

高温ナノインプリント技術で作製したオールポリイミド マイクロポンプの性能改善および流量評価

Improved Performances and Flow Evaluation of All-Polyimide Micropumps Fabricated
Using High-temperature Hot Embossing

○前之園 裕隆¹, 齊藤 博文², 小松崎 浩希³, 小森 隆行², 黒田 恵悟², 生駒 竜太³,
福士 雄大¹, 木村 陽太¹, 小出 翔平¹, 佐田野 雅洋¹, 鈴木 健太³, 西岡 泰城⁴

*Hirotaka Maenosono¹, Hirofumi Saito², Hiroki Komatsuzaki³, Takayuki Komori², Keigo Kuroda², Ryuta Ikoma³, Yudai Fukushi¹, Yohta Kimura¹, Syohei Koide¹, Masahiro Satano¹, Kenta Suzuki³, and Yasuhiro Nishioka⁴

Flexible micropumps are important components for advanced microfluidic systems. Here, polyimide (PI) for flexible micropumps was focused on. This is because PI has many advantageous properties such as good biocompatibility, high thermal stability, and superior mechanical strength. However, the difficulty in realizing an all-PI micropump lies in fabricating microstructures on PI film surfaces. In this paper, we present improved performances and flow evaluation of a flexible all-PI micropump fabricated using high-temperature hot embossing above 320 °C that is considerably higher than its glass transition temperature of 275 °C. The fabricated micropump had diffuser/nozzle valves and a chamber with 5 mm diameter, and it was functioned by vibrating a 2- μm -thick PI diaphragm with alternating air pressures outside of the diaphragm. The flow rate of deionized water in the micropump reached to 110 $\mu\text{l}/\text{min}$ at 3 Hz.

1. 背景

近年,ポリイミド(PI)は柔軟性,機械的強度,高耐熱性,生体適合性および耐化学性といった優れた特性がある高分子材料として多くの注目を集めている.それらの優れた特性から,PI は様々なマイクロ流体デバイスの材料として研究されている.我々はホットエンボス法を用いてPI 基板上に可動弁がないマイクロポンプを作製した[1].しかし,ホットエンボス法で 200 μm の深さと幅数 100 μm 以上の構造のマイクロポンプを作製するには,PI を軟化させる必要がある.そこで生駒らは,ホットエンボス法を用いる際に,PI のガラス転移温度である 275 °C より遥かに高い温度にする(320 ~350 °C)ことで,これらの問題を解決する研究を報告した[2].本稿では,高温のホットエンボス法を用いて試作した,柔軟なオール PI のマイクロポンプの性能の改善と,流量評価について報告する.

2. 作製プロセス

作製したマイクロポンプは空気作動式バルブレスポンプであり,チャンバー,2 つのディフューザ・ノズル,薄い PI の薄膜で構成される.まず,ポリメタクリル酸メチル樹脂(PMMA)板に流体の出入り口のための穴を 2 つあけ,次に PMMA 板の中心にポリイミド薄膜を振動させるための穴をあける.

図 1 に,PI のバルブレスマイクロポンプの設計を示す.チャンバー直径 D_1 は 5000 μm .流入口,流出口 D_2 は 2500 μm ,ディフューザ部長さ L は 1600 μm , W_1, W_2 はそれぞれ 100 $\mu\text{m}, 380\mu\text{m}$ とした[3]. 厚さ 360 μm , 深さ 200 μm の構造を PI チップ上に作製した.型は MEMS 加工技術

を用いて Si 基板上に作製した.

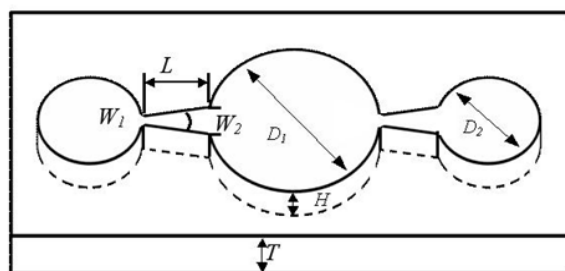


Fig. 1. Illustration of the micropump structure on PI substrate.

図 2 に,ホットエンボス法を用いた PI マイクロポンプの作製工程を示す.まず,Si 型を離型剤(OPTOOL,HD-1100HD)で塗装する.次に,型および厚さ 360 μm の PI 膜(デュポン社 Kapton JP)を,280 °C から 320 °C で 200s 加熱し(図 2 (a)),400N(1780MPa に相当する)の圧力で押し付ける(図 2 (b)).その後室温まで冷却した後に,PI 膜を型から取り外す(図 2 (c)).次に,厚さ 2 μm の PI 膜(HD Microsystems Pix-3400)を,厚さ 0.15mm のガラス基板上でスピニングを用いて製膜する(図 2 (d)).PI を製膜したガラス基板を,120 °C で 5min,200 °C で 5min,そして 350 °C で 10min の順番でベークする.製膜した PI 膜の厚さは,共焦点顕微鏡と SEM を使用して,2 μm であった.その後,薄い PI 膜をホットプレート上でガラス転移点 T_g より下の 270 °C で PI マイクロポンプ構造上に熱接着した(図 2 (e)).最後にマイクロポンプを離すために,ガラス基板を,HF を用いて除去した(図 2 (f)).

¹ 日大理工・学部・精機 ² 日大理工・院(前)・精機 ³ 日大理工・院(後)・精機 ⁴ 日大理工・教員・精機

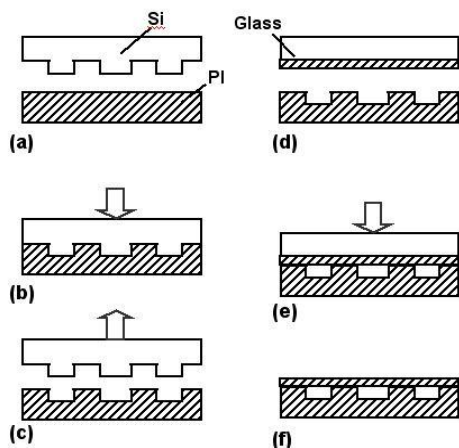


Fig. 2. Fabrication process flow of PI micropump: (a) heating the Si mold and PI film, (b) press, (c) cooling and release of mold, (d) deposition of PI diaphragm on glass substrate, (e) heating substrate and PI diaphragm, and adhesion, and (f) glass removal.

3. 実験結果・考察

図 3 に、280 °C、400N および 200s での転写画像を示す。この条件下ではマイクロポンプのノズル、ディフューザおよびチャンバーのエッジ部をシャープに成型できなかった。高段差構造であるため 280 °C では PI の流動性が足りず、垂直に成型できなかったと考えられる。図 4 に、320 °C での転写画像を示す。280 °C から 320 °C への温度上昇によって PI の流動性が上がり成型を改善できた。また、ノズルとチャンバー部およびディフューザーの壁は垂直であり精度よく成型できていることが確認できた。

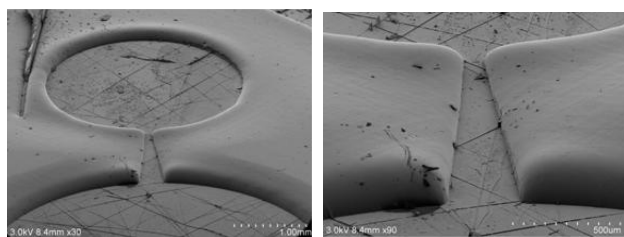


Fig. 3. SEM images of (a) nozzle and (b) reservoir and chamber parts fabricated with conditions: 280 °C, 400 N, 200 s using anti-adhesion agent.

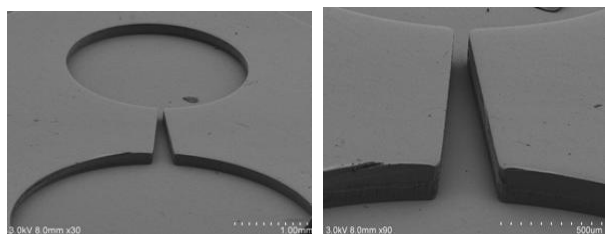


Fig. 4. SEM images of (a) nozzle and (b) reservoir and chamber parts fabricated with conditions: 320 °C, 400 N, 200 s using anti-adhesion agent.

図 5 に、280 °C および 320 °C で作製したマイクロポンプの流量の測定結果を示す。圧力を 10 kPa 加え、異なる周波数で流量の測定を行った。280 °C で作製したものと比較して、320 °C で作製したマイクロポンプの流量は、ほぼ 3 倍に増加した。320 °C で作製したマイクロポンプの最大流量は 3Hz で 110 μl/min となった。

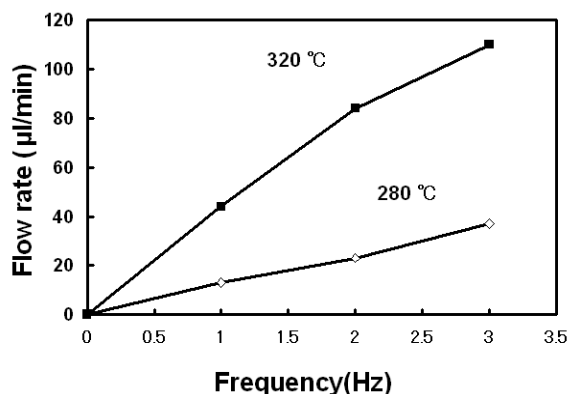


Fig. 5. Flow rates of micropumps fabricated using hot embossing at (a) 280 °C and (b) 320 °C.

4. 結論

本研究では、厚さ 360 μm の PI 膜上に、最小 100 μm、最大 5000 μm の設計寸法で深さ 200 μm の比較的大きなマイクロポンプを高精度で作製できた。またその際のホットエンボス法のプロセス条件を示した。純水を用いた場合のマイクロポンプの流量は 110 μl/min に達した。ホットエンボス法を用いて高温で加工することで、マイクロポンプの成型改善ができ、流量も上昇した。ホットエンボス法でオール PI マイクロポンプを作製する場合には、高温で作製することが必要である。

5. 参考文献

[1] H. Komatsuzaki, K. Suzuki, Y. Liu, T. Kosugi, R. Ikoma, S.-W. Youn, M. Takahashi, R. Maeda, and Y. Nishioka, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011), 06GM09.
 [2] R. Ikoma, H. Komatsuzaki, K. Suzuki, T. Komori, K. Kuroda, H. Saitou, S.-W. Youn, H. Hiroshima, M. Takahashi, R. Maeda, and Y. Nishioka, *J. of Photopolym. Sci. and Tech.*, **25** (2012), 255.
 [3] A. Olsson, P. Enoksson, G. Stemme, E. Stemme, *Proceedings of the 8th International Conference on Solid-state Sensors and Actuators (Transducer 1995)*, Stockholm, Sweden, June 25-29, 1995, pp. 291-294.