

機関番号：11301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760020

研究課題名 (和文) アクチュエータ集積化プローブを用いた走査化学プローブ顕微鏡の研究

研究課題名 (英文) Actuator integrated probe for chemical scanning force microscope

研究代表者

川合 祐輔 (KAWAI YUSUKE)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：20451536

研究成果の概要 (和文)：

走査型電解蒸発型質量分析顕微鏡に応用するためのプローブとして、ジッパー形静電アクチュエータを集積化したプローブとその作製プロセスを開発した。ピックアップ機能に十分な最大 $340\mu\text{m}$ の変位と表面走査に必要な 10N/m 以上のバネ定数を両立できるバネ硬化機能を有しており、このプローブを用いた表面走査顕微鏡像の取得および、誘電体パーティクルの拾い上げと再配置をデモンストレーションした。以上の成果により、半導体微細加工技術を用いたアクチュエータ集積化プローブの表面原子を拾い上げ化学特性をマッピングするための走査型化学プローブ顕微鏡応用が期待される。

研究成果の概要 (英文)：

The zipper type electrostatic actuator integrated probe and the fabrication process of it are developed to apply this for time-of-flight mass analyzing scanning force microscope. Maximum displacement of $340\mu\text{m}$ and spring constant of 10N/m , which are required to pickup function and surface scanning, respectively, are achieved. The manipulation of dielectric particles is demonstrated using the developed probe. It is expected that the capability of application for chemical scanning force microscopy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：マイクロマシン工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、薄膜・表面海面物性、走査プローブ顕微鏡

キーワード：TOF-SFM、MEMS、アクチュエータ、表面観察、化学種同定

1. 研究開始当初の背景

走査型プローブ顕微鏡を使った局所分析は物理、化学、電気、機械特性といったあらゆる計測において、欠かすことのできない重要な要素となっており、残された課題は原子分子の同定である。多くの用途に対して、原

子の種類、位置、結合状態といった物理量を同時に測定することは非常に重要であり、特に原子の並びを調べることで活性種を特定し、表面の化学的性質を知ることには大きな期待が寄せられている。近年、原子を電界蒸発で拾い上げ、さらに化学分析を行う走査型

化学プローブ顕微鏡技術が開発され、注目されている。この顕微鏡では表面原子を引き抜いたプローブをアクチュエータで動かし、電界放出用の近接陽極電極まで持ち上げて、電界によって原子をイオン化し質量分析器に放出するため、振動型の原子間力顕微鏡と併用することで原子分解能での表面化学分析を可能にする。これまでに外付けのアクチュエータを使い、原子間力顕微鏡観察の後に質量分析を行った例はあるが、分布イメージングには繰り返し測定が必要である。位置再現性を高めるためには弾性的に変位できるアクチュエータがプローブに集積化されることが望ましいが、小型アクチュエータの発生できる力は弱いため、大きく変位を出力するにはプローブの剛性を下げる必要があり、カンチレバーが原子間力によって表面に引き込まれ動作が不安定になるとともに十分な分解能を得られない。表面像の観察と上述のような化学分析を両立させるためには拾ったターゲット分子が正確に分析器に導入されるようにプローブの先端が試料表面と電界蒸発用の引き出し電極に対し精度よく位置合わせされる必要がある。これまでの例では、アクチュエータ集積プローブと引き出し電極を個別に組み立てているため十分な位置精度を達成できていなかった。このため引き出し電極とプローブ、アクチュエータが一体で作り込まれ集積化された走査型化学プローブ顕微鏡用のプローブが求められている。

2. 研究の目的

本研究では走査型化学プローブ顕微鏡に応用し表面の化学種を分析するために、以下に述べるような集積化プローブを開発する。

- (1) 微細加工技術技術によって一括作製された、マイクロアクチュエータ、引き出し電極を持つカンチレバー型プローブ
- (2) 剛性を低くし大変位を得るアクチュエータ
- (3) 原子間力顕微鏡での表面観察時に剛性を能動的に高くし、振動モードで動作させる。
- (4) 熱機械ノイズが少ない駆動機構と構造
- (5) ターゲット分子分析時にカンチレバー先端近傍に位置合わせされた引き出し電極

集積化アクチュエータによってマイクロカンチレバーを駆動し、また剛性を变化させた場合の駆動特性と振動特性を明らかにする。開発したプローブを用いてターゲットの引き抜きを試み探針先端にターゲットを配置する。

3. 研究の方法

大きな変位を発生するアクチュエータと原子分解能での表面観察機能を持つ走査型化学顕微鏡を実現させるために、走査型プローブのバネ剛性を变化させる機能を持つ集

積化プローブを開発する。プローブが備える条件として

- (1) ターゲットを化学分析する際に大きく変位させるための、数十 μm の変位あるいは 90 度以上の先端変位角
- (2) 振動モード(非接触動作モード)で原子分解能を得るための、10N/m 以上のバネ剛性
- (3) 分析器に放出ターゲットを正確に導入するためのプローブ先端と引き出し電極との位置合わせ技術
- (4) 駆動に熱を伴わない駆動方式

本研究では表面像の観察時と分析のためのアクチュエーション時にはバネ定数が变化する構造を用いて上記の要求を達成する。図1に提案する静電駆動型プローブの概要を示す。

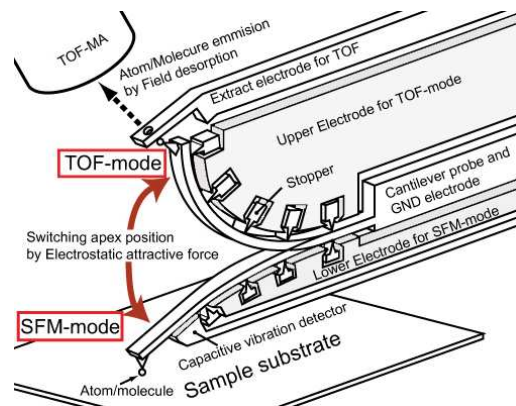


図1 本研究で提案するアクチュエータ集積化プローブの概要

提案する構造ではアクチュエータによって表面像観察時と質量分析同定時にプローブのポジションを切り替えることができる。ターゲットの同定には飛行時間型質量分析法を用いることで単原子の分析が可能になる。同定時(TOF-mode)には分析器にプローブを向けるために、0.1N/m 以下の柔らかいバネを持つカンチレバーを上下に大きく反らせることで大変位、大変位角を発生する。表面での振動モードによる走査型力顕微鏡測定時(SFM-mode)にはアクチュエータによって反ったカンチレバーを下方のストッパーに押し付け、振動に寄与するカンチレバーの長さを短くすることでバネ定数 10N/m 以上に上昇させる。表面像を観察する際にはこの高剛性のカンチレバーをダイナミックに振動させてその共振周波数の変化、あるいは振幅の変化を利用して観察する。このため MEMS 技術を用い、良好な機械特性を持つ Si 基板上に提案するプローブを作製する。提案する走査型化学顕微鏡を実現するために、集積化プローブの作製技術、静電アクチュエータによる分析観察機能のスイッチング、低い熱機械ノイズを持つ駆動と容量検出など要素となる技術を確立する。

4. 研究成果

走査型電解蒸発型質量分析顕微鏡に必要なアクチュエータ集積化プローブの作製と作製のためのプロセス技術の最適化、作製したプローブの評価を行った。このような顕微鏡には表面を観察し分子を拾い分析器に電界蒸発によってターゲットを飛ばし同定する為にプローブを大きく反らし、放出する動作を繰り返せる、アクチュエータが必要であるため、大きな変位を出力できるジッパー形静電アクチュエータを集積化したプローブを半導体微細加工によって作製した(図 2)。

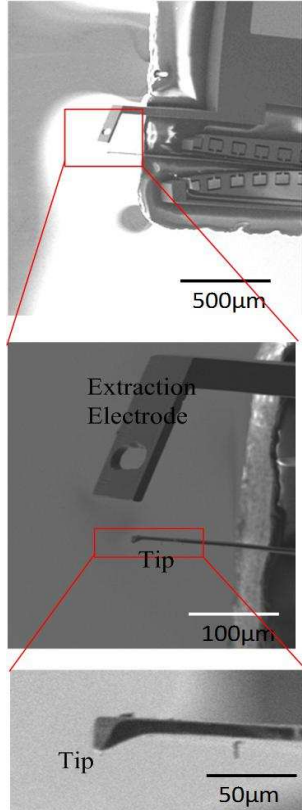
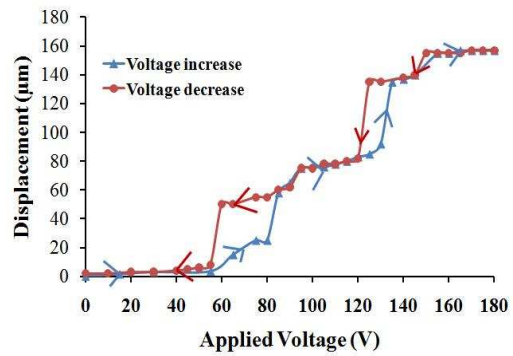


図 2 微細加工技術を用いて作製した、静電アクチュエータ集積化プローブ

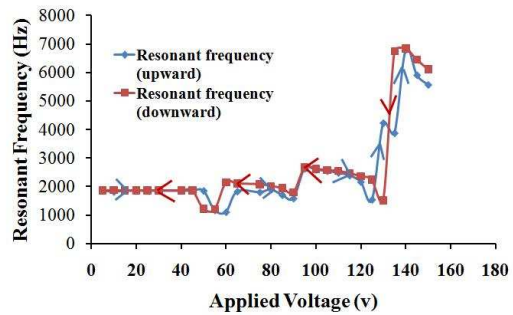
集積化したアクチュエータはプローブ先端に最大 340µm とターゲットの拾い上げに十分な変位を発生させることができた。採用したジッパー形アクチュエータを用いることでアクチュエータ駆動後には振動可能なプローブ長が短くなるために共振周波数の上昇がおり、プローブのバネ定数が上昇することを確認した。これによってアクチュエータに求められる柔らかいバネと、表面分析に求められる硬いバネを両立することが可能になった。(図 3)

作製したプローブを既存の走査型プローブ顕微鏡に組み込み、加工済みの試料の表面走査画像を取得した。この時の分解能はプローブ先端の劣化もあったため 1µm 以下であったが先端を鋭くすることで分解能を向上

することができる。



(a)



(b)

図 3 アクチュエータ集積化プローブの静電駆動特性(a)出力変位(b)共振周波数変化

形状に起因する加工誤差によるアクチュエータ特性の劣化および、能動的バネ定数向上機能の不足を改善するために、セルフアラインなプローブ組立技術の開発とこの技術を用いたアクチュエータ集積化プローブを作製した。クリップメカニズムと呼ばれる機構を半導体微細加工で作製し、別途作製したシリコン製カンチレバーと引き出し電極を組み付けることで均一な厚さで設計通りの振動特性を持つアクチュエータの作製に成功した(図 4)。これにより、カンチレバーとアクチュエータ部を別々に設計できるため、表面走査に必要なバネ硬化機能を向上し 10N/m 以上のバネ定数を達成した。

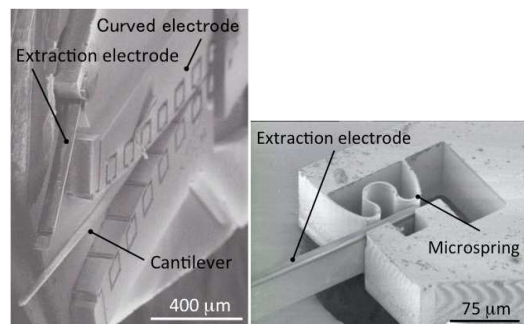


図 4 クリップメカニズムを用いて作製したプローブ

またデモンストレーションとして、作製したプローブを用いたナノメートルオーダーの誘電体パーティクルのマニピュレーションを試み、表面走査による画像化の後に引き抜きと再配置を行った(図 5)。

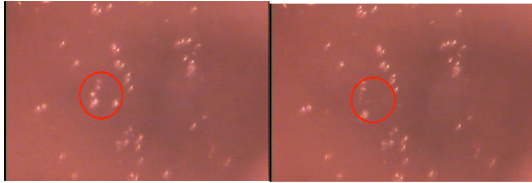


図 5 誘電体パーティクルのマニピュレーション

以上の成果により、半導体微細加工技術を用いたアクチュエータ集積化プローブによって走査型電解蒸発型質量分析顕微鏡への応用の可能性を示した。

併せて、熱の発生が少ないアクチュエーションの方式として圧電駆動について検討を行い、高い圧電定数が期待できる PZT 薄膜を 4inch 径シリコンウェハ上に成膜するための成膜を試み、バルク材料と同程度の性能である d_{31} が -150pm/V を確認した。

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 2 件)

1. Chuan-Yu Shao, Yusuke Kawai, Masayoshi Esashi and Takahito Ono, Electrostatic actuator probe with curved electrodes for time-of-flight scanning force microscope, *Review of Scientific Instruments*, 査読有, 81, 2010 083702-1 - 083702-6.
2. Chuan-Yu Shao, Yusuke Kawai, Masayoshi Esashi and Takahito Ono, Electrostatically Switchable Microprobe for Mass-Analysis Scanning Force Microscopy, *電気学会論文誌 E*, 査読有, Vol.130 No.2, 2010 59-60.

[学会発表] (計 4 件)

1. K. Kotani, Y. Kawai, C. Shao and T. Ono, Assembling Technique of Three Dimensional Microstructures Using Clip Mechanism of Micro spring, IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 2011 年 1 月 26 日, カンクン, メキシコ
2. Y. Kawai, N. Moriwaki, T. Ono, and M. Esashi, Electrostatically A Development of Automated

Chemical-Solution-Deposition Machine for Micro Actuator with Multilayered PZT Thick Film, IEEE Sensors 2010 Conference, 2010 年 11 月 4 日, ハワイ, アメリカ

3. Chuan-Yu Shao, Yusuke Kawai, Takahito Ono, Masayoshi Esashi, Electrostatically Actuated Chemical Scanning Force Microscopy Probe with Tunable Spring, 日本応用物理学会秋季 70 回学術発表会, 2009 年 11 月 18 日, 札幌
4. Chuan-Yu Shao, 川合祐輔, 小野崇人, 江刺正喜, 化学 AFM のための静電駆動マイクロプローブ, 日本応用物理学会秋季 70 回学術発表会, 2009 年 9 月 8 日, 富山

[その他]

ホームページ等

<http://www.nme.mech.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 祐輔 (KAWAI YUSUKE)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：20451536

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 研究連携者

()

研究者番号：