

電子ビーム露光によるホログラム作成のための 加工条件に関する研究

0910033 宮本研究室 亀井 健

1 研究目的

本研究では、光子の軌道角運動量重ね合わせ状態検出のために最適化されたホログラムを作成することを目的とする。そのため、使用する電子ビームレジストと現像液に合わせて、電子のドーズ量や現像条件とレジストの加工の深さの関係を明らかにする。

光子の軌道角運動量状態とは、光軸廻りの方位角 ϕ に対する複素振幅の依存性が位相因子 $\exp(i m \phi)$ で与えられるモードに光子が一個存在する状態である。検出用のホログラムの役割は、入射光からこの位相因子を取り除いてシングルモードファイバを通過できるモードに変換することである。

本研究室で使用している電子ビーム露光装置のソフトウェアが変更になり、新しい動作モードの特性は明らかになっていない。また、電子ビームレジストや現像液についても、これまでとは異なる新しいものを使用する予定である。ホログラムはガラス基板上に形成した電子ビームレジストの凹凸として加工する。加工の深さは、単位面積あたりどれくらい電子を当てるかを示すドーズ量と、電子線照射後の化学処理である現像液の条件で決定される。本研究では上記の新しい動作モード、現像液の下でのホログラム作成条件を明らかにする。

2 ホログラムについて

一般にホログラムとは、物体光を参照光との干渉縞の形で記録したものである。計算機上で物体光と参照光を仮定することでそれらの干渉縞を計算しホログラムを作成することができる。本研究では、物体光として位相因子 $\exp(i m \phi)$ を持った光を、参照光として平面波を仮定し、この2つの位相差を $(0, 2\pi]$ の範囲に折り畳んだものをホログラムパターンとする。

3 ホログラムの加工

ホログラム素子の作成には電子ビーム露光装置を用いた。スピンコートをしたレジスト膜上に幅の異なる露光パターン3枚を多重露光することによって4段の階段状の構造を実現し、理想のホログラムパターンに近似した。段数を N とすると、 l 回目の露光に使用する露光パターンは次式を満たす領域である。

$$\frac{2\pi l}{N} \leq [m\phi - k(\sin \alpha)x] \bmod 2\pi \quad (1)$$

4 ドーズ量と加工の深さについて

電子ビームレジスト (日本ゼオン社 ZEP-520A) と現像液 (同 ZED-N50) の組み合わせについて、ドーズ量と加工の深さの関係を調べた。そこで、段階的な露光量変化をもつパターンを電子ビームで照射し、これによって生じた凹凸の高さ分布を Dektak150(アルパック社製) によって測定する。

4.1 測定方法について

面積の異なる露光パターンを8枚多重露光することによって、8段階の高さ変化を持つ凹凸の加工を行う。露光方法は多角形露光、フィールドサイズは2mm×2mm、描画アドレスは10000pixel×10000pixelである。スピコートとプリベークを6セット行い想定膜厚18200Åのレジスト膜を形成した。試料はドーズ量の合計が6μC/cm²から22μC/cm²のものを2つ、12μC/cm²から20μC/cm²のものを2つ作成した。

Dektakによる高さ分布測定は、露光部分の中心、中心から左右125μmの位置、左右500μmの位置(露光範囲外)で行った。測定結果からゴミやレジスト剥離部分を除き、露光領域ごとの平均の高さを求めた。露光範囲外の測定結果から未加工部分の平均の高さを求め差分を取ることで加工の深さを求めた。

4.2 結果

ドーズ量と加工の深さの関係を図1に示す。ドーズ量に対する加工の深さの変化が大きくなるのは16μC/cm²～20μC/cm²の間であることがわかった。

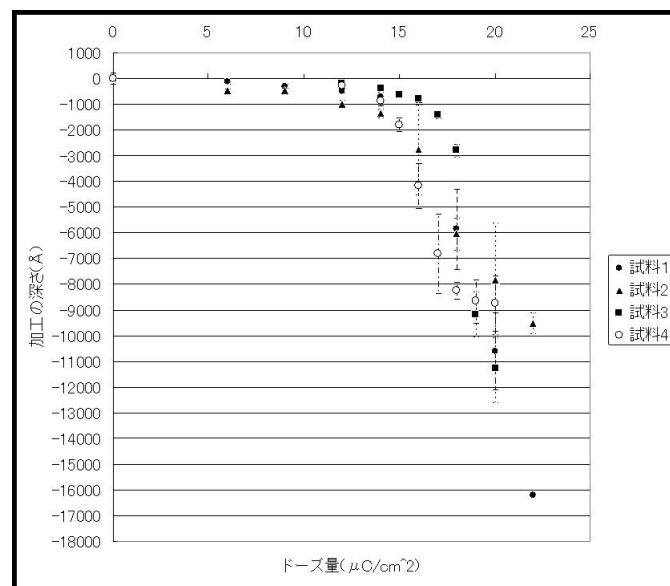


図 1: ドーズ量と加工の深さの関係について

4.3 考察

透過型ホログラムを作成する場合、使用するレーザーの波長を 632.8nm、屈折率を 1.6 とすると、回折効率を最大とするための各ステップの加工の深さは低い順から 2637Å、5273Å、7910Å となる。図 1 の結果より、各ステップのドーズ量は、順に $14.5 \sim 18 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、 $16.5 \mu\text{C}/\text{cm}^2 \sim 20 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、 $18 \mu\text{C}/\text{cm}^2 \sim 21 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ が必要と考えられる。

5 1000 × 1000 画素ビットマップ 露光用のビーム電流について

中間発表までに、従来の 10000 × 10000 画素のビットマップ露光に対してドーズ時間を 100 倍にすることでホログラムを形成することができたことがわかったが、一定の深さで掘れているはずの部分に細かい溝が現れてしまった。ビーム電流を大きくすることでビーム径を大きくし、溝構造を取り除けるか調べた。

5.1 実験方法

ドーズ量は一定のままビーム電流の値を表 1 のように変化させてホログラムを作成する。ビーム径は一般にビーム電流を大きくすると太くなる。

ビーム電流の値	1500 pA	2250 pA	3000 pA	4500 pA	10000 pA	20000 pA	35000pA
しぼりの値	4	3	3	2	2	1	1
予測ビーム径	150 nm	225 nm	300 nm	450 nm	1000 nm	2000 nm	3500 nm
加速電圧	20 kV	20 kV	20 kV	20 kV	20 kV	20 kV	20 kV
溝の幅	1.3 μm	1.7 μm	1.7 μm	1.7 μm	1.7 μm	1.7 μm	1.7 μm

表 1: 電子ビームパラメーターと観測された溝の幅

5.2 結果

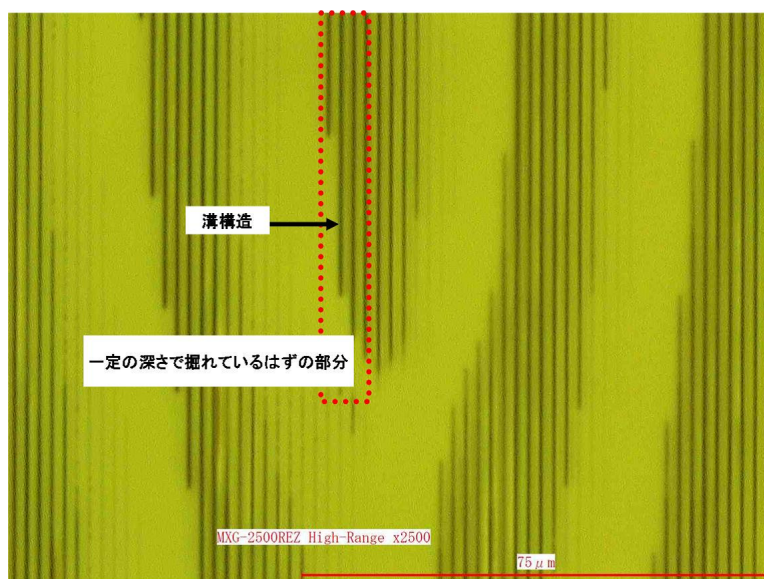


図 2: ビーム電流の値 35000pA で作成したホログラム

作成したホログラムを OM 光学顕微鏡で観察した。ビーム電流の値を最大の 35000pA にしても溝が現れてしまった。溝の幅については表 1 のようになった。

5.3 考察

溝構造を除去するためにはビーム径を画素サイズの $2\mu\text{m}$ より大きくする必要がある。予測ビーム径は最大で $3.5\mu\text{m}$ であったが、溝構造は改善されなかった。実際のビーム径は予測ビーム径に比べて小さいと考えられる。一方、溝幅はビーム径を単純に反映していないことがわかった。

6 まとめ

電子ビーム露光によるホログラム作成に関する研究によって以下の成果があった。

1. 電子ビームレジスト ZEP-520A と現像液 ZED-N50 でのドーズ量と加工の深さの関係について、おおまかな関係がわかった。
2. 1000×1000 画素のビットマップ露光について、 10000×10000 画素のモードに対してドーズ時間を従来の 100 倍にすることによってホログラムを作成できることがわかった。
3. 電子ビームの走査線に対応する溝構造を除去するためには、ビーム電流の値を変更する以外の方法でビーム径を大きくする必要があることがわかった。

7 今後の課題

1. ドーズ量と加工の深さの関係についてより正確な値を求められるようにする。
2. 現像条件について、現像時間を変えた場合にレジストの残膜率がどのように変化するか調べる。

参考文献

- [1] 大湊寛之,「ホログラムで発生させラゲールガウスビームの異方性と光トラップへの影響」電気通信大学修士論文 (2004)
- [2] "BeamDrawUser'sGuide", 東京テクノロジー (1998).
- [3] "W-32 形 電子線照射系", 日立サイエンスシステムズ.
- [4] 和田 篤:「位相特異点を持つ光ビームの発生と伝搬に関する研究」電気通信大学博士論文 (2006).