



快速电动可调焦液态透镜 EL-3-10

紧凑型 EL-3-10 液态透镜专为 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状可变透镜技术，通过施加电流调节透镜曲率，从而在数毫秒内将焦距调节至所需值。

该透镜采用“推拉式”架构，透镜曲率可从凹形调整至凸形。基于成熟的音圈驱动技术，使 EL-3-10 电动可调焦液态透镜具有极高的可靠性与稳健性，即使在大温度范围或恶劣环境下的应用也表现优异。

光学规格

通光孔径	3	mm
焦度范围 (@20°C) ¹	-13 ~ +13	dpt
透射波段	VIS: 420 ~ 900 NIR: 850 ~ 1600	nm
波前误差 @ 0 mA (垂直/水平光轴)	Class 1: <0.07 / <0.07 Standard: <0.2 / <0.2	λ RMS @532 nm
透镜类型	平凹至平凸	
折射率 / 阿贝数	nD = 1.300 / v = 100	
响应时间 (80% 阶跃)	<1	ms
稳定时间 (80% 阶跃)	2 / 4	ms (smart step / normal step signal)
使用寿命 (+/-100 mA 正弦驱动)	>1' 000' 000	cycles
损伤阈值	>1	kW/cm ²
工作温度	-20 to 65	°C
存储温度	-50 to 85	°C
重量	1.25	g
电气规格		
常规控制电流	-120 to +120	mA
工作电压	-1...1	V
音圈电阻	7.1	Ohm
功耗 (全调焦范围)	0 to 100	mW
功耗 (+/- 5 dpt 调焦范围)	0 to 15	mW

标准产品型号概览

标准产品型号	调焦范围	柔性排线	保护玻璃	容器及/或保护玻璃镀膜	波前误差 @ 0mA
EL-3-10-VIS-26D-FPC	-13 ~ +13 dpt	Yes	Yes	420 – 900 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-NIR-26D-FPC	-13 ~ +13 dpt	Yes	Yes	850 – 1600 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-NOC-26D-FPC	-13 ~ +13 dpt	Yes	Yes	420 – 2200 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-VIS-26D-OEM	-13 ~ +13 dpt	No	No	420 – 900 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-NIR-26D-OEM	-13 ~ +13 dpt	No	No	850 – 1600 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-NOC-26D-OEM	-13 ~ +13 dpt	No	No	420 – 2200 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-VIS-26D-OEM-CG	-13 ~ +13 dpt	No	Yes	420 – 900 nm	<0.2 λ RMS
EL-3-10-VIS-26D-1-OEM-CG	-13 ~ +13 dpt	No	Yes	420 – 900 nm	<0.07 λ RMS

¹ 可根据需求提供最高 ±35 dpt 的光学功率范围定制版本。

机械结构图

标准版 EL-3-10 透镜配备柔性排线（见图2），可与我们的 EL-E-4 透镜驱动器兼容，适用于原型开发及小批量应用。此外，还提供用于大规模量产应用的 OEM 版本 EL-3-10 透镜。该版本设有两个焊盘，可用于焊接导线或连接弹片触点（见图4）。其上方方向的全视场角为 50° ，下方方向的全视场角为 46° 。对于 OEM 版本，保护玻璃为可选配置，可根据需求优化透过率性能。

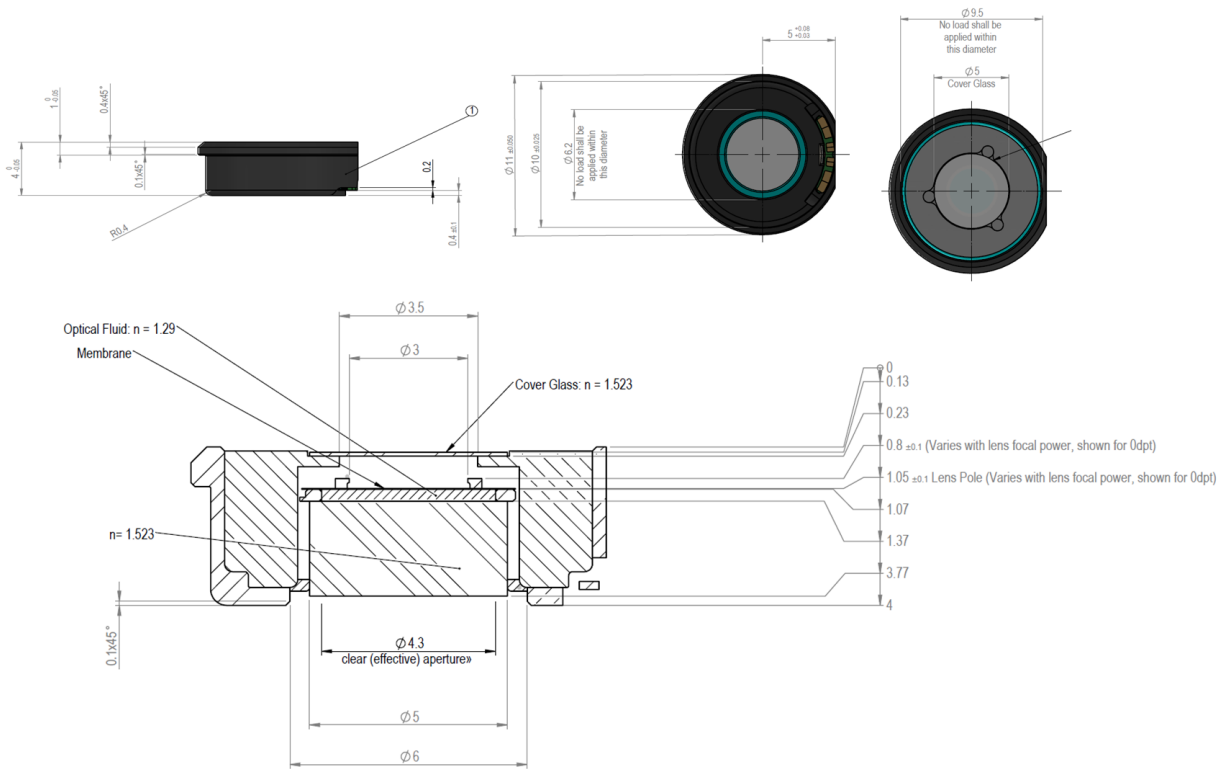


图1: EL-3-10-XXX-26D-OEM 透镜机械结构图

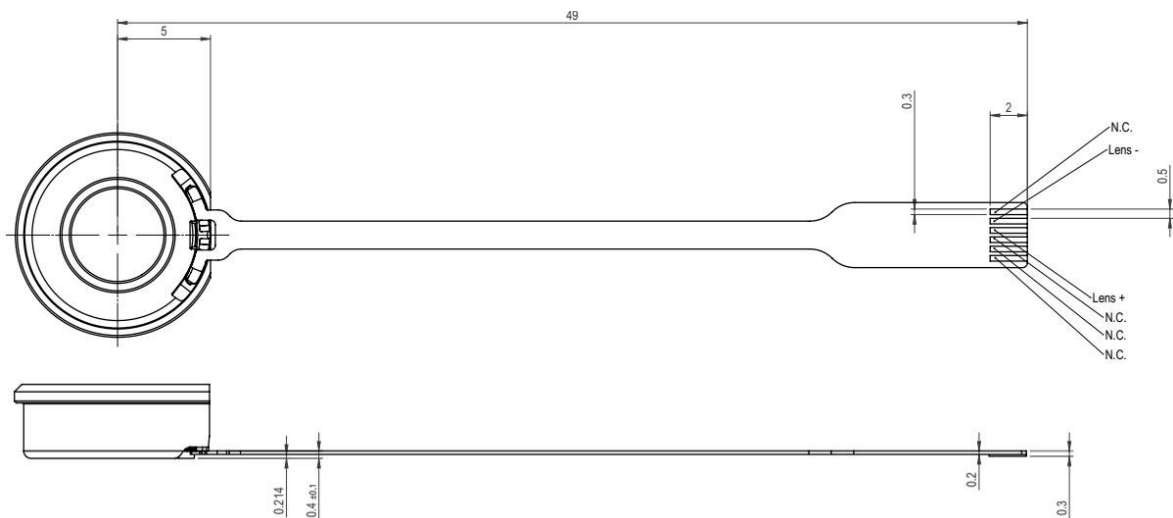


图2: EL-3-10-XXX-26D-FPC 透镜机械结构图

安装方式

透镜通过法兰进行夹持固定。其安装方向由 D 型切口进行定义。对于底部无保护玻璃的版本，其下方光学孔径中的薄膜直接暴露于环境中。因此，该透镜必须在洁净环境（例如洁净室）中进行集成，并在光学系统设计中确保底部界面免受灰尘污染。

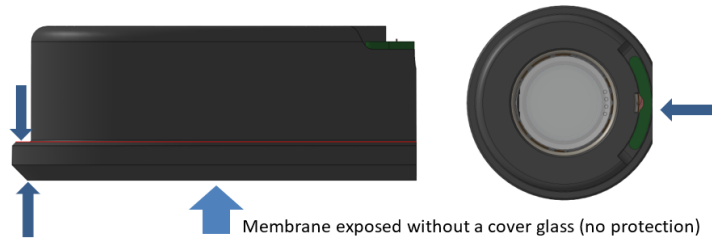


图3: EL-3-10 安装示意图

电气连接

对于 OEM 版本，可在两个 PCB 焊盘上连接导线。此外，也可使用弹簧针与 PCB 焊盘实现接触连接，例如 TE Connectivity 1551631-5。



图4: EL-3-10-XXX-26D-OEM 焊盘与弹簧针连接示意图

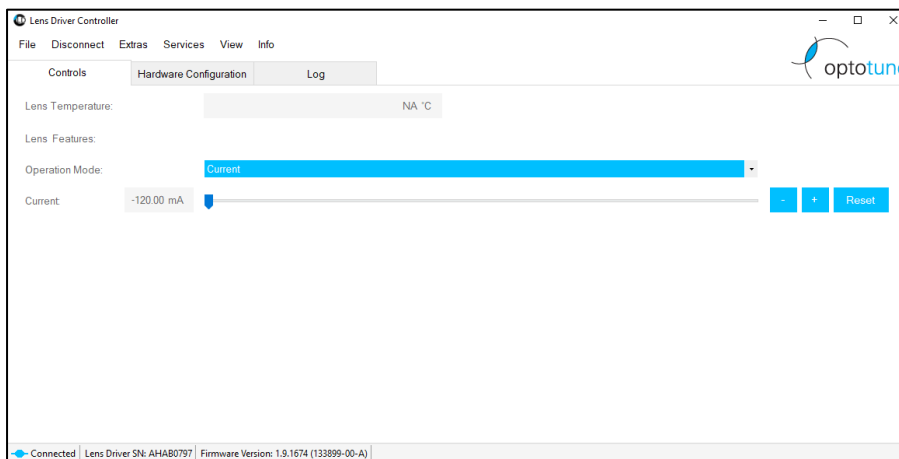
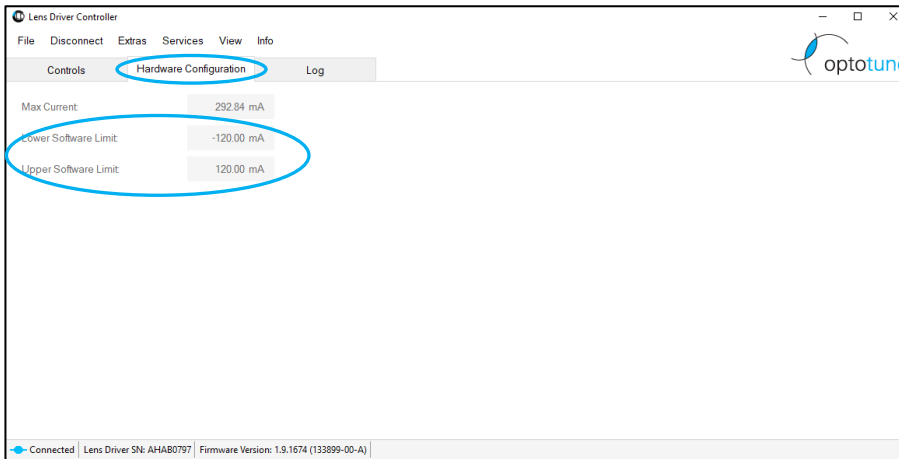
FPC 版本采用柔性排线并焊接至上述焊盘，如图5所示。排线末端设有加固连接头，配备 6 针接口，可适配 Amphenol SFV12R-2STE1HLF（单面连接，更安全）、Molex 503480-0600（双面连接，需注意方向）或同等规格连接器。



图5: 带柔性排线的 EL-3-10-XXX-26D-FPC 透镜

驱动器

紧凑型EL-3-10透镜可通过EL-E-4透镜驱动器进行驱动，只需将透镜的柔性排线直接连接至驱动器上的Molex接口即可。在软件界面中，可通过调节输出电流来控制透镜工作状态。需要注意的是，实现全光学功率调节范围需要 $\pm 120\text{mA}$ 的驱动电流。由于驱动器本身具备更高电流输出能力，因此在初始配置时必须遵循以下步骤：首先在未连接透镜的情况下将驱动器连接至PC。随后在软件的“Hardware Configurations（硬件配置）”选项卡中，将电流软件限幅设置为 $\pm 120\text{mA}$ 。完成设置后，可断开驱动器与PC的连接，连接透镜至驱动器，再将驱动器重新连接至PC。此时电流调节范围将被限制在 $\pm 120\text{mA}$ 内，从而有效防止对透镜的过驱动保护其安全运行。



操作步骤

1. 在未连接透镜的情况下，将透镜驱动器连接至PC
2. 打开透镜驱动器控制软件
3. 进入“Hardware Configurations（硬件配置）”选项卡
4. 将电流软件下限设置为 -120mA
5. 将电流软件上限设置为 $+120\text{mA}$
6. 关闭软件窗口
7. 断开透镜驱动器连接
8. 将透镜连接至透镜驱动器
9. 将透镜驱动器重新连接至PC
10. 打开透镜驱动器控制软件
11. 使用滑块调节透镜驱动电流

工作原理

EL-3-10的工作原理基于成熟的形状可变聚合物透镜技术。构成透镜的核心部分包含光学液体，并通过弹性聚合物薄膜进行密封（如图6所示）。电磁驱动器用于对容器施加压力，从而改变透镜的曲率。通过调节驱动线圈中的电流，即可实现对透镜光学功率的精确控制。

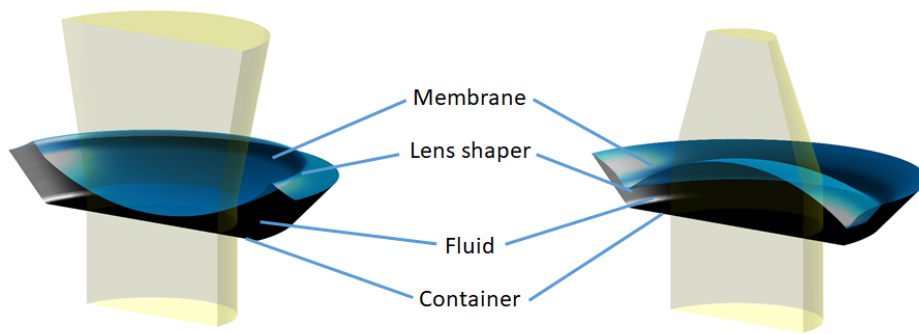


图6: 密封透镜容器示意图 (内含光学液体并封装于 EL-3-10 外壳中)

光学功率与电流关系

如图7所示，EL-3-10 的光学功率随正向电流的增加而增大，随负向电流的增加而减小。其规定的光学功率调节范围为 +13 至 -13 dpt。

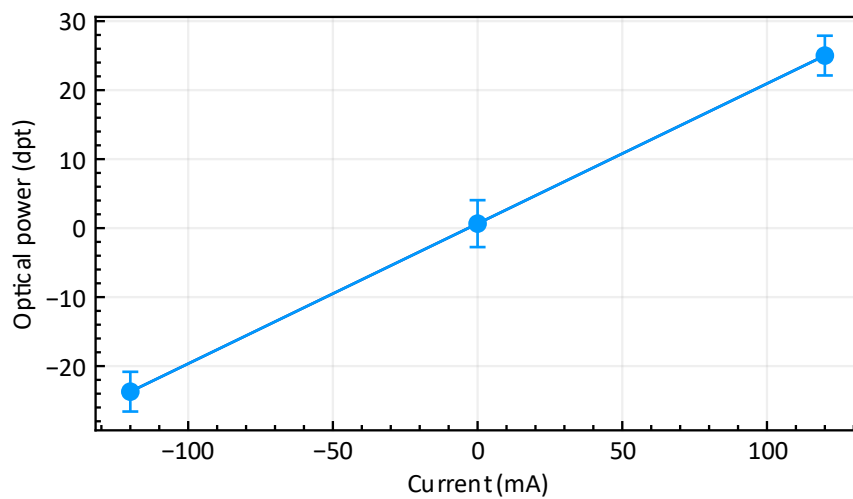


图7: EL-3-10 典型电流与光学功率关系曲线图

透射范围

透镜中的光学液体与弹性薄膜材料在 400 至 2500 nm 波段范围内均具有较高透过率。由于该薄膜具有弹性，无法采用标准工艺进行镀膜，因此预期存在约 3-4% 的反射损耗。保护玻璃可根据需求进行定制镀膜。图8展示了标准可见光 (VIS) 与近红外 (NIR) 宽带镀膜的透射光谱。

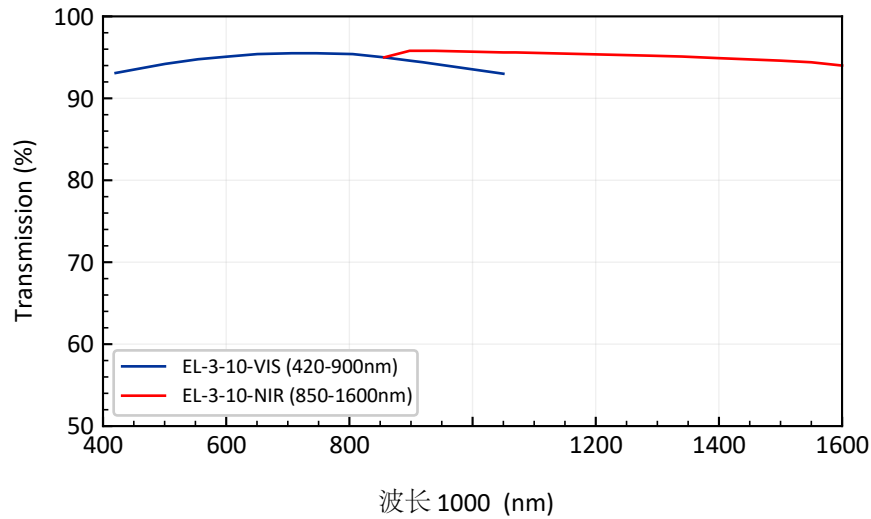


图8: EL-3-10 标准可见光 (VIS) 与近红外 (NIR) 镀膜的透射光谱

波前质量

从原理上讲，电动可调焦液态透镜呈现近似球面透镜形状，其标称光学参数可在 ZEMAX 光学设计文件中获取。当透镜用于水平光轴时，通常会受到重力引起的彗差影响。由于 EL-3-10 透镜具有较小的有效通光孔径以及较高刚性的膜结构，在水平光轴方向上几乎不存在可测量的 Y 方向彗差。然而，该透镜的焦距仍会受到加速度影响，在 1 g 条件下约产生 0.15 dpt 的焦距变化。

整个调焦范围内的典型波前误差如图9所示。

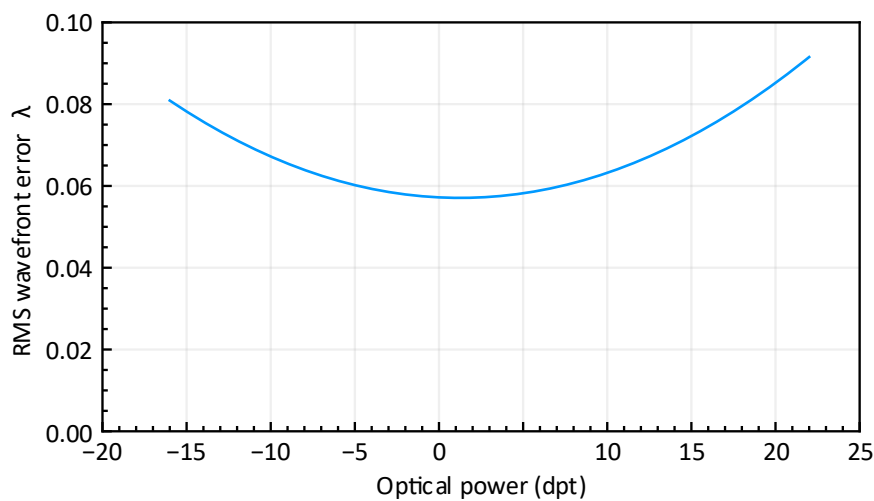


图9: EL-3-10 的典型 RMS 波前误差

响应时间

施加阶跃电流后的上升时间小于 1 ms，透镜完全稳定仅需约 4 ms。下方阶跃响应测量图显示了 EL-3-10 透镜的光学响应。对透镜驱动信号进行低通滤波可以抑制下方阶跃响应图中出现的振荡，从而在小于 2 ms 的时间内驱动一个受控的 80% 阶跃。

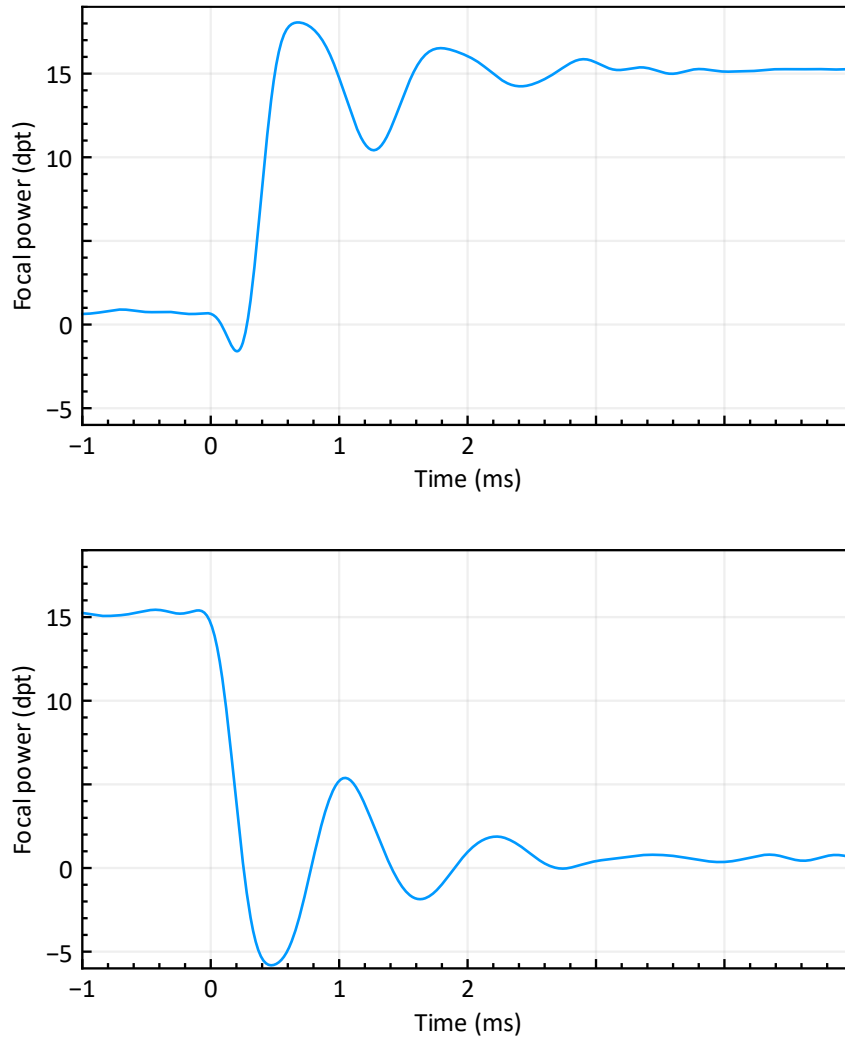


图 10: EL-3-10 透镜的 80% 阶跃响应

图 11 展示了宽频带范围内的频率响应，图中显示了约 475 Hz 处的共振峰。需要注意的是，在该共振频率附近或频率处会出现额外的球面像差，这可能会限制该透镜在高频应用中的使用。

施加阶跃电流时，建议使用低通滤波器抑制 250 Hz 以上的频率，以避免如图 10 所示的激励振荡。

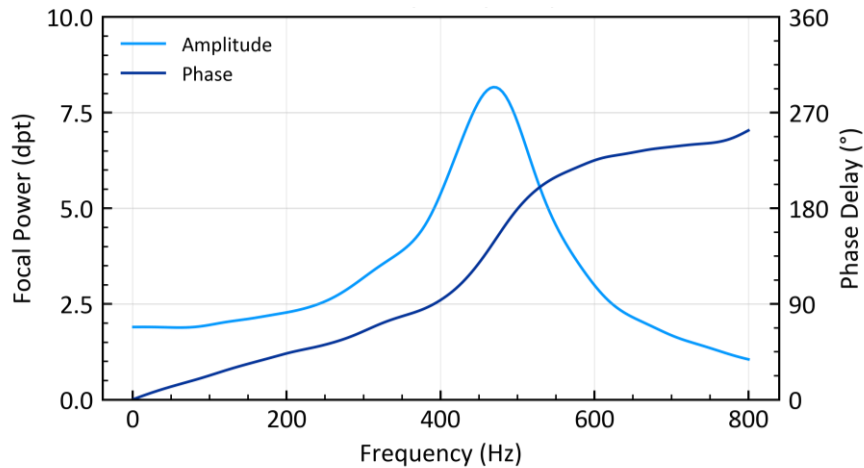


图 11: EL-3-10 的典型频率响应和相位延迟。驱动幅度为 -10 至 10 mA。

温度效应

残余温度效应会影响光功率的长期漂移。这些温度效应通过温度灵敏度来量化，即每摄氏度光功率的变化。根据图 12 中的曲线，EL-3-10 的灵敏度会随光功率的变化而增加或减少。为了在整个温度和光功率范围内实现可重复的光功率驱动，需要额外的主动温度补偿。由于灵敏度随光功率的增加而降低，因此建议在灵敏度最低的正光功率范围内操作 EL-3-10。

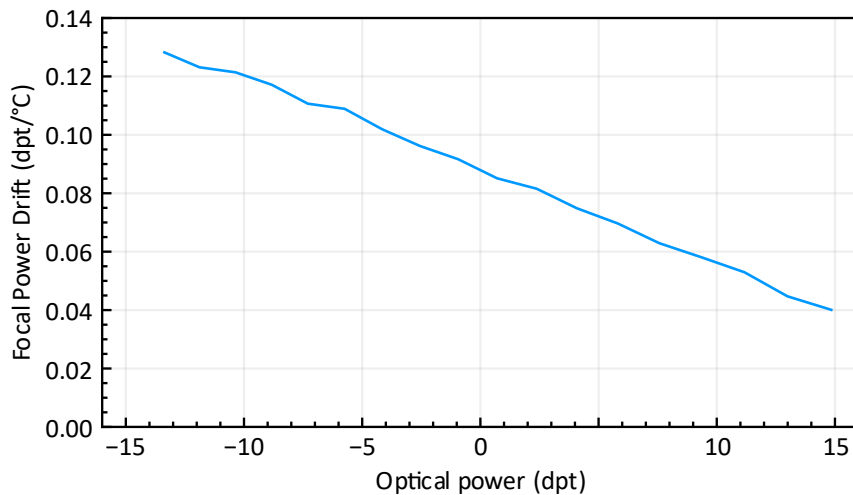


图 12: EL-3-10 在整个光功率范围内的温度灵敏度

光学布局

可根据要求提供 Zemax 仿真结果，用于模拟 EL-3-10 透镜在光学设计中的应用。

安全性和合规性

本产品符合 RoHS 和 REACH 标准。客户需自行负责遵守所有相关的集成和操作安全法规。

包装

EL-3-10 采用防静电 PET 塑料托盘包装。每个托盘可容纳 70 个 EL-3-10 OEM 版本和 20 个带柔性排线的 EL-3-10 版本。

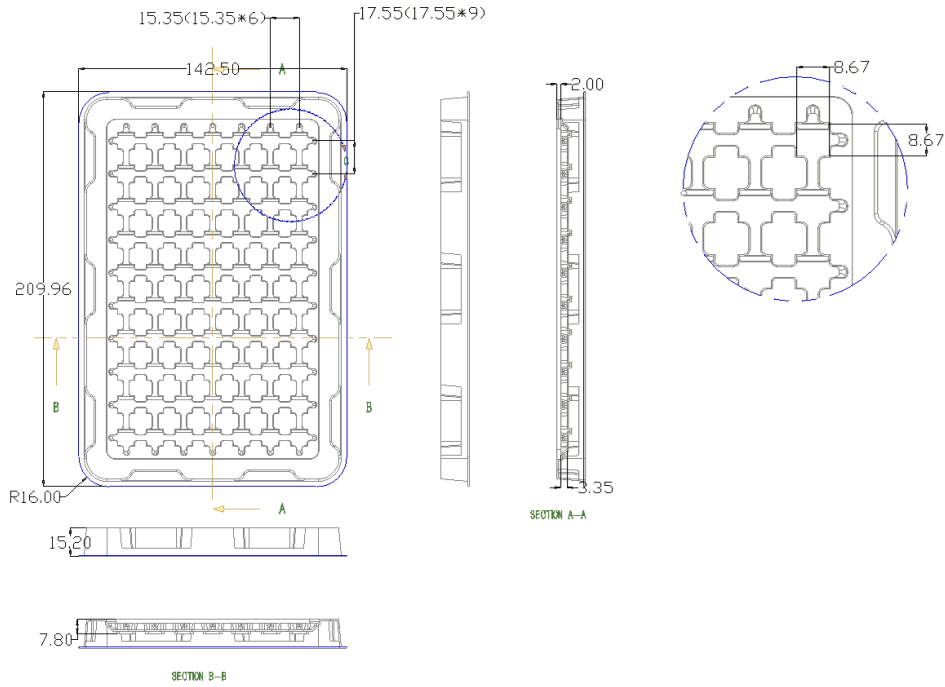


图 13: EL-3-10 托盘底部

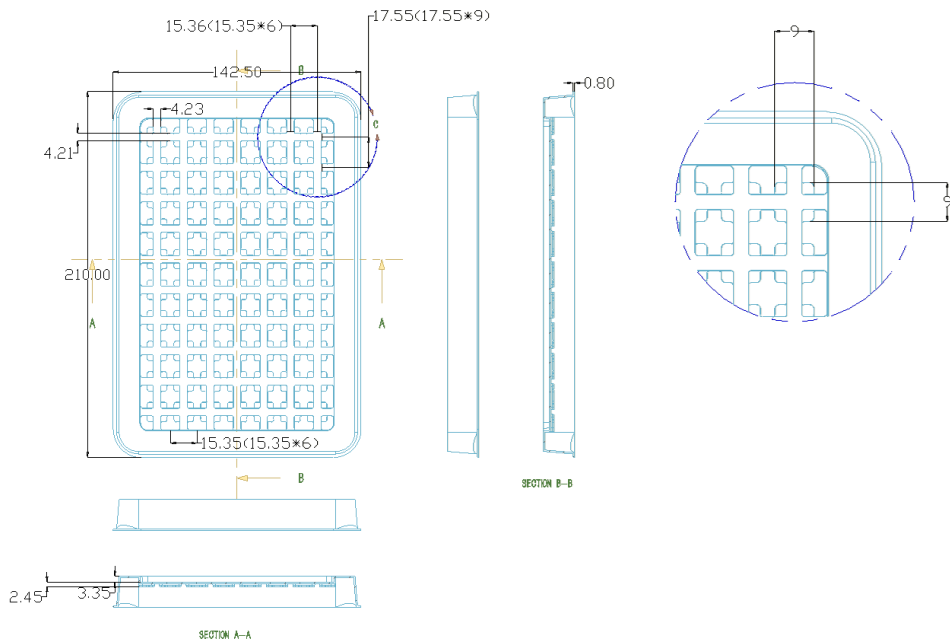


图 14: EL-3-10 托盘盖

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

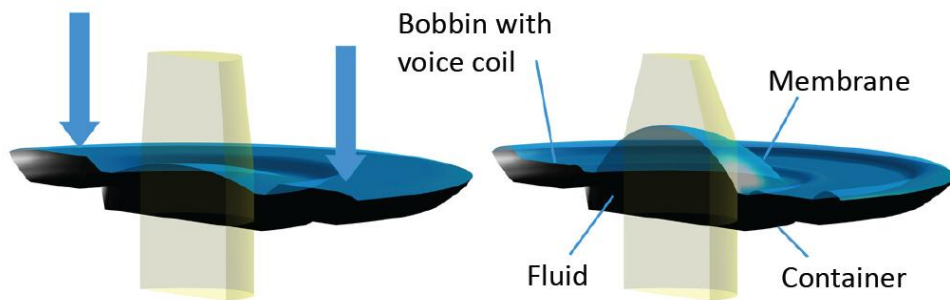
额控制电流定	-250 to 250	mA
最大绝对控制电流	-300 to 300	mA
音圈电阻 @ 25°C	14	Ω
功耗 (5 dpt 范围, ±60mA)	50	mW
最大功耗 (@ 250 mA)	875	mW
存储器	ON Semiconductor: CAT24C64C4CTR (or similar)	
温度传感器	Maxim Integrated: MAX31875R2TZS+T (or similar)	
音圈最大电压	6	V
存储器与传感器最大电压	4	V

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 λ RMS	0.1 dpt	420 – 950 nm
EL-7-20-TC-VIS-14D-2	-6 to 8 dpt	0.10 λ 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。

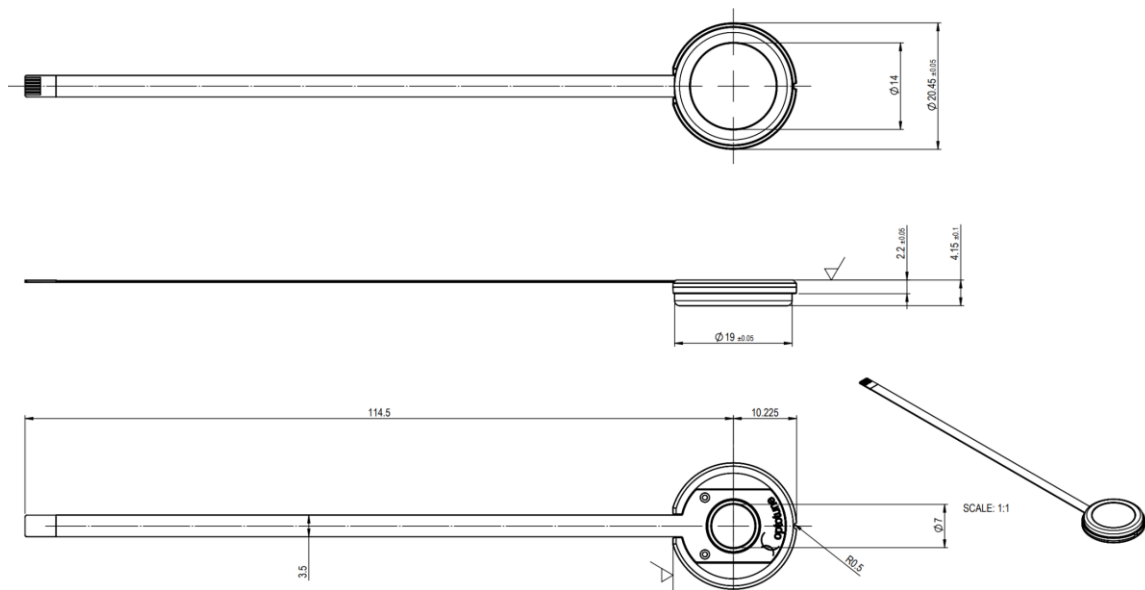


图 2: EL-7-20-TC-VIS-16D 的机械示意图 (单位: mm)

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 I²C 通信。

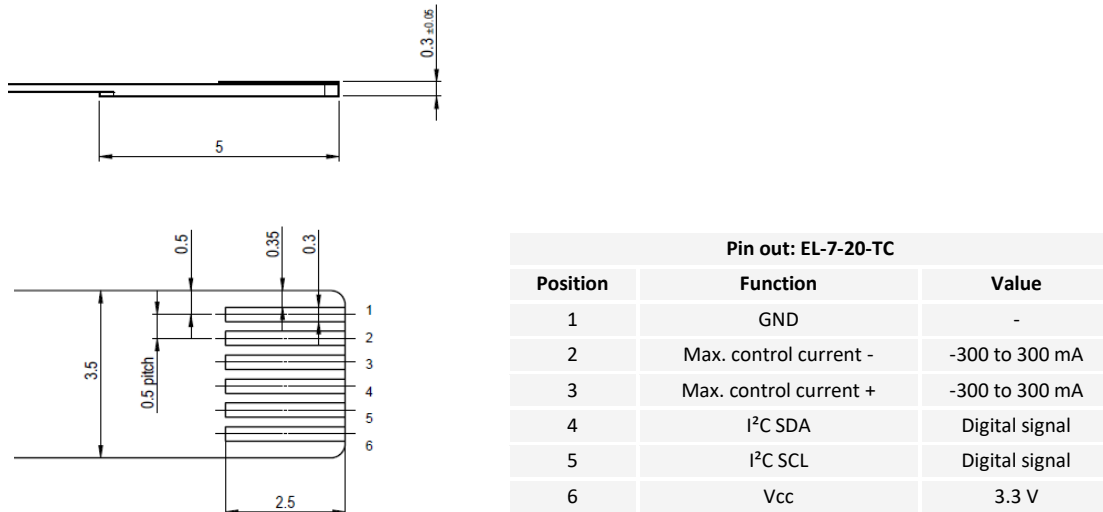


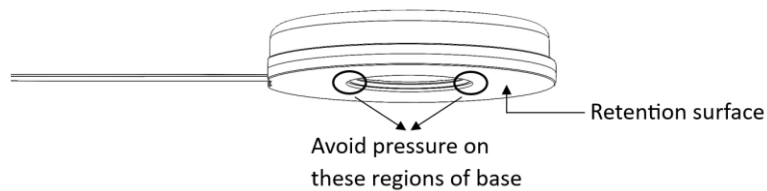
图 3: EL-7-20-TC 的柔性排线电气连接示意图

Component:	Temperature Sensor	EERPROM
I ² 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 I²C 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 ± 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）

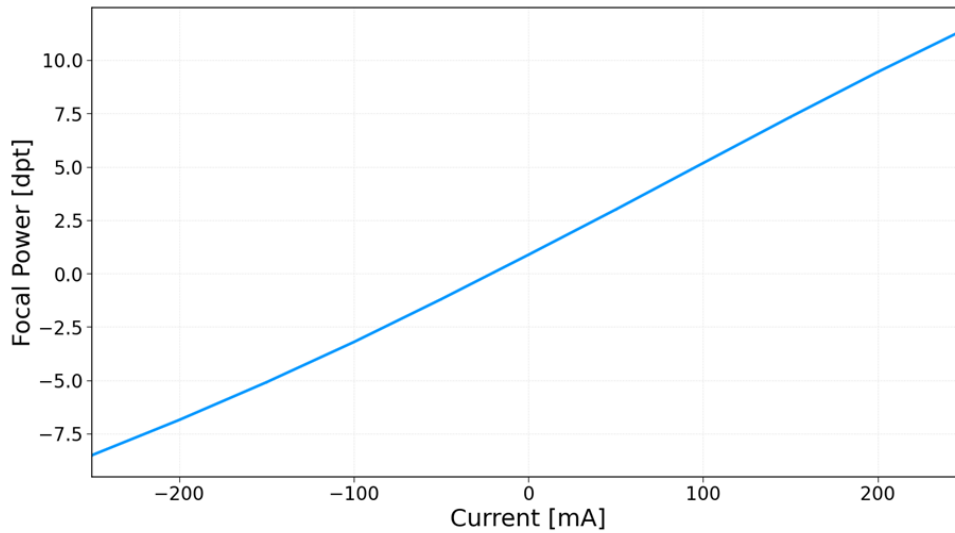


图5: 焦距与电流的典型关系（以屈光度为单位）。

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。

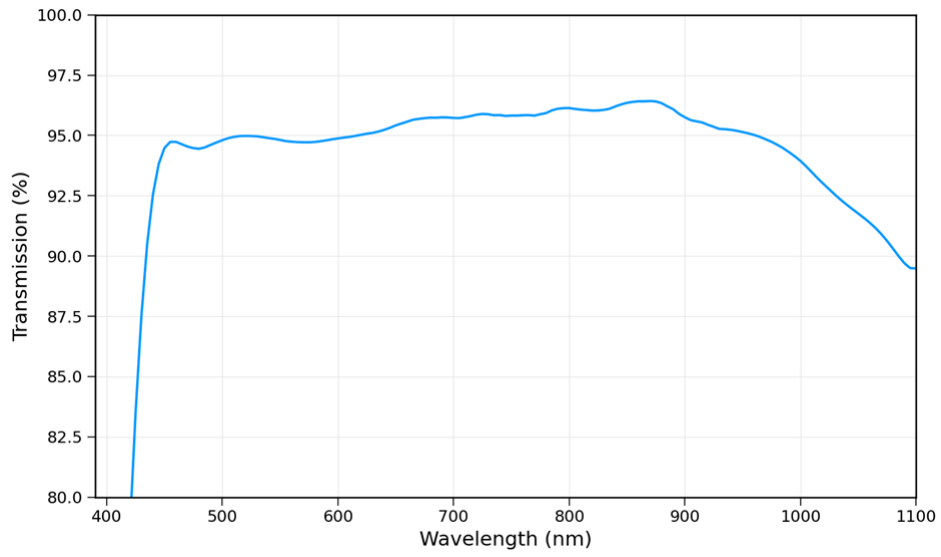


图6: 标准 EL-7-20-TC 的透射光谱。

Class 2 镜片的波前质量

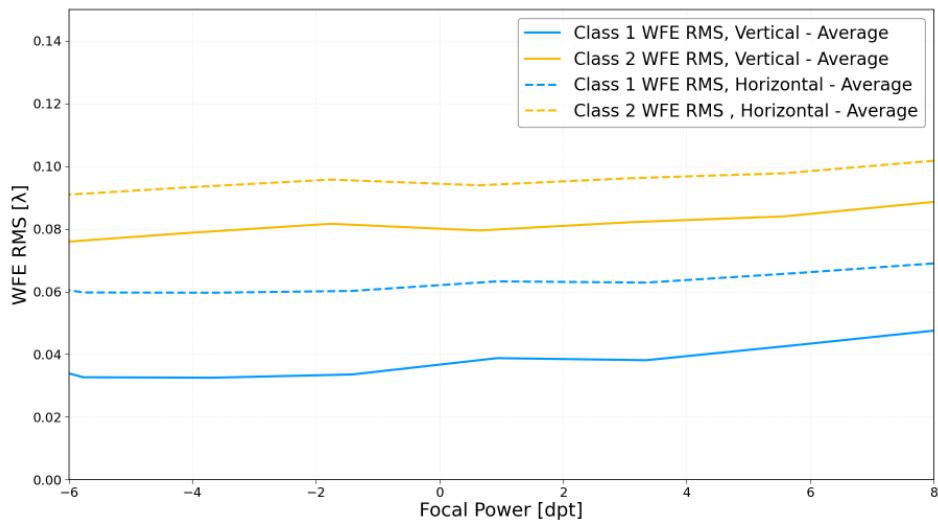


图 7 显示了典型的波前误差随焦距变化的关系。波前质量因镜片而异，可根据客户需求提供不同规格。最佳光学性能通常在 -2 到 4 屈光度范围内实现。当镜片垂直放置（光轴水平）时，需要叠加约 0.05λ RMS 的 Y-彗差项，从而使总波前误差达到：Class 1 镜片约 0.085λ RMS，Class 2 镜片约 0.11λ RMS。

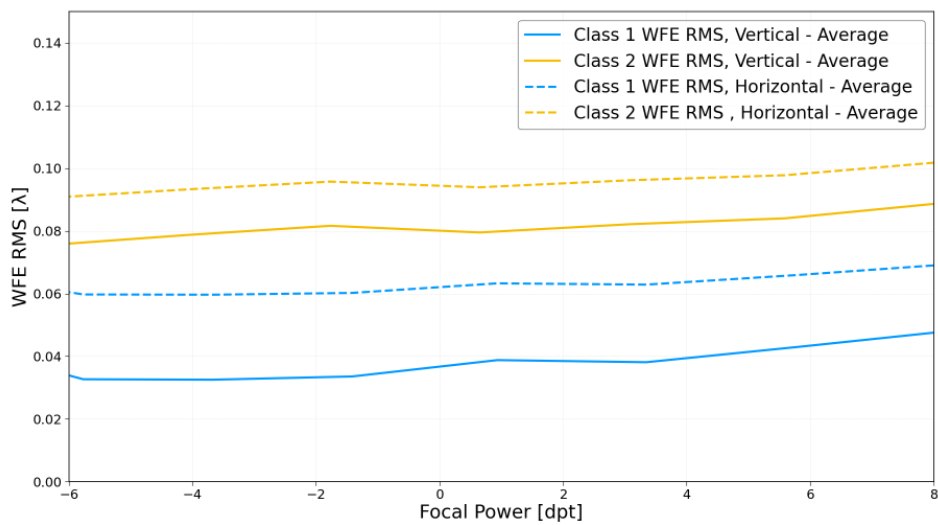


图 7: EL-7-20-TC 镜片的典型波前误差随焦距变化曲线，显示 Class 1 与 Class 2 镜片的平均值（波长 530 nm，测量覆盖清晰孔径的 80%）。

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。

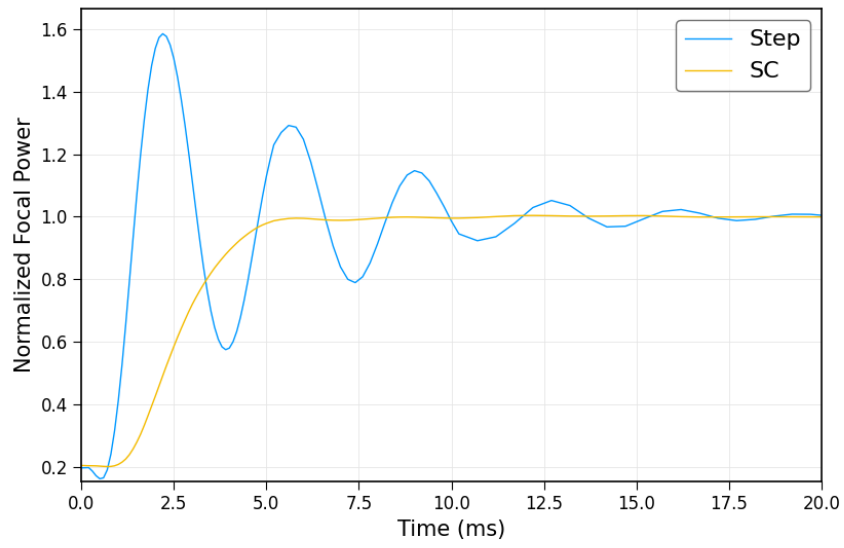


图 8: 通过信号调节 (SC) 可显著改善响应稳定时间。

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。

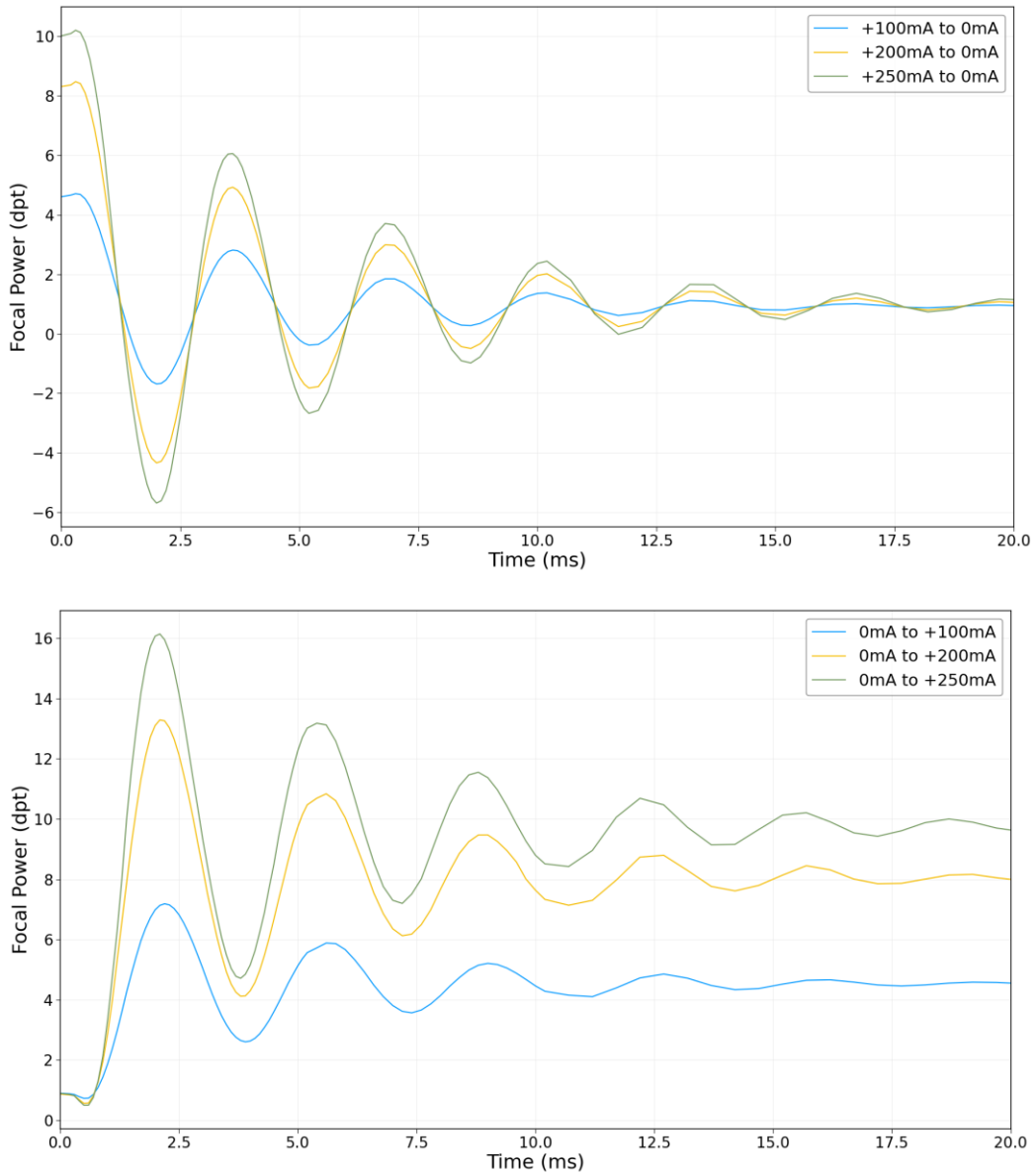


图 9: EL-7-20-TC 在多个电流阶跃下的典型焦距响应。上图显示从高电流到 0 mA 的阶跃变化, 下图显示从 0 mA 到高电流的阶跃变化。

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。

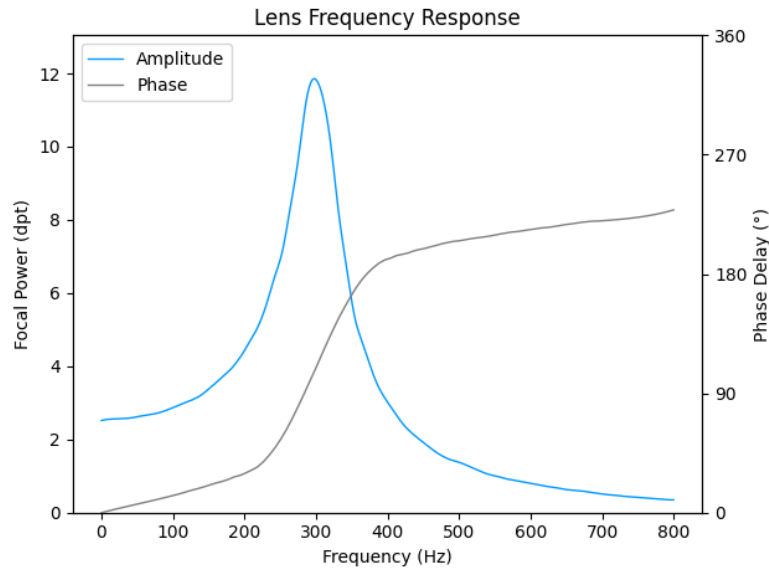


图 10: EL-7-20-TC 的典型频率响应及相位延迟。

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。

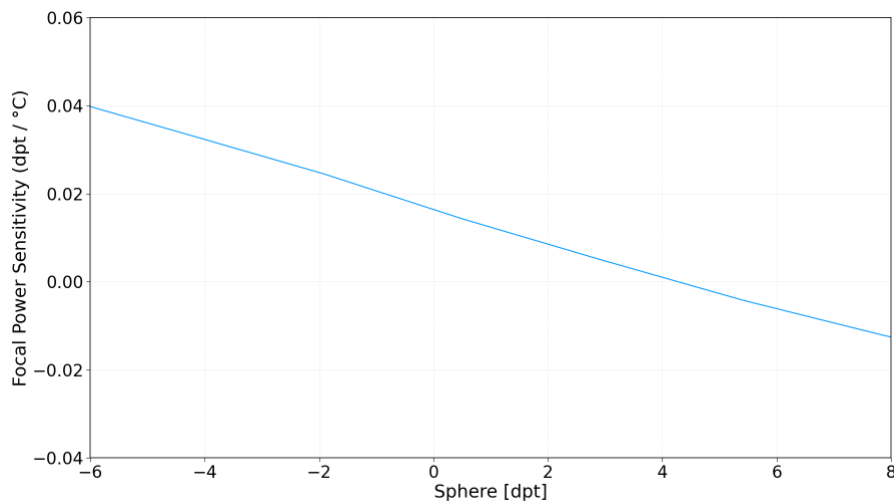


图 11: EL-7-20-TC 焦距随球面度的温度灵敏度曲线。

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。

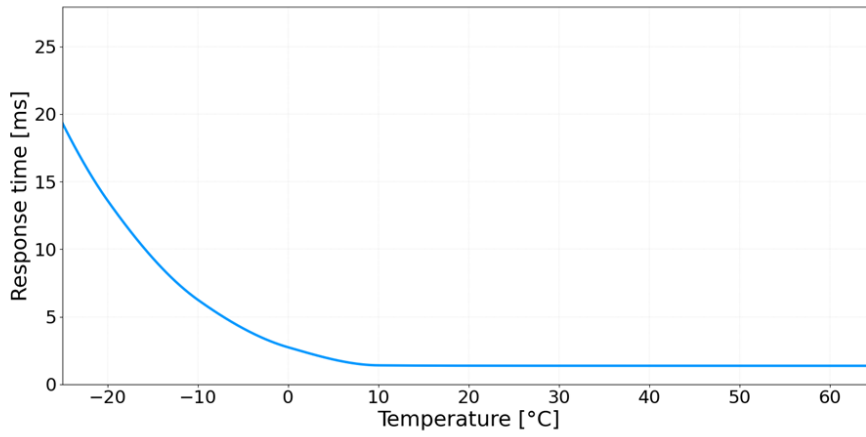


图 12: 透镜响应时间随温度的变化曲线。

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°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°C 下，静态测试的重复性误差不超过 0.02 dpt (20 mdpt)。
- 对于所有非静态驱动方案，在稳定温度 30°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，峰值偏差不超过 0.01 dpt (10 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 dpt (10 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 dpt (30 mdpt)。

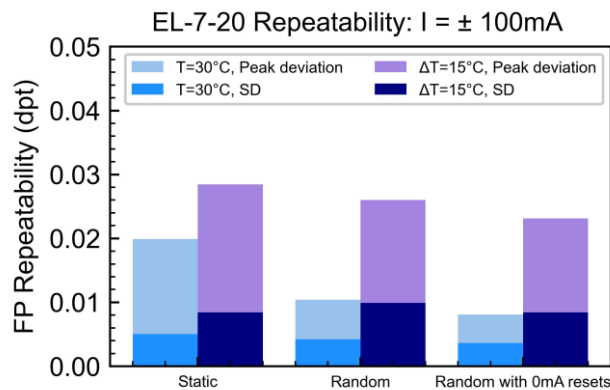
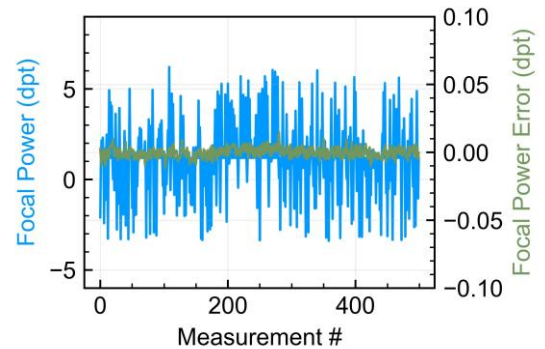
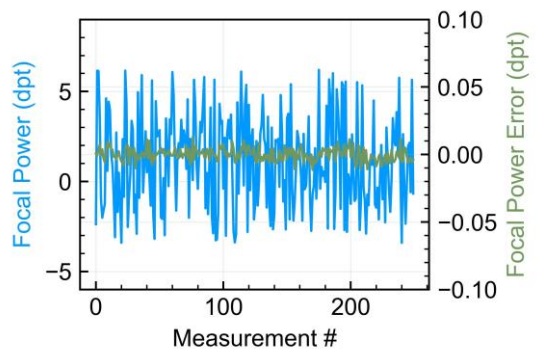
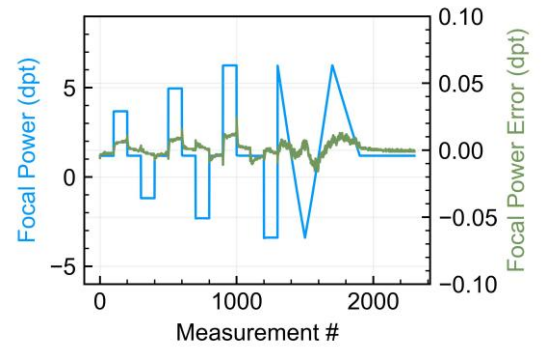


图 13: 重复性测试结果汇总 (不同驱动方案与镜头温度组合下的标准差 SD 及峰值偏差)。

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
机械循环 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
机械冲击 F=500g, t=1ms, 3x6 shocks (3x along each axis)	9022-30-08-1	Pass
高温存储 T=85±2 °C, rel. hum. <40%, t=2h	9022-11-08-1	Pass
低温存储 T=-40±2 °C, t=168h	9022-10-07-1	Pass
潮湿高温 T=55±2 °C, rel. hum. 90% to 95%, t=16h	9022-12-07-1	Pass
温度冲击 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.

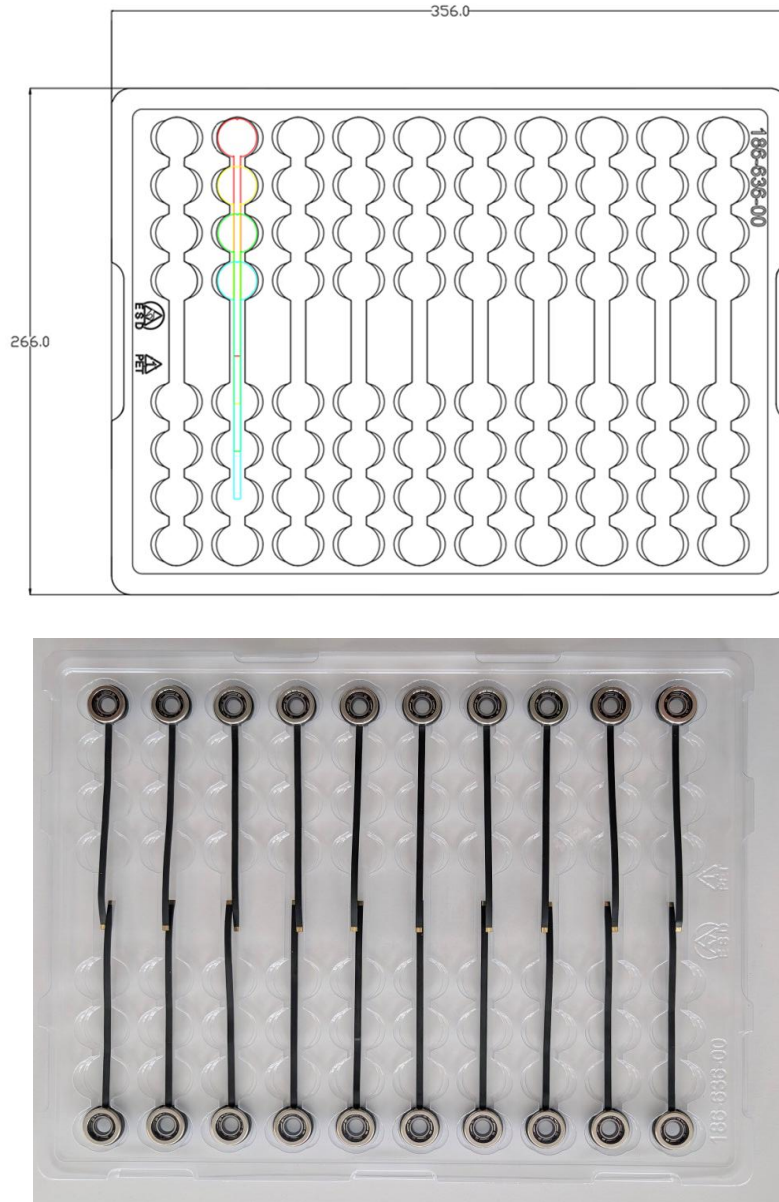
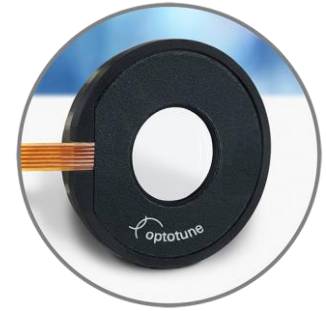


Figure 13: EL-7-20 packaging in trays

电动可调焦液态透镜 EL-12-30-TC



紧凑型 EL-12-30-TC 透镜专为 OEM 集成到各类光学系统中设计，适用于多种应用场景。其工作原理基于成熟的形变镜片技术，通过施加电流来调节镜片曲率，从而在毫秒级时间内将焦距调整到所需值。该透镜采用“推拉式”架构，能够将镜片曲率从凹面调节到凸面。凭借成熟的音圈执行器技术，EL-12-30-TC 可调焦液态透镜具有极高的可靠性与稳健性，即使在大温度范围的恶劣环境中也能稳定工作。

镜头规格

通光孔径	11.6	mm
焦距调节范围: (25°C, ±250 mA)	-6 to +10	dpt
零电流焦距 @ 0 mA (25°C, typical)	-1 to +2	dpt
透射波段	VIS: 450 to 1050	nm
波前误差 @ 0 dpt (垂直/水平光轴)	0.15 / 0.23	λ RMS @ 532 nm
镜片类型	平凹至平凸	
折射率 / 阿贝数	nD = 1.45 / v = 55	
响应时间 (typ. at 25°C, 0 to ±250 mA step)	3	ms
稳定时间 (typ. at 25°C, 0 to ±250 mA step, ±0.1 dpt)	10 (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	10.5	g

电气规格

额定控制电流	-250 to 250	mA
最大控制电流	-300 to 300	mA
音圈电阻 @ 25°C	15	Ω
功耗 (5 dpt 范围, ±60mA)	55	mW
最大功耗 (@ 250 mA)	940	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 ¹	焦距调节范围	上螺纹	下螺纹	控制器
EL-12-30-TC-VIS-16D	-6 ~ 10 dpt	None	None	-
EL-12-30-TC-VIS-16D-C	-6 ~ 10 dpt	C-mount 公头	C-mount 母头	-
EL-12-30-TC-VIS-16D-C-E				ECC-1C 嵌入在 Hirose 适配器中

¹ 所有型号均可根据需求提供近红外 (NIR) 涂层或定制涂层。

液态透镜工作原理

EL-12-30-TC 的工作原理基于成熟的可变形聚合物透镜技术。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。电磁执行器用于对透镜容器施加压力，从而改变透镜的曲率。通过调节流经执行器线圈的电流，可控制透镜的焦距（光学功率）。

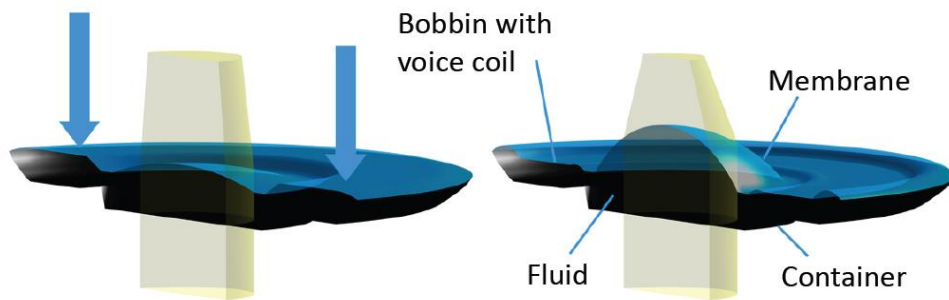


图 1: EL-12-30-TC 透镜外壳中密封透镜容器的工作原理示意图。透镜容器内充满光学液体，并嵌入透镜外壳中。

机械布局

EL-12-30-TC 配备钢制顶端回位结构和 LCP 底座。电气连接及与控制器的通信通过侧面的 FFC 扁平柔性排线实现。相关机械示意图见图 2。

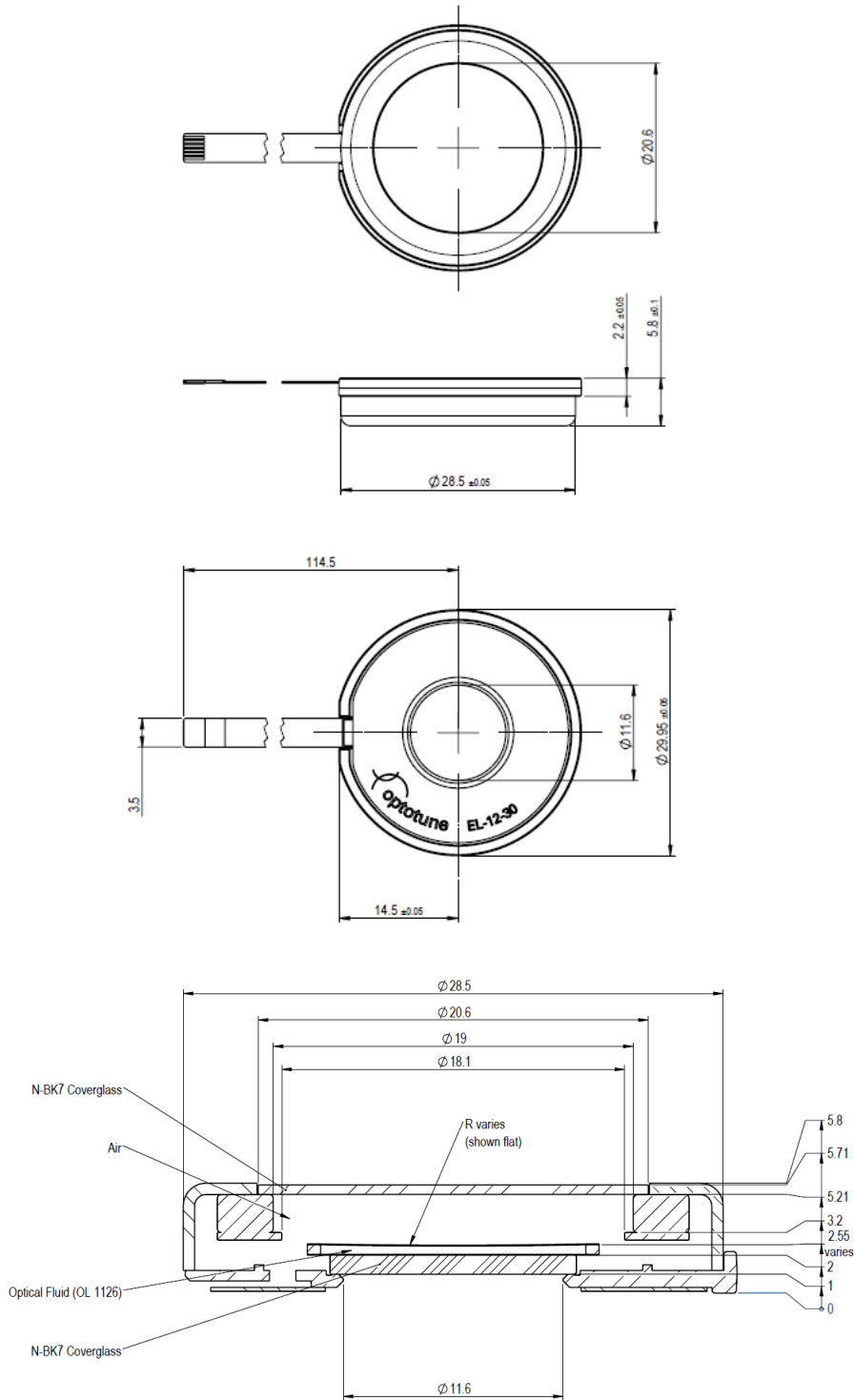


图 2: EL-12-30 最简版本的机械示意图, 即 EL-12-30-TC-VIS-16D, 未安装任何螺纹适配器 (单位: mm)。

为了便于在光学系统中的集成，EL-12-30 可选配 M40.5x0.5 管体，提供 C-mount 顶部和底部适配器，如图 3 所示。该适配器可旋转，并可通过一颗紧定螺丝固定。螺纹适配器侧面的延长部分配有 6 针 Hirose 连接器 (HR10G-7R-6P)，适用于恶劣环境条件。

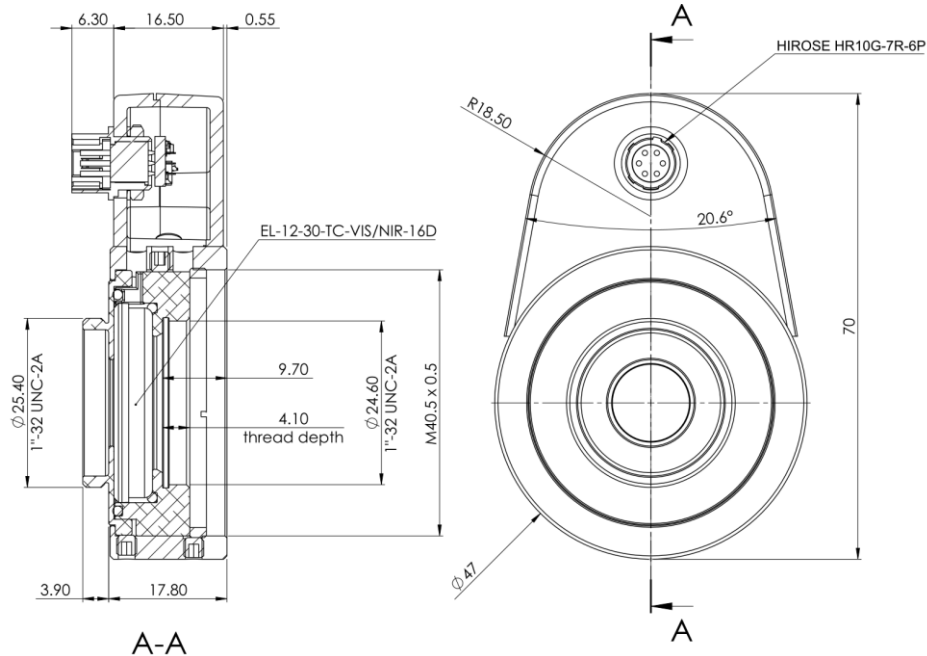
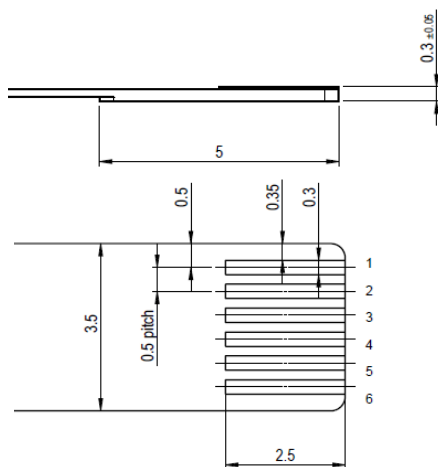


图 3: EL-12-30-TC-VIS/NIR-16D-C 的机械示意图

电气连接

EL-12-30-TC (无适配器) 的电气连接由一条 6 针 FPC 弹性排线组成，适用于 Molex 型号 503480-0600 或同类连接器。其中两针用于透镜线圈，其余四针用于温度传感器和 EEPROM 的 I²C 通信。



Pin out: EL-12-30-TC		
Position	Function	Value
1	GND	-
2	Max. control current -	-300 to 300 mA
3	Max. control current +	-300 to 300 mA
4	I ² C SDA	Digital signal
5	I ² C SCL	Digital signal
6	Vcc	3.3 V

图 4: EL-12-30-TC 的 FPC 弹性排线电气连接示意图

Component:	Temperature Sensor	EEPROM
I ² 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 5: 电气组件及其地址示意

EL-12-30-TC 工业版通过 6 针 Hirose 接头实现连接。Hirose 接头类型表明是否在适配器中内置控制器，如下图所示。



图 6: 不带内置控制器的镜头型号电气连接示意，使用（公）Hirose 接头。



图 7: 带内置 ECC-1C 控制器的镜头型号电气连接示意，使用（母）Hirose 接头。

焦距与电流的关系

EL-12-30-TC 的焦距随电流变化：当施加正电流时，焦距增加；施加负电流时，焦距减小，如图 8 所示。当驱动电流达到额定最大值时，调节范围会进一步扩大，但需要考虑由此产生的显著热量。

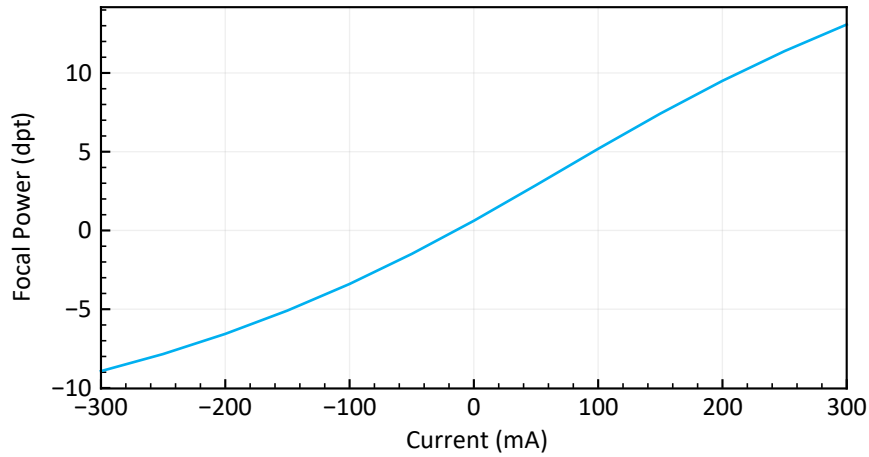


图 8: 焦距 (以屈光度表示) 与电流之间的典型关系数据。

透射率

EL-12-30-TC 的光学液体和弹性膜材料在 400–2500 nm 波段具有高度透光性。由于膜材具有弹性，无法使用常规工艺进行镀膜，因此预计会有约 3–4% 的反射。覆盖玻璃可根据需求进行镀膜。图 9 显示了标准宽带镀膜的透射谱。

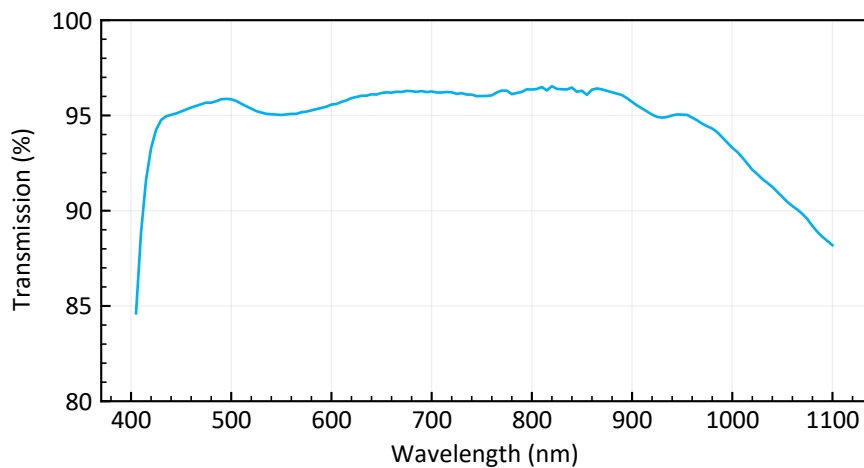


图 9: 标准 EL-12-30-TC 的透射光谱。

波前质量

图 10 显示了典型波前误差随焦距变化的情况。不同镜片的波前质量可能存在差异，可根据需求提供定制规格。通常，最佳波前性能出现在 0 至 5 dpt 之间。当镜片垂直放置使用（光学轴水平）时，需要考虑 Y-彗差，其波前误差约为 $0.2-0.25 \lambda$ RMS。由重力引起的 Y-彗差与镜片的有效孔径、液体密度及膜片的机械特性有关，并可根据需求进行优化。

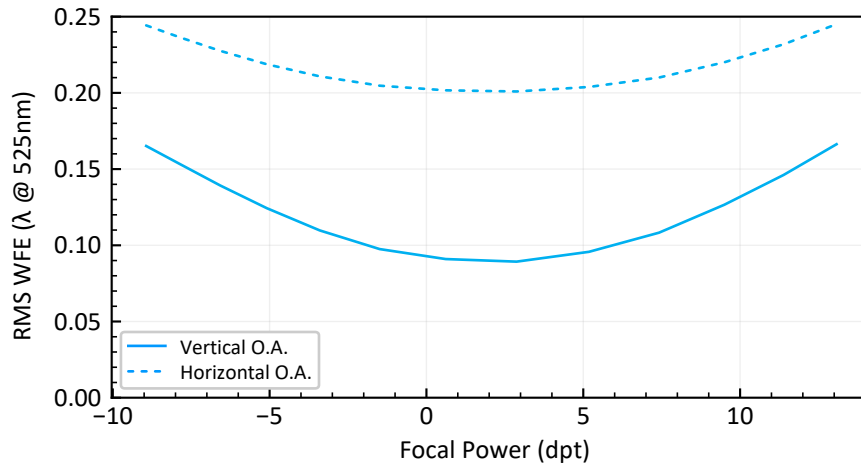


图 10: EL-12-30-TC 的典型波前误差随焦距变化曲线，光学轴垂直和水平时的测量结果（波长 525 nm，测量覆盖有效孔径的 80%）。

响应时间

EL-12-30-TC 的响应时间非常快，约为 3 ms，基于矩形阶跃输入的稳定时间约为 20 ms。控制器可提供适当的信号调理，从而将稳定时间减半，如图 11 所示。

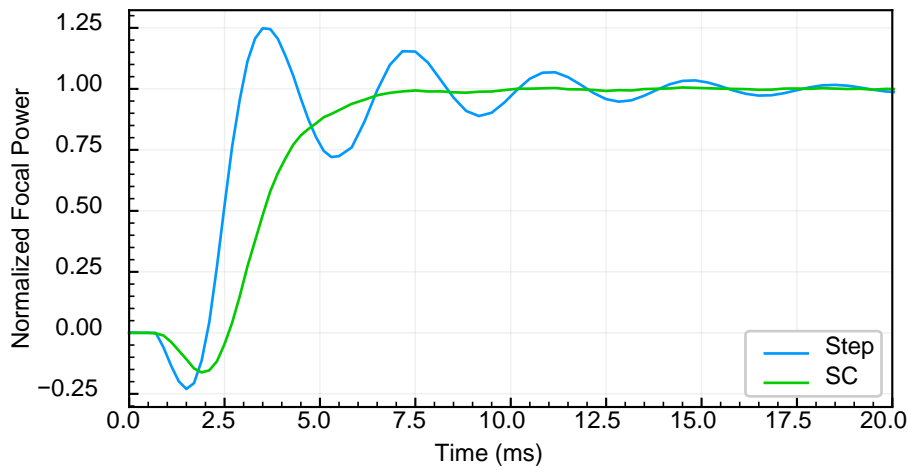


图 11: 通过信号调理 (SC) 可改善稳定时间。

图 12: 在室温下测量的多个电流阶跃下的焦距响应曲线。

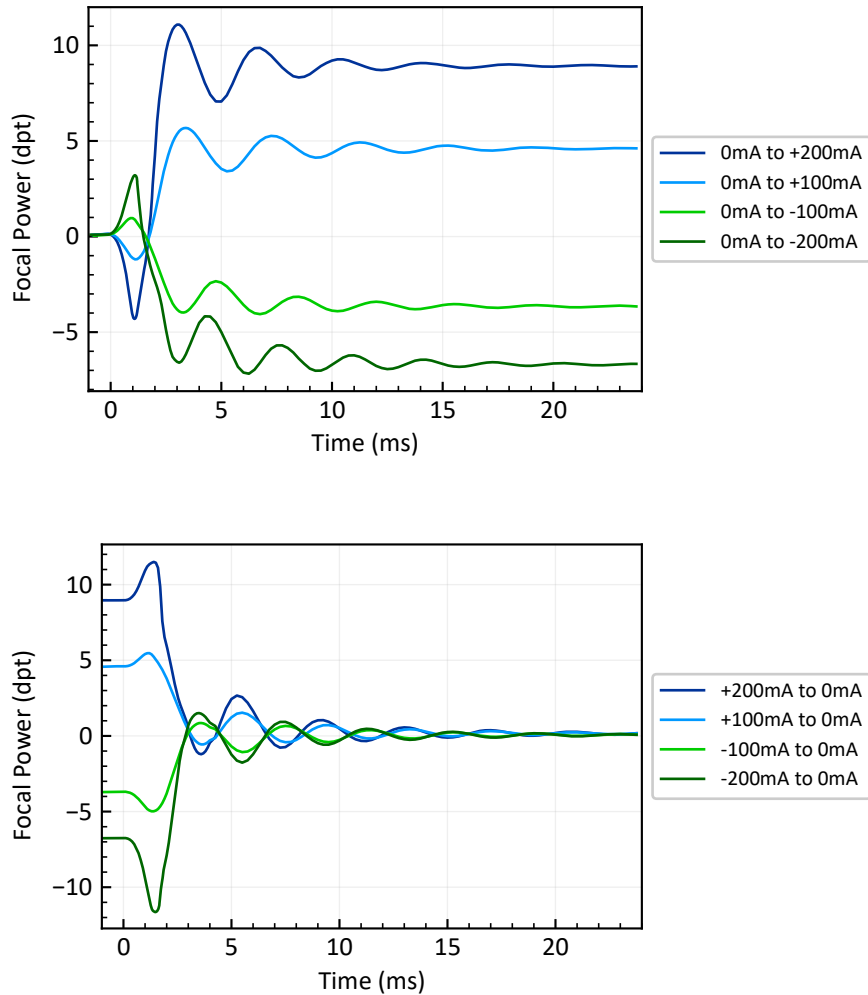


图 12: EL-12-30-TC 在多个电流阶跃下的典型焦距响应。上图为从低电流到高电流的阶跃序列，下图为从高电流到低电流的阶跃序列。

图 13 展示了该透镜在宽频范围内的典型频率响应，出现约 275 Hz 的谐振峰。由于高阶模式的激发会增加波前误差，因此在谐振频率附近通常不适合成像应用。在施加电流阶跃时，建议使用低通滤波器抑制 150 Hz 以上的频率，以避免如图 12 所示的激励振荡。

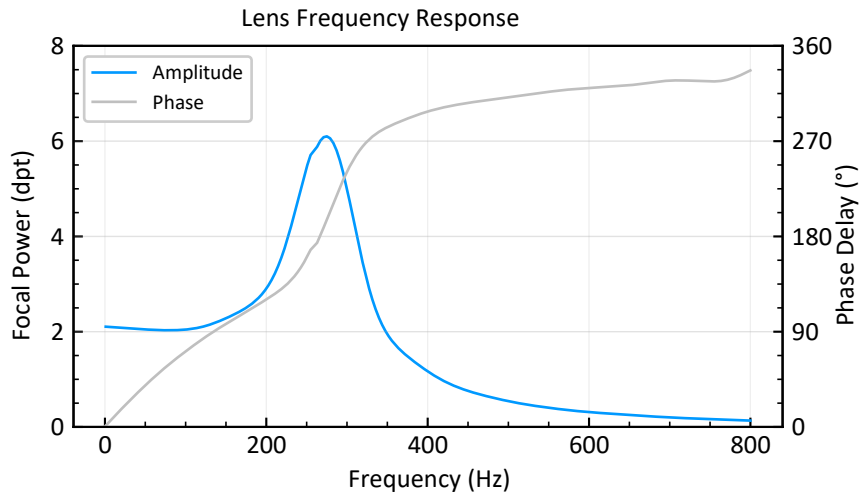


图 13: EL-12-30-TC 的典型频率响应及相位延迟。驱动幅度为 -50 至 50 mA。

温度影响

残余温度效应会影响规格表中焦距的长期漂移。温度效应通过温度灵敏度 S (单位 dpt/°C) 量化, 表示焦距随温度每升高一摄氏度的变化量。如图 14 所示, S 与焦距几乎呈线性关系。一般来说, 将 EL-12-30-TC 与热沉 (大质量、高热导率材料) 良好热连接, 可将温度影响降到最低。

最佳热性能通常在 0 至 5 dpt 范围内操作时实现。

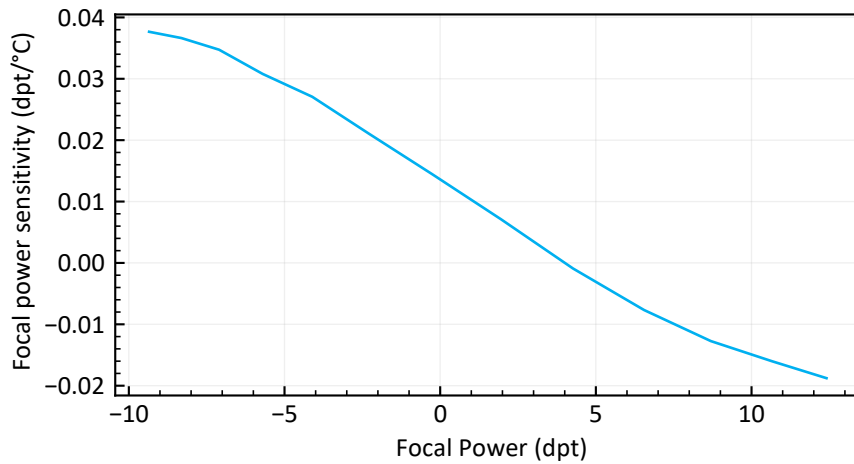


图 14: 焦距与温度灵敏度的关系。

由于液体透镜的光学液体粘度随温度变化, 其响应特性会有所不同, 如图 12 所示。需要注意的是, 在非常低的工作温度下, 可以对 EL-12-30 施加最高约 300 mA 的电流, 使透镜自身温度升高约 10–20°C。

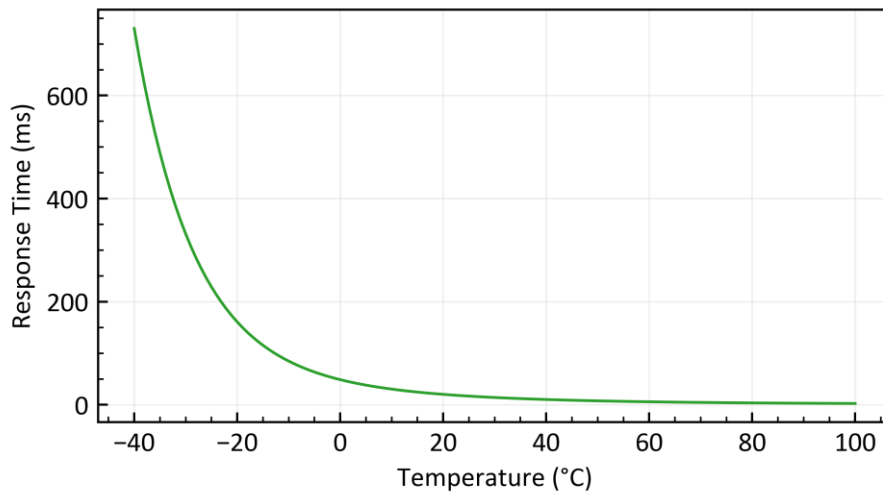
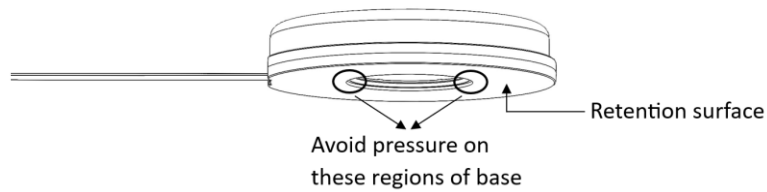


图 15: 透镜温度对响应时间的影响。

EL-12-30-TC 的安装方式

EL-12-30-TC 可通过法兰进行固定。其 LCP 底座设计用于沿光轴方向保持透镜位置稳定。



EL-12-30-TC 设计用于 OEM 集成，可使用来自 Thorlabs、Edmund Optics 和 Qioptiq 的以下组件进行安装。



EL-12-30-TC 还可根据需求提供 C-mount 版本。

光学布局

可通过我们获取 EL-12-30 系列镜头在光学设计中建模的 Zemax 仿真数据。

自发荧光、双折射及偏振特性

EL-12-30-TC 不具有自发荧光、双折射，也不依赖任何其他形式的偏振特性。

安全性与合规性

本产品符合 RoHS 和 REACH 合规标准。客户在集成与使用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-12-30 已通过表 1 所列的环境及加速老化测试。在适用情况下，我们的测试与 ISO 9022 《光学与光子学——环境测试方法》中定义的标准保持一致。

测试项目	ISO	状态
机械循环 200 million full range cycles (-200mA to +200mA, sinusoidal, 20Hz)	-	Pass, continued test ongoing
机械冲击 500g 1ms, 3 shocks along each axis	9022-30-08-1	Pass
高温存储 85±2 °C, rel. hum. <40%, 2h	9022-11-08-1	Pass
低温存储 -35±2 °C, 16h	9022-10-07-1	Pass
湿热 55±2 °C, rel. hum. 90% to 95%, 16h	9022-12-07-1	Pass
温度冲击 -40 to 55 °C, 2.5h/cycle, <20s transition time, 5 cycles	9022-15-03-1	Pass

表 1: EL-12-30-TC 的可靠性与使用寿命测试

电动可调焦液态透镜 EL-16-40 (5D 版本)



EL-16-40 是一款基于专有形变聚合物透镜技术的可调焦透镜。通过施加电流，可在毫秒级时间内调节透镜曲率，使其在凹面与凸面之间变化，实现 -2 dpt 至 +3 dpt 的光学功率调节范围。该产品采用成熟的音圈驱动技术，具有极高的可靠性与机械鲁棒性，适用于宽温度范围及严苛工业环境中的应用场景。

为实现良好的重复性与焦点稳定性，系统内置温度传感器，可进行原位温度补偿。自 2024 年起，EL-16-40 还提供重力效应补偿技术，使其在不同安装姿态下均能保持一致的波前质量。

EL-16-40 提供紧凑型 OEM 集成版本，同时也可选配多种螺纹适配器及坚固的 Hirose 连接器版本，以满足工业应用需求。该大口径透镜的典型应用包括机器视觉、显微成像及眼科医疗设备等领域。

透镜规格

通光孔径	16	mm
焦距调节范围 (30°C, ±250 mA)	-2 to +3	dpt
焦距 @ 0 mA (25°C, typical)	0.5 +/-1.0	dpt
焦距重复性	0.02 (std dev, class 1) 0.06 (std dev, class 2)	dpt
透过波段	VIS: 420 to 950 NIR: 850 to 1500	nm
波前误差 @ 0 dpt (光轴垂直 / 水平)	<0.15 / <0.5 (class 1) <0.25 / <0.5 (class 2) <0.15 / <0.16 (class 1, GTC version) <0.25 / <0.26 (class 2, GTC version)	λ RMS @ 532 nm
光轴精度	1.0	mrad (typical)
光轴重复性	0.01	mrad (STD, typical)
透镜类型	从平凹到平凸	
折射率 / 阿贝数	$n_D = 1.30 / v = 100$	
响应时间 (typ. at 30°C, 0 to ±250 mA step)	5	ms
稳定时间 (typ. at 30°C, 0 to ±250 mA step)	12.5 (with signal conditioning) 25 (rectangular step)	ms
使用寿命 (10% - 90% sinusoidal)	> 1'000'000'000	
工作温度	-20 to 65	°C
存储温度	-40 to 85	°C
重量 (OEM版本 / C-mount版本)	40 / 80	g

电气规格

额定控制电流	-250 to 250	mA
最大绝对控制电流	-500 to 500	mA
音圈电阻 @ 25°C	12	Ω
功耗 (额定 0 - 250 mA)	0 - 0.7	W
最大功耗 (@ 500 mA)	3.0	W
温度传感器及EEPROM	STTS2004 (STMicroelectronics)	
音圈最大电压	10	V
存储与传感器最大电压	4.3	V

标准产品概述

标准产品 ^{1,2,3,4}	调节范围	上螺纹	下螺纹
EL-16-40-TC-VIS-5D	-2 to +3 dpt	None	None
EL-16-40-TC-VIS-5D-M25.5	-2 to +3 dpt	M25.5x0.5 male	M40.5x0.5 female
EL-16-40-TC-VIS-5D-M26	-2 to +3 dpt	M26x0.706 male	M26x0.706 female
EL-16-40-TC-VIS-5D-M27	-2 to +3 dpt	M27x0.5 male	M40.5x0.5 female
EL-16-40-TC-VIS-5D-M30.5	-2 to +3 dpt	M30.5x0.5 male	M40.5x0.5 female
EL-16-40-TC-VIS-5D-C	-2 to +3 dpt	C-mount male	C-mount female
EL-16-40-TC-VIS-5D-M42	-2 to +3 dpt	M42x1 male	M42x1 female

- 1 所有型号均可提供重力补偿技术（GTC 模型）
- 2 所有型号均可提供 NIR 镀膜或按需定制镀膜
- 3 所有型号均可提供 Class 1 版本，满足波前误差 $< 0.15 \lambda$ RMS，重复性 < 0.02 dpt
- 4 所有带螺纹适配器的型号均可选配内置透镜控制器 ECC-1C

液态透镜工作原理

EL-16-40 的工作原理基于成熟的形变聚合物透镜技术。构成透镜的核心部分包含光学液体，并通过弹性聚合物膜进行密封，如图 1 所示。电磁执行器（VCM，音圈电机）对容器施加压力，从而改变透镜曲率。通过调节流经执行器线圈的电流，即可实现透镜光学功率的精确控制。

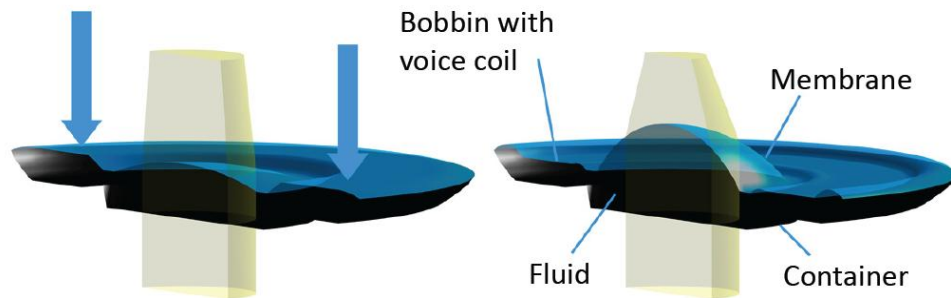


图 1：充满光学液体的密封透镜容器工作原理示意图，该结构集成于 EL-16-40 外壳中。

机械结构

EL-16-40 配备黑色铝制外壳。电气连接及控制器通信通过侧面的 100 mm 长 FFC 排线实现。此外，用户也可通过外壳侧面的 ZIF-FFC 滑动连接器接入自定义 FFC 排线。相关机械图纸见图 2。

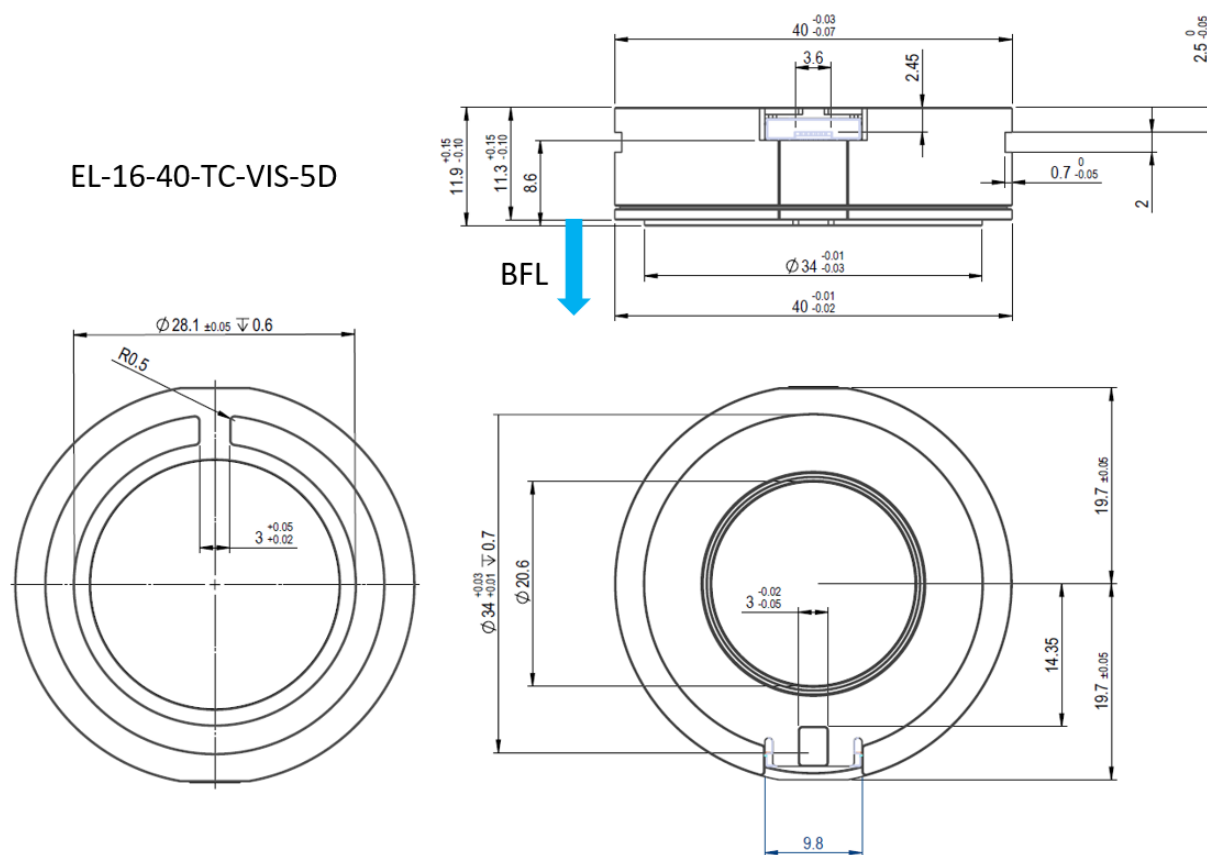


图 2: EL-16-40 最基础版本 (EL-16-40-TC-VIS-5D, 无任何螺纹适配器) 的机械图纸 (单位: mm)。

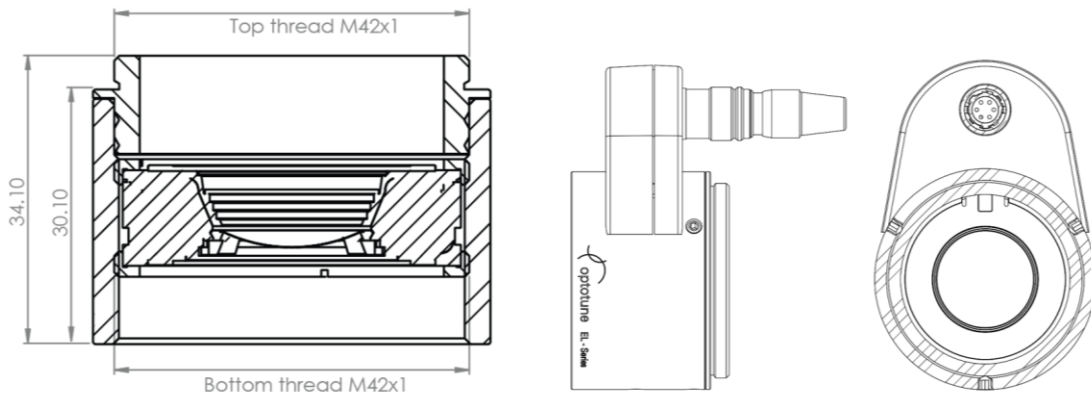
为便于在光学系统中实现最大灵活性，提供多种适配器配置，可在标准产品系列概览中查看。其中 EL-16-40-TC-VIS-5D-M42 如图 3 上部所示。该配置提供 M42 公/母螺纹组合，适用于大多数 M42 接口镜头与相机系统。顶部公螺纹可旋转，并可沿 z 轴方向延伸 3 mm，同时通过三颗紧定螺钉固定（需使用 1.5 mm 内六角扳手）。

其他螺纹组合 (M25.5、M26、M27、M30.5 及 C-mount) 均通过将 EL-16-40 安装于 M40.5×0.5 管筒中实现，并配置不同的上下适配器。这些适配器同样可旋转并通过单颗紧定螺钉锁紧。例如 EL-16-40-TC-VIS-5D-C 如图 2 下部所示。

所有适配器配置在侧面均配备扩展结构，提供 6 针 Hirose 连接器 (HR10G-7R-6P)，适用于严苛工业环境条件。该结构在图 3 右侧可见。

需要注意的是，重力补偿版本 EL-16-40-GTC 的容器玻璃相比原始 EL-16-40-TC 向外突出 0.5 mm，但不会超出机械外壳范围，因此整体厚度仍保持为 11.9 mm。

EL-16-40-TC-VIS-5D-M42



EL-16-40-TC-VIS-5D-C (exemplary)

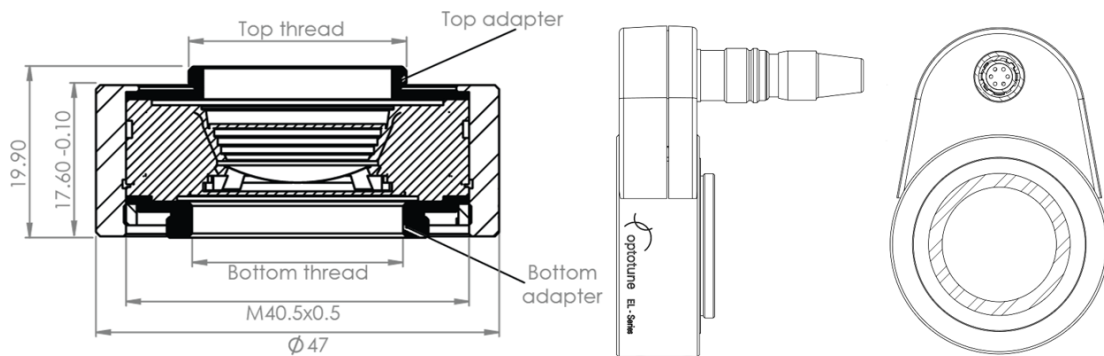
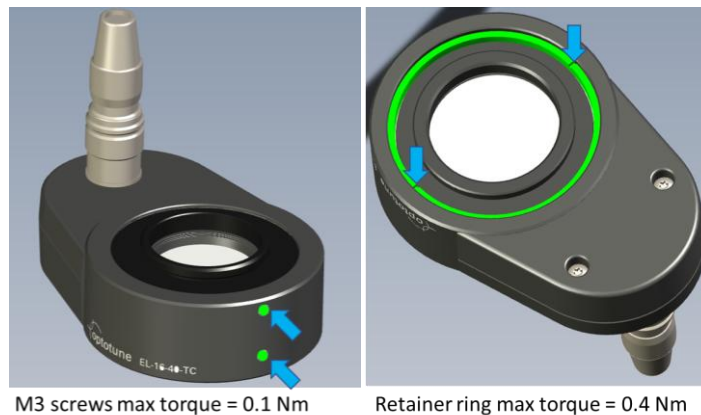


图 3: EL-16-40-TC-VIS-5D-M42 以及 EL-16-40-TC-VIS-5D-C 的机械图纸, 其中后者同样代表 -M25.5、-M26、-M27、-M30.5 等组合版本 (单位: mm)。

注意事项: EL-16-40-TC-VIS-5D-C 法兰面至底部盖玻璃的距离为 4.8 mm。请务必避免拧入具有外凸光学结构的 C-mount 镜头, 否则可能划伤甚至压裂玻璃。

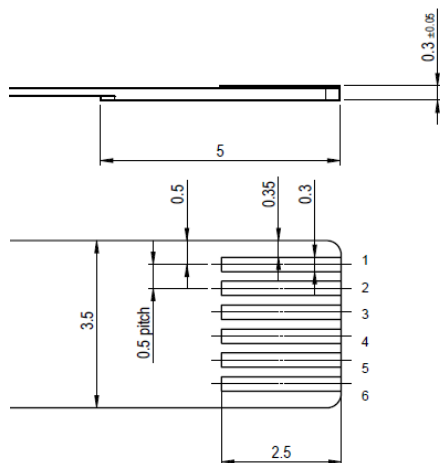
结构设计在侧面设置两颗 M3 螺钉, 用于锁定螺纹适配器的位置。其中上方 M3 螺钉可松开, 使 Hirose 连接器相对于顶部螺纹自由旋转 (如需要)。下方 M3 螺钉用于固定底部螺纹位置。每颗 M3 螺钉最大紧固扭矩为 0.1 Nm。推荐的安装顺序为: 先松开两颗 M3 螺钉, 拧紧锁紧环, 最后再锁紧 M3 螺钉。



注意事项: 超过上述最大扭矩规格可能会引入滞后效应或造成透镜损坏。

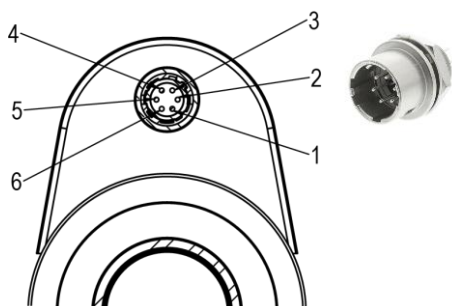
电气连接

EL-16-40 (无适配器版本) 的电气连接采用 6 针 FPC 柔性排线, 兼容 Molex 503480-0600、Amphenol SFV12R-2STE1HLF 或等效连接器。其中: 2 个引脚用于透镜线圈驱动, 其余 4 个引脚用于温度传感器与 EEPROM 的 I²C。I²C 地址分别为: 温度传感器: 0x18, EEPROM: 0x50。



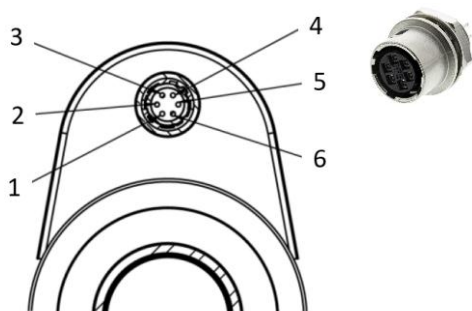
Pin out: EL-16-40-TC		
Position	Function	Value
1	GND	-
2	Max. control current -	-500 to 500 mA
3	Max. control current +	-500 to 500 mA
4	I ² C SDA	Digital signal
5	I ² C SCL	Digital signal
6	Vcc	3.3 V

图 4: EL-16-40 基础版本 (无适配器) 的电气柔性连接示意图。



Pin out Hirose connector HR10G-7R-6PB(73)		
Position	Function	Sensor pins
1	Max. control current +	-
2	Max. control current -	-
3	GND	1-4
4	Vcc	8
5	I ² C SCL	6
6	I ² C SDA	5

图 5: 不带嵌入式控制器的透镜型号电气连接示意图 (配备 Hirose 公连接器)。



Pin out Hirose connector HR10G-7R-6SB(73)		
Position	Function	Value
1	GPIO Trigger	-
2	Analog In	0-10V
3	UART Tx / I ² C SCL	TTL
4	UART Rx / I ² C SDA	TTL
5	GND	-
6	Vcc	5-24V

图 6: 带嵌入式控制器 ECC-1C 的透镜型号电气连接示意图 (配备 Hirose 母连接器)。

焦距（光学功率）与电流关系

如图 7 所示，EL-16-40 的光学功率随正电流增加而增大，随负电流增加而减小。当驱动电流达到绝对最大控制电流时，调节范围可进一步扩大，但需考虑显著的热量产生问题。

需要注意的是，当透镜发生旋转时，应考虑由重力引起的光学功率偏移，约为 0.15 ± 0.01 dpt（即液态透镜朝上与朝下状态之间的差异）。

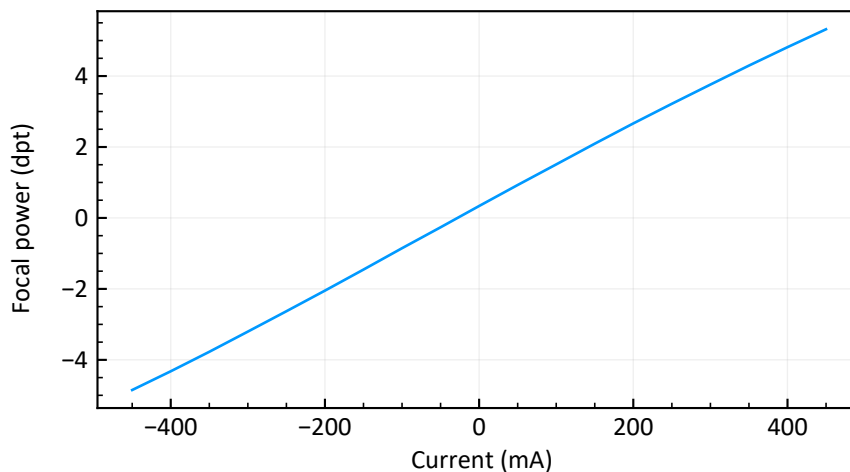


图 7: 焦距（屈光度）与电流关系的典型数据曲线。

透过特性

光学液体与膜材料在 400 至 2500 nm 波段范围内具有高透过率。由于膜片为弹性结构，无法采用标准镀膜工艺处理，因此预计会产生约 3-4% 的反射损耗。盖玻片可根据需求进行定制镀膜。图 8 展示了标准宽带镀膜的透射光谱。

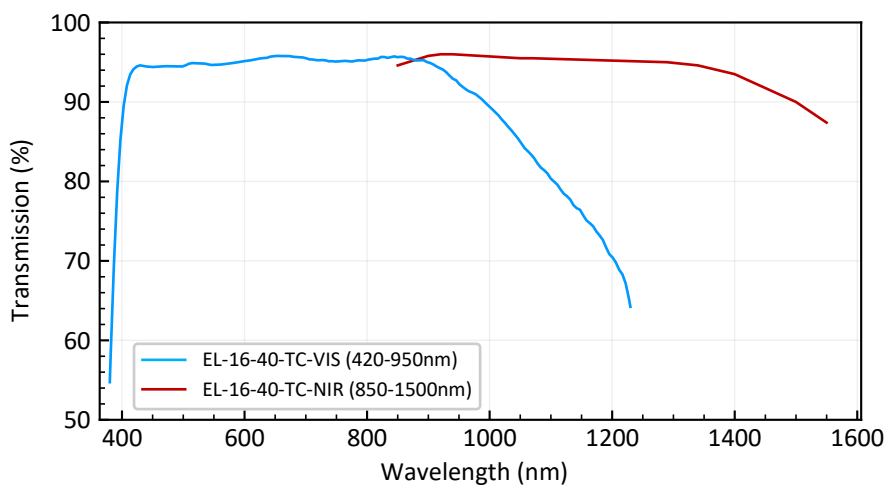


图 8: EL-16-40 在标准可见光 (VIS) 及近红外 (NIR) 镀膜玻璃条件下的透射光谱。

波前质量

图 9 展示了波前误差随焦距变化的典型关系曲线。不同透镜之间的波前质量存在一定差异，可根据需求进行不同等级的规格定义。目前标准规格为：在光轴垂直配置下，Class 1 透镜的波前误差为 0.15λ RMS，Class 2 透镜为 0.25λ RMS。

当透镜以竖直安装方式使用（光轴水平）时，需要引入 Y 向彗差项，并提供以下两种配置选项：

- EL-16-40-TC：重力引起的彗差约为 0.5λ RMS
- EEL-16-40-GTC：重力引起的彗差小于 0.05λ RMS

所采用的重力补偿技术为纯被动式结构，在透镜旋转 90° 后约 1 秒内稳定，并且不会对其他任何性能指标产生不良影响。

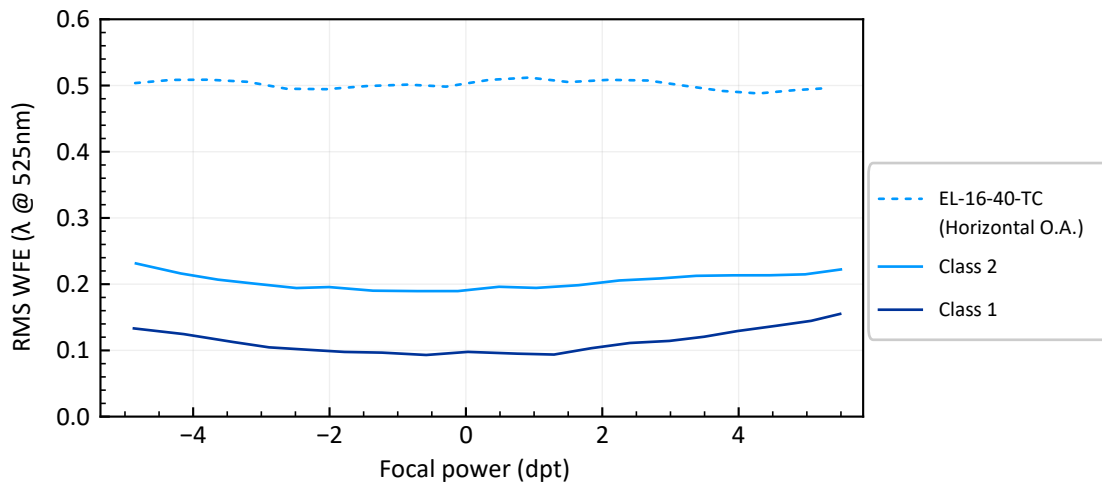


图 9: EL-16-40 波前误差随焦距变化的典型曲线 (@525 nm, 在 80% 通光孔径范围内测量, 已排除离焦、倾斜及球面项)。

响应时间

施加电流阶跃时，上升时间约为 5 ms。然而，透镜高阶振荡完全稳定下来约需 20–25 ms。图 10 展示了在室温条件下测得的多个电流阶跃对应的光学响应曲线。

控制器可提供相应的信号调理功能，将稳定时间缩短约一半，如图 11 所示。

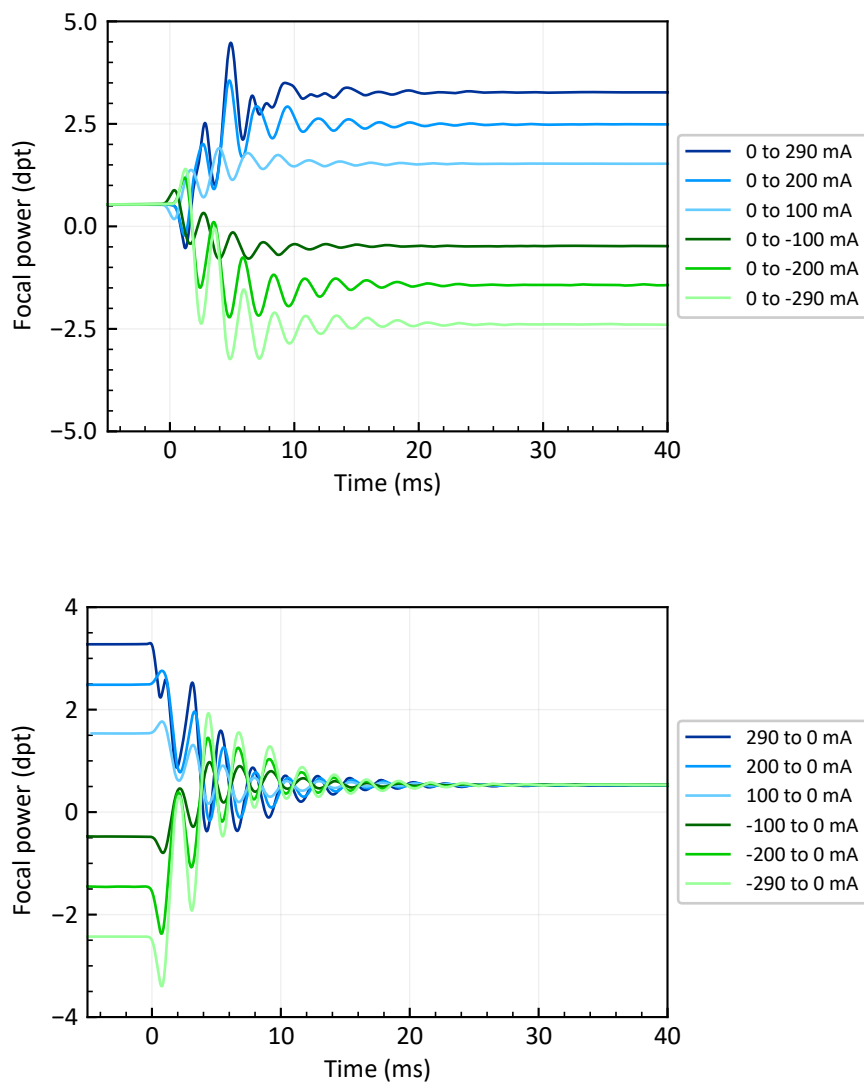
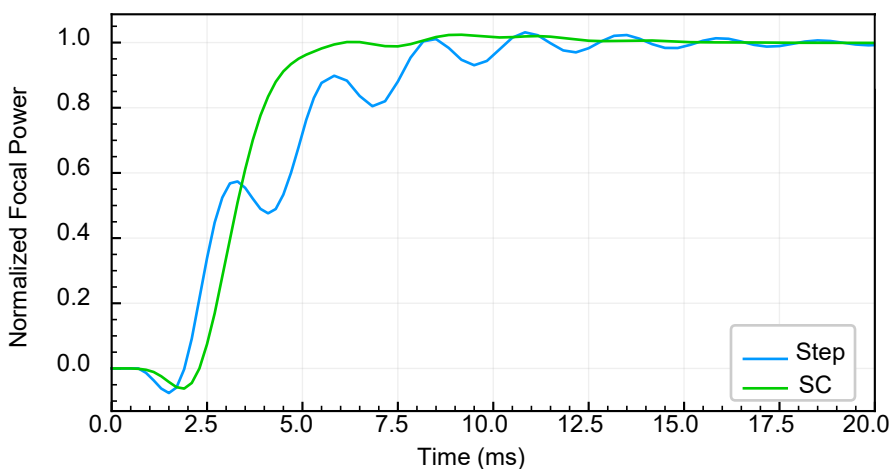


图 10: EL-16-40-TC-VIS-5D 在多个电流阶跃下的典型光学响应。上图显示电流由低到高的一系列阶跃响应，下图显示电流由高到低的阶跃响应。



11: 通过提供信号调理 (Signal Conditioning, SC), 控制器可显著降低稳定时间。

宽频范围内的频率响应如图 12 所示, 在 400 Hz 处出现共振峰。需要注意的是, 该共振源自高阶振动模式, 一般不适用于覆盖整个有效光阑的成像应用。

在施加电流阶跃时, 建议使用低通滤波器对 200 Hz 以上频率进行衰减, 以避免激发振荡现象 (如图 9 所示)。

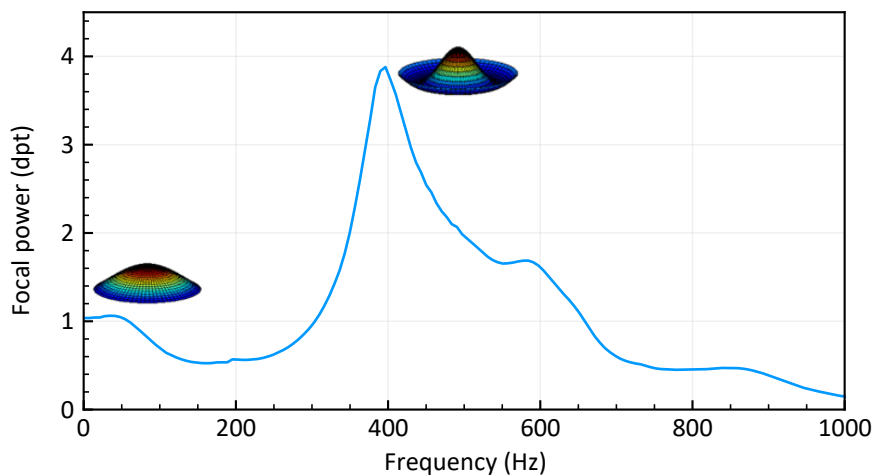


图 12: EL-16-40-TC 的典型频率响应曲线, 驱动电流幅值为 -50 至 +50 mA。

温度效应

残余温度效应会影响规格表中所述的光学功率长期漂移。该温度影响通过温度灵敏度 S (dpt/°C) 进行量化，即光学功率随每摄氏度变化的量。

如图 13 所示， S 与光学功率之间呈近似线性关系。一般而言，当 EL-16-40 与散热器进行良好热耦合时，可有效降低温度效应。安装结构本身也可作为散热器使用，较大的质量以及高导热系数材料有助于更高效地散热。

透镜控制器以及 Gardasoft TR-CL180 利用内置温度传感器与标定数据，可实现对该热漂移的自动补偿。

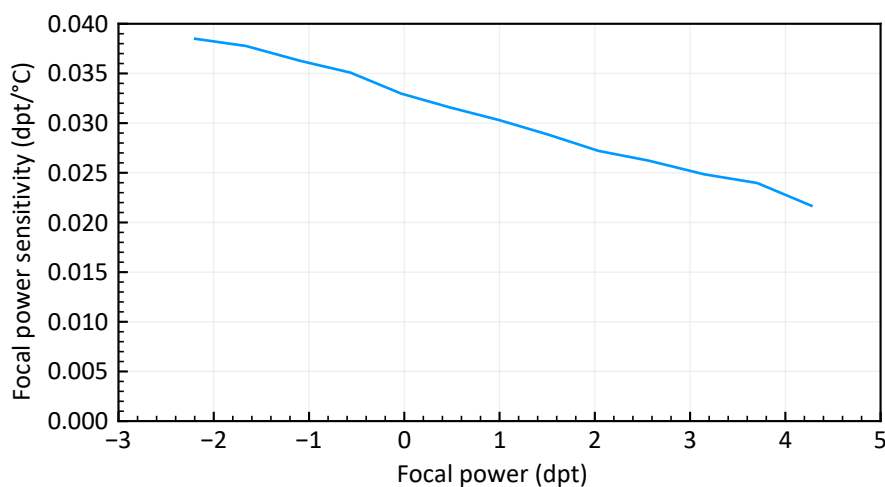


图 13: 温度灵敏度随焦距变化的关系曲线。

由于透镜内部液体的黏度会随温度变化，因此其响应特性也会发生改变，如图 14 所示。需要注意的是，在极低工作温度条件下，可向 EL-16-40 施加高达 500 mA 的电流，使透镜自发升温约 10–20°C。

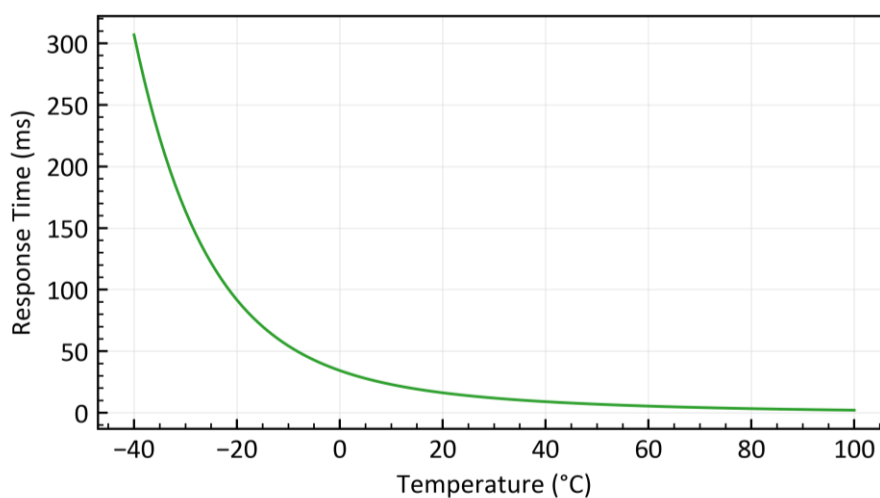


图 14: 响应时间随透镜温度变化的关系曲线。

重复性测量*

为验证透镜在严苛条件下的重复性性能，使用ICC-4C 复现了液态透镜的不同应用工况。不同驱动方案如图 15 所示，包括：

- 静态测试：将透镜调节至多个焦距，并在每个设定值保持约 5 分钟。
- 动态测试：对透镜进行随机焦距调节。
- 动态测试（带复位）：在相邻随机跳变之间加入 0 mA 复位操作的随机调节测试。

上述每种测试分别在 ± 50 mA 与 ± 200 mA 电流范围内进行；同时，在稳定控制温度 30°C 条件下，以及在温度上升约 15°C （持续约 15 分钟）的条件下重复执行，以验证温度补偿功能（光学功率模式）。为简化展示，图 15 仅给出在 30°C 条件下、 ± 50 mA 电流范围的测试结果。其中，绿色曲线表示光学功率偏差，该偏差定义为实测光学功率与设定值之间的差值，用于表征重复性性能。

图 16 以柱状图形式汇总了重复性测试结果，展示了在不同驱动模式、电流范围及温度条件组合下，光学功率偏差的标准差 (SD)。

- 在所有测试条件下，重复性（标准差 SD）均远低于 0.020 dpt (20 mdpt)。
- 在所有驱动方式及两种电流范围下，当测试在稳定 30°C 条件下进行时，重复性 (SD) 均低于 0.010 dpt (10 mdpt)。
- 在所有驱动方式下，当使用 ± 50 mA 电流范围（约对应 1.5 dpt）且温度稳定在 30°C 时，重复性 (SD) 低于 0.005 dpt (5 mdpt)。

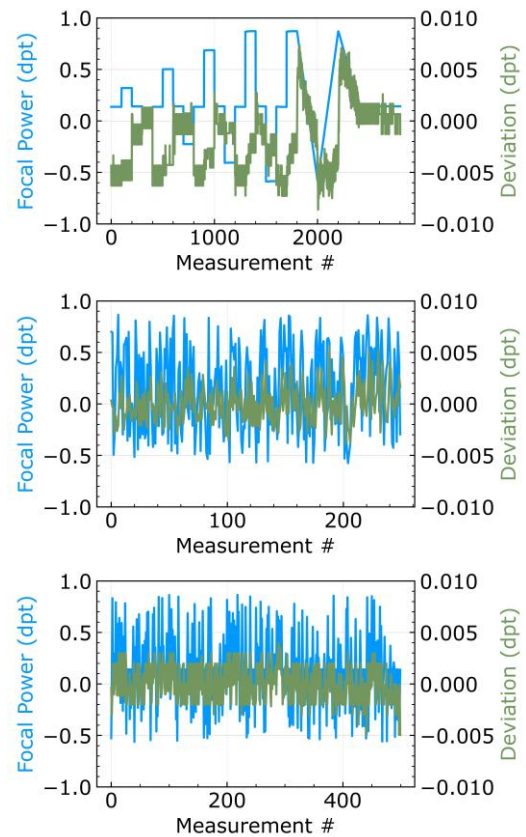


图 15: 重复性测试的驱动方案（静态、随机，以及带 0 mA 复位的随机保持测试）。

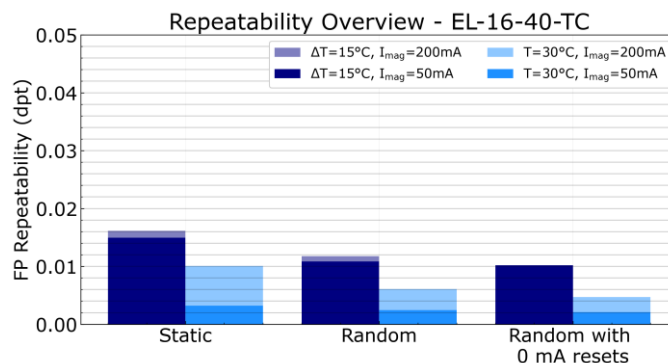


图 16: 重复性测试结果汇总（不同驱动方式、电流范围及透镜温度组合下的标准差 SD）。

* 以下结果代表 Class 1 透镜的重复性性能。Class 2 透镜的性能可能有所不同。此外，该结果仅对应 10 小时时间范围内的重复性表现。为在产品全生命周期内维持类似性能，可能需要进行周期性的原位重新校准。

在我们的重复性白皮书中，通过一个实际机器视觉应用案例（使用 2× 远心镜头、极浅景深并搭配 EL-16-40-TC），展示了如何实现 ±10 mdpt 的重复性表现。

寿命与可靠性

EL-16-40 已通过表 1 所列的环境与加速老化测试。在适用情况下，相关测试已参照 ISO 9022《光学与光子学——环境试验方法》标准执行。

测试项目	ISO	结果
机械循环 200 million full range cycles (standard cycling -280mA to +280mA @ 50 Hz Sinusoidal)	-	Pass, continued test ongoing
干热暴露 (工作状态) 63±2 °C, rel. humidity <40%, Cycling at -280mA to +280mA @50Hz step, 16 Hrs.	9022-11-04-2	Pass
低温暴露 (工作状态) -35°C ± 3°C, Cycling at -280mA to +280mA @1Hz step, 16 Hrs.	9022-10-07-2	Pass
干热暴露 (存储) 85±2 °C, rel. humidity <40%, non-operating, 2Hrs.	9022-11-08-1	Pass
低温暴露 (存储) -40±3 °C, non-operating, 16Hrs.	9022-10-08-1	Pass
湿热试验 55±2 °C, rel. humidity 90% to 95%, 16Hrs.	9022-12-07-1	Pass
温度冲击 -40 to 55 °C, 2.5h/cycle, <20s transition time, 5 cycles	9022-15-03-1	Pass
太阳辐射 55°C ± 2°C, 1120 W/m ² , 10 days	9022-9-04a	Pass
机械冲击 100g, 6ms, 3 shocks along each axis	9022-30-07-1	Pass
响应时间 Full step Lens response	-	Pass
循环重复性	-	Pass

表 1: EL-16-40 的可靠性与寿命测试结果

光学布局

用于在光学设计中对 EL-16-40 系列进行建模的 Zemax 仿真文件可通过指定链接获取。

自发荧光、双折射与偏振效应

EL-16-40 不存在自发荧光、双折射或任何形式的偏振依赖性。

安全与合规

本产品符合 RoHS 与 REACH 合规标准。客户需自行负责在集成与使用过程中遵守所有相关安全法规。

包装

EL-16-40工业版以单个包装形式提供，包装于独立纸盒中。

EL-16-40 OEM 版以单个包装于膜盒中提供，或按每托盘 25 个单元包装。

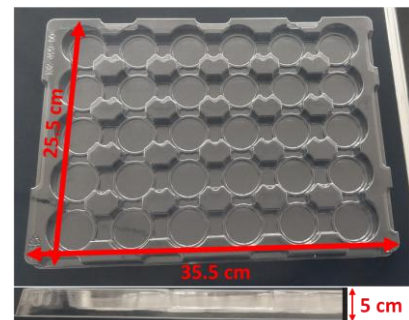


图 17: EL-16-40 OEM 版 25 单元托盘的尺寸示意图。

EL-16-40 订购信息

对于定制版本，请按照以下零件编号规则进行标注：

EL-16-40-COMP-AR-DPT-CL-THR-CTRL

COMP = TC: 温度补偿型

GTC: 重力与温度双重补偿型

AR = VIS: 覆盖玻璃涂层波段 420–950 nm

NIR: 覆盖玻璃涂层波段 850–1500 nm

DPT = 5D: 焦距可调范围 5 dpt

20D: 焦距可调范围 20 dpt

CL = 1: 波前误差 Class 1 规格

THR = C: C 型接口螺纹

M25.5: M25.5x0.5 螺纹

M26: M26x0.706 螺纹

M27: M27x0.5 螺纹

M30.5: M30.5x0.5 螺纹

M42: M42x1 螺纹

CTRL = E: 含嵌入式镜头控制器 ECC-1C

电动可调焦液态透镜 EL-16-40-TC (20D 版本)



通过对该形变聚合物透镜施加电流，可在毫秒级时间内调节其光学功率，调节范围为 -10 dpt 至 +10 dpt。该形变透镜的一个重要特点是具有 16 mm 的大有效光阑。

为实现良好的重复性与焦点稳定性，Optotune 在系统中集成了温度传感器，可进行原位温度补偿。因此，该系列透镜非常适用于对成像质量及大光束直径有较高要求的多种应用场景。

透镜规格

通光孔径	16	mm
焦距调节范围: (30°C, ±250 mA)	-10 to +10	dpt
焦距重复精度	~ 0.1	dpt
波前误差 @ 0 dpt (光轴垂直 / 水平)	<0.5 / <2.5 (水平情况下由于重力引起彗差)	λ RMS @ 532 nm
透镜类型	从平凹到平凸	
折射率 / 阿贝数	nD = 1.30 / v = 100	
响应时间 (typ. at 30°C, 0 to ±250 mA step)	7	ms
稳定时间 (typ. at 30°C, 0 to ±250 mA step)	40	ms
寿命 (10% - 90% 正弦循环)	> 1' 000 '000	
工作温度	-20 to 65	°C
存储温度	-40 to 85	°C
重量	40	g

电气规格

额定控制电流	-250 to 250	mA
最大绝对控制电流	-500 to 500	mA
音圈电阻 @ 25°C	12	Ω
功耗 (额定 0 - 250 mA)	0 - 0.7	W
最大功耗 (@ 500 mA)	3.0	W
温度传感器	STTS2004 (STMicroelectronics)	
音圈绝对最大电压	10	V
存储与传感器绝对最大电压	4.3	V

标准产品说明

标准型号	波前误差 (@525 nm, 0 mA) 光轴垂	下端螺纹	上端螺纹
EL-16-40-TC-VIS-20D (standard)	<0.5 λ RMS	None	None
EL-16-40-TC-VIS-20D-C (standard)	<0.5 λ RMS	C-mount 公头	C-mount 母头
EL-16-40-TC-VIS-20D-1 (class 1)	<0.25 λ RMS	None	None
EL-16-40-TC-VIS-20D-1-C (class 1)	<0.25 λ RMS	C-mount 公头	C-mount 母头

标准型号 EL-16-40-TC-VIS-20D 面向眼科应用设计。在该应用中，由于人眼仅使用透镜的部分子孔径，可容忍较大的波前误差。对于成像系统及显微应用，推荐使用 Class 1 等级型号，以获得更优的波前质量表现。

外壳与适配器组合

EL-16-40-TC 配备黑色金属外壳。电气连接及计算机通信通过侧面的 FFC 排线实现。此外，用户也可通过外壳侧面的 ZIF-FFC 滑动连接器连接自定义 FFC 排线。相关机械图纸见图 1。

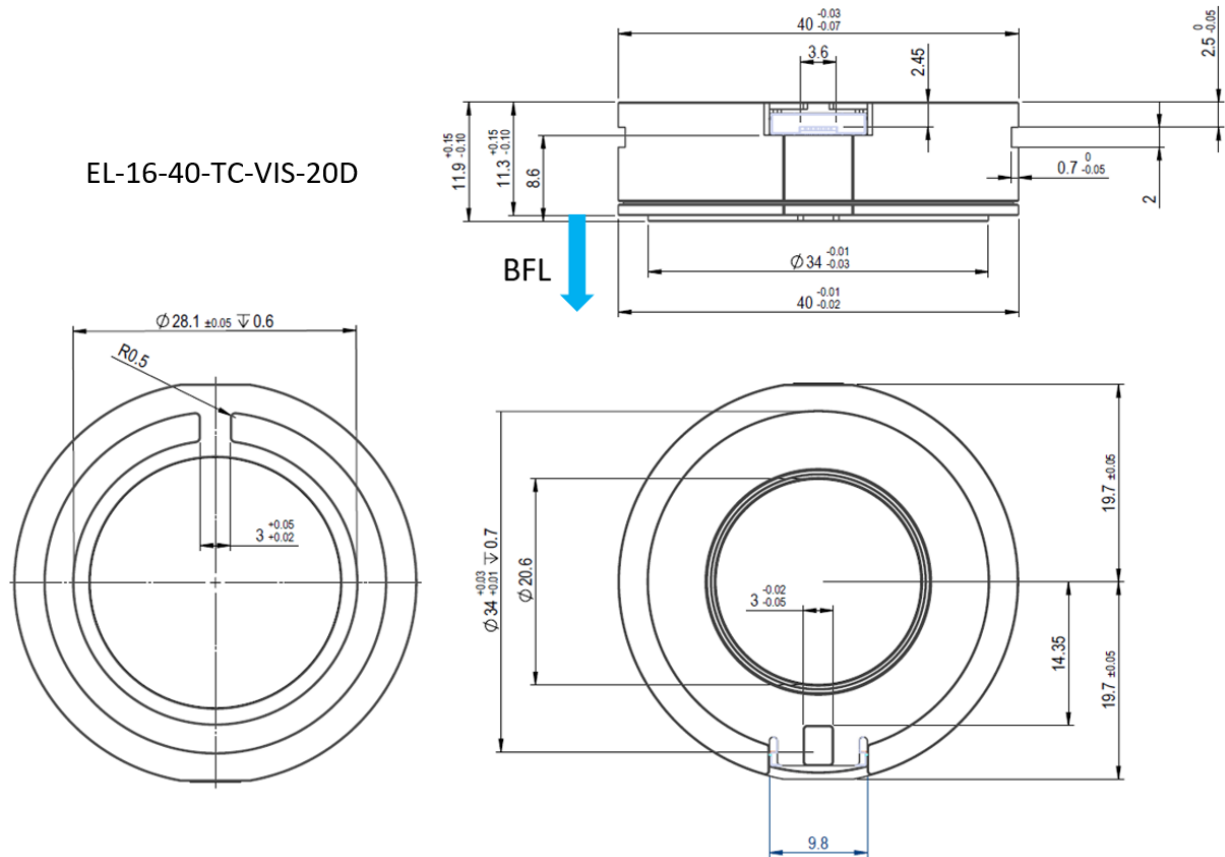


图 1: EL-16-40-TC 的机械图纸 (最基础版本 EL-16-40-TC-VIS-20D, 不带任何螺纹适配器) (单位: mm)。

C-mount 适配器配置通过将 EL-16-40-TC 安装在 M40.5×0.5 管筒中实现, 该结构可旋转并通过一颗紧定螺钉锁定。EL-16-40-TC-VIS-20D-C 版本如图 2 所示。该适配器配置在侧面配备扩展结构, 提供一个 6 针 Hirose 连接器 (HR10G-7R-6P), 使其适用于严苛环境条件。该结构在图 2 右侧部分可见。

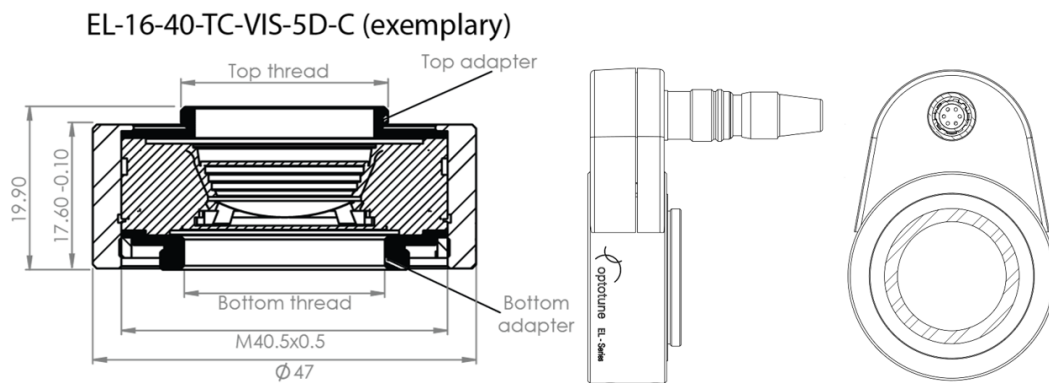
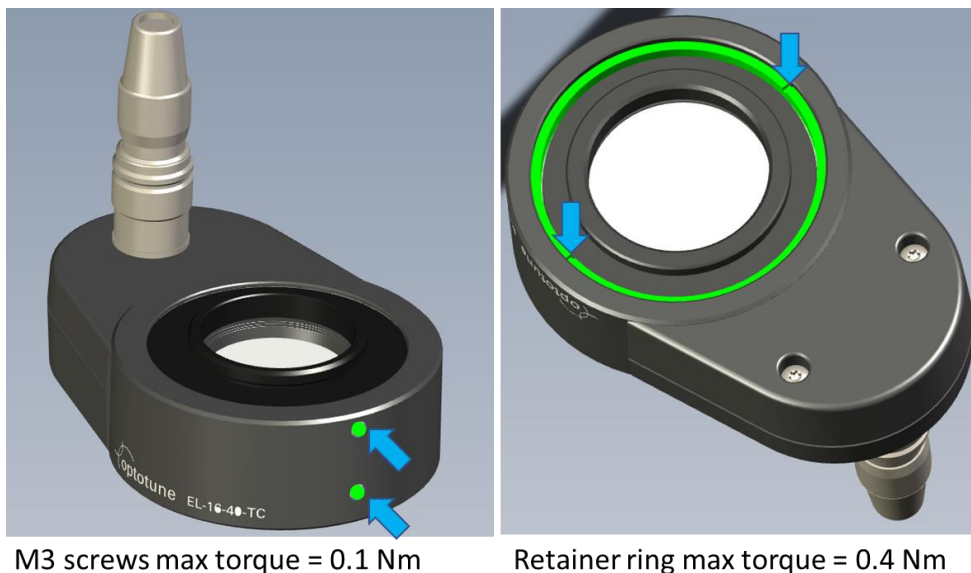


图 2: EL-16-40-TC-20D-C 配置的机械布局 (单位: mm)。

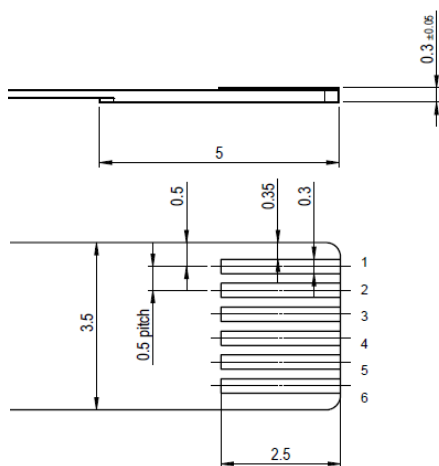
设计在侧面设置了两颗 M3 螺钉，用于锁定螺纹适配器的位置。上方的 M3 螺钉可在需要时松开，以允许 Hirose 连接器相对于上部螺纹自由旋转。下方的 M3 螺钉用于固定下部螺纹位置。每颗 M3 螺钉的最大紧固扭矩为 0.1 Nm。建议的安装步骤为：首先松开两颗 M3 螺钉，随后拧紧锁紧环，最后再锁紧 M3 螺钉。



注意事项: EL-16-40-TC-VIS-5D-C 法兰面到底部盖玻璃的距离为 4.8 mm。请务必避免安装具有突出光学结构的 C-mount 镜头，否则可能刮伤甚至压裂盖玻璃。

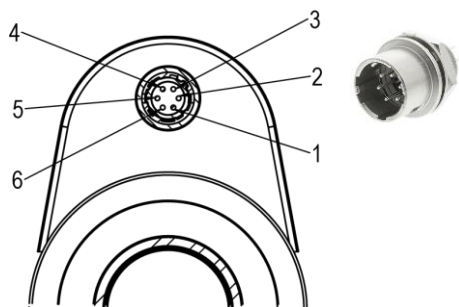
电气连接

EL-16-40-TC（无适配器版本）的电气连接采用 6 针 FPC 柔性排线，兼容 Molex 型号 503480-0600 或等效连接器。其中：2 个引脚用于透镜线圈驱动，其余 4 个引脚用于温度传感器及 EEPROM 的 I²C 通信 I²C 地址分别为 0x18 和 0x50。



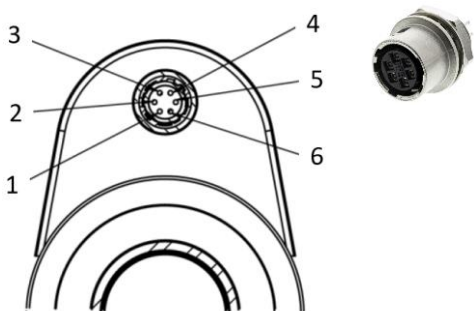
Pin out: EL-16-40-TC		
Position	Function	Value
1	GND	-
2	Max. control current -	-500 to 500 mA
3	Max. control current +	-500 to 500 mA
4	I ² C SDA	Digital signal
5	I ² C SCL	Digital signal
6	Vcc	3.3 V

图 3: EL-16-40-TC 基础版本（无适配器）的电气柔性连接示意图。



Pin out Hirose connector HR10G-7R-6PB(73)		
Position	Function	Sensor pins
1	Max. control current +	-
2	Max. control current -	-
3	GND	1-4
4	Vcc	8
5	I ² C SCL	6
6	I ² C SDA	5

图 4: 不带嵌入式控制器的透镜型号电气连接示意图 (配备 Hirose 公连接器)。



Pin out Hirose connector HR10G-7R-6SB(73)		
Position	Function	Value
1	GPIO Trigger	-
2	Analog In	0-10V
3	UART Tx / I ² C SCL	TTL
4	UART Rx / I ² C SDA	TTL
5	GND	-
6	Vcc	5-24V

图 5: 带嵌入式控制器 ECC-1C 的透镜型号电气连接示意图 (配备 Hirose 母连接器)。

工作原理

EL-16-40-TC 的工作原理基于成熟的形变聚合物透镜技术。构成透镜的核心部分包含光学液体，并通过弹性聚合物膜进行密封，如图 6 所示。电磁执行器对容器施加压力，从而改变透镜曲率。通过调节流经执行器线圈的电流，即可实现透镜光学功率的精确控制。

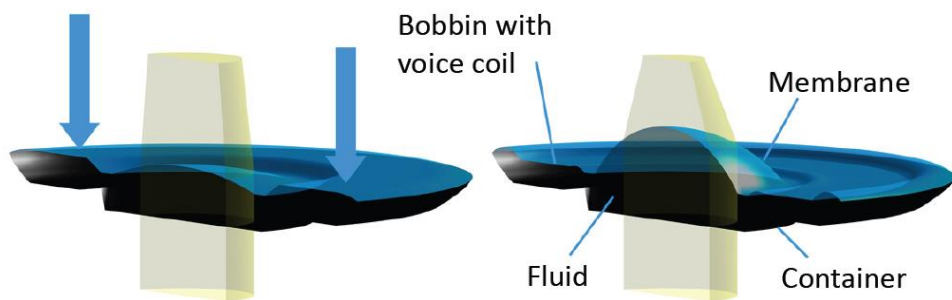


图 6: 充满光学液体的密封透镜容器工作原理示意图，该容器集成于 EL-16-40-TC 外壳中。

光学功率与电流关系

如图 7 所示，EL-16-40-TC 的光学功率随正电流增加而增大，随负电流增加而减小。当使用 Lens Driver 4 时，在额定控制电流 -250 至 +250 mA 范围内，EL-16-40-TC 的光学功率调节范围至少为 -10 至 +10 dpt。当驱动电流达到绝对最大控制电流时，调节范围可进一步扩大（见图 6），但需注意此时会产生显著热量，应充分考虑散热设计。

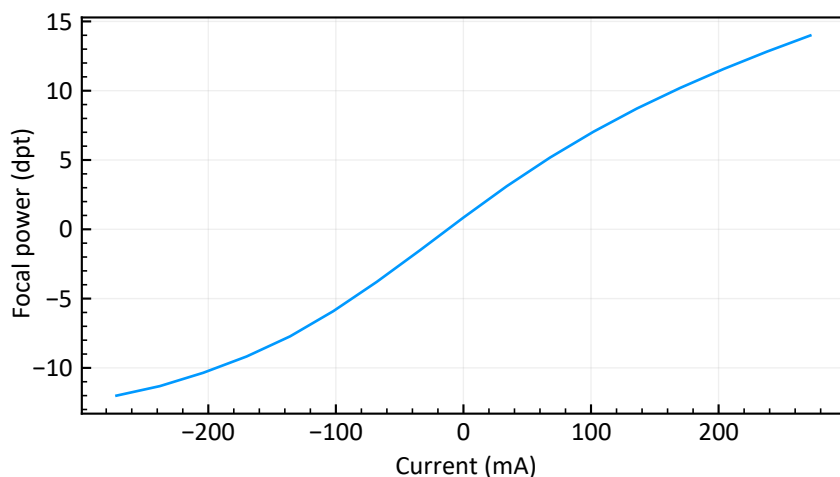


图 7: 光学功率（屈光度）与电流关系的典型数据曲线。

透过范围

光学液体及膜材料在 400 至 2500 nm 波段具有良好的透射性能。由于膜片具有弹性，无法采用标准镀膜工艺进行处理，因此预计存在约 3-4% 的反射损耗。盖玻片可根据需求进行定制镀膜。图 8 展示了标准宽带镀膜的透射光谱。

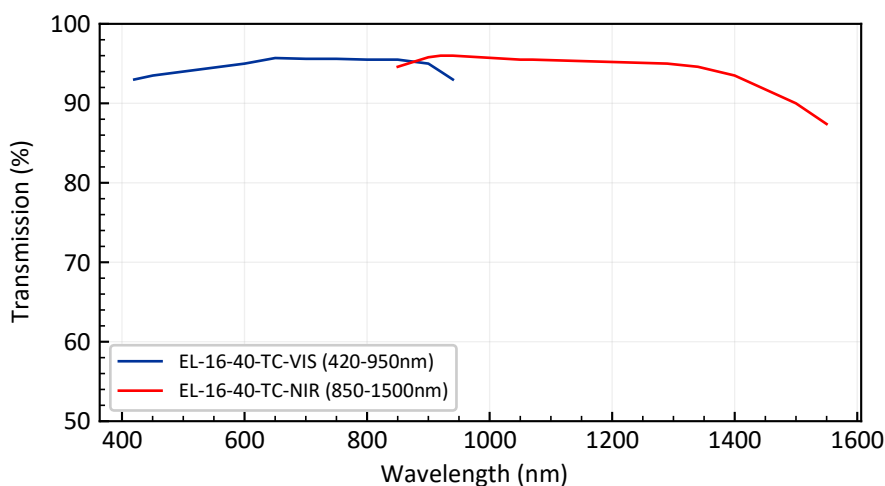


图 8: EL-16-40-TC 标准可见光 (VIS) 及近红外 (NIR) 镀膜的透射光谱。

波前质量

理论上，可调焦液态透镜呈球面透镜形状。由于所采用的膜片为弹性材料，透镜形状会受到重力影响。当透镜光轴处于垂直方向时，EL-16-40-TC 的 RMS 波前误差为 0.5λ （测量波长 525 nm）。当光轴处于水平方向时，需要考虑彗差项的影响，波前误差约为 2.5λ （测量波长 525 nm）。因此，在成像应用中强烈建议采用光轴垂直的工作方式。或者，在透镜使用过程中若方向保持固定，也可通过使用波片在一定程度上对 Y 向彗差进行补偿。

响应时间

施加阶跃电流时，上升时间约为 5 ms。但透镜高阶振荡完全稳定下来约需 25 ms。该光学响应曲线通过在室温下，使用小孔后的光电探测器测量多个电流阶跃得到。通过使用低通滤波后的阶跃信号替代矩形阶跃输入，稳定时间通常可进一步缩短约 50%。

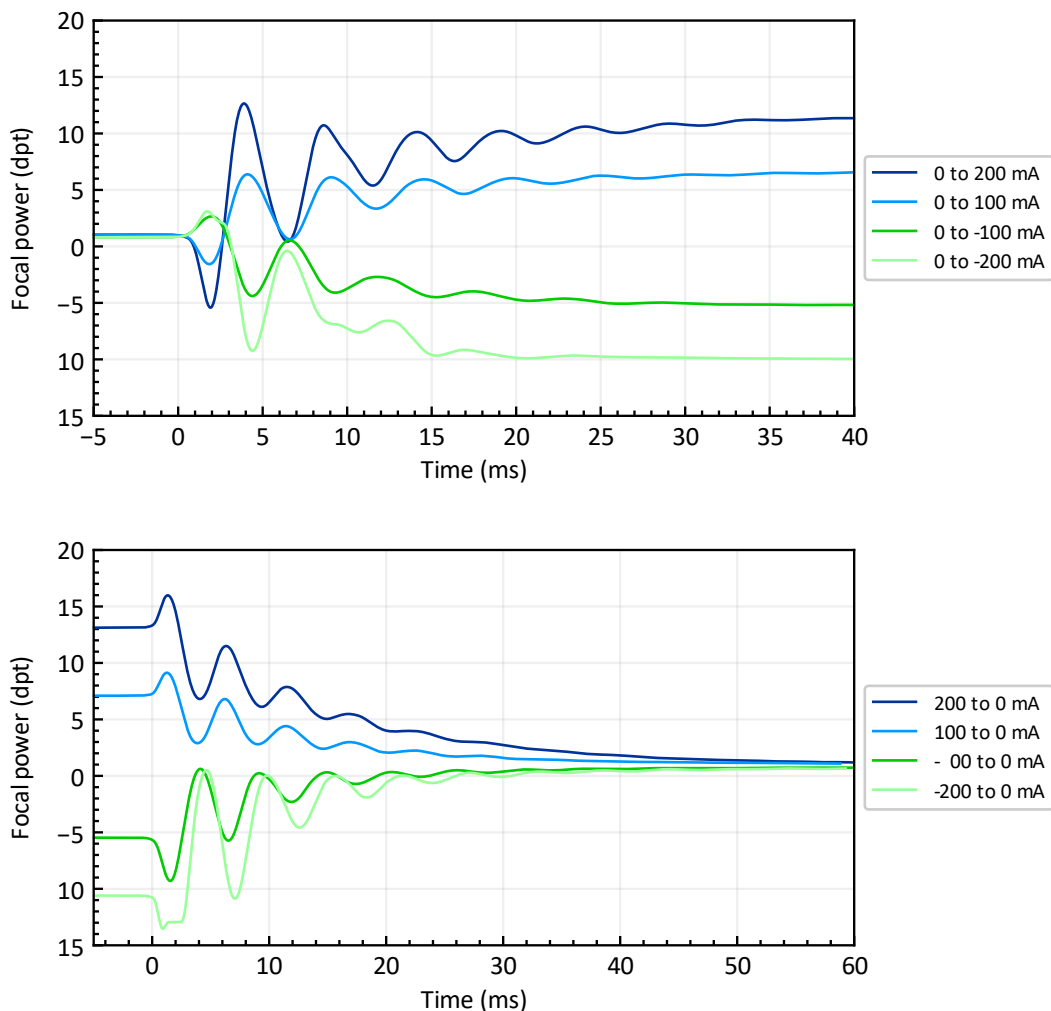


图 9: EL-16-40-TC-VIS-20D 在多个电流阶跃下的典型光学响应。上图表示电流由低到高的阶跃响应，下图表示电流由高到低的阶跃响应。

宽频范围内的频率响应如图 10 所示，在 200 Hz 处存在一个共振峰。需要注意的是，该共振来自高阶振动模式，一般不适用于覆盖整个有效光阑的成像应用。

在施加电流阶跃时，建议通过低通滤波器抑制 100 Hz 以上的频率分量，以避免激发振荡现象（如图 9 所示）。

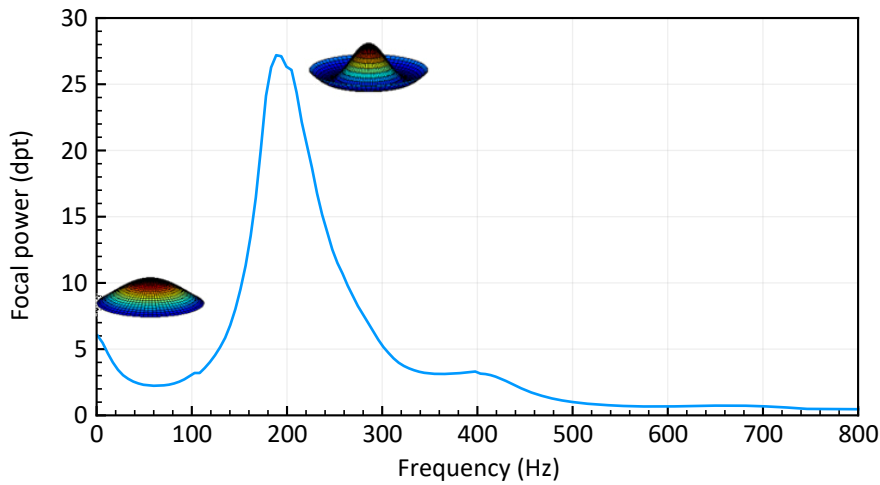


图 10: EL-16-40-TC 的典型频率响应曲线，驱动电流幅值为 -50 至 +50 mA。

温度效应

残余温度效应会影响光学功率在规格表中所述的长期漂移。这些温度影响通过温度灵敏度 S (dpt/°C) 进行量化，即光学功率随每摄氏度变化的幅度。

如图 11 所示， S 与光学功率之间近似呈线性关系。一般而言，当 EL-16-40-TC 与散热结构良好热耦合时，温度效应可以显著降低。安装结构本身即可作为散热器使用，较大的质量以及较高导热系数的材料能够更有效地散热。Lens Driver 4 以及 Gardasoft TR-CL180 均提供自动温度补偿功能，可实现典型重复性：小焦距变化：±0.05 dpt，大焦距变化：±0.1 dpt。

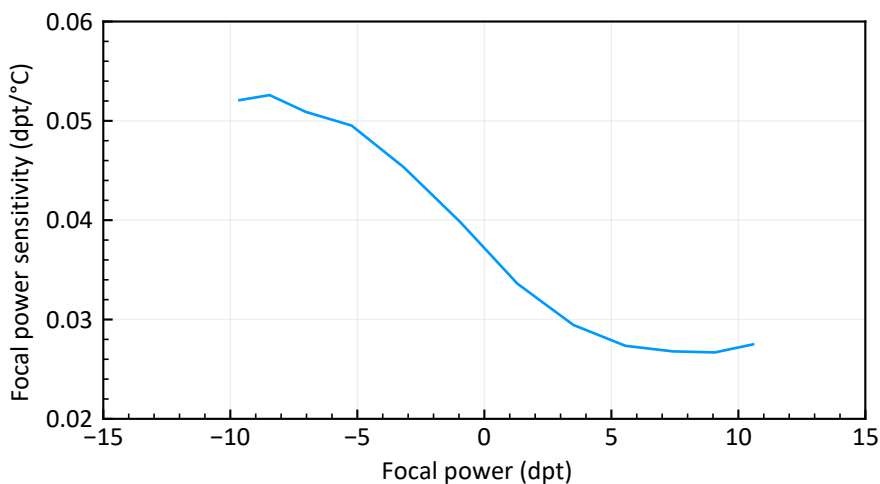


图 11: 焦距灵敏度与光学功率之间的关系曲线。

光学布局

用于在光学设计中对 EL-16-40 系列进行建模的 Zemax 仿真文件可按需提供。

自发荧光、双折射与偏振特性

EL-12-30-TC 不存在自发荧光、双折射或任何偏振依赖效应。

EL-16-40-TC 订购信息

对于定制版本，请按照以下规则构建产品型号编号：

EL-16-40-TC-AR-DPT-CL-THR-CTRL

AR = VIS: 420 – 950nm
NIR: 850 – 1500nm

DPT = 5D: 5 dpt调节范围
20D: 20 dpt调节范围

CL = 1: class 1 波前误差规格

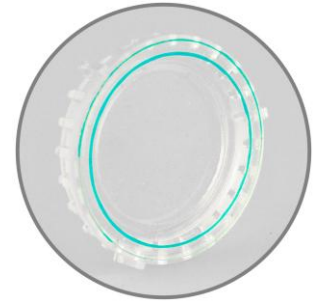
THR = C: C-mount 螺纹接口
M25.5: M25.5x0.5 螺纹
M26: M26x0.706 螺纹
M27: M27x0.5 螺纹
M30.5: M30.5x0.5 螺纹
M42: M42x1 螺纹

CTRL = E: 包含嵌入式透镜控制器 ECC-1C

安全与合规

本产品符合 RoHS 和 REACH 合规标准。客户在集成及使用过程中需自行负责遵守所有相关安全法规。

手动可调焦液态透镜 ML-18-30



ML-18-30 是一个核心透镜元件本体，不包含完整外壳结构。其曲率可通过按压一个与光阑尺寸相匹配的环形部件（lens shaper），使透镜从平面逐步变为凸面。该轴向位移通过旋转驱动实现，并结合透镜外表面的螺旋结构倾角完成（见图 1）。用于构建 ML-18-30 外壳及相应驱动机构的设计文件可按需提供。目前提供该型号的如下版本：

- ML-18-30-NOC-MR——中等折射率（ $n_D = 1.382$ ），无增透镀膜。

下表给出了该手动可调透镜的基本规格。透镜口径、厚度及焦距调节范围均可按需求定制，因为这些参数取决于由客户设计的外壳结构。若需清洁透镜，建议使用无尘压缩空气进行清洁。异丙醇或类似清洗液可能会损伤透镜表面。

机械规格

外径	30	mm
通光孔径 ¹	18	mm
厚度	5.5	mm
重量	3.5	g

光学规格

光学规格		ML-18-30-NOC-MR
焦距调节范围 @ 525nm		inf ... +35 mm
屈光度范围(基于图 2 所示外壳结构)		0 ... 28 dpt
色散 (20°C)	486.1nm	1.387
	589.3nm	1.382
	656.3nm	1.380
阿贝数 V		63
透镜类型		从平凸到平面
外壳材料		聚碳酸酯（可按需提供镀膜）
透过率		91%
偏振		保持

热学规格

存储温度	[-40,+85]	°C
工作温度	[-20,+65]	°C

¹ 推荐通光孔径为清晰光阑的 80%。

图 1 显示了 ML-18-30 透镜的尺寸结构。根据图 1，焦距范围的测量基准为外环位置。在中性位置时，膜片处于平面状态，并位于外环下方 0.5 mm。在最大偏转状态下，膜片被压至外环边缘下方 1.7 mm 位置。

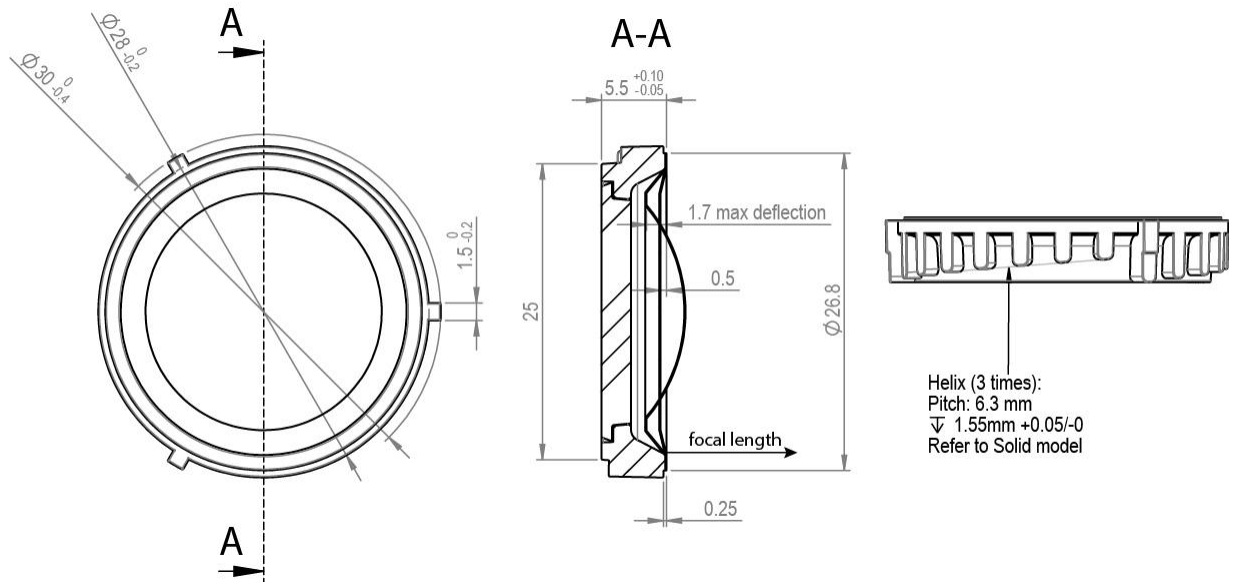


图 1: 机械图纸 (单位: mm)

当集成在外壳结构中时，螺旋结构的倾角可用于改变焦距。如图 2 所示，我们给出了 ML-18-30 透镜的一个具体外壳设计示例。上文表格中所给出的焦距调节范围即基于该外壳结构。在旋转外环时，焦距可实现连续变化。

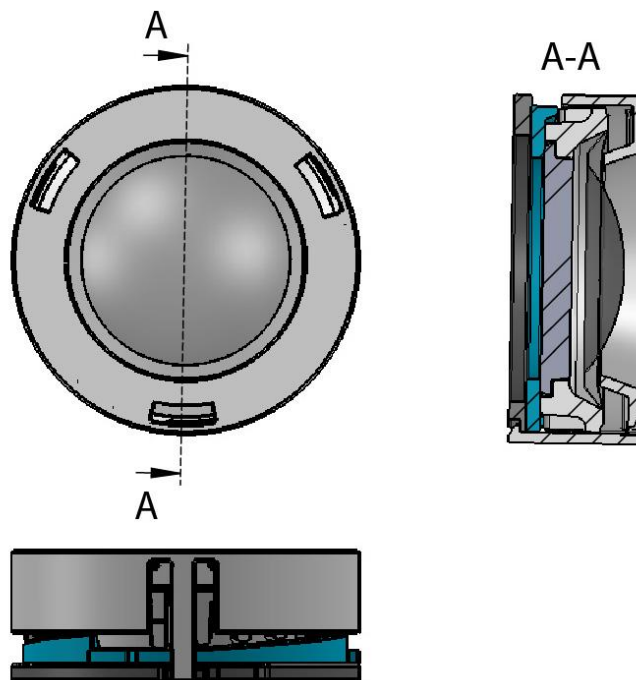


图 2: 包含 ML-18-30 透镜的外壳示例结构。

手动可调焦液态透镜 ML-20-37



透镜的曲率可通过旋转安装在透镜外环上的调节环，从凸面调整为平面，再调整为凹面。焦距可相应地调节至所需数值。下表列出了我们标准手动透镜的规格。透镜口径、厚度及调节范围可在定制项目中进行相应调整。

机械规格

透光孔径 ¹	20	mm
外径	37 (含齿轮39)	mm
厚度	13.2 (不含适配器), 18.6 (含适配器)	mm
重量	13.7 (不含适配器) / 25.2 (含适配器)	g
最大扭矩	80 (作用于齿轮齿)	mNm
全调节角度	337	°

光学规格

透镜类型	从平凸到平凹	
光学功率调节范围 (BFL ²)	-18 ~ +18	Dpt
焦距调节范围 (BFL)	-55 ~ ∞ ~ +55	mm
焦点分辨率	取决于电动化程度	
每旋转一度的光学功率变化	0.12	Dpt/°
光学液体		
折射率 @20°C	1.38	
阿贝数 V	65	
透射光谱	见图 2	
波前误差 (@525 nm, 5mm CA)	0.95 (across tuning range) 0.19 (at 0 dpt)	λ RMS
偏振	保持	
温漂	TBD	Dpt/°C

环境规格

工作温度	10 to 40	°C
存储温度	-20 to +75	°C
湿度	30-50 (非冷凝)	% R.H.
寿命 (随机循环次数)	500 万次	#

标准产品	调节范围	AR 镀膜	C-mount 适配器
ML-20-37-VIS-36D	-18 ~ +18 dpt	400nm -700nm	no
ML-20-37-VIS-36D-C	-18 ~ +18 dpt	400nm -700nm	yes

¹ 推荐透光孔径为清晰光阑的 80%

² 后焦距

机械安装

图 1 显示了 ML-20-37 透镜的尺寸。后焦距范围是从 OEM 透镜外壳的配合面测量的。该配合面位于 C-mount 适配器最外表面之后 5.4 mm。调节环用于将焦距调节至所需值。

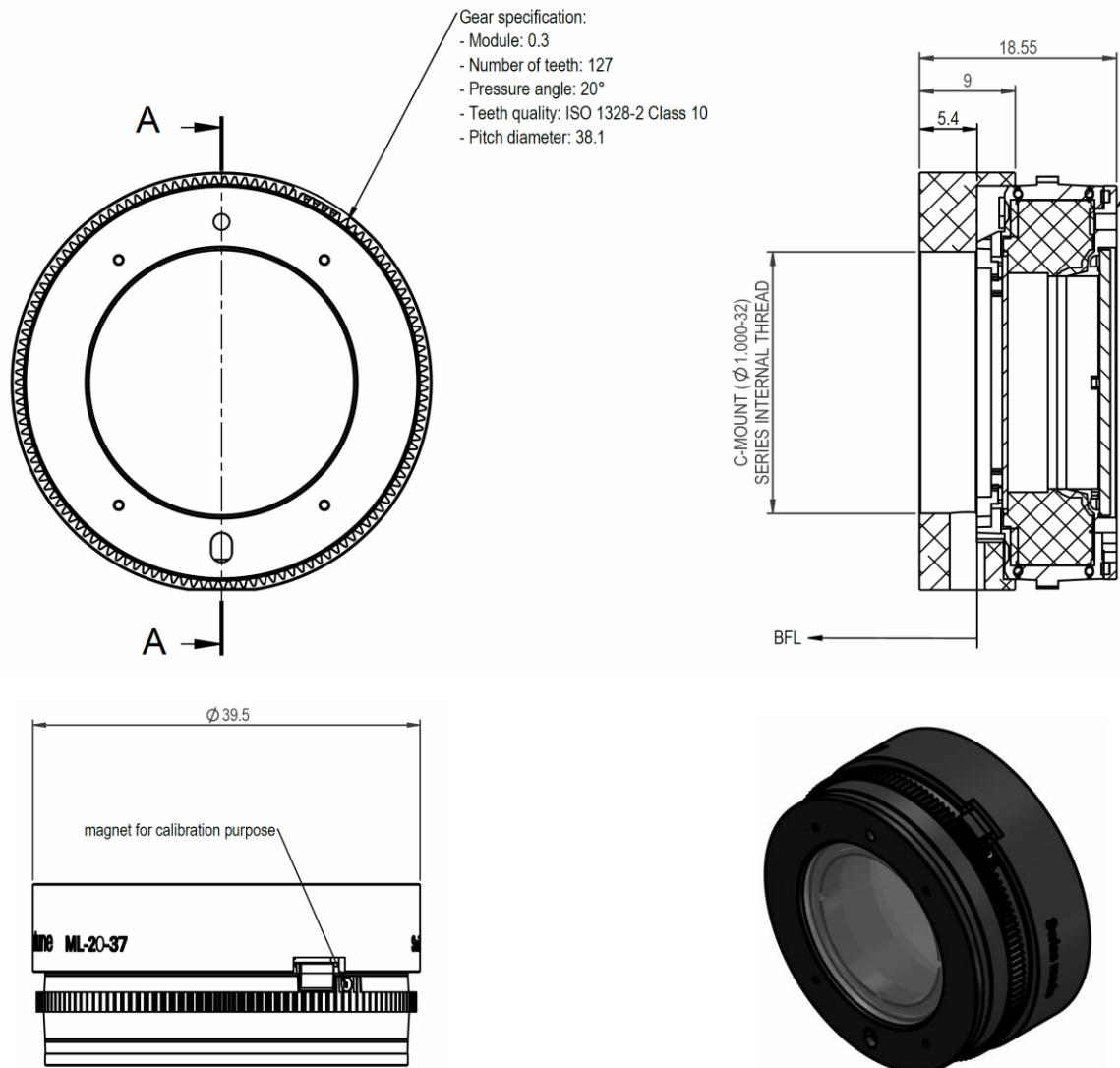


图 1: ML-20-37-VIS-36D-C 机械布局 (单位: mm)

电动化

ML-20-37 可通过直接驱动或蜗轮驱动实现电动化。磁体可用于校准目的。

透射特性

光学液体和膜材料在 400 至 2500 nm 范围内具有高透射性。由于膜具有弹性, 无法使用标准工艺进行镀膜, 因此预计会有 3 - 4% 的反射。

盖玻片可按需求进行镀膜。图 2 显示了标准宽带可见光 (VIS) 镀膜的透射光谱。

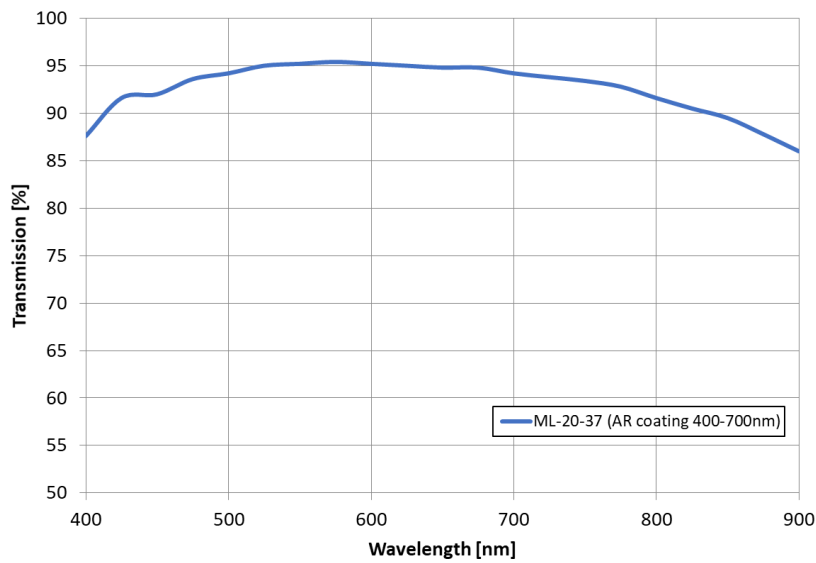


图 2: ML-20-37 标准可见光 (VIS) 镀膜的透射光谱

波前质量

理论上, 可调焦液态透镜呈球面透镜形状。结果汇总见图 3。当透镜水平放置 (光轴垂直) 时, ML-20-37 在 525 nm 波长下的 RMS 波前误差为: 全调节范围内 0.95 λ , 0 dpt 时 0.19 λ 。

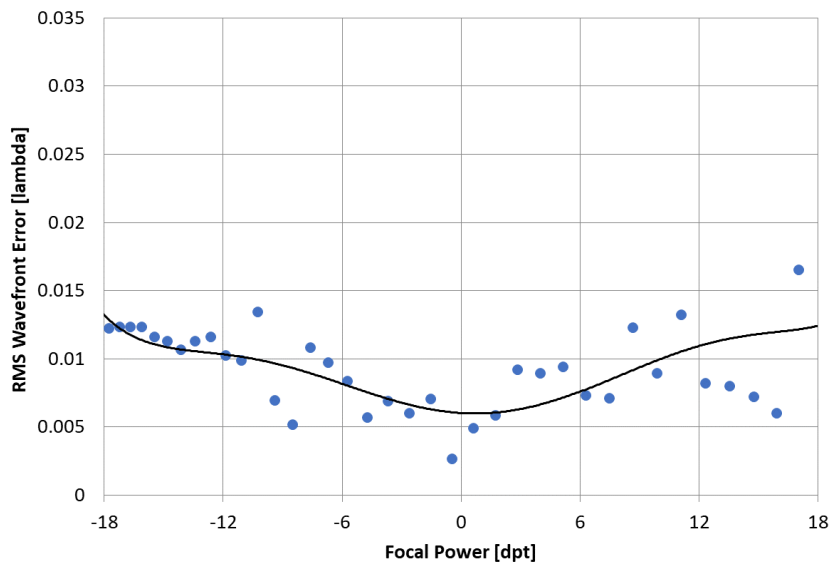


图 3: ML-20-37 在 525 nm 波长下的典型波前测量结果 (已排除散焦、倾斜及球面误差)。

光学布局

图 4 提供了对 ML-20-37 透镜进行模拟所需的信息。可从我们官网下载精确的 ZEMAX 模型。随着盖玻片上下移动，膜片的偏转会连续变化。

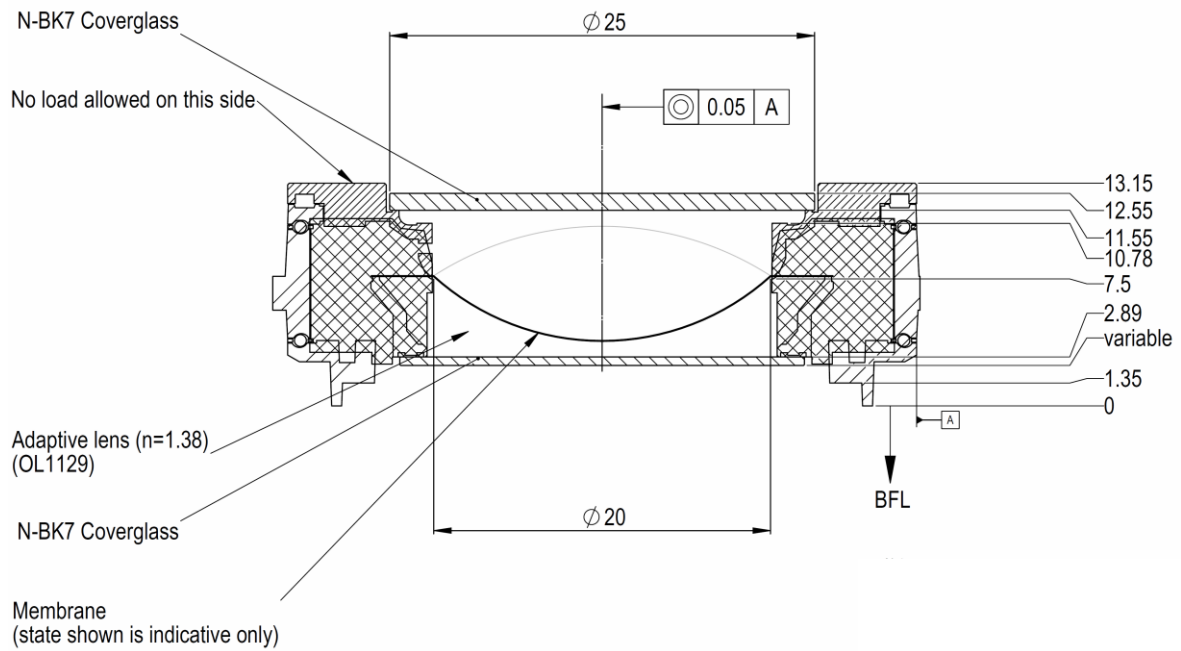


图 4: ML-20-37 光学布局

安装方式

如图所示，C-mount 版本提供多种机械安装方式。关于无 C-mount 适配器版本的安装建议，请联系我们。



图 5: ML-20-37-C 的安装方式

(a) ML-20-37-VIS-LD-C 配合标准 1/2" 光学支柱安装座 (M4 螺钉)
(b) ML-20-37-VIS-LD-C 通过 C-mount 转 SM1 适配环 (SM1A39) 安装至 30 mm 至 60 mm Cage 板适配器 (LCP02/M)

安全与合规

本产品符合 RoHS 和 REACH 合规标准。客户在集成和使用过程中，需自行确保遵守所有相关安全法规。