ノート

DOE転写面作製技術の開発

宮口　孝司*　丸山　英樹*　山田　昭博*　山田　敏浩*　菅野　明宏**

Development of Fabrication Technology of DOE Surface Die

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

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。本研究ではこれまでの研究結果[1),2)]を基に，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。

2. 実験方法及び結果

2.1 転写面の設計

波長1.55μmのレーザー光を3×3に配光するDOEを設計するため，光学ベンチにより光路が調整できるよう評価装置を構築した（図1）。これらの光学系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，PC樹脂（三菱エンジニアリングプラスチックス（株）ユーピロン）の屈折率に最適化した形状データを得た。

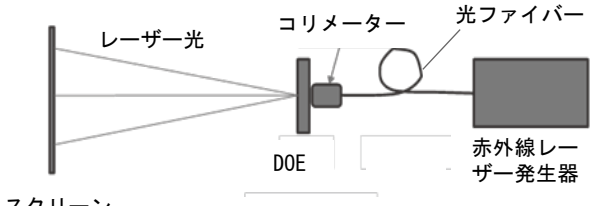

図1　DOE評価装置

計算周期は6μmとし最適化されたPC樹脂の深さは1.219μmであった。設計された形状データの凸部分をGDS2形式で出力し，周期性を考慮して作製した単位図形を図2に示す。図2の単位図形を周期的に配置して作製したフォトマスクの外観を図3に示す。フォトマスクは図2の形状部分をCrで遮光した。

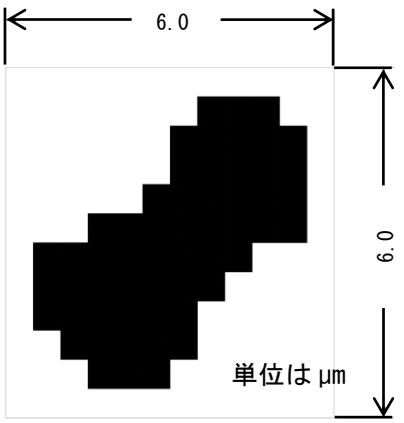

図2　周期性を考慮して作製した単位図形

* 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

2.2　転写面型の作製

転写面型を作製するためにフォトリソグラフィー及びNi電鋳を用いた。作製方法は以下のとおりである。

Siウェハーにフォトレジストを塗布し，マスクアライナでパターニングを行い，ドライエッチング装置で①Siエッチングしたものと②フォトレジストパターニングのみのものの2種類を作製した。次にSiウェハーにスパッタリング装置でNi膜を約100nm成膜し導電化した。

スルファミン酸Niやホウ酸などで調整した溶液中に導電化したSiウェハーを浸し陰極に接続した。陽極には硫黄含有Niを接続のうえ電圧を印加し 0.3mm以上のNi金属厚膜を形成した。このNi金属厚膜を剥離し，転写面型を得た。

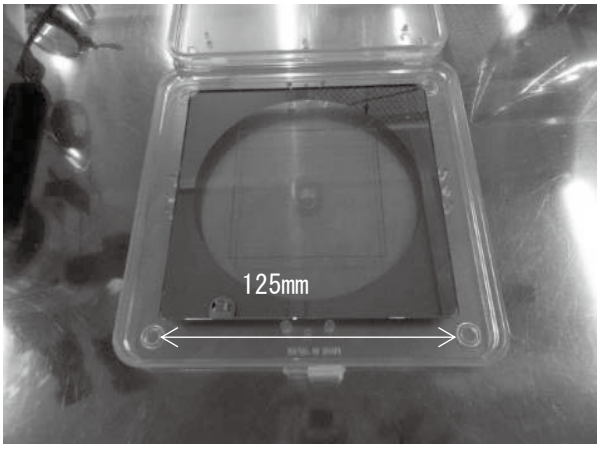

図 3　フォトマスクの外観

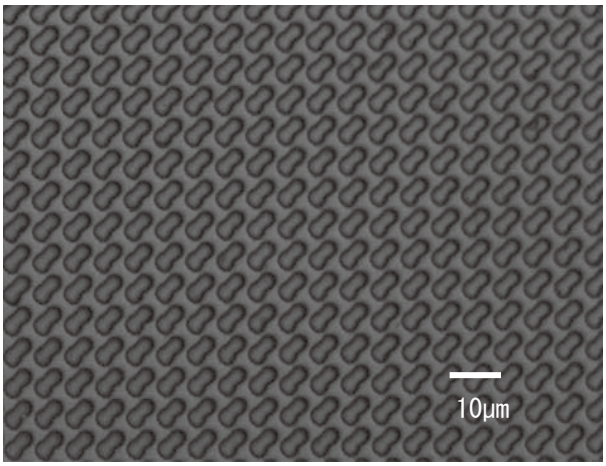

図 4　電鋳による DOE 転写面型
①Si エッチングしたもの

①Siエッチングしたウェハーには，表面に微細凹凸があり，アンカー効果によってSiが残留した。残留したSiは物理的に剥離が困難であったため，KOH25wt%溶液を設定温度75℃のホットプレートで加熱して，Siを溶解除去した。

図4にSiを除去した後の電鋳によるDOE転写面型を示す。②フォトレジストパターニングのみのものは，Ni膜がSiウェハーから容易に剥離したため，Siを溶解する必要はなかった。

DOEの形状を図2と比較すると，長さ1μm以下の階段形状は消失している。階段形状は，フォトマスク作製の段階ですでに消失しており，階段形状がこの方法による解像限界以下であることを示している。この形状の崩れが，DOEの配光特性に及ぼす影響については今後検討する必要がある。

2.3　裏面研削

電鋳処理により得た転写面型の裏側には比較的大きな凹凸が生じている。文献[3]によれば，裏面の表面粗さは1μmRz以下でなけらばならないとされているが，試作した転写面型の裏面は19μmRzであった。裏面の表面粗さを低下させるため，平面研削盤によって裏面を研削したが，研削後の表面粗さは3.7μmRzであった。

また，研削後の転写面型はかまぼこ状（転写面側に凹）に変形した。つまり研削面には圧縮応力が生じていると考えられる。転写面型をSiから剥離した際には認められなかったので，研削によって生じたと考えられる。また裏面研削の際，研削盤に磁力で吸着された転写面には無数の傷が生じた。次年度以降これらの不具合に対する改善策を検討する。

3.　結　　言

(1) 光学シミュレーションによって1.55μmのレーザー光を3×3に配光するDOEを設計しフォトマスクを作製した。

(2) フォトリソグラフィーと電鋳を用いてDOE転写面型を作製した。裏面研磨後の表面粗

さは目標値1μmRzに対して，3.7μmRzであり，応力に伴う変形を生じた。

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5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) 菅野明宏, 宮口孝司, 山田敏浩, 小林泰則, “微細構造光学部品の製造技術に関する調査研究”, No.51, 工業技術研究報告書, 2022, pp.118-121.
2) 丸山英樹, 宮口孝司, 山田敏浩, 山田昭博, 菅野明宏, “微細構造光学部品に関する調査研究”, No.52, 工業技術研究報告書, 2023, pp.69-72.
3) 斎藤 他, 特開 2004-10984.