

Корунд является анизотропным одноосным кристаллом. Это один из наиболее твердых и прочных синтетических материалов. Он обладает химической инертностью и низким коэффициентом трения. Износостойкость корунда в 8 раз выше, чем у стали. Являясь диэлектриком и термически стабильным материалом вплоть до 1600 °С, синтетический корунд обладает также отличными оптическими свойствами - прозрачностью от 0.17 до 5.5 микрон.



Перечисленные качества корунда делают его незаменимым материалом для работы в жестких условиях: при высокой температуре и/или давлении, в кислотном или щелочном окружении, когда требуется химическая стойкость, а также при высоких механических нагрузках. Даже в этих тяжелых условиях корунд не теряет своих оптических свойств.

Физические свойства сапфира

Химическая формула	Al ₂ O ₃
Тип кристаллической структуры, класс симметрии	гексагональная, 3m
Параметры решетки, Å	a=4.758 c=12.991
Плотность, г/см ³	3.98
Твердость по Моссу	9
Полировка, scr/dig	60/40
Диапазон оптической прозрачности, микрон	0.17-5.5
Показатель преломления (на длине волны 0.532 микрон)	n _o = 1.7717, n _e = 1.76355
Влагопоглощение	отсутствует
Модуль Юнга (E), ГПа	345
Модуль сдвига (G), ГПа	145
Модуль объемной упругости, ГПа	240
Предел упругости, МПа	275
Модуль разрыва, МПа	420 при 20°C, 280 при 500°C, 420 при 1000°C
Коэффициенты упругости	C11=496, C12=164, C13=115, C33=498, C44=148
Коэффициент Пуассона	0.25-0.3
Коэффициент трения	0.15 на стали, 0.1 на сапфире

Теплофизические свойства сапфира

Температура плавления, К	2303
Удельная теплоемкость, Дж/(кг x К)	105 при 91К, 761 при 291К
Температурный коэффициент линейного расширения (при T = 323К), К ⁻¹	6.66 x 10 ⁻⁶ параллельно С-оси, 5 x 10 ⁻⁶ перпендикулярно С-оси
Теплопроводность (при T = 300К), Вт/(м x К)	23.1 параллельно С-оси, 25.2 перпендикулярно С-оси

Электрические свойства сапфира

Электрическое сопротивление, Ом x см (в диапазоне 200-500 °С)	10 ¹¹ - 10 ¹⁶
Диэлектрическая константа	10.0
Диэлектрическая прочность, В/см	4 x 10 ⁵
Тангенс угла (диэлектрических) потерь	1 x 10 ⁻⁴

Химическая и радиационная устойчивость сапфира

Стабильность основных свойств	до 1600°C
Растворимость в воде	отсутствует
Растворимость в кислотах (HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , HCl, HF)	отсутствует до 300°C
Растворимость в щелочах	отсутствует до 800-1000°C
Растворимость в расплавах металлов (Mg, Al, Cr, Co, Ni, Na, K, Bi, Zn, Cs)	отсутствует до 800°C
Радиационная стабильность к гамма-излучению:	- при облучении 10 ⁷ рад не происходит изменения оптического пропускания свыше 2.5 микрон; - при облучении 10 ⁸ рад в течение 1 часа при T = 195°C не наблюдается окрашивания
Устойчивость к облучению протонами:	- при облучении дозой 10 ¹² протонов/см ² не происходит изменения оптического пропускания ниже 0.3 микрон

Зависимость показателя преломления сапфира от длины волны

λ, микроны	No	Ne	λ, микроны	No	Ne
0.193	1.92879	1.91743	0.670	1.76433	1.75632
0.213	1.88903	1.87839	0.694	1.76341	1.75542
0.222	1.87540	1.86504	0.755	1.76141	1.75346
0.226	1.87017	1.85991	0.780	1.76068	1.75274
0.244	1.85059	1.84075	0.800	1.76013	1.7522
0.248	1.84696	1.83719	0.820	1.75961	1.75168
0.257	1.83932	1.82972	0.980	1.75607	1.74819
0.266	1.83304	1.82358	1.064	1.75449	1.74663
0.280	1.82437	1.81509	1.320	1.75009	1.74227
0.308	1.81096	1.80198	1.550	1.74618	1.73838
0.325	1.80467	1.79582	2.010	1.73748	1.72973
0.337	1.80082	1.79206	2.249	1.73232	1.72432
0.351	1.79693	1.78825	2.703	1.719	1.711
0.355	1.79598	1.78732	2.941	1.712	1.704
0.442	1.78038	1.77206	3.333	1.701	1.693
0.458	1.77843	1.77015	3.704	1.687	1.679
0.488	1.77530	1.76711	4.000	1.674	1.666
0.515	1.77304	1.76486	4.348	1.658	1.65
0.532	1.77170	1.76355	4.762	1.636	1.628
0.590	1.76804	1.75996	5.000	1.623	1.615
0.633	1.76590	1.75787	5.263	1.607	1.599

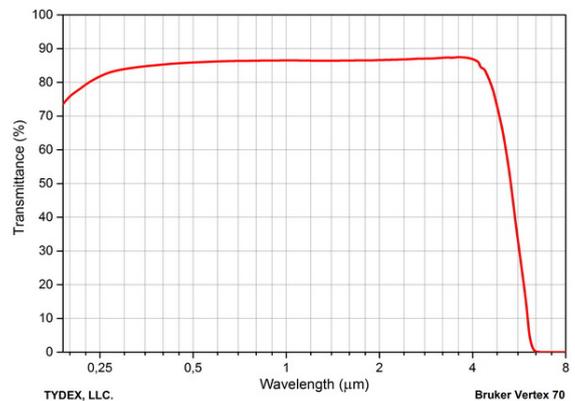


Рис. 1. Спектр пропускания сапфирового окна 3 мм-толщины.

Для изготовления оптических компонент мы используем синтетический корунд, выращенный методом Мусатова (модификация метода Киропулоса). Также предлагается профилированный сапфир, получаемый методом Степанова (аналог ростового процесса EFG).

Сапфир, выращиваемый по методу Мусатова

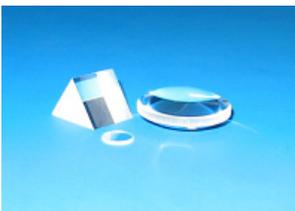
Материал, выращенный этим методом, отличается наилучшим кристаллографическим совершенством и минимальным количеством внутренних дефектов. Усовершенствованная технология роста и постростовая обработка позволяют получать УФ-стойкий материал. На сегодняшний день максимальный размер слитков составляет порядка 300 мм в диаметре и 250 мм в направлении роста цилиндрического слитка.



Сапфир - двулучепреломляющий (хотя и слабо) материал, поэтому ориентация заготовок для изготовления оптических компонентов должна подбираться исходя из применения. Для производства оптических окон лазеров, детекторов, иллюминаторов, смотровых окон различных приборов и прочего, когда необходимо исключить наличие неосновного луча, используется материал С-ориентации. В этом случае кристаллографическая ось С перпендикулярна плоскости окна. Для менее ответственных применений может быть использован материал любой другой ориентации, требуемой заказчику.

Мы используем химико-механическую полировку сапфира, что позволяет достигать высоких параметров качества оптических компонент: второго класса оптической чистоты и плоскостности $\lambda/10@632\text{nm}$, которые являются необходимыми и достаточными для лазерных применений.

Мы предлагаем следующие изделия, изготовленные из высококачественного сапфира, выращенного методом Мусатова:



Световоды для медицинских применений (обработка кожи и эпиляция)



Оптические компоненты для лазерных и спектроскопических применений (окна, в том числе клиновидные, линзы, призмы, зеркала)

Номенклатура производимых изделий здесь достаточно широка. Ниже приведены спецификации и фотографии нашей стандартной продукции.

Окна для Nd:YAG лазера

Спецификация:



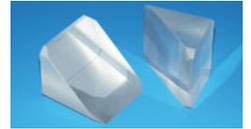
Материал	сапфир оптической градации качества
Ориентация	ось С перпендикулярна плоскости окна
Допуск на габаритные размеры, мм	+0/-0.12
Чистая апертура, %	>90
Допуск на толщину, мм	+/-0.1

Полировка, scr/dig	20/10
Плоскостность, N	<=6
Параллелизм, угл. мин.	< 5
Покрытие	AR/AR @ 1064nm, R <=0,6% на сторону

Сапфировые окна размерами Д10.5x1мм и Д8x1мм всегда доступны со склада.

Призмы

Спецификация:



Материал	сапфир оптической градации качества
Допуск на габаритные размеры, мм	+0/-0.2
Чистая апертура, %	>85
Полировка, scr/dig	40/20
Плоскостность, N	<=4
Поле допуска на угловые размеры, угл. мин.	+/-10

Линзы (плосковыпуклые, плосковогнутые, менисковые)

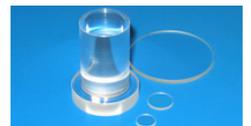
Спецификация:



Материал	сапфир оптической градации качества
Допуск на габаритные размеры, мм	+0/-0.2
Чистая апертура, %	>90
Допуск на фокальную длину, %	+/-2
Допуск на толщину, мм	+/-0.2
Полировка, scr/dig	40/20
Плоскостность, N	<=4
Разнотолщинность, мм	<=0.05

Защитные окна сенсоров

Спецификация:



Материал	сапфир оптической градации качества
Допуск на габаритные размеры, мм	+0/-0.25
Чистая апертура, %	>90
Допуск на толщину, мм	+/-0.25
Полировка, scr/dig	40/20
Параллелизм, угл. мин.	< 5

Плоскопараллельные сапфировые окна Д 25.4 мм и Д 32 мм разной толщины всегда доступны со склада.

Оптика для спектроскопии (ATR-элементы)

ATR-элементы из сапфира используются в тех случаях, когда применение диктует повышенные требования к механической прочности материала, его высокую химическую устойчивость и нетоксичность. По требованию заказчика внутри этих элементов возможно сверление отверстий, в том числе, глухих, например, для размещения термпар внутри деталей (см. фото). Минимальный диаметр отверстий 0.5мм.



Спецификация:

Материал	сапфир оптической градации качества
Допуск на габаритные размеры, мм	+/-0.1
Чистая апертура, %	>85
Поле допуска на угловые размеры, угл. мин	+/- 6
Полировка рабочих поверхностей, scr/dig	60/40
Обработка остальных поверхностей	тонкая шлифовка

Гипо-, гипер-, полусферы, а также сферические линзы
Спецификация:


Материал	сапфир оптической градации качества
Допуск на габаритные размеры, мм	+/-0.25
Диапазон диаметров, мм	2-25
Полировка, scr/dig	80/50
Точность поверхности	не более 0,01мм отклонения от идеальной сферы и плоскости

Диапазон использования подобных изделий достаточно широк, однако мы не поставляем их для целей массового потребления, например, для подшипников, а специализируемся на изготовлении мелких серий (десятки шт. в месяц) по оригинальным спецификациям заказчиков. Одним из применений таких линз терагерцовые исследования.

Сверхточно ориентированные затравки для выращивания кристаллов


Для выращивания кристаллов, например, сапфира по методу Мусатова, необходимы точно ориентированные стержни, на которых, собственно, и начинается разраствивание материала. Точность ориентации выращенной були определяется точностью ориентации затравки. Наилучшей достижимой для нас точностью является +/-10 угл. мин.

Спецификация:

Материал	сапфир оптической градации качества
Ориентация	C-, A-, R-ось вдоль изделия (по выбору заказчика)
Точность ориентации, угл. мин.	+/-12
Непараллельность торцов, угл. мин.	< 3
Допуск на габаритные размеры, мм	+/-0.25
Обработка поверхностей	тонкая шлифовка
Выточка (технологическая)	по требованию и размерам заказчика

Для производства оптических компонент используется материал всех 4 оптических сортов (см. градацию ниже), а для менее ответственных применений и по согласованию с заказчиком возможно использование технических сортов (5, 6).

Сапфир, выращиваемый по методу Степанова

Механическая обработка сапфира ограничена высокой твердостью материала. Преимуществом метода Степанова является возможность контроля, как профиля, так и ориентации кристалла непосредственно в процессе его роста. Это позволяет выращивать такие профилированные изделия как ленты, стержни, трубы, в том числе, односторонне запаянные, а также



изделия сложного профиля. В зависимости от применения, после-ростовая обработка таких изделий либо минимальна, либо не требуется вообще. В результате это приводит не только к значительному увеличению областей применения сапфира, но и, вследствие меньших затрат на собственно материал и его обработку, к более низкой цене конечной продукции.

Мы предлагаем сапфир, выращенный методом Степанова, оптического (третьего и четвертого сортов) и технического качества.

Габаритные размеры изделий из профилированного сапфира следующие:

- длина - до 1 метра;
- поперечное сечение - 2-40 мм, допуск +/-0.05 мм;
- масса изделия (исходя из массы сырья, закладываемого в тигель) - до 1 кг.

Дополнительные параметры для трубок:

- минимальная толщина стенки - 0.5 мм;
- минимальное значение внутреннего диаметра - 0.8мм.

Мы предлагаем следующие изделия, изготовленные из сапфира, выращенного методом Степанова:



Стержни для последующего изготовления световодов, скальпелей, резаков и других компонентов, в том числе и для медицины.



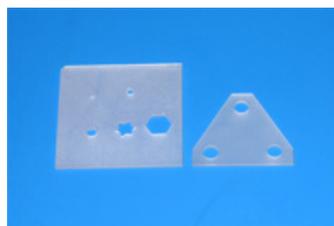
Трубы, в том числе для использования в качестве медицинской посуды, а также точно ориентированные для использования в качестве затравок при выращивании нелинейных кристаллов.



Трубы с изменяющимся по длине поперечным сечением, в том числе, для лабораторных установок по эпитаксиальному росту.



Ленты для использования, например, в качестве направляющих многокоординатных устройств и машин.



Электрические изоляторы (в том числе с отверстиями сложного фигурного профиля) для работы в широком диапазоне температур и давлений.



Многоканальные трубы для использования в качестве термопар.

Температурная стабильность и высокая износостойкость сапфира позволяют использовать его для самых критических применений.



Резьбовые элементы



Изделия сложного профиля

Градации качества сапфира

Сорт 1: полностью бездефектный материал, в котором не допускаются включения, границы блоков, двойники, микропузыри и центры рассеяния;

Сорт 2: материал, в котором не допускаются включения, границы блоков и двойники; допускается наличие одиночных центров рассеяния в виде микропузырей размером <10 микрон, расположенных не ближе, чем на расстоянии 10 мм друг от друга;

Сорт 3: материал, в котором не допускаются включения, границы блоков и двойники; допускается наличие одиночных пузырей размером <20 микрон, расположенных не ближе, чем на расстоянии 10 мм друг от друга;

Сорт 4: материал, в котором не допускаются включения, границы блоков и двойники; допускается наличие пузырей размером <20 микрон, расположенных не ближе, чем на расстоянии 2мм друг от друга, а также скоплений пузырей (которые могут включать одиночные пузыри размером до 50 микрон) размером <200 микрон, расположенных не ближе, чем на расстоянии 10мм друг от друга в объеме 20x20x20 мм³;

Сорт 5: материал, в котором не допускаются включения, границы блоков и двойники; допускается наличие пузырей размером <20 микрон, расположенных не ближе, чем на расстоянии 2мм друг от друга, а также скоплений пузырей (которые могут включать одиночные пузыри, размером до 50 микрон) размером <500 микрон, расположенных не ближе, чем на расстоянии 5 мм друг от друга в объеме 20x20x20 мм³;

Сорт 6: материал, в котором не допускаются включения, границы блоков и двойники, допускаются области скоплений пузырей размером >500 микрон.

Сорта 1-4 являются оптическими; сорта 5-6 рассматриваются как технические. Для оптических сортов не допускаются вариации цвета материала. Для технических сортов вариации цвета материала не контролируются. Дефекты материала в виде включений, границ блоков и двойников контролируются при помощи скрещенных поляризаторов.

Обращаем ваше внимание на то, что данная статья является информационной. Мы не поставляем сапфир в заготовках, булях и любые полуфабрикаты, а только готовые компоненты с покрытиями и без них.