

電子顕微鏡内で動作する顕微解剖用小型 AFM の開発

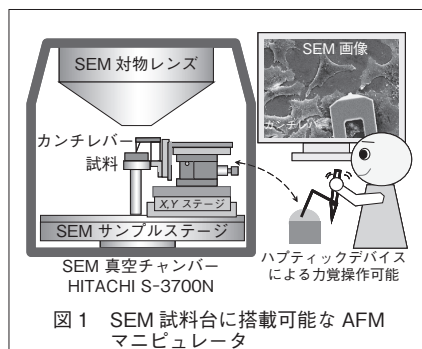


図1 SEM試料台に搭載可能なAFMマニピュレータ

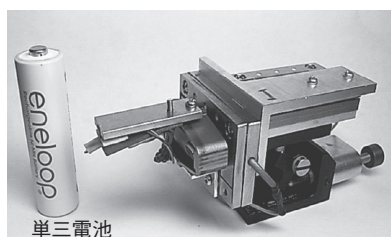


図2 小型AFMマニピュレータ

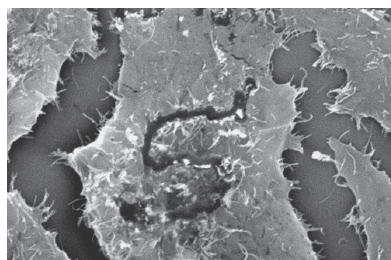


図3 HeLa細胞の加工 (SEM画像)
Shizuoka Univ. の頭文字 'S' の文字を
ハプティックデバイスを用いて加工

1. はじめに

ナノテクノロジーの研究を支えるナノスケールでの顕微観察技術として走査型プローブ顕微鏡 (Scanning Probe Microscope: SPM) がある。SPMは今日、観察手段のみでなく、微細加工やマニピュレータとしての技術開発が盛んに取り組まれている。装置はシンプルで比較的低コストでありながら高い位置決め精度を有していることから、次世代のナノエレクトロニクスにおける基礎的なデバイスの試作技術やバイオ試料のマニピュレーションなどに注目されている。

われわれはプローブ顕微鏡を超精密なマシニングツールとしてさまざまな (機械的, 化学的, 光学のおよび電気化学的) 相互作用を利用した微細加工技術を開発している。こうした加工ツールとしてのプローブ技術について、本稿では走査型電子顕微鏡 (以下、

SEM) との複合化装置としてSEMの真空チャンバー内ステージ上に搭載可能な小型のAFM型マニピュレータの開発について紹介する。

本装置はSEM観察しながらAFMプローブを観察対象に位置決めし、そのまま表面形状のAFM観察が可能である。また、AFMをマニピュレータとして微細加工に用いる際にもSEM観察でモニタリングしながら動作可能であり、高い操作性を有している。本稿では本装置を生体細胞の顕微解剖に応用した例についても紹介する。

2. 小型AFMマニピュレータ

本研究で開発したAFM型マニピュレータを図1および2に示す。寸法は縦×横×高さが約50mm×30mm×35mmであり、SEM試料台への搭載可能なサイズである。通常AFMにおけるカンチレバーのたわみ検出は一般には光テコなど光学系を用いるが、本装置ではSEMとの同時測定において対物レンズの直下にカンチレバーが位置するため光学系を構成する空間を確保できない。よって、本装置はひずみ抵抗を有する自己検知型カンチレバーを用いることでシンプルな装置構成を実現しており、対物レンズと試料台の狭いスペースにカンチレバーを挿入した形で動作できる。

AFMユニットはプローブの位置決め粗動機構と微動・走査機構を有したスタンドアロン型である。プローブアプローチ用のZ軸粗動機構は水平面Z軸ステージと小型圧電素子モータを組み合わせた構成でありストロークは4mmある。X, YおよびZ軸の微動・走査機構には変位拡大機構を有する圧電アクチュエータを使用することで小型でありながらそれぞれ50 μ m程度のストロークを確保でき、生体細胞などの顕微解剖も可能である。またAFMカンチレバーの代わりに顕微解剖用のマイクロ解剖針やMEMSマイクロナイフを取り付けることも可能であり、幅広い微細加工に応用できるよう設計されている。ソケット部には微細加工または顕微解剖の際に生じる微小な相互作用力を検出できるようにひずみゲージが組み込まれている。

3. 力覚制御デバイス

AFM型マニピュレータを用いて顕微解剖や微細加工などを行う場合、通

常は複雑な装置操作が要求される。本装置はこうした場合のオペレータの操作性向上を考慮したヒューマンインタフェースとしてハプティックデバイス (力覚デバイス) を用いた制御システムを開発した。

これによりAFM動作においてカンチレバーにより検出された微弱な力信号をハプティックデバイスのハンドルを通してオペレータは指先に感じることができ、表面凹凸情報を把握することができる。実験では光ディスク表面やバイオ細胞表面をプローブでなぞった際の表面形状の様子をオペレータは指先に感じることができており、SEM観察下で動作する本装置が視覚情報のみでなく、触覚情報も取得しながら動作できる操作性の高さを実証している。

4. 微細加工結果

図3は本装置を用いてHeLa細胞 (ヒト子宮頸癌 (けいがん) 細胞培養株) の表面を微細加工した例である。ハプティックデバイスのハンドルを押しこむことで試料に対して強い加重を印加でき、表面からの力応答信号を感じながらスクラッチ加工した。細胞が切断されている様子がわかる。このように表面微細加工やバイオ試料の顕微解剖技術として本装置が有効であることを確認した。

このほか、カンチレバー部をマイクロ解剖針に交換することでラット腎 (じん) 臓の糸球体切断なども可能であった。

5. おわりに

SEM試料台に搭載可能な小型かつスタンドアロンで動作可能なAFMマニピュレータの開発について紹介し、細胞の切断など顕微解剖への応用例を示した。本装置は小型でありSEM試料台に複数台搭載可能であることから、今後はそれらの協調共同操作によりさらに高度な作業が可能になるよう開発する。

本研究は文部科学省・JSTの受託研究“次世代電子顕微鏡要素技術開発”の成果の一部である。関係者ならびに課題総括の新潟大学医学部牛木辰男教授に感謝申し上げる。

(原稿受付 2009年4月28日)

[岩田 太 静岡大学]