



# 零度®

## 热膨胀趋近于零的微晶玻璃廻

零度®是一种微晶玻璃, 在广泛的温度范围内热膨胀均趋近于零。这种非凡特性意味着, 需要最高精度的应用可以避免几何形状和零件之间的距离变化, 即使存在温度变化也是如此。

### 平均线性热膨胀系数

零度®微晶玻璃附带了 0°C 至 50°C 温度范围内的平均线性热膨胀系数 (CTE), 其六个膨胀等级如下:

CTE (0°C; 50°C) 规格公差	
膨胀等级 2	$0 \pm 0.100 \text{ ppm/K}$
膨胀等级 1	$0 \pm 0.050 \text{ ppm/K}$
膨胀等级 0	$0 \pm 0.020 \text{ ppm/K}$
膨胀等级 0 Special	$0 \pm 0.010 \text{ ppm/K}$
膨胀等级 0 Extreme	$0 \pm 0.007 \text{ ppm/K}$
针对应用温度曲线进行优化的 CTE	
零度® Tailored	$0 \pm 0.020 \text{ ppm/K}$ ( $\pm 0.010 \text{ ppm/K}$ 可按要求提供)

表 1  
肖特提供的热膨胀系数公差等级

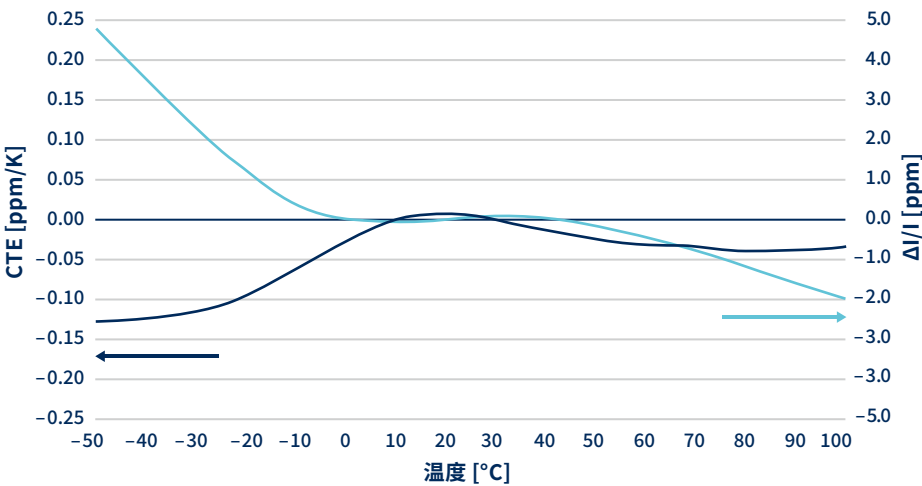
## 零度® TAILORED

零度® TAILORED 可优化组件的热膨胀行为,以满足客户的个性化应用温度曲线要求。它基于一种考虑结构松弛效应的物理材料模型。<sup>1</sup>

### CTE 测量准确度

CTE 测量使用标准化、高精度和可重现的膨胀法测量程序进行,专属于肖特股份公司。<sup>2</sup>

下面图 3 显示了零度® TAILORED 从 -50°C 加热到 +100°C 期间的典型相对膨胀长度  $\Delta l/l$  和 CTE。



**图 1**  
热膨胀系数 (左轴, 浅蓝色) 和相对长度变化 (右轴, 深蓝色) 与 -50°C 和 +100°C 之间温度的关系

— 22°C 下零度® TAILORED 的长度相对变化 ( $\Delta l/l$ )  
— 22°C 下零度® TAILORED 的热膨胀系数 (CTE)

### 个位数 - 整体 CTE 均一性

CTE (0°C; 50°C) 均一性公差 (波峰到波谷)	
最大直径 4.0 m	≤ 20 ppb/K
最大直径 2.5 m	≤ 15 ppb/K
最大直径 1.5 米	≤ 10 ppb/K

可应要求提供更低公差。

**表 2**  
CTE 均一性公差

<sup>1</sup> Ralf Jedamzik, Thoralf Johansson 和 Thomas Westerhoff, 零度®在任意温度曲线下的热膨胀行为建模, 位于“Proc. SPIE 7739”, 2010 年; <https://doi.org/10.1117/12.855980>

<sup>2</sup> Jedamzik, Westerhoff, 零度线性热膨胀系数的均一性: 十年评估回顾, 位于“Proc. SPIE 10401”, 2017 年, <https://doi.org/10.1117/12.2272902>

最高应用温度 600°C

请注意, 在高于 100 °C 的温度下且无法正确冷却的情况下使用零度<sup>1</sup>会影响 CTE 规格。<sup>1</sup>

关于零度®微晶玻璃强度的广泛数据<sup>2</sup>

玻璃和微晶玻璃的抗弯强度不是一项材料常数。它主要取决于表面抛光后的下层损坏程度、加载几何形状以及特定零件在其预期应用中的环境条件。

最大下层损坏深度决定了特定零件在拉伸应力区域中可以承受的载荷。这反映在确定断裂应力阈值的韦布尔分布的概率方法中。

研究的零度®样本的断裂应力结果遵循统计学三参数韦布尔分布。

对于 D151 磨削表面, 根据三参数 Weibull 拟合, 断裂应力阈值为 47.3 MPa。更精细地研磨和蚀刻适当厚度的表面层可显著增加该阈值。

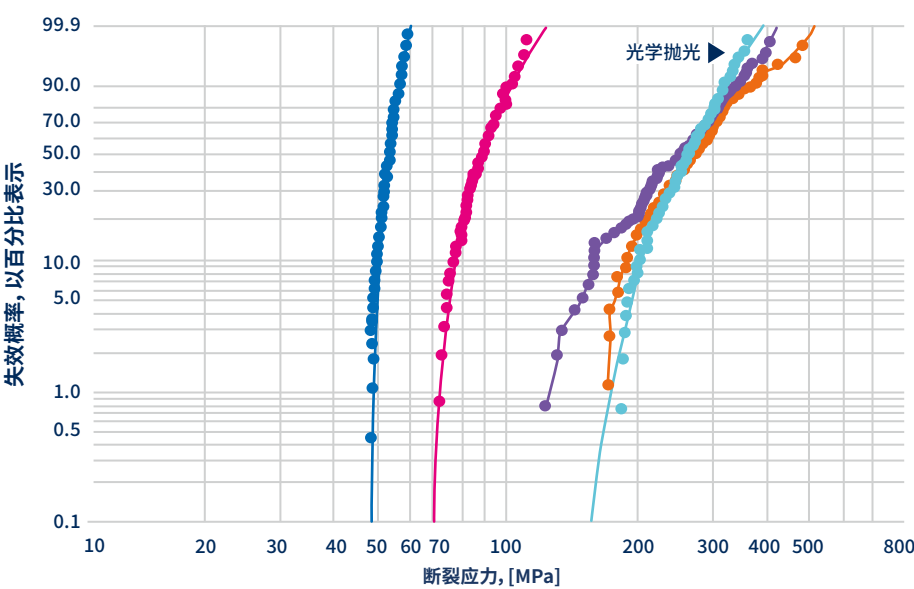


图 2  
D64 和 D151 是金刚石粒度分布;  
E 值界定蚀刻掉的 μm

样本	N	最小	最大
D151	157	49.1	59.2
D25	86	70.7	112.0
D151 E83	91	124.7	405.8
D64 E73	65	172.9	486.5
光学抛光	93	185.5	364.4

<sup>1</sup> Jedamzik, Westerhoff, 在高温下使用零度®的建议, “Proc.SPIE 10706”, 2018 年, <https://doi.org/10.1117/12.2311648>

<sup>2</sup> Hartmann, 基于断裂应力阈值模型的零度®结构最低使用寿命: 回顾, 位于“Optical Engineering 第 58 期 第 2 版”, 2019 年, <https://doi.org/10.1117/1.OE.58.2.020902>

机械、光学和化学特性

	零度®
20°C 下的导热性 $\lambda$ [W/(m · K)]	1.46
20°C 的热扩散率指数, [10-6 m2/s]	0.72
20°C时的热容cp[J/(g · K)]	0.80
20°C 的杨氏模量 E [GPa] - 平均值	90.3
泊松比	0.24
密度 [克/立方厘米]	2.53
努氏硬度 HK 0.1/20 (ISO9385)	620
折射率 $n_d$	1.5424
阿贝数 $\nu_d$	56.1
580 纳米的内部透射率	
5 毫米厚度	0.95
10 毫米厚度	0.90
$\lambda = 589.3$ 纳米时的应力光学系数 K, [10-6 MPa-1]	3.0
耐水性等级 (ISO 719)	HGB 1
耐酸等级 (ISO 8424)	1.0
耐碱等级 (ISO 10629)	1.0
耐候性	1 级
耐污染性	0 级
20°C 时的电阻率 $\rho$ , [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$2.6 \cdot 10^{13}$
$\rho = 108$ [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] 的温度, Tk100 [°C]	178
氦气渗透性 [atoms/(cm · s · bar)]	
20 °C 时	$1.6 \cdot 10^6$
100 °C 时	$5.0 \cdot 10^7$
200°C 时	$7.2 \cdot 10^8$

表 3  
零度®的机械、光学和化学特性