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

3Dセンシング・イメージング機器は，自動運転や拡張現実などの普及に伴い，活用用途の広がりや大幅な需要の増加が見込まれている。センシング機器に用いられる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 を中心に技術調査や試作実験を行い，微細構造の成形性評価やDOE素子を射出成形により作製する技術開発を進めてきた[1)2)]。

一方で，微細構造を用いた光学素子として，メタサーフェス・メタレンズの技術開発が広がりを見せている。メタサーフェスは，光の波長以下の微細構造体を配置することで位相差等を生じさせ，光の回折や屈折を行うことができる。メタサーフェス技術を活用したメタレンズは，従来のレンズに必要な傾斜形状の制御を行う必要が無く，平面に微細構造を加工することで作製できることから，フォトリソグラフィ工程との相性が良い。この技術を用いると，カメラレンズの枚数を減らすことが可能となる[3)]。また，多様な光情報を失うことなく分離することで農作物の生育状況の把握や暗闇での撮影を高感度化させる[4)]ことなどへの応用が期待できる。

今年度は新たな微細構造光学部品への展開を目指し，赤外光の回折を目的としたメタレンズ形状の試作を行い，その実現可能性について検討を行った。

* 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. Si を用いたメタレンズ形状の試作及び評価

2.1 Si を用いたメタレンズ形状の光学解析

対象とする赤外光は波長 λ=1.55μm のレーザー光とし，一方向への回折を目的としたレンズ形状の作製を検討することとした。メタレンズ構造は，Si 基板上に円柱形状をメタアトムとして配置したものを検討した。

目標とする円柱形状を設計するために，有限差分時間領域法（FDTD 法）による光伝搬解析ソフト FullWAVE（RSoft Design Group 社製）を使用し，赤外光の伝搬を解析した。Si の屈折率 n=3.4 で，高さは位相をつなげる条件から λ/(n-1)が 1 となる 0.646μm とし，ビーム幅は 30μm に設定した。

ここでは占有率を基に 1 ピッチあたり 1 波長位相がずれる円柱の配列パターンを検討し，1.1μm ピッチで円柱を並べた。解析結果を図 1 に示す。図は電界の Y 成分の絶対値をグレースケールで示しており，定常状態に達した時間の，ある瞬間で切り取ったものである。図 1 の下方向より入射した光が Z=0μm 付近に設定した円柱構造部を通過した後，光の伝搬と共に特定の方向に強まっていく様子が分かる。回折角度を評価すると，約 12°であった。

2.2 Si を用いたメタレンズ形状の試作

前節で解析を行った形状について，フォトリソグラフィ工程を用いて試作を行った。本研究

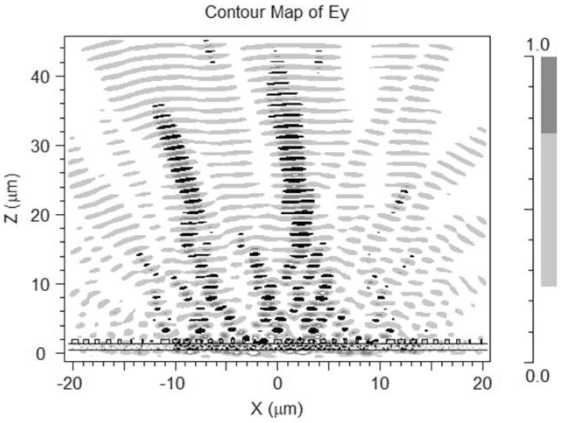


図 1　赤外光の伝搬解析結果

に用いた主な装置を表 1 に示す。

試作には正方形（一辺 20mm）の Si チップを用い，電子線描画により一辺 1mm の正方形の領域に 0.3～1μm 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。次にスパッタリング装置により Cr 膜を 40nm 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，円柱の高さ 0.65μm を目標として，SF_6 及び C_4F_8 ガスを用いたドライエッチングを行った。作製した円柱形状について，円柱パターン領域の外側に作製した目印部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，高さは 0.67μm であった。電子顕微鏡で撮影した円柱形状部の写真を図 2 に示す。

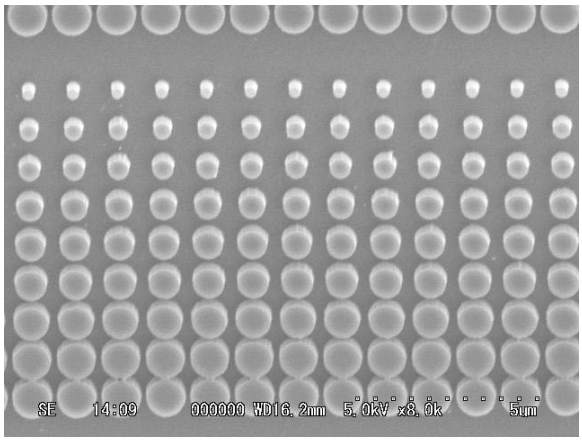


図 2　円柱形状部の電子顕微鏡写真

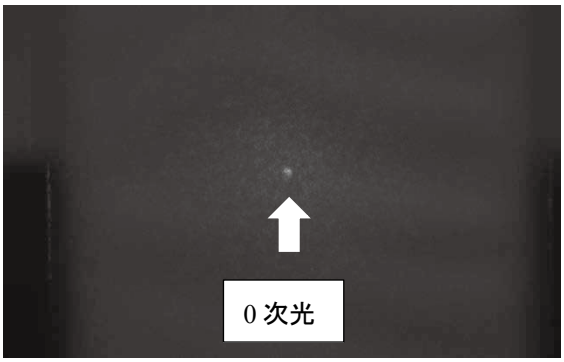
表 1　本研究に用いた主要な装置

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

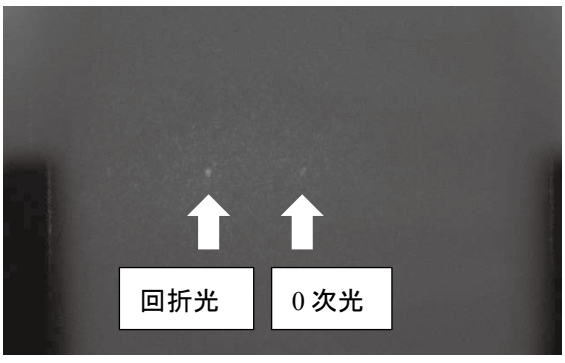
2.3　赤外光を用いた回折光の評価

赤外光の評価は，波長 1.55μm の並行光にしたレーザー光（ビーム径約 1mm）を試作した円柱形状部に照射し，スクリーンに投影させた光を InGaAs カメラで撮影した。

前節で試作した円柱形状部に赤外光を照射した結果を図 3 に示す。比較のため Si 基板に照射した結果（図 3(a)）も併せて示す。Si 基板への照射では透過した光のみ確認できるが，円柱形状部に照射した場合には，0 次光のほかに回折光が確認できた（図 3(b) 中左矢印）。



(a)　Si 基板への照射



(b)　円柱形状部への照射

図 3　赤外光による回折光の評価結果

スクリーン上の距離と，円柱形状部からスクリーンまでの距離から回折角を求めたところ，回折角は約 8°となり，解析値とのずれが見られた。当所で所有しているソフトは FDTD 解析であり，大きな領域の解析における計算精度の検証ができず，光学測定に用いた距離における回折角とのずれが生じたものと思われる。

一方，円柱構造が 1 ピッチ当たり 1 波長位相がずれるメタレンズとして機能すると考えた場合，ピッチを y とすると回折角 $\theta=\sin^{-1}(\lambda/y)$ より 8.1°となり，測定で得られた値と一致した。

3. 結　　言

(1) Si を用いたメタレンズ形状の光学解析を行い，波長 1.55μm のレーザー光を回折させる円柱構造を検討した。

(2) 得られた円柱構造をフォトリソグラフィ工程を用いて試作を行い，レーザー光を照射したところ，回折光を確認できた。

参考文献

1) 山田昭博ほか, “微細構造部品に関する調査研究” 工業技術研究報告書, No53 (2024), pp.100-103.

2) 宮口孝司ほか, “DOE 転写面作製技術の開発” 工業技術研究報告書, No53 (2024), pp.24-26.

3) Canon EXPO 2023 レポート【後編】, https://dc.watch.impress.co.jp/docs/news/1541136.html, 2023-10-23, (閲覧 2025-3-13).

4) NTT 研究開発 光メタサーフェス, https://www.rd.ntt/dtl/technology/pe_product-optical-metasurfaces.html, (閲覧 2025-3-13).