

マイクロ金型による
微細転写加工技術に関する研究

Study on Transcription Molding of Micro-Pattern using Microdie

マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究（第3報）

小松 利安¹・石黒 輝雄¹・佐野 正明¹・勝又 信行¹・山田 博之²・阿部 治²
(山梨県工業技術センター¹, 山梨県富士工業技術センター²)

要約 マイクロ部品は、材料への直接加工により小ロット製造されていることが多く、この場合、製造コストが高くなるため、今後は微細転写加工による量産化技術が必要になる。しかし、実用化には転写加工条件の最適化等、まだ多くの課題が残されている。そこで、本研究では、熱可塑性フッ素樹脂（FEP）フィルムとガラスに転写加工実験を行い、基本的な加工条件等について確認した。特にガラスの場合、Niメッキを用いた微細転写型を用いて実験を行い、マイクロ流体デバイスの流路の微細転写加工に十分対応可能であることが分かった。

Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie (3rd Report)

Toshiyasu KOMATSU¹, Teruo ISHIGURO¹, Masaaki SANO¹, Nobuyuki KATSUMATA¹,
Hiroyuki YAMADA² and Osamu ABE²
(Industrial Technology Center¹, Fuji Industrial Technology Center²)

Abstract A machining of micro parts is often produced in a small lot performed through directly from the material. Therefore, production cost become higher and it is a reason why mass production technology such as transcription molding is needed. However, there are still many problems to be solved. In this study, the basic conditions in order to transcript to FEP film and optical glass were presented. Case of glass, it was found that a fine die using a Ni plating may be sufficient for transcription processing of the flow path of the micro fluid device.

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、材料から除去加工によって直接製造するため、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等の転写加工技術に関する研究が盛んに行われている^{1) - 3)}。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、マイクロ金型の耐久性や離型性等を含めた品質の向上、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 μm から数百 μm の微細形状を有するマイクロ流体デバイスの流路加工や、光学フィルタ等のようなマイクロ部品の加工を念頭において、樹脂フィルムと一般的なガラスに対する、微細熱転写加工実験を継続的に行っている^{4), 5)}。

本研究では、撥水性や耐薬品性に優れたフッ素樹脂フィルムを対象とした。転写加工実験では、ステンレス製薄板を積層し、複数の微小リブと微小溝を形成した実験用簡易マイクロ転写型や、複数の立体微細形状を有する

グラッシーカーボン（ガラス状炭素材料）製マイクロ転写型を製作し、実験を行った。

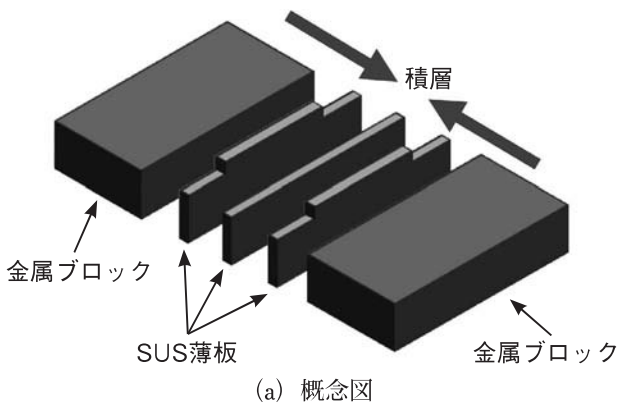
ガラス（BK-7相当）への転写加工実験では、転写型を600 $^{\circ}\text{C}$ 以上に加熱する必要があるため、前報まではセラミックス製の転写型を使用していた⁵⁾。しかし、セラミックス製転写型では、マイクロ流体デバイスの流路等で必要性があると考えられる、自由曲線状の溝加工等は困難である。そこで、本研究では、転写型形状を自由に設計可能なNiメッキを用いた微細転写型を用いて、ガラスへの転写性について実験を行った。

2. 実験方法

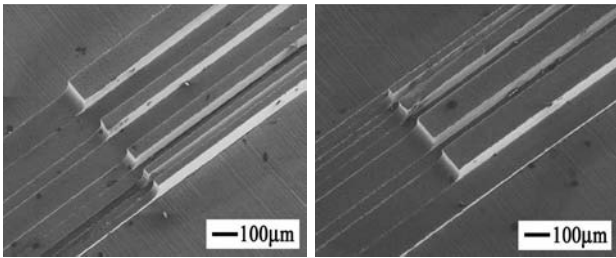
2-1 樹脂フィルムへの転写加工実験

転写加工実験では、2種類の実験用転写型を準備した。

最初に、リブや溝などの微細形状と転写加工性との関係を調べることを目的として、金属薄板積層による実験用簡易マイクロ転写型を作製した^{4), 5)}。その概念図と電子顕微鏡観察写真を図1に示す。転写型の微小リブは、高さが約95 μm で、幅がそれぞれ100 μm 、50 μm 、20 μm であり、溝幅すなわちリブ間隔は100 μm 、50 μm 、20 μm である。角RやスミRは小さく、また表面粗さもリブの寸法に対して小さいので、転写性を検討する実験用転写型



(a) 概念図



(b) 電子顕微鏡写真

図1 金属製薄板積層による実験用簡易マイクロ転写型

として利用可能と考えられる。

また、転写型として耐熱・耐食性に優れたグラッシーカーボンに、立体的な微細形状を作製して実験を行った。材料は東海カーボン(株)製GC-20SSを用い、表面を鏡面加工した材料を使用した。ハーフトーンマスクを用いてレーザ透過率を変化させ、レーザ強度分布を整形することで、グラッシーカーボンに立体的な微細形状を加工した。レーザ光は、アブレーション加工が可能で微細加工に適した紫外線レーザを用いた。また、ハーフトーンマスクは、フォトリソグラフィによるパターン化、アノード酸化、化学エッチングを組み合わせたアルミ薄膜形成プロセス^{6)・7)}を利用して作製した。一辺が約200μm、高さが約12nmの四角錐形状のアルミ薄膜を、市松模様で成膜したマスクである。図2にグラッシーカーボン表面の1mm×1mmの領域に複数の立体微細形状を加工した例を示す。立体微細形状は、幅20~30μm、高さ10~50μmの突起形状である。

本研究では、撥水性や耐薬品性に優れた熱可塑性フッ素樹脂 (FEP) フィルムへの熱転写加工実験を行った。

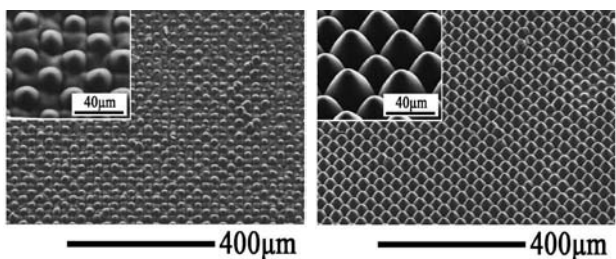


図2 グラッシーカーボン製マイクロ転写型

表1 樹脂フィルムへの転写加工条件

加工装置	新東工業(株)製 精密ホットプレス CYPT-L
ステージ温度	220, 230, 240, 250 °C
転写圧力	0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 MPa
加熱加圧時間	15, 30, 60, 120, 180, 240 sec
冷却時間	300 sec
被加工材料	フッ素樹脂ネオフロンFEP, 厚さ:250μm

厚さ250μmのFEPフィルムに、表1に示す加工条件で熱転写加工を行い、加工条件と転写加工状態との関係を調べた。

2-2 ガラスへの転写加工実験

前報同様⁵⁾、ガラスへの転写加工実験では、真空中で転写型を600℃以上に加熱可能な真空精密ホットプレス装置 (新東工業(株)製: CYPN-10) を使用した。転写加工条件については、前報までの研究結果を基にして、表2に示すようにした。ガラスはBK-7相当の材質で寸法は30×30×0.5mm、転写加工した形状は、コンフォーカル顕微鏡 (レーザーテック(株)製: OPTELICS H1200) で非接触測定した。

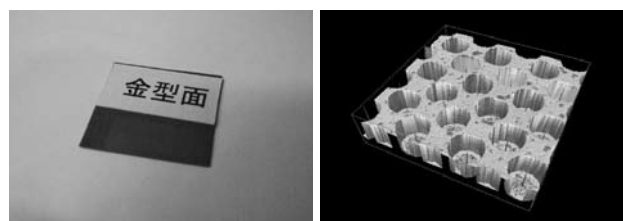
表2 ガラスへの転写加工条件

転写荷重	800 N
保持時間	60 sec
加熱時間	1800 sec
加熱温度	670 °C
転写雰囲気	真空
冷却方法	空冷

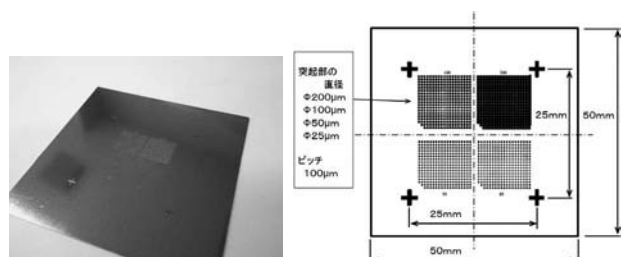
前報までは、耐熱性に優れたセラミックス製の転写型を使用していた。しかし、セラミックスでは、マイクロ流体デバイスの流路等で必要になる、自由曲線状の溝加工等は困難である。本研究では、Niメッキを積層させて微細穴や微細リブ等を作製した微細転写型を使用した。転写型の種類は図3に示すように、複数突起用転写型 (穴径約160μm・深さ約20μm・ピッチ約260μm)、複数穴用転写型 (深さ約40μm・ピッチ約100μm・突起直径約200・100・500・36μm)、マイクロ流体デバイスの流路を摸した流路用転写型 (高さ約20μm・リブ幅100・50・25μm) の3種類を用意した。

最初に、本研究で使用する転写型材料が、前報と異なるため、①加熱温度670℃に耐えられるか、②離型・潤滑剤の効果が変わるか、について複数突起用転写型を用いて実験を行った。その後、突起直径やリブ幅を変えた微細形状転写型を用いて、熱転写加工実験を行った。転

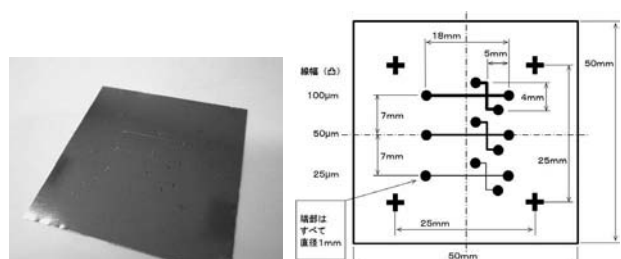
写性については、図4に示すように、微細転写型の穴深さ（またはリブ高さ）に対する、ガラス表面に転写加工された突起部高さ（または溝深さ）の比率で評価した。



(a) 複数突起用転写型



(b) 複数穴用転写型



(c) 流路用転写型

図3 実験用微細転写型

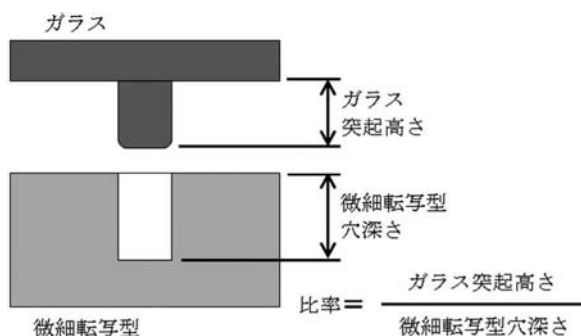


図4 転写性評価方法の概念図

3. 実験結果及び考察

3-1 樹脂フィルムへの転写加工実験

金属製薄板積層による簡易マイクロ転写型を用いて、厚さ250μmのFEPフィルムへ転写加工した例を図5に示す。

加工条件と転写加工状態との関係を検討した結果、十分な軟化温度である230~250℃の領域では、ステージ温度が高くなるほど転写性が向上し、溶融開始温度よ

り少し低い温度の250℃の時に幅20μm、高さ約95μmの微細リブ・溝が転写加工できた。なお、温度条件の設定には樹脂流動評価装置フローテスタの測定結果を活用した。また、ステージ温度250℃の場合、転写圧力が高くなるほど転写性が向上し、4.5MPa以上で幅20μm、高さ約95μmの微細リブ・溝が転写加工できた。一方、設定温度に達した転写型を樹脂材料に押し付けて加熱加圧する時間については、温度と圧力が転写加工に十分な加工条件であれば、加熱加圧時間が約30sec以上における転写性には大きな変化はみられなかった。FEPフィルムへの転写加工の場合、温度や圧力の条件に比べて時間の影響は小さいと考えられる。また、加工後のフィルムに反りなどが残ることや、転写型表面が変色してしまうことが今後の検討課題である。

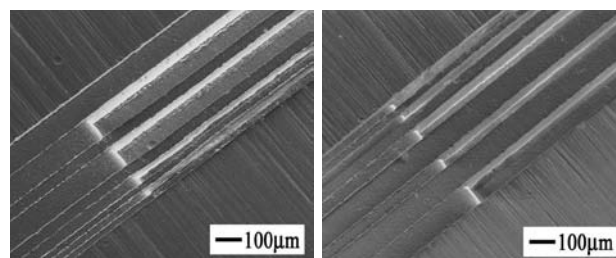


図5 FEPフィルムへの微細リブ・溝の熱転写加工例

図6に、グラッシーカーボン製マイクロ転写型を用いて、厚さ250μmのFEPフィルムに、ステージ温度を250℃、転写圧力を4.5MPa、加熱加圧時間を60secに設定して転写加工を行った例を示す。転写型に加工した幅20~30μm、高さ10~50μmの複数の微細立体形状を、FEPフィルム表面に転写することができた。

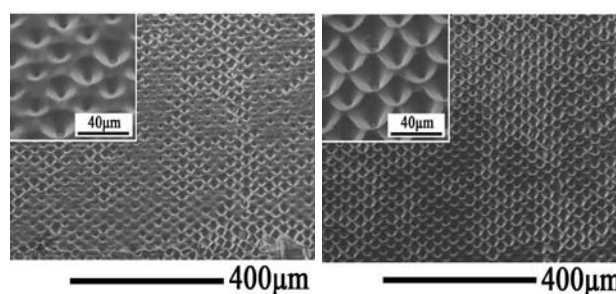


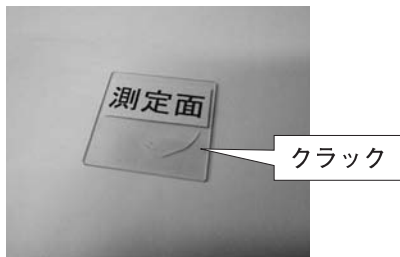
図6 FEPフィルムへの立体微細形状の熱転写加工例

3-2 ガラスへの転写加工実験

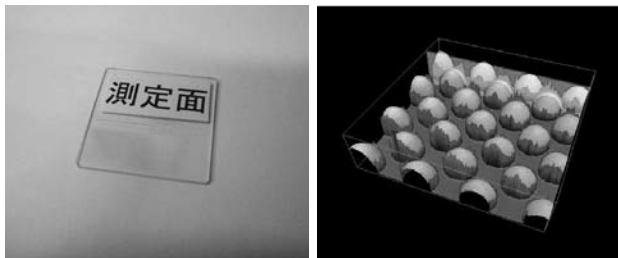
複数突起用転写型を用いた転写加工実験の結果を示す。本研究では、離型・潤滑剤として、真空中で蒸着した金とカーボン膜、そして前報⁵⁾より効果が確認できた窒化ホウ素粉末の3種類について検討を行った。転写加工後のガラス表面の写真と形状を図7に、微細転写型の穴深さに対するガラス突起部の高さの比率を図8に示す。

離型・潤滑剤として金蒸着膜を用いた場合は、ガラスは簡単に剥離せず、図7 (a) に示すように、表面にクラックが発生した。また、カーボン蒸着膜の場合は、剥離性は良いが、図8に示すようにガラスの未充填率が高く、転写性が悪いことが分かった。対して、窒化ホウ素粉末の場合は、転写型穴深さとガラス突起高さの比率は約90%であり、転写性が向上することが分かった。

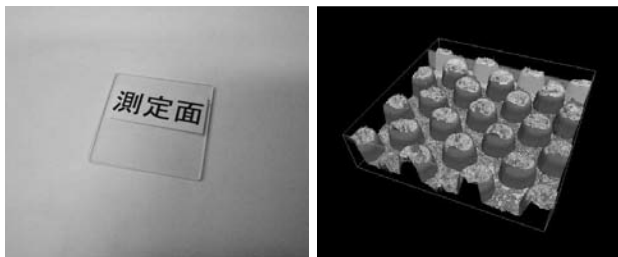
次に、複数穴用転写型を用いた転写加工実験を行った。転写加工後のガラス試験片の写真と、穴直径200 μm の場合の形状を図9に、微細転写型の突起高さに対する



(a) 金蒸着膜



(b) カーボン蒸着膜



(c) 窒化ホウ素粉末

図7 離型・潤滑剤による転写加工後のガラス

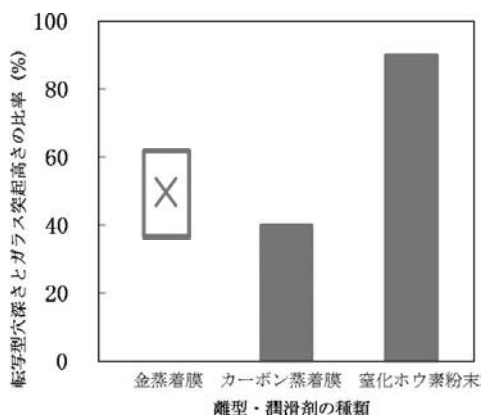


図8 離型・潤滑剤によるガラスへの転写性

ガラス穴深さの比率を図10に示す。穴周辺部に多少だれ形状があり、転写型突起直径が小さくなるほど転写性が低下した。前報の実験結果より、周辺だれの発生はガラスの加熱不足が考えられる。また、セラミックスと比較してNiメッキは弾塑性があるため、極度な微細形状

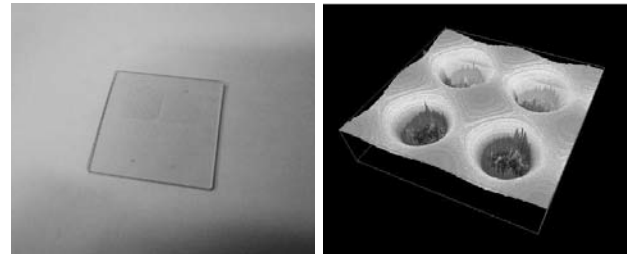


図9 複数穴を転写加工したガラス

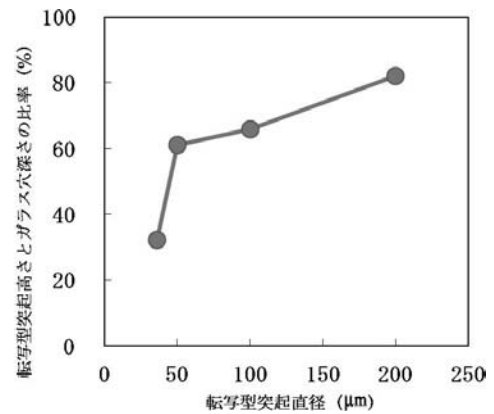


図10 転写型突起直径によるガラスへの転写性

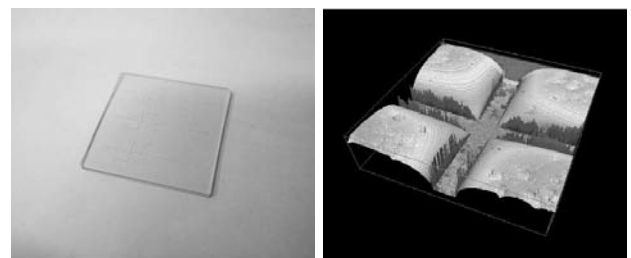


図11 微細流路を転写加工したガラス

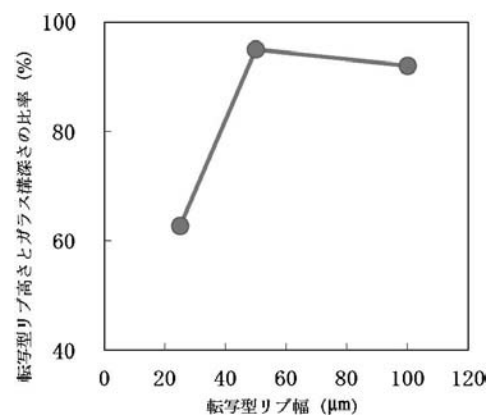


図12 転写型リブ幅によるガラスへの転写性

になると転写加工負荷で転写型が変形すると考えられる。対応策として、①ガラスの加熱温度を上げて転写加工負荷を軽減する、②表面の硬度が高い材料か表面処理を使用する、の2点が考えられる。ただし、転写型突起直径が200 μm の場合では、現状の微細転写型を用いても転写性の向上が確認できた。本研究で使用したNiメッキ製転写型でも、転写型の寸法・形状を十分検討すれば、微細転写加工に対応可能であることが分かった。

また、流路用転写型を用いた転写加工実験の結果を図11・12に示す。複数穴用転写型の場合と同様な結果となり、100 μm 以上の流路幅であれば、マイクロ流体デバイスの流路加工への可能性が得られた。

4. 結 言

熱可塑性フッ素樹脂 (FEP) フィルムとガラス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い、得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 熱可塑性フッ素樹脂フィルムへの転写加工実験を行った結果、温度250 $^{\circ}\text{C}$ 、圧力4.5MPa以上、加熱加圧時間が約30sec以上の加工条件で、幅20~100 μm 、高さ約95 μm の微細リブ・溝や、幅20~30 μm 、高さ10~50 μm の微細立体形状を転写加工することができた。
- (2) Niメッキを用いた微細転写型を用いて、ガラスへの転写性について実験を行った結果、転写型の寸法・形状を十分検討すれば、微細転写加工に対応可能であることが分かり、マイクロ流体デバイスの流路加工への可能性が得られた。

5. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、東洋大学吉田善一教授、寺田信幸教授には多大なご指導とご協力をいただき、厚くお礼申し上げます。

また、本研究で使用したNiメッキ製微細転写型は、株式会社アルファ精工のご協力で作製しました。重ねて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社)高分子学会編：微細加工技術 [応用編]、(株)エヌ・ティー・エス、P.147 (2003)
- 2) 早乙女康典：マイクロ塑性加工ーマイクロ塑性加工技術の現状と展望ー、精密工学会誌、Vol.69, No.9, P.1221 (2003)
- 3) 前田龍太郎ら：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)、山梨県総合理工学研究機構研究報告書、No.6, P.55 (2011)
- 5) 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、阿部 治、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2報)、山梨県総合理工学研究機構研究報告書、No.7, P.41 (2012)
- 6) 勝又信行、他2名：表面技術、Vol.59, No.5, P.333 (2008)
- 7) 山田博之、他4名：2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集、P.161 (2011)

成果発表状況

学会発表

- 1) 山田博之、阿部 治、吉田善一、小松利安、勝又信行：簡易ハーフトーンマスクを用いた微細3次元レーザ加工技術の開発、山梨講演会2012、山梨、2012