

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560349

研究課題名（和文） ディスポーザブルなマイクロマシン作製プロセス開発

研究課題名（英文） Development of fabrication process for disposable micromachine

研究代表者

川田 博昭（KAWATA HIROAKI）

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90186099

研究成果の概要：0.1mm 程度以下の微小機械であるマイクロマシンの応用が拡大しているが、その作製プロセスは複雑であるため、現状では付加価値の高い製品に限られている。本研究では基板に構成部品を貼り付けていく移植法をマイクロマシン作製に適したプロセスに進化させ、さらに、プロセスの簡便化も進めて、低コストでできるマイクロマシン作製プロセスを開発した。これによりディスポーザブルなマイクロマシンを作るための基本プロセスを確立した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	1,110,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,610,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電子デバイス・電子機器

キーワード：微細プロセス技術

## 1. 研究開始当初の背景

機械的に可動な部分を有するマイクロサイズの構造物を有する MEMS (Micro Electro Mechanical System) は加速度や圧力などの機械量を測定するセンサー、高品位な振動子、マイクロリレーなど応用範囲が急速に拡大している。一般的にマイクロマシン作製は従来の半導体プロセスをマイクロマシンに要求される要件を満足するように改良されたものが用いられる。このようなマイクロマシン作製ではプロセス中においては作製中の構造物を犠牲層で仮止めしておき、構造が仕上がった時点で犠牲層をとり除くなどの複雑なプロセスが必要となる。このため、作製

コストが高くなり、付加価値の高いデバイスにしか応用できない状況にあった。

しかし、新しいマイクロマシン作製プロセスを開発することにより、簡便なプロセスでマイクロマシンが作製できるようになれば、低コスト化が可能となる。究極的にはディスポーザブルなマイクロマシンも実現可能となり、これにより新たなマイクロマシン応用が拓けるものと期待できる。

## 2. 研究の目的

(1) 移植法を用いた簡便な MEMS 作製プロセスを新たに開発する。

(2) さらに簡便なプロセスを確立するため

ソグラフィを用いずに微細構造物を作製する方法を開発する。

(3) 開発されたプロセスを用いて薄膜のカンチレバーを作製し、ディスプレイ用の微小質量測定用のデバイスを作製する。

### 3. 研究の方法

#### (1) マイクロマシン用移植法の開発

移植法を用いてマイクロマシンを作製した。移植法とは実際にマイクロマシン構造をつくる基板（以下、メイン基板と呼ぶ）とは別の基板（以下、ダミー基板と呼ぶ）に予め構造物をつくっておき、それをメイン基板にプレス、貼り付けることによりメイン基板上に所望のマイクロマシンを作製する方法である。これにより犠牲層なしでマイクロマシンを作製することができる。しかし、カンチレバーのように一方の端が基板から浮いた片端フリーの構造ではその部分がメイン基板に固定されておらず、プレス、貼り付け後もフリー端はダミー基板についてくるため移植がうまくいかないことが多い。そこで、高分子樹脂である PMMA と光触媒である  $\text{TiO}_2$  を混合させた薄膜（以下 PMMA/ $\text{TiO}_2$  と記す）を石英のダミー基板上にコートしその上にマイクロマシン構造を作製した。この薄膜は紫外光照射により分解するので、プレス後ダミー基板の裏面から紫外線照射することにより、マイクロマシン構造物のフリー端にもストレスをかけずにダミー基板を取り外すストレスフリーの離型ができた。これによりメイン基板にマイクロマシン構造を移植することができた。

#### (2) リソグラフィレスプロセスの開発

リソグラフィによるパターンニングを用いずに微細な構造物を作製するプロセス（リソグラフィレスプロセス）を開発した。

##### ① 段差付きテンプレートを用いたプロセス

シリコン基板のマイクロマシン構造パターン以外の部分を深堀エッチングし、シリコンテンプレートを作製した。これによりマイクロマシン構造の部分のみが凸部となったテンプレートが作製できる。このテンプレートにシード層の蒸着、ニッケルメッキを行い、ダミー基板にプレス、移植を行うと、テンプレートの凸部のみがダミー基板に接触するため、マイクロマシン構造がダミー基板に移植できる。

##### ② 選択蒸着テンプレートを用いたプロセス

シリコン基板のマイクロマシン構造パターン以外の部分に極薄のフロカーボン層を形成したシリコンテンプレートを作製した。このテンプレートに銅を蒸着すると、フロカーボン層のないマイクロマシン構造パターンの部分しか蒸着ができず、この銅パターンをシード層にしてニッケルメッキを行いマイクロマシン構造を作製した。

#### (3) 極薄膜カンチレバーの作製

開発したプロセスを用いてフリー端を持つ最も基本的なマイクロマシンであるカンチレバーをシリコン基板上に作製した。高感度な膜厚測定用のカンチレバーとするため、蒸着膜を用いて極薄膜の金属カンチレバーを作製した。石英の段差付きテンプレートを作製し、テンプレートに直接 PMMA/ $\text{TiO}_2$  離型層をコーティングした後、銅の蒸着を行い、メイン基板にストレスフリーの移植を試みた。

### 4. 研究成果

#### (1) MEMS 用移植法の開発

ダミー基板上に通常のリソグラフィによるパターンニングを利用したプロセスで厚さ約  $3\mu\text{m}$  のニッケルカンチレバー構造を作製した。PMMA/ $\text{TiO}_2$  離型層の厚さが薄いほどストレスフリーの離型に要する紫外線照射の時間は短くなるが、移植による欠陥が多く発生した。ここでは PMMA/ $\text{TiO}_2$  の厚さを  $2.5\mu\text{m}$  とした。紫外線照射には 150W の低圧水銀灯を用いて行った。照射時間は 8 時間とした。UV の照射時間は長いランプの出力、試料配置などにより、照射時間は大幅に減少できると思われる。図 1 に作製されたカンチレバーを走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した結果を示す。図 1(a) は離型層を用いない場合で、カンチレバーのフリー端がダミー基板から離型できないため、先端が大きく反っていることがわかる。図 1(b) は離型層を用いた場合である。ストレスフリーで離型しているためカンチレバー先端の反りは大幅に減少できている。基板とカンチレバーのギャップは約  $4\mu\text{m}$ 、最長のカンチレバーの長さは  $1000\mu\text{m}$  である。本プロセスで基板と接触することなく非常に長いカンチレバーを作製することができた。

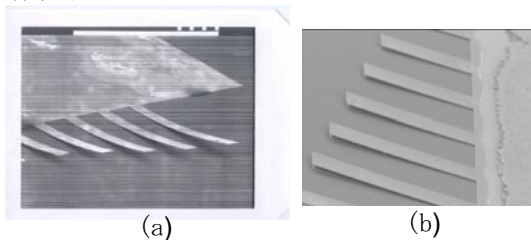


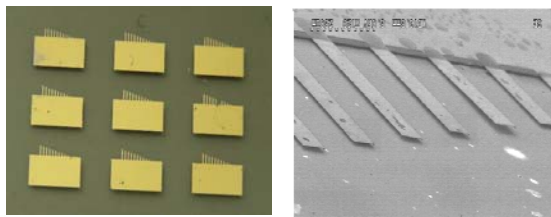
図 1 作製されたカンチレバーの SEM 観察

#### (2) リソグラフィレスプロセスの開発

##### ① 段差付きテンプレートを用いたプロセス

段差付き基板を用いたプロセスでニッケルカンチレバーを作製した。シリコンの深堀エッチングを行いカンチレバーパターンが周囲より  $30\mu\text{m}$  程度高い凸部となっているテンプレートを作製した。このテンプレートに金のシード層を蒸着し、ニッケルメッキを行った。これを厚さ  $1\mu\text{m}$  の PMMA/ $\text{TiO}_2$  離

型層を付けた石英のダミー基板に 150°C, 1MPa でプレスし凸部についてニッケルカンチレバーパターンをダミー基板に移植した。図 2(a)にダミー基板に移植されたカンチレバーパターンを示す。きれいに移植されていることがわかる。次に、4-(1)と同様のプロセスでダミー基板上のニッケルカンチレバーをメイン基板上に移植した。この実験では厚さ 1 $\mu$ m の PMMA/TiO<sub>2</sub> 離型層を用いたので、紫外線照射時間は 3 時間でストレスフリーの離型ができた。図 2(b)に作製されたカンチレバーの SEM 観察の結果を示す。メイン基板上に基板と接触していないカンチレバーが作製できていることがわかる。



(a) (b)

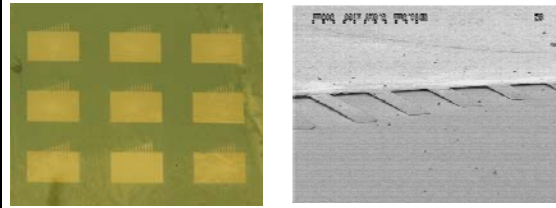
図 2 段差付きテンプレートを用いて作製されたカンチレバー。(a)ダミー基板上、(b)メイン基板上。

#### ②選択蒸着テンプレートを用いたプロセス

シリコン基板上のカンチレバーパターン部以外をシランカップリング剤（ダイキン製, OPTOOL-DSX）で表面処理を行い極薄膜のフロカーボン層を形成した。表面処理された部分は表面エネルギーが小さくなり他の材質の付着が抑制される。この基板に銅を蒸着すると、カンチレバーパターンの部分には銅がつくが、他のフロカーボン層にある部分にはほとんど銅がつかなかった。作製された銅パターンをシード層としてニッケルメッキを行い、カンチレバーパターンを作製した。このような選択的な蒸着を利用してリソグラフィを用いずにカンチレバーパターンが作製できるテンプレートを作製した。図 3(a)に銅を蒸着後のテンプレートを示す。カンチレバー部以外にもわずかに銅の蒸着が認められるが、はっきりとしたカンチレバーパターンができている。4-(2)-②と同じプロセスでテンプレートからダミー基板、ダミー基板からメイン基板上にカンチレバーパターンを移植した。メイン基板上に作製されたカンチレバーを図 3(b)に示す。この場合、ニッケルの厚さは 1 $\mu$ m であった。ニッケルが薄いためカンチレバーの先端が基板に接触してしまった。

#### (3) 極薄膜カンチレバーの作製

石英基板のカンチレバーパターン以外の部分を約 5 $\mu$ m エッチングし、石英基板の段

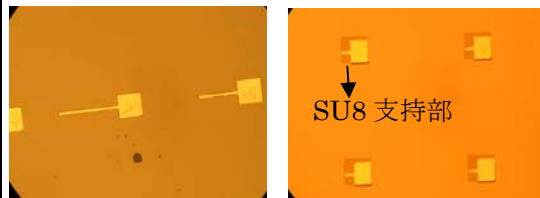


(a) (b)

図 3 選択蒸着テンプレートを用いて作製されたカンチレバー。(a)蒸着後、(b)メイン基板上に作製されたカンチレバー。

差付きテンプレートを作製した。このテンプレートに約 0.7 $\mu$ m 厚さの PMMA/TiO<sub>2</sub> 離型層を直接スピコートした。その上に銅を約 0.5 $\mu$ m 蒸着した。メイン基板上にカンチレバーの支持部をネガ型のフォトレジストである SU8 で形成しておき、テンプレートにあるカンチレバーパターンをメイン基板の支持部の上にストレスフリーの移植を行った。移植時のプレスの温度と圧力は、それぞれ、180°C, 7MPa とした。メイン基板の SU8 をパターンニングせずに移植を行った場合の結果を図 4(a)に示す。この場合は全面 SU8 の薄膜上にカンチレバーパターンを移植したことになる。カンチレバーパターンがうまく移植されていることがわかる。図 4(b)に支持部をパターンニングした SU8 上に移植した場合の結果を示す。支持部でカンチレバーパターンが破断していることがわかる。プレス温度が高いため PMMA は十分軟化しているが、SU8 はほとんど軟化しないため、硬い SU8 により薄い銅パターンが PMMA 内に押し込まれてパターンが破断したものと考えられる。

適当な接着層を用いて PMMA が軟化しない温度で SU8 の支持部にカンチレバーを移植する必要がある。



(a) (b)

図 4 極薄膜カンチレバーの作製。(a)SU8 支持部なし、(b)SU8 支持部あり。

#### (4) 成果のまとめ

PMMA/TiO<sub>2</sub> 離型層を用いたストレスフリーの移植法を開発した。これは独自の技術であり、移植法によりマイクロマシンを作るた

めの必須の技術である。

テンプレートを用いたリソグラフィを使用しないプロセスを開発した。これはマイクロマシンを簡便につくるプロセスであり、ディスプレイなマイクロマシン作製に必要な基本的な技術である。選択蒸着を用いたテンプレート法はこの研究で開発された独自の方法であり、テンプレートの作製も容易であるので応用範囲の広い技術である。

#### 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 2 件)

① "Fabrication of Cantilevers by Two-Step Transfer Process without Lithography", H. Kawata, K. Ryugou, S. Ohta, M. Yasuda, Y. Hirai, Japanese Journal of Applied Physics, vol.48 (2009) 掲載決定, 査読あり.

② "Cantilever Fabrication by Force-Free Release Transfer", H. Kawata, K. Ryugou, S. Ohta, M. Yasuda, Y. Hirai, Japanese Journal of Applied Physics, vol.47 (2008) pp. 5248-5251, 査読あり.

[学会発表] (計 8 件)

① 「カンチレバーを用いた超小型薄膜用膜厚モニター」, 川田博昭, 地域発技術シーズ発表会 (独立行政法人科学技術振興機構主催), 2009 年 2 月 5 日, 大阪

② "Fabrication of cantilevers by two step transfer process without Lithography", K. Ryugou, S. Kubo, H. Kawata, M. Yasuda and Y. Hirai, 2008 Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf. (MNC2008), 2008/10/28, Fukuoka (Japan).

③ "Cantilever fabrication by use of two step transfer printing process", H. Kawata, K. Ryugou, S. Kubo, M. Yasuda and Y. Hirai, 34th International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE2008), 2008/9/17, Athens (Greece)

④ 「2段階移植法によるリソグラフィレスでのカンチレバー作製」川田博昭, 流郷謙一, 安田雅昭, 平井義彦, 第 69 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 9 月 2 日, 春日井

⑤ 「移植法によるリソグラフィレスマイクロマシン作製プロセスの開発」流郷謙一, 川田博昭, 安田雅昭, 平井義彦, センサー・マイクロマシン準部門総合研究会, 2008年6月13日 (仙台).

⑥ "Cantilever Fabrication by Force Free Release Transfer Process", H. Kawata, K. Ryugou, M. Yasuda and Y. Hirai, 2008 Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf. (MNC2008), 2008/10/28, Kyoto (Japan).

⑦ 「離型力を要しない移植法によるカンチレバー作製」川田博昭, 安田雅昭, 平井義彦, 第68回応用物理学会学術講演会, 2007年9月5日, 札幌.

⑧ 「リソグラフィを用いない新規なカンチレバー作製プロセス」川田博昭, 新甫純也, 安田雅昭, 平井義彦, センサー・マイクロマシン準部門総合研究会, 2007年7月2日, 筑波.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 材料パターンの製造方法, テンプレートおよびマイクロマシンの製造方法

発明者: 川田博昭

権利者: 大阪府立大学,

種類: 特許

番号: 特願 2008-151741

出願年月日: 2008 年 6 月 10 日

国内外の別: 国内

[その他]

報道発表

日刊工業新聞, 「基板に微細構造作製」2009 年 2 月 19 日

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

川田 博昭 (KAWATA HIROAKI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 90186099

(2) 研究分担者

平井 義彦 (HIRAI YOSHIHIKO)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 50285300

