

電子線リソグラフィによる回折光学素子構造の作製に 向けたドーズ量補正の簡易的な方法の検討

黒内 正仁, 安井 学, 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微細なライン幅のDOEを作成するのに適した方法であるが, 電子線レジストの感度特性や近接効果によりパターン形成の影響を受けると考えられる。近接効果補正(PEC: proximity effect correction)としてドーズ分布シミュレーションソフトウェアを用いる例があるが²⁾, 本報告では, 簡易的な方法でドーズ量を補正する方法について検討すると共に, その補正方法を用いて鋸歯状の断面形状を持つブレード回折格子パターンの試作を行ったので報告する。

2. 実験及び結果

アナログレジストである PMMA 系ポジ型電子線レジスト gL1000 の感度特性を調べるため, シリコンウェハ上に gL1000 を約 500nm の膜厚で塗布した後, 電子線描画装置(ELIONIX 社製, ELS-S50)を用いて加速電圧 50kV にてコントラストカーブ評価用のパターン(矩形 100 μm □)を描画した。描画後は現像液(MIBK:IPA = 1:3)に 1 分間浸漬して, 現像を行った。描画パターン位置での膜厚は光干渉式膜厚測定装置(大日本スクリーン製造社製, ラムダエース VM-8000J)で測定を行った。得られたレジストの感度特性の結果は図 1 に示す結果となり, 指数関数

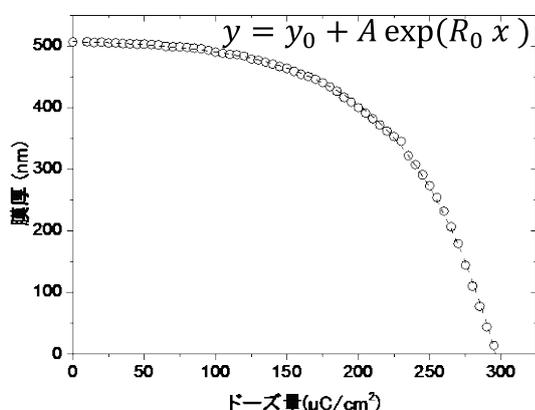


図 1 PMMA 系電子線レジスト gL1000 の
コントラストカーブとフィッティング曲線

を用いた近似曲線でフィッティングが良好に行われることが確認できた。

次に, 図 2 の挿入図に示すようにステップ幅 2 μm とした 8 段階のステップパターンを 20 μm 周期で作成して, 微細形状における感度特性を確認した。ステップ深さは未描画部分の膜厚と描画後の膜厚の差に対応するが, i 番目のステップのドーズ量 D_i は得られたコントラストカーブから等間隔のステップ深さに対応するドーズ量を選択したものを基準パターンとしている。なお, 描画後に得られるステップ深さはパターンの違いから近接効果の影響を受けて変動することが想定されるため, 基準パターンのドーズ量を 1.05~1.2 倍としたパターンも形成して, 得られたパターンのステップ深さ h_i について, AFM で評価した。

基準パターンの各ドーズ量とステップ深さの関係を図 2 に示す。コントラストカーブからの予想値と比べるとステップ深さの実験値は深いステップであるほど差が大きいことが確認される。これは 100 μm の矩形に対して均一に塗りつぶしを行ったコントラストカーブのパターンと部分的にドーズ量を変えて描画した箇所があるステップパターンでは近接効果の量に違いがあるためと考えられ, ドーズ量の補正が必要なが確認できる。

補正方法の検討にあたって, ステップ深さ h_i は図 1 のコントラストカーブに示すようにドーズ量に対して非線形の特徴があるため, 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(感光ドーズ量) D_e に近似

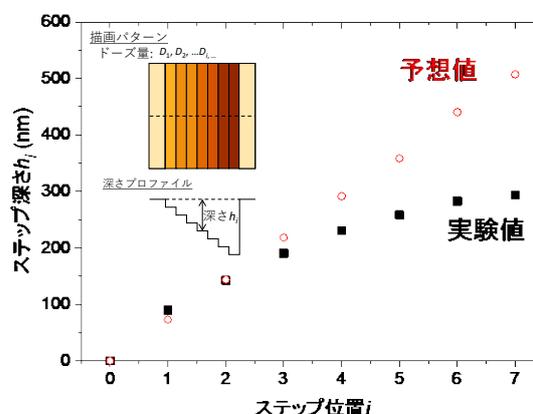


図 2 試作したステップパターンのステップ深さ。
挿入図はステップパターンの概略図

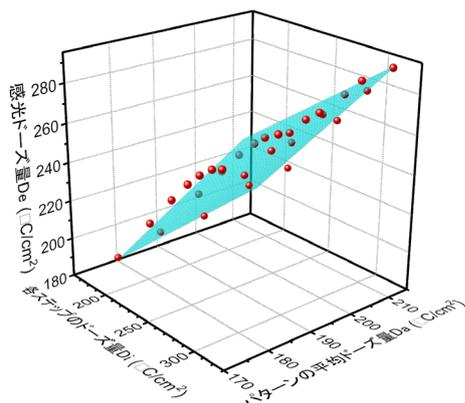


図3 ステップパターン各ステップのドーズ量 D_i

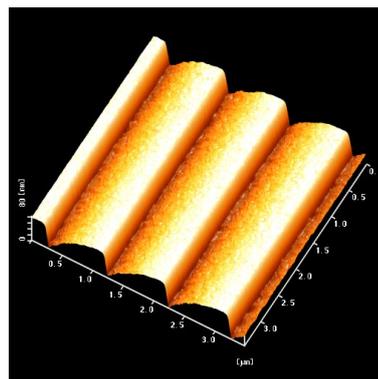
パターン平均ドーズ量 D_a と感光ドーズ量 D_e の関係

関数を用いた換算をして比較をした。また、描画に用いた加速電圧 50kV における後方散乱電子の到達距離は $9.66\mu\text{m}$ であり³⁾、今回作成したステップパターンの周期 $20\mu\text{m}$ にオーダーとして近いことから、近接効果において後方散乱に寄与する成分は、近似的に周期内のドーズ量の平均値 D_a に比例すると仮定して、各ステップのドーズ量 D_i 、パターンの平均ドーズ量 D_a 、感光ドーズ量 D_e について相関関係を調べた。その結果、図3に示すように D_i 、 D_a 、 D_e は1次平面で近似できることが確認でき、ドーズ量の補正が各ステップのドーズ量 D_i 、パターンの平均ドーズ量 D_a で簡便に行えることが分かった。

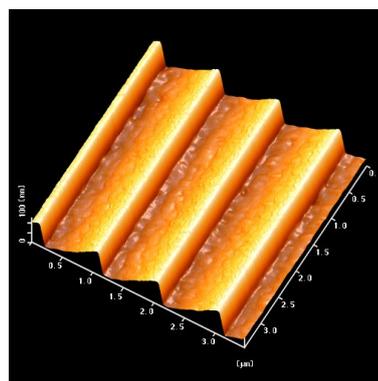
最後に上記の簡易的な補正方法を利用し、 900nm ピッチのブレード回折格子パターンの試作を行った。比較のため、ドーズ量の感度補正なしのパターンと、図1に示す感度補正を適用したパターンも作製した。その結果、レジストの感度補正なしのパターンでは図4(a)に示すように斜面部分に歪が生じ、図1に示すレジストの感度補正を適用したパターンは図4(b)のようになり、傾斜部分の歪は改善されていたが、深い部分で若干の歪が残った。今回検討したステップパターン全体のドーズ量を利用する簡便な補正を適用したパターンは図4(c)のようになり、斜面全体にわたって歪が改善されていることが確認でき、この簡便な補正方法を用いることで、歪が小さいブレード回折格子構造の作製が可能となった。

3. まとめ

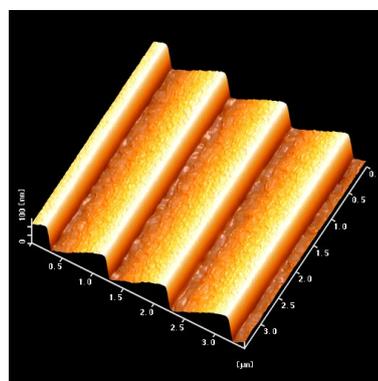
電子線描画による DOE の試作のため、ドーズ量の補正方法について検討を行った。 $20\mu\text{m}$ 周期のステップパターンにおいて、各ステップのドーズ量 D_i 、パターンの平均ドーズ量 D_a 、感光ドーズ量 D_e について相関関係を調べた結果、1次平面で近似できることが確認でき、ドーズ量の補正が各ステップのドーズ量 D_i 、パターンの平均ドーズ量 D_a で簡便に行えることが分かった。この簡便な手法を用いてブレード回折格子構造を試作した結果、傾斜部の歪が小さいパターンを形成することができた。



(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4 試作したブレード回折格子構造

【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. 横山浩, 秋永広幸, 電子線リソグラフィ教本, 82-83 (2007).
3. T. Takigawa, H. Wada, Y. Ogawa, R. Yoshikawa, I. Mori, T. Abe, *J. Vac. Sci. Technol.* **B9**, 2981-2985 (1991).