

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6969751号  
(P6969751)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月1日(2021.11.1)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08 P
GO 1 R 33/09 (2006.01)	HO 1 L 43/08 A
	HO 1 L 43/08 Z
	GO 1 R 33/09

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-564487 (P2018-564487)	(73) 特許権者 504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(86) (22) 出願日 平成30年1月16日(2018.1.16)	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2018/000930	(73) 特許権者 000001270 コニカミノルタ株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
(87) 国際公開番号 W02018/139252	
(87) 国際公開日 平成30年8月2日(2018.8.2)	(74) 代理人 110001254 特許業務法人光陽国際特許事務所
審査請求日 令和2年4月23日(2020.4.23)	
(31) 優先権主張番号 特願2017-10212 (P2017-10212)	(72) 発明者 安藤 康夫 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
(32) 優先日 平成29年1月24日(2017.1.24)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	(72) 発明者 大兼 幹彦 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
(出願人による申告) 平成23年度、国立研究開発法人 科学技術振興機構、研究成果展開事業 戦略的イノベ ーション創出推進プログラム 産業技術力強化法第19 条 の適用を受ける特許出願	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トンネル磁気抵抗素子及び磁化方向補正回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

外部磁場の影響を受けて磁化の向きが変化する少なくとも2つ以上の特定の方向に磁化された強磁性層の間に、絶縁層が配置されて磁気トンネル接合を形成し、前記絶縁層の両側の前記強磁性層の磁化方向の相対角度に従ってトンネル効果により前記絶縁層の抵抗を変化させるトンネル磁気抵抗素子であって、  
前記絶縁層の両側の前記強磁性層のいずれもが、1 μT以上10 mT未満の磁場強度で磁化の方向が反転する組成と体積とを備え、  
前記絶縁層及びこの両側の前記強磁性層は基板に近い側から、一方側の強磁性層、前記絶縁層、他方側の強磁性層の順で積層され  
前記他方側の強磁性層は、当該他方側の強磁性層に接触して軟磁性層が積層されていること  
で、外部磁場の影響を受けて磁化の向きが、前記一方側の強磁性層より変化しやすい自由磁性層として機能するトンネル磁気抵抗素子。

【請求項2】

前記一方側の強磁性層の磁化方向と、前記自由磁性層の磁化方向とがねじれの位置にある請求項1に記載のトンネル磁気抵抗素子。

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載のトンネル磁気抵抗素子が少なくとも1つ以上実装されたブリッジ回路と、

前記ブリッジ回路のトンネル磁気抵抗素子に前記強磁性層の磁化方向を互いに反転させる

セットパルス磁場及びリセットパルス磁場を交互に印加するセット/リセット回路と、セットパルス磁場及びリセットパルス磁場の交互の印加に同期して前記トンネル磁気抵抗素子からの信号出力を検出する検波回路とを備えた磁化方向補正回路。

【請求項 4】

セットパルス磁場及びリセットパルス磁場の交互の印加により、前記一方側の強磁性層の磁化方向を反転させるとともに、前記自由磁性層の磁化方向を反転させる請求項 3 に記載の磁化方向補正回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トンネル磁気抵抗素子及び磁化方向補正回路に関する。

【背景技術】

【0002】

トンネル磁気抵抗素子 (TMR (Tunnel Magneto Resistive) 素子) は、磁化の向きが固定された固定磁性層、外部からの磁場の影響を受けて磁化の向きが変化する自由磁性層、及び、固定磁性層と自由磁性層との間に配置された絶縁層を有し、磁気トンネル接合 (MTJ (Magnetic Tunnel Junction)) を形成する。この構成を利用したものとして、磁気メモリ・磁気ヘッド・磁気センサーなどが挙げられる (特許文献 1, 2)。

また、自由磁性層に、外部からの磁場に反応しやすい軟磁性層 (NiFe や CoFeSiB など) を配置し、基板に近い側から、自由磁性層、絶縁層、固定磁性層の順に積層した構造を磁場中熱処理することで、外部からの磁場によって引き起こされる固定磁性層の磁化の向きと自由磁性層の磁化の向きとの角度差に従ってトンネル効果により絶縁層の抵抗変化を利用した、リアリティの高い高感度な磁気センサーを作製する技術がある (特許文献 3)。

自由磁性層には、外部からの磁場に反応しやすい軟磁性層 (NiFe や CoFeSiB など) を配置し、さらに、絶縁層に接合する強磁性層と軟磁性層との間に磁気結合層 (Ta や Ru) を介在させることで、磁気トンネル接合と軟磁性材料との固体物性上の結合は排除しつつ、磁気的な結合のみ発生させるシンセティック結合が利用されている (特許文献 1 - 3)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 9 - 25168 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 221549 号公報

【特許文献 3】特開 2013 - 105825 号公報

【特許文献 4】特許 5897719 号公報

【特許文献 5】特許 5259802 号公報

【特許文献 6】特許 4970033 号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】「1- and 2-Axis Magnetic Sensors HMC1001/1002/1021/1022」 [www.honeywell.com/magneticsensors](http://www.honeywell.com/magneticsensors) Form #900248 Rev C August 2008

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

MTJ を高感度な磁気センサーとして利用する場合、外部磁場に対して磁化されやすい軟磁性材料 (NiFe や CoFeSiB など) を用いて自由磁性層を形成する必要がある。

しかし、自由磁性層によって外部磁場に対しての応答性が向上する一方で、磁性材料層の特性が不安定になることで磁性材料由来のノイズが大きくなってしまいう為に、結果とし

10

20

30

40

50

て良好なSN比を得られなくなる可能性がある。

一方で、主には異方性磁気抵抗素子（AMR）を利用して、磁性材料内の磁化方向を制御するといった技術がある（特許文献4, 5, 6）。この技術は、コイルを利用してパルス磁場を磁気抵抗素子に印加し、磁性材料の磁化方向を強制的に一方向へ揃えて安定化させることを目的としている。

しかしながら、コイルを利用する為に数アンペアの電流で十mT程度の磁場しか発生することができず、反強磁性材料（IrMnなど）を用いて固定磁性層を形成している為に磁化方向の反転に大きな磁場（一般的に数百mT）が必要なMTJへの適用は困難である。

#### 【0006】

本発明は以上の従来技術における問題に鑑みてなされたものであって、固定磁性層の磁化方向を強制的に反転処理することで、トンネル磁気抵抗素子の出力からノイズを除去することを課題とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

以上の課題を解決するための請求項1記載の発明は、外部磁場の影響を受けて磁化の向きが変化する少なくとも2つ以上の特定の方向に磁化された強磁性層の間に、絶縁層が配置されて磁気トンネル接合を形成し、前記絶縁層の両側の前記強磁性層の磁化方向の相対角度に従ってトンネル効果により前記絶縁層の抵抗を変化させるトンネル磁気抵抗素子であって、

前記絶縁層の両側の前記強磁性層のいずれもが、 $1\mu\text{T}$ 以上 $10\text{mT}$ 未満の磁場強度で磁化の方向が反転する組成と体積とを備え、

前記絶縁層及びこの両側の前記強磁性層は基板に近い側から、一方側の強磁性層、前記絶縁層、他方側の強磁性層の順で積層され、

前記他方側の強磁性層は、当該他方側の強磁性層に接触して軟磁性層が積層されていることで、外部磁場の影響を受けて磁化の向きが、前記一方側の強磁性層より変化しやすい自由磁性層として機能するトンネル磁気抵抗素子である。

#### 【0009】

請求項2記載の発明は、前記一方側の強磁性層の磁化方向と、前記自由磁性層の磁化方向とがねじれの位置にある請求項1に記載のトンネル磁気抵抗素子である。

#### 【0010】

請求項3記載の発明は、請求項1又は請求項2に記載のトンネル磁気抵抗素子が少なくとも1つ以上実装されたブリッジ回路と、

前記ブリッジ回路のトンネル磁気抵抗素子に前記強磁性層の磁化方向を互いに反転させるセットパルス磁場及びリセットパルス磁場を交互に印加するセット/リセット回路と、

セットパルス磁場及びリセットパルス磁場の交互の印加に同期して前記トンネル磁気抵抗素子からの信号出力を検出する検波回路とを備えた磁化方向補正回路である。

#### 【0011】

請求項4記載の発明は、セットパルス磁場及びリセットパルス磁場の交互の印加により、前記一方側の強磁性層の磁化方向を反転させるとともに、前記自由磁性層の磁化方向を反転させる請求項3に記載の磁化方向補正回路である。

#### 【発明の効果】

#### 【0012】

本発明によれば、固定磁性層の磁化方向及び自由磁性層の磁化方向を強制的に反転処理することで、トンネル磁気抵抗素子の出力のうち外部磁場に応答する信号成分をノイズ成分から独立して反転し、分離することでノイズを除去することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0013】

【図1】本発明が実現しようとする理想的な磁気抵抗特性を示すグラフ(欄d)と、グラフ上の各状態におけるトンネル磁気抵抗素子の磁化の向きを示す模式図(欄a)(欄b)(欄c)で

10

20

30

40

50

ある。

【図 2】従来の一例のトンネル磁気抵抗素子の積層構造を示す断面図である。

【図 3】図 2 の従来例で発現する磁気抵抗特性を示すグラフである。横軸は外部磁界 ( $H(Oe)$ )、縦軸はトンネル磁気抵抗素子の抵抗の変化率 (TMR 比 (%)) である。

【図 4】従来の他の一例のトンネル磁気抵抗素子の積層構造を示す断面図である。

【図 5】本発明の一比較例に係るトンネル磁気抵抗素子の積層構造を示す断面図である。

【図 6 A】図 5 のトンネル磁気抵抗素子の製造プロセスを示す積層構造の断面図である。

【図 6 B】図 6 A に続く、図 5 のトンネル磁気抵抗素子の製造プロセスを示す積層構造の断面図である。

【図 6 C】図 6 B に続く、図 5 のトンネル磁気抵抗素子の製造プロセスを示す積層構造の断面図である。

10

【図 7】図 5 のトンネル磁気抵抗素子の磁気抵抗特性を示すグラフである。横軸は外部磁界 ( $H(Oe)$ )、縦軸はトンネル磁気抵抗素子の抵抗の変化率 (TMR 比 (%)) である。

【図 8 A】図 5 のトンネル磁気抵抗素子の磁気抵抗特性を示すグラフであり、第 2、第 3 の磁場中熱処理工程を実施後のものを示す。第 2 の磁場中熱処理工程の熱処理温度を 200、第 3 の磁場中熱処理工程の熱処理温度を 180 とした場合を示す。横軸は外部磁界 ( $H(Oe)$ )、縦軸はトンネル磁気抵抗素子の抵抗の変化率 (TMR 比 (%)) である。

【図 8 B】図 5 のトンネル磁気抵抗素子の磁気抵抗特性を示すグラフであり、第 2、第 3 の磁場中熱処理工程を実施後のものを示す。第 2 の磁場中熱処理工程の熱処理温度を 200、第 3 の磁場中熱処理工程の熱処理温度を 200 とした場合を示す。横軸は外部磁界 ( $H(Oe)$ )、縦軸はトンネル磁気抵抗素子の抵抗の変化率 (TMR 比 (%)) である。

20

【図 9 A】AMR 素子にセット磁場を印加した時の磁化方向状態図である。

【図 9 B】AMR 素子にリセット磁場を印加した時の磁化方向状態図である。

【図 10 A】図 4 や図 5 のトンネル磁気抵抗素子にセット磁場を印加した時の磁化方向状態図である。

【図 10 B】図 4 や図 5 のトンネル磁気抵抗素子にリセット磁場を印加した時の磁化方向状態図である。

30

【図 11】本発明の一実施形態に係るトンネル磁気抵抗素子の積層構造を示す断面図である。

【図 12 A】図 11 のトンネル磁気抵抗素子にセット磁場を印加した時の磁化方向状態図である。

【図 12 B】図 11 のトンネル磁気抵抗素子にリセット磁場を印加した時の磁化方向状態図である。

【図 13】本発明の一実施形態に係る検波回路による信号処理の概要を示す。

【図 14】本発明の一実施形態に係る磁化方向補正回路の概要を示すブロック図である。

【図 15 A】本発明の一実施例に係るトンネル磁気抵抗素子の有する自由磁性層における磁化特性グラフである。

40

【図 15 B】本発明の一実施例に係るトンネル磁気抵抗素子の有する固定磁性層における磁化特性グラフである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下に本発明の一実施形態につき図面を参照して説明する。以下は本発明の一実施形態であって本発明を限定するものではない。

【0015】

まず、図 1 を参照してトンネル磁気抵抗素子の基本構造及び本発明が実現しようとする理想的な磁気抵抗特性につき説明する。

図 1 に示すようにトンネル磁気抵抗素子 1 は、磁化の向きが固定された固定磁性層 10

50

、外部からの磁場の影響を受けて磁化の向きが変化する自由磁性層 30、及び、固定磁性層 10 と自由磁性層 30 との間に配置された絶縁層 20 により、磁気トンネル接合を形成し、固定磁性層 10 の磁化の向きと自由磁性層 30 の磁化の向きとの角度差に従ってトンネル効果により絶縁層 20 の抵抗を変化させるものである。

図 1 (欄a)(欄b)(欄c)は、図 1 (欄d)に示す各磁場状態における固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A と自由磁性層 30 の磁化の向き 30 A を示す。

図 1 (欄a)は検出磁場ゼロの状態（中立位置、図 1 (欄d)のグラフ上の位置 P0）におけるものを、図 1 (欄b)は所定のプラス磁場が負荷された状態（図 1 (欄d)のグラフ上の位置 P1）におけるものを、図 1 (欄c)は所定のマイナス磁場が負荷された状態（図 1 (欄d)のグラフ上の位置 P2）におけるものを示す。

10

図 1 (欄a)は検出磁場ゼロの状態（中立位置 P0）においては、固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A と自由磁性層 30 の磁化の向き 30 A とが略 90 度のねじれの位置で安定している。これは、それぞれ磁化容易軸の方向に磁化しているからである。すなわち、図 1 に示すトンネル磁気抵抗素子 1 は、自由磁性層 30 の磁化容易軸が固定磁性層 10 の磁化容易軸に対して略 90 度ねじれた位置に形成されたものであり、図 1 (欄a)に示す矢印 10 A が固定磁性層 10 の磁化容易軸の方向を、矢印 30 A が自由磁性層 30 磁化容易軸の方向を示している。

図 1 (欄a)(欄b)(欄c)に示すように固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A は、外部磁場の影響を比較的受けにくく安定しており、自由磁性層 30 の磁化の向き 30 A は、外部磁場（H1, H2）の影響を受けて変化する。

20

図 1 (欄b)に示すように、固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A に対して反対方向の外部磁場 H1 がトンネル磁気抵抗素子 1 に印加されると、自由磁性層 30 の磁化の向き 30 A が固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A の逆方向側へスピンし、トンネル効果により絶縁層 20 の抵抗が増大する（図 1 (欄d)で抵抗が R0 から R1 に増加）。抵抗の変化を図 1 (欄a)(欄b)(欄c)において電流 I0、I1、I2 の矢印の太さで模式的に示す。

図 1 (欄c)に示すように、固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A に対して同方向の外部磁場 H2 がトンネル磁気抵抗素子 1 に印加されると、自由磁性層 30 の磁化の向き 30 A が固定磁性層 10 の磁化の向き 10 A と同方向側へスピンし、トンネル効果により絶縁層 20 の抵抗が減少する（図 1 (欄d)で抵抗が R0 から R2 に減少）。

図 1 (欄d)に示すように抵抗（縦軸）を増大させる方向にも、減少させる方向にも、外部磁場の強さに対して比例的に（グラフが直線的に）抵抗変化を起こす性質（リニアリティ）を有するトンネル磁気抵抗素子 1 が理想的である。

30

#### 【0016】

図 2 に示す従来例のトンネル磁気抵抗素子 101 は、特許文献 1 - 3 に記載の類のもので、絶縁層 20 の下部に固定磁性層 10、上部に自由磁性層 30 が形成され、自由磁性層 30 は、強磁性層（CoFeB）31 と軟磁性層（NiFe 又は CoFeSi）33 との間に磁気結合層（Ru）32 が介在する積層構造である。

詳しくは、従来例のトンネル磁気抵抗素子 101 は、基板（Si, SiO<sub>2</sub>）2 上に、下地層（Ta）3 が形成され、その上に固定磁性層 10 として、下から反強磁性層（IrMn）11、強磁性層（CoFe）12、磁気結合層（Ru）13、強磁性層（CoFeB）14 が積層され、絶縁層（MgO）20 を介して、その上に、自由磁性層 30 として、下から強磁性層（CoFeB）31、磁気結合層（Ru）32、軟磁性層（NiFe 又は CoFeSi）33 が積層された積層構造を有する。

40

このような従来例のトンネル磁気抵抗素子 101 にあっては、都度向きを異ならせて外部磁場を印加しながら熱処理する磁場中熱処理を複数回行っても、すべての磁性層の磁化容易軸の方向が揃って磁気抵抗特性が図 3 に示すようなヒステリシスの高い形態となってしまう、上述したリニアリティを実現できない。図 2 に示す矢印 A1 が磁性層の磁化容易軸の方向である。

#### 【0017】

一方、図 4 に示す従来例のトンネル磁気抵抗素子 102 は、特許文献 3 に記載の類のも

50

ので、図2に対し固定磁性層10と自由磁性層30とを上下逆にした積層構造を有する。

このような従来例のトンネル磁気抵抗素子102にあっては、自由磁性層30の磁化容易軸の方向(矢印A1)を固定磁性層10の容易磁化軸の方向(矢印A2)と異なる方向に形成できるとともに、自由磁性層30の形状を大きく(Hkが改善、ノイズが低減すると期待)することができるが、上層の絶縁層20や固定磁性層10に悪影響(均一性や結晶性の悪化が原因と予想される)が生じ、磁気センサーとしての性能を高めることが困難になった。

#### 【0018】

そこで、図5に示すように比較例のトンネル磁気抵抗素子1Aは、従来例のトンネル磁気抵抗素子101と同様に、磁性層10、30及び絶縁層20を支持する基板2に近い側から、固定磁性層10、絶縁層20、自由磁性層30の順で積層され、従来例のトンネル磁気抵抗素子101の積層構造に対し磁気結合層(Ru)32を排し、自由磁性層30は、下面を絶縁層20に接合する強磁性層31、及び当該強磁性層31の上面に接触して積層された軟磁性層33を有する積層構造とする。

かかる積層構造によれば、自由磁性層30を構成する強磁性層31及び軟磁性層33の磁化容易軸は互いに同方向にあり、かつ、固定磁性層10の磁化容易軸に対して異なる方向(ねじれの位置、例えば略90度ねじれた方向)にある磁化特性に形成することができ、上述したリニアリティを実現できる。

#### 【0019】

(製造方法)

比較例のトンネル磁気抵抗素子1Aの製造のための、製造方法を説明する。

まず、図6Aに示すように、基板2から少なくとも強磁性層31までの層を積層した後、この積層体に対し、所定方向(矢印A1)の外部磁場を印加しながら熱処理を行い、自由磁性層30を構成する強磁性層31の磁化容易軸と固定磁性層10の磁化容易軸とを同方向に形成する第1の磁場中熱処理工程を実施する。

かかる第1の磁場中熱処理工程の後、図6Bに示すように第1の磁場中熱処理工程のときは向きをねじるように異ならせて(矢印A2方向にした)外部磁場を印加しながら自由磁性層30を構成する軟磁性層33を成膜することで、自由磁性層30の磁化容易軸を、固定磁性層10の磁化容易軸に対して異なる方向(例えば略90度ねじれた方向)に形成する磁場中成膜工程を実施し、図6Cに示す積層構造を得る。

図6Cに示すように、以上の第1の磁場中熱処理工程、磁場中成膜工程を経ることで、自由磁性層30を構成する強磁性層31及び軟磁性層33の磁化容易軸は互いに同方向にあり、かつ、固定磁性層10の磁化容易軸に対して異なる方向(好ましくは略90度ねじれた方向)にある磁化特性に形成することができる。すなわち、固定磁性層10の磁化容易軸は、第1の磁場中熱処理工程のときに印加された磁場方向(矢印A1)に形成され、自由磁性層30の磁化容易軸は、磁場中成膜工程のときに印加された磁場方向(矢印A2)に形成される。

この時点で、図7に示すようなりニアリティのある磁気抵抗特性が得られる。

#### 【0020】

さらに上記磁場中成膜工程の後、次の工程を実施することが好ましい。すなわち、磁場中成膜工程のときと同じ方向(矢印A2)に外部磁場を印加しながら熱処理を行う第2の磁場中熱処理工程を実施する。さらに、第2の磁場中熱処理工程の後、第1の磁場中熱処理工程のときと同じ方向(矢印A1)に外部磁場を印加しながら熱処理を行う第3の磁場中熱処理工程を実施する。これにより、図8A、図8Bに示すようにHk、Hcを小さくして高感度化を図ることができる。

#### 【0021】

(セット/リセット磁場が各種磁気抵抗センサーに与える影響)

(AMRの場合)

図9A、図9Bに示すように2つのAMR素子51、52を一定ギャップ間に繋いだブリッジ回路にセット磁場53及びリセット磁場54を印加しつつ所定方向の外部磁場55

10

20

30

40

50

に応答する信号を A M R 素子 5 1 , 5 2 の接続点 5 6 の電位により出力させる。

図 9 A に示すように A M R 素子 5 1 の有する軟磁性層の磁化方向 5 7 と、A M R 素子 5 2 の有する軟磁性層の磁化方向 5 8 とが、電流 5 9 が流れる方向に対して互いに逆側に変位したものを組み合わせる。磁化方向 5 7 , 5 8 の存在面で電流 5 9 が流れる方向に垂直な方向の外部磁場 5 5 の影響により、磁化方向 5 7 , 5 8 がそれぞれ破線で示すようにスピンする。A M R 素子では、電流 5 9 が流れる方向と軟磁性層の磁化方向 5 7 , 5 8 との相対角度  $\theta$  で抵抗値  $R$  が次式 ( 1 ) により決まる。すなわち、 $R = R_0 + R \cdot \sin^2 \theta$   $\cdots$  式 ( 1 ) である。ここで、 $R_0$  は、無磁界中の強磁性薄膜金属の抵抗値、 $R$  は抵抗値変化量である。

したがって、図 9 A においては A M R 素子 5 1 の抵抗値は下がり、A M R 素子 5 2 の抵抗値は上がるので、接続点 5 6 の電位がプラスに変位する ( + V )。 10

図 9 A のセット磁場 5 3 の印加時と、図 9 B のリセット磁場 5 4 の印加時とでは、互いに軟磁性層の磁化方向 5 7 , 5 8 が反転する。

そのため図 9 B においては A M R 素子 5 1 の抵抗値は上がり、A M R 素子 5 2 の抵抗値は下がるので、接続点 5 6 の電位がマイナスに変位する ( - V )。

以上により、セット磁場 5 3 の印加時と、リセット磁場 5 4 の印加時とで、同じ方向の外部磁場 5 5 に対して、外部磁場 5 5 に応答する信号成分の極性が反転する。接続点 5 6 からの出力にノイズ成分が載るが、ノイズ成分は反転しない。

#### 【 0 0 2 2 】

以上のブリッジ回路の A M R 素子に軟磁性層の磁化方向を互いに反転させるセットパルス磁場及びリセットパルス磁場を交互に印加するセット/リセット回路として、非特許文献 1 に記載の技術で実施する。 20

接続点 5 6 からの出力を検波回路に与え、セット磁場 5 3 の印加時の出力と、リセット磁場 5 4 の印加時の出力とを、いずれか一方を反転して加算することで、ノイズ成分が相殺されるので、ノイズが除去される。

#### 【 0 0 2 3 】

( 従来 の T M R の 場合 )

従来例のトンネル磁気抵抗素子 1 0 2 や比較例のトンネル磁気抵抗素子 1 A にあっては、共通して固定磁性層 1 0 に反強磁性層 ( I r M n ) 1 1 が存在して磁化方向が強力に固定されているために、図 1 0 A , 図 1 0 B に示すように、セット磁場 5 3 、リセット磁場 5 4 の切り替わりによつては固定磁性層の磁化の向き 6 3 , 6 4 は変わらない。 30

すなわち、図 1 0 A , 図 1 0 B に示すように、図 9 A , 図 9 B の A M R 素子 5 1 , 5 2 に代えて T M R 素子 6 1 , 6 2 によりブリッジ回路を構成し、セット磁場 5 3 、リセット磁場 5 4 を印加した場合、自由磁性層の磁化の向き 6 7 , 6 8 は反転するものの、固定磁性層の磁化の向き 6 3 , 6 4 は変わらない。

T M R 素子では、抵抗値の変化は電流が流れる方向とは無関係であり、自由磁性層の磁化の向きと固定磁性層の磁化の向きの相対角度  $\theta$  で抵抗値  $R$  が次式 ( 2 ) により決まる。すなわち、 $R = R_0 + R \cdot \sin^2 \theta$   $\cdots$  式 ( 2 ) である。ここで、 $R_0$  は、無磁界中の M T J の抵抗値、 $R$  は抵抗値変化量である。

したがって、図 1 0 A においては T M R 素子 6 1 の抵抗値は上がり、T M R 素子 6 2 の抵抗値は下がるので、接続点 5 6 の電位がマイナスに変位する ( - V )。 40

図 1 0 B においては T M R 素子 6 1 の抵抗値は上がり、T M R 素子 6 2 の抵抗値は下がるので、接続点 5 6 の電位が同じくマイナスに変位する ( - V )。

以上のとおり、セット磁場 5 3 の印加時と、リセット磁場 5 4 の印加時とで、同じ方向の外部磁場 5 5 に対して、外部磁場 5 5 に応答する信号成分の極性が反転しないので、上記の A M R の場合のようにしてノイズを除去することができない。

#### 【 0 0 2 4 】

( 本 発 明 の T M R の 場 合 )

そこで、本発明の一実施形態のトンネル磁気抵抗素子 1 B は、図 1 1 に示すように、上述したトンネル磁気抵抗素子 1 A に対して、反強磁性層 ( I r M n ) 1 1 、強磁性層 ( C 50

o F e ) 1 2、磁気結合層 ( R u ) 1 3 を排除し、固定磁性層 1 0 を強磁性層 ( C o F e B ) 1 4 のみとした。本発明のトンネル磁気抵抗素子 1 B の製造方法は、固定磁性層 1 0 を強磁性層 ( C o F e B ) 1 4 のみとする点のみ異なり、その他は比較例のトンネル磁気抵抗素子 1 A と同様である。

反強磁性層 ( I r M n ) 1 1 を排したことで、図 1 2 A、図 1 2 B に示すようにセット磁場 5 3、リセット磁場 5 4 の切り替わりによっては固定磁性層の磁化の向き 7 3、7 4 が反転する。コイルによる十 m T 程度のセット磁場 5 3、リセット磁場 5 4 の印加により反転するように、自由磁性層 3 0 のみならず、固定磁性層 1 0 も 1  $\mu$  T 以上 1 0 m T 未満の磁場強度で磁化の方向が反転するように、その組成と体積 ( 層厚と面積 ) とを設定する。固定磁性層 1 0 の組成としては、反強磁性層を除く強磁性層 ( C o F e B ) とし、さらに全部又は一部が軟磁性層とされることで、外部磁場の影響を受けて磁化の向きが変化 ( 反転 ) しやすくされていてもよい。

10

図 1 2 A、図 1 2 B に示すように、図 9 A、図 9 B の A M R 素子 5 1、5 2 に代えて T M R 素子 7 1、7 2 ( とともに図 1 1 の T M R 素子 1 B ) によりブリッジ回路を構成し、セット磁場 5 3、リセット磁場 5 4 を印加した場合、自由磁性層の磁化の向き 7 7、7 8 及び固定磁性層の磁化の向き 7 3、7 4 が反転する。

抵抗値 R が上記式 ( 2 ) により決まる。

したがって、図 1 2 A においては T M R 素子 7 1 の抵抗値は上がり、T M R 素子 7 2 の抵抗値は下がるので、接続点 5 6 の電位がマイナスに変位する ( - V ) 。

図 1 2 B においては T M R 素子 7 1 の抵抗値は下がり、T M R 素子 7 2 の抵抗値は上がるので、接続点 5 6 の電位がプラスに変位する ( + V ) 。

20

以上により、A M R と同様にセット磁場 5 3 の印加時と、リセット磁場 5 4 の印加時とで、同じ方向の外部磁場 5 5 に対して、外部磁場 5 5 に応答する信号成分の極性が反転する。接続点 5 6 からの出力にノイズ成分が載るが、ノイズ成分は反転しない。

#### 【 0 0 2 5 】

A M R 素子の場合と同様にセット/リセット回路を適用するとともに、接続点 5 6 からの出力を検波回路に与える。本実施形態の磁化方向補正回路は、以上のような T M R 素子 7 1、7 2 を含むブリッジ回路と、セット/リセット回路と、検波回路とを備えて構成される。

セット磁場 5 3 の印加時の出力と、リセット磁場 5 4 の印加時の出力とを、いずれか一方を反転して加算することで、ノイズ成分が相殺されるので、ノイズが除去される。

30

図 1 3 は、検波回路による信号処理の概要を示す。

図 1 3 ( 欄 a ) に、セット磁場 5 3 の印加時の信号成分 S S 1 と、リセット磁場 5 4 の印加時の信号成分 S R 1 とが示される。信号成分 S S 1 と信号成分 S R 1 とは互いに反転している。さらに図 1 3 ( 欄 a ) に、セット磁場 5 3 の印加時のノイズ成分 N S 1 と、リセット磁場 5 4 の印加時のノイズ成分 N R 1 とが示されている。ノイズ成分 N S 1 とノイズ成分 N R 1 とは互いの反転は無く同じ波形である。

ノイズ成分 N S 1 が載った信号成分 S S 1 と、ノイズ成分 N R 1 が載った信号成分 S R 1 とが検波回路に交互に入力される。

セットパルス磁場及びリセットパルス磁場の交互の印加に同期して、図 1 3 ( 欄 b ) に示すように検波回路が入力信号を、セットパルス磁場印加時は増幅し ( 反転なし )、リセットパルス磁場印加時は反転増幅して、互いに反転していない信号成分 S S 2、S R 2 を得るとともに、互いに反転しているノイズ成分 N S 2、N R 2 を得て、両者を加算することで、ノイズ成分を相殺しノイズを除去する。

40

#### 【 0 0 2 6 】

図 1 4 を参照して磁化方向補正回路について説明する。

図 1 4 は、磁化方向補正回路の概要を説明するブロック図である。

標準信号発生器 ( S S G ) 8 1 からトリガー信号 ( T G ) 8 2 を形成し、P o w e r A M P 8 3 並びに M u l t i p l i e r 8 4 にトリガー信号を送る。

P o w e r A M P 8 3 からの出力によりセット/リセット磁場発生用のコイル 8 5 に電

50

流が流れ、TMR素子71a, 72a, 71b, 72bにパルス磁場が印可される。

上記のパルス磁場発生を高速に繰り返す(数百Hz以上)ことで、ブリッジ回路からは信号極性が反転の関係にある信号成分SS1と信号成分SR1とが、Pre AMP 86に高速で出力される。

Multiplier 84では、トリガー信号(TG) 82を基に、Pre AMP 86からの信号出力を、INV AMP(反転回路) 87を介して読み込むか否かの切り替えを行ない、互い反転した信号極性を同一方向に揃える。この時、ノイズ成分NS1とノイズ成分NR1とが反転した関係となる。

サンプルホールド回路(S/H) 88では、Multiplier 84からの信号出力の必要な成分のみを抜き出して、ローパスフィルタ回路(LPF) 89に送る。この時、LPF 89の働きによってサンプリング数の小さい帯域では、高速で繰り返し出力されるノイズ成分NS1とノイズ成分NR1とが相殺されるため、低周波の領域におけるノイズ(1/fノイズ)が相殺された状態で信号がMain AMP 90に出力される。

#### 【0027】

なお、図11のTMR素子1Bによれば、強磁性層(CoFe) 12、磁気結合層(Ru) 13を排除したので、次のような効果もある。

磁気トンネル接合(MTJ)は磁場中でのアニール処理によって高いTMR比を発現させる。高性能なMTJを製作するためには、より高温下でのアニール処理が必要になるが、磁気メモリや磁気センサーなどの用途に必要なMTJ以外の機能材料、例えば磁気結合層や反強磁性材料層などは、高温下(一般的には400位上)ではその特性を失うことが分かっており、温度条件に制約があることから、高いTMR比を発現させることができない。

したがって、図11のTMR素子1Bによれば、強磁性層(CoFe) 12、磁気結合層(Ru) 13を排除したので、上記アニール処理の高温化に制約が少なくなり、高いTMR比を発現させることが容易となる。

#### 【0028】

(実施例)

図15A, 図15Bは、以上のセットパルス磁場及びリセットパルス磁場により反転し、外部磁場に対して磁化方向の相対角度をリニアに変化させる自由磁性層と固定磁性層との組合せ例を示す。

図15Aは、図11に示したTMR素子1Bにおいて、強磁性層31としてCoFeBを選択し3nm未満の所定厚とし、軟磁性層33としてCoFeSiBを選択し100nmの厚みとした自由磁性層における磁化特性を示す。

図15Bは、図11に示したTMR素子1Bにおいて、強磁性層14としてCoFeBを選択し3nmの厚みとした固定磁性層における磁化特性を示す。

図15Bに示すように固定磁性層にあっては、±5[Oe]程度の振り幅でセット磁場及びリセット磁場を印加することで磁化の方向が反転する。そのとき、図15Aに示すように自由磁性層でも磁化の方向が反転するが、±5[Oe]程度の振り幅で反転転位した位置から外部磁場の影響により磁化の方向がリニアに変化する。したがって、このような特性の自由磁性層と固定磁性層とを組合せたTMR素子(1B)は、固定磁性層の磁化の向きとの相対角度をリニアに変化させることで、図1に示したような磁気抵抗特性を持つ。さらに上記磁化方向補正回路に組み込むことで、ノイズレスで高精度、高感度の磁気センサーとして機能し得る。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0029】

本発明は、磁気の測定等に利用することができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0030】

1 トンネル磁気抵抗素子

1A, 1B トンネル磁気抵抗素子

10

20

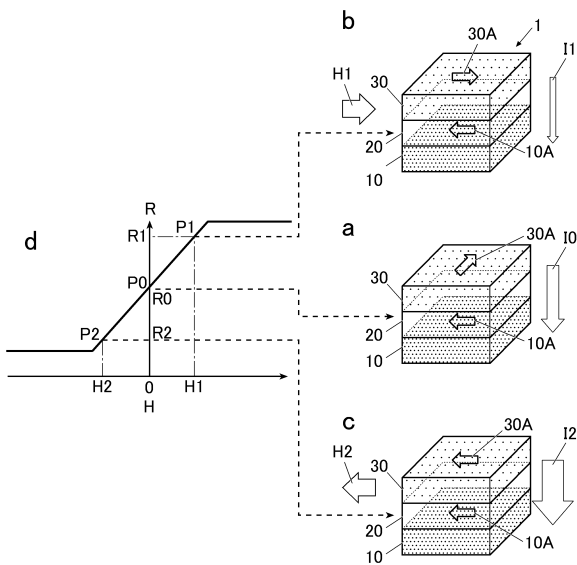
30

40

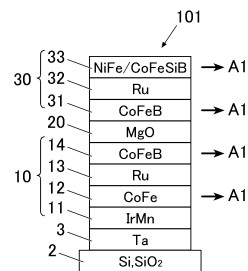
50

- 2 基板
- 3 下地層
- 10 固定磁性層
- 20 絕緣層
- 30 自由磁性層
- 14, 31 強磁性層
- 33 軟磁性層

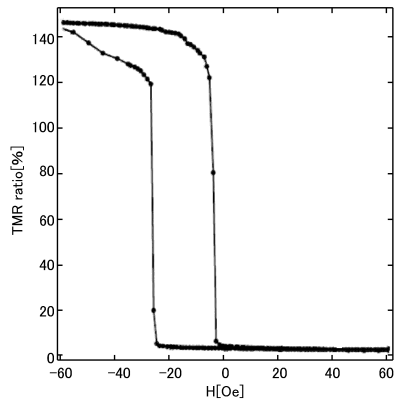
【圖 1】



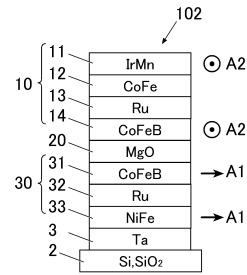
【圖 2】



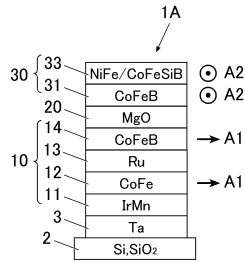
【 図 3 】



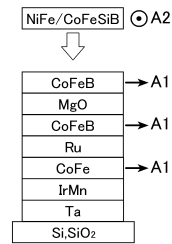
【 図 4 】



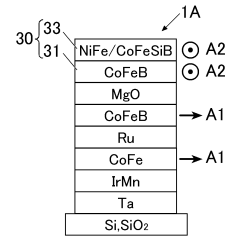
【 図 5 】



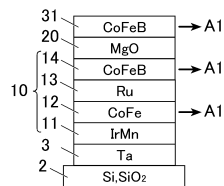
【 図 6 B 】



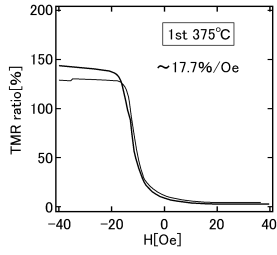
【 図 6 C 】



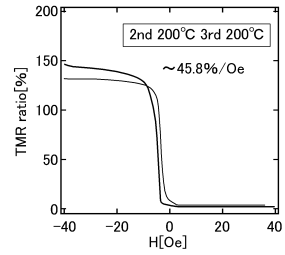
【 図 6 A 】



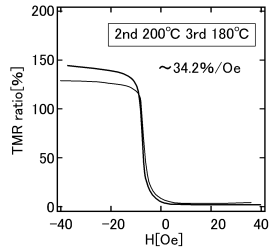
【図7】



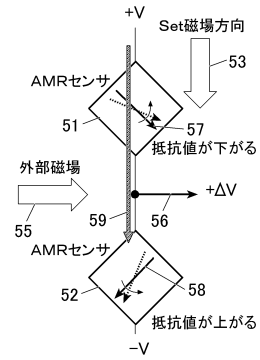
【図8B】



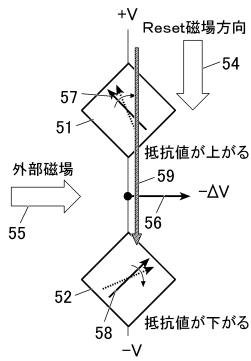
【図8A】



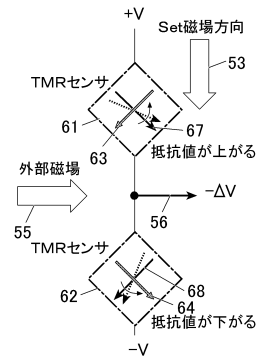
【図9A】



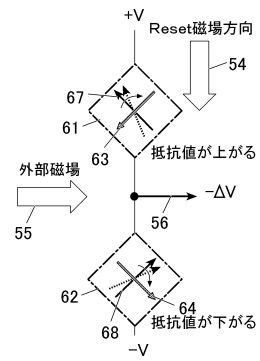
【図9B】



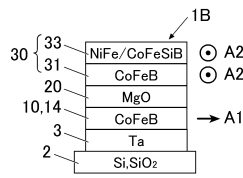
【図10A】



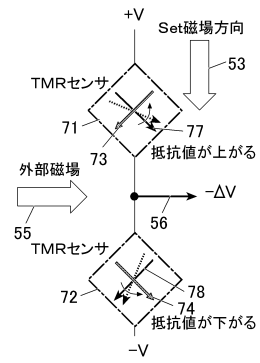
【図10B】



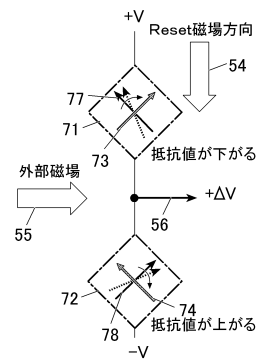
【図 1 1】



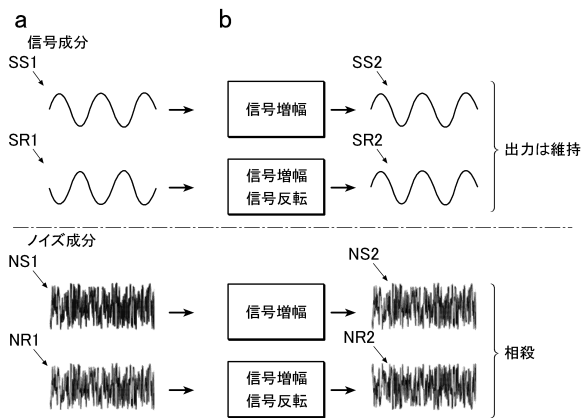
【図 1 2 A】



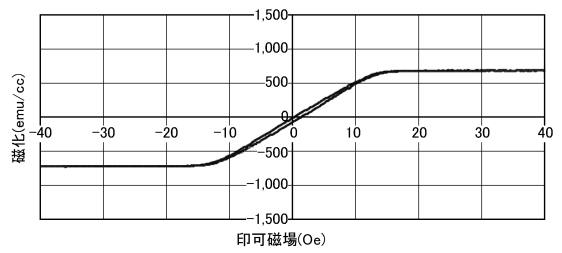
【図 1 2 B】



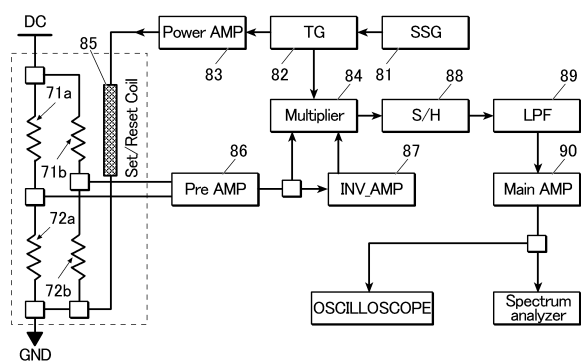
【図 1 3】



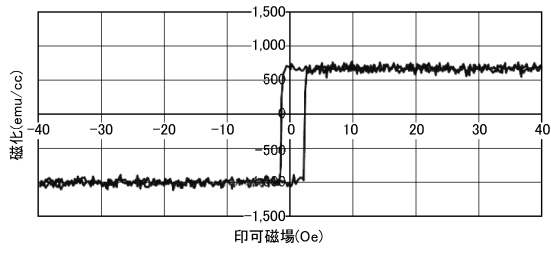
【図 1 5 A】



【図 1 4】



【 15 B】



## フロントページの続き

- (72)発明者 藤原 耕輔  
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 城野 純一  
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内
- (72)発明者 寺内 孝  
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内
- (72)発明者 関根 孝二郎  
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内
- (72)発明者 土田 匡章  
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内

審査官 小山 満

- (56)参考文献 特開平04-103014(JP,A)  
特開2013-197205(JP,A)  
特開2012-108116(JP,A)  
米国特許第05390061(US,A)  
米国特許出願公開第2013/0242435(US,A1)  
米国特許出願公開第2004/0207400(US,A1)  
国際公開第2004/109275(WO,A1)  
国際公開第2015/008718(WO,A1)  
特開2006-267120(JP,A)  
独国特許出願公開第102004056384(DE,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 43/08

G01R 33/09