

審査の結果の要旨

氏名 花山 良平

光情報通信や光生体計測など光技術の発展が期待され、それらを支える光学素子の高度化のために、高精度精密光計測への要求はますます高まっている。特に、光を透過させて用いるような光学素子の場合、その両面の形状と光学的厚さの両方が重要であり、複数の反射面が存在する系での形状計測手法の開発が重要である。周知の通り、試料の表面形状や、単層試料の層厚さ変動の計測においては、光干渉計測を用いて nm オーダの精密形状計測が実現されている一方、複数の反射面を有する多層試料の形状計測は実現されていない。

本研究は、波長走査干渉計測と独自に開発した高調波位相検出手法を組み合わせることによって、複数の透明で両面が平行な層から成る透明多層試料の各面の形状と各層の厚さ変動を同時に計測する手法を提案したものである。

第 1 章では、序論として本研究の背景、従来の研究、目的を述べている。

第 2 章では、波長走査干渉による透明多層試料の形状計測のための位相検出手法の要求機能を明らかにしている。具体的には、まず、波長走査干渉により干渉光が干渉光を構成する 2 光束の光路長差に比例した周波数に変調される性質を利用することで、透明多層試料の形状計測が高調波信号の位相検出を行うことにより実現されることを示している。その上で、高調波位相検出手法の要求機能として、任意の次数の高調波信号の位相が検出可能であること、信号を周波数変調する際の誤差である周波数変調誤差に不感であること、高調波雑音に対する感度が十分小さいことが重要であることを示し、このような条件を満足する干渉縞解析手法が従来、存在していないことを説明している。

第 3 章では、第 2 章で提案した要求機能に基づき、周波数変調誤差に不感であることを特徴とする高調波位相検出手法の開発について述べている。この時、複素平面内の単位円周上に複数の根を有する特性多項式の根配置を制御する手法を用い、根配置を自由に制御するための指針を示し、それにより高調波位相検出手法の開発を行っている。開発した高調波位相検出手法は第 2 章で示した要求機能を満足し、信号感度に対する雑音感度が 1.4% 以下に抑制されている。

第 4 章では、第 3 章の高調波位相検出手法の開発が新たな窓関数を開発したことと等価であることを説明し、一般的な窓関数との比較を行っている。特に、窓関数によりフーリ

エ変換に基づく高調波信号検出手法に付与される位相検出能力について考察が行われ、高調波位相検出手法を周波数変調誤差に不感とするための窓関数の要件について明らかにしている。また、位相検出誤差を予測する関数を開発し、これにより開発した手法と、一般によく用いられる三角窓、ハン窓、ハミング窓を用いた高調波位相検出手法との比較を行い、開発した手法が周波数変調誤差が存在する場合の位相検出誤差を最も小さくすることを明らかにしている。

第5章では、第4章までの知見に基づき、透明多層試料の形状計測実験について述べている。実験に先立ち、主要な測定パラメータの許容誤差の検討を行っている。その際、主な系統誤差要因につき考察し、これらが信号の周波数変調誤差に帰着することを示している。そして、周波数変調誤差による位相検出誤差の予測計算により、周波数変調誤差と検出高調波次数の積が0.5以内の周波数誤差の範囲で位相検出誤差(波長)/100以下が期待できることを示した。また、これにより主要な測定パラメータの許容誤差がまとめられている。これに引き続き、実際に波長走査フィゾー干渉計を用いた形状計測実験を行い、3層からなる系での形状計測に成功している。この時、繰り返し測定誤差は(波長)/40～(波長)/150以下であった。そして、主たる誤差要因が波長走査幅の設定誤差による周波数変調誤差であることを明らかにしている。

第6章では、開発した多層試料の形状計測手法の適用可能範囲について、最大層数、最小層厚さ、測定可能な対象形状について述べられている。また、応用事例について述べられている。

第7章では、本研究の結論が述べられている。

以上を要するに、本論文は、波長走査干渉により干渉光が光路長差に比例した周波数に変調される性質と、独自に開発した周波数変調誤差に不感であることを特徴とする高調波位相検出手法を組み合わせた波長走査干渉形状計測手法を提案し、従来不可能であった透明多層試料の各面の形状と各層の厚さ変動の同時計測を実現できることを示した論文である。得られた測定結果は光学素子の製造中の形状計測や、光学素子の屈折率分布の測定精度の飛躍的な向上などを可能とすることなどを示している。したがって、本論文は学術的にも技術的にも有用な指針を与えている。

よって、本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。