

大面積・高段差ポリイミドマイクロ構造のホットエンボス転写技術 Relatively large polyimide microstructures fabricated using hot embossing

斉藤 博文^a, 小森 隆行^a, 黒田 恵悟^a, 西岡 泰城^b
Hirofumi Saito^a, Takayuki Komori^a, Keigo Kuroda^a and Yasuhiro Nishioka^b

Polyimide (PI) has many advantages for micro electro mechanical systems (MEMS) applications since it has flexibility, chemical stability, and thermal stability. However, one of major issues has been difficulty in defining relatively large micro-patterns on PI surfaces using hot embossing. This paper presents improved hot-embossing processes to fabricate relatively large micro-pump patterns with dimensions between 100 and 5000 μm and a depth of 200 μm on a 360 μm -thick PI film (Kapton JP, Dupont). Acceptably good shapes of the micro-pump structures were projected onto the PI substrate at a temperature range between 320 and 350 $^{\circ}\text{C}$ with a molding pressure of 1780 MPa using an anti-adhesion agent (HD-1100TH, OPTOOL) coating.

1. 研究背景

シリコンに代わって、フレキシブルな高分子材料を構成材として用いた Polymer MEMS の研究が盛んに行われている。特にマイクロ流体システムやバイオメディカルシステムの基板として高分子材料が多く用いられるようになり、微小流体デバイスの構成材料には、柔軟性、耐熱性、化学的安定性などが求められる。我々は、これらの優れた特性を併せ持つポリイミド(PI)に着目し、2010年にホットエンボス法を用いたPIへのマイクロ構造の作製プロセスを報告した。本研究ではそのPIへのパターンニングプロセスを成型温度に着目し改善を行ったので報告する。

2. PI マイクロポンプチップのデザイン

今回作製するダイヤフラム駆動のバルブレスマイクロポンプのデザインを図1に示す。チャンバーの直径 $D=5000\ \mu\text{m}$ 、深さは $H=200\ \mu\text{m}$ 、PI フィルム基板の厚みは $t=360\ \mu\text{m}$ 、ディフューザの寸法は $w_1=100\ \mu\text{m}$ 、 $w_2=380\ \mu\text{m}$ 、 $L_2=1600\ \mu\text{m}$ 、 $2\theta=10^{\circ}$ とした。

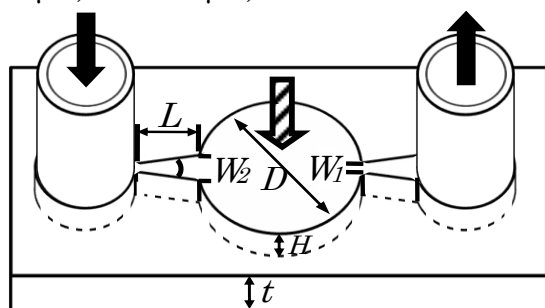


図1 マイクロポンプチップのデザイン

3. 作製プロセス

3-1. マイクロポンプ用 Si モールド作製プロセス

図2(a)にSiモールドの作製プロセスを示す。Si基板(厚

さ $525\ \mu\text{m}$) にフォトリソを成膜する。成膜後マスクパターンをシリコン基板に転写する(ii)(iii)。最後にSiエッチングを行い、(深さ $200\ \mu\text{m}$) 完成となる(iv)。Siモールドのデフューザ部の画像を図3(a)に示す。

3-2. PI マイクロポンプ作製プロセス

図2(b)にPIマイクロポンプの作成プロセスを示す。作成したSiモールドに離型剤(オプツールHD-1100TH)で有機薄膜を成膜することで離型処理を施す。SiモールドとPIフィルム(厚み $360\ \mu\text{m}$) を目標温度まで加熱後、モールドをPIフィルムにプレスし一定圧力で状態保持する(i)(ii)。目標とする成形時間が経過した後、自然冷却をおこない冷却後に離型する(iii)。この工程により、モールドのパターンがPIに転写される。PIチップの画像を図3(b)に示す。

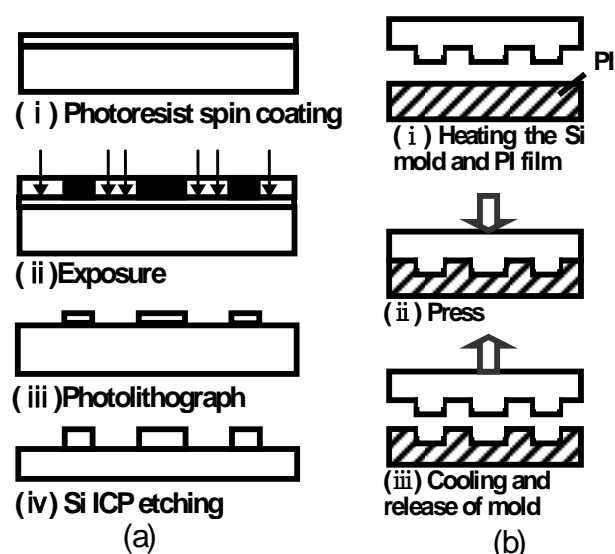


図2 作製プロセス断面図 (a) Si モールド (b) PI チップ

a: 日本大学・理工学部・精密機械工学科 b: 日本大学・教授・精密機械工学

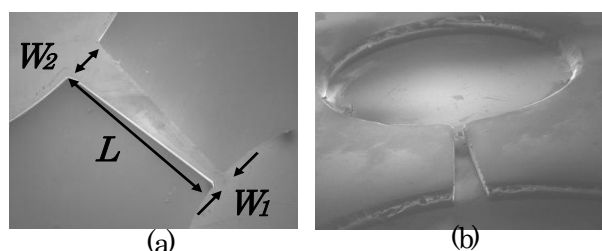


図3 作製したSi モールドとPIチップ(a) 試作したSi モールドディフューザ一部 (b) PI チップディフューザ一部

4. 成形性の各成型条件への依存度評価

ホットエンボス加工時における成形性の各成型条件への依存度の高さを評価する。主なパラメータを成型温度・成型圧力・成形時間とし、それらを極度に变化させ評価した。成型温度をPI のガラス転移点近くの280℃、成型圧力を400N、成形時間を200sを基本パラメータとする。成形時間を5倍の1000sで作製したSEM画像を図5(a)に示す。大面積部である流入口のエッジ部が成型しきれず丸みを帯びている。また成型圧力を1200Nで作製したSEM画像を(b)に示す。圧力が非常に高いためディフューザ部分が潰され、Si モールドが巻き込まれSi が残留している。成型温度を350℃と極度に高い値を用い作製した画像を(c)示す。チャンノ部、流出口等の大面積部で段差の大きい構造を精度良く成型できた。以上より成型温度が大面積部で段差の大きい構造を成型する際の依存性が高いことを確認した。

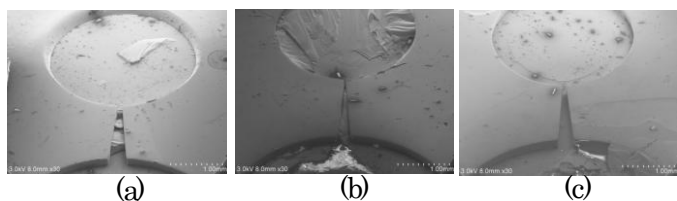


図5 成形性の各成型条件への依存度評価 (a) 成形時間1000sで成型 (b) 成型圧力1200Nで成型 (c) 成型温度350℃で成型

5. 成型温度を変化させた際の成型性評価

上記した評価よりPI加工時の成型性の温度依存が最も大きいことを確認した。そこで成型温度を280℃から350℃まで変化させた際のエッジ部分の成型性に注目し評価を行う。さらに離型時にSi が残留しているため離型剤で離型処理を施した。

図6に280℃から350℃の異なる成型温度で作製したSEM画像を示す。図6から成型温度280℃の時、PIの流動が足りずエッジ部で垂直なPIの壁面を作製することができなかった。深い成型を必要とする構造体には

ガラス点移転より高い温度が必要となることがわかる。成型温度350℃の時は精度よく転写できた。よって成型温度が350℃の時、クラックなどは発生せずチャンノ部、流出口等の大面積部で段差の大きい構造を精度良く成型することが可能であることが確認できる。さらに離型剤を用いてPIとSiモールド間の接着を低減させる有機薄膜をモールド表面に堆積させることでPIとSiモールドとの摩擦力を低減させる効果を生み、離型時に発生するPIへのクラックやSiの残留を防ぐことができる。

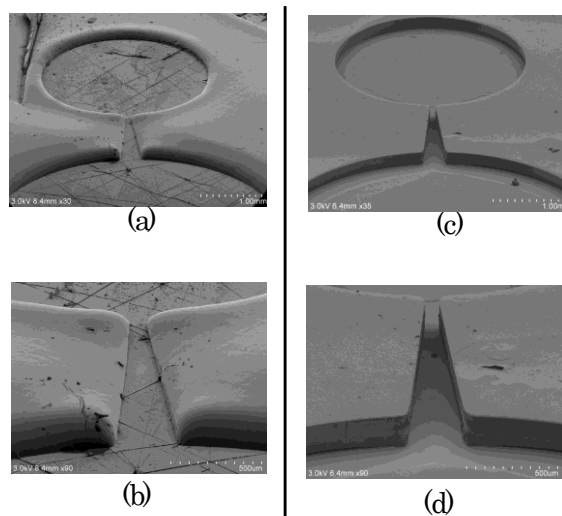


図6 作製したPIチップのSEM画像 (a) 成型温度280℃の概観 (b) 成型温度280℃のディフューザ一部 (c) 成型温度350℃の概観 (d) 成型温度280℃のディフューザ一部

6. 結論

最小加工寸法は100μmかつ段差は200μmと比較的大きなマイクロポンプの構造をPI基板上に、ホットエンボス法によって作製した。シリコンの金型を離型剤で処理し、成型温度をPIのガラス転移点近くの280℃より高い320℃以上に加熱し加圧することによりPIフィルムにマイクロポンプの構造を精度良く作成できた。

7. 参考文献

[1] Sung-Won Youn, Toshihiko Noguchi, Masaharu Takahashi, Ryutaro Maeda "Fabrication of micro mold for hot-embossing of polyimide microfluidic platform by using electron beam lithography combined with inductively coupled plasma" Microelectronic Engineering 85 (2008) 918-92H.

[2] Komatsuzaki, K. Suzuki, Y. Liu, T. Kosugi, R. Ikoma, L. Jiang, T. Nakamura, S.-W. Youn, M. Takahashi, R. Maeda, and Y. Nishioka, "Fabrication of a flexible all-polyimide micropump using thermal nanoimprinting technique," presented at 23rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2010), Fukuoka, Japan.