

電子線露光による複屈折素子の作製

宮本研究室 新田 虎太郎

1 はじめに

本研究は、複屈折を示すと期待される微細構造を電子ビーム露光装置を用いて作製し、その特性を調査することである。微細構造を電子線露光による電子線レジストへの凹凸の加工によって作製する。設計した微細構造の加工深さをもとに露光に必要なドーズ量を計算して求め、その条件で露光を行う。また、直交する交差偏光子の間に微細構造素子を配置し、光が透過する様子を観察することで作製した微細構造素子が複屈折材料であることを明らかにする。

2 複屈折について

2枚の偏光板をそれぞれ偏光面を互いに直交させて配置し、一方の偏光板に光が通るようにすると光は透過しない。しかし、偏光板の間に光学的異方性を持つ微細構造の試料を入れて光を垂直に入射すると、微細構造の縞模様で電場が平行な向きと垂直な向きの光波の屈折率が異なり、位相が変化することで、微細構造を出射した光の偏光状態が変化する。

3 加工深さとドーズ量

作製する縞模様において、加工しない電子レジストの部分の屈折率を $n_1 = 1.5$ 、加工する部分の屈折率を真空の屈折率とみなして $n_2 = 1.0$ とする。

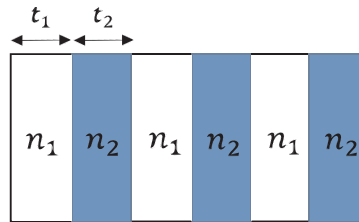


図 1: 周期的な微細構造

この周期性を持った多層膜構造において、層に電場が平行な向きの光波についての屈折率を n_x 、層に垂直な向きの光波についての屈折率を n_y とすると、それぞれ以下の式で表される。

$$n_x = \left(\frac{n_1^2 n_2^2}{f n_2^2 + (1-f) n_1^2} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$n_y = (f n_1^2 + (1-f) n_2^2)^{1/2} \quad (2)$$

層の1周期の長さは T 、周期性を持ったそれぞれの層の長さは t_1 、 t_2 、 f は $f = \frac{t_1}{T}$ と表される。作製する周期パターンにおいて $T = 400\text{nm}$ 、露光する部分と露光しない部分の長さをそれぞれ $t_1 = t_2 = 200\text{nm}$ となる。そのとき式中の f は $f = \frac{t_1}{T} = 0.5$ と表され、このことから n_x, n_y はそれぞれ $n_x = 1.176$ 、 $n_y = 1.274$ とできる。求める加工深さを L として位相を求めると次のようになる。

$$\frac{L}{C} (n_y - n_x) \times \frac{2\pi}{T} = \phi \quad (3)$$

位相 ϕ の値を 0.1π とすると、上式より $L = 3227\text{\AA}$ となる。加工深さとドーズ量の関係より本研究では $25.5 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、 $26 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ の2パターンのドーズ量においてそれぞれ露光を行った。

4 微細構造素子の作製

電子ビーム露光装置を用いて素子を以下の手順で作製した。

4.1 実験手順

本研究において設計した露光パターンを以下の手順で作製した。

1. ガラス基板の洗浄をした。
2. 電子線レジスト (gL1000-5) をスピコートした。
3. 光学顕微鏡で観察しながらレジスト膜の均一かつ傷がない箇所を露光位置として選定した。
4. 電子ビーム露光装置を用いて露光した。
5. 現像液 (薬品処理) によって露光した箇所を溶解した。

本実験ではガラス基板へレジスト膜を形成し、レジスト膜の形成と露光に時間が空いた場合とレジスト膜の形成と露光に時間が空かなかった場合においてそれぞれ露光を行った。各試料でのレジスト膜作製日、露光日をまとめたものを以下の表に示す。

試料番号	レジスト膜作製日	露光日	ドーズ量 ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)
No.1	2019/12/24	2020/1/16	25.5
No.2	2019/12/24	2020/1/16	26
No.3	2020/1/24	2020/1/28	25.5
No.4	2020/1/24	2020/1/28	26

4.2 素子の観察

光学顕微鏡を用いて作製した素子を観察した。それぞれ異なる日にちで露光を行った際の試料を観察した様子を以下に示す。

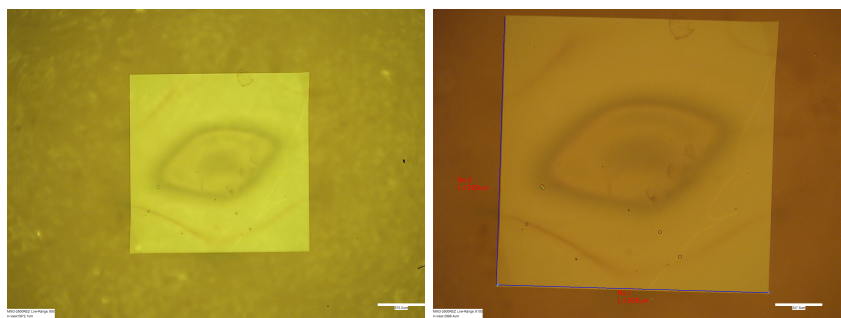


図 2: 試料 No.1(露光日:2020/1/16) 図 3: 試料 No.2(露光日:2020/1/16)

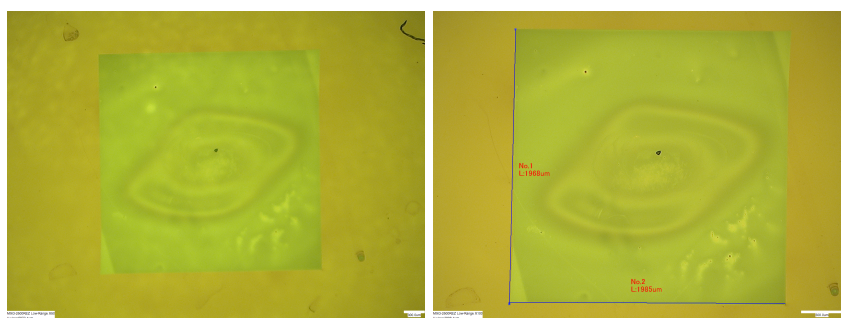


図 4: 試料 No.3(露光日:2020/1/28) 図 5: 試料 No.4(露光日:2020/1/28)

図 1,2,3,4 より、露光箇所サイズのサイズは $2\text{mm}\times 2\text{mm}$ であり、設計値に近いものであること、観察像は正方形からわずかに歪んだ形となっている。また、露光箇所の中心部分に楕円状の模様のようなものが出来ていることがわかった。

5 複屈折の確認

作製した微細構造素子が複屈折を生じさせるのかどうか光学系を組み確認を行った。実験に用いた光学系を以下に示す。素子上の 1 点から出た光が CCD カメラ上の 1 点に集光するように CCD カメラの前に平凸レンズを配置している。

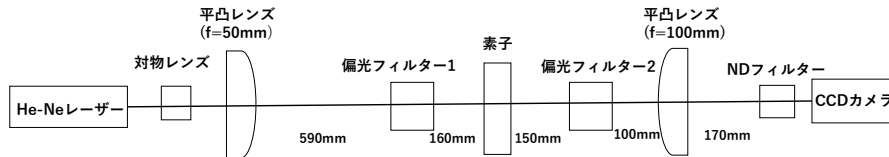


図 6: 複屈折確認実験に使用した光学系

5.1 実験手順

1. 偏光フィルターの偏光軸印を偏光子ホルダーの 0 にくるように設置した。
2. 偏光フィルターにレーザー光を通し、偏光フィルター 1 が 0° の状態のとき、偏光フィルター 2 を回転させ最も明るくなる角度と最も暗くなる角度に 90.0 ± 0.1 の差があることを確認した
3. 光学系を組み、素子の構造に対して偏光フィルターの軸を 45.0 ± 0.1 回転させ、基板上の露光箇所にレーザー光のビームを入射し光が透過するか CCD カメラ上で観察した

5.2 実験結果

光学系の CCD カメラにて撮影した素子の様子を以下に示す。ND フィルターは 10% のものを配置した。

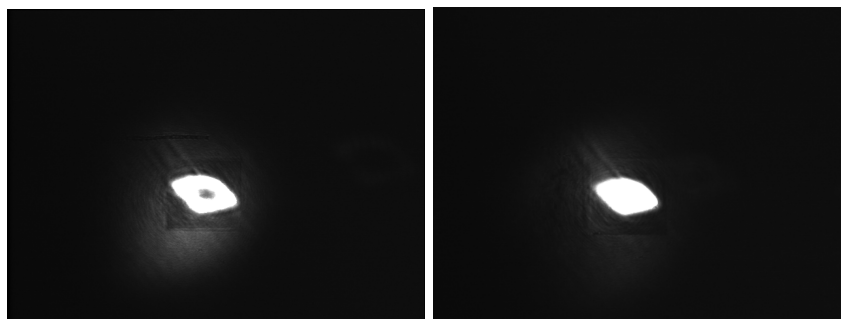


図 7: 試料 No.1(露光日:2020/1/16) 図 8: 試料 No.2(露光日:2020/1/16)

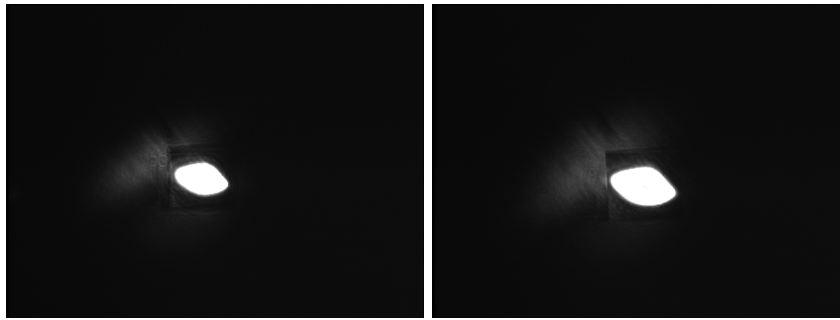


図 9: 試料 No.3(露光日:2020/1/28) 図 10: 試料 No.4(露光日:2020/1/28)

図 6,7,8,9 より、試料の露光箇所を中心部分で光が透過しており、この部分にだけ複屈折が生じていると考えられる。

6 考察と今後の展望

本研究にて複屈折が露光箇所全体に生じなかった原因としては、薬品処理である現像の操作で中心部分以外で何らかの反応が起きて複屈折の性質が失われてしまったのではないかと考えられる。使用したレジストが古い製品のものであったため劣化により露光がうまくできていなかったのではないかと考えられる。今後の展望としては、現像処理の見直しを始め、新しい製品のレジストを用いて電子線露光を行う。

7 まとめ

本論文の目的は、複屈折を持つであろう微細構造を設計し電子線露光によって作製し、複屈折が生じているかどうかを光学系を用いて確認することである。まず Matlab 上で露光パターンとして周期パターンの画像ファイルを作成し、露光に必要なドーズ量も計算して求めた。その後、電子線レジストをスピコートした基板を作製し、設計した露光パターンを露光し現像した試料を作製した。次に複屈折を確認するための光学系を組んだ。2つの偏光フィルターを直交するように配置し、レーザー光が透過しないことを CCD カメラで確認し、2つの偏光フィルターの間には基板を配置した。基板の露光箇所にレーザー光が入射するようにしてカメラで撮影したところ、露光箇所が明るく光っている画像が撮影でき、露光箇所に複屈折が生じていることがわかった。

参考文献

- [1] Erica Bricchi, Bruce G. Klappauf, and Peter G. Kazansky, "Form birefringence and negative index change created by femtosecond direct writing in transparent material", OPTICS LETTERS, (2004)
- [2] 早瀬茂法, 「光子の軌道角運動量重ね合わせ状態検出用ホログラム作製のための電子線レジストの多重露光特性の研究」, 電気通信大学修士論文, (2019)
- [3] 亀井健, 「電子線露光による光子の軌道角運動量重ね合わせ状態検出用ホログラムの作製」, 電気通信大学修士論文, (2015)
- [4] 2-4) 吉村武晃, 光情報工学の基礎, コロナ社,(2000)
- [5] 菊田久雄, 岩田耕一, 「波長より細かな格子構造による光制御」, 光学, **27**, 1, 12-17, (1998)
- [6] "BeamDrawUser'sGuide", 東京テクノロジー,(1998)