

論文の内容の要旨

論文題目 光干渉に基づく産業用表面形状計測法に関する研究

氏名 北川 克一

ナノメートルからミクロンオーダの表面形状を精度良く測定することは、ナノテク時代を迎え、多くの産業分野において、ますますニーズが高まっている。産業用表面形状計測法としては多くの手法があるが、非接触、広視野、高精度で視野内一括測定が可能な光干渉法は、最も有力な計測手法である。特に、白色干渉法は、測定レンジに位相シフト法のような制限がなく、数百 μm の測定レンジで、ナノメートル・オーダの分解能が得られるという優れた特徴を持つ。

しかし、原理的に優れている白色干渉法であるが、産業界、特にFA用途への適用を考えると、

(1) 測定速度が遅く、位相シフト法に比べ精度が低い

(2) 測定対象表面が透明膜に覆われていると、膜下面からの反射光が外乱になり、正しい表面形状が得られない

(3) 振動などの外乱のある環境下では精度が大きく低下する

という問題がある。

特に、最後の耐振性の問題は、光干渉計測の適用分野を大きく制限していて、FA用途への応用が進まない最大の理由になっている。この問題の解決策として、キャリア縞を導入した一枚の画像から表面形状を求めるワンショット計測法が提案されている。しかし、従来の手法は、水平分解能が低く、測定レンジも狭いという問題があるため、産業界への応用は限定されている。

本論文は、干渉計測における上記の諸問題を解決し、産業界に新たな計測技術を提供することを目的としたもので、具体的には、(1) 白色干渉法の高度化、(2) 透明膜計測技術の開発、(3) ワンショット干渉計測技術、の3部から構成されている。特に、ワンショット干渉計測の研究は、産業界における干渉計測の適用分野を大きく広げることにも貢献するものであり、本論文の中心的な位置を占める。

第I部 白色干渉法の高度化

白色干渉法の高速化のために、SEST法と名付けた新しいピーク位置計算アルゴリズムを提案する。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、輝度波形の復元や包絡線関数の推定ができる。これを利用して従来比約10倍の高速化が可能となった。本研究により、世界最高速の表面形状測定装置を実用化した。

次に、白色干渉法の高精度化のために、WSI法と名付けた新しいピーク位置計算アルゴリズムを提案する。白色干渉の信号処理に位相情報を取り込むことにより、従来比約7倍の精度向上が実現できた。本研究により、市販表面形状測定装置として、世界最高レベルの精度を達成した。

第II部 透明膜計測技術の開発

透明膜に覆われた表面の形状測定を可能にするために、KF法と名付けた厚膜対応アルゴリズム

を提案する．判別分析法を利用した“しきい値”決定法を用いて，2つのピークを分離することにより，表面形状，裏面形状，膜厚分布が同時に測定できる．また，膜の屈折率の推定法を提案する．本研究により，世界初の透明膜対応表面形状測定装置を実用化した．

また，プラスチック・フィルムのような独立透明膜の膜厚分布を測定するために，TF法と名付けた透過干渉法を提案する．試料の傾斜や振動に強く，膜厚分布を一括して測定できる．さらに，独立透明膜や透明板の膜厚と屈折率の分布を同時に測定する方法を提案する．

第Ⅲ部 ワンショット干渉計測技術

キャリア縞導入方式のワンショット計測法において，従来の水平分解能の低下問題を解決するために，局所モデル適合法(LMF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，アルゴリズムの有用性を示す．

次に，測定レンジ問題を解決するために，2波長ワンショット法を提案する．このために，市販LED照明装置とカラーカメラを利用して2波長同時撮像系を実現する．本提案手法により，350nmの段差の測定が可能となった．

測定レンジをさらに拡大するために，3波長ワンショット法を提案する．この実現に必要なRGB信号間のクロストーク補正，周波数推定，3波長アンラッピングなどの課題を解決した．この結果，1 μm の段差の測定が可能となった．

さらなるレンジ拡大のために，3波長の組み合わせの最適化手法を研究し，その結果得られた波長を用いて，4 μm の段差の測定に成功した．また，多波長干渉法で用いられている等価波長法と合致法の特性を考察し，両者の関係を明確にした．

さらに，本研究で開発した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開発した．多波長帯域フィルタや並列演算の採用などにより，測定速度は1視野(140万点)あたり，1.5sと高速であり，防振機構なしで，nmオーダの測定再現性が得られた．また，干渉縞の方向が測定結果にどのような影響を及ぼすかを考察し，最適な縞方向を定める指針を得た．

本研究の成果は，将来のオンマシン計測や，インライン計測への展望を開くもので，産業界における微細形状計測技術の発展に大きく貢献すると考えられる．

以上述べたⅠ～Ⅲ部の研究をまとめると，いずれの研究成果も，そのほとんどが干渉信号処理アルゴリズムの工夫によるものである．今後の計算機性能の向上を考慮すると，他の手法に比べて，数式モデル化が容易な光干渉法の将来性は極めて高く，今後の発展が期待される．