

# マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究 (第2報)

小松 利安・萩原 義人・石黒 輝雄・勝又 信行・宮川 和幸・佐野 正明  
山田 博之\*1・阿部 治\*1・吉田 善一\*2・寺田 信幸\*2

## Study on Transcription Molding of Micro-pattern Using Microdie (2nd Report)

Toshiyasu KOMATSU, Yoshihito HAGIHARA, Teruo ISHIGURO, Nobuyuki KATSUMATA, Wako MIYAGAWA,  
Masaaki SANO, Hiroyuki YAMADA\*1, Osamu ABE\*1, Yoshikazu YOSHIDA\*2 and Nobuyuki TERADA\*2

### 要 約

マイクロ部品の要求加工精度は高いため、材料への直接加工により小ロット製造されている場合が多いが、製造コストが高くなるため、微細転写加工による量産化技術が注目されている。しかし、実用化にはまだ多くの課題が残されている。そこで、本研究では、主にガラス板への微細転写加工実験を行った。その結果、離型・潤滑剤として、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を使用すると離型性が改善し、さらに、金型の加熱温度が660℃以上になると、転写性が向上することが分かった。また、前報から継続して、樹脂フィルムへの微細転写加工実験も行い、より詳細な加工条件について検討を行った。

### 1. 緒 言

近年、マイクロテクノロジーは様々な分野への応用が期待されている。しかし、多くのマイクロ部品は、各種微細加工機を用いた小ロット加工によって製造されている場合が多く、材料を直接除去加工するため製造コストが高くなる傾向にある。このため、今後は微細転写加工による量産化技術の必要性が高まることが予想される。現在、半導体製造技術を応用したマイクロ金型の作製技術に関する研究、ホットエンボス法およびインプリント法などの転写加工技術に関する研究が盛んに行われている<sup>1-3)</sup>。しかし、実用化にはまだ多くの課題が残されている。例えば、マイクロ金型の品質（離型性等）の向上、材料に応じた転写加工条件の最適化等、これらの課題を解決する必要がある。そこで本研究では、数十 $\mu\text{m}$ から数百 $\mu\text{m}$ の微細形状を有するマイクロ流体デバイス等の部品を、転写加工することを主な目的とした。

今年度は、被加工材としてガラス板を選択した。ガラス板への転写加工では、600℃以上の加熱が必要であるため、耐熱性を有するセラミックス製の金型を使用して、微細直線溝の転写加工実験を行った。また、型にガラス板が溶着する現象や、ガラス面でのクラック・割れ等が予想されるため、本研究では、ガラス板への転写加工に適した離型・潤滑剤と、転写性が向上する加工条件について実験を行った。

また、前報で、基本的な加工条件を検討した樹脂フィルムへの転写加工実験<sup>4)</sup>も継続して行った。今年度は、樹脂材料としてポリカーボネート(PC)を選択した。ステンレス製薄板を積層させて、複数の微小リブと微小溝を形成できる転写実験用簡易マイクロ金型を用いて、さらに詳細な加工条件について検討を行った。

### 2. ガラス板への転写加工実験

#### 2-1 実験方法

本研究では、600℃以上の加熱に耐えられるように、使用した金型はアルミナ系セラミックスであり、図1に示すような、高さ0.1mm・幅0.1mmの微細直線リブ形状を有した金型を用いた。また、加熱温度が600℃以上となると、酸化による試験片や金型等の劣化が進行するため、真空内で転写加工する必要がある。本研究で使用した真空精密ホットプレス装置（新東工業㈱、CYPN-10）を図2に、主な転写加工条件を表1に示す。ガラス板はBK-7相当の材質を使用し、寸法は30×30×0.5mmとした。

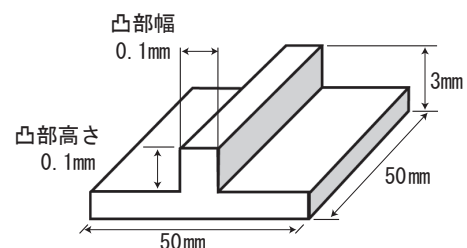


図1 セラミックス製金型形状の概念図

\*1 山梨県富士工業技術センター

\*2 東洋大学工学部

転写加工した微小溝は、非接触表面形状測定機であるコンフォーカル顕微鏡（レーザテック ㈱，OPTELICS H1200）を用いて形状測定を行った。また、今回使用している金型はセラミックス製なので、割れ・欠けを防止するため、金型の微小リブ根元は、図3に示すような曲面形状になっている。そこで、本研究では、微小リブ根元の曲率半径を測定し、評価の基準とした。図4に示すような微小溝端部のだれ半径が、微小リブ根元の曲率半径に近い形状か否か測定することで、転写加工条件による転写性の評価を行った。



図2 真空精密ホットプレス装置

表1 ガラス板の転写加工条件

加工装置	新東工業㈱ 真空精密ホットプレス装置 CYPN-10
転写荷重	800N
保持時間	60sec
加熱時間	1800sec
加熱温度	640, 650, 660, 670 °C
転写雰囲気	真空
冷却方法	空冷

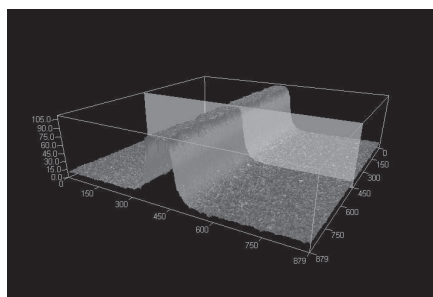


図3 セラミックス金型の形状測定例

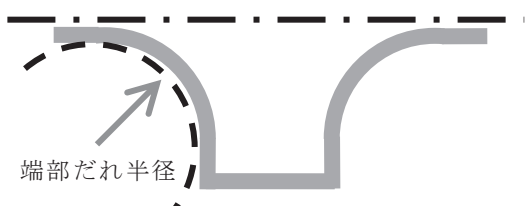


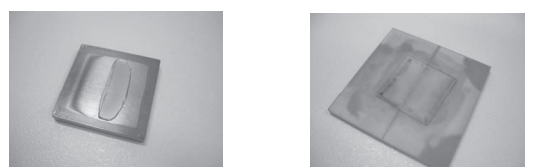
図4 微小溝形状の概念図

## 2-2 実験結果

最初に、ガラス板の溶着を防止するため、金型等に塗布する離型・潤滑剤について検討を行った。加熱温度は660°Cで一定とした。その実験結果を図5に示す。

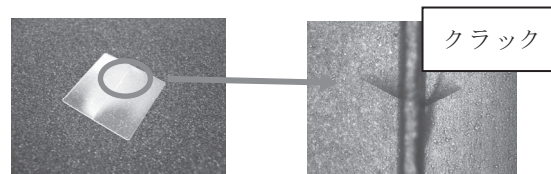
図5(a)・(b)に示すように、未塗布の場合や、通常機械装置で使用する潤滑油では、金型にガラス板が溶着した。金型を高温に加熱するため、油性潤滑剤は炭化、水溶性潤滑剤は蒸発して、その機能を失うものと考えられる。よって、離型・潤滑剤として耐熱性に優れた固形潤滑剤について検討を行った。

本研究では、アルミナ・黒鉛・酸化亜鉛・窒化ホウ素の微粉末を塗布して実験を行った。各微粉末の粒径は1~5 $\mu$ m程度で、厳密に分級されていないが、溝形状の寸法と比較すれば無視できるレベルである。実験結果を図5(c)~(f)に示す。アルミナ微粉末を用いた場合は、

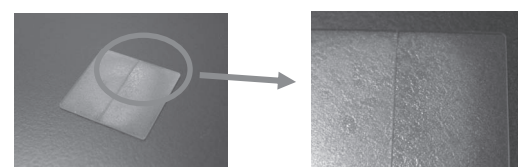


(a) 未塗布

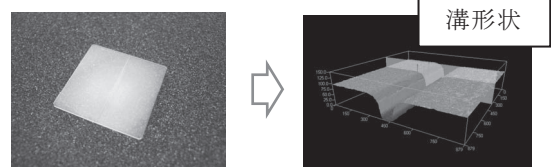
(b) 潤滑油



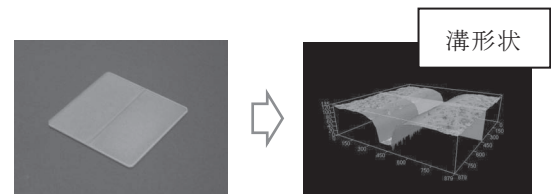
(c) アルミナ微粉末



(d) 黒鉛微粉末



(e) 酸化亜鉛微粉末



(f) 窒化ホウ素微粉末

図5 離型・潤滑剤による転写加工後のガラス

ガラス内部にクラックが発生した。また、黒鉛微粉末の場合は、転写加工後の洗浄が困難で、ガラス表面の汚れが除去しにくいことが分かった。他方、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を用いた場合は、離型性が向上し、両方とも離型・潤滑剤として適していることが分かった。

次に、金型の加熱温度に対する、転写性の影響について実験を行った。離型・潤滑剤として、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を用いた。その実験結果を図6に示す。縦軸は、微小溝の端部だれ半径と、セラミックス型の微小リブ根元の曲率半径との差を示す。加熱温度が660℃以上になると、微小溝の端部だれ半径が、セラミックス型の微小リブの根元曲率とほぼ同じ値となるため、セラミックス金型の形状が十分ガラス板に転写されることが分かった。また、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末による、転写性の差異は、殆ど確認できなかった。なお、窒化ホウ素微粉末の640℃でのデータは、転写加工終了時点で、既に試料が破損したため、測定できなかった。

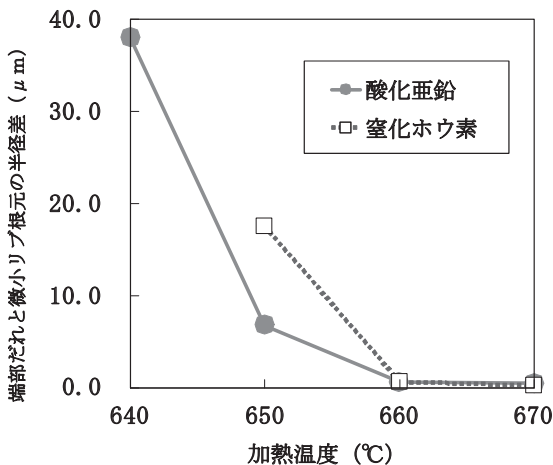


図6 端部だれ半径に対する加熱温度

### 3. 樹脂フィルムへの転写加工実験

#### 3-1 実験方法

樹脂フィルムでの実験では、図7に示すように、ステンレス (SUS304H) 製薄板を積層し、複数の微小リブと微小溝を形成した転写加工実験用簡易マイクロ金型を使用した<sup>4)</sup>。金型形状として、高さが85~100μm、幅が20・50・100μmの微小リブを形成し、リブ間隔(溝幅)が20・50・100μmとなるように薄板を積層した。

作製した金型を用いて、厚さ300μmのポリカーボネートフィルムへの転写加工実験を行った。加工条件を表2に示す。転写加工部分の観察には、走査型電子顕微鏡(株式会社日立製作所, S-2380N)を、微小リブの高さ測定には、デジタル走査型レーザ顕微鏡(オリンパス株式会社, OLS1100SB)を使用した。

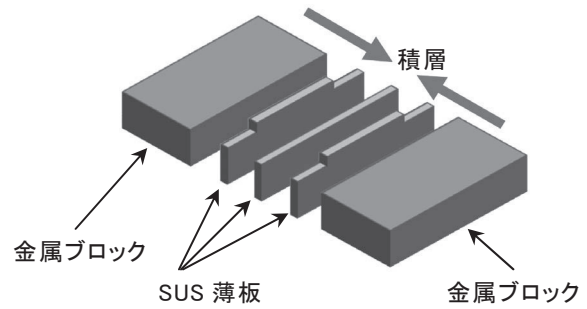


図7 金属製薄板の積層によるマイクロ金型の概念図

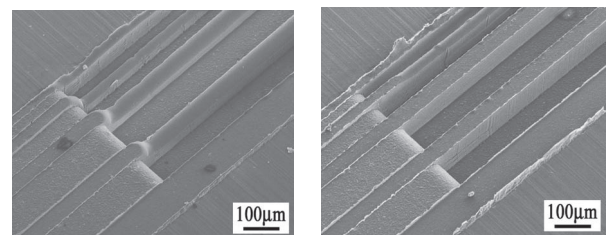
表2 樹脂フィルムの転写加工条件

加工装置	新東工業(株) 精密ホットプレス C Y P T-L
ステージ 制御温度	185, 190, 195 °C (離型時温度 129, 133, 137 °C)
転写圧力	0.5 MPa
加圧保持時間	60 sec
冷却時間	300 sec

#### 3-2 実験結果

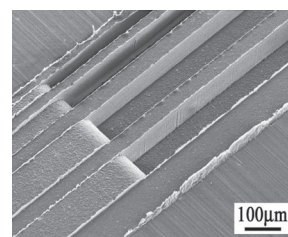
最初に、金型の加熱温度を185・190および195℃とした場合の転写加工実験を行った。転写圧力は0.5MPa、加圧保持時間は60secで一定とした。樹脂フィルムに転写加工した部分の観察結果を図8に示す。金型の微細形状が大きく、アスペクト比(幅に対する高さの割合)が小さく、加熱温度が高いほど、転写性が向上した。

次に、金型を樹脂フィルムに押し付けて加熱加圧する時間、すなわち加工ステージの保持時間と転写加工状態について実験した。加熱温度を185および195℃、保持時間を



(a) 加熱温度 185℃

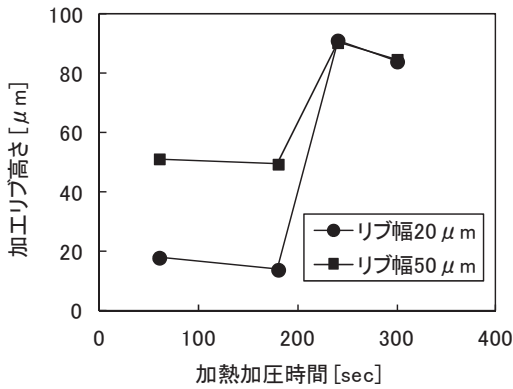
(b) 加熱温度 190℃



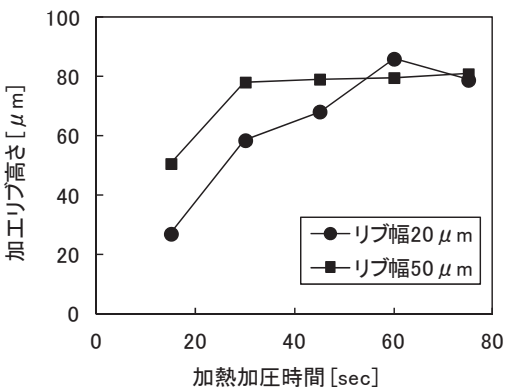
(c) 加熱温度 195℃

図8 加熱温度を変えた場合の転写加工

15~300sec と変化させた。転写圧力は 0.5MPa である。転写加工された溝底面に対する微小リブの高さを測定した結果を図 9 に示す。保持時間が増加すると、金型の溝形状部分に樹脂が充填される量も増加傾向にある。また、加熱温度が高い方が、リブ形状の転写に必要な時間が短いため加工効率は高まるが、バリの発生等が懸念される。



(a) 加熱温度 185°C



(b) 加熱温度 195°C

図9 転写加工のリブ高さ と保持時間

#### 4. 結 言

ガラス板と樹脂フィルムに転写加工実験を行い、各種加工条件と転写加工性との関係について検討を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) ガラス板の熱転写加工の場合、離型・潤滑剤として、酸化亜鉛と窒化ホウ素の微粉末を使用すると、離型性が向上することが分かった。
- (2) 金型の加熱温度が 660°C 以上になると、ガラス板の転写性が向上することが分かった。
- (3) ポリカーボネートフィルムへの熱転写加工の場合、加熱温度と加圧保持時間が長く、転写圧力が大きい方が、金型の溝形状部分に樹脂が充填され易いことが分かった。

#### 参考文献

- 1) 微細加工技術 [応用編] : (社)高分子学会編, (株)エヌ・ティー・エス, p.147 (2003)
- 2) 早乙女康典: マイクロ塑性加工 — マイクロ塑性加工技術の現状と展望 —, 精密工学会誌, Vol.69, No.9, p.1221 (2003)
- 3) 前田龍太郎, 他: ナノインプリントのはなし, 日刊工業新聞社, (2005)
- 4) 小松 利安, 萩原 義人, 石黒 輝雄, 宮川 和幸, 勝又 信行, 佐野 正明, 山田 博之, 西村 通善, 吉田 善一, 寺田 信幸: マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究 (第1報), 山梨県工業技術センター研究報告, No.25, p.99 (2011)