

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4150013号
(P4150013)

(45) 発行日 平成20年9月17日(2008.9.17)

(24) 登録日 平成20年7月4日(2008.7.4)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 L 1/18 (2006.01) G O 1 L 1/18 Z

請求項の数 8 (全 12 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2005-100933 (P2005-100933)</p> <p>(22) 出願日 平成17年3月31日 (2005.3.31)</p> <p>(65) 公開番号 特開2006-284208 (P2006-284208A)</p> <p>(43) 公開日 平成18年10月19日 (2006.10.19)</p> <p>審査請求日 平成17年10月19日 (2005.10.19)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000003067 T D K株式会社 東京都中央区日本橋一丁目13番1号</p> <p>(74) 代理人 100097113 弁理士 堀 城之</p> <p>(74) 代理人 100124316 弁理士 塩田 康弘</p> <p>(72) 発明者 桑島 哲哉 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K株式会社内</p> <p>(72) 発明者 太田 尚城 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K株式会社内</p> <p>審査官 松川 直樹</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 トンネル効果素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

共に導電性を有する下部電極と上部電極との間に単一のトンネル障壁を形成する絶縁層が挟まれた構造と、

前記絶縁層、前記下部電極及び前記上部電極からなるセンサー部を取り囲み、かつ検知対象物の表面に形成され、該検知対象物のたわみを前記センサー部に伝達する絶縁性の酸化物からなる伝達部材と、

を具備することを特徴とするトンネル効果素子。

【請求項2】

前記トンネル効果素子は、前記検知対象物の応力変化を電気抵抗変化として検出することを特徴とする請求項1記載のトンネル効果素子。 10

【請求項3】

前記絶縁層における前記単一のトンネル障壁を形成する箇所を挟んで前記下部電極と前記上部電極とが互いに平面状に対向する構造を有することを特徴とする請求項1又は2に記載のトンネル効果素子。

【請求項4】

前記絶縁層における前記単一のトンネル障壁を形成する箇所の厚さが0.4~2.5nmの範囲であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のトンネル効果素子。

【請求項5】

抵抗値と面積との積である面積抵抗率が100k・ μm^2 以下であることを特徴とす 20

る請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のトンネル効果素子。

【請求項 6】

前記下部電極及び前記上部電極は、非磁性体であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のトンネル効果素子。

【請求項 7】

前記下部電極及び前記上部電極は、同一の材質であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のトンネル効果素子。

【請求項 8】

内部に、応力に基づく $\pm 3\%$ 以内の歪が内在していることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のトンネル効果素子。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、加速度、圧力、荷重、変位等の物理量を受けて歪を生じ、上記歪に対応した抵抗変化を示すトンネル効果素子に関する

【背景技術】

【0002】

従来の微小検知素子には、磁気部材の一部に磁歪部を有するトンネル磁気抵抗効果素子を、検知対象物の圧力変化を検知するためのセンサー部に備えているものがある（例えば、特許文献 1 参照。）。以下、この技術を第 1 の従来例と呼ぶ。

20

また、従来のトンネル磁気抵抗効果素子を備える応力センサーには、トンネル磁気抵抗効果素子を磁気シールドによって包囲しているものもある（例えば、特許文献 2 参照。）。以下、この技術を第 2 の従来例と呼ぶ。

上記した第 1 及び第 2 の従来例によれば、抵抗変化量が数百 mΩ と小さいひずみゲージに比べて、(1) ホイートストンブリッジ回路等が不要なため回路構成が簡単である、(2) 感圧に寄与する面積が小さいため微細箇所の局所的な変位を検知できる、という利点がある。

【特許文献 1】特開 2002 - 148132 号公報（請求項 1，[0028]，[0035]～[0036]、図 4，図 5）

【特許文献 2】特開 2003 - 37312 号公報（請求項 1，[0020]～[0028]

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、上記した第 1 の従来例では、(1) 検知動作でトンネル磁気抵抗効果素子に一樣な外部磁界を印加する必要があること、(2) センサー部として、トンネル磁気抵抗効果素子以外に、磁気抵抗効果素子、巨大磁気抵抗効果素子、磁気インピーダンス素子又は電磁誘導コイルも使用可能であること、からも分かるように、トンネル遷移確率が変化するというトンネル効果素子固有の特性を利用しているわけではない。即ち、上記した微小検知素子の動作原理は、あくまでも磁歪部材に応力が加えられることによりモーメントが回転し、これに起因してトンネル磁気抵抗効果素子の抵抗値が変化するというものである。このため、本来検知すべき圧力に応じた抵抗変化に外乱磁界に起因する抵抗変化がノイズとして加わると、安定した出力が得られないという問題がある。従って、例えば、磁気ディスク装置における加速度センサーや、車載用の衝撃センサーなど、比較的大きな外乱磁界が発生する箇所への応用が困難という問題がある。

40

【0004】

一方、上記した第 2 の従来例によれば、磁気抵抗効果素子を磁気シールドによって包囲しているので、磁気ディスク装置内や自動車内のように、大きな外乱磁界が発生する環境下でも安定した出力が得られる。しかし、この第 2 の従来例で用いられる磁気抵抗効果素子も、トンネル磁気抵抗効果素子以外に、異方性磁気抵抗効果をもつもの、巨大磁気抵抗

50

効果（GMR効果）をもつものも使用可能とあることから、トンネル遷移確率が変化するというトンネル効果素子固有の特性を利用しているわけではない。従って、当然のことながら、検知対象物が磁性材料である場合には、適用することができず、汎用性に欠けるとい課題があった。

【0005】

また、上記した第1の従来例では、絶縁性の基板の上に、Fe₂₀-Ni₈₀膜等のスピ
ン偏磁率の高い導電性磁性薄膜、酸化アルミニウム（アルミナ）（Al₂O₃）膜及びFe
-Co₅₀膜等の磁歪定数の大きな磁性薄膜を順次積層することにより、トンネル磁気
抵抗効果素子を構成している。即ち、トンネル障壁（バリア）を挟む下側薄膜と上側薄膜
の材料が異なっているため、それぞれの熱膨張係数に差があると思われる。このため、検
知対象物がおかれた環境で温度変動があると、トンネルバリア周辺部で熱膨張応力が発生
し、サーマルドリフト等の原因となるおそれがある。なお、上記した第2の従来例では、
トンネル磁気抵抗効果素子の具体的な構成及び材料については、何ら開示も示唆もされて
いないため、上記した課題を解決することはできない。

10

【0006】

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、上述のような課題を解決する
ことができるトンネル効果素子及び物理量／電気量変換器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、請求項1記載の発明に係るトンネル効果素子は、
共に導電性を有する下部電極と上部電極との間に単一のトンネル障壁を形成する絶縁層が
挟まれた構造と、前記絶縁層、前記下部電極及び前記上部電極からなるセンサー部を取り
囲み、かつ検知対象物の表面に形成され、該検知対象物のたわみを前記センサー部に伝達
する絶縁性の酸化物からなる伝達部材と、を具備することを特徴としている。

20

【0008】

また、請求項2記載の発明は、請求項1記載のトンネル効果素子に係り、前記トンネル
効果素子は、前記検知対象物の応力変化を電気抵抗変化として検出することを特徴として
いる。

また、請求項3記載の発明は、請求項1又は2に記載のトンネル効果素子に係り、前記
絶縁層における前記単一のトンネル障壁を形成する箇所を挟んで前記下部電極と前記上部
電極とが互いに平面状に対向する構造を有することを特徴としている。

30

また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至3のいずれかに記載のトンネル効果素子に
係り、前記絶縁層における前記単一のトンネル障壁を形成する箇所の厚さが0.4～2.
5nmの範囲であることを特徴としている。

また、請求項5記載の発明は、請求項1乃至4のいずれかに記載のトンネル効果素子に
係り、抵抗値と面積との積である面積抵抗率が100k $\cdot\mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴
としている。

また、請求項6記載の発明は、請求項1乃至5のいずれかに記載のトンネル効果素子に
係り、前記下部電極及び前記上部電極は、非磁性体であることを特徴としている。

また、請求項7記載の発明は、請求項1乃至6のいずれかに記載のトンネル効果素子に
係り、前記下部電極及び前記上部電極は、同一の材質であることを特徴としている。

40

また、請求項8記載の発明は、請求項1乃至7のいずれかに記載のトンネル効果素子に
係り、内部に、応力に基づく $\pm 3\%$ 以内の歪が内在していることを特徴としている。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、下部電極と上部電極の熱膨張係数の違いによるドリフトの影響を受け
ることなく、また外来磁場からの影響を受けにくく、汎用性を有するトンネル効果素子を
提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

50

実施の形態 1 .

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係るトンネル効果素子 1 の構成を示す外観図、図 2 は、図 1 に示すトンネル効果素子 1 を構成するセンサー部 2 の外観構成を示す斜視図、図 3 は、図 1 に示すトンネル効果素子 1 を検知対象物 2 1 に実装した状態を示す一部透視斜視図である。この例のトンネル効果素子 1 は、センサー部 2 と、配線部 3 及び 4 とから構成されており、その周囲には伝達部材（充填材）5 が充填されている。センサー部 2 は、図 2 に示すように、トンネルバリアを構成する絶縁層 1 1 と、下部電極 1 2 と、上部電極 1 3 とから構成されている。絶縁層 1 1 は、例えば、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、酸化マグネシウム（ MgO ）等からなり、略円柱状を呈している。絶縁層 1 1 は、直径が、例えば、約 100 nm、厚さが、例えば、約 1 nm である。下部電極 1 2 及び上部電極 1 3 は、いずれも、例えば、非磁性体であって、良導体であるタンタル（ Ta ）等からなり、略円柱状を呈している。下部電極 1 2 及び上部電極 1 3 は、いずれも、直径が、例えば、約 100 nm、厚さが、例えば、約 30 nm である。

10

【0012】

また、図 1 において、配線部 3 は、例えば、銅（ Cu ）等からなる。配線部 3 は、平面より見て略 T 字状を呈するプレート部 3 a と、略円柱状を呈する柱状部 3 b と、略円盤状を呈するパッド部 3 c とから構成されている。プレート部 3 a は、幅広部 3 a a と、幅狭部 3 a b とが一体に形成されている。プレート部 3 a の厚さは、例えば、200 nm である。幅広部 3 a a の略中央上面は、下部電極 1 2 の下面と電氣的に接続されている。一方、幅狭部 3 a b の幅広部 3 a a とは反対側の端部上面は、柱状部 3 b の下面と電氣的に接続されている。また、柱状部 3 b の上面は、パッド部 3 c の下面と電氣的に接続されている。パッド部 3 c の上面には、金（ Au ）等からなるプローブ 6 が接触されており、プローブ 6 の図示せぬ他端は、図示せぬ検知回路と電氣的に接続されている。

20

【0013】

また、配線部 4 は、例えば、銅（ Cu ）等からなる。配線部 4 は、平面より見て略 T 字状を呈するプレート部 4 a と、略円盤状を呈するパッド部 4 b とから構成されている。プレート部 4 a は、幅広部 4 a a と、幅狭部 4 a b とが一体に形成されている。プレート部 4 a の厚さは、例えば、200 nm である。幅広部 4 a a の略中央下面は、図 1 には示していないが、上部電極 1 3 の上面と電氣的に接続されている。一方、幅狭部 4 a b の幅広部 4 a a とは反対側の端部上面は、パッド部 4 b の下面と電氣的に接続されている。パッド部 4 b の上面には、金（ Au ）等からなるプローブ 7 が接触されており、プローブ 7 の図示せぬ他端は、図示せぬ検知回路と電氣的に接続されている。

30

【0014】

充填材 5 は、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、酸化マグネシウム（ MgO ）等の絶縁物からなる。充填材 5 は、例えば、図 3 に示すように、検知対象物 2 1 の上面に、トンネル効果素子 1 を、検知対象物 2 1 の挙動が充填材 5 を介してトンネル効果素子 1 に効率良く伝達するように、トンネル効果素子 1 の周囲に固く充填する。以上説明したトンネル効果素子 1 及び充填材 5 のうち、トンネル効果素子 1 を構成する絶縁層 1 1 以外は、検知対象物の上面に、化学気相成長（ CVD : Chemical Vapor Deposition）法、真空蒸着法又はスパッタ法等の薄膜形成技術、リソグラフィ（*lithography*）技術、エッチング技術、メッキ技術等を用いて、形成する。

40

【0015】

一方、絶縁層 1 1 を酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）で構成する場合には、（1）金属アルミニウムを下部電極 1 2 上に形成した後、大気中で自然酸化させる、（2）金属アルミニウムを下部電極 1 2 上に形成した後、大気中、真空中でプラズマ酸化法によって酸化させる、（3）酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）膜を CVD 法、真空蒸着法又はスパッタ法等の薄膜形成技術で形成する、いずれかの方法で形成する。

【0016】

次に、センサー部 2 のサイズ、形状、材質等を上記したように設定した理由について説明する。まず、センサー部 2 は、微細箇所の局所的な変位を検知するためには、小さけれ

50

ば小さいほど良いことがいうまでもないが、センサー部2を小さくすると、一般的には、抵抗値が高くなるとともに、加工上の問題もある。また、センサー部2の抵抗値が高い場合（例えば、100M以上）、下部電極12と上部電極13との間に印加すべき電圧が高くなってしまい、直流電源に一般的でない回路素子を用いなければならない。一方、センサー部2の抵抗値が低い場合（例えば、10以下）、絶縁層11においてリーク電流が発生するおそれがある。従って、センサー部2の抵抗値は、100～1Mであることが好ましい。

【0017】

そこで、センサー部2が小さくなくてもセンサー部2の抵抗値を100～1Mに維持するためには、センサー部2の抵抗値と面積との積である面積抵抗率RA（Resistance Area Product）を低く抑える必要があり、本発明者らが鋭意検討した結果、面積抵抗率RAは、 $100\text{ k} \cdot \mu\text{m}^2$ 以下であることが好ましいことが判明した。図4は、略円柱状を呈しているセンサー部2の直径と面積抵抗率RAとの関係について概算した結果を示している。図4において、ハッチングを施した範囲が実用的な範囲である。そこで、この実施の形態1では、センサー部2の直径を100nmとしている。また、センサー部2の直径が10nm以下である微細なセンサーを設計する場合は、面積抵抗率RAは、 $1\text{ k} \cdot \mu\text{m}^2$ 以下であることが好ましい。

【0018】

次に、センサー部2を構成する絶縁層11の厚さと面積抵抗率RAとの関係について説明する。まず、本発明者らは、センサー部2は、以下に示す動作原理に基づいて動作しているものと考えている。

(a) センサー部2に加速度、圧力、荷重、変位等の物理量が印加されると、その物理量がトンネルバリアを構成する絶縁層11に伝達され、絶縁層11が歪む。絶縁層11の歪みとして最も顕著なものは、絶縁層11の厚さである。

(b) 絶縁層11の厚さが変化すると、センサー部2の抵抗値が対数関数的に変化する。

【0019】

従って、センサー部2は、印加される物理量に対して大きな抵抗値変化を得るためには、絶縁層11の厚さが重要な要素である。図5は、センサー部を構成する下部電極の上面に形成されたアルミニウムの厚さと面積抵抗率RAとの関係を示す一例である（小林和雄、外2名、「トンネル型巨大磁気抵抗 スピンバルブ型トンネル接合」、まてりあ、Materia Japan 第37巻 第9号(1998)、p.736-740参照）。ここで、アルミニウムの厚さと、センサー部を構成する絶縁層を酸化アルミニウム(Al_2O_3)で構成する際に下部電極上に形成し、自然酸化させる前の金属アルミニウムの厚さをいう。図5から分かるように、面積抵抗率RAは、アルミニウムの厚さが1.3nmより薄い領域において、アルミニウムの厚さに対する依存性が大きく、センサー部として大きな抵抗変化が得られる。

【0020】

本発明者らは、アルミニウムの厚さが上記図5に示すものよりさらに薄い領域について、アルミニウムの厚さと面積抵抗率RAとの関係を実験的に求めた。図6は、その実験的に求めたアルミニウムの厚さと面積抵抗率RAとの関係の一例を示している。図6に示す実験結果は、下部電極及び上部電極として、厚さ30nmを有するタンタル(Ta)膜を用いている。図6では、アルミニウムの厚さが10%変化すると、面積抵抗率RAが70%だけ線形的に変化していることが分かる。つまり、面積抵抗率RAは、アルミニウムの厚さが1.3nm以下の領域において、アルミニウムの厚さに対する依存性が大きく、センサー部2として大きな抵抗変化が得られる。1.3nmのアルミニウムは2.0nm～2.5nmの酸化アルミニウム膜となるので、本実施の形態1では、絶縁層11の厚さを約1nmとしている。面積抵抗率RAが線形的に変化する上限の厚さは、その材質が変わっても大きく変化するものではない。絶縁層11の厚さの下限は、均一な成膜が可能な0.4nm程度である。

【0021】

また、絶縁層11、下部電極12及び上部電極13がいずれも略円柱状を呈し、トンネ

10

20

30

40

50

ル接合部分が円形状としているのは、加工のしやすさを重視したためであり、絶縁層 1 1、下部電極 1 2 及び上部電極 1 3 の形状及びトンネル接合の形状は、これらの加工上問題がなければ略四角柱状及び矩形状等、どのような形状でも良い。次に、センサー部 2 を構成する下部電極 1 2 及び上部電極 1 3 は、いずれも、非磁性体であって、良導体であるタンタル (Ta) 等から構成されている。従って、下部電極 1 2 及び上部電極 1 3 の熱膨張係数は同一であるため、熱膨張係数の違いによるドリフトの影響を受けることはない。下部電極 1 2 及び上部電極 1 3 は、タンタル (Ta) 等の非磁性体から構成されているため、外来磁場からの影響を受けにくい。

【 0 0 2 2 】

次に、上記した構成を有するトンネル効果素子 1 を検知対象物に実装した場合に得られる抵抗変化率について説明する。図 7 に示すように、例えば、AlTiC 等からなる略角柱状の検知対象物 2 2 の正面に所定間隔で複数のトンネル効果素子 1 を形成するとともに、充填材 5 を充填する (図示略)。検知対象物 2 2 の幅は、約 0.25 mm である。図 7 では、1 個のトンネル効果素子 1 だけを示している。図 8 は、図 7 の A の部分の拡大図である。検知対象物 2 2 の中心 O から 0.1 mm だけオフセットしたところにトンネル効果素子 1 を構成するセンサー部 2 が位置するようにトンネル効果素子 1 を実装する。そして、検知対象物 2 2 の上面に 40 mm の間隔 (支点間距離) を開けて支持部材 2 3 及び 2 4 で支持しつつ、検知対象物 2 2 下面を下方より上方に向けて押し込んで、1 mm 程度、検知対象物 2 2 を下方にたわませる。この時、各トンネル効果素子 1 の 2 つのパッド 3 c 及び 4 b に各 1 対のプローブを同時に接触させて抵抗値を測定する。これにより、図 9 に示すように、0.2% (無負荷抵抗: 約 300) の抵抗変化を確認することができた。なお、トンネル効果素子 1 の内部には、その製造の過程で生じる応力に起因して、最大 ± 3% の歪が内在することがあるが、この内在歪は、トンネル効果素子 1 の構成要素の弾性変形の範囲内である。従って、トンネル効果素子 1 による応力変化の検出は、その内在歪を前提として行われる。

【 0 0 2 3 】

以下においては、検知対象物 2 2 をたわませることよりセンサー部 2 で生じるひずみを算出して、これに基づくセンサー部 2 の抵抗変化率について概算する。図 10 は、センサー部 2 の抵抗変化率を概算するための模式図である。図 10 において、h は、上記支点間距離の半分であり、今の場合、20 mm である。また、a は、検知対象物 2 2 をたわませるために押し込んだ量 (押し込み量) であり、今の場合、1 mm である。さらに、r は、検知対象物 2 2 の中心線 O を円周とした曲率半径である。従って、h、a 及び r の間には、式 (1) の関係がある。

$$r^2 = h^2 + (r - a)^2 \cdots (1)$$

式 (1) に、h = 20 mm、a = 1 mm を代入すると、曲率半径 r は 200.5 mm となる。

【 0 0 2 4 】

ここで、図 8 に示すように、センサー部 2 は、検知対象物 2 2 の中心 O から 0.1 mm だけオフセットしているため、センサー部 2 の曲率半径は、200.4 mm となる。従って、センサー部 2 における横圧縮率は、式 (2) で示すように、0.049% となる。

$$\{(200.5 - 200.4) / 200.5\} \times 100 = 0.049 (\%) \cdots (2)$$

センサー部 2 を横方向から押圧した場合における絶縁層 1 1 の膜厚の変化率は、絶縁層 1 1 を酸化アルミニウムで構成した場合、酸化アルミニウムのポアソン比が 0.24 であることから、式 (3) で表される。

$$0.24 \times 0.049 = 0.01176 \approx 0.012 (\%) \cdots (3)$$

【 0 0 2 5 】

図 6 に示すアルミニウムの厚さと面積抵抗率 RA との関係より、アルミニウムの厚さが 10% 変化すると面積抵抗率 RA が 70% 変化することが経験的にわかっている。今の場合、絶縁層 1 1 の厚さが 0.012% だけ変化しているため、抵抗変化率は、式 (4) に示すように、0.084% と概算することができる。

10

20

30

40

50

$$0.012 \times 70 / 10 = 0.084 (\%) \cdots (4)$$

この概算値「0.084%」と、実測値「0.2%」とを比較すると、概算値が若干小さい。しかし、測定誤差や概算する際に考慮しなかった要素、例えば、センサー部2の周辺の立体構造等の影響など、様々な要因が考えられるので、上記概算値は、妥当であると考えられる。

【0026】

次に、図11に示すように、略角柱状の検知対象物31の正面に所定間隔で複数のトンネル効果素子1を形成するとともに、充填材5を充填する(図示略)。図11の検知対象物31の幅は、図7に示す検知対象物22と同様に、約0.25mmであり、同じく検知対象物31の中心Oから0.1mmだけオフセットしたところに図示しないトンネル効果素子が実装されている。そして、検知対象物31に何ら外力を加えない状態を初期状態(SS)とした後、上方湾曲(UB)、リリース状態(RE)、下方湾曲(DB)及びリリース状態(RE)を1サイクルとして、2サイクルだけ実行しつつ、各トンネル効果素子1の2つのパッド3c及び4bに各1対のプロープ25を同時に接触させて抵抗値を測定する。

10

【0027】

ここで、上方湾曲(UB)とは、図12(a)に示すように、検知対象物31の下面に40mmの間隔(支点間距離)を開けて支持部材32及び33で支持しつつ、検知対象物22上面を上方より下方により押し込んで、2mm程度、検知対象物31を上方にたわませることをいう。一方、下方湾曲とは、図12(b)に示すように、検知対象物31の上面に40mmの間隔(支点間距離)を開けて支持部材32及び33で支持しつつ、検知対象物22下面を下方より上方により押し込んで、2mm程度、検知対象物31を下方にたわませることをいう。

20

【0028】

図13に測定結果の一例を示す。図13において、折れ線aは、図11に示す領域aにおける抵抗変化率の特性、折れ線bは、図11に示す外力が何ら印加されない領域bにおける抵抗変化率の特性、折れ線cは、図11に示す外力が何ら印加されない領域cにおける抵抗変化率の特性を示している。図13から、上方湾曲(UB)と下方湾曲(DB)とでは、ほぼ逆の特性を示していることが分かる。即ち、このトンネル効果素子1は、検知対象物31の湾曲方向をも検知することができる。

30

【0029】

このように、本発明の実施の形態1によれば、抵抗変化量が数百mΩと小さいひずみゲージに比べて、(1)ホイートストンブリッジ回路等が不要なため回路構成が簡単である、(2)感圧に寄与する面積が小さいため微細箇所の局所的な変位を検知できる、というトンネル効果素子一般の効果はもちろん得られる。さらに、本発明の実施の形態1によれば、下部電極12及び上部電極13は、いずれも、非磁性体であって、良導体であるタンタル(Ta)等から構成されている。従って、下部電極12及び上部電極13の熱膨張係数は同一であるため、熱膨張係数の違いによるドリフトの影響を受けることはなく、また外来磁場からの影響を受けにくい。このため、磁気ディスク装置内や自動車内のように、大きな外乱磁界が発生する環境下においても、安定した出力が得られる。さらに、検知対象物が磁性材料であっても適用することができるので、十分に汎用性がある。

40

【0030】

実施の形態2.

図14は、本発明の実施の形態2に係るトンネル効果素子を構成するセンサー部41の外観構成を示す平面図である。この例のセンサー部41は、トンネルバリアを構成する絶縁層42x及び42yと、下部電極43と、上部電極44x及び44yとから構成されている。絶縁層42x及び42yは、例えば、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化マグネシウム(MgO)等からなり、略直方体状を呈している。絶縁層42x及び42yは、厚さが、例えば、約1nmである。絶縁層42xは、図示しない検知対象物の矩形の一区画上に、検知対象物の挙動を絶縁層に伝達する伝達部材46を介して、図中x方向に平

50

行に形成されている。一方、絶縁層 4 2 y は、図示しない検知対象物の矩形状の一区画上に、上記伝達部材 4 6 を介して、図中 y 方向に平行に形成されている。

【 0 0 3 1 】

下部電極 4 3、上部電極 4 4 x 及び 4 4 y は、いずれも、例えば、非磁性体であって、良導体であるタンタル (Ta) 等からなり、略直方体状を呈している。下部電極 4 3、上部電極 4 4 x 及び 4 4 y は、いずれも、厚さが、例えば、約 30 nm である。下部電極 4 3 は、図示しない検知対象物の矩形状の一区画のほぼ全面を覆うように形成されている。上部電極 4 4 x は、図示しない検知対象物の矩形状の一区画上に、図中 x 方向に平行に形成されている。一方、上部電極 4 4 y は、図示しない検知対象物の矩形状の一区画上に、図中 y 方向に平行に形成されている。なお、下部電極 4 3 の上面のうち、絶縁層 4 2 x、4 2 y と、配線用領域 4 3 a を除いた領域には、絶縁材層 4 5 が形成されている。以上説明したセンサー部 4 1 を構成する絶縁層 4 2 x、4 2 y、下部電極 4 3、上部電極 4 4 x 及び 4 4 y の形成方法については、上記した実施の形態 1 の場合と同様である。そして、このような構成を有する検知器を検知対象物上に所定間隔で設ける。なお、絶縁材層 4 5 は絶縁層 4 2 x、4 2 y と同様に酸化物等の絶縁材料からなるが、トンネル障壁を形成する必要はない。このように、本発明の実施の形態 2 によれば、検知対象物の X 軸方向及び Y 軸方向の物理量の変化の 2 次元分布が容易に得られる。

【 0 0 3 2 】

以上、この実施の形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施の形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があっても本発明に含まれる。

例えば、上述の実施の形態 1 及び 2 では、センサー部を取り付ける検知対象物の材質については、特に言及していない。検知対象物の材質は、極薄いガラス基板、プラスチックフィルム等、たわませ得るものであればどのようなものでも良い。

また、上述の実施の形態 1 では、検知対象物 2 2 の正面にトンネル効果素子 1 を取り付け、検知対象物 2 2 の上下方向のたわみを検知する例を示したが、これに限定されない。例えば、検知対象物 2 2 の上面にセンサー部 2 を形成し、平面方向のたわみを検知する場合には、センサー部 2 を図 1 に示す形成方向に対して検知対象物 2 2 の長手方向を軸として 90 度だけ回転させて形成するとともに、配線部の形成方向を変更すれば良い。

また、上述の実施の形態 2 では、センサー部 4 1 の下面側だけに検知対象物がある例を示したが、これに限定されるものではない。例えば、センサー部 4 1 の上面側にも検知対象物がある場合は、絶縁層 4 2 x、4 2 y、絶縁材層 4 5 等の上面に別の伝達部材を形成すれば良い。

また、上述の各実施の形態では、トンネル効果素子を検知対象物に直接形成する例を示したが、これに限定されず、上記した従来のみずみゲージと同様に、例えば、ダイヤフラム等の起歪体上に形成した後、検知対象物に取り付けても良い。

また、上述の各実施の形態は、その目的及び構成等に特に矛盾や問題がない限り、互いの技術を流用することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 3 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態 1 に係るトンネル効果素子の外観構成を示す一部透視斜視図である。

【 図 2 】 図 1 に示すトンネル効果素子を構成するセンサー部の外観構成を示す斜視図である。

【 図 3 】 図 1 に示すトンネル効果素子を検知対象物に実装した状態を示す一部透視斜視図である。

【 図 4 】 トンネル効果素子を構成するセンサー部の直径と面積抵抗率 RA との関係についての概算結果例を示す図である。

【 図 5 】 センサー部を構成するアルミニウムの厚さと面積抵抗率 RA との関係についての一例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図6】センサー部を構成するアルミニウムの厚さと面積抵抗率 R_A との関係についての一例を示す図である。

【図7】図1に示すトンネル効果素子を検知対象物に実装した場合に得られる抵抗変化率を測定するための概念図である。

【図8】図7のAの部分の拡大図である。

【図9】抵抗変化率に対する頻度の関係の一例を示す図である。

【図10】図1に示すトンネル効果素子を構成するセンサー部の抵抗変化率を概算するための模式図である。

【図11】図1に示すトンネル効果素子を検知対象物に実装した場合に得られる抵抗変化率を測定するための概念図である。

10

【図12】(a)は上方湾曲(UB)の意味を説明するための概念図であり、(b)は下方湾曲(DB)の意味を説明するための概念図である。

【図13】上方湾曲(UB)及び下方湾曲(DB)を繰り返した場合に得られる抵抗変化率の一例を示す図である。

【図14】本発明の実施の形態2に係るトンネル効果素子を構成するセンサー部の外観構成を示す平面図である。

【符号の説明】

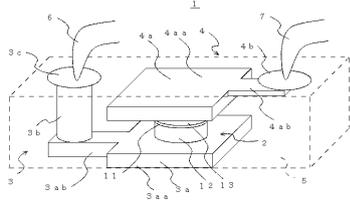
【0034】

- 1 トンネル効果素子
- 2, 41 センサー部
- 3, 4 配線部
- 3a, 4a プレート部
- 3aa, 4aa 幅広部
- 3ab, 4ab 幅狭部
- 3b 柱状部
- 3c, 4b パッド部
- 5, 46 伝達部材(充填材)
- 6, 7, 25 プロープ
- 11, 42x, 42y 絶縁層
- 12, 43 下部電極
- 13, 44x, 44y 上部電極
- 21, 22, 31 検知対象物
- 23, 24, 32, 33 支持部材
- 43a 配線用領域
- 45 絶縁材層

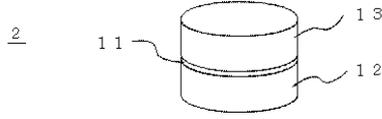
20

30

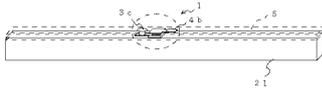
【図1】



【図2】



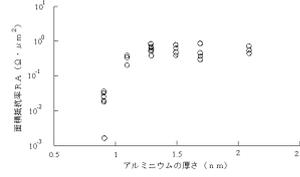
【図3】



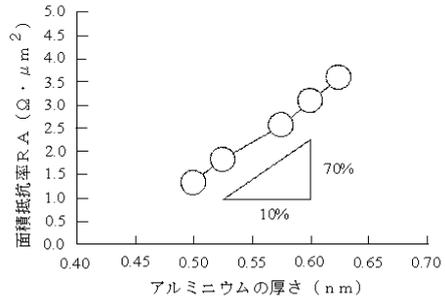
【図4】

		ピッチの精度(μm)									
		0.01	0.1	1	10	100	1000	10000	100000	1000000	10000000
RA (Ω・μm ²)	1	10000	100	1	0.01	0.0001	0.000001	1E-05			
	10	100000	1000	10	0.01	0.0001	0.000001	1E-07			
	100	1000000	10000	100	0.01	0.0001	0.000001				
	1000	10000000	100000	1000	0.01	0.0001	0.000001				
	10000	1E+08	1000000	10000	0.01	0.0001	0.000001				
	100000	1E+09	10000000	100000	0.01	0.0001	0.000001				
	1000000	1E+10	100000000	1000000	0.01	0.0001	0.000001				
	10000000	1E+11	1000000000	10000000	0.01	0.0001	0.000001				
	100000000	1E+12	10000000000	100000000	0.01	0.0001	0.000001				
	1000000000	1E+13	100000000000	1000000000	0.01	0.0001	0.000001				

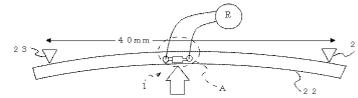
【図5】



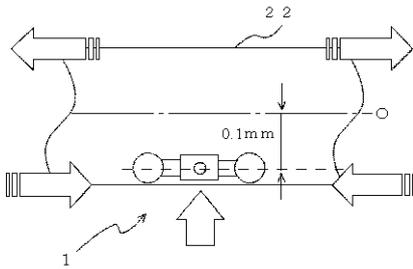
【図6】



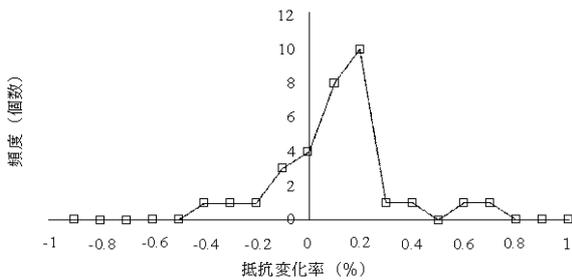
【図7】



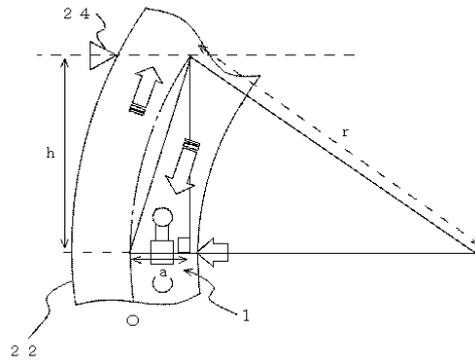
【図8】



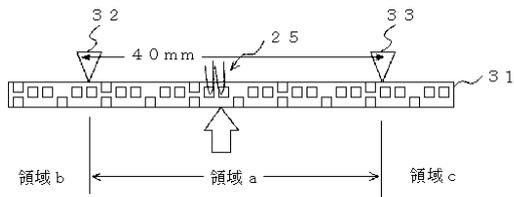
【図9】



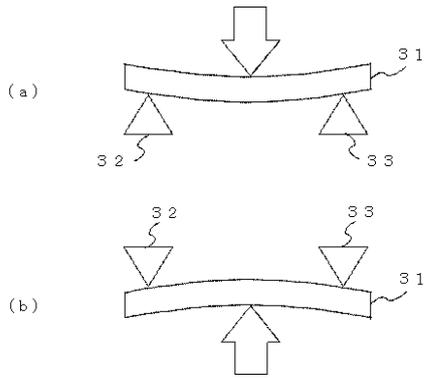
【図10】



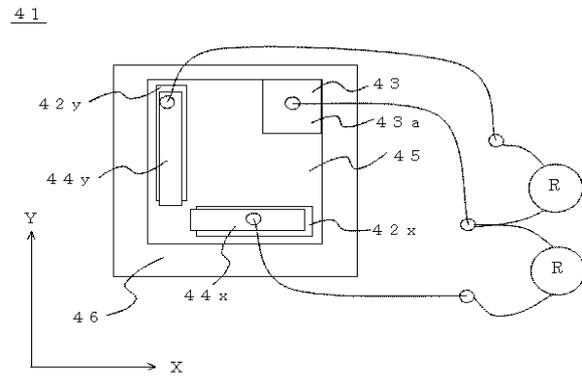
【図11】



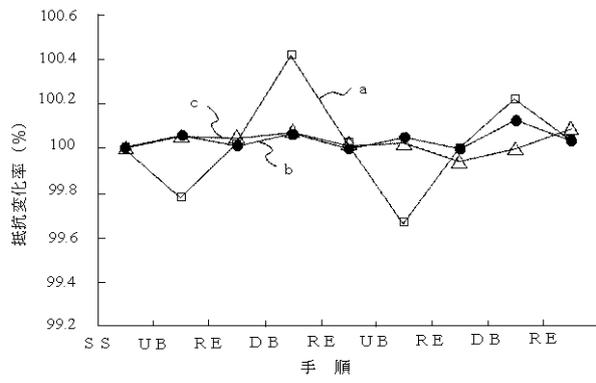
【 1 2】



【 1 4】



【 1 3】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 018070 (JP, A)
特開2000 - 105153 (JP, A)
特開2002 - 310814 (JP, A)
大豆生田 利章 Toshiaki OHMAMEUDA, 単電子論理回路の故障モード解析 Fault Mode Analysis for Single Electron Logic Circuits, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 103 No. 480 IEICE Technical Report, 日本, 社団法人電子情報通信学会 The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2003年11月21日, 第103巻 第480号, p. 7 ~ 11

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L 1/18