

爱特蒙特光学 非球面透镜

© COPYRIGHT 2019 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED 1/19



功能 | 全新非球面透镜 | 技术说明

如需定制或批量订购请与我们联系!

中国: +86-0755-2967-5435 新加坡: +65-6273-6644
韩国: +82-2-769-4600 台湾: +886-4-22936309

 **Edmund**
optics | worldwide

www.edmundoptics.cn/aspheres

CNC 抛光功能



爱特蒙特光学是非球面透镜制造领域公认的领导者，在眼科仪器、外科手术器械、分析仪器和防御应用领域拥有丰富的经验。爱特蒙特光学拥有能一天24小时运作的高产量非球面透镜制造单元，每月可以生产数千件精密非球面透镜。我们的制造单元具有最先进的生产和计量设备，完善了我们在非球面透镜设计和制造方面的专业技能。无论您的应用环境是需要我们各种各样的现货产品、依图制造透镜还是完全定制设计的产品，我们的专业光学设计和制造工程师都可以开发出满足您需求的解决方案。立即联系我们以咨询专家或索取快速报价。

非球面制造规格

	商业级	精密级	高精密级
直径:	10 - 150mm	10 - 150mm	10 - 150mm
直径公差:	+0/-0.100mm	+0/-0.025mm	+0/-0.010mm
非球面面形偏移 (P - V):	3µm	1µm	<0.06µm
顶点半径 (非球面):	±0.5%	±0.1%	±0.05%
Sag:	最大25mm	最大25mm	最大25mm
典型斜率公差:	1µm/mm	0.35µm/mm	0.15µm/mm
中心 (光束偏移):	3 arcmin	1 arcmin	0.5 arcmin
中心厚度公差:	±0.100mm	±0.050mm	±0.010mm
表面质量 (划痕点坑):	80-50	40-20	10-5
非球面表面计量:	轮廓测量 (2D)	轮廓测量 (2D & 3D)	轮廓测量

计量技术和生产设备

制造设备

- 5轴CNC磨床
- 5轴CNC抛光机
- 用于精加工的QED MRF修整机
- Centering Machines

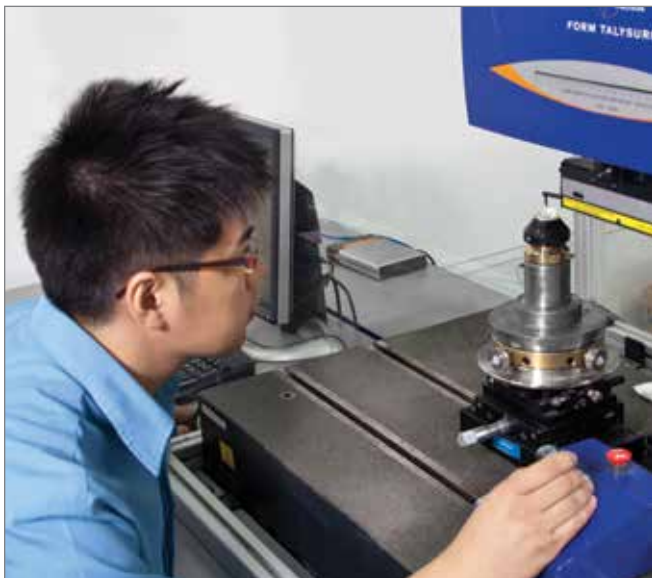
计量技术

- Talysurf PGI 1240 轮廓测量仪
- QED ASI™ 非球面拼接干涉仪
- Zygo® NewView 白光干涉仪
- OptiPro UltraSurf 4X 100 非接触式轮廓测量仪
- TRIOPTICS Opticentric® 定心机
- Zeiss Contura G2 CMMs
- Olympus MX51 显微镜
- 特定设计的计算机生成全息图 (CGH)

观看**非球面透镜的制作视频**，请访问 [visit www.edmundoptics.cn/making-aspherics](http://www.edmundoptics.cn/making-aspherics)



非球面计量技术



爱特蒙特光学 (Edmund Optics®), 始终相信, 如果你不能测量一个透镜, 你就无法制造它。因此, 我们投资了最新的非球面计量设备, 包括2D轮廓仪和3D拼接干涉仪。

Taylor Hobson® 的Talysurf轮廓仪利用触针跟踪非球面轮廓, 并测量其与理想非球面公式之间的偏差。通常, 我们会以2个轴向 (0°和90°) 进行测量, 以检测非球面抛光中是否存在非对称误差。计量精度高度取决于透镜的几何形状和触针的长度, 爱特蒙特光学 (Edmund Optics®) 能够测量具有1mm面型精度要求和Sag最高达25mm的非球面透镜。

Optipro Ultrasurf是一种非接触式轮廓仪, 能够在单次测量中对面型精度, 曲率半径, 中心厚度和楔角进行全面的2D和3D分析。结合多个非接触式光学传感器, Ultrasurf能够测量任何非球面。

QED Technologies® Aspheric Stitching Interferometer (ASI™) 能够为您提供待测非球面透镜的完整孔径资料, 可用于测量非球面偏差超过600µm的复杂非球面。爱特蒙特光学 (Edmund Optics®) 能够运用ASI™. 测量面型精度 <0.5µm, 复杂的不对称非球面轮廓和透镜。



计量服务和能力

- 首件检验 (FAI) 报告
- 完整的测试数据报告包括:
 - 尺寸测量
 - 中心度/总图像径向跳动
 - 表面轮廓
 - 表面粗糙度
 - 镀膜耐久性, 粘附力和耐磨性, 遵循 MIL-PRF-13830B标准
 - 损伤阈值, 遵循ISO-21254-1:2011标准
 - 独特的功能需求, 包括定制计量解决方案
- 符合安装控制, 更改控制和复制精确! (CE) 要求
- 符合FAR, DFAR, 质量保证规定 (QAP) 和测试要求

要了解我们的
制造能力, 请访问

www.edmundoptics.cn/manufacturing

TECHSPEC® $1/40\lambda$ 非球面透镜

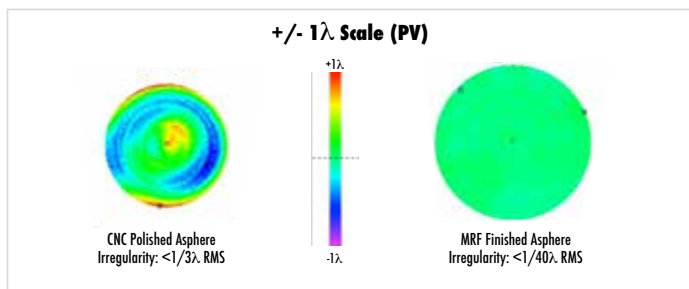
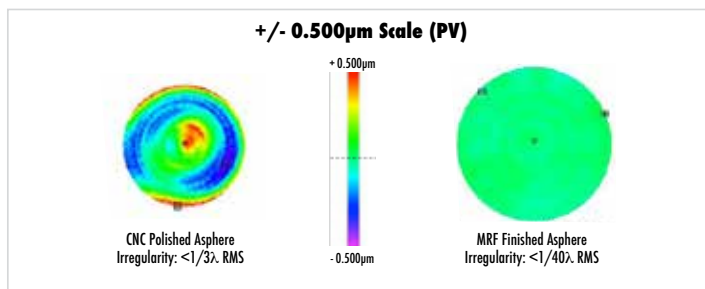


新品

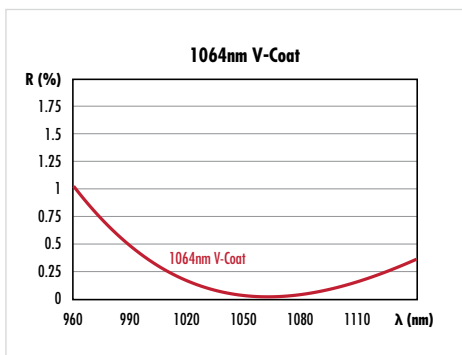
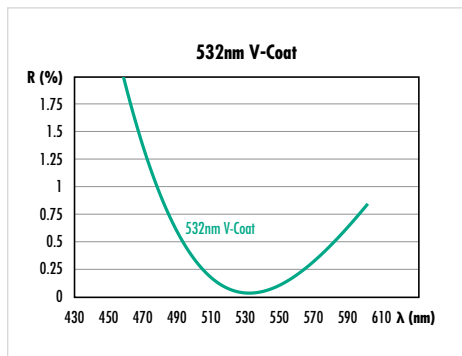


- $1/40$ 波形非球面面形偏差 (RMS)
- 保证 Strehl (斯特列尔比) >0.8
- 激光 V 型镀膜的反射率 $<0.25\%$

TECHSPEC® $1/40\lambda$ 非球面透镜通过精密磁流变抛光 (MRF) 制作, 具有非球面表面公差 $1/40\lambda$ RMS 的超顺滑非球面表面。这种抛光过程产生的无像差非球面使得这些非球面透镜在设计波长下具有衍射极限性能。TECHSPEC® $1/40\lambda$ 非球面透镜镀有高性能激光 V 型镀膜, 以最大程度地减小在 Nd:YAG 设计波长下使用时的反射率。由熔融石英制成, 采用标准英制尺寸和 f/2 设计, 是集成到 OEM 应用的理想之选。



材料:	熔融石英 7980 OF	表面质量:	10-5	偏心度 (arcmin):	<1
非球面表面公差 (RMS):	$1/40\lambda$	中心厚度容差 (mm):	± 0.1	镀膜:	$R_{avg} < 0.25\% @ DWL$
通光孔径:	直径 - 2.0mm	直径容差 (mm):	$+0.00/-0.05$	损伤阈值 (J/cm²):	532nm: 10 @ 20ns, 20Hz 1064nm: 15 @ 20ns, 20Hz
Strehl (斯特列尔比):	>0.8				



TECHSPEC® $1/40\lambda$ 532nm 非球面透镜

直径 (mm)	有效焦距 (mm)	后焦距 (mm)	设计波长 (nm)	中心厚度 (mm)	边缘厚度 (mm)	价格
25.4	50.8	45.4	532	7.9	4.4	#39-558
50.8	101.6	93.9	532	11.2	4.1	#39-565

价格请参考官网

TECHSPEC® $1/40\lambda$ 1064nm 非球面透镜

直径 (mm)	有效焦距 (mm)	后焦距 (mm)	设计波长 (nm)	中心厚度 (mm)	边缘厚度 (mm)	价格
25.4	50.8	45.0	1064	8.4	4.7	#39-560
50.8	101.6	94.7	1064	10.0	2.7	#39-567

价格请参考官网

非球面透镜 不规则度与斯特列尔比

所有光学系统都有一个理论性能极限，称为衍射极限。斯特列尔比是用来比较光学系统实际性能与其衍射极限性能指标。对于非球面透镜和其他聚焦光学元件，斯特列尔比定义为入射光斑峰值焦斑辐照度与衍射极限峰值辐照度的比值（图 1）。¹ 行业标准阈值将斯特列尔比大于 0.8 的透镜分类为“衍射极限”。

斯特列尔比也可以与使用以下近似的 RMS 透射波前误差相关，其中， σ 是 RMS 波前误差。² 该近似对于透射波前误差值 < 0.1 光波有效。

$$S = \exp[-(2\pi\sigma)^2] \quad 1$$

表面不规则性对斯特列尔比的影响

光学元件的斯特列尔比与其表面不规则性，或光学表面与其标称形式的偏差高度相关；表面不规则性是由采用的制造方法导致的。球面光学元件通常使用超大工具进行抛光，这种工具会在光学元件表面产生低空间频率误差。不过，非球面透镜通常通过子孔径研磨和抛光制造，因此会造成更复杂的不规则结构。了解指定表面不规则性与其底层结构之间的关系，可以帮助我们了解透镜的性能和由此产生的斯特列尔比。

例如，考虑空间频率的影响。当表面不规则性被建模为旋转对称余弦函数时，我们可以根据各种余弦周期的 RMS 表面不规则性来探索得到的斯特列尔比（图 2 和图 3）。

这里的关键因素不是以 mm 为单位的余弦的周期，而是透镜光圈上的周期数。对于用于非球面透镜加工的给定子光圈工具，直径较小的非球面透镜比直径较大的非球面透镜的斯特列尔比下降更小。

表面不规则性对斯特列尔比的影响也取决于透镜的 $f/\#$ 。一般来说，更快的非球面透镜或 $f/\#$ 较小的非球面透镜对表面不规则性对斯特列尔比的影响更敏感。例如，图 4 比较了 $f/2$ 透镜和 $f/0.75$ 透镜（两者的直径都为 25mm）。

功率谱密度和不规则斜率

基于上述例子，不规则映射的空间频率含量对透镜的斯特列尔比有显著影响。除了 PV 或 RMS 不规则性外，还可以针对这些空间频率要求其他规范。

直接评估空间频率的一种规范叫做功率谱密度（Power Spectral Density，或称 PSD）。⁴ PSD 将根据空间频率来评估表面不规则度，可以有针对性地限制空间频率范围的影响。PSD 还可以用于同时约束所有空间频率。

要降低不规则性中的较高空间频率，一种更简单，但更有效的方法是除了约束 PV 值外，还要约束构成表面不规则图的余弦函数的斜率。对于给定的 PV 不规则极限，较高的斜率与表面上较高的空间频率相关（图 5）。斜率通常以最大 RMS 斜率值表示，相对于简单的最大斜率要求，RMS 斜率值是对透镜表面更全面的评价。⁵

表面不规则性的空间频率对斯特列尔比和非球面透镜的性能有显著影响。在一定的表面不规则性下，周期越短，斯特列尔比下降越明显。要了解透镜表面不规则对其性能的真正影响，需要了解透镜表面不规则图的形状，而不仅仅是表面不规则本身。³ $f/\#$ 越小，下降越多。

References

1. Strehl, Karl W. A. "Theory of the telescope due to the diffraction of light," Leipzig, 1894.
2. Mahajan, Virendra N. "Strehl ratio for primary aberrations in terms of their aberration variance." *JOSA* 73.6 (1983): 860-861.
3. Kasunic, Keith J., *Laser Systems Engineering*, SPIE Press, 2016. (ISBN 9781510604278)
4. Lawson, Janice K., et al. "Specification of optical components using the power spectral density function." *Optical Manufacturing and Testing*. Vol. 2536. International Society for Optics and Photonics, 1995.
5. Messelink, Wilhelmus A., et al., "Mid-spatial frequency errors of mass-produced aspheres," *Proc. SPIE 10829, Fifth European Seminar on Precision Optics Manufacturing*, 7 Aug. 2018, doi:10.1117/12.2318663.

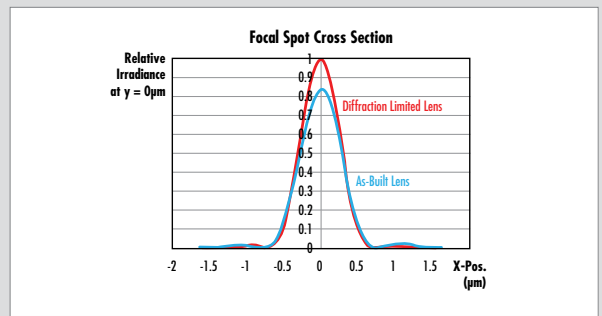


图 1：直径为 25mm 的 $f/2$ 非球面透镜在 588nm 处的焦斑辐照度截面图。实际透镜的斯特列尔比为 0.826，符合衍射极限条件

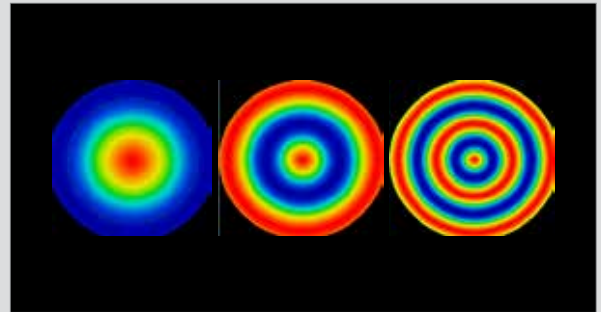


图 2：径向余弦不规则度映射在直径为 25mm 的 $f/2$ 非球面透镜上。从左到右的余弦周期分别为 20mm、10mm 和 5mm

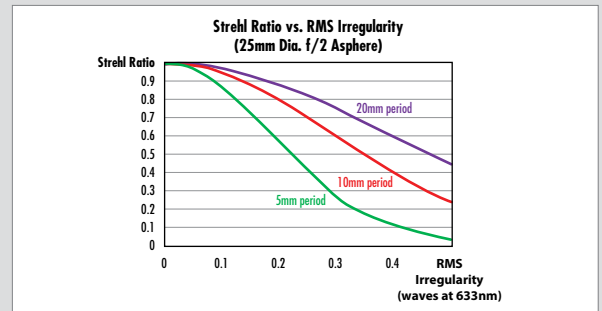


图 3：对于特定 RMS 表面不规则性，非球面透镜光圈上的余弦周期越多，斯特列尔比越低

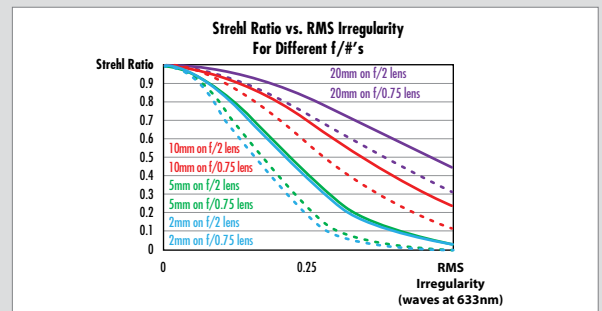


图 4：虚线和实线的对比表明，在给定余弦周期内，较快的非球面透镜 ($f/\#$ 较小) 比较慢的非球面透镜 ($f/\#$ 较大) 的斯特列尔比下降得更多

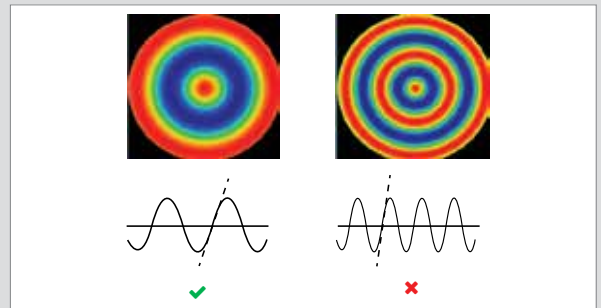


图 5：如果为表面不规则图指定了最大斜率规范，将会创建一个阈值，以减少更高空间频率内容对表面的影响



光学镀膜和 激光诱导损伤阈值

我们的所有 TECHSPEC® 激光级非球面透镜表面均镀有高效增透膜，以保证入射激光照明的最大透射率。该镀膜经过设计，不仅具有极低的损耗（反射率 <0.25%），而且能够承受现代激光系统中常见的高激光通量。请参阅下面的激光诱导损伤阈值 (LIDT) 简介。

光学组件中的激光损伤会导致系统性能降低，甚至可能因此导致灾难性的故障。对 LIDT 理解不正确可能会导致成本显著提高或组件故障。尤其是在处理高功率激光时，LIDT 是各类激光光学组件（包括反射性、透射性和吸收性组件）的重要规格。业界在如何测试 LIDT、如何检测损伤以及如何解释测试数据方面缺乏共识，这使得 LIDT 成为一个复杂的规格。LIDT 值本身并不表示用于测试的光束直径、管理的每个测试点的样本数量或测试数据的分析方式。

测试激光损伤阈值

激光损伤测试具有内在的破坏性。接受测试的光学仪器暴露在一定程度的激光能量密度下，然后进行检查，通常使用诺玛斯基型差示干涉对比 (DIC) 显微镜进行检查。然后增加能量密度，并重复暴露和检查步骤。这个过程一直持续到在光学元件上观察到损伤。尽管从概念上来说，这是一个简单的过程，但也有几个层次的复杂性。

根据 ISO 21254，任何可检测到的光学元件变化都被认为是“损伤”。根据损伤评估方式，可能会产生不同的 LIDT 值，因为并非所有测试都使用相同的损伤检测方案，而且不同的操作人员可能会选择不同的信噪比阈值。必须认识到，ISO 定义的“损伤”并不一定意味着性能下降，因为它取决于应用。

LIDT 测试由单一或多样本测试指定。单一样本测试（也称为 1 对 1 测试）包括在具有不同激光能量密度的光学元件的至少 10 个不同采样点上采集的一个激光辐射样本。该能量密度下所有测试点上的损伤点数量确定特定能量密度下的损伤概率。损伤概率的绘制取决于能量密度，然后将数据线性外推以找到损伤概率为 0% 的位置，得到 LIDT 值（图 1）。

多样本（或称为 S-on-1）测试与单一样本测试的不同之处在于，它在每个测试点上使用一连串激光样本或脉冲，而不是单一样本。每个测试点（或称 S）的平均样本数在 10 到 1000 之间。多样本测试可以更好地预测光学元件的真实性能，并使 LIDT 测试人员能够避免被称为“早天区域”的现象。8 如果在每个测试点使用 1 到 10 个样本，测试结果是非确定性的，并且有很高的统计差异；这使得每个测试点的样本范围被称为早天区域。当 S 大于 10 时，测试结果更具确定性和可预测性。因此，

损伤机制	描述
多光子吸收	能量低于材料带隙能量的两个或多个光子同时被吸收，使吸收不再与强度成线性正比的吸收过程。
多光子电离	吸收两个或两个以上光子，其联合能量导致材料中原子光电离的过程。
隧穿电离	超短激光脉冲产生的强电场使电子通过“隧道”穿过使其与原子结合的潜在屏障，使它们得以逃脱的过程。
雪崩电离	超短激光脉冲产生的强电场使电子加速并与其他原子碰撞的过程。这会使它们电离并释放更多电子，并继续电离其他原子。
载子间散射	被电场加速的电子与其他电子发生碰撞，使它们散射并与更多电子发生碰撞的过程。
载子-声子散射	被电场加速的电子激发声子或材料晶格中的振动的过程。
介质击穿	由于施加的电压超过材料击穿电压而使电流流经绝缘体的过程。
热效应	由激光脉冲能量引起的材料扭曲和振动所导致的热扩散。

表 1：不同损伤机制的说明

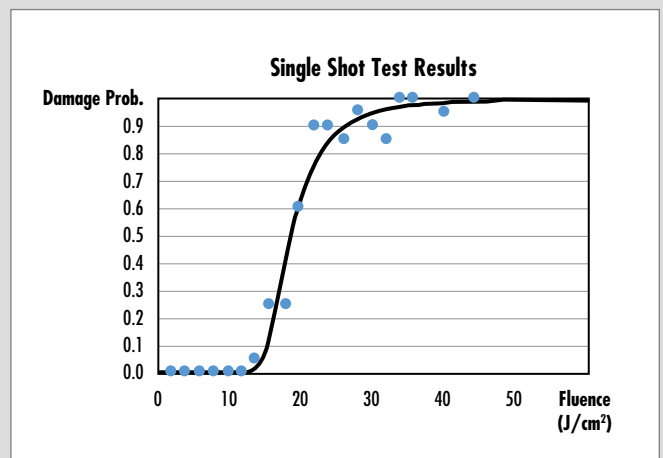


图 1：单一样本测试的采样数据

要查看我们的 [LIDT 完整应用说明](http://www.edmundoptics.cn/asphere-lidt)，请访问 www.edmundoptics.cn/asphere-lidt

在每个测试点使用大约 100 个左右样本，可以收集足够的信息来预测光学的长期性能。不过，在每个测试点使用更多样本会增加 LIDT 测试的时间和费用。

解释 LIDT测试结果

通过对测试数据进行线性外推来确定损伤概率为零的激光能量密度，从而确定光学元件的指定 LIDT。不过，这是线性拟合数据，而不是真正的线性数据。这个值不能提供所有必要的信息，而且损伤仍然可能发生在 LIDT 或 LIDT 以下。威布尔和伯尔分布是连续的概率分布，它们为 LIDT 数据提供了更精确的拟合（图 2）。

在 5 J/cm^2 左右的能量密度下，即使低于指定的 LIDT 值，损伤概率也不为零。损伤概率的垂直误差条由测试点的数量引起，水平误差条则由测试激光器的样本差异引起。因为没有一种激光是完美的，所以总会有一定程度的热点或强度波动。这就有必要增加一个安全系数，选择一个 LIDT 高于激光器使用条件的光学元件。所需的安全系数在很大程度上取决于激光器的应用和类型，因此没有适用于所有情况的通用安全系数。一般的行业惯例是使用三分之二的的安全系数。但是，如果激光诱导损伤是缺陷导致的，则可以通过统计模型来评估不同安全因素下的损伤概率。

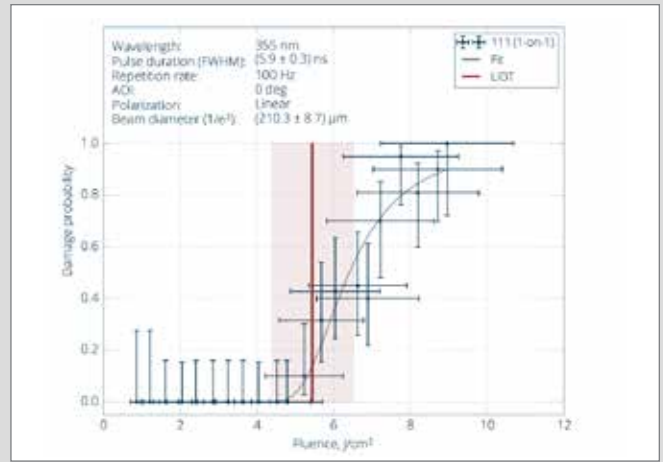


图 2：真实 LIDT 测试数据（使用红色垂直线和最佳拟合的 2 参数威布尔分布表示 LIDT 值）表明在 LIDT 值以下仍然有一定的损伤可能性

标准 AR 激光镀膜		*有关完整的镀膜列表，请查看网站
DWL	反射率规格	LIDT, 脉冲 (J/cm²)
266nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	3, 20ns @ 20Hz
343nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	7.5, 20ns @ 20Hz
355nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	7.5, 20ns @ 20Hz
515nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	10, 20ns @ 20Hz
532nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	10, 20ns @ 20Hz
980nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	15, 20ns @ 20Hz
1030nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	15, 20ns @ 20Hz
1064nm	$R_{\text{obs}} < 0.25\% @ \text{DWL}$	15, 20ns @ 20Hz

表 2：爱特蒙特光学标准介质 HR 激光镀膜的反射率规格和保证激光诱导损伤阈值。对于其他激光波长，可根据需要定制镀膜设计





精密非球面透镜

- 由爱特蒙特光学设计及制造
- 提供最大数值孔径
- 备有宽带AR镀膜供选择

www.edmundoptics.cn/2686



精密UV (紫外) 熔融石英非球面透镜

- 低f/# 提供最佳的聚光能力
- 低热膨胀系数
- 提供 OEM 集成的规格数据信息

www.edmundoptics.cn/2886



精密非球面消色差透镜

- 全玻璃色差校正非球面透镜
- 低f/#设计
- 非常适合用于成像和生物技术应用

www.edmundoptics.cn/3405



高精度压铸的非球面透镜

- 小直径玻璃设计
- 有多个镀膜选项可供选择
- 适用于大批量应用

www.edmundoptics.cn/3610



模压非球面聚光镜

- 高数值孔径
- 提供用于OEM集成的完整文档
- 非常适用于照明应用

www.edmundoptics.cn/3815



塑胶非球面镜片

- 可提供完整的技术数据
- 采用标准25mm直径版本, 以方便系统装配
- 模造设计用于批量集成

www.edmundoptics.cn/3225



硒化锌 (ZNSE) 非球面透镜

- 适用于 CO₂ 激光应用
- 优质等级的硒化锌材料
- 提供无镀膜或宽带 8 - 12um 增透膜

www.edmundoptics.cn/3894



锗IR混合非球面透镜

- 3 - 5um 可校正颜色
- 接近衍射极限的聚焦性能
- 可提供完整的设计数据

www.edmundoptics.cn/3336



平凸 (PCX) 锥透镜

- 可形成近似贝塞尔光束的环形光束
- 备有无镀膜锥透镜及增透膜锥透镜
- 提供各种顶角

www.edmundoptics.cn/3364

如需定制或批量订购请与我们联系!

中国: +86-0755-2967-5435

新加坡: +65-6273-6644

韩国: +82-2-769-4600

台湾: +886-4-22936309

 **Edmund**
optics | worldwide

www.edmundoptics.cn/aspheres