調査・報告

微細構造部品に関する調査研究

山田　昭博*　菅野　明宏**　宮口　孝司*　山田　敏浩*　丸山　英樹*

Research on Microstructured Components

YAMADA Akihiro*, KANNO Akihiro**, MIYAGUCHI Takashi*, YAMADA Toshihiro*
and MARUYAMA Hideki*

1. 緒　　言

自動運転や拡張現実などの普及に伴い，3Dセンシング機器の活用用途は広がりを見せている。3D センシング機器の一種である LiDAR（Light Detection and Ranging）は，レーザーを使った非接触三次元距離測定デバイスであり，光学系には周期的なパターンを作り出す回折光学素子（DOE：Diffractive Optical Element） などが用いられている。これら機器類は大幅な需要増が見込まれており，コストダウンが求められると予想される。

これまでの調査研究において，DOEを中心に技術調査を行い，DOEの市場調査やフォトリソグラフィによる試作実験を行ってきた[1),2)]。微細構造を有するDOEは現在ナノインプリント法により製造されているが，射出成形により製造することで低コスト化，強度向上のほか，取り付け部品との一体成形が可能になり，部品点数の減少につながるなどのメリットがあると考えられる。昨年度の調査研究[2)]において，Siチップ上にDOE構造をフォトリソグラフィ工程を用いて作製したSi金型を用いた射出成形実験を行ったところ，レーザー光による光回折パターンを得ることができた。その研究の成果を基に，令和5年度の成長型中小企業等研究開発支援事業（Go-Tech事業）へと提案を行ったところ採択され，DOE素子を射出成形により作製する技術開発を進めている。

* 研究開発センター
　レーザー・ナノテク研究室
** 研究開発センター

一方で微細構造部品では高機能化，高性能化等に伴い，さらに細かい形状が求められている。そこで本調査研究では，射出成形においてより細かい形状の転写の実現可能性について検討するため，微細な穴構造を対象として成形実験を行うと共に，樹脂材料の違いによる成形性の差についても評価を行った。

2. Si チップを用いた穴形状金型の作製

射出成形による微細構造の成形性を評価するため，Si チップにフォトリソグラフィ工程を用いて金型の作製を行った。本研究に用いた主要な装置を表 1 に示す。表 2 にプロセスフローを示す。

実験には 10mm 角の Si チップを用い，電子線描画ではφ5μm，φ3μm，φ1μm，φ0.5μm及びφ0.3μm の円形パターンを並べたデータを作り，描画・現像を行った。レジストは CSAR62（Allresist社製）を用いた。図 1 に現像後のパターンを示す。図 1 の下から 3 行ずつφ5μm，φ3μm，φ1μm の順で描画されている。

次にスパッタリング装置により Cr 膜を 50nm

表 1　本研究に用いた主要な装置

装置名	メーカー	機種
電子線描画装置	(株) 日立ハイテクノロジーズ（電子線描画部：(株) 東京テクノロジー）	S4300SE（BeamDraw）
スパッタリング装置	芝浦メカトロニクス(株)	CFS-4EP-LL（i-Miller）
ドライエッチング装置	住友精密工業(株)	Multiplex ASE-HR

表 2　Si 金型作製のプロセスフロー

工程	プロセスの内容
1	Si 基板へのレジスト塗布（スピンコート）
2	電子線描画装置によるパターン描画
3	描画パターンの現像
4	Cr 膜のスパッタリング
5	リフトオフによる Cr マスク作製
6	Si ドライエッチング

表 3　射出成形条件

射出成形条件	数値
成形温度	300℃
金型温度	100℃
充填圧力	200MPa (S-3000UR)
	65MPa (HL3503)
保圧圧力	130MPa
保圧時間	3sec
冷却時間	30sec

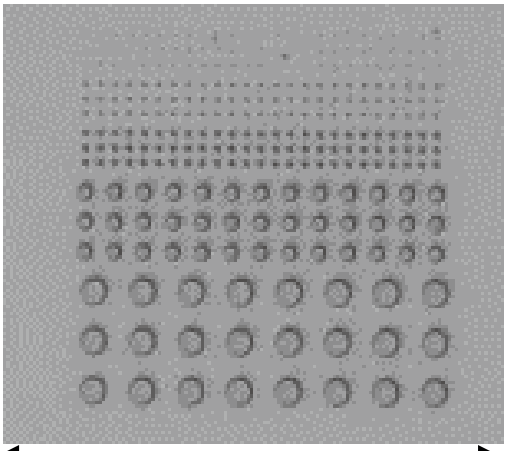

図 1　現像後のパターン

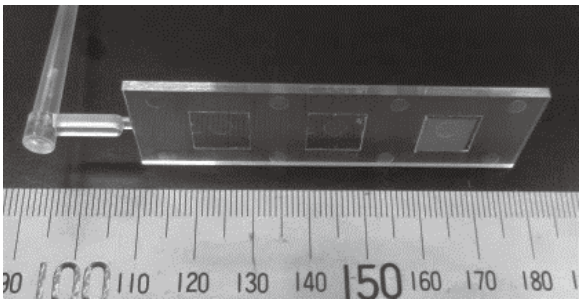

図 2　射出成形品外観

堆積させ，剥離液 104（東京応化工業(株)製）を用いたリフトオフを行い，Cr マスクを作製した。その後 C_4F_8 ガスを用いたドライエッチングにより穴部分の深さ 1.5μm を目標としてエッチングを行った。作製した複数の Si 金型について，φ5μm の穴部分の形状を非接触三次元測定機 NH-3SP（三鷹光器(株)製）により測定したところ，穴の深さは 1.5～1.7μm であった。

3.　射出成形実験

前章で作製した Si 金型を用いて射出成形実験を行った。成形実験に用いた金型は長岡工業高等専門学校より借用し，射出成形機は南魚沼市の三共化成(株)の成形機 SE-30DU（住友重機械工業(株)製）を用いた。射出成形用の樹脂には，ポリカーボネート ユーピロン S-3000UR 及び HL3503（三菱エンジニアリングプラスチックス(株)製）を用いた。主な射出成形条件を表 3 に，成形品外観を図 2 に示す。

今回用いた金型には 10mm 角の Si 金型を 3 か所に設置することができるが，ゲートに一番近い位置に穴形状を作製した Si 金型をセットして成形を行った。なお，2 種類の樹脂の成形実験では穴深さの異なる Si 金型を用いている。

成形に用いた Si 金型と射出成形品を電子顕微鏡で観察した。

図 3 に Si 金型のφ5μm 部の断面観察を行った写真を示す。図 4 にユーピロン S-3000UR を用いて成形を行ったφ5μm 部の成形品の写真を示す。ここで用いた Si 金型の穴の深さは 1.7μm であるが，成形品の高さは 1.3μm と，穴の深さよりも低く，かつ全体に丸みを帯びた形状となった。

次に光学グレードの樹脂である，ユーピロン HL3503 を用いた成形実験を行った。使用した金型の深さは 1.5μm である。φ5μm 部の成形品の電子顕微鏡写真を図 5 に示す。写真において，樹脂の流動方向は写真の左から右方向となるが，

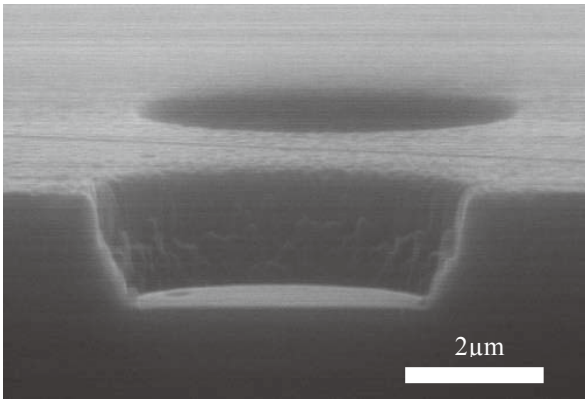

図 3　Si 金型断面写真例（φ5μm 部）

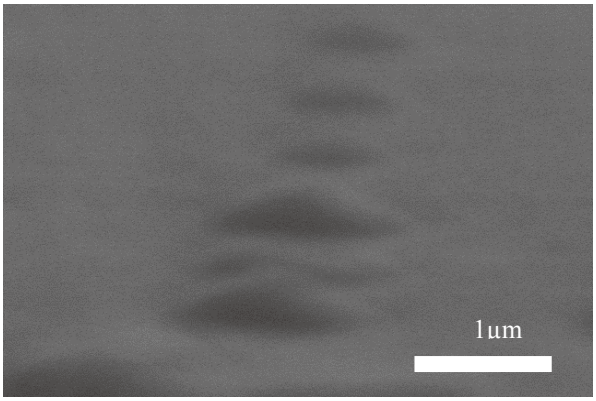

図 6　HL3503 を用いた成形品(φ1μm 及び 0.5μm 部)

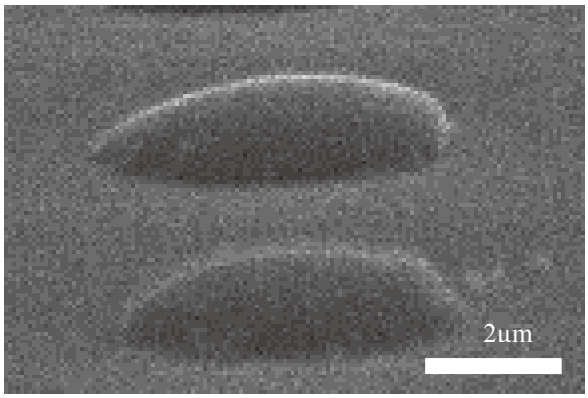

図 4　S-3000UR 成形品（φ5μm 部）

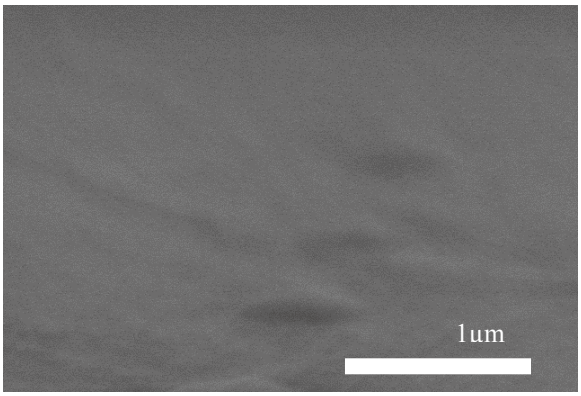

図 7　HL3503 を用いた成形品（φ0.3μm 部）

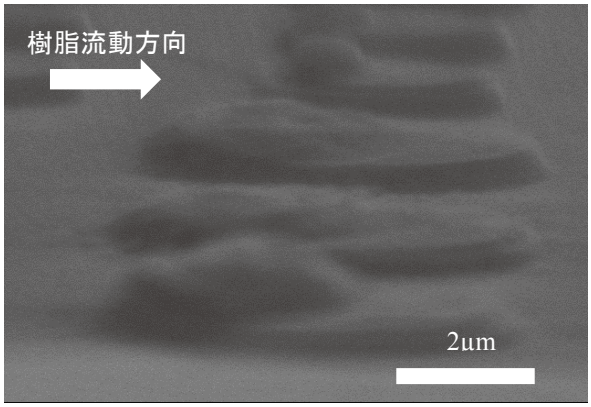

図 5　HL3503 を用いた成形品（φ5μm 部）

流動方向先端側が低く，途中から盛り上がった形状となった。高さは 1.5μm～1.6μm と金型深さに近いものであった。データは示さないが，φ3μm 及びφ1μm の穴部分でも同様に樹脂流動方向の凸部分の高さが低くなる現象が見られた。2 種類の樹脂の差として溶融時の流動性を表すメルトマスフローレートが異なり，S-3000UR の 15g/10min に対し，HL3503 では 56g/10min と流動性が高い[3]。HL3503 の成形では射出圧により樹脂が金型内に入る際に残った空気やガスの影響 により樹脂が穴部に少し入った後，保圧時の圧力により固化が遅く流動性の高い部分より樹脂が穴部へと流れ込んだためではないかと考えられる。

HL3503 を用いた成形品のφ1μm 及びφ0.5μm 部分の成形部の電子顕微鏡写真を図 6 に，φ0.3μm 部分の写真を図 7 に示す。

図 6 では手前の 3 つの凸部がφ1μm，奥側の 3 つの凸部がφ0.5μm の成形部である。S-3000UR 及び HL3503 を用いた成形実験により得られた成形品高さについて評価した結果を表 4 に示す。S-3000UR についてはφ0.5μm 及びφ0.3μm 部については評価していないが，同じ穴径での成形品の高さは HL3503 の方が高かった。HL3503 ではφ1μm より小さい穴部分における成形品高さは金型深さのおよそ 1/3 であった。

表 4　成形品の高さ評価結果

	S-3000UR		HL3503	
穴径(μm)	金型深さ(μm)	成形品高さ(μm)	金型深さ(μm)	成形品高さ(μm)
ϕ5	1.7	1.3	1.5	1.6
ϕ3	1.7	0.75	1.5	1.5
ϕ1	1.6	0.25	1.5	0.48
ϕ0.5	－	－	1.1	0.30
ϕ0.3	－	－	0.49	0.21

4. 結　　言

(1) 射出成形による微細構造の成形性を評価するため，Si チップにフォトリソグラフィ工程を用いてϕ5μm～0.3μm の穴形状を作製した金型を用いて射出成形実験を行い，樹脂材料の違いによる成形性の差を確認した。

(2) 高流動性の樹脂において，樹脂流動方向に向かって凸部高さが低くなる現象が見られ，空気やガスの影響を受けていると考えられる。

(3) 微細形状の転写性を向上させるためには金型や樹脂材料，射出成形条件等の検討が必要である。

参考文献

1) 菅野明宏ほか, “微細構造光学部品の製造技術に関する調査研究”, 工業技術研究報告書, No51, 2022, pp.118-121.

2) 丸山英樹ほか, “微細構造光学部品に関する調査研究”, 工業技術研究報告書, No52, 2023, pp.69-72.

3) 三菱エンジニアリングプラスチックス(株)テクニカルデータシート, https://www.m-ep.co.jp/product/select/select.html, 2024 年 3 月 22 日.