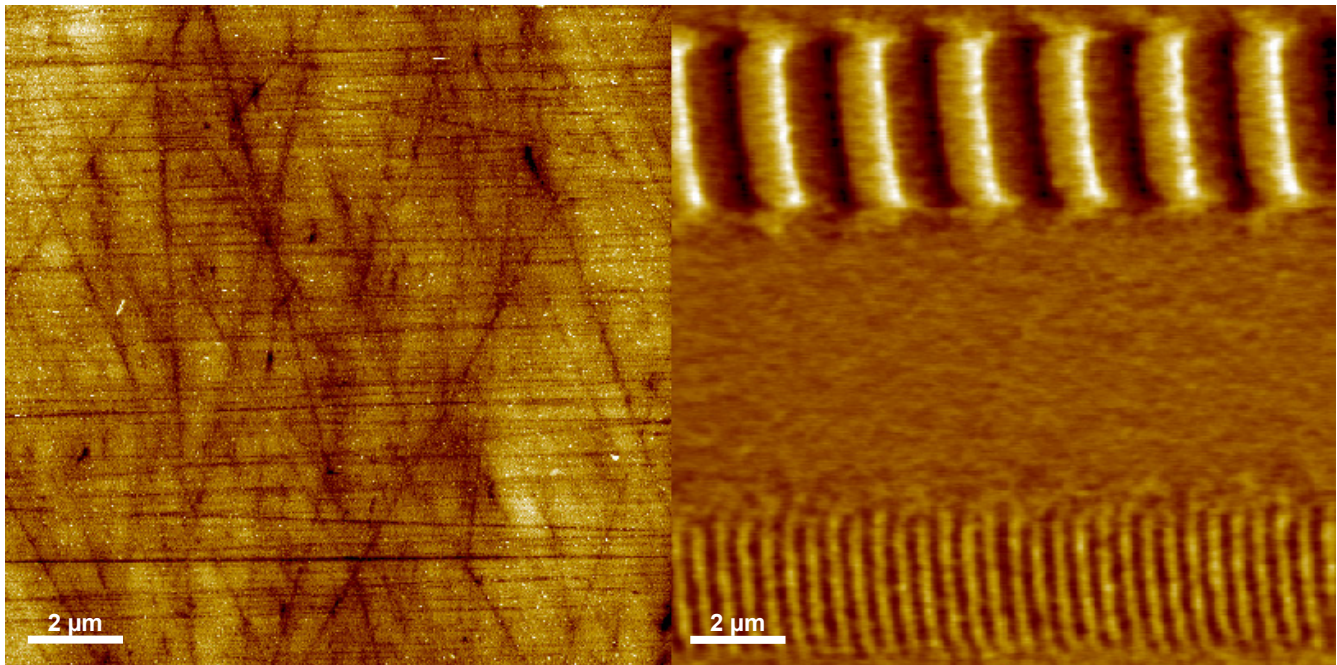




磁性力调制 显微镜

硅-MFM-探针

为了通过扫描探针显微镜观察磁畴，我们提供不同的磁性力调制显微镜探针。其设计的目的是满足各种具有不同特性的磁性样品所定义的各种应用的需求。探针的所有不同磁性涂层都具有出色的长期稳定性。



使用PPP-MFMR探针测量实验硬盘（由IBM提供）的地形（左）和磁频移图像（右）（z-范围地形：72nm，磁图像尺度：22.5Hz）

通常，磁性力调制显微镜的测量性能是灵敏度，是分辨率和样品干扰之间的折衷。磁信号的高灵敏度需要针尖的强磁矩。然而，这种高磁矩可能会干扰样品本身的畴结构，并且通常横向分辨率随着针尖的磁矩增加而下降。为了改善横向分辨率，需要尖锐的高纵横比针尖和薄磁性涂层。因为这种薄磁膜的磁矩低，而灵敏度会降低。横向分辨率和灵敏度之间的最佳权衡是必要的。

低矫顽力样品的磁畴主要通过硬磁涂层针尖“擦除”。这种样品只能通过低矫顽力探针可视化，而另一方面，低矫顽力探针可以在具有更高矫顽力的磁性样品的影响下改变它们的磁化强度。因此，为了获得最佳结果，必须仔细选择MFM探针并根据所研究的特定样品。



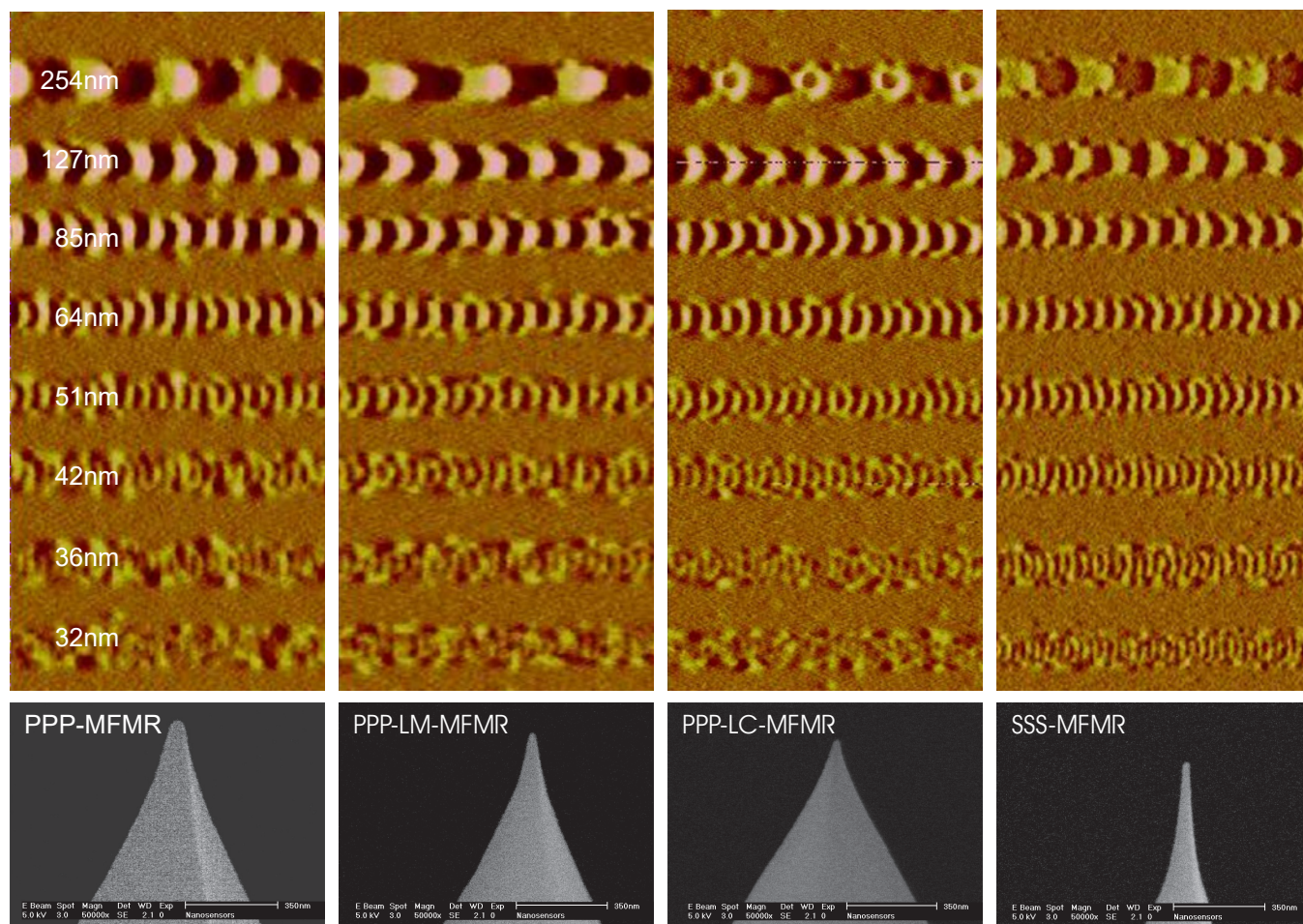
一般性能

NANOSENSORS™磁性力调制显微镜探针基于完善的悬臂梁种类，专为磁性力调制显微镜而设计的，可产生高力灵敏度，同时在空气中实现轻敲模式，非接触和提升模式操作。尤其是，悬臂梁的刚度是在轻敲模式或非接触模式操作期间防止针尖卡扣到表面与在提升模式操作期间对磁性力调制的敏感性之间的权衡。

技术数据（悬臂梁）	标称值
厚度 [μm]	3
宽度 [μm]	28
长度 [μm]	225
力常数 [N/m]	2.8
共振频率 [kHz]	75

反射涂层覆盖悬臂梁的探测器侧，以增强光学读出的信号，从而降低光学检测系统的噪声。反射涂层是在悬臂梁的探测器侧上的约30nm厚的铝涂层，其将激光束的反射率提高约2.5倍。

横向分辨率的比较



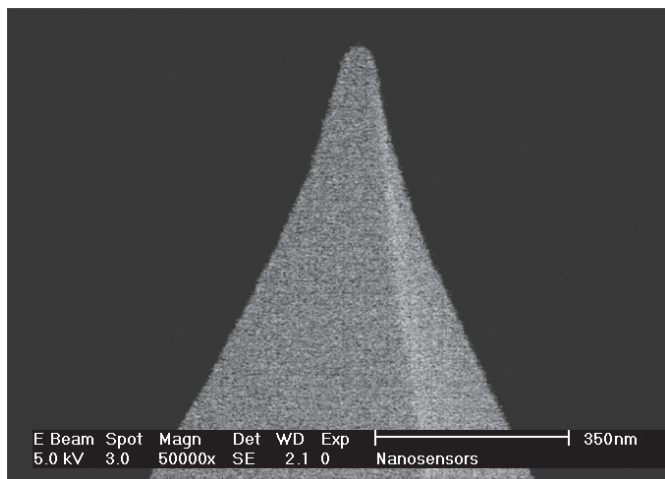
具有不同位长的实验硬盘的磁图像（相移）（由Maxtor提供）



PointProbe® Plus 磁性力调制显微镜探针 (PPP-MFMR)

PPP-MFMR探针是我们用于磁性力调制显微镜的标准探针，具有良好的灵敏度，分辨率和矫顽力。该探针已经证明了类似于记录工具的各种样品的稳定成像。

针尖上的硬磁涂层针对高磁性对比度和远高于50nm的高横向分辨率进行了优化。涂层的特性在于矫顽力。300 Oe和app的剩磁磁化。300emu / cm³（这些值在平坦表面上测定）。



PPP-MFMR探针的SEM图像（局部放大图）

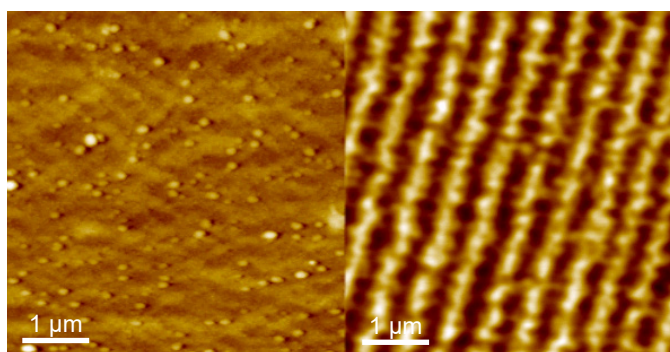
探针性能一览

- 应用的矫顽力300 Oe
- 应用的剩磁磁化 300 emu/cm³
- 有效磁矩为 10⁻¹³ emu
- 保证针尖曲率半径 < 50 nm
- 磁共振分辨率优于 50 nm
- 悬臂梁探测器侧的反射涂层

应用实例

数字录音带 (DAT)

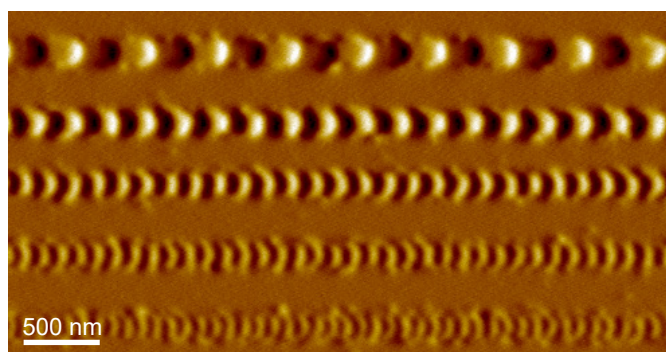
通过使用PPP-MFMR探针（右），可以轻松地显示数字录音带上的书写模式。同时，表面地形以良好的质量成像（左）。



使用PPP-MFMR探针测量的DAT的地形（左）和磁图像（频移）（右）（z-范围地形：100nm，磁图像尺度：20Hz）

硬盘

通过使用PPP-MFMR探针，可以将写入硬盘的磁位分辨率降低到约50nm的位长度。



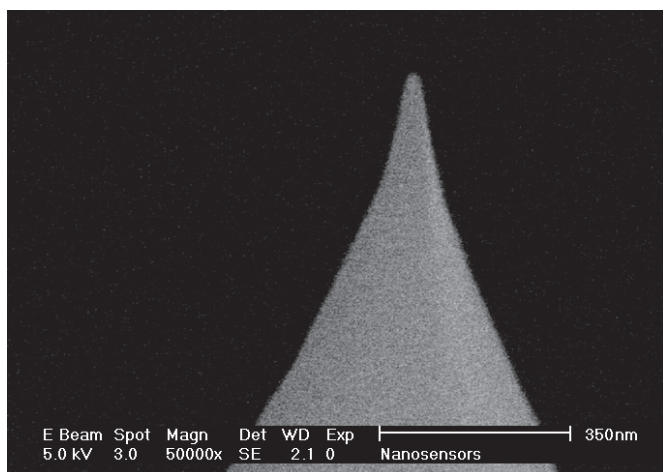
使用PPP-MFMR探针的实验硬盘（Maxtor提供）的磁图像（相移）（磁图像比例：6°）



PointProbe® Plus 低力矩磁性力调制显微镜探针 (PPP-LM-MFMR)

与标准PPP-MFMR探针相比，PPP-LM-MFMR探针设计用于减少针尖对磁性样品的干扰和增强横向的分辨率。然而，这些益处伴随着对磁力的敏感性的降低。

针尖上的硬磁涂层的特性在于应用的矫顽力。250 Oe和应用的剩磁磁化。150 emu / cm³（这些值在平坦表面上测定）。



PPP-LM-MFMR针尖的SEM图像（局部放大图）

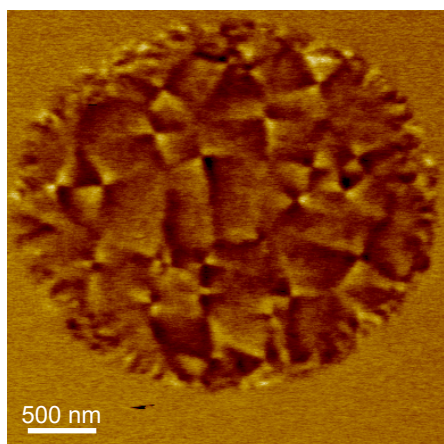
探针性能一览

- 应用的矫顽力250 Oe
- 应用的剩磁磁化150 emu/cm³
- 有效磁矩0.5x标准PPP-MFMR探针
- 保证针尖曲率半径<30 nm
- 磁共振分辨率优于35 nm
- 悬臂梁探测器侧的反射涂层

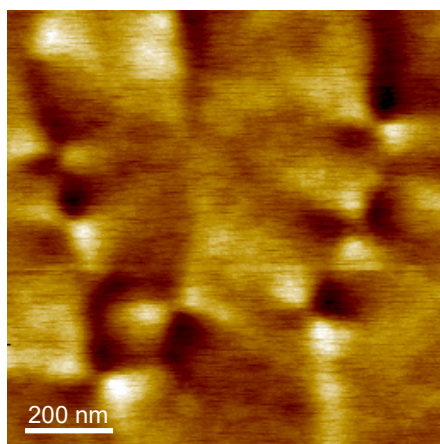
应用实例

图案化软磁薄膜

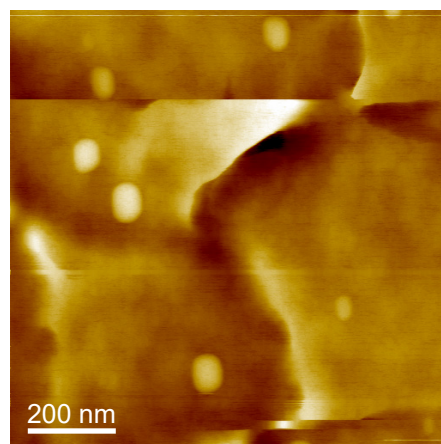
20nm厚的NiCo（直径为3μm的圆形）的图案化膜形成不规则的蝴蝶结形状的区域，其可以通过PPP-LM-MFMR探针成像。如果使用标准MFM探针，则其域结构会受到针尖杂散场的严重影响。这通过下面的比较显示。



使用PPP-LM-MFMR探针获得的图案化NiCo薄膜的磁性概览图像（频移）（比例：10 Hz）



使用PPP-LM-MFMR探针获得的图案化NiCo薄膜的特写MFM图像（比例：10 Hz）



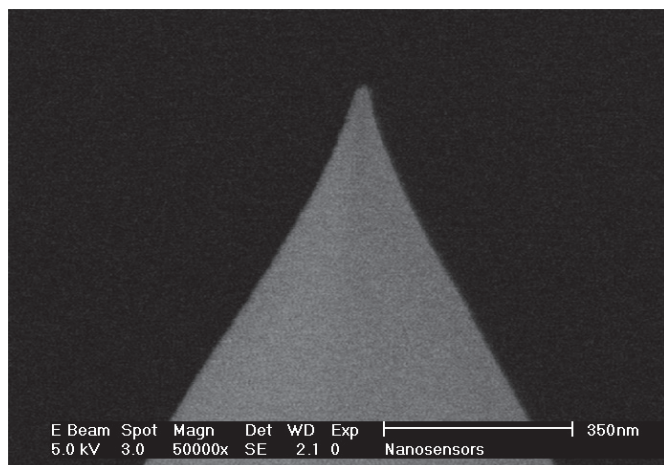
在相同样品上使用PPP-MFMR探针进行比较测量（比例：10 Hz）



PointProbe® Plus 低矫顽力磁性力调制显微镜探针 (PPP-LC-MFMR)

PPP-LC-MFMR探针涂有软磁薄膜，可以测量软磁样品中的磁畴。由于针尖涂层的矫顽力低，针尖的磁化很容易通过硬磁样品重新定向。

针尖上的软磁涂层具有矫顽力应用。0.75 Oe和应用的剩磁磁化。225 emu / cm³（这些值在平坦表面上测定）。



PPP-LC-MFMR针尖的SEM图像（局部放大图）

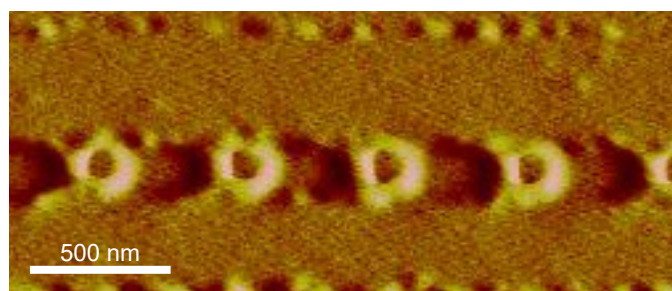
探针性能一览

- 应用的矫顽力0.75 Oe
- 应用的剩磁磁化 225 emu/cm³
- 有效磁矩0.75x标准PPP-MFMR探针
- 保证针尖曲率半径<30 nm
- 磁共振分辨率优于35 nm
- 悬臂梁探测器侧的反射涂层

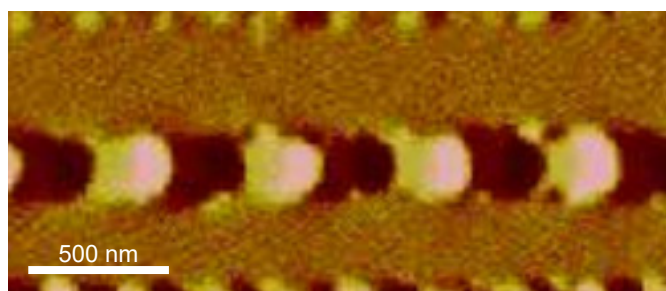
应用实例

硬盘的磁位

针尖的磁化很容易被写入硬盘的磁位杂散场反转。结果，在两个比特的两半处检测到吸引磁力。虽然这种效果使结果的解释更加困难，但它可用于检查极其坚硬的磁性样品。代替针尖磁化的随机重新定向，LC-MFMR探针的磁矩将始终与样品的磁化直接相反。



使用PPP-LC-MFMR探针获取具有254nm长写入比特的硬盘的磁图像（频移）（样本由Maxtor提供）



比较用标准PPP-MFMR探针获得的相同样品的磁图像（频移）

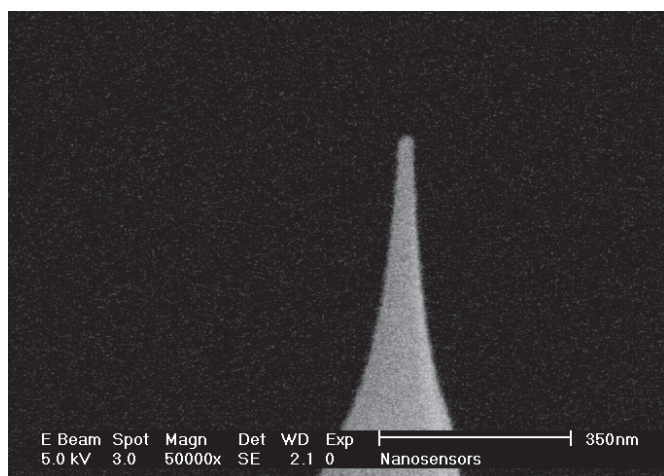


SuperSharpSilicon™ 高分辨率磁性力调制显微镜探针 (SSS-MFMR)

SSS-MFMR探针针对高分辨率磁成像进行了优化。SuperSharpSilicon™针尖基础与非常薄的硬磁涂层结合使得涂层针尖的半径极小，并且针尖上的最后几百纳米具有高纵横比 - 对于高达20nm的高横向分辨率的基本要求环境条件。

由于针尖的磁矩较小，与标准PPP-MFMR探针相比，磁力的灵敏度降低，但软磁样品的干扰也减小了。

针尖上的硬磁涂层的特性在于矫顽力。125 Oe和应用的剩磁磁化。80emu / cm³（这些值在平坦表面上测定）。



SSS-MFMR针尖的SEM图像（局部放大图）

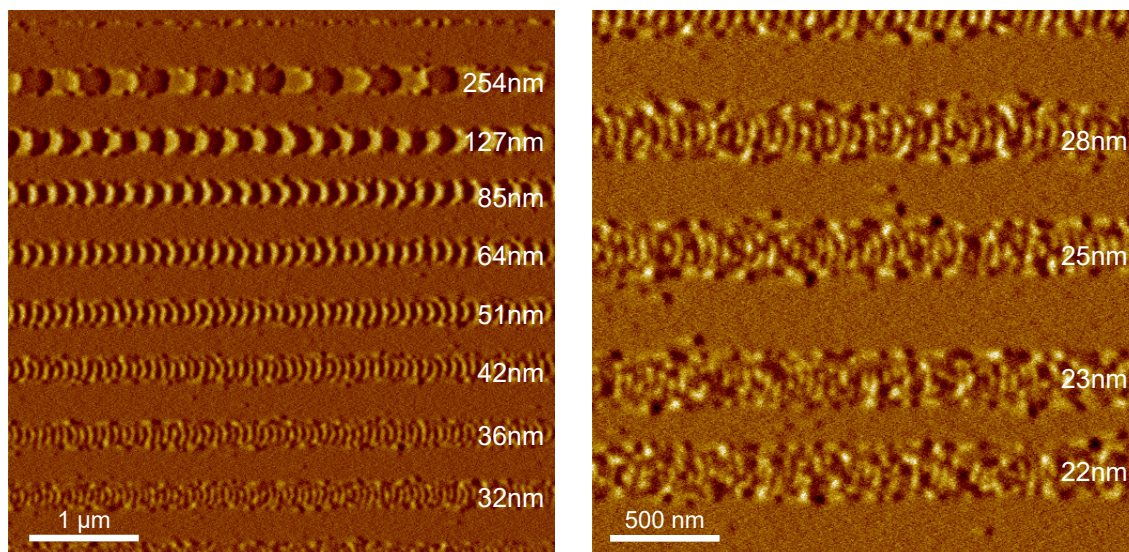
探针性能一览

- 应用的矫顽力 125 Oe
- 应用的剩磁磁化 80 emu/cm³
- 有效磁矩0.25x标准PPP-MFMR探针
- 保证针尖曲率半径<15 nm
- 磁共振分辨率优于25 nm
- 悬臂梁探测器侧面的反射涂层

应用实例

高密度硬盘

硬盘上的磁位可以用高分辨率磁性力调制显微镜探针SSS-MFMR表征，其位长度为25nm。通过具有254nm至22nm的不同比特长度的实验硬盘可以证明该分辨率能力。

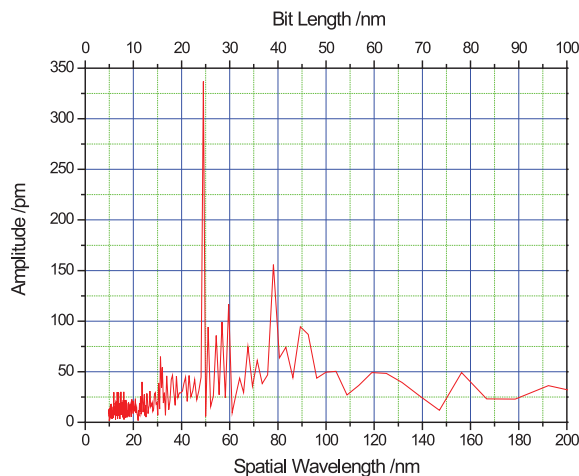
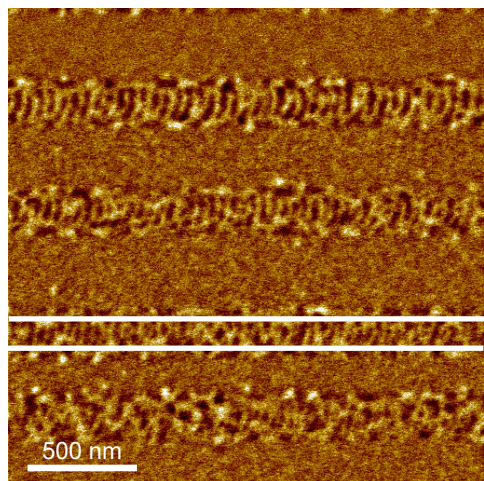


使用SSS-MFMR探针测量具有不同位长的实验硬盘的磁图像（相移）（由Maxtor提供）



分辨率性能演示 (SSS-MFMR)

磁图像的空间分辨率可以通过对实验硬盘样本处测量的磁位进行傅里叶分析来确定。在解析比特的情况下，频谱包含对应于磁的位长度尺度的清晰峰值。由于比特长度的定义为相反磁化方向之间的距离（最大通量变化），所确定的空间波长恰好是位长度的两倍。

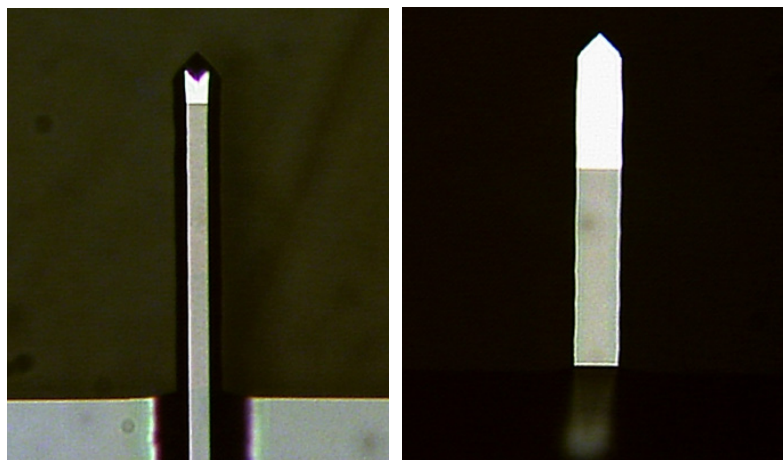


23nm比特轨道的傅立叶分析（左MFM图像的白线之间的平均轮廓），在48nm的空间波长处显示出显著的峰值，相应于24nm的位长度。

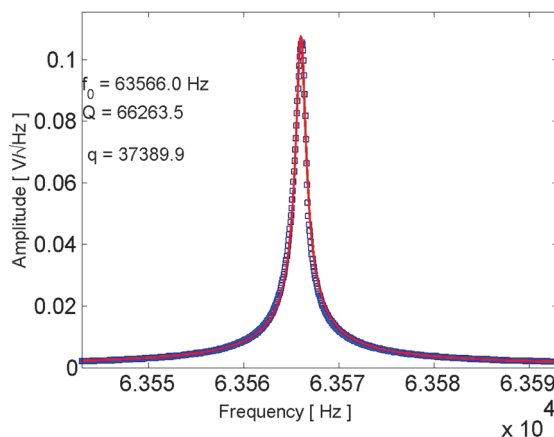
高品质因子磁性力调制显微镜探针 (SSS-QMFMR和PPP-QLC-MFMR)

高分辨率MFM探针和低矫顽力MFM探针也可提供特殊版本，适用于超高真空条件下的应用。SSS-QMFMR和PPP-QLC-MFMR探针设计用于实现UHV中高于30,000的Q因子。

磁特性分别与SSS-MFMR和PPP-LC-MFMR探针的特性相同。UHV条件下的典型Q因子超过35,000，探测器侧的铝涂层确保了出色的分辨率和增强的信噪比。



具有部分涂层悬臂梁的高品质因子MFM探针的照片（左侧：针尖侧，右侧：探测器侧）



典型高Q因子MFM探针的共振曲线



■ 探针性能

	PPP-MFMR (标准)	PPP-LM-MFMR (低动力)	PPP-LC-MFMR (低矫顽力)	SSS-MFMR (高分辨率)
力常数·(标称值)	2.8 N/m	2.8 N/m	2.8 N/m	2.8 N/m
共振频率(标称值)	75 kHz	75 kHz	75 kHz	75 kHz
针尖侧面涂层	硬磁	硬磁	软磁	硬磁
矫顽力 ^{*1}	300 Oe	250 Oe	0.75 Oe	125 Oe
磁化 ^{*1}	300 emu/cm ³	150 emu/cm ³	225 emu/cm ³	80 emu/cm ³
磁性针尖矩 ^{*2}	≈10 ⁻¹³ emu	x0.5	x0.75	x0.25
保证针尖半径 ^{*3}	< 50 nm	< 30 nm	< 30 nm	< 15 nm
可实现的横向分辨率 ^{*4}	< 50 nm	< 35 nm	< 35 nm	< 25 nm
探测器侧面涂层	反射	反射	反射	反射
高品质因子版本			PPP-QLC-MFMR (低矫顽力)	SSS-QMFMR (高分辨率)
UHV 品质因子 ^{*5}			> 30 000	> 30 000

^{*1} 在平面基底上测量的涂层性能

^{*2} 基于针尖顶点的假定有效磁体体积估计

^{*3} 曲率半径，包括磁性涂层

^{*4} 在优化的测量条件下可实现的分辨率

^{*5} 在UHV条件下测量