

近接配列凹面レジストパターンの形成

東京電機大学 ○笹木龍之介, 堀内敏行

要 旨

光リソグラフィ技術を用いて、MEMS(Micro Electro Mechanical System)用の3次元加工技術の研究を行っている。本研究では、マイクロレンズアレイの型として応用可能な凹曲面のレジストパターンを近接して形成する方策を検討した。その結果、正方形と六角形状に配列した曲率半径約27 μm 、幅約33 μm のパターンを間隔約7 μm で形成できる見通しを得た。

1. 研究の背景・目的

光リソグラフィは元々、平面加工用の2次元加工技術だが、近年ではMEMS用の3次元加工技術にも応用されている。本研究では、液晶パネルや光ファイバーなどに用いられるマイクロレンズアレイの製作を目指している。過去にマイクロレンズアレイの型として、凸形状の半球面パターンを形成することに成功している¹⁾。しかし、レジストパターンの間隔を接近させて、光利用効率を上昇させることが困難であった。そこで、レジストパターン開口部形状を正方形と六角形として、凹曲面形状にパターンを近接させて形成する方法を検討した。

2. 実験条件

半値幅8nmのフィルタにより取り出した波長405nmの光を図1に示すように、500 μm 角の正方形透過パターンを400 μm 幅の遮光格子で挟んでマトリクス状に配置したレチクルと、対辺の間隔が500 μm の六角形透過パターンを400 μm 幅の遮光部で挟んで配列したレチクルに当てた。そして、直径4mmのピンホールを取り付けた1/19倍縮小投影レンズ(カメラレンズ、NFD28/2.8、キヤノン)を介して、Siウエハ上に厚さ12 μm に塗布したポジ型レジストPMER P-LA900PM(東京応化工業)に転写した。投影レンズの開口数は約0.12である。レジストパターンの側壁が最も垂直に近づくときをベストフォーカスとし、ウエハをレンズから遠ざける方向(+方向)に意図的にデフォーカスするときのパターン断面形状の変化を図2(a),(b)に模式的に示す。+方向に焦点ずれ量を増やしていくと、パターン周辺に露光域が広がると同時にレジストの抜けが悪くなり、転写パターンが凹曲面になって隣のパターンと接近した。

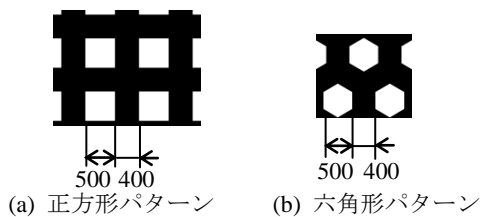


図1 使用したレチクルパターン

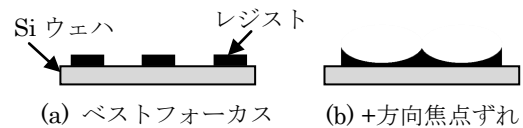


図2 焦点ずれによる凹曲面パターンの形成

3. 実験結果

焦点ずれ量+50 μm おきに露光量384 mJ/cm^2 で露光したときのレジストパターンをSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した。正方形パターンの上面からの観察結果を図3に、六角形パターンの上面からの観察結果を図4に示す。

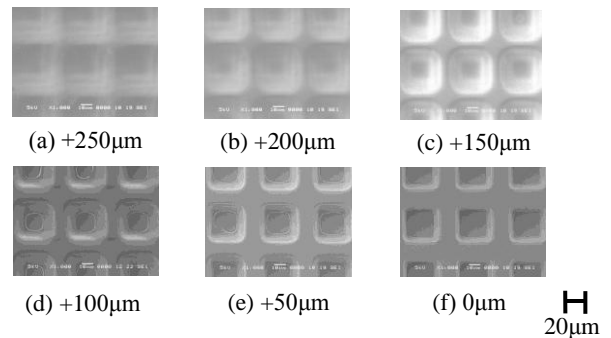


図3 正方形パターンの上面からの観察結果

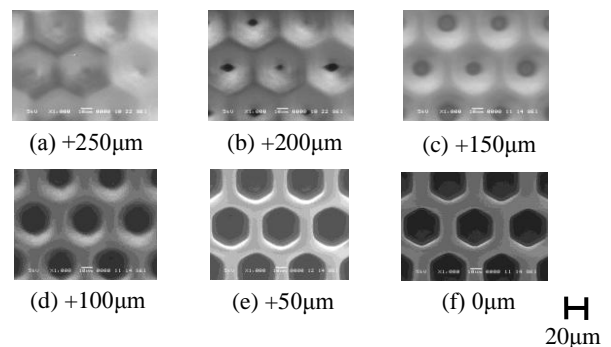


図4 六角形パターンの上面からの観察結果

このときのパターン底部の形状を調べるため、パターン断面をSEMにより観察した。図5に正方形パターンの断面観察結果、図6に六角形パターンの断面観察結果を示す。

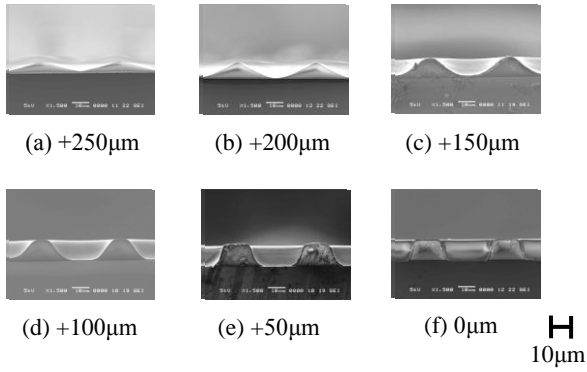


図5 焦点ずれ量による正方形パターン断面の変化

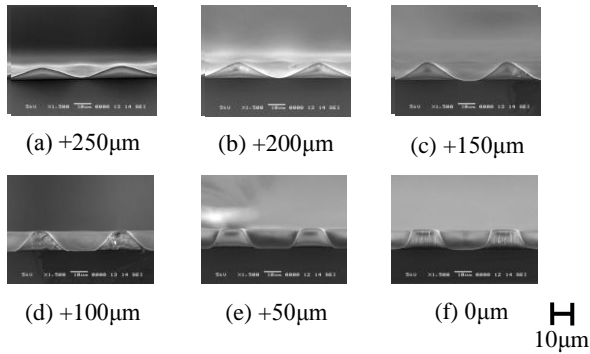


図6 焦点ずれ量による六角形パターン断面の変化

図3、図4より、焦点ずれ量を増やして行くと正方形、六角形ともにパターン間距離が接近した。レチクルの設計線幅を等しくしたので、接近する傾向はほぼ同じであった。図5、図6より、正方形と六角形とで側壁の変化傾向も、ほぼ同じであることがわかった。焦点ずれ量を増やしていくと側壁角度がなだらかになり、+150 μm 付近でパターンの裾の部分が繋がった。さらに焦点ずれを増やすと、パターン底部と頂部の差がなくなった。そして、焦点ずれ量+250 μm でパターンが最も接近したが、パターン側壁がなだらかになりすぎ、パターン底部が尖った形状になってしまった。一方、+150 μm でパターンが良好な円弧状曲面になっていたため、この焦点を最適焦点ずれ量として固定し、露光量を変化させて露光を行った。図7に正方形パターン断面の露光量による変化を示す。

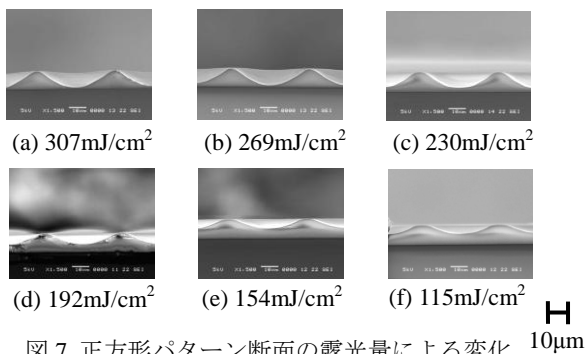


図7 正方形パターン断面の露光量による変化

パターンの形状を評価するため、図7の断面画像上に、パターンの底部と両側の頂部を結ぶ円を描き、パターン半径を測定した。また、円弧からの最大はみ出し量を誤差として測定した。図8に測定した曲率半径と円弧形状に対する誤差を示す。

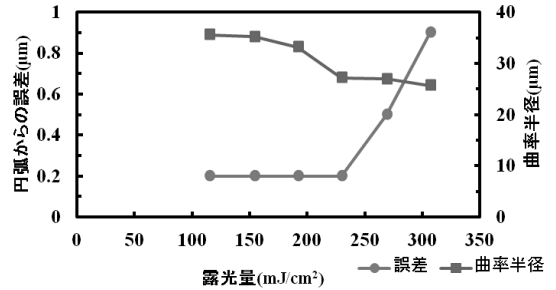
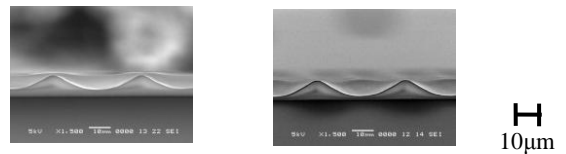


図8 凹面パターンの曲率半径と円弧からの誤差

全パターンが誤差 1 μm 以内であった。また、露光量 230 mJ/cm^2 以下で誤差が 0.2 μm 程度まで下がることが分かった。このとき、曲率半径は 26.7 μm であり、高曲率で、誤差が小さくなった。六角形でもほぼ同様の傾向となり、露光量 230 mJ/cm^2 で誤差 0.2 μm 、曲率半径 27.3 μm であった。この条件でのパターン間隔をさらに接近させるために、レチクルの遮光部分の線幅を 300 μm として再度、露光を行った。図9に露光結果を示す。



(a) 正方形パターンの断面 (b) 六角形パターンの断面

図9 遮光線幅を 300 μm としたときの断面

400 μm の遮光線幅では、パターン間隔が 11.3 μm あったが、300 μm では正方形で 6.6 μm 、六角形で 7.0 μm に減少し、パターン間隔が接近した。また、パターンの誤差と曲率半径は正方形では 0.2 μm 、27.1 μm 、六角形では 0.2 μm 、27.4 μm となり、遮光線幅 400 μm で得られた結果とほぼ同様になった。パターン幅は正方形で 33.3 μm 、六角形で 32.8 μm であった。遮光線幅を変化させれば、形状の変化を伴わずにパターンを接近可能であることが分かった。

4. 結言

球面に対する形状誤差 0.2 μm 以下で、正方形と六角形形状の凹面レジストパターンアレイを形成できた。

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) 小野博史, 赤羽祐哉, 堀内敏行: 第 71 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 07-061 (2010).