

課題番号 : F-14-TU-0107  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : MEMS カンチレバーデバイスの形成  
Program Title (English) : Fabrication of MEMS cantilever devices  
利用者名(日本語) : 峯田 貴<sup>1)</sup>, 三浦嘉隆<sup>1)</sup>, 三品和樹<sup>2)</sup>, 佐藤翼<sup>2)</sup>  
Username (English) : T. Mineta<sup>1)</sup>, Y. Miura<sup>1)</sup>, K. Mishina<sup>2)</sup>, T. Satoh<sup>2)</sup>  
所属名(日本語) : 1) 山形大学大学院理工学研究科機械システム工学専攻, 2) 山形大学工学部  
Affiliation (English) : 1) Department of Mechanical System Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, 2) Faculty of Engineering, Yamagata University

## 1. 概要 (Summary)

生体分子等の分子像を観察しながらその場で機械的な操作を施すナノツールとして、デュアル AFM (Atomic force microscopy) プローブの開発に取り組んでいる。近接したデュアル Si 探針を自己整合エッチングプロセスで形成する際に、パターン配列を鋭角化することで探針先端の幾何学的形状の先鋭化を図り、磁歪薄膜を積層した MEMS 構造のカンチレバーへ探針を一体形成したデュアル AFM プローブを試作した。探針先端の形状を評価し、AFM 像イメージングの検証を行った。

## 2. 実験 (Experimental)

近接 Si 探針形成の形成プロセスおよび磁歪膜積層カンチレバーの形成プロセスは以下の通りである。最終工程(i)の基板貫通エッチングを東北大学試作コインランドリ (ナノテクノロジープラットフォーム) の深堀用の反応性イオンエッチング (Deep Reactive Ion Etching: DRIE) 装置を利用し、そこまでの(a)~(h)の試作は自大学の研究室内のプロセス装置類を用いて実施した。

SOI 基板 (Silicon on insulator: デバイス層 5  $\mu\text{m}$ /BOX 層 1  $\mu\text{m}$ /基板層 550  $\mu\text{m}$ ) を用い、(a) 電子線描画によるレジストパターン形成、(b) RIE (reactive ion etching) による深さ 5  $\mu\text{m}$  の微細トレンチエッチング、(c) 保護層によるトレンチ埋込、(d) 研磨による Si 表面の露出、および(f) Si 表面の結晶異方性エッチングの一連のプロセスにより、SOI 基板のデバイス層へ Si の三角錐状のデュアル探針を自己整合的に近接形成した。デュアル探針形成後に、以下に示すように、(g) スパッタ成膜およびリフトオフによる磁歪薄膜パターン形成、(h) Si デバイス層のカンチレバー形状へのドライエッチング、(i) SOI 基板層の DRIE による貫通加工の手順でデュアルカンチレバーを形成した。

形成した Si 探針の先端形状を評価し、また、試作したデュアル AFM プローブによる生体分子のイメージングにおける解像度の評価実験を行った。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

形成した近接 AFM 探針を Fig. 1 に示す。幅 300 nm のレジストパターンをマスクにして自研究室で開発した特製 ICP エッチング装置により形成したトレンチパターンと、最終的に結晶異方性エッチングで出現した Si(111) 面によって構成される三角錐形状 Si 探針(約 4  $\mu\text{m}$  高さ)を 300 nm-500 nm のギャップで近接形成することができた。トレンチパターンを配列する際のコーナー角度を変えて探針先端の先鋭化を検討した。鋭角すぎるとトレンチ形成の RIE 時の僅かなサイドエッチングによってギャップの拡大や探針部の後退が発生したが、コーナー角度を 30~60° にすることで先鋭な幾何学的形状をもつデュアル探針先端を 350~500 nm 程度のギャップで安定して形成可能であった。先端の曲率半径は 20~70 nm 程度でばらつきがあり、トレンチ配列の鋭角化による効果にも限界があるため別の手法による先端のシャープニングが必要である。

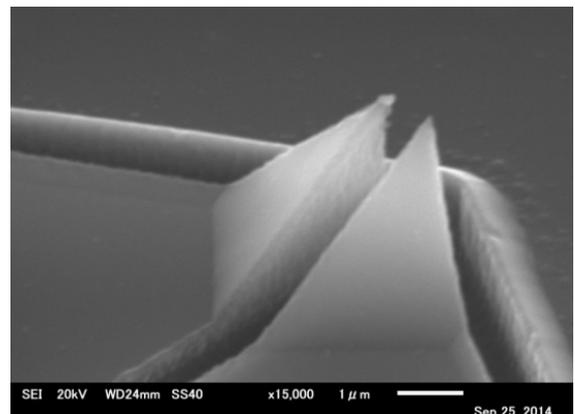


Fig. 1 SEM image of fabricated sharp dual AFM tip.

デュアル AFM カンチレバーの試作結果を Fig. 2 に示す。直交して配置したカンチレバーのそれぞれの先端にナノ探針を形成し、各カンチレバーの磁歪膜を外部磁場によってたわませて試料表面に接する探針を切り替える構造である。基板層の裏面からの DRIE によってほぼ垂直に加工し、磁歪膜積層デュアルカンチレバーを形成したが、DRIEの際に根元部に最大 50  $\mu\text{m}$  程度のアンダーカットが生じ、カンチレバー初期たわみの差が生じる要因となった。

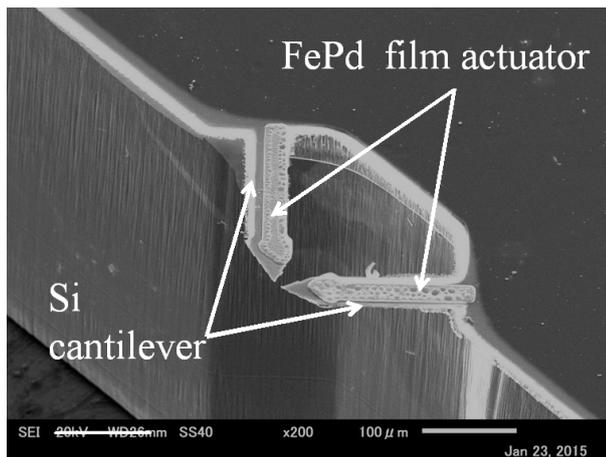


Fig. 2 SEM image of completed dual AFM cantilever with sharp Si dual tip.

試作したデュアル AFM プロブの片側のカンチレバーを折り取ってシングルプロブとして使用し、汎用の AFM 装置(SII, nanocute)に取り付け、 $\text{SiO}_2$  表面上に捕捉したヒアルロン酸分子のバンドル(幅 $\sim 50$  nm)のタッピングモード観察を行った。試作した AFM カンチレバーの共振周波数は約 52 kHz で Q 値は 120 である。試作したプロブによってほぼ正確な寸法で HA 分子バンドルを捉えることができた。基板表面の微小な凹部のイメージングについては解像度に限界があり、さらなる先端の先鋭化が必要であったが、低温熱酸化法によって極率半径 10 nm 以下まで容易に先端を先鋭化することができた。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

本実験を遂行するにあたり、東北大学マイクロシステム融合研究開発センター最先端研究開発部門の森山雅昭助手には DRIE のプロセス条件の調整および装置使用など詳細に渡り御支援いただいた。

自研究室内に保有する試作プロセス設備と東北大試作コインランドリの装置類を組み合わせることで試作プロセスを進

めることにより、短期間でのデバイス試作開発が可能となった。ここに謝意を表す。

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) 三浦嘉隆, 峯田貴, 三品和樹, 川島健太, “近接デュアル AFM 探針先端の先鋭化プロセスの検討”, 日本設計工学会秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.109-110 (2014).
- (2) 峯田 貴, 川島 健太, 田口涼雅, ”近接シリコン探針と FePd 磁歪膜アクチュエータを搭載したデュアル AFM カンチレバー形成と動作特性評価”, 第 6 回マイクロナノ工学シンポジウム, 20pm1-E4 (pp.1-2) (2014).
- (3) 三品和樹, 峯田貴, 三浦嘉隆, 佐藤翼, “先鋭 Si デュアル AFM 探針の形成と評価”, 第 45 回機械学会東北支部学生会, pp.37-38 (2015).

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。