

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760019

研究課題名（和文）単一分子の電気伝導測定のためのAFMリソグラフィー手法の開発

研究課題名（英文）Development of AFM lithography for conductance measurements of single molecules

研究代表者

秋山 琴音（AKIYAMA KOTONE）

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・助教

研究者番号：60447175

研究成果の概要：原子間力顕微鏡（AFM）の探針先端から電界蒸発により原子を飛ばし試料表面にパターン描画するAFMリソグラフィー手法をより精度の高い手法として確立した。水晶振動子に取り付けた極細金属ワイヤーを集束イオンビームにより加工してAFM探針とし、非接触法によって探針・試料間距離制御を行うことにより、自然酸化膜付きのSi基板上に線幅20~30 nm程度の金属細線描画や金属ナノドットのパターン形成を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・薄膜・表面界面物性

キーワード：走査プローブ顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

原子間力顕微鏡（AFM）において、金を蒸着した探針に数十 V 程度の電圧パルスを印加すると、電界蒸発により試料表面上にナノサイズの金のドットが形成される。これを連続して行うことにより金のナノサイズ細線を描く試みがなされ（Appl. Phys. Lett. **79**, 2471, 2001）、AFMリソグラフィーと呼ばれ

ている。タッピングモードAFMを用いた研究では、探針・試料間の距離制御の工夫により両者間の接触を回避し、長さ55 μ mの線を描いたという報告がある（Nanotechnology **16**, 1083, 2005）。

この方法により描かれる線の太さは、探針の曲率半径に依存すると考えられる。通常の

金蒸着した探針先端径は 50~100nm 程度とされ、線幅も同程度と考えて良い（これまで報告されている最小線幅は 40~50 nm）。また、タッピングモード AFM は空間分解能が低いことから、たとえ線幅 10nm 以下の細い線が描けたとしても観察するのが困難であった。

2. 研究の目的

本研究では、探針および AFM 手法に工夫を凝らすことでより細い線の描画が可能な AFM リソグラフィ手法の開発を目指す。申請者は、これまでに金属探針を有するカンチレバーの作製方法を独自に開発しており、同様の手法を用いてナノスケールで鋭利な金探針カンチレバーを作製することが可能である。より制御性の高い非接触 AFM 手法でこの探針を操作することにより、電子ビーム描画装置さらに、タッピングモードでも作製の困難な線幅 10nm 以下の金の細線を描くことを目的としている。

3. 研究の方法

作製が容易な金コート探針カンチレバーを用いて、非接触 AFM による電界蒸発が制御性良く行えるかどうか試し、探針・試料間の距離や電圧パルスの大きさや幅を最適化して最小幅の細線を描ける条件を見出す。その後、プローブを金探針カンチレバーに代え、さらに細い導線の描画を行う。

金コート探針の作製は金をプラズマ化させて試料を金コーティングできるイオンコーターを用いて行っており、その探針先端の曲率半径は 50nm 程度と見積もられている。これまでに試験研究としてこの金コート探針を非接触 AFM で用い、電界蒸発が起こるかどうか試したところ、試料表面上に直径 20nm 程度の金のドットが形成されていることが確認できた。しかしながら、ドットは作製できるものの、パラメータが十分絞られておらず、どのような条件のときに確実に微

小なドットが形成されるのかははっきりと分かっていない。したがって、探針曲率半径・パルスの強さや幅・振幅・周波数シフトなどのパラメータを最適化し、電圧パルスの印加により確実に微小ドットが形成できるようにする計画である。微小ドットの作製が制御性良く行えるようになれば、プローブを FIB で作製された金探針に代えて同様の実験を行う。これまでに、FIB で作製したタングステン探針付きカンチレバーや水晶振動子を非接触 AFM で用いて高感度観察を行うことに成功しているため、問題ないと考えられる。

4. 研究成果

集束イオンビーム (FIB) により先鋭化した金探針の付いた AFM センサー (水晶振動子) を作製して非接触 AFM で用い、探針・試料間にパルス電圧を印可することによって、探針先端原子の電界蒸発を促し試料表面上への文字パターンや金ナノ細線の描画 (AFM リソグラフィ) を行った (図)。独自に開発したナノレベルで鋭利な金探針を距離制御性に優れ高分解能を有する非接触 AFM で制御して AFM リソグラフィに成

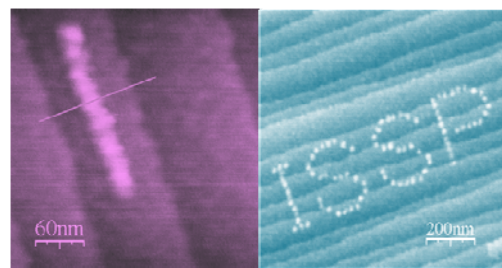


図 (左) : AFM リソグラフィにより形成した線幅 20~30 nm の金細線
(右) : AFM リソグラフィにより形成したナノサイズ金ドットのロゴパターン

功した点で意義深い。これまでの AFM リソグラフィでは、曲率半径 50~100 nm 程度の金属被覆 Si 探針を用いており、描画線幅も 50 nm 程度が限界だったのに対し、本研究で、先端半径 12 nm 程度の金探針のついた AFM

センサーを非接触AFMで制御したことにより、線幅20~30 nm程度の金属細線の描画が可能となった。また、この高精度AFMリソグラフィ手法は、半導体デバイスの導線など様々な応用が考えられるが、中でもナノ構造の電気伝導測定に威力を発揮すると考えている。特に、ナノギャップ作製の技術的難解さやbreak-junction法の再現性の低さなどから単一分子の電気伝導測定結果については異なる実験間での値がまちまちであり、加えて理論値と実験値が異なるのが現状である。本研究により高精度AFMリソグラフィ手法を確立し、試料表面上で分子・マクロ金属電極を結ぶことができれば、新たな電気伝導測定手法を確立することができ、分子エレクトロニクス発展への手がかりとなると考えている。

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 T. Okuda, T. Eguchi, Kotone Akiyama, A. Harasawa, T. Kinoshita, Y. Hasegawa, M. Kawamori, Y. Haruyama, S. Matsui, Nanoscale chemical imaging by scanning tunneling microscopy assisted by synchrotron radiation, *Physical Review Letters* **102** 105503 1-4 (2009), 査読有り
- ② M. Hamada, T. Eguchi, K. Akiyama, Y. Hasegawa, Nanoscale lithography with frequency-modulation atomic force microscopy, *Review of Scientific Instruments* **79** 123706 1-4 (2008), 査読有り
- ③ Kotone Akiyama, T. Eguchi, T. An, Y. Fujikawa, T. Sakurai and Y. Hasegawa, Functional probes for scanning probe microscopy, *Journal of Physics: Conference Series*, **61** 22-25 (2007), 査読有り

[学会発表] (計7件)

- ① Kotone Akiyama, Nano-scale lithography with frequency modulation AFM, Surface kinetics international conference, March 20, 2009, Salt Lake Cit

y, USA

- ② Kotone Akiyama, Mechanical and electrical measurements of nano-materials, WPI-AIMR annual workshop, March 4, 2009, Zao
- ③ Kotone Akiyama, Nano-scale lithography with frequency modulation atomic force microscopy, 16th international colloquium on scanning probe microscopy, December 11, 2008, Atagawa
- ④ Kotone Akiyama, Nano-scale lithography with frequency modulation atomic force microscopy, ELYT Lab workshop, December 1, 2008, Sendai
- ⑤ Kotone Akiyama, Nano-scale lithography with frequency-modulation atomic force microscopy, International conference on nanoscience + technology 2008, July 24, 2008, Keystone, USA
- ⑥ 秋山琴音, 高精度AFMリソグラフィ手法の開発による単一分子の電気伝導測定, 特定領域「ナノリンク分子の電気伝導」領域会議, 平成20年7月4日, 函館
- ⑦ Kotone Akiyama, Development of nano-scale AFM lithography using a metal-tip cantilever, IVC-17/ICSS-13 and ICN+T2007, July 2 2007, Stockholm

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 琴音 (AKIYAMA KOTONE)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・
助教

研究者番号：60447175

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：