

課題番号	Q21T-01
課題名（和文）	スペックル光を利用した立体構造物への露光技術の研究
課題名（英文）	Research on a New Lithography Method Utilizing Speckles for Printing Random Patterns on Three-Dimensional Shaped Surfaces
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学 工学部 先端機械工学科 教授 氏名 小林 宏史
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学大学院 工学研究科 先端機械工学専攻 氏名 鈴木 未有
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学大学院 工学研究科 先端機械工学専攻 氏名 小宮 菖梧
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学大学院 工学研究科 先端機械工学専攻 氏名 片岡 元樹
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学大学院 工学研究科 先端機械工学専攻 氏名 大井 一樹
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学大学院 工学研究科 先端機械工学専攻 氏名 岩岡 友希

研究成果の概要（和文）

本研究では、スペックル光リソグラフィ技術を用いてレジスト（感光性樹脂）を塗布した立体構造物の表面に数十 μm ～数百 μm オーダの微細なレジストパターンを形成することを目的とした。原理検証のために球面ミラーを用いた実験用露光装置を製作し、パターン形成特性の把握を実施した。その結果、立体構造物表面にランダム形状のレジストパターンを形成することに成功した。

研究成果の概要（英文）

A new optical lithography method utilizing speckles was developed for printing random patterns on surfaces of three-dimensional objects, and patterning characteristics were investigated by assembling a handmade exposure system. As a result, resist patterns with random shapes were successfully formed after the development.

1. 研究開始当初の背景

自然界には、表面にマイクロオーダーの微細な構造をもち、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。例えば蓮の葉やバラの花弁などである。そして、近年この微細構造を工業部品の表面に人工的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がある。SUS板表面に微細なレジストパターンを作り、それをマスキング材としてエッチングすることにより凹凸構造を形成し撥水特性を変化させることができる。

2. 研究の目的

本研究ではスペckルリソグラフィという光の特性を利用した露光技術に加えて、さらに回転軸対称ミラーを組み合わせることで立体構造物である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できるか検討した。理論をもとに実験露光装置を試作して実現可能性や課題を明確にするのが目的である。立体構造物への微細パターン形成技術が実現できれば、パイプや軸物の工業製品の表面に微細構造を簡便・低コストに形成することが可能となり、撥水性や油の潤滑性を変化させることができる。

3. 研究の方法

本提案の新露光原理を図1に示す。レーザー光を透過型の拡散板に照射すると、透過側に不規則な光強度変化を持つ斑点模様のスペckル光が発生する。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の円周方向に一括で微細な斑点模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ている。

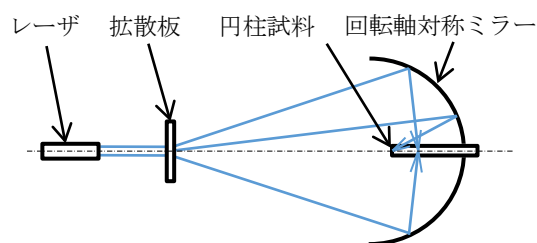


図1 露光原理

原理検証のために、図2に示す実験用露光装置を試作した。露光装置は、レーザー(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。

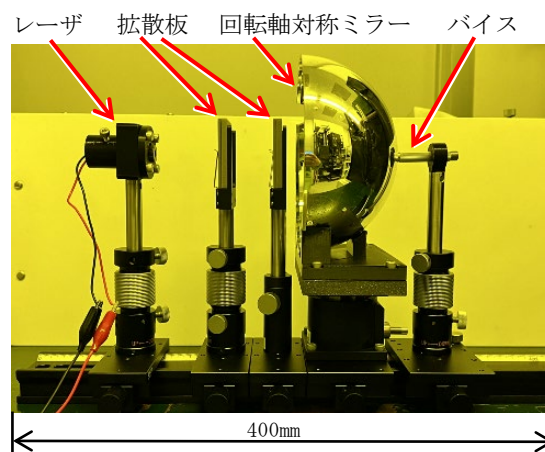


図2 実験用露光装置の外観

実験では直径 2mm、長さ 60mm のステンレス鋼(SUS304)の円柱試料を用い、ディップコート法にてネガ型レジスト PMER N-CA3000 PM (東京応化工業) を約 $10\mu\text{m}$ の膜厚で表面へ塗布した。その後、バイスに試料を固定し、回転軸対称ミラー内に配置した。露光時間を変化させると形成されるパターンに変化が生じる。そこで露光時間の調整は、レーザーの電源を ON、OFF することで行った。


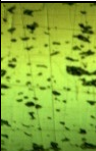
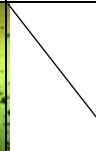

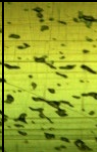

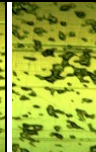
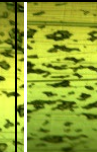
形成したパターンを観察・評価には実体顕微鏡を用いた。試料の観察方法を図3に示す。ネガ型レジストは、光が強く当たったところが現像処理によりパターンとして残る。そこで、レジストが残った箇所を感光領域とし、パターンが孤立してできたところをパターン形成領域とした。観察・評価位置は円柱試料先端側から見て上部を 0° 位置として、右回りに 90° 事に回転して観察した。

図3 試料の観察方法

4. 研究成果

(1) 露光結果とパターン形成特性の把握

図4に露光結果を示す。各露光時間でのパターン形成領域である試料先端部(端から約1mmの箇所)の表面を観察した画像である。一部の観察画像が無いものの、円周全方向にランダムな形状、大きさ、配置のレジストパターンを形成することができた。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、一部は隣接するパターン同士がくっつき合う現象が確認できた。また、感光領域は円周方向全面に5mm~10mmであったが、パターン形成領域は感光領域先端部から1.5mm~2.0mmとごく僅かであり、多くの感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。これは、試料に当たるスペックル光強度の不均一性が原因と考えられる。

露光時間	試料観察位置			
	0°	90°	180°	270°
30s				
40s				

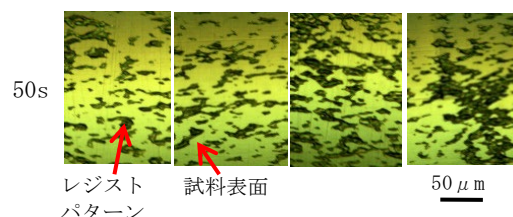


図4 露光結果

また、パターン形状はどれも円柱試料の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円柱試料軸に対して鋭角に当たることが原因と考えている。

(2) 円周方向のパターン形成領域の均一性

円周方向の各位置でパターンを観察するとパターン形成領域の範囲に大きな違いがあった。この原因は露光時に試料がわずかに傾いていたことによるものと考えている。

(3) 研究結果と課題の明確化

スペックル光を用いた円柱試料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。原理検証のための専用の実験用露光装置を製作し、直径2mmの円柱試料を用いて露光実験を行ったところ、試料先端部に一部ではあるが円周全方向に一括で5~100μmの大きさのランダムパターンを形成することができた。試料のアライメント方法や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。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計5件)

- ① 鈴木末有、スペック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、精密工学会北海道支部学術講演会、2022年8月27日、北見工業大学
- ② 大井一樹、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、精密工学会北海道支部学術講演会、2022年8月27日、北

見工業大学

〔産業財産権〕（計 2 件）

- ① 特願 2022-131914、露光装置、出願日 2022
年 8 月 22 日、小林宏史、鈴木未有、千田悠
雅、片岡元樹、堀内敏行
- ② 特願 2022-131915、露光装置、出願日 2022
年 8 月 22 日、小林宏史、大井一樹、岩岡友
希