

# SPM 探针的针尖曲率半径对表面形貌扫描的影响

SPM-019

**摘要：**扫描探针显微镜是利用探针针尖尖端原子与样品表面原子或分子存在极微弱的引力或斥力，使得探针微悬臂发生不同程度的弯曲，最终会导致激光在检测器上的位置发生变化，从而得到样品的表面形貌信息。由于探针针尖直接作用于样品表面，因此其针尖的尺寸对于样品的表面形貌测试非常重要。本文采用扫描探针显微镜，使用不同曲率半径的探针，对同样品的表面形貌进行了对比测试，希望能够帮助大家对 SPM 测试时的探针选型提供一定的指导参考。

**关键词：**扫描探针显微镜 表面形貌 探针型号 针尖曲率半径

扫描探针显微镜 SPM 是一种用来研究包括绝缘体在内的材料表面结构的分析仪器。它利用一根微小的探针在样品表面进行扫描，当样品的表面有起伏变化时，探针针尖与样品间的作用力发生变化，从而导致探针的微悬臂产生一定的弯曲，微悬臂的弯曲又导致激光在检测器上的位置发生变化，最终通过反馈系统，以纳米级分辨率反映出样品的表面结构信

息。在整个 SPM 扫描过程中，探针的作用至关重要，而探针针尖的曲率半径是影响样品表面形貌测试的关键因素之一。本文采用岛津扫描探针显微镜 SPM-9700HT，结合两种相同形状、不同针尖曲率半径的探针测试了同一样品的表面形貌，从而研究相同条件下不同的针尖曲率半径对样品表面形貌的影响，希望对 SPM 测试时探针的选型提供一定的参考。

## ■ 实验部分

### 1.1 仪器



图 1 扫描探针显微镜 SPM-9700HT

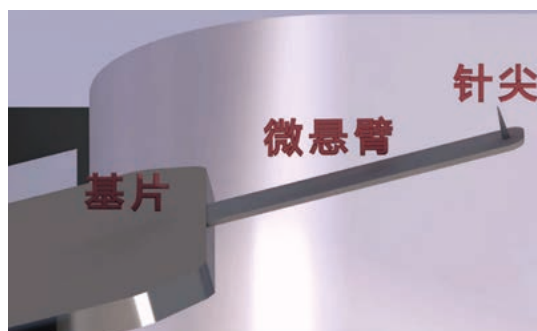


图 2 探针示意图

## ■ 样品前处理

### 1.2 分析条件

功能模式：动态模式

扫描范围：2  $\mu\text{m}$  x 2  $\mu\text{m}$ 、4  $\mu\text{m}$  x 4  $\mu\text{m}$

扫描环境：大气环境

像素：512 x 512

探针：NCHR ( 针尖曲率半径为 15 nm)、SSS-NCH-SPL ( 针尖曲率半径为 2 nm)

### 1.3 样品

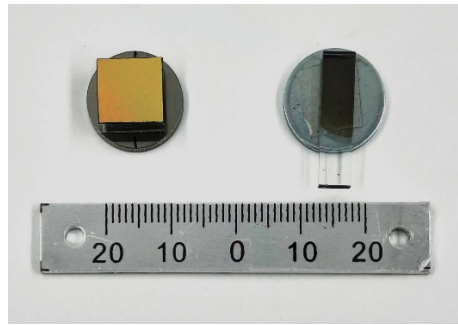


图3 样品图片 (左：光栅；右：镀膜 ITO 玻璃)

### 1.4 测试过程

将 2 个样品分别用双面胶固定在不锈钢样品台上，采用扫描探针显微镜 SPM-9700HT 进行表面形貌测试。每个样品先后采用不同针尖曲率半径 (15 nm 和 2 nm) 的探针 (力常数相同) 进行测试，测试前用洁净气体轻吹样品表面。

## ■ 结果与讨论

随机选取样品的某一区域，使用 SPM-9700HT 的动态模式对 2 个样品进行表面形貌扫描测试。光栅样品的表面形貌以及剖面分析见图 4 和图 5。分别选取光栅样品表面形貌图中的上、中、下三个位置进行剖面分析，每个位置的剖面线读取三个凸起平台的宽度，具体数值见红色框标记。探针针尖曲率半径为 15 nm 时，光栅表面形貌图 (图 4) 的上、中、下三个位置的凸起平台宽度平均值分别为：0.68  $\mu\text{m}$ 、0.69  $\mu\text{m}$  和 0.70  $\mu\text{m}$ ；探针针尖曲率半径为 2 nm 时，光栅表面形貌图 (图 5) 的上、中、下三个位置的凸起平台宽度平均值分别为：0.63  $\mu\text{m}$ 、0.64  $\mu\text{m}$  和 0.64  $\mu\text{m}$ ，比针尖曲率半径为 15 nm 时测试的凸起平台宽度约小 0.05  $\mu\text{m}$ 。

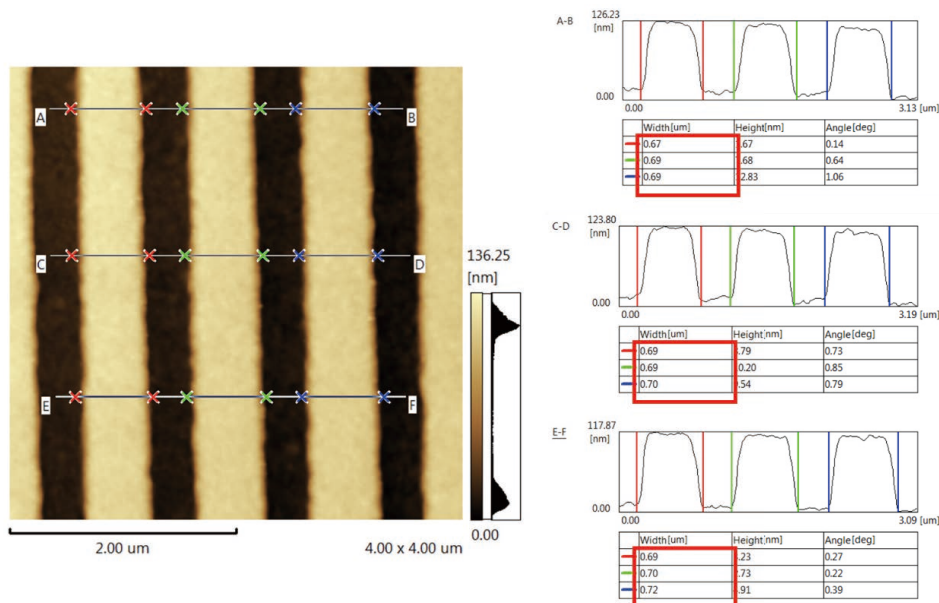


图4 光栅表面形貌图以及剖面分析 (针尖曲率半径 15 nm)

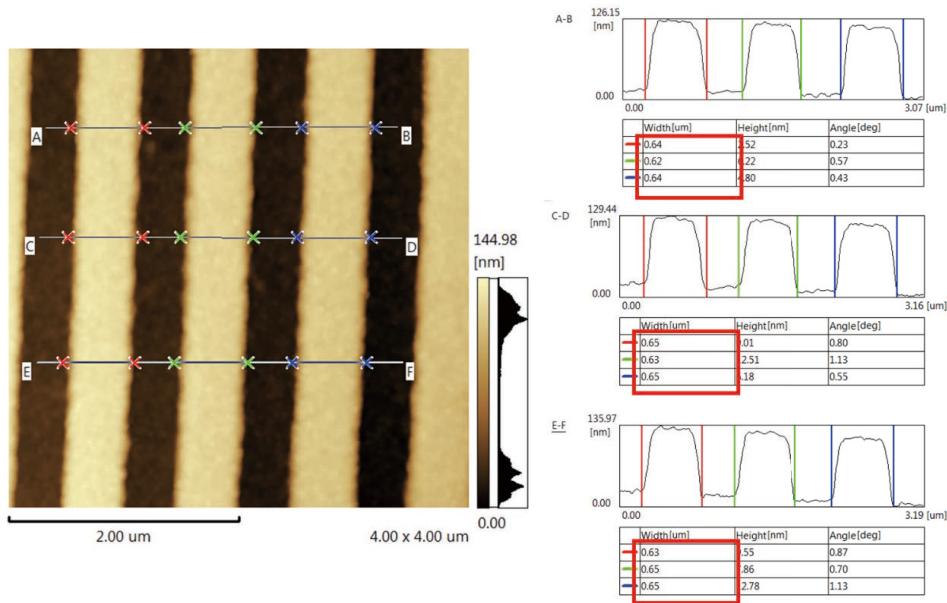


图5 光栅表面形貌图以及剖面分析（针尖曲率半径 2 nm）

为了进一步探究探针针尖曲率半径尺寸对 SPM 所测表面形貌图的影响，随机选取镀膜 ITO 玻璃样品的某一区域，采用 SPM-9700HT 以及不同针尖曲率半径的探针进行表面形貌扫描测试，获取了  $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$  和  $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$  范围内的形貌图（图 6 和图 7）。对比针尖曲率半径为 15 nm 和 2 nm 的探针获取的形貌图发现，虽然所用探针的针尖曲率半径不同，从形貌图上均可以观察到样品表面的颗粒状结构；但是探针针尖曲率半径为 15 nm 时所测试的颗粒外形较为圆润，尺寸较大；而探针针尖曲率半径为 2 nm 时所测试的颗粒外形更加粗糙，尺寸较小。这是由于探针针尖的曲率半径较小时，对颗粒形貌的影响较小，可以更加准确的反映颗粒的表面形貌情况。此外，通过软件计算，得到了样品在  $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$  扫描范围内的表面粗糙度数值（见表 1），即针尖曲率半径为 15 nm 时，样品相应的均方根粗糙度较小， $R_q=7.205\ \text{nm}$ ；而针尖曲率半径为 2 nm 时，样品相应的均方根粗糙度较大， $R_q=9.098\ \text{nm}$ 。为了更加直观地比较不同针尖曲率半径的探针所测试的形貌图差异，对  $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$  范围内的二维图像进行了三维转换，得到了样品的三维形貌图（见图 8），从三维图 8 中可以直观地观察到样品表面的颗粒大小差异。

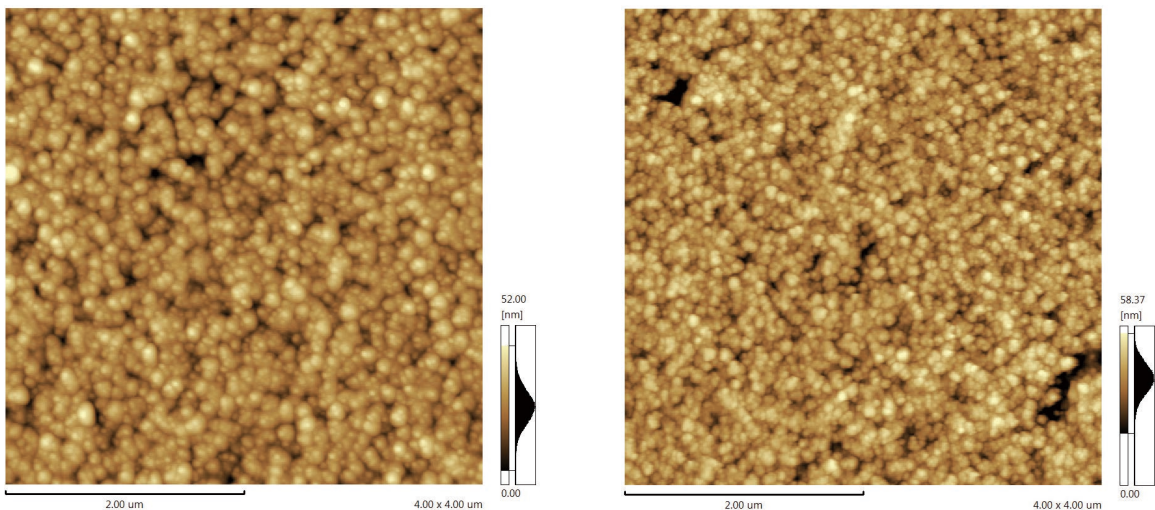


图6 镀膜样品的表面形貌图（ $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$ ；左：针尖曲率半径 15 nm，右：针尖曲率半径 2 nm）



表 1 不同曲率半径的探针获取的样品粗糙度值 (4  $\mu\text{m}$  x 4  $\mu\text{m}$ )

探针针尖曲率半径	粗糙度值 Rq
15 nm	7.205 nm
2 nm	9.098 nm

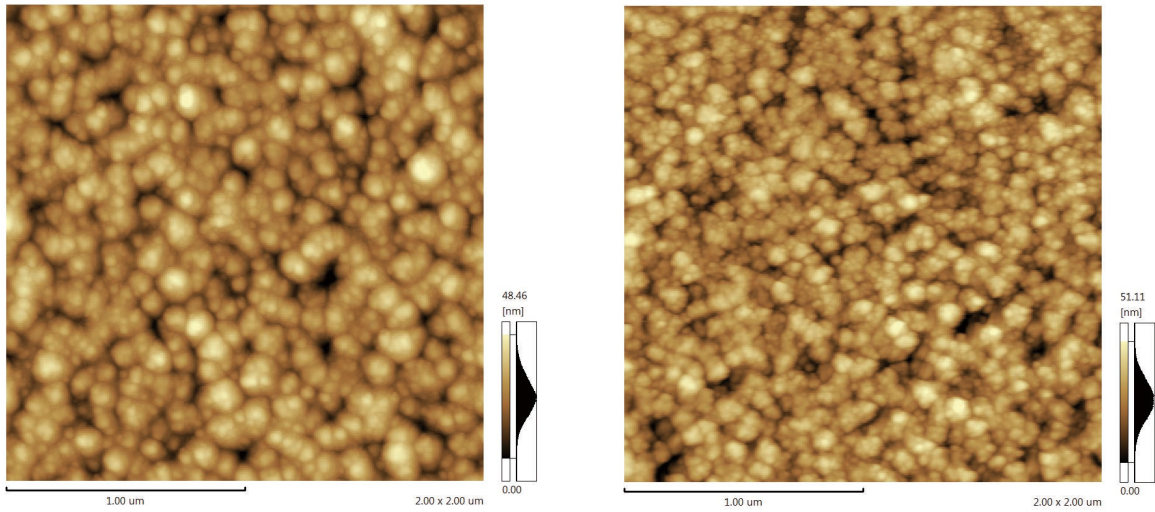


图 7 镀膜样品的表面形貌图 (2  $\mu\text{m}$  x 2  $\mu\text{m}$ ; 左: 针尖曲率半径 15 nm, 右: 针尖曲率半径 2 nm)

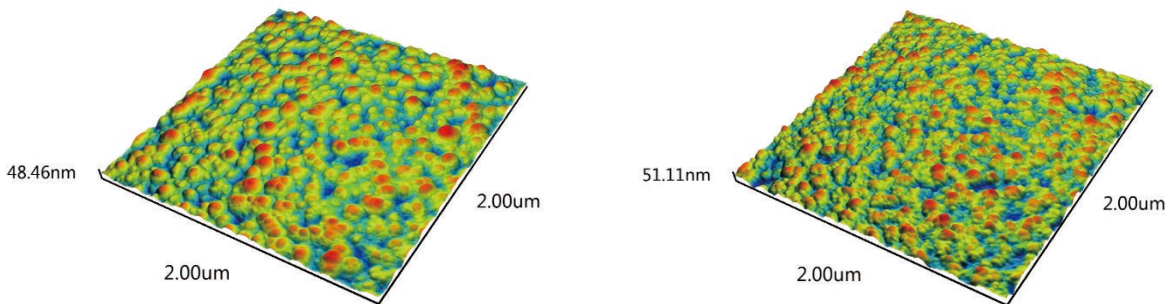


图 8 镀膜样品的三维形貌图 (2  $\mu\text{m}$  x 2  $\mu\text{m}$ ; 左: 针尖曲率半径 15 nm, 右: 针尖曲率半径 2 nm)

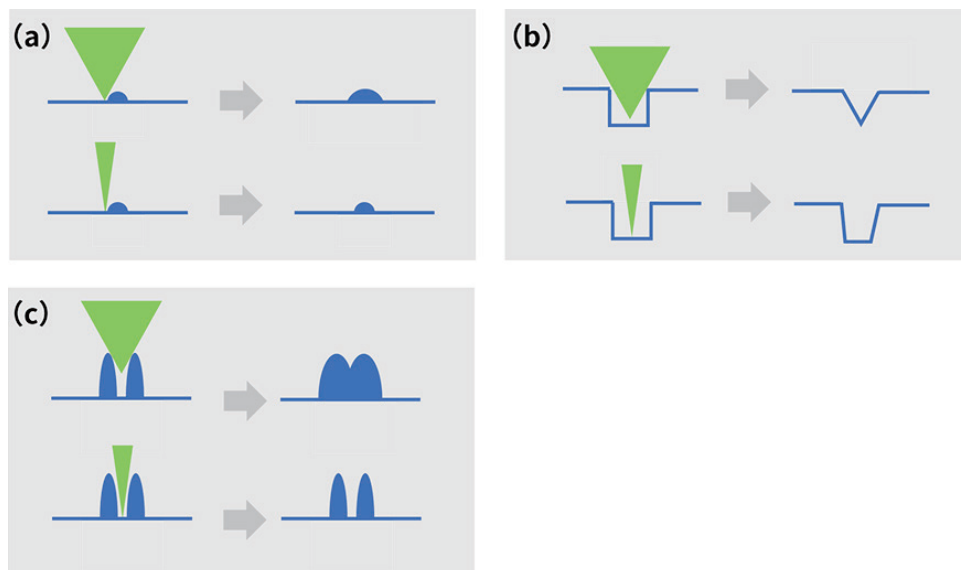


图 9 探针曲率半径不同导致的扫描图像差异示意图

除了上文测试的图像差异，图 9 还列举了几种比较常见的由于探针针尖曲率半径不同而导致的扫描图像不一致的情况。图 9(a) 是由于探针的曲率半径较宽时，扫描图像出现展宽。图 9(b) 和 (c) 是由于探针曲率半径较大，无法跟踪较为狭小的缝隙，扫描图像出现失真。

## ■ 总结

岛津扫描探针显微镜 SPM 具有快速响应的高速扫描器、独特的头部滑移结构以及丰富的测量模式，除了普通的形貌扫描，还可拓展电流、电势、磁力以及纳米力学测量等功能。本文使用岛津扫描探针显微镜结合不同针尖曲率半径的探针对样品的表面形貌进行了测试。实验结果表明，使用不同针尖曲率半径的探针获取的表面形貌图呈现出一定的差异，尤其对于颗粒尺寸较小的镀膜样品，表面形貌的细节差异较大，为 SPM 测试样品时探针型号的选择提供一定的参考。

岛津应用云

