

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22760099
 研究課題名(和文) 運動誤差測定用3点法マイクロプローブユニットの開発と新調整アルゴリズムの実証
 研究課題名(英文) Development of a micro probe unit for motion error measurement using three-point method and proof of an algorithm for reducing zero-adjustment error
 研究代表者
 清水 浩貴 (SHIMIZU HIROKI)
 九州工業大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：50323043

研究成果の概要(和文)：

ステージの運動誤差測定に用いる、3点の変位を同時に測定可能なMEMSプローブユニットを提案した。製作過程を探針部、変位検出部と電気回路、外形の3つに分け、各プロセスの加工条件を決定した。さらにデバイス全体を作るプロセスの問題点を洗い出し、プロセスの再構築によりこのデバイスを実現する見通しを得た。また、3点法による形状・運動誤差測定法のためのデータ処理プログラムを作成し、精度低下の原因となるセンサの配置誤差の影響をシミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要(英文)：

A MEMS displacement sensor unit for measuring motion errors of stage using three-point method has been proposed. This monolithic sensor with three cantilevers can detect displacement of three points simultaneously. The manufacturing process was divided into three sub-processes: tip fabrication, fabrication of piezo resistor for displacement detection, perforation of outer shape. Suitable condition of each sub process was determined by trial processing experiments. Furthermore, total process for manufacturing the proposed device was redesigned based on these experiments. In addition, a code for processing data with the three point method was programmed and simulations were carried out to calculate the affects of alignment errors of the sensors.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：精密位置決め・加工計測

1. 研究開始当初の背景

工作機械の高精度化手法として、ステージの運動誤差を測定し、その測定結果に基

づきアクチュエータ等を用いて誤差補正を行う方法が採用される。

運動誤差の測定方法としては高精度平

面鏡とレーザー干渉計を用いる手法があるが、コストや加工環境への適応性から汎用の工作機械にそれらを組み込むことは現実的ではない。

また、機械に組み込んだ基準面と変位センサを用いて運動誤差を測定する手法も考えられるが、基準面のコストが問題になる他、組み込みの際の変形のため基準面の高精度が十分に生かされない問題がある。

そのため、工作機械等のステージの運動誤差測定では高精度な基準を必要とせず、安価で耐環境性の高い運動誤差測定法が求められている。

2. 研究の目的

ステージ運動誤差測定は走査形状測定法と表裏一体の関係にあることから、走査形状測定法の精度改善を行えば工作機械の運動誤差測定法の精度向上に直結する。図1に示すようなステージ内蔵型運動誤差測定システムの実現を目指し、本研究課題では次の2つを研究の目的とした。

- (1) 走査形状測定法の一つである3点法による真直形状測定法のデータ処理プログラムを作成し、それに仮想の測定対象形状や誤差を入力して各種の誤差の影響を明らかにする。また、角度情報を加えてゼロ点調整の精度を向上させる手法の有効性も検討する。
- (2) 3点法走査形状測定の精度を向上させるためには、3つの高分解能センサを正確に等間隔に配置する必要がある。そこで半導体製造技術を応用し、3つのカンチレバー式変位センサを一体構造とした高精度運動誤差測定用マイクロプローブユニットの製作法を検討する。

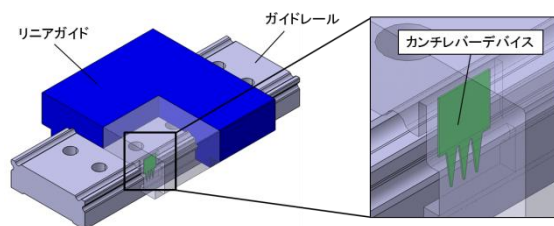


Fig. 1 built-in device for measuring motion errors

3. 研究の方法

- (1) センサ配置における各種アライメント誤差の影響調査及び、ゼロ点誤差調整手法の検証のため、3点法形状計測データと角度センサのデータを処理するプログラムを作成する。
- (2) アライメント誤差およびゼロ点調整誤差を加えた仮想測定データを(1)で作ったプログラムに入力し、それら誤差の影響および、角度情報を用いたゼロ点調整誤差手法の検証を行う。

- (3) 高分解能カンチレバー式変位センサ 3つがシリコン上に並列配置された一体構造のセンサユニットを有限要素法解析を併用して設計する。
- (4) 設計したセンサユニットを
 - ・ 探針部の製作
 - ・ 変位検出部と電気回路の製作
 - ・ 外形形状の切り出し
 の3つのパートに分け、それぞれのプロセス条件出しを行う。
- (5) 全体を統合したデバイス製作プロセスを設計する。

4. 研究成果

- (1) 角度情報を用いたゼロ点調整誤差抑制法を併用可能な3点法形状測定(運動誤差測定)データ処理プログラムを作成した。
- (2) センサ間隔誤差が発生した時の影響を(1)で作成したプログラム上でシミュレートし、センサのミスアライメントが特に形状の低周波成分に大きな測定誤差を生むことを明らかにした。
- (3) 機械加工面の評価に適するものとして、図2に示すように測定点間隔を5mm、測定範囲を100 μm 、探針高さを250 μm としたマルチカンチレバー変位検出デバイスの設計を行った。片持ち梁上に発生する応力が一定となる様に三角梁構造とし、測定範囲に対して3倍の変形が発生しても破損しない様に安全率を考慮して梁の全長は12mmとした。変位の検出には piezo 抵抗体を用いた自己検知型とし、温度補償およびねじれ補償を考慮して4アクティブゲージ法を用いた。また、p型シリコンウエハ上に配置した piezo 抵抗体の感度が最大となるよう、 $\langle 100 \rangle$ 方向に piezo 抵抗体の長手方向を配置する構造とした。

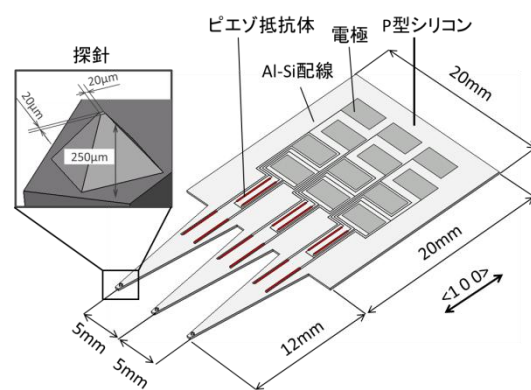


Fig. 2 Design of measuring device

- (4) 高さ250 μm 、先端平面部サイズ20 μm となる探針部を製作するためのプロセス条件出しを行った。マスクサイズを300 μm 、TMAHベースのエッチング液で結晶異方性エッチングを行う事で、ほぼ設計通りの形状である高さ264 μm の稜線が落ちたピラ

ミッド状の探針の製作に成功した(図3).

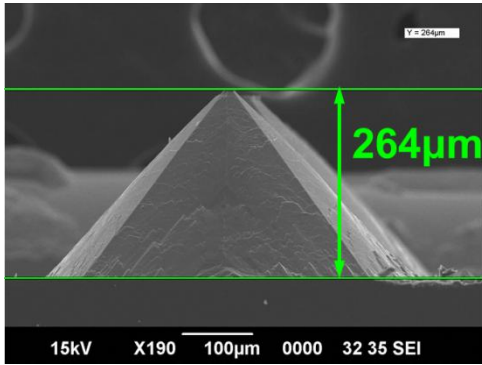


Fig.3 Fabricated probe tip

同時に、長時間のエッチングにともない基板上に多数の微小突起が発生する問題も明らかとなった(図4).

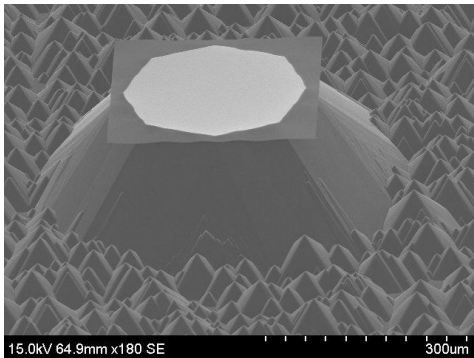
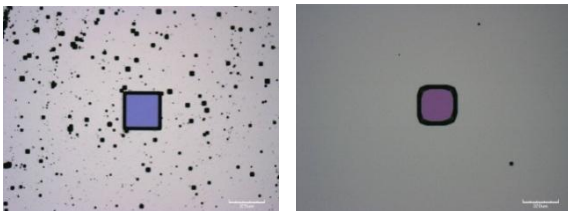


Fig.4 Micro defects on wafer surface

- (5) (4)で述べた微小突起は次のプロセスでの回路製作上の障害となることから、その発生原因の追及を行い、加工を促進するH₂Oの過剰添加がその原因であることをつきとめた。これをもとにエッチング液の組成を見直し、欠陥を大幅に減少できることを示した(図5)。



chemical	volume(ml)	chemical	volume(ml)
TMAH(25%)	200	TMAH(25%)	600
H ₂ O	43	H ₂ O	0
IPA	90	IPA	105

Fig.5 Comparison between old and new composition of the etching fluids

- (6) 変位(ひずみ)検出に用いるピエゾ抵抗体形成のために適切なイオン注入量を試

作により決定し、 1.0×10^{15} ions/cm²のイオン注入条件で先端変位に応じて抵抗値が変化することを確認した。

- (7) Deep-RIEによりデバイス外形を切り出し(図6)、強制押しこみ変位を与える実験で破壊に至る変位量を調べた。その結果、物性値から求めた計算上の破断変位である300 μmの2~3倍の破断耐性を示したことから、製作したデバイスが変位計としての使用に十分耐えることを確認した。

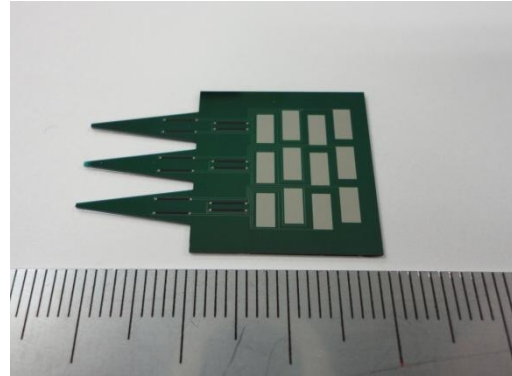


Fig.6 Photo of measuring device without probe tip

- (8) 3つに分けた部分試作プロセスの結果から、全体を統合するデバイス製作プロセスを検討した。その結果、当初予定していた片面加工で探針製作・回路製作・外形切り出しの順で製作するプロセスを見直し、両面加工を前提とし、回路製作・探針製作・外形切り出しの順で加工する新たなプロセス設計を行った。この方法では、先に製作したアルミ配線を溶かさずに探針製作を行う必要があるため、アルミの溶解を防ぎながらSiエッチングを行える可能性を有する林純薬工業製のPure Etch 160, Pure Clean 160A Pure Etch SE 171の3種類の薬液を用いて試験を行った。その結果、Pure Clean 160Aがアルミへの攻撃性や加工後の面粗さの点からすぐれており、これを使用することでデバイスを製作できる可能性があることを明らかにした。これらを基にした新たな探針製作プロセスを以下のa)~1)及び図7に示す。

- a) ウェーハ裏面にアライメントマークを形成する。
- b) 酸化炉により酸化膜を形成する。
- c) 酸化膜をエッチングし表面にアライメントマーク、イオン注入口を形成する。
- d) イオン注入によりピエゾ抵抗体を形成する。
- e) プラズマCVDにより絶縁膜を形成する。
- f) エッチングにより配線と抵抗体の接触口を形成する。
- g) Al-Siをスパッタにより堆積する。

- h) Al-Si をエッチングし配線を形成する.
- i) 裏面をエッチングし探針用の保護膜を形成する.
- j) Pure Etch160 を用いて配線を溶かさず探針を形成する.
- k) Deep-RIE を用いて外形を切り抜く.
- l) 保護膜を除去し完成.

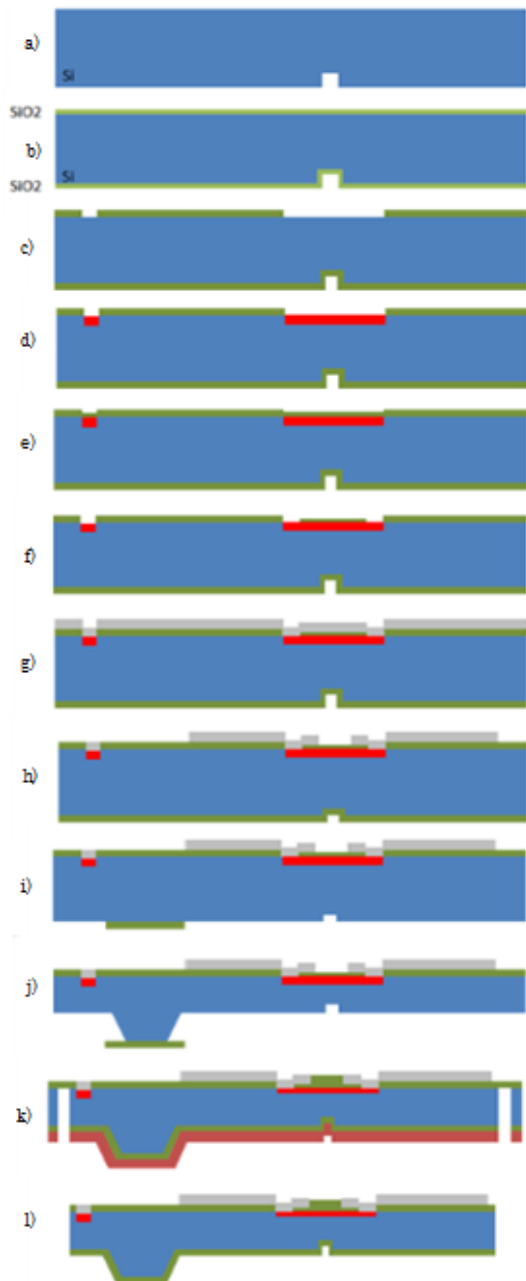


Fig.7 Improved process for manufacturing the measuring device

今後はこの新たなプロセスに基づき高精度運動誤差測定デバイスを試作し、さらに平面度測定デバイスに発展させる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 水頭正一郎, 清水浩貴, 田丸雄摩, MEMS 技術を応用した多点法走査形状測定用マルチカンチレバーの開発 (第 3 報 ピエゾ抵抗体の試作と製作プロセスの統合), 2012 年度精密工学会秋季大会, 2012 年 9 月 10 日, 九州工業大学 (福岡)
- ② 柳原慎也, 水頭正一郎, 清水浩貴, 田丸雄摩, 馬場昭好, MEMS 技術を応用した多点法走査形状測定用マルチカンチレバーの開発 (第 2 報 マルチカンチレバーデバイスの基本設計と試作), 2012 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2012 年 3 月 14 日, 首都大学東京 (東京)
- ③ 秋好崇宏, 清水浩貴, 田丸雄摩, MEMS 技術を応用した多点法走査形状測定用マルチカンチレバーの開発 (センサ間隔誤差の影響シミュレーションとマルチカンチレバーの基本設計), 2011 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2011 年 3 月 14 日 (震災により当日講演中止), 東洋大学 (東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 浩貴 (SHIMIZU HIROKI)
九州工業大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 50323043

(4) 研究協力者

田丸 雄摩 (TAMARU YUUMA)
九州工業大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 30284590
研究協力者
馬場 昭好 (BABA AKIYOSHI)
九州工業大学・マイクロ化総合技術センター・准教授
研究者番号: 80304872
研究協力者
竹内 修三 (TAKEUCHI SHUUZOU)
北九州学術推進機構 (FAIS)・半導体技術センター・主任研究員