

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)

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

Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie (1st Report)

Toshiyasu KOMATSU, Yoshihito HAGIHARA, Teruo ISHIGURO, Nobuyuki KATSUMATA, Masaaki SANŌ,
Wako MIYAGAWA, Hiroyuki YAMADA*1, Michiyoshi NISHIMURA*1, Yoshikazu YOSHIDA*2 and Nobuyuki TERADA*2

要 約

マイクロ関連部品は、要求される加工精度が高いため、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っている。そこで、本研究では転写型のマイクロ加工や微細転写加工の各種要素技術について検討を行った。はじめに、転写型への適用を目的として耐熱性や耐薬品性に優れたグラッシーカーボンへのエキシマレーザ加工技術を検討した。その結果、レーザによるグラッシーカーボンへの微細加工の可能性を確認でき、基本的な加工条件を把握した。さらに、転写加工実験用簡易マイクロ金型を用いた転写性実験を行い、樹脂フィルムへの基本的な加工条件を確認した。

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。多くのマイクロ部品は、要求される加工サイズや加工精度が高いため、各種微細加工機を用いて小ロット加工により試作・製造が行われている場合が多い。しかし、材料への直接加工では製造コストが高くなり、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と考えられる。現在、半導体製造技術を応用したマイクロ金型作製技術に関する研究、ホットエンボス法や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。^{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、転写加工用マイクロ金型の作製に適した加工技術と材料の選定、マイクロ金型の品質(耐久性、離型性など)の向上、材料に応じた転写加工条件の最適化とタクトタイムの向上等があり、これらの課題を解決する必要がある。

本研究では、数十 μm から数百 μm のマイクロ形状を有する部品の加工を主なターゲットとし、マイクロ金型を作製するための加工技術や微細転写加工技術の検討を行った。具体的には、耐熱性や耐薬品性等に優れているが、一般的に切削などの機械加工が難しいグラッシーカーボン(ガラス状炭素材料)に、ハーフトーンマスクを用いたレーザ加工を適用し、立体的な微細形状の基

本的な加工条件を把握した。また、微細転写加工技術を検討するため、実験用簡易マイクロ金型を作製し、樹脂フィルムへの基本的な加工実験を行った。

2. マイクロ加工技術の検討

2-1 実験方法

立体的な微細形状の作製を目的として、表面を鏡面研磨加工したグラッシーカーボン(東海カーボン株, GC-20SS)を用いて、レーザ加工実験を行った。レーザには、アブレーション加工が可能でマイクロ加工に適したエキシマレーザ(Exitech社, PS2000)を用いた。また、フォトリソグラフィとアノード酸化処理によるアルミ薄膜^{4), 5)}を、レーザ加工用ハーフトーンマスクに応用することを試みた。そのアルミ薄膜形成プロセスを図1に示す。一辺が約 $200\mu\text{m}$ 、高さが約 12nm の四角錐に近い形状のアルミ薄膜を光学石英ガラス板上に成膜し、そのアルミ薄膜を用いてエキシマレーザの強度分布を変

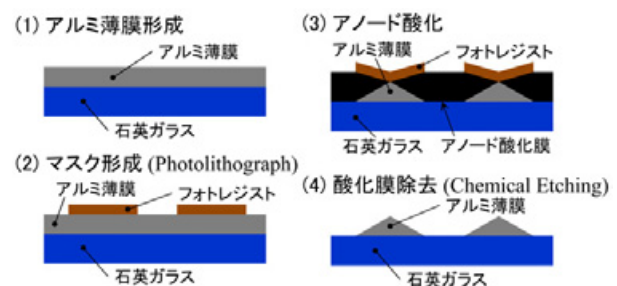


図1 アルミ薄膜形成プロセス

*1 山梨県富士工業技術センター

*2 東洋大学工学部

化させ、グラッシーカーボンに立体的な微細形状を加工することを検討した。表1に示す条件でレーザ加工を行った。

表1 ハーフトーンマスクによるレーザ加工条件

基板	光学石英ガラス
マスク材質	アルミ薄膜
マスク形状	四角錐 (幅:200 μ m, 高さ:約12nm)
縮小光学系倍率	$\times 10$ (縮小倍率:1/10)
フルエンス	5.0 J/cm ²
照射パルス数	10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300, 400, 500 pulses

2-2 結果

フルエンスを5 J/cm²とした場合の、レーザ照射パルス数と加工部高さとの関係を図2に、レーザ照射パルス数が30, 100 pulsesの場合の、加工部を電子顕微鏡で観察した結果を図3 (a), (b)に示す。幅20~30 μ m, 高さ50 μ m以下の複数の立体微細形状をグラッシーカーボンに加工することができた。照射パルス数と加工部高さとの関係は400pulsesまでは比例関係となるため、高さの制御は可能と考えられる。しかし、400pulses以上では、加工底面が形成されず加工除去量が低下し、さらに立体形状の先端部は選択的に加工されるため、微細形状の高さが最大値50 μ mになると推測される。また、ハーフトーンマスクの投影パターンは四角形であるが、パルス数が多い100 pulsesでの加工形状は、円錐状になることが分かった。

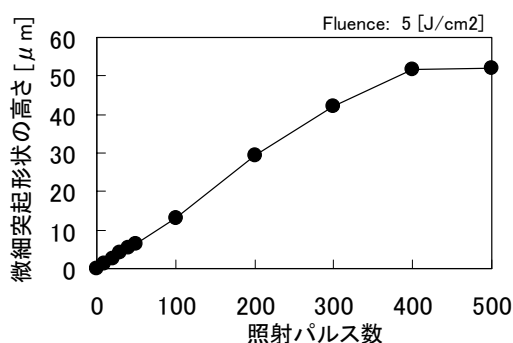
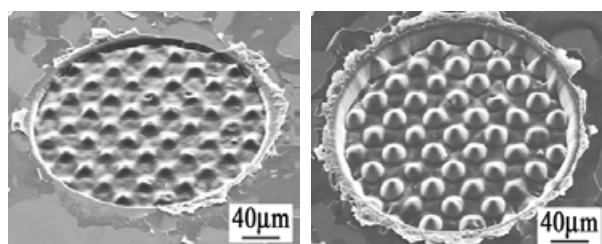


図2 微細突起形状の高さとレーザ照射パルス数との関係



(a) 30 pulses

(b) 100 pulses

図3 ハーフトーンマスクを用いたレーザ加工例

3. 微細転写技術の検討

3-1 実験方法

次に、微細転写加工技術について検討を行った。今回は、ポリカーボネートとポリアセタールの、樹脂フィルム(30 \times 15 \times 0.3mm)を被加工材とし、型を加熱し加圧力制御でプレスする、精密ホットプレス装置(新東工業株, CYPT-L)を用いて実験を行った。精密ホットプレス装置の主な仕様を表2に示す。本研究では、加圧力や加熱温度が、転写性にどの程度影響を及ぼすか実験を行った。また、加圧力の保持時間については、プログラム制御により、数段階に分けて設定することが可能であるが、本研究では次の値で一定とした。

保持時間 第1段階:240 sec, 第2段階:300 sec

冷却時間 300 sec

表2 精密ホットプレス装置の主な仕様

定盤寸法	150 \times 150mm
動作ストローク	100mm
繰り返し停止精度	$\pm 10 \mu$ m
最大加圧力	10kN
加圧力制御精度	± 0.1 kN
最大加熱温度	300 $^{\circ}$ C

本研究は、マイクロ流体デバイスなどで利用される微小溝を有した部品を、転写加工によって作製することを最終的な目標としている。ただし、複雑な微細形状に対する転写加工実験を行う前に、まず、基礎的な形状を有した金型で、転写性について検討する必要がある。そこで、本研究では、直線状微小溝を転写加工する実験を行った。図4に準備した転写加工実験用簡易マイクロ金型の概略図を示す。微小溝の幅や深さを変化させて実験するために、薄いステンレス板(SUS304H)を金属ブロックで挟み込み、1本の微小リブを形成させた。

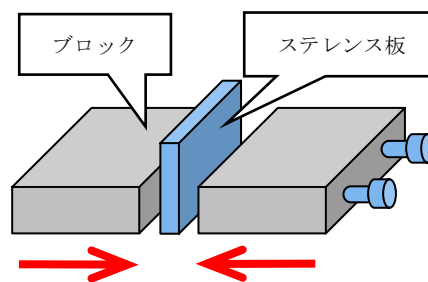


図4 簡易マイクロ金型の概略図

転写加工した直線状微小溝は、非接触で表面形状を測定することが可能な、コンフォーカル顕微鏡(レーザ

ック(株, OPTELCICS H1200) を用いて形状測定を行った。その測定装置全体を図5に、主な仕様を表3に示す。微小溝を転写加工した場合、加工条件によって、図6に示すような、微小溝の端部にだれが発生する。その角度と幅を測定し、転写加工のだれの評価を行った。評価に用いたコンフォーカル顕微鏡の対物レンズは20倍で一定とした。

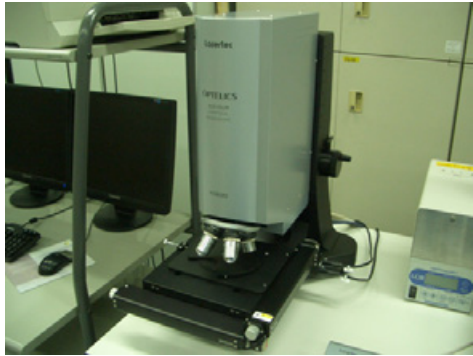


図5 コンフォーカル顕微鏡

表3 コンフォーカル顕微鏡の主な仕様

高さ測定	測定範囲	8mm
	表示分解能	0.001 μm
	再現性 (σ)	0.02 μm
対物レンズ (倍率)	5・10・20・50・100	
光源	白色キセノンランプ	
X-Y ステージ	150×150mm 電動ステージ	

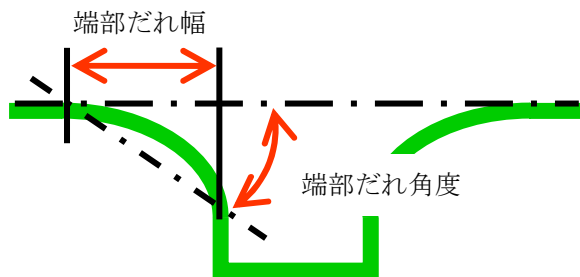


図6 微小溝形状の概略図

3-2 結果

最初に、転写加工実験に使用するポリカーボネートとポリアセタールの熱特性について分析を行った。7.0×7.0×0.3mmの樹脂フィルムを、7.0×7.0×3.0mmのアルミナブロックで挟み込み、0.3 Nの荷重をかけながら加熱し、熱軟化点を分析した。分析装置は、熱機械的分析装置 (TA instruments 製, TMA 2940) を使用した。実験結果を図7および図8に示す。ポリカーボネートの熱軟化点は、約200℃、ポリアセタールは、約170℃であった。

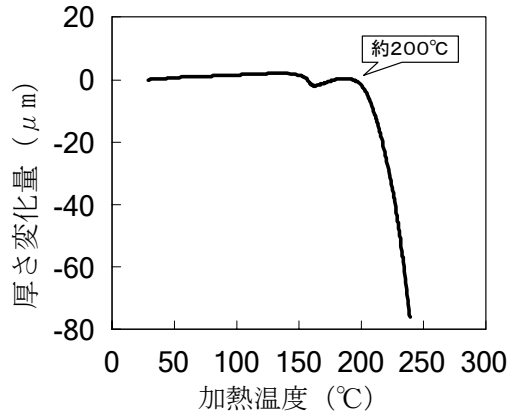


図7 ポリカーボネートの熱特性

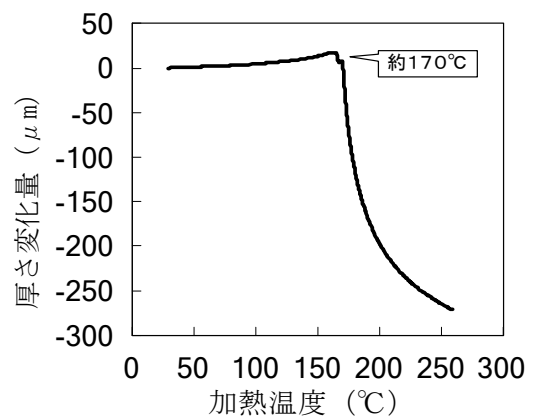


図8 ポリアセタールの熱特性

次に、転写性に関して、加圧力を変化させて実験した。簡易マイクロ金型に使用したステンレス板の厚さと高さを、約0.1mmに調整して微細リブを形成した。被加工材はポリカーボネートで、加熱温度は、一般的な熱変形温度⁶⁾を参照して、140℃で一定とした。端部だれ角度等の実験結果を図9に示す。微小溝の深さは全て0.1mm前後であったが、端部のだれは大きく発生した。また、加圧力を増加させても、端部だれ角度と幅が多少減少するだけで、転写性は大きく向上しなかった。

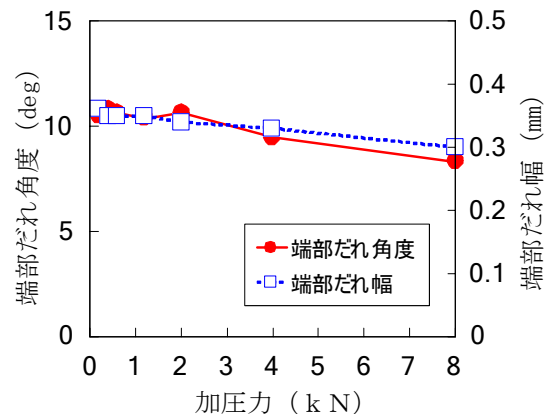


図9 端部だれ角度と幅に対する加圧力の影響

さらに、簡易マイクロ金型の微小リブ寸法を変化させて実験を行った。ステンレス板の厚さと微小リブの高さを約 0.1mm と 0.05mm にして、それぞれの組み合わせについて実験を行った。被加工材はポリカーボネート、加熱温度は 140℃、加圧力は約 0.2kN で一定とした。実験結果を図 10 に示す。端部だれ角度の値は約 1/2 程度に低下したが、端部だれ幅は殆ど変化せず、転写性を大きく向上させることはできなかった。

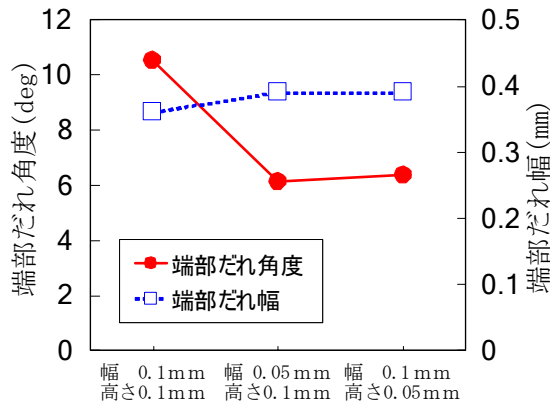


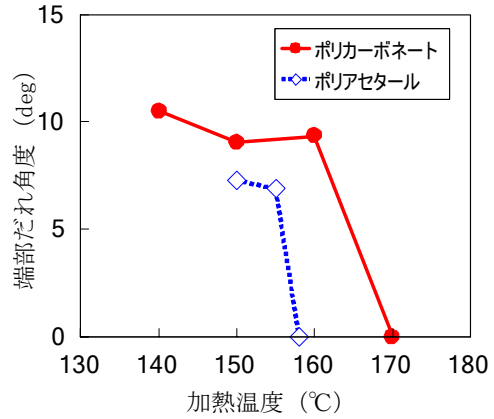
図 10 端部だれ角度と幅に対する微小リブ寸法の影響

最後に加熱温度の影響について実験した。微細リブの厚さと高さは約 0.1mm とした。樹脂フィルムはポリカーボネートとポリアセタールの 2 種類で、加圧力は一定の約 0.2kN で実験を行った。図 11 に端部だれ角度と幅に対する実験結果を示す。ポリカーボネートの場合は約 170℃、ポリアセタールの場合は約 158℃付近になると、端部だれ角度と幅は共に減少し、転写性が著しく向上することが分かった。両樹脂フィルムとも、この温度より低い場合は、端部だれの状態は殆ど変化せず、逆に高い場合は、樹脂フィルムが軟化しすぎるため、微小溝が転写できないことを確認した。また、前述した樹脂フィルムの熱軟化点では、加熱しすぎであることも分かった。なお、ポリアセタールの場合、加熱温度が 140℃以下では、材料が殆ど軟化せず、微小リブ形状そのものが転写されなかった。

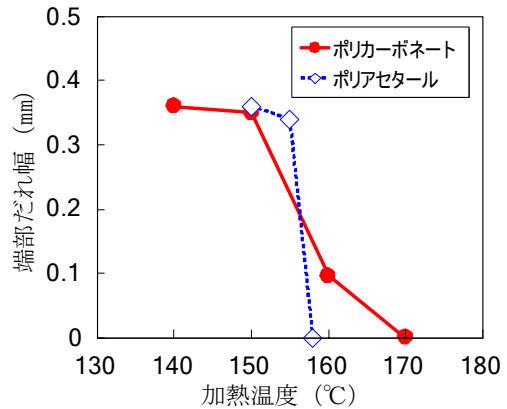
4. 結 言

グラッシーカーボンを用いたマイクロ金型の作製、および 1 本の微小リブを形成させた、転写加工実験用の簡易マイクロ金型を用いて、樹脂フィルムへの転写加工を試みた。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) アノード酸化処理によるアルミ薄膜を、エキシマレーザー加工用ハーフトーンマスクとして用いて、複数の立体的な微細形状をグラッシーカーボンに加工した。最大 50 μm までの高さが制御可能であった。



(a) 端部だれ角度の変化



(b) 端部だれ幅の変化

図 11 転写性に対する加熱温度の影響

- (2) 加圧や加熱温度等の条件が、転写性に及ぼす影響について実験を行った結果、加熱温度の影響が最も大きいことが分かった。ポリカーボネートの場合は、約 170℃、ポリアセタールの場合は、約 158℃付近になると転写性は著しく向上した。

参考文献

- 1) (社)高分子学会編：微細加工技術 [応用編]，(株)エヌ・ディー・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) 勝又 信行，石田 正文，斎藤 修：フォトリソグラフィとアノード酸化を利用した Al 薄膜の表面加工，表面技術，Vol.59，No.5，P.333 (2008)
- 5) 勝又 信行，石田 正文：3次元立体アルミニウムマスクを用いたシリコン基板の反応性イオンエッチング加工，J. Vac. Soc. Jpn.，Vol.52，No.8，P.29 (2009)
- 6) 桜内雄二郎編：プラスチックポケットブック，(株)工業調査会，P.44 (1993)