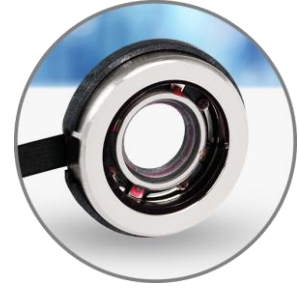


## 电动可调焦液态透镜 EL-7-20-TC



紧凑型 EL-7-20-TC 透镜专为 OEM 集成到各种光学系统中而设计。其工作原理基于成熟的形变透镜技术。通过施加电流，可在数毫秒内调节透镜曲率，从而实现所需的焦距调节。该透镜采用“推拉式”架构，即透镜曲率可从凹形调节至凸形。凭借成熟的音圈驱动技术，EL-7-20-TC 聚焦可调透镜具有极高的可靠性和耐用性，即使在恶劣环境或宽温范围内也能稳定运行。

### 光学参数

通光孔径	7.0	mm
焦距调节范围: (25°C, ±250 mA)	-6 to +8	dpt
零电流焦距 @ 0 mA (25°C, typical)	0 to +2.5	dpt
透射波段	VIS: 420 to 950	nm
波前误差 @ 0 dpt (光轴垂直/水平)	class 1: 0.07 / 0.085 class 2: 0.10 / 0.11	λ RMS @ 532 nm
透镜类型	平凹至平凸	
折射率 / 阿贝数	nD = 1.45 / v = 55	
透镜外径中心度	0.15	mm
响应时间 (10% - 90%) (typ. at 25°C, 0 to ±250 mA step)	1	ms
稳定时间 (typ. at 25°C, 0 to ±250 mA step, ±0.1 dpt)	7 (with signal conditioning) 20 (rectangular step)	ms
使用寿命 (-200mA to +200mA, sinusoidal, 20Hz)	> 1' 000 '000 ' 000	
工作温度	-20 to 65	°C
存储温度	-40 to 85	°C
重量	3.15	g

### 电气参数

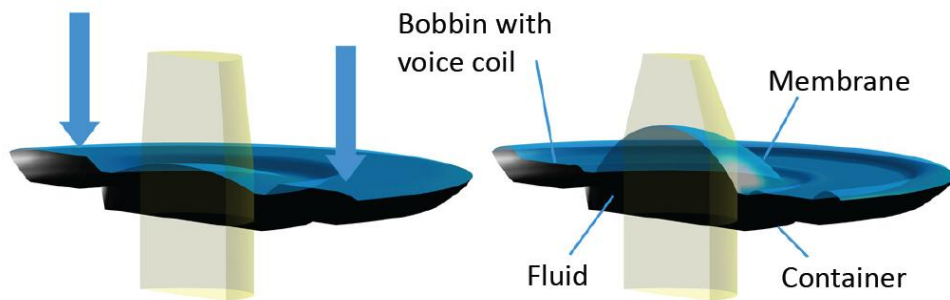
额控制电流定	-250 to 250	mA
最大绝对控制电流	-300 to 300	mA
音圈电阻 @ 25°C	14	Ω
功耗 (5 dpt 范围, ±60mA)	50	mW
最大功耗 (@ 250 mA)	875	mW
存储器	ON Semiconductor: CAT24C64C4CTR (or similar)	
温度传感器	Maxim Integrated: MAX31875R2TZS+T (or similar)	
音圈最大电压	6	V
存储器与传感器最大电压	4	V

## 标准产品概览

标准产品型号	焦距调节范围	波前误差	棱镜误差	波段
EL-7-20-TC-VIS-14D-1	-6 to 8 dpt	0.07 $\lambda$ RMS	0.1 dpt	420 – 950 nm
EL-7-20-TC-VIS-14D-2	-6 to 8 dpt	0.10 $\lambda$ RMS	0.2 dpt	420 – 950 nm

## 液体透镜工作原理

EL-7-20-TC 的工作原理基于成熟的形状可变聚合物透镜技术。透镜的核心包含光学液体，并由弹性聚合物膜密封，如图 1 所示。透镜容器上的曲率变化通过电磁驱动器施加压力来实现。通过调节流过驱动器线圈的电流，即可精确控制透镜的焦距。



EL-7-20-TC 的工作原理示意图。

## 机械结构布局

EL-7-20-TC 配备钢制顶端回位结构和 LCP 底座。透镜与控制器的电气连接及通信通过侧面的一条 FFC 扁平柔性排线实现。相关的机械图纸如图 2 所示。

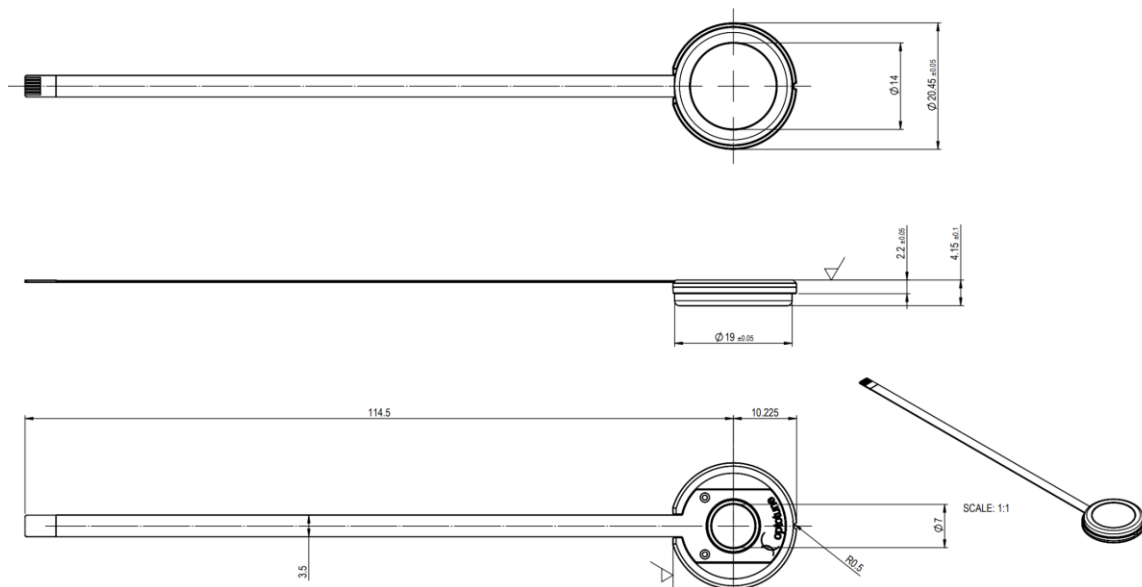


图 2: EL-7-20-TC-VIS-16D 的机械示意图 (单位: mm)

**注意: 请勿通过柔性电缆握持透镜, 以免造成损坏。**

## 电气连接

EL-7-20-TC 在不带适配器的情况下，通过一条 6 针 FPC 柔性排线进行电气连接，适配 Molex 型号 503480-0600 或同类连接器。其中两根引脚用于透镜线圈，其余四根引脚用于与温度传感器和 EEPROM 的 I<sup>2</sup>C 通信。

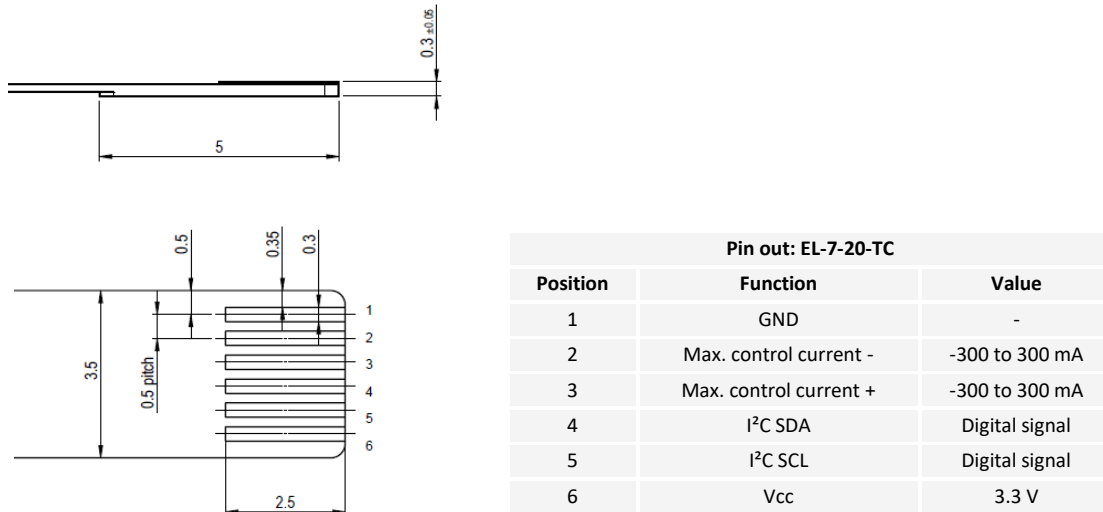


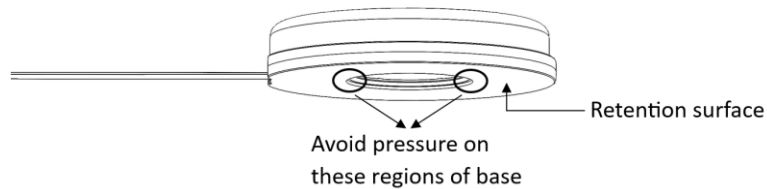
图 3: EL-7-20-TC 的柔性排线电气连接示意图

Component:	Temperature Sensor	EEPROM
I <sup>2</sup> C Address	Maxim Integrated: MAX31875R2TZS+T	ON Semiconductor: CAT24C64C4CTR
BIN	0b 1001 010x	0b 1010 000x
HEX	W: 0x94; R: 0x95	W: 0xA0; R: 0xA1
DEC	W: 148; R: 149	W: 160; R: 161

图 4: 电气元件及其 I<sup>2</sup>C 地址示意图

## EL-7-20-TC 的安装方式

该镜头可通过法兰夹持固定。其 LCP 底座设计用于在光轴方向上保持镜头的位置稳定。



### EL-7-20-TC 焦距与电流关系

如图 5 所示，EL-7-20-TC 的焦距随正向电流增加而增加，随负向电流减少而减小。当驱动镜头达到绝对最大控制电流时，调焦范围会进一步扩大，但需考虑显著的热量产生。

注意：当镜头旋转时，每 1 g 重力作用会引起约  $0.22 \pm 0.02$  dpt 的重力引起焦距偏移（液体透镜向上与向下的差异约为 0.45 dpt）

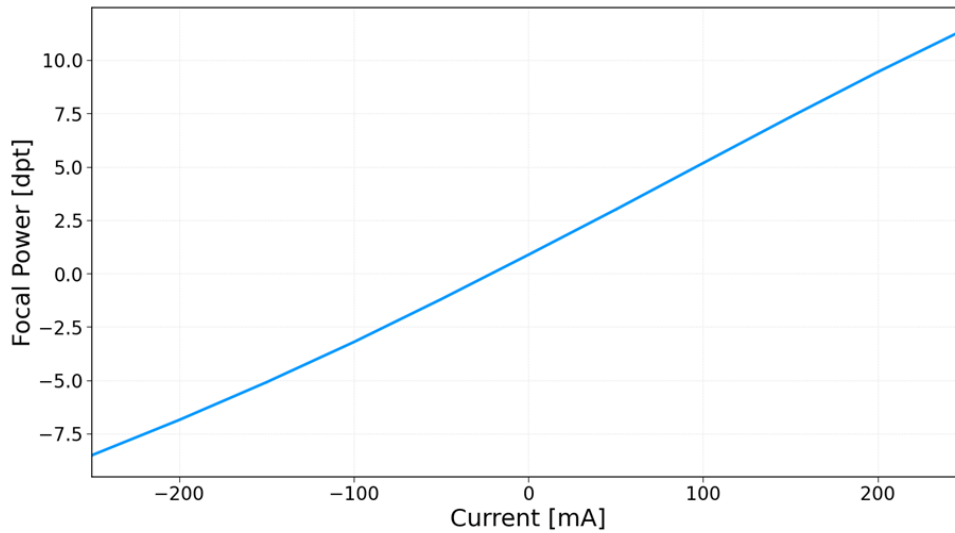


图5: 焦距与电流的典型关系（以屈光度为单位）。

### 透光率

EL-7-20-TC 的光学液体和弹性膜材料在 400 至 1700 nm 范围内具有高度透光性。由于膜材料具有弹性，无法采用标准镀膜工艺，因此预计会有约 3–4% 的反射。护罩玻璃可根据需求进行镀膜。

图 6 显示了带 VIS 宽带镀膜的透射光谱。

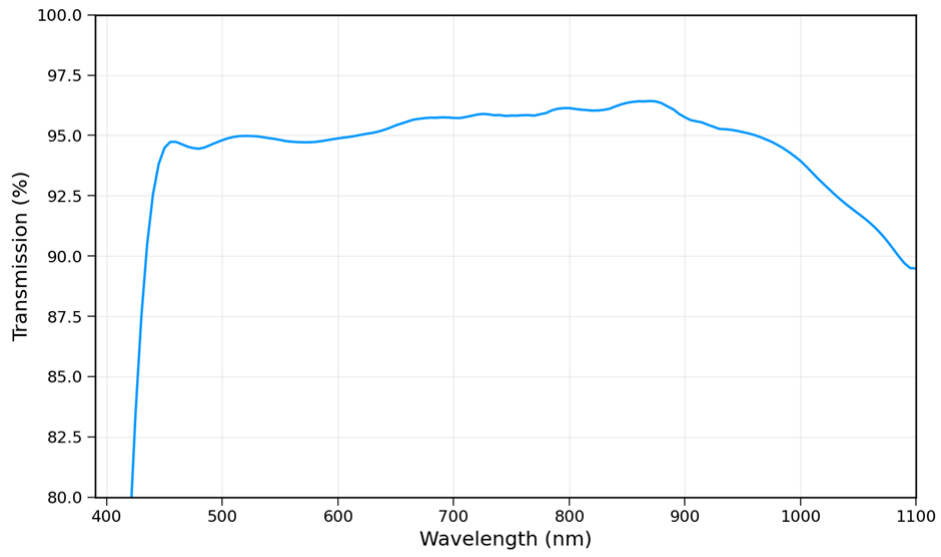


图6: 标准 EL-7-20-TC 的透射光谱。

## Class 2 镜片的波前质量

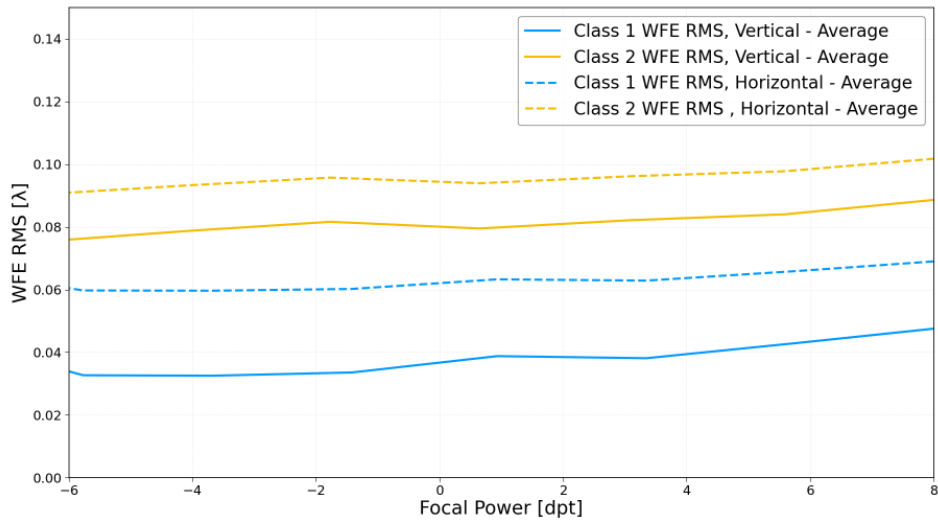


图 7 显示了典型的波前误差随焦距变化的关系。波前质量因镜片而异，可根据客户需求提供不同规格。最佳光学性能通常在 -2 到 4 屈光度范围内实现。当镜片垂直放置（光轴水平）时，需要叠加约  $0.05 \lambda$  RMS 的 Y-彗差项，从而使总波前误差达到：Class 1 镜片约  $0.085 \lambda$  RMS，Class 2 镜片约  $0.11 \lambda$  RMS。

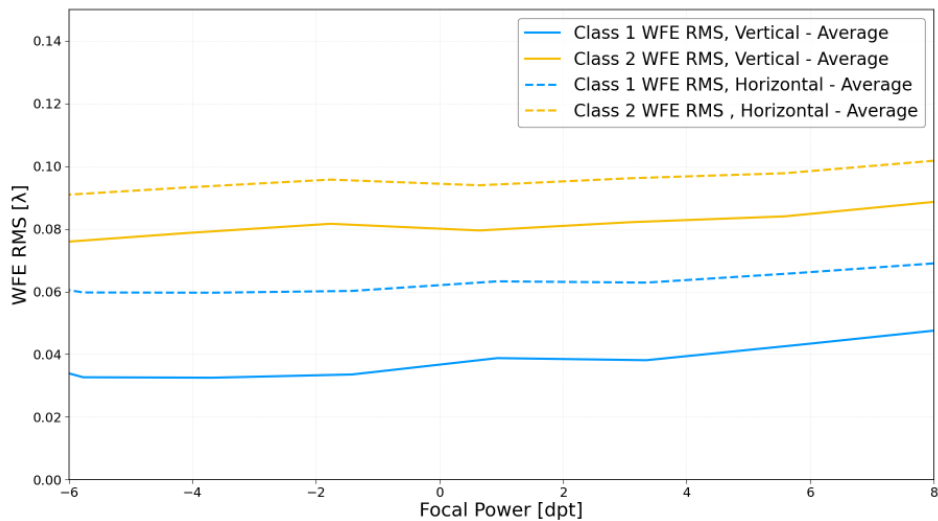


图 7: EL-7-20-TC 镜片的典型波前误差随焦距变化曲线，显示 Class 1 与 Class 2 镜片的平均值（波长 530 nm，测量覆盖清晰孔径的 80%）。

## 响应时间

EL-7-20-TC 的响应时间非常快，约为 1 ms，基于矩形电流阶跃的稳定时间约为 20 ms。使用控制器可提供适当的信号调节，使稳定时间减少一半以上，如图 8 所示。

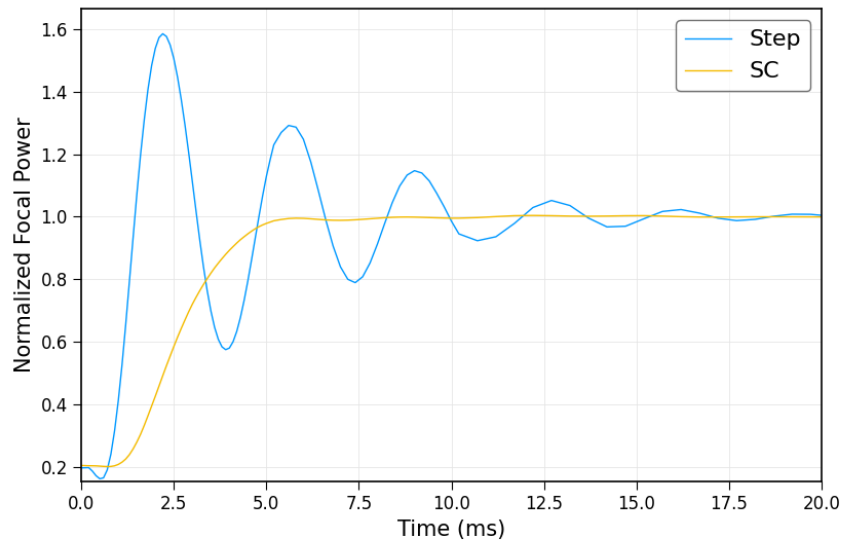


图 8: 通过信号调节 (SC) 可显著改善响应稳定时间。

图 9 显示了在室温下对 EL-7-20-TC 施加多个电流阶跃时的焦距响应。

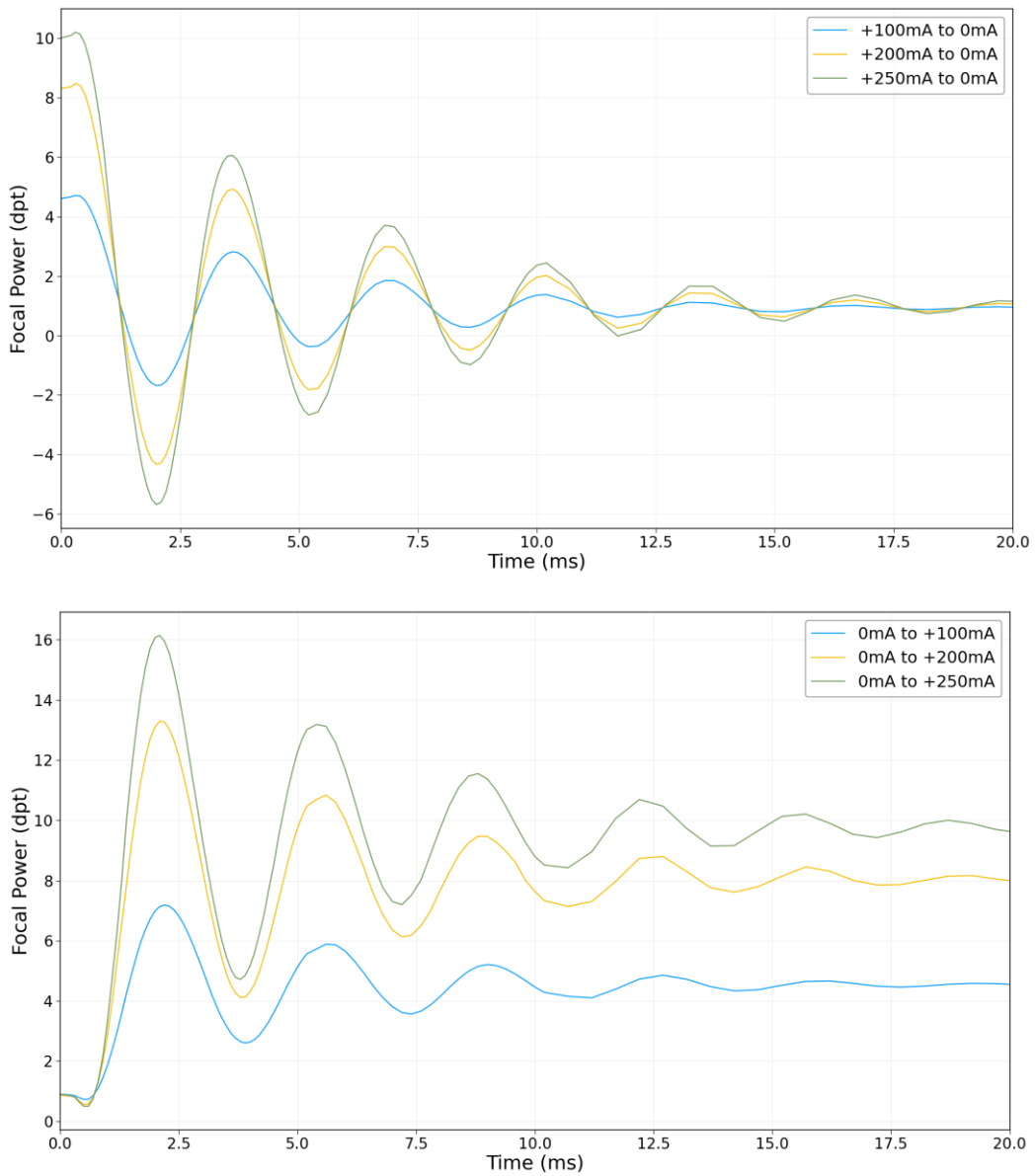


图 9: EL-7-20-TC 在多个电流阶跃下的典型焦距响应。上图显示从高电流到 0 mA 的阶跃变化, 下图显示从 0 mA 到高电流的阶跃变化。

频率响应如图 10 所示，在约 300 Hz 处出现谐振峰。由于高阶模式的激发及其引起的波前误差增加，通常不建议在谐振频率附近使用该透镜进行成像应用。

在施加电流阶跃时，建议使用低通滤波器抑制 200 Hz 以上的频率，以避免如图 9 所示的激励振荡。

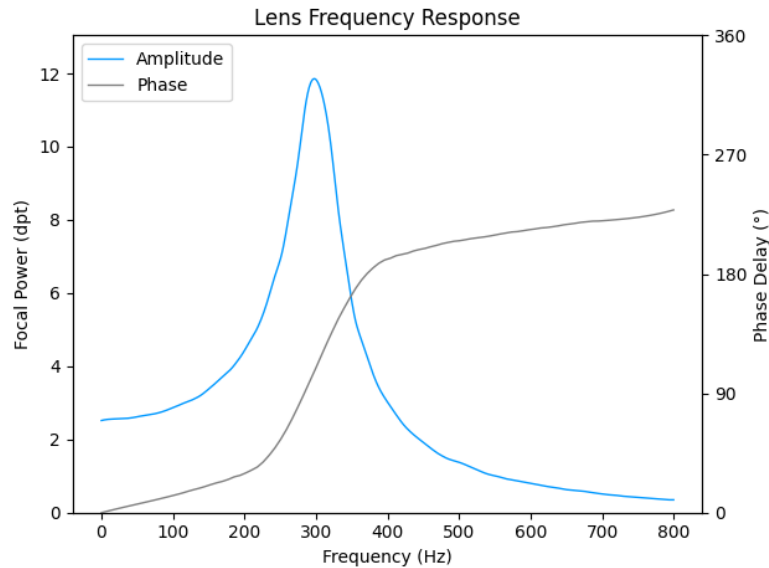


图 10: EL-7-20-TC 的典型频率响应及相位延迟。

## 温度效应

残余温度效应会影响规格表中标注的焦距长期漂移。这些温度效应可通过温度灵敏度  $S$  (单位:  $\text{dpt}/^{\circ}\text{C}$ ) 来量化, 即焦距随每摄氏度变化的量。如图 11 所示,  $S$  与焦距之间几乎呈线性关系。通常, 当 EL-7-20-TC 与散热器 (大质量、高热导材料) 良好热连接时, 可将温度效应降至最低。

在 0 至 5 dpt 的工作范围内, EL-7-20-TC 的热性能最佳。

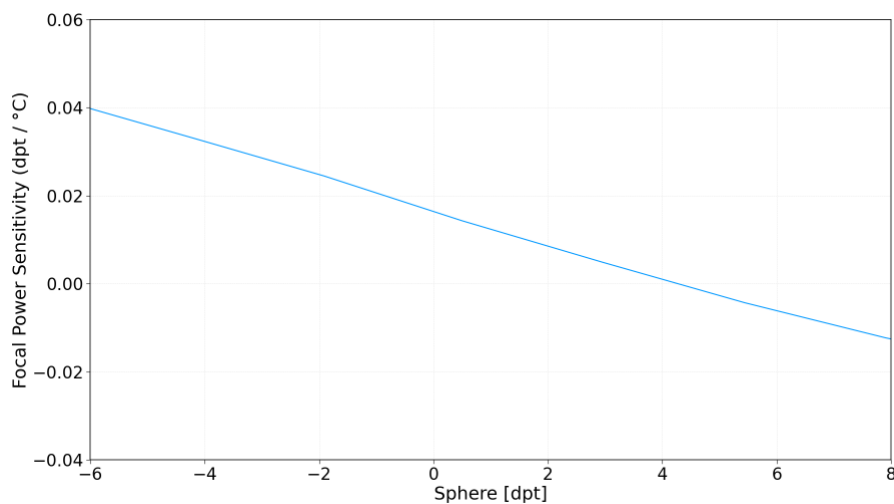


图 11: EL-7-20-TC 焦距随球面度的温度灵敏度曲线。

由于透镜液体的粘度会随温度变化，其响应特性也会随之改变，如图 12 所示。请注意，在极低工作温度下，可以向 EL-7-20 施加高达 300 mA 的电流，使透镜升温约 10– 20°C。

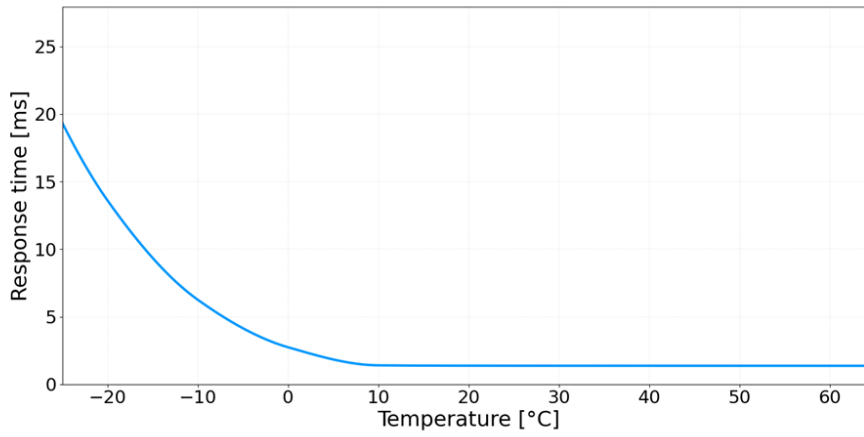


图 12: 透镜响应时间随温度的变化曲线。

## 重复性测试

为了在苛刻工况下评估透镜的重复性性能，使用 Optotune 的 ICC-4C 控制器复现了液态透镜的典型应用场景。评估了三种驱动方案：

- 静态测试：透镜按逐步增加的焦距目标进行调节，并在每个焦距值处保持一定时间。
- 动态测试：透镜以随机方式调节焦距。
- 动态测试带复位：透镜在相邻随机跳变之间重置至 0 mA。

每项测试均在输入电流范围  $\pm 100\text{mA}$  下进行。对应的球面焦距调节范围为  $-3$  到  $+6\text{dpt}$ 。驱动方案在两种温度条件下施行：一是稳定控制温度  $30^\circ\text{C}$ ，二是在约 15 分钟内温度升高  $+15^\circ\text{C}$ ，以验证 Optotune 的热补偿功能（焦距模式）。图 13 对测试结果进行了汇总，显示了以下两项内容：

- 焦距偏差的标准差 (SD)，用于表征重复性
- 在所有驱动方案和温度条件组合下的峰值偏差

在上述条件下，该镜头的重复性性能如下：

- 在稳定温度  $30^\circ\text{C}$  下，静态测试的重复性误差不超过  $0.02\text{ dpt}$  ( $20\text{ mdpt}$ )。
- 对于所有非静态驱动方案，在稳定温度  $30^\circ\text{C}$  下，重复性（标准差 SD）通常在  $0.003\text{--}0.004\text{ dpt}$  ( $3\text{--}4\text{ mdpt}$ ) 范围内，峰值偏差不得超过  $0.01\text{ dpt}$  ( $10\text{ mdpt}$ )。
- 在热瞬态条件下 ( $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ )，所有驱动方案的重复性 (SD) 仍低于  $0.01\text{ dpt}$  ( $10\text{ mdpt}$ )。
- 在热瞬态下，任意驱动方案的峰值重复性误差不超过  $0.03\text{ dpt}$  ( $30\text{ mdpt}$ )。

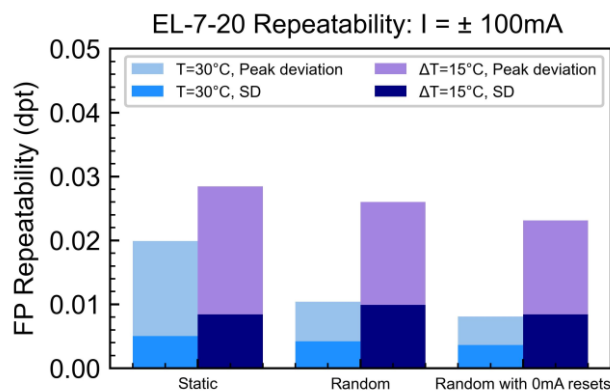
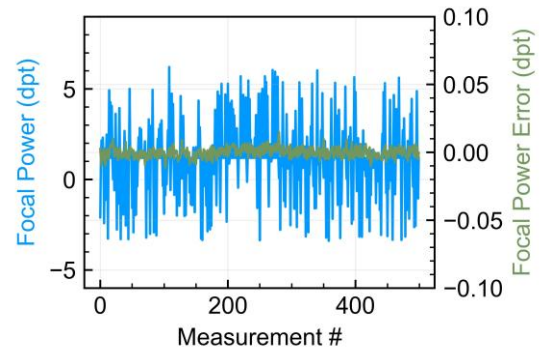
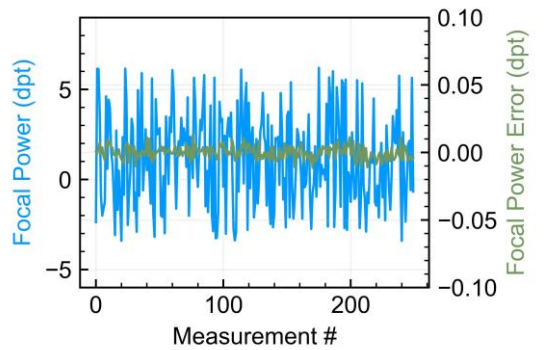
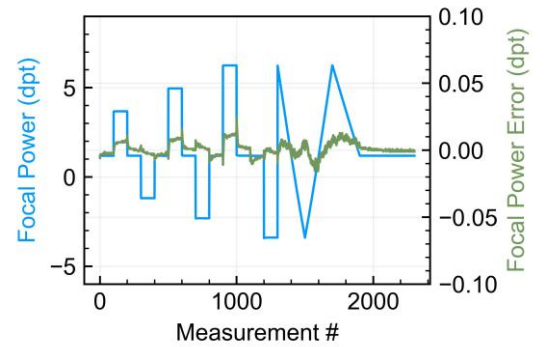


图 13：重复性测试结果汇总（不同驱动方案与镜头温度组合下的标准差 SD 及峰值偏差）。

## 光学布局

可通过 Zemax 仿真模型在光学设计中模拟 EL-7-20 镜头系列。

## 自发荧光、双折射与偏振效应

EL-7-20-TC 不具备自发荧光、双折射，也不对光的偏振状态产生依赖。

## 安全性与合规性

本产品符合 RoHS 与 REACH 合规标准。客户在集成和操作过程中需自行确保遵守所有相关安全法规。

## 使用寿命与可靠性

EL-7-20 已通过表 1 所列的环境与加速老化测试。在适用情况下，测试方法已对齐 ISO 9022 《光学与光子学——环境测试方法》中的相关规定。

测试项目	ISO	状态
<b>机械循环</b> 100 million full range cycles: 1. -250mA to +250mA, f=20Hz, sinusoidal tuning profile 2. -200mA to +200mA, f=20Hz, rectangular tuning profile	-	Pass, continued test ongoing
<b>机械冲击</b> F=500g, t=1ms, 3x6 shocks (3x along each axis)	9022-30-08-1	Pass
<b>高温存储</b> T=85±2 °C, rel. hum. <40%, t=2h	9022-11-08-1	Pass
<b>低温存储</b> T=-40±2 °C, t=168h	9022-10-07-1	Pass
<b>潮湿高温</b> T=55±2 °C, rel. hum. 90% to 95%, t=16h	9022-12-07-1	Pass
<b>温度冲击</b> T=-45 to 55 °C, t=2.5 h/cycle, <20s transition time, 5 cycles	9022-15-03-1	Pass

表 1: EL-7-20-TC 的可靠性与使用寿命测试

### Packaging

The EL-7-20 is available in single units packaged in a box or in trays of 20 units each.

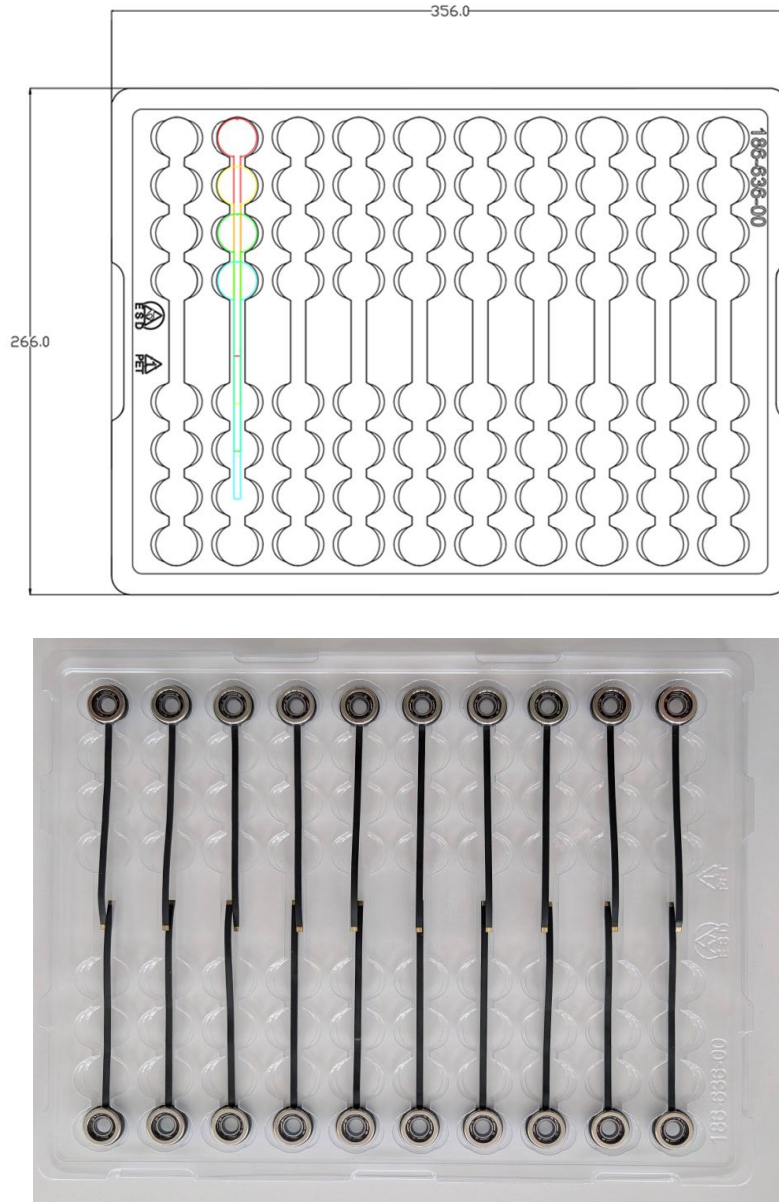


Figure 13: EL-7-20 packaging in trays