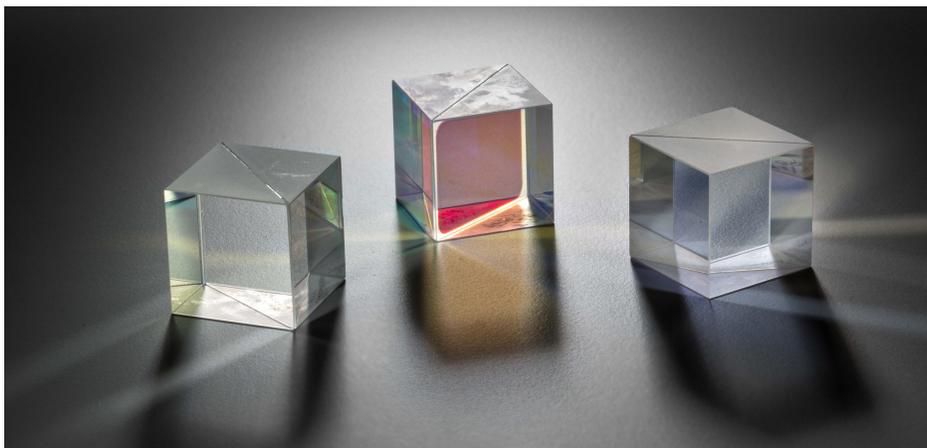


## 更快速、更准确地表征立体分光镜

使用 Agilent Cary 7000 全能型分光光度计 (UMS)



### 作者

Travis Burt 和 Chris Colley  
安捷伦科技公司  
澳大利亚维多利亚州马尔格雷夫  
Hakchu Lee  
安捷伦科技公司  
美国加利福尼亚州圣克拉拉

### 摘要

立体分光镜 (CBS) 是一类极为重要的光学元件，其广泛应用于消费品、高科技微定位设备和基于光纤的电信系统中。本应用简报介绍了使用 Agilent Cary 7000 全能型分光光度计 (UMS) 对 CBS 进行现场、自动化和无人值守的透射率、反射率和吸光度测量。获得的光谱信息可在产品设计阶段给光学工程师提供有益的思路，并使 QA/QC 部门在最终测试中可以使用更好的控制指标；以上皆可在高分析效率下完成，并可满足常规分析工作量的需求。

## 前言

顾名思义，CBS 的作用是将一束光线分为两个不同的传播路径，即反射光和透射光（图 1），通常其尺寸比骰子略小（0.5–1 英寸，12.7–25.4 mm）。

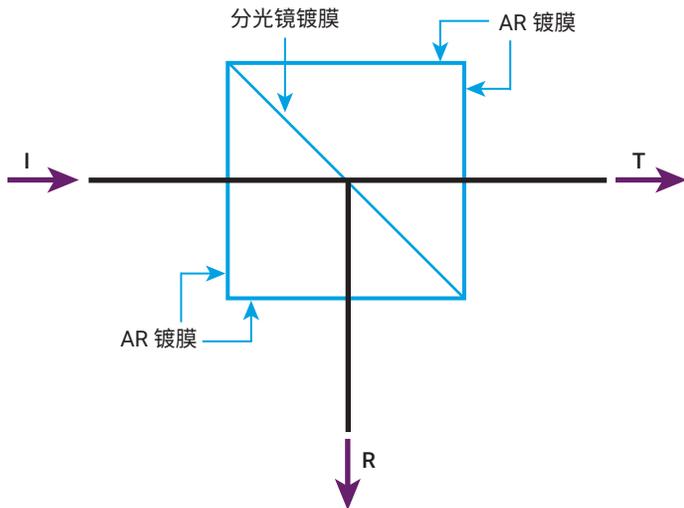


图 1. CBS 的平面图，标示出入射光 (I) 的反射光 (R) 和透射光 (T)

分开的光线可用于复制图像、分离颜色或偏振状态，或在激光应用中充当紧凑型干涉仪，用于纳米微定位系统。在任何条件下，要在 CBS 的设计、实施和质量控制方面取得成功，需要充分了解透射光和反射光的光谱信息。在中间斜边上，有时也会在外表面上沉积介质（光学）镀膜，以确定 CBS 的波长以及偏振特征。此项测量的一个难点在于内部多层镀膜的光学性能会受当前的光电机械环境所影响，比如用于粘结两片棱镜的粘结剂的折射率。作为开放式表征方法，在粘结两片棱镜之前，需要对介质镀膜进行现场测量，得到与组装后的完整立方体不同的结果。

Cary 7000 UMS 可进行同一系统的透射光和反射光的光谱表征，不需要移动样品，因此入射光也保持不变。对样品上相同位置的透射率 (T) 和反射率 (R) 的现场测量结果，可用于计算出准确的吸光度 ( $A = 1 - T - R$ ) 数据，从而深入了解基底和镀膜性能。

分析光谱中的全损失时，研究人员此前已发现可导致数据质量问题的人为因素。已见诸报导<sup>[1]</sup>的人为因素包括：

- 测量 T 和 R 时的入射角 (AOI) 不同
- 镀膜厚度轻微不均匀
- 镀膜的吸光和干涉效应的联合作用

本应用简报中展示了使用 Cary 7000 UMS 收集数据。不移动样品而测量 T 和 R，即排除了 AOI 变化以及镀膜厚度不均匀的影响。

### 分光镜类型

可根据立体分光镜最终用途的光学需求进行粗略的分类。本文将给出基本概述，以着重强调每种分光镜类型的核心光学性能。

覆盖的波长范围可以很宽，例如整个可见光光谱，或者适用于特定激光束的窄带，比如 632.8 HeNe 激光。分光镜的镀膜可以控制波长范围，但要求所设波长范围的光线可透过基底材料。BK7 玻璃是一种用于可见光谱的低成本材料，但在紫外和近红外波长范围内剧烈衰减。熔融石英的成本较高，但光学损失更少且波长范围更宽，因此是高能激光应用的首选材料。

用于连结两片棱镜的粘结方法是实现最终用途的重要考虑因素。光学胶合剂可用于前处理高度稳定（机械）CBS，但此结构更适合低光学能量的应用。Norland Optical Adhesive 61 (NOA 61) 就是一种光学胶合剂。其为透明、无色、液态光聚合物，在紫外线下会发生硬化。另一方面，高能激光应用必须避免使用光学胶合剂，转而使用可替代光学胶合剂的光学接触法或者折射率匹配的油类。这些方法的能量阈值更高，但由于机械稳定性较差，因此在处理和使用时请务必谨慎。

CBS 的偏振性能一般用于基于激光的干涉仪设备。例如，干涉纳米定位系统的性能部分程度上由 CBS 的高  $T_p/T_s$  比率和相对应的高  $R_s/R_p$  比率这一要求所决定。本应用简报中所测量的 CBS 正是此类偏振分光镜的一个例子，其性能如图 2 中所示。

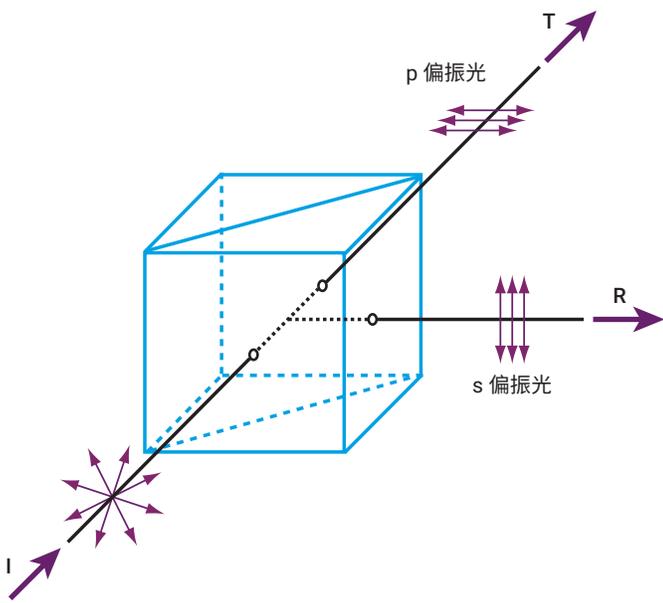


图 2. 入射光经偏振 CBS 后形成的反射光和透射光 3D 图

## 实验部分

### 样品

选取边长为 25 mm 的 CBS，其采用专利分光镜和由二氧化钛和二氧化硅制成的防反射镀膜。使用光学胶粘剂粘合两个棱镜。

### 仪器

采用 Cary 7000 UMS 进行数据收集，它是一种高度自动化的可变角度绝对镜面反射率和透射率测量系统。借助 Cary 7000 UMS，操作员可通过独立电机驱动控制样品的入射角以及检测器的位置，其中检测器可围绕样品在一定弧度内自由旋转。对样品旋转和检测器位置进行独立控制可实现 CBS 的快速、准确和自动化测量。

过去，需要使用安装有不同附件的分光光度计测量反射率和透射率。在实际操作过程中，由于测试模式（附件）和样品上照明光束的移动之间，照明光束的光斑尺寸会有所变化，导致样品上被测试区域也会不同。

如果沉积过程形成厚度不均匀的镀膜，将会影响反射率和透射率测量。

在 Cary 7000 UMS 问世以后，现在可以测量同一样品点的 T 和 R 而不移动样品，消除了这一人为因素对结果的影响。此外，样品可以自动旋转 180°，实现了正向和逆向静态 T 和 R 的测量。每种情况下，都可以不移动样品而测量同一点的 T 和 R。

在本研究中，使用 Cary 7000 UMS 获取 0° 入射角下的 s 和 p 偏振入射光的透射数据。如图 3 中所示，在入射光 90° 方向上收集反射数据，并在 0° 方向（直接）上收集透射数据。样品装载方式为立方的中心和入射光的焦点重合，并位于样品和检测器的旋转轴上。样品上入射光锥角的垂直和水平孔径控制在 2° 以内。

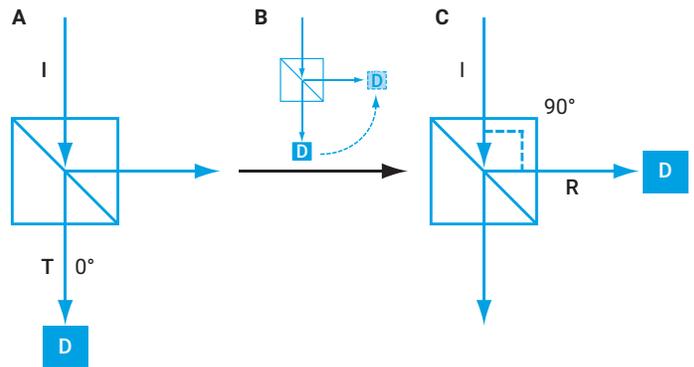


图 3. (A) 透射率测量中 CBS 样品和检测器 (D) 的取向, (B) 检测器在入射光平面上围绕样品旋转以进行反射测量 (C) 检测器位于入射光与样品成 90° 的方向上。注：无需移动样品

在 500–720 nm 范围内进行光谱测量，数据间隔为 1 nm，光谱带宽为 5 nm，光谱平均时间为 0.5 s。

## 结果和讨论

该 CBS 设计用于氦氖激光器，发射波长为 632.8 nm。在此波长下，CBS 理论上应当透过 100% 的 p 偏振光，并反射 100% 的 s 偏振光。实际上，偏振光透射率和反射率不会如期望般完美，因此测量 CBS 的真实性能十分重要。

图 4A 中所示为使用 Cary 7000 UMS 系统测得的 s 偏振光透射和反射光谱。通过放大 633 nm 附近的光谱（参见图 4B 和 4C），可以观察到 633 nm 处的透射率和反射率值。在 633 nm 下，s 偏振光的透射率为 0.04%T，符合 CBS < 0.2%T 的性能指标要求。p 偏振光图谱如图 5 中所示。在 633 nm 下，p 偏振光的透射率为 98.19%T，也符合 > 98%T 的性能指标要求。

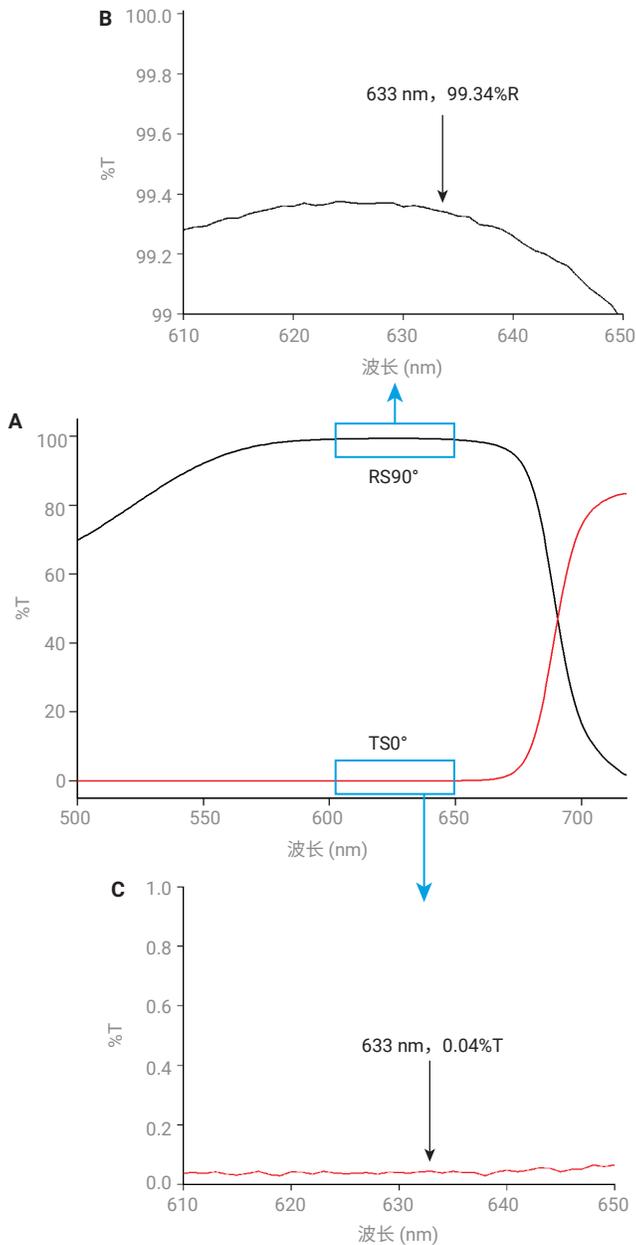


图 4. (A) 使用 Agilent Cary 7000 UMS 测量 CBS 样品 s 偏振光的透射和反射光谱，(B) 633 nm 附近反射光谱的放大图，(C) 633 nm 附近透射光谱的放大图

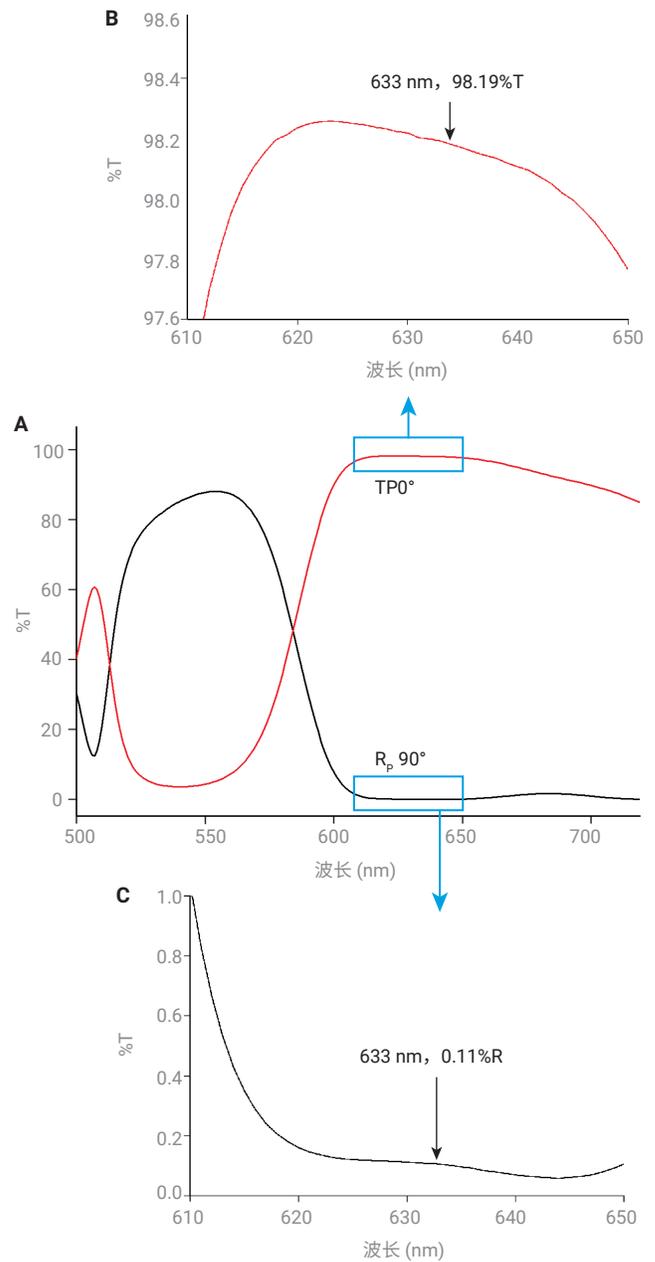


图 5. (A) 使用 Agilent Cary 7000 UMS 测量 CBS 样品 p 偏振光的透射和反射光谱，(B) 633 nm 附近透射光谱的放大图，(C) 633 nm 附近反射光谱的放大图

因为在测量透射率和反射率时无需移动样品，因此可收集到前后一致的光谱数据，这对于确定全损失（例如向后反射和内吸收或散射）十分有用。图 6 中所示为 s 偏振光和 p 偏振光的吸光度 (A)（其中  $A = 1 - T - R$ ），在该图中显示了光谱曲线及其光损失。

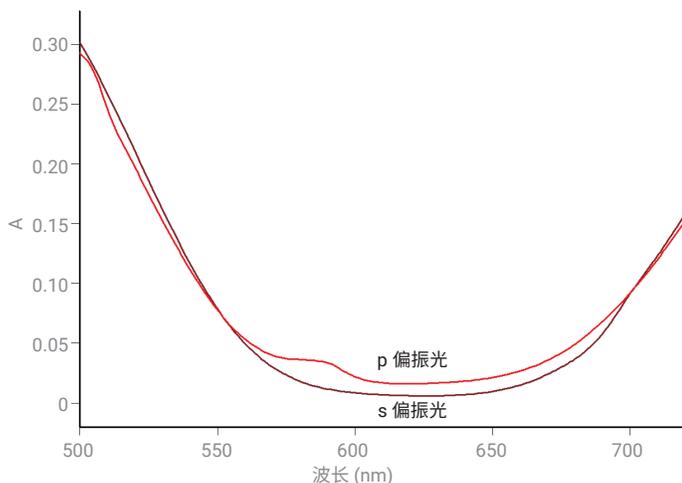


图 6. s 偏振光和 p 偏振光的吸收光谱

## 结论

Agilent Cary 7000 UMS 在表征立体分光镜性能方面已显示出巨大的潜力。该系统实现了样品旋转和检测器位置的独立和自动化控制。这种无需移动样品即可测量 T 和 R 的独特能力，可保持样品的入射光不变，同时可获得分光镜吸光度的详细光谱信息。

Cary 7000 UMS 可实现快捷、简便且全自动化的数据采集，是 QA/QC 环境的理想选择。

## 参考文献

1. Amotchkina, T. V. *et al.* Oscillations in Spectral Behavior of Total Losses ( $1 - R - T$ ) in Thin Dielectric Films. *Optics Express* **2012**, 20(14), 16129–16144

查找当地的安捷伦客户中心：

[www.agilent.com/chem/contactus-cn](http://www.agilent.com/chem/contactus-cn)

免费专线：

800-820-3278, 400-820-3278 (手机用户)

联系我们：

[LSCA-China\\_800@agilent.com](mailto:LSCA-China_800@agilent.com)

在线询价：

[www.agilent.com/chem/erfq-cn](http://www.agilent.com/chem/erfq-cn)

[www.agilent.com/chem/cary7000ums](http://www.agilent.com/chem/cary7000ums)

DE28029956

本文中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2013，2022  
2022 年 12 月 7 日，中国出版  
5991-2522ZHCN