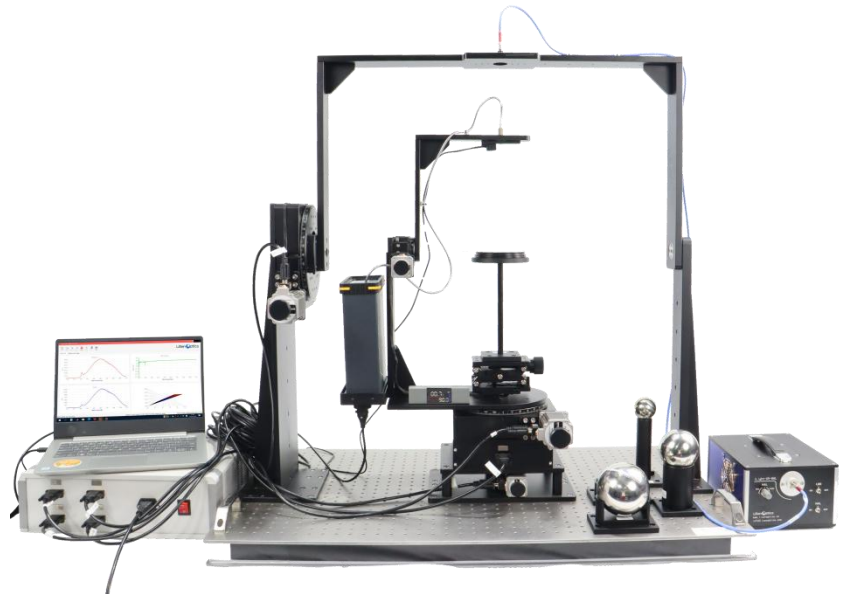


## BSDF 双向反射/透射分布函数光谱测量系统

iSpecBSDF 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，AR/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



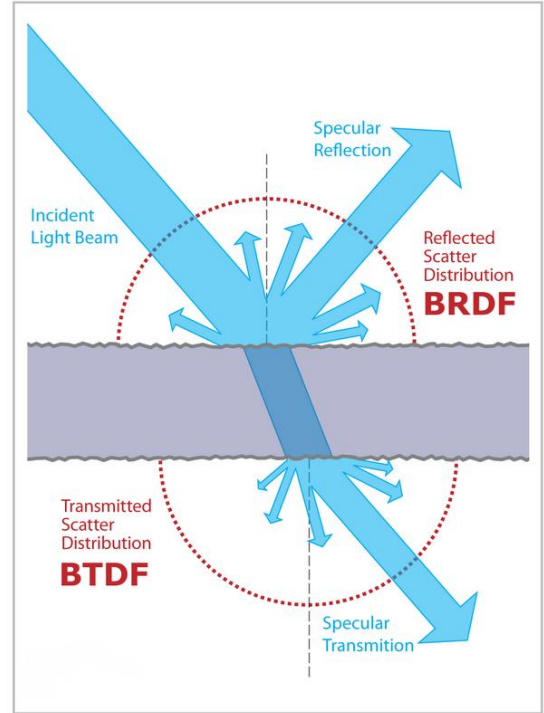
多材料的表面光学特性的定量分析，是研究物质、材料的基础物理特性非常重要的光学测试工具。

iSpecBSDF 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，通过接口软件将光谱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 BSDF 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 iSpecBSDF 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 BSDF 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入射角方向旋转(照明入射角  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ )；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入射角方向旋转(探测入射角  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ )，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、探测端的方位角与入射角共四个自由度的控制，实现 BSDF 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

双向散射分布函数 (Bidirectional scattering distribution function、BSDF) 通常是在计算光在物体表面的散射，但是不能完全靠双向散射分布函数，而必须加以使用双向反射分布函数和双向透射分布函数。由于物体表面上有凹凸不平的微小表面，一道入射光线射到表面而产生散射现象，用 BSDF 来表示这种散射现象。其中双向 (Bidirectional) 系指入射光与接受散射光的方向，因不同的入射光角度所产生的散射性质亦不相同。



### ■ 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： $\theta_i, \varphi_i$  为入射光的入射角和方位角， $\theta_r, \varphi_r$  为反射光的反射角和方位角， $L_r$  是面元  $dA$  经照射后在  $(\theta_r, \varphi_r)$  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  $(\theta_i, \varphi_i)$  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  $f_r$  的单位为  $\text{sr}^{-1}$ 。 $f_r$  的物理意义是沿着方向  $(\theta_r, \varphi_r)$  出射的辐亮度与方向  $(\theta_i, \varphi_i)$  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  $(\theta_i, \varphi_i)$ 、反射角  $(\theta_r, \varphi_r)$ 、波长  $\lambda$  的函数。

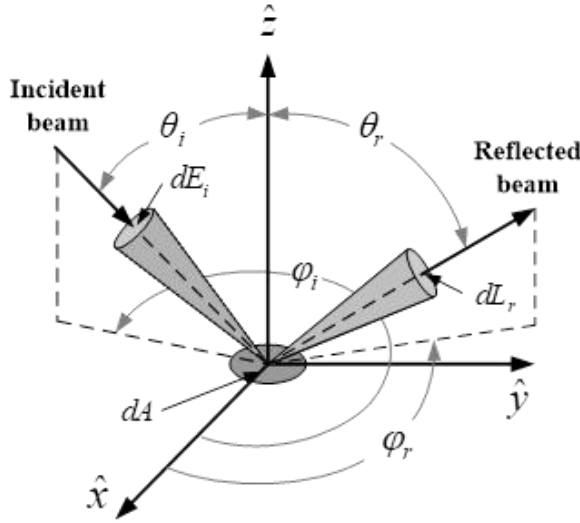


图 1 光反射几何图

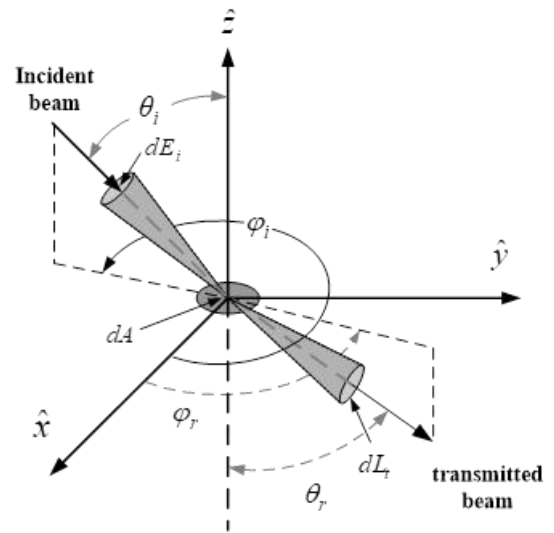
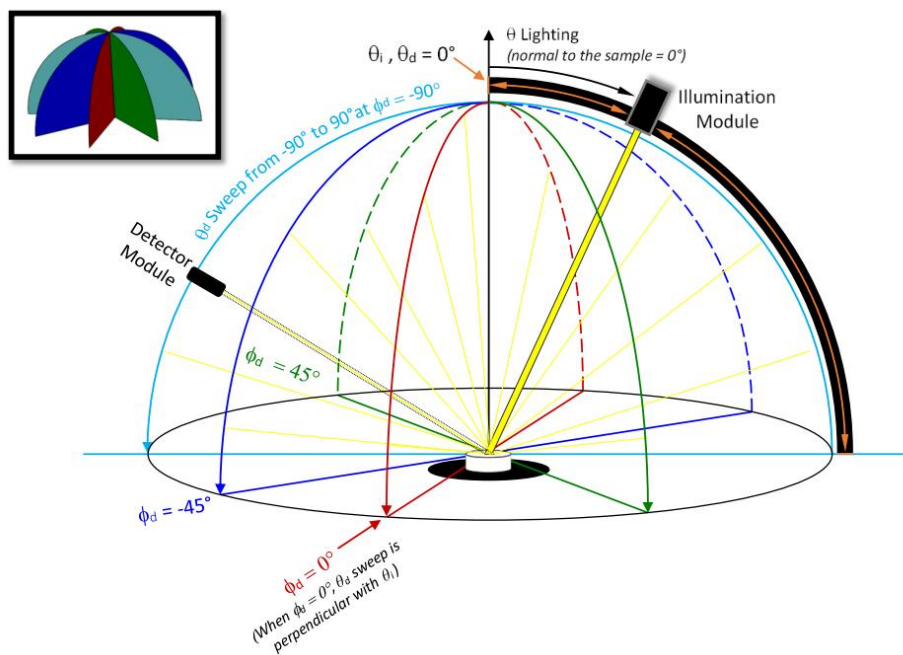


图 2 光透射几何图

### ■ 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

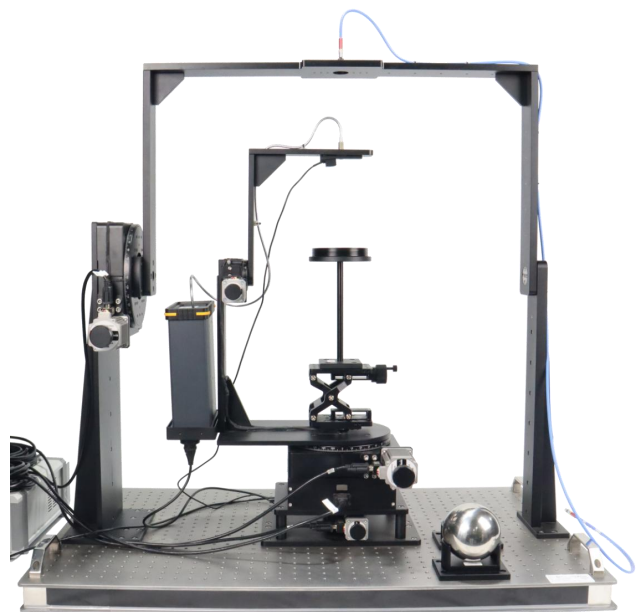
$$f_t(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda) = \frac{dL_t(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda)}{dE_i(\theta_i, \varphi_i, \lambda)} \quad (2)$$



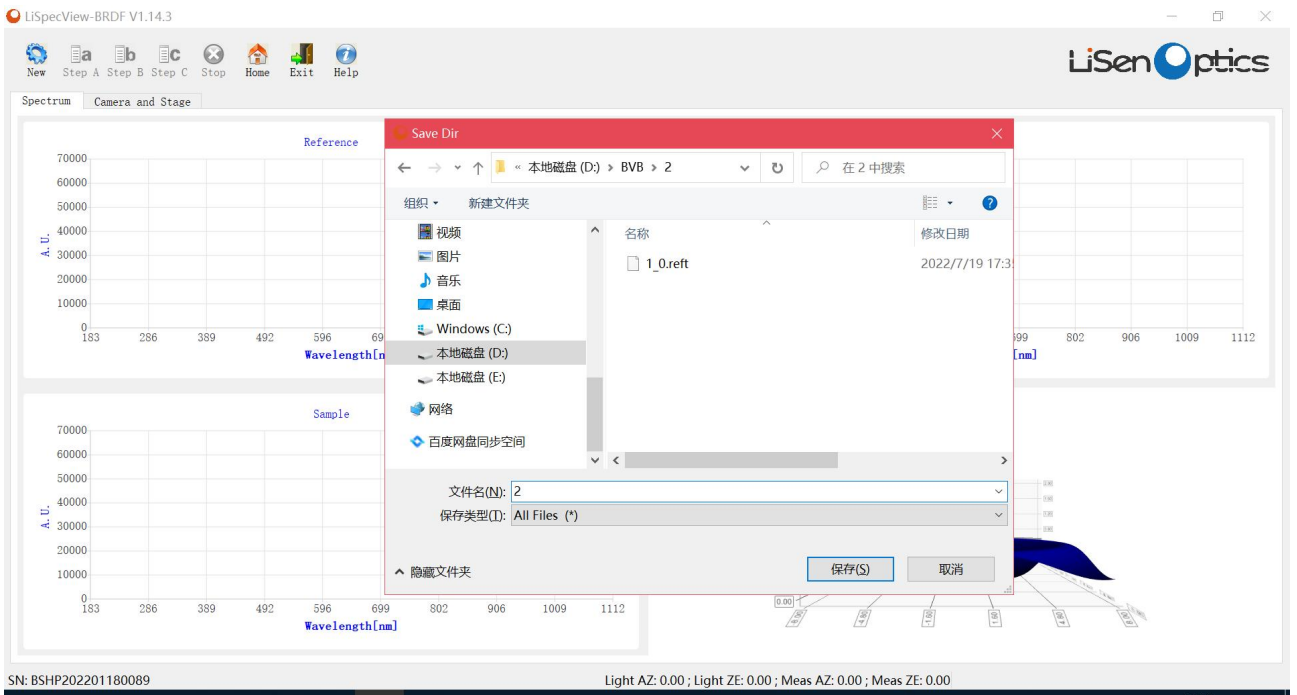
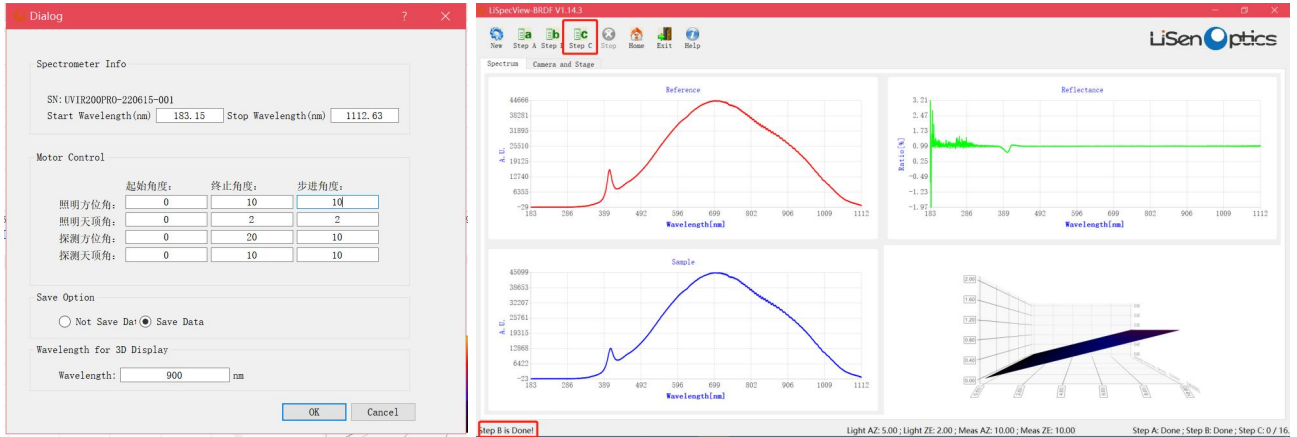
式中： $\theta_i, \varphi_i$  为入射光的入射角和方位角， $\theta_r, \varphi_r$  为反射光的反射角和方位角， $L_i$  是面元  $dA$  经照射后在  $(\theta_i, \varphi_i)$  方向上的辐亮度，单位为  $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ， $E_i$  是  $(\theta_i, \varphi_i)$  方向上入射光产生的表面辐照度，单位为  $W/m^2 \cdot \mu m$ 。则  $f_i$  的单位为  $sr^{-1}$ 。 $f_i$  的物理意义是沿着方向  $(\theta_i, \varphi_i)$  出射的辐亮度与方向  $(\theta_i, \varphi_i)$  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  $(\theta_i, \varphi_i)$ 、反射角  $(\theta_r, \varphi_r)$ 、波长  $\lambda$  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，旋转转移台角分辨率高  $0.01^\circ$ ，定位精度最高可至  $0.02^\circ$
- 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  $380-1100nm/380-1700nm/380-2500nm$  可选
- 光源可选择 150W 大功率卤灯光源或超连续激光白光光源
- 激光指示标记样品待测面，确定同轴平面
- BSDF 四自由度全范围角度软件自动设置控制
- BSDF 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



**XYZαβ 五维精密手动位移台样品夹具**



## 技术参数

| 型号     | iSpecBSDF-HS400/iSpecBSDF-UVIR-1.7TEC/iSpecBSDF-UVIR-2.5TEC |   |
|--------|---|---|
| 测量光谱参数 | 光谱范围  | iSpecBSDF-HS400: 380~1100nm<br>iSpecBSDF-UVIR-1.7TEC: 380~1700nm<br>iSpecBSDF-UVIR-2.5TEC: 380~2500nm |
|        | 光谱分辨率   | 可见光通道分辨率为 1nm<br>近红外通道的分辨率为 10nm  |

|             |        |  |
|-------------|--------|--|
| 照明光源        | 照明范围   | 自动调整: 入射角: $\theta=[0^\circ,180^\circ]$ , 方位角: $\varphi=[0^\circ,360^\circ]$   |
|             | 角解析度   | $\leq 0.01^\circ$  |
|             | 定位精度   | $\leq 0.02^\circ$ (2D) , $\leq 0.1^\circ$ (3D)   |
|             | 光源光谱范围 | 350~2500nm/200-2500nm  |
|             | 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   |
|             | 光斑尺寸   | 1-20mm (可根据需求定制)   |
| BRDF 反射观测调整 | 观测范围   | 自动调整: 入射角 $\theta=[-90^\circ,90^\circ]$ , 方位角 $\varphi=[0^\circ,180^\circ]$ ;<br>入射角 $\theta=[0^\circ,90^\circ]$ , 方位角 $\varphi=[0^\circ,360^\circ]$ |
|             | 角解析度   | $\pm 0.01^\circ$   |
|             | 定位精度   | $\leq 0.02^\circ$ (2D) , $\leq 0.1^\circ$ (3D)   |
|             | 遮挡角度   | $\pm 5^\circ$ (照明入射角与观测入射角相同时)   |
| BTDF 透射观测调整 | 观测范围   | 自动调整: 入射角: $\theta=[30^\circ,90^\circ]$ , 方位角: $\varphi=[0^\circ,360^\circ]$   |

|          |  |  |
|----------|--|--|
| (选配定制)   | 角解析度   | $\pm 0.01^\circ$                                       |
|          | 定位精度   | $\leq 0.02^\circ$ (2D) , $\leq 0.1^\circ$ (3D)         |
| 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<br>1.5nm@1000~1700nm<br>3nm@1000~2500nm |
| 噪声系数     | $\leq 1 \times 10^{-6} \text{Sr}^{-1}$   |  |
| 动态范围     | $\geq 10^9$  |  |
| 总反射率测试精度 | 准确性精度: $\leq 2\%$ ; 测试重复性: $\leq 1\%$  |  |
| 五维样品支架平台 | 样品 XYZ $\alpha\beta$ 支架, 最大夹持样品 200mm (可根据用户需求定制)<br>角度调整: 360°粗调、 $\pm 5^\circ$ 精调<br>XY 范围: 0-6.5mm, Z 范围: 0-10mm<br>行程精度: 0.02mm-0.04mm |  |
| 标准板      | 漫反射标准板: 直径 100mm, 反射率: $\geq 98\%$ (标配)<br>镜面反射标准板: $\geq 75\text{mm}$ , 反射率: $\geq 95$ (可选)   |  |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| LiSpecView-BSDF<br>软件功能 | 软件功能包括运动平台运动参数设置、光谱仪采集控制、根据预设条件全自动测量BSDF数据、并进行数据采集保存、实时显示样品照片、显示2D光谱、3D光强分布。软件可实现主动控制机械臂归零设置、关闭软件机械臂自动归零、探测入射角范围0°~90°或-90°~90°角度设置自定义功能、可载入已保存标准板参考数据 |
|-------------------------|--|

## 主要配置清单

| 名称                      | 数量 |
|-------------------------|----|
| 五维运动支架                  | 1套 |
| 五维运动支架控制器               | 1台 |
| 光谱仪                     | 1台 |
| 150W 卤素灯光源 或 激光等离子体白光光源 | 1台 |
| 漫反射标准白板                 | 1块 |
| 数显高度尺                   | 1台 |
| 光纤                      | 1根 |
| 准直透镜                    | 2个 |
| 工业相机                    | 1台 |
| USB 数据线                 | 1条 |
| 电机控制线                   | 4条 |
| 标准参考白板支架                | 1个 |
| 五维样品支架                  | 1个 |
| 电源线                     | 2条 |
| 激光投线角度仪                 | 1台 |
| 暗箱                      | 1个 |

|       |    |
|-------|----|
| 笔记本电脑 | 1台 |
| 配套软件  | 1个 |