

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14860

研究課題名(和文) 回転式位相板による共焦点顕微鏡の異常値抑制

研究課題名(英文) Research on Speckle Noise Suppression in Confocal Microscopy

研究代表者

大坪 樹 (Otsubo, Tatsuki)

長崎大学・工学研究科・助教

研究者番号：30755088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高分解能を有する共焦点顕微鏡は、表面微小形状の非接触測定に広く利用されている。しかし、測定値に不自然な短波長ノイズや突発的な異常値が混入するため、測定精度が著しく低下する。異常値の原因は、照射したスポット内の試料表面微小凹凸により生じるスペックルである。本研究課題では、回転式位相変調板を受光系に設置することで、スペックルを強制的に変化させ異常値の抑制を試みた。その成果として、ブラスト加工を施したガラス円盤を位相変調板に用いることで、突発的な異常値の抑制に効果があることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでスペックルによる異常値の抑制に関する研究では、異常値を抑制するためスペックル自体の発生を抑制することに主眼が置かれていたが、本研究ではスペックルを変調し利用する方法により異常値の抑制を試みた。その成果として、デジタルフィルタでの除去が困難である突発的な異常値の抑制効果を確認した。これにより測定範囲が広いINAを使用した測定の信頼性が向上することができるようになるため、効率的にデバイス、材料の観察が可能となり開発効率の向上につながる。

研究成果の概要(英文)：Confocal microscopes with high resolution are widely used for non-contact surface profiling of microstructures. However, the measurement accuracy is significantly compromised due to the presence of unnatural short-wavelength noise and sporadic outliers in the acquired measurements. These outliers are caused by speckle patterns generated by the surface microstructures within the illuminated spot. In this research project, we attempted to suppress the outliers by introducing a rotating phase modulation plate into the detection system, which intentionally alters the speckle pattern. As a result of our efforts, we demonstrated that using a glass disk treated with a blasting process as the phase modulation plate effectively suppresses the occurrence of sporadic outliers.

研究分野：光応用計測

キーワード：共焦点顕微鏡 スペックル 光触針 光プローブ 非接触形状計測 表面凹凸形状計測 レーザ変位計

1. 研究開始当初の背景

共焦点顕微鏡は、その高い分解能より工業分野のみならず、生命科学等幅広い分野に利用されている。特に半導体、自動車、化学材料分野では、部品や素材表面の微小な3次元形状を高精度かつ非接触・非破壊で測定することが要求されるが、共焦点顕微鏡は上記の要求を満たす数少ない測定機として活用されている。

共焦点顕微鏡では、被測定位置と対物レンズの焦点が合ったときに検出器前のピンホールを通過する反射光強度が最大になることを利用し、試料表面の凹凸高さを測定する。光源からのレーザ光線が微小スポット状で観察試料に照射するため、開口数(NA)の大きな対物レンズ(NA0.8以上)の使用が望ましい。その結果、高い分解能は得られるが測定範囲は非常に狭くなる。広範囲の表面形状情報を得るためには中NA(0.5程度)レンズの使用が必要であるが、この場合測定結果に異常値が混入し(図1)測定精度が著しく低下する。そのため、高NAレンズを用いて微小範囲の測定を繰り返して、測定結果をステッチング機能によりつなぎ合わせる方法が用いられ、膨大な時間を要している。図1は共焦点顕微鏡で測定した結果を示す。従来の触針式表面粗さ測定機の結果に見られない不自然な高周波ノイズや突発的な異常値が混入していることがわかる。特に広範囲測定が可能な低倍率(中NA0.5程度)の対物レンズを使用した場合、異常値が顕著に表れる。中NAレンズを用いて広範囲の高精度表面形状測定法の確立は産業界からの要請である。

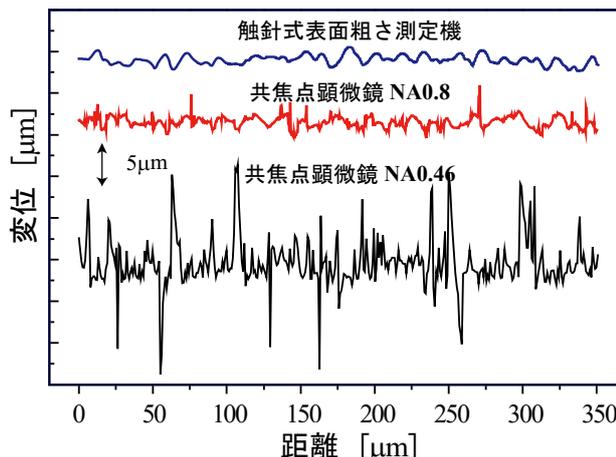


図1 放電加工面の表面測定結果

2. 研究の目的

異常値の原因は、スペックルである。スペックルとは、照射したスポット内の表面微小凹凸により生じる光干渉のことである。スペックルが発生した場合、反射光の結像状態が乱れるため、焦点位置以外で反射光強度が最大になり異常値が発生する(図2)。異常値抑制に関する研究は少ない。これまでに、低コヒーレント光源を採用しスペックルの発生を抑制する方法が検討されたが、低コヒーレント光源を用いても照射スポット内の微小凹凸高さが入射光の波長と同等またはそれ以下では、スペックルを完全に抑制することは困難であることが報告されており、十分な抑制効果が得られていない。また、デジタルフィルタを用いて発生した異常値を除去する方法も行われてきたが、完全に除去するまでにいたっていない。さらにデジタルフィルタ設計は、パラメータ設計が試行錯誤的となり、設計の妥当性を保証することが難しい。そのため形状と異常値との区別が困難であり、形状情報まで除去してしまい、測定の信頼性を損なう。

本研究では、これらの点を踏まえ、位相板を用いスペックルパターンを変化させることで、焦点位置において最大の受光強度を検出させることにより異常値を抑制する手法を開発する。これにより、共焦点顕微鏡を用いた高精度な広範囲測定を目指す。本研究で提案する抑制方法は、測定面の形状情報を残したまま、異常値のみを低減することが可能であり、デジタルフィルタのような複雑なアルゴリズムを必要としない。さらに提案方法は、スペックルの発生を抑制するのではなく、スペックルを活用し、異常値抑制を行うため、光源の波長と同程度の非常に微小な凹凸形状であっても、異常値を抑制できる。

《スペックルが生じた場合の反射光の結像状態》

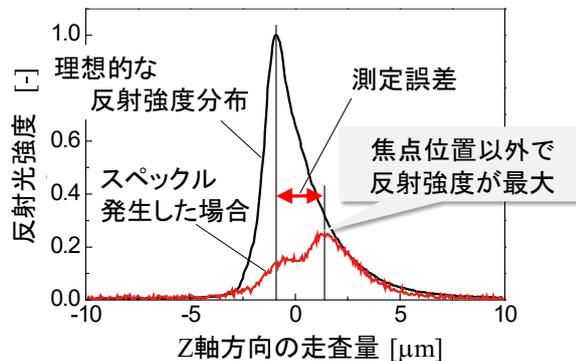


図2 測定誤差メカニズム

3. 研究の方法

本研究ではスペックルノイズの異常値抑制の方法として図 3 に示す方法を提案した。本方法により、共焦点顕微鏡を用いて測定する際にスペックルにより乱れた結像状態を改善できるかを検証する。具体的には、回転式位相板を集光レンズの直前に設置し、反射光の位相を変調することで、集光位置におけるスポット内の光干渉パターンやスポット形状（以下、スペックルパターン）を変化させる。スペックルパターンが変化した反射光はピンホールを通過するため、焦点位置において最大強度を受光できるようになり異常値を抑制することができる。

本研究では、まず発生したスペックルパターンを変化させることが可能な、回転式位相板を設計製作する。スペックルパターンは、被測定物の加工方法や表面粗さによって変化するため、複数の加工面において提案した抑制方法が効果について検証した。

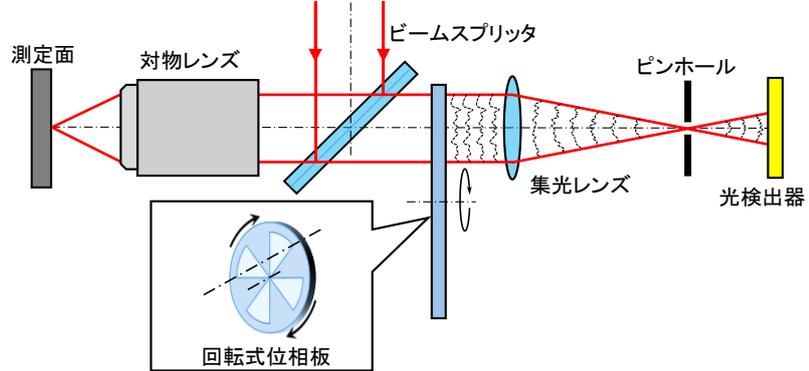


図 3 位相変調方式共焦点光学系

4. 研究成果

本研究では、位相板を用いスペックルパターンを変化させることで、焦点位置において最大の受光強度を検出させ異常値を抑制する手法を提案し、ガラス円盤にブラスト加工を施したものを位相変調板として使用し、放電加工面、研削面におけるスペックルノイズ抑制効果について検証した。ガラス円盤の表面にブラスト加工よりランダムな微細凹凸を施すことで、レーザー光がガラス円盤を通過する位置において光路が変化することになるため、測定位置が変化しない状態においてもスペックルパターンが変化することになる。

被測定面として放電加工面を用いて、光量検出器の位置におけるスポット像をカメラにより撮影し観察した。図 4 の集光レンズ前に位相板を設置し、被測定面を固定したまま位相板を回転させた場合のスポット像を表 1 に示す。位相板がない状態では、スペックルパターンが生じており、スポット内の光量分布にばらつきが生じている。すなわちスペックルノイズが生じると考えられる。位相板を設置した場合、スペックルパターンが変化するとともに、位相板を回転させるとスペックルパターンも角度ごとにランダムに変化することを確認した。位相板を回転させ複数取得したスポット像を平均化した場合の光量分布を表 2 に示す。スペックルパターンが生じていた測定面にも関わらずスペックルパターンが生じていない場合の理想的なスポットの光量分布を取得することができることができた。この結果からスペックルノイズの抑制の可能性をしました。

表 1 位相変調中のスペックルパターン

	Without Plate	With Plate (angle=0°)	With Plate (angle=150°)	With Plate (angle=300°)
Spot image				
X-axis cross-sectional profile				
Y-axis cross-sectional profile				

次に回転式位相板によるスペックルノイズ抑制効果について検証した。実験条件表3に、実験結果を表4に示す。ランダムな微細凹凸を得られる放電加工面と加工痕に周期性をもつ研削加工面について比較検討を行った結果、どちらの場合においても回転式位相板を使用することで、突発的なピークの発生を減少させる効果があることを確認した。なおスペックルノイズの抑制効果は、研削面より放電加工面の方が高い結果となった。

次に被測定面の表面粗さの違いが及ぼす影響について検討した。放電加工面の場合、表面粗さが小さい方がスペックルノイズの抑制効果が高いが、研削加工面では表面粗さの大きい方がスペックルノイズの抑制効果が高い結果となった。以上より表面粗さの違いがスペックルノイズ抑制効果に与える影響は少ないことがわかった。

放電加工面には加工方法の特性上、筋状の加工痕が残っている。本研究では、加工痕に対する測定方向の違いが及ぼす影響についても検討した。加工痕に対して垂直に測定する場合よりも加工痕に沿って測定する方が突発的なピークの発生を抑制できることを明らかにした。以上より、ランダムな加工面および方向性を有する加工面において、回転式位相板を用いて測定することで突発的な異常値を抑制することを明らかにした。

表2 スポット平均化結果

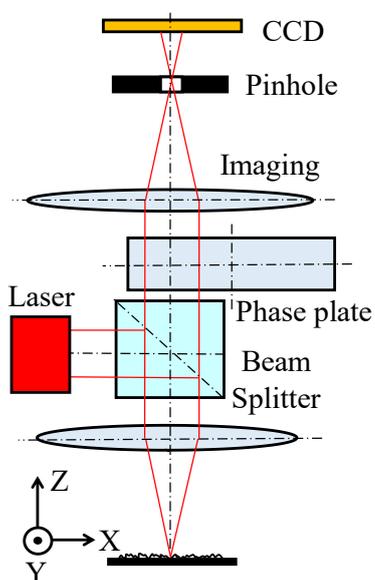
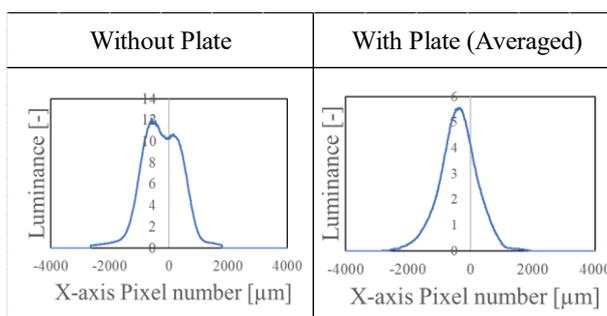
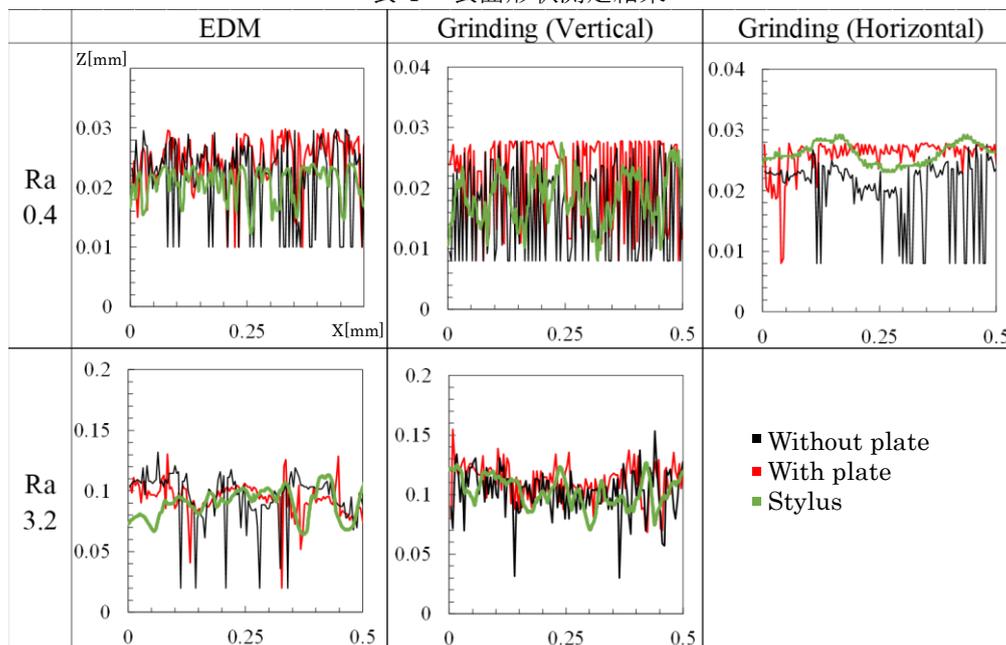


図4 測定実験光学系

表3 表面形状測定条件

X-axis stage	Pitch [mm]	0.004
	Range [mm]	0.5
Z-axis stage	Pitch [mm]	0.0002
	Range [mm]	0.02
Rotating stage	Pitch [°]	45
Camera	Number of shots [-]	8

表4 表面形状測定結果



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高崎元気, 大坪樹, 古賀信幸, 矢澤孝哲
2. 発表標題 位相変調による共焦点顕微鏡の異常値抑制
3. 学会等名 精密工学会九州支部学生Web講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高崎元気, 矢澤孝哲, 大坪樹
2. 発表標題 位相変調による共焦点顕微鏡の異常値抑制に関する研究
3. 学会等名 精密工学会九州支部講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	矢澤 孝哲 (YAZAWA TAKANORI)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------