

高纯度石英玻璃 (HPFS® Fused Silica)

针对不同的产品应用，康宁提供不同等级的石英玻璃。玻璃代码 7980，7979 和 8655 是具有极佳光学特性的高纯度非晶石英玻璃。

产品特性包括：

- 超低的折射率变化确保了极高均匀值
- 最低双折射值
- 可提供大尺寸
- 深紫外-红外区域透射
- 超低热膨胀系数

HPFS®关键特性概述

特性	石英玻璃								
	7979 红外级	7979 工业级	7980 标准级	7980 KrF 级	7980 ArF 级	7980 反射镜级	7980 工业级	8652 ArF 级	8655 ArF 级
可见透过	■	■	■	■	■		■	■	■
紫外透过			■	■	■			■	■
红外透过	■							■	■
均匀性证明 (Use-Axis) AA, A, C, F (从小到大)	■		■	■	■			■	■
杂质等级 0,1,2,5	■		■	■	■	■		■	■
条纹 ISO 10110-4 5 级(无)	■		■	■	■	■		■	■
均匀性证明 (Off-Axis) AA, A, C, F (从小到大)	■		■	■	■			■	■
低双折射	■		■	■	■	■		■	■
抗紫外激光 (可提供数据)				■	■			■	■
经济性 (只提供可见透射和双折 射，不提供其他任何性能 证明。模具应用)		■					■		

品质等级选择图表

杂质等级			均匀性 ^{3,4} [ppm]							
等级	截面总杂质 ¹ [mm]	最大尺寸 ² [mm]	等级							
			AA ≤ 0.5	A ≤ 1	B ≤ 1.5	C ≤ 2	D ≤ 3	E ≤ 4	F ≤ 5	G NS ⁵
0	≤ 0.03	0.10	■	■	■	■	■	■	■	■
1	≤ 0.10	0.28		■	■	■	■	■	■	■
2	≤ 0.25	0.50			■	■	■	■	■	■
3	≤ 0.50	0.76				■	■	■	■	■
4	≤ 1.00	1.00				■	■	■	■	■
5	≤ 2.00	1.27				■	■	■	■	■

1. 定义 100cm³ 玻璃每 mm² 截面的杂质总数。直径 ≤ 0.10mm 的杂质忽略不计。
2. 最大单个杂质的直径。
3. 均匀性指数：最大指数变化（相对的），基于测量毛坯有效孔径获得。
4. 均匀性指数由 632.8nm 干涉仪测得。
5. NS（未指定）

HPFS®数据和性能

	杂质等级	均匀性等级	双折射 可按要求提供 较低规格 [nm/cm]	条纹 ISO 10110-4 级别	金属杂质 [ppb]	OH 含量 [ppm]
7979 红外级	0,1,2	AA,A,C,F	≤ 5	5	<100	<1
7980 标准级**	0-5	AA-F	≤ 5	5	<1000	800-1000
7980 KrF 级*	0,1,2	AA,A,C,F	≤ 1	5	<500	800-1000
7980 ArF 级*	0,1,2	AA,A,C,F	≤ 1	5	<100	800-1000
7980 反射镜级	见下文	NS	≤ 5	1	NS	800-1000
7980 工业级	NS	NS	≤ 5	1	NS	800-1000
8655 ArF 级*	0,1,2	AA,A,C,F	≤ 1	5	<10	<1

*氙灯(215nm-400nm)照射无可见荧光。材料含氢，可最大程度减小紫外吸收。

**HPFS* 7980 标准无荧光级可根据要求提供。

机械性能

除非特别说明, 所有数值@25°C	
杨氏模量	73 GPa
剪切模量	31 GPa
断裂模量, 磨损	52.4 MPa
体积弹性模量	35.9 GPa
泊松比	0.16
密度	2.20 g/cm ³
努氏硬度(100g 载荷)	522 kg/mm ²
拉伸强度	54 MPa
抗压强度	1.14 GPa

热学性能

玻璃编码	7980	7979	8655	粘度
软化点*	1585°C	1627°C	1627°C	10 ^{7.6} poises
退火点*	1042°C	1180°C	1180°C	10 ¹³ poises
应变点*	893°C	1068°C	1068°C	10 ^{14.5} poises
比热容		0.770 J/(g K)		
热传导系数		1.38 W/(m K)		
热扩散系数		0.0075 cm ² /s		
热膨胀系数**(ppm/C):				
5°C-35°C		0.52 x 10 ⁻⁶		
0°C-200°C		0.57 x 10 ⁻⁶		
-100°C-+200°C		0.48 x 10 ⁻⁶		
ASTM标准-*C-598, **E-228				

反射镜品质等级选择图表

反射镜级: 杂质等级			
Critical Zone	毛坯尺寸(直径或对角线)		
	<508 mm(20")	508-1143 mm(20-45")	1143-2286 mm(40-90")
Max. Mean Diameter	0.254 mm(0.010")	0.762 mm(0.030")	1.524 mm(0.060")
Max. Avg. #/mm ³ (#/in ³)	2 ppm(0.04)	3 ppm(0.05)	5 ppm(0.08)
Non-Critical Zone	毛坯尺寸(直径或对角线)		
	<508 mm(20")	508-1143 mm(20-45")	1143-2286 mm(40-90")
Max. Mean Diameter	1.016 mm(0.040")	1.524 mm(0.060")	3.81 mm(0.150")
Max. Avg. #/mm ³ (#/in ³)	3 ppm(0.05)	3 ppm(0.05)	9 ppm(0.15)



HPFS®7980 折射率和色散

测试条件：22°C, 760 mm Hg, N ₂				
波长 [真空] [nm]	折射率 ² n	导热率 Δ n/Δ T ³ [ppm/C]	多项式色散方程常量 ¹ , 22°C	
1128.950	1.448866	9.6	A ₀	2.104025406E+00
1014.260 n _t	1.450241	9.6	A ₁	-1.456000330E-04
852.344 n _s	1.452463	9.7	A ₂	-9.049135390E-03
706.714 n _r	1.455144	9.9	A ₃	8.801830992E-03
656.454 n _c	1.456364	9.9	A ₄	8.435237228E-05
632.990	1.457016	10.0	A ₅	1.681656789E-06
587.725 n _d	1.458461	10.1	A ₆	-1.675425449E-08
546.227 n _e	1.460076	10.2	A ₇	8.326602461E-10
486.269 n _F	1.463123	10.4	Sellmeier 色散方程常量 ² , 22°C	
435.957 n _g	1.466691	10.6		
404.770 n _h	1.469615	10.8	A ₁	0.68374049400
365.119 n _i	1.474539	11.2	A ₂	0.42032361300
334.244	1.479764	11.6	A ₃	0.58502748000
312.657	1.484493	12.0		
253.728	1.505522	13.9	B ₁	0.00460352869
228.872	1.521154	15.5	B ₂	0.01339688560
214.506	1.533722	17.0	B ₃	64.49327320000
206.266	1.542665	18.1	Δ n/Δ T 色散方程常量 ³ , 20-25°C	
194.227	1.558918	20.3		
184.950	1.575017	22.7	C ₀	9.390590
			C ₁	0.235290
			C ₂	-1.318560E-03
			C ₃	3.028870E-04
			其他光学性能	
			nF'-nC'	0.006797
			应力光学系数	35.0 nm/cm MPa
			阿贝数	
			V _e	67.6
			V _d	67.8

*1 多项式方程: $n^2 = A_0 + A_1\lambda^{-4} + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-2} + A_4\lambda^{-4} + A_5\lambda^{-6} + A_6\lambda^{-8} + A_7\lambda^{-10}$ with λ in μm

*2 Sellmeier 方程式: $n^2-1 = A_1\lambda^2/(\lambda^2 - B_1) + A_2\lambda^2/(\lambda^2 - B_2) + A_3\lambda^2/(\lambda^2 - B_3)$ with λ in μm

*3 Δ n/Δ T 方程式: $\Delta n/\Delta T$ [ppm/C] = $C_0 + C_1\lambda^{-2} + C_2\lambda^{-4} + C_3\lambda^{-6}$ with λ in μm

以上色散方程适用于从 1129nm 到 185nm 20 波长的折射率。



HPFS®8655 和 7979 的折射率和色散

测试条件：22°C, 760 mm Hg, N ₂				
波长 [真空][nm]	折射率 ¹ n	导热率 $\Delta n/\Delta T^2$ [ppm/C]	Sellmeier 色散方程常量 ¹ , 20°C	
2326.050	1.433027	8.7	A ₁	7.033574317E-02
2058.650	1.437307	9.3	A ₂	7.241205497E-01
1970.630	1.438601	9.6	A ₃	3.097807778E-01
1813.570	1.440776	9.1	A ₄	9.309957497E-01
1530.000	1.444337	9.7	B ₁	-2.301552288E-03
1128.950	1.448930	9.7	B ₂	6.272886117E-03
1014.26 n _t	1.450304	9.6	B ₃	1.415449740E-02
852.344 n _s	1.452526	9.5	B ₄	1.016434845E+02
780.237	1.453731	9.5	Sellmeier 色散方程常量 ¹ , 22°C	
706.714 n _r	1.455205	9.9		
656.454 n _c	1.456425	10.1	A ₁	3.550277875E-02
644.025 n _c	1.456763	10.1	A ₂	7.353314507E-01
632.990	1.457077	9.9	A ₃	3.334560303E-01
587.725 n _d	1.458522	10.2	A ₄	9.269506614E-01
546.227 n _e	1.460135	10.5	B ₁	-4.826183477E-03
486.269 n _F	1.463183	10.4	B ₂	5.808687673E-03
480.126 n _{F'}	1.463561	10.4	B ₃	1.399572492E-02
435.957 n _G	1.466751	10.7	B ₄	1.012182926E+02
404.770 n _H	1.469674	10.9	Sellmeier 色散方程常量多项式 ¹ , 25°C	
388.975	1.471446	10.9		
365.119 n _i	1.474599	11.3	A ₁	2.623483282E-02
340.463	1.478646	11.6	A ₂	7.306029048E-01
334.244	1.479824	11.7	A ₃	3.475321572E-01
312.657	1.484554	12.0	A ₄	9.216052441E-01
296.814	1.488798	12.5	B ₁	-5.783959035E-03
289.444	1.491056	12.5	B ₂	5.600103210E-03
253.728	1.505585	14.0	B ₃	1.389808930E-02
228.872	1.521218	15.3	B ₄	1.006578079E+02
226.572	1.523018	15.9	$\Delta n/\Delta T$ 色散方程常量 ² , 20-25°C	
214.506	1.533786	16.8		
213.923	1.534371	17.0	D ₀	9.545124E+00
206.266	1.542731	18.2	D ₁	-9.835579E-02
202.613	1.547213	18.3	D ₂	2.003170E-01
194.227	1.558985	20.4	D ₃	2.209816E-03
184.950	1.575091	22.1	D ₄	1.980644E-04
			其他光学性能	
			n _{F'} -n _{C'}	0.006797
			应力光学系数	35.0 nm/cm MPa
			阿贝数	

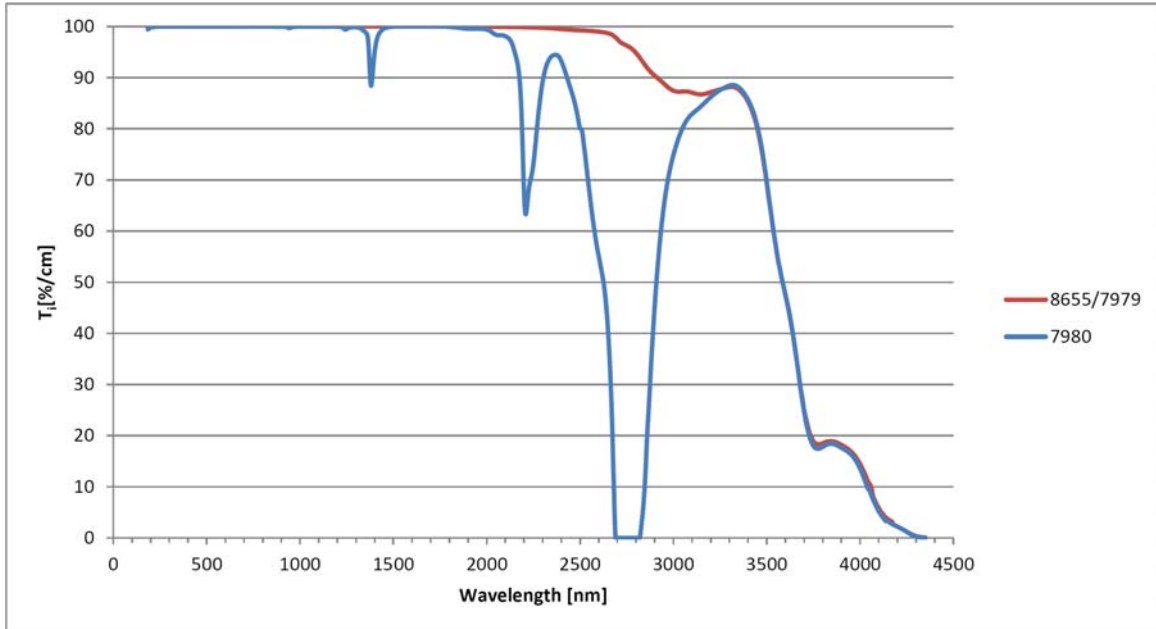
	V_e	67.6
	V_d	67.8

*1 Sellmeier 方程式: $n^2-1 = A_1\lambda^{-2}/(\lambda^2 - B_1) + A_2\lambda^{-2}/(\lambda^2 - B_2) + A_3\lambda^{-2}/(\lambda^2 - B_3)$ with λ in μm

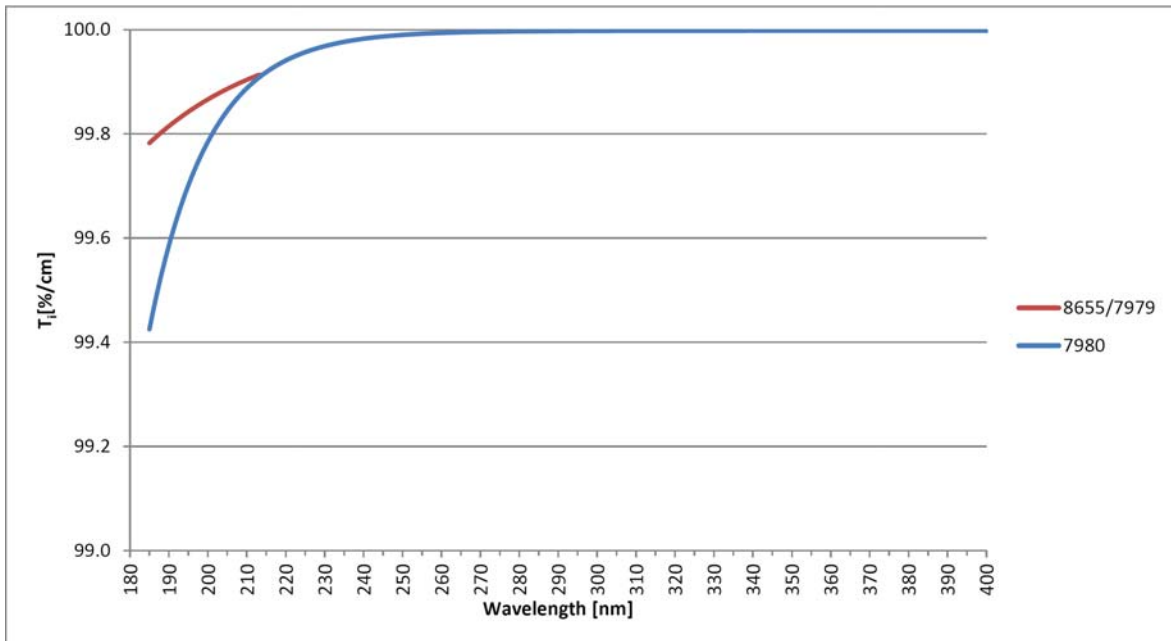
*2 $\Delta n/\Delta T$ 方程式: $\Delta n/\Delta T$ [ppm/C] = $C_0 + C_1\lambda^{-2} + C_2\lambda^{-4} + C_3\lambda^{-6}$ with λ in μm

以上 Sellmeier 色散方程用于匹配从 2326nm 到 185nm 35 波长的折射率。

宽光谱内部透射率



紫外内部透射率



HPFS® 7980 标准级满足高透 $T_i \geq 88.00\% / \text{cm}$ @185 nm. (等于 $T_e \geq 80.00\% / \text{cm}$ @185 nm)

HPFS® 7980 KrF 级满足高透 $T_i \geq 99.90\% / \text{cm}$ @248 nm.

HPFS® 7980 ArF 级满足高透 $T_i \geq 99.50\% / \text{cm}$ @193 nm.

HPFS® 8655 级满足高透 $T_i \geq 99.75\% / \text{mm}$ @193 nm.

HPFS® 8655 级典型初始吸收 $k: \leq 0.0001 / \text{cm}$ at 193 nm.

可根据需求提供更高透射率。