

## オンサイト型ナノインデントー用XYステージの開発

荻野重人\*

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

OGINO Shigeto\*

抄録

従来からの手動式位置決めステージ（以下、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。超磁歪素子を用いた位置決め装置（以下、超磁歪素子ステージ）と弾性体（ばね）を用いた位置決め装置（以下、弾性体ステージ）の2通りの方式の試作機を製作し、両者の性能比較を行った。結果は、分解能では超磁歪素子ステージが優れていたが、ストローク・コスト・線形性で弾性体ステージの方が優れていた。

キーワード：精密位置決め，ステージ，弾性体，超磁歪素子

#### 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など、様々存在する<sup>2)</sup>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 $\mu$ 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 $\mu$ 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ー用途もその一つである。ナノインデントーとは、超微小硬さ測定のこと、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行いたい」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、ナノインデントーに適用をはかる。そして、その他のニーズにも広く適用をはかれるように開発を行っていく。目標は、従来機に比べ10倍以上分解能の高い0.05 $\mu$ mに設定した。

\* 技術支援室 電気・電子技術担当

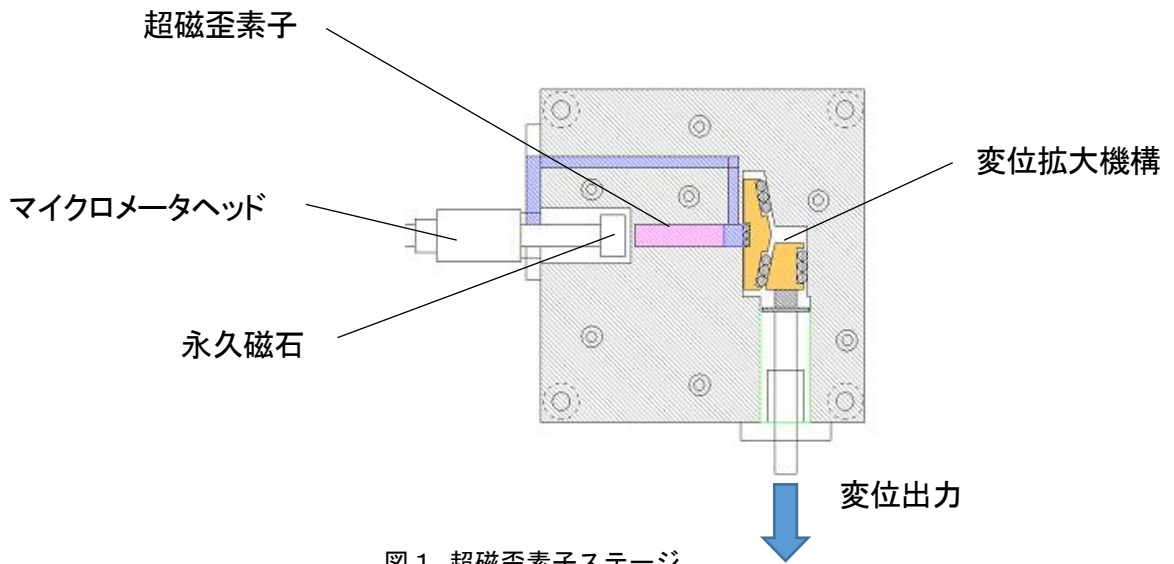


図1 超磁歪素子ステージ

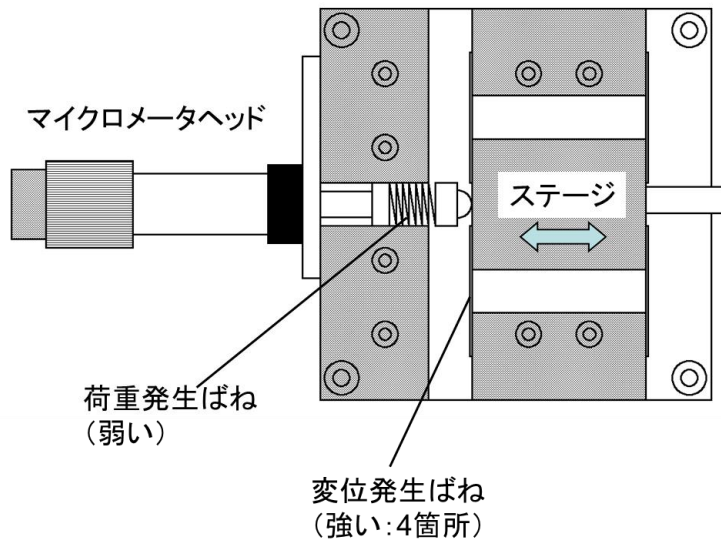


図2 弾性体 (ばね) ステージ

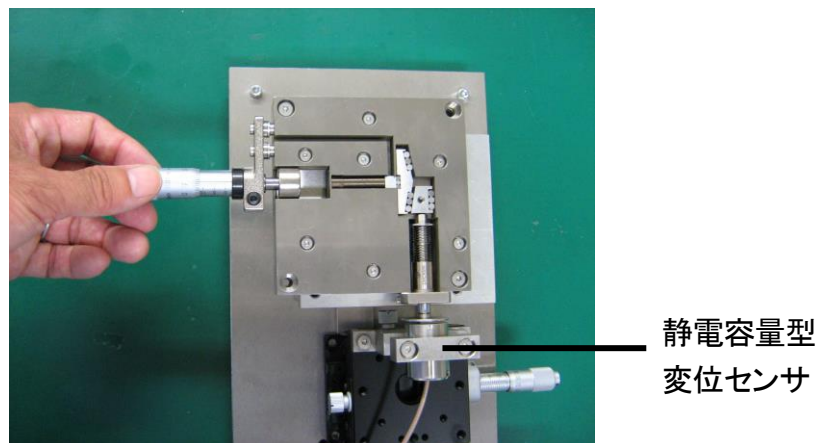


図3 変位量計測方法

## 2 実験方法

### 2.1 分解能試験

図1、図2に試作したステージを示す。図1は超磁歪素子ステージ<sup>3), 4), 5)</sup>、図2は弾性体ステージである。

図1のステージは、マイクロメータヘッドにより永久磁石と超磁歪素子との相対距離をコントロールすることで超磁歪素子の伸縮を制御する。また、超磁歪素子の変位量は  $20\mu\text{m}$  程と小さいのでくさび式変位拡大機構<sup>4)</sup>を用いて変位拡大を行う。

図2のステージ部は、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：図中の荷重発生ばね）と板ばね（第二弾性体：図中の変位発生ばね）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100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  $1/100$  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。

図3は、ステージ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、その変位を静電容量型変位センサにより読み取る。静電容量型変位センサは、株式会社メステック社製 TRA2025-2K-V1 を用いた。

図1、図2のステージ、それぞれのマイクロメータヘッドの微小送りをステップ状に行い、そのとき静電容量型変位センサにより得られた変位のデータを取り、ステップが読み取れるかを確認した。

### 2.2 ストロークの測定

図1、図2のステージの最大ストローク量を測定した。図3の状態、マイクロメータヘッドをフルストローク動作させ、その時の変位出力量を測定した。

## 3 結果及び考察

### 3.1 分解能試験

超磁歪素子ステージの結果を図4に示す。 $0.1\mu\text{m}$  のステップが問題なく見て取れる。 $0.1\mu\text{m}$  ステップのためのマイクロメータヘッド動作には余裕があり、約10目盛りの送り量であった。このことから、分解能は  $0.01\mu\text{m}$  はあると思われるが、使用した静電容量型変位センサの分解能が  $0.02\mu\text{m}$  なので、確認はできなかった。

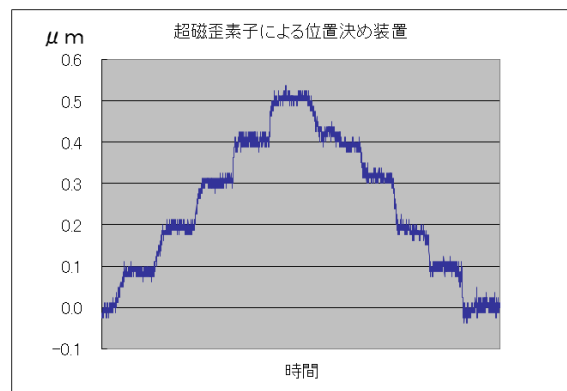


図4 超磁歪素子ステージの分解能

弾性体ステージの結果を図5に示す。こちらも約  $0.1\mu\text{m}$  のステップは問題なく見て取れる。しかし、変位増加方向では上向きの突入変位が、変位減少方向では下向きの突入変位が見受けられる。

マイクロメータヘッドの出力ロッドは、ねじり力の発生しない直線動作するものを用いているが、わずかに機構的クリアランスが存在する。この機構的クリアランスにより、第一圧縮ばねがマイクロメータヘッドによりわずかにねじり力を加えられると考えられる。このことにより、ばね長が実質的に長くなり、ねじり力が加えられている間、変位量は大きくなり、ねじり力が解消されるとその分の変位量が消滅する。また反対に、変位

減少方向ではねじり力によりばねの長さが短くなり、下向きの突入変位が発生するのだと思われる。

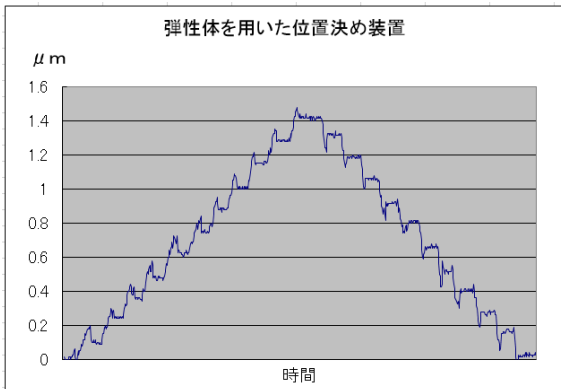


図5 弾性体ステージの分解能

### 3.2 ストロークの測定

結果は、図6、図7のとおり。超磁歪素子ステージは 87 $\mu\text{m}$ 、弾性体ステージは 117 $\mu\text{m}$  となった。

超磁歪素子ステージのストロークを増やすためには、永久磁石を移動させるマイクロメータヘッドのストロークを現試作機より大きくする必要があり。これにより、十分に消磁させることができ伸縮量が大きくなる。しかし、これを行うと装置自体が大きくなりすぎてしまう欠点が出てくる。また、図6のようにヒステリシス及び非線形性が認められ、用途が限定されるおそれがある。

弾性体ステージの図7では線形性が悪く見えるが、横軸が時間で手動操作に時間的ばらつきがあるためである。線形性としてはステップの階段の高さが均一であればよく、図7では高さが一定である。また、ばねは性能として線形性が保障されているので、理論的には線形動作となる。ストロークは 117 $\mu\text{m}$  であったが、マイクロメータヘッドのストロークが 10mm 程のものを用いていたためであり、ストロークの長いものを用いれば、確実にストロークを増やすことができる。

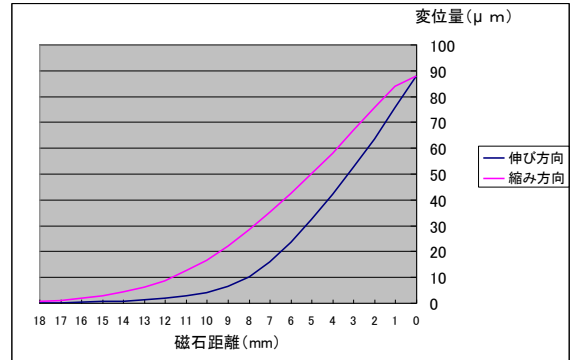


図6 超磁歪素子ステージのストローク

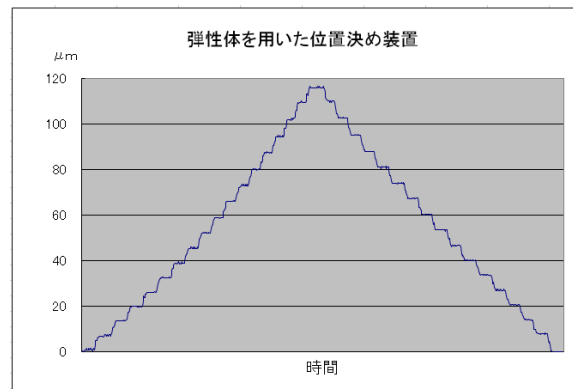


図7 弾性体ステージのストローク

## 4 まとめ

2方式の性能試験等結果を表1にまとめる。

表1 性能試験結果

方式	超磁歪素子	弾性体
分解能	◎ (0.01 $\mu\text{m}$ )	△ (0.1 $\mu\text{m}$ )
ストローク	△ (87 $\mu\text{m}$ )	○ (117 $\mu\text{m}$ )
コスト	×	○
線形性	×	○

超磁歪素子ステージは、超磁歪素子自体が高価でありステージの低価格化が難しく、ヒステリシス・線形性の問題もある。これら3点は改善が見込めないため、この方式の採用は見送ることとした。

一方、弾性体ステージは、それぞれの項目のバランスがよい。分解能に関しても、目標値まではあと2倍でよく、圧縮ばねと板ばねの組み合わせの検討でクリアできる見込みがある。

弾性体ステージの今後の課題の一つとして、突

入変位動作が上げられる。原因究明の手始めとして、圧縮ばねとマイクロメータヘッドとの接触面の摺動性をよくすることでの改善を試みる。

今後の課題の二つ目として、ステージ部の摺動の検討が上げられる。ステージという特性上、荷重がかかることを考慮する必要がある。現状は4つの板ばねにより浮いていてベース面との接触はない。しかし、大きな荷重を受け止める用途の適用を考えた場合、すべり案内も検討しておく必要がある。ここで問題になるのは、スティックスリップである。スティックスリップとは、摩擦係数の垂下特性（静止摩擦係数よりも動摩擦係数が低い現象）のために間欠運動を生じて滑らかな運動ができないことである。この様な状態を生じさせないために、位置決め方向の送り剛性を増加させるとともに、案内面での静止摩擦係数を下げ、垂下特性を生じさせないことが必要である<sup>6)</sup>。

最後に、弾性体ステージは構造が非常にシンプルで、従来機よりも分解能が高く動作も確実なので実用化の可能性が高い。そのためにナノインデント用 XY ステージとして実用テストを行い、その他の製品にも波及していきたい。

#### 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, **11**, (2013)
- 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, 宇野彰一: 超磁歪素子の伸縮制御装置, 特許 4102655
- 4) 荻野重人: 変位拡大装置, 特許 5256414
- 5) 荻野重人, 廣瀬正一: 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, **2**, (2004)
- 6) 実用 精密位置決め技術事典 編集委員会: 実用精密位置決め技術事典, 株式会社産業技術サービスセンター, (2008)144