

特集 8
研究速報

バイブロスキャニング法による細穴内部形状測定 (第3報)

—ツインプローブ式バイブロスキャニング法の開発—

Dimensional Measurement of Small Holes by Vibroscanning Method (3rd Report)

—Development of Twin-Probe Vibroscanning Method—

金 範 俊*・増 沢 隆 久*・藤 野 正 俊*

Beomjoon KIM, Takahisa MASUZAWA and Masatoshi FUJINO

直径0.5 mm以下の細穴でも内部形状を測定できる方法としてバイブロスキャニング法(以下VS法とする)が開発された¹⁾。この測定方法は測定対象が導電体に限られていたため、不導体の細穴の測定にも適用することができる新しい形のツインプローブ式VS法を開発した。本研究では、マクロモデルのツインプローブで、測定物の材料には関係なく、簡単に穴の形状が測れることを確認した。適用性の確認と共にプローブの駆動の周波数、波形等を変えて精度にどのような影響を与えるのか特性を調べた。

1. はじめに

最近、半導体製作技術のみならず、様々なマイクロ加工技術が注目を浴びており、微細形状測定の必要性が高まっている。前報までに、直径0.5 mm以下の細穴の内部形状を測定するため、電気的接触信号で形状を測れるVS法が開発され、高速度化に成功した^{1), 2)}。

しかし、VS法による測定法のひとつの問題点として、測定対象が導電体に限定される点があった。

本報では、従来のVS法のプローブと違ったスイッチ式のツインプローブを考え、測定物の材料には関係なく、プローブと測定物の接触を電気信号として検出し、不導体の穴でも測れることに成功したので報告する。

2. 従来のVS法とツインプローブ式VS法

2.1 VS法の基本原理

図1に示すように、数 μm の振幅で振動するプローブと穴の内壁面の接触を電気的に検知し、そのプローブと測定物の接触・非接触のデューティ比(接触時間/プローブの振動の周期、以下DFとする)により、プローブ-表面間の距離を計算して表面形状を求める方法がVS法である。

2.2 ツインプローブ式VS法

不導体の場合は、プローブと測定対象の間に電流が流れないため、そのままVS法を測定に用いることができない。したがって、導電性が悪い材料の細穴を測定するには、スパッタリングで細穴内部側面に金属薄膜をコーティングするなどの表面処理などが必要である。

上記で述べた問題点を解決するために、プローブ自体がスイッチを持つツインプローブによる方法を提案する³⁾。

図2にツインプローブ式VS法の計測システムの原理を、試作した先端幅1 mmのマクロモデルを例にとり示す。絶縁体(ベークライト)のホルダーの溝にワイヤ放電加工で作った導電体(SUS304)の二つのエレメントを入れ固定した。各エレメント間に電圧Eを加えておく。ツインプローブにはホルダーを介し、加振器によりX軸方向に微小振幅(約 $4\mu\text{m}$)の振動を与える。エレメントの一方が測定面に接触すると、弾性変形により他方のエレメントと接触する。

これにより、ツインプローブと被測定面の接触を間接的

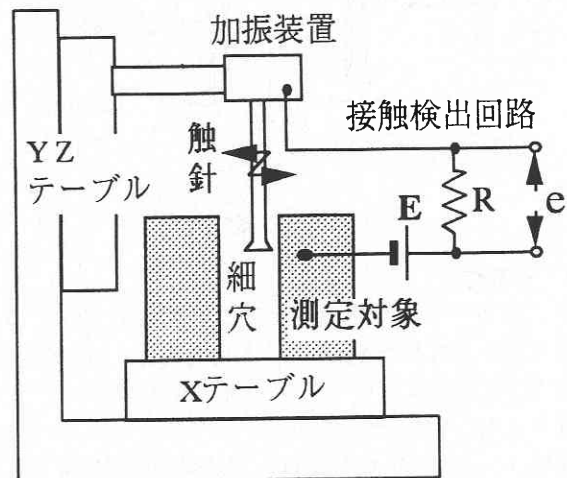


図1 従来のVS法の概念図

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

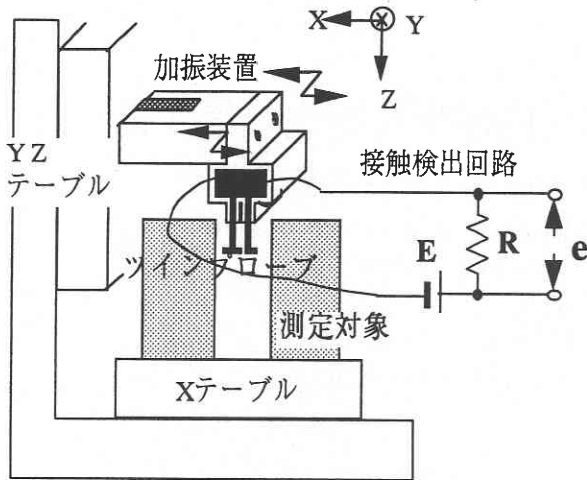


図2 ツインプローブ式VS法の測定原理

に電氣的 ON, OFF 信号として取り出すことができる。この接触電気信号を得るために、ツインプローブ先端の間の距離（ギャップ）が重要である。振動振幅が $4\ \mu\text{m}$ なのでエレメントに過大なためみを与えないため、ギャップは小さいほど良い。今回は図3に示したように、ベークライトのホルダーに付けてあるねじを締めて、ギャップを $10\ \mu\text{m}$ 程度に調節した。

ねじを締める前、各エレメントをホルダーに入れたままの状態では、ギャップは $100\ \mu\text{m}$ である。

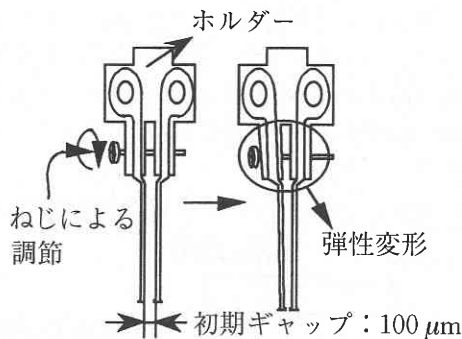


図4 プローブ移動量とデューティ比の関係

3. 測定実験

3.1 予備実験

ツインプローブ式VS法が実際に不導体の穴測定に適用できることを確かめるために、基礎的特性を調べた。VS法において重要なプローブのX軸方向の移動量とDFの関係を求める実験を行った。

振幅 $4\ \mu\text{m}$ 、三角波の $100\ \text{Hz}$ で加振されているツインプローブ（1次モード共振周波数実測値：約 $0.95\ \text{kHz}$ ）

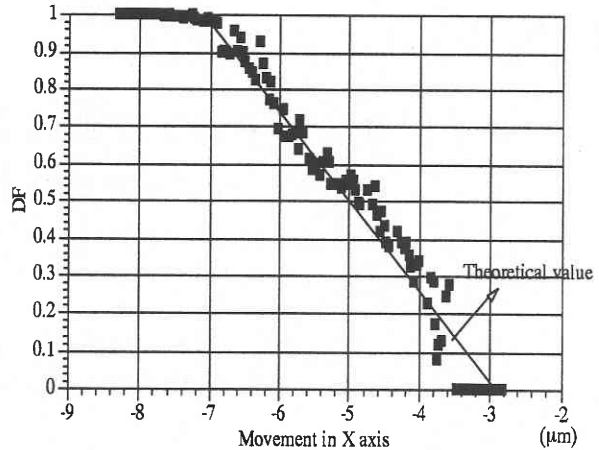


図3 ツインプローブGapの調節

を、平面の測定物に近付けながら（X軸方向に $0.02\ \mu\text{m}$ ずつ）、プローブの位置とDFを測定した。測定結果を図4に示す。図中に実線で理論曲線を示してある。

この結果によれば、DFが小さい部分での理論値からのずれが大きくなっているが、およそ $0.5\ \mu\text{m}$ 以内である。DFが小さいときには測定力も小さいので、エレメント間の接触が不安定であると考えられる。これにより、ツインプローブ式VS法で測定が可能であることがおむね確認できた。

3.2 測定実験

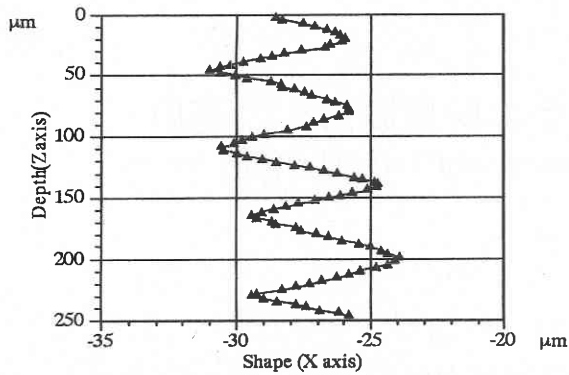
実際に、測定の精度の検証として、JIS B0659表面粗さ標準片（ $R_{\text{max}}\ 6.3\ \mu\text{m}$ ）を測定した。振動周波数 $100\ \text{Hz}$ 、三角波の振幅 $4\ \mu\text{m}$ でツインプローブを振動させながら、Z軸の $500\ \mu\text{m}$ にわたり $2.5\ \mu\text{m}$ 間隔で、片面の測定を行った。得られた結果を、図5[A]に示す。図5[B]には、従来のVS法の原理と触針で同一部分を測定した結果を示す。これをみると、従来のVS法で得た結果より安定に測定されることがわかる。

3.3 測定信頼性の向上

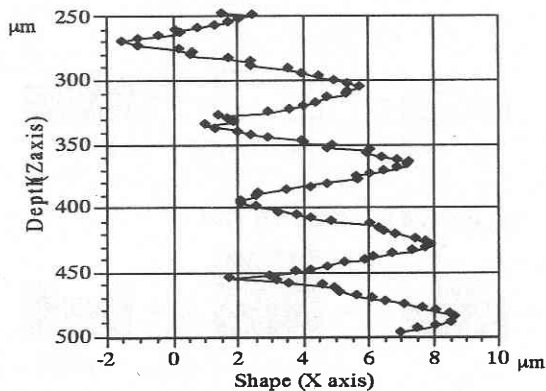
もっと安定し正確な電氣的接触信号をツインプローブより取るため、各エレメント先端の接触面の部位にクロム（Cr） $15\ \text{nm}$ と、金（Au） $130\ \text{nm}$ の皮膜を順に蒸着した。ステンレスで作ったマクロモデルのツインプローブは、材料的に表面が酸化しやすいし、電気抵抗が大きいので、金の蒸着されたツインプローブにより測定信頼性の向上が期待できる。

このプローブを用いて、表面粗さ標準片の片面を長さ $500\ \mu\text{m}$ にわたり $2.5\ \mu\text{m}$ 間隔で（全部200点）測定を行った。

駆動周波数と波形が測定信頼性に与える影響を調べるため、振動周波数 $200\ \text{Hz}$ 、 $500\ \text{Hz}$ 各々に、三角波と正弦波



[A] ツインプローブによる測定結果



[B] 従来方式による測定結果

図5 ツインプローブ式と従来のVS法で測定した表面粗さの比較

形の振幅 $2.5\mu\text{m}$ でプローブを振動させながら、同じ場所でそれぞれ5回の測定を行った。そして、200点の位置におけるそれぞれの測定値の標準偏差を計算し、その分布を図6に示した。

図からわかるように、200 Hzの正弦波では測定値ばらつき標準偏差がおよそ $0.7\mu\text{m}$ 以下であることがわかった。500 Hzの三角波の場合は、装置の一部が加振波形に含まれる高周波成分により共振したため、このマクロモデルのツインプローブでは使用不能に近い状態であった。

各条件での実験で、一定方向に毎回およそ $2\mu\text{m}$ ずつのドリフトが発生した。この理由はプローブホルダーでのギャップ調節で起こる内部応力と周囲温度の影響であると考えられる。図6では各測定値のドリフトを補正して示した。

4. ま と め

不導体材料の測定物にも適用できるツインプローブ式

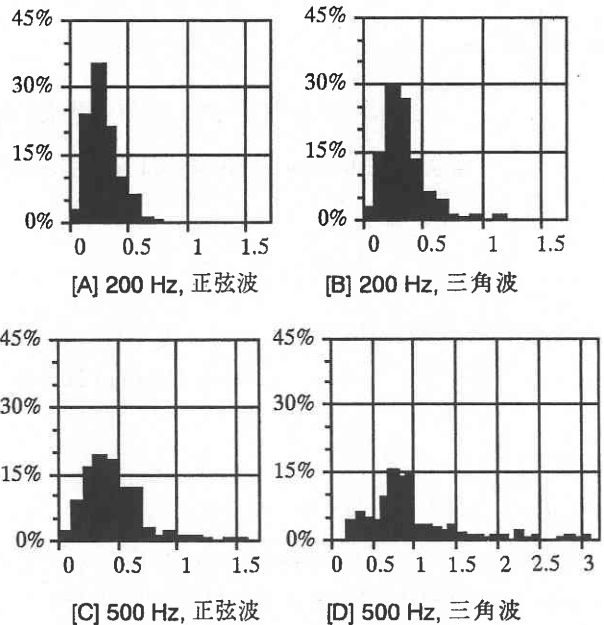


図6 各条件測定値の標準偏差のヒストグラム

VS法を開発した。プローブと測定面との接触信号を用いる原理は同じだが、測定物の材料などには関係なく、二つのエレメントの弾性変形によって、電気接触信号が得られ、従来のVS法と同程度以上の高精度で測定できることを確認した。

各エレメントの先端接触面に金蒸着して測定信頼性が高くなるのが明らかになった。マクロモデルの場合は、周波数200 Hzの $2.5\mu\text{m}$ の振幅で最も安定に測定できた。

今後、さらに小さいツインプローブを用いて、直径 0.5mm 以下の不導体細穴を測定する予定である。

(1996年1月22日受理)

参 考 文 献

- 1) 増沢隆久, 濱崎幸夫, 藤野正俊: バイプロスキヤニング法による細穴内部形状測定, 生産研究, 45, 6 (1993), p.374~378.
- 2) 増沢隆久, 澤本嘉正, 藤野正俊: バイプロスキヤニング法による細穴内部形状測定 (第2報), デジタル式デュレティサイクル測定による高速化, 生産研究, 46, 7 (1994), p. 380~383.
- 3) 増沢隆久, 金 範峻, 藤野正俊: ツインプローブ式バイプロスキヤニング法の開発 (第一報) —マクロモデルによる適用性の確認, 精密工学会 '95秋季大会講演論文集, (1995) p. 291~292.