

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-43239
(P2005-43239A)

(43) 公開日 平成17年2月17日(2005.2.17)

(51) Int. Cl.⁷

G01N 3/40

F I

G01N 3/40

A

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2003-278137 (P2003-278137)	(71) 出願人	502439016 荻野 重人 埼玉県岩槻市上里2-1-1-404
(22) 出願日	平成15年7月23日 (2003.7.23)	(74) 代理人	100091384 弁理士 伴 俊光
		(72) 発明者	荻野 重人 埼玉県岩槻市上里2-1-1-404

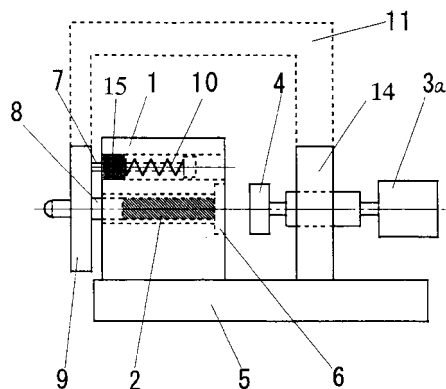
(54) 【発明の名称】 微小変位制御装置およびそれを用いた装置と方法

(57) 【要約】

【課題】 基本的に電磁石を使用せずに、極めて高精度に伸縮量、それに伴う変位を制御可能な超磁歪素子の伸縮制御装置を構成し、それを用いて目標とする微小変位を高精度で得ることができるようにした微小変位制御装置を提供する。

【解決手段】 非磁性体からなるブロック内に、棒状の超磁歪素子を配するとともに、超磁歪素子の固定端側に永久磁石のみによる磁力の発生手段を配し、該磁力発生手段の移動手段により該磁力発生手段と前記超磁歪素子との相対位置関係を連続的に制御することにより、超磁歪素子を連続的に伸縮させその変位を超磁歪素子の自由端側に出力させるようにした超磁歪素子の伸縮制御装置を用い、超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、目標とする微小変位を得るようにしたことを特徴とする微小変位制御装置、およびそれを用いた各種装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一端が固定され、他端が自由端の超磁歪素子に磁力を作用させることにより前記超磁歪素子を伸縮させて、その自由端の変位を出力させるようにした超磁歪素子の伸縮制御装置であって、非磁性体からなるブロック内に、棒状の超磁歪素子を配するとともに、超磁歪素子の固定端側に永久磁石のみによる磁力の発生手段を配し、該磁力発生手段の移動手段により該磁力発生手段と前記超磁歪素子との相対位置関係を連続的に制御することにより、前記超磁歪素子を連続的に伸縮させその変位を超磁歪素子の自由端側に出力させるようにした超磁歪素子の伸縮制御装置を用い、前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、目標とする微小変位を得るようにしたことを特徴とする微小変位制御装置。

10

【請求項 2】

前記磁力発生手段が前記超磁歪素子の軸線上に配置されている、請求項 1 の微小変位制御装置。

【請求項 3】

前記移動手段が、前記磁力発生手段を前記超磁歪素子の伸縮方向と平行な方向に移動させる手段からなる、請求項 1 または 2 の微小変位制御装置。

【請求項 4】

前記移動手段が、前記磁力発生手段を前記超磁歪素子の伸縮方向と垂直な方向に移動させる手段からなる、請求項 1 または 2 の微小変位制御装置。

【請求項 5】

前記移動手段が、前記磁力発生手段を回転移動させる手段からなる、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

20

【請求項 6】

前記超磁歪素子の自由端側に、超磁歪素子の伸縮とともに変位する、磁性体からなるプッシュロッドが設けられており、かつ、前記磁力発生手段からの部品の配列が、透磁率が低い方から高い方へと順に行われている、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

【請求項 7】

前記プッシュロッド側と前記磁力発生手段側とが磁性体からなるヨークで接続され、この間に磁気閉回路が構成されている、請求項 6 の微小変位制御装置。

30

【請求項 8】

前記ブロック内に、前記プッシュロッドと連結され、プッシュロッドを超磁歪素子の伸縮方向に案内する、少なくとも 1 つのスライドガイドが設けられている、請求項 6 または 7 の微小変位制御装置。

【請求項 9】

前記超磁歪素子の自由端側から前記超磁歪素子にプリストレスを与える手段が設けられている、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

【請求項 10】

前記ブロックに、前記超磁歪素子の固定端に連結され、該固定端と前記磁力発生手段との間に介在する、非磁性体からなる蓋体が設けられている、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

40

【請求項 11】

前記ブロックが低熱伝導性の非磁性体からなる、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

【請求項 12】

前記ブロックに加熱手段が設けられている、請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

【請求項 13】

前記ブロックに冷却手段が設けられている、請求項 1 ~ 12 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

50

【請求項 14】

前記ブッシュロッドの反超磁歪素子側に磁力測定装置が設けられている、請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載の微小変位制御装置。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の微小変位制御装置における反超磁歪素子の伸縮制御装置による前記反超磁歪素子の自由端側に出力される変位を、被測定物への押し込み量とし、荷重計測装置を用いて、前記押し込み量に対応する荷重を計測し、被測定物の押し込み量 - 荷重特性を得るようにしたことを特徴とする硬さ等の測定装置。

【請求項 16】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の微小変位制御装置における反超磁歪素子の伸縮制御装置による前記反超磁歪素子の自由端側に出力される変位と、対象変位センサの出力とを対照することにより、該対象変位センサの出力を校正するようにしたことを特徴とする変位センサの校正装置。

10

【請求項 17】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の微小変位制御装置における反超磁歪素子の伸縮制御装置による前記反超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、ステージの位置決めを行うようにしたことを特徴とする位置決めステージ。

【請求項 18】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の微小変位制御装置を用い、前記反超磁歪素子の伸縮制御装置による前記反超磁歪素子の自由端側に出力される変位によって被測定物への押し込み量を制御し、荷重計測装置を用いて、前記押し込み量に対応する荷重を計測し、被測定物の押し込み量 - 荷重特性を得ることを特徴とする、硬さ等の測定方法。

20

【請求項 19】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の微小変位制御装置を用い、前記反超磁歪素子の伸縮制御装置による前記反超磁歪素子の自由端側に出力される変位と、対象変位センサの出力とを対照することにより、該対象変位センサの出力を校正することを特徴とする、変位センサの校正方法。

【請求項 20】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の微小変位制御装置を用い、前記反超磁歪素子の伸縮制御装置による前記反超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、ステージの位置決めを行うことを特徴とする、位置決めステージの制御方法。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光学機器、精密加工機械、レーザー機器、計測器、その他微小かつ精密な変位や送りが必要な機器に用いて好適な反超磁歪素子を用いた微小変位制御装置に関し、とくに、ピッカース圧子等を用いて、例えば薄膜の一回の押し込み試験によって、絶対的な硬さ値はもとより、固有の物性（例えば、弾性率、クリープ特性、ヤング率）についての補足データを得るのに適した硬さ等の測定などに好適な、微小変位制御装置およびそれを用いた装置と方法に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

従来、微小変位制御による硬さ試験機は、例えば、荷重発生をコイルで行い、その力を測定圧子に伝え、試料へ圧子押し込みをはかり、この時の変位を静電容量型変位計で精密に計測するようにしている（たとえば、特許文献 1）。この方式は、荷重発生部分をオープンループにて行う方式である。

【0003】

また、反超磁歪素子を用いた測定装置やアクチュエータとしては、次のようなものが知られている。たとえば特許文献 2 に開示の反超磁歪アクチュエータでは、ケーシング内に、円筒形の永久磁石と、その中心軸に沿って配された反超磁歪ロッドと、これらの上端同士及び

50

下端同士を連結して閉磁路を形成する上下一対のヨークを備えている。超磁歪ロッドに磁気バイアスがかかるため、永久磁石とヨークで囲まれた空間内には、超磁歪ロッドを中心にコイルを巻回して形成された電磁石が配されている。また、超磁歪ロッドにプリストレスがかかるためのスプリングがケーシングとヨークの間に配されている。

【0004】

この超磁歪アクチュエータによれば、超磁歪ロッドに対して、永久磁石によりヨークを介して磁気バイアスを作用させると共に、スプリングによりプリストレスを作用させた状態で電磁石に電流を供給することにより、その磁力の大きさに応じて超磁歪ロッドが伸縮され、超磁歪ロッドの先端に設けたプッシュロッドが移動されてその変位が機械的動力として取り出される。すなわち、この超磁歪ロッドの伸縮に伴う変位は、基本的に、電磁石の電流により制御される。

10

【0005】

このような超磁歪アクチュエータとは別に、特許文献3には、超磁歪素子と永久磁石を用いたバルブ開閉機構が開示されており、超磁歪素子に磁力がかかった時はバルブ閉、磁力がかからない時はバルブ開というようにON-OFFスイッチとして用いられる態様が示されている。

【特許文献1】特開2001-124681号公報

【特許文献2】特開平2002-58269号公報

【特許文献3】実用新案登録第2531546号公報

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記特許文献1に開示されているような硬さ試験機では、圧子の変位測定に静電容量型変位計を用いている。静電容量型変位計は、測定分解能が非常に高くナノオーダーの計測が可能になるので一般的である。しかし、非接触式なので振動に非常に弱く、除振台に相当コストをかけないと、所定の精度を確保することが難しくなる。よって、装置全体として非常に高価なものとなっていた。

【0007】

また、上記特許文献2に開示されているような超磁歪アクチュエータにおいては、永久磁石による磁気バイアスにより電磁石への供給電流を減少させることができるものの、超磁歪ロッドの十分な伸縮を得るためにはまだ多くの電流の供給を必要としている。そのため、以下のような問題が生じる。

30

(1) ジュール熱が発生することにより電磁石の抵抗値が増加し、初期供給電流が次第に低下し、当初の電磁石の磁力とは値が異なってしまうこととなる。結果として、超磁歪ロッドの変位量に変化をきたし、その分、位置決め分解能は低くなる。

(2) 電磁石によるジュール熱の影響で超磁歪ロッドが伸びてしまい、やはり制御精度が低下してしまう。

(3) 永久磁石による磁気バイアスと電磁石による磁力とで打ち消し合うことを積極的に利用しているが、逆磁力により永久磁石に磁気ストレスがかかり、短期間で永久磁石の磁力に変化をきたし正確な制御が不能となるおそれがある。

40

(4) 超磁歪ロッドを伸びた状態で保持しようとした場合、電流が流れたままとなり短時間でジュール熱が発生してしまう。

とくにこれら(1)~(4)の問題点により精密な制御が難しかった。

【0008】

上記のような従来技術における問題点に着目し、本発明の課題は、基本的に電磁石を使用せずに、極めて高精度に伸縮量、それに伴う変位を制御可能な超磁歪素子の伸縮制御装置を構成し、それを用いて目標とする微小変位を高精度で得ることができるようにした微小変位制御装置を提供することにある。

【0009】

また、本発明の課題は、そのような微小変位制御装置を用いることにより、各種の測定

50

や高精度位置決めを可能とすることにより、例えば、静電容量型変位計等の非接触変位計を使用することの上記のような問題点に着目し、基本的に非接触変位計を使用せずに、超磁歪素子の伸縮制御装置を用いて極めて高精度に圧子押し込みを行い、それに伴う荷重を計測可能とした、硬さ測定装置および方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、本発明に係る微小変位制御装置は、一端が固定され、他端が自由端の超磁歪素子に磁力を作用させることにより前記超磁歪素子を伸縮させて、その自由端の変位を出力させるようにした超磁歪素子の伸縮制御装置であって、非磁性体からなるブロック内に、棒状の超磁歪素子を配するとともに、超磁歪素子の固定端側に永久磁石のみによる磁力の発生手段を配し、該磁力発生手段の移動手段により該磁力発生手段と前記超磁歪素子との相対位置関係を連続的に制御することにより、前記超磁歪素子を連続的に伸縮させその変位を超磁歪素子の自由端側に出力させるようにした超磁歪素子の伸縮制御装置を用い、前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、目標とする微小変位を得るようにしたことを特徴とするものからなる。すなわち、基本的に永久磁石のみによる磁力の発生手段により超磁歪素子に作用させる磁力を制御し、超磁歪素子を連続的に伸縮させその変位を超磁歪素子の自由端側に連続的な変位として出力させるようにしたものである。

10

【0011】

ここで使用する永久磁石の形状は、円柱形、円筒形、異磁極を向かい合わせた対向平板形、同磁極を向かい合わせた対向平板形、中空の円筒形、立方形等、形状は特に問わない。超磁歪素子は磁力の極性には関係なく伸縮するので、これらの永久磁石のN極またはS極を超磁歪素子に向けるか、または、両方を超磁歪素子に向けてもよい。

20

【0012】

さらに、磁力発生手段による磁力の方向についても、超磁歪素子の伸縮方向と平行な方向、垂直な方向のいずれも可能であり、さらに斜め方向も可能である。要は、磁力発生手段と超磁歪素子との相対位置関係を連続的に制御でき、それによって超磁歪素子を連続的に伸縮させることができればよい。

【0013】

超磁歪素子と永久磁石（磁力発生手段）の相対位置関係は、たとえばマイクロメータ、ステッピングモータ等を使用して精度よく制御することが可能であり、相対位置関係を正確に制御することにより、超磁歪素子にかかる磁力を変化させ、正確に所望量伸縮させることが可能になる。

30

【0014】

永久磁石の減磁は年間約0.1%といわれているので、長期間安定した磁力を超磁歪素子にかけることができる。また、永久磁石による磁力のみにより超磁歪素子を伸縮させるので、ジュール熱の発生等は全くなく、所定の制御を正確に行うことができる。

【0015】

また、本装置においては、基本的に永久磁石1個により超磁歪素子にかかる磁力を変化させればよいので、逆磁力による磁気ストレスは発生せず、永久磁石の減磁を抑制することもできる。

40

【0016】

また、本装置において、超磁歪素子を伸びた状態で保持しようとする場合には、永久磁石の磁力のみで伸びているので、ジュール熱の発生等の問題を伴うことなく、安定して、確実にかつ正確に所定状態に保持することが可能である。

【0017】

また、本装置においては、ブロック中に超磁歪素子が内包されているので、外部温度変化等による影響を抑制することが可能であり、とくにブロックに低熱伝導率の非磁性体を用いることにより、外部温度変化等による影響を一層確実に回避できるようになる。

【0018】

50

また、超磁歪素子にかかる磁力は、超磁歪素子と永久磁石の相対位置関係により決定するが、このとき相対位置関係の変化に対し超磁歪素子にかかる磁力の変化は非常に少ないので、移動手段による相対位置関係の変更により、磁力の設定を極めて細やかに制御することができ、結果として装置の位置決め分解能（超磁歪素子の自由端側の変位出力分解能）を非常に高くすることができる。

【0019】

さらに、減磁の極めて少ない永久磁石により磁力が与えられ、その超磁歪素子に作用する磁力を、移動手段による相対位置関係の変更のみによって制御するので、非常に高い再現性が得られる。したがって、たとえば、永久磁石の基準点よりの送り量を制御すれば、オープンループによる位置決めも可能となる。

10

【0020】

このような本発明に係る微小変位制御装置においては、磁力発生手段、とくにその永久磁石を、超磁歪素子の軸線上に配置することが好ましいが、軸線上から外れた位置でも、超磁歪素子に作用させる磁力の変更制御は可能である。超磁歪素子に作用させる磁力を連続的に変化させることができればよい。

【0021】

また、移動手段としては、磁力発生手段を超磁歪素子の伸縮方向と平行な方向に移動させる手段から構成することもできるし、超磁歪素子の伸縮方向と垂直な方向に移動させる手段から構成することもできる。また、移動手段は、磁力発生手段を単に直線状に移動させる手段に構成することもできるし、磁力発生手段を回転移動させる手段から構成することもできる。後者の場合、たとえば、回転板に永久磁石を設け、その回転板をステッピングモータ等の回転角を制御可能な手段により回転制御することにより、磁力発生手段と超磁歪素子との相対位置関係を精度よく制御することが可能となる。つまり、回転角のみで超磁歪素子の伸縮を制御することができるようになる。また、回転板を高速回転することにより、超磁歪素子の伸縮速度を速くすることもできる。

20

【0022】

超磁歪素子の自由端側には、超磁歪素子の伸縮とともに変位する、磁性体からなるプッシュロッドが設けられていることが好ましい。超磁歪素子の透磁率は低いので、固定端側の永久磁石近傍は磁化量が高いが、自由端側に行くに従い磁化量は低下する。そこで、自由端側の超磁歪素子に接触するように磁性体からなるプッシュロッドを設け、さらに磁力発生手段からの部品配列を透磁率の低い方から高い方へと配列することにより、磁化量の改善をはかることができる。

30

【0023】

このプッシュロッド側と磁力発生手段側とが磁性体からなるヨークで接続され、この間に磁気閉回路が構成されている形態を採用することもできる。これにより、さらなる磁気特性の改善および漏洩磁気の低減をはかることができる。

【0024】

また、前記ブロック内には、プッシュロッドと連結され、プッシュロッドを超磁歪素子の伸縮方向に案内する、少なくとも1つのスライドガイドが設けられていることが好ましい。スライドガイドは、たとえば、超磁歪素子周りに、円周方向に3つ配列することができる。このような構造とすれば、可動部の送り方向以外のがたつきを無くし、出力効率を改善することができる。

40

【0025】

また、超磁歪素子の自由端側から超磁歪素子にプリストレスを与える手段が設けられていることが好ましい。たとえば、上記プッシュロッドまたはその取り付け部材を介してスプリング等の付勢手段によりプリストレスを与えることが可能である。このような付勢手段を設ければ、自由端側となるプッシュロッド端部を超磁歪素子に押しつけておくことが可能になり、このことにより、超磁歪素子にはプリストレスが与えられてその伸縮の特性が改善され、かつ、送り方向のがたつきも排除されて、より精密な制御が可能になる。

【0026】

50

また、前記ブロックには、超磁歪素子の固定端に連結され、該固定端と前記磁力発生手段との間に介在する、非磁性体からなる蓋体が設けられていることが好ましい。たとえば、1mm厚程度の蓋体を介在させておくことにより、磁力発生手段からの磁力を所定の相対位置関係の望ましい状態で超磁歪素子の固定端側に作用させることができ、かつ、非磁性体からなる蓋体とすることにより、磁力発生手段からの磁力のロスを抑えることができる。

【0027】

また、このブロックは、前述したように、低熱伝導性の非磁性体から構成することが好ましい。超磁歪素子はブロックに内包されており、外部温度変化による熱膨張の影響は少ないが、より外部温度環境が厳しいとき低熱伝導性のブロックを用いることにより、耐温度変化特性を高めることができる。

10

【0028】

また、このブロックには、加熱手段や冷却手段、あるいはその両方を設けることもできる。このような温度制御手段を設けておくことにより、たとえば、外部温度環境が常温に比べ極端に低い場合、ヒーター等によりブロックを暖め、超磁歪素子を常温状態にすることが可能となる。また、外部温度環境が常温に比べ極端に高い場合、冷却水等によりブロックを冷却し、超磁歪素子を常温状態にすることが可能となる。これにより、望ましい条件下で安定した制御が可能となる。

【0029】

また、超磁歪素子の自由端側にある磁性体からなるプッシュロッドの反超磁歪素子側に、磁力測定装置、例えばホール素子を設けることもできる。超磁歪素子の永久磁石による磁化量に比例して、プッシュロッドも磁化されるので、超磁歪素子の磁化量をホール素子でモニタリングすることが可能となる。超磁歪素子はヒステリシスを持つが、これは、残留磁化によるもので、超磁歪素子の磁化量がモニタリングできていれば、ヒステリシスを考慮することなく精密に伸縮制御することが可能となる。つまり、超磁歪素子の磁化量がそのまま伸縮量に比例する。

20

【0030】

このような本発明に係る超磁歪素子の伸縮制御装置を備えた微小変位制御装置は、各種微小かつ精密な送りや出力が必要な機器に適用でき、たとえば、この超磁歪素子の伸縮制御装置を用いて、超微小硬さ測定装置を構成することができる。すなわち、本発明に係る硬さ等の測定装置は、上記のような微小変位制御装置における超磁歪素子の伸縮制御装置による前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位を、被測定物への押し込み量とし、荷重計測装置を用いて、前記押し込み量に対応する荷重を計測し、被測定物の押し込み量 - 荷重特性と硬さ値を得るようにしたことを特徴とするものからなる。

30

【0031】

例えば後述の図に示すように、この超微小硬さ測定装置における測定では、門型フレームとベース盤が連結され、そのベース盤上に例えば電子天秤が載せられている。さらに粗調的に移動可能な手段がその電子天秤に載せられている。この装置は門型上面板に出力部分を下向きに固定されている。この装置の出力部分に、例えばビッカースダイヤモンド圧子を取り付け、測定試料を移動可能な粗調部分に取り付ける。この装置の伸縮ストロークの最短位置に超磁歪素子を伸縮させる。次に、固定可能な粗調移動部にて測定資料に圧子が接触するまで移動させ固定する。このときの接触確認は電子天秤等の値をみて行う。次に、本装置により正確に圧子を所定量押し込む。そのときの荷重を電子天秤等で読みとる。さらに、上記押し込み量にプラスして所定量押し込む。このときの荷重を電子天秤等で読みとる。これを、最終押し込み量まで繰り返す。さらに、最終押し込み量に到達したあと、押し込みを所定量減少させ、そのときの荷重を計測する。さらに、この減少量を順次マイナスして、荷重計測を行う。これを圧子押し込みの開始点まで行う。これにより、「微小押し込み量 - 荷重」特性のグラフが作成でき、連続特性曲線を求めることができるとともに、それぞれの測定点の硬さ値を求めることができる。この特性曲線は材質により異なるので、物性評価の比較検討が可能となる。

40

50

【0032】

このような測定装置においては、変位を伴うことなく荷重計測が可能な荷重計測装置と組み合わせることが望ましい。そのためには、電子天秤、圧電素子等の荷重計測装置が好適である。押し込み量はオープンループにより決定するので、荷重計測に変位が伴うと、別途補正作業が必要となる。

【0033】

上記超磁歪素子の伸縮制御装置によりナノオーダーの押し込みが可能となるので、電子天秤等の微小荷重計測装置と併せて用いることにより、厚み数ミクロンオーダーの薄膜等の硬さ測定が可能となる。しかも、「押し込み量 - 荷重」特性の連続曲線が求まることにより、単に硬さだけにとどまらず、薄膜等の弾性率、ヤング率といった機械的性質を分析

10

【0034】

この圧子押し込みユニットに用いている微小変位制御装置は、超磁歪素子の物質としての伸縮を利用しているので、振動の影響を全く受けない。これにより、この超微小硬さ測定装置の除振台は、簡易なものでも問題は無い。よって、測定装置全体として、高精度なものを安価に提供することが可能となる。

【0035】

さらに、上記のような本発明に係る超磁歪素子の伸縮制御装置を用いた微小変位制御装置は、各種微小かつ精密な送りや出力が必要な機器に適用でき、たとえば、この微小変位制御装置を用いて、変位センサ校正装置を構成することができる。すなわち、本発明に係る変位センサの校正装置は、上記のような微小変位制御装置における超磁歪素子の伸縮制御装置による前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位と、対象変位センサの出力とを対照することにより、該対象変位センサの出力を校正するようにしたことを特徴とするものからなる。多くの場合、変位センサは測定変位の範囲内の任意の2～3点を入力し、校正する。

20

【0036】

たとえば、ナノオーダーの分解能を持つような高精度変位センサの場合でも、測定出力のゼロ点・スパン調整（出力直線の傾き）はブロックゲージの厚みを変えて行っているのが現状である。しかし、このような高精度変位センサとなるとサブミクロンオーダーのばらつきがあるブロックゲージでは精度的に校正の信頼性に乏しい。そこで、例えばレーザー変位センサの場合、本発明に係る微小変位制御装置の出力部分に、レーザーを照射する。そして、この微小変位制御装置を用いて任意の点に正確に出力部分を移動させる。その変位点データをセンサデータ処理装置に記録する。これを繰り返すことにより、高精度変位センサを正確に校正することが可能となる。また、この微小変位制御装置の出力部分に（出力方向と同方向に）センサを設置することも可能である。この構成では、実際の被測定物を使い校正することが可能となる。あらかじめセンサおよびこの装置の出力部分の軸合わせを行っておけば、より迅速かつ高精度の校正が可能となる。ここでいうセンサは、変位センサ、絶対測長センサ、ひずみゲージ等であり、接触、非接触を問わない。

30

40

【0037】

さらに、上記のような本発明に係る超磁歪素子の伸縮制御装置を用いた微小変位制御装置は、各種微小かつ精密な送りや出力が必要な機器に適用でき、たとえば、この微小変位制御装置を用いて、位置決めステージを構成することができる。すなわち、本発明に係る位置決めステージは、上記のような微小変位制御装置における超磁歪素子の伸縮制御装置による前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、ステージの位置決めを行うようにしたことを特徴とするものからなる。より具体的には、たとえば、この微小変位制御装置の出力部分と1方向のみ精密に摺動可能なスライドガイドを連結する。また、このとき、先のホール素子等を設置した装置を用いれば、ヒステリシスの影響を受けることなく精密に往復位置決め動作を行わせることが可能となる。さらに、この1方向ステージを

50

90°ずらして重ね合わせることにより、X・Yステージの構成も可能となる。もちろん、垂直方向のステージをさらに組み合わせX・Y・Zステージとすることも可能であり、位置決め方向の組み合わせは任意に設定できる。

【0038】

同様に、本発明に係る方法においても、本発明に係る超磁歪素子の伸縮制御装置を備えた微小変位制御装置を用いて各所測定や位置決めを行うことができる。

【0039】

すなわち、本発明に係る硬さ等の測定方法は、上記のような微小変位制御装置を用い、前記超磁歪素子の伸縮制御装置による前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位によって被測定物への押し込み量を制御し、荷重計測装置を用いて、前記押し込み量に対応する荷重を計測し、被測定物の押し込み量・荷重特性および硬さ値を得ることを特徴とする方法からなる。

10

【0040】

また、本発明に係る変位センサの校正方法は、上記のような微小変位制御装置を用い、前記超磁歪素子の伸縮制御装置による前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位と、対象変位センサの出力とを対照することにより、該対象変位センサの出力を校正することを特徴とする方法からなる。

【0041】

さらに、本発明に係る位置決めステージの制御方法は、上記のような微小変位制御装置を用い、前記超磁歪素子の伸縮制御装置による前記超磁歪素子の自由端側に出力される変位により、ステージの位置決めを行うことを特徴とする方法からなる。

20

【発明の効果】

【0042】

上記のような本発明に係る微小変位制御装置によれば、超磁歪素子の伸縮量を永久磁石1個のみで最大限引き出すことができ、かつ、その相対位置関係を制御することにより伸縮量をナノオーダーまで極めて高精度に制御することが可能になる。また、目標とする所定の伸縮量を確実に何度でも再現することが可能となり、保持力にも優れる。さらに、簡単な装置構成で部品点数も少ないので、安価に製作することができる。

【0043】

また、このような本発明に係る微小変位制御装置を利用した各種測定装置、校正装置、位置決め装置および方法によれば、所望の硬さ測定やセンサの校正、位置決め等を、極めて高精度でかつ容易に、しかも安価な装置にて行うことが可能となる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0044】

以下に、本発明の望ましい実施の形態を、図面を参照しながら具体的に説明する。

図1は、本発明の一実施態様に係る超磁歪素子の伸縮制御装置を備えた微小変位制御装置を示しており、図2、図3は別の実施態様に係る微小変位制御装置をそれぞれ示している。これら図に示した本発明に係る微小変位制御装置における超磁歪素子の伸縮制御装置は、一端が固定され他端が自由端となっている超磁歪素子と永久磁石の連続相対位置関係の変化による磁力変化により超磁歪素子を伸縮させて、その変位を自由端に出力させるようにしたものである。図において、非磁性体よりなるブロック1内に、棒状の超磁歪素子2と、それと同軸または直交に配された、マイクロメータ3a・ステッピングモータユニット3b(図3における3はマイクロメータまたはステッピングモータユニット)または円形カム17からなる移動手段により、その先端部に設けられた円柱形の永久磁石4が移動され、超磁歪素子2との相対位置関係が制御される。マイクロメータ3aまたはステッピングモータユニット3bは磁性体のシャフトホルダー14に保持されており、該シャフトホルダー14を介して、移動手段側と、超磁歪素子2が内包されたブロック1側とが、ベース5によって連結されている。マイクロメータ3aまたはステッピングモータユニット3bのシャフト部は、磁性体から構成されており、後述の磁気閉回路を構成可能となっている。

40

50

【 0 0 4 5 】

超磁歪素子 2 としては、本実施態様では、円柱形のエトリーマ社製 "ETREMATERFENOL-D" が用いられており、永久磁石 4 としては、希土類磁石の中でも磁力が強力なネオジム磁石が用いられている。

【 0 0 4 6 】

ステンレス、アルミ合金等の非磁性体からなるブロック 1 は、同一円周上に穴が 3 つ開いていて、さらにその 3 つの穴の中心部に超磁歪素子 2 を挿入するための貫通穴が開いている。この中心穴の一方にステンレス、アルミ合金等の非磁性体により製作されたフランジ状の蓋体 6 がねじ止めされている。このフランジ状の蓋体 6 で超磁歪素子 2 を受け止めることにより超磁歪素子 2 の固定端が構成され、かつ、蓋体 6 が非磁性体から製作されていることにより、磁力のロスを極力抑え、永久磁石 4 の磁力を超磁歪素子 2 に与えることが可能となっている。

10

【 0 0 4 7 】

自由端側の可動部は、3本の非磁性体からなるシャフト 7 と、超磁歪素子 2 の自由端側に連結されたプッシュロッド 8 を連結する磁性体のプレート 9 により構成され、磁性体からなるプッシュロッド 8 の端部には R 加工が施されて、超磁歪素子 2 への当たりを均一なものにしている。また、3本のシャフト 7 の端部にはねじ加工が施されており、ビス等によりプレート 9 に固定されている。

【 0 0 4 8 】

図 1 に示した装置では、シャフトホルダー 1 4 にマイクロメータ 3 a を設置し先端に永久磁石 4 を磁力により固定する。これにより、永久磁石 4 の位置をミクロンオーダーで移動させることが可能となる。図 2 に示した装置では、シャフトホルダー 1 4 にステッピングモータユニット 3 b を設置し先端の回転板 1 2 の表面に永久磁石 4 を磁力により固定する。これにより、ステッピングモータユニット 3 b による回転角制御により、永久磁石 4 の回転位置を精度よく制御することが可能となる。図 3 に示した装置では、シャフトホルダー 1 4 にステッピングモータユニット 3 を設置し、これと連結した円形カム 1 7 による回転角制御により、円形カム 1 7 に係合するカムベアリング 1 3 を介して、永久磁石 4 の位置をスライドガイド 1 6 上にて精度よく制御することが可能となる。例えば、ヒステリシスを補正した形状とすることにより、ヒステリシスを考慮することなく高精度な制御が容易に行えるようになる。さらに、例えば、サイン出力を連続して得たい場合、カム形状

20

30

【 0 0 4 9 】

ブロック 1 と自由端側の可動部を組み合わせ、超磁歪素子 2 の自由端側の伸縮に追従させた出力を得ることを可能としている。このとき、ブロック 1 の同一円周上の穴 3ヶ所にそれぞれシャフト 7 をスライドガイド 1 5 とともに挿入し、可動部の送り方向以外のがたつきを無くしており、さらにシャフト端に付勢手段としてのスプリング 1 0 を配することにより超磁歪素子 2 にプリストレスをかけるようにしている。このとき自由端側となるプッシュロッド 8 の端部は、超磁歪素子 2 に押しつけられており、超磁歪素子 2 の伸縮特性が改善され、かつ、送り方向のがたつきも排除されて、より精密な制御が可能となっている。

40

【 0 0 5 0 】

非磁性体のプレートをベース 5 とし、これにブロック 1 とシャフトホルダー 1 4 をねじ止めにより設置し、たとえば図 1 の装置では、超磁歪素子 2 と同軸線上に超磁歪素子 2 と永久磁石 4 との相対位置関係を構成する。これにより、超磁歪素子 2 とマイクロメータ 3 の先端に固定された永久磁石 4 の相対位置関係をミクロンオーダーで連続的に制御することが可能となる。

【 0 0 5 1 】

50

また、永久磁石 4 の磁力は、ブロック 1 とベース 5 が非磁性体のため、磁性体の超磁歪素子 2 に直接かけることが可能となり、超磁歪素子 2 の連続伸縮制御における出力を大きなものにしてている。また、超磁歪素子 2 の透磁率は低いので、固定端側の永久磁石 4 の近傍は磁化量が高いが、自由端側に行くに従い磁化量は低下する。そこで、自由端側の超磁歪素子 2 に接触しているプッシュロッド 8 に磁性体を用い、磁力発生手段からの部品配列を透磁率の低い方から高い方へと配列することにより（後述の図 8）、磁化量の改善をはかることができる。

【0052】

実際、12mm×長さ10mmのネオジム永久磁石 4 により、非磁性体のプッシュロッドと磁性体のプッシュロッド 8 の変位量の比較を行ったところ、図 4 に示すように、最大伸縮量として非磁性体の場合が12 μ mのところ、磁性体の場合には17 μ mとなり大幅に増大できた。また、磁性体のプッシュロッド 8 に磁性体よりなるヨーク 11（図 1、図 2）を接続し、磁気閉回路を構成してもよい。この場合、図 4 に示すように、さらに伸縮量を増大させることができる。また、蓋体 6 に磁性体である鉄を用いた場合、超磁歪素子の伸縮量は極端に減少させることができた。また、蓋体 6 に磁性体である鉄を用いた場合、超磁歪素子の伸縮量は1 μ m以下と極端に減少した。これらのことから、磁力発生手段からの部品配列を、透磁率の低い方から高い方へと配列することが最適であることがわかる。

10

【0053】

次いで、上記磁性体プッシュロッドの条件でかつ、上記磁気回路を開いた条件（磁気回路開）にて、14mm×長さ10mmのネオジム永久磁石 4 をマイクロメータ 3 a の先端に固定しマイクロメータ 3 a の読み値25.000mm~0mmまで超磁歪素子 2 との相対位置関係を変化させると、図 5 に示すように、約19 μ mの変位が生じ、かつ、使用したマイクロメータ 3 a の動作により0.01 μ mを制御することが可能であった。また、マイクロメータ 3 a の読み値25.000mm~0mmの間で任意の位置に固定すると、装置の出力も固定され変化を認めることは無かった。

20

【0054】

また、図 5 には、寸法の異なる各種のネオジム永久磁石を用いた結果、および、12mm×長さ4mmのフェライト永久磁石を用いた結果を併せて示した。この結果、フェライト永久磁石に比べ、ネオジム永久磁石を用いる方が、はるかに優れた伸縮、変位特性が得られることが分かる。

30

【0055】

さらに、図 6 には、ネオジム永久磁石を超磁歪素子 2 の伸縮方向に対し垂直方向に移動させた場合の、超磁歪素子 2 の伸縮量の一例を示した。この場合、永久磁石が近接するにしたがい超磁歪素子 2 は縮む。このような垂直方向への移動は、直線状の移動でも可能であるが、図 2 に示したような回転方式の移動でも、疑似的に達成可能である。図 6 に示すように、より小さな変位を制御できることが分かる。したがって、より微小な出力変位を得たい場合に好適である。

【0056】

なお、本発明において、永久磁石の移動に伴う超磁歪素子 2 の伸縮量は、多かれ少なかれ、伸び方向と縮み方向との間にヒステリシスを持つ。たとえば、図 7 に示すようなヒステリシスを持つ。しかしながら、このようにヒステリシスがある場合にあっては、そのヒステリシス特性を事前に把握しておきさえすれば、測定や出力の際の精度に問題が生じることはない。

40

【0057】

さらに、ホール素子等の磁力測定装置をプッシュロッド 8 の反超磁歪素子側に設置した場合、プッシュロッド 8 の磁化量は何ガウスであるかを読みとるだけで、そのときの伸縮量を把握することが可能であり、ヒステリシスを考慮する必要は無くなる。

【0058】

また、図 8 に例示するように、磁性体からなるプッシュロッドから磁力発生手段（永久磁石）までの部品配列が、磁力発生手段側から、（比）透磁率が低い方から高い方へと順

50

に行われることにより、磁化量の改善をはかることができる。

【0059】

図9は、本発明の一実施態様に係る硬さ測定装置としての超微小硬さ測定機を示しており、図9に示した超微小硬さ測定機においては、図9に示すように、門型フレーム31と防振ゴム29上に設けたベース盤28が連結され、そのベース盤28上に電子天秤27（たとえば、メトラ・トレド（株）製、PG2002-S）が載せられている。さらに粗調的に移動可能なZ軸ステージ26がその電子天秤27に載せられている。永久磁石22、マイクロメータ23、装置固定ベース24を備えた微小変位制御装置21は門型フレーム31の上面板に出力部分を下向きにして固定されている。この装置21の出力部分にピッカーダイヤモンド圧子30を取り付け、測定試料25をZ軸ステージ26に取り付ける。装置21の伸縮ストロークの最短位置にて超磁歪素子を伸縮させる。次に、固定可能なZ軸ステージ26にて測定試料に圧子30が接触するまで移動させ固定する。このときの接触確認は電子天秤27の値をみて行う。次に、装置21により正確に圧子30を所定量押し込む。そのときの荷重を電子天秤27で読みとる。さらに、上記押し込み量にプラスして所定量押し込む。このときの荷重を電子天秤27で読みとる。これを、最終押し込み量まで繰り返す。さらに、最終押し込み量に到達したあと、押し込みを所定量減少させ、そのときの荷重を計測する。さらに、上記減少量をマイナスして、荷重計測を順次行う。これを圧子押し込みの開始点まで繰り返して行う。これにより、「押し込み量 - 荷重」特性のグラフが、たとえば図10に示すように作成でき、連続特性曲線として求めることができる。この曲線は図10に示すように材質により異なるので、物性の比較検討が可能となる。

10

20

【0060】

この測定機においては、変位を伴うことなく荷重計測が可能な荷重計測装置と組み合わせることが望ましい。電子天秤、圧電素子等の荷重計測装置が好適である。押し込み量はオープンループにより決定するので、もし荷重計測に変位が伴うと、別途補正作業が必要となる。

【0061】

また、超磁歪素子および系にかかる荷重による弾性変形については、高精度測長機で、荷重無し、荷重100gで伸縮特性を比較したところ変化を認めることは無かった。

【0062】

この超磁歪素子の伸縮制御装置によりナノオーダーの押し込みが可能となるので、電子天秤等の微小荷重計測装置と併せて用いることにより、厚み数ミクロンオーダーの薄膜等の硬さ測定が可能となる。しかも、「押し込み量 - 荷重」特性の連続曲線が求まることにより、単に硬さだけにとどまらず、薄膜等の弾性率、ヤング率といった機械的性質を分析することも可能となる。

30

【0063】

また、図10において、圧子押し込み量および荷重のゼロ点を通る特性曲線は押し込み時の特性を示し、もう一方の特性曲線は押し込み量減少時（戻り方向）の特性を示し、両者間にはヒステリシスがある。この図10に示した測定結果から、次のようなことが分かる。

40

- ・同じ押し込み深さでも物質によって最大荷重に差がある。
- ・押し込み方向と戻り方向にヒステリシスがある。
- ・ヒステリシスの幅は物質により異なる。
- ・ヒステリシスが大きいということは、塑性変形分が多く弾性変形分が少ないことを表している。
- ・セラミックは塑性変形しづらく、硬い。
- ・銅は塑性変形分が多く、セラミックに比べ柔らかい。
- ・この曲線を見れば一目瞭然で物質の特性が把握できる。
- ・弾性変形、塑性変形を分けて評価することができる。
- ・弾性、塑性を分けて評価することができないと、例えばピッカー等による硬さ測定で

50

は、ゴムはとても硬い物質となってしまう。

- ・押し込み量を少なくすることにより、薄膜等の評価が可能になる。
- ・各測定点で硬さ値を求めることができる。

【0064】

また、微小変位制御装置の押し込みおよび荷重計測の自動化を図り、同時に連続計測することも可能である。これにより、より詳細な測定が可能となる。

【0065】

この圧子押し込みユニットに用いている超磁歪素子の伸縮制御装置は、超磁歪素子の物質としての伸縮を利用しているので、振動の影響を全く受けない。これにより、この超微小硬さ測定機の除振台は、簡易なものでも問題は無い。よって、高精度なものを安価に提供することが可能となる。

10

【0066】

なお、上記伸縮量の測定(図4～図7)は、(株)ミットヨ製、輪郭形状測定機”SV-C624”およびOKM社(独)高精度測長機 ULM OPAL1000を用いて行った。

【産業上の利用可能性】

【0067】

本発明に係る微小変位制御装置は、光学機器、精密加工機械、レーザー機器、計測器、その他微小かつ精密な変位や送りが必要なあらゆる分野の機器に適用でき、とくに、通常の方法では精度良く測定することが困難な薄膜等の硬さ測定や、弾性率、クリープ特性、ヤング率等の固有の物性の測定、微小変位センサの校正、微小位置決めステージ等に好適に適用できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0068】

【図1】本発明の一実施態様に係る微小変位制御装置の概略構成図である。

【図2】本発明の別の実施態様に係る微小変位制御装置の概略構成図である。

【図3】本発明のさらに別の実施態様に係る微小変位制御装置の概略構成図である。

【図4】各種条件下での超磁歪素子の伸縮特性図である。

【図5】各種磁石による超磁歪素子の伸縮特性図である。

【図6】磁力発生手段を超磁歪素子の伸縮方向に対し垂直方向に移動させた場合の超磁歪素子の伸縮特性図である。

30

【図7】超磁歪素子の伸縮量のヒステリシスの一例を示す特性図である。

【図8】透磁率による配列の一例を示す概略構成図である。

【図9】超微小硬さ測定機の概略構成図である。

【図10】押し込み量-荷重特性曲線の一例を示す特性図である。

【符号の説明】

【0069】

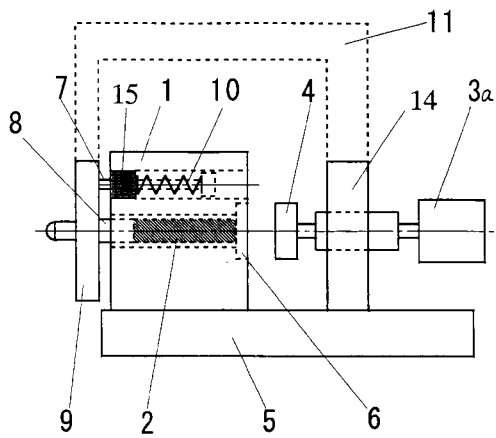
- 1 ブロック
- 2 超磁歪素子
- 3 マイクロメータまたはステッピングモータユニット
- 3 a マイクロメータ
- 3 b ステッピングモータユニット
- 4 永久磁石
- 5 ベース
- 6 蓋体
- 7 シャフト
- 8 プッシュロッド
- 9 プレート
- 10 スプリング
- 11 ヨーク
- 12 回転板

40

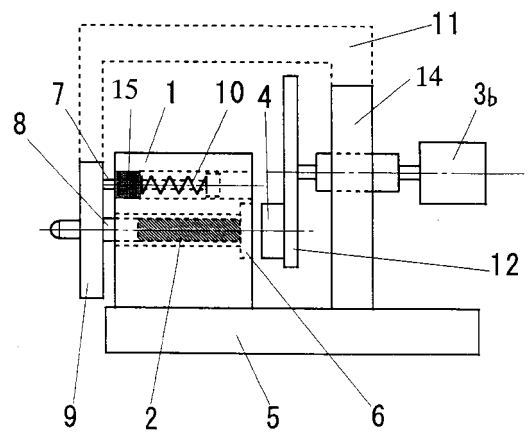
50

- 1 3 カムベアリング
- 1 4 シャフトホルダー
- 1 5 スライドガイド
- 1 6 スライドガイド
- 1 7 円形カム
- 2 1 微小変位制御装置
- 2 2 永久磁石
- 2 3 マイクロメータ
- 2 4 装置固定ベース
- 2 5 測定試料
- 2 6 Z軸ステージ
- 2 7 電子天秤
- 2 8 ベース盤
- 2 9 防振ゴム
- 3 0 圧子
- 3 1 門型フレーム

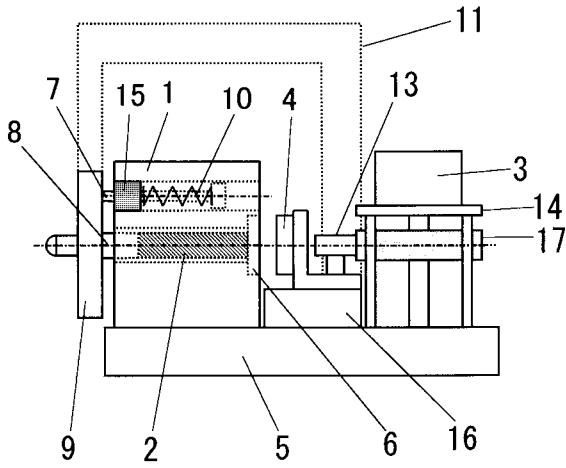
【図 1】



【図 2】

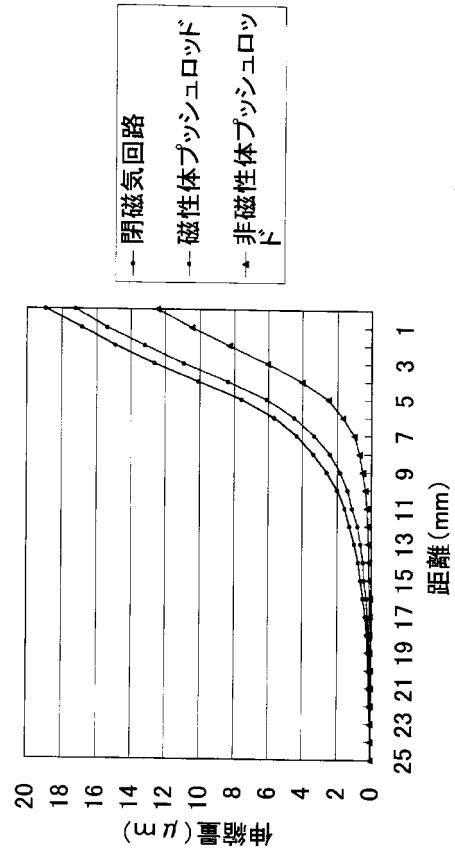


【 図 3 】



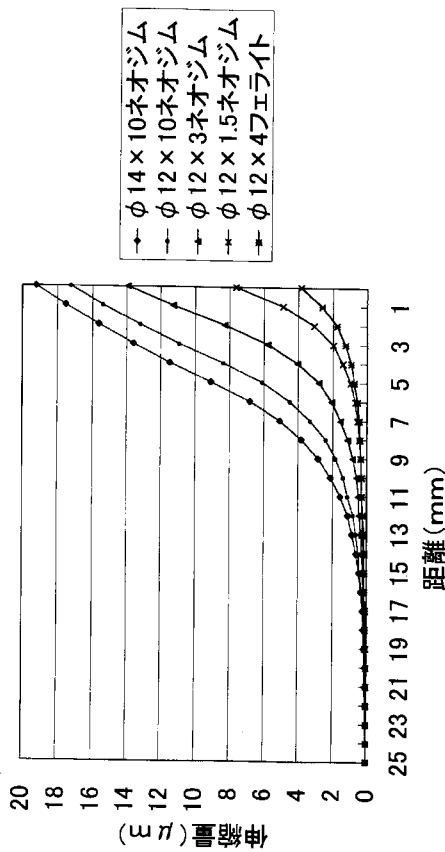
【 図 4 】

磁気回路各種 (φ12×10ネオジム)



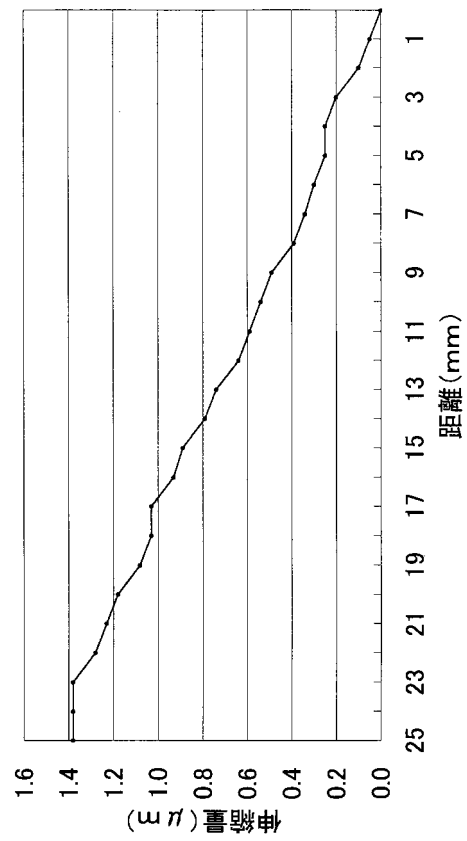
【 図 5 】

磁石各種 (磁性体プッシュロッド、磁気回路開)

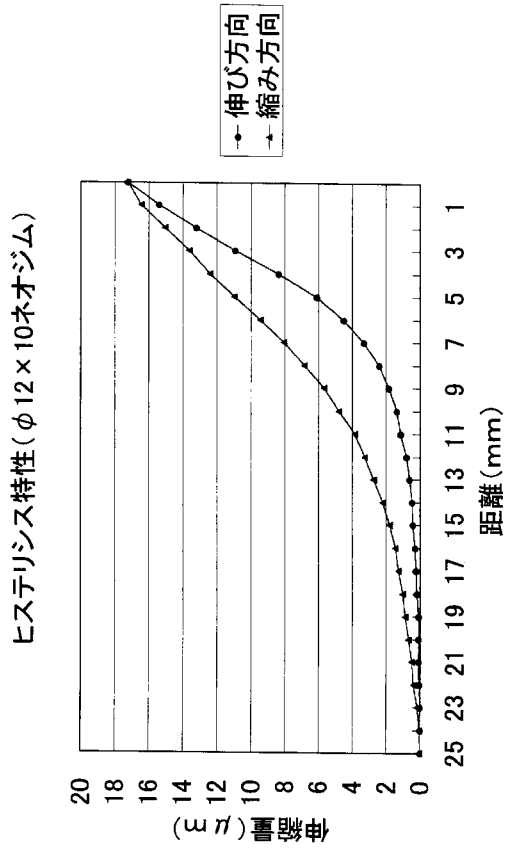


【 図 6 】

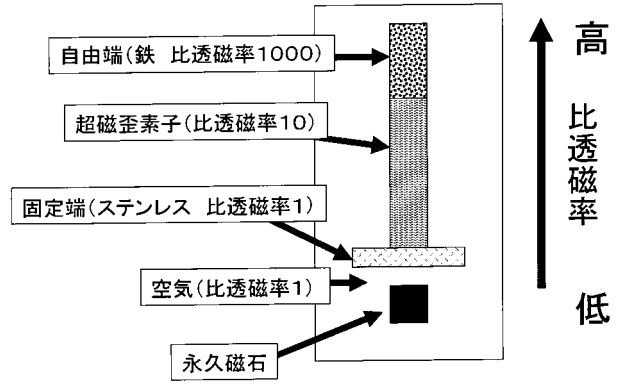
磁石—超磁歪素子 垂直方向 (30×20×4ネオジム)



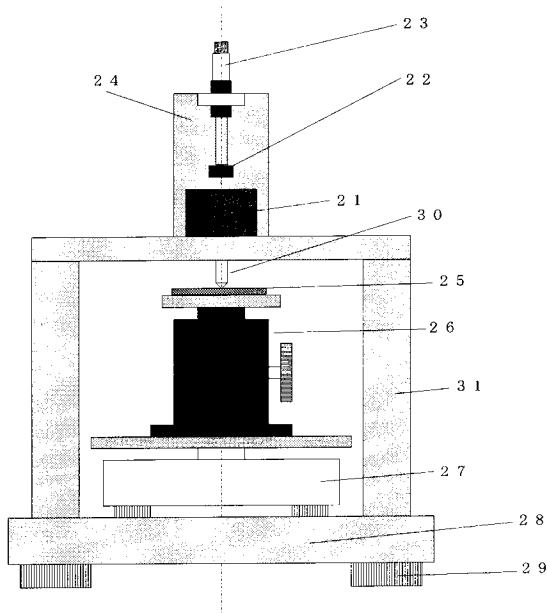
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

