

超磁歪素子を用いた新製品の開発

～ 卓上型超微小硬さ測定機の開発～

荻野重人* 廣瀬正一**

Application of Giantmagnetostrictive Materials to Test Instruments

Development of a Compact Nanoindenter

OGINO Shigeto*, HIROSE Masakazu**

抄録

伸び方向・縮み方向のヒステリシスが無く、ナノオーダーの分解能をもつアクチュエータを開発した。このアクチュエータを圧子押し込みユニットとし、荷重計と組み合わせ、超微小硬さ測定機を構成した。これにより、厚さ30 μm のUVコーティングの超微小硬さ測定が可能となった。

キーワード：超磁歪素子，超微小硬さ，ナノインデント，アクチュエータ

1. はじめに

薄膜は半導体デバイス、情報蓄積メディア、微小電子機械システム(MEMS)など多くの分野で使用されている。デバイスの微小化・極薄化が進む中、とりわけ薄膜材料の機械的特性の評価の必要性が増している。材料の力学特性を知ることは、寿命予測・プロセス評価・製品の信頼性の予測をする上で必要不可欠なことである。しかし、これらの機械的性質を評価することは技術的に困難であり、超微小硬さ測定が唯一可能な方法になることが多い。膜厚10 μm 以下の薄膜の評価では、下地の影響を受けない「厚さの十分の一以下」の押し込み量が適当と見なされていて、極表面だけの測定が求められる。したがって皮膜厚さによっては数百nmの押し込み量による超微小硬さ測定が求められる、そのためには数nmの位置制御や、微小荷重計測といった幅広い技術分野の統合が必要となっ

ている。

既存の超微小硬さ測定は、測定の前段階として圧子・試料間を数十 μm まで近づける必要があるために、セッティングに非常に時間がかかり、一測定に5分程度必要である。また、圧子の位置制御を数nmの精度で得るために、静電容量型変位計を用いているものがほとんどである。これは、高価・振動に弱いといった欠点があり、結果として装置全体が大がかりなものになってしまう。これらのことから、工場等での現場測定には不向きであり、一般に研究用途に用いられている。

微小硬さ試験の特性値は、材料の製造・処理の際に起こる性質の変化を大変敏感に捉えることができ、それらは品質管理に際してコスト的に有利に利用できる¹⁾。したがって、工場でのインライン化が可能な超微小硬さ測定機があれば大変有効なものとなることは間違いない。そこで、測定時間の短縮・低コスト・コンパクト・高耐振動性の、現場対応型超微小硬さ測定機を開発し、的確な物性評価に基づく品質管理に適用する。

* 電子情報技術部

** 津田工業株式会社

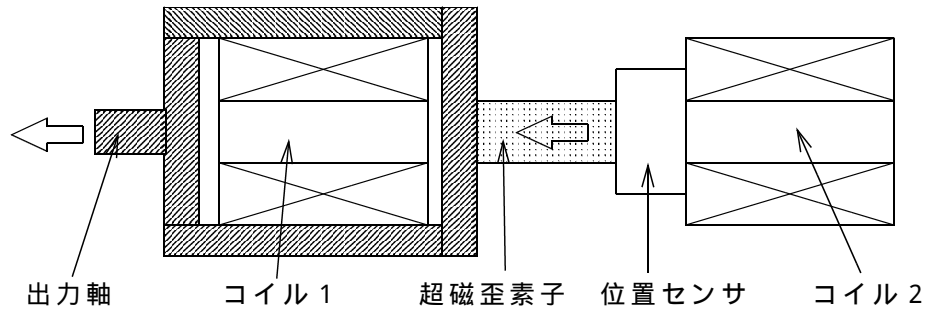


図1 微小アクチュエータ

2. 実験方法

通常、超磁歪素子には、伸び方向・縮み方向のヒステリシスが存在する。このことにより、電流値によるオープンループ制御では、精密な位置決めが実現できていなかった。

超微小硬さ測定は圧子を連続的に押し込み、さらに連続的に戻すことにより測定を行う。このとき、圧子の位置制御を数nmで行うことが求められ、もちろんヒステリシスが無いことが前提となるので、位置情報を得るためのセンサーを搭載した微小アクチュエータが必要となる。

本研究で開発した微小アクチュエータを図1に示す。一般に超磁歪素子は熱膨張により、伸縮精度が悪化する。その対策として、通常、コイルの中に入れて磁界をかけるところを、2つのコイルを用い超磁歪素子の両端から磁界をかけ、熱の伝わりを最小限にしている。また、アクチュエータの位置情報を得るために、超磁歪素子端部に「位置センサ」を設置した。

2.1 超磁歪素子のヒステリシス測定

図2のように静電容量型変位計と微小アクチュエータを対峙させ、アクチュエータに0~1.5Aの比例直線電流を流したときの、静電容量型変位計の変位量を測定し、グラフにプロットした。

<測定機>

静電容量型非接触微小変位計

(日本A D E社製 MicroSense3401HR-01)

- ・測定フルスケール $\pm 25 \mu\text{m}$
- ・分解能 $0.0025 \mu\text{m}$
- ・周波数応答40kHz

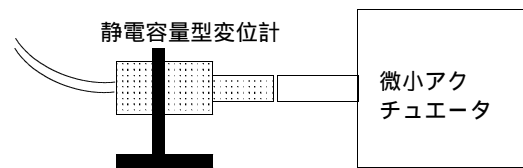


図2 静電容量型変位計による変位測定

2.2 電流値によるオープンループ制御

図2のように静電容量型変位計と微小アクチュエータを対峙させ、アクチュエータに電流を入力したときの、静電容量型変位計の変位量を測定し、オープンループ制御についての検証を行った。

2.3 「位置センサ」と静電容量型変位計の比較

静電容量型変位計により計測された微小アクチュエータの変位量と、微小アクチュエータに搭載した「位置センサ」の情報が一致するかを検証した。

図2のように静電容量型変位計と微小アクチュエータを対峙させ、電流をアクチュエータに入力し、そのときの静電容量型変位計の測定変位量(出力電圧)および「位置センサー」の測定変位量(出力電圧)を同時計測し、グラフにプロットした。

2.4 超微小硬さ測定

微小アクチュエータと荷重計を組み合わせ、超微小硬さ測定機(写真1)を構成した。圧子の押し込み量を連続的に計測し、かつ、このときの荷重変化も連続的に計測する。また、これを圧子の戻り方向についても同様に行い、それぞれグラフにプロットした。

この装置を用い、ABS樹脂とABS樹脂に30

μm のUVコーティングを施したものを測定し、比較検討を行った。このとき圧子押し込み量は、下地の影響を避けるため、「厚さの十分の一以下」である $3\mu\text{m}$ とした。



写真1 超微小硬さ測定機

3. 結果および考察

3.1 超磁歪素子のヒステリシス測定

結果を図3に示す。最もヒステリシスが大きいところでは、伸び方向 $3.49\mu\text{m}$ 、縮み方向 $2.06\mu\text{m}$ と $1.43\mu\text{m}$ もの差があった。約60パーセントものヒステリシスがあることになる。超磁歪素子は保磁力が大きい²⁾ので、伸び方向にはなかなか磁化が進行せず、戻り方向は残留磁化があるものと思われる。

このことが、超磁歪素子の精密位置決めを困難にしている。

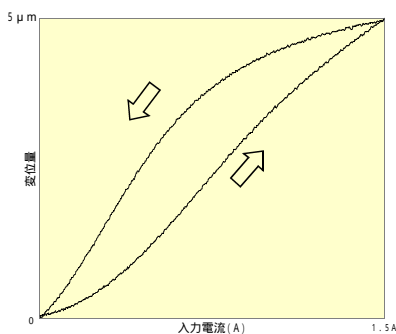


図3 超磁歪素子のヒステリシス

3.2 電流値によるオープンループ制御

結果を図4に示す。入力電流に対する静電容量計の測定変位量（出力電圧）は比例関係にないこ

とが分かる。これは、図3で示したヒステリシスの影響と思われる。よって、入力電流によるオープンループでは、制御できないことが分かる。

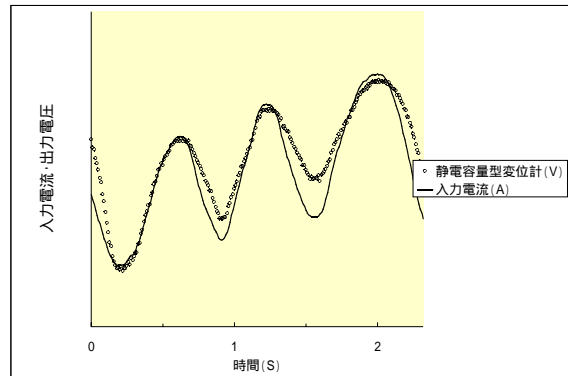


図4 入力電流・測定変位量（出力電圧）の比較

3.3 「位置センサ」と静電容量型変位計の比較

結果を図5に示す。静電容量型変位計の測定変位量（出力電圧）を「真の変位量」とすると、今回開発した「位置センサ」の測定変位量（出力電圧）の静特性は線形を得ることができた。

これにより、ヒステリシスの影響を受けることなく、微小アクチュエータの変位量を把握することが可能となった。

なお、静電容量型変位計の電圧値と変位量の換算は、 $1\text{V} = 2.5\mu\text{m}$ である。

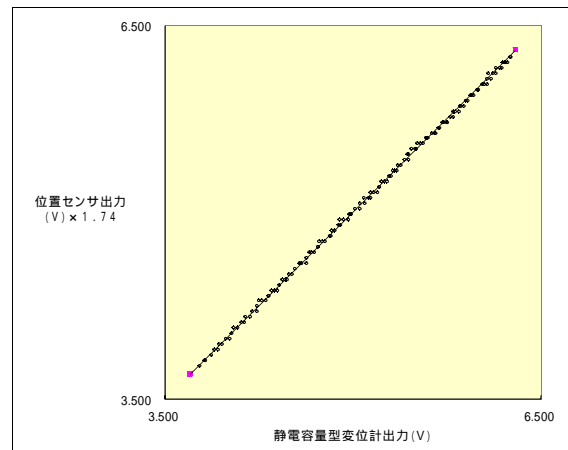


図5 測定変位量（出力電圧）の比較

3.4 超微小硬さ測定

「ABS樹脂UVコーティングなし」の超微小硬さ測定グラフを図6、「ABS樹脂UVコーティングあり」の超微小硬さ測定グラフを図7に示

す。

2本ある曲線のうち、左側の曲線は圧子押し込み方向の曲線を表し、右側は戻り方向の曲線となる。

共に押し込み量 $3\mu\text{m}$ に設定して測定を行った。「UVコーティングなし」は 11.6g 、「UVコーティングあり」は 13.7g となり、「UVコーティングあり」の方が比較して硬いと言える。

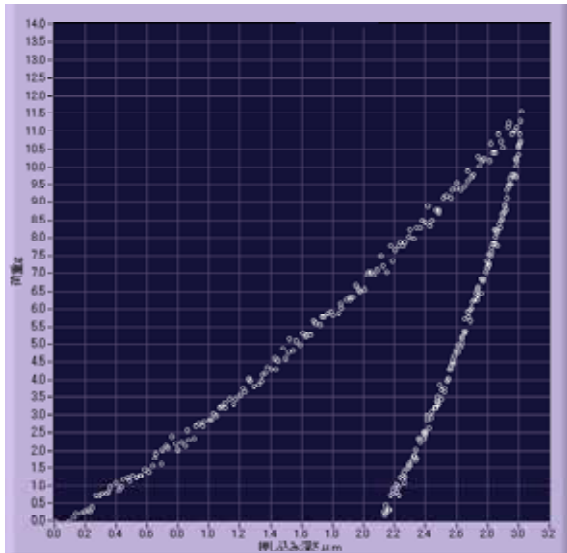


図6 超微小硬さ測定

(ABS樹脂UVコーティングなし)

また、それぞれの戻り曲線を比較した場合、「UVコーティングなし」の方が傾斜がある。これは「UVコーティングあり」に対して、塑性変形量が大きいことを表している³⁾。

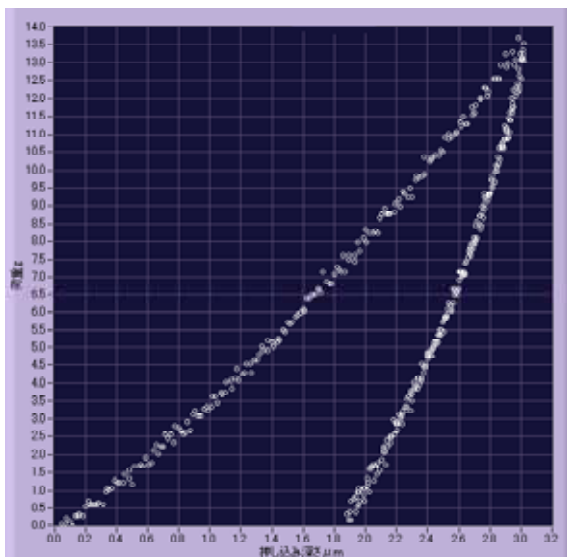


図7 超微小硬さ測定

(ABS樹脂UVコーティングあり)

4.まとめ

伸縮ヒステリシスのない微小アクチュエータを得ることができたので、超微小硬さ測定機の圧子を正確に押し込むことが可能となった。

また、プログラムによる全自動測定が可能となった。

(1) 超磁歪素子の伸縮量のヒステリシスは約60パーセントである。

(2) 電流値による変位量のオープンループ制御は非常に困難である。

(3) 今回開発した「位置センサ」による、微小アクチュエータの変位量の把握が可能になった。

(4) 試作した超微小硬さ測定機により、下地の影響を受けることなく、ABS樹脂のUVコーティングの超微小硬さ測定が可能となった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、客員研究員として御指導くださいました、職業能力開発総合大学の鳥羽山満教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Cornelia Heermant, Dieter Dengel:ユニバーサル硬さ試験による材料特性値の評価, 材料試験技術, 43, 2_4月号別刷, (1998)152
- 2) A. E. クラーク, 江田弘: 超磁歪材料, 日刊工業新聞社, (1995)253
- 3) Cornelia Heermant, Dieter Dengel:ユニバーサル硬さ試験による材料特性値の評価, 材料試験技術, 43, 2_4月号別刷, (1998)148