# 電子線露光による複屈折素子の作製と評価

## 宫本研究室 亀田佑生

## 1 はじめに

本論文の目的は、複屈折を示すと期待される微細構造を電子線露光装置を用いて作製し、特性評価を行うこと である。先行研究 [1] では露光箇所全体に複屈折を確認することができなかったため、素子の作製方法を改善 することで改善を目指す。屈折率の異なる2種の誘電体を光の波長よりも短い周期で交互に配置して一次元の 格子状の構造を作製すると、電場が屈折率の変化する方向に振動する光と変化しない方向に振動する光との間 で実効的な屈折率に差が生じる。本研究ではガラス基板上の電子線レジストに格子パターンを電子線露光して 現像を行うことでレジストと空気との周期構造により複屈折を生じさせる。

#### 2 原理

# 2.1 構造性複屈折

結晶の複屈折性は、結晶を構成する分子の性質により説明できる。しかし、分子より大きく、光の波長より小 さい粒子であって、光学的に等方な粒子が規則的に配列した場合でも複屈折が生じる。このような場合を構造 性複屈折という。誘電率の異なる2つの媒質が交互に規則的に配列している場合を考える。2つの媒質の幅を それぞれ *t*1,*t*2 とすると、一周期あたりの体積に対するそれぞれの物質の割合 *f*1, *f*2 は

$$f_1 = \frac{t_1}{t_1 + t_2}, f_2 = \frac{t_2}{t_1 + t_2} \tag{1}$$

となる。この構造に対して電場が垂直に振動している光と平行に振動している光で実効屈折率が変わる。*f*<sub>1</sub>, *f*<sub>2</sub> を用いて実効屈折率は以下の式で表される。

$$n_{\perp} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{f_1 \varepsilon_1 + f_2 \varepsilon_2}} \tag{2}$$

$$n_{\parallel} = \sqrt{f_1 \varepsilon_1 + f_2 \varepsilon_2} \tag{3}$$

となる。この時、n<sub>||</sub>の値がn<sub>⊥</sub>の値よりも大きくなるため、縞模様と平行な方向の位相が遅れる。そのため、 直線偏光を複屈折構造に入射させると、楕円偏光が出射する。



図 1: 偏光状態の変化

# 3 複屈折素子の設計

複屈折構造は、透明電極である ITO が蒸着されているガラス基板上にスピコートによってレジスト膜を形成 し、露光、現像を行うことによってできるレジストと空気の周期構造により作製する。(2)



図 2: 作製方法

本研究室で作成した電子線露光のパターンは、10000pixel × 10000pixel の bitmap ファイルで指定する。先行研究では格子パターンの1周期の長さを入射するレーザー光の波長 (He-Ne レーザー:632.8nm) よりも小さくするため、200nm 毎に露光されない部分と露光部分が交互に続くように設計していた。本研究ではピクセルサイズ、露光パターンを変更することによって改善を目指す。露光される箇所とされない箇所が 1pixel 毎、2pixel 毎の2パターンを作成した。1mm × 1mm の範囲で露光するときはピクセルサイズが 100nm × 100nm となり、周期が 200nm と 400nm の素子を作製することができる。またレジストが残っている部分の屈折率を $n_1 = 1.5$ 、レジストが除去された空気の部分を真空の屈折率と見なし  $n_2 = 1.0$ とすると、 $n_{\parallel}, n_{\perp}$ はそれぞれ $n_{\parallel} = 1.274$ 、 $n_{\perp} = 1.176$ と求めることができる。



#### 3.1 必要な加工深さとドーズ量

加工深さからそれに必要なドーズ量を求める。本研究では与る位相差を $0.1\pi$ とした。それに必要な加工深さは3225Åである。加工深さとドーズ量の関係は、[2]を使用した。[2]より $25.5\mu$ C/cm<sup>2</sup>、 $26\mu$ C/cm<sup>2</sup>のドーズ量で露光を行った。

# 4 複屈折素子の作製

本研究で作製した素子の条件は以下のようにした。

素子番号	ピクセルサイズ	ドーズ量 [µC/cm <sup>2</sup> ]	周期 [nm]
1	$100nm \times 100nm$	25.5	200
2	200nm × $200$ nm	25.5	400
3	$100nm \times 100nm$	25.5	200
4	$200 \text{nm} \times 200 \text{nm}$	25.5	400
5	$100nm \times 100nm$	25.5	200
6	$200 \text{nm} \times 200 \text{nm}$	25.5	400

表 1: 素子の設計

作製した素子を光学顕微鏡で観察した結果を図 5,6 に示す。



図 5: 先行研究の素子 [1]



図 6: 素子1

# 5 作製した素子の評価

図7の光学系を用いて作製した素子の複屈折の確認を行なった。偏光板1で素子に45の直線偏光を入射し、 偏光板2をそれと直交した角度で設置して素子の出射面の像を結像し強度分布を観察する。理想的には露光箇 所だけに強度が見られる。



図 7: 複屈折確認の光学系

観察結果を図 8,9,10 に示す。



図 8: 素子 1

図 9: 素子 2

図 10: 先行研究の素子 [1]

結果より先行研究と比較すると、露光箇所の強度が小さく大きな複屈折は確認できなかった。同様にしてピク セルサイズが 150nm の素子についても作製、観察を行なった。



図 11: 素子7



図 12: 素子 8

結果より、露光箇所に強度は見られず、改善はされなかった。

## 6 まとめ

本研究の目的は先行研究で達成できなかった、露光範囲全体に複屈折を生じるような素子の作製である。複屈 折構造の作製について、電子線露光のピクセルサイズとパターンに着目して、MATLABを用いて、複数のパ ターンを作成しそれぞれ条件を変化させた。素子の観察より、範囲の変更が行われ、ピクセルサイズの変更が できていることを確認した。複屈折の観察実験より、先行研究と比較して、いずれの条件でも露光箇所に大き な複屈折を確認することができなかった。ピクセルサイズが小さく所望の構造が作製できていないと考えられ る。今回露光を行う際に、加速電圧はすべて 12kV で行なった。今後は、加速電圧を大きくすることで分解能 を上げ、改善を目指す。

## 参考文献

- [1] 新田虎太郎,「電子線露光による複屈折素子の作製と偏光成分間の位相差測定」,電気通信大学修士論文, 2022.
- [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.