

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360108

研究課題名(和文)低ノイズ変位機構を搭載したナノ加工・その場計測プローブの開発

研究課題名(英文)Development of nano-probe with low noise actuation mechanism for nano-machining and in situ measurement

研究代表者

峯田 貴(MINETA, TAKASHI)

山形大学・理工学研究科・教授

研究者番号：50374814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：原子間力顕微鏡(AFM)技術は計測手段としてのみならず、先鋭なナノ探針先端を用いた生体高分子の分子サージャリなど、分子科学領域での新しいナノツールとして発展が期待される。ナノ加工とその場での高解像計測を両立するために、本研究では、ナノニードル(探針)を2本のカンチレバー先端に配置したデュアルプローブを形成し、ナノ加工用と計測用に使い分ける機構を開発した。先鋭な探針先端を500 nmまで近接して形成する自己整合プロセスを開発し、また、直交配置したマイクロカンチレバーへFePd磁歪薄膜を積層形成し、低ノイズで探針切り替え可能な外部磁場による変位機構をもつデュアルAFMプローブを開発した。

研究成果の概要(英文)：Atomic force microscopy (AFM) is expected not only as a measurement tool but also as a novel nano-machining tool in molecular science field such as molecular surgery. In order to realize nano-machining and in-situ molecular imaging with high resolution, this research focused on the development of narrow-gapped dual AFM probe with individual nano-tips on each cantilever for nano-machining and imaging. Self-align etching process was developed to fabricate a sharp dual tip separated by 500 nm. A dual cantilever with magneto-strictive film (FePd alloy) was also developed as a low noise actuator for switching the two tips by external magnetic field.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：AFM デュアルカンチレバー 磁歪薄膜 近接探針 ナノ加工 その場計測 低ノイズ変位機構

1. 研究開始当初の背景

原子間力顕微鏡(AFM)用のシャープなナノ探針先端を用い、試料表面へのナノインデントーションやナノスクラッチ等の試料表面層における機械的物性の研究をはじめ、近年では、DNA などの生体高分子の機械的切断(分子サージャリ)への適用も試みられるなど、AFM 技術は計測手段としてのみならず、分子レベルでの新しい領域を切り開くナノツールとしてさらなる発展が期待される。生体高分子のような柔軟な材料では加工に使用した探針先端に分子が付着するために、同一探針によるその場での高解像分子像の観察は困難であった。これまで研究代表者は、ナノ探針を2本のカンチレバー先端に配置したデュアルプローブを用いてナノ加工用と計測用に使い分ける機構を提案してきたが、AFM の視野内に収まるレベルで近接化した探針が望ましく、また、カンチレバー切り替え駆動に起因する僅かな熱的・電気的ノイズも分子レベルでの計測の阻害要因となるため、低ノイズのアクチュエータの実現が課題であった。

2. 研究の目的

本研究では、生体高分子等の分子レベルの微小領域での高精度のナノ加工と高解像計測を実現するために、サブミクロンのギャップで近接した探針をもち、電気的な駆動機構を用いずに外部からの静磁場による磁歪効果のみによってデュアル AFM カンチレバーを変位させる低ノイズのアクチュエータ機構を実現し、生体高分子等のナノ加工への適用の指針を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

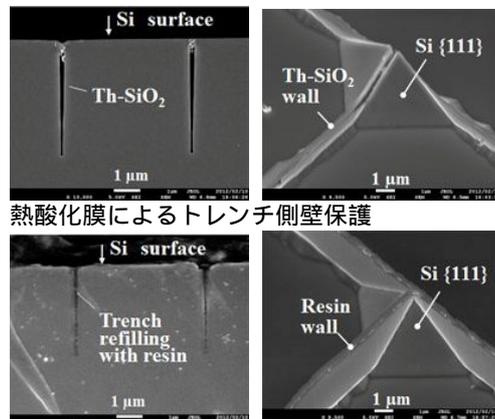
原子間力顕微鏡(AFM)で機械的なナノ加工を施しながら分子像観察するために、近接した2本の探針を加工用と計測用に使い分けるデュアルプローブの着想に基づき、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術により、自己整合エッチングによる近接 AFM デュアル探針形成プロセス開発、デュアルカンチレバー駆動のための最適な磁歪薄膜材料および膜厚の探索、デュアルカンチレバー形成を行い、近接探針を搭載したデュアル AFM プローブの形成および駆動特性を検証し、AFM 探針によるナノ加工および計測の基礎的な評価を行い、静磁場印加のシンプルな制御によって、発熱や電気的ノイズの影響を受けずにカンチレバーを切り替え、ナノ加工および高解像観察を実現するデュアル AFM プローブの有効性を検討した。

4. 研究成果

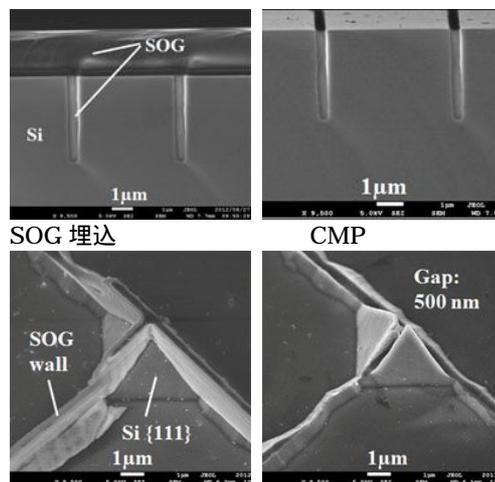
(1) 近接デュアル探針形成

ナノ加工と計測のプローブ切り替え時の位置補正の精度向上には探針間の近接化が有効であり、カンチレバー先端に搭載するナ

ノ探針をさらに近接する新しい形成プロセスを開発した。単結晶シリコンを自己整合的に微細加工して近接ナノ探針を形成するために、シリコン基板の 110 方位に沿って T 字状パターンの超微細トレンチを形成し、側壁保護層形成後の研磨によって(100)面を露出させ、結晶異方性エッチングにより{111}結晶面をもつ三角錐形状シリコン探針を背中合わせに形成するプロセスを考案した。まず、自作開発した反応性イオンエッチング装置の処理条件の最適化を図り、開口幅 350nm で深さ数  $\mu\text{m}$  の超微細シリコントレンチを形成した。図1に示すように、熱酸化膜(100nm)および塗布型樹脂を埋め込んで保護層とし、アルミナ砥粒による機械研磨で表面層を除去し、結晶異方性エッチングによって約 500nm のギャップで近接したデュアル探針形状の形成が可能になった。熱酸化時にシリコン側壁が合計 100nm 程度後退し、また、研磨時にトレンチ肩部が丸くだれて両探針の不



熱酸化膜によるトレンチ側壁保護  
熱酸化膜および樹脂埋込による保護  
図1 超微細トレンチエッチング、側壁保護、機械研磨、および結晶異方性エッチングによる近接探針形成



SOG 埋込 CMP  
結晶異方性エッチング SOG 除去  
図2 SOG 埋込および CMP を用いた自己整合プロセスによるシリコン近接探針形成

揃いの原因となり、探針形成後の樹脂埋込層の除去も容易ではない点などが課題である。

次にこれらを改善する手法として、塗布型ガラスである SOG (Spin on glass) によってシリコントレンチを埋め込み、化学機械研磨 CMP (Chemical mechanical polishing) により除去するプロセスを検討し、図 2 に示すようにギャップ 500nm、高さ 4 $\mu$ m の近接デュアル探針の良好な形成プロセスを確立した。超微細なシリカゾル砥粒を用いた CMP により、トレンチ肩部もシャープなエッジのまま SOG を高い選択比で研磨でき、また、探針形成後には、SOG 埋込層およびシリカゾル砥粒をフッ酸系の溶液で容易に除去可能であり、実用性の高いプロセスである。

### (2) 磁歪膜の特性評価

デュアルカンチレバーの切り替え駆動のアクチュエータとして、大きな磁歪効果が報告されている FePd 合金および FeGa 合金に着目し、さらに作製が容易な Ni を加えた 3 種類の薄膜をシリコン熱酸化膜上にスパッタ成膜し、結晶構造、磁歪効果等を詳細に評価した。また、磁歪評価用に MEMS カンチレバー (50  $\mu$ m 厚、8 mm 長) を作製し、静磁場を印加した際の変位を評価した。磁歪効果の膜厚依存性が詳細には知られていないため、0.4 ~ 4.0  $\mu$ m の範囲で膜厚の影響について検討した。

図 3 は、磁歪評価用 MEMS カンチレバーへ静磁場を印加した際の変位である。今回検討した薄膜材料の中では、Fe<sub>60</sub>Pd<sub>40</sub> 膜が最も大きな磁歪が得られ、変位、膜厚、およびヤング率より磁歪を算出すると、薄い 0.4 $\mu$ m の膜厚でも 30 ppm 近い磁歪効果を発現し、1  $\mu$ m 厚の場合が最も大きく約 60 ppm の磁歪が得られることを見出した。膜厚 2  $\mu$ m 厚では 50 ppm であり、膜厚 4  $\mu$ m ではさらに低下し、磁歪の発現には最適な膜厚が存在することがわかった。Fe<sub>85</sub>Ga<sub>15</sub> 膜では膜中の Ga が低濃度であったため小さな磁歪しか得られず、膜厚 4  $\mu$ m で約 10 ppm に留まった。Ni 膜では負の磁歪が生じて膜が収縮する方向に変位し、いずれの膜厚でも磁歪は同様の -20 ppm 程度であった。

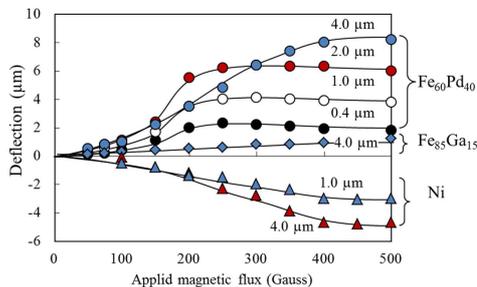


図 3 種々磁歪薄膜を積層した MEMS カンチレバーの変位評価実験

また、組成を変えた Fe<sub>70</sub>Pd<sub>30</sub> 合金膜についても MEMS カンチレバーによる変位評価を行い、膜厚 2  $\mu$ m 以上では 60 ppm の磁歪が得られたが、サブ  $\mu$ m の膜厚では磁歪は発現しないことを確認した。

X 線回折による結晶構造評価より、Fe<sub>60</sub>Pd<sub>40</sub> 膜および Fe<sub>70</sub>Pd<sub>30</sub> 膜とも、0.4 ~ 4  $\mu$ m のいずれの膜厚でも fcc (111) 面および fct (111) 面に高い配向性をもって形成されることがわかった。Fe<sub>85</sub>Ga<sub>15</sub> 合金薄膜では、いずれの膜厚でも磁歪発現に寄与する bcc(110) と bcc(211) の回折ピークが見られたが、結果的には得られた磁歪は小さかった。Ni 膜は fcc(111) の大きな回折ピークと fcc(200) および fcc(220) が確認され、膜厚による違いは見られなかった。

### (3) デュアルカンチレバー形成

デュアルカンチレバーは直交配置する設計とし、双方のカンチレバーに同様の磁歪膜パターンを形成して外部磁場の印加方向により個別に変位を制御する構造にした。厚さ 2  $\mu$ m の Si 層へ磁歪膜 0.4 ~ 1  $\mu$ m を積層し、タッピングによる AFM 観察を考慮して長さは観察用を 170  $\mu$ m、加工用を 150  $\mu$ m にして、共振周波数をずらした設計とした。

各種の磁歪膜を積層したデュアルカンチレバーを作製し、個々のカンチレバーの独立駆動を検証した。FePd 膜は FeCl<sub>3</sub> 水溶液でも容易にエッチング可能であったが、深さの約 10 倍のアンダーカットが生じ微細デバイス形成には適さないことがわかり、ネガ型レジストパターンを用いたリフトオフ法を適用して幅 10 $\mu$ m の微細パターンまで良好に形成できる条件を確立した。シリコンデバイス層 2  $\mu$ m の SOI 基板 (silicon on insulator) を用い、デバイス層へ磁歪膜をスパッタ成膜およびリフトオフし、ドライエッチングによりデバイス層をデュアルカンチレバー形状に加工し、最後に基板層を Deep-RIE により貫通加工し、図 3 に示すデュアルカンチレバーを形成した。磁歪膜の膜応力によりカンチレバー先端には下方に数  $\mu$ m 程度の初期たわみが発生した。

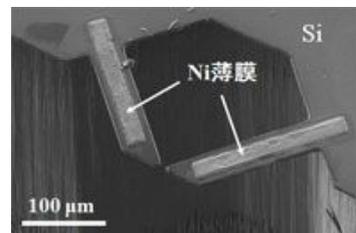


図 4 磁歪膜を積層したデュアルカンチレバー

Fe<sub>70</sub>Pd<sub>30</sub> 膜を用いた場合は、長さ方向への静磁場の印加によってカンチレバーは膜応力の初期たわみが解消する方向 (上方) へ変位することがわかり、これは磁歪効果とは逆方向の FePd 膜が収縮する方向であり、磁性材として磁力に引き寄せられる変位と考えら

れる。磁束密度 0 ~ 300 Gauss の範囲で直線的に変化し、200 Gauss の印加により 1 $\mu$ m 以上たわみ、結果的には AFM へ適応するには十分な変位が得られた。磁場に直交するカンチレバーの変位は 1/10 以下であり、片方のカンチレバーのみ大きく変位可能であることを実証した。Ni 膜(1 $\mu$ m 厚)を用いた場合も、負の磁歪効果によりカンチレバー先端が上方へ約 1 $\mu$ m 変位することを確認した。デュアル AFM プローブとして用いる場合には、探針の構造上、使用側のカンチレバーを磁場で変位させることになるため、ナノ加工あるいは AFM 観察の際に磁場変動の影響を受けやすくなる。

#### (4) 近接探針を搭載したデュアル AFM プローブの形成と特性評価

多層単結晶シリコン(SOI)基板を用い、確立した自己整合プロセスを適用して近接探針を形成し、さらに FePd 磁歪膜を積層してカンチレバー形状にエッチング加工するプロセスを確立し、図 5 に示すように約 2 $\mu$ m 高さの近接探針を搭載した 150 ~ 170 $\mu$ m 長の直交型デュアルカンチレバーを実現した。後工程では厚膜レジストプロセスを用い、探針先端を保護した。

積層した FePd 膜(1 $\mu$ m 厚)の磁歪効果により、300 Gauss の磁束印加で観察および加工用の探針先端を独立して 1 $\mu$ m 以上変位させることができ、外部磁場によるプローブ切替を実証した。使用しないカンチレバーを磁場によって変位させて試料表面から回避し、使用する側のカンチレバーの変位は極めて小さいため、磁場変動による影響はほとんど受けない。それぞれのカンチレバーの共振周波数をずらして設計し(57 kHz, 80 kHz)、低周波側のみ共振させたタッピング観察が可能であることを確認した。汎用 AFM 装置へ磁場印加機構を取り付け、デュアルカンチレバーを切り替えながら高解像の AFM 像を安定して観察可能であることを実証した。

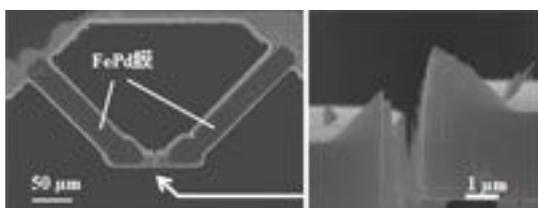


図 5 近接探針を搭載した FePd 磁歪膜積層デュアルカンチレバー

#### (5) AFM プローブによるナノ加工・計測手法の検討

シングルプローブを用いた生体高分子のナノ加工の特性評価を実施し、探針先端を数 10 nN ~ 150 nN の垂直力を加えながら水平方向にスクラッチすることによって、紐状のヒアルロン酸(HA)分子のバンドルを図 6 に示す

ように機械的に切断できることを見出した。200nN 程度になると基板表面まで到達した。分子の切断物がプローブを介して試料表面へ再付着している箇所も見られ、スクラッチ後には AFM プローブ先端への付着物によって同一プローブでの観察の解像度は低下することを確認した。カンチレバーの捻りより切断時の水平力の計測も試みたが、再現性の良い結果は得られず、ナノ N オーダーでの精密な水平力の計測が必要であることが確認された。

シングルプローブによる高温 AFM を用い、ポリメチルメタクリレート 2 次元結晶薄膜の分子鎖の融解挙動のその場観察を可能にし、この融解は可逆的であり探針先端による結晶構造破壊の効果が無視できることを確認した。また、マイカ基板上に形成したイソタクチックポリメチルメタクリレート(ガラス転移温度(Tg):40 )をシングル AFM プローブにより高温下でタッピング観察し、100 で分子の運動が活発になり分子鎖の凝集が始まることを見出した。アタクチックポリメチルメタクリレート(ガラス転移温度 Tg:100 )孤立鎖では、同様に 100 で分子鎖の凝集が開始し、分子の凝集開始温度は、Tg ではなく基板との接着強度に依存すると考えられる。温度変化により基板と分子鎖の接着強度を変化させ、探針が分子鎖に与える影響を系統的に評価するサンプルへの展開が考えられる。

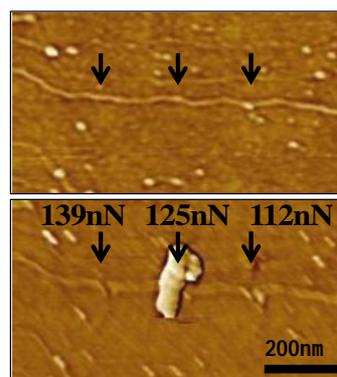


図 6 AFM 探針による HA 分子の切断

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) K. Kawashima, E. Makino, T. Mineta, Fabrication of narrow-gapped dual Si AFM tips by mechanically polishing-back for selective trench sidewalls protection, Trans. IEEJ-E, Vol.134, NO.4, pp.74-78 (2014) 査読有
- (2) 川島健太, 峯田貴, 牧野英司, 川島貴弘, 柴田隆行, “Si トレンチの SOG 埋込による近接デュアル AFM 探針と Ni 積層デュアルカンチレバーの作製”, 電気学会論文誌 E, Vol.134,

NO.4, pp.90-95 (2014) 査読有

(3) Y. Takanashi, J. Kumaki, “Significant Melting Point Depression of Two-Dimensional Folded-Chain Crystals of Isotactic Poly(methyl methacrylate)s Observed by High-Resolution In Situ Atomic Force Microscopy”, J. Phys. Chem. B, Vol. 117, pp. 5594-5605 (2013) 査読有

〔学会発表〕(計 32 件)

(1) 田口涼雅, 川島健太, 西方孝志, 峯田貴, 磁歪薄膜積層 MEMS カンチレバーの形成とデュアルAFMプローブへの応用”, 第44回機械学会東北支部学生会, 2014年3月11日, 山形大学(米沢市) 査読無

(2) 三浦嘉隆, 峯田貴, 佐藤翼, “高加速EBリソグラフィによる薄膜ナノ電極対の形成とヒアルロン酸分子捕捉への応用”, 第44回機械学会東北支部学生会, 2014年3月11日, 山形大学(米沢市) 査読無

(3) J. Kumaki, T. Anzai, “Two-Dimensional Folded Chain Crystals Composed of a Single Isotactic Poly(methyl methacrylate) Chain Observed by Atomic Force Microscopy”, American Phys. Soc. (APS) March Meeting 2014, 2014年3月3日~7日, Colorado Convention Center (Denver, Colorado, USA) Abstract 査読有

(4) 西方孝志, 峯田貴, 田口涼雅, 川島健太, “シリコン MEMS カンチレバー上に成膜した高配向磁歪薄膜の特性評価”, 第5回マイクロナノ工学シンポジウム, 2013年11月7日, 仙台国際センター(仙台市) Abstract 査読有

(5) 川島健太, 峯田貴, 牧野英司, 川島貴弘, 柴田隆行, “Si トレンチの SOG 埋込による近接デュアルAFM探針とNi積層デュアルカンチレバーの作製”, 第30回センサマイクロマシンと応用システムシンポジウム”, 2013年11月6日, 仙台国際センター(仙台市) Abstract 査読有

(6) 笹淵貴史, 峯田貴, “MEMS カンチレバーアレイを用いたコンビナトリアル法によるFe-Pd合金膜の磁歪特性評価”, 第5回マイクロナノ工学シンポジウム, 2013年11月6日, 仙台国際センター(仙台市) Abstract 査読有

(7) J. Kumaki, “Atomic Force Microscopy of Polymer Langmuir-Blodgett Films”, 2nd Fusion Materials Special Meeting Program, 2013年10月27日~28日, Arcadia Ichigaya (Tokyo, Japan) Abstract 査読有

(8) 熊木治郎, “高分子の高分解能原子間力顕微鏡観察”, 第61回レオロジー討論会, 日本レオロジー学会”, 2013年9月25日, 山形大学(米沢市) (招待講演) 査読無

(9) K. Kawashima, T. Okazaki, Y. Furuya, E. Makino, T. Mineta, “Fabrication of ultra-narrow-gapped dual AFM tip and silicon dual cantilever with magneto-strictive thin film actuator”, 39th Int. Conf. on Micro Nano Eng. (MNE2013), 2013年9月17日, Imperial College (London,

UK) Abstract 査読有

(10) Y. Takanashi, T. Anzai, J. Kumaki, “High-Resolution Atomic Force Microscopy of Two-Dimensional Folded Chain Crystals of Isotactic Poly(methyl methacrylate)s Melting Behavior”, Int. Discussion Meeting on Polymer Crystallization 2013 (IDMPC2013) 2013年7月1日~4日, COOP-IN (Kyoto, Japan) (Invited) 査読無

(11) 藤田良, 古舘謙志郎, 西辻祥太郎, 熊木治郎, “PMMA 孤立鎖の高温AFM観察”, 第62回高分子学会年次大会, 2013年5月29日~31日, 国立京都国際会館(京都市) 査読無

(12) T. Mineta, “MEMS sensors and actuators with smart materials”, 3rd Int. Conf. on Asia Arab Sustainable Energy Forum (AASEF 2013), 2013年5月6日, Hirosaki Univ. (Hirosaki, Japan) (Invited) 査読無

(13) Y. Takahashi, J. Kumaki, “Strong Melting Point Depression of Two-Dimensional Folded Chain Crystals of Isotactic Poly(methyl methacrylate)s Observed by In-Situ High-Resolution Atomic Force Microscopy”, The 9th SPSJ Int. Polymer Conference (IPC2012), 2012年12月11日, Kobe Convention Center (Kobe, Japan) Abstract 査読有

(14) 熊木治郎, “合成高分子鎖の高分解能原子間力顕微鏡観察”, 高分子分析研究懇談会第365回例会, 2012年12月10日, ゆうばーと(東京都) (招待講演) 査読無

(15) 川島健太, 峯田貴, “スピノングラスによるトレンチ埋め込みと化学的表面研磨を用いた近接デュアルAFM探針の作製”, 精密工学会東北支部学術講演会論文集, 2012年12月1日, 山形大学工学部(米沢市) 査読無

(16) 西方孝志, 岡崎禎子, 古屋泰文, 牧野英司, 峯田貴, 高感度磁気センサのための磁歪膜積層型MEMSカンチレバーの形成”, 第29回センサマイクロマシンと応用システム, 2012年10月23日, 北九州国際会議場(北九州市) Abstract 査読有

(17) 川島健太, 岡崎禎子, 古屋泰文, 牧野英司, 峯田貴, トレンチ埋め込みと表面研磨プロセスによる近接デュアルAFM探針の形成”, 第29回センサマイクロマシンと応用システム, 2012年10月23日, 北九州国際会議場(北九州市) Abstract 査読有

(18) 川島健太, 岡崎禎子, 古屋泰文, 峯田貴, “生体高分子観察および加工のための近接AFM探針と薄膜磁気アクチュエータ積層型デュアルMEMSカンチレバーの形成”, 第23回バイオフロンティア講演会論文集”, 2012年10月5日, 弘前市文化センター(弘前市) 査読無

(19) T. Mineta, K. Kawashima, Eiji Makino, “Fabrication of narrow-gapped dual AFM tip with novel self-align silicon nano-machining process”, 38th Int. Conf. on Micro Nano Eng. (MNE2012), 2012年9月18日, The Pierre Baudis Convention Centre (Toulouse, France) Abstract 査読有

(20) 川島健太, 峯田貴, 岡崎禎子, 古屋泰文, 牧野英司, “FePd 磁歪膜を積層したデュアルカンチレバーの形成と近接デュアルニードル構造の形成”, 日本機械学会 2012 年次大会論文集, 2012 年 9 月 12 日, 金沢大学(金沢市) 査読無

(21) 西方孝志, 峯田貴, 岡崎禎子, 古屋泰文, 牧野英司, “磁気センサのための FePd 膜を積層した MEMS カンチレバーの形成”, 日本機械学会 2012 年次大会論文集, 2012 年 9 月 12 日, 金沢大学(金沢市) 査読無

(22) Y. Takahashi, J. Kumaki, “Strong Melting Point Depression of Two-Dimensional Folded Chain Crystals of Isotactic Poly(methyl methacrylate)s Observed by In-Situ High-Resolution Atomic Force Microscopy”, Int. Assoc. of Colloid and Interface Scientists (IACIS2012), 2012 年 5 月 17 日, Sendai International Center (Sendai, Japan) Abstract 査読有

(23) T. Mineta, Y. Sado, E. Makino, T. Okazaki and Y. Furuya, “Fabrication and Characterization of Silicon MEMS Cantilever with FePd Ferromagnetic Shape Memory Alloy Film”, Int. Workshop on Piezoelectric Materials and Applications”, 2012 年 4 月 25 日, Hirosaki Culture Center (Hirosaki, Japan) Abstract 査読有

(24) T. Mineta, “MEMS devices with Smart Materials”, Int. Workshop on Progress of Materials for Smart System 2012, 2012 年 4 月 25 日, Hirosaki Culture Center (Hirosaki, Japan) (Invited) 査読無

(25) 峯田貴, 川島健太, 西方孝志, 牧野英司, 三上是右, 岡崎 禎子, 古屋 泰文, “Si 基板上へスパッタ形成した FePd 磁性形状記憶合金膜の特性評価”, 表面技術協会第 125 回講演大会, 2012 年 3 月 14 日, 東京都市大学(東京都) 査読無

(26) 西方孝志, 峯田貴, 岡崎禎子, 古屋泰文, “磁歪効果を用いたメカニカルなマイクロ磁気センサの基礎研究”, 日本機械学会東北支部学生会, 2012 年 3 月 6 日, 福島高専(いわき市) 査読無

(27) 川島健太, 峯田貴, 岡崎禎子, 古屋泰文, “磁歪膜を積層した近接デュアル AFM プロブの形成”, 日本機械学会東北支部学生会, 2012 年 3 月 6 日, 福島高専(いわき市) 査読無

(28) 高梨ゆま, 熊木治郎, “イソタクチック PMMA 2 次元折りたたみ鎖結晶の高分解能 AFM による融解挙動観察”, 2011 高分子学会東北支部研究発表会, 2011 年 11 月 17 日, 山形大学工学部(米沢市) 査読無

(29) 峯田貴, 佐渡祐介, 川島健太, 西方孝志, 牧野英司, 岡崎禎子, 古屋泰文, “FePd 磁気形状記憶合金薄膜 / Si 積層構造のマイクロカンチレバー形成”, 日本機械学会東北支部第 47 回秋期講演会, 2011 年 9 月 17 日, 山形大学(米沢市) 査読無

(30) 峯田貴, 牧野英司, “原子間力顕微鏡プロ

ーブによるヒアルロン酸分子の機械的切断”, 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学(山形市) 査読無

(31) 峯田貴, 佐渡祐介, 牧野英司, 岡崎禎子, 古屋泰文, “FePd 磁気形状記憶合金薄膜 / Si 積層構造のマイクロカンチレバー形成”, 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 8 月 31 日, 山形大学(山形市) 査読無

(32) 高梨ゆま, 熊木治郎, “イソタクチック PMMA 2 次元折りたたみ鎖結晶の高分解能 AFM による融解挙動観察”, 第 60 回高分子学会年次大会, 2011 年 5 月 26 日, 大阪国際会議場(大阪市) 査読無

【その他】

ホームページ等

[http://mineta\\_lab.yz.yamagata-u.ac.jp/Research-HA-AFM.html](http://mineta_lab.yz.yamagata-u.ac.jp/Research-HA-AFM.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

峯田 貴 (MINETA TAKASHI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50374814

### (2) 研究分担者

古屋 泰文 (FURUYA YASUBUMI)

弘前大学・北日本新エネルギー研究所・

教授

研究者番号：20133051

熊木 治郎 (KUMAKI JIRO)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00500290

### (3) 連携研究者

なし