

ナノメートルオーダーの機械振動子の作製方法

Fabrication techniques of nanometric mechanical oscillators

川 勝 英 樹*・年 吉 洋*・佐 谷 大 輔**・藤 田 博 之*
Hideki KAWAKATSU, Hiroshi TOSHIYOSHI, Daisuke SAYA and Hiroyuki FUJITA

1. 概 要

機械振動子の振幅や固有振動数の変化を測定することにより、振動子の質量変化や、振動子のおかれた場の変化を検出することが可能である。機械振動子を用いた場合の力検出分解能はその固有振動数、Q 値が高く、バネ定数、温度が低いと向上する。機械振動子がバネマス系としてモデル化できる場合、振動子を小型化することが感度向上に有利に働く。それは、マスを小さくすることにより、バネ定数を変えることなく固有振動数を高くすることが可能だからである。本報告では、走査型力顕微鏡の力検出部への応用を念頭に、ナノメートルオーダーの機械振動子の作成方法と、その応用について述べる。

2. 目 的

走査型力顕微鏡において、飛躍的な力や質量変化の検出分解能の向上を目指す。そのために、安定してナノメートルオーダーの機械振動子を有するプローブを作成する技術を確認する。つぎに、得られた機械振動子の静・動的特性を評価し、検出可能な力や質量の分解能を求める。次に、作製した振動子をプローブとする走査型力顕微鏡を実現し、原子を一個およびクラスターで操作し、それに伴う振動子型プローブの固有振動数変化を検出する。原子同定の可能性を調べる。また、通常の走査型力顕微鏡としての性能を評価する。

3. 手 法

3.1 金属探針を加熱する方法

当初は、10 nm 程度に先鋭化した金属探針を真空中で加熱し、それによって生じるこげし状の構造を機械振動子として用いることを考えた。図 1 に加熱によって生じる探針

の例を示す。この手法では、得られる振動子の形状が一定でなく、再現性もあまりよくなかった。さらに、頸部が 10 nm 以下程度の場合、頸部は元の金属ではなく、おそらくコンタミナントの膜となり、非常に機械的に脆いものであることが判明した。その結果、この方法に変わる振動子の作成方法の選定を進めていた。



図 1. タングステン探針を真空中で加熱することにより得られる振動子状構造物。

3.2 層状シリコン基盤を用いる方法

3.2.1 振動子マスの円盤状のものを作成方法

ナノメートルオーダーの機械振動子を作製する場合、必要とされる要件は、(1) 振動子のマスの探針状か、平板状のいずれかが選択できること、(2) マスを支える頸部の長さや直径が一定であること、(3) 材料の選択の幅があること、である。このような条件を満たす一つの方法として、層状のシリコン基盤を用いる方法が考えられる。たとえば、シリコン、酸化シリコン、シリコン、の順に積層された基盤を用い、この順番に層が露出した柱状のものを作製し、次にフッ酸等で酸化シリコン層を細らせる。この方法によ

*東京大学生産技術研究所 第3部

**東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

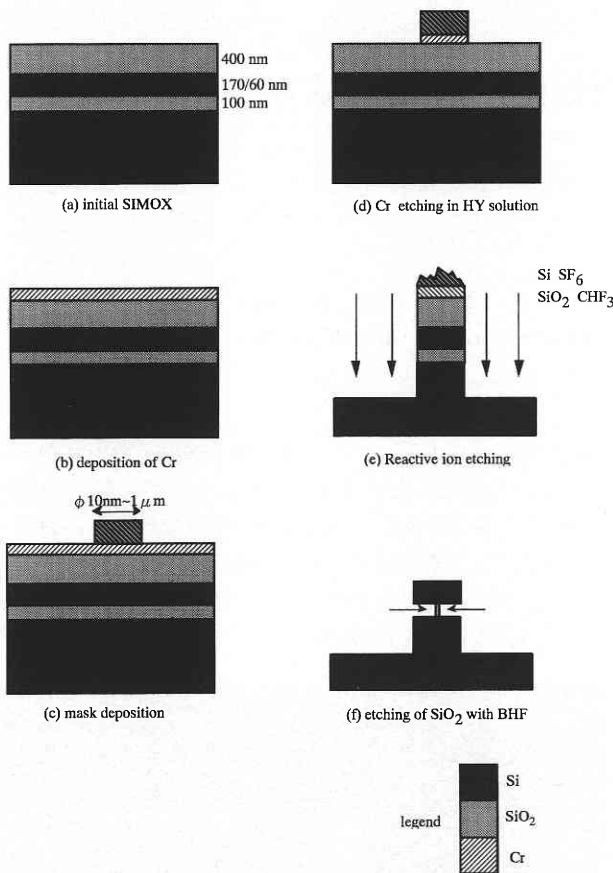


図 2. SIMOX 基盤を用いたナノ振動子の作成方法.



図 3 SIMOX 基盤を用いて作成した円盤状マスを有する機械振動子. マスの直径は 500 nm 程度. 頸部の長さは 100 nm.

り、円盤状のシリコンの頭部を、酸化シリコンの頸部で支持したものが作成可能である。図 2 にプロセスの概略図を、図 3 に実際に作製したものの例を示す。図 3 では、SIMOX (separation by implanted oxygen) と呼ばれる、市販の層状基盤を用いた。この基盤では、上部シリコンの厚さ

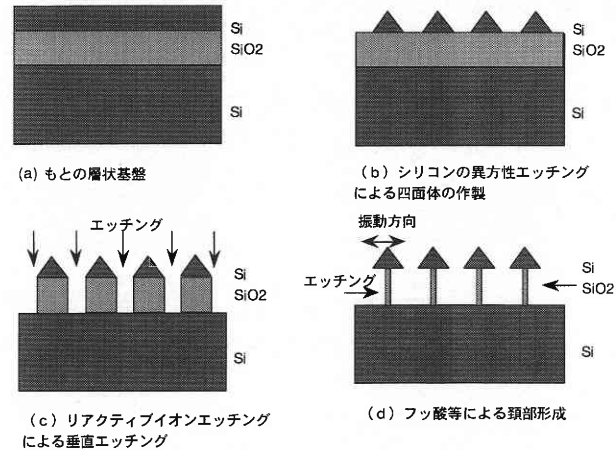


図 4 異方性エッチングを用いた、探針をマスとする機械振動子の作製方法.

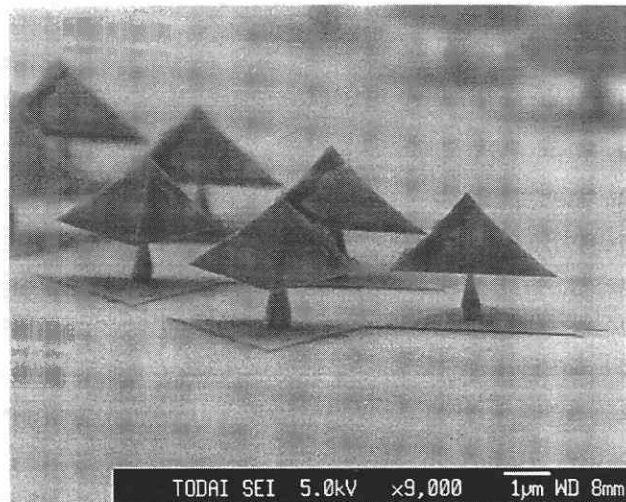


図 5 シリコンの異方性エッチングを用いて作製した、振動子がた探針. 現在は張り合わせ基盤を用いているため、頸部の長さが 1 ミクロン程度ある. 現在、SIMOX 基盤を用いた、100 nm 程度の大きさの探針と頸部の作製を進めている.

が 60 nm、埋め込まれた酸化シリコン層が 100 nm なので、頭部の厚さが 60 nm、頸部の長さが 100 nm の振動子が作製可能である。頭部の直径はマスクの直径で、頸部の直径はフッ酸によるエッチングの時間制御により決定される。現在、円盤の直径が 500 nm、頸部直径が 50 nm 程度なのが作製されている。この形態の振動子を走査型力顕微鏡に応用する場合は、振動子表面に薄膜状の試料を作成し、固定探針でプロービングを行う、といったレイアウトになる。

3.2.2 振動子マスが探針状のもの作成方法

走査型力顕微鏡への応用を考えた場合、振動子マスが探針状であることが望ましい場合がある。それは、探針を任

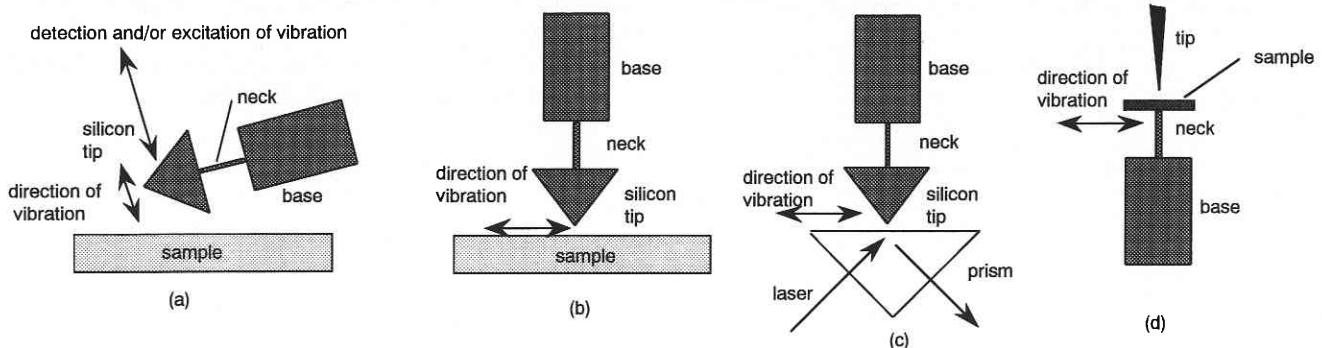


図6 ナノ振動子を走査型力顕微鏡に用いる場合のレイアウトの例。

意の試料表面にプローブとして近接させ、表面状態を観察することが可能となるからである。

ナノメートルオーダーの探針を作成し、さらにそれを弾性部と見なせるような頸部で支持する方法を選定する必要があった。その一方法として、シリコンの異方性エッチングにより四面体状の探針を作成し、次に、その四面体の下にあらかじめ用意した異種材料の層を細らせる、といった方法が考えられる。図4にプロセスの概略を示す。図5に実際に作成した振動子型探針の例を示す。

この方法を用いることにより、フォトリソグラフィ装置の性能に大きく左右されることなく、結晶のエッチングの異方性の利点を生かした振動子の作成が可能となる。現在はシリコンと酸化シリコンの張り合わせ基盤を用いているが、プロセスの最適化を進め、将来的にはSIMOX基盤を用いた、60 nm程度の探針を100 nm程度の頸部で支持した構造を作成する予定である。

4. 応用方法

上記方法で作成した機械振動子を、図6に示すようなレイアウトで走査型力顕微鏡の力検出部として用いる予定である。現在、振動子の振動励起と検出方法についても並行して研究中である。早期に得られた機械振動子の静・動的機械特性を測定し、得られる検出分解能のより正確な見積もりを行いたい。

まとめ

金属探針を加熱する方法の問題点を明らかにし、次にバッチ処理可能な、ナノメートルオーダーの機械振動子の作成方法を考案し、作成に成功した。今後、早期に得られた機械振動子の静・動的機械特性を測定し、得られる検出分解能のより正確な見積もりを行いたい。走査型力顕微鏡への応用ではないが、アレー状の円盤形機械振動子のもう一つの使用方法として、高感度の気体センサーが考えられる。

そのためには、各円盤状振動子マスになんらかの機能性薄膜をコーティングし、その薄膜が特定の物質を吸着することによる機械振動数変化を検出する。従来からある、面全体が振動子となっている、厚さゲージの様なものと比べて、どの程度の利点が得られるかを、振動子のQ値の測定を通して評価することを考えている。

(1999年6月23日受理)

参考文献

- 1) G. Binnig, C. Gerber, and C. F. Quate: Phys. Rev. Lett. 56 (1986) 930.
- 2) T. R. Albrecht, P. Gutter, D. Home and D. Rugar: J. Appl. Phys. 69 (1991) 668.
- 3) T. D. Stowe, K. Yasumura, T. W. Kenny, D. Botkin, K. Wago and D. Rugar: Appl Phys. Lett. 71 (1997) 288.
- 4) D. A. Walters, J. P. Cleveland, N.H. Thomson, P. K. Hansma, M. A. Wendman, G. Gurley and V. Elings: Rev. Sci. Instrum. 67 (1996) 3583.
- 5) K. Wago, O. Zuger, J. Wegener, R. Kendrick, C. S. Yannoni and D. Rugar: Rev. Sci. Instrum. 68 (1997) 1823.
- 6) B. W. Chui, T. D. Stowe, T. W. Kenny, H. J. Mamin, B. D. Terris and D. Rugar: Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 2767.
- 7) G. T. Palocz, B. L. Smith, P.K. Hansma and D. A. Walters, M. A. Wendman, Appl. Phys. Lett.:73 (1998) 1658.
- 8) F. A. Nichols and W.W. Mullins: J. Appl. Phys. 36 (1965) 1826.
- 9) M. Drechsler, A. Piquet, R. Uzan and Vu Thien Binh: Surf. Sci. 14 (1969) 457.
- 10) Vu Thien Binh, M. Chaudier, J. C. Couturier, R. Uzan and M. Drechsler: Surf. Sci. 57 (1976) 184.
- 11) M. Drechsler, S. Ramadani, A. Claverie and A. Maas: J. Phys. Colloq. (1987) C 6-209.
- 12) Vu. Thien Binh, N. Garcia and A. L. Levanuyk: Surf. Sci. Lett. 301 (1994) L 224.
- 13) H. Kawakatsu, D. Saya, M. de Labacherie, H.-J. Hug and H.-J. Güntherodt: Jpn. J. Appl. Phys. 6 B (1999).
- 14) From the transmission electron micrograph supplied by the SIMOX manufacturer, Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.

研究速報

15) G. Hashiguchi and H. Mimura, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 33 (1994) L 1649.

16) G. Hashiguchi and H. Mimura, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34 (1995) 1493.

17) P. C. Yang, Y. Chen and M. Vaez-Iravani: *J. Appl. Phys.* 71 (1992) 2499.

18) T. D. Stowe, K. Yasumura, T. W. Kenny, D. Botkin, K. Wago and D. Rugar: *Appl. Phys. Lett.* 71 (1997) 288.