ノート

DOE転写面作製技術の開発（第2報）

宮口　孝司*　丸山　英樹*　山田　昭博*　菅野　明宏**　山田　敏浩*

Development of Fabrication Technology of DOE Surface Die（Second Report）

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

1. 緒　　言

自動運転やAR（Augmented Reality：拡張現実）などで注目される 3D センシングの一種であるLiDAR(Light Detection And Ranging)では，DOE（Diffractive Optical Element：回折光学素子）によって VCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Laser)等のアレイ光源を分割し，照射・計測するフラッシュ方式が有望視されている。

DOE は数 μm～数十 μm オーダーの微細凹凸構造であり，これまではナノインプリントで作製されていた。従来技術では不可能とされていた射出成形技術によりDOEを作製することを目標として，DOE 転写面型の作製技術について検討を行った。

昨年度はフォトリソグラフィーを用いて転写面型を電鋳によって作製した [1]。今年度は転写面型に抜き勾配をつけ離型性を高めるとともに，評価用パターンを多重プロセスによって作製した。さらに光学的評価装置を作製し成形品の光学的評価を行った。

2. 実験方法及び結果

2.1 DOE 転写面型マスターの作製

目的とする DOE は，コリメートされた波長1.55μm のレーザー光を 3×3 の光点に分割する。各光点の配光角は 15°である。この光学素子を実現するために必要なパラメーターを決定し，光学シミュレーションを実施した。

光学シミュレーションには波動光学解析ソフト VirtualLab を用いた。反復フーリエ変換アルゴリズム(IFTA)とパラメトリック最適化により候補となる 3 つの位相分布を抽出し，Rigorous Coupled Wave Analysis（RCWA）法によって波長1.55μm で PC 樹脂（三菱エンジニアリングプラスチック(株)製ユーピロン）の屈折率に最適化した DOE の単位形状を得た。周期は 6μm で，最適化された深さは1.22μm であった。

図 1 に DOE の単位形状を示す。この形状を縦横に周期的に配置した。このデータを基にフォトマスクを作製し，マスクアライナ PEM-800（ユニオン光学(株)製）によって露光・現像を行いレジストパターンを得た。基板には Si ウェハを用い，フォトレジストには OFPR8600（東京応化工業(株)製）を用い，TMAH2.38%水溶液で現像した。

図 2 にパターニングしたフォトレジストを示す。上側の写真は上面から，下側の写真は Si ウェハを割断してレジストの断面を，それぞれ SEM で撮影した。概ね形状を転写できているが，

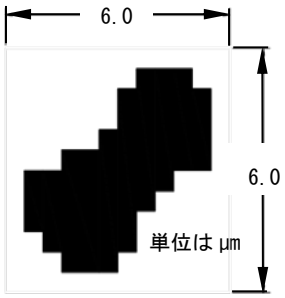

図 1　DOE の単位形状

* 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

1μm に満たない凹凸は解像していない。

図 3 にボッシュプロセスによるマスター型を示す。フォトレジストでパターニングされた Si ウェハをドライエッチング装置 Multiplex ASE-HR（住友精密工業(株)製）によってエッチングした。エッチングプロセスは SF_6 と C_4F_8 を交互に切り替え垂直にエッチングを行うことが可能なボッシュプロセスである。通常条件では，図 3 のようにほぼ垂直なエッチング面を得ることができるが，射出成形型には抜き勾配が必要である。

図 4 に抜き勾配を付けたマスター型を示す。プロセスガスの内，C_4F_8 の割合を増やすことによって側壁保護効果を高め，抜き勾配を付けた。抜き勾配の角度は 6～8°であった。

エッチングによって形状を作った Si ウェハをマスター型として，2.3節で述べる電鋳によって転写面型を作製した。転写面型は凹形状になる。

2.2　成形性評価パターン

DOE の形状は横に長い異形凸形状であり，射出成形品の転写性評価を標準化することが難しいことから，成形性評価用パターンを別に転写面型の一部に設けた。

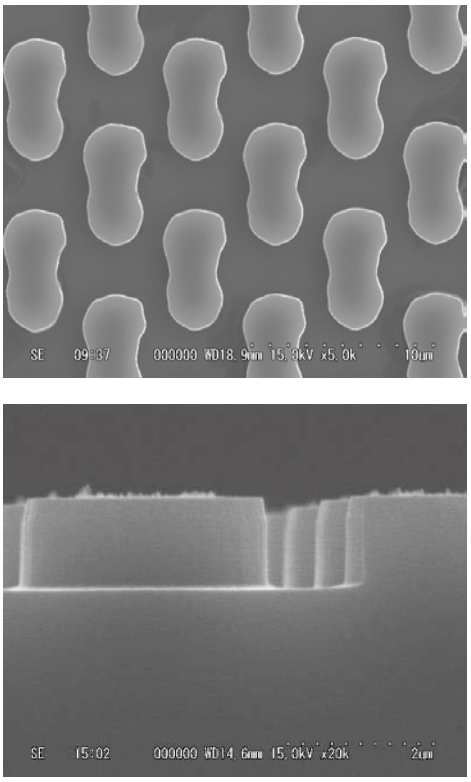

図 3　ボッシュプロセスによるマスター型

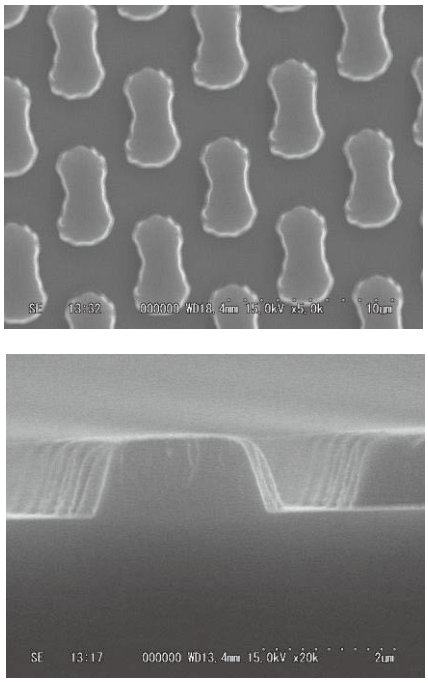

図 2　パターニングしたフォトレジスト

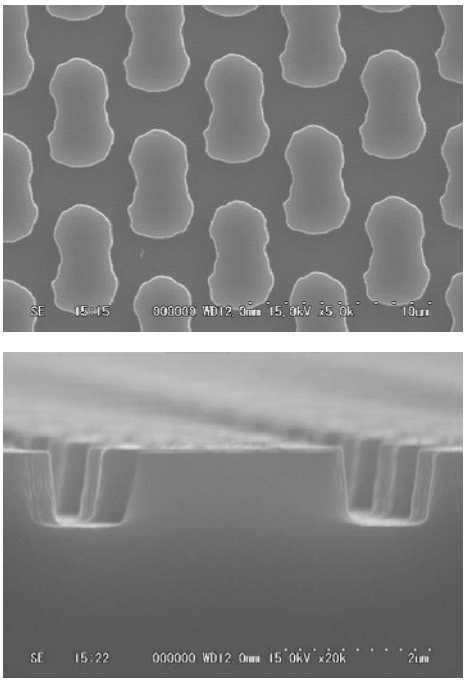

図 4　抜き勾配を付けたマスター型

図 5 に成形性評価用パターンを示す。評価用パターン作製には電子線描画装置（S4300SE（(株)日立ハイテクノロジーズ製）に BeamDraw（(株)東京テクノロジー製）を搭載）を使用した。電子線レジストにはネガレジストである SAL601（Shipley 社製）を用い，TMAH2.38%水溶液で現像した。

図 6 に成形性評価用パターン作製の手順を示す。

① マスクアライナで DOE のパターンを作る。
② DOE パターンの一部を削除する部分のみ透過するフォトマスクを使ってアライナで露光・現像して DOE レジストパターンの一部を削除し，ドライエッチングによって深さ 1.2μm のパターンを作る。
③ ネガレジストを塗布した Si 基板に電子線描画装置で評価パターンを作製し現像する。
④ DOE 部分をカプトンテープで覆い，ドライエッチングによって深さ 1.5μm にエッチングする。

酸素プラズマによってレジストを剥離後，カプトンテープを剥離し，マスター型とした。

2.3 電鋳による転写面型の作製

図 7 に電鋳によって作製した転写面型を示す。射出成形 100 万ショットを目指して，Ni 電鋳の表面硬度を高めるため，NiW 合金層を形成することとし，Si との密着性を向上させるため Cr をあらかじめ転写面にスパッタした。膜組成は

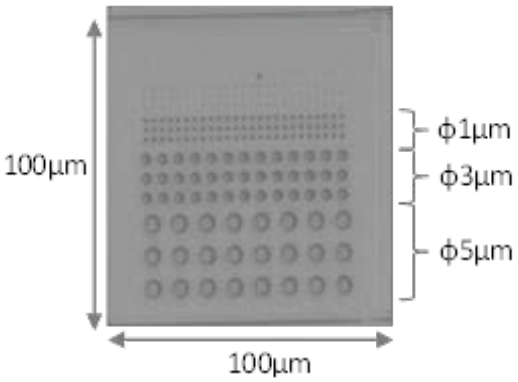

図 5 成形性評価用パターン

$Ni_{93}W_7$ で，コ・スパッタリングによって 0.3μm の厚さを形成した。この組成では，W は Ni の結晶に固溶する。この組成の硬さは 400HV 程度と推定される。

その後，スルファミン酸 Ni 浴による電鋳によって Ni を 0.3mm 堆積した。電鋳から Si ウェハを剥離することは困難であったことから，シャーレに KOH の 25%水溶液と電鋳品を入れ 105℃

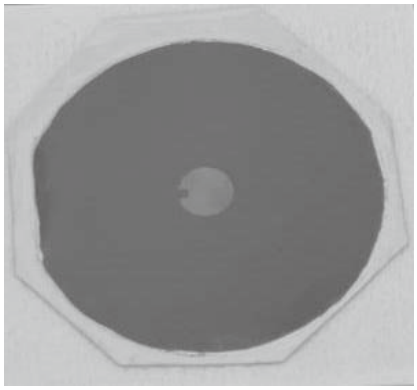
図 7 電鋳によって作製した転写面型

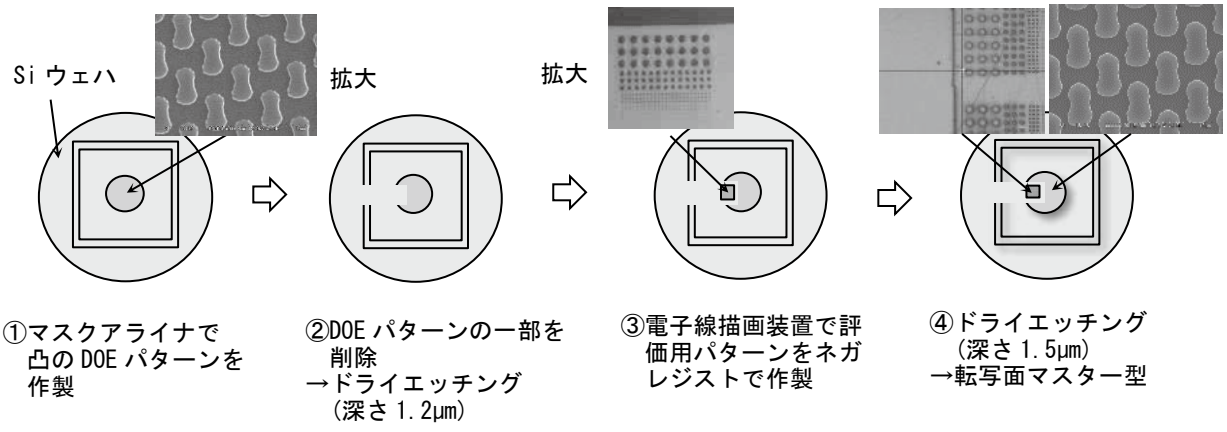

図 6 成形性評価用パターン作製の手順

のホットプレートで加熱し Si を溶解した。シャーレには時計皿を載せ蒸発を抑えた。

Si 剥離後，転写面型の Ni，$Ni_{93}W_7$ 及び Cr 各膜間の密着は良好であった。

2.4　成形品の光学的評価

射出成形した試作品を光学的に評価するための装置を試作した。図 8 に光学特性評価装置の外観を示す。光源は波長 1.55μm のコリメートされたレーザー光であり，ビーム径は約 1mm である。DOE をホルダーで固定し，レーザー光を照射する。透過したレーザー光は 3×3 に分岐されスクリーンに照射される。スクリーンを透過・拡散した光を InGaAs カメラで撮影する。校正板を用い画像 1 ピクセル当たりの長さを求めた。

図 9 に光点分布測定結果の一例を示す。作成したソフトウェアによって光点群を認識して付番する。ソフトウェアは，光点群の中心座標と強度を算出することができる。

表 1 に配光角測定結果の一例を示す。図 9 のデータを使って実際に DOE の配光角を求めた。配光角は，スクリーン上の距離と DOE からスクリーンまでの距離から求めた。表 1 では，光点 4 を中心に光点 5 を y=0 にするよう座標を変換してある。設計値は 0 または絶対値が 15°であるが，光点 1 が最大 1.38°ずれている他は，光点のずれは 1°以内に収まっている。

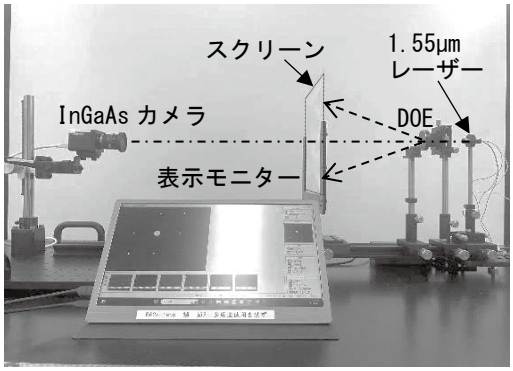

図 8　光学特性評価装置の外観

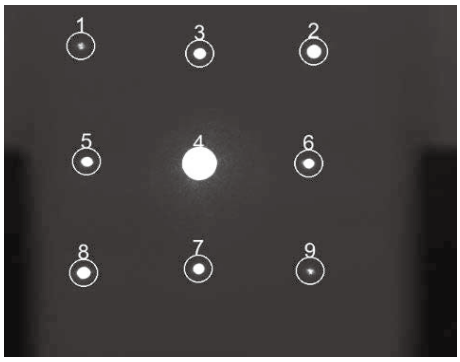

図 9　光点分布測定結果の一例

表 1　配光角測定結果の一例

	X deg	Y deg
1	-16.3814	16.2169
2	15.40713	15.92805
3	-0.17898	15.43853
4	0	0
5	-15.3673	0
6	14.94552	0.210129
7	0.121477	-14.8713
8	-15.5824	-15.623
9	15.40615	-14.9702

3.　結　　言

(1) ドライエッチング条件を検討し転写面型に 6～8°の抜き勾配を付けた。
(2) 多重プロセスによって成形性を評価するためのパターンを転写面型の一部に設けた。
(3) 転写面型の耐久性を向上させるため，転写面型の表面に高硬度の $Ni_{93}W_7$ 層を形成した。
(4) 光学評価装置を作製し，成形した DOE の光学的評価が可能になった。

本報告は，三共化成(株)及び長岡工業高等専門学校の永井睦准教授との共同で実施した，令和 6 年度中小企業政策推進事業費補助金（成長型中小企業等研究開発支援事業）「3D センシング普及促進の一翼を担うマイクロ部品を実現する革新的転写技術の開発」の一部を抜粋したものである。

参考文献

1) 宮口孝司, 丸山英樹, 山田昭博, 山田敏浩, 菅野明宏, “DOE転写面作製技術の開発”, No.53, 工業技術研究報告書(2023), pp.24-26.