

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 北川 克一

ナノメートルからミクロンオーダーの表面形状計測法として、白色干渉法は位相決定のあいまいさを回避でき、段差への対応や広い測定レンジが得られるという優れた特徴を持つ。しかし、従来開発されていた手法は、測定速度と精度、表面の透明薄膜などの影響、振動環境下での極端な性能低下など、産業用としての展開には多くの問題を抱えていた。本論文は「光干渉に基づく産業用表面形状計測法に関する研究」と題し、光干渉計測法における上記の諸問題を解決し、産業における適用範囲の拡大と、実用性の高い計測技術の提供を目的としたもので、(I)白色干渉法の高度化、(II)透明膜計測技術の開発、(III)ワンショット干渉計測技術、(IV)結論の4部12章から構成されている。

第1章の「序論」においては、産業計測において望まれる三次元計測の諸性能について、高精度で高速な面計測方式、段差や表面薄膜を含む面への適用能力、耐振動性の重要性を指摘し、基本的な方法論としての白色干渉法の優位性、および産業用としての実用化の課題を整理している。さらに、信頼性と保守性、コスト、ニーズの変化への柔軟性、校正の容易さなどの観点から、産業用計測装置開発における信号処理アルゴリズムとソフトウェアの重要性を主張している。

第I部の「白色干渉法の高度化」は2章から構成される。第2章の「白色干渉法の高速化」においては、サブナイキスト間隔でサンプリングされた輝度標本点から、帯域通過型標本化定理を用いてインターフェログラムの包絡線関数を推定するSEST (Squared Envelope by Sampling Theory) 法を提案し、これを利用し従来比約10倍の高速化を実現した表面形状測定装置について論じている。続く第3章の「白色干渉の高精度化」においては、インターフェログラムの位相を利用し、反射における位相変化が零または無害な対象に対して位相零交差からピーク位置検出を実現するアルゴリズムを提案し、これを導入することにより、約7倍の精度改善を実現している。

第II部の「透明膜計測技術の開発」は2章から構成される。第4章の「透明膜の形状計測」においては、表面に透明薄膜が形成された対象について、重なり合うインターフェログラムの複数のピークを自動的に分離し、それぞれに最適フィッティングを行うことで薄膜の表裏の高さを同時に計測する手法を提案し、その実装結果を報告している。第5章の「独立透明膜の計測」においては、高分子フィルムなどの安定保持が困難な対象に関して、表面の形状計測光学系の一部に透明膜を挿入した際に生じる段差から、その厚さを振動や傾斜によらず計測する手法を提案している。さらに、4章で導入した表裏の高さの分離計測手

法と組み合わせて、屈折率が未知な対象に対して提案手法を拡張している。

第Ⅲ部の「ワンショット干渉計測技術」は 5 章から構成され、1 フレームの撮像のみで三次元形状を計測できる耐振動性の高い三次元形状計測手法について論じている。第 6 章の「局所モデル適合法」においては、従来手法のキャリア縞導入方式において、その水平分解能低下問題を解決するために、局所モデル適合法と名付けた縞画像解析アルゴリズムを提案し、その実装上の諸問題の解決法と、空間解像度の向上効果を実験により確かめている。第 7 章の「2 波長ワンショット法」においては、市販 LED 照明装置とカラーカメラを利用した 2 波長同時撮像系型の白色干渉式三次元計測手法を提案し、その測定レンジの拡大効果を確認している。第 7 章の「3 波長ワンショット法」においては、測定レンジのさらなる拡大のため、カラーカメラの RGB 信号間のクロストーク補正、得られる干渉縞の周波数と位相の推定、3 波長アンラッピング法などの新たな課題解決法を考案し、1mm の段差の測定が可能な 3 波長ワンショット法として実現した。第 9 章の「最適波長選択による測定レンジの拡大」においては、さらなるレンジ拡大のために、実用的な範囲内で最適な 3 波長の組み合わせを数値的に探索し、その結果を用いた設計により、4mm の段差の測定に成功した。第 10 章の「インクジェット方式カラーフィルタの自動膜厚測定装置」においては、開発された 3 波長ワンショット法を利用して、インクジェット方式カラーフィルタの自動膜厚測定装置を実用化した結果について報告している。

第Ⅳ部の「結論」では、第 11 章の「本研究の成果」においてこれまで述べてきた成果を箇条書き形式でまとめ、第 12 章の「今後の課題と将来展望」においては残された課題をまとめるとともに、将来のオンマシン計測やインライン計測に向けて、提案手法と数式モデル化が容易な光干渉計測法のさらなる発展の可能性と展望を論じている。

以上、要するに、本論文は、産業用精密三次元計測における白色干渉法の優位性に着眼し、この実用化のための課題克服を目指して各種の信号処理アルゴリズムやソフトウェア、多波長ワンショット法などの新たなシステム構成を考案し、それを理論的に定式化するとともに、実際に産業の現場に貢献する装置として完成させたもので、本研究で考案され実用性を付与された技術は、今後の計測技術や広く物理現象のイメージング技術の発展に大きな波及効果が期待でき、システム情報工学上の貢献が十分にあると判断される。よって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。