Osaka University Knowledge Archive

Title	２本の光ファイバを用いたPoint Diffraction Interferometer による球面および非球面ミラーの絶対形状計測
Author(s)	松浦, 敏晋
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57488
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【71】

氏　　名	松　浦　敏　晋（まつ うら とし あき）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２３７８９　号
学位授与年月日	平成22年３月23日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学　位　論　文　名	2本の光ファイバを用いたPoint Diffraction Interferometerによる球面および非球面ミラーの絶対形状計測
論文審査委員	（主査） 教　授　山内　和人 （副査） 教　授　遠藤　勝義　　教　授　安武　　潔　　教　授　森田　瑞穂 教　授　桑原　裕司　　教　授　森川　良忠　　教　授　渡部　平司 准教授　中野　元博

論文内容の要旨

本論文では、大面積の絶対形状計測を目的として2本のシングルモード光ファイバを用いたPS/PDI（Phase-Shifting Point Diffraction Interferometer）の開発を行った。その研究に至った経緯、PS/PDIの原理、誤差要因の解析、計測精度の評価、波面の伝播過程における変化、球面形状の凹面ミラーおよび非球面ミラーの高精度計測に関する研究成果について本論文の各章で述べた。以下に各章の総括を列記する。

第1章では、様々な先端分野において要求されている表面の精度と大面積形状計測の現状について述べ、本研究の意義について明らかにした。

第2章では、微小開口からの回折球面波の精度と、その波面を絶対計測基準面とすることでサブナノメートルオーダーの計測精度を持つPDIの原理、そして、その基準面の精度を最大限に生かすために用いられる位相シフト法の原理について述べた。

第3章では、これまでに提案されたPDI光学系の問題点を示し、より大面積の高精度表面形状計測を目的とした新たなPDI光学系を提案した。この光学系に基づいて2本のシングルモード光ファイバを用いたPS/PDIの試作を行った。その装置構成の詳細と、干渉縞の計測方法について説明した。

第4章では、回折球面波同士の干渉計測による絶対形状計測の精度評価を行った。すなわち、2つの光ファイバを用いたPS/PDIでは、光ファイバを同じ向きに設置することで回折球面波同士の干渉縞を得ることができる。この波面は共に高精度なため、実際に実験で得られる計測精度を評価することができる。

第5章では、被検ミラーが真球面でないことによる波面の伝播過程における変化を数値シミュレーションにより解析し、計測においてCCD上で得られた波面情報から被検ミラー上の波面を復元することの有用性を明らかにした。

第6章では、球面形状の凹面ミラーを計測対象とし、サブナノメートルオーダーの絶対形状計測が実現されていることを明らかにした。

第7章では、非球面形状計測への応用として、球面からのずれが比較的大きい凹面ミラーの計測を行った。さらに、軸はずし放物面ミラーおよびSiウエハ平面の計測を行い、本ファイバ型PS/PDIの有用性を非球面ミラーに対して示した。

以上、2本のシングルモード光ファイバを用いたPS/PDIにより、実体基準面を用いない被検ミラーの絶対形状

の高精度計測を実現し、球面ミラーのみならず非球面ミラーへの応用について研究した。非球面形状計測の場合は、被検面の形状によって2本の光ファイバを適切な位置に設置し、復元解析の際にはその位置情報が必要となるが、干渉縞がCCDで分解できる限り、どのような形状であっても計測が可能である。今後、自由曲面の高精度計測により、高性能なミラー加工への応用が期待され、様々な科学技術の発展へ寄与できるものと考える。

論文審査の結果の要旨

現在の先端的な科学技術において、例えば極端紫外光リソグラフィーの露光光学系や、X線顕微鏡の集光光学系、重力波検出装置など、大面積にわたってサブナノメートルオーダーの形状エラーしか許されない高精度ミラーを必要とする領域が拡大しつつある。このような大面積かつ高精度な形状を得るため、絶対形状計測を目的とした計測法としては、傾斜角積分法、三面あわせ法、点光源回折干渉計（PDI: Point Diffraction Interferometer）が研究されている。本論文は、これまでに提案された PDI に基づき、より大面積の高精度計測を目的とした 2 本の光ファイバを用いた PDI を提案し、実験的検証を行ってまとめたものである。本論文の主な成果は次の通りである。

(1) 微小開口からの回折球面波の精度と、その波面を絶対計測基準面とすることでサブナノメートルオーダーの計測精度を持つ PDI の原理、そして、その基準面の精度を最大限に生かすために用いられる位相シフト法の原理について考察した結果、これまでに提案された PDI 光学系の問題点を示している。そして、その解決策としてより大面積の高精度表面形状計測を目的とした新たな PDI 光学系を提案している。この光学系に基づいて 2 本のシングルモード光ファイバを用いた PS/PDI の試作を行い、その装置構成の詳細と、干渉縞の計測方法について検討し、その妥当性を示している。

(2) 2 本の光ファイバを同じ向きに設置することで回折球面波同士の干渉縞を取得し、絶対形状計測の精度評価を行った結果、2 つの波面が共に高精度なため、実際に実験で得られる計測精度を評価できることを示している。

(3) 被検ミラーが真球面でないことによる波面の伝播過程における変化を数値シミュレーションにより解析し、計測において CCD 上で得られた波面情報から被検ミラー上の波面を復元することの有用性を明らかにしている。

(4) 球面形状の凹面ミラーを計測対象とし、サブナノメートルオーダーの絶対形状計測が実現されていることを明らかにしている。

(5) 非球面形状計測への応用として、球面からのずれが比較的大きい凹面ミラー、軸はずし放物面ミラーおよび Si ウエハ平面の計測を行い、本ファイバ型 PS/PDI の有用性を非球面ミラーに対して示している。

以上のように、本論文は 2 本のシングルモード光ファイバを用いた PS/PDI により、実体基準面を用いない被検ミラーの絶対形状の高精度計測を実現し、球面ミラーのみならず非球面ミラーへの応用について実験的検証を行っている。非球面形状計測に応用する場合、被検面の形状によって 2 本の光ファイバを適切な位置に設置し、CCD 上の波面情報から被検ミラー上の形状に復元する解析の際にその位置情報が必要となるが、干渉縞が CCD で分解できる限り、どのような形状であっても計測が可能であることを明らかにしている。従って、今後、自由曲面の高精度計測により、高性能なミラー加工への応用が期待される。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。