарт	< 30	Сырое (исходное) стекло
VS1-3	Не видны при использовании теневого метода	Резаные заготовки

Категория качества VS определяет оптическое стекло с повышенными требованиями к наличию свилей при отборе. Для оптического стекла в этой категории качества чувствительный теневой метод не регистрирует наличия свилей. Для применения в призмах компания SCHOTT предлагает категорию качества VS в двух или трех направлениях, перпендикулярных друг другу.

2.2 Пузыри и включения



Оптическое стекло в исключительно высокой степени свободно от пузырей. Тем не менее, в зависимости от состава стекла и вследствие необходимости использовать экономичную технологию его изготовления, полностью избежать наличия пузырей в стекле не удастся.

Количество пузырей описывается их полной площадью поперечного сечения в мм² в объеме стекла 100 см³, 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.

Максимально допустимая площадь поперечного сечения всех пузырей и включений 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.

Таблица 2.2: Допуски на пузыри и включения в оптических стеклах

Качество пузырей	Стандарт	VB	EVb
Максимально допустимая площадь поперечного сечения всех пузырей и включений в мм ² на 100 см ³ объема стекла	0,03	0,02	0,006
Максимально допустимое количество на 100 см ³	10	4	2

Специальные области применения, например, мощные лазеры, светоделительные призмы, оптико-электронные приборы и системы и дифракционные решетки высокого разрешения допускают использование только стекол с очень малым количеством очень мелких пузырей/включений. На заказ мы можем поставлять стекло, отвечающее таким требованиям.

2.3 Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений

TIE-27

Напряжение в оптическом стекле



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 марки 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 неэффективен 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 перепрессования, допустимыми являются более высокие внутренние напряжения. Это не относится к механической обработке.

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

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

3 ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

TIE-30
 → Химические свойства
 оптических стекол

Химическая стойкость полированных стеклянных поверхностей зависит от состава оптического стекла. Фосфатные стекла (PK) и фторсодержащие стекла (FK) более чувствительны к воздействию кислот и щелочей, по сравнению с боросиликатными стеклами (напр. SCHOTT N-BK7®). Поэтому необходимо со всей тщательностью подходить к процессу полировки, очистки и защиты обработанных поверхностей чувствительных типов стекол.

Для получения более подробной информации пожалуйста, свяжитесь с нами.

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

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.

Для испытания климатической стойкости стекла используется ускоренная процедура, в которой полированные, без покрытия, стеклянные пластины подвергаются воздействию атмосферы с насыщенными парами воды, температура которой изменяется от 40 °C до 50 °C. 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 ΔН между матовостью до и после испытания используется в качестве меры результирующего изменения поверхности. Измерения выполняются с использованием сферического мутномера. Классификация проводится на основе увеличе-

ния мутности на пропускание ΔH после 30-часового периода испытаний. В таблице 3.1 приводятся классы климатической стойкости.

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

Класс климатической стойкости CR	1	2	3	4
Увеличение мутности ΔH	< 0,3%	$\geq 0,3\%$ < 1,0%	$\geq 1,0\%$ < 2,0%	$\geq 2,0\%$

На стеклах в классе CR 1 отсутствуют 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 ацетата 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 обра-

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	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

зовывать 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 своей обработки.

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. Значение последней цифры поясняется 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.

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	
Время (ч)	> 100	10–100	1–10	0,1–1	< 0,1	> 10	1–10	0,1–1	< 0,1

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 в себя 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.

3.4 Щелочестойкость и стойкость к фосфатам

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 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $c = 0,01$ 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.

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.

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

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

3.5 Идентификация видимых изменений поверхности

Качество произошедших изменений поверхности, испытывавшей воздействие образцов, оценивается невооруженным глазом. Ниже при-

водятся пояснения цифр, стоящих после классификации кислотной, щелочной и фосфатной стойкости:

- .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, директива ЕС RoHS II (об ограничении использования опасных веществ), и регламент ЕС REACH (о регистрации, экспертизе и лицензировании химических веществ)

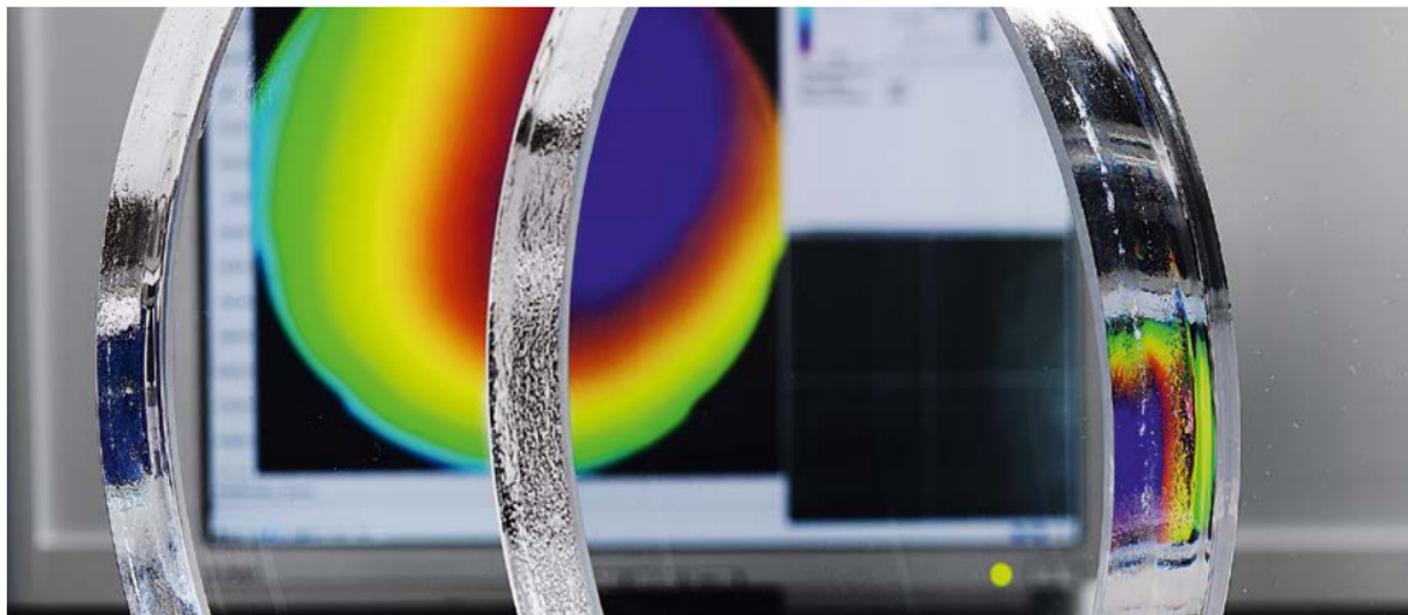
Подразделение Advanced Optics занимается выпуском, обработкой и распространением материалов в соответствии с Системой компании SCHOTT по охране окружающей среды (IMSU), а также с Системой управления защитой окружающей среды, охраной здоровья и труда (EHS) с целью не допустить загрязнения окружающей среды, содействовать сохранению природных ресурсов, а также с тем, чтобы следовать принципам и стандартам нашей Системы управления качеством. Обработка сырья, плавка партий стекла и горячая прессовка выполняются с соблюдением принятых норм техники безопасности. С отходами производства, оставшимися в результате резки, шлифовки и полировки

стекло, обращаются в соответствии с Правилами сбора, хранения и удаления отходов, принятыми для данной местности. Все оптические материалы, представленные в данном каталоге, соответствуют требованиям Директивы ЕС 2011/65/EU (RoHS II). Оптические материалы абсолютно не содержат ртути (Hg), хрома VI (CrVI), кадмия (Cd) и замедлителей горения PBB или PBDE. Типы стекол N и P подчиняются требованию о максимальной мере концентрации в 0,1% для свинца, как указано в Приложении II к RoHS II. Некоторые классические типы стекол содержат оксид свинца для обеспечения определенных оптических характеристик данных продуктов. Они также соответствуют требованиям RoHS II с учетом исключения 13(a), внесенного в Приложение III к RoHS II. 4 июня 2015 года на основании поправки к Приложению II к директиве RoHS было ограничено использование еще четырех веществ: бис (2-этилгексил) фталата (ДЭГФ), бутилбензилфталата (BBP), дибутилфталата (ДБФ) и диизобутил фталата (DIBP). Измененная директива RoHS вступит в силу с 22 июля, 2019. Все наши оптические материалы уже соответствуют данным требованиям. В дополнение к вышесказанному, все материалы, освещаемые в данном каталоге, соответствуют требованиям Регламента ЕС 1907/2006/EC (REACH: регистрация, лицензирование и экспертиза химических веществ).

Пытаясь обеспечить доступность нашего ассортимента оптического исходного стекла для всех видов применения, мы начинаем с процесса разработки материала. За любыми инновационными идеями следует процесс работы над конкретным веществом и изучение требований законодательства для обеспечения соблюдения стандартов RoHS II и REACH и соответствующих международных норм. В каждом регионе поправки к действующему законодательству отслеживаются специально приглашенными специалистами (в Европе/Африке, Америке и Азии), и параллельно с этим компания SCHOTT входит в Ассоциацию Предприятий Стекольной Промышленности для раннего выявления проблем и вопросов, связанных с выполнением внешних требований и нормативов.

Например, для обеспечения соблюдения Регламента ЕС о химических веществах REACH, группа Advanced Optics в период с 2010 по 2013 год произвела классификацию всех типов стекол и провела целый ряд различных химических анализов и выщелачивающих тестов. Несмотря на то, что подавляющее большинство стекол не нуждаются в регистрации, применяя такой системный подход, группа Advanced Optics смогла выявить несколько стекол, подлежащих обязательной регистрации. В связи с этим компания SCHOTT подала соответствующие регистрационные

досье в Европейское Химическое Агентство (ECHA) до установленной даты (31 мая 2013 года). Кроме того, мы также тщательно соблюдаем запрет на использование веществ, включенных в список особо опасных веществ (SVHC), и следим за тем, чтобы все используемые материалы были включены в список разрешенных к применению веществ (Приложение XIV к директиве REACH) в сотрудничестве с нашими поставщиками сырья в целях соблюдения соответствующих обязательств по информированию и обеспечения дальнейшего использования этих веществ в наших производственных процессах. Все это делается для того, чтобы гарантировать, что наши клиенты как конечные потребители продукции также соблюдают требования REACH в тех случаях, когда применяются стекла SCHOTT. Пожалуйста, ознакомьтесь также с правилами Техники Безопасности или Паспортом Безопасности Продукта, который поставляется вместе с выбранным вами стеклом.



4 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

4.1 Твердость по Кнупу

TIE-31

Механические и тепловые свойства оптических стекол



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 паспортах продуктов 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)

TIE-31

Механические и тепловые свойства оптических стекол



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 заданных 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	≤ 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 пластичное состояние может наблюдаться от 10^4 до 10^{13} дПа·с.

Так называемая температура размягчения E_W 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 α от температуры, для следующих температурных интервалов обычно приводятся два средних значения коэффициента линейного теплового расширения α :

α (-30°C ; $+70^{\circ}\text{C}$) в качестве информации, необходимой для описания поведения стекла при комнатной температуре (значения указаны в разделе «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога):

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

Фосфатные стекла (PK) и фторсодержащие стекла (FK) весьма чувствительны к резким перепадам температуры во время процессов обработки, очистки и обслуживания из-за высокого температурного коэффициента линейного расширения.

5 Тепловые свойства

5.1 Теплопроводность



Механические и тепловые свойства оптических стекол



Диапазон значений теплопроводности для стекол находится в пределах от 1,38 Вт (м·К) (чистое кварцевое стекло) до примерно 0,5 Вт (м·К) (стекла с высокой концентрацией свинца). Наиболее часто используемые силикатные стекла имеют значения от 0,9 до 1,2 Вт (м·К).

Значения теплопроводности, представленные в паспортах продуктов, верны для стекол при температуре 90 °С.

5.2 Теплоемкость



Механические и тепловые свойства оптических стекол



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 характерная 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 Advanced Optics AO SCHOTT (Майнц) использует глобальную Систему управления качеством на основании ISO9001/ISO14001. Сертификат был выдан Комиссией по обеспечению качества Регистра Ллойда (Lloyd's Register Quality Assurance), Кельн, Германия.

Исследовательские лаборатории подразделения Advanced Optics в Майнце по исследованию физических и химических качеств аккредитованы национальным советом по аккредитации Федеративной Республики Германии (DAkKS) на основе системы стандартов ISO 17025:2005. Регулярные круговые испытания проводятся Федеральным физико-техническим институтом (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Брауншвейг, Германия. Институт PTB – это национальный метрологический инсти-

тут, который предоставляет научно-технические услуги (<http://www.ptb.de/cms/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 определении оптических характеристик и характеристик внутреннего качества в процессе непрерывного изготовления оптического стекла, а также на индивидуальных измерениях резаных заготовок с учетом требований заказчика.

Профессиональная работа с высококачественными материалами требует точных данных о свойствах этих материалов. Поэтому, как понял еще Фраунгофер, прогресс в производстве оптических стекол и в способах их применения всегда ограничивается 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, с сертификатом типовых испытаний. Сертификат типовых испытаний относится к партии поставляемого материала, для которой соблюдаются стандартные допуски к разбросам значений. Разброс значений показателя преломления от шихты к шихте 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 статисти-

чески путем сравнения со стандартными значениями, указанными в Паспорте продукта.

6.3 Повышенное качество поставляемого материала

В дополнение к стандартному качеству поставляемого материала, указанному в Таблице 6.1, компания SCHOTT также будет предлагать повышенное качество для различных форм поставки.

Таблица 6.1: Дополнительные категории качества для различных видов поставок

	Стекло для горячего прессования	Прессованные изделия	Тонко-отожжённое стекло	Резаные заготовки
Категории по показателю преломления	2, 1	2, 1, 0,5	2, 1, 0,5	2, 1, 0,5
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 (DNDT)
Разброс показателя преломления	S0, S1	LH1, LH2	S0, S1	S0, S1
Однородность	-	По запросу	-	H1 - H5
Двойное лучепреломление под воздействием внутренних напряжений	-	SK	SK	SK, SSK
Свиль	-	-	-	VS*
Пузыри/включения	-	VB, EVB	-	VB, EVB
Примечания			Может обрабатываться как минимум одна поверхность	Свиль и однородность измерены в одном и том же направлении

* возможно в 1-3 направлениях

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

Мы рекомендуем заблаговременно проверять наличие требуемого материала.

Могут также выполняться и такие требования, которые выходят за рамки указанных категорий качества. В этом случае следует связаться с нами.

7 Виды поставляемого материала и допуски

В подразделении Advanced Optics освоен полный цикл производства продукции от синтеза стекла с учетом требований заказчика и его производства через все стадии вплоть до измерений финишной обработки высокоточных оптических деталей. За счет эффективного распределения наших широких возможностей в выполнении различных видов обработки (полировка, нанесение интерференционных покрытий, склейка и т.п.) мы предлагаем широкий ассортимент различных специализированных оптических компонентов, таких как линзы (асферические, сферические, цилиндрические), призмы, зеркала, окна, подложки и др.

В каталоге вы найдете подборку некоторых видов поставляемых продуктов:

7.1 Стекло стандартных размеров (стеклянные блоки и полосы)



7.1.1 Стеклоблоки

Блоки имеют до пяти необработанных поверхностей в состоянии непосредственно после отливки. Обычно как минимум одна поверхность находится в обработанном состоянии.

Края скруглены. Блоки прошли тонкий отжиг и поэтому пригодны для холодной обработки.

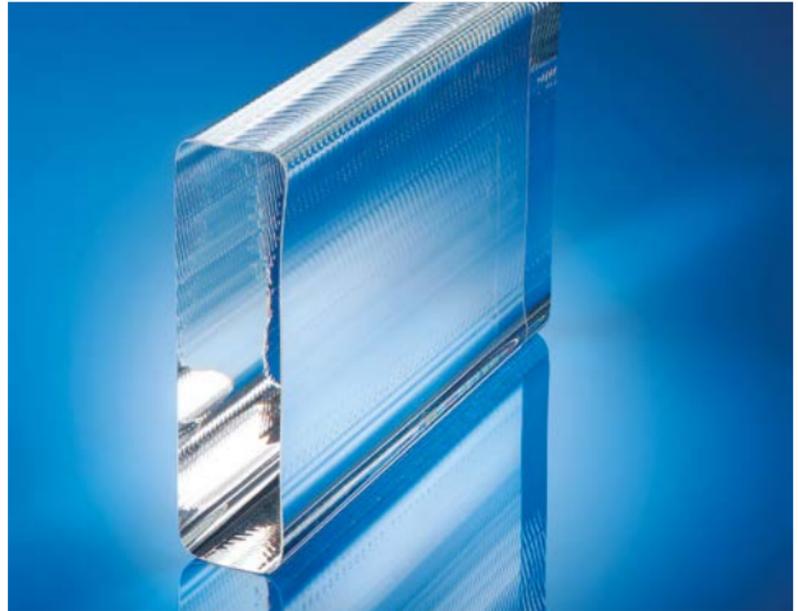
Характеризуются параметрами: *длина, ширина, толщина.*

7.1.2 Стекланные полосы

Обычно полосы имеют необработанные или шлифованные поверхности и колотые или обрезанные края.

Полосы подверглись либо грубому отжигу, либо тонкому отжигу. Грубо отожженные полосы пригодны только для производства прессовок посредством повторного отжига.

Характеризуются параметрами: *длина, ширина, толщина.*



7.2 Резаные заготовки



7.2.1 Пластины

Пластины представляют собой заготовки в виде четырехугольников.

Все шесть сторон обработаны, края имеют защитные фаски.

Характеризуются параметрами: *длина, ширина, толщина.*

При стандартной обработке мы получаем поверхность с шероховатостью $R_a = 20-25$ мкм. На заказ могут поставляться пластины с лучшими 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 ¹⁾ [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	

¹⁾ Возможна толщина меньше указанных значений. Направляйте запрос.



7.2.2 Диски

Диски – это цилиндрические изделия, в которых диаметр больше толщины. В дисках все поверхности прошли механическую обработку.

Характеризуются параметрами: *диаметр, толщина.*

При стандартной обработке мы получаем поверхность с шероховатостью $R_a = 20-25$ мкм. На заказ могут поставляться диски с лучшими 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 ¹⁾ [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	

¹⁾ Возможна толщина меньше указанных значений. Направляйте запрос.



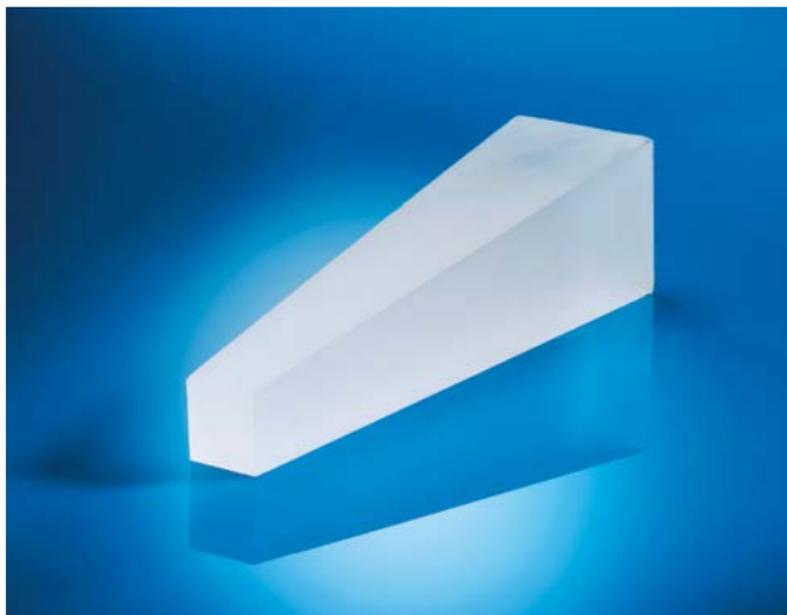
7.2.3 Обработанные стержни

Обработанные стержни – это цилиндрические изделия, которые механически обработаны со всех сторон. Длина стержня всегда больше диаметра.

Характеризуются параметрами: *диаметр, длина*.

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

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



7.2.4 Граненые призмы

Резанные или граненые призмы – это призмы, получаемые путем резки. Они могут шлифоваться со всех сторон.

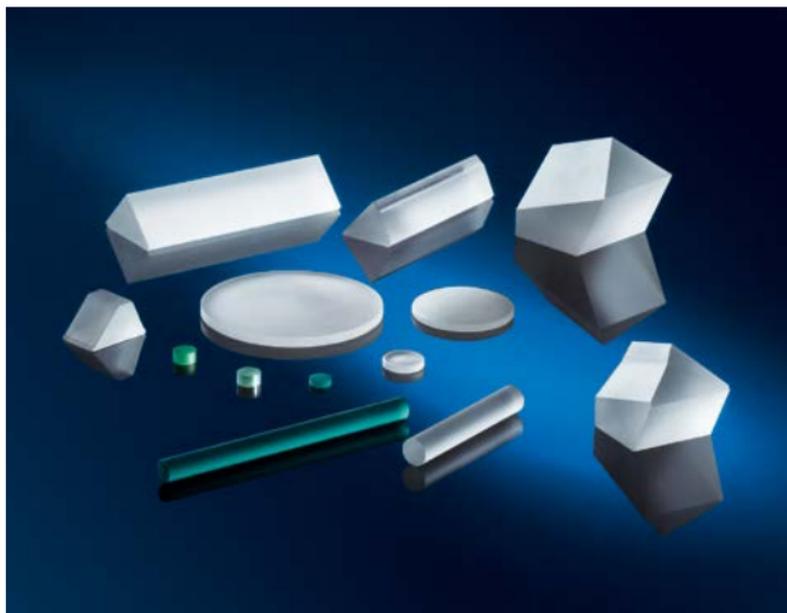
При помощи различных технологий производства можно получать равносторонние и неравносторонние призмы различной формы (конические, пентапризмы, трехгранные, ...)

Характеризуются 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

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	$\pm 0,075$	$\pm 0,3$	2	1	0,6 x \emptyset
> 18– 30	$\pm 0,11$	$\pm 0,3$	3	1,5	0,45 x \emptyset
> 30– 60	$\pm 0,14$	$\pm 0,3$	4	3	0,4 x \emptyset
> 60– 90	$\pm 0,175$	$\pm 0,3$	5	4	0,3 x \emptyset
> 90–120	$\pm 0,25$	$\pm 0,4$	6	5	0,3 x \emptyset
>120–140	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	7	5	0,3 x \emptyset
>140–180	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	7	6	0,3 x \emptyset
>180–250	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	10	8	0,3 x \emptyset
>250–320	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	10	8	0,3 x \emptyset

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	Углу- бление [мм]
5– 30	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$		2
> 30– 60	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$		2
> 60– 90	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5^\circ$	2,5
> 90–150	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$		2,5
>150–180	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$		3
>180–305	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$		4

7.3.2 Прессованные призмы

Прессованные призмы – это изделия горячего формования угловой призматической формы.

По требованию возможны другие размеры.

Характеризуются параметрами: *чертеж*.

7.4 Стержни из оптического стекла для миниатюризированных шариковых линз, дисков и др.!

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

Стержни из оптического стекла, поставляемые компанией SCHOTT для таких областей применения, в которых используются небольшие оптические компоненты, например, шариковые 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

TIE-40

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 литья 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 литья с типичными температурами в диапазоне от 500 °С до 700 °С. Низкотемпературные процессы способствуют продлению срока службы материала, из которого изготавливается форма.

R-стекла – это недавно разработанные стекла с низкой температурой стеклования, которые специально предназначены для прецизионного формования. Буква “R” указывает на то, что эти стекла изготовля-

ются исключительно для прецизионного формования, и что они не содержат свинца и мышьяка. Кроме этого, были подобраны некоторые традиционные оптические стекла, которые также можно использовать для прецизионного формования, главным образом, благодаря их низкой температуре стеклования.

Обычно стекла для прецизионного формования – это грубо отожженные стекла. Они выпускаются 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 коэффициентом преломления, полученным на основе стандартной скорости отжига 2 К/ч.

Раздел «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога содержит значения n_d и v_d после формования с использованием стандартного процесса компании SCHOTT. Некоторые из этих значений являются предварительными данными, полученными на основе теоретической стандартной скорости отжига в 5000 К/ч. Указанное в каталоге значение n_d служит начальным значением 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 «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога.

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 «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога. В их число входят недавно разработанные Р-стекла, а также традиционные стекла, которые пригодны для прецизионного формования. Раздел «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога также содержит некоторую дополнительную информацию: кислотостойкость согласно JOGIS (Японский промышленный стандарт на оптические стекла), водостойкость согласно JOGIS, а также предел текучести / температура пластического течения стекла.

9 Номенклатура выпускаемых оптических стекол

9.1 Предпочтительные материалы

Стекла, указанные в первой части раздела с техническими данными, являются предпочтительными стеклами. Для их выпуска не требуется предварительного заказа, и обычно они хранятся на складе для немедленной поставки. Для этих стекол мы гарантируем надежные и быстрые и постоянные поставки. Поэтому рекомендуется использовать предпочтительные стекла для разработки новых оптических систем, они перечислены в нашем, так называемом, точном списке оптических стекол. Действующий вариант точного списка оптических стекол можно найти на нашем веб-сайте (http://www.schott.com/advanced_optics/english/download/index.html).

9.2 Стекла на заказ

Вторая часть раздела «Часть II: Оптическое стекло – Свойства» данного каталога описывает 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 на заказ.

10 Совокупность формул и таблица длины световых 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”

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

Отклонение ΔP от “нормальных линий”

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

$$\Delta P_{C,t} = (n_C - n_t) / (n_F - n_C) - (0,5450 + 0,004743 \cdot \nu_d) \quad (10.5)$$

$$\Delta P_{C,s} = (n_C - n_s) / (n_F - n_C) - (0,4029 + 0,002331 \cdot \nu_d) \quad (10.6)$$

$$\Delta P_{F,e} = (n_F - n_e) / (n_F - n_C) - (0,4884 - 0,000526 \cdot \nu_d) \quad (10.7)$$

$$\Delta P_{g,f} = (n_g - n_f) / (n_F - n_C) - (0,6438 - 0,001682 \cdot \nu_d) \quad (10.8)$$

$$\Delta P_{i,g} = (n_i - n_g) / (n_F - n_C) - (1,7241 - 0,008382 \cdot \nu_d) \quad (10.9)$$

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 паспортах продуктов 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_{λ} 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 λ

Преобразование коэффициента внутреннего пропускания в толщину дополнительного слоя

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

$$\tau_{i2} = \tau_{i1}^{(d_2/d_1)} \quad (10.20)$$

τ_{i1}, τ_{i2} Коэффициенты внутреннего пропускания для толщин d_1 и d_2

Двойное лучепреломление под действием внутренних напряжений, разниця оптического пути

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

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

d Длина пути светового пучка в образце в см

σ Механические напряжения (положительные для растягивающего напряжения) в $\text{Н}/\text{мм}^2$ (= МПа)

Однородность отклонений фронта волны по интерферометрическим измерениям

$$\begin{aligned} \Delta n &= \Delta W / (2 \cdot d) \\ &= \Delta W[\lambda] \cdot 632,8 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot d[\text{mm}]) \end{aligned} \quad (10.22)$$

при указании деформации волнового фронта в единицах длины волны и контрольной длины волны 632,8 нм (гелий-неоновый лазер)

ΔW Деформация волнового фронта при двойном прохождении пучка (испытание с помощью интерферометра Физо)

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 отбора часто используемых спектральных линий

Длина волны [нм]	Обозначение	Используемая спектральная линия	Элемент	Длина волны [нм]	Обозначение	Используемая спектральная линия	Элемент
2325,42		Инфракрасная линия ртути	Hg	587,5618	d	Желтая линия гелия	He
1970,09		Инфракрасная линия ртути	Hg	546,0740	e	Зеленая линия ртути	Hg
1529,582		Инфракрасная линия ртути	Hg	486,1327	F	Синяя линия водорода	H
1060,0		Лазер на неодимовом стекле	Nd	479,9914	F'	Синяя линия кадмия	Cd
1013,98	t	Инфракрасная линия ртути	Hg	435,8343	g	Синяя линия ртути	Hg
852,11	s	Инфракрасная линия цезия	Cs	404,6561	h	Фиолетовая линия ртути	Hg
706,5188	r	Красная линия гелия	He	365,0146	i	Ультрафиолетовая линия ртути	Hg
656,2725	C	Красная линия водорода	H	334,1478		Ультрафиолетовая линия ртути	Hg
643,8469	C'	Красная линия кадмия	Cd	312,5663		Ультрафиолетовая линия ртути	Hg
632,8		Гелий-неоновый газовый лазер	He-Ne	296,7278		Ультрафиолетовая линия ртути	Hg
589,2938	D	Желтая линия натрия	Na	280,4		Ультрафиолетовая линия ртути	Hg
		(центр двойной линии)		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/english/knowledge-center/technical-articles-and-tools/tie.html

Название		
TIE-25:	Свиль в оптических стеклах	(Глава 2.1)
TIE-26:	Однородность оптического стекла	(Глава 1.4)
TIE-27:	Напряжения 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)

12 Коротко о SCHOTT Advanced Optics

SCHOTT Advanced Optics, обладая высочайшей квалификацией и профессиональным опытом, является ценным партнером для своих клиентов при разработке продуктов и поиске индивидуальных решений для различных сфер применения в оптике, фотолитографии, астрономии, оптоэлектронике, медико-биологических науках и медицинских исследованиях.

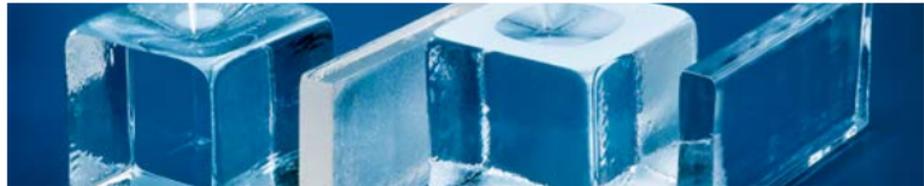
С ассортиментом из более 120 видов оптических стекол, специальных материалов и компонентов, нами была освоена полная стоимостная цепочка выпуска продукции: от разработки стекол по индивидуальным заказам до конечной обработки и измерения высокоточных оптических компонентов.

SCHOTT Advanced Optics – ваш партнер для высоких достижений в оптике.

В этой главе будет освещен основной ассортимент компании SCHOTT Advanced Optics. Он состоит из нескольких составляющих:

- **Оптические материалы**, такие как оптическое стекло, стекла с высоким и ультравысоким коэффициентом пропускания (НТ и НТУltra), активные и пассивные лазерные стекла, синтетический сапфир, стеклокерамика, прозрачная для ИК-излучения и халькогенидные стекла для ИК-области спектра.
- **Оптические компоненты**, такие как линзы, плоская оптика и призмы.
- **Оптические фильтры**, например, отрезающие фильтры для ближней ИК-области спектра, фильтры повышенной контрастности, цветное стекло для оптических фильтров, а также интерференционные фильтры.

ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ



Оптическое стекло

Более 120 видов высококачественного оптического бесцветного стекла. На протяжении уже более 130 лет SCHOTT Advanced Optics предлагает широчайший ассортимент высококачественных оптических стекол для самых различных целей применения в оптике, а также в промышленности, от товаров широкого применения до высокоточной оптики, созданной с использованием передовых научных разработок.

Наш ассортимент оптических стекол включает в себя экологичные стекла типа N, стекло для прецизионного формования (стекло с низкой температурой моллирования), а также классические виды стекол с оксидом свинца, который является важнейшим компонентом, обеспечивающим превосходные оптические характеристики стекол. Мы также предлагаем стекла с высоким коэффициентом пропускания (HT и HTUltra) и высокой однородностью.



Стекла НТ и НТUltra

Оптические стекла с повышенным коэффициентом пропускания

Один из предлагаемых видов продукции среди широчайшего ассортимента компании SCHOTT – это особенные разновидности стекол, известные своей исключительной пропускной способностью, что делает их идеально подходящими для цифровой проекции, а также для использования в высокоэнергетических оптических системах.



Стекло XLD

Оптическое стекло с низкой дисперсией
Для обозначения оптических стекол с наибольшим числом Аббе $v_d > 90$ компания SCHOTT присваивает таким стеклам суффикс XLD (экстремально низкая дисперсия). Благодаря уникальным свойствам частной дисперсии, эти стекла обеспечивают отличную возможность апохроматической коррекции. Данные фторфосфатные стекла отлично поддаются различным видам механической обработки.



Высоко однородное стекло

Исключительно высокая однородность для больших высокоточных оптических линз
Оптические стекла, применяемые в мощных лазерных и астрономических приборах, требуют чрезвычайно высокой однородности. Компания SCHOTT выпускает высококачественные стекла с однородностью вплоть до класса Н5 и в настоящее время предлагает несколько типов стекол с уровнем качества вплоть до Н4, которые можно заказать у нас со склада.



Стекло с низкой температурой моллирования

Оптическое стекло, подходящее для
прецизионного формования

Прецизионное формование – это технология, используемая для крупномасштабного производства сложных линз, например, асферических, для различных целей применения, например, в цифровых камерах и смартфонах, телекоммуникациях, линзовых решетках или микроскопии.



Стекло i-line

С высоким коэффициентом пропускания УФ при длине волны в 365 нм и высокой однородностью показателя преломления
Стекла i-line – это группу оптических стёкол, названные по длине волны i, которые характеризуются как высоким коэффициентом пропускания УФ излучения при длине волны в 365 нм, так и высокой однородностью индекса преломления. Они находят свое применение в фотолитографии: в проекционных установках i-line и установках электронно-лучевой фотолитографии для формирования интегральных схем.



Радиационностойкое стекло

С высокой радиационной стойкостью и различной дисперсией
SCHOTT Advanced Optics поставляет разнообразные марки стёкол, устойчивых к радиационному облучению, с различной дисперсией с. Такие стекла подходят для использования в условиях высокой радиоактивности. Поставляются в виде резаных заготовок, прессованных изделий и стержней, а также готовых оптических компонентов.



Рентгензащитное стекло

Уникальные оптические свойства и высокая радиационная устойчивость к воздействию ионизирующего излучения. Специально разработанные стекла, обеспечивающие защиту от радиационного излучения, с диапазоном плотностей от 2,5 до 5,2 г/см³. Обладают рядом оптических и экранирующих свойств, и могут использоваться в защитных экранах, проектируемых по индивидуальному заказу. Идеальное сочетание высокой экранирующей способности и устойчивости к ионизирующему излучению.



Синтетический сапфир

Один из наиболее твердых, прочных и устойчивых к царапинам материалов. Характеризуется широкой областью пропускания, от УФ области до средневолнового диапазона ИК-области спектра (250–5 000 нм). Этот материал способен выдерживать экстремальные условия окружающей среды и колебания температуры. Компания SCHOTT поставляет сапфир в обработанном виде в соответствии с техническими требованиями заказчика.



Халькогенидные стекла для ИК-области спектра

Группа стёкол для ИК-области спектра с высоким коэффициентом пропускания в коротковолновой, средневолновой и длинноволновой ИК-областях спектра. Стекла для ИК-области спектра отличаются отличной пропускной способностью в ИК-диапазоне (КВ, СВ, ДВ). Данные виды стёкол охватывают стандартные области прозрачности ИК диапазона в 3 -5 μm и 8 -12 μm , но могут пропускать и на уровне 0,7 μm . Данные стекла применяются в системах ночного видения, тепловизорах, в медицинской технике и т.д.



Стеклокерамика, прозрачная для ИК-излучения

Передовой материал для применения в медицинской технике, измерительных приборах и для защиты от ИК-излучения

Сульфид цинка (ZnS) является одним из ключевых материалов для широкополосных инфракрасных окон, куполов и оптики. Никакие другие материалы не обладают таким сочетанием оптических свойств и устойчивости к внешнему воздействию. Однако, обычный сульфид цинка производится путем химического

осаждения из паровой фазы (CVD), что не позволяет в полной мере воспользоваться всеми преимуществами данного материала. Компания SCHOTT разработала процесс производства стеклокерамики из поликристаллического сульфида цинка (SCHOTT IRC-1), которая имеет значительно улучшенные оптико-механические свойства по сравнению с материалами, полученными по технологии CVD.

ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ



Оптические компоненты

Различные продукты для разнообразных областей применения

Компания SCHOTT предлагает широкий спектр различных типов компонентов для применения в области оптики, фотолитографии и научных исследований. Знаменитая своими передовыми инновациями, высоким качеством продукции и превосходным обслуживанием, компания SCHOTT Advanced Optics применяет интегрированные технологические процессы, включающие полный цикл – от разработки материалов до финишной обработки компонентов.

Мы создали полную производственную цепочку! Ассортимент обработанных компонентов включают в себя прецизионные формованные, полированные, просветленные линзы, при-

змы, оптические стеклянные фильтры и интерференционные фильтры, а также прецизионные компоненты, такие как детали, обработанные на станках с ЧПУ, плоскопараллельные подложки и кристаллические пластины.

Более подробную информацию о нашем обширном ассортименте прецизионных оптических компонентов можно найти в Интернете по адресу: http://www.schott.com/advanced_optics/english/products/optical-components/index.html



Асферические линзы

Асферика для превосходного качества изображения

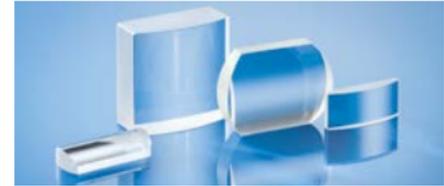
Благодаря уникальной структуре поверхности, асферические линзы устраняют монохроматические аберрации и в результате этого обеспечивают наилучшее качество всего изображения. Они используются вместо мультисферических сборных установок и позволяют добиться более компактного дизайна.



Сферические линзы

Одиночные линзы, дублеты и триплеты различных форм

Сферические линзы находят применение в таких приборах, как камеры, проекторы и микроскопы, для того чтобы собирать, фокусировать и отклонять свет, и часто являются компонентами линзовых систем, выполняющих ахроматическую коррекцию.



Цилиндрические линзы

Широкий выбор различных линз с конкретными характеристиками
У сферических линз имеется сферический радиус по одному направлению. Это позволяет свету фокусироваться по одной оси. Таким образом, точка света будет вытягиваться в единую линию. Цилиндрические линзы могут иметь различную область применения, включая сканирование штрих-кодов или лазерное проецирование.



Призмы

Высококачественные оптические компоненты, созданные по индивидуальным требованиям заказчика

Призмы – это прозрачные оптические элементы с плоскими полированными поверхностями, которые преломляют, отражают и рассеивают свет. Их удобно встроить внутрь оптической системы, к тому же они обладают прекрасной теплостойкостью. Возможно полное внутреннее отражение, с тем чтобы избежать потери света в световом потоке.



Окна и подложки

Наивысшая точность благодаря использованию различных материалов

Подложки – это компоненты, служащие в качестве основы, на которую потом наносят основной слой для производства таких продуктов, как интерференционные светофильтры. Окна представляют собой прозрачные, в основном плоские параллельные полированные и/или просветлённые компоненты, применяемые в оптических системах для получения высокоэффективного, свободного от искажений света и превосходной передачи изображений.



Покрытия

Разнообразие типов покрытия

Разработка и нанесение специализированных покрытий с широкими возможностями осаждения тонких пленок на стекло и другие субстраты для длин волн спектральных линий от 200 нм до 3000 нм с использованием различных технологий (например, ионное осаждение, ионно-лучевое напыление и магнетронное напыление).



Обработка на станках с ЧПУ

Точно изготовленные детали

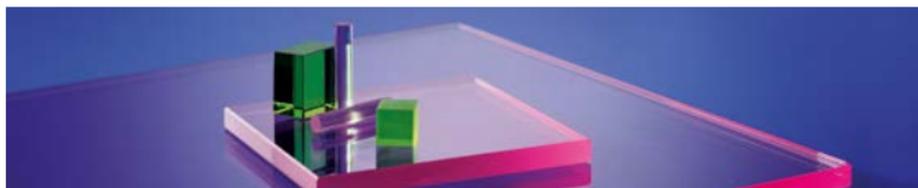
Широкое разнообразие высокопроизводительных станков позволяет обрабатывать детали практически любой мыслимой геометрической формы. Это дает нашим клиентам новую степень свободы при разработке их собственных продуктов. Кроме того, собственные запасы материала компании SCHOTT также позволяют нам более оперативно производить продукцию с минимальными затратами.



Сборка

Монтаж оптики

Возможность сборки оптико-механических узлов (например, для позиционирования, оптического центрирования и т.д.) в условиях чистой комнаты. Наличие всех необходимых измерительных приборов, включая оборудование для трехмерных оптических измерений, профилометры, интерферометры и т.д.



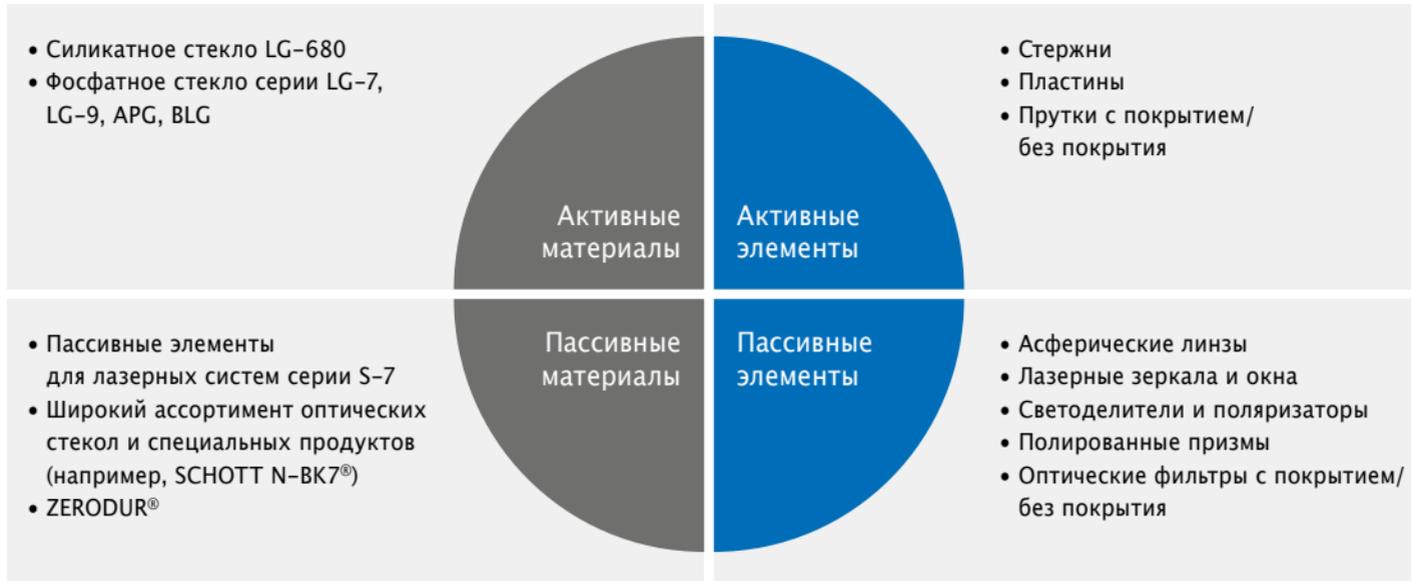
Активные элементы для лазерных систем

Компания SCHOTT предлагает широкий спектр активных элементов для высокомоощных, ультра-короткоимпульсных, дальнометрических и медицинских лазеров. Данные стекла могут быть адаптированы к конкретной области применения, например, для импульсных лазеров или лазеров с диодной накачкой. Процесс плавления, разработанный компанией SCHOTT, исключаящий попадание частиц платины, обеспечивает высокую эффективность лазерных фосфатных стекол без

повреждения в результате воздействия лазерного излучения; выпускаемые массово лазерные стекла с большим объемом и апертурой до 400 мм обеспечивают эффективное накопление энергии при применении технологии инерциально удерживаемого термоядерного синтеза; пластины с зигзагообразным ходом луча и лазерные стержни больших размеров, обладающие высочайшими оптическими качествами и показателями однородности, обеспечивают высокую добротность лазерных систем, применяемых для обработки материалов.



Данные стекла доступны в виде активных элементов для лазерных систем в виде стержней, пластин или дисков. Доступны покрытия AR и HR для всех длин волны лазерного излучения с высокой степенью устойчивости к разрушению под воздействием лазерного излучения. Все компоненты производятся в соответствии со спецификациями заказчика и могут быть отполированы до плоскостности $\lambda/10$. В дополнение к этому, компания SCHOTT предлагает широкий спектр пассивных элементов для лазерных систем, таких как зеркала и окна.



ОПТИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ



Стекла для оптических фильтров
Цветные стекла для оптических фильтров для всей области спектрального диапазона

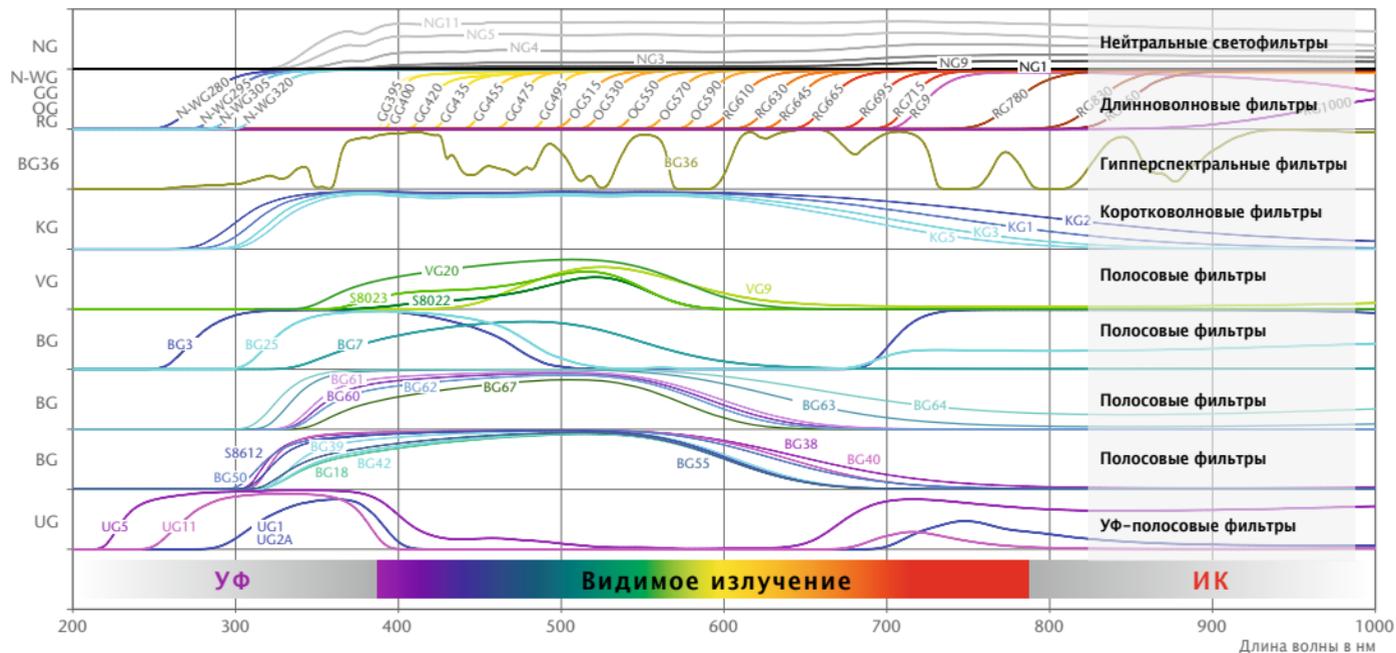
Удовлетворяя требования наших клиентов, компания SCHOTT Advanced Optics предлагает широчайший ассортимент стекол для оптических фильтров для всей области спектра. Данные стекла для фильтров применяются в измерительной технике, фотографии, медицинской технике и при защите от лазерного излучения.

Стекло для оптических фильтров известно своей селективным поглощением в видимой области спектра. Эти стекла для оптических фильтров кажутся окрашенными, если их эффект фильтра лежит в пределах видимой области спектра. Мы разработали многочисленные красящие вещества, применяемые в различной концентрации, а также различные базовые классы стекол с целью расширения ассортимента фильтров, включая продукты с экстремальными свойствами поглощения в максимально возможной области спектра.

Ассортимент стекол для оптических фильтров от компании SCHOTT включает в себя следующие типы фильтров в диапазоне длины волны свыше 200 нм:

- Полосовые фильтры
- Длинноволновые фильтры
- Коротковолновые фильтры
- Нейтральные светофильтры
- Фильтры повышенной контрастности
- Гипперспектральные фильтры
- Фотофильтры

Кoeffициент внутреннего пропускания стекол SCHOTT для оптических фильтров





Интерференционные фильтры

Фильтры для всех областей спектрального диапазона

Интерференционные фильтры, использующие эффект интерференции для достижения спектрального пропускания, производятся путем нанесения тонких слоев с различными показателями преломления на подложку-основу. Данные фильтры применяются в медицинской технике, для анализа при проведении измерений, в природоохранной деятельности, биотехнологиях, химической,

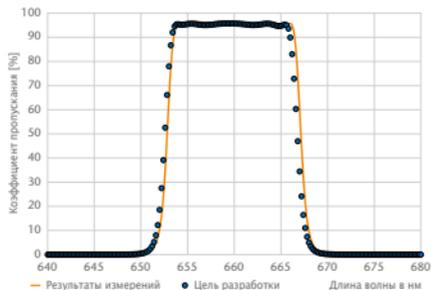
медицинской промышленности, флюоресцентной микроскопии и др. SCHOTT предоставляет интерференционные фильтры с различными размерами и разнообразной формы в пределах спектрального диапазона от 200 нм до 3000 нм. Эти продукты разрабатываются, проектируются и изготавливаются в соответствии с требованиями заказчика. Интерференционные фильтры обеспечивают отличную климатическую стойкость и чрезвычайно устойчивые спектральные характеристики независимо от температуры и влажности.

Наш ассортимент включает различные типы интерференционных фильтров: полосовые фильтры, отрезающие фильтры, узкополосные режекторные фильтры, УФ-полосовые фильтры, фильтры i-line, линейные регулируемые фильтры VERIL, фильтры и фильтры широкого диапазона с антибликовым покрытием, светоделители, нейтральные светофильтры, зеркальные покрытия (дихроичные и металлические) и черные поглощающие покрытия.

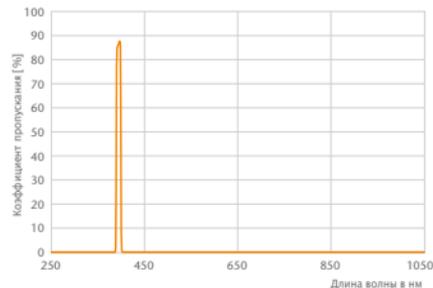
Вся технологическая цепочка производства интерференционных фильтров выполняется на одном объекте.

Выполненные на заказ фильтры рассчитываются целой группой ученых и инженеров. Подложки полируются и передаются непосредственно в цех для нанесения покрытия. Обширный производственный объект со стерильными цехами с различными технологиями нанесения покрытий может удовлетворить практически любые требования. Применяемое измерительное оборудование гарантирует идеальный контроль качества всех параметров выпускаемых фильтров.

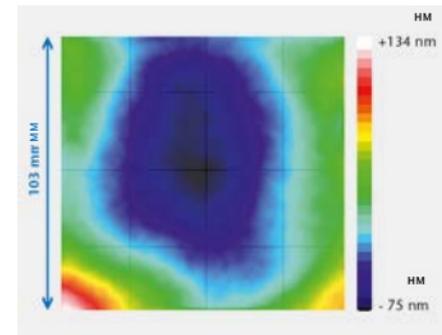
Совершенная согласованность между целью разработки и результатами измерений



Полосовой фильтр с диапазоном блокировки $T < 10^{-5}$



Низкая степень искажения волнового фронта передаваемого сигнала



Указатель изменений – Часть II: Оптическое стекло – Свойства

Компания SCHOTT Advanced Optics взяла на себя обязательство оказывать поддержку своим клиентам, постоянно расширяя свой ассортимент, а также улучшая качество предлагаемой на данный момент продукции. Мы также обязуемся предоставлять подробную информацию о свойствах наших стекол, что поможет нашим клиентам более эффективно осуществлять собственную деятельность. Результатом нашего труда явилась следующая таблица, в которой приведены соответствующие изменения, произошедшие в наших оптических стеклах, а также дополнения к нашей линии продуктов. Все соответствующие изменения также дополнительно выделены голубым цветом в разделе «Часть II: Оптическое стекло – Свойства». Если у вас имеются вопросы относительно нашей продукции, пожалуйста, свяжитесь напрямую с нашими представителями.

N-FK58	Новое стекло
N-LAK33A	Стекло на заказ
P-SF67	Стекло на заказ

Оптическое стекло 2016

Свойства

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
N-FK58** 456909.365	1,45600	90,90	0,005017	1,45720	90,47	0,005053	1,45358	1,45446	1,45976	1,46216	1,46436
N-FK5* 487704.245	1,48749	70,41	0,006924	1,48914	70,23	0,006965	1,48410	1,48535	1,49266	1,49593	1,49894
N-FK51A* 487845.368	1,48656	84,47	0,005760	1,48794	84,07	0,005804	1,48379	1,48480	1,49088	1,49364	1,49618
N-PK51* 529770.386	1,52855	76,98	0,006867	1,53019	76,58	0,006923	1,52527	1,52646	1,53372	1,53704	1,54010
N-PK52A 497816.370	1,49700	81,61	0,006090	1,49845	81,21	0,006138	1,49408	1,49514	1,50157	1,50450	1,50720
N-PSK3 552635.291	1,55232	63,46	0,008704	1,55440	63,23	0,008767	1,54811	1,54965	1,55885	1,56302	1,56688
N-PSK53A* 618634.357	1,61800	63,39	0,009749	1,62033	63,10	0,009831	1,61334	1,61503	1,62534	1,63007	1,63445

* Доступно в категории качества 0,5 ** Стекло SCHOTT XLD (экстремально низкая степень дисперсии)

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
SCHOTT N-BK7** 517642.251	1,51680	64,17	0,008054	1,51872	63,96	0,008110	1,51289	1,51432	1,52283	1,52668	1,53024
N-BK7HT* 517642.251	1,51680	64,17	0,008054	1,51872	63,96	0,008110	1,51289	1,51432	1,52283	1,52668	1,53024
N-BK10 498670.239	1,49782	66,95	0,007435	1,49960	66,78	0,007481	1,49419	1,49552	1,50337	1,50690	1,51014
N-K5 522595.259	1,52249	59,48	0,008784	1,52458	59,22	0,008858	1,51829	1,51982	1,52910	1,53338	1,53734
K7 511604.253	1,51112	60,41	0,008461	1,51314	60,15	0,008531	1,50707	1,50854	1,51748	1,52159	1,52540
K10 501564.252	1,50137	56,41	0,008888	1,50349	56,15	0,008967	1,49713	1,49867	1,50807	1,51243	1,51649
N-ZK7 508612.249	1,50847	61,19	0,008310	1,51045	60,98	0,008370	1,50445	1,50592	1,51470	1,51869	1,52238

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5349	-0,0009	1	0	1	2,3	2,3	7,1	557	719	2,51	610	3	0,997	33/29
0,5349	-0,0009	1	0	1	2,3	2,3	7,1	557	719	2,51	610	3	0,998	33/29
0,5303	-0,0008	1	0	1	1	1	5,8	551	753	2,39	560	4	0,996	31/27
0,5438	0,0000	1	0	1	1	1	8,2	546	720	2,59	530	3	0,995	34/30
0,5422	0,0000	3	0	2	1	2,3	8,4	513	712	2,53	520	3	0,996	33/30
0,5475	-0,0015	1	0	1	1	1,2	6,5	459	691	2,52	470	4	0,994	33/30
0,5370	-0,0039	1	0	2	1,2	2,2	4,5	539	721	2,49	530	4	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
N-BAK1 573576.319	1,57250	57,55	0,009948	1,57487	57,27	0,010039	1,56778	1,56949	1,58000	1,58488	1,58941
N-BAK2 540597.286	1,53996	59,71	0,009043	1,54212	59,44	0,009120	1,53564	1,53721	1,54677	1,55117	1,55525
N-BAK4 569560.305	1,56883	55,98	0,010162	1,57125	55,70	0,010255	1,56400	1,56575	1,57649	1,58149	1,58614
N-BAK4HT 569560.305	1,56883	55,98	0,010162	1,57125	55,70	0,010255	1,56400	1,56575	1,57649	1,58149	1,58614
N-SK2* 607567.355	1,60738	56,65	0,010722	1,60994	56,37	0,010821	1,60230	1,60414	1,61547	1,62073	1,62562
N-SK2HT 607567.355	1,60738	56,65	0,010722	1,60994	56,37	0,010821	1,60230	1,60414	1,61547	1,62073	1,62562
N-SK4 613586.354	1,61272	58,63	0,010450	1,61521	58,37	0,010541	1,60774	1,60954	1,62059	1,62568	1,63042
N-SK5 589613.330	1,58913	61,27	0,009616	1,59142	61,02	0,009692	1,58451	1,58619	1,59635	1,60100	1,60530
N-SK11 564608.308	1,56384	60,80	0,009274	1,56605	60,55	0,009349	1,55939	1,56101	1,57081	1,57530	1,57946
N-SK14 603606.344	1,60311	60,60	0,009953	1,60548	60,34	0,010034	1,59834	1,60008	1,61059	1,61542	1,61988

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5472	0,0002	2	1	3,3	1,2	2	7,6	592	746	3,19	530	2	0,996	33/29
0,5437	0,0004	2	0	1	1	2,3	8,0	554	727	2,86	530	2	0,997	32/28
0,5487	-0,0010	1	0	1,2	1	1	7,0	581	725	3,05	550	2	0,992	36/33
0,5487	-0,0010	1	0	1,2	1	1	7,0	581	725	3,05	550	2	0,993	36/33
0,5477	-0,0008	2	0	2,2	1	2,3	6,0	659	823	3,55	550	2	0,994	35/30
0,5477	-0,0008	2	0	2,2	1	2,3	6,0	659	823	3,55	550	2	0,996	34/30
0,5448	-0,0004	3	1	51,2	2	2	6,5	658	769	3,54	580	3	0,990	36/32
0,5400	-0,0007	3	1	4,4	2	1,3	5,5	660	791	3,30	590	3	0,992	34/29
0,5411	-0,0004	2	0	2	1	2,3	6,5	610	760	3,08	570	2	0,990	34/29
0,5415	-0,0003	4	2	51,3	2	2,3	6,0	649	773	3,44	600	3	0,990	35/29

**BAK
SK**

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
N-KF9 523515.250	1,52346	51,54	0,010156	1,52588	51,26	0,010258	1,51867	1,52040	1,53114	1,53620	1,54096
N-BALF4 580539.311	1,57956	53,87	0,010759	1,58212	53,59	0,010863	1,57447	1,57631	1,58769	1,59301	1,59799
N-BALF5 547536.261	1,54739	53,63	0,010207	1,54982	53,36	0,010303	1,54255	1,54430	1,55510	1,56016	1,56491
N-SSK2 622533.353	1,62229	53,27	0,011681	1,62508	52,99	0,011795	1,61678	1,61877	1,63112	1,63691	1,64232
N-SSK5 658509.371	1,65844	50,88	0,012940	1,66152	50,59	0,013075	1,65237	1,65455	1,66824	1,67471	1,68079
N-SSK8 618498.327	1,61773	49,83	0,012397	1,62068	49,54	0,012529	1,61192	1,61401	1,62713	1,63335	1,63923
N-LAK7 652585.384	1,65160	58,52	0,011135	1,65425	58,26	0,011229	1,64628	1,64821	1,65998	1,66539	1,67042
N-LAK8 713538.375	1,71300	53,83	0,013245	1,71616	53,61	0,013359	1,70668	1,70897	1,72297	1,72944	1,73545

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5558	-0,0014	1	0	1	1	1	9,6	476	640	2,50	480	1	0,986	37/34
0,5520	-0,0012	1	0	1	1	1	6,5	578	661	3,11	540	2	0,985	37/33
0,5532	-0,0004	1	0	1	2	1	7,3	558	711	2,61	600	2	0,983	37/34
0,5526	-0,0016	1	0	1,2	1	1	5,8	653	801	3,53	570	3	0,981	37/33
0,5575	-0,0007	2	3	52,2	2,2	3,2	6,8	645	751	3,71	590	5	0,959	38/34
0,5602	0,0002	1	0	1	1,3	1	7,2	616	742	3,27	570	3	0,950	39/35
0,5433	-0,0021	3	2	53,3	3,3	4,3	7,1	618	716	3,84	600	5	0,988	35/29
0,5450	-0,0083	3	2	52,3	1	3,3	5,6	643	717	3,75	740	2	0,977	37/30

KF
BALF
SSK
LAK

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
N-LAK9* 691547.351	1,69100	54,71	0,012631	1,69401	54,48	0,012738	1,68497	1,68716	1,70051	1,70667	1,71239
N-LAK10 720506.369	1,72003	50,62	0,014224	1,72341	50,39	0,014357	1,71328	1,71572	1,73077	1,73779	1,74438
N-LAK12 678552.410	1,67790	55,20	0,012281	1,68083	54,92	0,012396	1,67209	1,67419	1,68717	1,69320	1,69882
N-LAK14 697554.363	1,69680	55,41	0,012575	1,69980	55,19	0,012679	1,69077	1,69297	1,70626	1,71237	1,71804
N-LAK21 640601.374	1,64049	60,10	0,010657	1,64304	59,86	0,010743	1,63538	1,63724	1,64850	1,65366	1,65844
N-LAK22 651559.377	1,65113	55,89	0,011650	1,65391	55,63	0,011755	1,64560	1,64760	1,65992	1,66562	1,67092
N-LAK33B 755523.422	1,75500	52,30	0,014436	1,75844	52,07	0,014566	1,74814	1,75062	1,76589	1,77296	1,77954
N-LAK34 729545.402	1,72916	54,50	0,013379	1,73235	54,27	0,013493	1,72277	1,72509	1,73923	1,74575	1,75180

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5660	-0,0009	1	0	1	2	1	8,1	431	628	2,94	450	3	0,997	33/31
0,5733	0,0030	1	0	1	1,2	1,3	7,2	580	709	2,89	610	3	0,946	39/35
0,5629	-0,0016	1	0	4,3	1,3	1	6,2	660	790	3,75	620	4	0,950	39/35
0,5670	-0,0012	2	0	5,4	1,3	1	8,4	569	712	3,33	560	5	0,954	39/34
0,5678	0,0024	1	0	1	1,3	1	6,9	594	716	3,05	600	3	0,950	39/35

LLF
BAF

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5748	-0,0003	2	0	1	2,3	2	9,1	419	585	3,22	450	2	0,997	34/31
0,5881	0,0056	1	0	1	1	1	7,8	569	686	2,65	600	2	0,946	39/36
0,5828	0,0002	1	0	1	2,3	1,3	8,2	434	594	3,60	420	2	0,994	35/32
0,5828	0,0002	1	0	1	2,3	1,3	8,2	434	594	3,60	420	2	0,996	35/32
0,5795	-0,0003	1	0	1	2,3	2	8,0	438	608	3,47	450	3	0,993	35/32
0,5890	0,0057	1	0	1	1	1	7,1	619	766	3,15	580	3	0,891	41/36
0,5769	-0,0006	1	0	3,2	1,2	1	7,3	582	712	3,20	650	4	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
N-LASF9 850322.441	1,85025	32,17	0,026430	1,85650	31,93	0,026827	1,83834	1,84255	1,87058	1,88467	1,89845
N-LASF9HT 850322.441	1,85025	32,17	0,026430	1,85650	31,93	0,026827	1,83834	1,84255	1,87058	1,88467	1,89845
N-LASF31A 883408.551	1,88300	40,76	0,021663	1,88815	40,52	0,021921	1,87298	1,87656	1,89950	1,91050	1,92093
LASF35 022291.541	2,02204	29,06	0,035170	2,03035	28,84	0,035721	2,00628	2,01185	2,04916	2,06805	2,08663
N-LASF40 834373.443	1,83404	37,30	0,022363	1,83935	37,04	0,022658	1,82380	1,82745	1,85114	1,86275	1,87393
N-LASF41 835431.485	1,83501	43,13	0,019361	1,83961	42,88	0,019578	1,82599	1,82923	1,84972	1,85949	1,86872
N-LASF43 806406.426	1,80610	40,61	0,019850	1,81081	40,36	0,020089	1,79691	1,80020	1,82122	1,83137	1,84106
N-LASF44* 804465.444	1,80420	46,50	0,017294	1,80832	46,25	0,017476	1,79609	1,79901	1,81731	1,82594	1,83405
N-LASF45 801350.363	1,80107	34,97	0,022905	1,80650	34,72	0,023227	1,79066	1,79436	1,81864	1,83068	1,84237
N-LASF45HT 801350.363	1,80107	34,97	0,022905	1,80650	34,72	0,023227	1,79066	1,79436	1,81864	1,83068	1,84237
N-LASF46A 904313.445	1,90366	31,32	0,028853	1,91048	31,09	0,029287	1,89064	1,89526	1,92586	1,94129	1,95645

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5934	0,0037	1	0	2	1	1	7,4	683	817	4,41	515	4	0,799	41/36*
0,5934	0,0037	1	0	2	1	1	7,4	683	817	4,41	515	4	0,843	40/36*
0,5667	-0,0085	1	0	2,3	1	1	6,7	719	830	5,51	650	2	0,933	38/33*
0,5982	0,0033	1	0	1,3	1	1,3	7,4	774		5,41	810	1	0,634	45/37*
0,5786	-0,0024	1	1	51,2	1	1,3	5,8	590	677	4,43	580	1	0,891	39/35*
0,5629	-0,0083	1	1	4	1	1	6,2	651	739	4,85	760	2	0,948	37/32*
0,5703	-0,0052	1	1	51,3	1	2	5,5	614	699	4,26	720	2	0,919	42/34
0,5572	-0,0084	1	1	4	1	1	6,2	655	742	4,44	770	2	0,963	40/31
0,5859	0,0009	1	0	3,2	1	1	7,4	647	773	3,63	630	3	0,857	44/35
0,5859	0,0009	1	0	3,2	1	1	7,4	647	773	3,63	630	3	0,886	43/35
0,5953	0,0042	1	0	3	1	1	6,0	638	733	4,45	666	1	0,815	41/37*

* 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
N-SF1 717296.303	1,71736	29,62	0,024219	1,72308	29,39	0,024606	1,70651	1,71035	1,73605	1,74919	1,76224
N-SF2 648338.272	1,64769	33,82	0,019151	1,65222	33,56	0,019435	1,63902	1,64210	1,66241	1,67265	1,68273
N-SF4 755274.315	1,75513	27,38	0,027583	1,76164	27,16	0,028044	1,74286	1,74719	1,77647	1,79158	1,80668
N-SF5* 673323.286	1,67271	32,25	0,020858	1,67763	32,00	0,021177	1,66330	1,66664	1,68876	1,69998	1,71106
N-SF6 805254.337	1,80518	25,36	0,031750	1,81266	25,16	0,032304	1,79114	1,79608	1,82980	1,84738	1,86506
N-SF6HT 805254.337	1,80518	25,36	0,031750	1,81266	25,16	0,032304	1,79114	1,79608	1,82980	1,84738	1,86506
N-SF6HTultra 805254.337	1,80518	25,36	0,031750	1,81266	25,16	0,032304	1,79114	1,79608	1,82980	1,84738	1,86506
N-SF8 689313.290	1,68894	31,31	0,022005	1,69413	31,06	0,022346	1,67904	1,68254	1,70589	1,71775	1,72948
N-SF10 728285.305	1,72828	28,53	0,025524	1,73430	28,31	0,025941	1,71688	1,72091	1,74800	1,76191	1,77578
N-SF11 785257.322	1,78472	25,68	0,030558	1,79192	25,47	0,031088	1,77119	1,77596	1,80841	1,82533	1,84235
N-SF14 762265.312	1,76182	26,53	0,028715	1,76859	26,32	0,029204	1,74907	1,75356	1,78405	1,79986	1,81570

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,6037	0,0097	1	0	1	1	1	9,1	553	660	3,03	540	5	0,867	41/36
0,5950	0,0081	1	0	1	1,2	1	6,7	608	731	2,72	539		0,928	40/36
0,6096	0,0118	1	0	1,3	1	1	9,5	570	661	3,15	520	6	0,830	43/36
0,5984	0,0088	1	0	1	1	1	7,9	578	693	2,86	620	3	0,905	40/36
0,6158	0,0146	1	0	2	1	1	9,0	589	683	3,37	550	4	0,821	44/37
0,6158	0,0146	1	0	2	1	1	9,0	589	683	3,37	550	4	0,877	44/37
0,6158	0,0146	1	0	2	1	1	9,0	589	683	3,37	550	4	0,887	43/37
0,5999	0,0087	1	0	1	1	1	8,6	567	678	2,90	600	4	0,901	41/36
0,6066	0,0108	1	0	1	1	1	9,4	559	652	3,05	540	5	0,837	42/36
0,6156	0,0150	1	0	1	1	1	8,5	592	688	3,22	615	4	0,815	44/37
0,6122	0,0130	1	0	1	1	1	9,4	566	657	3,12	515	5	0,891	42/36

SF

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
N-SF15 699302.292	1,69892	30,20	0,023142	1,70438	29,96	0,023511	1,68854	1,69222	1,71677	1,72933	1,74182
N-SF57 847238.353	1,84666	23,78	0,035604	1,85504	23,59	0,036247	1,83099	1,83650	1,87432	1,89423	1,91440
N-SF57HT 847238.353	1,84666	23,78	0,035604	1,85504	23,59	0,036247	1,83099	1,83650	1,87432	1,89423	1,91440
N-SF57HTultra 847238.353	1,84666	23,78	0,035604	1,85504	23,59	0,036247	1,83099	1,83650	1,87432	1,89423	1,91440
N-SF66 923209.400	1,92286	20,88	0,044199	1,93322	20,70	0,045076	1,90368	1,91039	1,95739	1,98285	
SF1 717295.446	1,71736	29,51	0,024307	1,72310	29,29	0,024687	1,70647	1,71031	1,73610	1,74916	1,76201
SF2* 648339.386	1,64769	33,85	0,019135	1,65222	33,60	0,019412	1,63902	1,64210	1,66238	1,67249	1,68233
SF4 755276.479	1,75520	27,58	0,027383	1,76167	27,37	0,027829	1,74300	1,74730	1,77636	1,79121	1,80589
SF5 673322.407	1,67270	32,21	0,020885	1,67764	31,97	0,021195	1,66327	1,66661	1,68876	1,69986	1,71069
SF6 805254.518	1,80518	25,43	0,031660	1,81265	25,24	0,032201	1,79117	1,79609	1,82970	1,84707	1,86436
SF6HT 805254.518	1,80518	25,43	0,031660	1,81265	25,24	0,032201	1,79117	1,79609	1,82970	1,84707	1,86436

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,6038	0,0108	1	0	1	1	1	8,0	580	692	2,92	610	3	0,857	42/37
0,6216	0,0178	1	0	1	1	1	8,5	629	716	3,53	520	4	0,733	42/37*
0,6216	0,0178	1	0	1	1	1	8,5	629	716	3,53	520	4	0,793	41/37*
0,6216	0,0178	1	0	1	1	1	8,5	629	716	3,53	520	4	0,830	40/37*
0,6394	0,0307	1	0	1	1	1	5,9	710	806	4,00	440	3	0,504	45/39*
0,5983	0,0042	2	1	3,2	2,3	3	8,1	417	566	4,46	390	1	0,967	39/34
0,5886	0,0017	1	0	2	2,3	2	8,4	441	600	3,86	410	2	0,981	37/33
0,6036	0,0062	1	2	4,3	2,3	3,3	8,0	420	552	4,79	390	1	0,954	40/35
0,5919	0,0023	1	1	2	2,3	3	8,2	425	580	4,07	410	2	0,980	37/33
0,6102	0,0092	2	3	51,3	2,3	3,3	8,1	423	538	5,18	370	1	0,915	42/36
0,6102	0,0092	2	3	51,3	2,3	3,3	8,1	423	538	5,18	370	1	0,941	41/36

* 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
SF10 728284.428	1,72825	28,41	0,025633	1,73430	28,19	0,026051	1,71681	1,72085	1,74805	1,76198	1,77579
SF11 785258.474	1,78472	25,76	0,030467	1,79190	25,55	0,030997	1,77125	1,77599	1,80834	1,82518	1,84208
SF56A 785261.492	1,78470	26,08	0,030092	1,79180	25,87	0,030603	1,77136	1,77605	1,80800	1,82449	1,84092
SF57 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366
SF57HTultra* 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,6046	0,0085	1	0	1	1,2	2	7,5	454	595	4,28	430	1	0,862	41/37
0,6147	0,0142	1	0	1	1,2	1	6,1	503	635	4,74	450	1	0,525	44/39
0,6098	0,0098	1	1	3,2	2,2	3,2	7,9	429	556	4,92	380	1	0,857	42/37
0,6160	0,0123	2	5	52,3	2,3	4,3	8,3	414	519	5,51	350	1	0,847	40/37*
0,6160	0,0123	2	5	52,3	2,3	4,3	8,3	414	519	5,51	350	1	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
N-KZFS2* 558540.255	1,55836	54,01	0,010338	1,56082	53,83	0,010418	1,55337	1,55519	1,56612	1,57114	1,57580
N-KZFS4* 613445.300	1,61336	44,49	0,013785	1,61664	44,27	0,013929	1,60688	1,60922	1,62380	1,63071	1,63723
N-KZFS4HT* 613445.300	1,61336	44,49	0,013785	1,61664	44,27	0,013929	1,60688	1,60922	1,62380	1,63071	1,63723
N-KZFS5* 654397.304	1,65412	39,70	0,016477	1,65803	39,46	0,016675	1,64649	1,64922	1,66667	1,67511	1,68318
N-KZFS8* 720347.320	1,72047	34,70	0,020763	1,72539	34,47	0,021046	1,71099	1,71437	1,73637	1,74724	1,75777
N-KZFS11* 638424.320	1,63775	42,41	0,015038	1,64132	42,20	0,015198	1,63069	1,63324	1,64915	1,65670	1,66385

* Доступно в категории качества 0,5

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5419	-0,0111	1	4	52,3	4,3	4,2	4,4	491	600	2,54	490	3	0,985	34/30
0,5590	-0,0100	1	1	3,4	1,2	1	7,3	536	664	3,00	520	3	0,979	36/32
0,5590	-0,0100	1	1	3,4	1,2	1	7,3	536	664	3,00	520	3	0,985	36/32
0,5710	-0,0060	1	0	1	1	1	6,4	584	739	3,04	555		0,976	37/32
0,5833	-0,0021	1	0	1	1	1	7,8	509	635	3,20	570	4	0,963	38/33
0,5605	-0,0120	1	1	3,4	1	1	6,6	551		3,20	530	3	0,987	36/30

Стекла для прецизионного прессования

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-BK7 516641.243	1,51640	64,06	0,008061	1,51832	63,87	0,008115	1,51248	1,51392	1,52243	1,52628	1,52982
P-SK57Q1 586595.301	1,58600	59,50	0,009849	1,58835	59,26	0,009928	1,58127	1,58299	1,59340	1,59817	1,60260
P-SK57 587596.301	1,58700	59,60	0,009849	1,58935	59,36	0,009928	1,58227	1,58399	1,59440	1,59917	1,60359
P-SK58A 589612.297	1,58913	61,15	0,009634	1,59143	60,93	0,009707	1,58449	1,58618	1,59636	1,60100	1,60530
P-SK60 610579.308	1,61035	57,90	0,010541	1,61286	57,66	0,010628	1,60530	1,60714	1,61828	1,62340	1,62815
P-SF8 689313.290	1,68893	31,25	0,022046	1,69414	31,01	0,022386	1,67901	1,68252	1,70591	1,71778	1,72950
P-LAK35 693532.385	1,69350	53,20	0,013036	1,69661	52,95	0,013156	1,68732	1,68955	1,70334	1,70974	1,71569
P-SF69 723292.293	1,72250	29,23	0,024718	1,72883	29,00	0,025116	1,71144	1,71535	1,74158	1,75502	1,76840
P-LAF37 755457.399	1,75550	45,66	0,016546	1,75944	45,42	0,016722	1,74775	1,75054	1,76804	1,77633	1,78414
P-LASF47 806409.454	1,80610	40,90	0,019709	1,81078	40,66	0,019941	1,79696	1,80023	1,82110	1,83112	1,84064
P-LASF50 809405.454	1,80860	40,46	0,019985	1,81335	40,22	0,020223	1,79934	1,80266	1,82382	1,83399	1,84367

P _{g,F}	ΔP _{g,F}	n _d ref.*1	После формования*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T _g	AT	ρ	HK	Абразия Aa	τ _i (10/400)	FC
			n _d	V _d											
0,5335	-0,0025	1,51576	1,5144	63,9	1	4	6,0	7,3	498	546	2,43	627	66	0,997	33/30
0,5414	-0,0024	1,58496	1,5833	59,4	4	1	7,2	8,9	493	522	3,01	535	124	0,994	34/31
0,5412	-0,0024	1,58596	1,5843	59,4	4	1	7,2	8,9	493	522	3,01	535	124	0,994	34/31
0,5386	-0,0023	1,58795	1,5860	60,8	4	2	6,8	8,4	510	551	2,97	662	102	0,994	35/31
0,5427	-0,0037	1,60918	1,6068	57,7	4	3	7,1	8,9	507	547	3,08	601	86	0,997	33/29
0,5991	0,0079	1,68623	1,6814	31,7	1	1	9,4	11,1	524	580	2,90	533	200	0,924	40/36
0,5482	-0,0061	1,69234	1,6904	53,0	4	3	8,1	9,7	508	544	3,85	616	119	0,988	36/29
0,6050	0,0104	1,72006	1,7155	29,7	1	1	9,0	11,1	508	547	2,93	612	142	0,915	41/36
0,5590	-0,0080	1,75396	1,7508	45,5	4	1	6,3	7,8	506	546	3,99	697	67	0,980	37/31
0,5671	-0,0079	1,80449	1,8016	40,8	3	1	6,0	7,3	530	580	4,54	620	70	0,967	39/33
0,5680	-0,0078	1,80699	1,8036	40,3			5,9	7,3	527	571	4,54	655	62	0,967	39/32

*1 Стандартное значение n_d (скорость отжига 25 K/h)

*2 при прессовке в SCHOTT; для более подробной информации, пожалуйста, свяжитесь с компанией SCHOTT

Low T_g

P _{g,F}	ΔP _{g,F}	n _d ref.*1	После формования*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T _g	AT	ρ	HK	Абразия Aa	τ _i (10/400)	FC
			n _d	V _d											
0,5670	-0,0080	1,80842	1,8055	40,8	3	1	6,0	7,4	526	570	4,58	722	66	0,967	39/33
0,6392	0,0308	2,00365	1,9958	20,9	4	1	8,4	9,7	428	468	6,19	404	298	0,007	49/41*
0,5359	0,0342	1,48597	1,4847	84,2	3	1	12,7	14,8	464	503	3,68	345	528	0,997	34/28
0,5290	0,0036	1,48666	1,485	70,2	5	4	9,2	10,0	466	557	2,45	520	109	0,998	30/27
0,5377	0,0311	1,49640	1,4952	81,3	4	1	13,0	15,0	467	520	3,70	355	526	0,997	34/28
0,5401	0,0258	1,52784	1,5267	76,7	3	1	12,4	14,1	487	528	3,86	415	592	0,994	34/29
0,5419	-0,0111	1,55666	1,5534	53,7	6	6	4,4	5,4	472	533	2,54	490	70	0,985	34/30
0,5590	-0,0100	1,61227	1,6100	44,5	6	4	7,3	8,2	536	597	3,00	520	130	0,979	36/32

*1 Стандартное значение n_d (скорость отжига 25 K/h) *2 при прессовке в SCHOTT; для более подробной информации, пожалуйста, свяжитесь с компанией SCHOTT *Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

P _{g,F}	ΔP _{g,F}	n _d ref.*1	После формования*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T _g	AT	ρ	HK	Абразия Aa	τ _i (10/400)	FC
			n _d	v _d											
0,5590	-0,0100	1,61227	1,6100	44,5	6	4	7,3	8,2	536	597	3,00	520	130	0,985	36/32
0,5605	-0,0120	1,63658	1,6341	42,3			6,6	7,6	551		3,20	530	74	0,987	36/30
0,5710	-0,0060	1,65272	1,6498	39,8	1	1	6,4	7,4	584	648	3,04	555	122	0,976	37/32
0,5833	-0,0021	1,71896	1,7158	34,8	1	1	7,8	9,4	509	561	3,20	570	152	0,963	38/33
0,5626	-0,0071	1,78425	1,7811	43,9	6	1	5,6	6,7	600	628	4,36	730	67	0,963	39/32
0,5956	0,0045	1,90165	1,8977	31,4	1	2	6,0	7,1	611	649	4,51	712	55	0,847	40/36*
0,6160	0,0123	1,84608	1,8447	23,6	6	1	8,3	9,2	414	449	5,51	350	344	0,847	40/37*
0,6160	0,0123	1,84608	1,8447	23,7	6	1	8,3	9,2	414	449	5,51	350	344	0,924	39/36*

*1 Стандартное значение n_d (скорость отжига 25 K/h) *2 при прессовке в SCHOTT; для более подробной информации, пожалуйста, свяжитесь с компанией SCHOTT *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
FK3 464658.227	1,46450	65,77	0,007063	1,46619	65,57	0,007110	1,46106	1,46232	1,46978	1,47315	1,47625
N-BAF3 583466.279	1,58272	46,64	0,012495	1,58569	46,35	0,012637	1,57689	1,57899	1,59222	1,59857	1,60463
BAFN6 589485.317	1,58900	48,45	0,012158	1,59189	48,16	0,012291	1,58332	1,58536	1,59823	1,60436	1,61017
N-PSK53 620635.360	1,62014	63,48	0,009769	1,62247	63,19	0,009851	1,61547	1,61717	1,62749	1,63223	1,63662
N-SK10 623570.364	1,62278	56,98	0,010929	1,62539	56,70	0,011029	1,61759	1,61947	1,63102	1,63638	1,64137
N-SK15 623580.362	1,62296	58,02	0,010737	1,62552	57,75	0,010832	1,61785	1,61970	1,63105	1,63629	1,64116
KZFSN5 654396.346	1,65412	39,63	0,016507	1,65803	39,40	0,016701	1,64644	1,64920	1,66668	1,67512	1,68319
N-SF19 667331.290	1,66679	33,12	0,020131	1,67154	32,86	0,020435	1,65769	1,66092	1,68228	1,69309	1,70377
KZFS12 696363.384	1,69600	36,29	0,019179	1,70055	36,06	0,019425	1,68717	1,69033	1,71065	1,72059	1,73017
N-SF64 706302.299	1,70591	30,23	0,023350	1,71142	29,99	0,023720	1,69544	1,69914	1,72392	1,73657	1,74912
N-LAF3 717480.414	1,71700	47,96	0,014950	1,72055	47,68	0,015112	1,71001	1,71252	1,72834	1,73585	1,74293

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5329	-0,0003	2	3	52,4	2	1	8,2	362	622	2,27	380		0,994	33/30
0,5669	0,0015	1	0	1	1	1	7,2	583	714	2,79	560	2	0,959	39/35
0,5625	0,0002	2	0	2	2	1	7,8	549		3,17	540		0,971	38/33
0,5423	0,0053	2	1	52,3	1,2	4,3	9,4	618	709	3,60	440	6	0,985	36/31
0,5474	-0,0005	3	3	52,2	2	2,2	6,8	633	758	3,64	550	3	0,988	36/32
0,5453	-0,0009	3	3	52,2	2	3,2	6,7	641	752	3,62	620	3	0,984	36/31
0,5700	-0,0071	3	2	52,3	4,3	4,3	4,5	501		3,46	460	5	0,976	37/34
0,5976	0,0095	1	0	1	1,2	1	7,2	598	707	2,90	630	3	0,901	40/36
0,5778	-0,0050	4	1	53,3	4,3	4,3	5,2	492	549	3,84	440	4	0,919	40/35
0,6028	0,0099	1	0	1	1,2	1	8,5	572	685	2,99	620	4	0,850	42/37
0,5603	-0,0028	2	3	52,3	1,2	3,3	7,6	646	740	4,14	580	5	0,954	39/34

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
N-LAK33A 754523.422	1,75393	52,27	0,014424	1,75737	52,04	0,014554	1,74707	1,74956	1,76481	1,77187	1,77845
N-SF56 785261.328	1,78470	26,10	0,030071	1,79179	25,89	0,030587	1,77137	1,77607	1,80800	1,82460	1,84126
N-LAF36 800424.443	1,79952	42,37	0,018871	1,80400	42,12	0,019090	1,79076	1,79390	1,81387	1,82345	1,83252
SFL6 805254.337	1,80518	25,39	0,031708	1,81265	25,19	0,032260	1,79116	1,79609	1,82977	1,84733	1,86500
SFL57 847236.355	1,84666	23,62	0,035841	1,85510	23,43	0,036489	1,83089	1,83643	1,87451	1,89456	1,91488
SF57HT 847238.551	1,84666	23,83	0,035536	1,85504	23,64	0,036166	1,83102	1,83650	1,87425	1,89393	1,91366

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-PK53 527662.283	1,52690	66,22	0,007957	1,52880	65,92	0,008022	1,52309	1,52447	1,53288	1,53673	1,54029
P-SF67 907214.424	1,90680	21,40	0,042374	1,91675	21,23	0,043191	1,88833	1,89480	1,93985	1,96401	

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5473	-0,0086	1	1	51	1	2	5,8	669	744	4,22	740	2	0,976	38/30
0,6139	0,0140	1	0	1	1,3	1	8,7	592	691	3,28	560	5	0,799	44/37
0,5659	-0,0067	1	2	52,3	1	3,3	5,7	579	670	4,43	680	1	0,946	40/33
0,6159	0,0148	1	0	2	1	1	9,0	585		3,37	570		0,850	45/37
0,6218	0,0177	1	0	1,3	1	1,3	8,7	598	700	3,55	580	3	0,525	44/38*
0,6160	0,0123	2	5	52,3	2,3	4,3	8,3	414	519	5,51	350	1	0,847	40/37*

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	n_d ref.*1	После формования*2		SR-J	WR-J	α (-30/+70)	α (20/300)	T_g	AT	ρ	HK	Абразия Aa	τ_i (10/400)	FC
			n_d	v_d											
0,5408	0,0084	1,52567	1,5232	66	3	1	13,3	16,0	383	418	2,83	335	977	0,994	36/31
0,6334	0,0256	1,90439	1,8998	21,6	1	1	6,2	7,4	539	601	4,24	440	309	0,276	48/39*

*1 Стандартное значение n_d (скорость отжига 25 К/ч) *2 при прессовке в SCHOTT; для более подробной информации, пожалуйста, свяжитесь с компанией SCHOTT *Длина волны для пропускания 0,7 и 0,05

$P_{g,F}$	$\Delta P_{g,F}$	CR	FR	SR	AR	PR	α (-30/+70)	T_g	$T_{10}^{7,6}$	ρ	HK	HG	τ_i (10/400)	FC
0,5376	0,0007		0	1	2		7,0	585	722	2,52	580		0,764	41/37
0,5500	0,0017		0	1	1		9,0	483	679	2,59	510		0,821	41/37
0,5759	0,0008	2	0	1	1,3	2,3	9,3	407	578	3,22	446		0,569	43/37
0,5803	0,0036	2-3	2	3,4	2,2	3	10,7	474	606	3,30	410	2	0,276	45/39
0,5831	0,0008	1	0	1	1,3	2,3	8,1	435	604	3,60	428		0,325	45/39
0,5462	-0,0055	1-2	2	53,0	1,3	4,3	6,3	634	710	3,53	721		0,292	46/38
0,6121	0,0108	4	3	51,3	2,3	3,3	7,8	427	529	5,20	360			52/46*

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

Словарь специальных терминов

Код стекла	– международный код стекла на основе показателя преломления n_d и числа Аббе v_d и по плотности.	τ_i (10/400)	– внутреннее пропускание при 400 нм; толщина стекла: 10 мм
$n_x, v_x, n_x - n_y$	– показатель преломления, число Аббе и дисперсия при различной длине волн	FC	– цветовой код: длина волны для пропускания 0,80 (при*: 0,70) и 0,05; толщина стекла: 10 мм (JOGIS)
$P_{g,F}, \Delta P_{g,F}$	– относительная частичная дисперсия и отклонение относительной частичной дисперсии от нормальной линии между линиями g и F	Только стекла для прецизионного прессования:	
CR	– класс устойчивости к климатическим воздействиям	Истирание Aa	– шлифуемость согласно стандарту JOGIS
FR	– класс сопротивления пятнаемости	n_d ref.	– n_d стандартное значение (скорость отжига 25 К/ч)
SR	– класс устойчивости к воздействию кислот (ISO 8424)	n_d, v_d после формования	– сразу после прессования в компании SCHOTT (предварительные данные на основе скорости отжига 5000 К/ч)
AR	– класс устойчивости к воздействию щелочей (ISO 10629)	SR-J	– класс устойчивости к воздействию кислот JOGIS
PR	– класс устойчивости к воздействию фосфатов (ISO 9689)	WR-J	– класс устойчивости к воздействию воды JOGIS
α (–30/+70)	– коэффициент линейного термического расширения между –30 °С и +70 °С в $10^{-6}/K$	AT	– температура размягчения в °С
T_g	– температура трансформации в °С (ISO 7884-8)	α (20/300)	– коэффициент линейного теплового расширения между +20 °С и +300 °С в $10^{-6}/K$
$T_{10}^{7,6}$	– температура стекла при вязкости $10^{7,6}$ дПа с	JOGIS	– Японские промышленные стандарты по оптическому стеклу
ρ	– плотность в г/см ³		
HK	– твердость по шкале Кнупа (ISO 9385)		
HG	– класс шлифуемости (ISO 12844)		

Указанная информация представляет современный известный уровень знаний.
Оставляем за собой право на внесение изменений, обусловленных техническим прогрессом.

Представительства
по всему миру

Представительства по всему миру

Африка, Европе и Ближний Восток

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

Австрия:

SCHOTT Austria GmbH

Ignaz-Köck-Strasse 10

1210 Vienna, Austria

Phone +43 (0)1290 1748-0

Fax +43 (0)1290 1748-20

info.optics@schott.com

www.schott.com/austria

Бенилюкс:

SCHOTT Benelux B.V.

Randweg 3 A

4104 AC Culemborg, Netherlands

Phone +31 (0)345 470640

Fax +31 (0)345 470641

info.optics@schott.com

www.schott.com/advanced_optics

Восточная Европа:

SCHOTT Division PP

Denisovskiy lane, 26

105005 Moscow, Russia

Phone +7 (499) 925 73 33

Fax +7 (499) 925 73 33

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

Германия:

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

Израиль:

SCHOTT Glass Israel Ltd.

Israel 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

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

Швейцария, Италия, Лихтенштейн:

SCHOTT Suisse SA, Yverdon

2, Rue Galilée

1401 Yverdon-les-Bains VD,

Switzerland

Phone +41 (0)24/423-5900

Fax +41 (0)24/423-5910

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

Представительства по всему миру

Азия

Китай:

SCHOTT (Shanghai)
Precision Materials & Equipment
International Trading Co., Ltd.,
 Room 1118, 1st Floor, Build. 3,
 No. 180 Hua Shen Rd, Pilot FTZ
 Shanghai, PRC (200131), China
 Phone +86 (0)21 33678000
 Fax +86 (0)21 33678080
 info.china@schott.com
 www.schott.com/china

Индия:

SCHOTT Glass India Pvt. Ltd.
 DYNASTY "A" Wing, 303/304
 3rd Fl., Andheri-Kurla Road, Andheri
 400059 Mumbai, India
 Phone +91 (0)22/4094-7000
 Fax +91 (0)22/4094-7001
 pti-bombay@schott.com
 www.schott.com/advanced_optics

Япония:

SCHOTT Nippon K.K.
 9F, 4-16-3, Yotsuya
 Shinjuku-ku, Tokyo, 160-0004, Japan
 Phone +81-48-460-3056
 Fax +81-48-468-0350
 sn.info@schott.com/japan
 www.schott.com/japan

Корея:

SCHOTT Korea Co., Ltd.
 8F. Samseong-Building, 623 Teheran-ro,
 Gangnam-gu, 06173, Seoul, Korea
 Phone +82-2-3456-0325
 Fax +82-2-3456-0301
 info.kr@schott.com
 www.schott.com/korea

Малайзия:

SCHOTT Glass (Malaysia) SDN. BHD.
 2024 Tingkat Perusahaan 6
 Zon Perindustrian Bebas 2
 13600 Perai/Penang, Malaysia
 Phone +60 (0)4/3898100
 Fax +60 (0)4/3900650
 schott.mypen@schott.com
 www.schott.com/advanced_optics

Сингапур:

SCHOTT Singapore Pte. Ltd.

8 Admiralty Street

#05-01 Admirax

Singapore 757438

Phone +65-64882366 (Main line)

Fax +65-62860838 (General fax)

sales.singapore@schott.com

www.schott.com/advanced_optics

Австралия и Новая Зеландия

SCHOTT Australia Pty. Ltd.

Unit 5, 4 Skyline Place

Frenchs Forest

NSW 2086, Australia

Phone +61 (0)2 8426 1600

Fax +61 (0)2 8426 1666

info.australia@schott.com

www.schott.com/advanced_optics

Тайвань:

SCHOTT Taiwan Ltd.

8F-3, No. 126, Sec. 4

Nanking E. Road

Taipei 105, Taiwan

Phone +886 (0)2 2570 9626 ext. 10

Fax +886 (0)2 2570 9628

info.taiwan@schott.com

www.schott.com/advanced_optics

Для заметок

Для заметок

Выходные сведения

Издатель

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

Дизайн, компьютерная вёрстка, макет

Knecht GmbH, Ockenheim

Типография

Schmidt printmedien GmbH

Ginsheim-Gustavsburg

Paper: 135 g MaxiSilk FSC of Igepa
(laminated)

115 g MaxiSilk FSC of Igepa

Advanced Optics

SCHOTT AG

117198 Москва

Россия

Ленинский проспект, 113/1,

офис E 210

Телефон +7 495 933 51 53

info.russia@schott-export.com

www.schott.com/

[advanced_optics](#)

Диаграмма Аббе $n_d - v_d$

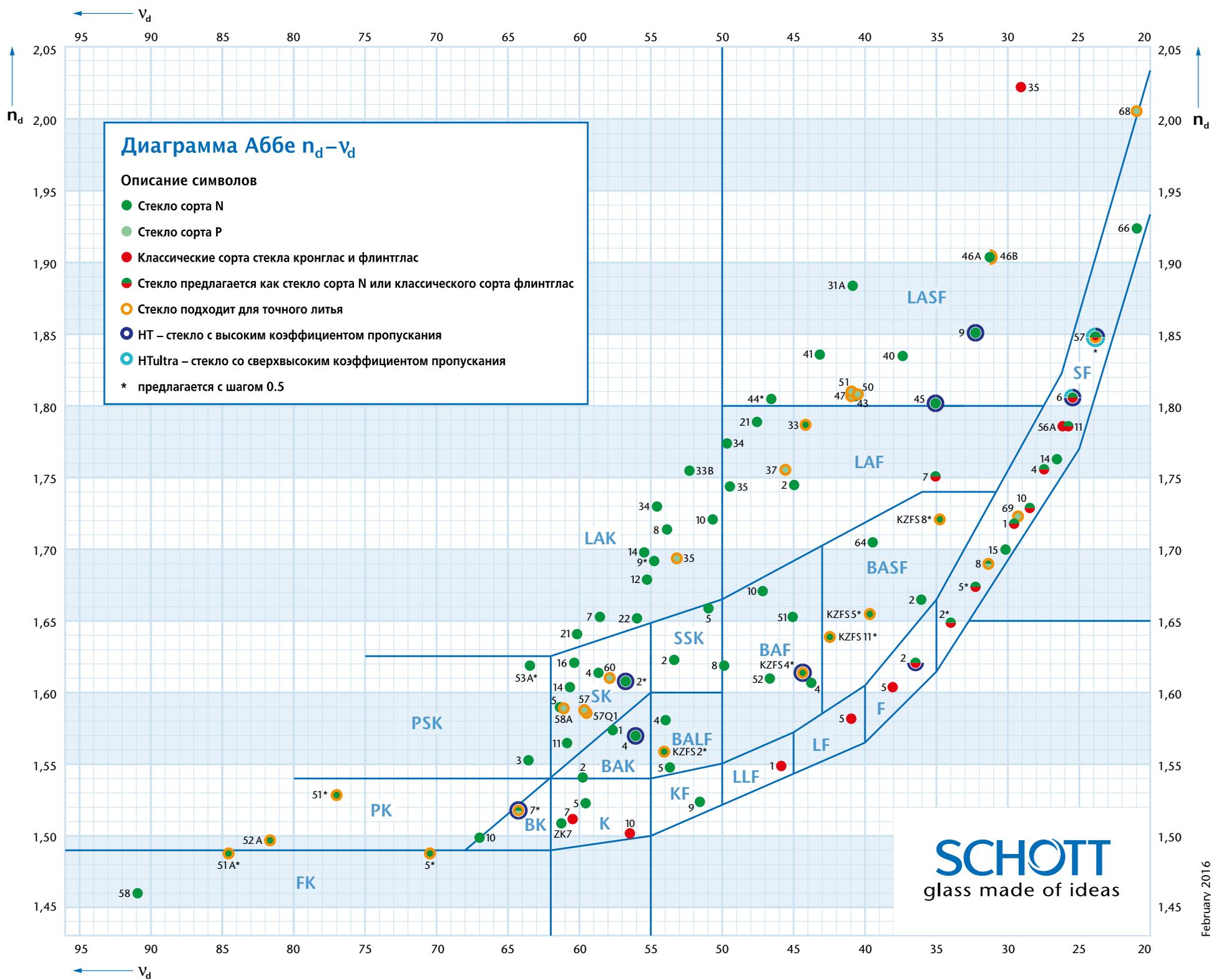
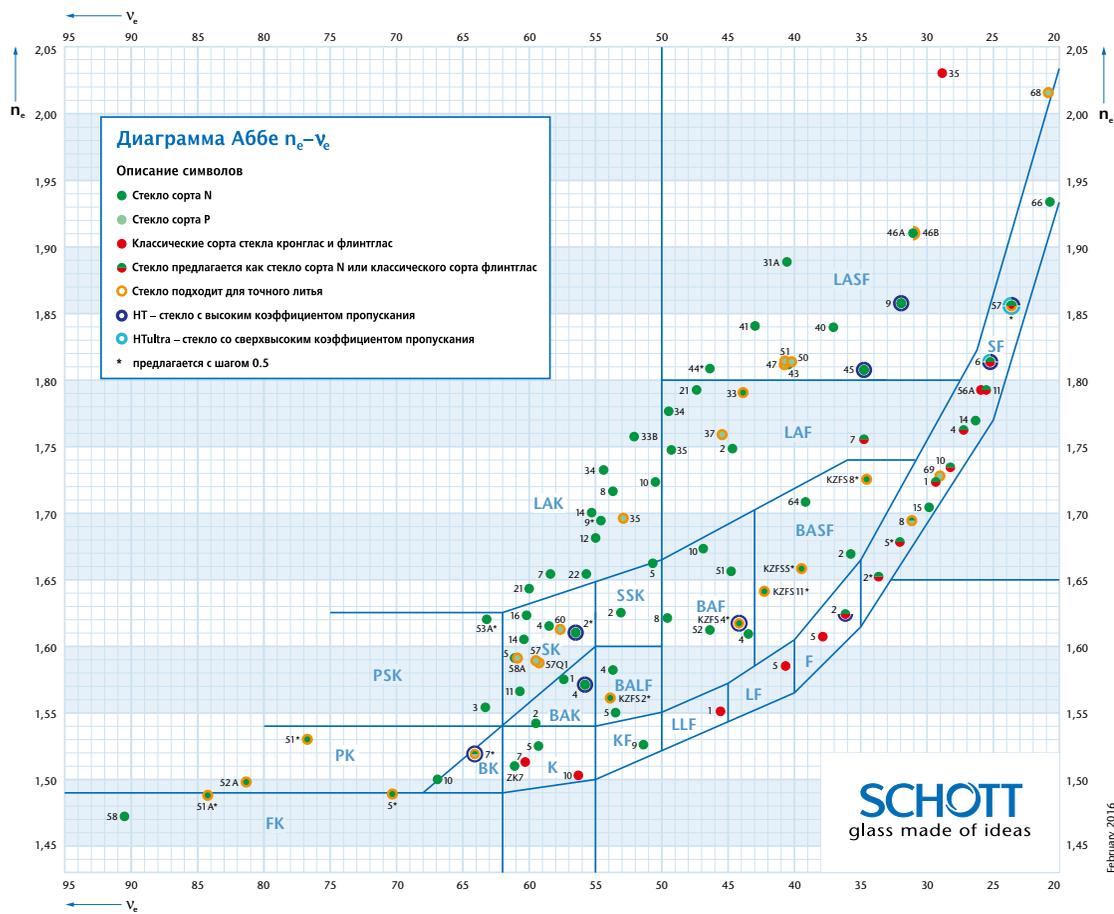


Диаграмма Аббе $n_e - v_e$



$P_{g,F}$ -Диаграмма

