

愛特蒙特光學®

非球面

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



功能 | 新款非球面透鏡 | 技術說明

如需現貨或客製報價，請立即聯絡我們！

SINGAPORE: +65-6273-6644
KOREA: +82-2-769-4600

CHINA: +86-0755-2967-5435
TAIWAN: +886-4-22936309

Edmund
optics | worldwide

www.edmundoptics.com.tw/aspheres

CNC 拋光功能



愛特蒙特光學在非球面透鏡製造領域，是備受肯定的領導廠商，具有豐富經驗生產各種非球面透鏡，用於眼科儀器、手術設備、分析儀器及國防應用。愛特蒙特光學®高產量的非球面透鏡製造部門 24 小時不停運作，每月生產成千上萬個精密的非球面透鏡。本公司製造部門 採用各種先進的生產及度量設備，搭配非球面透鏡設計及製造的專業知識。不論您的應用是需要大量庫存的現貨元件、依圖建置透鏡，或是完全客製化的設計工作，本公司的光學設計與製造工程師專家，都能協助開發解決方案因應您的需求。請立即與我們聯絡，取得專家建議或快速報價。

非球面製造功能			
	Commercial	Precision	High Precision
Diameter:	10 - 150mm	10 - 150mm	10 - 150mm
Diameter Tolerance:	+0/-0.100mm	+0/-0.025mm	+0/-0.010mm
Asphere Figure Error (P - V):	3µm	1µm	<0.06µm
Vertex Radius (Asphere):	±0.5%	±0.1%	±0.05%
Sag:	25mm max	25mm max	25mm max
Typical Slope Tolerance:	1µm/mm	0.35µm/mm	0.15µm/mm
Centering (Beam Deviation):	3 arcmin	1 arcmin	0.5 arcmin
Center Thickness Tolerance:	±0.100mm	±0.050mm	±0.010mm
Surface Quality (Scratch Dig):	80-50	40-20	10-5
Aspheric Surface Metrology:	Profilometry (2D)	Profilometry (2D & 3D)	Interferometry

度量及生產設備

製造設備

- 5 軸 CNC 研磨機
- 5 軸 CNC 拋光機
- 用於精加工的 QED MRF 整理機
- 定心機

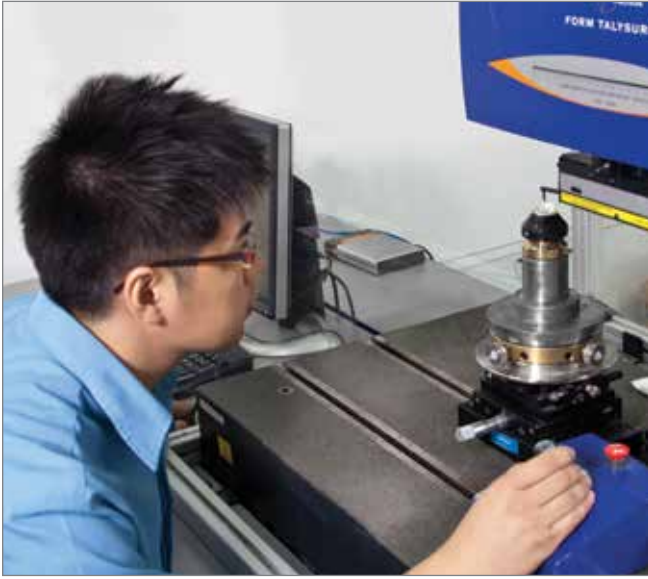
度量設備

- Talysurf PGI 1240 輪廓儀
- QED ASI™ 非球面拼接式干涉儀
- Zygo® NewView 白光干涉儀
- OptiPro UltraSurf 4X 100 非接觸式輪廓儀
- TRIOPTICS Opticentric® 定心機
- Zeiss Contura G2 CMMs
- Olympus MX51 顯微鏡
- 擁有專屬設計的電腦產生全像片 (CGH)

觀看有關非球面透鏡製造的視頻，請訪問 www.edmundoptics.com.tw/making-aspherics



非球面計量



愛特蒙特光學®始終相信，如果你不能測量一個透鏡，你就無法製造它。因此，我們投資了最新的非球面計量設備，包括2D輪廓儀和3D拼接干涉儀。

Taylor Hobson® 的Talysurf輪廓儀利用觸針跟踪非球面輪廓，並測量其與理想非球面公式之間的偏差。通常，我們會以2個軸向（0° 和90°）進行測量，以檢測非球面拋光中是否存在非對稱誤差。計量精度高度取決於透鏡的幾何形狀和觸針的長度，愛特蒙特光學®能夠測量具有1 μm 面型精度要求和Sag最高達25mm的非球面透鏡。

The Optipro Ultrasurf 是一種非接觸式輪廓儀，能夠在單次測量中對面型精度，曲率半徑，中心厚度和楔角進行全面的2D和3D分析。結合多個非接觸式光學傳感器，Ultrasurf能夠測量任何非球面。

QED Technologies® 的非球面拼接干涉儀（ASI™）能夠為您提供待測非球面透鏡的完整孔徑資料，可用於測量非球面偏差超過600 μm 的複雜非球面。愛特蒙特光學®能夠運用ASI™測量面型精度<0.5 μm 的非球面透鏡，以及複雜的不對稱非球面輪廓。



要了解我們的
製造能力，請訪問

www.edmundoptics.com.tw/manufacturing

計量服務和能力

- 首件檢驗 (FAI) 報告
- 完整的測試數據報告包括:
 - 尺寸測量
 - 中心度 / 總圖像徑向跳動
 - 表面輪廓
 - 表面粗糙度
 - 鍍膜耐久性，粘附力和耐磨性，遵循 MIL-PRF-13830B 標準
 - 破壞閾值，遵循 ISO-21254-1:2011標準
 - 獨特的功能需求，包括定制計量解決方案
- 符合配置控制，更改控制和精確複製 (CE) 要求
- 符合FAR，DFAR，品質保證條款 (QAP)和測試要求

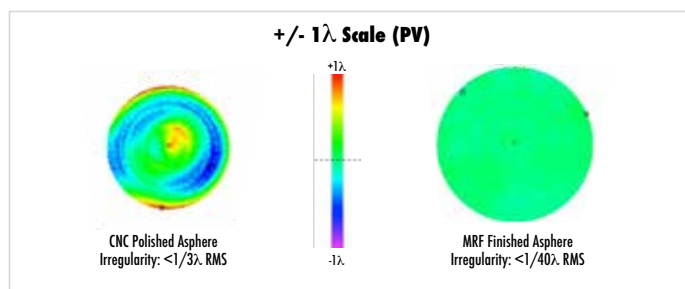
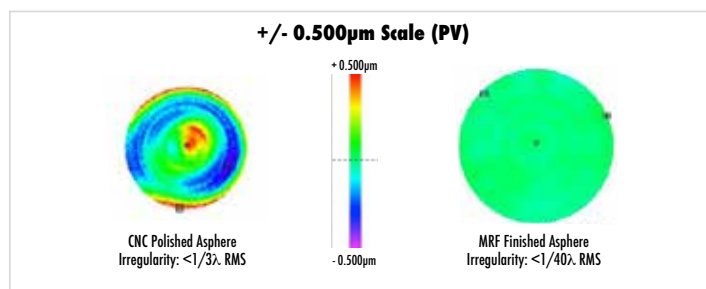
TECHSPEC® $\lambda/40$ 非球面透鏡

NEW



- $\lambda/40$ 非球面表面形狀誤差 (RMS)
- 保證 0.8 以上的 Strehl 比
- 雷射光 V-Coat，反射率低於 0.25%

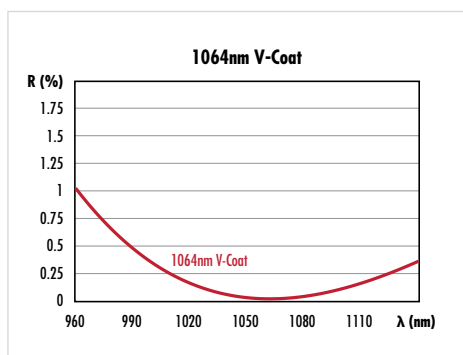
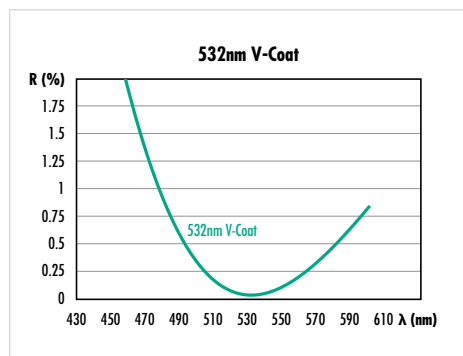
TECHSPEC® $\lambda/40$ 非球面透鏡是以精密的磁流變拋光 (MRF) 技術進行拋光，打造超平順的非球面表面，提供 $\lambda/40$ RMS 的非球面表面容差。本系列非球面透鏡以此拋光製程實現無像差的非球面表面，可在設計波長提供繞射極限效能。TECHSPEC® $\lambda/40$ 非球面透鏡採用高效能的雷射光 V-Coat 鍍膜，可在其 Nd:YAG 設計波長使用時盡可能減少反射。標準大型尺寸搭配熔融石英製造的 f/2 設計，是整合至 OEM 應用的理想選擇。



Material: Fused Silica 7980 OF
Aspheric Surface Tolerance (RMS): $1/40\lambda$
Clear Aperture: Diameter - 2.0mm
Strehl Ratio: >0.8

Surface Quality: 10-5
Center Thickness Tolerance (mm): ± 0.1
Diameter Tolerance (mm): $+0.00/-0.05$

Centering (arcmin): <1
Coating: $R_{avg} < 0.25\%$ @ DWL
Damage Threshold (J/cm²):
532nm: 10 @ 20ns, 20Hz
1064nm: 15 @ 20ns, 20Hz



TECHSPEC® $1/40\lambda$ 532nm ASPHERIC LENSES

Dia. (mm)	EFL (mm)	BFL (mm)	Design Wavelength (nm)	CT (mm)	ET (mm)	Stock No.
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

See Website For Pricing

TECHSPEC® $1/40\lambda$ 1064nm ASPHERIC LENSES

Dia. (mm)	EFL (mm)	BFL (mm)	Design Wavelength (nm)	CT (mm)	ET (mm)	Stock No.
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

See Website For Pricing

非球面透鏡不規則度及 Strehl 比

所有光學系統都具有理論上的效能限制，也就是所謂的繞射極限。Strehl 比是一種規格，用於比較光學系統的真实效能及繞射極限效能。對非球面透鏡及其他對焦光學元件而言，Strehl 比定義為製造光學元件的尖峰焦點輻照度，與繞射極限尖峰輻照度之間的比率（圖 1）。¹ 業界以 0.8 以上的 Strehl 比作為「繞射極限」透鏡的標準閾值。

Strehl 比也可利用下列近似法，與 RMS 穿透波前誤差建立關聯；其中 σ 為波之中的 RMS 波前誤差。² 此項近似法適用於穿透波前誤差值小於 0.1 的波。

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

表面不規則度對 Strehl 比的影響

光學元件 Strehl 比高度取決於其表面不規則度，或是光學表面與其標稱形式的偏差情形；表面不規則度是由使用的製造方法所造成。球面光學元件一般會使用特大型工具拋光，因此在光學表面的空間頻率誤差低。不過非球面透鏡在製造時，多半利用子孔徑研磨及拋光技術，產生更複雜的不規則結構。瞭解指定表面不規則度與其基礎結構之間的關係，有助於深入瞭解透鏡效能及產生的 Strehl 比。

例如考量空間頻率的影響。如果將表面不規則度建模為旋轉對稱的餘弦函數，我們就能探索產生的 Strehl 比，作為各種餘弦週期的 RMS 表面不規則度函數（圖 2 及圖 3）。

這裡的關鍵因素不是以 mm 為單位的餘弦週期，而是在透鏡孔徑的週期數量。就非球面製造使用的特定子孔徑工具而言，直徑較小的非球面透鏡，其 Strehl 比退化情形低於直徑較大的非球面透鏡。

表面不規則度對 Strehl 比的影響，也取決於透鏡的 f/#。其中的一般原則是，速度較快的非球面透鏡，或是 f/# 較小的非球面透鏡，對表面不規則度在 Strehl 比造成的影響更為敏感。例如圖 4 比較 f/2 透鏡與 f/0.75 透鏡（兩者均為 25mm 直徑）。

功率光譜密度及不規則度坡度

依據前述範例，不規則度圖空間頻率內容顯然對透鏡 Strehl 比產生影響。除了 PV 或 RMS 不規則度，可針對這類空間頻率要求額外規格。

用於直接評估空間頻率的一項規格稱為功率光譜密度 (PSD)。⁴ PSD 會評估表面不規則度，將其視為空間頻率函數，並可有針對性地使用，以限制一系列空間頻率的影響。PSD 也可用於同時限制所有空間頻率。

另外一種有效減少不規則度較高空間頻率的簡單方法，就是除了 PV 值以外，要限制表面不規則度圖餘弦函式的坡度。在特定 PV 不規則度限制的情況下，坡度較高與表面空間頻率較高有關（圖 5）。坡度通常是以最大 RMS 坡度值提供，能夠比簡單的最大坡度要求更完整地評估透鏡表面。⁵

表面不規則度的空間頻率，對 Strehl 比及非球面透鏡效能具有重大影響。週期越小，在特定表面不規則度情況下的 Strehl 比退化情形就越大。為了瞭解透鏡表面不規則度對其效能的真正影響，除了透鏡本身的不規則度規格以外，也需要瞭解透鏡表面不規則度圖形狀。³ 較小的 f/# 也會造成更大退化。

參考資料

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.

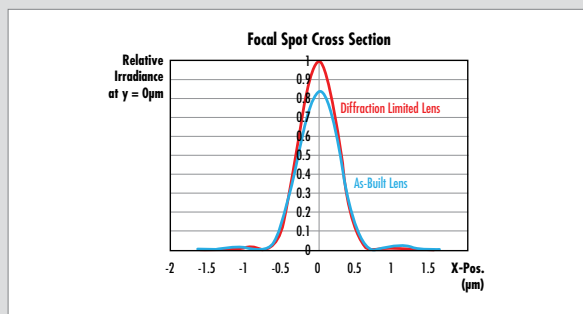


圖 1：25mm 直徑 f/2 非球面透鏡在 588nm 情況下的焦點輻照度截面圖。實際透鏡的 Strehl 比為 0.826，符合繞射極限標準

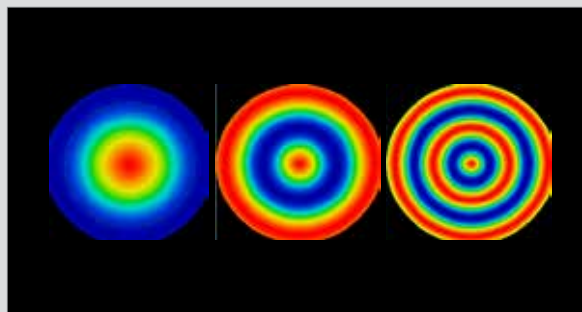


圖 2：25mm 直徑 f/2 非球面透鏡表面上的徑向餘弦不規則度圖。由左至右的餘弦週期為 20mm、10mm 及 5mm

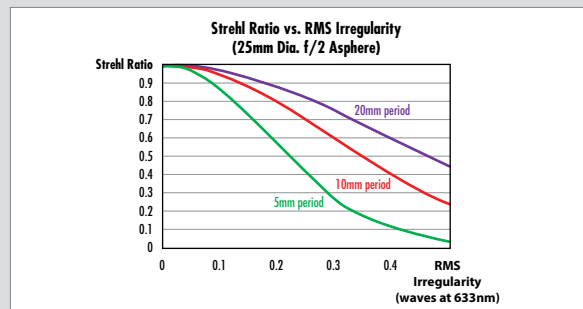


圖 3：就特定 RMS 表面不規則度而言，非球面透鏡孔徑的餘弦週期越多，Strehl 比就越低

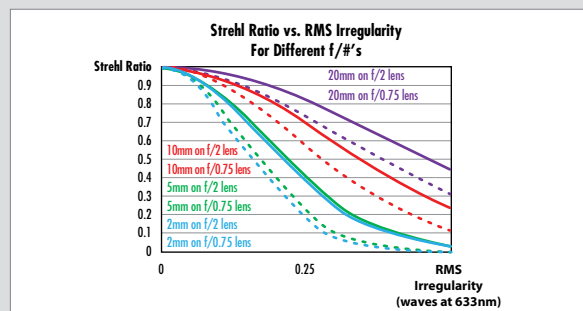


圖 4：比較虛線與實線後，顯示速度較快的非球面透鏡（f/# 較小），在特定餘弦週期的退化程度高於速度較慢的非球面透鏡（f/# 較大）

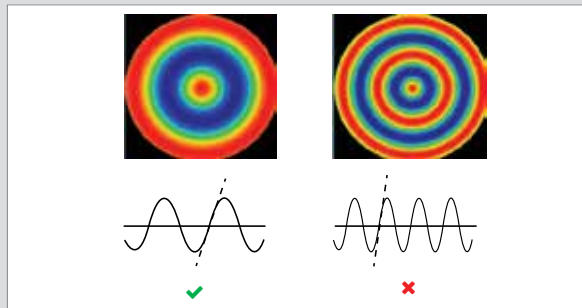


圖 5：如果針對表面不規則度圖指定最大坡度規格，就會建立閾值，減少較高空間頻率內容對表面的影響



光學鍍膜及 雷射誘發損傷閾值

所有 TECHSPEC® 雷射級非球面透鏡均採用高效率抗反射鍍膜，以保證入射雷射照明達到最高穿透效果。鍍膜不僅達到超低損耗（反射率低於 0.25%），也能承受現代雷射系統常見的高雷射通量。請參閱以下簡介瞭解雷射誘發損傷閾值 (LIDT)。

光學元件的雷射誘發損傷會降低系統效能，甚至導致嚴重故障。對 LIDT 的瞭解不正確可能大幅提升成本，或導致元件故障。特別是在處理高功率雷射時，LIDT 是所有類型雷射光學產品的重要規格，包括反射、穿透及吸收元件。由於業界在 LIDT 測試方式、偵測損傷方式，以及測試資料解讀方式等方面並無共識，令 LIDT 成為複雜的規格。LIDT 值本身並未傳達測試使用的光束直徑、每個測試站台進行的測試次數，或是測試資料的分析方式。

測試雷射損傷閾值

雷射損傷測試在本質上具有破壞性。接受測試的光學元件暴露在一定程度的雷射通量下，然後進行檢驗，一般是採用諾馬斯基 (Nomarski) 型的微分干涉差 (DIC) 顯微鏡。通量會逐漸增加，然後重複暴露及檢驗步驟。此項程序會繼續進行，直到光學元件出現損傷為止。雖然這在概念上屬於簡單程序，但其中具有多種程度的複雜度。

根據 ISO 21254，測試時在光學元件偵測的任何變化都視為「損傷」。其中可能產生不同的 LIDT 值，視損傷的評估方式而定，因為並非所有測試都使用相同的損傷偵測方案，而不同操作員可能選擇不同的訊噪比閾值。請務必瞭解 ISO 定義的「損傷」並不一定代表效能退化，因為需視應用而定。

LIDT 測試是由單次或多次發射測試指定。單次發射測試也稱為一對一測試，其中會針對遍佈光學元件的最少 10 個樣本位置，以不同雷射通量發射一次雷射輻射。在特定通量情況下，損傷位置與總測試位置的比例，就代表該通量的損傷機率。損傷機率繪製為通量函式，資料則以線性方式推斷，尋找損傷機率為 0% 的地方，進而得出 LIDT 值（圖 1）。

多次發射測試或稱 S 對 1 測試，與單次發射測試的不同之處，在於每個測試位置使用一系列的雷射發射或脈衝，而不是單次發射。每個位置的發射次數（或稱 S）一般介於 10 至 1000 之間。多次發射測試能夠更妥善預測光學元件的真實效能，並協助 LIDT 測試人員避免發生所謂的早夭區 (infant mortality realm) 現象。8 每個位置使用 1 至 10 次發射時，

Damage Mechanism	Description
Multiphoton Absorption	Absorption process where two or more photons with energies lower than the material's bandgap energy are absorbed simultaneously, making absorption no longer linearly proportional to intensity.
Multiphoton Ionization	Absorption of two or more photons whose combined energy leads to the photoionization of atoms in the material.
Tunnel Ionization	The strong electric field generated by ultra-short laser pulses allows electrons to "tunnel" through the potential barrier keeping the electrons bound to atoms, allowing them to escape.
Avalanche Ionization	The strong electric field generated by ultra-short laser pulses causes electrons to accelerate and collide with other atoms. This ionizes them and releases more electrons that continue to ionize other atoms.
Carrier-Carrier Scattering	Electrons accelerated by the electric field collide with other electrons, scattering them and causing them to collide with more electrons.
Carrier-Phonon Scattering	Electrons accelerated by the electric field excite phonons, or vibrations in the lattice of the material.
Dielectric Breakdown	A current flowing through an electrical insulator due to the applied voltage exceeding the material's breakdown voltage.
Thermal Effects	Heat diffusion resulting from distortions and vibrations in the material caused by the energy of the laser pulses.

表 1：說明不同損傷機制

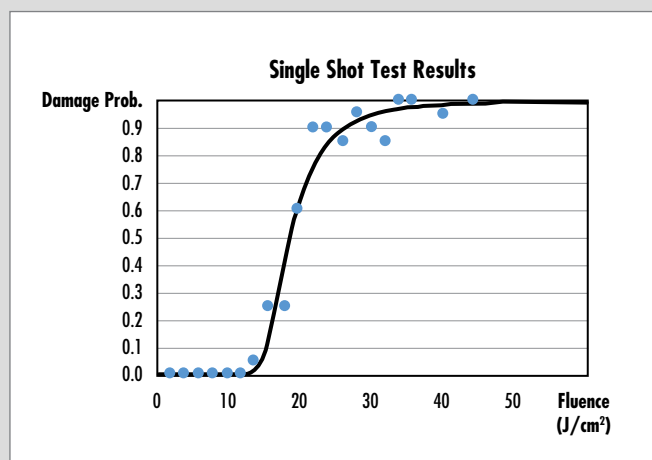


圖 1：單次發射測試的樣本資料

請至 www.edmundoptics.com.tw/asphere-lidt 參閱完整的 LIDT 應用說明

測試結果具不確定性，且統計變異度高，導致這類每個位置的發射範圍成為所謂的早夭區現象。S 大於 10 時，測試結果確定性更高，也更能夠預測。因此如果每個位置使用約 100 次發射，就可收集足夠資訊預測光學元件的長期效能。不過每個位置使用更多發射次數，LIDT 測試就需要更長時間及更高成本。

解讀 LIDT測試結果

指定的光學元件LIDT，是以線性推斷測試資料的方式判定，以決定損傷機率為零的雷射通量。不過這樣的資料線性處理並不是真正線性。這項數值無法提供所有必要資訊，損傷仍可能在 LIDT 或以下情況發生。- Weibull 及 Burr 分佈為連續機率分佈，能夠更精準套用至 LIDT 資料（圖 2）。

在大約 5 J/cm² 的通量情況下，出現非零的損傷機率，但此數值低於指定的 LIDT 值。損傷機率的垂直誤差線，是由測試位置數量所造成，而通量的水平誤差線，則是由測試雷射發射之間的變異造成。沒有雷射是完美的，一定會有一些熱點或強度變化。因此必須在其中增添安全係數，選擇 LIDT 高於雷射使用條件的光學元件。所需的安全係數絕大部分取決於應用及雷射類型，因此沒有適合所有情況的通用安全係數。業界實務普遍使用2或3作為安全係數。不過若雷射誘發損傷是由瑕疵引起，可利用統計模型評估不同安全係數的損傷機率。

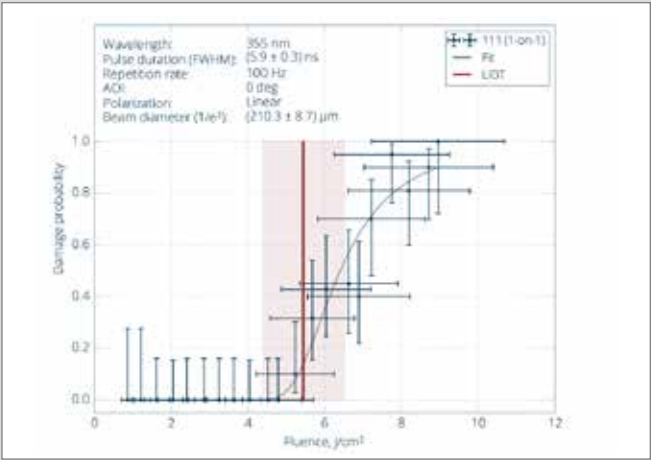


圖 2：真實的 LIDT 測試資料，其中以紅色垂直線顯示 LIDT 值，而最佳配適的雙參數 Weibull 分佈，則顯示 LIDT 值以下仍存在一些損傷機率

STANDARD AR LASER COATINGS		*See website for full coating list
DWL	Reflectivity Specifications	LIDT, Pulsed (J/cm²)
266nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	3, 20ns @ 20Hz
343nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	7.5, 20ns @ 20Hz
355nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	7.5, 20ns @ 20Hz
515nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	10, 20ns @ 20Hz
532nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	10, 20ns @ 20Hz
980nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	15, 20ns @ 20Hz
1030nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	15, 20ns @ 20Hz
1064nm	R _{ds} <0.25% @ DWL	15, 20ns @ 20Hz

表 2：愛特蒙特光學標準電介質 HR 雷射鍍膜的反射率規格及保證雷射誘發損傷閾值。如需其他雷射波長，可依要求供應客製鍍膜設計





精密非球面透鏡

- 由愛特蒙特光學設計製造
- 提供最高數值孔徑
- 提供廣波段AR鍍膜

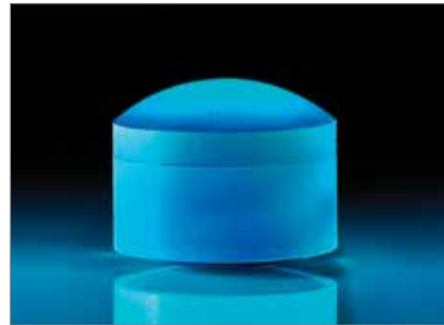
www.edmundoptics.com.tw/2686



**精密紫外線熔融石英(FUSED SILICA)
非球面透鏡**

- $f/\#$ 低，可實現最佳的收光
- 熱膨脹係數低
- 提供產品說明資訊協助 OEM 整合

www.edmundoptics.com.tw/2886



精密非球面消色差透鏡

- 全部採用玻璃材質的色差補正非球面
- 採用低 $f/\#$ 設計
- 非常適用於成像及生物技術應用

www.edmundoptics.com.tw/3405



精密模造非球面透鏡

- 小直徑玻璃設計
- 提供多種鍍膜選項
- 適合量產應用

www.edmundoptics.com.tw/3610



模造非球面聚光透鏡

- 高數值孔徑
- 提供完整文件，方便進行 OEM 整合
- 適合照明應用

www.edmundoptics.com.tw/3815



塑膠非球面透鏡

- 提供完整產品說明資料
- 採用標準的25mm直徑，可輕鬆實現系統整合
- 採用模壓設計，適合量產整合

www.edmundoptics.com.tw/3225



硒化鋅(ZNSE)非球面透鏡

- 適合搭配使用 CO₂ 雷射應用
- 高級硒化鋅材料
- 提供無鍍膜及寬頻 8 - 12um 抗反射鍍膜

www.edmundoptics.com.tw/3894



鍍紅外線混合非球面透鏡

- 對3 - 5um的光進行光學補正
- 接近繞射極限對焦效能
- 提供完整產品說明資料

www.edmundoptics.com.tw/3336



平凸 (PCX) 軸稜鏡

- 可產生近似圓形的貝索光束
- 提供未鍍或鍍抗反射膜選項
- 提供多種頂角

www.edmundoptics.com.tw/3364

如需現貨或客製報價，請立即聯絡我們！

SINGAPORE: +65-6273-6644

CHINA: +86-0755-2967-5435

KOREA: +82-2-769-4600

TAIWAN: +886-4-22936309

Edmund
optics | worldwide

www.edmundoptics.com.tw/aspheres