The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	光散乱と波面再生法を用いた微細加工形状計測法に関する研究
Author(s)	田口, 敦清
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44943
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名　田口敦清（たぐち あつし）

博士の専攻分野の名称　博　士（工　学）

学位記番号　第　18688　号

学位授与年月日　平成16年3月25日

学位授与の要件　学位規則第4条第1項該当

工学研究科機械システム工学専攻

学位論文名　**光散乱と波面再生法を用いた微細加工形状計測法に関する研究**

論文審査委員　（主査）
教　授　三好　隆志

（副査）
教　授　花崎　伸作　　教　授　伊東　一良　　教　授　高谷　裕浩

論文内容の要旨

現在の微細三次元加工技術（マイクロマシニング）は、多数の工程が密接に絡み合う、複雑な製造プロセスで行われ、生産効率と信頼性の向上のためには、微細形状の創製過程を機上で実時間監視することにより、加工精度や加工形状寸法を保証する計測技術が望まれている。本論文では、光散乱を用いて物体およびそのスペクトルを測定し、位相回復を適用することにより任意三次元形状のプロファイル計測を可能とする微細三次元形状計測法を提案し、数値シミュレーションと実験によってその有効性を検討している。

第1章では、本研究の背景、および従来の微細形状計測技術と位相回復法の最近の成果を概観し、研究の位置付けを明らかにしている。

第2章では、Fraunhofer 回折の理論的背景を述べている。

第3章では、物体のスペクトル解析および位相回復法に基づく測定原理を示している。

第4章では、微細三次元加工で最も基本的な形状の代表例である、矩形溝形状を対象とした電磁場解析を行い、計測特性の把握と期待される精度の検討を行っている。その結果コヒーレント結像系が有する種々の特性が、回復された位相のプロファイルにも同様に現れることを示している。また、用いる波長に対して物体構造が横方向に大きい場合には、ナノメートルオーダでの寸法評価が可能であることを示している。

第5章では、提案手法を実現する装置構成を考察し、試作装置を構築している。

第6章では、提案手法の実験的な検証として、深さ 44 nm、幅 5 μm の矩形ポケットが周期 10 μm で配列した構造を持つ標準格子を測定試料に用いた測定を行っている。およそ 160 μm の測定領域内で、三次元形状が一様に復元され、水平方向には回折限界分解能（波長 488 nm を用いて 0.89 μm）を達成している。測定寸法は試料公称値と良く一致し、垂直方向の偏差は数ナノメートル以下である。

第7章では、周期性を持たない、より一般的な三次元形状に対する提案手法の有効性を、実験的に検討している。FIB 加工機を用いたマイクロマシニングにより製作された、多数のエッジを含む三次元形状を測定し、測定スペクトルから形状プロファイルを三次元的に再構成することに成功している。結果の解析から見積った垂直分解能は数 10 nm 程度である。また、物体スペクトルの測定精度を向上させることにより、垂直分解能は数ナノメートル程度まで向上可能であることを示している。測定で得られた形状寸法は、他の手法（白色干渉計）で得られた値と良く一致している。

第８章「結論」では、各章で得られた結論をまとめ、本論文の成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

微細三次元加工技術（マイクロマシニング技術）は、工業、経済、社会に大きな波及効果を与える次世代技術として注目されている。創製される微細三次元構造に所望の機能を実現させるためには、高い信頼性を有した形状計測・評価に基づいて加工形状寸法を保証し、設計された形状を高精度に得なければならない。密接に関連した多数の工程が、複雑に絡み合う過程を経るマイクロマシニングに対して、効率的な生産システムの構築を図るには、微細三次元形状の加工プロセスを機上かつ実時間で監視し、加工精度向上へと繋げるインプロセス形状計測・評価技術が必要不可欠となる。現在多くの微細形状計測技術が開発実現されており、形状計測における多様な局面で適用されているが、このような視点から、望まれる微細三次元形状計測法を捉えた研究例はない。本研究では、光散乱（回折）と波面再生法（位相回復）を用いることで、高速かつ、加工環境中の測定ではしばしば問題となる測定外乱に対するロバスト性を有した測定手法を提案し、数値シミュレーションと実験によってその妥当性を検証している。その成果は以下のように要約される。

(1) 高速応答性と、測定外乱に対するロバスト性を有する光散乱現象に基づく形状プロファイル計測法が提案されている。従来型の光散乱法では、測定表面のプロファイルと散乱パターンに統計モデルの仮定を必要とし、モデルから逸脱した任意のプロファイルを得ることは困難である。それに対して、ここで提案されている手法は、数学的に一般性を有した物体のスペクトル解析と、位相回復法を用いることにより任意の三次元構造や自由曲面の復元を可能としている。

(2) 電磁場数値解析を用いた計測特性と精度の検証を行い、波長に比べて、物体の構造が水平方向に十分大きく、垂直方向にそれほど大きくない場合、ナノメートルオーダの絶対精度が期待されることを示している。

(3) 波長 488 nm の可視域レーザを光源とした回折光測定装置を開発し、形状寸法が予め厳密に値付けされた標準格子を測定することで提案手法を検証している。格子表面は深さ 44 nm、幅 5 μm の矩形ポケットが周期 10 μm で配列した構造を持ち、これが直径 160 μm の円形領域内で一様に復元された測定形状を得ている。得られた表面プロファイルは格子の寸法と偏差数ナノメートル以内で一致し、水平方向にはサブマイクロメートルの回折限界分解能が達成されている。

(4) 周期構造をもたない形状を収束イオンビーム加工法によって作製し、その形状を測定することで、任意形状に対する提案手法の有効性を検証している。光強度測定器のダイナミックレンジが有限であることが、測定形状の一般性を制限するが、本論文では実際に実験的に復元された三次元形状を得ている。測定結果の解析から見積もられた垂直分解能は数 10 ナノメートル程度であり、散乱光測定雑音の低減とダイナミックレンジの向上により垂直分解能を向上させることが可能であることを示している。測定された三次元形状の寸法は、白色干渉計で得られた値と良く一致している。

以上のように本論文は、光散乱と波面再生法に基づく新たな微細三次元形状計測法の提案を行い、数値シミュレーションと実験による検証を行った結果を取りまとめたものであり、その成果は微細三次元形状のナノインプロセス計測に適用でき、微細形状加工技術における効率的な生産システムの構築に有効性が見いだされる点で、生産工学・精密計測の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値のあるものと認める。