

# 正弦波状波長走査レーザ干渉法による形状計測に関する研究

秋 山 久\*

## Study on surface profile measurement by a sinusoidal wavelength-scanning interferometry

by Hisashi AKIYAMA

近年、精密加工技術の発達にともない、物体の形状を高精度で測定する技術に対する要求が高まっている。なかでも測定物体を非接触、非破壊的に測定でき、測定精度も高い光干渉計測法は検査装置として最も適していると考えられる。不連続な形状を含まない鏡面物体での測定では、すでに数多くの製品が販売されている。しかしながら、精密加工品は鏡面に限らず、より複雑な形状をしている物も多く存在する。粗面物体や膜厚の計測では、1点測定である、分解能が悪い、測定時間が長いなどの問題があり、検査装置として十分な性能を有しているものは数少ない。そこで本研究では、波長走査レーザ干渉計を用い、段差を有する鏡面物体、粗面物体、薄膜の形状を測定する方法について研究を行う。

本研究は全6章で構成される。

第1章では、研究の背景、目的、および本研究の構成について述べる。

第2章では、本研究で用いる正弦波状波長走査レーザ干渉法の原理について述べる。まず、正弦波位相変調干渉法の原理を示す。正弦波位相変調法では参照光に位相変調を加えることにより干渉信号に含まれる位相を正確に求めることができる。しかしながら、単一の波長を用いる干渉計では光波長以上の光路差を求めることはできない。そこで、この干渉法に正弦波状波長走査レーザ干渉法を組み合わせ

た、二重正弦波位相変調干渉法を用いる。二重正弦波位相変調干渉法では従来の位相に加えて、時間的に変化する位相項が得られる。この位相項からは波長以上の光路差が得られるが、その測定精度は高くない。そこで、従来得られる位相と時間に対して変化する位相を組み合わせることにより、波長以上の光路差を数 nm の精度で求める方法を示した。一方、測定物体を2次元で検出するため、CCD イメージセンサを用いた。時間的に変化する干渉信号を正しく検出するための信号処理方法について述べた。

第3章では、正弦波状波長走査レーザ干渉法を用いた段差を有する鏡面物体と粗面物体の形状を計測する。波長走査レーザ干渉計では、波長走査幅が大きいほど測定の分解能がよくなる。そこで外部共振器型波長可変半導体レーザを構成した。これより、約 20nm の波長走査幅が容易に得られた。つぎに、測定物体をミラーとして干渉計の測定誤差について検討した。鏡面の測定物体として2枚のブロックゲージを並べて 10  $\mu$  m の段差形状を作り、測定した。測定の結果、得られた平均段差幅は 10.020  $\mu$  m であり、繰り返し測定の誤差はおよそ 3 nm であった。測定物体が粗面である場合にはスペckルパターンが生じ、測定物体の表面に対応した位相を得ることができない。しかしながら、光の伝播距離の情報は保持されているため、光源の波長を走査する

\*新潟大学大学院自然科学研究科

現在 株式会社 トプコン

[新潟大学博士(工学) 平成18年3月授与]

ことにより光路差を求めることができる。また、物体光のフーリエ変換面となる結像レンズの焦点面にピンホールを置くことにより不要な光を遮断し、良好な干渉信号を得ることができる。粗面の測定物体は深さ約  $50\mu\text{m}$  と  $150\mu\text{m}$  のくぼみを有するアルミ板であった。直径  $2\text{mm}$  のピンホールを用いたときに最もよい形状が得られた。深さ約  $50\mu\text{m}$  と  $150\mu\text{m}$  のくぼみの測定では、繰り返し測定誤差はそれぞれ  $0.5\mu\text{m}$  および  $2.5\mu\text{m}$  であった。

第4章では、2つの反射面を有する測定物体として、厚さ約  $20\mu\text{m}$  のシリカガラス板を測定する。2つの反射面を有する物体では、それぞれの反射面により反射する2つの物体光が存在する。従来の方法では2つの反射面の位置に対応する2つの光路差を求めることができない。そこで、検出された信号と理論式の差の二乗和を誤差関数とし、この誤差関数を最小にすることにより2つの光路差を求める信号推定処理法について述べた。この信号推定処理法を用いた測定の結果、シリカガラス板の平均膜厚は  $18.721\text{nm}$  となり、測定誤差はおよそ  $10\text{nm}$  以下であった。

第5章では、シリコンウェハー上にコーティング

された厚さ  $1$  から  $4\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  膜を測定する。外部共振器型波長可変半導体レーザーでは時間的に変化する位相項の感度が十分ではないため、より広帯域な波長走査幅を持つ光源を構成した。スーパーリミネッセントダイオードと音響光学波長可変フィルターを組み合わせた光源を構成することにより、最大  $60\text{nm}$  程度の波長走査幅が得られた。しかし、この光源のスペクトル半値幅は従来のレーザーに比べて十分に広いため、コヒーレンス長を考慮しなければならない。また、測定物体のシリコンウェハー上の  $\text{SiO}_2$  薄膜では強い多重反射光が存在するため、この信号も理論式に取り入れた、信号推定処理法を明らかにした。本信号推定処理法では、参照光と測定物体の各反射面における干渉信号の振幅比が重要な値となるため、波長を直線的に走査するときに得られる干渉信号を用いることによって正確に求める方法を示した。本方法によって、実験で得られた振幅比を用いることにより、薄膜の形状を測定することができた。測定の結果、厚さの薄い領域では平均膜厚  $1062\text{nm}$ 、厚い領域では  $4109\text{nm}$  の膜厚であり、繰り返し誤差は  $3\text{nm}$  以下であった。

第6章では、本研究の成果をまとめた。