

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目： 若手研究 (A)  
 研究期間： 2007 ~ 2008  
 課題番号： 19681014  
 研究課題名 (和文)  
 スタンプング転写を用いた大面積・機能集積・フレキシブル MEMS デバイス  
 研究課題名 (英文)  
 Stamping transfer method for large-area, function-integration, flexible MEMS devices  
 研究代表者  
 岩瀬 英治 (IWASE EIJI)  
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  
 研究者番号： 70436559

研究成果の概要： スタンプング転写を用いることにより、別々の基板上で製作した MEMS 構造をフレキシブルシート上に集積した。これにより、今までフレキシブルシート上には製作が困難であった 3 次元構造や可動機構をもつ MEMS デバイスが実現可能となる。本研究を実現する過程で、スタンプング転写の転写率・転写位置精度、平面ギャップの製作精度の評価を行った。また、実際に 3 次元構造および可動機構を有する応用的な光 MEMS デバイスを PDMS シート上に作成できることを示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2008年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
年度			
年度			
年度			
総計	17,200,000	5,160,000	22,360,000

研究分野：複合領域

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：MEMS、スタンプング転写、フレキシブルデバイス

## 1. 研究開始当初の背景

フレキシブルデバイスは低コスト・大面積化可能性・柔軟性などの点から学術的・産業的にも注目を集めている。また、PDMS (polydimethyl siloxane) はフレキシブルデバイスのみならずその生体適合性から  $\mu$ TAS (micro Total Analysis System) などの分析器にも非常に良く用いられている素材である。しかしながら、耐熱性や熱膨張性の問題から PDMS の上に直接金属膜を成膜できないなどの理由に

より、PDMS 上に 3 次元構造や可動機構を有する MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) デバイスを形成するのは困難であった。

本研究の特色は、MEMS 技術の大きな特徴である 3 次元構造や可動機構をフレキシブルデバイスに組み込むことである。

まず、フレキシブルデバイスの視点に立つと、従来のフレキシブルデバイスの研究は、半導体技術をもとにその中の低温で可能なブ

ロセスを用いることが主流であった。そのため、有機半導体や低温 TFT (Thin Film Transistor) など電気的構造を組み込むにとどまっていた。本研究では、MEMS 技術の本領ともいえる 3 次元構造や可動機構をフレキシブルデバイスに用いることができ、フレキシブルアクティブ光学デバイスなどへ大きく発展が可能となる。

また、MEMS デバイスとしての視点に立つと、従来の MEMS 技術は小型・軽量化、機能集積化が特色である。スタンピング転写により小型・機能集積化されたデバイスの大面積化が可能である。低コスト、大面積、ディスプレイといった従来 MEMS デバイスとは異なった特色を持つ知能化デバイス技術が確立できる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、機能集積されたフレキシブルな MEMS デバイスを安価・簡易な手法で実現することである。そのアプローチとして、SOI (Silicon on Insulator) ウェハ上で作成した MEMS 構造を PDMS シートへ転写するスタンピング転写を用いた。この技術をもとに、3 次元構造や可動機構を持った MEMS デバイスをフレキシブルデバイスに組み込むことを目標とした。

この目標の達成には、スタンピング転写の転写率・転写位置精度、平面ギャップの製作精度が課題となる。これらの評価を行い、その上でフレキシブル基板上に 3 次元構造および可動機構を有する MEMS デバイスの製作を行なった。

## 3. 研究の方法

図 1 にフレキシブルシート上への MEMS 構造の集積手法の概念図を示す。別々の基板上で製作された MEMS 構造を、スタンピング転写によりフレキシブルな PDMS シート上に集積する。部品となるそれぞれの MEMS 構造は別々の基板上で分けて製作できるため、複雑な 3 次元構造や機能を持った構造であっても製作プロセスを簡略化できる。さらに、成膜プロセスや犠牲層エッチングを行うことなく浮いた構造を作ることができるため、残留応力の問題がない。これは平板同士が上下に向かい合った平面ギャップなどの 3 次元構造には望ましい特性である。

図 2 にスタンピング転写による、PDMS シート上への MEMS 構造の具体的な集積プロセスを示す。まず、凹凸構造を持った PDMS

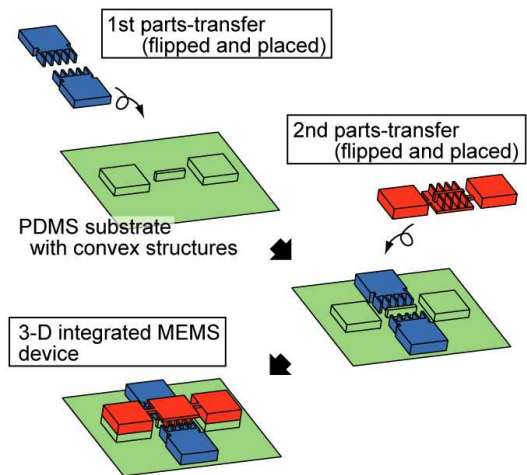


図 1 スタンピング転写によるフレキシブルシートへの集積化の概念図

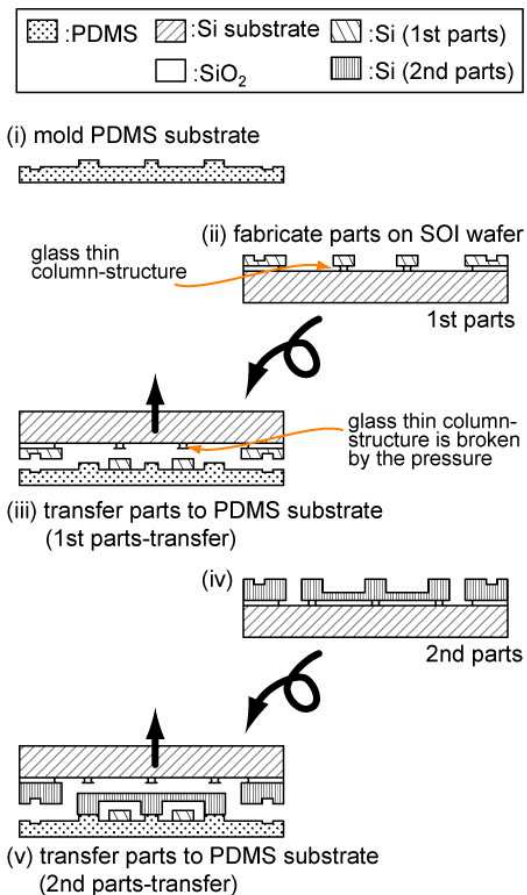


図 2 製作プロセス

シートを型取り (マイクロモルディング) プロセスによって製作する (図 2 (i))。次に、SOI 基板上で部品となる MEMS 構造を製作する (図 2 (ii))。SOI ウェハを用いることによりガラス ( $\text{SiO}_2$ ) 層を犠牲層としたシリコン構造を作成することができる。ガラス層をエッチングすることにより、細いガラスの柱で

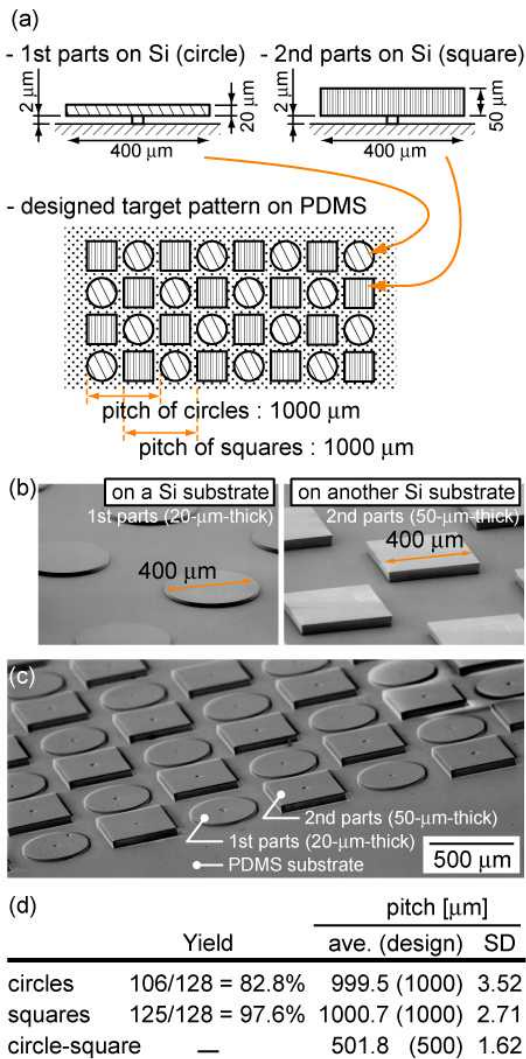


図3 転写率・転写位置精度の評価

支えられた状態にすることができ、これにPDMSシートを押し付けるとPDMSシート上にシリコンMEMS構造を転写することができる(図2(iii))。この際に重要となることはガラスの柱の太さおよび加圧の条件であるが、前者は現有の赤外線顕微鏡を用いることによりシリコンMEMS構造の下のガラス柱の太さの確認が可能であり、また後者は表面を酸素プラズマで活性化させる手法によりほとんど加圧することなく転写できる。多段のスタンピング転写を行う場合には、上記の手順を繰り返し、PDMSシート上にMEMS構造を集積する(図2(iv)-(v))。スタンピング転写を顕微鏡下で行うことにより、1段階目と2段階目のスタンピング転写のアライメントも可能である。

#### 4. 研究成果

##### (1) スタンピング転写の転写率・転写位置精

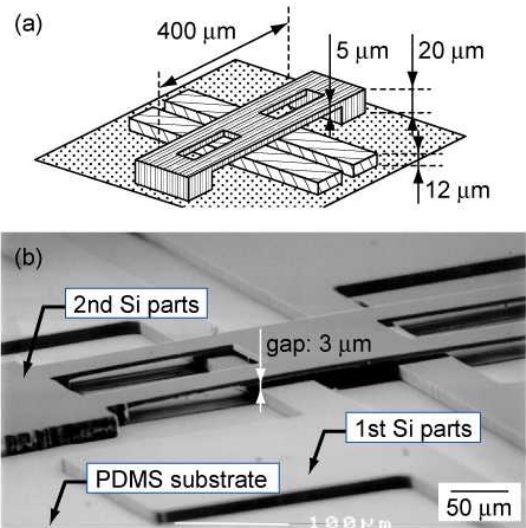


図4 平面微小ギャップ

##### 度の評価

PDMSシート上へMEMS構造を集積化する上で、転写率と転写位置精度が基礎的でありかつ重要な値である。そのため、図3に示すように、2段階のスタンピング転写において、転写率と転写位置精度を評価した。厚さ20 μm、直径400 μmの円柱形状と厚さ50 μm、一辺の長さ400 μmの四角柱形状のシリコンMEMS構造を別々のSOI基板上で作成し、2段階のスタンピング転写によりPDMSシートに集積した(図3(a))。SOI基板上のピッチはそれぞれ1000 μmであり、集積された後のPDMSシート上での円柱構造と四角柱構造のピッチは500 μmである。図3(b)がスタンピング転写前のSOI基板上のシリコンMEMS構造であり、図3(c)が2段階のスタンピング転写によりPDMSシート上に集積されたシリコンMEMS構造である。

図3(d)が評価結果である。転写率は1段階目、2段階目のどちらも80%以上であった。転写位置精度は同一転写のシリコンMEMS構造同士では誤差1 μm以下であり、異なる転写のシリコンMEMS構造同士では誤差2 μm以下であった。これらの誤差は、転写時のPDMSシートの伸びやアライメント時のずれが原因であるが、合わせても2 μm以下であり、非常に高い位置精度でスタンピング転写が可能であったといえる。これは、前述した通り、酸素プラズマで活性化させる手法によりほとんど加圧することなく転写できるため、PDMSシートを大きく変形させることなくスタンピング転写が可能であったためと考えられる。転写率・転写位置精度においては、転写基板と被転写基板の平行度が特に重要で



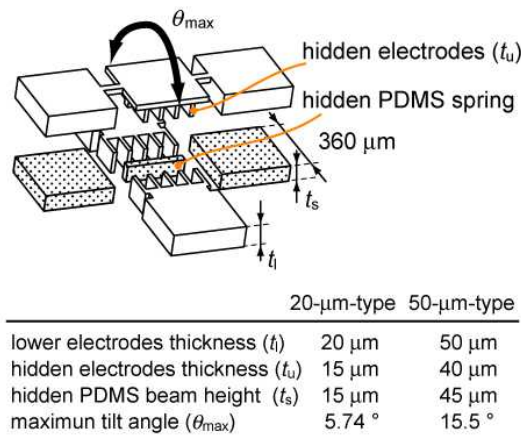


図5 HVCA の設計値

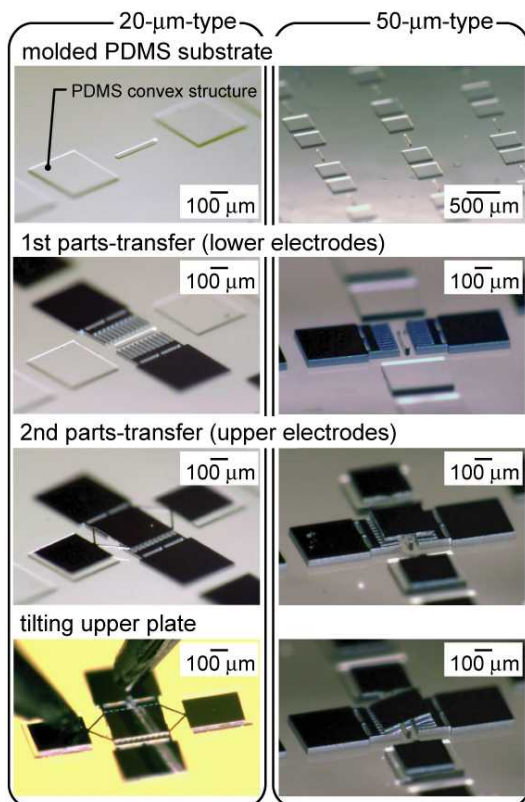


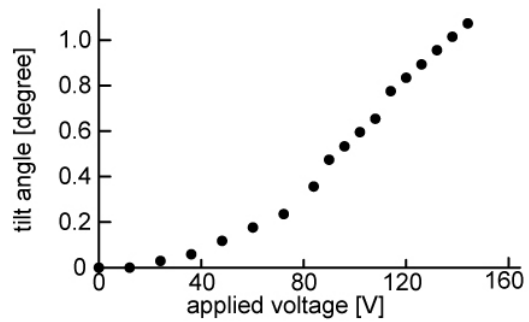
図6 製作したHVCA

あった。

(2) スタンプ転写による平面微小ギャップの製作精度の評価

3次元構造や可動機構をもつMEMSデバイスでは、平板同士が上下に向かい合った平面ギャップ構造が典型的な構造のひとつである。前述の通り、スタンプ転写は成膜プロセスや犠牲層エッチングが不要のため、残留応力によって平面が反るといった問題がなく、平面の微小ギャップを精度良く製作可能であると考えられる。これを検証するために図4に

(a) DC characteristics



(b) AC characteristics ( $V = 144 \text{ V}$ )

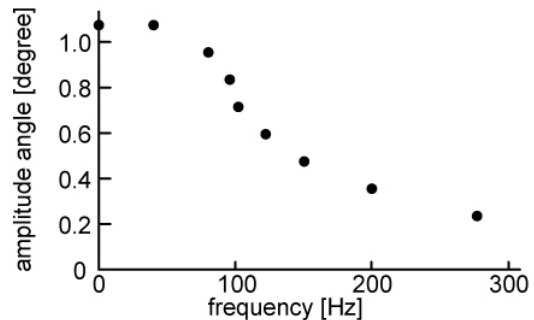


図7 HVCA の駆動特性 (20-μm type)

示すような平面微小ギャップ構造を製作した。下部の平板構造を上部の梁構造がまたぐ構造となっている。厚さ5μmで長さ400μmの梁構造が3μmのギャップで平板構造の上に接触することなく配置できた。

(3) フレキシブル PDMS 基板上に作成したMEMS デバイス

スタンプ転写を用いることによって大きな利点を有する光学応用のMEMSデバイスとして、可動ミラーなどを組み込んだアクティブ光学シートが挙げられる。通常のMEMSプロセスでは作成が大変な3次元構造も、多段のスタンプ転写により容易に作成できる場合がある。スタンプ転写で実現する応用的なデバイスとして、可動ミラーの下にミラー駆動用の櫛歯型電極をもつ静電駆動型可動ミラー (HVCA: Hidden Vertical Comb-drive Actuator) を対象とした。このHVCAの櫛歯型電極は上下方向にかみ合って動くため通常のMEMSプロセスでは製作が大変なデバイスでもある。

下部の櫛歯電極と上部の櫛歯電極をもつミラーを順にスタンプ転写する2段階の転写で作成した。図5に示すように、櫛歯電極のサイズとして、櫛歯の太さを10μm、櫛歯と櫛歯の間の距離を20μmとした。この櫛歯電極が2つ上下にかみ合うため、上下の櫛歯

電極の隙間は設計上 5  $\mu\text{m}$  となる。スタンピング転写を行なった結果、位置ずれは 2.3  $\mu\text{m}$  であり、上部の櫛歯電極が下部の櫛歯電極にかみ合うように配置することができた。図 6 が各製作ステップにおける HVCA の写真である。また電圧を印加し、静電気によってミラーを駆動した (図 7)。

## 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)

[学会発表](計 2 件)

Eiji Iwase, Hiroaki Onoe, Akihito Nakai, Kiyoshi Matsumoto, Isao Shimoyama, "Temperature-Controlled Transfer and Self-Wiring for Multi-Color LED Display on a Flexible Substrate," *The 22nd IEEE International Conference on Microelectromechanical Systems (MEMS2009)*, pp. 176-179, Sorrento, Italy, Jan. 28, 2009.

Eiji Iwase, Hiroaki Onoe, Kiyoshi Matsumoto, Isao Shimoyama, "Hidden Vertical Comb-Drive Actuator on PDMS Fabricated by Parts-Transfer," *The 21st IEEE International Conference on Microelectromechanical Systems (MEMS2008)*, pp. 116-119, Tucson, Arizona, USA, Jan. 16, 2008.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩瀬 英治 (IWASE EIJI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  
研究者番号：70436559

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし