

(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2013-257250

(P2013-257250A)

(43) 公開日 平成25年12月26日(2013.12.26)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 R 33/18 (2006.01) GO 1 R 33/18 2 GO 1 7
 GO 1 R 33/02 (2006.01) GO 1 R 33/02 H

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2012-134295 (P2012-134295)
 (22) 出願日 平成24年6月13日 (2012.6.13)

(71) 出願人 507076126
 株式会社 I F G
 宮城県仙台市青葉区折立一丁目14番9号
 (71) 出願人 592200338
 日本素材株式会社
 宮城県仙台市青葉区折立1丁目15番10号
 (72) 発明者 森 和美
 宮城県仙台市青葉区折立一丁目14番9号
 株式会社 I F G 内
 (72) 発明者 森 仁
 宮城県仙台市青葉区折立一丁目14番9号
 株式会社 I F G 内

最終頁に続く

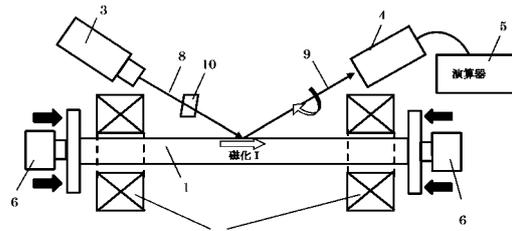
(54) 【発明の名称】 カー効果を利用した磁歪測定装置

(57) 【要約】

【課題】異方性磁界が大きい磁性薄膜や板状バルク磁性体でも精度の高い測定が可能であり、かつ、応力印可方法の空間的制約を大幅に排除した磁歪測定装置を提供する。

【解決手段】レーザー光等の光を磁性体に照射した場合、その反射光の偏光面が被測定対象物表面の磁化の大きさに比例して回転する(=カー効果)。そのため、変動磁界中に置いた被測定対象物表面に光を照射し、その反射光の偏光面の角度変化を測定することにより被測定部材の表面磁化の変化を測定することができる。この効果を活用し、被測定対象物に応力を加えながら被測定対象物表面の磁化変化を測定し、その測定結果から異方性磁界の変化を算出することにより被測定対象物の磁歪定数を求めることができる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被測定対象物の磁歪定数を測定する磁歪測定装置であって、
 被測定対象物に変動磁界を印加する磁界印可手段と、
 被測定対象物に応力を印加する応力印可手段と、
 被測定対象物表面に光を照射する光照射手段と、
 被測定対象物表面からの反射光の偏光面角度を検出するための偏光面角度検出手段と、
 前記偏光面角度検出手段により検出された偏光面角度より被測定対象物の磁歪定数を演算する磁歪定数演算手段と、
 を具備してなることを特徴とする磁歪測定装置。

10

【請求項 2】

前記被測定対象物に応力がかかっていない状態と前記応力印可手段にて前記被測定対象物に応力を印加した状態の 2 つの状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、下記数式 1 に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の磁歪測定装置。

【数 1】

$$\lambda = -\frac{I_s}{3} \cdot \frac{\Delta Hk}{\Delta S}$$

20

ΔS ：被測定対象物の応力変化(Pa)、

ΔHk ：被測定対象物の異方性磁界変化(A/m)、

λ ：被測定対象物の磁歪定数、 I_s ：被測定対象物の飽和磁化(T)

【請求項 3】

前記被測定対象物に前記応力印可手段にて様々な大きさの応力を印加しながら、各応力印可状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、応力変化に対する異方性磁界の変化を直線近似法にて算出し、その算出結果を用いて、下記数式 2 に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の磁歪測定装置。

30

【数 2】

$$\lambda = -\frac{I_s}{3} \cdot \alpha$$

40

α ：応力と異方性磁界の直線近似の傾き ($\Delta Hk/\Delta S$)

λ ：被測定対象物の磁歪定数、 I_s ：被測定対象物の飽和磁化(T)

【請求項 4】

前記被測定対象物がウェハ上に成膜された磁性膜であって、前記応力印可手段がナイフエッジによるものであることを特徴とする請求項 1 に記載の磁歪測定装置。

【請求項 5】

前記ナイフエッジに押し当て力がかかっていない状態と前記ナイフエッジに押し当て力を印加した状態の 2 つの状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光

50

面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、下記数式 3 に基づいて演算することにより、前期被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項 4 に記載の磁歪測定装置。

【数 3】

$$\lambda = \frac{2Wt^2 e_s I_s}{9Le_f} \cdot \frac{\Delta Hk}{\Delta G}$$

ΔG : ナイフエッジの押し当て力 (N)、

ΔHk : 被測定対象物の異方性磁界変化(A/m)、

W : ウェハの実効幅(m)、 t : ウェハ厚み(m)、 L : ナイフエッジの実効間隔

e_s : ウェハのヤング率、 e_f : 磁性膜の ヤング率

λ : 磁性膜の磁歪定数、 I_s : 磁性膜の飽和磁化(T)

10

【請求項 6】

前記ナイフエッジに様々な大きさの押し当て力を印加しながら、各押し当て力印可状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、押し当て力変化に対する異方性磁界の変化を直線近似法にて算出し、その算出結果を用いて、下記数式 4 に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項 4 に記載の磁歪測定装置。

20

【数 4】

$$\lambda = \frac{2Wt^2 e_s I_s}{9Le_f} \cdot \alpha'$$

α : 押し当て力と異方性磁界の直線近似の傾き ($\Delta Hk / \Delta G$)、

W : ウェハの実効幅(m)、 t : ウェハ厚み(m)、 L : ナイフエッジの実効間隔

e_s : ウェハのヤング率、 e_f : 磁性膜の ヤング率

λ : 磁性膜の磁歪定数、 I_s : 磁性膜の飽和磁化(T)

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁歪測定装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

磁性を用いた各種製品（トランス用コア、ノイズカットフェライト、MR センサ等）は、その製造工程において、切断加工や曲げ加工によって生じる応力により、その磁気的性能が著しく劣化することが問題となっている。これは磁性体もつ磁歪異方性により、製品内部に残った残留応力が性能を劣化させるものであり、この劣化を抑えるために、磁歪定数の小さい材料の開発が求められている。また、成膜によって製作される製品は、成膜後その磁歪定数が十分に小さいことが確認できれば、最終製品になった段階での歩留まりを大きく改善することができる。そのため、磁性を用いた製品の開発、生産現場において、磁歪測定の重要度が増してきている。

50

【 0 0 0 3 】

現在、磁歪の測定は大きく分類して2つの方法で測定がおこなわれている。

【 0 0 0 4 】

現在主に用いられている磁歪測定の一つの方法は光テコ法という方法である。ウェハ上に成膜した磁性膜に磁界をかけると、磁性膜は磁歪定数に比例して伸縮するが、それに対しウェハはほとんど伸縮しないため、ウェハ全体がかすかに曲がってしまう。この現象を利用し、レーザー光をウェハもしくは、磁性膜に照射し、その反射光がかえってくる位置の変化によって、外部磁界に対するウェハの曲がり具合を評価して、磁歪定数を見積もるという方法である。この方法を用いた場合、光路を長くすればテコのように測定感度がよくなるが、非常に広大なスペースを独占することになってしまう。また、この方法は、ウェハが薄く小さい場合にはある程度の性能を発揮するが、製品で実際に使用されるレベルの厚みとなると、その厚みの二乗に比例して分解能が悪くなってしまうため、生産現場では使いにくいという問題がある。

10

【 0 0 0 5 】

現在主に用いられているもう一つの磁歪測定方法は強制磁歪法である。特許文献1にこの方法の一例が開示されている。この方法は、被測定対象物内部に強制的に応力を発生させ、その際の被測定対象物の磁気的特性の変化から磁歪定数を決定する方法である。被測定対象物がバルク試料の場合は、油圧シリンダなどで応力印可を行い、被測定対象物が磁性膜の場合はナイフエッジと呼ばれる器具にて応力印可を行う。各応力における異方性磁界の変化をピックアップコイルにて拾い、その結果から磁歪定数を算出する。この方法を用いた場合、外力による応力印可によって強制的に磁歪異方性を発生させるため、かなり大きな異方性変化を得ることができ、非常に小さな磁歪定数の測定も可能である。

20

【 0 0 0 6 】

強制磁歪法は非常に感度のよい方法ではあるが、被測定対象物が薄膜の場合、異方性磁界が大きい試料では測定が難しいという問題がある。また、被測定対象物において、ある程度応力が均一になっている部分の磁束を拾えるようなピックアップコイルおよび応力印可部の構造としないと正確な測定ができないため、ピックアップコイルと応力印可部とが干渉しやすく、空間的な制約があるという問題がある。加えて、ピックアップコイルを用いて、板状バルク磁性体を曲げて磁歪測定する場合、伸び方向の応力と縮み方向の応力の双方の影響を同時に測定することになってしまい、正しい異方性磁界の変化が拾えないという問題も生じている。

30

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特許公開平 5 - 2 8 1 3 2 1

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

本発明は上記のごとき状況に鑑みてなされたものであり、異方性磁界が大きい試料や板状バルク磁性体でも精度の高い測定が可能で、かつ、応力印可方法の空間的制約を大幅に排除した磁歪測定装置を提供することを目的とする。

40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

上記の課題を解決する請求項1に係る発明は、被測定対象物の磁歪定数を測定する磁歪測定装置であって、

被測定対象物に変動磁界を印加する磁界印可手段と、

被測定対象物に応力を印加する応力印可手段と、

被測定対象物表面に光を照射する光照射手段と、

被測定対象物表面からの反射光の偏光面角度を検出するための偏光面角度検出手段と、

前記偏光面角度検出手段により検出された偏光面角度より被測定対象物の磁歪定数を演

50

算する磁歪定数演算手段と、

を具備してなることを特徴とする磁歪測定装置である。

【0010】

また、請求項2に係る発明は、前記被測定対象物に応力がかかっていない状態と前記応力印可手段にて前記被測定対象物に応力を印加した状態の2つの状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、数式1に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項1に記載の磁歪測定装置である。

【0011】

また、請求項3に係る発明は、前記被測定対象物に前記応力印可手段にて様々な大きさの応力を印加しながら、各応力印可状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、応力変化に対する異方性磁界の変化を直線近似法にて算出し、その算出結果を用いて、数式2に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項1に記載の磁歪測定装置である。

【0012】

また、請求項4に係る発明は、前記被測定対象物がウェハ上に成膜された磁性膜であって、前記応力印可手段がナイフエッジによるものであることを特徴とする請求項1に記載の磁歪測定装置である。

【0013】

また、請求項5に係る発明は、前記ナイフエッジに押し当て力がかかっていない状態と前記ナイフエッジに押し当て力を印加した状態の2つの状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、数式3に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項4に記載の磁歪測定装置である。

【0014】

また、請求項6に係る発明は、前記ナイフエッジに様々な大きさの押し当て力を印加しながら、各押し当て力印可状態において、それぞれ、前記変動磁界の変化に対する前記偏光面角度の変化を前記偏光面角度検出手段にて測定し、その測定結果を前記磁歪定数演算手段に入力して、押し当て力変化に対する異方性磁界の変化を直線近似法にて算出し、その算出結果を用いて、数式4に基づいて演算することにより、前記被測定対象物の磁歪定数を算出することを特徴とする請求項4に記載の磁歪測定装置である。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、異方性磁界が大きい試料や板状バルク磁性体でも精度の高い測定が可能であり、かつ、応力印可方法の空間的制約を大幅に排除した磁歪測定装置を提供することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の第一の実施形態

【図2】本発明の第二の実施形態

【図3】応力による異方性磁界の変化

【図4】 H_k / S (または G) の直線近似による算出

【図5】ナイフエッジ形状

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明を実施するための第1の形態について、図1を使用して説明する。本発明は被測定対象物の磁歪定数を測定する磁歪測定装置であって、被測定対象物1に変動磁界を印加

10

20

30

40

50

する磁界印可手段 2 と、被測定対象物 6 に応力を印加する応力印可手段と、被測定対象物 1 表面に光を照射する光照射手段 3 と、被測定対象物 1 表面からの反射光 9 の偏光面角度を検出するための偏光面角度検出手段 4 と、前記偏光面角度検出手段 4 により検出された偏光面角度より被測定対象物 1 の磁歪定数を演算する表面応力演算手段 5 とから構成される。また、多くの場合、光照射手段 3 から照射された入射光 8 の経路上に入射光 8 を偏光するための偏光フィルター 10 が設置される。

【0018】

磁界印可手段 2 は、ソレノイドコイル、ヘルムホルツコイルまたは電磁石と、それらを駆動する励磁電源とから構成される。その形状は、被測定部材全体もしくは被測定対象物 1 表面の被測定領域に磁界を印加できるように設計されている必要がある。また、応力印可手段としては、油圧/空圧シリンダや電動モーターシリンダ等を使用することができる。光照射手段 3 としては、レーザー発振器、単色光ランプを使用することができる。また、偏光面角度検出手段 4 としては、フォトダイオード、光電子増倍管などの光センサと回転偏光子とを組み合わせたものを使用することができる。より精度が必要な場合は、この構成にロックインアンプを加えるとよい。また、磁歪定数演算手段 5 としては、パーソナルコンピューター、組み込みマイコン、アナログ演算器などを使用する。

10

【0019】

磁界印可手段 2 より、被測定対象物 1 に変動磁界を与えると、被測定対象物 1 表面の磁化が、この変動磁界により変化する。このとき、変動磁界は正弦波状もしくは三角波状であることが好ましい。この磁界中にある被測定対象物 1 に、光照射手段 3 より光を照射すると、その反射光 9 の偏光面は、被測定対象物 1 の磁化の大きさに比例して回転する。この偏光面の回転は「カー効果」として知られる現象である。この反射光 9 を、回転する偏光子を通して、光センサに入光させると、回転偏光子の角度と反射光の偏光面角度が一致する場合に、光センサへの入光量が最大となる。すなわち、この入光量が最大となる回転偏光子の角度を求めることにより、反射光 9 の偏光面角度を求めることができる。この偏光面角度の変化は磁化の変化に比例するため、測定された偏光面角度を磁歪定数演算手段 5 に入力することで被測定対象物 1 表面の磁化の大きさを算出することができる。

20

【0020】

磁性体である被測定対象物 1 に応力を印加すると、被測定対象物 1 内部の磁気異方性エネルギーが変化する。この応力によって変化する異方性エネルギーを磁歪異方性エネルギーといい、その大きさは数式 5 で表される。このエネルギー変化は、異方性磁界 H_k の変化として読み取ることができ、数式 6 の関係があることが知られている。これを変形することにより数式 1 が得られる。すなわち、被測定対象物 1 の無応力時の異方性磁界の大きさと応力印可時の異方性磁界の差から磁歪定数を算出することが可能となる。

30

【0021】

【数 5】

$$E_s = -\frac{3}{2} \lambda S \cos^2 \phi$$

40

S: 応力(Pa)、 λ : 磁歪定数、

E_s : 磁歪異方性エネルギー、 ϕ : 応力と磁化のなす角度

【0022】

【数 6】

$$\frac{dHk}{dS} = -\frac{3\lambda}{I_s}$$

S : 応力(Pa)、**λ** : 被測定対象物の磁歪定数、
Hk : 異方性磁界(A/m) 、**I_s** : 飽和磁化(T)

10

【0023】

より磁歪定数の測定精度をあげるためには、印可する応力を何段階かに変化させ、印可応力と異方性磁界との直線近似をとり、その傾きの大きさを算出するとよい。図4にて、その直線近似方法について示す。この直線の傾きの大きさを数式2に代入すれば、より正確な磁歪定数の算出が可能である。

【0024】

本発明を実施するための第2の形態について、図2を使用して説明する。基本的な構成は第1の形態と同様である。第2の形態では、被測定対象物1はウェハ上に成膜された磁性膜であり、また、応力印可手段としてナイフエッジ7を使用する。ナイフエッジとは、各エッジ間が正確に平行関係となる構造の応力印可手段であり、何本かのナイフ状のエッジが被測定対象物の上下に配置される。エッジ部分を被測定対象物に押し当て、強制的に曲げることで応力を発生させる。図5に4エッジ式のナイフエッジと被測定対象物との位置関係を図示する。このほかに3エッジ式のナイフエッジを使用する場合もあるが、4エッジ式のナイフエッジの方が、応力分布が緩やかになり測定がしやすい。このナイフエッジの押し当て力とウェハ上の磁性膜の歪の間には、一般的な二辺支持梁の歪計算式を使用することができ、これを用いるとナイフエッジの押し当て力と磁性膜上の応力の間には数式7で示す関係があることがわかる。この数式7を一般的な磁歪定数算出式である数式1に代入すると、数式3が得られる。この数式3を用いれば、押し当て力による異方性磁界の変化から被測定対象物の磁歪定数を算出することが可能となる。

20

30

【0025】

【数 7】

$$S = e_f \cdot \varepsilon = e_f \cdot \left(-\frac{3LG}{2Wt^2 e_s} \right)$$

G : ナイフエッジの押し当て力 (N)、

W : ウェハの実効幅(m)、**t** : ウェハ厚み(m)、**L** : ナイフエッジの実効間隔

40

e_s : ウェハのヤング率、**e_f** : 磁性膜のヤング率

λ : 磁性膜の磁歪定数、**I_s** : 磁性膜の飽和磁化(T)、**S** : 応力(Pa)、

【0026】

より磁歪定数の測定精度をあげるためには、ナイフエッジの押し当て力を何段階かに変化させ、押し当て力と異方性磁界との直線近似をとり、その傾きの大きさを算出するとよい。図4にて、その直線近似方法について示す。この直線の傾きの大きさを数式4に代入すれば、より正確な磁歪定数の算出が可能である。

【産業上の利用可能性】

50

【 0 0 2 7 】

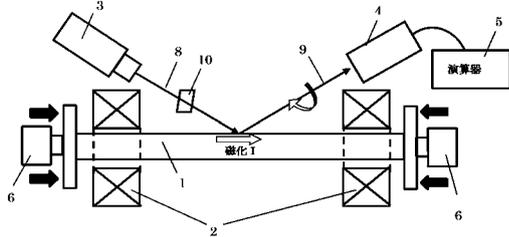
本発明によれば、永久磁石膜やアモルファスコアなど今まで測定が難しかった被測定対象物の測定が可能である。また、微小な被測定対象物の測定や被測定対象物表面のさまざまな位置における磁歪定数測定も可能であり、小型センサや複雑なコアの特性評価にも使用することが可能である。

【 符号の説明 】

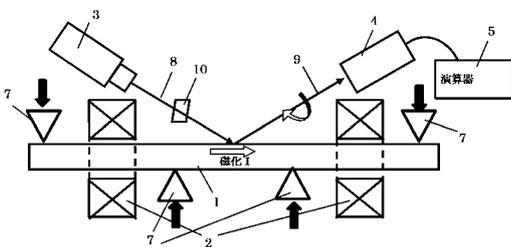
【 0 0 2 8 】

- 1 被測定対象物
- 2 磁界印可手段
- 3 光照射手段
- 4 偏光面角度検出手段
- 5 表面応力演算手段
- 6 応力印可手段
- 7 ナイフエッジ
- 8 入射光
- 9 反射光
- 10 偏光子

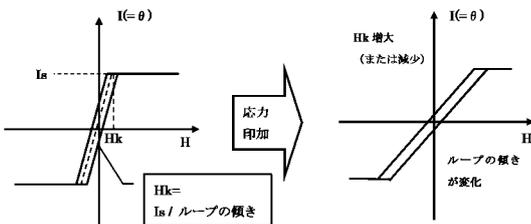
【 図 1 】



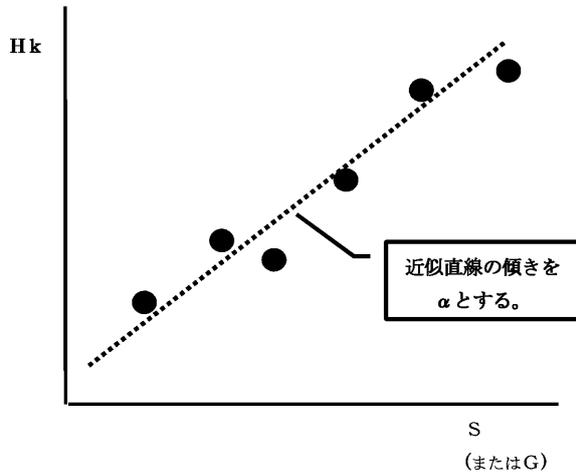
【 図 2 】



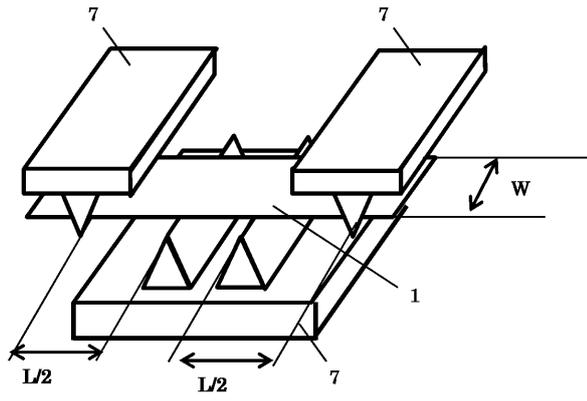
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 阿部 利彦

宮城県仙台市青葉区折立一丁目14番9号 株式会社I F G内

(72)発明者 八島 芳信

宮城県仙台市青葉区折立一丁目15番10号 日本素材株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AD13 BA01 CA11 CC01