

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651157

研究課題名(和文)イオン液体を用いたMEMSマイクロイオン源の研究

研究課題名(英文)Research of MEMS micro ion source using ion liquid

研究代表者

桑野 博喜 (Kuwano, Hiroki)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50361118

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：成果を列挙する。

1) 500 $\mu$ m間隔で25(5x5)個の先端半径50nm以下、エミッタ半径50 $\mu$ m、高さ150 $\mu$ mのマルチマイクロエミッタを作製するマイクロマシニング技術を開発した。2) 作製したマルチマイクロエミッタを用いてイオン液体(1エチル3メチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート([EMIM]-[BF4]))からイオンビームを形成することに成功した。3) マルチマイクロエミッタから引き出されたマイクロイオンビームによりSi基板が化学的にエッチングされることを確認した。

研究成果の概要(英文)：We succeeded a fabrication of focused micro ion source array using micromachining technologies. Our micro ion source has below than 50 nm in tip radius, 50  $\mu$ m in emitter radius, and 150  $\mu$ m in emitter height. Twenty five (5x5) micro ion sources were fabricated by batch processing in the area 4 mm<sup>2</sup>. Micro ion beam of ion liquid (EMIM-BF4) was confirmed. By using Quadra pole mass spectroscopy, it is shown that our micro ion beam etches Si substrate reactively.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・マイクロ・ナノデバイス

キーワード：マイクロファブリケーション

## 1. 研究開始当初の背景

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)製品は、少量多品種かつ作製プロセスが複雑で製品間で異なることが多い。そのため LSI 製造装置を適用する現在の MEMS 開発および作製プロセスにおいては必要以上の大型製造設備を使用することによるコスト増と必要以上の電力消費が深刻な課題である。MEMS では、「少量多品種に対応し、高精度、低コスト、低消費電力を満足するプロセス」が求められている。

上記のようなフレキシブル・同時並行 MEMS プロセスの実現にはイオンビームの適用が有力である。ECR (Electron Cyclotron Resonance)型、デュオプラズマトロン型、ペニング型などの放電を利用したり、液体金属イオン源などのように液体の電界効果を利用したりするイオンビームはこれまで、LSI などの半導体微細加工や機器分析などに適用され国内外の研究例も膨大である。しかしこれらは少量多品種の MEMS 製品に適用するにはコスト増の大きな要因となり、またその電力消費も問題であった。特にマイクロイオン源としては、構造の簡易さから液体金属イオン源が有利である。しかしイオン種が金属であり汚染が心配されることマイクロ化のプロセスが容易ではないこと、などによりマイクロイオン源としての研究開発は殆ど行われていない。本研究課題では汚染が心配される液体金属ではなく、イオン液体を用いる。イオン液体は、蒸気圧が極めて低く、難燃性、低粘性であり、さらに高い分解電圧を持つ。

## 2. 研究の目的

安価で低消費電力であるマイクロイオン源による集束イオンビームを多数

同時に使用し、マスクレスで必要十分な部分のみの加工を行うプロセスを実現することが最終目的である。この一部として本研究では、安価で低消費電力であるマイクロイオン源を実現する。これにより多数個のイオン源を用いるイオンビームプロセスが可能となりコスト削減と低消費電力化を満足しつつ、同一チャンバ内で複数の処理を連続的に行うフレキシブル連続プロセスや一つの試料に対して数種類の処理を同時に進行プロセスが可能となる。

## 3. 研究の方法

研究目的である多数個の集積型マイクロイオン源実現のため、エネルギー幅が小さく集束性に優れた液体金属イオン源と同様の構造を持ち、液体金属の代わりにイオン液体を用いるイオン液体マイクロイオン源を検討する。そのためにマイクロイオン源単体の作製法を検討し、その特性を把握する。イオン液体を用いた場合のイオン放出特性と Si 基板加工特性を把握する。次いでマイクロマシニングによりイオン源エミッタおよび、加速系、集光系レンズなどをバッチ処理により同時作製できる手法を研究する。最終的に集積型マイクロイオン源として集束イオンビームを形成する。

イオン液体を用いる理由は、エネルギー幅が小さく集束性に優れた液体金属イオン源と同様の構造を適用することができることにある。具体的にはフッ素またはブロム元素を多く含むイオン液体を用いる。そのためにまず、これらのイオン液体用マイクロイオン源単体の構成法および作製法を検討する。詳細項目としてはイオンエミッタの作成法とその特性および、イオン液体を用いた場合のイオン放出特性と Si 基板加工特性

を把握する。次いでマイクロマシニングによりイオン源エミッタおよび、加速系、集光系レンズなどをバッチ処理により一千個単位で同時作製できる手法を研究する。さらに本研究項目終了後にはマイクロイオン源を用いたエッチング、薄膜形成、イオン注入などのプロセス技術を確認する。以上のような検討の後に多数のマイクロイオン源をそれぞれ独立に制御する制御機構と基板運動機構を組み込んだ MEMS プロセス装置開発のための知見を得る。

#### 4. 研究成果

成果を列挙する。

(1) 500  $\mu\text{m}$  間隔で 25(5X5)個の先端半径 50nm 以下、半径 50  $\mu\text{m}$ 、高さ 150  $\mu\text{m}$  のマルチマイクロエミッタを作製するマイクロマシニング技術を開発した。

(図 1)

(2) 作製したマルチマイクロエミッタを用いてイオン液体(1エチル3メチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート ([EMIM]-[BF4]) からイオンビームを形成することに成功した。(図 2)

(3) マルチマイクロエミッタから引き出されたマイクロイオンビームにより Si 基板が化学的にエッチングされることを確認した。(図 3)

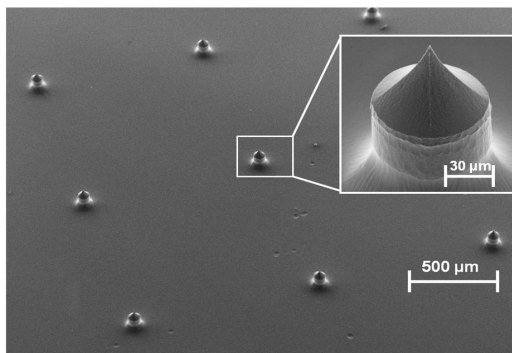


図 1 シリコン基板上に作製したマイクロイオン源アレイ

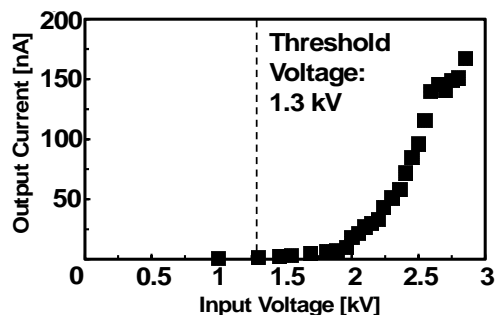


図 2 作製したマイクロイオン源から射出したイオンビーム電流。

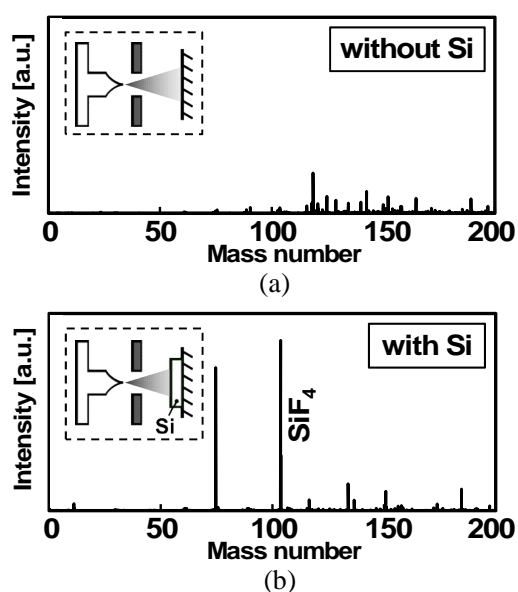


図 3 四重極質量分析計により観測された気体状シリコンフッ化物 ( $\text{SiF}_4$ )

#### 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 0 件)

[学会発表](計 2 件)

- 1) Ryo Yoshida, Motoaki Hara, Hiroyuki Oguchi, Tatsuya Suzuki, and Hiroki Kuwano, Concurrent reactive ion etching employing micromachined ionic liquid ion

source array, Proc. IEEE MEMS Conference 2014, San Francisco, USA, 2014.1.26-2014.1.30.

- 2) Tatsuya Suzuki, Motoaki Hara, Hiroyuki Oguchi, and Hiroki Kuwano, Ionic-liquid micro ion source array for flexible concurrent MEMS process, Proc. IEEE MEMS Conference 2013, Taipei, Taiwan, 2013.1.20-2013.1.24.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称：イオン源および集束イオンビーム装置  
発明者：鈴木達也、原基揚、大口裕之、桑野博喜

権利者：東北大学

種類：特許

番号：特願 2013-092614

出願年月日：平成 25 年 4 月 25 日

国内外の別：国内

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

<http://www.nanosys.mech.tohoku.ac.jp/research/research.html>

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者 桑野 博喜

(Hiroki, Kuwano)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50361118

(2)研究分担者 原 基揚

(Motoaki, Hara)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00417966

(3)連携研究者

( )

研究者番号：