

ふりがな	チョウ ガクホウ
氏名	趙 学峰
学位	博士 (工学)
学位記番号	新大院博(工)第202号
学位授与の日付	平成17年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	Study on high accurate laser diode interferometer for on-machine surface profile measurement (オンマシン形状計測を可能とする高精度半導体レーザ干渉計に関する研究)

論文審査委員	主査 教授 佐々木 修己
	副査 教授 菊池 久和
	副査 教授 佐藤 孝
	副査 教授 大河 正志
	副査 助教授 鈴木 孝昌

博士論文の要旨

表面形状、距離、変位を非接触で高精度に計測する技術は、生産加工現場におけるキーテクノロジーのひとつである。生産効率を上げるためには、小型、軽量、安価な計測システムが必要であり、半導体レーザ光源を用いた干渉計測系が注目されている。

本論文では、オンマシン表面形状計測に際して考慮すべき事項すなわち外乱除去、測定の高精度化、測定時間短縮化、測定範囲の拡大化などに着目し、新しい着想に基づきいくつかの干渉計を実際に構成しつつ、その特性について論じている。

第1章では、従来の半導体レーザ干渉計の特徴と問題点を整理し、本研究遂行の背景と目的を示すとともに、本論文で示す干渉計測系の分類と比較、論文の構成等について詳しく説明している。

第2章では、研究の基礎となる半導体レーザ干渉計の種類、原理、特徴について説明するとともに、光源として用いる半導体レーザの特性および光検出器として用いるCCDイメージセンサの原理と特徴、さらに種々の信号処理の原理について記述している。

第3章では、新しい着想に基づく光熱変調を用いた干渉計測系を提案している。従来提案されている半導体レーザ干渉計では、レーザの発振波長変調の際に電流変調を用いるが、このとき光源の波長だけでなく光強度も変調されるため、測定の精度が低下するという問題があった。この問題を解決するために、光源レーザに外部より光強度変調を施した大出力の加熱用レーザ光を照射する光熱変調用い、フェーズロック形の干渉計を構成した。これにより、従来の位相シフト干渉計で問題となっていた位相シフト時の強度変化による誤差の発生を抑えることができると同時に外乱を除去し、高精度な干渉計測が実現している。磁気ディスク用アルミニウム円板に対する測定では、繰り返し測定誤差が1.46nmであった。

第4章では、CCDカメラの高速シャッター機能を利用することにより、汎用CCDカメラの低速性を克服し、変調周波数を飛躍的にあげる改良を施した光熱変調型の干渉計測系を提案している。これにより良好なフィードバック制御を実現し、外乱の影響を受けにくい高精度な干渉計測を行っている。繰り返し測定誤差は1.32nmが得られている。

第5章では、光検出器として用いるCCDイメージセンサの積分機能に着目した、加速型信号処理を用いる干渉計測系を提案している。従来は、位相検出に必要なすべての演算処理を計算機内で実行していたため、画像のサイズが大きくなると、演算時間が長くなり、リアルタイムで加工状態をモニタリングすることが困難であった。ここでは、測定時間を短縮するために、演算式を最適化し、位相シフト技術を併用することにより、演算処理の一部をCCD上で実行させている。従来型の積分値解析法で必要であった計算機内での演算処理は半分になり、演算時間の短縮を図ることができた。同時に、必要な画像の枚数は削減されるため、データ取得時間も短縮されることも明らかにされた。実験では、5nm程度の繰り返し測定誤差が得られている。

第6章では、新しい2波長型半導体レーザ光源を用い、測定範囲の拡大を図った干渉計測系を提案している。一般的に干渉計では半波長より大きい段差の測定が不可能であるという欠点があった。この欠点を解決する手段として、光源に2つの半導体レーザを用いる2波長型干渉計があるが、光学系が複雑になる等の問題がある。一方、半導体レーザに温度・電流同時制御を施すと、モードホップを境とする2つの波長を同時に発振させることができる。この同時発振2波長型半導体レーザ光源を用い、ストロボ的な画像取得を行うことにより、外乱の影響を受けにくい段差計測系を構成できることを明らかにした。この方法では、同時発振2波長の波長差は小さいため、長い合成波長を得ることができる。計算の結果、数百ミクロンの段差を165nm程度の誤差で測定可能であることを明らかにしている。

第7章では、本論文で提案した種々の干渉計測系の性能を総括し、使用目的に応じた各干渉計の位置づけを明確にするとともに、各干渉計がオンマシン表面形状計測に対して有用であると結論づけている。

審査結果の要旨

本論文は、オンマシン表面形状計測に適した干渉計測系を提供することを目的とし、新しい着想に基づくいくつかの干渉計を実際に構成するとともに、その特性について論じたものである。これらの干渉計測系は、高精度であると同時に外乱に強いという大きな特徴を有しており、従来の干渉計では計測不可能な環境下においても十分使用可能であるということが示されている。論文の執筆に当たっては、5編の査読付き論文と5編の国際会議発表論文が基礎となっており、内容的に大変密度の高い論文となっている。論文の構成においても、干渉計測系の現状と特性の明確化および研究の背景分析から始まり、光熱変調、加速型信号処理、フィードバック、そして新型2波長光源を用いる干渉計測系とこれまでの研究成果が整理され、かつ明確に記述されている。さらに総括では、本論文で提案している各干渉計の相対的な位置づけが測定精度、測定時間、およびロバスト性の観点から分類され、測定対象に応じて適切な干渉計測系を選ぶ指針が示されている。

以上のように、本論文は従来の干渉計では達成し得ない高機能・高精度な干渉計測を実現するために、新規性に富んだアイデアを多数取り入れ、種々の干渉計測系を提案したものであり、精密測定・精密加工技術の進歩と発展に寄与するところが非常に大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認定した。