平成30年度

戦略的基盤技術高度化 · 連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「接触式光ファイバスタイラスにより数µm径(幅)・深さ数百µmの 微小径深穴(深溝)のナノ単位計測を非破壊にて可能にする 世界初の3次元形状測定装置の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和元年5月

(事業実施期間:平成28年度~平成30年度)

担当局 九州経済産業局

補助事業者 公益財団法人 福岡県産業·科学技術振興財団

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
 - (1) 微細三次元形状測定機用スタイラス
 - (2) 微細三次元形状測定機
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 【1. 直径1 μm以下のスタイラス製造技術の開発】
- 【2. 超精密測定装置の試作】
- 【3. 測定装置の性能評価実験】

最終章 全体総括

- 3-1 研究開発成果の総括
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開
- 3-3 その他成果

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

くニーズと目的>

近年、図1のような微細三次元形状を非破壊で精密に測定するニーズが増加している。しかし、 現在は測定可能な装置が無い(本頁下部<従来技術との比較>参照)ため、試料を破壊した上で レーザ顕微鏡や AFM 等で検査を実施している。一方、北九州市立大学(村上准教授)は、極小 径(直径 1 µm 以下)光ファイバスタイラスを用いた微細三次元形状測定機の新機構を考案し ており、本技術を用いれば、目的とする微細三次元形状を、非破壊かつ数 nm の分解能で測定可 能なことを、原理的に確認している。そこで本研究開発では、本原理を実現する装置を開発する ことを目的とする。



(直径 10µm、深さ 100µm穴の測定例)

<従来装置との比較>

図2に従来技術と新技術の比較図を示す。三次元形状を測定可能な従来技術として、①三次元 測定機、②レーザ顕微鏡、③AFM(原子間力顕微鏡)、などが用いられている。しかし、①三 次元測定機では、一般的には直径 300 μm以上のスタイラスしか販売されておらず、直径 10 μm以下の穴に挿入することができないため測定不可能である。また、接触子は球形状のため、 穴側壁の粗さの測定には対応できない。②レーザ顕微鏡では光を用いており、光の一部が穴壁と 干渉するため、穴壁の形状や急斜面の形状などの測定はできない。③AFMでは、先端部はナノ オーダーで鋭利だがスタイラスが円錐状になっており、スタイラスを穴に挿入することができな いため測定不可能である。



図2 従来技術と新技術との比較

※①三次元測定機では金属シャフトの先端に接触子としてサフャイア球等を取り付けたスタイラ スを使用している。スタイラス接触子の小径化を目的とした研究が世界中で実施されているが、 高アスペクト比を対象にした数十 μm以下の接触子を実用化した事例はない。本研究開発では、 スタイラスの材料を合成石英ガラス製光ファイバとすることで、極小径(直径 1 μm 以下)の スタイラスの製作を可能とする(表1参照)。

	本測定機	①三次元測定機	②レーザ顕微鏡	③AFM (原子間力顕微鏡)
接触子直径	〇 (1µm 以下)	× (300µm 以上)	〇 (0.4µm : スポット径)	×(先端部はナノオーダで 鋭利だが円錐状)
穴・溝の測定	0	0	×	×
表面粗さの測定	0	×	0	0
側壁粗さの測定	0	×	×	×
繰り返し精度 (穴・溝の測定)	10 nm 以下 (スタイラス径により異なる)	100 nm 以下	穴・溝の測定不可	穴・溝の測定不可

表1 本測定機と従来技術の比較表

<目標とする商品>

開発する商品イメージを図3に示す。本測定機は、スタイラス、スタイラスシステム、測定機 本体から構成される。プロジェクトリーダーである㈱稲築サイエンスが本測定装置のキーテクノ ロジーであるスタイラス製作に関する研究開発およびプロジェクト管理を行う。また、福岡県工 業技術センターはスタイラス製作における加工(ウェットエッチング)の基礎条件検討等を担当 する。サブプロジェクトリーダーの北九州市立大学はスタイラス、光学系、信号処理、検出系を 含むスタイラスシステム全般の開発を担当し、㈱小坂研究所は測定機本体(移動ステージ含む) および測定用ソフトウェアの開発を担当する。



図3 測定機イメージ図

<本測定装置の新規性等>

本測定装置(新技術)の独創性(新規性)及び優位性のポイントは以下の通りであり、世界初の技術である。

(1) スタイラスシャフトのたわみをレーザを用いて非接触で間接的に検出する新方式のため、

シャフトの弾性による影響がなく、変位スタイラス(高分解能:10 nm 以下)として利用可能 である。また、高アスペクト比の穴、溝、側壁粗さの測定が可能である。更に、低測定力(数 n N以下)で計測可能である。

(2) スタイラスをロッドレンズとして利用することで、スタイラス変位を拡大して検出可能である。

(3) 光ファイバスタイラス成形の微細加工技術は、今までにない高精度のウェットエッチング (φ1 μm 以下の極小径スタイラスの製造)、レーザ加工(スタイラス先端部の球形成および曲 げ加工)技術を要す。

< 今までの取得特許>

本技術は世界初であり、技術的優位性の維持においても、今回提案する手法の測定原理は SL (北九州市立大学 村上洋)が発明した特許(位置測定装置「特許第5500653号」)に基 づいている。

く新技術を実現するために解決すべき研究課題>

(十二)測定計測に係る技術に関する事項
1 測定計測に係る技術において達成すべき高度化目標
(3)川下分野横断的な共通の事項
①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ
ア.高機能化

近年、微細金型、各種ノズル穴、光通信・医療機器、半導体・MEMS・マイクロマシン等の 分野において、立体的で微細な三次元形状部品が増加しており、加工の高精度化・製品の高機能 化のためこれらを精密に測定するニーズが増加している。従来技術では測定が不可能な直径が 10 µm 以下の微小径穴や溝、側壁粗さの測定に対応可能な微細三次元形状測定装置実用化のた めには、スタイラスの小型化・小径化(直径 1 µm 以下)と高機能化(高分解能、低測定力) が必要である。また、以下の川下企業ニーズに対応するためには繰り返し精度が 10 nm 以下の 高精度な測定装置を開発する必要があるという課題がある。

・半導体産業におけるニーズ

半導体チップの内部を垂直に貫通する電極用の微細穴である TSV (図4、直径 10 μm 以下、 深さ 100~500 μm)では、エッチングによる微細穴加工条件や、穴あけ後のめっき条件最適 化のため、その側壁粗さの測定が要求されている。また、ディスプレイ業界では、スマートフォ ンやタブレットのタッチパネルに形成される様々な電極同士を繋ぐコンタクトホール(直径 3 μm・深さ 0.6μm)の内部形状測定も要求されている。

・自動車産業等におけるニーズ

自動車業界からは、燃料の流れに及ぼす影響を定量評価するため、燃料噴射ノズル(直径 80 μmの小径穴の側壁粗さ・形状測定)の微細測定に対する強いニーズがある。また、燃料噴射ノ ズルに類似したものとして、繊維業界から紡糸ノズル(図5、数 μm~数+ μm)の内部形状 測定に対する強いニーズがある。

・MEMS産業におけるニーズ

MEMS 業界からは、インクの流れを最適化するため、インクジェットノズル(直径 30 µm 以下)の内部形状測定ニーズがある。また、ノズル以外にも、微細な三次元構造である MEMS の側壁粗さ・深さ測定ニーズがある。MEMS の代表例としてディープトレンチ(微細な深溝) 構造の SEM(走査型電子顕微鏡)像を図6に示す。経産省 MEMS 分野の技術ロードマップで は、例えば微細溝の測定では、2025 年までに幅 1 μm、深さ数百 μmの側壁の測定が要求さ れている。アメリカの市場調査会社(Roger Grace Associate)によると、マイクロデバイス 関連の市場規模は年成長率 21%が見込まれており、微細形状計測のニーズは、今後一層高まる ことが予想される。



図4 TSVのSEM像 出展:半導體科技HPから引用



図5 紡糸ノズルの写真 出展: 化繊ノズル製作所 HP から引用



図6 MEMS の SEM 像 出展:経済産業省HPから引用

<従来の測定方法と課題>

従来の測定方法では、上述の川下企業ニーズに非破壊で対応することはできない。現状では、 測定対象物を図 4~6 の様に切り出し(破壊)した上で②レーザ顕微鏡や③AFM 等で検査を実施している。切り出し検査(破壊検査)で良好な結果が得られたのと同一条件にて製造を行うこ とになるが、切り出し時に応力がかかり、試料の状態が変わっている可能性もあり、品質管理上 の観点から非破壊・製品状態で測定可能な装置の開発が切望されている。

マイクロ部品の形状・寸法精度の三次元的評価では、微小なスタイラスをいかにして得るかということが、最も重要な要素技術として挙げられる。上述の測定要求(川下企業ニーズ)に対応するためには直径が1 μm 以下の極小径のスタイラスの製造技術およびスタイラスと測定対象面との接触を検知するセンシング技術が必要となる。

<解決策、これまでの研究開発実績>

北九州市立大学(村上准教授)は、極小径(直径 1 μm 以下)光ファイバスタイラスを用い た微細三次元形状測定機の新機構を考案した。測定機の概略図を図7に、測定原理の概念図を図 8に示す。スライラスシャフトに向かって XY それぞれの方向から集束レーザ光を照射する。ス タイラスシャフトを透過した光は、反対側に設置されたそれぞれの方向に対応した 2 分割型 フォトダイオード (PX および PY) で受光する。ここで、スタイラスシャフトはロッドレンズ として利用することで、スタイラスの変位を拡大している。接触子が測定対象面に接触していない状態では、2 分割型フォトダイオード PX および PY の各受光素子での受光量は各々同一強度に保たれているが、接触子が測定対象面に接触し、例えば+X 方向にスタイラスが変位すると図8(スタイラスレーザ照射部 XY 平面断面図)に示すように各受光素子で受光する光強度に差が生じ、接触方向および接触量を検出できる。



図7 微細形状測定装置の概略図



本技術を用いれば、目的とする微細三次元形状を、非破壊かつ数 nm の分解能で測定可能なこ とを、シミュレーションにより原理確認している。更に、実際に原理確認用装置を製作し、 10nm 以下の測定分解能で微細形状の測定が可能であることを確認済みである(図9参照)。図 10に直径 10 µm の微小径穴の SEM(走査型電子顕微鏡)像および原理確認用装置での測定 結果を示す。



図9 原理確認用装置(左図)と、測定分解能(右図) (スタイラス先端の+X方向に3nmステップで変位を与えた際の2分割型フォトダイオード光強度差の変化)



図10 直径10 μmの微小径穴のSEM像(左図)と、原理確認用装置での測定結果(右図)

<微細スタイラス製造の重要性>

原理確認用装置のスタイラスシャフトは、φ125μmの石英ガラスファイバーをウェット エッチングすることで製作した。ウェットエッチング条件は最適化されておらず、成功率は低い が、φ3μmのものまでは製作できた。この先端に市販のφ5μmの石英球を紫外線硬化塗料で 接着させて図7に示したスタイラスを製作したが、成功率は極めて低い。この様に、石英ガラス のナノ加工は技術的難易度が高いが、本研究開発で【1. 直径1 μm 以下のスタイラス製造技 術の開発】 にて詳細に検討し、㈱稲築サイエンスでの事業化を目指す。

前述のようにスタイラスシャフトはロッドレンズとして利用することで、スタイラスの変位を 拡大しているのが本技術のポイントである。このため、スタイラスはレンズとして利用可能な透 明材料である必要があり、今回は合成石英ガラスをスタイラス材料として用いている。合成石英 ガラスは優れた透過性と超高純度な品質を持つ石英ガラスの中でも、最も優れた透過性を持ち、 更に特殊な製法故に取り扱うメーカーも少なく将来に渡り高付加価値性を保てる材質である。こ の合成石英ガラスはOH基による光吸収がなく、紫外・可視・赤外の全域に渡って最高の透過性 を有する画期的な材料である。更に石英ガラスの中でも最高水準で不純物をほとんど含まない超 高純度な材料であることからこれまで半導体産業・光産業をはじめ、様々な先端産業分野で利用 されている。また直接接触での計測を目的とするあらゆる業界に向けても接触による表層の汚染 を最大限に抑えることができるため安心して利用可能な材料である。

<これまでの研究開発の課題>

測定要求(川下企業ニーズ)に対応し、装置として実用化するためには、直径が 1 μm 以下 のスタイラスが必要である。そこで、本測定原理で理論的にどのくらい小径のスタイラスが使用 可能であるか光学シミュレーション(FDTD 法)により解析した。その結果、原理確認用装置 で現在使用している波長 650 nm のレーザでは、スタイラス直径が 1 μm 以下になると感度不 足で測定精度が悪化するが、波長が 375 nm 程度のレーザを使用すると、現在よりも数倍高感 度かつ 0.2 μm 程度のスタイラスシャフトでも使用できる可能性があることが判明した。そこ で、本研究開発においては、経産省 MEMS 分野の技術ロードマップ(幅 1 μmの溝の測定)も 見据え、入手が容易で安価な波長 405 nm のレーザを使用することとし、以下に示す大きく3 つのテーマに関する技術課題を解決することで数 μm 以下の溝や穴を有する微細形状を数 nm の分解能で測定可能な装置の開発が可能になると考える。

<本補助金事業での研究開発のポイント>

1. 直径1 µm以下のスタイラス製造技術の開発

2. 超精密測定装置の試作(スタイラスシステムの開発(レーザ光源および測定範囲の拡大を目的とした光学系の開発、レーザ光軸とスタイラス中心軸の自動位置合わせ機構およびスタイラス 簡易着脱機構の開発)、測定機本体構造の開発(測定中のスタイラスおよび測定対象物の観察方 法の開発))

3. 測定装置の性能評価実験(性能試験および装置有用性の確認実験の実施、計測アルゴリズム およびソフトウェアの開発、フィールドテスト) <研究開発の高度化目標及び技術的目標値>

(十二)測定計測に係る技術に関する事項
1 測定計測に係る技術において達成すべき高度化目標
(3)川下分野横断的な共通の事項
①高度化目標
ア.計測機器の感度上昇

従来技術では測定が不可能な直径が 10 µm 以下の微小径穴や溝、側壁粗さの測定が可能な 微細三次元形状の計測技術開発を目的とし、直径が 1 µm 以下の光ファイバを用いることでスタ イラスの小径化(小型化)を達成するとともに、新たな光学系の開発により従来技術よりも数倍 の測定精度向上が達成可能な装置の開発を目指す。

1-2 研究体制



1-3 成果概要

(1) 微細三次元形状測定機用スタイラス

シャフト径: $\phi O.4 \mu m$ 、先端球: S $\phi 1.2 \mu m$ の光ファイバ製接触式スタイラスを開発した (図11参照)。また、極小のスタイラスだけでなく、各ニーズに合わせたサイズ(シャフト・ 先端球径、長さ)を作製することで、測定効率の向上を実現した。



図11 微細三次元形状測定機用スタイラス

(2) 微細三次元形状測定機

以下の項目を開発することにより、測定分解能:5 nm 以下、繰り返し精度:10 nm 以下を 実現した三次元形状測定機を開発した(図12、図13参照)。

- ・スタイラスの変位を計測するための、低ノイズI/Vコンバータを開発した。
- ・O.1 µm以下でレーザ光軸とスタイラス中心軸を自動位置合わせする機構を開発した。
- ・スタイラス簡易着脱機構の開発および、それによる自動スタイラス交換装置を開発した。
- ・測定中のスタイラス及び直径 10 µm 以下の測定対象物の観察方法を開発した。
- ・三次元形状を高精度に計測可能な計測アルゴリズム及びソフトウェアを開発した。





測定機内部

測定機性能

測定分解能 :5 nm 以下 繰り返し精度:10 nm 以下





計測ソフトウェア

- ・レシピによる測定と解析処理の自動化
- ・管理者レベルによる測定操作などの管理
- ・ 測定装置外へのイベント通知機能

多言語化



図13 計測ソフトウェア概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

所属:公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団 社会システム実証センター

役職・氏名:専門研究員・渡邉 恭弘

Tel: 092-331-8510 Fax: 092-331-8515

E-mail : y-watanabe@ist.or.jp

【総括研究代表者(PL)】 所属:株式会社 稲築サイエンス 本社工場 営業一部 役職・氏名:部長・山本 隆彦 Tel:0948-42-4877 Fax:0948-42-4884 E-mail:yamamoto@inaso.co.jp

【副総括研究代表者(SL)】

所属:公立大学法人 北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科

役職・氏名:准教授・村上 洋

Tel: 093-695-3201 Fax: 093-695-3394

E-mail: murakami@kitakyu-u.ac.jp

【研究等実施機関】

所属:株式会社 小坂研究所 精密機器事業部 役職・氏名:営業部長 兼 取締役執行役員・橘 正己 Tel:03-5812-2011 Fax:03-5812-2015 E-mail:tachibana-m@kosakalab.co.jp

【研究等実施機関】 所属:福岡県工業技術センター 化学繊維研究所 役職・氏名:専門研究員・藤吉 国孝 Tel:092-925-7722 Fax:092-925-7724 E-mail:fujiyoshi@fitc.pref.fukuoka.jp

第2章 本論

【1. 直径1 μm以下のスタイラス製造技術の開発】

【1-1】 スタイラス小径化・先端先鋭化技術の開発

<研究内容>

図14(1)に示すような先端球直径1µmのスタイラス(穴形状測定用)を製作するために はまず、スタイラス(光ファイバを用いて製作)先端部直径d(図15(3))を0.5µm以下 に小径化することが必要である。さらに、図14(2)に示すような先端が曲り鋭利なスタイラ ス(穴壁面粗さ測定用)を製作するためにはさらに先端部半径R(図15(4))を0.1µm以 下に先鋭化させる必要がある。図15に示すようにフッ化水素酸を用いたウェットエッチングに よりスタイラス先端部を前記値に小径化および先鋭化可能であることを確認しているが、成功率 が低く、ウェットエッチング条件に不明な点が多いので実験により明らかにする。目標とする形 状が安定して製作できるようなシステムを構築し、ウェットエッチングの際の先端部浸漬長さや 濃度、時間等の各種加工条件を最適化する。





ウェットエッチング用光ファイバ固定ジグの開発、ウェットエッチング加工条件(先端部浸漬 長さや濃度、時間等)の最適化などを実施し、直径 0.4 µm のスタイラスを達成した。また、先 端半径 0.025 µm の先端部先鋭化を達成した。

【1-2】 CO2 レーザを用いたスタイラス先端球成形および曲げ加工技術の開発

<研究内容>

(1)

測定要求(川下企業ニーズ)に対応し装置として実用化するために、直径が数μm以下のスタ イラスについても同様に加工可能にする必要がある。

側壁粗さ測定用の図 14(2)に示すような先端が曲り鋭利なスタイラスを製作するためには まず、スタイラス先端部を先鋭化(図 15参照)した後、曲げ加工することが必要である。また、 微細穴・溝形状測定用には直径 1 μm 以下の先端球成形技術が必要となる。(これまでは微小球 を接着することで製作していたが直径 3 μm 以下になると接着することは極めて困難となるた め。)

レーザスポットを小径化してエネルギー密度を高め、加工条件を最適化するため、高 NA (numerical aperture;レンズ等の最大受光角の大きさを表す指標、開口数)レンズを用いて これらの課題を解決する。また、光学シミュレーションおよび実験の両面から最適な光学系を設 計する。更に、どの位置にどのくらいの強度のレーザを照射すればどの程度曲げることができる か実験とシミュレーションにより検討する。

<実施内容>

レーザ加工用光学系の構築、加工条件(対物レンズ NA、レーザパワー密度、レーザ走査速度 など)の最適化、などを実施し、先端球径 φ1.2 μm、先端曲げ加工を達成した(図16参照)。



図16 製作したスタイラス例

【1-3】 スタイラス接触子撥水・帯電防止コーティング手法の開発

<研究内容>

ー般に、粒子径が数十μm以下になると、重力よりも、液架橋力、ファン・デル・ワールスカ、 静電気力などの表面間力の影響が強くなる。今回用いるスタイラスの接触子径は数μm であるた め、接触子と測定対象面との距離がある一定の距離以下になると、図 17に示すように接触子が 測定対象面に付着するといった問題が生じる。測定対象面に付着すると引き離す必要があり測定 時間の増大に繋がり、またスキャニング測定する場合には測定精度が悪化する。まずは表面間力 の理論解析を行いその結果を受け付着対策を検討する。具体的には、夏に付着が発生しやすいと 経験的に言われており、測定対象物・スタイラス接触子間での液架橋力(水分が付着)の影響が 大きいと予想していることから、接触子への撥水コーティングを検討する。また、静電力の影響 の懸念されることから、イオナイザ等についても検討する。



図17 表面間力の影響の概念図

<実施内容>

各種撥水コーティング法について調査・選定し、付着カ7割低減を達成し、イオナイザにより OVまで除電できることを確認した。

【2. 超精密測定装置の試作】

【2-1】 レーザ光源および測定範囲の拡大を目的とした光学系の開発

<研究内容>

直径 1 μm 以下のスタイラスに対応した装置とするため、レーザ光源の波長を現状(図9原 理確認用装置)の 650 nm から 405 nm に変更し、最適なレンズ、フォトダイオードなどの 光学系を設計する。また、現状(図9原理確認用装置)は測定対象物とレーザの干渉を避けるた めに測定対象物の寸法に制約があるが(40mm×40mm 以下)、プリズムを用いた光学系を用 いることで測定対象物寸法の制限をなくす(ステージ上に置ける寸法であれば測定可能な)シス テムを開発する。具体的には、微小なプリズムを用いてレーザをスタイラスの斜め下方向から照 射するように改良することで、フォトダイオードをスタイラスのレーザ照射部よりも上方に設置 することが可能になり、測定対象物との干渉を回避できる。

<実施内容>

2 軸対応型多面プリズムの設計、プリズムコーティング膜の検討、光学部品ジグの設計、ス テージの設計・製作、などを実施し、405 nm のレーザ光に適した光学系および、測定対象物 とレーザが干渉しないプリズムを用いた光学系のを設計・製作した。

【2-2】 レーザ光軸とスタイラス中心軸の自動位置合わせ機構およびスタイラス簡易着脱機 構の開発

<研究内容>

レーザ光軸とスタイラス中心軸は周囲環境の温度変化やレーザドリフト(レーザの出力や照射 方向などが時間とともにゆっくりと変化していくこと)などの影響によりずれが生じてくるため、 自動で位置合わせ可能な機構を開発する。具体的には、図 18に示すように、ピエゾ素子と弾性 ひんじを用いた変位拡大機構を組み合わせることで、可動範囲が広く移動分解能が高い自動位置 合わせ機構を開発する。また、円錐状のマグネットジグを用いることで、位置再現性が高く、ス タイラスを容易に交換できるスタイラス簡易着脱機構を開発し、着脱の自動化についても検討す る。



図18 自動位置合わせ機構の概念図

く実施内容>

弾性ひんじを用いた変位拡大機構の設計、ピエゾ素子制御プログラムの開発、などを実施し、 位置再現性:1 μm以下を達成した。

【2-3】 測定中のスタイラスおよび測定対象物の観察方法の開発

<研究内容>

現状測定中の状況は測定対象物の斜め上方から CCD マイクロスコープにより観察しているが、 測定対象物とスタイラスとの位置関係が把握しにくいため、上面および側面の両方から観察可能 な光学系を開発する。図 19に示すように、2方向の斜め上方からカメラで観察し取得した画像 を画像処理することにより、本課題を解決する。



図19 上面及び側面の両方から観察可能な光学系の模式図

<実施内容>

カメラ設置角度の最適化、などを実施し、 φ20μm 穴の観察を達成した(図20参照)。



図20 ϕ 20 μ m 穴の観察例

【3. 測定装置の性能評価実験】

【3-1】 性能試験および装置有用性の確認実験の実施

<研究内容>

装置の有用性を確認するため、直径数μmの小径穴や微細溝などの測定実験を行う。スタイラ スの測定分解能評価、方向依存性評価、繰り返し精度評価、速度依存性評価等を実施する。測定 分解能:5nm、繰り返し精度:10nm、を目標とする。

<実施内容>

感度向上を目的とした各種条件(レーザパワー、対物レンズ NA、照射スポット位置、など) の最適化、ノイズ除去のための信号処理手法の開発、測定用ステージの設計・開発などを実施し、 測定分解能:5 nm 以下、繰り返し精度:10 nm 以下を達成した(図21参照)。



図21 測定分解能、繰り返し精度の評価

【3-2】 計測アルゴリズムおよびソフトウェアの開発、フィールドテスト

<研究内容>

本測定装置の実用化を目的とした研究開発を実施する。測定信号を処理し、三次元形状を効率 的かつ高精度に計測可能な計測アルゴリズムを開発する。また、同アルゴリズムを組み込んだ ユーザーが使用しやすいソフトウェアの開発を行う。開発期間短縮のため、(㈱小坂研究所の商品 である微細形状測定機(ET-4000A)の計測ソフトウェアをベースとした改良を行う。川下 ユーザ企業の協力を得てフィールドテストにより様々な微細形状・材料の測定実験を行い、実用 化に向けた改良点を抽出するとともに、今後の事業化の検討を行う。

<実施内容>

測定信号を処理し、三次元形状を効率的かつ高精度に計測可能な計測アルゴリズムおよびソフ トウェアの開発を行った。

最終章 全体総括

3-1 研究開発成果の総括

本事業により、従来技術では測定不可能だった、直径 10 µm 以下の微小径穴や溝、側壁粗 さの測定が可能になる、微細三次元形状測定機を開発した。

シャフト径: φ0.4 μm、先端球:Sφ1.2 μm の光ファイバスタイラスの製作と、測定分解 能:5 nm 以下、繰り返し精度:10 nm 以下を実現した。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

世界初の測定精度のため、装置の校正法用や評価ツールが存在しておらず、トレーサビリティ の確立のためには校正用ゲージが必要不可欠である。そこで長さ標準にトレーサブルな校正用 ゲージを開発する。

直径数 1 μ m以下のスタイラスが製作可能となったが、生産性向上のために歩留まり改善等を 行う。

複数社と販売に向けて交渉中であり、大学等の研究機関に向けても事業を展開していく。

3-3 その他成果

【2. 超精密測定装置の試作】に関して、特許出願を行った。 特願 2017-040562「表面粗さ測定装置」(㈱小坂研究所、北九州市立大学、法政大学)

微細三次元形状測定機に関して、発表を行った。

- 1) Hiroshi MURAKAMI, Akio KATSUKI, Takao SAJIMA, Development of touch pr obing system using a fiber stylus, Fibers, Vol.4, No.24, pp. 1~13, (2016).
- Hiroshi MURAKAMI, Akio KATSUKI, Takao SAJIMA, Mitsuyoshi FUKUDA, Red uction of Liquid Bridge Force for 3D Microstructure Measurements, Applied Sci ences, Vol.6, No.153, pp. 1~11, (2016).
- 3) Uchiyama K, Murakami H, Katsuki A, Sajima T, Yamamoto T, Nagata R, and Fujiyoshi K, Fabrication of Probe Tips for Nanoscale 3D Metrology
- Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering, USB(full paper in flush memory) (2017)

- 4) Uchiyama K, Murakami H, Katsuki A, Sajima T, Yamamoto T, Nagata R, and Fujiyoshi K, Fabrication of a fiber probe using a CO2 laser for microstructure measurement: High functionality and durability test
- Proceedings of the 8th CIRP Conference on High Performance Cutting (HPC 20 18), 2018, USB(full paper in flush memory) (2018)
- 5)藤吉国孝,永田良介,山本隆彦,内山晃介,村上洋,微細三次元形状測定用極小径光 ファイバスタイラスの製作,福岡県工業技術センター研究報告,No. 28, pp. 8-11(2018)