



中国人民大学化学与生命资源学院  
SCHOOL OF CHEMISTRY AND LIFE RESOURCES, RENMIN UNIVERSITY OF CHINA

理化分析测试中心  
INSTRUMENTAL ANALYSIS CENTER (IAC)

# [Dimension Icon 原子力显微镜] 操作指南

制作团队：王美娇，赫欣宇

指导老师：关丽

# 中国人民大学化学与生命资源学院

## 一、仪器基本信息

1. 仪器型号：Dimension Icon 原子力显微镜
2. 生产厂家：布鲁克科学仪器纳米公司（BSI）
3. 核心功能：实时地观察单个原子在物质表面的排列状态和与表面电子行为有关的物理、化学性质，适用于表面科学、材料科学和生命科学等领域
4. 关键参数：
  - a. 扫描器噪音：RMS 0.03nm(垂直方向)，横向分辨率：0.1nm (XY 方向)。
  - b. 扫描器范围:XY 方向最大扫描范围 90  $\mu\text{m}$ ，Z 方向 10  $\mu\text{m}$ 。
  - c. 样品台直径 210 mm，最大样品厚度 $\geq$ 15 mm。
  - d. 光学系统：500 万像素 CCD，1.5 微米光学分辨率，180 $\mu\text{m}$ -1465  $\mu\text{m}$  预览视场区域
5. 放置位置：理工楼 108
6. 责任人：关丽

## 二、操作前准备

### 2.1 人员要求

- 操作人员需完成 Dimension Icon 原子力显微镜培训并通过考核

### 2.2 仪器检查

- 外观检查：确认仪器外壳无破损、接口无松动，电源线 / 数据线连接牢固；
- 确认没有任何障碍物阻碍样品台的移动。
- 确认实际电压与系统设定的工作电压相符合，确认所有的线缆都已正确连接。确保操作环境符合要求且防震台处于正常工作状态；
- 要保证样品的清洁，这样不仅可以保证测试结果的真实性和美观，也有利于保护探针，因为被污染的样品锁附带的颗粒极易在扫描过程中粘附在探针上

### **三、标准操作流程**

#### **3.1 Dimension Icon SPM 系统基本操作**

##### **3.1.1 开机**

- a. 打开计算机主机、显示器。
- b. 打开 Nanoscope 控制器。
- c. 打开 Dimension Stage 控制器。

注意：对于运行 Windows XP 的系统，开机顺序必须是先打开计算机主机，再打开控制器。

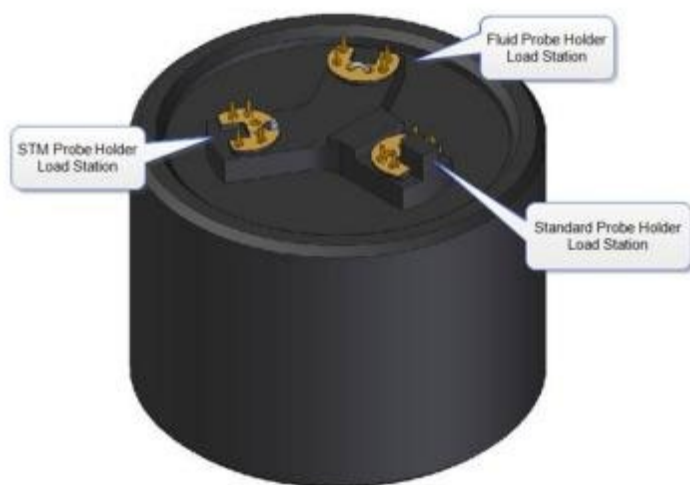
##### **3.1.2 安装探针**

- a. 选择合适的探针和探针夹。对于空气中的 Tapping 模式，一般选择 RTESP 探针；对于空气中的 Contact 模式，一般选择 DNP 或 SNL 探针。如果在液体中操作，无论 Tapping 还是 Contact 模式，都选择 DNP 或 SNL 探针。

注意：实际使用的探针种类应根据测量需求恰当选择。可以使用其他合适的探针来代替推荐的探针进行成像。

b. 安装探针。将装针器平放在桌面上，将探针夹滑入装针器相应的位置。对于最常使用的空气中的 Tapping/Contact 探针夹，装针时，将探针夹上的弹簧片后端压下，并向后拉。用镊子小心地将探针夹紧放入探针夹凹槽里，使探针后部正好与凹槽里的边缘相抵。轻轻地将弹簧片压住向前推动，然后松开手指，使弹簧片压紧探针。

注意：装针器上有三个不同的位置分别对应于空气中的 Tapping/Contact 探针夹，用于液下成像的探针夹以及 STM 探针夹。使用时请选择合适的位置。



c. 安装探针夹。旋转松开位于扫描头卡槽右侧中部的螺丝，释放扫描头，小心地将扫描头从卡槽上部取出。必要时可以拔掉扫描头和显微镜的连接线。将扫描头倒置，将探针夹对准扫描头底部的四个触点轻轻插入。然后把装好探针夹的扫描头轻轻沿卡槽放回显微镜基座，并旋转拧紧位于扫描头卡槽右侧中部的螺丝，将扫描头固定住。



注意：如果换了新的探针夹，单击“Navigate”界面下的



图标。这将使样品台移到底座前端，有助于调节激光。

注意：操作时务必注意控制探针和样品台之间的距离。如果探针和样品台距离过近，请执行 Withdraw 命令多次。或者点击

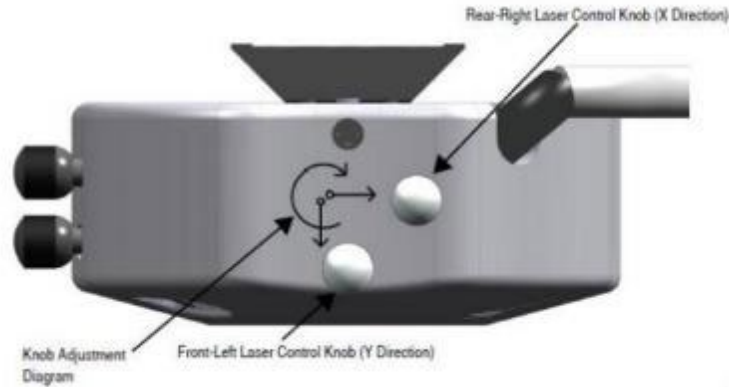


“Navigate”界面中的 图标，向上移动扫描管，保证扫描管不会在样品台移动过程中发生损害。

### 3.1.3 调节激光

#### 3.1.3.1 将激光打在悬臂前端（阴影法）

Head 上部右侧有两个激光调节旋钮，并有两个箭头标明了顺时针旋转激光调节旋钮时激光光斑位置的移动方向。



对于矩形悬臂的探针，按照以下步骤调节激光：

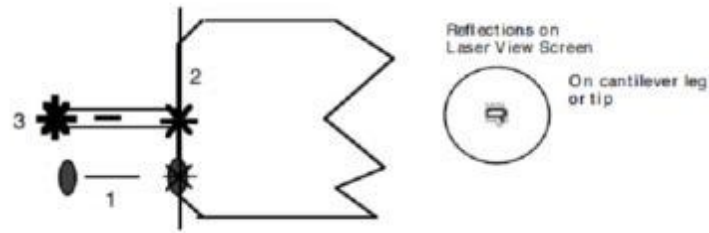
a. 取一张白纸置于扫描管正下方，红色的激光光斑将反映在白纸上。若看不到激光光斑，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑。

注意：在通常情况下，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮可以将激光光斑调出，但若激光光斑远远偏离正常位置，可能无论如何旋转右后方的激光调节旋钮也无法看到激光光斑。此时请目测激光点打在探针夹上的位置，使用两个调节旋钮将激光光斑调节到正常位置。

b. 顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑消失。这时，激光应该打在探针基底的左侧边缘上。逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好出现。

c. 顺时针或逆时针旋转左前方的激光调节旋钮，直到激光光斑突然变暗，继续旋转旋钮则又变亮。调回光斑突然变暗的位置，此时激光应该打在悬臂的后端。

d. 逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑。顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好消失，此时激光应该打在悬臂的最前端。



对于三角形悬臂梁的探针（一般为氮化硅探针，这里以两个悬臂的氮化硅探针为例进行说明），按照以下步骤调节激光：

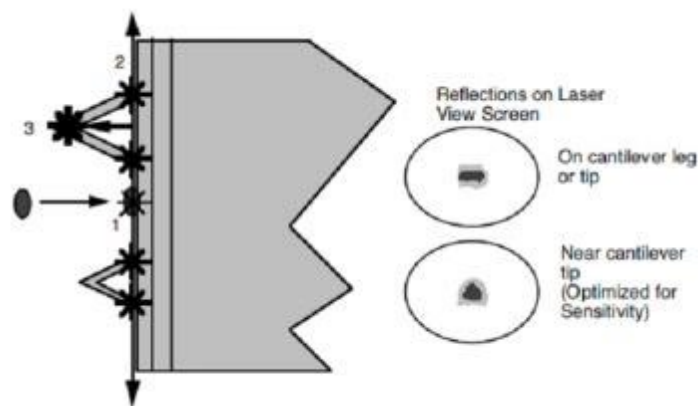
a. 取一张白纸置于扫描管正下方，红色的激光光斑将反映在白纸上。若看不到激光光斑，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑。

注意：在通常情况下，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮可以将激光光斑调出，但若激光光斑远远偏离正常位置，可能无论如何旋转右后方的激光调节旋钮也无法看到激光光斑。此时请目测激光点打在探针夹上的位置，使用两个调节旋钮将激光光斑调节到正常位置。

b. 顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑消失。这时，激光应该打在探针基底的左侧边缘上。逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好出现。

c. 顺时针或逆时针旋转左前方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑被遮挡两次。调回两次相继遮挡位置的中心位置，此时激光应该打在三角悬臂的镂空处。匀速旋转旋钮，可以根据两次遮挡出现的间隔来判断悬臂的大小。

d. 逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑被挡住后又再次出现。顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好消失，此时激光应该打在悬臂的最前端。

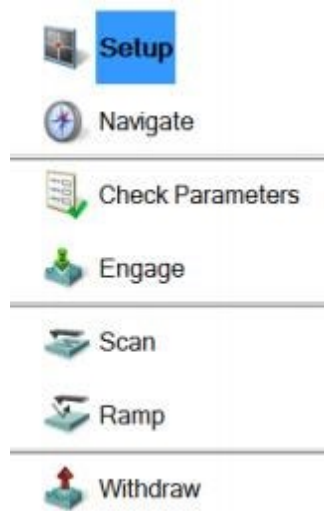


### 3.1.3.2 将激光打在悬臂前端（Alignment Station 法）

在 Dimension Icon 中，还有一种很方便的方法，那就是使用 AlignmentStation。

其具体的操作步骤如下：

a. 进入“Setup”界面。



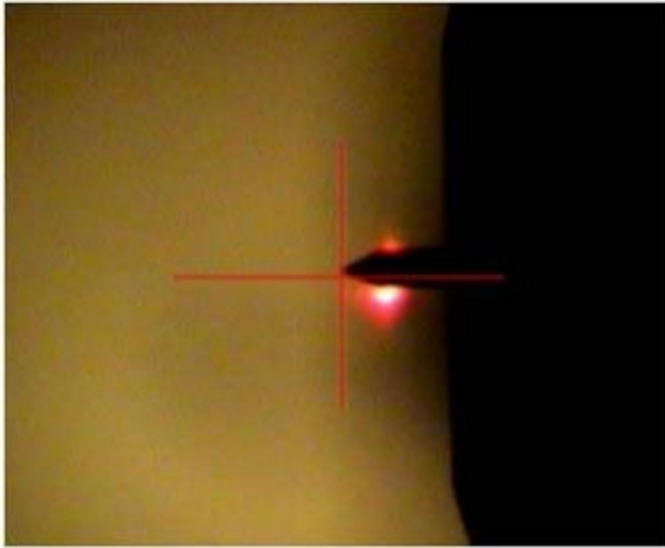
b. 点击“Move to the Alignment Station”。



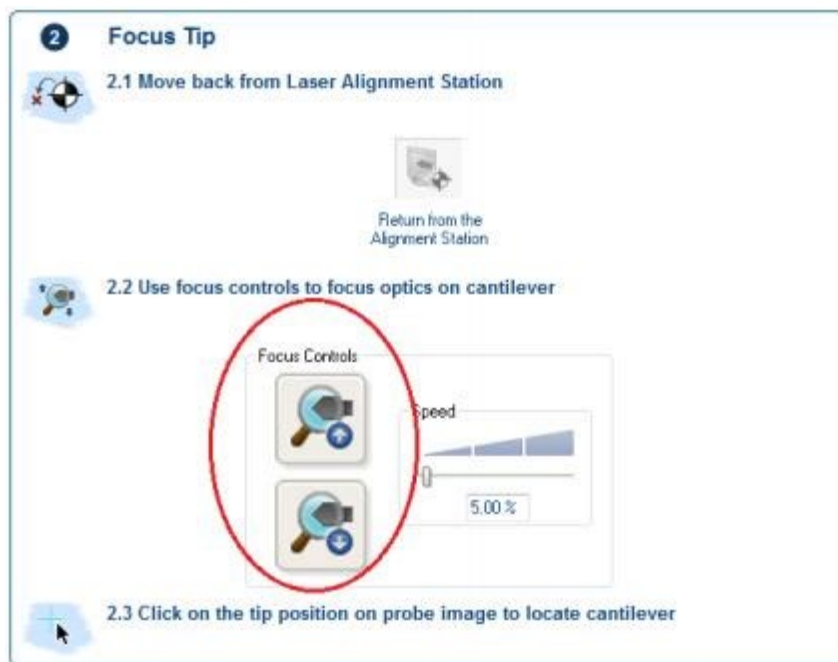
c. 样品台移动至 Alignment Station 处于探针下方。



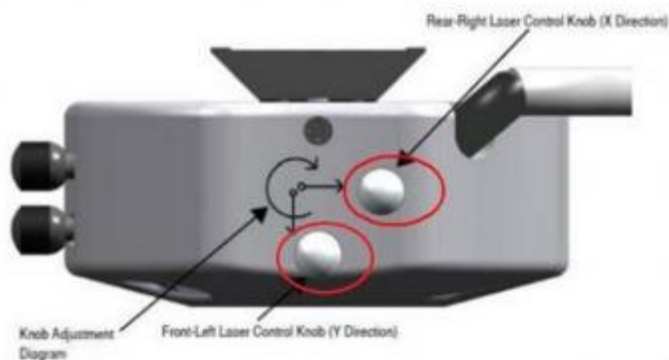
d. 视频将显示探针影像以及激光光斑。



注意：若探针影像模糊，可调节“Focus Controls”将影像调清晰。



e. 借助视频，调节 Head 顶部的激光入射旋钮，将光斑调到探针悬臂的前部。



f. 点击“Return from the Alignment Station”，视频窗口将显示探针实像。调节“Focus Controls”使实像清晰。

**2 Focus Tip**

2.1 Move back from Laser Alignment Station

Return from the Alignment Station

2.2 Use focus controls to focus optics on cantilever

Focus Controls:

Speed 5.00%

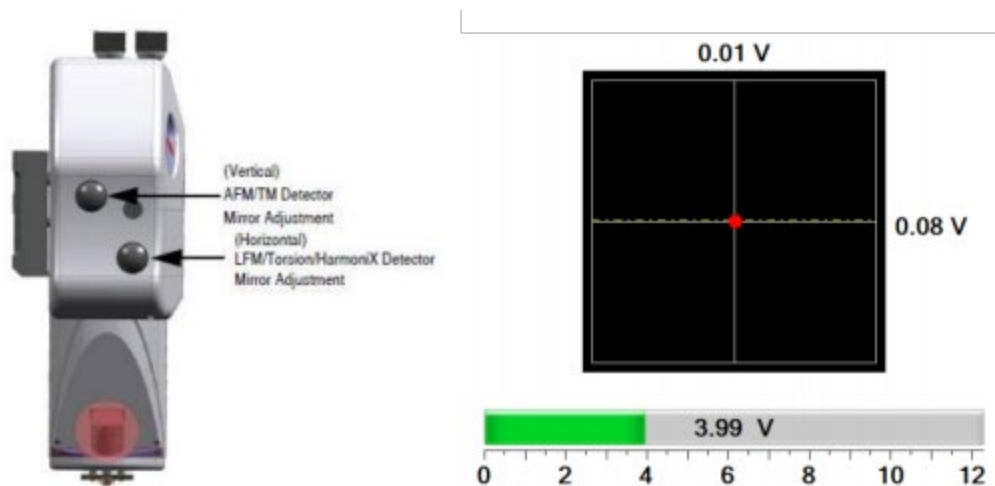
2.3 Click on the tip position on probe image to locate cantilever

The screenshot shows a software interface with three numbered steps. Step 2.1 shows a 'Return from the Alignment Station' button circled in red. Step 2.2 shows 'Focus Controls' buttons and a 'Speed' slider set to 5.00%, both circled in red. Step 2.3 shows a cursor icon over a probe image.



### 3.1.3.3 调整检测器位置

Head 左侧有两个检测器位置调节旋钮。旋转这两个旋钮，同时观察显示器上示意图的数值，调节 Vert. Defl. 和 Hori. Defl. 到合适的值。



Vert. Defl.、Hori. Defl. 和 SUM 值，也可以通过 Stage 样品台左上方的 LED 显示屏直接读出。



对于 Tapping 模式，将显示器上 “Setup” 界面中示意图显示红色圆点调整到 Detector 的中心。此时 Vert. Defl. 和 Hori. Defl.（不可见）都在 0 V 附近。

对于 Contact 模式，将 Hori. Defl. 调节到 0 V 附近。在 Deflection Setpoint 预设为 0 V 的情况下，将 Vert. Defl. 调节到 -2 V 附近。

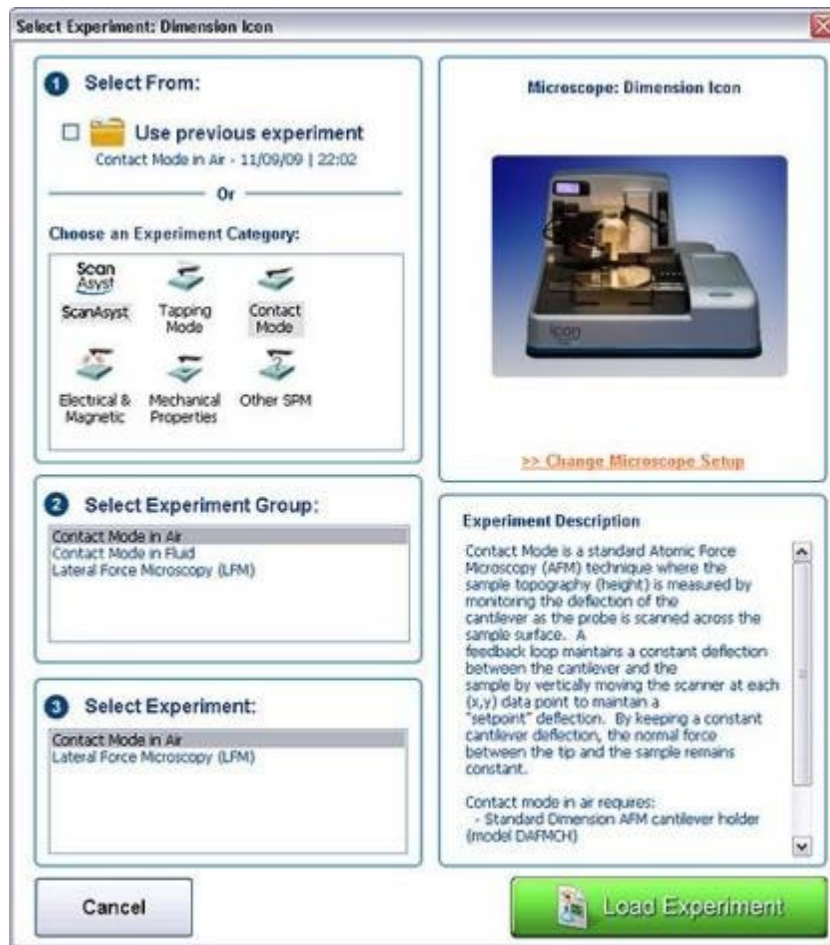
注意：Contact 模式下实际的 Deflection Setpoint = 设定的 Deflection Setpoint - 进针之前的 Vert. Deflection.。

正确调节完毕后，对于无金属反射镀层的探针（如用于 Tapping 模式的 RTESP 探针），SUM 值应在 1.5 V ~ 2.5 V，对于有金属反射镀层的探针（如用于 Contact 模式的 DNP 或 SNL 探针），SUM 值应在 3.5 ~ 7.5 V。

注意：上述 SUM 值可能随探针批次的不同以及制作工艺的微小差别而改变，个别探针的 SUM 值可能不在上述范围内。

### 3.1.4 启动软件

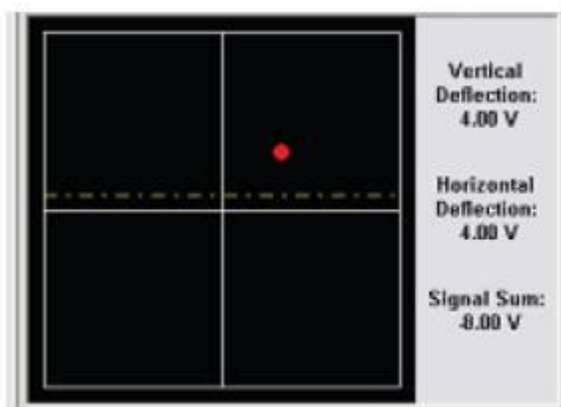
- a. 双击桌面 Nanoscope 软件图标；
- b. 进入实验选择界面，根据实验方案，按照界面所示进行选择，第一步选择实验方案，第二步选择实验环境，第三步选择实验具体操作模式；
- c. 结束上述步骤后，单击界面右下方图标“Load Experiment”，进入具体实验设置界面。



### 3.1.5 在视野中找到探针

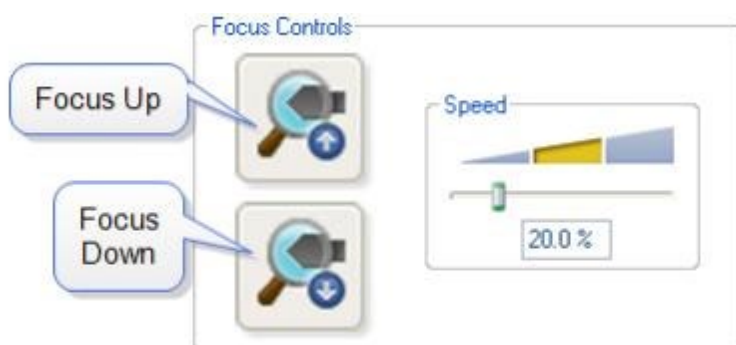
注意：在视野中预先找到探针位置非常重要。若不如此做，可能会发生撞针的情况。

a. 点击“Setup”进入激光调节和 CCD 焦距调节界面，找到针尖。点击“Align”图标，出现激光调节窗口。



b. 按照 2.3 节所描述的步骤将激光调节好。2.3 节所描述的是一般的激光调节方法。对于 Dimension Icon，也可以使用 Alignment Station 辅助调好激光。

c. 使用“FOCUS UP”或者“FOCUS DOWN”图标找到探针位置后，用鼠标在探针位置处单击，即有一十字叉标记在单击位置。在 CCD 窗口中设置合适的放大倍数，将探针位置调节到视野中央。



### 3.1.6 进样

#### 3.1.6.1 样品准备

对于较小的样品，可以将其粘在随机器提供的样品托上。

a. 将表面处理达到测试要求的样品裁剪至边长不超过 15 毫米。

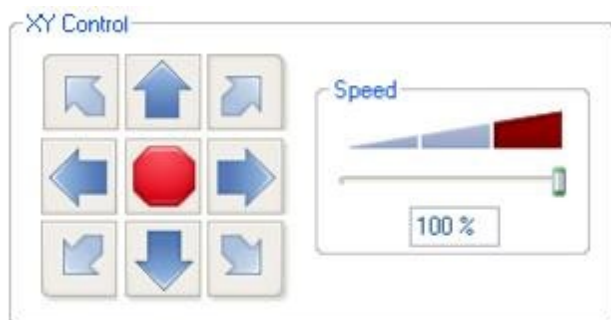
- b. 将样品用双面胶粘在仪器配套的尺寸合适的金属样品托上。若测量样品的电学性质，需用导电胶固定样品到样品托。
- c. 将提供的磁性样品盘固定于样品台上适当的位置。
- d. 将粘好样品的样品托吸附在磁性样品盘上。



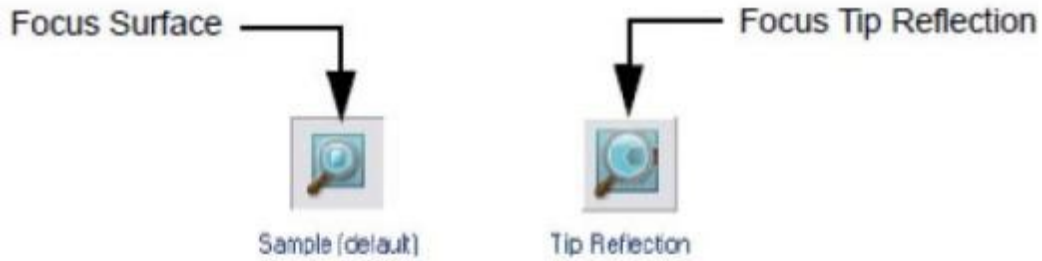
对于较大的样品，将显微镜基座上的 Vacuum 按钮置于 On 的位置，此时真空打开，将样品吸附在样品台上。

### 3.1.6.2 聚焦样品

- a. 点击“Navigate”图标，此时可以移动样品台位置以及 Head 的位置。
- b. 使用 XY Stage Control 移动样品台，使样品位于 Head 正下方。




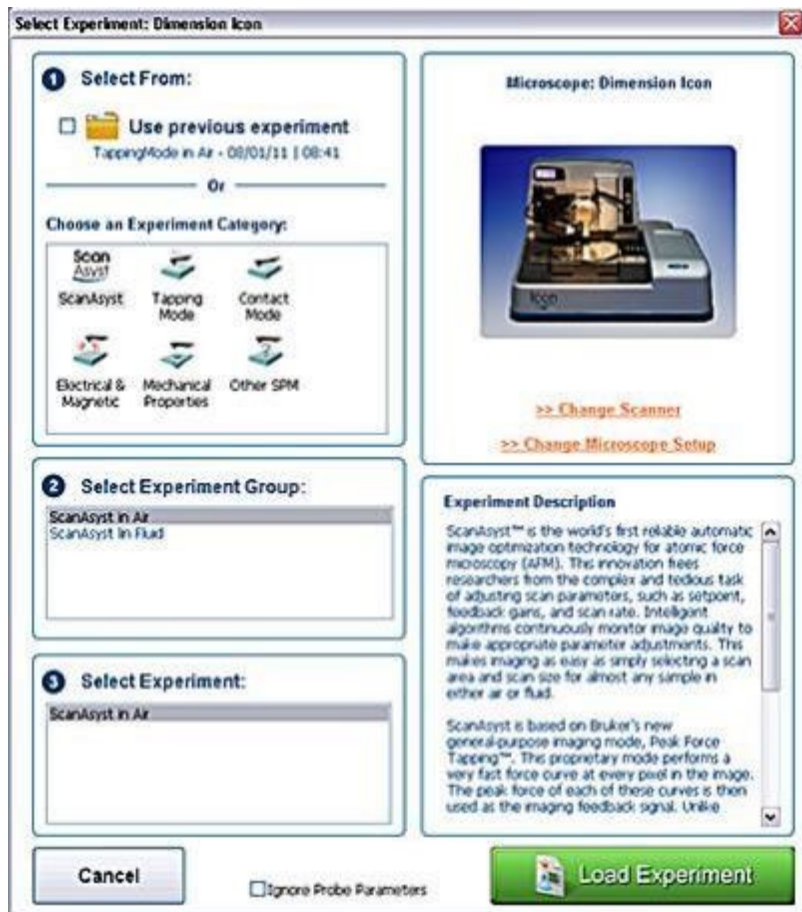
c. 使用 Scan Head 的控制按钮移动 Head，使 Head 逐渐接近样品表面，直到看清样品表面为止。一般情况下，选择聚焦到样品表面，但如果样品表面是透明的，则可以选择聚焦到探针的倒影。




### 3.1.7 扫描图像

#### 3.1.7.1 ScanAsyst 模式

a. 点击实验方案选择图标，打开实验方案选择  界面

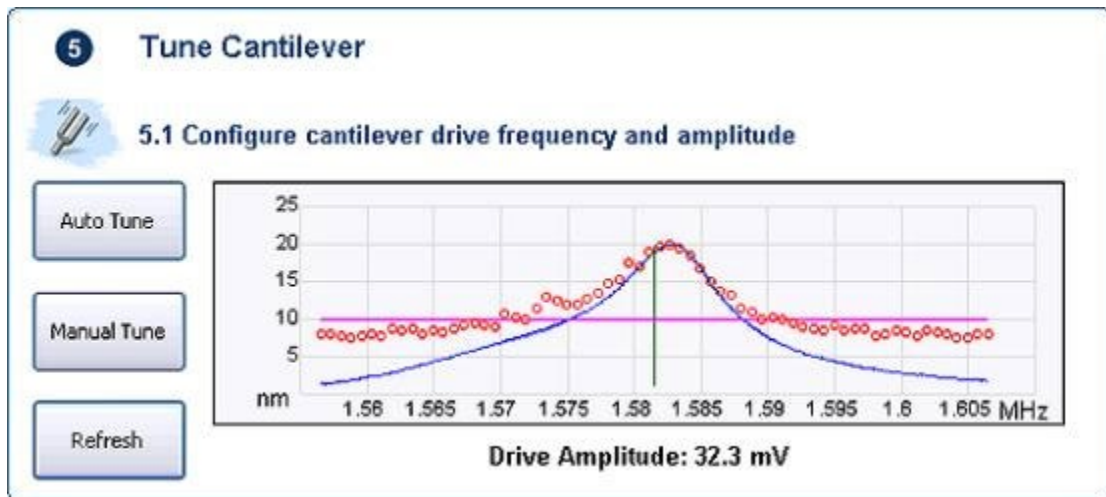


- b. 选择实验具体模式，ScanAsyst。
- c. 选择实验环境，Air。
- d. 进入实验界面。
- e. 根据上面提到的步骤，调整激光，并将 Head 靠近样品表面以看清样品。
- f. 点击“Check Parameters”图标，进入实验参数设置。
- g. 设定以下扫描参数：Scan size 小于 1 um, X offset 和 Y offset 设为 0, Scan angle 设为 0, ScanAsyst Auto Control 设为 ON。
- h. 点击 Engage  进针。
- i. 进针结束开始扫图。将 Scan size 设置成要扫描的范围。

### 3.1.7.2 Tapping 模式



- a. 点击实验方案选择图标，打开实验方案选择界面。
- b. 选择实验具体模式，Tapping Mode。
- c. 选择实验环境，Air。
- d. 进入实验界面。
- e. 根据上面提到的步骤，调整激光，并将 Head 靠近样品表面以看清样品。
- f. 点击“Check Parameters”图标，进入实验参数设置。
- g. 设定以下扫描参数：Scan size 小于 1 um, X offset 和 Y offset 设为 0, Scan angle 设为 0。

h. Tapping 模式需找探针固有振动频率。点击 “Auto Tune ” ，可以得到探针的共振峰。



- i. 点击 Engage 进针。
- j. 进针结束开始扫图。将 Scan size 设置成要扫的形貌大小。
- k. 观察 Height Sensor 图中观察 Trace 和 Retrace 两条曲线的重合情况。
  - l. 优化 Setpoint。在 Tapping 模式下，调节 Amplitude setpoint 直到 Trace 和 Retrace 两条扫描线基本一致。
  - m. 优化 Integral gain 和 Proportional gain。一般的调节方法为：增大 Integral gain，使 Trace 和 Retrace 曲线开始震荡，然后减小 Integral gain 直到震荡消失，接下来用相同的办法来调节 Proportional gain。通过调节增益来使两条扫描线基本重合并且没有震荡。
  - n. 调节扫描范围和扫描速率。随着扫描范围的增大，扫描速率必须相应降低。大的扫描速率会减少漂移现象，但一般只用于扫描小范围的很平的表面。
  - o. 如果样品很平，可以适当减小 Z Range 的数值，这将提高 Z 方向的分辨率。



### 3.1.7.3 Contact 模式

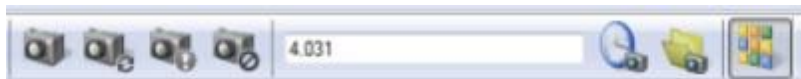
- a. 点击实验方案选择图标 ，打开实验方案选择界面。
- b. 选择实验具体模式，Contact Mode。
- c. 选择实验环境，Air。
- d. 进入实验界面。
- e. 根据上面提到的步骤，调整激光，并将 Head 靠近样品表面以看清样品。
- f. 点击“Check Parameters”图标，进入实验参数设置。
- g. 设定以下扫描参数：Scan size 小于 1 um, X offset 和 Y offset 设为 0, Scan angle 设为 0。
- h. 点击 Engage  进针。
- i. 进针结束开始扫图。将 Scan size 设置成要扫的形貌大小。
- j. 观察 Height Sensor 图中观察 Trace 和 Retrace 两条曲线的重合情况。
- k. 优化 Integral gain 和 Proportional gain。一般的调节方法为：增大 Integral gain，使 Trace 和 Retrace 曲线开始震荡，然后减小 Integral gain 直到震荡消失，接下来用相同的办法来调节 Proportional gain。通过调节增益来使两条扫描线基本重合并且没有震荡。
- l. 优化 Setpoint。在 Contact 模式中，调节 Deflection setpoint 直到 Trace 和 Retrace 两条扫描线基本一致。

m. 调节扫描范围和扫描速率。随着扫描范围的增大，扫描速率必须相应降低。大的扫描速率会减少漂移现象，但一般只用于扫描小范围的很平的表面。


n. 如果样品很平，可以适当减小 Z Range 的数值，这将提高 Z 方向的分辨率。

### 3.1.8 存图

点击  图标，对扫描图像存图，通过  可以设置文件名及存图路径。



### 3.1.9 退针

点击 Withdraw ，退针。该命令可以多次执行；可点击“Navigate”界面中的图标，向上移动扫描管，使探针远离样品表面。



### 3.1.10 关机

- a. 关闭 Nanoscope 软件。
- b. 关闭 Nanoscope 控制器。
- c. 关闭 Dimension Stage 控制器。
- d. 关闭计算机和显示器。

注意：对于运行 Windows XP 的系统，关机顺序必须是先关闭控制器，再关闭计算机。

## 3.2 液下标准操作流程

### 3.2.1 开机

- a. 打开计算机、显示器。
- b. 打开 Nanoscope 控制器。
- c. 打开 Dimension Stage 控制器。

注意：对于运行 Windows XP 的系统，开机顺序必须是先打开计算机主机，再打开控制器。

- d. 双击桌面 Nanoscope 软件图标 ，启动软件。

### 3.2.2 安装探针

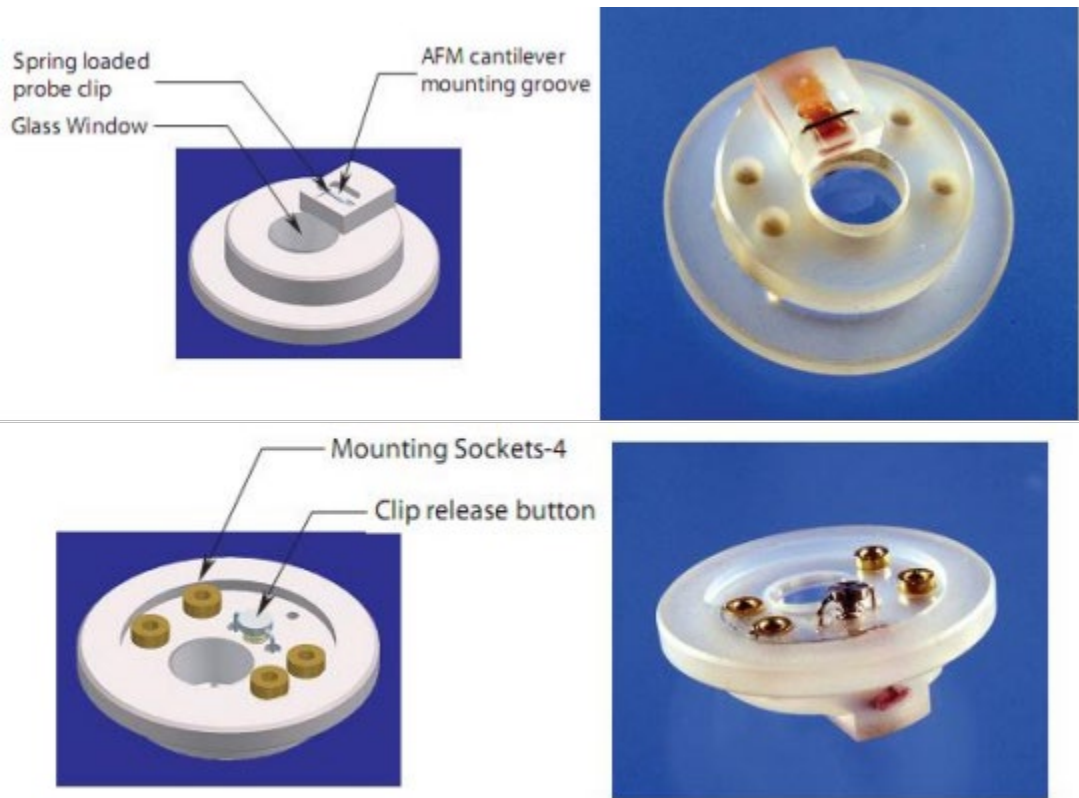
#### 3.2.2.1 探针选择

推荐使用 V 型氮化硅悬臂梁的探针，如 NP, SNL 等。

注意：实际使用的探针种类应根据测量需求恰当选择。可以使用其他合适的探针来代替推荐的探针进行成像。

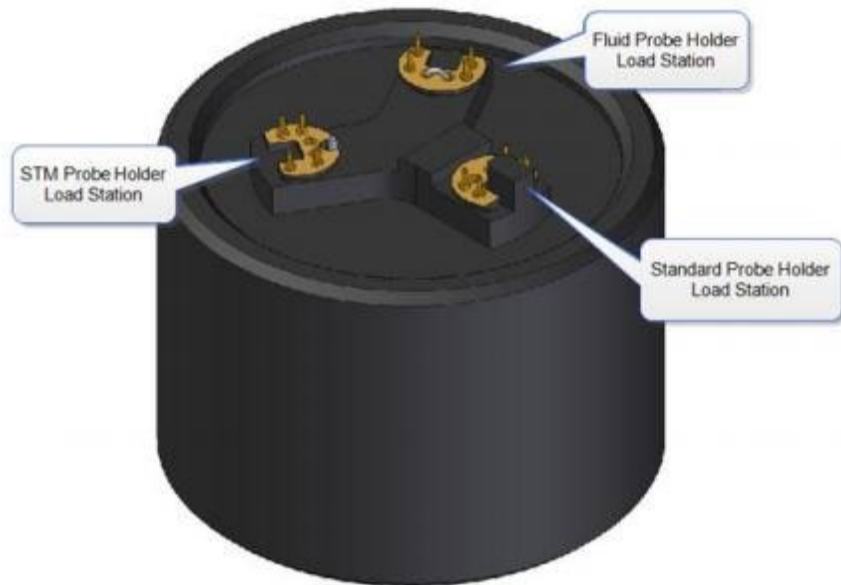
#### 3.2.2.2 用于液相操作的探针夹

Dimension Icon 的液相探针夹为一圆形结构，中心位置处有一凹槽，用于放置探针，凹槽上有一金属丝用来夹紧探针。



### 3.2.2.3 安装探针

将装针器平放在桌面上，装针器上有三个不同的安装位置分别对应于空气中的 Tapping/Contact 探针夹，用于液下成像的探针夹以及 STM 探针夹，见下图。



将液相探针夹的四个针脚插入相应的带有弧形金属丝的安装位置处。这时探针夹上装针凹槽处的夹针金属丝会被顶起。可用镊子将探针轻轻放入凹槽中。取下探针夹，探针会被夹紧，完成安装。

#### 3.2.2.4 安装探针夹

旋转松开位于 Head 卡槽右侧中部的螺丝，释放 Head，小心地将 Head 从卡槽上部取出。必要时可以拔掉 Head 和显微镜的连接线。将 Head 倒置，将探针夹对准 Head 底部的四个触点轻轻插入。然后把装好探针夹的 Head 轻轻沿卡槽放回显微镜基座，并旋转拧紧位于 Head 卡槽右侧中部的螺丝，将 Head 固定住。



注意：操作时务必注意控制探针和样品台之间的距离。如果探针和样品台距离过近，请执行

Withdraw 命令多次。或者点击“Navigate”界面中的



图标，向上移动扫描管，保证扫描管不会在样品台移动过程中发生损害。

### 3.2.2.5 安装液体操作保护套

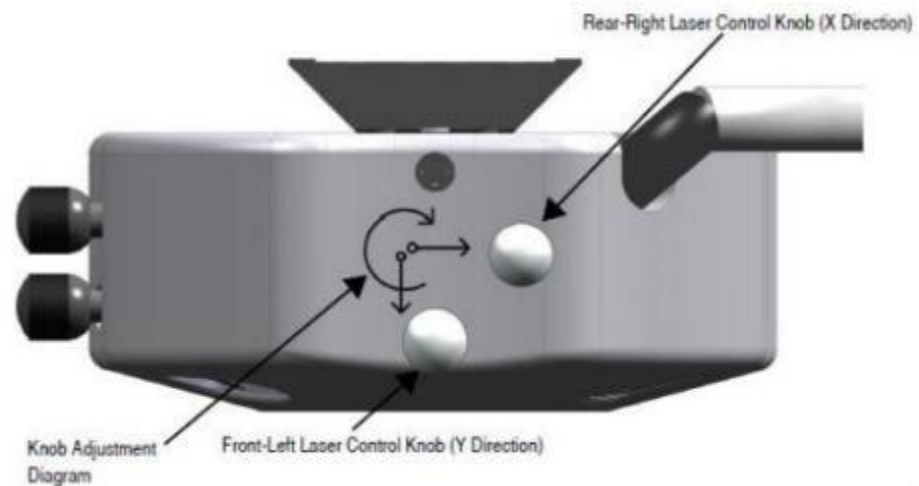
将防漏液套套于 Head 底部，液相探针夹从套子中的圆孔中透出。



### 3.2.3 调节激光

#### 3.2.3.1 将激光打在悬臂前端

Head 上部右侧有两个激光调节旋钮，并有两个箭头标明了顺时针旋转激光调节旋钮时激光光斑位置的移动方向。



对于矩形悬臂的探针，按照以下步骤调节激光：

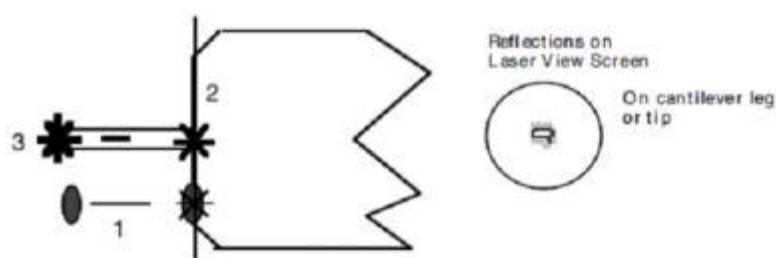
a. 取一张白纸置于扫描管正下方，红色的激光光斑将反映在白纸上。若看不到激光光斑，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑。

注意：在通常情况下，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮可以将激光光斑调出，但若激光光斑远远偏离正常位置，可能无论如何旋转右后方的激光调节旋钮也无法看到激光光斑。此时请目测激光点打在探针夹上的位置，使用两个调节旋钮将激光光斑调节到正常位置。

b. 顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑消失。这时，激光应该打在探针基底的左侧边缘上。逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好出现。

c. 顺时针或逆时针旋转左前方的激光调节旋钮，直到激光光斑突然变暗，继续旋转旋钮则又变亮。调回光斑突然变暗的位置，此时激光应该打在悬臂的后端。

d. 逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑。顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好消失，此时激光应该打在悬臂的最前端。



对于三角形悬臂梁的探针（一般为氮化硅探针，这里以两个悬臂的氮化硅探针为例进行说明），按照以下步骤调节激光：

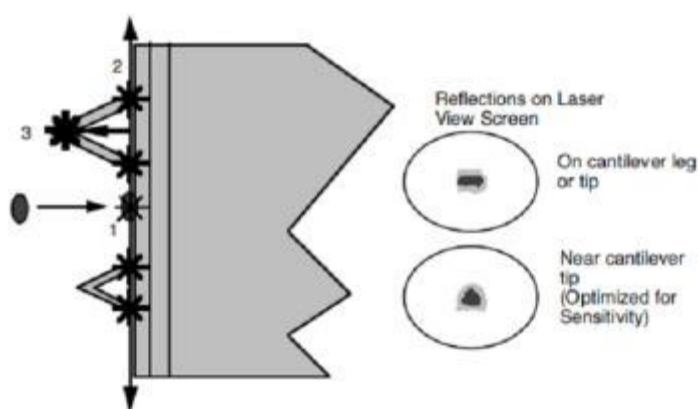
a. 取一张白纸置于扫描管正下方，红色的激光光斑将反映在白纸上。若看不到激光光斑，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑。

注意：在通常情况下，逆时针旋转右后方的激光调节旋钮可以将激光光斑调出，但若激光光斑远远偏离正常位置，可能无论如何旋转右后方的激光调节旋钮也无法看到激光光斑。此时请目测激光点打在探针夹上的位置，使用两个调节旋钮将激光光斑调节到正常位置。

b. 顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑消失。这时，激光应该打在探针基底的左侧边缘上。逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好出现。

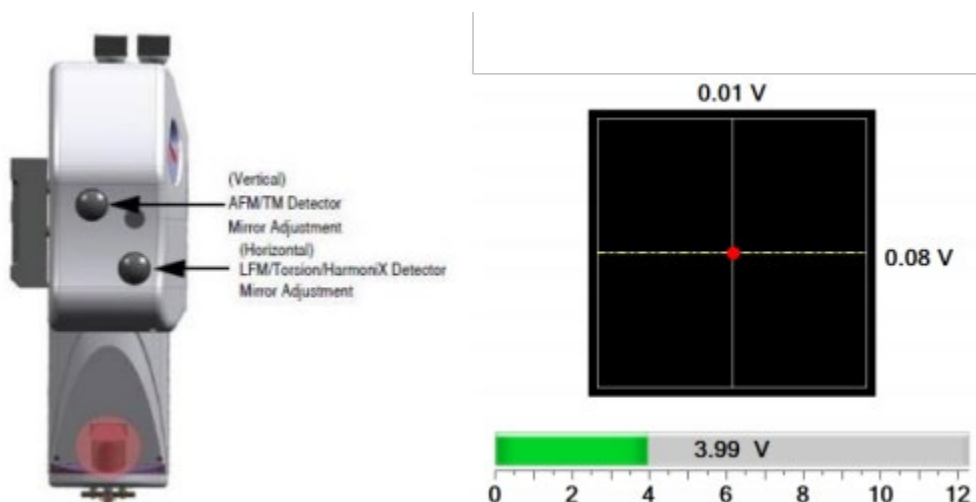
c. 顺时针或逆时针旋转左前方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑被遮挡两次。调回两次相继遮挡位置的中心位置，此时激光应该打在三角悬臂的镂空处。匀速旋转旋钮，可以根据两次遮挡出现的间隔来判断悬臂的大小。

d. 逆时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到看到激光光斑被挡住后又再次出现。顺时针旋转右后方的激光调节旋钮，直到激光光斑刚好消失，此时激光应该打在悬臂的最前端。



### 3.2.3.2 调整检测器位置

Head 左侧有两个检测器位置调节旋钮。旋转这两个旋钮，同时观察显示器上示意图的数值，调节 Vert. Defl. 和 Hori. Defl. 到合适的值。



Vert. Defl.、Hori. Defl.和 SUM 值，也可以通过 Stage 样品台左上方的 LED 显示屏直接读出。



对于 Tapping 模式，将显示器上 “Setup” 界面中示意图显示的红色圆点调整到 Detector 的中心。此时 Vert. Defl. 和 Hori. Defl.（不可见）都在 0 V 附近。

对于 Contact 模式，将 Hori. Defl. 调节到 0 V 附近。在 Deflection Setpoint 预设为 0 V 的情况下，将 Vert. Defl. 调节到 -2 V 附近。

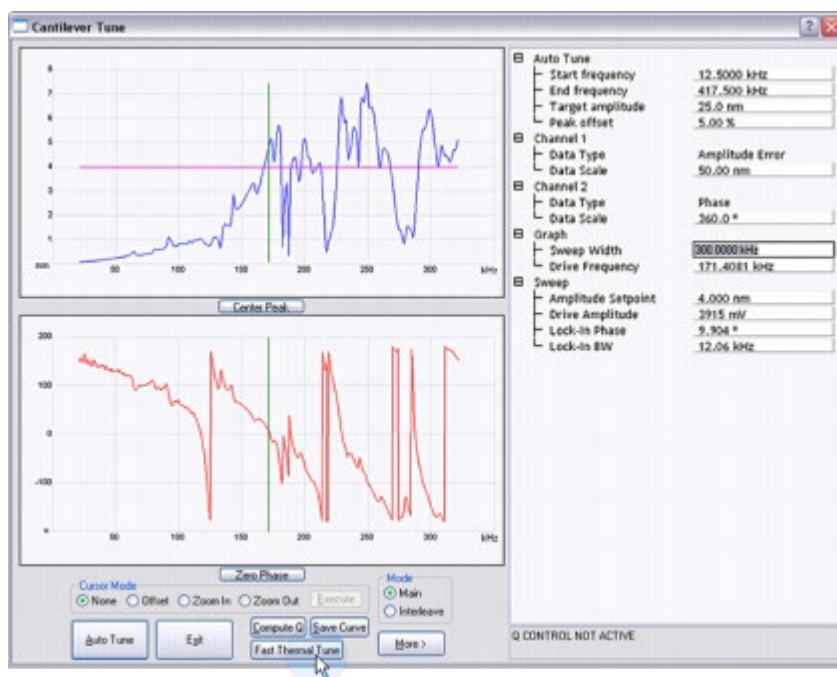
注意：Contact 模式下实际的 Deflection Setpoint = 设定的 Deflection Setpoint - 进针之前的 Vert. Deflection.。

正确调节完毕后，对于无金属反射镀层的探针（如用于 Tapping 模式的 RTESP 探针），SUM 值应在 1.5 V ~ 2.5 V，对于有金属反射镀层的探针（如用于 Contact 模式的 DNP 或 SNL 探针），SUM 值应在 3.5 ~ 7.5 V。

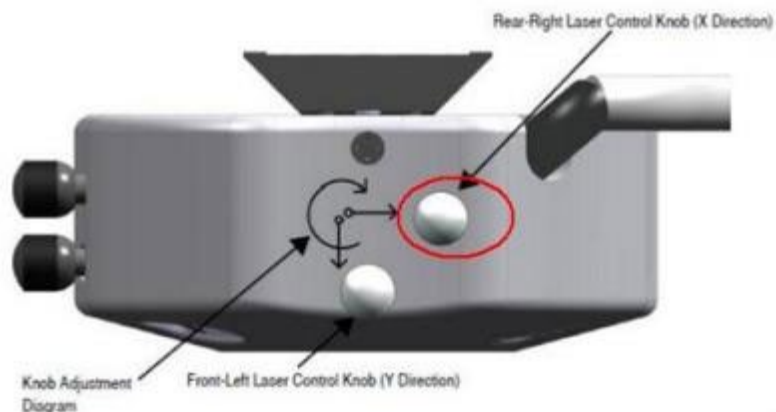
注意：上述 SUM 值可能随探针批次的不同以及制作工艺的微小差别而改变，个别探针的 SUM 值可能不在上述范围内。

### 3.2.4 扫描图像之前的准备工作

- a. 双击桌面 Nanoscope 图标启动软件。
- b. 进入实验选择界面，根据自己所要做的实验方案，按照界面所示三步，第一步选择实验方案，第二步选择实验环境，第三步选择实验具体操作模式。液下操作我们强烈推荐使用 ScanAsyst 模式。该模式会自动调节参数以轻松获得高质量图像。若选取 Tapping 模式，请在 Tune 针时使用 Fast Thermal Tune 得到正确的探针共振峰。



- c. 点击界面右下方图标“Load Experiment”，进入具体实验设置界面。
- d. 点击“Setup”，按照上一节所述的方法进行激光调节。
- e. 用注射器在探针位置处滴 1-2 滴液体，使探针浸润在液体环境中，液滴悬在探针所在的位置处。这时由于光路偏折，激光 SUM 值会明显减小。这里只需调节 Head 顶部右侧的旋钮，将激光向探针自由端方向略微调节，就可回到正常的 SUM 值。



f. 将 Head 放回显微镜基座，并旋转拧紧位于 Head 卡槽右侧中部的螺丝，将 Head 固定住。

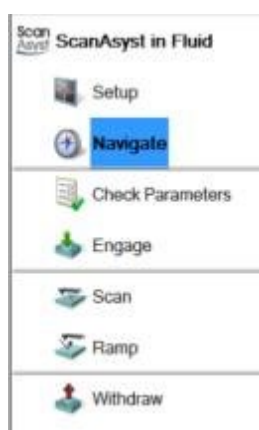


g. 通过 Focus control 键或轨迹球调节光学镜头位置，看清探针。

h. 将显微镜基座上的 Vacuum 按钮置于 On 的位置，此时真空打开，将样品吸附在样品台上。

注意： 在操作过程中，用滤纸将漏出的液体及时擦除。在装有保护套的情况下，Head 浸入液体不得超过 3mm。

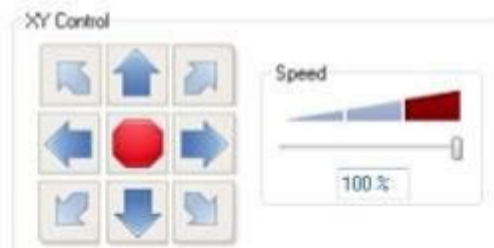
i. 点击“Navigate”图标，进入导航界面。



j. 使用 X-Y Control 移动样品台或者用轨迹球将样品移入到探针正下方。

### 3 Navigate to Scan Centerpoint

#### 3.1 Navigate to a region of interest



k. 使用扫描管升降图标或轨迹球来降低 Head 位置，使探针上的液滴与样品的溶液先接触，并将扫描管降低到看清样品表面。



l. 降低扫描管时，一般选择聚焦到样品表面（下图中选择 Sample (default)），当样品表面非常光滑时，选择聚焦到针尖反射像 (Tip Reflection)。



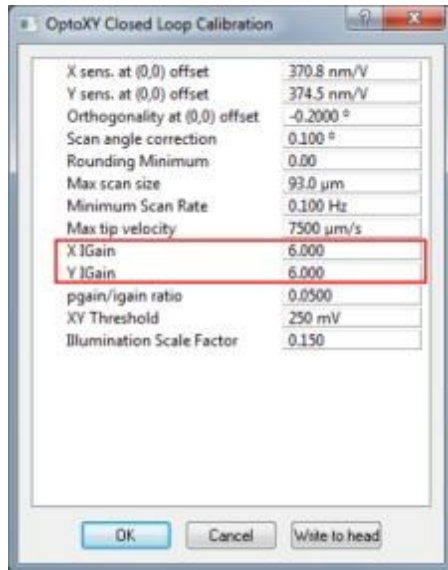
Sample (default)



Tip Reflection


m. 液相操作下，应将 Calibrate/X-Y/OptoXY Closed Loop Calibration 中的 XIGain 和 YIGain 由 12 改为 6。

注意：这一步操作非常重要。不仅对于液下操作的探针夹，Application Module 的探针夹以及加热的探针夹都需要修改这项参数。若未修改，可能造成扫描器损坏。




### 3.2.5 扫描图像

#### 3.2.5.1 ScanAsyst 模式


a. 点击实验方案选择图标，打开实验方案选择  界面

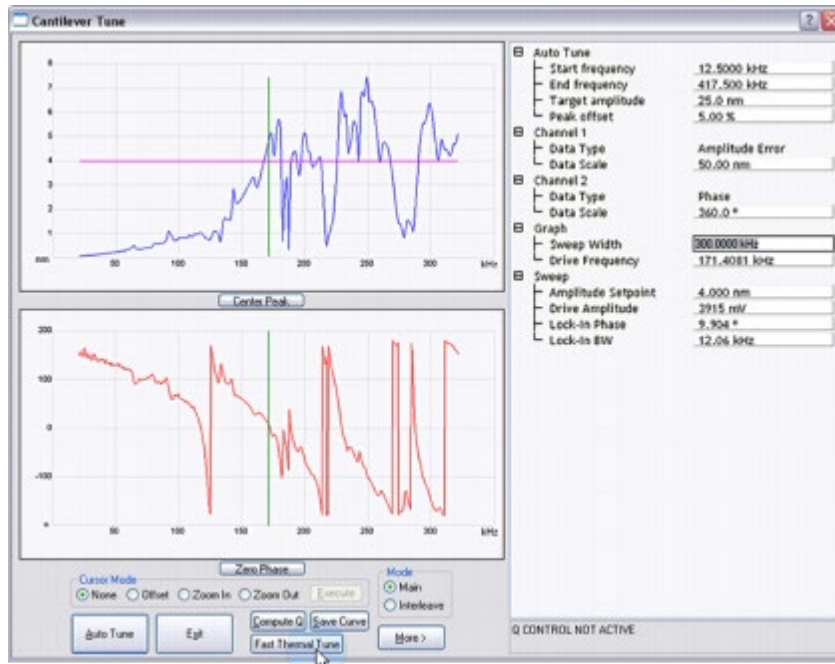


- b. 选择实验具体模式，ScanAsyst。
- c. 选择实验环境，Fluid。
- d. 进入实验界面。
- e. 根据上面提到的步骤，调整激光，并将 Head 靠近样品表面以看清样品。
- f. 点击“Check Parameters”图标，进入实验参数设置。
- g. 设定以下扫描参数：Scan size 小于 1 um, X offset 和 Y offset 设为 0, Scan angle 设为 0, ScanAsyst Auto Control 设为 ON。
- h. 点击 Engage  进针。
- i. 进针结束开始扫图。将 Scan size 设置成要扫描的范围。

### 3.2.5.2 Tapping 模式

- a. 点击实验方案选择图标，打开实验方案选择界面。
- b. 选择实验具体模式，Tapping Mode。
- c. 选择实验环境，Fluid。
- d. 进入实验界面。
- e. 根据上面提到的步骤，调整激光，并将 Head 靠近样品表面以看清样品。
- f. 点击“Check Parameters”图标，进入实验参数设置。
- g. 设定以下扫描参数：Scan size 小于 1 um, X offset 和 Y offset 设为 0, Scan angle 设为 0。

h. Tapping 模式需找探针固有振动频率。点击图标 ，进入 TUNE 针界面。



i. 将 Drive frequency 设为 10KHz，Sweep width 设为 20 KHz，如选用三角型氮化硅悬臂梁探针（如 NP，SNL），共振频率通常在 7-12KHz。

j. 液相 Tapping 时，通常会看到有多个峰，手动通过 Offset 找共振频率（可通过软件的“Fast Thermal Tune”功能帮助判断共振峰位置，见上图中的红框）。

注意：工作频率可选择共振峰 95%振幅位置处的频率。

k. 调节 Drive amplitude 来找到悬臂梁合适的振幅。如果测试软样品，通常可以将共振峰峰值调到 150mV。如果测试的是粗糙样品，峰值可以调节到 300-600mV。

l. TUNE 针过程结束后，关闭该窗口，返回成像模式界面。

m. 点击 Engage  进针。

n. 进针结束开始扫图。将 Scan size 设置成要扫的形貌大小。

o. 观察 Height Sensor 图中观察 Trace 和 Retrace 两条曲线的重合情况。


p. 优化 Setpoint。在 Tapping 模式下，调节 Amplitude setpoint 直到 Trace 和 Retrace 两条扫描线基本一致。

q. 优化 Integral gain 和 Proportional gain。一般的调节方法为：增大 Integral gain，使 Trace 和 Retrace 曲线开始震荡，然后减小 Integral gain 直到震荡消失，接下来用相同的办法来调节 Proportional gain。通过调节增益来使两条扫描线基本重合并且没有震荡。

r. 调节扫描范围和扫描速率。随着扫描范围的增大，扫描速率必须相应降低。大的扫描速率会减少漂移现象，但一般只用于扫描小范围的很平的表面。

s. 如果样品很平，可以适当减小 Z Range 的数值，这将提高 Z 方向的分辨率。

### 3.2.5.3 Contact 模式

a. 点击实验方案选择图标 ，打开实验方案选择界面。

b. 选择实验具体模式，Contact Mode。

c. 选择实验环境，Air。


d. 进入实验界面。

e. 根据上面提到的步骤，调整激光，并将 Head 靠近样品表面以看清样品。

f. 点击“Check Parameters”图标，进入实验参数设置。



### 3.2.7 退针

点击 Withdraw ，退针。该命令可以多次执行；可点击“Navigate”界面中的



图标，向上移动扫描管，使探针远离样品表面。



### 3.2.8 清洗探针夹

取下探针夹，用蒸馏水冲洗干净，擦干，防止受污染。

### 3.2.9 关机

- 关闭 Nanoscope 软件。
- 关闭 Nanoscope 控制器。
- 关闭 Dimension Stage 控制器。
- 关闭计算机和显示器。

注意：对于运行 Windows XP 的系统，关机顺序必须是先关闭控制器，再关闭计算机。

## 四、数据处理

### 4.1 常用图像处理命令

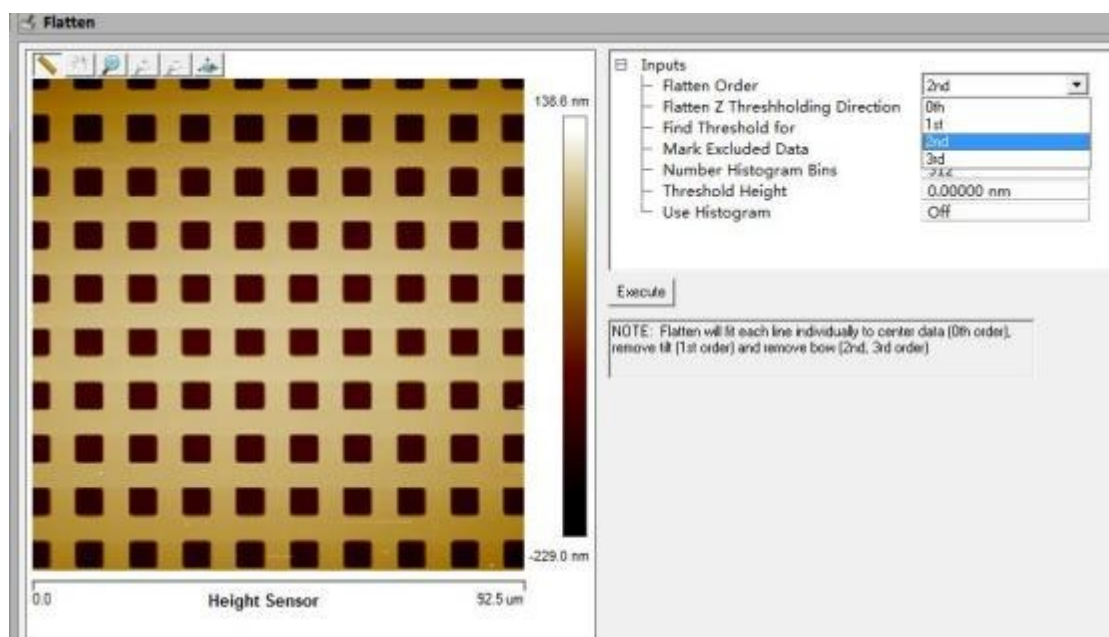
#### 4.1.1 Flatten

对于高度图来说，由于扫描管 Z 电压的漂移，样品本身的倾斜，以及扫描管 Bow 等原因，我们扫描获得的原始高度数据实际上偏离了样品的实际形貌。所以我们必须对这种情况进行纠正。Flatten 采用 X 方向逐条处理扫描线的方式对图像进行纠正。

- a. 打开相应的图像文件。
- b. 点击 Flatten 按钮。



- c. 选择相应的 Flatten Order。



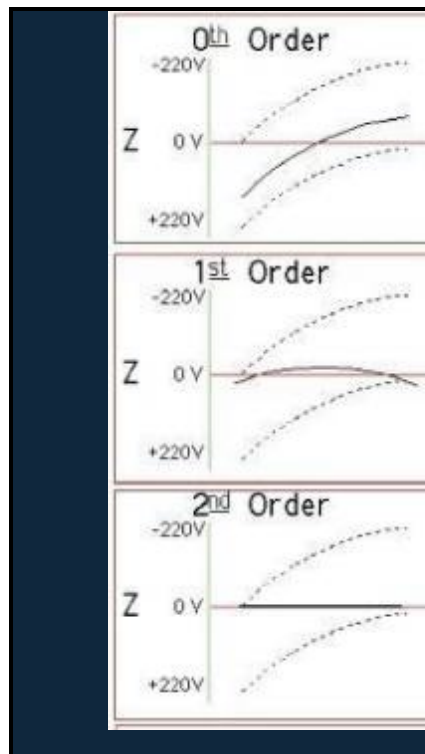
0th: 去除 Z 方向的漂移, 将 Z 中心调整到 0 点附近。

1st: 纠正样品和探针之间的倾斜。

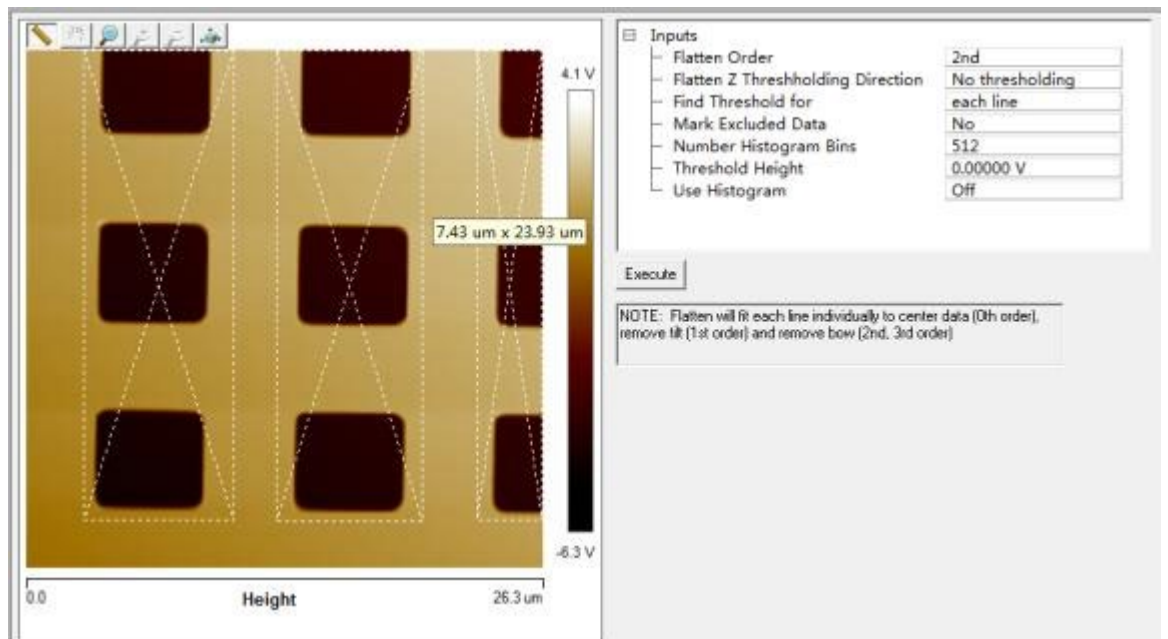
2nd: 纠正扫描管造成的大范围扫描的曲面。

3rd: 更复杂的曲面纠正, 可能会造成图像假象, 请不要轻易使用。

高阶的 Flatten 包含了低阶的 Flatten, 例如 2 阶处理时就包含了 1 阶和 0 阶 Flatten。



d. 如必要在图像上选择相应 Mask (按住鼠标左键拖拽), 这是为了避免非基线位置干扰基线的确定。如图像上有大坑或者十分突出的地方需要用 Mask。



e. 点击 Execute 完成 Flatten.

#### 4.1.2 Plane Fit

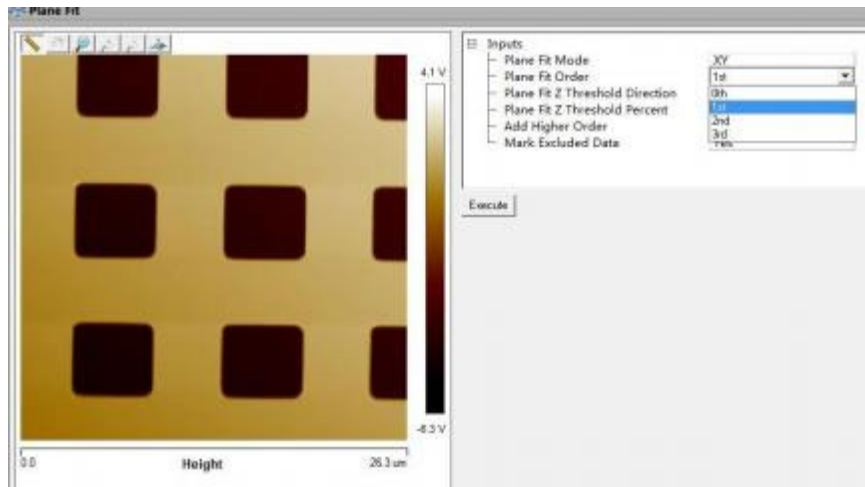
有时，我们也可以采用 Plane Fit，对图像 XY 方向同时进行纠正，一般是构成比较简单的图，如玻璃片上的细胞等等。Plane Fit 的作用跟 Flatten 类似，但拟合使用的多项式更复杂。

Plane Fit 的基本步骤如下：

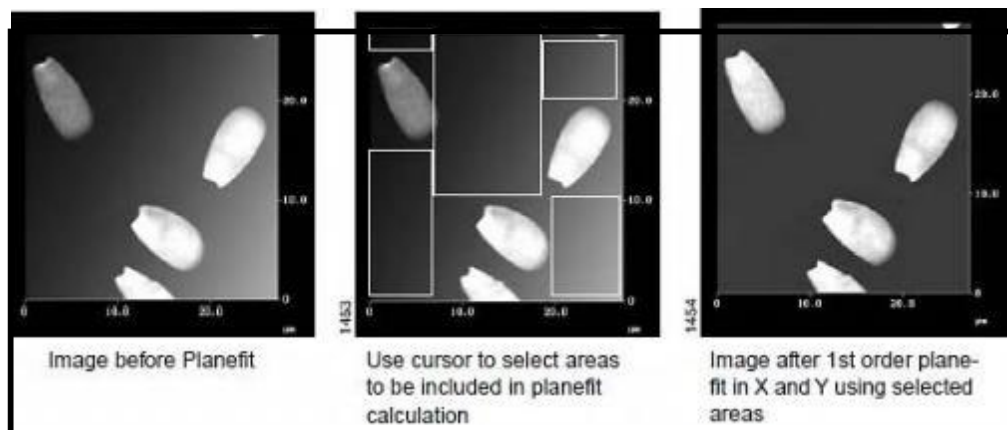
- a. 打开相应的图像文件。
- b. 点击 Plant Fit 按钮。



c. 选择相应的 Plane Fit Order。



d. 在图像上选择相应的区域定义 Plane Fit 的区域（按住鼠标左键拖拽，处理时认为这样区域是一个平面，然后进行纠正）



e. 点击 Execute 完成 Plane Fit.

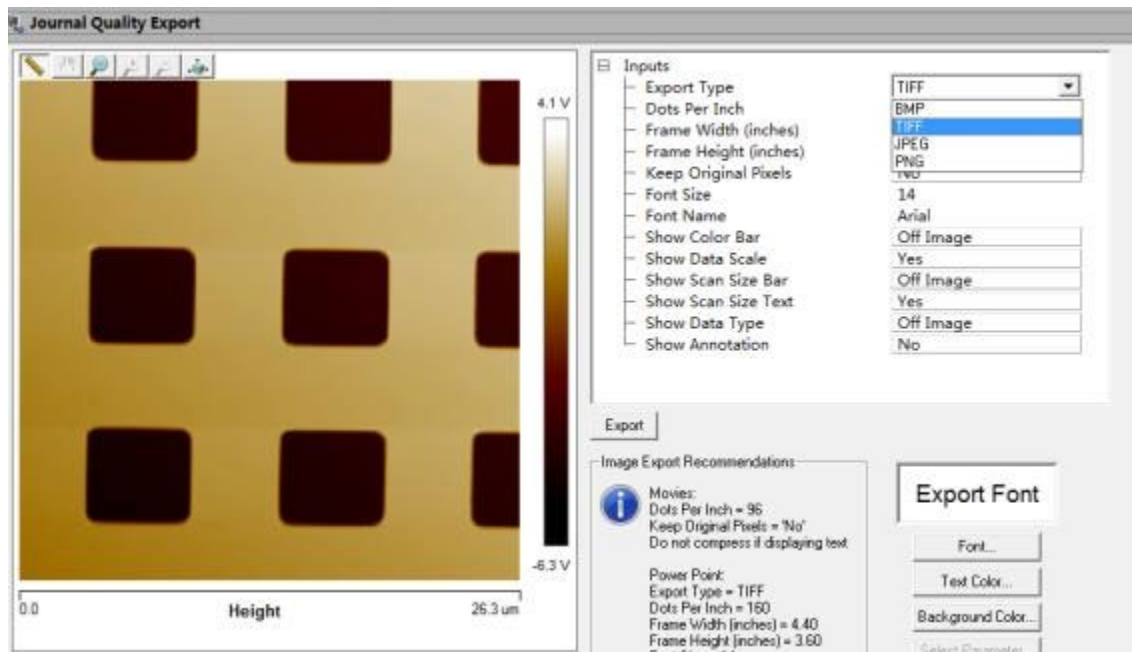
注意：只有高度图才需要进行 Flatten 或 Plane Fit 处理。其他的性质图，请保存原始数据，除非只想看表面上某性质的相对差别。

## 4.2 图像导出

- a. 点击图像导出按钮。



- b. 选择导出的图片文件格式。



- b. 点击 Export，设置相应的路径保存即可

## 4.3 图像分析

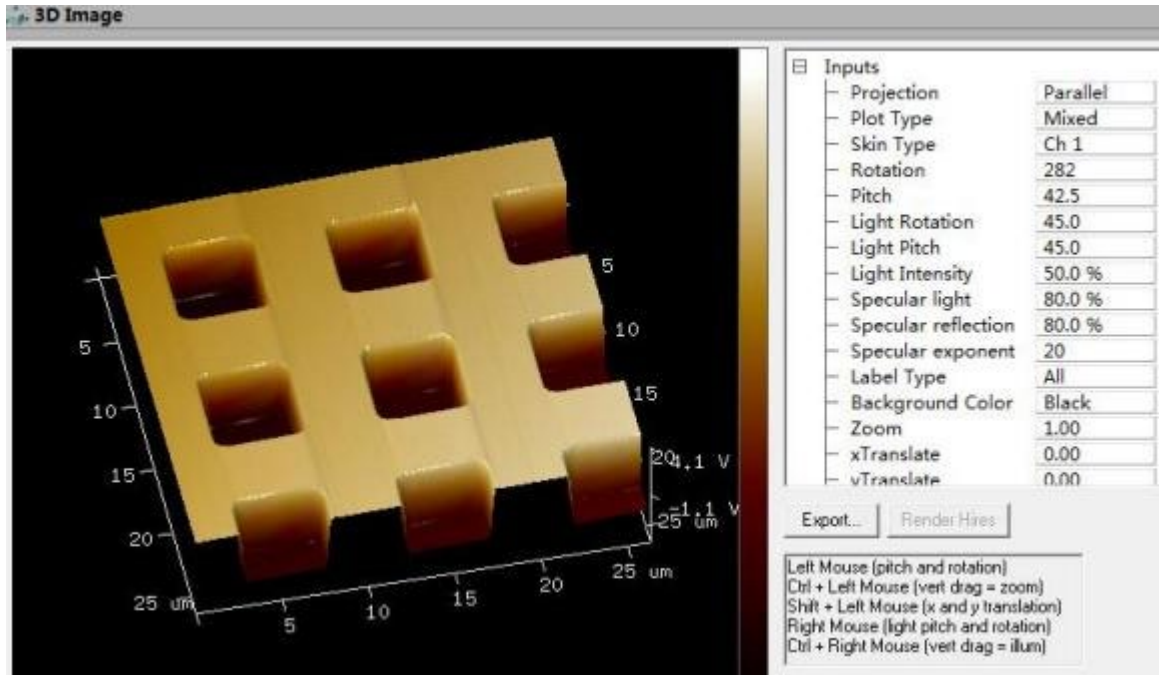
图像分析的前提是已经对图像进行了相应的处理，获得了样品的实际数据。

### 4.3.1 3D 图像

- a. 点击 3D 图像分析按钮。



b. 在图像上按住鼠标左键拖拽图像，获得理想的浏览 3D 视角。



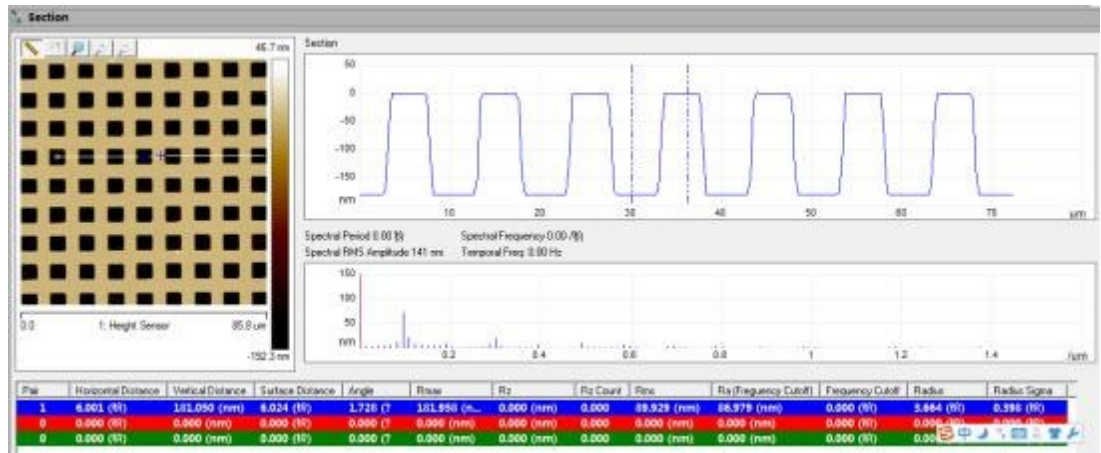
c. 点击 Export，设置相应的路径保存即可。

#### 4.3.2 Section （截面）分析

a. 点击截面分析按钮。

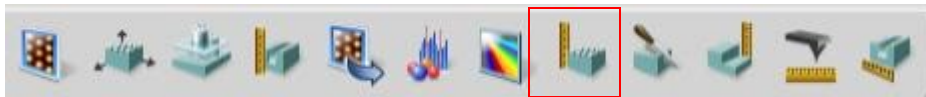


b. 在右边 section 数据上拖拽两条垂直虚线选择分析的位置，在下面可以得到相应的结果。



### 4.3.3 粗糙度分析

a. 点击粗糙度分析按钮。



b. 从结果中读出对于的粗糙度。Image Rq 和 Image Ra 即为整幅图片的粗糙度数据。

c. 如果在图像中选择相应的区域（按住鼠标左键拖拽），也可以读出相应区域内的值。

Results	
Image Raw Mean	-0.222 $\mu\text{m}$
Image Mean	-0.222 $\mu\text{m}$
Image Z Range	0.256 $\mu\text{m}$
Image Surface Area	10.0 $\mu\text{m}^2$
Image Projected Surface Area	7.67 $\mu\text{m}^2$
Image Surface Area Difference	30.4 %
Image Rq	0.0518 $\mu\text{m}$
Image Ra	0.0321 $\mu\text{m}$
Image Rmax	0.255 $\mu\text{m}$
Raw Mean	-0.214 $\mu\text{m}$
Mean	-0.214 $\mu\text{m}$
Z Range	0.693 $\mu\text{m}$
Surface Area	10.5 $\mu\text{m}^2$
Projected Surface Area	7.83 $\mu\text{m}^2$
Surface Area Difference	33.5 %
Rq	0.0777 $\mu\text{m}$
Ra	0.0440 $\mu\text{m}$
Roughness Rmax	0.684 $\mu\text{m}$
Skewness	3.88
Kurtosis	22.2
Rz	0.00 $\mu\text{m}$
Rz Count	0.00

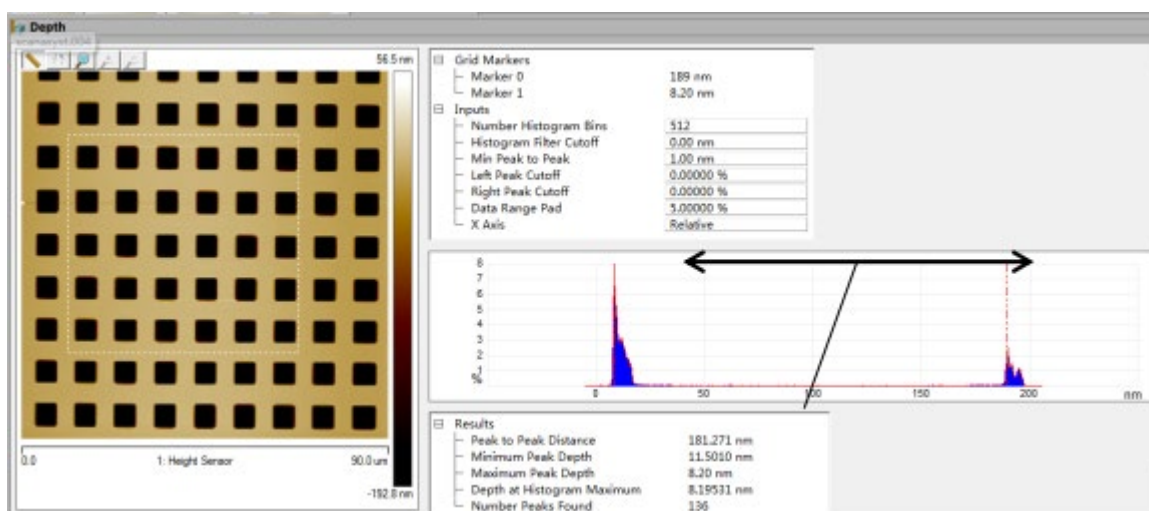
$R_q$  表示均方根粗糙度， $R_a$  表示平均粗糙度。其他参数请点击 Help 文档查询 Roughness Parameters。

#### 4.3.4 Depth 分析

a. 点击 Depth 分析按钮。



b. 按住鼠标左键拖拽选取分析的区域。



c. 读取 Peak to Peak Distance 值即可。

#### 4.3.5 其他分析和处理

点击其对应的按钮，按 F1 获取帮助文件，帮助文件会有相应的原理和操作。

#### 4.3.6 各个主要参数的意义

SPM Feedback: 以何种方式反馈成像。

Z Modulation: 对 Z 轴的压电陶瓷施加额外的补偿（一般不用，只有在液态环境下才会用到）

Integral/Proportional Gain: 调节反馈灵敏度的增益。一般 P Gain 比 I Gain 大 30 %~100%

Amplitude Setpoint: 设定的振幅参考值。值越大，力越小；值越小，力越大

Drive Frequency/Amplitude: 系统施加的驱动电压的频率和振幅

Scan Size: 在下针之前设为零，下针之后从小到大

Aspect Ratio: 扫描图象的纵横比，根据自己的需要设置，一般用正方形，即：1

X/Y Offset: 位移补偿（移动扫描区域）

Scan Angle: 扫描角度

Scan Rate: 扫描速率，对图象质量的影响较大，要慎重选择

Samples/Line: （横向）每条扫描线采集多少个点（分辨率）

Lines: 纵向分辨率

## 五、常见故障处理

### 5.1 常见故障类型

- a. 探针针尖上粘附了小颗粒导致出现多重影像。
- b. 当钝化针尖与尖锐表面特征结合时，可能呈现出针尖形状本身的影像，使用钝化针尖成像时，表面特征的某些区域无法被准确采集：形成“死区”。
- c. 压电扫描器的非线性、蠕变和滞后效应会导致图像畸变，这些问题可通过扫描器的闭环操作来避免。
- d. 电源线噪声、反馈过冲、热漂移以及激光干涉等都是造成图像伪影的潜在因素。

### 5.2 常见故障处理方式

a. 颗粒弱吸附于基底(图 5.2.1)

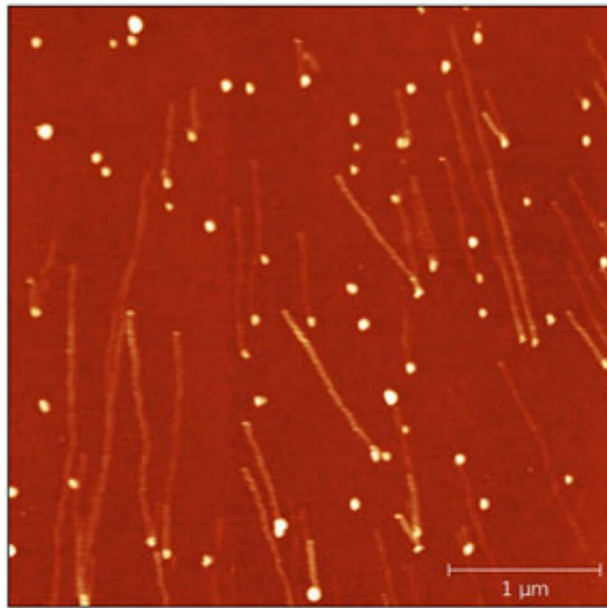


图 5.2.1

基底松动 (图 5.2.2)

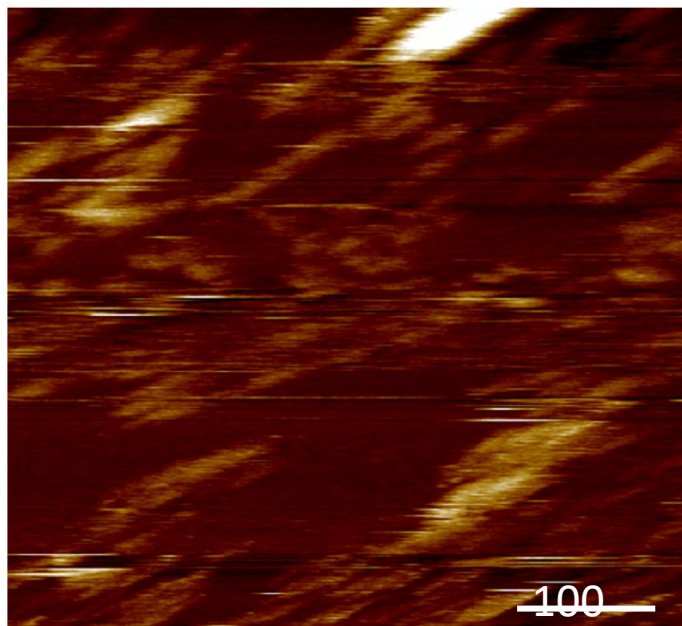
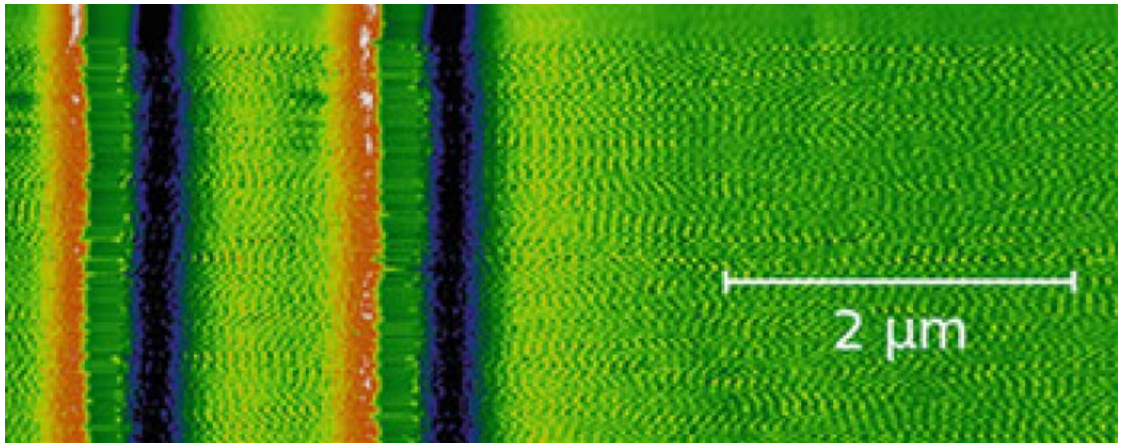
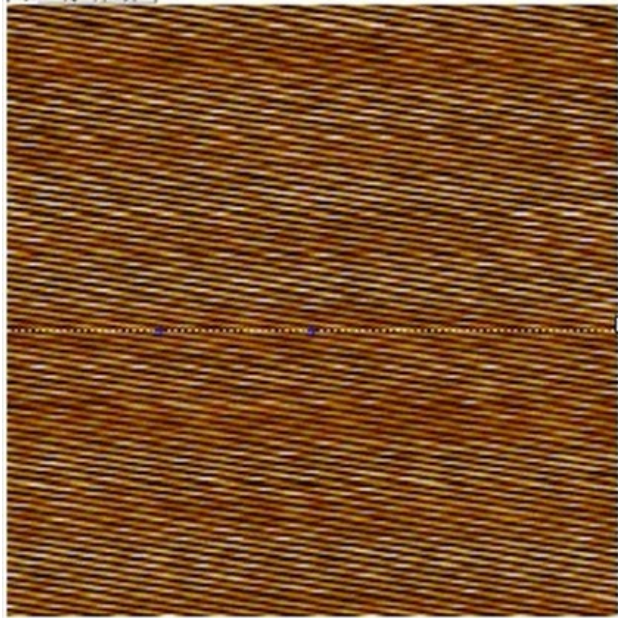


图 5.2.2

处理方式：检查、固定基底与样品

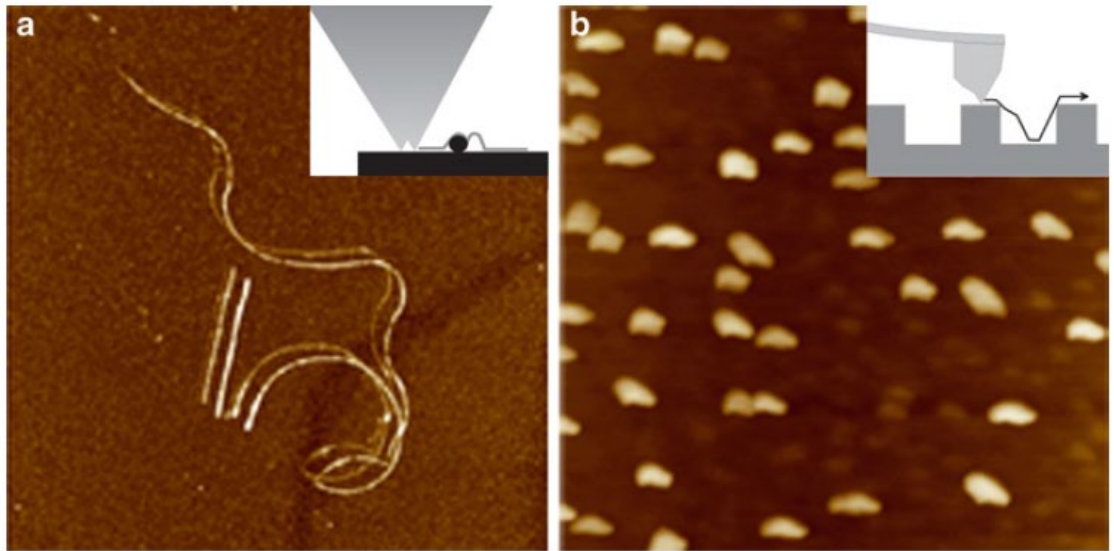
b. 外部插头松动、未接地和内部接触不良和器件老化会造成  
电子噪声



处理方式：检查线路的接触与连接

### c. 针尖污染

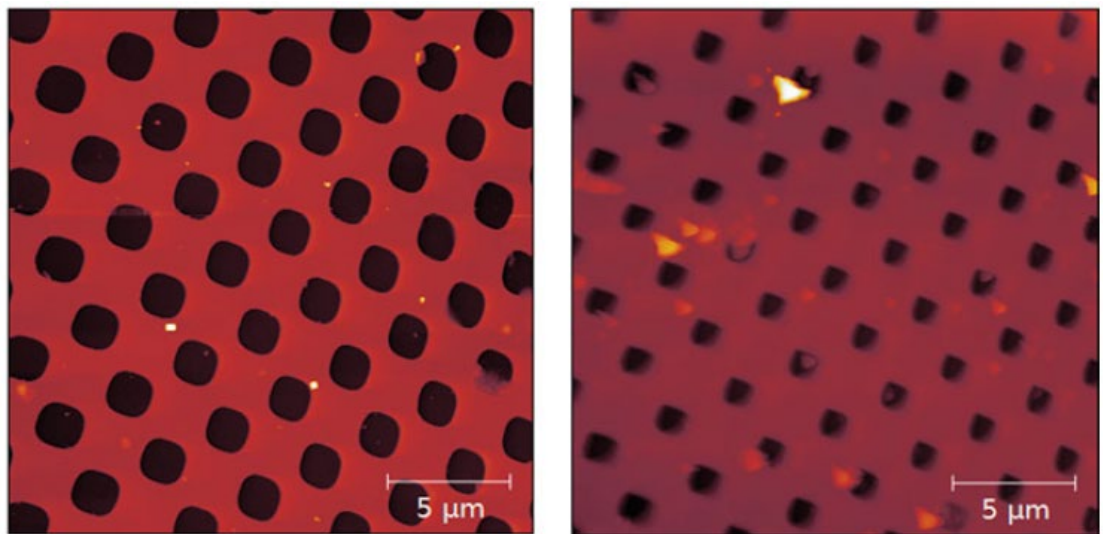
探针针尖上粘附了小颗粒，图像上的颗粒会出现成双成对规律性的排布现象。



处理方式：更换新的探针

d. 针尖磨损

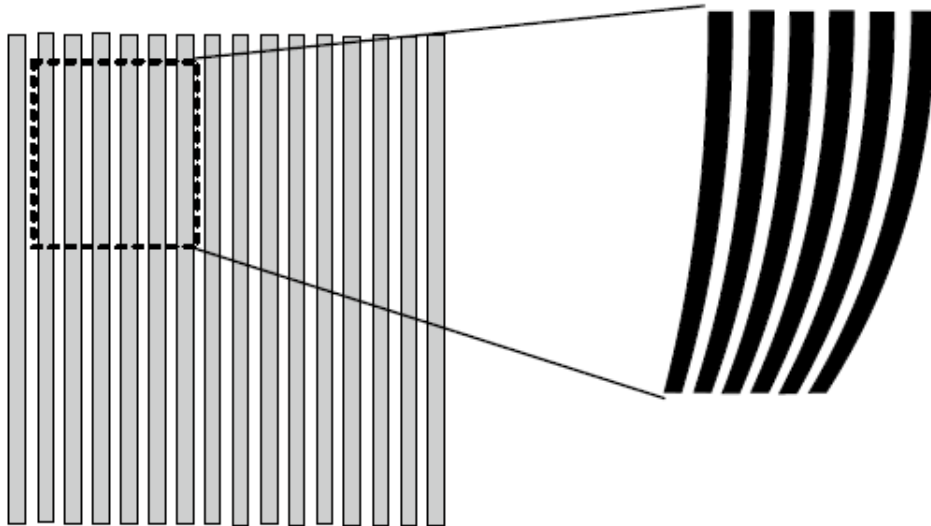
探针针尖磨损，图像失真。



处理方式：更换新的探针

e. 图像严重扭曲、拉伸

扫描器未校准或扫描器压电陶瓷蠕变

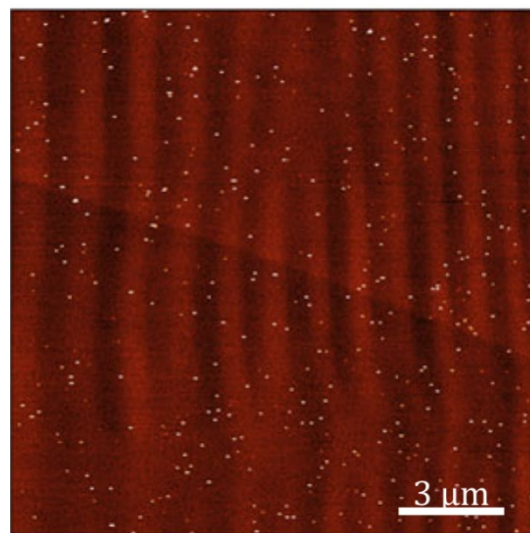


处理方式：重新校准扫描器或扫描前让扫描器空扫几次进行“预热”

f. 光学干涉

基底反光、样品透光且高度差较大造成光学干涉

特征：空间周期大于激光波长（ $\sim 1 \mu\text{m}$ ），不随扫描速度的变化而变化



处理方式：更换基底或更换样品

## 六、注意事项

### 6.1 进针过程

在聚焦样品表面的过程就是探针不断接近样品的过程，当聚焦清楚样品的时候探针离样品的距离大概是 100 微米。

在聚焦的过程中一定要小心，否则探针容易撞到样品上，这样探针就报废了。

聚焦样品的技巧：

对于硅片等其他一些表面很光滑，而且反光的样品很难聚焦好，这样就容易撞针。

可以采用 Tip Reflection 这种技巧来避免这种情况的发生。只要聚焦清楚探针就可以了，这时探针离样品的实际距离也就是 100 微米左右。然后直接切换到 Surface 就可以了，这时看到的就是聚焦好的样品表面。

#### 6.1.2 装样

装样的时候一定要保证探针下面有足够的空间，避免在移动样品的过程中碰到探针，甚至碰到扫描器。

#### 6.1.3 参数设置

X、Y Offset，每次测试完之后要归零，否则下次进完针之后系统就会按照 Offset 的值自动偏转相应的距离。而扫描位置的偏转靠的是给扫描管中的压电陶瓷施加电压，长期对压电陶瓷充压，对它的寿命和灵敏度都有影响。

Scan Angel，每次测试完之后也要设为零，否则下次扫描时系统会自动按设定的值改变扫描方向。

Scan Size，每次进针之前也要设为零，然后再逐渐增大扫描范围，这样可以保护探针。因为如果 Scan Size 不为零，进完针马

上扫描，如果样品比较粗糙，系统来不及反馈，探针容易撞到样品上。

#### 6.1.4 扫描过程

原子力显微镜的测试结果要靠反馈和作用力，如果施加的作用力不合适会造成图像的变形，注意选择合适的作用力成像

扫描速率太快会有拖尾现象，可以适当降低扫描速率

扫图是一个实时调节的过程，一边看图像一边调参数，直至图像清晰为止，注意扫描过程中参数的调节。

## 七、维护与保养

AFM 原子力显微镜对环境因素极为敏感，温度、湿度、振动及粉尘均可能影响检测结果。

### a. 温湿度控制

建议将设备放置在恒温恒湿的实验室环境中，温度波动控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内，湿度维持在 40%-60%。

避免设备靠近空调出风口或加湿器，防止冷凝水或湿度骤变导致光学元件或电子元件损坏。

b. 将原子力显微镜安装于独立防振台或气浮隔振平台上，减少地面振动（如人员走动、设备运行）对探针扫描的干扰。

c. 远离电梯、大型电机等振动源，并确保实验室门禁管理，减少外部人员频繁进出。

d. 样品表面需平整、清洁，避免颗粒物划伤探针或扫描器。软质样品（如聚合物、生物组织）需固定于硬质基底上，防止扫描时变形。

- e. 根据样品特性调整扫描速度、力常数及积分增益等参数。例如，对脆性材料（如陶瓷、晶体）需降低扫描力，防止样品表面损伤。
- f. 避免长时间连续扫描同一区域，防止探针磨损或样品热漂移。
- g. 压电陶瓷扫描器是 AFM 原子力显微镜的核心部件，需定期检查其位移精度。若发现扫描范围缩小或线性度变差，可能是陶瓷老化或污染，需联系专业工程师检修。每半年进行扫描器校准：使用具有已知尺寸的标准校准光栅对扫描器的 X, Y, Z 方向进行校准。
- h. 定期使用无尘布和纯净溶剂（如异丙醇）更彻底地清洁样品台、探针夹具等。注意不要让液体流入扫描仪内部。
- i. 定期检查所有电缆连接是否牢固，有无磨损或松动。
- j. 定期通电，如果停用时间非常长（如超过半年），建议每隔一段时间（如一个月）通电一段时间，以保持电子元件的状态。