

電子線描画を用いた回折光学素子用三次元構造の試作

黒内正仁, 安井学, 塩尻大士, 金子智 (電子技術部電子材料グループ)

1. はじめに

回折光学素子(DOE: Diffractive Optical Element)は光の回折現象を利用した光学素子であり, 光計測や情報通信分野, 画像処理への応用が期待されている¹⁾。電子線描画はレーザービーム直接描画や光リソグラフィよりも微細な DOE の作製が可能な方法である。これまで Si 基板や SiO₂ ガラス基板上に図 1(a)に示す二次元的な形状をもつブレード回折格子構造の作製を報告してきた²⁻³⁾。今回, 図 1(b)に示すようなドーズ量分布により三次元的な形状をもつブレード回折格子構造の試作を行ったので報告する。

2. 実験及び結果

まず, 電子線レジストのコントラストカーブを調べるために, 電子線描画によって表 1 に示す条件でドーズ量を変えた矩形 100 μm 角のパターンを作製し, 膜厚を光干涉式膜厚計(大日本スクリーン製造製, ラムダエース VM-8000J)で評価した。図 2 に PMMA 系電子線レジスト gL1000 に対する感度特性を示す。ドーズ量の増加に対して膜厚はなだらかに減少し, 指数関数近似でフィッティング可能な特性が得られた。

次に, ドーズ量と図 3(a), (b)に示す 2 μm 幅の段差の深さ(ステップ深さ) h_i を調べるため, 電子線描画により段差パターンの作製を行い, 深さを AFM (セイコー電子工業社製, SPA-300 / SPI-3800)にて評価した。ドーズ量と得られたステップ深さ h_i の関係からこれまでと同様に, 図 3 に示すステップのドーズ量 D_i , パターンの平均ドーズ量 D_a , 深さ h_i から 100 μm 矩形パターンを描画したときに対応するドーズ量(堆積ドーズ量) D_e の関係を調べた。図 4 にステップのドーズ量 D_i , パターンの平均ドーズ量 D_a , 堆積ドーズ量 D_e の関係を示す。得られた結果に対し一次平面による近似を行い, 三次元的な形状をもつブレード

表 1 電子線描画の条件

項目	条件
基板	3 インチ Si ウェハ
電子線レジスト	ファインマテリアルシステム製 gL1000
レジスト膜厚	500 nm
加速電圧	50kV
ビーム電流	500pA
現像液	Kayaku Advanced Materials 製 MIBK/IPA 1:3

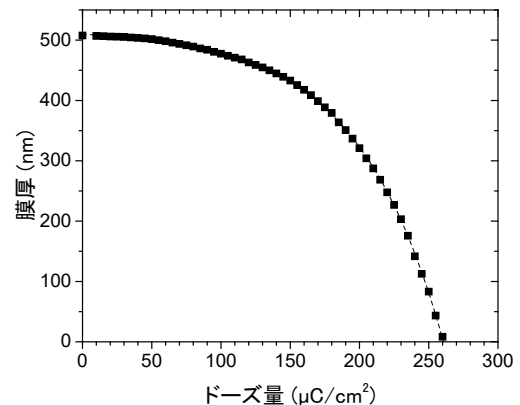


図 2 PMMA 系電子線レジスト gL1000 のコントラストカーブとフィッティング曲線

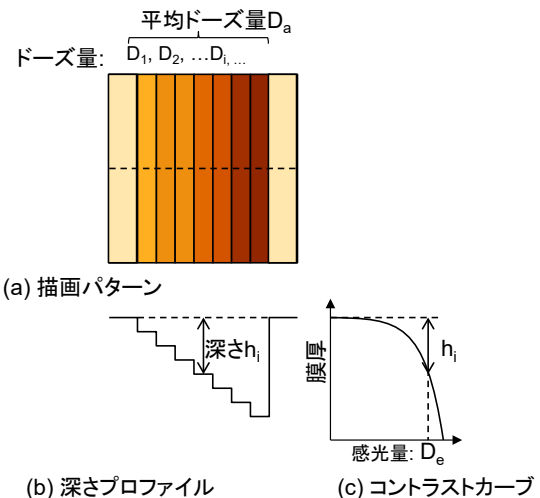
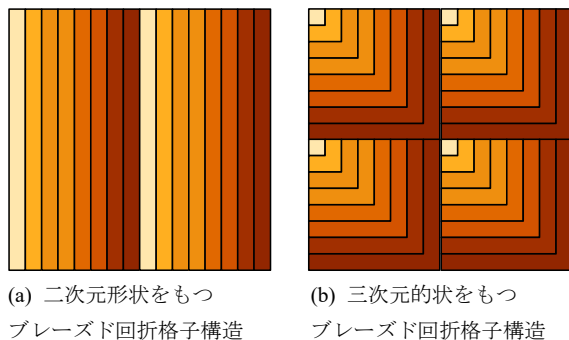


図 3 電子線描画のドーズ量補正の評価項目



(a) 二次元形状をもつ
ブレード回折格子構造
(b) 三次元的状をもつ
ブレード回折格子構造
図 1 二次元および三次元形状をもつブレード回折格子の概略図

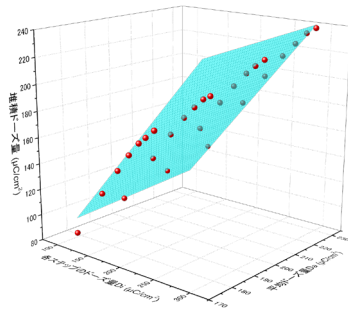


図4 ステップパターンの各ステップのドーズ量 D_1 、パターンの平均ドーズ量 D_a と堆積ドーズ量 D_e の関係

ド回折格子構造を作成するためのドーズ量補正値を求めた。

最後に、求めたドーズ量の補正値を用いて、三次元的な形状をもつブレード回折格子構造の描画を行った。なお、比較のためレジストの感度補正なしの場合とレジストの感度特性(図2)のみを考慮して補正した場合についても三次元的な形状をもつブレード回折格子構造の描画を行った。

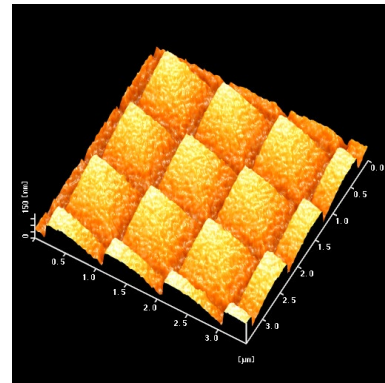
図5に試作した三次元的な形状をもつブレード回折格子構造のAFM像を示す。その結果、レジストの感度補正なしのパターンでは図5(a)に示すように斜面部分に歪が生じた。レジストの感度補正のみを適用したパターンは図5(b)のようになり、傾斜部分の歪は改善されていたが、深い部分で若干の歪が残った。今回検討したステップパターン全体のドーズ量を利用する簡便な補正を適用したパターンは図5(c)のようになり、斜面全体にわたって歪が改善されていることが確認できた。傾斜部の断面プロファイルは図6に示すが同様の傾向があることが確認できる。このように、一次平面で近似する簡便な補正方法を用いることで、Si基板上に歪が小さい三次元的な形状をもつブレード回折格子構造を作製できることが確認できた。

3. まとめ

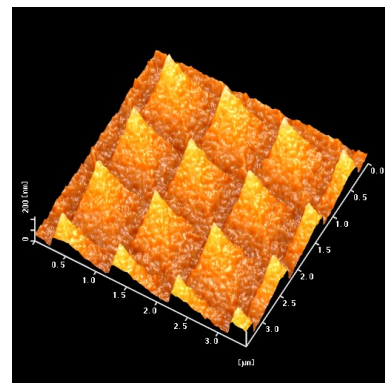
電子線描画によるDOEの試作のため、三次元的な形状をもつブレード回折格子構造の作製を行った。その結果、簡易的な補正方法を用いて傾斜部の歪が小さいブレードパターンを形成することができていることが確認できた。

【参考文献】

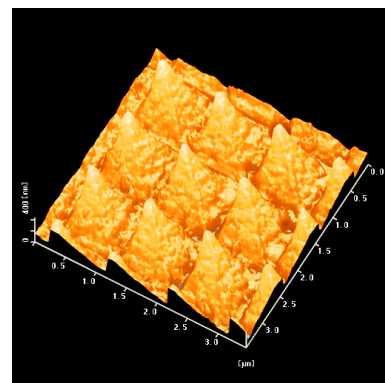
1. 小舘 香椎子, 神谷 武志, 折光学素子の数値解析とその応用, 179-208 (2011)
2. 黒内 正仁, 安井 学, 金子 智, KISTEC 研究報告 2023, 13 (2023)
3. 黒内 正仁, 安井 学, 金子 智, KISTEC 研究報告 2024, 14 (2024)



(a) レジスト感度の補正なし



(b) レジスト感度の補正のみ



(c) レジスト感度の補正とドーズ量補正適用

図5 試作した三次元ブレード回折格子構造

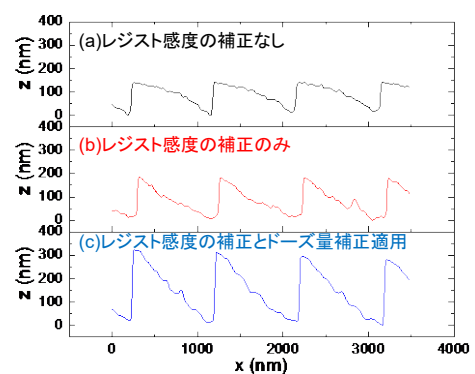


図6 試作した三次元ブレード回折格子構造の断面プロファイル