原子間力顕微鏡（AFM）によるAM KPFMとSideband KPFMの比較とその応用

パーク・システムズ・ジャパン（株） 後藤千絵[1], Cathy Lee[2]

[1]Park Systems Japan Inc. 1-17-1 Kanda-Nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan
[2]Park Systems Corporate KANC 15F, Gwanggyo-ro 109, Suwon 16229, Korea

KPFMは、さまざまな研究分野で表面層の局所の電荷分布、表面電位分布、表面仕事関数の変動および強誘電性ドメインを調査するために広く利用されている。

従来の方法である振幅変調 AM KPFMでは、測定 信号はAC周波数信号の振幅を介してサンプル表面とチップ間の静電力に直接関係する。これは、AM KPFMがAFMカンチレバー全体の影響を強く受け、平均化効果により解像度と感度が低下することを意味する。 Sideband FM KPFMは、AM KPFMと比較して表面電位測定の空間分解能と感度の点でメリットがある。Sideband FM KPFMは、AM KPFMで使用される静電力ではなく、力の勾配を検出する。カンチレバー全体が静電力の影響を受けるAM-KPFMより力勾配のレンジが短いためチップ先端での局所的な相互作用力を測定できる。

カンチレバーがf_0で機械的に共振しているとき、f_{ac}のAC電圧を印加すると周波数スペクトルの$f_0 \pm f_{ac}$にSideband（図2, 黄色でマーク）が現れる。チップとサンプルの接触電位差に一致するDC電圧を印加することによりSidebandが消失し、印加されたDC電圧が表面電位と等価になる。

Sidebandを発生させ、その信号を検出するために2つのロックインアンプを使う。2nd ロックインと3rdロックインは、それぞれ左のSideband、右のSidebandのために使われる。2つのロックインアンプからの出力信号は平均化されDC電圧を調整するためのフィードバックに使用される。AFMコントローラから必要なDC電圧が、カンチレバーに直接印加される。

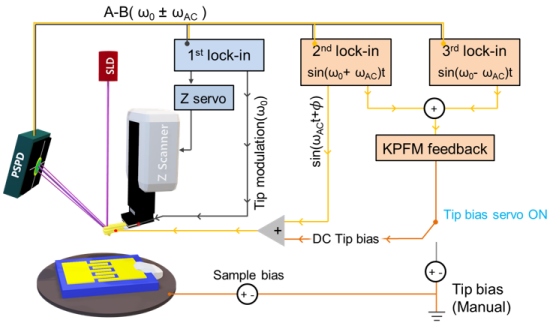

図1. 2つのロックインアンプを使用するSideband KPFMのブロックダイヤグラム

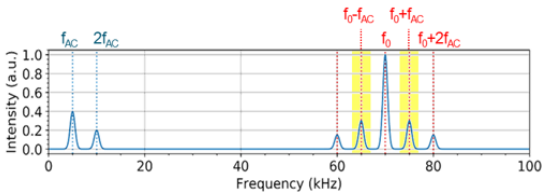

図2. カンチレバーの共振とSidebandの波形

シリコン上のポリマードット観察例

AM KPFM, Sideband FM KPFMさらにlift modeを使用したSideband FM KPFMでノンコンタクトのフィードバックの確認も含めた比較を実施した。図3. はAM KPFMがリフトモードを含むサイドバンドKPFMよりも低い表面電位コントラストであることを示している。
サイドバンドKPFMの場合、リフトなしのone passモードと5 nmのリフトモードを使って実施したtwo passモードの間に有意差は無かった。表面電位の断面プロファイルを見ると、AM KPFMで約180 mV、リフトなしサイドバンドKPFMで約300 mV、5nmのリフトサイドバンドKPFMで約330mVだった。
何度かの反復テストに基づいて、すべてのSideband FM KPFM分析がAM KPFMよりも改善された空間分解能と潜在的な感度を示すことがわかった。形状測定はNCM（ノンコンタクトモード）によって実施され、One passモードでもクロストークなしで真の表面形態と明確なKPFM信号を得ることができている。

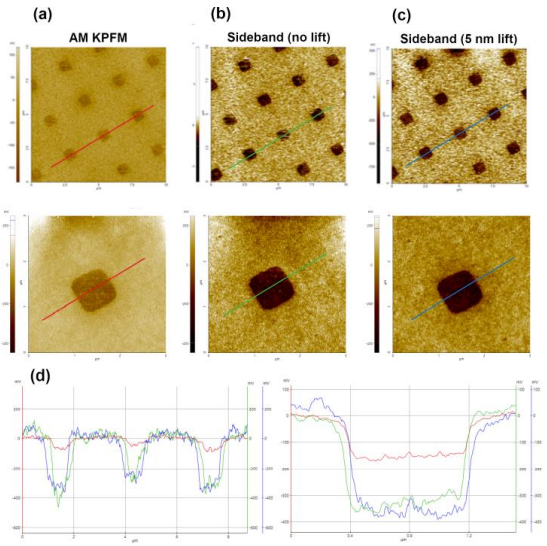

図3. ポリマードットとシリコン基板のコントラスト