

走査型プローブ顕微鏡用ダイヤモンドプローブ付カンチレバーの開発

1.序論： 走査型プローブ顕微鏡（SPM）は、1980年代初頭のIBMチューーリッヒの研究者による走査型トンネル顕微鏡（STM）の開発に始まり、多くの機能開発がなされ、幅広い産業応用が進展してきている。そのひとつに、原子間力顕微鏡（AFM）があり、表面形状の測定評価のみならず、微細加工ツールとして応用開発がなされている。今回、我々は加工用ツールとして使用する際に用いるダイヤモンドプローブの産業用途への普及を意図し、量産可能なダイヤモンドプローブ付カンチレバーの開発を行った。また、当該ツールを使用し、ナノスケール加工が可能な機械的リソグラフィ法も検討した。

2.理論： AFMに使用するカンチレバーは通常Siを用いて製作される。しかし、Siは機械的堅牢性に乏しく、大きな応力や衝撃が生じるプローブ機械加工の用途には適さない。そこで、汎用のオーステナイト系ステンレス（SUS304）を用いて、カンチレバーの製作を試みた。AFMでは、カンチレバープローブの典型的な駆動方法として、カンチレバーの機械共振を利用したタッピングモードといわれる手法が多用される。これは、プローブによる試料表面状態に与える影響を排除して、高感度な測定を行うことを目的として開発された手法で、表面をプローブで直接的なぞるコンタクトモードに比して、試料表面との摩擦による影響やゴミ等の吸着による計測感度の劣化が抑制できる。タッピングモードでの計測時のカンチレバー駆動を前提として、機構設計を行った。カンチレバーを片端固定の片持梁で近似すると、その系の自由振動を記述する力学方程式は、

$$\frac{d^2u}{dt^2} + c^2 \frac{d^4u}{dx^4} = 0, \quad c^2 = EI / A \quad (1)$$

となる。ここで、 u ;梁の振動変位、 x ;梁長手方向座標、 t ;時間、 E ;縦弾性係数、 A ;梁断面積、 I ;断面二次モーメント、 ρ ;密度である。カンチレバーの断面を矩形とし、適当な境界条件の下で、SUS304の材料特性値を用いて(1)式を数値計算により解いて得たカンチレバーの一次振動モード周波数、バネ定数を表1に示す。

表1：SUS304製カンチレバーの機械共振特性値

カンチレバー部寸法 [μm]			一次振動周波数 [kHz]		バネ定数 [N/m]
長	厚	幅	理論設計値	実験値	理論設計値
500	15	100	300	-	130
750	35	100	312	309	490

3. 実験： 理論計算により求めたカンチレバー設計に基づき SUS304 製カンチレバーの製作を行った。基材となる SUS304 にドライフィルムレジストを用いてフォトリソグラフィによりエッチングマスクを形成し、塩化第二鉄水溶液に浸漬することで、カンチレバーを作製した(図 1 a)。製作したカンチレバーの機械共振特性を測定した結果を図 1 b および表 1 に示す。



図 1 a 試作したカンチレバー

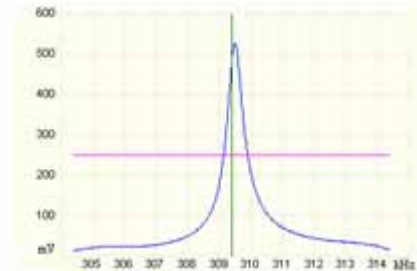


図 1 b 機械共振特性

このようにして作製したカンチレバーにダイヤモンド製プローブを搭載し(並木精密宝石社の提供による)、AFM 測定や、機械的リソグラフィ法等への応用実験を行った。図 2 にダイヤモンドプローブ付 SUS 製カンチレバーで、VLSI 標準段差試料の表面を AFM 計測した結果を示す。また、GaAs 基板表面に厚さ 5nm 程度のレジスト層を形成して、当該レジストをダイヤモンドプローブで直接スクラッチ加工により部分的に除去し、クエン酸系エッチング液に浸漬して、エッチング加工を施したところ、図 3 に示すように、数百 nm 程度の線幅の微細加工が達成できた。

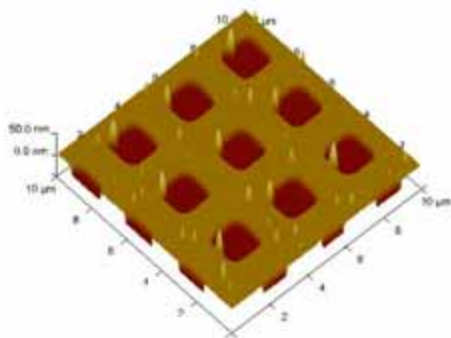


図 2 VLSI 標準試料の AFM 像

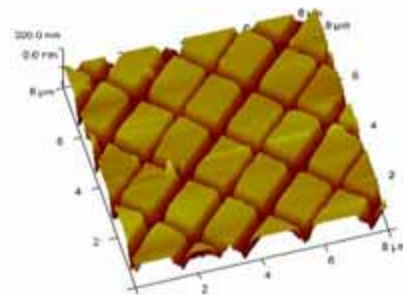


図 3 GaAs のプローブリソグラフィ加工

4. まとめと課題： SUS304 を基材とした SPM 用カンチレバーの設計製作を行い、ダイヤモンドプローブを搭載することで、SPM 用ダイヤモンドプローブ付カンチレバーを量産可能な水準で作製した。また、製作したカンチレバープローブを用いて AFM 測定と機械的リソグラフィ加工等の応用実験をおこなった結果、良好な結果を得た。さらに、機械加工の均一性の追及、導電性の付与等によるあたらなプローブ機能の開発と応用研究を行っている。