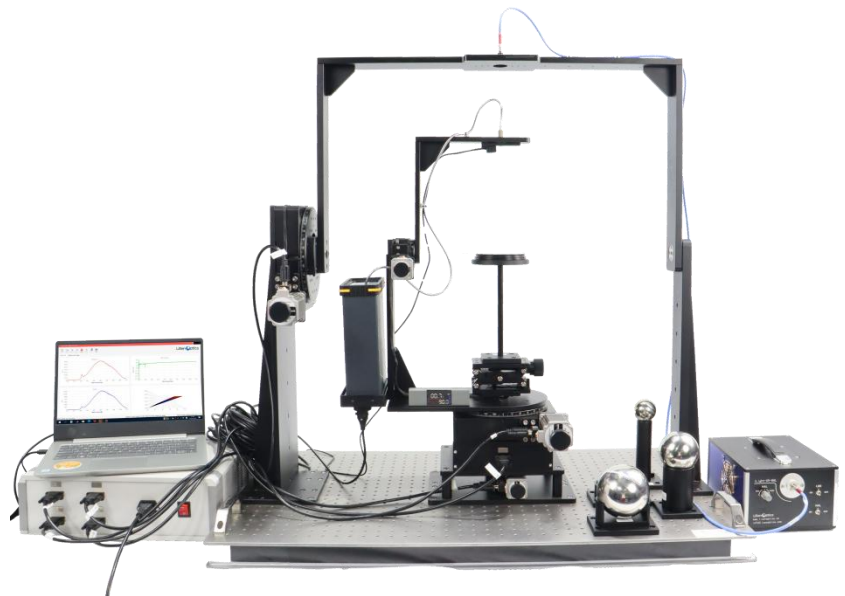


可见红外双向反射/透射分布函数光谱测量仪 (BRDF/BTDF)

BRDF/BTDF 是莱森光学一款专门测量光学材料表面的双向反射/透射分布函数和光学材料各向同性材料研究, 该系统广泛应用于航天遥感地质测量、精密制导、目标仿真, 光学设计, VR/VR/MR 等领域, 同时可实现对玻璃、金属、塑料、纸张、纺织品、油漆、涂层、光学膜材料等诸



多材料的表面光学特性的定量分析, 是研究物质、材料的基础物理特性非常重要的光学测试工具。

BRDF/BTDF 双向反射/透射分布函数光谱测量仪的测量平台如右图所示。整个系统设备包括照明系统、光谱探测系统、测量机械系统和光谱数据软件处理系统。在测量过程中, 通过接口软件将辐射测量软件和测量机械系统的控制软件整合在一起, 通过计算机自动控制实验的整个测量过程, 使得实验操作起来简便、快速、省时。全自动 BRDF 光谱数据采集软件, 实时进行数据采集并输出结果。

莱森光学 BRDF 光谱系统采用高精度旋转位移台与悬臂梁结合的方式, 完成 BRDF 测量。其中光源安装在外悬臂上, 转动半径 0.5m, 可以实现 1 个自由度旋转, 即以悬臂轴为圆点实现天顶角方向旋转(照明天顶角 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$); 探测器安装在内悬臂上, 可以实现 2 个自由度旋转, 分别为以悬臂轴为圆点实现天顶角方向旋转(探测天顶角 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$), 以中心转台为轴, 实现方位角方向移动(探测方位角 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$); 样品安装在底座中心旋转台上, 可以实现 1 个自由度旋转(照明方位角 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$)。以此通过对照明端、探测端的方位角与天顶角共四个自由度的控制, 实现 BRDF 所有条件的测量。(特别说明: 因运动过程中, 受机械结构限制, 悬臂间会存在遮挡, 部分角度下获得数据为无效数据)

测量原理

根据双向反射/透射分布函数的定义，BRDF 测量方法是分别测出入射光谱辐照度和反射/透射光谱辐亮度，两者之比即为 BRDF/BTDF。

■ 双向反射分布函数定义

双向反射分布函数(Bidirectional Reflectance Distribution Function)表示了不同入射角条件下物体表面在任意观测角的反射特性，如图 1 所示。双向反射分布函数是光辐射的反射辐亮度和入射辐照度的比值。其数学表达式为

$$f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda) = \frac{dL_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda)}{dE_i(\theta_i, \varphi_i, \lambda)} \quad (1)$$

式中： θ_i, φ_i 为入射光的入射角和方位角， θ_r, φ_r 为反射光的反射角和方位角， L_r 是面元 dA 经照射后在 (θ_r, φ_r) 方向上的辐亮度，单位为 $\text{W/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ ， E_i 是 (θ_i, φ_i) 方向上入射光产生的表面辐照度，单位为 $\text{W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$ 。则 f_r 的单位为 sr^{-1} 。 f_r 的物理意义是沿着方向 (θ_r, φ_r) 出射的辐亮度与方向 (θ_i, φ_i) 入射在被测表面产生的辐照度之比。双向反射分布函数是入射角 (θ_i, φ_i) 、反射角 (θ_r, φ_r) 、波长 λ 的函数。

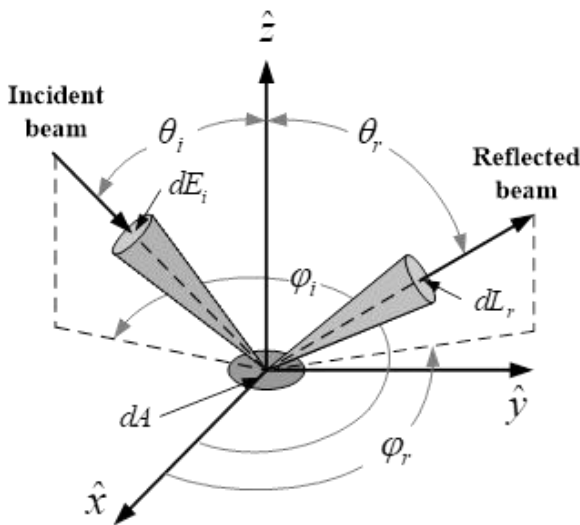


图 1 光反射几何图

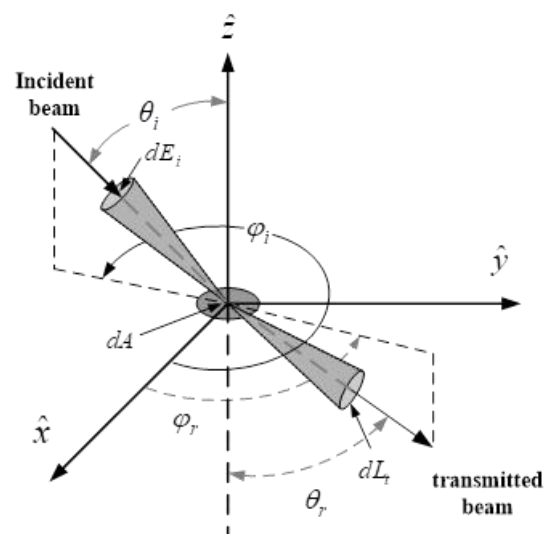


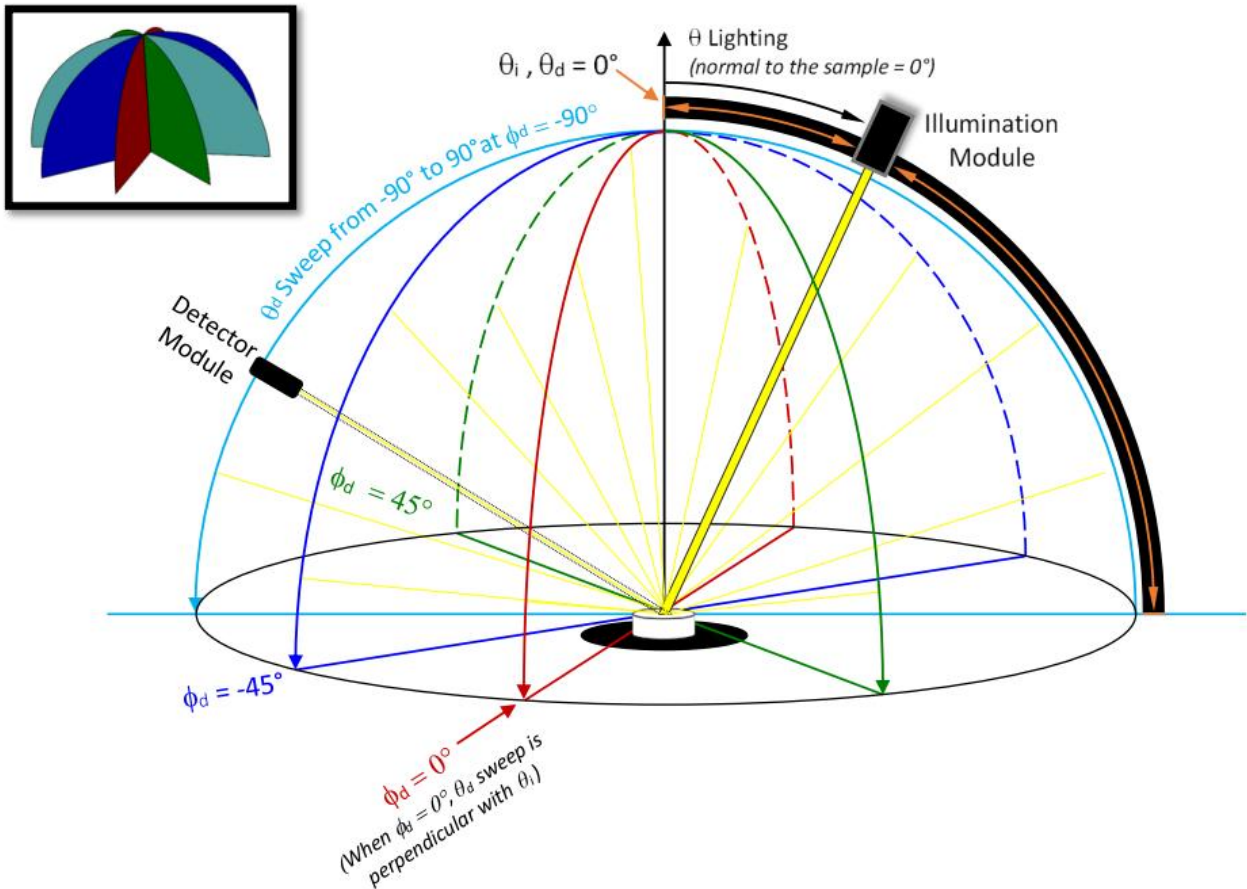
图 2 光透射几何图

■ 双向透射分布函数定义

双向透射分布函数(Bidirectional Transmittance Distribution Function)表示了不同入射角条件下物体表面在任意观测角的透射特性,如图2所示。双向透射分布函数是光辐射的透射辐亮度和入射辐照度的比值。其数学表达式为

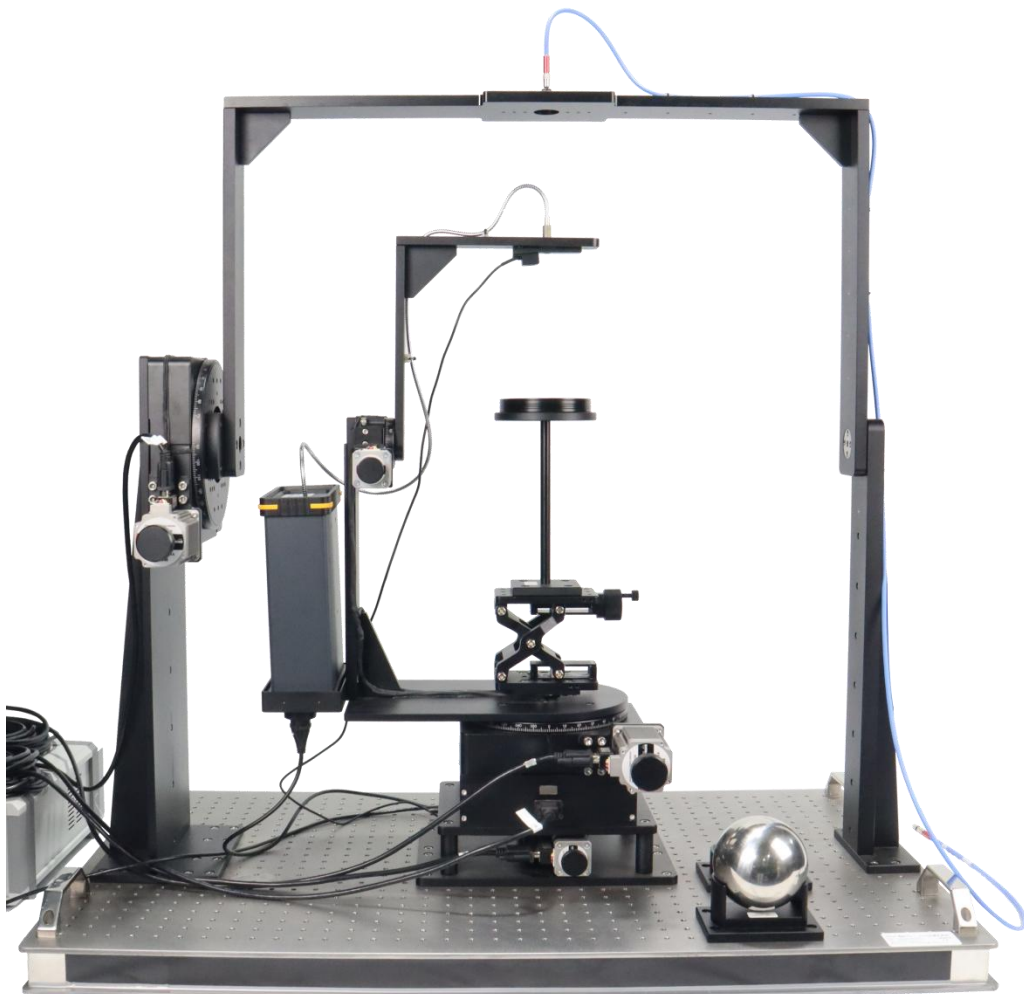
$$f_t(\theta_i, \varphi_i; \theta_t, \varphi_t, \lambda) = \frac{dL_t(\theta_i, \varphi_i; \theta_t, \varphi_t, \lambda)}{dE_i(\theta_i, \varphi_i, \lambda)} \quad (2)$$

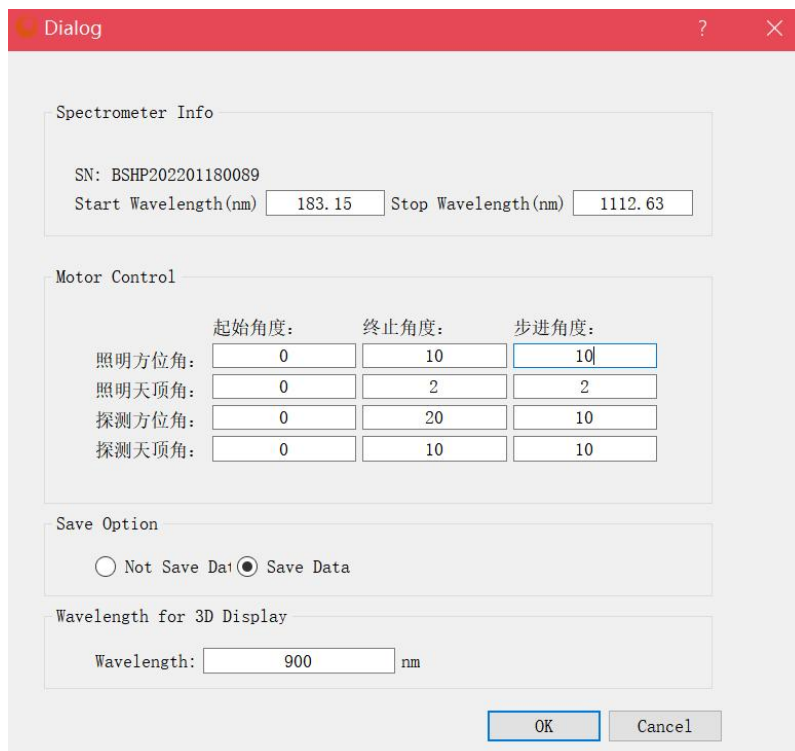
式中: θ_i, φ_i 为入射光的入射角和方位角, θ_t, φ_t 为反射光的反射角和方位角, L_t 是面元 dA 经照射后在 (θ_t, φ_t) 方向上的辐亮度, 单位为 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$, E_i 是 (θ_i, φ_i) 方向上入射光产生的表面辐照度, 单位为 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$ 。则 f_t 的单位为 sr^{-1} 。 f_t 的物理意义是沿着方向 (θ_t, φ_t) 出射的辐亮度与方向 (θ_i, φ_i) 入射在被测表面产生的辐照度之比。双向透射分布函数是入射角 (θ_i, φ_i) 、反射角 (θ_t, φ_t) 、波长 λ 的函数。

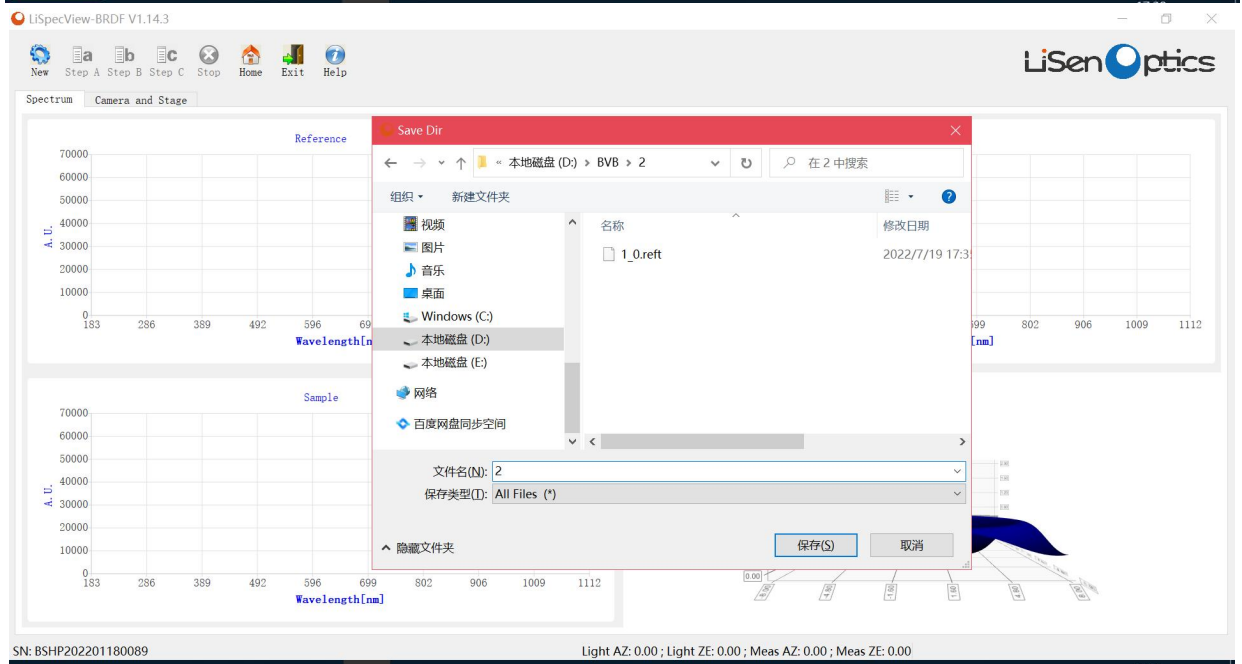
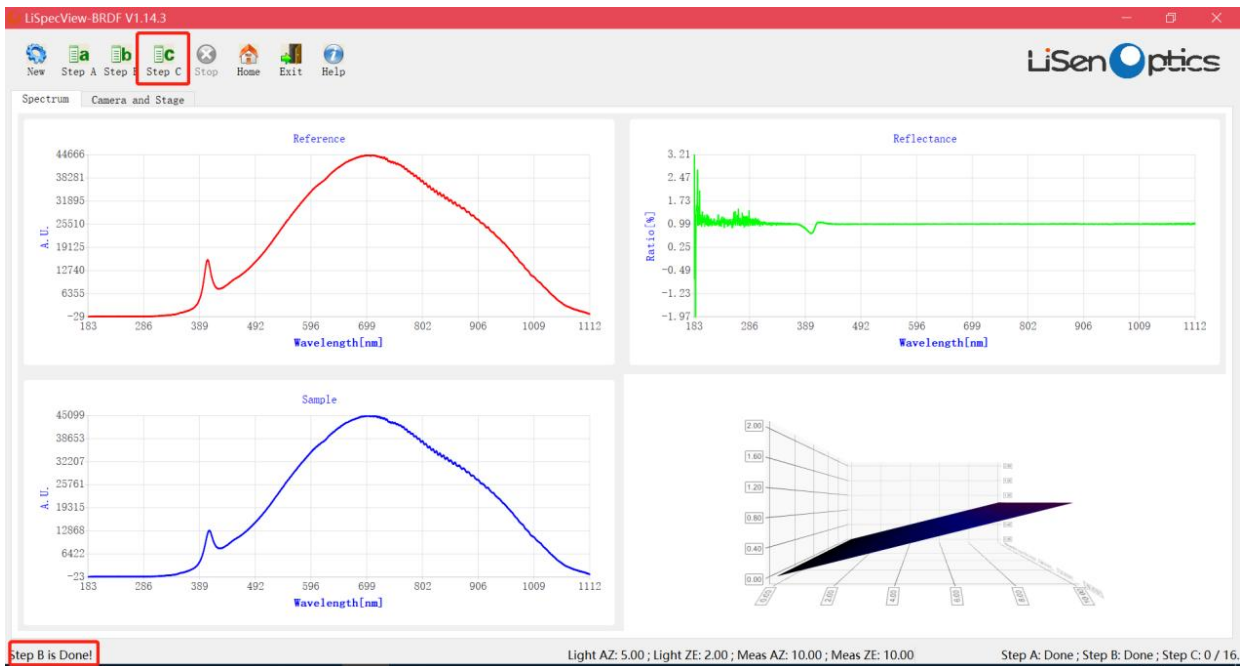


主要技术特点

- 整套系统采用四轴共心设计，结构简约、稳定，旋转位移台角分辨率高 0.050，定位精度高 0.10
- 整套系统采用低反射率哑光发黑处理，减少杂散反射光影响
- 光谱仪可配置不同档次光谱仪（制冷或非制冷可选），光谱范围
380-1100nm/380-1700nm/380-2500nm
- 光源可选择 150W 大功率卤灯光源或超连续激光白光光源
- BRDF 四自由度全范围角度软件自动设置控制
- BRDF 全自动光谱测量软件软件可根据客户需求自定义测量方案







常用技术参数

型号	LS-BRDF/BTDF	
测量光谱参数	光谱范围	可见光近红外: 350~1100nm/350~1700nm/350~2500nm
	光谱分辨率	可见光通道分辨率为 1nm, 近红外通道的分辨率为 10nm

照明光源调整	照明范围	自动调整： 天顶角： $\varphi=[0^{\circ};90^{\circ}]$ ； 方位角： $\varphi=[0^{\circ};360^{\circ}]$
	角解析度	± 0.050
	定位精度	± 0.10
照明光源调整	光源光谱范围	350~2500nm
	光谱解析度	宽光谱输出, 可配置滤光片调节输出
	照明光源	150W 卤素灯(Halogen)/激光等离子体白光光源
	物体上被照明区域的大小	5mm-20 mm 直径
反射观测调整	观测范围	自动调整： 天顶角： $\varphi=[0^{\circ};90^{\circ}]$ (90°附近有10°左右观测死角) 方位角： $\varphi=[0^{\circ};360^{\circ}]$
	角解析度	± 0.050
	定位精度	$\pm 0.1^{\circ}$
透射观测调整	观测范围	自动调整： 天顶角： $\theta=[0^{\circ};30^{\circ}]$ ； 方位角： $\varphi=[0^{\circ};360^{\circ}]$
(选配定制)	角解析度	0.1°
	定位精度	$\pm 0.1^{\circ}$
光谱仪	光谱仪	350~1100nm /350~1700nm /350~2500nm
	探测器	2048 像素 BT-CCD/256 像素 InGaAs

	探测器制冷	非制冷/半导体热电致冷（可选）
	积分曝光时间	1ms-60s
	光谱波长解析度	1nm@350~1100nm; 1.5nm@1000~1700nm; 3nm@1000~2500nm
杂散光		≤0.1%