

スペックル光を利用した光リソグラフィ技術による 段差面へのランダムパターン一括形成技術の基礎研究

東京電機大学大学院 ○大井一樹、岩岡友希、堀内敏行、小林宏史

要旨

スペックル光を利用して段差を持つ被露光面への数 μm ~数十 μm のランダムパターンの形成を検討した。レーザ光を拡散板に当てて作り出したスペックル光をコリメート光学系にて平行光にして照射すれば、奥行き方向の広い範囲に同一露光時間でパターンを形成できると考え、基礎実験を行った。レジストを $1\mu\text{m}$ 厚で塗布し、コリメート用レンズとウエハ間距離を最大 200mm 変化させても概ね同様のパターンが形成できることを確認した。

1. はじめに

表面に微細な構造をもつことで様々な機能を発現させるものがある。例えば、ハスの葉の表面が持つ撥水性、蛾の目の反射防止、セミの羽の抗菌などが知られている。このような知見に基づき、工業材料の表面に同じような微細構造を人工的に形成できれば母材には無い機能を付与することが可能であると考え、スペックル光の特性を利用して微細ランダムパターンを形成するリソグラフィ技術の研究を行っている¹⁾。本報告では平坦面ではなく、段差のある被露光物の表面への数 μm ~数十 μm のランダムな微細パターンの形成を検討した。スペックル光をリソグラフィに利用すれば縮小投影レンズを用いずとも微細なランダムパターンを転写することが可能となる。加えて、スペックル光の当て方を制御すれば段差面にも加工できると考えている。

2. 露光原理

図1に露光原理を示す。レーザ光を拡散板に照射し、透過面に不規則な光強度変化を持つ斑点模様のスペックルを発生させる。このスペックルをコリメート用レンズにて平行にする事で、被露光面の距離が変化してもスペックル光の光強度が変化しにくくなる。そのため、段差のある被露光物の段差面にランダムな形状のパターンを得ることができる。また、コリメート用レンズの焦点距離を選択することでパターンサイズや数、密度をコントロールできると考えている。

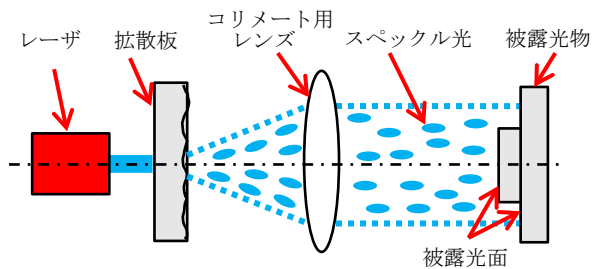


図1 露光原理

3. 実験装置と実験方法

図2に実験用露光装置を示す。実験用露光装置は、レーザ(波長 403nm 、 0.8mW)、シャッター、ガイドレール、拡散板(#1000)、コリメート用レンズ(シグマ光機株式会社)、Si ウエハ固定台で構成した。

実験はポジ型レジスト THMR-iP3300(東京応化工業)をスピコートにより膜厚約 $1\mu\text{m}$ に塗布した4インチ Si ウエハを固定台にセットし、シャッターの ON、OFF で露光時間を制御した。段差付き被露光物を用いる前段階として、ウエハ固定台を動かしてコリメート用レンズからの距離を変えることで段差を再現して実験を行った。また、パターンの形成特性を効率的かつ系統的に把握するため、Si ウエハの前に遮光板を置き、露光領域を $10\times 10\text{mm}$ に制限することで、1枚の Si ウエハ上に複数の実験を行った。

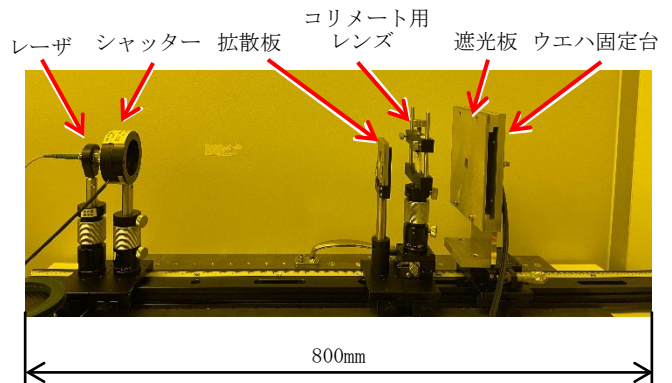


図2 実験用露光装置の外観

焦点距離 40mm 、 70mm 、 100mm のコリメート用レンズによりスペックル光を平行光にして照射した。各々のレンズ毎にコリメート用レンズと Si ウエハ間の距離を 45mm 、 95mm 、 145mm 、 195mm 、 245mm に変えて露光実験を行った。各々のコリメート用レンズについて Si ウエハ間の距離が 45mm の位置で光強度 I を測定し、式(1)を用いてパターン転写ができる露光量 D になるように露光時間 t を決定した。同じ

コリメート用レンズでは距離を変えても t を一定とした。

$$\text{光強度 } I \times \text{露光時間 } t = \text{露光量 } D \dots (1)$$

4. 実験結果

図 3 に焦点距離 40mm のコリメート用レンズを用いた時の露光結果、図 4 に焦点距離 70mm のコリメート用レンズを用いた時の露光結果、図 5 に焦点距離 100mm のコリメート用レンズを用いた時の露光結果を示す。パターン観察は光学顕微鏡で行った。

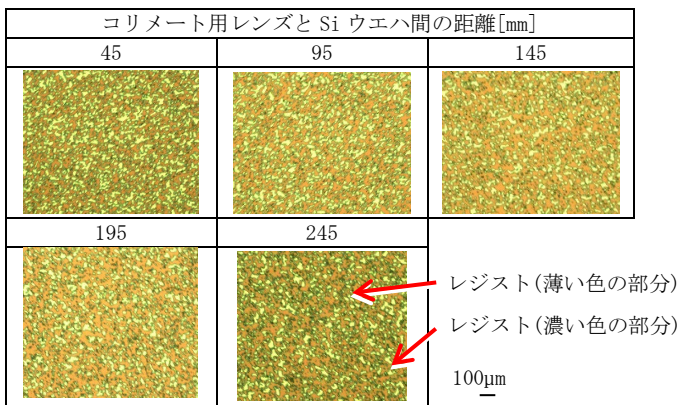


図 3 焦点距離 40mm のレンズでのパターン形成結果

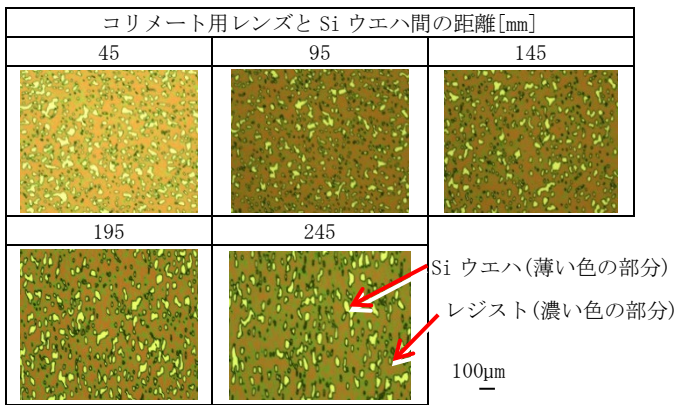


図 4 焦点距離 70mm のレンズでのパターン形成結果

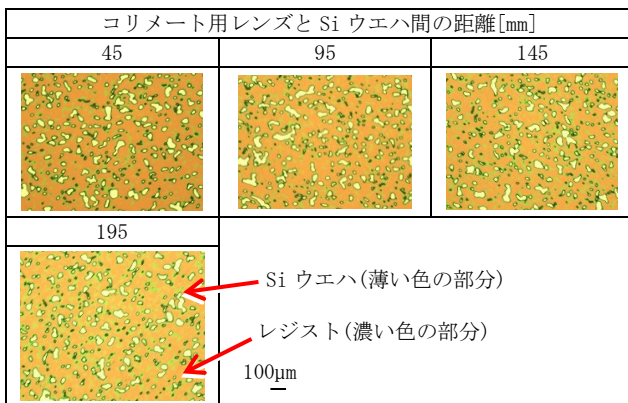


図 5 焦点距離 100mm のレンズでのパターン形成結果

実験ではポジ型レジストを利用したのでスペckルの光強度が強い箇所のレジストが現像処理により無くなる。図 3~5 のパターン観察結果より、同一露光時間でウエハの位置を 200mm 動かしても概ね同様のランダムな微細点状の穴パターンが形成できることが分かった。図 6 にコリメート用レンズと Si ウエハ間の距離と評価領域 934 \times 1129 μ m 内の穴パターンの数との関係を示す。パターン数は画像解析ソフト ImageJ(National Institutes of Health)を用いてカウントした。

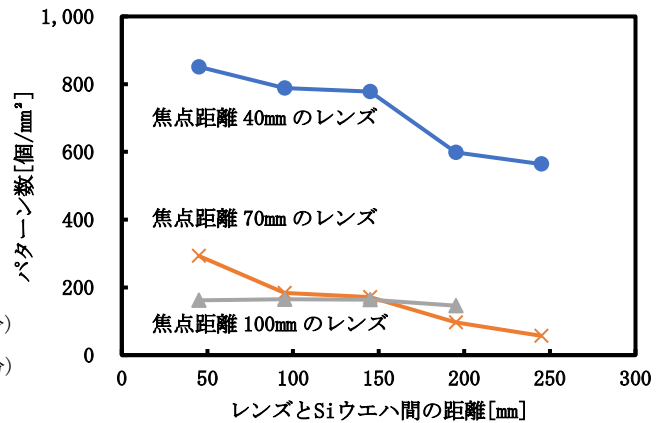


図 6 距離と穴パターンの数の関係

図 6 より、パターン数は焦点距離の短いコリメート用レンズを用いると多くなる傾向があることが分かった。一方、図 3 と図 5 の焦点距離 40mm と 100mm の結果を比較すると、スペckルパターンのサイズと間隔は 100mm の方が大きいことが分かった。

5. 結言

スペckル光をコリメート光学系にて平行光にして Si ウエハに照射すると、同一露光時間でレンズと Si ウエハ間の距離を最大 200mm 動かしても、個数や大きさが極端に変わることなく、概ね同様のランダムなパターンを形成することができた。そして、焦点距離の異なるコリメート用レンズを用いることでパターン数を変えられることが分かった。

本研究の一部は、東京電機大学総合研究所一般研究課題 Q21T-01 として行った。

参考文献

- 1) H. Kobayashi, T. Iwaoka, K. Oi, and T. Horiuchi: "Research on a New Lithography Method Utilizing Laser Speckles for Printing Random Patterns", J. Photopolym. Sci. Technol., **34**, 35-40 (2021)