

A detailed close-up photograph of a microscope's objective lens assembly. The lens is black with a silver-colored ring and is positioned over a sample on a slide. The sample appears to be a small, rectangular, light-colored object. The background is dark, highlighting the metallic and glass components of the microscope.

M-2000<sup>®</sup>



J.A. Woollam Co., Inc.

Ellipsometry Solutions

# 发现不同

Focused M-2000



M-2000® 系列光谱椭偏仪是为满足各种薄膜表征的需求而设计的。先进的光学设计，宽光谱范围，快速测量将M-2000打造成一款功能强大的通用工具。

M-2000 是速度与精度兼备的典范。旋转补偿专利技术结合高速CCD快速采样，使得整个光谱范围（数百个波长点）可以在几秒内完成测量。无论是实时监控，还是过程控制，或者是大面积薄膜均匀性扫描，还是常规的薄膜表征，M-2000 是第一款可以全部胜任的光谱椭偏仪。没有其他的椭偏仪在全光谱采集的速度上可以超越它。

## 为什么选择M-2000?

### 先进的椭偏技术

旋转补偿专利技术（RCE）的应用，使M-2000获得了超高的准确性和重复性。

### 快速光谱探测

RCE 设计结合先进的CCD探测技术，使得所有的波长点上的数据可以同时准确的测量。

### 超宽光谱范围

同时测量从深紫外到近红外的超过700个波长点。

### 灵活的系统组合

模块化的光学设计使得 M-2000 即可以安装到你的在线腔室上，也可以选择各种配置的桌面型底座。

### 准确

先进的设计保证了各种样品都能获得准确的椭偏测量。



300 mm Mapping

# 薄膜表征

M-2000 最通常的应用是用来测量薄膜的厚度和光学常数。无论是表面上的亚纳米级单层薄膜，还是数十微米厚的透明薄膜，它都很灵敏。M-2000 还可以测量各种材料的光学常数 ( $n$ 和 $k$ )，如电介质，有机物，半导体，金属等。除此之外，还可以根据材料光学常数的变化来间接获得材料的其他特性。

## 薄膜厚度

当M-2000的测量光束投射到薄膜，各反射光束都会影响光谱数据的特征。所有透过薄膜又被薄膜下层界面反射回来的光会和膜层表面反射的光混合在一起。他们之间是相长干涉还是相消干涉，取决于：(i) 每个组成光之间的相对相位，如图1所示。(ii) 光的波长。光透过薄膜后的延迟与膜厚和折射率有关 ( $n$ 决定了相位速度)。这样，薄膜的特性直接影响了数据的结果。

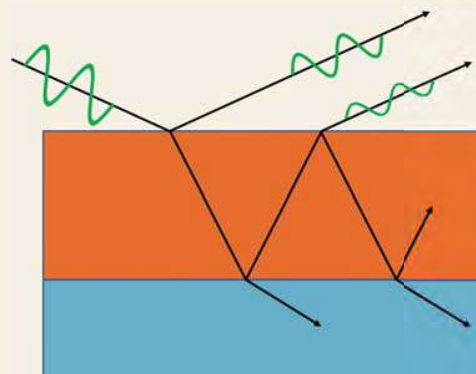


图 1. 多个界面的反射

图 2 显示两个不同的硅片上电介质薄膜的测量。随着膜厚的增加，振荡的数量也相应的增加。

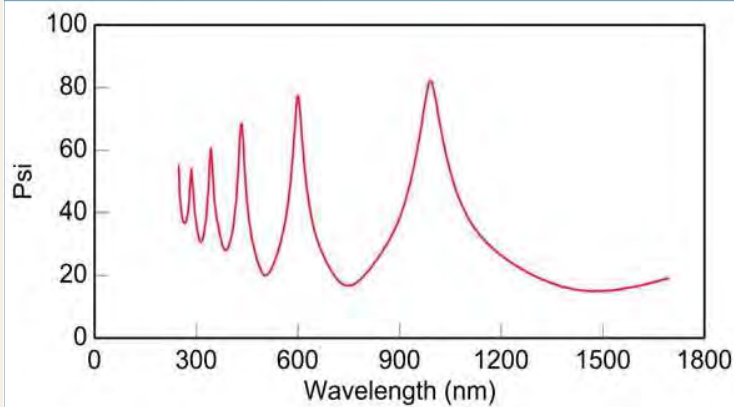
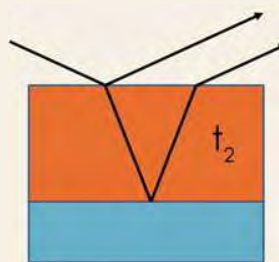
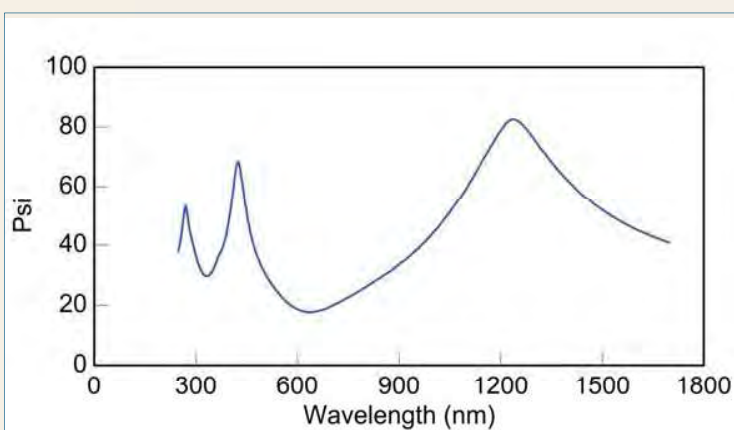
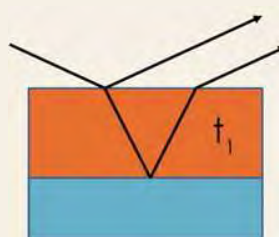


图 2. 两个薄膜的实验数据。#2薄膜的振荡的数量较多，因为  $t_2 > t_1$ 。

## 折射率 (n)

椭圆数据的振荡的振幅跟薄膜的光学常数有关。如果薄膜的折射率和基底的折射率接近，那么较少的光会被反射回表面。图中显示玻璃基底上的SiO<sub>2</sub>薄膜（图3），他们的折射率很接近。如果薄膜和基底的折射率差异很大，那么振荡就明显增大，如图中所示玻璃上的Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>（图3）。

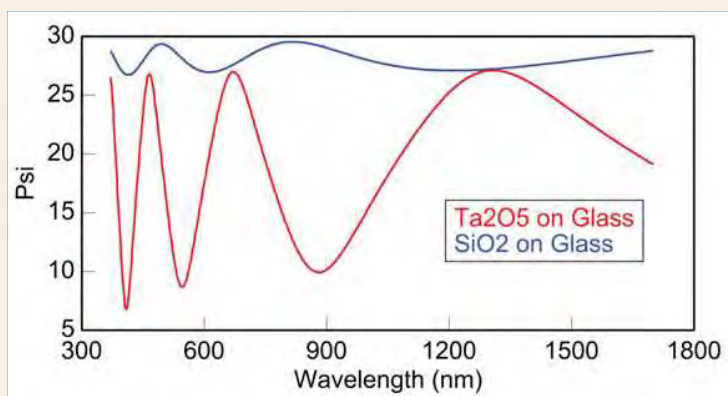


图 3. 玻璃基底上两种不同折射率的透明薄膜的数据。

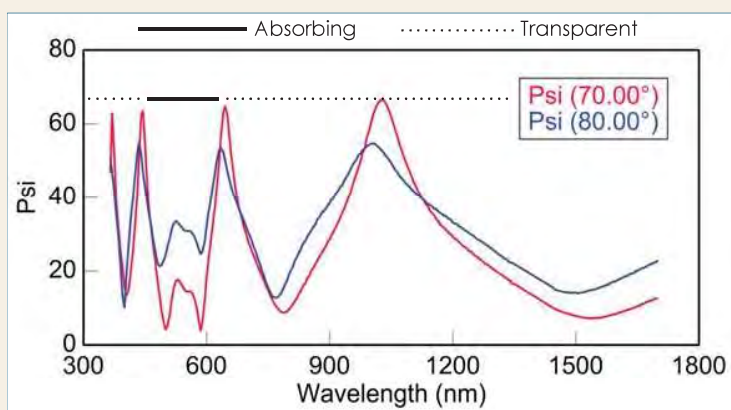


图4. 某种有机染料薄膜的测量数据，显示了透明段(.....)和吸收段(——)。

## 消光系数(k)

薄膜材料的吸收也会影响测量数据。进入到薄膜的光在反射回表面之前可能会被部分或全部吸收。这会影响到测量数据的图形形状，如图4所示。这是某种有机染料薄膜，在它的透明区域，数据呈现典型的振荡形状。在可见光区域，该染料有吸收，振荡被压缩了。在这区域，只测量到了表面的反射。

## 材料特性

在用M-2000测量时，还可以根据测出的膜层折射率的变化，从而分析材料的一些其他特性。这些特性包括：成份，结晶度，导电性，各向异性，表面和界面的粗糙层等。图5显示的是锗薄膜中不同的结晶状态引起的光学常数的变化。

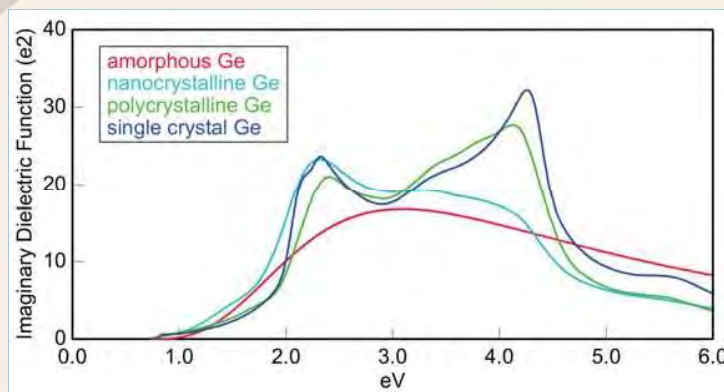


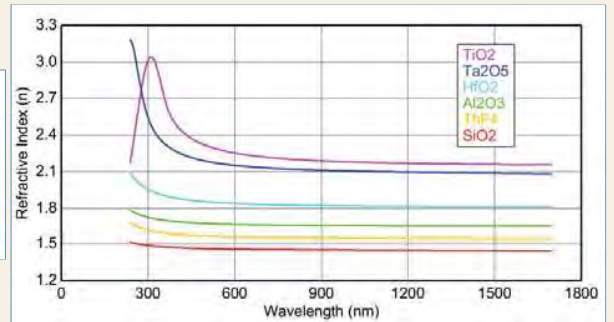
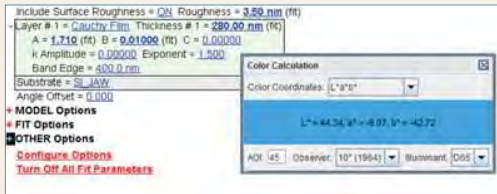
图 5. 一系列不同结晶状态的锗薄膜。当材料具有远程晶体结构时，吸收峰很明显。在非晶结构时，就没有明显的吸收特征了。

# 应用

M-2000® 是一款功能强大的光谱椭偏仪，可以用来研究各种类型的样品。镀膜层可以是电介质，有机膜，半导体，甚至是超薄金属膜。

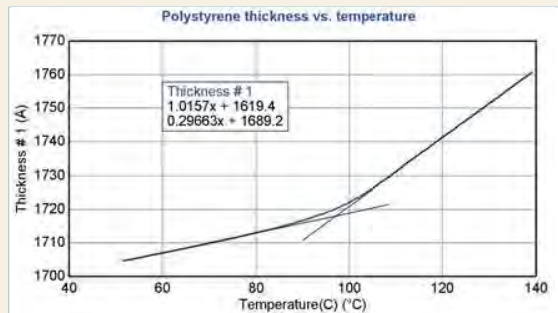
## 光学镀膜

可以表征单层或多层膜的膜厚及折射率，包括减反膜，高反膜或修饰膜。计算不同光照条件下堆叠膜层的色坐标。



## 化学/生物学

M-2000 可以应用于各种化学和生物学研究中，既可以作为单独的研究工具，也可以和其他的附件一起联用。研究液体环境下，高温或低温下的材料特性，或者和 QCM-D 联用测量。



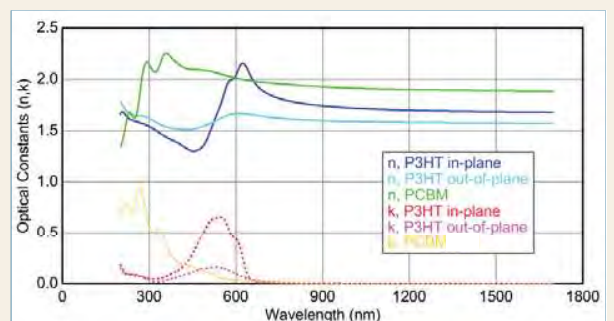
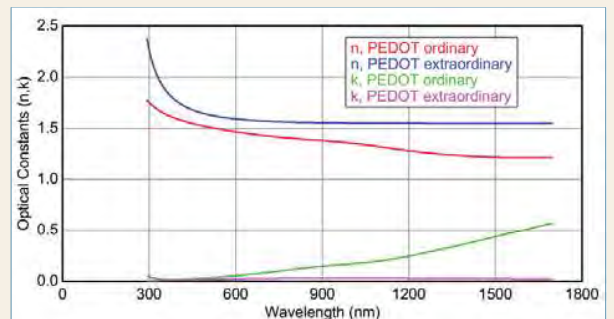
Glass transition of polystyrene.



QCM-D Cell on M-2000 Ellipsometer.

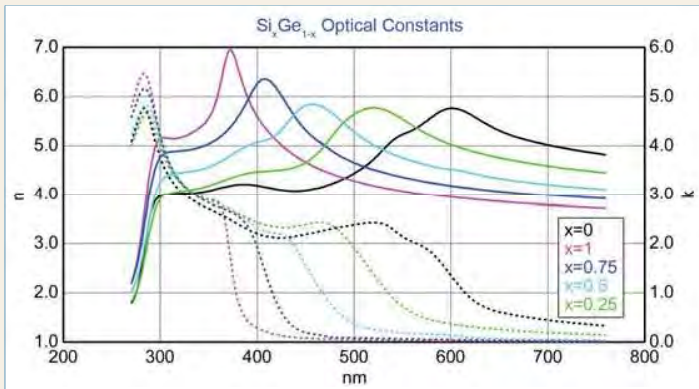
## 导电有机膜

应用于显示 (OLED) 或光伏方面的有机薄膜研究已取得了极大的进步。人们研究了各种不同的材料，从小分子材料比如 Alq3 到组合聚合物如 P3HT。通常人们会混合多种材料-这需要利用 M-2000 的宽光谱范围的特点-来研究材料在不同波长下光学特性的不同。长链分子材料或许还有显著的各向异性，聚合物指向性堆叠使得在不同的方向上具有不同的光学常数。



## 半导体

椭偏仪的传统应用依然强大，几乎可以表征所有的半导体材料：resists, photomask, SiON, ONO 堆叠, low-k 电介质, high-k 门, SOI, SiGe, II-VI 和 III-V 三族和四族化合物。



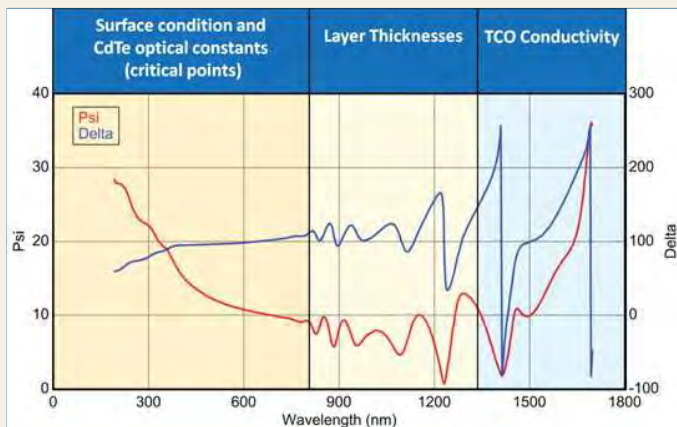
SiGe 光学常数 vs. 成分.



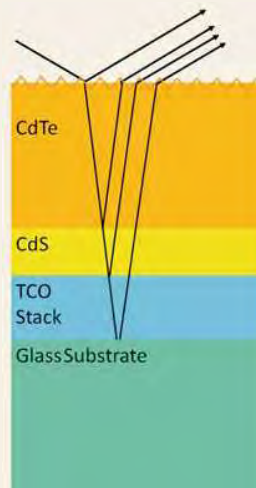
带自动角的M-2000 DI 光谱仪。

## 光伏

薄膜厚度和光学特性是太阳能装置的关键性能。椭偏仪可用于开发并监测所有的光伏材料：a-Si,  $\mu$ c-Si, poly-Si, 减反膜(SiN<sub>x</sub>, AlN<sub>x</sub>...), TCO 膜(ITO, ZnOx, 掺杂 SnO<sub>2</sub>, AZO), CdS, CdTe, CIGS, 有机光伏材料, 以及染料敏化薄膜。

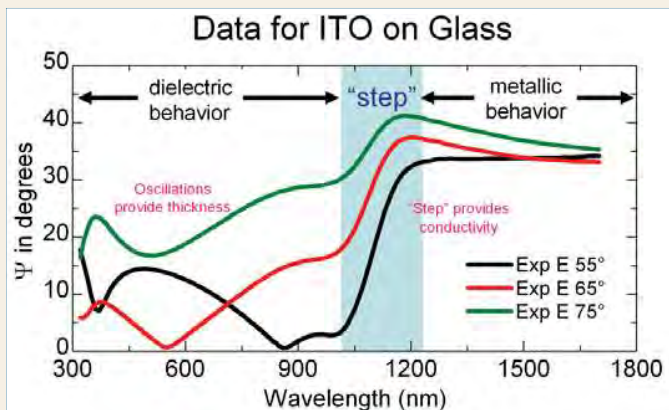


太阳能电池的多层结构的吸收区域, 透明区域及导电区域。

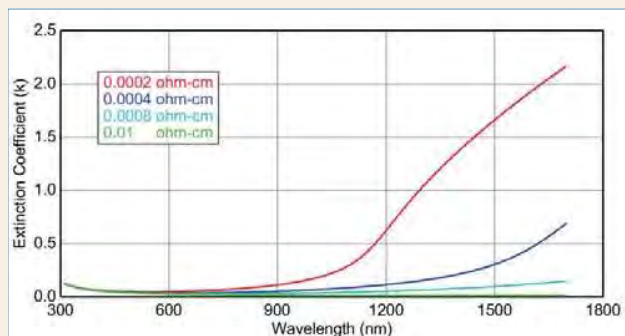


## 显示

在研究设计及生产显示产品时, 需要测量 a-Si, poly-Si, microcrystalline-Si, OLED 膜层, 彩色滤光片, ITO, MgO, polyimide, 以及液晶等材料。



透明导电氧化物膜在长波段表现的象金属, 在可见段表现得象电介质。M-2000 可以同时采集这两个区域的薄膜信息。



ITO 导电性和NIR吸收相关。

# 灵活的光谱范围

## M-2000V

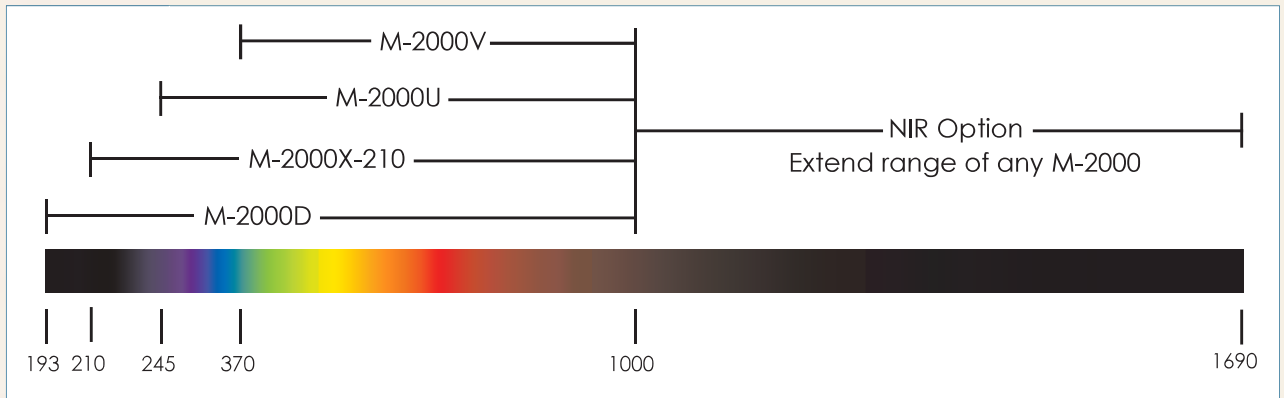
370-1000nm, 390 个波长点

光谱范围适合测量电介质，有机物及非晶半导体等。高速，准确，结构紧凑，性价比极高。

## M-2000U

245-1000nm, 470 个波长点

是测量各种薄膜的理想工具：电介质，有机物，半导体，金属膜等。可以测定从亚纳米级到数十微米厚的各种薄膜的光学常数和厚度。



## M-2000X-210

210-1000nm, 490 个波长点

紫外延伸至210nm。在在线测量应用中，特别的聚焦设计可以提供更小的光斑和更高的光强。

## M-2000D

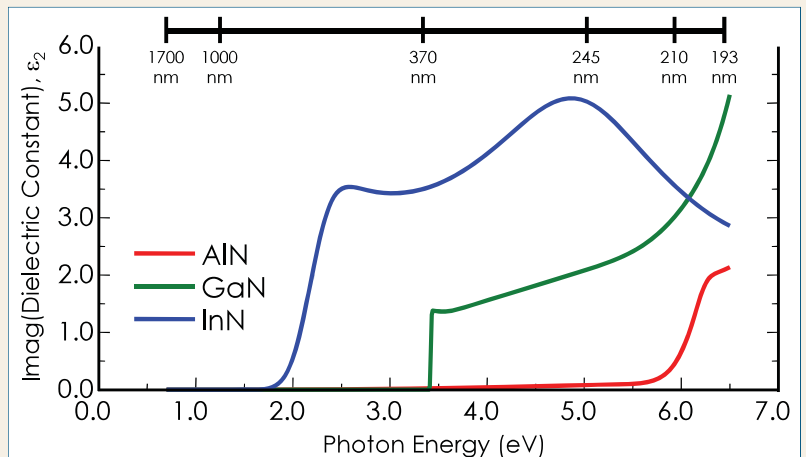
193-1000nm, 500 个波长点

半导体工业的理想工具。可以测量 193nm, 248nm, 及365nm等各光刻线。对于超薄膜，波长越短越灵敏，结合同步测量的长波长数据，可以确保透明薄膜厚度的测量准确性。

## NIR 扩展

1000-1690nm, 200 个波长点

各款 M-2000 都可以把光谱范围扩展到近红外。长波长有助于表征透明导电薄膜，如ITO，电介质薄膜，和一些在短波长处有吸收的半导体薄膜，如 $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ 等。NIR 对于比较厚的薄膜及复杂的多层膜的测量也是非常理想的。



扩展的UV和IR光谱可以揭示半导体材料高能区和低能区的特性。

# 多样的可选配件

## 固定角

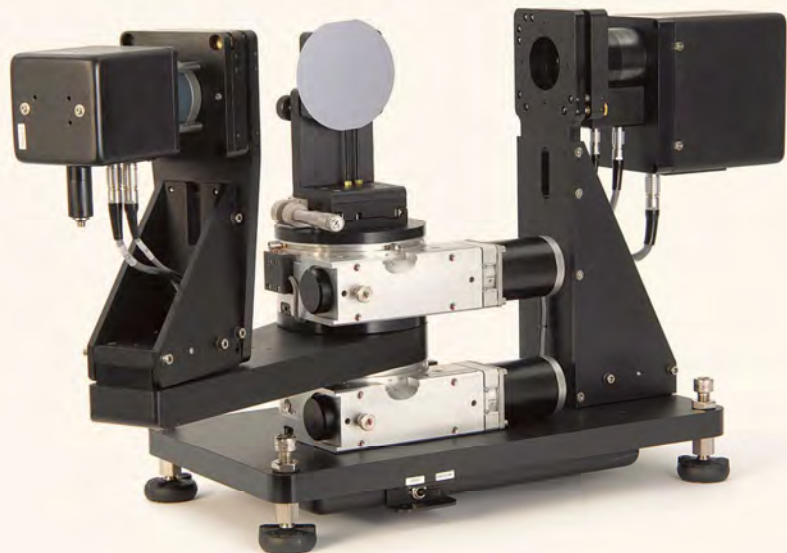
对许多应用来说，简单而实惠的固定角系统就可以胜任。



## 自动变角

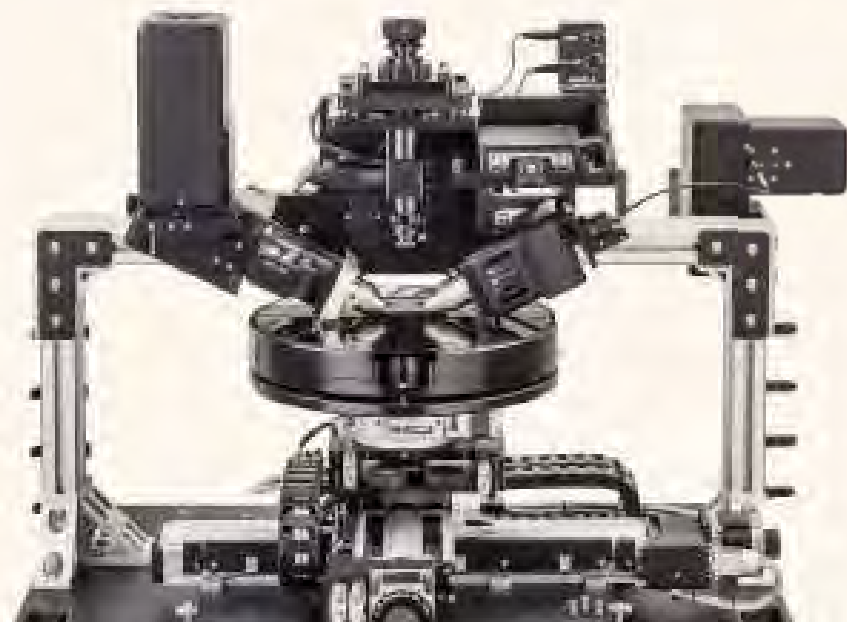
方便灵活的自动系统。  
水平或垂直的样品台配置。  
垂直样品台可以提供更大的变角范围。样品和探测器的角度可独立控制，可进行不同种类的反射及透射测量。

水平样品台可以加载许多附件，比如大面积 mapping，液体池，加热台等。



## 聚焦

M-2000 的光斑最小可到 $25 \times 60 \mu\text{m}$ ，适用于微区测量。





# 附件

## Mapping

可以用来画出薄膜厚度不均匀性或其他特征的地貌图。可选择计算机自动控制或手动mapping。样品尺寸可从需要聚焦件测量的小样品到大的平板显示玻璃。



Automated 300 x 300 mm XY mapping.



## 聚焦件 & 摄像头

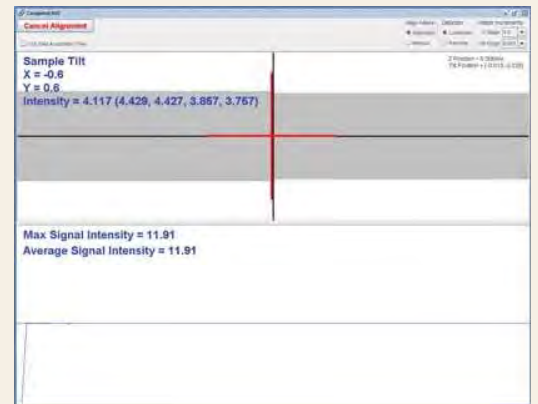
加上聚焦件可以减小光斑直径。标准的聚焦件在常规使用时可以拆下。摄像头用来帮助观察样品上的光斑位置。

## 样品自动对准

计算机自动倾斜校正和自动样品高度调整，使得样品的对准快速而简易。

## 透射测量

在M2000水平样品台系统上，可选用透射测量附件，帮助夹持样品垂直地放到光路中。可提供常规入射角或者可変入射角。



## 旋转样品台

计算机自动控制或手动旋转，可对样品进行360°的旋转，在研究各向异性时很有帮助。



M2000垂直系统上的自动旋转样品台。

## 液体研究

通过带光学窗片的液体池，可以测量液体环境下的样品。实时监测液体/固体的界面。可选带温度控制的液体池。



37mL 电子化学液体池



5mL 水平液体池



5mL 加热液体池  
(室温到50°C)

## 温度控制

热台或低温保持器可用于变温研究。在低温或高温下测量样品。



Linkam热台(-70°C 到 500°C)



Linkam热台(-70°C 到 600°C)



HTC-100 热台  
(室温到 300°C) Linkam

## 多空隙样品卡盘

方便塑料薄膜基底的平整放置



## QCM-D 装载台

SE 和 QCM-D 结合使用，检测亚单层膜的厚度和质量的变化。



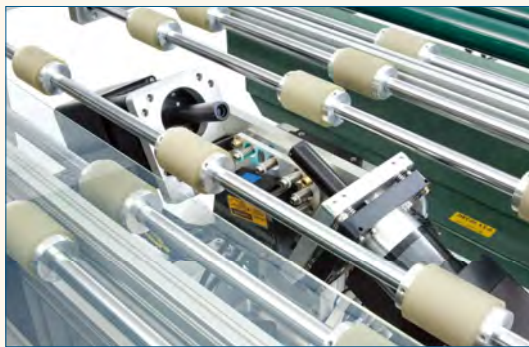
## 桌子

集成化设计的桌子可放置电控箱，电脑和EMO。还有带围栏的桌子可供选择。



# 大平板 Mapping

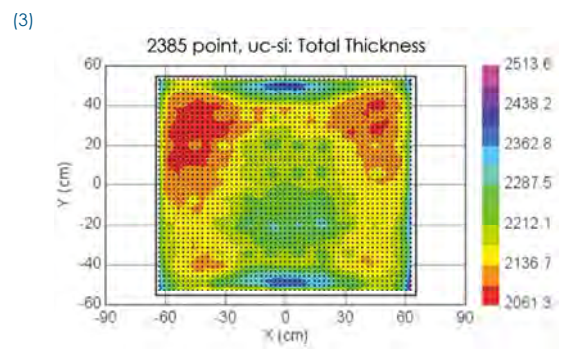
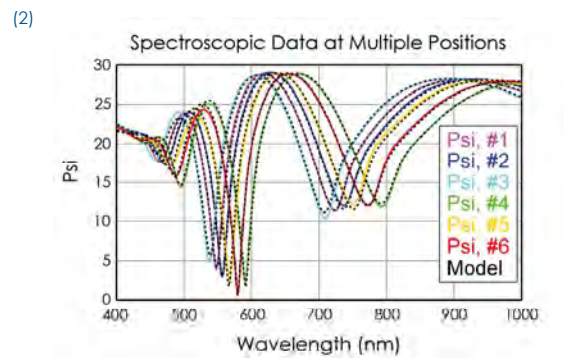
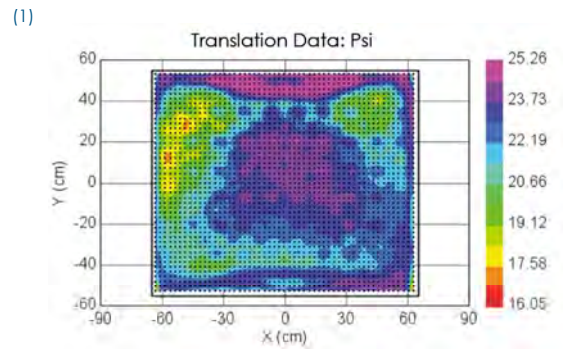
M-2000常用于显示或光伏行业中大平板上薄膜厚度的均匀性测量。在这些工业中，需要对透明导电氧化层、非晶硅和纳米晶硅层、CdTe和 CIGS等半导体薄膜、氧化物和氮化物减反镀膜进行测量，以保证最后产品的质量。我们可提供在线式或离线式的解决方案。



集成在传送系统上的在线测量椭偏仪的特写



在线椭偏仪正在测量玻璃平板上的膜层



一块1.1x1.3米玻璃平板上微晶硅薄膜的数百个测量点的地貌图。用户在整个平板上设定测量的路径（图1）。对每个测量点进行全光谱分析（图2），可得到整个平板上厚度和折射率的地貌图。（图3）。

大平板 Mapping  
M-2000®

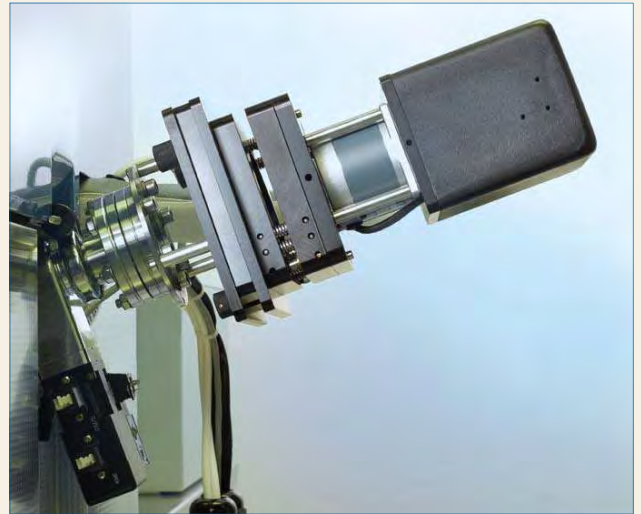


# 在线测量

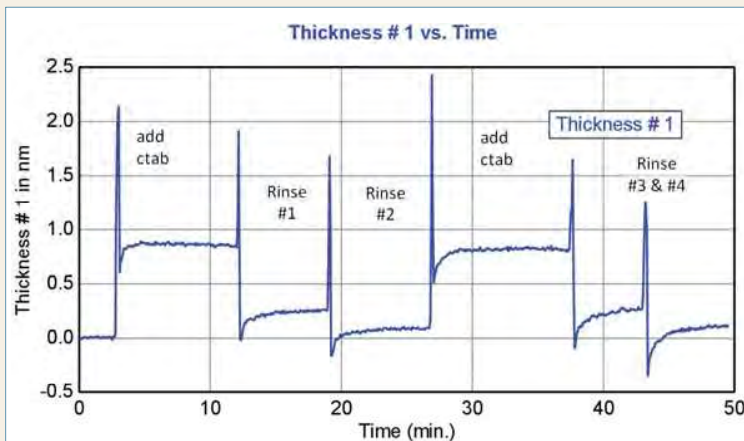
M-2000 是在线监控和过程控制的理想工具。它已经成功的用于许多不同的过程中，提供实时结果：

- MBE
- Plasma etch
- Liquid Cell
- ALD
- Cryostat
- PECVD
- Sputter
- ECR
- Heat Stages
- E-beam evaporators
- MOCVD
- PLD

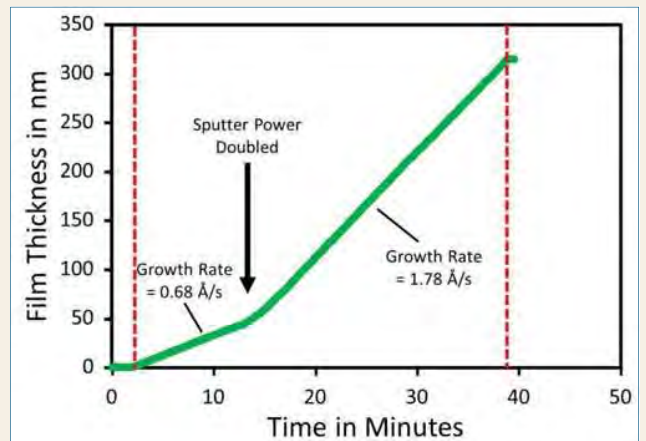
在实时测量中，椭偏仪通常用来测量生长速率或蚀刻速率，光学常数随过程条件变化的变化，跟踪光学常数随温度的变化，确定材料特性的跃变，以及监测亚单层膜在液体中的吸收灵敏度。



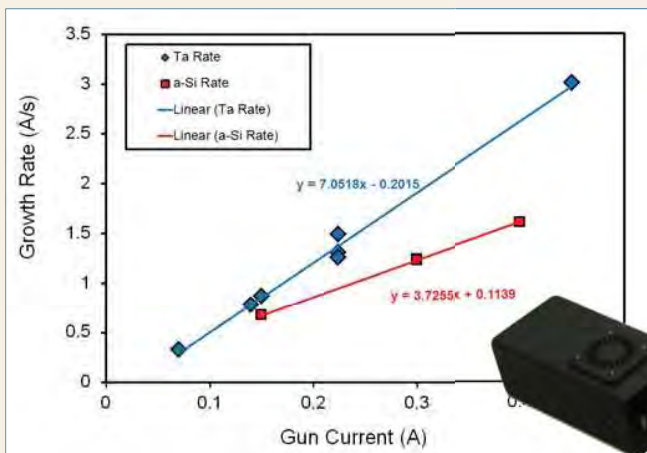
M-2000 椭偏仪安装在一个自动薄膜沉积腔上。



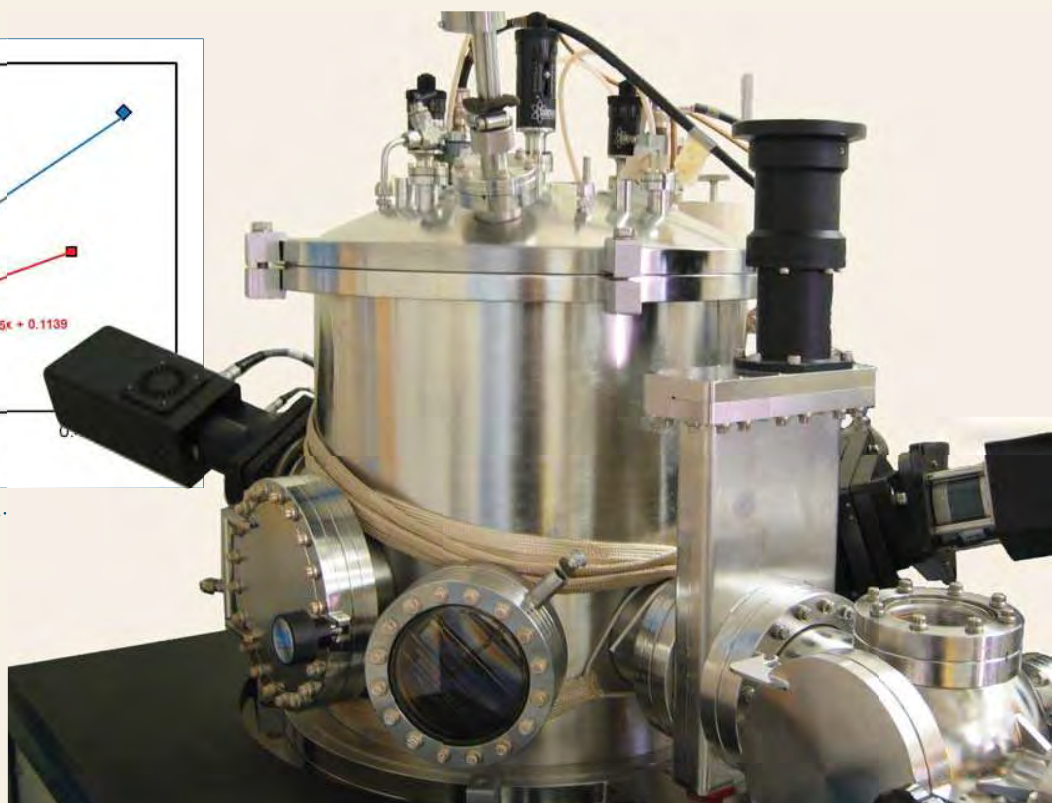
监测亚单层膜敏感性液体的吸收。



M-2000 安装在溅射腔上，监测生长或蚀刻率。



监测薄膜特性(厚度,n,k)随过程条件的变化的变化。



# 高级测量

除了高精度的椭偏测量，M-2000® 还可以对复杂样品进行高级测量：

## 反射及透射光强

在多角度及多波长下测量反射率 (%R) 和透射率 (%T)。

## 各向异性测量

M-2000 可对各向异性样品进行广义椭偏测量，以提供更完全的测量信息。测量数据中不但包括常规椭偏测量，而且还包括一些特殊项目用以描述样品的交叉偏振特性。各向异性材料包括：塑料基底、液晶层和非立方晶系的晶体。

## 穆勒矩阵

对于既有各向异性，又有退偏振效应的复杂样品，最完整方案是穆勒矩阵测量。M-2000 可以测量 11 个穆勒矩阵元——对于较复杂的样品是非常适合的。

## 退偏测量

退偏振的测量可以量化薄膜厚度不均匀、刻线图形层及不相干背面反射的影响。

## 技术参数

### 波长范围:

M2000V	370-1000nm, 390 wavelengths
M2000VI	370-1690nm, 590 wavelengths
M2000U	245-1000nm, 470 wavelengths
M2000UI	245-1690nm, 670 wavelengths
M2000X-210	210-1000nm, 490 wavelengths
M2000XI-210	210-1690nm, 690 wavelengths
M2000D	193-1000nm, 500 wavelengths
M2000DI	193-1690nm, 700 wavelengths

### 系统综述:

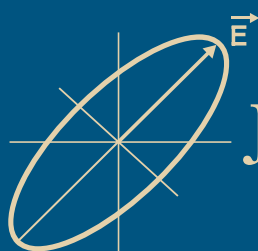
旋转补偿椭偏专利技术，  
CCD 同时快速测量所有波长，  
灵活多变的系统配置

### 角度范围:

Fixed Angle	60° or 65°
Manual Angle	45° - 90°
Horz. Auto Angle	45° - 90°
Vert. Auto Angle	20° - 90°
Focusing	65°

### 数据采集速率:

每秒采集数据 20 次，为了达到最优的信噪比，整个光谱范围典型采样时间在 0.5 到 5 秒之间



J.A. Woollam Co., Inc.

645 M Street, Suite 102 • Lincoln, NE 68508 • USA  
Ph. 402-477-7501 • Fx. 402-477-8214  
[www.jawoollam.com](http://www.jawoollam.com)