微細構造光学部品の製造技術に関する調査研究

菅野　明宏*　宮口　孝司*　山田　敏浩*　小林　泰則*

Research on Manufacturing Technology of Optical Components with Microstracture

KANNO Akihiro*, MIYAGUCHI Takashi*, YAMADA Toshihiro* and KOBAYASHI Yasunori*

1. 緒　　言

近年，回折光学素子（DOE：Diffractive Optical Element）やマイクロレンズアレイ，サブ波長構造など表面に微細な形状を有する微細構造光学部品が様々な機器に用いられており，その用途は拡大しつつある。例えば，非接触三次元距離測定装置である LiDAR(Light Detection and Ranging)の一部では，ドットパターン状の光を対象物に照射するために DOE が使用され，対象物からの反射光の受光部にマイクロレンズアレイが使用されている。また，無反射ディスプレイや高性能なカメラレンズには，光の波長と同程度の微細構造を有するサブ波長構造（モスアイ構造）の採用も見られ [1,2]，それらの微細構造光学部品は今後さらなる需要増が見込まれている。

本調査研究では，今後の県内企業による微細構造光学部品の製造や利活用への対応を見据え，LiDAR などに用いられている DOE を中心に技術調査等を行った。また，DOE 形状についてフォトリソグラフィによる試作実験を行い，製造技術の実現可能性を調べるとともに微細形状形成における技術的課題の把握を行った。

2. 回折光学素子（DOE）に関する技術調査

図 1 に DOE による光照射パターンの模式図を示す。LiDAR では，レーザー光を DOE によりドット状の光パターンに分割して対象物へ照射する。この DOE は回折格子の形状を適切に設計することにより，クロスパターンの光や，リング状の光など所望のパターンの光を照射することができる。

ここでは回折格子形状の微細レベルを調べるために，既存の DOE について回折格子形状の電子顕微鏡観察及び断面形状の測定を行った。その結果，例えばドットパターンを照射する DOE においては，回折格子の幅は最大約 10μm で，深さは 600nm 程度の形状であることがわかった。

また，DOE の製造方法について調査したところインプリントによる事例がみられた [3]。DOE は，光の波長程度の微細構造をもち，そしてその光学的な特性の波長依存性が大きいことが特徴である [4]。すなわち，微細構造の波長レベルの形状誤差が光学特性に影響を及ぼすため，微細形状を高精度に転写することが重要と考えられる。また，生産性の向上に関しては射出成形等の適用が考えられる。

3. DOE 回折格子形状の形成実験

3.1 フォトリソグラフィによる微細金型作製

ここでは，ナノインプリント用の金型を作製するために Si 基板上に DOE の回折格子形状を

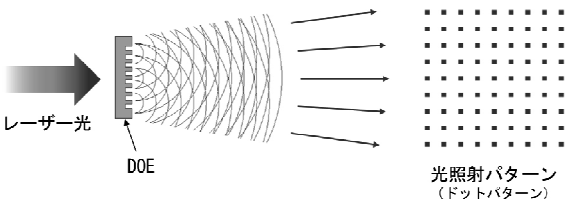


図 1　DOE による光照射パターンの模式図

* 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室

表 1　本研究に用いた主要な装置

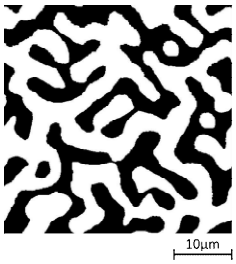
装置名	メーカー	機種
電子線描画装置	（株）日立ハイテクノロジーズ （電子線描画部：（株）東京テクノロジー）	S4300SE （BeamDraw）
ドライエッチング装置	住友精密工業(株)	Multiplex ASE-HR

表 2　Si 基板金型作製のプロセスフロー

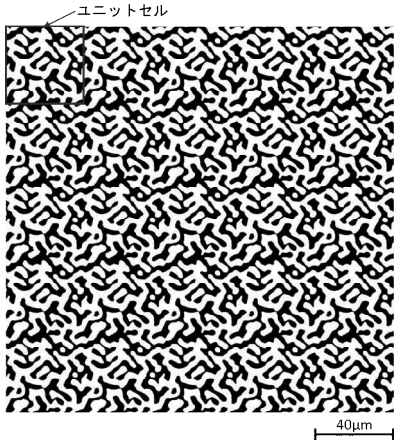
順番	プロセスの内容
1	Si 基板へのレジスト塗布（スピンコート）
2	電子線描画装置によるパターン描画
3	描画パターンの現像
4	Si のドライエッチング
5	レジストの剥離

形成する。

表 1 に研究に用いた主要な装置を示す。表 2 にそのプロセスフローを示す。図 2(a)には DOE 回折格子のパターン例を示す。これをユニットセルと呼び，DOE 表面には，このユニットセルが多数並んだ形状が形成されている。



(a)ユニットセル



(b)電子線描画装置の描画用パターン

図 2　DOE 回折格子のパターン例

実験では図 2(a)に示したユニットセルのデータを縦と横に 5 個ずつ配置して 200μm 角のデータ（図 2(b)）を作成し，電子線描画装置により描画した。ここで，レジストは CSAR62（Allresist 社製）を用いた。図 3 に電子線描画装置でレジストにパターンを描画し，現像した結果を示す。ここでは描画パターンが目標とする幅や形状になるようにドーズ量を調整し，53μC/cm^2 とした。

次に，ドライエッチングにより Si 基板上に回折格子形状を形成した。ドライエッチングは垂直にエッチング加工するボッシュプロセスで行った。ドライエッチング後の Si 基板を非接触表面形状測定機（アメテック（株）製 CCI HD XL 型）により断面形状を測定した結果，平均深さは約 670nm で，目標深さ 600nm に対して約 10%深かった。これはあらかじめパターン描画をしていない Si 基板でエッチングレートを測定し，エッチング深さのコントロールを試みたが，実際の DOE 形状のエッチング時には，レジスト現像後に表面に現れる Si の表面積が異なることがエッチングの深さに影響を及ぼしたものと考えられる。

3.2　ナノインプリントによる微細形状の転写

作製した Si 基板金型を用いて，DOE 回折格子形状の転写実験を行った。インプリントの紫

図 3　電子線描画装置による描画結果

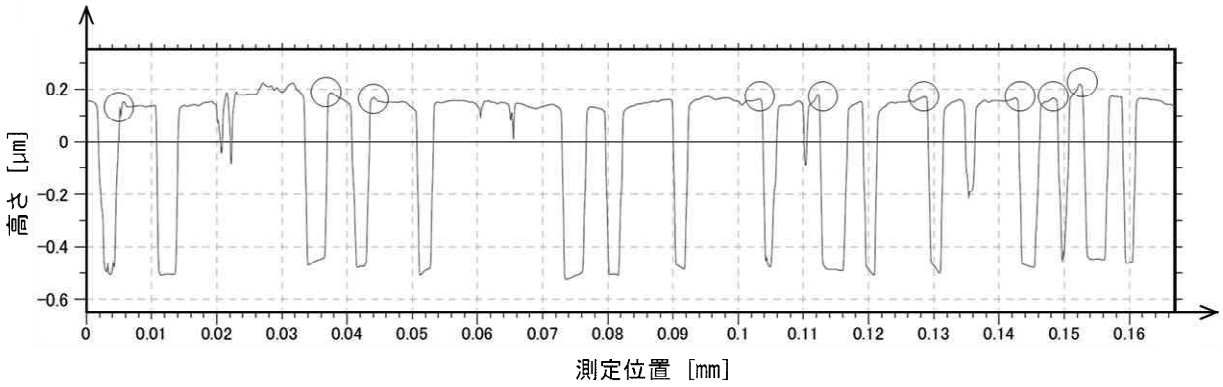
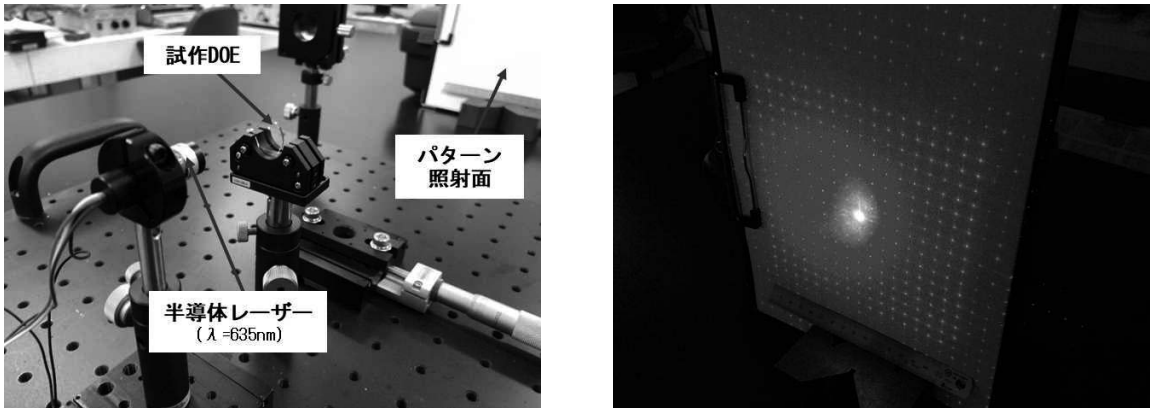


図 4　インプリント品の断面形状測定結果



(a)パターン照射実験光学系　　(b)照射パターン（ドットパターン）

図 5　試作 DOE のレーザー照射パターン観察実験

外線硬化性樹脂には OrmoStamp（Micro Resist Technology 社製）を用いた。

図 4 にインプリント品の非接触表面形状測定機による測定結果を示す。測定結果では凸部上面の傾きや角部の盛り上がり（例えば丸囲み部）等の形状誤差がみられた。角部の盛り上がりについてはドライエッチングによる Si 側壁の段差が，離型時に樹脂の角部を引き上げたことが要因の一つと考えられる。これは Si へのテーパーエッチング等を行うことにより改善される可能性がある。

また，詳細は割愛するが，インプリント品の表面には長さ約 16mm に対して高さ 1μm 程度のうねりがみられた。これは樹脂の硬化時のゆがみやヒケ等が考えられ，インプリント時の適切な硬化時間や樹脂の量などについての検討が必要と考えられる。

3.3　試作 DOE の光パターン照射実験

前述の手順で DOE 回折格子の Si 基板金型を作製し，ナノインプリントで DOE を試作した。ここでは 200μm 角の描画データを縦と横方向に 5 回ずつ，計 25 回描画し，1mm 角の回折格子を作製した。

図 5 に，試作した DOE のレーザー照射パターンの観察実験の様子を示す。入射レーザー光の径が 1mm 角の回折格子より大きく，回折格子の外側を直進する光が中央に強く出ているものの，DOE により回折したドットパターン状の光が確認できる。すなわち，試作した DOE

が回折格子として機能することを確認できた。

4 結　　言

(1) 既存の DOE の表面観察及び形状測定等を行い，その回折格子がどの程度微細な形状であるかを把握した。

(2) 回折格子形状についてフォトリソグラフィで Si 基板金型を作製し，ナノインプリントにより樹脂への転写実験を行った結果，概ね形状が形成できることを確認した。

(3) 本手法による微細形状形成においては，凸部上面の傾きや角部の盛り上がり，深さのコントロール性，面のうねり等に技術的な課題があることを把握した。

参考文献

1) 菊田久雄，“反射低減技術の新展開”，光学，vol.40，no.1 (2011)，pp.2-10.

2) 奥野丈晴，“サブ波長構造による高性能反射防止膜の開発とそのカメラ用レンズへの応用”，光学，vol.40，no.1 (2011)，pp.11-16.

3) https://www.dnp.co.jp/biz/solution/ products/ detail/1188760_1567.html，回折光学素子（DOE），「大日本印刷（株）ホームページ」，2022 年 3 月 18 日.

4) 小舘香椎子，神谷武志，“回折光学素子の数値解析とその応用”，丸善，2011，p.1.