

スペckル光を利用した光リソグラフィ技術による 円筒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 ○鈴木未有、岩岡友希、堀内敏行、小林宏史

要旨

スペckル光を利用してレジストにランダムな点状パターンを形成する光リソグラフィ技術において、円柱形状の試料表面に一括でパターン形成する技術を検討した。レーザ光を拡散板に当てて発生したスペckル光を、直径 2mm の試料を囲むように設置した回転軸対称ミラーに反射させて露光した。その結果、試料の円周表面に部分的だが 5~100 μm の大きさでランダム形状のレジストパターンを形成することができた。

1. はじめに

自然界には、表面にマイクロオーダーの微細な構造を持ち、その微細構造により撥水性や親水性などの機能が付与されるものが存在する。そして、近年この微細構造を工業部品の表面に形成する加工技術の需要が増加している。加工方法として、例えば、光リソグラフィ技術で SUS 板表面に微細パターンを作り、ウェットエッチングにより凹凸構造を形成することで撥水性の変化が確認されている¹⁾。

本報告ではスペckルという光の特性を利用した光リソグラフィ技術²⁾に回転軸対称ミラーを組み合わせることで円柱試料の全方向にランダムなパターンを一括で露光し、微細構造を形成することが可能か実験用露光装置を製作して検討を行い、パターン形成特性を把握した。

2. 露光原理

図 1 に本提案の露光原理を示す。レーザ光を拡散板に照射すると、反射、透過面に不規則な光強度変化を持つ斑点模様様のスペckル光が発生する。透過面からこのスペckル光を回転軸対称ミラーに反射させると、光軸上の一部に一直線上に集光させることができる。その領域にレジスト(感光性材料)を塗布した円柱試料を置くことで、スペckル光の光強度分布により円柱試料表面に一括で微細な斑点模様様のレジストパターンを形成できる。そして、拡散板の粗さや拡散板と回転軸対称ミラーの距離を変えることで、パターンの形状を変化させることができると考えている。

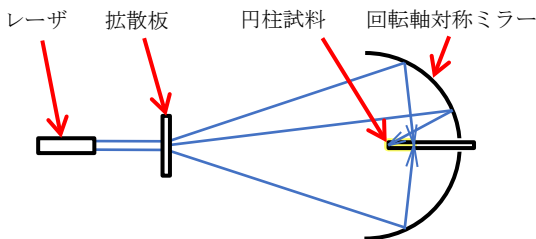


図 1 露光原理

3. 実験装置と実験方法

本露光原理を検証するために、実験用露光装置を設計し組み立てた。製作した実験用露光装置を図 2 に示す。この装置は、レーザ(波長 405nm、12.5mW)、ガイドレール、拡散板(#240)を二つ、試料固定のための四つ爪ピンバイス(以下バイスと呼ぶ)、回転軸対称ミラー(直径 150mm、半円形状)、回転軸対称ミラーを保持する固定台で構成した。

実験は直径 2mm、長さ 60mm のステンレス鋼(SUS304)の円柱試料を用い、ディップコート法でネガ型レジスト PMER-NC3000 PM (東京応化工業)を約 10 μm の膜厚になるように表面へ塗布した。その後、バイスに試料を固定し、回転軸対称ミラー内にあるスペckル光の集光部分に配置した。レーザの ON、OFF を行うことで露光時間を調整し、パターン形成を行った。

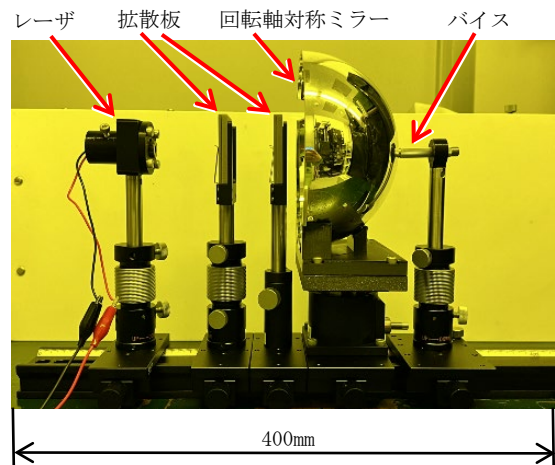


図 2 実験用露光装置の外観

露光時間を 30s、40s、50s と変えて露光実験を行い、光学顕微鏡で現像処理後のパターンを観察した。試料の観察位置を図 3 に示す。本実験ではネガ型レジストを用いたため、光が強く当たるとレジストパターンが残る。そこで、レジストが残った箇所を露光領域とした。設定した露光時間

で露光した時、露光量が適切で、パターンが形成できた箇所をパターンの形成領域とした。円周方向の観察位置は試料先端から見て露光時の円柱試料上部を 0° 位置、右回りに 90°、180°、270° 位置とした。



図3 試料の観察位置

4. 実験結果

4. 1 露光時間とレジストパターンの関係

図4に露光時間 30s、40s、50s で露光して試料先端部(端から約1mmの箇所)表面を観察した画像を示す。

露光領域先端部にランダムな形状、大きさ、配置のレジストパターンを形成できた。ネガ型レジストのため露光時間を増加させるとパターンの数や大きさが増加した。パターンサイズは $5\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ で、観察領域 $238 \times 288\mu\text{m}$ 内の各露光時間での最大寸法は露光時間 30s で $55\mu\text{m}$ 、40s で $66\mu\text{m}$ 、50s で $85\mu\text{m}$ であった。また、露光領域は円周方向全面に 5mm ~ 10mm であったが、パターンの形成領域は露光領域先端部から 1.5mm ~ 2.0mm であり、その領域を超えた露光領域では過露光となり、レジストが現像液に不溶となって試料表面に残った。試料に当たるスペックル光の強度不均一が原因と考えられる。

4. 2 レジストパターンの円周方向の均一性

円周方向の各角度でパターンを観察するとパターンの形成領域が方位により若干異なっていた。この原因は露光時

に試料がわずかに傾いていたと考えている。しかし、パターン形成領域内では円周方向全面にパターンが形成されていることが分かった。一方、パターン形状はどれも軸方向に伸びていることが分かった。これは、回転軸対称ミラーで反射した光線の多くが試料軸に対して鋭角に当たることが原因と考えている。

5. 結言

スペックル光を用いた円柱面への全面一括露光技術の基礎検討として、拡散板で拡散した光を回転軸対称ミラー内で反射、集光させて露光する新しい方法の原理検証を行った。直径 2mm の円柱試料先端部の全円周方向に一括で $5 \sim 100\mu\text{m}$ の大きさのランダムパターンを形成することができた。スペックル光強度の不均一性を改善し、パターン形成領域を広げることが、今後の課題である。

本研究の一部は、東京電機大学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) T. Horiuchi, Y. Kazama, H. Yoshida, A. Yanagida, and H. Kobayashi: "Application of projection lithography using a gradient-index lens array and wet etching to texturing for control of the hydrophobic properties of stainless-steel plates", Jpn. J. Appl. Phys, **58**, SDDA01-1-8 (2019)
- 2) 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)

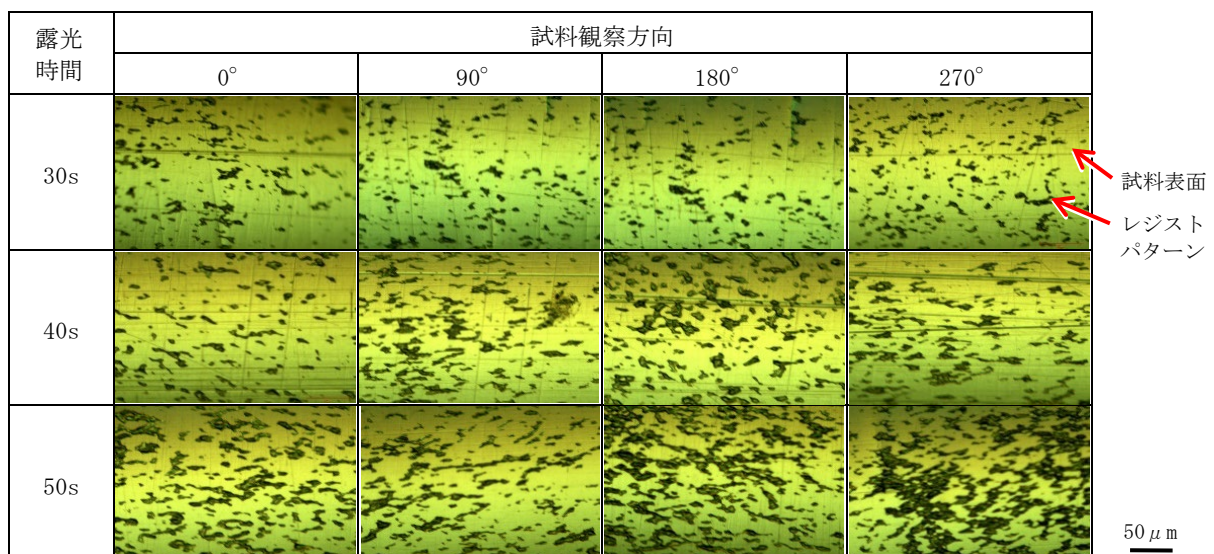


図4 試料先端部のレジストパターン観察結果