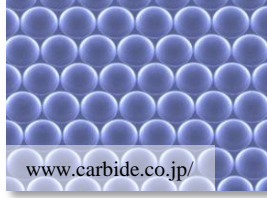
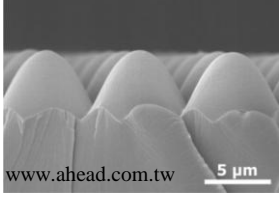


三次元微細形状測定のための走査型静電気力顕微鏡(SEFM)に関する研究

ナノ計測制御学分野
Nano-metrology and Control Lab.

研究背景

■ 電子機器の小型化や次世代デバイスの開発に伴い、表面に微細形状を有する機能性材料の需要が拡大している。

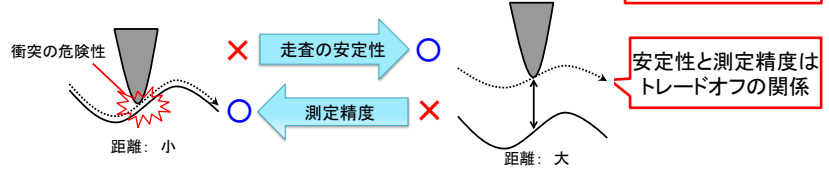


■ デバイスの加工精度評価のため、表面の三次元微細形状を定量的かつ非破壊で測定するツールが必要とされている。

■ 従来型SPM(走査型プローブ顕微鏡)における特徴と課題

- ナノメートルオーダーの三次元形状測定が可能
- ▲ 大振幅形状の測定が困難
- ▲ 測定速度が遅い

探針-試料間距離が小さいことが原因 (1 nm ~ 10 nm)



■ 研究の目的

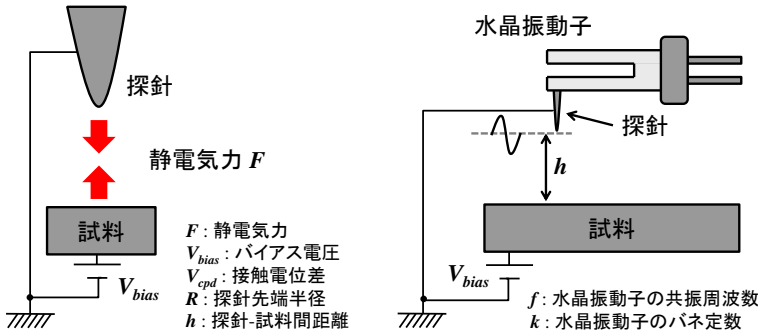
三次元微細形状測定を高速・高精度で行うための走査型静電気力顕微鏡(SEFM, Scanning Electrostatic Force Microscope)の開発

SEFMによる形状測定原理

コンセプト

- 探針-試料間に働く静電気力の利用による距離の拡大
- Dual Height法の適用による測定精度の向上

静電気力の検出



■ 静電気力の大きさ

$$F = \frac{1}{2} \pi \epsilon_0 \epsilon_r (V_{bias} + V_{cpd})^2 \frac{R}{h}$$

- 探針-試料間にバイアス電圧を印加すると静電気力が発生
- 静電気力を水晶振動子の共振周波数のシフトとして検出

■ 水晶振動子の周波数シフト

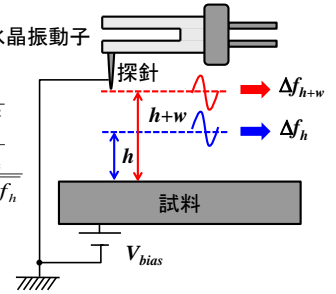
$$\Delta f = \frac{1}{2} \frac{f}{k} \frac{\partial F}{\partial h} = -\frac{1}{2} \frac{f}{k} \pi \epsilon_0 \epsilon_r (V_{bias} + V_{cpd})^2 \frac{R}{h^2}$$

Dual Height法の原理

- 異なる二つの高さで検出される周波数シフトから探針-試料間の絶対距離を算出

$$\begin{cases} \Delta f_h = -\frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r R f_0 (V_{dc} + V_{cpd})^2}{2k} \frac{1}{h^2} \\ \Delta f_{h+w} = -\frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r R f_0 (V_{dc} + V_{cpd})^2}{2k} \frac{1}{(h+w)^2} \end{cases}$$

$$\text{探針-試料間距離: } h = w \cdot \frac{\sqrt{\Delta f_{h+w} / \Delta f_h}}{1 - \sqrt{\Delta f_{h+w} / \Delta f_h}}$$



形状測定への応用

■ 点xにおける探針-試料間距離h(x)

$$h(x) = w(x) \cdot \frac{\sqrt{\Delta f_{h+w}(x) / \Delta f_h(x)}}{1 - \sqrt{\Delta f_{h+w}(x) / \Delta f_h(x)}}$$

ただし、 $w(x) = d_w(x) - d(x)$

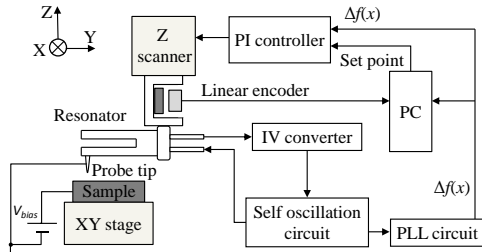
■ 試料表面の形状s(x)

$$s(x) = d(x) - h(x)$$

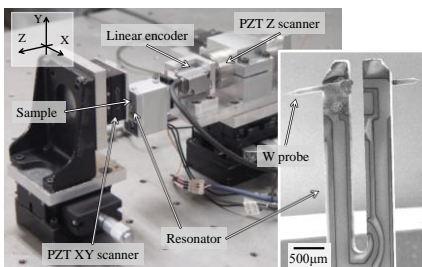
■ 探針の追従軌跡から探針-試料間距離を差し引いて形状を算出

SEFMの開発と形状測定実験

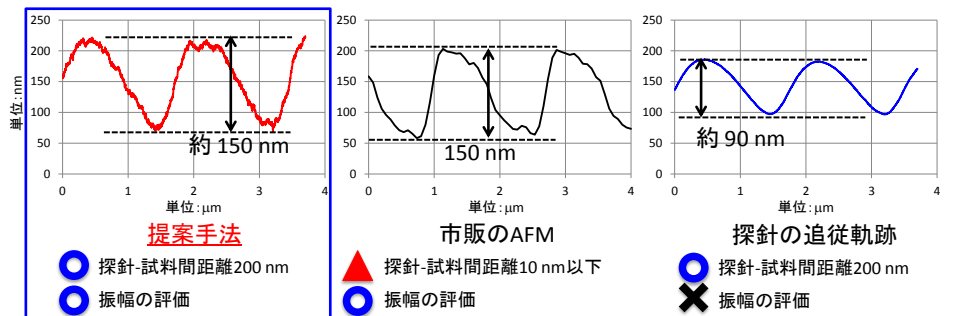
■ 装置構成



■ 形状測定セットアップ



■ 回折格子の形状測定結果



■ 探針-試料間距離200 nmで形状測定を実現(市販AFMの20倍以上)

■ Double Height法の適用により市販AFMに近い高精度な形状測定を実現

■ スキャンラインを移動しながら測定を行うことで三次元形状測定を実現

■ Dual Height法を応用した形状測定手法の有効性を確認

