

## 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。

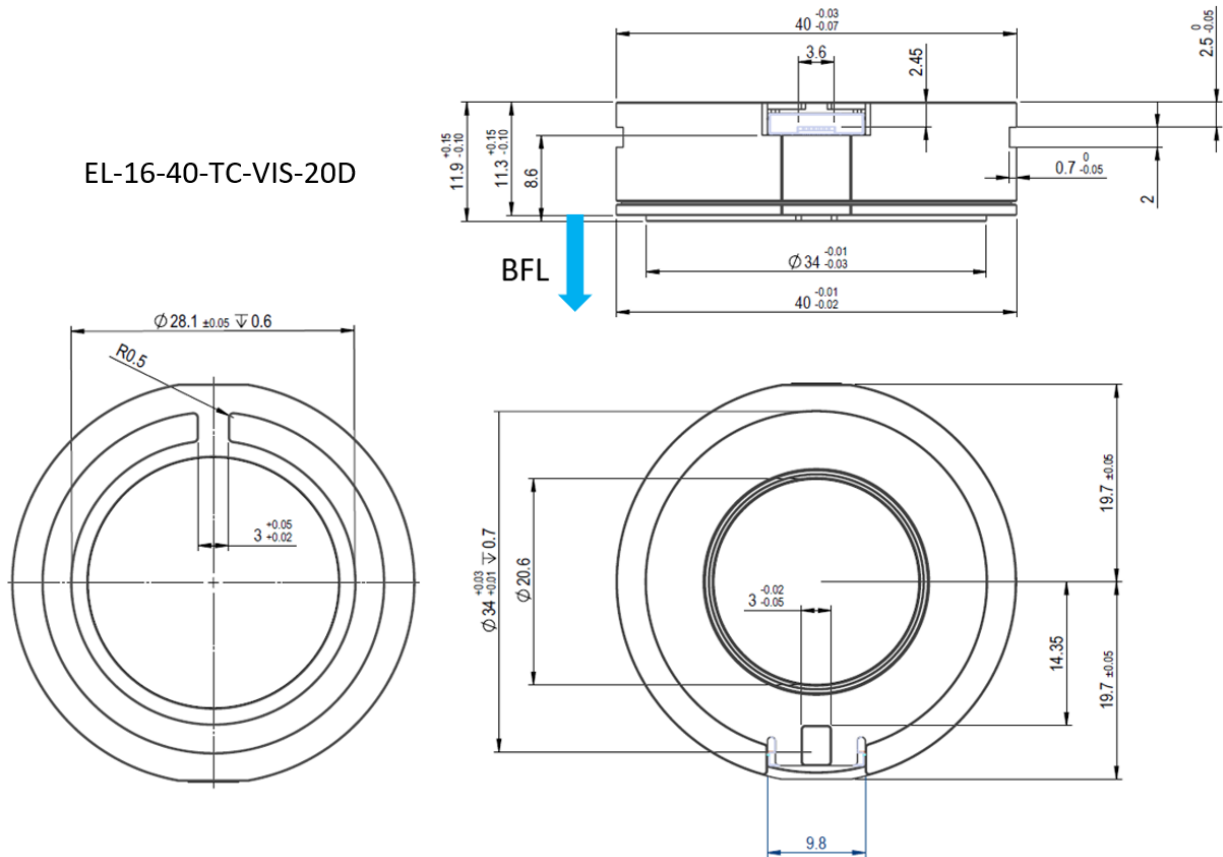


图 1: EL-16-40-TC 的机械图纸 (最基础版本 EL-16-40-TC-VIS-20D, 不带任何螺纹适配器) (单位: mm)。

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。

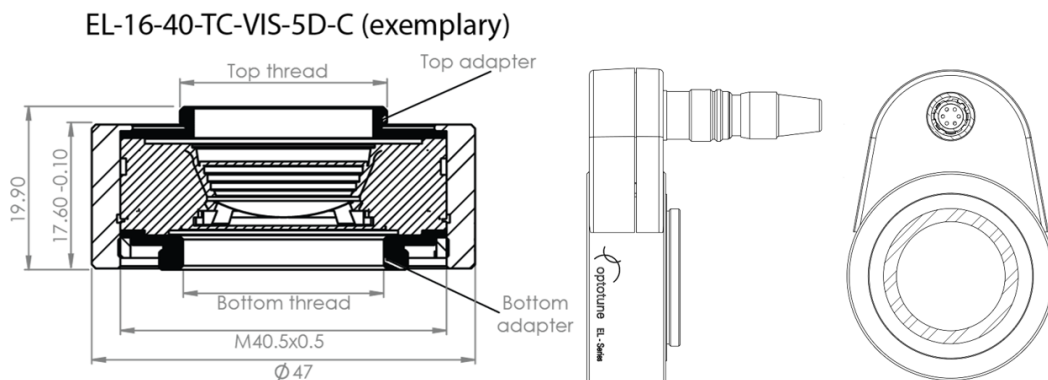
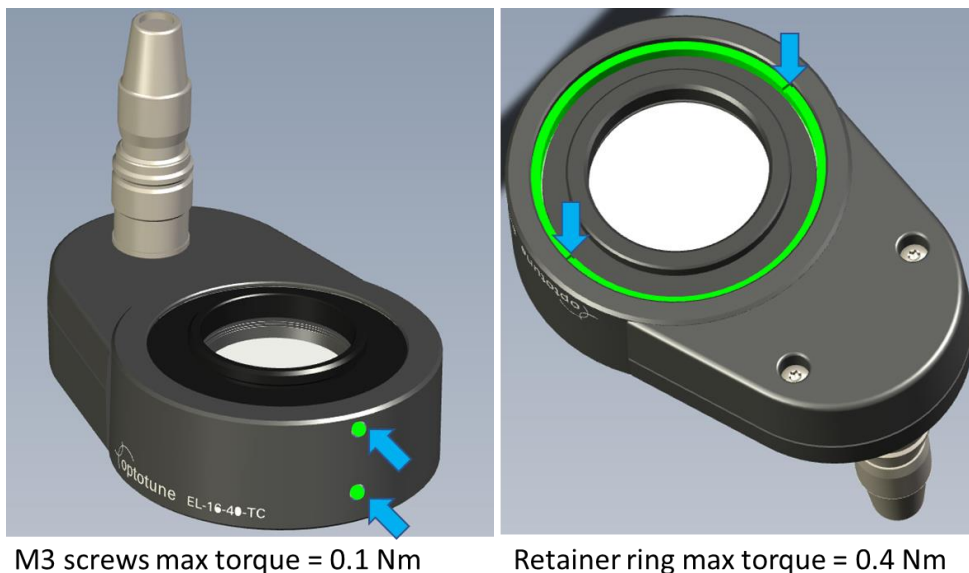


图 2: EL-16-40-TC-20D-C 配置的机械布局 (单位: mm)。

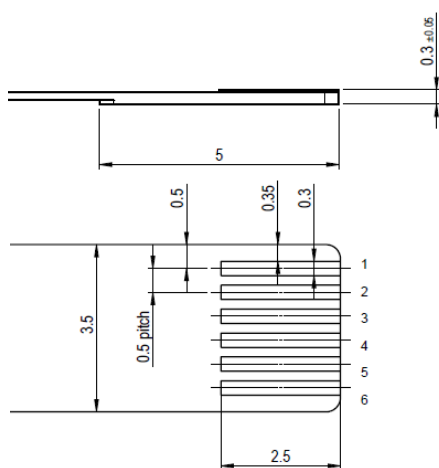
设计在侧面设置了两颗 M3 螺钉，用于锁定螺纹适配器的位置。上方的 M3 螺钉可在需要时松开，以允许 Hirose 连接器相对于上部螺纹自由旋转。下方的 M3 螺钉用于固定下部螺纹位置。每颗 M3 螺钉的最大紧固扭矩为 0.1 Nm。建议的安装步骤为：首先松开两颗 M3 螺钉，随后拧紧锁紧环，最后再锁紧 M3 螺钉。



**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。

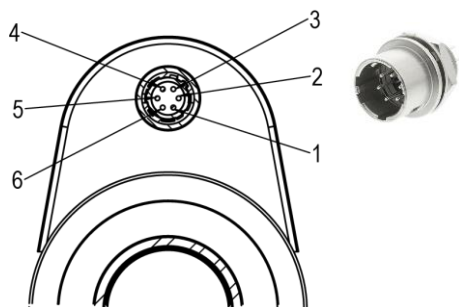
## 电气连接

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 I<sup>2</sup>C 通信 I<sup>2</sup>C 地址分别为 0x18 和 0x50。



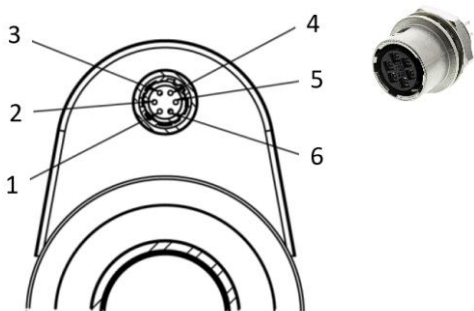
Pin out: EL-16-40-TC		
Position	Function	Value
1	GND	-
2	Max. control current -	-500 to 500 mA
3	Max. control current +	-500 to 500 mA
4	I <sup>2</sup> C SDA	Digital signal
5	I <sup>2</sup> C SCL	Digital signal
6	Vcc	3.3 V

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 <sup>2</sup> C SCL	6
6	I <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> C SCL	TTL
4	UART Rx / I <sup>2</sup> 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。

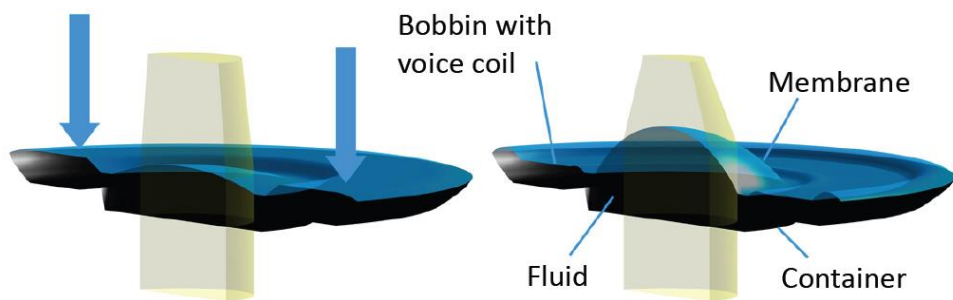


图 6: 充满光学液体的密封透镜容器工作原理示意图，该容器集成于 EL-16-40-TC 外壳中。

## 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。

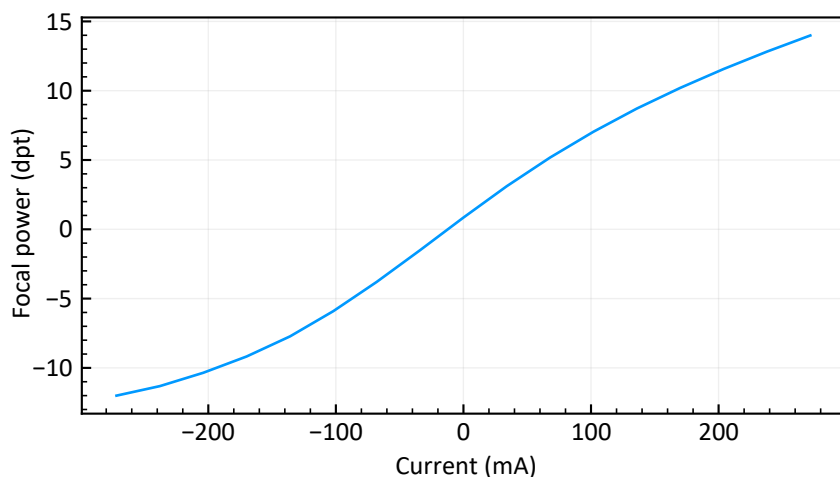


图 7: 光学功率（屈光度）与电流关系的典型数据曲线。

## 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。

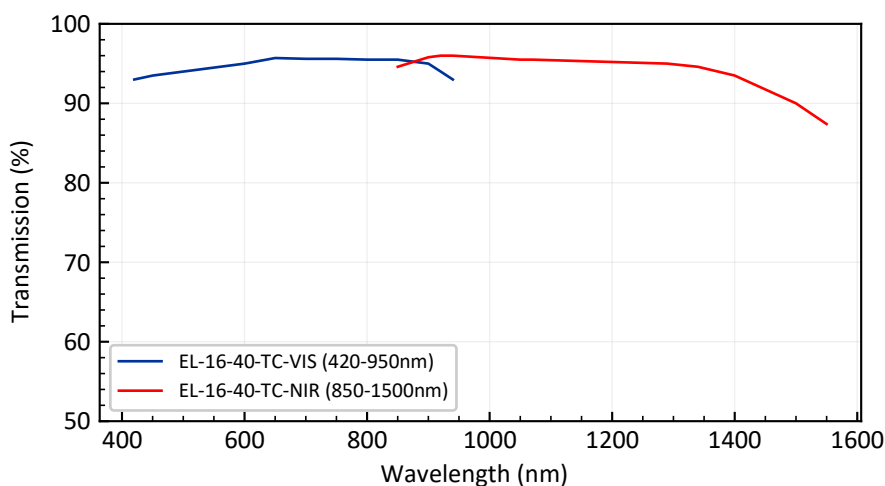


图 8: EL-16-40-TC 标准可见光 (VIS) 及近红外 (NIR) 镀膜的透射光谱。

## 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  $0.5 \lambda$ （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  $2.5 \lambda$ （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%。

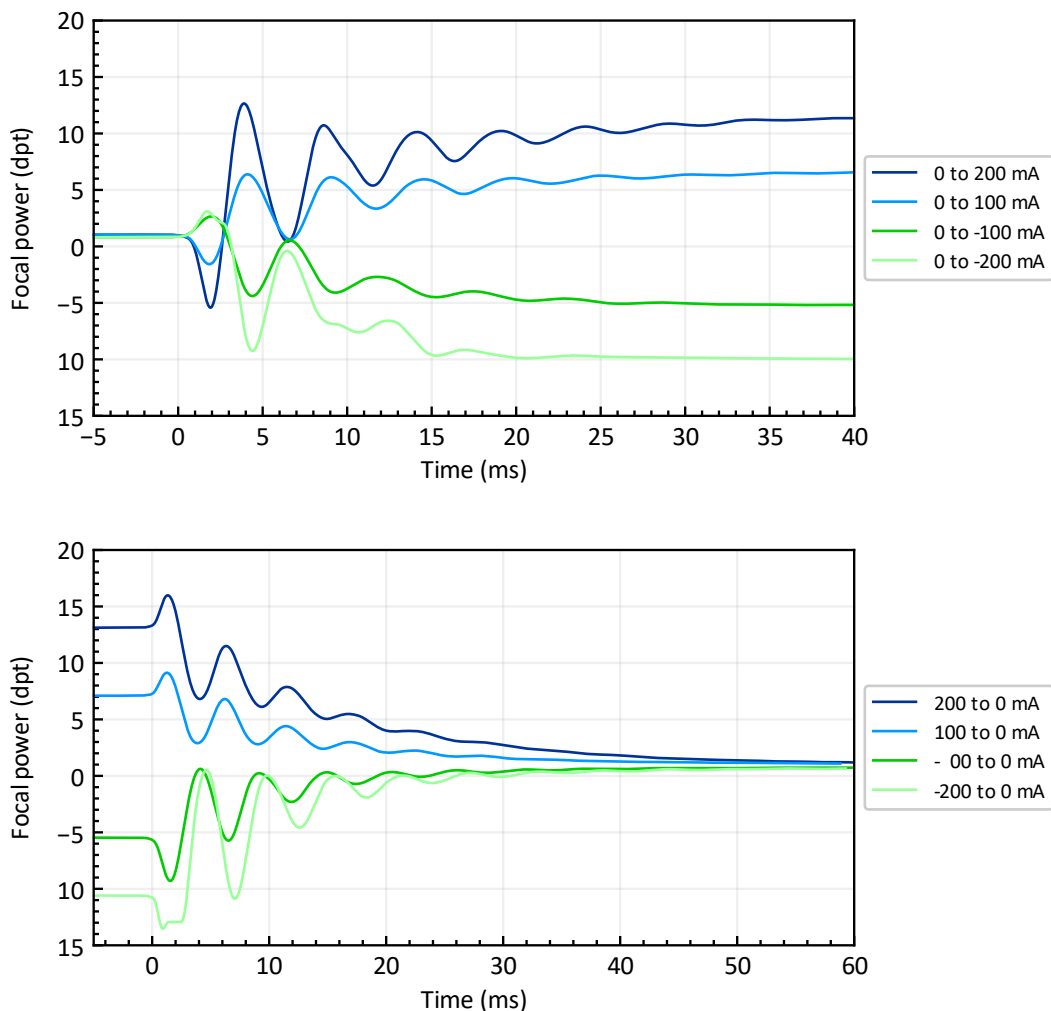


图 9: EL-16-40-TC-VIS-20D 在多个电流阶跃下的典型光学响应。上图表示电流由低到高的阶跃响应，下图表示电流由高到低的阶跃响应。

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）。

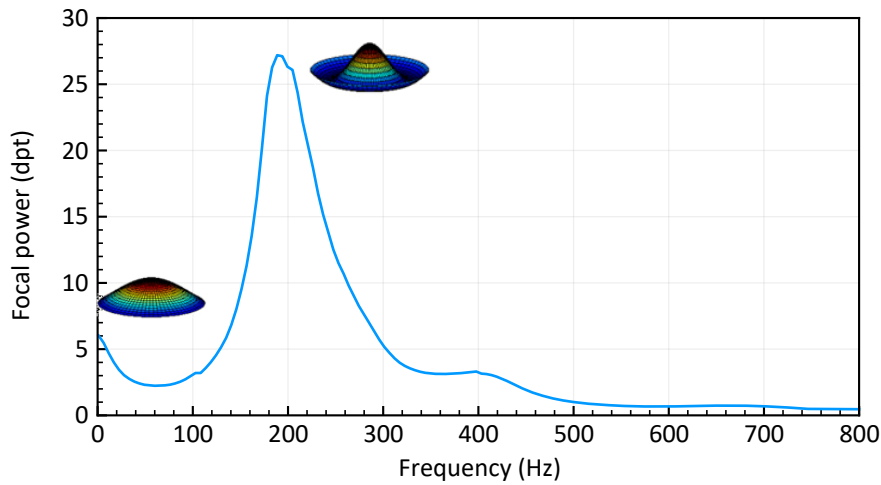


图 10: EL-16-40-TC 的典型频率响应曲线，驱动电流幅值为 -50 至 +50 mA。

### 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。

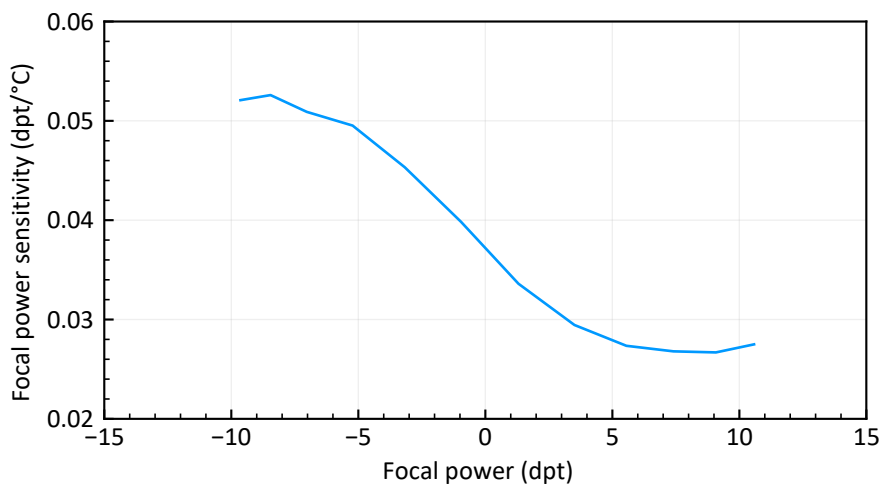


图 11: 焦距灵敏度与光学功率之间的关系曲线。

## 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。