

## オンサイト型ナノインデント用XYステージの開発

荻野重人\*<sup>1</sup> 田中智大\*<sup>1</sup>

### Development of XY stage for on-site type NanoIndenter

OGINO Shigeto\*<sup>1</sup>, TANAKA Tomohiro\*<sup>1</sup>

抄録

従来からの手動式位置決めステージの10倍以上の分解能を持つステージの開発を試みた。弾性体（ばね）を用いた簡単な仕組みのステージを試作し、静電容量型変位計を用いて分解能試験・負荷状態（200g）ストローク試験をおこなった。結果は分解能0.05 $\mu\text{m}$ 、ストローク45 $\mu\text{m}$ 、負荷状態でも無負荷と同一の動作をおこなうことができた。また、この試作ステージをナノインデント（フィッシャー・インストルメンツ製HM2000）に搭載し、圧子の押込位置の精密位置決めをおこなった。結果は、ねらいどおり2 $\mu\text{m}$ 間隔で圧痕を残すことができた。

キーワード：精密位置決め，ステージ，弾性体，ナノインデント

### 1 はじめに

精密位置決め技術は、工作機械・測定機・半導体製造装置等になくなくてはならないものであり、我が国のものづくりを根底から支えている技術である。その中でも、我が国の超精密位置決め技術は世界をリードしており、「技術立国日本」の牽引役となっている<sup>1)</sup>。

精密位置決め方式は、電磁モータと送りねじ、電磁式のリニアモータ、 piezo素子を用いたインチワーム機構<sup>2),3)</sup>、超磁歪素子<sup>4)</sup>や変位拡大機構<sup>5)</sup>を用いたものなど、様々存在するが、もっともオーソドックスで使用頻度の高いものとして、手動式ステージが上げられる。手動式ステージは通常、マイクロメータヘッドとスライドステージにより構成されていて、マイクロメータヘッドの1目盛りで10 $\mu\text{m}$ の送りが可能である。また、工業製品の微細化・微小化の流れを受け手動式ステージにおいても高分解能が望まれていて、手動式ステー

ジメーカーも分解能 1 $\mu\text{m}$  程の微小送りバージョンをラインナップしている。

しかし、近年の更なる微細化・微小化の流れにより、この微小送りバージョンのステージ以上の分解能が望まれている。本研究の表題にもあるナノインデント用途もその一つである。ナノインデントとは、超微小硬さ測定のこと、圧子の押込を極小にすることにより下地の影響を受けずに薄膜等のみの硬さを測定することができる装置である。その測定対象の一つが半導体である。半導体プロセスはますます微細化の方向にあり、その半導体の「あるポイントの硬さ測定をおこないたい」というニーズがある。この位置決めは顕微鏡下で行うため、電動式のステージよりも手動式ステージの方がハンドリングがよい。

そこで、従来の手動式ステージよりも高分解能な新方式のステージを開発し、ナノインデントに適用する。目標は、従来機に比べ10倍以上分解能の高い0.05 $\mu\text{m}$ に設定した。

\*<sup>1</sup> 技術支援室 電気・電子担当

\*<sup>2</sup> 技術支援室 (現 産業支援課)

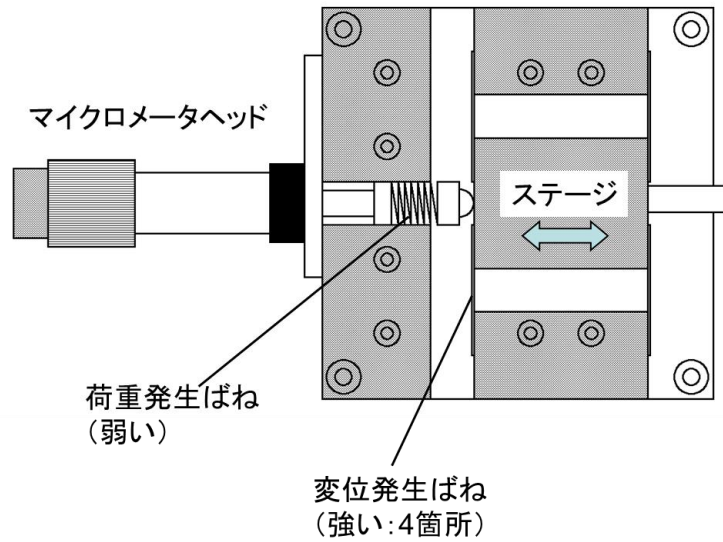


図1 弾性体 (ばね) ステージ

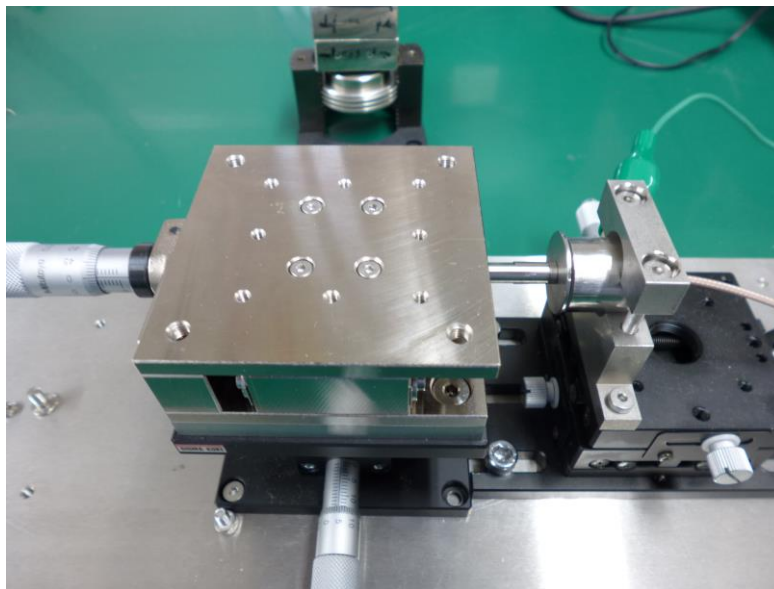


図2 変位量計測方法

## 2 実験方法

### 2.1 分解能試験

図1にステージの概要を示す。

4つの板ばねによりベース部に固定されていて、そのステージとマイクロメータヘッドの間に圧縮ばねが設置されている。この時の圧縮ばね（第一弾性体）と板ばね（第二弾性体）のばね定数の大きさは「第一弾性体<第二弾性体」であり、その比は200倍である。このような構成にす

ることにより、第一弾性体をマイクロメータヘッドで圧縮して弾性力を発生させても、第二弾性体はわずかな変位量となる。ばねの発生する弾性力は、ばね定数と圧縮変位量の積で求められるので、第二圧縮ばねと第一圧縮ばねの弾性力が釣り合っている状態では、第一圧縮ばねがマイクロメータヘッドにより押し込まれた変位量に対し、第二板ばねは約1/200の変位量だけ第一圧縮ばねにより押し込まれる。この仕組みにより、微小な変

位制御が可能になる<sup>9)</sup>。

図2は、試作したステージとその変位を計測する構成である。変位出力部に静電容量型変位センサ用ターゲットを取り付け、変位を静電容量型変位センサ（株式会社メステック社製 TRA2025-2K-V1 分解能：20nm）により読み取った。

図2のステージのマイクロメータヘッドを1目盛り（10 $\mu$ m）送る。そのとき静電容量型変位センサにより得られた変位データ取りを行い、データのステップが読み取れるかを確認した。

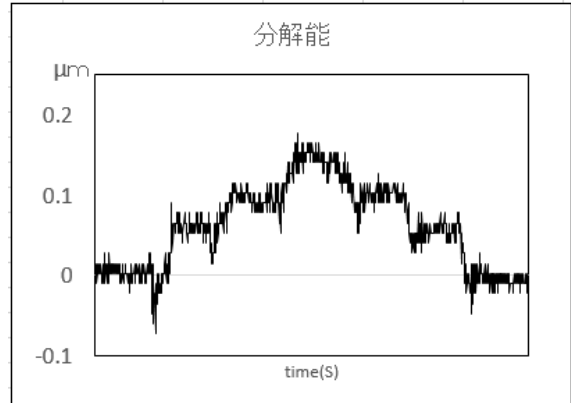


図3 分解能

## 2.2 無負荷および負荷状態の動作

図2のステージを無負荷およびステージ上に負荷（200g）を載せた状態、それぞれについてフルストローク動作させ両者の変位データの比較を行った。

## 2.3 ナノインデンター搭載による実証試験

フィッシャー・インストルメンツ HM2000 に図2のステージを搭載し、圧子押込位置の精密位置決めをおこないナノインデンテーション試験をおこなった。

押込位置は、2 $\mu$ m ずつずらしながら3回おこなった。

測定試料は SUS303、圧子押込荷重は 90mN で試験をおこなった。

## 3 結果及び考察

### 3.1 分解能試験

結果を図3に示す。0.05 $\mu$ m のステップを読み取ることが可能であった。ただし主だったところで、①マイクロメータ送り誤差、②静電容量型変位センサの温度ドリフト③本ステージの動作誤差④マイクロメータのバックラッシュの四点の影響を受けた波形となっていると考えられる。そのため、厳密に正確なステップとはなっていない。

ばねは所定の変形範囲内で線形性が保障されているので、原因として、③は考えにくく、①②④が要因としてかなりの割合を占めると考えられる。

## 3.2 無負荷および負荷状態の動作

結果は、図4のとおり。無負荷および負荷状態のいずれの状態でも、変位特性に違いはなかった。また、本ステージのフルストロークは図4のとおり 45 $\mu$ m であった。マイクロメータの送りが9mm、ステージの動作ストロークが 45 $\mu$ m となり両者の比は、200:1 となっている。よって、マイクロメータの1目盛りの送りは 10 $\mu$ m なので、10/200=0.05 $\mu$ m となる。マイクロメータの1目盛り送りによるステージの動作は、0.05 $\mu$ m と設計どおりとなった。

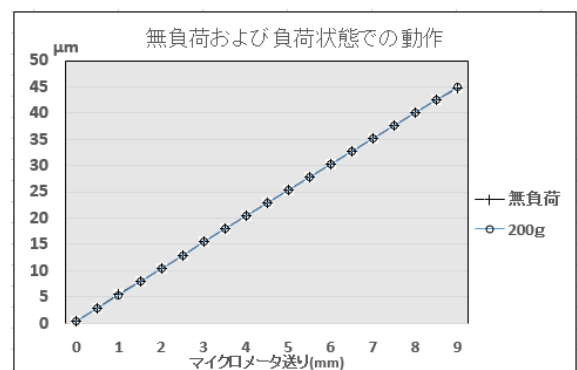


図4 無負荷および負荷状態での動作

## 3.3 ナノインデンター搭載による実証試験

圧痕位置の結果を図5に示す。ねらいどおり2 $\mu$ m 間隔で圧痕が観られる。また、そのときのナノインデンテーション試験結果を図6に示す。本ステージの影響もなく、再現性よく試験できている。

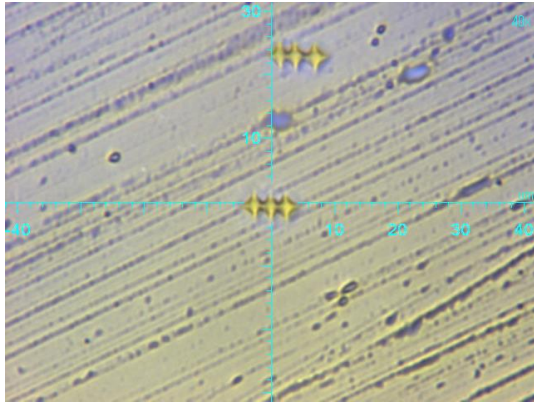


図5 圧子押込試験

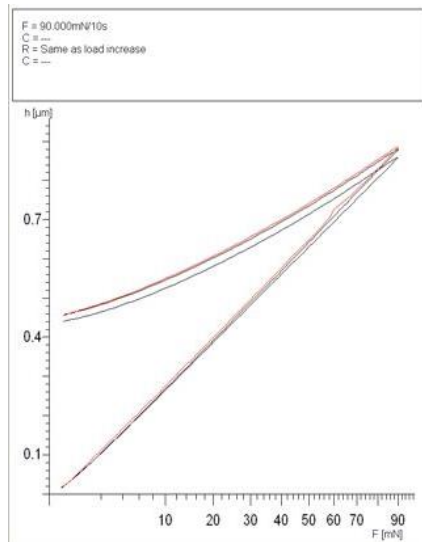


図6 押込試験結果

- 4) 荻野重人, 宇野彰一: 超磁歪素子の伸縮制御装置, 特許 4102655
- 5) 荻野重人: 変位拡大装置, 特許 5256414
- 6) 荻野重人: オンサイト型ナノインデンター用 XY ステージの開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **12**, (2014)

#### 4 まとめ

- (1) 分解能:  $0.05\mu\text{m}$
- (2) ストローク:  $45\mu\text{m}$
- (3) 負荷  $200\text{g}$  でも問題がなかった。
- (4) ナノインデンテーション試験において、精密位置決めが可能であった。

#### 参考文献

- 1) 荻野重人, 浅海暁: ピエゾ素子を用いた高推力リニアモータの開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **10**, (2012)
- 2) (社)精密工学会 超精密位置決め専門委員会: 次世代精密位置決め技術, 株式会社フジテクノシステム, (2000)368
- 3) 荻野重人: アクチュエータ, 特開 2014-193015