

涂层光学晶片的自动分光光度空间分析

应用简报

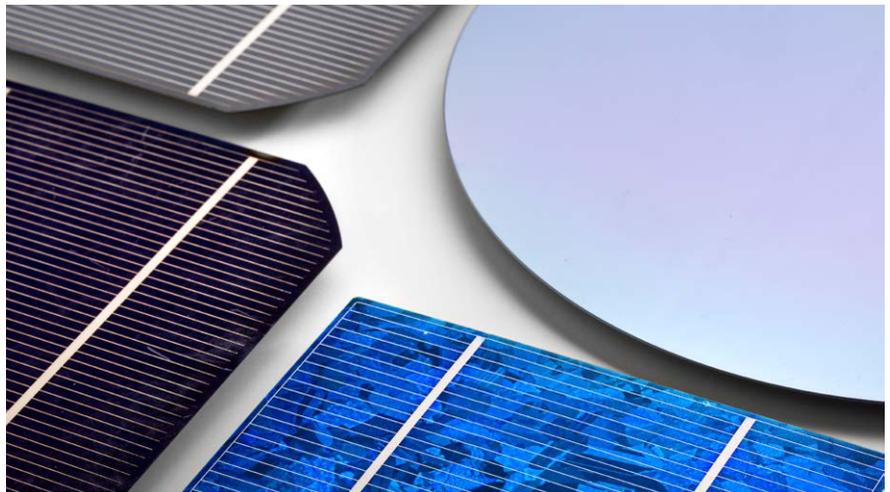
材料测试与研究

作者

Travis Burt、Fabian Zieschang
安捷伦科技公司

本研究的部分内容已发表于：

Burt, T., Zieschang, F. "Optical Coating Uniformity of 200 mm (8") Diameter Precut Wafers", Optical Interference Coatings (OIC) OSA Meeting, USA (2016).



前言

频繁且经济有效的光谱表征对于开发具有竞争力的光学薄膜涂层非常重要。完全自动化且无人值守的光谱测量有助于降低每次分析的成本、提高分析效率，还有助于扩展质保程序。在生产过程中，满负荷运转的沉积室中常会涂覆大面积、通常呈圆形的衬底晶片。高效的光学表征工具必须能够在晶片被切割之前从用户指定的晶片表面的特征点获得准确且有意义的信息。



Agilent Technologies

专为 Cary 7000 全能型分光光度计 (UMS) 和全能型测量附件包 (UMA) 设计的安捷伦固体自动进样器可容纳直径达 200 mm (8") 的样品, 并提供 UV-Vis 和 NIR 光谱范围内的角度绝对反射率和透射率数据。

此前的研究已经证明, 将 Cary 7000 UMS 与自动进样器相结合, 能够对 32x 样品支架上的多个样品进行自动化、无人值守的分析 [1], 并对氧化锌锡 (ZTO) 涂层的线性能带隙梯度进行空间测绘 [2]。本研究使用配备自动进样器的 Cary 7000 UMS 对直径 200 mm 晶片上的涂层均匀性进行了自动化的角度分辨测绘。

仪器与样品

Cary 7000 UMS UV-Vis/NIR 分光光度计 (图 1) 专为 250 nm 至 2500 nm 波长范围内的多角度光度光谱 (MPS) 测量而设计。在 MPS 应用中, 我们需要测量样品在较宽入射角范围内 (从接近垂直到倾斜入射角) 的绝对反射率和/或透射率 [3]。最近有研究证明, MPS 数据对于复杂薄膜的逆向工程 [4]、深入了解电介质薄膜中总损耗的振荡 [5], 以及改进涂层生产步骤中应用的逆向工程策略 [6] 很有帮助。

UMA 采用简单且通用的设计, 能够将样品和检测器相互独立地定位为任意角度, 而无需操作人员干预。在单个序列中, UMA 在 $5^\circ \leq |\theta_i| \leq 85^\circ$ 范围内 (即, 垂直光束两侧的角度被标记为 +/-) 以不同的入射角 (θ_i) 从样品表面完全相同的斑点处同时采集透射率和反射率数据。由于配备了基于纳米线栅技术的自动偏光片, UMA 能够以 S、P 或用户指定的任何偏振角获得准确的测量结果。

Cary 7000 UMS 的核心组件 Cary 全能型测量附件包 (UMA) 可单独购买, 用户可通过更换此附件包升级现有的 Cary 系列 UV-Vis-NIR 分光光度计 (包括 4000、5000 和 6000i)。

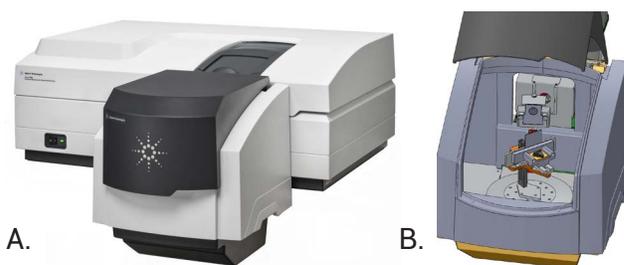


图 1. Agilent Cary 7000 UMS。B. 全能型测量附件包, Cary 7000 UMS 标配。UMA 是一套真正的多模式测量系统, 能够进行绝对反射率、透射率和散射分析

自动进样器

安捷伦固体自动进样器是一款可独立控制的样品支架, 专为配合 UMA 使用而设计。该自动进样器安装在 UMA 的大样品室内, 位于样品台旋转轴上方。得益于这种设计, 自动进样器不会限制 UMA 的基本功能。事实上, 该设计为样品定位增加了 2 个自由度, 进一步提升了测量性能。如图 2 所示, 这些额外的自由度是指围绕入射光束轴 (I_0) 的径向方向 (z) 和旋转方向 (ϕ)。分析人员可根据不同的样品类型选择多种样品支架, 用于安放多个单独样品 (最多安放 32 个直径 1 英寸的样品) 或单个大直径样品 (最大直径 200 mm, 8 英寸)。这让安捷伦固体自动进样器成为了升级 Cary 7000 UMS 的理想之选, 仪器升级后可对大批量 (批次) 光学元件进行光学表征, 还能对体积更大的单个样品进行空间测绘, 实际分辨率极限可低至 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 。

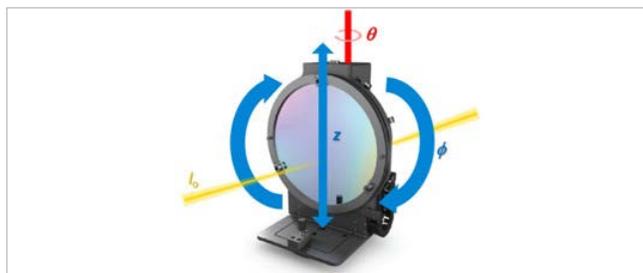


图 2. 安捷伦固体自动进样器相对于入射光束 I_0 的 MPS (θ_i 、 ϕ 、 z) 坐标系统

样品支架

8 英寸圆形样品支架能够将样品牢固地安放到自动进样器中，样品支架仅通过围绕样品边缘的 3.0 mm 环状装置和三个（可移除的）弹簧夹接触样品，最大限度减小了样品接触面积并保持了样品的完整性。在测量高灵敏度最终产品和涂层前体这类样品时，这种设计至关重要。



图 3. 直径 200 mm 的预切割的晶片安装于附接到固体自动进样器中的 8 英寸样品支架中



图 4. Cary 7000 UMA 样品室的前视图，样品室中安装了安捷伦固体自动进样器，自动进样器中安放了直径为 200 mm 的涂层晶片

实验细节

确定测量限

在实际测绘实验之前，我们通过光学方法确定了测量的径向极限，以 1 mm 的增量记录距离中心位置 90-95 mm 范围内的透射率信号（图 5）。直径 95 mm 处的透射率下降表明测量达到极限，从这个位置开始，样品支架内环会阻挡测量光束。我们将所有分析的最大测量点均设置为半径 94 mm 以

避免阻挡光束。晶片上的光学干涉涂层未覆盖整个衬底，但达到了距晶片边缘约 3 mm 处（图 5）。

这意味着使用这款固体自动进样器，我们能够对总涂层晶片 94% 的表面进行可靠测量。

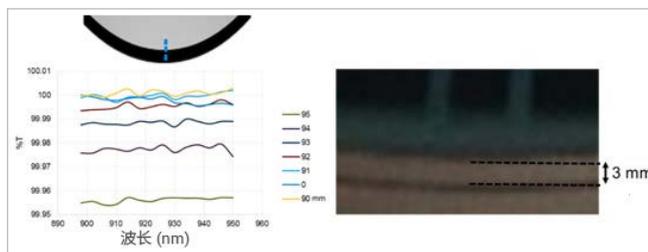


图 5. 左图：通过在 90 mm 至 95 mm 范围内以 1 mm 的增量进行测量确认了最大的可测量边缘点。95 mm 处的信号下降表示光束被样品支架边缘遮挡。右图：涂层距晶片边缘达 3 mm

反射光谱

尽管 Cary 7000 UMS 能够在 5° 至 85° 范围内以不同入射角进行测量，我们选择了 7° 作为入射角（接近垂直）。较大的入射角会在样品表面产生较大的光斑，进而导致测绘过程中的空间分辨率降低。我们将（可调的）入射光束锥角设置为水平 3° 和垂直 1°（样品绕垂直轴旋转），并采用 4 nm 的光谱带宽。应用这些参数后，获得了约 5.0 mm × 1.5 mm（高度 × 宽度）的光斑，略大于自动进样器的步长分辨率（垂直方向上步长 0.5°，绕光束轴旋转）。

表 1. 采集图 6 所示的反射光谱所用的 Agilent Cary 7000 UMS 测量条件

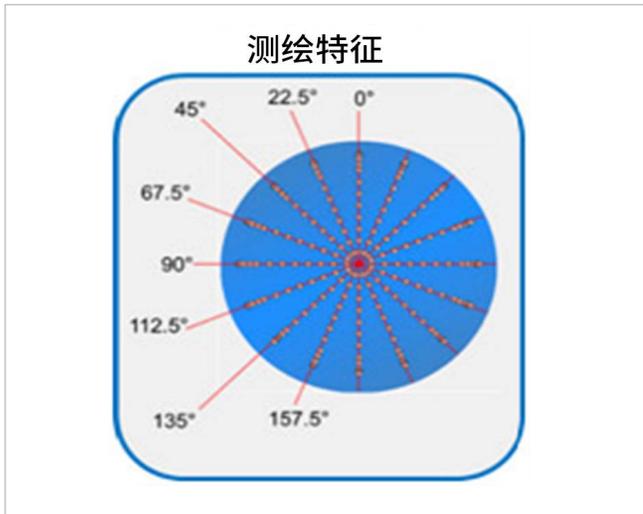
参数	值
入射角	7°
波长范围	2500-250 nm
数据间隔	UV/Vis 为 1.0 nm, NIR 为 4.0 nm
光谱带宽	UV/Vis 为 4.0 nm, NIR 为 4.0 nm
信号平均时间	0.5 s
偏振	s 偏振光
入射光束孔	3° x 1° (垂直 x 水平)
基线校正	100% T

晶片分析

在涂层表面的光学表征中，我们将自动进样器配置为按表 2 所示的测绘特征驱动样品。该测绘特征包括通过晶片直径的 8 根弦线，角分辨率 $\phi = 22.5^\circ$ 。每根弦线表示间隔 5 mm 的 27 个空间点以及 92 mm 和 93 mm 处朝向边缘的两个较小的步长间隔（表 2）。我们将 Cary 7000 UMS 设置为在分析波长下对每个测量点进行短波长扫描。准备就绪之后，Cary 7000 UMS 将与自动进样器协同工作，完全自动化地采集我们期望的数据集。

表 2. 晶片分析实验采用的测绘特征和采集条件

调谐参数	值
入射角	7°
波长范围	1065-1063 nm
数据间隔	1.0 nm
光谱带宽	4.0 nm
信号平均时间	1 s
检测器	硅光电二极管(手动设置检测器变化)
偏振	s 偏振和 p 偏振
入射光束孔	$3^\circ \times 1^\circ$ (垂直 \times 水平)
基线校正	100% T + 0% T



结果与讨论

图 6 所示为 UV (250 nm) 到 NIR (2500 nm) 范围内采集到的涂层晶片 s 偏振反射光谱。我们从晶片中心处的光斑采集光谱，因为预计该点处的涂层质量最佳。此光谱清晰地表明，光学干涉涂层的设计意图是使在 950 nm 至 1150 nm 的窄带宽内，1064 nm 左右的光反射率高于 99%。

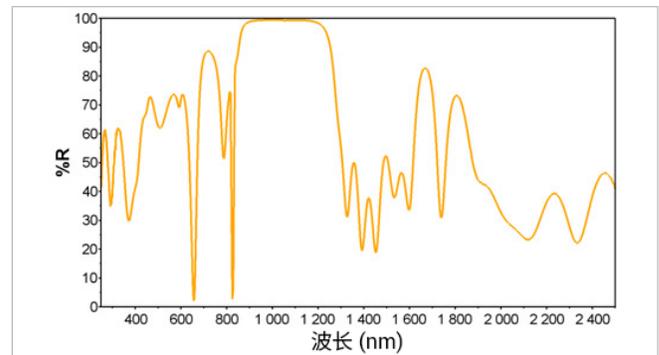


图 6. 在 7° 入射角下，晶片中心的 R_s 光谱

在测绘实验中，我们使用 Cary 7000 UMS 和自动进样器按照表 2 所示的测绘特征在 s 偏振和 p 偏振下采集 1064 nm 下晶片的反射特性。图 7 所示为利用 1064 nm 下的反射率值对测量点到中心的距离进行绘图得到的测绘特征。这些特征表明，在 s 偏振和 p 偏振下，从晶片中心到边缘的反射率均有所下降。各条曲线之间的高度相似性和一致性表明晶片具有中心对称的光学轮廓。通过随后的目视检查，可将 90° 弦线上 80 mm 直径处以及 67.5° 弦线上 85 mm 处的 R_s 和 R_p 异常值直接归因于晶片表面的污染。

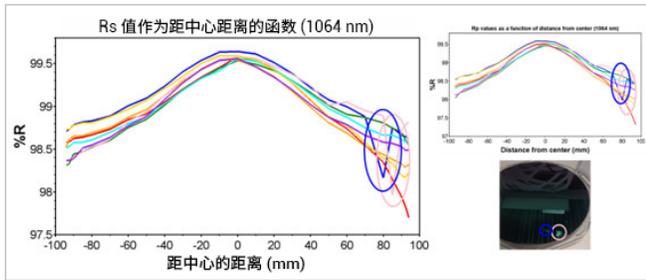


图 7. 1064 nm 处的测绘特征 (%Rs: 左侧; %Rp: 右上)

晶片中心位置作为每条弦线的测量点之一进行了反复测量，所得数据被用于评估测量的重现性(图 8)。在整个测绘实验过程中(约 6.5 h)，我们获得了 < 0.1% 的重现性，该结果优于中心点与边缘点之间的 %R 差值(高达 1%) 约 10 倍。这不仅证明了 Cary 7000 UMS 的长期稳定性，而且突出了所得曲线是有意义的。

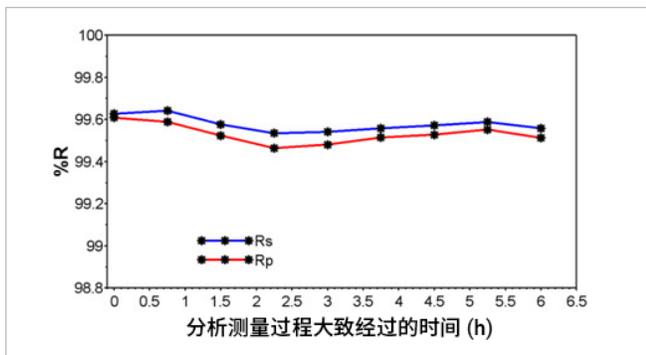


图 8. 测绘实验过程中系统的变异性

结论

在本研究中，我们使用 Agilent Cary 7000 UMS 和固体自动进样器成功分析了直径 200 mm 的预切割晶片的涂层均匀性。该系统被设置为按照用户自定义的测绘特征在以 1064 nm 为中心的波长下对晶片表面进行 %R 测量。所得的曲线表明晶片中心到边缘的涂层质量有所下降。该信息可用于找出并克服涂层工艺中潜在的变异性。

此测绘分析可用于质量控制，还可应用于开发过程，最大限度提高收率并减少材料浪费和投入。本应用简报中的真实实例证明 Cary 7000 和固体自动进样器广泛适用于在各种工业和实验室应用中对光学材料、涂层和组件进行自动化的常规多角度光谱表征。

参考文献

1. Burt, T., Haq, F., High volume optical component testing using Agilent Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer (UMS) with Solids Autosampler (使用配备固体自动进样器的 Agilent Cary 7000 全能型分光光度计 (UMS) 进行高通量光学元件测试)，安捷伦科技公司应用简报，出版号 5991-4071EN (2014)
2. Burt, T., Haq, F., 使用配备固体自动进样器的 Agilent Cary 7000 全能型分光光度计 (UMS) 进行涂层晶圆片分析，安捷伦科技公司应用简报，出版号 5991-4072ZHCN (2014)
3. Death, D.L., Francis, R.J., Bricker, C., Burt, T., Colley, C. "The UMA: A new tool for Multi-angle Photometric Spectroscopy", Optical Interference Coatings (OIC) OSA Topical Meeting, Canada (2013)
4. Tikhonravov, A.V., Amotchkina, T.V., Trubetskov, M.K., Francis, R.J., Janicki, V., Sancho-Parramon, J., Zorc, H. and Pervak, V. "Optical characterization and reverse engineering based on multiangle spectroscopy", *Appl. Opt.* 51, 245-254 (2012)

5. Amotchkina, T.V., Trubetskov, M.K., Tikhonravov, A.V., Janicki, V. J., Sancho-Parramon, Razskazovskaya, O. and Pervak, V. "Oscillations in the spectral behavior of total losses ($1 - T - R$) in the dielectric films", *Opt. Exp.* 20, 16129-16144 (2012)
6. Amotchkina, T.V., Trubetskov, M.K., Tikhonravov, A.V., Schlichting, S., Ehlers, H., Ristau, D., Death, D., Francis, J.J. and Pervak, V. "Quality control of oblique incidence optical coatings based on normal incidence measurement data", *Opt. Exp.* 21, 21508-21522 (2013)

查找当地的安捷伦客户中心:

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

在线询价:

www.agilent.com/chem/erfq-cn

www.agilent.com

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本资料中的信息、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, 2016

2016年10月12日, 中国出版
出版号: 5991-7530ZHCN



Agilent Technologies