

同期走査投影露光による小径円筒試料へのパターン形成

東京電機大学 ○藤井勇人 安永かほり 堀内敏行

要 旨

細いパイプや線材をベースとして3次元マイクロ部品を製作するため、その表面上へのリソグラフィによるパターン形成が要求されている。そこで、本研究室では円筒側面上に走査投影露光で線幅 100 μm のレジストパターンを形成する装置を開発した¹⁾。最初に使用を試みたポジ型レジストではパターンのずれや剥がれが発生した。そこで、付着性が良いネガ型レジストを用いてパターンを形成し、軸方向、円周方向の線幅分布を測定した。

1. 目的

ばね部品やステントなどの製作に应用するため、ネガ型レジストを用いて、走査投影露光で円筒試料の長手方向に垂直なパターンを形成した。付着性を確認し、パターンの線幅分布を測定した。

2. 同期走査投影露光リソグラフィ

半導体集積回路製造や2次元のマイクロ部品製造ではウエハ(基板)にレジスト(感光性樹脂)を塗布し、光(紫外線)を用いてレチクル(原画)の回路パターンをレジストに転写し、現像を行うことによりレジストパターンを得る。露光部が現像により除去されるレジストがポジ型、未露光部が現像により除去されるものがネガ型である。本研究では主にネガ型レジストを用い、図1に示すプロセスでパターンを形成した。

円筒試料の側面上へパターン形成する手法として、図2に示す同期走査投影露光を採用した。レチクルを水平方向に移動させるのと同時に試料を回転させ、レチクル上にスリットを置いて試料円周面の稜線上の狭い範囲のレジストにパターンを転写する。スリット幅が狭ければ露光される円筒面が

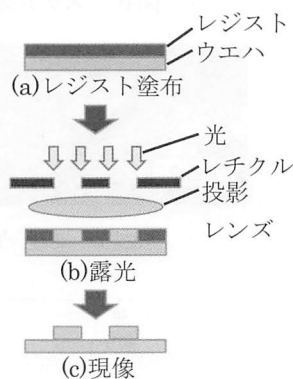


図1 従来の平面上への光リソグラフィの原理

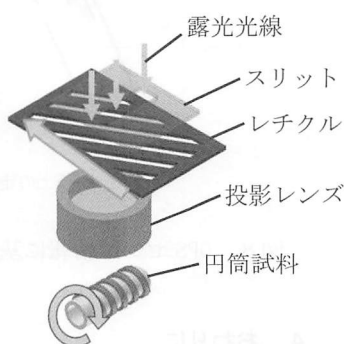


図2 円筒試料への露光原理

ほぼ同じ高さになるので結像性能を保てる。そして、レチクルパターン全部がスリットを通過するのと同じ時間で試料をちょうど一回転させるように同期走査を行えば、複雑なパターンを高速で円筒側面に形成できる。

3. 露光装置

開発(自作)した露光装置を図3に示す。正面幅約 600mm、奥行約 450mm、高さ約 900mm である。光源には超高压水銀ランプ(インフリッジ工業、UVB-300 中心波長: 365nm)を使用した。投影レンズ(シグマ 50mm F2.8 EX DG MACRO)の投影倍率は約 1.0、開口数は約 0.09 である。スリット幅は 800 μm とした。パターン形成の目標最小寸法は約 100 μm とした。計算上の解像度 R は、レジスト膜厚が 5 μm と厚いので、 $k_1=1$ と仮定し、 $\lambda=0.4\mu\text{m}$ とすれば、

$$R = k_1 \cdot \lambda / \text{NA} = 1 \times 0.4 / 0.09 \approx 4\mu\text{m}$$

である。

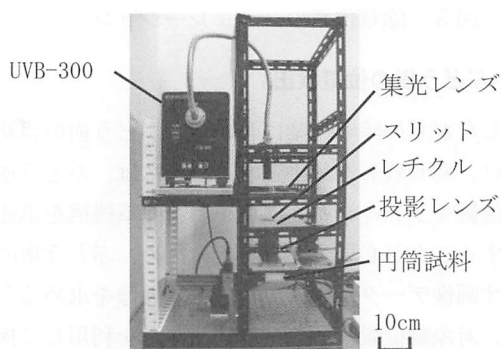


図3 露光装置

4. ポジ型レジストを用いた露光実験

外径 2.4mm、内径 2.0mm の Ni-Ti 合金の円筒試料を洗浄した後、ディップコート法を用いて、ポジ型レジスト PMER P-LA900 PM(東京応化工業)を塗布し、試料が一回転する時間(露光時間)を 120 秒としてパターンを形成した。

400 μm L&S を 45 $^\circ$ 傾けたレチクルを使用した結果、円筒試料側面に図4に示す螺旋パターンを形成することができた。

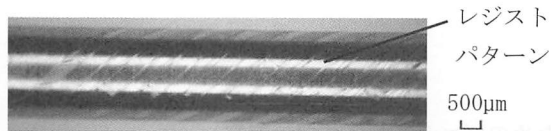
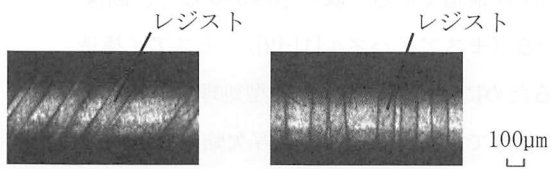


図4 ポジ型レジストで形成した 400μmL&S

次に、100μmL&S を 45° 傾けたレチクル、長手方向に対して垂直な方向の 100μmL&S レチクルを使用してパターンを形成した。結果を図5に示す。



(a) 45° パターン (b) 垂直パターン

図5 剥がれやずれが生じた

ポジ型レジストパターン(100μmL&S)

100μmL&S のレチクルを用いた場合には 45° 傾けたパターン、垂直なパターンとも現像工程においてパターンのずれや剥がれが発生した。これは、Ni-Ti 合金の円筒試料に対するポジ型レジストの付着性が問題であると考え、レジストを変更し実験を行った。

5. ネガ型レジストを用いた露光実験

レジストを付着性の良いネガ型レジスト PMER N-CA3000 PM(東京応化工業)に変更し、試料長手方向に対して垂直な 100μmL&S パターンを形成した。使用したネガ型レジストはポジ型レジストに比べ感度が高く、露光時間を 120 秒から 45 秒へ短縮することができた。

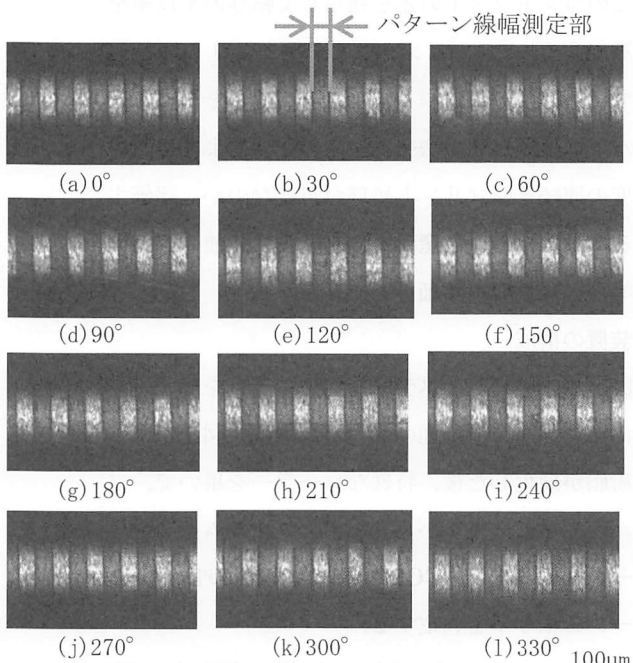


図6 ネガ型レジストで形成した

良好なパターン(100μmL&S)

図6はパターン形成後、試料を 30° ずつ回転させて側面を観察した結果である。試料側面全周にわたり、パターンのずれや剥がれは発生せず、良好なパターンを形成することができた。Ni-Ti 合金の円筒試料に対し、ネガ型レジストの付着性が良好であることを確認できた。

レジストパターンの均一性を調べるため、各回転角度におけるパターン線幅を軸方向に 10 箇所測定し、平均パターン線幅と 3σ を算出した。平均パターン線幅は 101μm、3σ は 9μm であり、ほぼ均一な線幅でパターンを形成できることが分った。

回転角度毎の軸方向のパターン線幅分布を図7に示す。測定番号 1~10 は 2mm の軸方向距離に相当する。また、円周方向のパターン線幅分布を図8に示す。円周方向にも特異な分布は生じなかった。

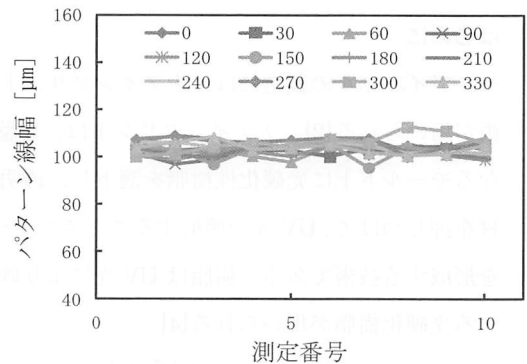


図7 回転角度毎の軸方向のパターン線幅分布

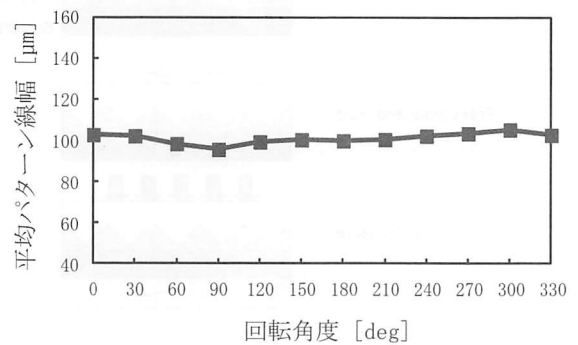


図8 円周方向のパターン線幅分布

6. 結言

ネガ型レジストを用いて、走査投影露光で円筒側面上に、試料長手方向に垂直なパターンを形成した。ネガ型レジストの付着性、パターン線幅の均一性が確認できた。

本研究の一部は東京電機大学総合研究所一般研究課題 Q13T-02 として行った。

1) 藤井勇人, 安永かほり, 堀内敏行, 小径円筒試料への同期走査投影露光, 第 73 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集 (2012)