位相シフトマスクを利用した立体サンプルの露光法

正 員 佐々木 実* 非会員 陳俊中 エドウィン*
正 員 羽根 一博*

Exposure Method for Three-Dimensional Samples Using Phase Shift Mask

Minoru Sasaki*, Member, Tanjyunjyon Edwin*, Non-member, Kazuhiro Hane*, Member

An exposure method for realizing fine patterning on three-dimensional samples is described. Three-dimensional sample requires the different viewpoint from that of the proximity patterning. Concave areas can not be geometrically approached to the mask. The fine patterning becomes difficult due to the broadening of the exposure light. In this study, the phase shift mask is combined with the well-collimated mercury lamp. 5 μm -width line pattern is stably obtained on the 200 μm -deep cavity bottom.

キーワード：位相シフトマスク，三次元リソグラフィ，スプレーコーティング

Keywords : phase shift mask, three-dimensional lithography, spray coating

1. はじめに

リソグラフィ加工を MEMS デバイスのような平面とはみなせない立体サンプルにも可能にする三次元リソグラフィ技術が求められてきた。平面リソグラフィではスピコート法によってレジスト薄膜を用意する。立体サンプル上では、レジスト剤の粘性力はスピコートの遠心力と向きが異なりバランスしないため均一な膜が得られない。一般にレジスト膜厚よりも深い凹凸があると、溜まりや段切れが生じる。この問題を解決するため、レジスト溶液を霧状に塗布して均一な薄膜を用意するスプレーコーティング技術の開発が進められており、ある程度可能になりつつある⁽¹⁾。図 1 は段差 200 μm を持つ立体サンプルにネガ型レジスト薄膜をスプレーコートによって用意し、幅 100 μm のラインをパターンニングした例である。サンプル上面はマスクに近接させて露光できる。底部はマスクから 200 μm 離れるため、光束広がりの影響を受ける。実際、図 1 では目立たないが底部でパターン幅は約 20 μm 太くなっている。成膜と合わせて、露光技術も開発することが必要になる⁽²⁾⁽³⁾。ファインパターン基板配線の応用では 10 μm 程度のパターン幅が求められる。微細化のニーズに答えるため、焦点深度を深くした露光装置が市販されている。本研究では位相シフトマスクの利用を検討したので報告する。

2. 原 理

平面リソグラフィにおける超解像露光技術の一つに位相シフトマスクがある⁽⁴⁾。通常のマスクは明暗の透過率分布を

与えるが、位相シフトマスクは位相も制御する。図 2 にクロムレス位相シフトマスクの原理を示す。隣接する 2 つのガラス領域を通してサンプルに近紫外線が照射される。マスクの段差 d によって光路差が生じる。ガラスの屈折率を n とすると、光路差は $\Delta L = (n-1)d$ となる。 $\Delta L = \lambda/2$ を満たすように調節する。位相差は π となり、隣接する光束が重なり合うと互いに打ち消しあう。段差部真下の光強度は低下し、ポジ型レジストを利用した場合にはレジストが残る。立体サンプルを露光する場合の位相シフトマスクの特徴は、窪んだサンプルの底部まで光が伝搬しても上記干渉条件が満

図 1 段差 200 μm を越えた幅 100 μm のパターン
Fig. 1. 100 μm -width line pattern across 200 μm -deep steps.

図 2 位相シフトマスクの原理
Fig. 2. Principle of phase shift mask.

* 東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01
Dept. of Nanomechanics, Tohoku University
Aza Aoba 6-6-01, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579

たされ続けることである。光束広がりを抑えれば、マスクから離れた場所でも微細パターンの形成が期待できる。クロム付き位相シフトマスクの選択肢もあるが、微細化を評価するためクロムレス位相シフトマスクを検討した。

3. 実験

超高圧水銀ランプ(ウシオ電機 PMZ5C-135)を光源に用い、空間フィルタにより光束の広がり角を $\pm 0.7^\circ$ にした。通常の近接露光用アライナでは $\pm 9.9^\circ$ が観察されることもあり約1/14の値である。200 μm の光伝搬距離を仮定すると $\pm 2.4 \mu\text{m}$ の横広がりが見え光学的に生じることになる。露光時にはフィルタを通して波長405 nmのh線を選択した。位相シフトマスクは石英ガラスにライン-アンド-スペースをパターンニングし、ガラスのドライエッチングを施し製作し

図3 スピンコートしたレジスト膜で得たパターン幅とマスク-ウェハ間距離の関係

Fig. 3. Pattern width obtained from spin coated resist film as a function of mask-wafer distance.

図4 深さ200 μm のキャビティにスプレーコートしたレジスト膜で得た細線パターン

Fig. 4. Line pattern of spray coated resist film inside 200 μm -deep cavity.

図5 スプレーコートしたレジスト膜で得たパターン幅とウェハ上面からの距離の関係

Fig. 5. Pattern width obtained from spray coated resist film as a function of depth from top surface of wafer.

た。位相が π 反転する段差 d は431 nmであるが、 $431 \pm 40 \text{ nm}$ を得た。立体サンプルのキャビティはSi(100)ウェハにKOHエッチングを200 μm 施して得た。SiN薄膜からなるハードマスクは残したまま利用した。

4. 結果

パターンニング結果はレジスト膜厚分布によっても変化する。まず均一なレジスト膜を平面ウェハにスピンコートして用意し、位相シフトマスクから離して露光した。膜厚2.16 $\pm 0.01 \mu\text{m}$ のポジ型レジストAZ1500に対して、露光量を60 mJに設定した。パターン幅とマスク-ウェハ間距離の関係を図3に示す。マスク-ウェハ間距離と共にパターン幅の増加が見られる。距離200 μm においてパターン幅約4 μm が得られた。写真は距離165 μm の結果である。

ポジ型レジストAZ5218Eをスプレーコートし、同じ位相シフトマスクを利用して露光した。レジスト膜厚はキャビティ上下平面部を測定して2.3–7.1 μm であった。図4が結果である。露光量は300 mJに設定した。キャビティ上下面で細線パターンが転写されている。斜面の中でも上部はレジストが残っている。この部分はスプレーコートした膜が厚い上に、斜め露光になるため単位面積当たりの露光エネルギーが少ないからである。図5はキャビティ斜面におけるパターン幅を示す。幅が太い部分は膜厚に対して露光量が少ないことを示す。キャビティ底部で線幅5 μm を実現した。露光量を500 mJ以上に増やせば、斜面上部を完全にパターンニングできるが、キャビティ底部はオーバー露光となりレジストが残らなくなる。

5. おわりに

レジストのスプレーコートを施したキャビティ内部に細線をパターンニングした。広がり角が小さくなるようコリメーションされたランプ光源と位相シフトマスクを利用して、深さ200 μm のキャビティ底部で幅5 μm のパターンを得た。スプレーコートで用意したレジスト膜には立体形状に依存した膜厚分布が生じるため、最適露光条件は場所により異なる。キャビティ全体を同時にパターンニングする条件を見出すには至らなかったが、これは成膜の問題でもあり改善を進める。現状においても斜面を別にして上下平面部にパターンニングすることは可能である。

(平成17年9月26日受付)

文 献

- (1) V. K. Singh, M. Sasaki, K. Hane, Y. Watanabe, M. Kawakita, and H. Hayashi: "Photolithography on Three-dimensional Structures Using Spray Coated Negative and Positive Photoresists", Digest of Technical Papers, Transducers'05, 3E4.37, pp.1445-1448 (2005)
- (2) K. Hanai, Y. Tamura, and Y. Matsumoto: "Development of Exposure Method for Wiring Pattern on High Aspect Structures", IEEJ Trans. SM, Vol.125, No.6, pp.280-281 (2005-6) (in Japanese)
花井 計・田村喜朗・松本佳典:「高アスペクト比立体形状への配線パターン露光法の開発」, 電学論E, **125**, 6, pp.280-281 (2005-6)
- (3) S. Linder, H. Baltes, F. Gnaedinger, and E. Doering: "Photolithography in Anisotropically Etched Grooves", Proc. Micro Electro Mechanical Systems 1996; MEMS96, San Diego, pp.38-43 (1996)
- (4) 山岡亜夫監修: レジスト材料ハンドブック, リアライズ社 (1996)