301 生分解性マイクロアクチュエータ構造体の製作プロセスの開発

Development of fabrication process of biodegradable microactuator

○ 西村 貢一 (山口大・院)

正 南 和幸 (山口大・院)

正 佐藤 克也 (山口大・院)

Kouichi NISHIMURA

Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi

Kazuyuki MINAMI

Yamaguchi University

Katsuya SATO

Yamaguchi University

Key Words. Biodegradable polymer, Electrostatic force, Microactuator, environmental protection

1. 緒言

環境保全の動きが活発化している中で、EU では RoHS 指令により6物質(Pb,Cd,Hg,Cr⁶⁺, PBB, PBDE)の製品への含有が規制され、これらの物質を含まない代替の駆動機構の開発が急務である。また、機械製品の場合でも、リサイクル対象外品に使われている各種合金元素等の溶出が、環境に深刻な影響を及ぼす可能性があり、これらの金属をできるだけ含まない工業製品の創出が必要である。一方、静電引力を利用したアクチュエータは、構造が簡単でマイクロ化しやすく、構造材料として誘電体と導電体があればよいので、使用できる材料が多種存在し、適材適所の使用が可能である。

これらを踏まえ、生分解性樹脂であるポリ乳酸(PLA)フィルムを素材に静電マイクロアクチュエータの開発を行ってきた。その結果、製作段階でポリ乳酸に亀裂が発生する問題が生じた⁽¹⁾。

本研究では、これらの問題を解決して、静電マイクロアクチュエータを完成させるための微細加工プロセスの開発を行う。ポリ乳酸は熱に弱いので、熱ダメージの入らないプロセス、またアクチュエータ駆動には加工精度の高いプロセスが必要である。

2. アクチュエータの構造と動作原理

静電マイクロアクチュエータの概念図をFig.1に示す。構造としては、シャトル電極と固定電極をある間隔で設け、板バネの一端を枠に、もう一端をシャトル電極に接続している。

Fig.1. Conceptual diagram of Microactuator

Fig.2 に静電マイクロアクチュエータの動作原理を示す。図中の上段は上面図を示しており、下段は側面図を示している。まずFig.2(a)の初期状態から、シャトル電極と固定電極に電圧を印加すると、Fig.2(b)に示すように発生した静電引力でシャトル電極が固定電極に引き寄せられて吸着する。この際、静電引力による仕事が弾性エネルギーとしてバネに蓄えられる。そして、シャトル電極と固定電極の電圧の印加を止めると、蓄えられた弾性エネルギーにより、バネが元の位置に戻る。この操作を繰り返すことにより、シャトル電極が一次元の繰り返し運動を行う。

3. 製作プロセス

静電マイクロアクチュエータの製作プロセスをFig.3に示す。まず①で、バネ部と可動電極部をリフトオフするための犠牲層をCuで製作する。次に、②でポリ乳酸を基板に接着するための永久

Fig.2 Operational principle

Fig.3 Outline of fabrication process of Microactuator

接着剤を塗布し、③でアクチュエータを形成するポリ乳酸フィルム(パルグリーン LC 東セロ製 厚さ 35μm)を貼り付ける。その後、④でアクチュエータ構造を作成するために酸素 RIE を用いてポリ乳酸のエッチングを行う。さらに⑤で配線部のショート防止のため、犠牲層である Cu の一部をエッチングする。続いて、⑥～⑩で配線である Al をスパッタリングにより堆積させ、⑪で絶縁体である SiO₂ を堆積させ、⑬で Cu をすべてエッチングすることでアクチュエータ構造の完成となる。最後に⑭でエナメル線を導電性エポキシ(ドータイト D-723S)を用いて配線する。

本研究において、製作プロセス④のポリ乳酸のエッチングは、耐酸素プラズマ性を持つマスクを用いて酸素 Reactive Ion Etching(RIE)によりポリ乳酸を所望の形状に加工する。このとき用いるマスクについて、2 種類のマスクを検討した。Fig.4 にそれぞれの加工プロセスを示す。ステンスルマスク法(Fig.4 左図)では、仮接着剤を塗布したステンスルマスクをポリ乳酸に貼り付け、

加工を行う。ここでステンシルマスクとは、素材にポリイミドフィルムを用い、Alを全面に被覆して耐酸素プラズマ性を持たせたものである。このとき 2 回エッチングを行うのは、マスク形状の制約のために 1 回のエッチングでは所望の形状が得られないからである。コンフォーマルマスク法 (Fig.4 右図) では、ポリ乳酸上に堆積した Al を所望の形状にパターニングし、これをマスクとして用いる方法である。この Al のマスクは、そのまま配線となるため、Fig.3 の⑥～⑧のプロセスを省くことができる。

Stencil mask Process

3.1 Pasting Stencil mask1

Conformal mask Process

3.1 Al deposition $t=0.2\mu\text{m}$

Fig.4 Two kinds of processes for poly lactic acid patterning using different masks

また、アクチュエータの最小寸法が $10\mu\text{m}$ であることから、マスクに対する加工誤差は $1\mu\text{m}$ 以内に収まることが望まれる。

4. 接着剤の選定

本研究では、ポリ乳酸と基板の接着は永久接着剤を、ポリ乳酸とステンシルマスクの接着は仮接着剤を、それぞれ使い分けるため、適用できる接着剤の選定を行った。製作プロセス上、仮・永久接着剤には以下の性能が要求される。

永久接着剤においては、製作プロセスに用いる溶剤に耐性を持つこと、仮接着剤においては剥離性能と接着性能の共存が求められる。また、仮・永久接着剤それぞれが溶解する溶剤によって選択性を出せること、接着対象への高い接着力と接着剤自身がポリ乳酸に影響を与えないことも要求される。

溶剤耐性試験等の結果より、永久接着剤は、ポリ乳酸エマルジョン(ミヨシ油脂製、ランディ PL-2000)とエアゾール接着剤(住友 3M 製、スプレーのり 55)とした。ポリ乳酸エマルジョンは加熱加圧により接着を、スチレンゴムを主原料とするエアゾール接着剤はローラーにより接着を行った。仮接着剤には、スチレンとイソブレンからなる重合体を主原料とする熱可塑性エラストマー (日本ゼオン製、SL125+QuintoneR100)とした。

5. ポリ乳酸構造体の製作結果

先で述べた製作プロセス・接着剤を用いて、ポリ乳酸のエッチング試験を行った。ポリ乳酸の酸素 RIE によるエッチング条件を Table.1 に示す。エッチング時間は 70min で行い、マスクと構造体の梁の寸法差を加工誤差として加工精度の評価とした。それぞれの条件で製作した構造体の光学顕微鏡写真を Fig.5 と Fig.6 に、マスクと構造体の梁の寸法を測定し、寸法差を算出した結果を Table.2 に示す。Fig.5(a)には、ポリ乳酸表面に線状の亀裂が確認できるが、Fig.5(b)では存在していないことが分かる。Fig.6 でも同様の結果となった。永久接着剤にポリ乳酸エマルジョンを使用することで亀裂の有無に差が生じた。また、Table.2 より加工誤差の平均値については $2\mu\text{m}$ が最小値であり、高い加工精度を示したが、目標の加工誤差 $1\mu\text{m}$ は達成できていない。さらに、ばらつきが大きく、最大で $9\mu\text{m}$ の加工誤差を生じている箇所もあり、エッチング条件の検討が必要であるといえる。

Table.1 Oxygen RIE condition

Parameter	Value
RF power for plasma generation [W]	200
Self bias voltage [V]	-300
Pressure [mTorr]	30
Stage distance (plasma-stage) [mm]	129.5
Stage temperature [$^{\circ}\text{C}$]	0
O_2 flow rate [standard cc/min]	15

Fig.5 Photograph of specimen fabricated by using Conformal mask Process

Fig.6 Photograph of specimen fabricated by using Stencil mask Process

Table.2 Width error of the beam made by oxygen RIE

Mask type	Etching Condition	Width error [μm]		
		average	max	minimum
Stencil mask	PLA Emulsion	3	7	0
	Aerosol Adhesive	2	6	0
Conformal mask	PLA Emulsion	4	7	0
	Aerosol Adhesive	4	9	0

さらに接着条件について検討を行った結果、亀裂の発生は接着条件に依存しており、亀裂方向にはフィルム依存性が存在することも明らかとなった。

6. 結言

- (1) 酸素 RIE によるポリ乳酸のパターニングにおいて、フレキシブルなステンシルマスクと、コンフォーマルマスクを用いる 2 種類のパターニングプロセスを提案した。
- (2) ポリ乳酸と基板、ポリ乳酸とステンシルマスクの接着に適した接着剤を選定した。
- (3) ポリ乳酸のエッチング試験により、亀裂のないポリ乳酸構造体の製作に成功し、亀裂の原因と依存性を明らかにした。
- (4) ポリ乳酸のエッチング試験の結果、マスクとポリ乳酸構造体との寸法差は最小で $2\mu\text{m}$ と良好な結果であったが、加工精度は不足しているといえる。ポリ乳酸のエッチング条件について検討が必要である。

参考文献

- (1) 西村, 南, 佐藤, 日本機械学会中四国支部第 45 期総会講演会論文集 No.075-1 P491-492 (2007)

謝辞

本研究の一部は財団法人中国電力技術研究財団の支援により行われた。記して感謝の意を表す。