

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5956793号
(P5956793)

(45) 発行日 平成28年7月27日 (2016. 7. 27)

(24) 登録日 平成28年6月24日 (2016. 6. 24)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 43/10 (2006. 01)	HO 1 L 43/10
HO 1 L 43/08 (2006. 01)	HO 1 L 43/08 Z
HO 1 L 21/8246 (2006. 01)	HO 1 L 27/10 4 4 7
HO 1 L 27/105 (2006. 01)	G 1 1 B 5/39
G 1 1 B 5/39 (2006. 01)	

請求項の数 16 (全 55 頁)

(21) 出願番号	特願2012-61104 (P2012-61104)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成24年3月16日 (2012. 3. 16)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2013-197205 (P2013-197205A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成25年9月30日 (2013. 9. 30)	(74) 代理人	100108062
審査請求日	平成27年2月20日 (2015. 2. 20)		弁理士 日向寺 雅彦
		(72) 発明者	藤 慶彦
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		(72) 発明者	原 通子
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		(72) 発明者	福澤 英明
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1電極と、

第2電極と、

前記第1電極と前記第2電極との間に設けられた第1磁性層と、

前記第1磁性層と前記第2電極との間に設けられた第2磁性層と、

前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に設けられた非磁性層と、

前記第1電極と前記第2電極との間に設けられた、金属酸化物の酸化物層であって、前記酸化物層は、鉄を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒を含み、前記ウスタイト結晶粒の(111)面の面間隔が0.253ナノメートル以上0.275

10

ナノメートル以下である酸化物層と、

を備えた磁気抵抗効果素子。

【請求項2】

第1電極と、

第2電極と、

前記第1電極と前記第2電極との間に設けられた第1磁性層と、

前記第1磁性層と前記第2電極との間に設けられた第2磁性層と、

前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に設けられた、金属酸化物の酸化物層であって、前記酸化物層は、鉄を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒を含み、前記ウスタイト結晶粒の(111)面の面間隔が0.253ナノメートル以上0.2

20

7 5 ナノメートル以下である酸化物層と、
を備えた磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】

第 1 部分と、前記第 1 部分と離間した第 2 部分と、を有する非磁性層と、
前記第 1 部分と積層された第 1 電極と、
前記第 1 部分と前記第 1 電極との間に設けられた第 1 磁性層と、
前記第 2 部分と積層された第 2 電極と、
前記第 2 部分と前記第 2 電極との間に設けられた第 2 磁性層と、
前記第 1 電極と前記第 1 部分との間、及び、前記第 2 電極と前記第 2 部分との間の少なくともいずれかに設けられた、金属酸化物の酸化物層であって、前記酸化物層は、鉄を含むウスタイト構造の (1 1 1) 面配向のウスタイト結晶粒を含み、前記ウスタイト結晶粒の (1 1 1) 面の面間隔が 0. 2 5 3 ナノメートル以上 0. 2 7 5 ナノメートル以下である酸化物層と、
を備えた磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 4】

前記酸化物層は、前記酸化物層の厚さ方向に対して平行な平面に射影したときに前記ウスタイト結晶粒と重なる部分を有し、亜鉛を含む (0 0 2) 面配向のウルツァイト結晶粒をさらに含む請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】

前記ウスタイト結晶粒は、亜鉛をさらに含む請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

20

【請求項 6】

前記ウスタイト結晶粒は、コバルト及びニッケルの少なくともいずれかをさらに含む請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】

前記ウスタイト結晶粒は、スズ、インジウム及びカドミウムの少なくともいずれかをさらに含む請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】

前記ウスタイト結晶粒は、銅、チタン、バナジウム、クロム、マンガン、アルミニウム、シリコン、マグネシウム、ガリウム、ゲルマニウム、白金、パラジウム、銀、ジルコニウム、ハフニウム及びタンタルの少なくともいずれかをさらに含む請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

30

【請求項 9】

前記酸化物層の結晶配向分散は、5 ° 以下である請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 10】

前記酸化物層の厚さは、0. 5 ナノメートル以上 4 ナノメートル以下である請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 11】

前記非磁性層は、
貫通孔が形成された絶縁材と、
前記貫通孔内に埋め込まれた導電部材と、
を含む請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

40

【請求項 12】

前記非磁性層は、
上部金属層と、
下部金属層と、
を有し、
前記酸化物層は、前記上部金属層と前記下部金属層との間に配置されている請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

50

【請求項 1 3】

前記第 1 磁性層の磁化方向及び前記第 2 磁性層の磁化方向は、外部磁場によって回転可能である請求項 1 ～ 1 2 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 1 4】

請求項 1 ～ 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子と、
前記磁気抵抗効果素子を一端に搭載するサスペンションと、
前記サスペンションの他端に接続されたアクチュエータアームと
を備えたことを特徴とする磁気ヘッドアセンブリ。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 記載の磁気ヘッドアセンブリと、
前記磁気ヘッドアセンブリに搭載された前記磁気抵抗効果素子を用いて情報が記録される磁気記録媒体と、
を備えた磁気記録再生装置。

10

【請求項 1 6】

請求項 1 ～ 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子を備えた磁気メモリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリに関する。

20

【背景技術】

【0002】

ハードディスクドライブ（HDD：Hard Disk Drive）などの磁気記録装置に、書き込まれた記憶情報を再生するMR（Magnetoresistance）ヘッド（磁気ヘッド）が設けられる。感度の向上のために、磁気ヘッドのMR変化率の向上が望まれる。

また、磁気抵抗効果素子を応用した磁気メモリが検討されている。高密度の磁気メモリを実現するために、磁気抵抗効果素子のMR変化率の向上が望まれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

30

【特許文献 1】特開 2002-208744 号公報

【特許文献 2】特開 2004-6589 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の実施形態は、MR変化率が大きい磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の実施形態によれば、第 1 電極と、第 2 電極と、第 1 磁性層と、第 2 磁性層と、非磁性層と、酸化物層と、を含む磁気抵抗効果素子が提供される。前記第 1 磁性層は、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に設けられる。前記第 2 磁性層は、前記第 1 磁性層と前記第 2 電極との間に設けられる。前記非磁性層は、前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に設けられる。前記酸化物層は、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に設けられる。前記酸化物層は、金属酸化物の酸化物層である。前記酸化物層は、鉄を含むウスタイト構造の（111）面配向のウスタイト結晶粒を含む。前記ウスタイト結晶粒の（111）面の面間隔は、0.253 ナノメートル以上 0.275 ナノメートル以下である。

40

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図 1】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を示す模式的断面図である。

50

【図 2】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 3】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を示す模式図である。

【図 4】図 4 (a) 及び図 4 (b) は、磁気抵抗効果素子を示す模式図である。

【図 5】図 5 (a) 及び図 5 (b) は、磁気抵抗効果素子の特性を示す断面 T E M 像である。

【図 6】図 6 (a) 及び図 6 (b) は、磁気抵抗効果素子の特性を示す F F T 解析像である。

【図 7】磁気抵抗効果素子の特性を示すグラフ図である。

【図 8】磁気抵抗効果素子の特性を示す断面 T E M 像である。

【図 9】図 9 (a) 及び図 9 (b) は、磁気抵抗効果素子の特性を示す F F T 解析像である。 10

【図 10】図 10 (a) 及び図 10 (b) は、ウスタイトとウルツァイトとの結晶構造を示す模式図である。

【図 11】第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の特性を示す模式図である。

【図 12】図 12 (a) ~ 図 12 (j) は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を示す模式的断面図である。

【図 13】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 14】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 15】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的断面図である。

【図 16】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。 20

【図 17】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 18】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 19】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 20】第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 21】第 2 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を示す模式的斜視図である。

【図 22】第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を示すフローチャート図である。

【図 23】第 4 の実施形態に係る磁気ヘッドを示す模式的断面図である。

【図 24】第 4 の実施形態に係る磁気ヘッドを示す模式的断面図である。

【図 25】第 5 の実施形態に係る磁気記録再生装置の一部を示す模式的斜視図である。 30

【図 26】第 5 の実施形態に係る磁気記録再生装置の一部を示す模式的斜視図である。

【図 27】第 5 の実施形態に係る磁気記録再生装置を示す模式的斜視図である。

【図 28】図 28 (a) 及び図 28 (b) は、第 5 の実施形態に係る磁気記録再生装置の一部を示す模式的斜視図である。

【図 29】第 6 の実施形態に係る磁気メモリを示す模式図である。

【図 30】第 6 の実施形態に係る別の磁気メモリを示す模式図である。

【図 31】第 6 の実施形態に係る磁気メモリの構成を示す模式的断面図である。

【図 32】図 31 の A - A ' 線断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】 40

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同一とは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

なお、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0008】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的断面図である。 50

図1に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子110は、第1電極11と、第2電極20と、第1磁性層14と、第2磁性層18と、非磁性層16と、酸化物層21と、を含む。

【0009】

第2電極20は、第1電極11と積層される。

本願明細書において、「積層」は、接して重ねられる状態の他に、他の要素が挿入されて重ねられる場合も含む。ここで、第1電極11と第2電極20との積層方向をZ軸方向とする。Z軸方向に対して垂直な1つの軸をX軸方向とする。Z軸方向とX軸方向とに対して垂直な方向をY軸方向とする。第2電極20は、Z軸方向（積層方向）に沿って第1電極11と積層されている。

10

【0010】

第1磁性層14は、第1電極11と第2電極20との間に設けられる。第2磁性層18は、第1磁性層14と第2電極20との間に設けられる。非磁性層16は、第1磁性層14と第2磁性層18との間に設けられる。非磁性層16は、例えばスペーサ層である。

【0011】

酸化物層21は、第1電極11と第2電極20との間に設けられる。酸化物層21は、金属酸化物である。酸化物層21は、鉄(Fe)を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒21sを含む。ウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔は、0.253ナノメートル(nm)以上0.275nm以下である。酸化物層21の例については後述する。

20

【0012】

この例では、酸化物層21は、非磁性層16と第2磁性層18との間に設けられている。本実施形態はこれに限らず、酸化物層21は、第1電極11と第2電極20との間の任意の場所に設けられる。

【0013】

第1磁性層14、第2磁性層18及び非磁性層16を場合によっては積層体10sと呼ぶ場合がある。この例では、酸化物層21が非磁性層16と第2磁性層18との間に設けられているので、積層体10sは、酸化物層21も含む。積層体10sは、スピバルブ膜に対応する。

【0014】

第1磁性層14及び第2磁性層18には、強磁性材料が用いられる。第1磁性層14の磁化方向の変化の挙動は、第2磁性層18の磁化方向の変化の挙動とは異なる。例えば、第2磁性層18の磁化方向は、外部磁界に応じて比較的容易に変化する。第2磁性層18は、例えばフリー層である。第1磁性層14の磁化方向は、例えば、実質的に一方向に固着されている。または、第2磁性層18の磁化方向は、第1磁性層14の磁化方向よりも、外部磁界に対して変化し難い。第2磁性層18は、例えば、ピン層である。第2磁性層18は、例えば、参照層である。

30

【0015】

第1電極11及び第2電極20は、積層体10sに電流を流すことが可能である。第1電極11及び第2電極20を介して積層体10sに電流を流したときの積層体10sの磁気抵抗は、第1磁性層14の磁化方向と第2磁性層18の磁化方向との相対的な角度によって変化する。磁気抵抗効果素子110は、第1磁性層14の磁化方向と第2磁性層18の磁化方向との相対角度が外部磁界に応じて変化することで、磁気センサとして機能する。磁気抵抗効果素子110を用いて、例えば磁気記録媒体に書き込まれた情報の読み出し動作を行うことができる。また、磁気抵抗効果素子110を用いて、磁気メモリの記憶再生の動作を行うことができる。

40

【0016】

トンネル磁気抵抗効果(TMR: Tunneling Magneto-Resistance effect)を利用した高感度なスピバルブ膜を含むTMRヘッドがある。スピバルブ膜は、2層の強磁性層の間にスペーサ層(非磁性層)を挟んだサンドイッチ構造を有する。スピバルブ膜を用

50

いた磁気抵抗効果素子には、C I P (Current In Plane) - G M R 素子、C P P (Current Perpendicular to Plane) - G M R 素子、及び、T M R (Tunneling Magneto-Resistance) 素子などがある。C I P - G M R 素子ではスピバルブ膜の面に平行にセンス電流を通電し、C P P - G M R 素子及び T M R 素子ではスピバルブ膜の面にほぼ垂直方向にセンス電流を通電する。膜面に対して垂直な方向に通電する方式において、C P P - G M R 素子ではスペーサ層として金属層を用い、T M R 素子ではスペーサ層として絶縁層を用いる。

【0017】

本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110 は、例えば、垂直通電型の磁気抵抗効果素子である。後述するように、磁気抵抗効果素子 110 においては、C P P - G M R 素子の動作、または、T M R 素子の動作が採用できる。

10

【0018】

磁気抵抗効果素子において、強磁性層の層中や、強磁性層と非磁性スペーサ層との界面に、酸化物または窒化物の薄膜のスピフィルター (Spin Filter: S F) 層を挿入する構成がある。S F 層は、アップスピン電子またはダウンスピン電子の通電を阻害するスピフィルター効果を有する。S F 層により、M R 変化率を向上することができる。本実施形態に係る酸化物層 21 は、例えば、S F 層として機能する。

【0019】

磁気抵抗効果素子 110 における M R 変化率は、磁性層内部のスピ依存散乱 (バルク散乱) と、磁性層とスペーサ層との界面でのスピ依存界面散乱と、に依存する。磁性層やスペーサ層にスピ依存散乱の大きな材料を適用することで、M R 変化率が向上する。

20

【0020】

以下、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子の例についてさらに説明する。

【0021】

図 2 は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図 2 に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 111 においては、上記の第 1 電極 11 と、第 2 電極 20 と、第 1 磁性層 14 と、第 2 磁性層 18 と、非磁性層 16 と、酸化物層 21 と、が設けられている。

【0022】

30

この例では、第 1 電極 11 の上に下地層 12 が設けられ、下地層 12 の上にピニング層 13 が設けられている。下地層 12 においては、例えば、バッファ層 (図示しない) 及びシード層 (図示しない) が積層される。バッファ層は、第 1 電極の側に設けられ、シード層は、ピニング層 13 の側に設けられる。

【0023】

ピニング層 13 上には、第 1 磁性層 14 が設けられる。この例では、第 1 磁性層 14 として、磁化方向が固着されたピン層が用いられる。

【0024】

この例では、第 1 磁性層 14 は、ピニング層 13 の上に設けられた下部ピン層 141 と、その上に設けられた磁気結合層 142 と、その上に設けられた上部ピン層 143 と、を含む。

40

【0025】

第 1 磁性層 14 の上に、非磁性層 16 が設けられる。非磁性層 16 は、例えば、スペーサ層として機能する。非磁性層 16 は、非磁性体からなる材料を含む。

非磁性層 16 の上に、酸化物層 21 が設けられる。

【0026】

酸化物層 21 の上に、第 2 磁性層 18 が設けられる。この例では、第 2 磁性層 18 として、磁化方向が回転するフリー層が用いられる。

【0027】

第 2 磁性層 18 の上に、キャップ層 19 が設けられる。キャップ層 19 は、例えば、磁

50

気抵抗効果素子 110 を酸化等の劣化から保護する。

キャップ層 19 の上に、第 2 電極 20 が設けられる。

【0028】

実施形態において、第 1 電極 11 と第 2 電極 20 の上下関係は任意である。図 1 では、第 1 電極 11 の上に、第 1 磁性層 14、非磁性層 16、酸化物層 21、第 2 磁性層 18 及び第 2 電極 20 がこの順で設けられているが、上下関係は、任意である。

【0029】

このような構成を有する磁気抵抗効果素子 110 及び 111 において、上記の酸化物層 21 を設けることで、MR 変化率を大きく向上できる。以下、酸化物層 21 の例について説明する。

10

【0030】

図 3 は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式図である。

図 3 は、酸化物層 21 のウスタイト結晶粒 21s の構成を例示している。図 3 に表したように、ウスタイト結晶粒 21s は、NaCl 構造を有している。ウスタイト結晶粒 21s は、Fe 原子 22a と、酸素原子 22b と、を含んでおり、ウスタイト結晶粒 21s は、NaCl 構造のうちの 1 つであるウスタイト構造を有している。

【0031】

金属元素を Me とし、酸素元素を O とすると、ウスタイト構造の金属酸化物の化学式は、実質的に、MeO と表すことができる。酸素元素は 2 価のマイナスイオンとなるため、この金属酸化物の金属元素は 2 価のプラスイオン (Me^{2+}) となる。ウスタイト結晶粒 21s は、例えば、 $Fe_{0.95}O_1$ の化学式で表される。このウスタイト構造の鉄酸化物は「ウスタイト (Wustite)」と呼ばれる。ウスタイトは、 $Fe_{0.95}O_1.00$ 程度の組成比をとる場合に、安定する。この金属酸化物における酸素濃度は、約 51 原子パーセント (at. %) である。

20

【0032】

図 4 (a) 及び図 4 (b) は、磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式図である。

これらの図は、 $Me_{0.95}O_1$ (すなわち、 $Fe_{0.95}O_1$) の [111] 方向の原子層構造を示している。図 4 (a) は、 $[-1-12]$ 方向に対して垂直な平面で切断した断面図である。図 4 (b) は、 $[1-10]$ 方向に対して垂直な平面で切断した断面図である。

30

【0033】

図 4 (a) 及び図 4 (b) に表したように、 $Me_{0.95}O_1$ の [111] 方向の原子層構造において、Me/O/Me/O のユニットが繰り返される。ここで、Me が Fe 原子の場合、 $Fe_{0.95}O_1$ の [111] 方向の面間隔 d のバルク値 (すなわち、 $Fe_{0.95}O_1$ の (111) 面の面間隔 d のバルク値) は、0.25 nm である。Me が Zn 原子の場合、ZnO の [111] 方向の面間隔 d のバルク値 (すなわち、ZnO の (111) 面の面間隔 d のバルク値) も 0.25 nm である。

【0034】

本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110 においては、酸化物層 21 がウスタイト結晶粒 21s を含んでおり、そのウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d は、0.253 nm 以上である。すなわち、ウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d が、 $Fe_{0.95}O_1$ の (111) 面の面間隔 d のバルク値 (0.25 nm) よりも大きい。これにより、MR 変化率を向上することができる。

40

【0035】

このような構成は、本願発明者が独自に行った実験により見出された新たな知見に基づいている。以下、この実験について説明する。この実験では、図 2 に例示した磁気抵抗効果素子 111 の構成を有する試料を作製した。

【0036】

以下、表 1 に示す試料 C1-1 ~ C1-5、及び、試料 E1-1 ~ E1-3 について説明する。以下では、材料の名前の後の「(nm)」は、その材料の層の厚さを示す。ま

50

た、「材料A／材料B」は、材料Aの層の上に材料Bの層が設けられることを示す。

【表1】

	tm (nm)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega \mu\text{m}^2$)
C1-1	4	-	1.5	0.05
C1-2	8	-	2.5	0.05
C1-3	3	0.25	10	0.2
C1-4	4	0.25	12	0.19
C1-5	5	0.252	14	0.19
E1-1	6	0.253	21	0.2
E1-2	7	0.257	23.5	0.2
E1-3	8	0.261	26	0.21

10

【0037】

試料E1-1の構成は以下である。

下地層12：Ta (1 nm) / Ru (2 nm)

ピニング層13：Ir₂₂Mn₇₈ (7 nm)

第1磁性層14：Co₇₅Fe₂₅ (4.4 nm) / Ru (0.9 nm) / Fe₅₀Co₅₀ (6 nm)

20

非磁性層16：Cu (1.5 nm)

酸化物層21：Zn-Fe-O (1.5 nm)

第2磁性層18：Fe₅₀Co₅₀ (6 nm)

キャップ層19：Cu (1 nm) / Ta (2 nm) / Ru (5 nm)

基板上に設けられた第1電極11の上に上記の積層体を形成した後、280℃で5時間のアニール処理を行った。その後、第2電極20を形成した。

【0038】

第1磁性層14において、Co₇₅Fe₂₅ (4.4 nm) が下部ピン層141に対応し、Ru (0.9 nm) が磁気結合層142に対応し、Fe₅₀Co₅₀ (6 nm) が上部ピン層143に対応する。

30

【0039】

酸化物層21の作製においては、非磁性層16上に、1 nmの厚さのFe層を形成し、その上に、0.24 nmの厚さのZn層を形成した。次に、表面酸化によりZnとFeの混合酸化物（以下、Zn-Fe-Oと表記する）へと変換を行った。酸化物への変換においては、表面酸化としてイオンアシスト酸化（IAO：Ion assisted Oxidation）処理を用い、表面酸化後に、Arガスを用いたRFプラズマ処理を行った。これにより、酸化物層21が形成される。

【0040】

この実験では、上部ピン層143及び第2磁性層18（Fe₅₀Co₅₀）の厚さtm (nm)を変えた。すなわち、試料E1-1、E1-2、及びE1-3において、厚さtmは、それぞれ、6 nm、7 nm及び8 nmである。

40

【0041】

試料C1-1及びC1-2においては、上記の構成において、酸化物層21を設けていない。試料C1-3、C1-4及びC1-5においては、酸化物層21を設けており、上部ピン層143及び第2磁性層18の厚さtmは、それぞれ、3 nm、4 nm及び5 nmである。これら以外の条件は、試料E1-1と同様である。

【0042】

これらの試料のMR変化率（MR）と面積抵抗RA（Resistance Area）とを評価した結果が表1に示されている。

【0043】

50

表1から分かるように、酸化物層21を設けていない試料C1-1及びC1-2においては、MR変化率(MR)は、1.5%~2.5%である。酸化物層21を設けた試料C1-3、C1-4及びC1-5では、MR変化率は10%~14%であり、酸化物層21を設けていない場合に比べて、MR変化率が向上している。

【0044】

さらに、酸化物層21を設けた場合において、上部ピン層143及び第2磁性層18の厚さ t_m が6nm~8nmの試料E1-1~E1-3においては、MR変化率は、21%~26%であり、厚さ t_m が3nm~5nmの場合に比べて、MR変化率が非常に大きくなることが分かった。なお、表1に示したように、酸化物層21を設けた試料C1-3~C1-5及び試料E1-1~E1-3において、面積抵抗RAは、約 $0.2\Omega\mu m^2$ であり、面積抵抗RAは、ほぼ一定である。

10

【0045】

このように、酸化物層21を設けた場合において、上部ピン層143及び第2磁性層18の厚さ t_m が6nm以上と厚ときに、MR変化率が非常に大きくなる。この原因を解析するために、試料E1-3と試料C1-4とに関して、断面TEMにより酸化物層21の結晶構造を調べた。

【0046】

図5(a)及び図5(b)は、磁気抵抗効果素子の特性を例示する断面TEM像である。

図5(a)及び図5(b)は、試料E1-3及び試料C1-4の断面TEM像をそれぞれ示す。図5(a)図5(b)に表したように、試料E1-3及び試料C1-4の両方において、非磁性層16と第2磁性層18との間に、1.5nm程度の厚さの酸化物層21が形成されている。酸化物層21は、実質的に均一なZn-Fe酸化物の層である。試料C1-4及び試料E1-3の両方において、酸化物層21は結晶構造を有している。酸化物層21の結晶構造を詳細に調べるために、FFT解析を行った。

20

【0047】

図6(a)及び図6(b)は、磁気抵抗効果素子の特性を例示するFFT解析像である。

図6(a)及び図6(b)は、図5(a)及び図5(b)にそれぞれ示した円で囲んだ領域R1及びR2に関してFFT解析を行い、その結果から算出した回折パターンを示している。

30

【0048】

図6(a)及び図6(b)に例示した回折パターンは、ウスタイトの[111]方向を上方として、[1-10]方向または[-110]方向から投影した逆格子マップと一致する。これらの図から、試料E1-3及び試料C1-4の両方において、酸化物層21はウスタイト構造の(111)配向膜となっていることがわかった。なお、他の試料(試料E1-1及びE1-2、並びに、試料C1-3及びC1-5)においても、同様の解析により、酸化物層21がウスタイト構造の(111)配向膜となっていることが分かった。

【0049】

図6(b)に例示した試料C1-4においては、酸化物層21のウスタイト(111)配向面の面間隔 d が、 $0.250nm$ であり、バルクのウスタイトのそれと同等である。これに対して、図6(a)に例示した試料E1-3においては、酸化物層21のウスタイト(111)配向面の面間隔 d が $0.260nm$ であり、バルクの値よりも大きかった。すなわち、試料E1-3においては、面間隔 d が、膜面垂直方向に伸張して歪んでいる。同様にして、上記の試料について、ウスタイト(111)配向面の面間隔 d の評価結果が表1に示されている。

40

【0050】

表1に示した結果から、上部ピン層143及び第2磁性層18の $Fe_{50}Co_{50}$ 層の厚さ t_m が増大すると、ウスタイト(111)配向面の面間隔 d が広がることが分かった。このことは、本願発明者によるこの実験により初めて見出された現象である。

50

【0051】

酸化物層21のウスタイト結晶の(111)配向面と、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ のbcc(110)配向面と、は、格子整合して偽エピタキシャル成長している。ウスタイト(111)配向面の膜面内方向の面間隔dは、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ のbcc(110)配向面の膜面内方向の面間隔よりも短い。このような面間隔の異なる結晶の偽エピタキシャル成長では、格子整合させるために、面間隔の広い結晶は縮み、面間隔の小さい結晶は広がると考えられる。よって、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ に格子整合しているウスタイト結晶の膜面内方向の面間隔は縮み、その結果、膜面垂直方向の面間隔が伸張する。 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ の厚さtmが厚い場合、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ の結晶がバルク値をより維持しようとするため、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ の面間隔の変化は抑えられ、ウスタイトの面間隔の変化は大きくなると考えられる。今回見出された、上部ピン層143及び第2磁性層18の $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層の厚さtmが厚いときにウスタイト(111)配向面の面間隔dが大きくなることは、この仕組みによるものと考えられる。

10

【0052】

さらに、この実験により、ウスタイト(111)配向面の面間隔dが大きい(広い)と、大きいMR変化率が得られることが分かった。このことも、この実験により初めて見出された現象である。特に、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層の厚さtmを6nm以上とし、ウスタイト(111)配向面の面間隔dが0.253nm以上の試料E1-1、E1-2及びE1-3において、特に大きいMR変化率が得られた。

20

【0053】

実施形態に係る磁気抵抗効果素子110及び111においては、新たに見出されたこのような知見に基づき、酸化物層21が、鉄を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒21sを含み、このウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔が0.253nm以上とする。これにより、大きいMR変化率を得ることができる。

【0054】

ウスタイト結晶粒21sを含む酸化物層21のバンド構造において、面間隔dがバルク値よりも大きい場合に、フェルミ面におけるアップスピン電子とダウンスピン電子の状態密度の差、または、アップスピン電子とダウンスピン電子の状態密度の微分の差が大きくなる。このため、このときに、高いスピン依存散乱を実現できると考えられる。これにより、面間隔dがバルク値よりも大きい構造の酸化物層21を設けることでMR変化率が向上すると考えられる。

30

【0055】

図7は、磁気抵抗効果素子の特性を例示するグラフ図である。

図7は、試料E1-3についての結晶配向分散のプロファイルを例示している。図7に例示した結晶配向分散は、図6(a)に例示した断面TEM像のFFT解析を複数箇所実施し、膜面垂直方向に対して(111)面配向面の方位の分散をプロットすることにより得られる。横軸は、分散角度 ω であり、縦軸は、各分散角度に(111)面が存在したFFT解析の領域数(任意目盛)である。分散角度 ω は、膜面垂直方向と(111)面配向方向とのなす角度に対応する。

【0056】

図7に表したように、試料E1-3においては、酸化物層21の結晶配向分散角は、約5°であった。結晶配向分散角が少ないほど、大きいMR変化率を得ることができ、好ましい。結晶配向分散角の絶対値は、10°以下が好ましく、試料E1-3のように5°以下がさらに好ましい。試料E1-1、E1-2についても同様の解析を行った結果、これらの試料においても結晶配向分散角の絶対値は、約5°であった。

40

【0057】

また、試料E1-1、E1-2及びE1-3の酸化物層21の断面TEM像に対して、EDXライン分析を行った結果、酸化物層21に相当する場所は、Zn、Fe、Oのピークが一致した。このことから、成膜時には、Fe(1nm)/Zn(0.24nm)のように積層構造で成膜したZnとFeが、表面酸化時のエネルギーアシストにより混合し、

50

混合された酸化物層が形成されていることがわかる。

【0058】

実施形態に係る磁気抵抗効果素子において、TEM像及びEDXライン分析により、同様に均一な酸化物層が形成されていることが分かった。

【0059】

酸化物層21の結晶構造は、磁気抵抗効果素子の断面TEM試料において、酸化物層21の部分に、直径が1nm程度の電子ビームを照射し、ナノディフラクションパターンを得ることによっても、解析できる。

【0060】

上記においては、上部ピン層143及び第2磁性層18の $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層の厚さ t_m が大きいに、ウスタイト(111)配向面の面間隔 d が広がることについて説明した。本願発明者は、さらに実験を行い、酸化物層21の構成(例えば組成)を変化させたときにもウスタイト(111)配向面の面間隔 d が広がることを見出した。以下、この実験について説明する。

【表2】

		d [nm]	MR [%]	RA [$\Omega \mu\text{m}^2$]
C1-1	—	—	1.5	0.05
C1-6	$\text{Fe}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}$ 1.8nm	0.25	12	0.2
E2-1	$\text{Fe}_{0.7}\text{Zn}_{0.3}$ 1.8nm	0.253	23	0.21
E2-2	$\text{Fe}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}$ 1.8nm	0.26	26	0.21
E2-3	$\text{Fe}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}$ 1.8nm	0.26	26	0.21
E2-4	$\text{Fe}_{0.1}\text{Zn}_{0.9}$ 1.8nm	0.26	18	0.2
C1-7	Zn 1.8nm	—	13	0.21

【0061】

表2に示した試料C1-1は、表1に示した試料C1-1と同じである。試料C1-6は、表1に示した試料C1-3において、上部ピン層143及び第2磁性層18の $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層の厚さ t_m を4nmとし、酸化物層21の厚さを2.5nmとしたものであり、それ以外は試料C1-3と同様である。表2には、酸化物層21の母材金属材料も示している。ここで、表2に示す試料では、被酸化母材として、Fe-Zn合金を用いている。試料E2-1～E2-4においては、酸化物層21中におけるFeに対するZn濃度は、試料C1-6における酸化物層21中のFeに対するZn濃度よりも高い。試料E2-1～E2-4の構成は、酸化物層21中におけるFeに対するZn濃度以外は、試料C1-6の構成と同じである。また、試料C1-7においては、酸化物層21をZnのみを基にして形成している。

【0062】

これらの試料のMR変化率及び面積抵抗RAを評価した結果が表2に示されている。

酸化物層21を設けた試料C1-6及び試料E2-1～E2-4においては、酸化物層21を設けない試料C1-1に比べて、MR変化率が高い。これは、酸化物層21を設けることの効果である。酸化物層21におけるFeに対するZn濃度を高めた試料E2-1～E2-4では、試料C1-6に比べて、MR変化率が向上する。なお、試料C1-6及び試料E2-1～E2-4において、面積抵抗RAは、約 $0.2 \Omega \mu\text{m}^2$ であり、実質的に同じである。なお、試料C1-7においては、NaCl(111)の結晶粒が観察されなかった。

【0063】

試料C1-6と試料E2とにおけるMR変化率の違いの原因を調べるために、試料E2-2について、断面TEMにより酸化物層21の結晶構造を調べた。

図8は、磁気抵抗効果素子の特性を例示する断面TEM像である。

図8は、試料E2の断面TEM像を示している。

図9(a)及び図9(b)は、磁気抵抗効果素子の特性を例示するFFT解析像である。図9(a)及び図9(b)は、図8に示した円で囲んだ領域R3及び領域R4に関してFFT解析を行い、その結果から算出した回折パターンを示している。

【0064】

図8からわかるように、Zn含有量を増やしたZn-Fe-O膜を用いた試料E2-2においても、2.5nm程度の厚さの均一な酸化物層21が形成されている。

【0065】

図9(a)から分かるように、領域R3においては、ウスタイトの(111)配向の結晶粒(ウスタイト結晶粒21s)が観察された。この構造は、試料E1-3に関して説明した構造と同様である。

【0066】

図9(b)から分かるように、領域R4においては、ウルツァイト構造の(002)配向膜の回折スポットが観測された。酸化物層21のうちの領域R4では、ウルツァイト(002)配向結晶粒が存在している。

【0067】

このように、試料E2-2における酸化物層21においては、ウスタイト(111)配向の結晶粒(ウスタイト結晶粒21s)と、ウルツァイトの(002)配向の結晶粒(ウルツァイト結晶粒21r)と、が混在していることが分かった。

【0068】

試料E2-2においては、酸化物層21は、ウスタイト(111)配向の結晶粒(ウスタイト結晶粒21s)に加えて、亜鉛(Zn)を含む(002)配向の結晶粒(ウルツァイト結晶粒21r)をさらに含む。ウルツァイト結晶粒21rは、酸化物層21の厚さ方向(Z軸方向)に対して平行な平面(例えばX-Z平面やY-Z平面)に射影したときにウスタイト結晶粒21sと重なる部分を有する。例えば、ウルツァイト結晶粒21rは、X-Y平面内において、ウスタイト結晶粒21sと並置される。

【0069】

領域R3のウスタイト結晶粒21sの(111)配向面の面間隔dは、0.26nmであり、この値は、バルク値の0.25nmよりも伸張した値である。一方、領域R4のウルツァイト構造の(002)配向面の面間隔dは、0.26nmである。

【0070】

図10(a)及び図10(b)は、ウスタイトとウルツァイトとの結晶構造を示す模式図である。

図10(a)は、バルクのウスタイトの[111]方向の原子層構造を例示している。図10(b)は、バルクのウルツァイトの[002]方向の原子層構造を例示している。図10(a)に表したように、バルクのウスタイトの(111)配向面の面間隔dは、0.25nmである。図10(b)に表したように、バルクのウルツァイトの(002)配向面の面間隔dは、0.26nmである。

【0071】

図11は、第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の特性を例示する模式図である。

図11は、ウスタイト結晶粒21sとウルツァイト結晶粒21rとの間の領域(界面)における面内結晶テンプレート効果を例示している。

図11に表したように、ウスタイト結晶粒21sとウルツァイト結晶粒21rとの間の領域(例えば界面)において、ウルツァイト結晶粒21rにおいて、膜面垂直方向の面間隔dは、0.26nm(バルクのZnOのウルツァイトにおける面間隔)であるとする。ウスタイト結晶粒21sにおいて膜面垂直方向の面間隔dは、0.25nm(バルクのウスタイトにおける面間隔)であるとする。このようなウスタイト結晶粒21sとウルツァイト結晶粒21rとが同じ膜面内で混在した際に、面内結晶テンプレート効果が生じ、ウスタイトの(111)配向面の面間隔dがウルツァイト(002)面の面間隔dの影響を

10

20

30

40

50

受け、0.26 nmに向けて、伸びると考えられる。

【0072】

これにより、試料E2-2において、ウスタイト結晶粒21sの面間隔dが膜面垂直方向に伸びたと考えられる。

また、試料E2-1、E2-3、E2-4においても、表2に示すようにウスタイト結晶粒21sの面間隔dが膜面垂直方向に伸びていることが確認された。

【0073】

一方、表2に示したように、試料C1-6においては、酸化物層21のウスタイト(111)配向面の面間隔dは、0.25 nmであり、バルク値と同等であった。

このように、この例でも、膜面垂直方向に伸張したウスタイト結晶粒21sを含む酸化物層21を用いることで、大きいMR変化率が得られることが分かった。

【0074】

ここで、表2からわかるように、ウスタイト結晶粒とウルツァイト結晶粒とを同じ膜内で混在した酸化物21を形成する場合、好ましいZnの濃度範囲が存在する。酸化物21の母材金属中に含まれるZnの濃度が少なすぎる場合には、ウルツァイト結晶粒が形成されにくい。Znの濃度が多すぎる場合には、Feを含むウスタイト結晶粒が形成されにくい。また、Znの濃度が多すぎる場合、酸化物21中のウスタイト結晶粒に対するウルツァイト結晶粒の面積比が大きくなり、酸化物21を通過する伝導電子がウスタイト結晶粒を通過する割合が低くなる。上記を鑑みて、酸化物21となる被酸化母材において、Feを含む金属合金中に含まれるZnの濃度は、30 at. %以上90 at. %以下が好ましく、30 at. %以上70 at. %以下がさらに好ましい。

【0075】

以下、酸化物層21が非磁性層16と第2磁性層18との間に設けられる場合に関して、酸化物層21の形成方法の例について説明する。

【0076】

例えば、非磁性層16の上に、酸化物層21となる、FeとZnとを含む金属層を形成する。ZnとFeとを含む金属層に酸化処理を施す。この酸化処理には、例えば、イオンアシスト酸化(IAO)を用いることができる。イオンアシスト酸化では、例えば、希ガスなどのイオンビームまたは希ガスなどのプラズマを金属層に照射しながら、酸素を供給する。

【0077】

イオンビームアシスト酸化処理を用いる場合、例えば、加速電圧Vbを30 V以上130 V以下とし、ビーム電流Ibを20 mA以上200 mA以下に設定することが好ましい。IAOの条件の例については、後述する。

【0078】

IAOの後に、還元処理をさらに行っても良い。還元処理によって、酸化処理後の母材の膜の酸素濃度を調整することができる。これにより、スピン依存散乱を強く発現できる酸素含有量を有する構造に調整することができる。還元処理として、例えば、アルゴンイオンの照射、アルゴンプラズマの照射及び加熱の少なくともいずれかを行う。

【0079】

以下、本願発明者が行った別の実験について説明する。

この実験では、酸化物層21の形成において、イオンビームを用いたIAOを行い、その後、Arプラズマ処理を行った。

【0080】

下地層12、ピニング層13、非磁性層16及びキャップ層19の構成は、試料E1-1と同様である。この実験では、第1磁性層14の下部ピン層141(Co₇₅Fe₂₅層)及び磁気結合層142(Ru層)は、試料E1-1と同様であり、上部ピン層143として、Fe₅₀Co₅₀(4 nm)を用いた。そして、第2磁性層18として、Fe₅₀Co₅₀(4 nm)を用いた。酸化物層21の形成においては、非磁性層16の上に、1 nmの厚さのFe層をスパッタにより形成し、0.24 nmの厚さのZn層をスパッタ

により形成し、その後、I A Oを行い、その後A r プラズマ処理を行った。これにより酸化物層 2 1 が形成される。その後、酸化物層 2 1 の上に第 2 磁性層 1 8 及びキャップ層 1 9 を形成した。この後、2 8 0 ℃で 5 時間のアニール処理を行い、その後、第 2 電極 2 0 を形成した。

【0081】

I A Oにおけるビーム電流 I b は、6 0 m A で一定とし、加速電圧 V b を 6 0 V ～ 1 2 0 V で変えた。A r プラズマ処理におけるプラズマ電力 P w を 2 0 W ～ 1 0 0 W で変えた。これらの試料に関して、酸化物層 2 1 のウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d、MR 変化率、及び、面積抵抗 R A を評価した。評価結果を表 3 に示す。

【表 3】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C3-1	60	20	0.25	10	0.2
C3-2	60	30	0.252	11.5	0.2
E3-1	60	40	0.253	18	0.2
E3-2	60	50	0.257	19	0.2
E3-3	60	60	0.260	20	0.21
E3-4	60	70	0.265	20	0.2
E3-5	60	80	0.270	21	0.2
E3-6	60	100	0.275	20	0.2
E3-7	70	20	0.253	19	0.21
E3-8	80	20	0.256	20	0.2
E3-9	90	20	0.260	21	0.22
E3-10	100	20	0.265	21	0.17
E3-11	110	20	0.270	22	0.18
E3-12	120	20	0.275	21	0.18

【0082】

表 3 から分かるように、試料 E 3 - 1 ～試料 E 3 - 1 2 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0 . 2 5 3 n m 以上 0 . 2 7 5 n m 以下である。これらの試料においては、MR 変化率は、1 8 % ～ 2 2 % であり、試料 C 1 - 1、試料 C 3 - 1 及び C 3 - 2 と比べて非常に大きい。試料 E 3 - 1 ～試料 E 3 - 1 2 の面積抵抗 R A は、約 0 . 2 であり、試料 C 3 - 1 及び C 3 - 2 の値と実質的に同じである。

【0083】

表 3 から分かるように、A r プラズマ処理の電力 P w が 4 0 W 以上のときに、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0 . 2 5 3 n m 以上になり、大きい MR 変化率が得られる。加速電圧 V b は、6 0 V 以上 1 2 0 V 以下の任意の値を用いることができる。

【0084】

また、本実施形態では、酸化物層 2 1 の被酸化母材料として、F e に加え、亜鉛 (Z n) をさらに含ませた場合において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 配向面の面間隔を 0 . 2 5 3 n m 以上 0 . 2 7 5 n m 以下とすることで、高い MR 変化率を得ることができる。ここで、亜鉛の添加元素の添加量は、被酸化母材の F e を含む金属合金において、0 . 5 a t . % 以上 7 0 a t . % 以下とすることができる。被酸化母材の添加元素の添加

10

20

30

40

50

量が多すぎる場合、相対的にFeの含有量が少なくなるため、良好なウスタイト構造を得る観点では0.5at.%以上50at.%以下とすることがさらに好ましい。

【0085】

酸化処理及び還元処理などを含む処理条件を適切に設定し、適切なエネルギーアシストを行うことにより、実施形態に係る酸化物層21を作製することができる。例えば、イオンビームアシスト酸化処理を行った場合において、酸化物層21を形成する際に、希ガスをイオン化またはプラズマ化して照射する場合、その加速電圧Vbを40V以上120V以下とすることができる。このとき、ビーム電流Ibは、40mA以上200mA以下に設定することが好ましい。

【0086】

イオンビームの代わりRFプラズマなどのプラズマを用いる場合、そのプラズマ電力は20W~200Wに設定することが好ましい。

【0087】

また、還元処理においては、例えば、Arイオンビーム照射を行った場合、その加速電圧Vbを40V~130V、ビーム電流Ibを40mA~200mAに設定することが好ましい。イオンビームの代わりにRFプラズマなどのプラズマを用いる場合、そのプラズマ電力Pwは20W~200Wに設定することが好ましい。そのプラズマ電力Pwとして、40W以上100Wの値を用いることができる。

【0088】

酸化物層21の形成において、酸化処理においてイオンビームやプラズマを用いた場合、イオンビームの照射条件及びプラズマの照射条件を制御することで、Zn-Fe酸化物の膜応力をコントロールして、膜面垂直方向の面間隔を制御することができる。

【0089】

酸化物層21の形成において還元処理を行う際にイオンビームやプラズマを用いた場合、イオンビームの照射条件及びプラズマの照射条件を制御することで、Zn-Fe酸化物の膜応力をコントロールして、膜面垂直方向の面間隔を制御することができる。

【0090】

本実施形態に係る磁気抵抗効果素子110及び111の構成の例についてさらに説明する。

上記のように、酸化物層21に含まれるウスタイト結晶粒21sは、Feに加え、コバルト(Co)及びニッケル(Ni)の少なくともいずれかをさらに含んでも良い。

【0091】

ウスタイト結晶粒21sが、Feの他に、Co、Ni及びZnからなる群より選択された少なくとも1つの材料を含む場合、これらの金属酸化物の(111)面配向の面間隔dが0.253nm以上とすることで、大きいMR変化率を得ることができる。

【0092】

Co及びNiは、Feと室温で同様に磁性を有する。酸化物層21のウスタイト結晶粒21sが、Co及びNiの少なくともいずれかの酸化物を含有することで、より高いスピニフィルタ効果を有するスピニフィルタリング層が得られる。

【0093】

第1磁性層14または第2磁性層18に極薄の酸化物層21を挿入した場合、磁性を有していない酸化物材料も磁性を発現してスピニフィルタ効果が得られる。酸化物層21がFeの他にCo及びNiの少なくともいずれかの酸化物を含有する場合には、酸化物層21の厚さの制限に制限されずに容易に磁性を発現して高いスピニフィルタ効果が得られる場合がある。

【0094】

例えば、ウスタイト結晶粒21sは、Feに加え、亜鉛(Zn)をさらに含んでも良い。また、ウスタイト結晶粒21sは、Feに加え、スズ、インジウム及びカドミウムの少なくともいずれかをさらに含んでも良い。

【0095】

酸化物層 21 が、 ZnO 、 In_2O_3 、 SnO_2 、 ZnO 、 CdO 、 CdIn_2O_4 、 Cd_2SnO_4 、 Zn_2SnO_4 などの、 Zn 、 In 、 Sn 、及び Cd を含む酸化物材料（酸化物半導体）を含有すると、例えば、低い抵抗率のスピントラッキング層が得られる。これらの酸化物半導体は、3 eV 以上のバンドギャップを持つ半導体である。化学量論組成から少し還元側にずれた組成にすることにより、酸素空孔などの真性欠陥がドナー準位を形成する。このため、伝導電子密度が 10^{18} cm^{-3} 以上 10^{19} cm^{-3} 以下程度の値に到達する。これらの導電性酸化物のバンド構造において、価電子帯は、主として酸素原子の 2p 軌道により形成され、伝導帯は、金属原子の s 軌道で形成される。キャリア密度が 10^{18} cm^{-3} よりも高くなるとフェルミ準位が伝導帯に達し、例えば、縮退状態になる。このような酸化物半導体は n 形の縮退半導体と呼ばれ、伝導電子の十分な濃度と移動度とを併せ持ち、低い抵抗率を実現する。

10

【0096】

ウスタイト結晶粒 21s が、Fe に加え、亜鉛 (Zn)、スズ、インジウム及びカドミウムの少なくともいずれかをさらに含むことで、ウスタイト結晶粒 21s の抵抗率を下げることができる。ウスタイト結晶粒 21s の抵抗率を低くすることで、伝導電子がウスタイト結晶粒 21s を通過する際にスピン情報を失う「スピントリップ」の発生確率を低減することができるため、高い MR 変化率を得る上で好ましい。

【0097】

例えば、ウスタイト結晶粒 21s は、Fe に加え、銅、チタン、バナジウム、クロム、マンガ、アルミニウム、シリコン、マグネシウム、ガリウム、ゲルマニウム、白金、パラジウム、銀、ジルコニウム、ハフニウム及びタンタルの少なくともいずれかをさらに含んでも良い。

20

【0098】

このような添加元素を加えることにより、バンド構造を変化させ、高いスピン依存散乱を実現することができる。また、これらの添加元素を加えることにより、高い耐熱性を得ることができる。耐熱性が向上するメカニズムは完全に明らかとはなっていないが、化学量論組成から還元気味にずれたことにより形成されるウスタイト結晶粒 21s の酸素空孔の密度が、熱による再酸化の促進により減少して、キャリア密度が変わることが起因していると考えられる。他にも耐熱性が向上する理由として、上記したこれらの元素は III 族、または IV 族のドーパントにあたり、これらのドーパントは熱によるウスタイト結晶粒 21s の再酸化の促進を防ぐために、ウスタイト結晶粒 21s 中のキャリア密度の変化を抑えることができ、さらには熱に対する抵抗率の変化が抑えられるということが挙げられる。

30

【0099】

磁性体の酸化物層 21 を用いた場合は、その酸化物層 21 自体がスピン依存バルク散乱及びスピン依存界面散乱を有する。一方、非磁性体の酸化物層 21 を用いた場合には、金属強磁性体に接して用いることにより、金属強磁性体からのスピン蓄積効果で非磁性体の酸化物層内部にスピン分極が発生する。このような場合でも、高いスピン依存散乱を実現することができる。酸化物層 21 を形成する金属酸化物が、鉄 (Fe) 及び亜鉛 (Zn) を含む場合に、著しく大きい MR 変化率を実現することができる。

40

【0100】

実施形態において、酸化物層 21 は、第 1 電極 11 と第 2 電極 20 との間の任意の場所に配置できる。

図 12 (a) ~ 図 12 (j) は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的断面図である。

図 12 (a) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110a においては、酸化物層 21 は、非磁性層 16 と第 2 磁性層 18 との間に配置される。

【0101】

図 12 (b) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110b においては、酸化物層 21 は、第 2 磁性層 181 と第 3 磁性層 18u との間に配置される。第 3 磁性

50

層 18u は、第 2 磁性層 18l と第 2 電極 20 との間に配置される。第 2 磁性層 18l と第 3 磁性層 18u と、が、図 1 に関して説明した第 2 磁性層 18 に対応すると見なしても良い。この場合には、酸化物層 21 は、第 2 磁性層 18 の中に配置されることに対応する。

【0102】

図 12 (c) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110c においては、酸化物層 21 は、第 2 磁性層 18 と第 2 電極 20 との間に配置される。

【0103】

図 12 (d) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110d においては、酸化物層 21 は、第 1 磁性層 14 と非磁性層 16 との間に配置される。

10

【0104】

図 12 (e) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110e においては、酸化物層 21 は、第 1 磁性層 14u と第 4 磁性層 14l との間に配置される。第 4 磁性層 14l は、第 1 磁性層 14u と第 1 電極 11 との間に配置される。第 1 磁性層 14u と第 4 磁性層 14l と、が、図 1 に関して説明した第 1 磁性層 14 に対応すると見なしても良い。この場合には、酸化物層 21 は、第 1 磁性層 14 の中に配置されることに対応する。

【0105】

図 12 (f) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110f においては、酸化物層 21 は、第 1 電極 11 と第 1 磁性層 14 との間に配置される。

20

【0106】

図 12 (g) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110g においては、酸化物層 21 は、第 1 非磁性層 16l と第 2 非磁性層 16u との間に配置される。第 2 非磁性層 16u は、第 1 非磁性層 16l と第 2 磁性層 18 との間に配置される。第 1 非磁性層 16l と第 2 非磁性層 16u と、が、図 1 に関して説明した非磁性層 16 に対応すると見なしても良い。この場合には、酸化物層 21 は、非磁性層 16 の中に配置されることに対応する。

【0107】

図 12 (h) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110h においては、2つの酸化物層 21 が設けられる。一方の酸化物層 21 は、第 1 磁性層 14 と非磁性層 16 との間に配置され、他方の酸化物層 21 は、非磁性層 16 と第 2 磁性層 18 との間に配置される。

30

【0108】

図 12 (i) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110i においては、2つの酸化物層 21 が設けられる。一方の酸化物層 21 は、非磁性層 16 と第 2 磁性層 18 との間に配置され、他方の酸化物層 21 は、第 2 磁性層 18 と第 2 電極 20 との間に配置される。磁気抵抗効果素子 110h または 110i のように、酸化物層 21 は、複数設けても良い。

【0109】

図 12 (j) に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 110j は、中間非磁性層 29 をさらに含んでいる。酸化物層 21 は、非磁性層 16 と第 2 磁性層 18 との間に設けられている。中間非磁性層 29 は、酸化物層 21 と第 2 磁性層 18 との間に配置される。中間非磁性層 29 の厚さは、例えば 2nm 以下であることが好ましい。これにより、磁性層からの酸化物層 21 へのスピン蓄積がなされ、十分なスピントラッキング効果を発揮できる。

40

【0110】

磁気抵抗効果素子 110a ~ 110j においても、酸化物層 21 に含まれるウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d が 0.253nm 以上 0.275nm 以下である。これにより、大きい MR 変化率が得られる。

【0111】

50

酸化物層 21 の厚さは、0.5 nm 以上 4 nm 以下であることが好ましい。0.5 nm 以上において、例えば、均一な酸化物層 21 が得やすい。4 nm 以下において、例えば、素子抵抗の増大が抑制できる。

【0112】

図 2 を参照しつつ、磁気抵抗効果素子 110 (111) の構成の例について説明する。

第 1 電極 11 及び第 2 電極 20 には、例えば、銅 (Cu) 及び金 (Au) の少なくともいずれかが用いられる。これらの電極として、電気抵抗が比較的小さい材料を用いることで、積層体 10s に効率的に電流を供給することができる。

【0113】

図 2 において図示しないバッファ層は、例えば、第 1 電極 11 の表面の荒れを緩和し、バッファ層上に積層される層の結晶性を改善する。バッファ層としては、例えばタンタル (Ta)、チタン (Ti)、バナジウム (V)、タングステン (W)、ジルコニウム (Zr)、ハフニウム (Hf) 及びクロム (Cr) からなる群より選択された少なくとも 1 つの金属を用いることができる。これらの少なくともいずれかを含む合金も用いることができる。バッファ層の厚さは、1 nm 以上 10 nm 以下が好ましい。1 nm 以上 5 nm 以下がより好ましい。バッファ層の厚さが薄すぎるとバッファ効果が失われる。一方、バッファ層の厚さが厚すぎると MR 変化率に寄与しない直列抵抗が増大する。バッファ層上にシード層が形成され、そのシード層がバッファ効果を有する場合には、バッファ層を必ずしも設ける必要はない。バッファ層には、例えば、1 nm の厚さのタンタル層を用いることができる。

【0114】

図 2 において図示しないシード層は、シード層上に積層される層の結晶配位向及び結晶粒径を制御する。シード層として、fcc 構造 (face-centered cubic structure: 面心立方格子構造)、hcp 構造 (hexagonal close-packed structure: 六方最密格子構造) または bcc 構造 (body-centered cubic structure: 体心立方格子構造) を有する金属等を用いることができる。

【0115】

シード層として、hcp 構造を有するルテニウム (Ru) または fcc 構造を有する NiFe を用いることにより、例えば、その上のスピナル膜の結晶配向を fcc (111) 配向にすることができる。ピニング層 13 が IrMn の場合には良好な fcc (111) 配向が実現される。ピニング層 13 が PtMn の場合には、規則化した fct (111) 構造 (face-centered tetragonal structure: 面心正方構造) が得られる。第 2 磁性層 18 及び第 1 磁性層 14 として fcc 金属を用いたときには、良好な fcc (111) 配向を実現できる。第 2 磁性層 18 及び第 1 磁性層 14 として bcc 金属を用いたときには、良好な bcc (110) 配向を得ることができる。シード層の厚さは、1 nm 以上 5 nm 以下が好ましい。1 nm 以上 3 nm 以下がより好ましい。これにより、結晶配向を向上させるシード層としての機能が十分に発揮できる。シード層には、例えば、2 nm の厚さのルテニウム層を用いることができる。

【0116】

シード層として、NiFe ベースの合金 (例えば、 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{100-x}$ ($x=90\% \sim 50\%$ 、好ましくは $75\% \sim 85\%$)) を用いることができる。シード層として、NiFe に第 3 元素 X を添加して非磁性にした ($\text{Ni}_x\text{Fe}_{100-x}$)_{100-y}X_y (X = Cr、V、Nb、Hf、Zr、Mo) を用いることができる。NiFe ベースのシード層では、良好な結晶配向性を得るのが比較的容易であり、ロッキングカーブの半値幅を 3° 以上 5° 以下にすることができる。

【0117】

シード層には、結晶配向を向上させる機能だけでなく、スピナル膜の結晶粒径を制御する機能も有することができる。具体的には、スピナル膜の結晶粒径を 5 nm 以上 20 nm 以下に制御することができる。これにより、磁気抵抗効果素子のサイズが小さくなくても、特性のばらつきを抑制しつつ MR 変化率を向上できる。

【0118】

シード層の結晶粒径を5 nm以上20 nm以下にすることで、例えば、結晶粒界による電子乱反射及び非弾性散乱サイトが少なくなる。シード層として、厚さが2 nmのルテニウム層を用いると、このサイズの結晶粒径が得られる。シード層として、 $(\text{Ni}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{Z}_y$ (ZはCr、V、Nb、Hf、Zr又はMo)を用いる場合には、第3元素Zの組成yを0%~30%程度として(yが0の場合も含む)、厚さを約2 nmとすると、このサイズの結晶粒径が得易い。

【0119】

スピバルブ膜の結晶粒径は、シード層と非磁性層16との間に配置された層の結晶粒の粒径によって判別できる。例えば、断面TEMなどによって判別できる。例えば、第1磁性層14が、非磁性層16よりも下層に位置するボトム型スピバルブ膜の場合には、シード層の上に形成されるピニング層13(反強磁性層)や、第1磁性層14の結晶粒径によって判別することができる。

10

【0120】

ピニング層13は、例えば、その上に形成される第1磁性層14となる強磁性層に、一方向異方性(unidirectional anisotropy)を付与して磁化を固着する。ピニング層13には、例えば、反強磁性層を用いることができる。ピニング層13には、IrMn、PtMn、PdPtMnまたはRuRhMnなどの反強磁性材料を用いることができる。磁気抵抗効果素子を高記録密度対応のヘッドに用いる場合、IrMnが有利である。IrMnは、PtMnよりも薄い厚さで一方向異方性を加えることができる。このため、IrMnは、高密度記録のための狭ギャップ化に適している。

20

【0121】

十分な強さの一方向異方性を付与するために、ピニング層13の厚さを適切に設定する。ピニング層13の材料がPtMnやPdPtMnの場合には、8 nm以上20 nm以下の厚さが好ましく、10 nm以上15 nm以下の厚さがより好ましい。ピニング層13の材料がIrMnの場合には、PtMnなどよりも薄い厚さでも一方向異方性を付与可能であり、4 nm以上18 nm以下の厚さが好ましく、5 nm以上15 nm以下の厚さがより好ましい。ピニング層13には、例えば、7 nmの厚さの $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ が用いられる。

【0122】

ピニング層13として、ハード磁性層を用いることができる。ハード磁性層として、例えば、CoPt(Co=50%~85%)、 $(\text{Co}_x\text{Pt}_{100-x})_{100-y}\text{Cr}_y$ (x=50%~85%、y=0%~40%)、または、FePt(Pt=40%~60%)などを用いることができる。ハード磁性層(特に、CoPt)の比抵抗は比較的小さいため、ピニング層13としてハード磁性層を用いると、直列抵抗及び面積抵抗RAの増大を抑制できる。

30

【0123】

面積抵抗RAは、磁気抵抗効果素子の積層膜の積層方向に対して垂直な断面積と、磁気抵抗効果素子の積層膜の膜面に垂直に電流を流したときの第1電極11及び第2電極20との間の抵抗と、の積である。

40

【0124】

スピバルブ膜及びピニング層13の結晶配向性は、X線回折により測定できる。スピバルブ膜のfcc(111)ピーク、ピニング層13(PtMn)のfcc(111)ピーク、または、ピニング層13(PtMn)のbcc(110)ピークでのロッギングカーブの半値幅を3.5°以上6°以下とする。これにより、良好な配向性を得ることができる。なお、この配向の分散角は、断面TEMを用いた回折スポットからも判別することができる。

【0125】

第1磁性層14においては、ピニング層13側から、下部ピン層141、磁気結合層142及び上部ピン層143が、この順に積層されている。

50

【0126】

ピニング層13と下部ピン層141とは、一方向異方性(Unidirectional Anisotropy)を持つように、交換磁気結合している。磁気結合層142を挟む下部ピン層141及び上部ピン層143は、磁化の向きが互いに反平行になるように強く結合している。

【0127】

下部ピン層141には、例えば、 $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ 合金($x=0\%\sim 100\%$)、または、 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{100-x}$ 合金($x=0\%\sim 100\%$)、または、これらに非磁性元素を添加したものを用いることができる。下部ピン層141として、 Co 、 Fe もしくは Ni の単元素、または、これらの少なくともいずれかの合金を用いることもできる。下部ピン層141として、 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{By}$ 合金($x=0\%\sim 100\%$ 、 $y=0\%\sim 30\%$)を用いることもできる。 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{By}$ のようなアモルファス合金を用いることで、磁気抵抗効果素子の素子サイズが小さくなった場合にも素子間のバラツキを抑えることができる。

10

【0128】

下部ピン層141の厚さは、 1.5nm 以上 5nm 以下が好ましい。これにより、例えば、ピニング層13による一方向異方性磁界強度、及び、磁気結合層142を介した、下部ピン層141と上部ピン層143との反強磁性結合磁界を強く保つことができる。

【0129】

下部ピン層141が薄すぎると、MR変化率に影響を与える上部ピン層143も薄くするため、MR変化率が小さくなる。一方、下部ピン層141が厚すぎると、デバイス動作に必要な十分な一方向性異方性磁界を得ることが困難になる。

20

【0130】

例えば、下部ピン層141の磁気膜厚(飽和磁化 $B_s \times$ 厚さ t ($B_s \cdot t$ 積))は、上部ピン層143の磁気膜厚と実質的に等しいことが好ましい。

【0131】

例えば、上部ピン層143が $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (3nm)の場合、薄膜での $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ の飽和磁化は約 2.2T であるため、上部ピン層143における磁気膜厚は、 $2.2\text{T} \times 3\text{nm} = 6.6\text{Tnm}$ となる。一方、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ の飽和磁化は約 2.1T なので、上記と等しい磁気膜厚を与える下部ピン層141の厚さ t は、 $6.6\text{Tnm} / 2.1\text{T} = 3.15\text{nm}$ となる。この場合、下部ピン層141には、約 3.2nm 厚さの $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ を用いることが好ましい。

30

【0132】

磁気結合層142は、磁気結合層142を挟む下部ピン層141及び上部ピン層143に反強磁性結合を生じさせてシンセティックピン構造を形成する。磁気結合層142として、例えば、 Ru を用いることができる。磁気結合層142の厚さは、 0.8nm 以上 1nm 以下であることが好ましい。磁気結合層142を挟む下部ピン層141及び上部ピン層143に十分な反強磁性結合を生じさせる材料であれば、磁気結合層142には Ru 以外の材料を用いてもよい。磁気結合層142の厚さは、 RKKY (Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida)結合の 2nd ピークに対応する 0.8nm 以上 1nm 以下の厚さの代わりに、 RKKY 結合の 1st ピークに対応する 0.3nm 以上 0.6nm 以下の厚さを用いることもできる。磁気結合層142には、例えば、厚さが 0.9nm の Ru 層が用いられる。これにより、より高信頼性の結合が安定して得られる。

40

【0133】

上部ピン層143は、MR効果に直接的に寄与する磁性層である。大きなMR変化率を得るために、上部ピン層143の材料及び厚さが適切に設定される。

【0134】

上部ピン層143としては、例えば、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ を用いることができる。 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ は、 bcc 構造を有する磁性材料である。この材料は、スピン依存界面散乱効果が大きいため、大きなMR変化率を実現することができる。 bcc 構造をもつ FeCo 系合金として、 $\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}$ ($x=30\%\sim 100\%$)または $\text{Fe}_x\text{Co}_{100}$

50

$-x$ に、添加元素を加えたものが挙げられる。上部ピン層143としては、例えば、 $\text{Fe}_{40}\text{Co}_{60} \sim \text{Fe}_{80}\text{Co}_{20}$ を用いることができる。

【0135】

上部ピン層143が、MR変化率を大きくし易いbcc構造をもつ磁性層から形成されている場合には、この磁性層の全体の厚さが1.5nm以上であることが好ましい。これにより、bcc構造を安定に保つことができる。スピバルブ膜に用いられる金属材料は、fcc構造またはfct構造であることが多いため、上部ピン層143のみがbcc構造を有することがあり得る。このため、上部ピン層143の厚さが薄すぎると、bcc構造を安定に保つことが困難になり、大きいMR変化率が得られなくなる。

【0136】

上部ピン層143の材料として、例えば、 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{B}_y$ 合金($x=0\% \sim 100\%$ 、 $y=0\% \sim 30\%$)を用いることもできる。 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{B}_y$ のようなアモルファス合金を用いた場合、例えば、磁気抵抗効果素子の素子サイズが小さくなった場合においても結晶粒に起因した素子間のバラツキを抑えることができる。また、このようなアモルファス合金を用いた場合、上部ピン層143を平坦な膜にすることができる。このため、上部ピン層143の上に形成される、例えばトンネル絶縁層を平坦化することができる。トンネル絶縁層の平坦化によりトンネル絶縁層の欠陥密度を減らすことができるため、低い面積抵抗で大きいMR変化率を得ることができる。例えば、トンネル絶縁層の材料としてMgOを用いる場合、 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{B}_y$ のようなアモルファス合金を用いることで、その上に形成されるMgO層の(100)配向性を強めることができる。MgO層の(100)配向性を高くすることで、大きいMR変化率を得ることができる。 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{B}_y$ 合金は、アニール時にMgO(100)面をテンプレートとして結晶化する。このため、MgOと $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-y}\text{B}_y$ 合金と、の良好な結晶整合を得ることができる。良好な結晶整合を得ることで、大きいMR変化率を得ることができる。

【0137】

上部ピン層143が厚いほうが大きなMR変化率を得やすいが、大きなピン固着磁界を得るためには上部ピン層143は薄いほうが好ましく、トレードオフの関係が存在する。上部ピン層143として、例えば、bcc構造をもつFeCo合金層を用いたときには、上部ピン層143の厚さは1.5nm以上であることが好ましい。これにより、bcc構造が安定になる。上部ピン層143として、fcc構造のCoFe合金層を用いるときにも1.5nm以上の厚さが好ましく、これにより大きいMR変化率が得られる。一方、大きなピン固着磁界を得るためには、上部ピン層143の厚さは、5nm以下であることが好ましく、4nm以下であることがより好ましい。上部ピン層143の厚さは、1.5nm以上5nm以下が好ましく、2.0nm以上4nm以下がより好ましい。

【0138】

上部ピン層143には、fcc構造を有する $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 合金、または、hcp構造をもつCo、または、Co合金を用いることができる。上部ピン層143として、Co、FeもしくはNiなどの金属、または、これらの少なくともいずれかを含む合金を用いることができる。上部ピン層143として、bcc構造をもつFeCo合金材料、50%以上のコバルト組成をもつCo合金、または、50%以上のNi組成の材料を用いることで、例えば、大きなMR変化率を得ることができる。

【0139】

上部ピン層143として、 Co_2MnGe 、 Co_2FeGe 、 Co_2MnSi 、 Co_2FeSi 、 Co_2MnAl 、 Co_2FeAl 、 $\text{Co}_2\text{MnGa}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 、 $\text{Co}_2\text{FeGa}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ などのホイスラー磁性合金層を用いることもできる。

【0140】

非磁性層16は、第1磁性層14と第2磁性層18との磁気的な結合を分断する。非磁性層16として、例えば、銅(Cu)、銀(Ag)及び金(Au)から選択される少なくとも1つの元素を含む非磁性金属層が用いられる。非磁性層16として、例えば、CCP

10

20

30

40

50

スペーサ層、または、トンネル絶縁スペーサ層が用いられる。CCPスペーサ層を用いる場合は、例えば、酸化アルミニウム (Al_2O_3) 絶縁層中に銅 (Cu) メタルパスが形成された構造を用いることができる。トンネル絶縁層を用いる場合は、トンネル絶縁層として、例えば、酸化マグネシウム (MgO)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化チタン (TiO_2)、及び、酸化亜鉛 (ZnO) の少なくともいずれかを用いることができる。

【0141】

第2磁性層18は、例えば、磁化方向が外部磁界によって変化する強磁性体を有する層である。第2磁性層18として、例えば、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (1nm) / $\text{Ni}_{83}\text{Fe}_{17}$ (3.5nm) の2層構成を用いることができる。第2磁性層18として、 NiFe 層を用いない、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (4nm) の単層を用いることができる。第2磁性層18として、 CoFe / NiFe / CoFe などの2層構成を用いることができる。

10

【0142】

第2磁性層18には、例えば、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ を用いることが好ましい。 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ は、 CoFe 合金のなかでも軟磁気特性が安定である。第2磁性層18として、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ の組成に近い CoFe 合金を用いる場合には、厚さを0.5nm以上4nm以下とすることが好ましい。第2磁性層18には、 $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ ($x=70\% \sim 90\%$) を用いることができる。

【0143】

第2磁性層18として、1nm以上2nm以下の、 CoFe 層または Fe 層と、0.1nm以上0.8nm以下の極薄 Cu 層と、を複数交互に積層したものをを用いることができる。

20

【0144】

第2磁性層18の一部として、 CoZrNb などのアモルファス磁性層を用いることができる。ただし、アモルファス磁性層を用いる場合でも、第2磁性層18のなかで、MR変化率に大きな影響を与える非磁性層16と接する部分には、結晶構造を有する磁性層を用いる。

【0145】

第2磁性層18には、例えば、1つの結晶層を用いることができる。第2磁性層18には、例えば、非磁性層16の上に形成された結晶層 / アモルファス層の積層構成を用いることができる。第2磁性層18には、例えば、非磁性層16の上に形成された結晶層 / アモルファス層 / 結晶層の積層構成を用いることができる。これらのいずれの構成においても、第2磁性層18のうちで非磁性層16との界面には結晶層が設けられる。

30

【0146】

第2磁性層18として、例えば、 Co_2MnGe 、 Co_2FeGe 、 Co_2MnSi 、 Co_2FeSi 、 Co_2MnAl 、 Co_2FeAl 、 $\text{Co}_2\text{MnGa}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 、または、 $\text{Co}_2\text{FeGa}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ などのホイスラー磁性合金層を用いることもできる。

【0147】

キャップ層19は、スピンバルブ膜を保護する。キャップ層19には、例えば、複数の金属層が用いられる。キャップ層19には、例えば、 Cu 層と Ru 層の2層構造 (Cu (1nm) / Ru (10nm)) を用いることができる。キャップ層19として、 Ru を第2磁性層18側に配置した Ru / Cu 層なども用いることができる。この場合、 Ru の厚さは、0.5nm以上2nm以下が好ましい。この構成のキャップ層19は、第2磁性層18として NiFe を用いた場合に用いられる。 Ru は、 Ni と非固溶な関係にあるので、第2磁性層18とキャップ層19との間に形成される界面ミキシング層の磁歪を低減できる。

40

【0148】

キャップ層19が、 Cu / Ru 及び Ru / Cu のいずれの場合も、 Cu 層の厚さは、0.5nm以上10nm以下が好ましく、 Ru 層の厚さは、0.5nm以上5nm以下とす

50

ることができる。Ruは、比抵抗が高いため、あまり厚いRu層を用いることは好ましくない。このような厚さの範囲を用いることが好ましい。

【0149】

キャップ層19として、Cu層やRu層の代わりに他の金属層を設けてもよい。キャップ層19の構成は任意である。スピナル膜を保護可能なものであれば、キャップ層19として、他の材料を用いてもよい。キャップ層19の材料によってMR変化率や長期信頼性が変わる場合がある。これらの観点において、キャップ層19として、CuやRuを用いることが好ましい。

【0150】

図13は、第1の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

10

図13に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子114においては、酸化物層21は、第1磁性層14と非磁性層16との間に設けられている。これ以外は、磁気抵抗効果素子111と同様なので説明を省略する。

【0151】

磁気抵抗効果素子114は、例えば、以下の構成を有する。

下地層12：Ta (1 nm) / Ru (2 nm)

ピニング層13：Ir₂₂Mn₇₈ (7 nm)

第1磁性層14：Co₇₅Fe₂₅ (4.4 nm) / Ru (0.9 nm) / Fe₅₀Co₅₀ (4 nm)

20

酸化物層21：Zn-Fe-O (1.5 nm)

非磁性層16：Cu (1.5 nm)

第2磁性層18：Fe₅₀Co₅₀ (4 nm)

キャップ層19：Cu (1 nm) / Ta (2 nm) / Ru (5 nm)

上記において、第1磁性層14の上部ピン層143 (Fe₅₀Co₅₀)の厚さ、及び、第2磁性層18 (Fe₅₀Co₅₀)の厚さt_mを4 nmとしたときにおいて、酸化物層21の形成条件を変えた試料を作製した。酸化物層21の形成においては、非磁性層16の上に、1 nmの厚さのFe層をスパッタにより形成し、0.24 nmの厚さのZn層をスパッタにより形成し、その後、IAOを行い、その後Arプラズマ処理を行った。IAOにおけるビーム電流I_bは、60 mAで一定とし、加速電圧V_bを60 V～120 Vで変えた。Arプラズマ処理におけるプラズマ電力P_wを20 W～100 Wで変えた。これらの試料に関して、酸化物層21のウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔d、MR変化率、及び、面積抵抗RAを評価した。評価結果を表4に示す。

30

【表 4】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C4-1	60	20	0.25	8	0.2
C4-2	60	30	0.252	9.8	0.2
E4-1	60	40	0.253	16	0.21
E4-2	60	50	0.257	17	0.2
E4-3	60	60	0.260	17.2	0.21
E4-4	60	70	0.265	17.1	0.2
E4-5	60	80	0.270	17	0.18
E4-6	60	100	0.275	16.8	0.17
E4-7	70	20	0.253	17.2	0.21
E4-8	80	20	0.256	17	0.2
E4-9	90	20	0.260	17.1	0.22
E4-10	100	20	0.265	17.5	0.21
E4-11	110	20	0.270	17.2	0.18
E4-12	120	20	0.275	17	0.18

【0152】

表 4 から分かるように、試料 E 4 - 1 ~ 試料 E 4 - 1 2 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0. 2 5 3 nm 以上 0. 2 7 5 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 4 - 1 ~ 試料 E 4 - 1 2 の面積抵抗 RA は、約 0. 2 であり、試料 C 4 - 1 及び C 4 - 2 の値と実質的に同じである。

【0153】

図 1 4 は、第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図 1 4 に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 1 1 5 においては、非磁性層 1 6 として、下部金属層 1 5 と、上部金属層 1 7 と、が設けられる。下部金属層 1 5 は、第 1 磁性層 1 4 と第 2 磁性層 1 8 との間に配置される。上部金属層 1 7 は、下部金属層 1 5 と第 2 磁性層 1 8 と間に配置される。酸化物層 2 1 は、下部金属層 1 5 と上部金属層 1 7 との間に配置される。非磁性層 1 6 は、下部金属層 1 5 と上部金属層 1 7 とを含むと見なすことができる。または、例えば、下部金属層 1 5 及び上部金属層 1 7 の一方を図 1 に例示した非磁性層 1 6 と見なし、下部金属層 1 5 及び上部金属層 1 7 の他方を、別の非磁性層と見なししても良い。これ以外は、磁気抵抗効果素子 1 1 1 と同様なので説明を省略する。

【0154】

磁気抵抗効果素子 1 1 5 は、例えば、以下の構成を有する。

下地層 1 2 : Ta (1 nm) / Ru (2 nm)

ピニング層 1 3 : Ir₂₂Mn₇₈ (7 nm)

第 1 磁性層 1 4 : Co₇₅Fe₂₅ (4. 4 nm) / Ru (0. 9 nm) / Fe₅₀Co₅₀ (4 nm)

下部金属層 1 5 : Cu (0. 5 nm)

酸化物層 2 1 : Zn-Fe-O (1. 5 nm)

上部金属層 17 : Cu (0.5 nm)

第 2 磁性層 18 : Fe₅₀Co₅₀ (4 nm)

キャップ層 19 : Cu (1 nm) / Ta (2 nm) / Ru (5 nm)

上記において、第 1 磁性層 14 の上部ピン層 143 (Fe₅₀Co₅₀) の厚さ、及び、第 2 磁性層 18 (Fe₅₀Co₅₀) の厚さ t_m を 4 nm としたときにおいて、酸化物層 21 の形成条件を変えた試料を作製した。酸化物層 21 の形成においては、下部金属層 15 の上に、1 nm の厚さの Fe 層をスパッタにより形成し、0.24 nm の厚さの Zn 層をスパッタにより形成し、その後、IAO を行い、その後 Ar プラズマ処理を行った。IAO におけるビーム電流 I_b は、60 mA で一定とし、加速電圧 V_b を 60 V ~ 120 V で変えた。Ar プラズマ処理におけるプラズマ電力 P_w を 20 W ~ 100 W で変えた。これらの試料に関して、酸化物層 21 のウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d 、MR 変化率、及び、面積抵抗 RA を評価した。評価結果を表 5 に示す。

【表 5】

	V_b (V)	P_w (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu m^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C5-1	60	20	0.25	10	0.2
C5-2	60	30	0.252	10.5	0.24
E5-1	60	40	0.253	18	0.21
E5-2	60	50	0.257	18.2	0.22
E5-3	60	60	0.260	18.3	0.21
E5-4	60	70	0.265	18.4	0.2
E5-5	60	80	0.270	18	0.18
E5-6	60	100	0.275	17.5	0.17
E5-7	70	20	0.253	17.9	0.23
E5-8	80	20	0.256	18.3	0.22
E5-9	90	20	0.260	18.3	0.21
E5-10	100	20	0.265	18.5	0.21
E5-11	110	20	0.270	18	0.18
E5-12	120	20	0.275	17.6	0.18

【0155】

表 5 から分かるように、試料 5-1 ~ 試料 5-12 において、ウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d は、0.253 nm 以上 0.275 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 5-1 ~ 試料 5-12 の面積抵抗 RA は、約 0.2 であり、試料 C5-1 及び C5-2 の値と実質的に同じである。

【0156】

図 15 は、第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的断面図である。

図 15 に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 116a は、第 1 電極 11 と、第 2 電極 20 と、第 1 磁性層 14 と、第 2 磁性層 18 と、酸化物層 21 と、を含む。

第 1 磁性層 14 は、第 1 電極 11 と第 2 電極 20 との間に設けられ、第 2 磁性層 18 は、第 1 磁性層 14 と第 2 電極 20 との間に設けられる。酸化物層 21 は、第 1 磁性層 14 と第 2 磁性層 18 との間に設けられる。

【0157】

すなわち、磁気抵抗効果素子116aにおいては、上記の磁気抵抗効果素子110において、非磁性層16の代わりに、酸化物層21が用いられる。この場合も酸化物層21には、金属酸化物が用いられる。酸化物層21は、鉄を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒21sを含む。ウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔dは、0.253nm以上0.275nm以下である。磁気抵抗効果素子116aにおいても、MR変化率が大きい磁気抵抗効果素子が提供できる。

【0158】

図16は、第1の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図16に表したように、磁気抵抗効果素子116は、磁気抵抗効果素子116aと同様の構成を有する。磁気抵抗効果素子116は、例えば、以下の構成を有する。

下地層12: Ta (1nm) / Ru (2nm)

ピニング層13: Ir₂₂Mn₇₈ (7nm)

第1磁性層14: Co₇₅Fe₂₅ (4.4nm) / Ru (0.9nm) / Fe₅₀Co₅₀ (4nm)

酸化物層21: Zn-Fe-O (1.5nm)

第2磁性層18: Fe₅₀Co₅₀ (4nm)

キャップ層19: Cu (1nm) / Ta (2nm) / Ru (5nm)

上記において、第1磁性層14の上部ピン層143 (Fe₅₀Co₅₀)の厚さ、及び、第2磁性層18 (Fe₅₀Co₅₀)の厚さtmを4nmとしたときにおいて、酸化物層21の形成条件を変えた試料を作製した。酸化物層21の形成においては、第1磁性層14の上に、1nmの厚さのFe層をスパッタにより形成し、0.24nmの厚さのZn層をスパッタにより形成し、その後、IAOを行い、その後Arプラズマ処理を行った。IAOにおけるビーム電流Ibは、60mAで一定とし、加速電圧Vbを60V~120Vで変えた。Arプラズマ処理におけるプラズマ電力Pwを20W~100Wで変えた。これらの試料に関して、酸化物層21のウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔d、MR変化率、及び、面積抵抗RAを評価した。評価結果を表6に示す。

10

20

【表 6】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C6-1	60	20	0.25	7	0.2
C6-2	60	30	0.252	8	0.24
E6-1	60	40	0.253	16.5	0.21
E6-2	60	50	0.258	16.7	0.22
E6-3	60	60	0.260	17	0.21
E6-4	60	70	0.265	16.8	0.2
E6-5	60	80	0.270	17	0.18
E6-6	60	100	0.275	17.2	0.17
E6-7	70	20	0.253	16.2	0.23
E6-8	80	20	0.256	16.3	0.22
E6-9	90	20	0.260	16.7	0.22
E6-10	100	20	0.265	16.7	0.21
E6-11	110	20	0.270	16.5	0.18
E6-12	120	20	0.275	16.2	0.17

【0159】

表 6 から分かるように、試料 E 6-1 ～試料 E 6-12 において、ウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d は、0.253 nm 以上 0.275 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 6-1 ～試料 E 6-12 の面積抵抗 RA は、約 0.2 であり、試料 C 6-1 及び C 6-2 の値と実質的に同じである。

【0160】

図 17 は、第 1 の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図 17 に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子 117 においては、酸化物層 21 は、非磁性層 16 と第 2 磁性層 18 との間に設けられる。非磁性層 16 は、絶縁部材 16i と、導電部材 16c と、を含む。絶縁部材 16i には、貫通孔 16h が設けられている。導電部材 16c は、貫通孔 16h 内に埋め込まれている。第 1 磁性層 14 と非磁性層 16 との間に、下部金属層 15 が設けられている。第 2 磁性層 18 と非磁性層 16 との間に、上部金属層 17 が設けられている。上部金属層 17 と第 2 磁性層 18 との間に酸化物層 21 が設けられている。これ以外は、磁気抵抗効果素子 111 と同様なので説明を省略する。

【0161】

非磁性層 16 は、例えば、CCP (Current-confined-path) - NOL (nano-oxide layer) の構成を有する。CCP - NOL においては、例えば、CPP - GMR 素子に含まれるスペーサ層として、厚み方向への電流パスを含む酸化物層 (NOL) を用いる。この素子においては、電流狭窄 (CCP: Current-confined-path) 効果により MR 変化率を増大する。このような素子は、例えば、CCP - CPP 素子と呼ばれる。

【0162】

磁気抵抗効果素子 117 は、例えば、以下の構成を有する。

下地層 12: Ta (1 nm) / Ru (2 nm)

ピン層 13 : $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ (7 nm)
 第1磁性層 14 : $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (4.4 nm) / Ru (0.9 nm) / $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (4 nm)
 下部金属層 15 : Cu (0.25 nm)
 非磁性層 16 : Al_2O_3 絶縁層中にCuメタルパスを形成した電流狭窄層 (1.5 nm)

上部金属層 17 : Cu (0.25 nm)

酸化物層 21 : Zn-Fe-O (1.5 nm)

第2磁性層 18 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (4 nm)

キャップ層 19 : Cu (1 nm) / Ta (2 nm) / Ru (5 nm)

上記において、第1磁性層 14 の上部ピン層 143 ($\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$) の厚さ、及び、第2磁性層 18 ($\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$) の厚さ t_m を 4 nm としたときにおいて、酸化物層 21 の形成条件を変えた試料を作製した。酸化物層 21 の形成においては、上部金属層 17 の上に、1 nm の厚さの Fe 層をスパッタにより形成し、0.24 nm の厚さの Zn 層をスパッタにより形成し、その後、IAOを行い、その後Arプラズマ処理を行った。IAOにおけるビーム電流 I_b は、60 mA で一定とし、加速電圧 V_b を 60 V ~ 120 V で変えた。Arプラズマ処理におけるプラズマ電力 P_w を 20 W ~ 100 W で変えた。これらの試料に関して、酸化物層 21 のウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d 、MR 変化率、及び、面積抵抗 RA を評価した。評価結果を表 7 に示す。

【表 7】

	V_b (V)	P_w (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.39
C7-1	60	20	0.25	15.5	0.38
C7-2	60	30	0.252	15.4	0.4
E7-1	60	40	0.253	24.5	0.37
E7-2	60	50	0.258	25	0.36
E7-3	60	60	0.260	25.5	0.36
E7-4	60	70	0.265	25	0.34
E7-5	60	80	0.270	25	0.33
E7-6	60	100	0.275	24.5	0.37
E7-7	70	20	0.253	25	0.37
E7-8	80	20	0.256	25	0.36
E7-9	90	20	0.260	25.2	0.34
E7-10	100	20	0.265	25.5	0.34
E7-11	110	20	0.270	25	0.33
E7-12	120	20	0.275	24.4	0.33

【0163】

表 7 から分かるように、試料 E7-1 ~ 試料 E7-12 において、ウスタイト結晶粒 21s の (111) 面の面間隔 d は、0.253 nm 以上 0.275 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E7-1 ~ 試料 E7-12 の面積抵抗 RA は、約 0.33 ~ 0.4 であり、試料 C7-1 及び C7-2 の値と実質的に同じである。

【0164】

以下、図 2 に例示した磁気抵抗効果素子 1 1 1 の構成において、酸化物層 2 1 の形成条件を変えた試料について説明する。以下の試料において、第 1 磁性層 1 4 の上部ピン層 1 4 3 ($\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$) の厚さ、及び、第 2 磁性層 1 8 ($\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$) の厚さ t_m は 4 nm である。そして、酸化物層 2 1 となる層を形成した後に、IAO を行い、その後 Ar プラズマ処理を行った。IAO におけるビーム電流 I_b は、60 mA で一定とし、加速電圧 V_b を 60 V ~ 120 V で変えた。Ar プラズマ処理におけるプラズマ電力 P_w を 20 W ~ 100 W で変えた。

【0165】

表 8 に示した試料においては、酸化物層 2 1 の形成において、非磁性層 1 6 上に、1.2 nm の厚さの Fe 層をスパッタにより形成した。この例では、酸化物層 2 1 として、Fe-O 層が用いられる。

【表 8】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C8-1	60	20	0.25	8	0.2
C8-2	60	30	0.252	8.2	0.23
E8-1	60	40	0.253	14.5	0.22
E8-2	60	50	0.257	14.6	0.22
E8-3	60	60	0.260	15	0.21
E8-4	60	70	0.265	15	0.19
E8-5	60	80	0.270	15.1	0.19
E8-6	60	100	0.275	15	0.18
E8-7	70	20	0.253	14.2	0.24
E8-8	80	20	0.256	14.5	0.22
E8-9	90	20	0.260	14.8	0.22
E8-10	100	20	0.265	15	0.19
E8-11	110	20	0.270	15	0.18
E8-12	120	20	0.275	15.1	0.18

【0166】

表 8 から分かるように、試料 E 8 - 1 ~ 試料 E 8 - 12 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (111) 面の面間隔 d は、0.253 nm 以上 0.275 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 8 - 1 ~ 試料 E 8 - 12 の面積抵抗 RA は、約 0.2 であり、試料 C 8 - 1 及び C 8 - 2 の値と実質的に同じである。

【0167】

表 9 に示した試料においては、酸化物層 2 1 の形成において、非磁性層 1 6 上に、1 nm の厚さの $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層をスパッタにより形成し、さらに、0.25 nm の厚さの Zn 層を形成した。

【表 9】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C9-1	60	20	0.25	12.5	0.21
C9-2	60	30	0.252	13	0.22
E9-1	60	40	0.253	21	0.21
E9-2	60	50	0.257	22.2	0.2
E9-3	60	60	0.260	22.8	0.23
E9-4	60	70	0.265	23	0.2
E9-5	60	80	0.270	23	0.21
E9-6	60	100	0.275	23	0.19
E9-7	70	20	0.253	22	0.21
E9-8	80	20	0.256	22.2	0.2
E9-9	90	20	0.260	23	0.22
E9-10	100	20	0.265	23.2	0.19
E9-11	110	20	0.270	23.2	0.19
E9-12	120	20	0.275	23	0.18

10

20

【0168】

表 9 から分かるように、試料 E 9-1 ～試料 E 9-12 において、ウスタイト結晶粒 21 s の (111) 面の面間隔 d は、0.253 nm 以上 0.275 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 9-1 ～試料 E 9-12 の面積抵抗 RA は、約 0.2 であり、試料 C 9-1 及び C 9-2 の値と実質的に同じである。

【0169】

30

表 10 に示した試料においては、酸化物層 21 の形成において、非磁性層 16 上に、1.2 nm の厚さの $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層をスパッタにより形成した。

【表 10】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C10-1	60	20	0.25	7.5	0.21
C10-2	60	30	0.252	8	0.22
E10-1	60	40	0.253	15	0.21
E10-2	60	50	0.257	15.2	0.2
E10-3	60	60	0.260	15.3	0.23
E10-4	60	70	0.265	15	0.2
E10-5	60	80	0.270	15	0.21
E10-6	60	100	0.275	14.9	0.19
E10-7	70	20	0.253	14.8	0.21
E10-8	80	20	0.256	15.2	0.2
E10-9	90	20	0.260	15.2	0.22
E10-10	100	20	0.265	15.5	0.19
E10-11	110	20	0.270	15.5	0.19
E10-12	120	20	0.275	15	0.18

【0170】

表10から分かるように、試料E10-1～試料E10-12において、ウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔dは、0.253nm以上0.275nm以下である。これらの試料において、大きなMR変化率が得られる。試料E10-1～試料E10-12の面積抵抗RAは、約0.2であり、試料C10-1及びC10-2の値と実質的に同じである。

【0171】

表11に示した試料においては、酸化物層21の形成において、非磁性層16上に、1.2nmの厚さのFe₈₀Ni₂₀層をスパッタにより形成した。

【表 1 1】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C11-1	60	20	0.25	7.5	0.21
C11-2	60	30	0.252	8	0.22
E11-1	60	40	0.253	15	0.21
E11-2	60	50	0.257	15.2	0.2
E11-3	60	60	0.260	15.3	0.23
E11-4	60	70	0.265	15	0.2
E11-5	60	80	0.270	15	0.21
E11-6	60	100	0.275	14.9	0.19
E11-7	70	20	0.253	14.8	0.21
E11-8	80	20	0.256	15.2	0.2
E11-9	90	20	0.260	15.2	0.22
E11-10	100	20	0.265	15.5	0.19
E11-11	110	20	0.270	15.5	0.19
E11-12	120	20	0.275	15	0.18

【0 1 7 2】

表 1 1 から分かるように、試料 E 1 1 - 1 ~ 試料 E 1 1 - 1 2 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 1 1 - 1 ~ 試料 E 1 1 - 1 2 の面積抵抗 RA は、約 0 . 2 であり、試料 C 1 1 - 1 及び C 1 1 - 2 の値と実質的に同じである。

【0 1 7 3】

このように、酸化物層 2 1 の被酸化母材料として、F e に加え、ニッケル (N i) をさらに含ませた場合においても、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 配向面の面間隔を 0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下とすることで、高い MR 変化率を得ることができる。ここで、ニッケルの添加元素の添加量は、被酸化母材の F e を含む金属合金において、0 . 5 a t . % 以上 7 0 a t . % 以下とすることができる。被酸化母材の添加元素の添加量が多すぎる場合、相対的に F e の含有量が少なくなるため、良好なウスタイト構造を得る観点では 0 . 5 a t . % 以上 5 0 a t . % 以下とすることがさらに好ましい。

【0 1 7 4】

また、酸化物層 2 1 の被酸化母材料として、F e に加え、コバルト (C o) をさらに含ませた場合においても、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 配向面の面間隔を 0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下とすることで、高い MR 変化率を得ることができる。ここで、コバルトの添加元素の添加量は、被酸化母材の F e を含む金属合金において、0 . 5 a t . % 以上 7 0 a t . % 以下とすることができる。被酸化母材の添加元素の添加量が多すぎる場合、相対的に F e の含有量が少なくなるため、良好なウスタイト構造を得る観点では 0 . 5 a t . % 以上 5 0 a t . % 以下とすることがさらに好ましい。

【0 1 7 5】

表 1 2 に示した試料においては、酸化物層 2 1 の形成において、非磁性層 1 6 上に、1 nm の厚さの F e 層を形成し、その上に、0 . 2 4 nm の S n 層をスパッタにより形成し

た。

【表 1 2】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C12-1	60	20	0.25	11.5	0.21
C12-2	60	30	0.252	12.2	0.24
E12-1	60	40	0.253	17.5	0.21
E12-2	60	50	0.257	17.8	0.22
E12-3	60	60	0.260	18	0.21
E12-4	60	70	0.265	18.2	0.2
E12-5	60	80	0.270	18.1	0.18
E12-6	60	100	0.275	16	0.17
E12-7	70	20	0.253	16.2	0.23
E12-8	80	20	0.256	17	0.22
E12-9	90	20	0.260	17.2	0.21
E12-10	100	20	0.265	17.5	0.21
E12-11	110	20	0.270	17.2	0.18
E12-12	120	20	0.275	17	0.18

【0 1 7 6】

表 1 2 から分かるように、試料 E 1 2 - 1 ~ 試料 E 1 2 - 1 2 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 1 2 - 1 ~ 試料 E 1 2 - 1 2 の面積抵抗 RA は、約 0 . 2 であり、試料 C 1 2 - 1 及び C 1 2 - 2 の値と実質的に同じである。

【0 1 7 7】

このように、酸化物層 2 1 の被酸化母材料として、Fe に加え、スズ (Sn) をさらに含ませた場合においても、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 配向面の面間隔を 0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下とすることで、高い MR 変化率を得ることができる。ここで、スズの添加元素の添加量は、被酸化母材の Fe を含む金属合金において、0 . 5 at . % 以上 7 0 at . % 以下とすることができる。被酸化母材の添加元素の添加量が多すぎる場合、相対的に Fe の含有量が少なくなるため、良好なウスタイト構造を得る観点では 0 . 5 at . % 以上 5 0 at . % 以下とすることがさらに好ましい。

【0 1 7 8】

表 1 3 に示した試料においては、酸化物層 2 1 の形成において、非磁性層 1 6 上に、1 nm の厚さの Fe 層を形成し、その上に、0 . 2 4 nm の In 層をスパッタにより形成した。

【表 1 3】

	Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega\mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	1.5	0.05
C13-1	60	20	0.25	11	0.23
C13-2	60	30	0.252	11.5	0.22
E13-1	60	40	0.253	16.2	0.21
E13-2	60	50	0.258	16.5	0.22
E13-3	60	60	0.260	17	0.21
E13-4	60	70	0.265	17	0.2
E13-5	60	80	0.270	17.5	0.18
E13-6	60	100	0.275	17.3	0.17
E13-7	70	20	0.253	16	0.23
E13-8	80	20	0.256	16.8	0.22
E13-9	90	20	0.260	17	0.22
E13-10	100	20	0.265	16.8	0.21
E13-11	110	20	0.270	16.5	0.18
E13-12	120	20	0.275	16.5	0.17

【0179】

表 1 3 から分かるように、試料 E 1 3 - 1 ~ 試料 E 1 3 - 1 2 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下である。これらの試料において、大きな MR 変化率が得られる。試料 E 1 3 - 1 ~ 試料 E 1 3 - 1 2 の面積抵抗 RA は、約 0 . 2 であり、試料 C 1 3 - 1 及び C 1 3 - 2 の値と実質的に同じである。

【0180】

このように、酸化物層 2 1 の被酸化母材料として、Fe に加え、インジウム (In) をさらに含ませた場合においても、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 配向面の面間隔を 0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下とすることで、高い MR 変化率を得ることができる。ここで、インジウムの添加元素の添加量は、被酸化母材の Fe を含む金属合金において、0 . 5 at . % 以上 7 0 at . % 以下とすることができる。被酸化母材の添加元素の添加量が多すぎる場合、相対的に Fe の含有量が少なくなるため、良好なウスタイト構造を得る観点では 0 . 5 at . % 以上 5 0 at . % 以下とすることがさらに好ましい。

【0181】

表 1 4 に示した試料においては、酸化物層 2 1 の形成において、非磁性層 1 6 上に、Fe₉₀Cd₁₀ 層、または、Fe₉₀Cu₁₀ 層、または、Fe₉₀Ti₁₀ 層、または、Fe₉₀V₁₀ 層、または、Fe₉₀Cr₁₀ 層、または、Fe₉₀Mn₁₀ 層、または、Fe₉₀Al₁₀ 層、または、Fe₉₀Si₁₀ 層、または、Fe₉₀Mg₁₀ 層、または、Fe₉₀Pt₁₀ 層、または、Fe₉₀Pd₁₀ 層、または、Fe₉₀Ag₁₀ 層、または、Fe₉₀Zr₁₀ 層、または、Fe₉₀Hf₁₀ 層、または、Fe₉₀Ta₁₀ 層を形成した。これらの層の厚さは、1 . 2 nm である。この実験では、IAO におけるビーム電流 I b は 6 0 mA で一定とし、加速電圧 V b も 6 0 V で一定とした。プラズマ電力 P w を 2 0 W と 4 0 W とで変えた。

【表 1 4】

		Vb (V)	Pw (W)	d (nm)	MR (%)	RA ($\Omega \mu\text{m}^2$)
C1-1	—	—	—	—	1.5	0.05
C14-1	Fe0.9Cd0.1 1.2nm	60	20	0.25	9	0.23
E14-1	Fe0.9Cd0.1 1.2nm	60	40	0.253	16	0.22
C14-2	Fe0.9Cu0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.8	0.23
E14-2	Fe0.9Cu0.1 1.2nm	60	40	0.253	15	0.21
C14-3	Fe0.9Ti0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.5	0.22
E14-3	Fe0.9Ti0.1 1.2nm	60	40	0.253	15.5	0.2
C14-4	Fe0.9V0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.2	0.23
E14-4	Fe0.9V0.1 1.2nm	60	40	0.253	14.5	0.21
C14-5	Fe0.9Cr0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.3	0.22
E14-5	Fe0.9Cr0.1 1.2nm	60	40	0.253	14.8	0.22
C14-6	Fe0.9Mn0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.3	0.22
E14-6	Fe0.9Mn0.1 1.2nm	60	40	0.253	14.9	0.21
C14-7	Fe0.9Al0.1 1.2nm	60	20	0.25	9	0.22
E14-7	Fe0.9Al0.1 1.2nm	60	40	0.253	15	0.21
C14-8	Fe0.9Si0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.8	0.24
E14-8	Fe0.9Si0.1 1.2nm	60	40	0.253	14.2	0.22
C14-9	Fe0.9Mg0.1 1.2nm	60	20	0.25	9	0.25
E14-9	Fe0.9Mg0.1 1.2nm	60	40	0.253	14.8	0.21
C14-10	Fe0.9Ga0.1 1.2nm	60	20	0.25	9.4	0.21
E14-10	Fe0.9Ga0.1 1.2nm	60	40	0.253	16.5	0.21
C14-11	Fe0.9Ge0.1 1.2nm	60	20	0.25	9.3	0.22
E14-11	Fe0.9Ge0.1 1.2nm	60	40	0.253	15	0.21
C14-12	Fe0.9Pt0.1 1.2nm	60	20	0.25	9.2	0.23
E14-12	Fe0.9Pt0.1 1.2nm	60	40	0.253	14.5	0.21
C14-13	Fe0.9Pd0.1 1.2nm	60	20	0.25	9	0.22
E14-13	Fe0.9Pd0.1 1.2nm	60	40	0.253	15.4	0.21
C14-14	Fe0.9Ag0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.8	0.23
E14-14	Fe0.9Ag0.1 1.2nm	60	40	0.253	15	0.21
C14-15	Fe0.9Zr0.1 1.2nm	60	20	0.25	9.4	0.22
E14-15	Fe0.9Zr0.1 1.2nm	60	40	0.253	15.2	0.2
C14-16	Fe0.9Hf0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.8	0.21
E14-16	Fe0.9Hf0.1 1.2nm	60	40	0.253	15	0.2
C14-17	Fe0.9Ta0.1 1.2nm	60	20	0.25	8.2	0.21
E14-17	Fe0.9Ta0.1 1.2nm	60	40	0.253	10.2	0.2

【0182】

表 1 4 から分かるように、試料 E 1 4 - 1 ~ 試料 E 1 4 - 1 5 において、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔 d は、0 . 2 5 3 n m 以上 0 . 2 7 5 n m 以下である。これらの試料において、大きな M R 変化率が得られる。試料 E 1 4 - 1 ~ 試料 E 1 4 - 1 7 の面積抵抗 R A は、約 0 . 2 であり、試料 C 1 4 - 1 ~ 試料 C 1 4 - 1 7 の値と実質的に同じである。

【0183】

このように、酸化物層 2 1 の被酸化母材料として、F e に加え、銅、チタン、バナジウ

10

20

30

40

50

ム、クロム、マンガン、アルミニウム、シリコン、マグネシウム、ガリウム、ゲルマニウム、白金、パラジウム、銀、ジルコニウム、ハフニウム及びタンタルの少なくともいずれかをさらに含ませた場合においても、ウスタイト結晶粒21sの(111)配向面の面間隔を0.253nm以上とすることで、高いMR変化率を得ることができる。また、上述した添加元素を加えることで高い耐熱性を有する酸化物21を形成することができる。ここで、銅、チタン、バナジウム、クロム、マンガン、アルミニウム、シリコン、マグネシウム、ガリウム、ゲルマニウム、白金、パラジウム、銀、ジルコニウム、ハフニウム及びタンタルの添加元素の添加量は、被酸化母材のFeを含む金属合金において、0.5at.%以上50at.%以下とすることができる。被酸化母材の添加元素の添加量が多すぎる場合、相対的にFeの含有量が少なくなるため、良好なウスタイト構造を得る観点で好ましくない。

10

【0184】

図18は、第1の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図18に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子118においては、第2電極20の上に、下地層12、第2磁性層18、非磁性層16、第1磁性層14及びピニング層13及びキャップ層19がこの順で設けられる。酸化物層21は、非磁性層16と第2磁性層18との間に設けられる。これ以外は、磁気抵抗効果素子111と同様なので説明を省略する。

【0185】

20

磁気抵抗効果素子118は、例えば、トップスピンバルブ型の構造の磁気抵抗効果素子である。このようなトップスピンバルブ構造を用いた場合でも、酸化物層21を設けることにより、高いスピン依存界面散乱を発現し、MR変化率を大きく向上することができる。これにより、高集積化が可能な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【0186】

図19は、第1の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図19に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子119においては、第1磁性層14の磁化方向及び第2磁性層18の磁化方向が可変である。この例では、非磁性層16と第2磁性層18との間に酸化物層21が配置されている。

30

【0187】

磁気抵抗効果素子119においては、ピン層が設けられず、2つのフリー層が設けられる。磁気抵抗効果素子119においては、例えば、磁気記録媒体からの磁界が加わっていない状態において、第1磁性層14の磁化方向と、第2磁性層18の磁化方向と、の間の角度が、例えば実質的に90°である。磁気記録媒体からの磁界によって、2層のフリー層の相対角度が変化する。これにより、磁気抵抗効果素子119は、例えば再生ヘッドとして用いることができる。このような90°の磁化アライメントは、スペーサ層を介した磁気結合とハードバイアスなどの組み合わせなどで得ることができる。

【0188】

磁気抵抗効果素子119においても酸化物層21を設けることにより、高いスピン依存界面散乱を発現し、MR変化率を大きく向上することができる。これにより、高集積化が可能な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

40

【0189】

図20は、第1の実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図20に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子120においては、第1電極11と第2電極20との間に、上記で説明した積層体10sが設けられ、さらに別の積層体10rが設けられている。この例では、積層体10rは、積層体10sと第2電極20との間に配置されている。さらに、積層体10sと積層体10rとの間に中間層51が設けられる。

50

【0190】

積層体10rは、第2磁性層18b（例えばフリー層）と、第1磁性層14b（例えばピン層）と、非磁性層16bと、酸化物層21bと、を含む。第2磁性層18bと第2電極20との間に、第1磁性層14bが配置される。第2磁性層18bと第1磁性層14bとの間に、非磁性層16bが配置される。この例では、第2磁性層18bと、非磁性層16bとの間に、酸化物層21bが配置される。積層体10rは、第1磁性層14bと第2電極20との間に設けられたピニング層13bをさらに含むことができる。ピニング層13bと第2電極20との間にキャップ層19を設けても良い。

【0191】

例えば、第1磁性層14bは、非磁性層16bの上に設けられた下部ピン層145b、その上に設けられた反平行磁気結合層144b、その上に設けられた中央部ピン層143b、その上に設けられた反平行磁気結合層142b、及び、その上に設けられた上部ピン層141bを含むことができる。第1磁性層14bは、例えば、ピン層である。

【0192】

酸化物層21bは、例えば、金属酸化物である。酸化物層21bは、鉄を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒21sを含み、ウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔は、例えば、0.253nm以上0.275nm以下である。このように、磁気抵抗効果素子120において、複数の積層体を設けても良い。

【0193】

磁気抵抗効果素子120は、非磁性層に接したピン層の磁化方向が逆に固定された2つの磁気抵抗効果素子が直列に接続された、差動型の構造を有している。磁気抵抗効果素子120では、接続された2つの磁気抵抗効果素子の抵抗変化が、外部磁界に対して逆極性で振る舞う。そのため、垂直磁気記録媒体において媒体磁化の向きが上向きと下向きが隣り合う、磁化遷移領域において出力が得られる。すなわち、差動型の媒体磁界検出を行うことができる。

【0194】

中間層51には、例えば5nmの厚さの銅膜を用いることができる。中間層51として、銅、金、銀、ルテニウム、イリジウム、オスミウム、レニウム、ロジウム及びタンタルなどの非磁性金属を用いてもよい。中間層51として、コバルト、鉄及びニッケルからなる群より選択された強磁性金属の層と、ルテニウム、イリジウム、オスミウム、レニウム及びロジウムからなる群より選択された金属の層と、これらの層の間に設けられた、反強磁性結合を生ずる金属の層と、を含む積層体を用いても良い。その場合、第2磁性層18の磁化は、第2磁性層18bの磁化と、反平行結合させることができる。

【0195】

磁気抵抗効果素子120においても、酸化物層21（及び酸化物層21b）を設けることにより、高いスピン依存界面散乱を発現し、MR変化率を大きく向上することができる。これにより、高集積化が可能な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【0196】

（第2の実施形態）

図21は、第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式的斜視図である。

図21に表したように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子130は、非磁性層16と、第1電極11と、第1磁性層14と、第2電極20と、第2磁性層18と、酸化物層21と、を含む。

【0197】

非磁性層16は、第1部分p1と、第2部分p2と、を有する。第2部分p2は、第1部分p1と離間している。

【0198】

第1電極11は、第1部分p1と積層される。第1磁性層14は、第1部分p1と第1電極11との間に設けられる。第2電極20は、第2部分p2と積層される。第2磁性層

18は、第2部分p2と第2電極20との間に設けられる。

【0199】

酸化物層21は、第1電極11と第1部分p1との間、及び、第2電極20と第2部分p2との間の少なくともいずれかに設けられる。この例では、酸化物層21として酸化物層21a及び酸化物層21bが設けられている。酸化物層21aは、第1電極11と第1部分p1との間に設けられている。酸化物層21bは、第2電極20と第2部分p2との間に設けられている。酸化物層21には、金属酸化物が用いられる。酸化物層21（酸化物層21a及び酸化物層21bの少なくともいずれか）は、鉄を含むウスタイト構造の（111）面配向のウスタイト結晶粒21sを含む。このウスタイト結晶粒21sの（111）面の面間隔dは、0.253nm以上0.275nm以下である。

10

【0200】

この例では、第1磁性層14と第1電極11との間に、キャップ層19aが設けられ、第2磁性層18と第2電極20との間に、キャップ層19bが設けられている。非磁性層16は、第3部分p3と第4部分p4とをさらに有する。第3部分p3と第4部分p4との間に第1部分p1及び第2部分p2が配置される。第3部分p3と第2部分p2との間に第1部分p1が配置される。第4部分p4と第1部分p1との間に第2部分p2が配置される。この例では、第3部分p2に電氣的に接続された第1電極層25aと、第4部分p4に電氣的に接続された第2電極層25bと、が設けられている。

【0201】

磁気抵抗効果素子130において、第1磁性層14は、例えば、磁化方向が固定されたピン層である。第2磁性層18は、例えば、磁化方向が変化するフリー層である。非磁性層16は、例えば帯状である。

20

【0202】

非磁性層16と第1電極11とにおける上下関係は任意である。非磁性層16と第2電極20とにおける上下関係は任意である。第1電極11が非磁性層16の上に設けられ、第2電極20が、非磁性層16の下に設けられても良い。また、その逆でも良い。

【0203】

磁気抵抗効果素子130は、例えば、スピン蓄積型の磁気抵抗効果素子である。電流の流れる経路は、電圧を測定する経路と異なっている。例えば、第1電極11と第1電極層25aとの間に電流を流したときに、第2電極20と第2電極層25bとの間に発生する電圧を出力として読み取る。

30

【0204】

第1電極11と第1電極層25aとの間に電流を流した際に、第1磁性層14中でスピン流が発生する。第1電極11から第1磁性層14を通過した電子は、非磁性層16を経路として第1電極層25aに流れる。この際、電子は第2磁性層18が形成されている第2部分p2には流入しない。このため、第1磁性層14が形成された第1部分p1と、第2磁性層が形成された第2部分p2と間の非磁性層16では、電流はゼロである。このとき、第1磁性層14と非磁性層16との界面付近にスピン蓄積を生ずる。スピンの蓄積された領域からスピンの拡散してスピン流が発生し、このスピン流は、第2部分p2において第2磁性層18により吸収される。このとき、第2磁性層18の磁化と第1磁性層14の磁化の相対角度によって第2磁性層18の電位が変動し、非磁性層16と第2磁性層18との間に電圧変化が発生する。この電圧変化が出力として検出される。これにより、スピン蓄積型の磁気抵抗効果素子が動作する。

40

【0205】

なお、例えば、第2電極20と第2電極層25bとの間に電流を流し、第1電極11と第1電極層25aとの間に発生する電圧を出力として読み取っても良い。

【0206】

非磁性層16には、例えば、30nmの厚さの銅層を用いることができる。非磁性層16として、その他、金、銀、ルテニウム、イリジウム、オスミウム、レニウム、ロジウム、タンタルなどの非磁性金属を用いてもよい。銅、銀及び金は、スピン拡散長が比較的長

50

いため、特に好ましい。

【0207】

第1磁性層14が積層される第1部分p1と、第2磁性層18が積層される第2部分p2との距離が短いと、高い出力が得られる。第1磁性層14が積層される第1部分p1と、第2磁性層18が積層される第2部分p2との距離は、1000nm以下が好ましい。200nm以下がさらに好ましい。

【0208】

このようなスピン蓄積型の磁気抵抗効果素子においても、酸化物層21を用いることで、検出される出力を増大することができる。

【0209】

本実施形態において、酸化物層21は、第1電極11と第1部分p1との間、及び、第2電極20と第2部分p2との間の少なくともいずれかに設けられる。例えば、酸化物層21は、第1部分p1と第1磁性層14との間に設けられる。例えば、酸化物層21は、第1磁性層14と第1電極11との間に設けられる。例えば、酸化物層21は、第2部分p2と第2磁性層18との間に設けられる。例えば、酸化物層21は、第2磁性層18と第2電極20との間に設けられる。酸化物層21には、第1の実施形態で説明した任意の構成及び任意の形成方法を適用できる。

本実施形態によれば、MR変化率が大きい磁気抵抗効果素子が提供できる。これにより、高集積化が可能な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【0210】

(第3の実施形態)

本実施形態は、磁気抵抗効果素子の製造方法に係る。

本実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法は、例えば、第1電極11を形成する処理と、第1電極11の上に第1磁性層14を形成する処理と、第1磁性層14の上に非磁性層16を形成する処理と、非磁性層16の上に第2磁性層18を形成する処理と、第2磁性層18の上に第2電極20を形成する処理と、第1電極11と第2電極20との間に金属酸化物の酸化物層21を形成する処理と、を含む。酸化物層21を形成する処理は、鉄を含むウスタイト構造の(111)面配向のウスタイト結晶粒21sを含み、ウスタイト結晶粒21sの(111)面の面間隔が0.253nm以上0.275nm以下の酸化物層21を形成することを含む。なお、この製造方法において、酸化物層21は、第1電極11と第2電極20との間の任意の位置に形成することができる。

【0211】

以下、磁気抵抗効果素子111を製造する方法の例について説明する。

図22は、第3の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を例示するフローチャート図である。

本製造方法において、各層の形成方法には、DCマグネトロンスパッタ法、RFマグネトロンスパッタ等のスパッタ法、イオンビームスパッタ法、蒸着法、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法、及びMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法などを用いることができる。

【0212】

図22に表したように、本製造方法は、下地層12を形成する処理(ステップS11)と、ピニング層13を形成する処理(ステップS12)、第1磁性層14を形成する処理(ステップS13)と、非磁性層16を形成する処理(ステップS14)と、酸化物層21を形成する処理(ステップS15)と、第2磁性層18を形成する処理(ステップS16)と、キャップ層19を形成する処理(ステップS17)と、アニール処理(ステップS18)と、を含むことができる。

【0213】

ステップS11では、微細加工プロセスによって第1電極11が形成された基板(図示せず)を用いる。第1電極11上に、下地層12として、例えば、Ta(1nm)/Ru(2nm)を形成する。Ta層は、第1電極11の表面の凹凸などを緩和等するためのバ

10

20

30

40

50

ッファ層に相当する。Ru層は、その上に形成されるスピナル膜の結晶配向及び結晶粒径を制御するシード層に相当する。

【0214】

ステップS12において、ピニング層13には、例えば、反強磁性材料を用いる。ピニング層13には、例えば、IrMn、PtMn、PdPtMn及びRuRhMnの少なくともいずれかを用いる。

【0215】

ステップS13では、第1磁性層14となる、例えば、下部ピン層141 (Co₇₅Fe₂₅ (4.4nm))、磁気結合層142 (Ru)、及び、上部ピン層143 (Fe₅₀Co₅₀ (4nm))を順次積層する。第1磁性層14は、例えば、シンセティックピン層である。

10

【0216】

ステップS14では、非磁性層16となる金属層を形成する。金属層は、例えば、Au、Ag、Cu及びZnのいずれかである。非磁性層16として、例えば、CCP-NOLを形成しても良い。

【0217】

ステップS15は、例えば、酸化物層21となる金属層を形成する処理と、その金属層を酸化する処理と、を含む。

金属層を形成する処理では、例えば、非磁性層16の上に、FeとZnとを含む金属層を成膜する。FeとZnとを含む金属層は、例えば、Fe/ZnまたはZn/Feまたは (Fe/Zn) × 2のようなFe層とZn層の積層体でも良い。FeとZnとを含む金属層は、例えば、Zn₅₀Fe₅₀のような合金の単層でも良い。

20

【0218】

酸化物層21となる金属層は、Feの他に、Znを含むことができる。酸化物層21となる金属層は、Feの他に、Co及びNiの少なくともいずれかを含むことができる。酸化物層21となる金属層は、Feの他に、Sn、In及びCdの少なくともいずれかを含むことができる。酸化物層21となる金属層は、Feの他に、銅、チタン、バナジウム、クロム、マンガン、アルミニウム、シリコン、マグネシウム、ガリウム、ゲルマニウム、白金、パラジウム、銀、ジルコニウム、ハフニウム及びタンタルの少なくともいずれかをさらに含むことができる。

30

【0219】

金属層を酸化する処理では、例えば、イオンアシスト酸化 (IAO) を行う。IAOでは、例えば、希ガスなどのイオンビームまたはプラズマを金属層に照射しながら、酸素を供給する。イオンアシスト酸化において、酸素ガスをイオン化またはプラズマ化してもよい。イオンビームの照射による金属層へのエネルギーアシストにより、安定で均一な酸化物層21を形成することができる。また、1層の酸化物層21を形成するに当たり、金属層の形成と、酸化処理と、を数回繰り返して行ってもよい。この場合、所定の厚さの酸化物層21を一度の成膜及び酸化処理で作製するのではなく、所定の厚さを分割して薄い厚さの金属材料層に酸化処理を行うほうが好ましい。

【0220】

40

また、ZnとFeを含む金属層を酸素雰囲気中に晒す自然酸化を用いてもよい。ただし、安定な酸化物を形成するためには、エネルギーアシストを用いた酸化方法のほうが好ましい。

【0221】

Zn層とFe層との積層体を用いて酸化物層21を形成する場合は、均一に混合されたZnとFeとの酸化物層21を形成するために、イオンビームの照射を行いながら酸化することが好ましい。

【0222】

希ガスなどのイオンビームまたはプラズマを用いる場合、希ガスとしては、例えば、アルゴン、キセノン、ヘリウム、ネオン及びクリプトンからなる群より選択される少なくとも

50

も1つを含むガスを使用することができる。

【0223】

なお、エネルギーアシストの方法として、イオンビームの照射以外に、加熱処理などを行ってもよい。この場合、例えば、金属層の成膜後に、金属層を100℃以上300℃以下の温度で加熱しながら、酸素を供給してもよい。

【0224】

以下、酸化物層21を形成するための酸化処理において、イオンビームアシスト酸化処理を用いるビーム条件の例について説明する。酸化処理により、酸化物層21を形成する際に、前述した希ガスをイオン化またはプラズマ化して照射する場合、その加速電圧Vbを30V以上130V以下とし、ビーム電流Ibを20mA以上200mA以下に設定することが好ましい。これらの条件は、イオンビームエッチングを行う場合の条件と比較すると著しく弱い条件である。イオンビームの代わりにRFプラズマなどのプラズマを用いても、酸化物層21を形成することができる。

10

【0225】

イオンビームの入射角度は、膜面に対して垂直に入射する場合を0°とし、膜面に平行に入射する場合を90°としたとき、0°以上80°以下の範囲において適宜変更することができる。この工程による処理時間は、15秒以上1200秒以下が好ましく、制御性などの観点から30秒以上がより好ましい。処理時間が長すぎると、磁気抵抗効果素子の生産性が劣るため好ましくない。これらの観点から、処理時間は30秒以上600秒以下が好ましい。

20

【0226】

イオンまたはプラズマを用いた酸化処理の場合、酸素暴露量は、IAOの場合には 1×10^3 L (Langmuir, $1 \text{ L} = 1 \times 10^{-6} \text{ Torr} \times \text{sec}$) 以上、 1×10^4 L以下が好ましい。自然酸化の場合には、 3×10^3 L以上、 3×10^4 L以下が好ましい。

【0227】

上述した酸化処理の後に、還元性ガスを用いた還元処理を行ってもよい。

還元性ガスとしては、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン及びキセノンの少なくともいずれかのイオン、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン及びキセノンの少なくともいずれかのプラズマ、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン及びキセノンの少なくともいずれかのラジカル、水素及び窒素の少なくともいずれかの分子、水素及び窒素の少なくともいずれかのイオン、水素及び窒素の少なくともいずれかのプラズマ、並びに、水素及び窒素の少なくともいずれかのラジカル、の少なくとも何れかを含むガスを用いることができる。特に還元性ガスとして、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン及びキセノンの少なくともいずれかのプラズマ、水素及び窒素の少なくともいずれかのイオン、並びに、水素及び窒素の少なくともいずれかのプラズマ、の少なくとも何れかを含むガスを用いることが好ましい。還元性ガスとして、アルゴンのイオン及びアルゴンのプラズマの少なくともいずれかを含むガスを用いることが好ましい。

30

【0228】

還元処理によって、酸化処理後の母材料の膜の酸素濃度を調整することができる。これにより、酸化物層21の構造を、スピン依存散乱（スピンフィルタリング効果）を強く発現できる酸素濃度を有する構造に調整することができる。還元処理は、酸化処理後の母材料の膜を加熱しながら行うことができる。例えば、100℃以上300℃以下に加熱した母材料に対して還元処理を行うことができる。加熱することで、より効率的に還元処理を行うことができる。

40

【0229】

還元処理後の膜に対して、さらにアルゴンイオンの照射、アルゴンプラズマの照射及び加熱の少なくともいずれかの水分除去処理を施すことができる。これによって、還元処理の際に生成する水分を除去することができる。

【0230】

酸化物層21の作製において、上記の工程を終えた後、酸化処理と還元処理とを再度繰

50

り返すことができる。生成した水の除去と還元処理とを交互に繰り返すことで、より効率的に膜を還元することができる。

【0231】

このような還元処理について、A r イオンビーム照射を行った場合のビーム条件の例を以下に説明する。還元処理により、酸化物層 2 1 を形成する際に前述した希ガスをイオン化またはプラズマ化して照射する場合、その加速電圧 V b を 3 0 V 以上 1 3 0 V 以下、ビーム電流 I b を 2 0 m A 以上 2 0 0 m A 以下に設定することが好ましい。これらの条件は、イオンビームエッチングを行う場合の条件と比較すると、著しく弱い条件である。

【0232】

イオンビームの代わり、R F プラズマなどのプラズマを用いても、酸化物層 2 1 を形成することができる。イオンビームの入射角度は、膜面に対して垂直に入射する場合を 0 ° とし、膜面に平行に入射する場合を 9 0 ° としたとき、0 ° 以上 8 0 ° 以下の範囲で適宜変更することができる。この工程による処理時間は、1 5 秒以上 1 2 0 0 秒以下が好ましく、制御性などの観点から 3 0 秒以上がより好ましい。処理時間が長すぎると、磁気抵抗効果素子の生産性が劣るため好ましくない。これらの観点から、処理時間は、3 0 秒以上 6 0 0 秒以下が好ましい。

【0233】

上記では、ステップ S 1 5（酸化物層 2 1 の形成の処理）が、酸化物層 2 1 となる金属層を形成する処理と、その金属層を酸化する処理と、を含む場合について説明したが、ステップ S 1 5 において、酸化物ターゲットを用いたスパッタにより酸化物層 2 1 を形成しても良い。例えば、N a C l 構造（ウスタイト構造）を有する $(Z n_{1.5} F e_{8.5})_{0.9} O_1$ の酸化物ターゲット、または、スピネル構造を有する $(Z n_{1.5} F e_{8.5})_3 O_4$ の酸化物ターゲットなどを用いて、酸化物層 2 1 をスパッタにより形成しても良い。

【0234】

酸化物ターゲットを用いてスパッタで成膜した後に、追加酸化処理を行っても良い。また、その後で還元処理を行っても良い。このような追加処理を行うことで、酸化物層 2 1 における酸素濃度を、高いスピン依存散乱効果を発揮する F e - Z n 混合酸化物の酸素濃度に調整することができる。

【0235】

非磁性層 1 6 として C C P - N O L を用いる場合、ステップ S 1 5 の酸化物層 2 1 の形成のための処理の少なくとも一部は、C C P - N O L を形成するための処理の少なくとも一部と同時に実施しても良い。

【0236】

ステップ S 1 6 では、酸化物層 2 1 の上に、第 2 磁性層 1 8 となる、例えば、F e ₅₀ C o ₅₀ (1 nm) / N i ₉₀ F e ₁₀ (3 nm) を形成する。

【0237】

ステップ S 1 7 では、第 2 磁性層 1 8 上に、キャップ層 1 9 となる、例えば、C u (1 nm) / R u (1 0 nm) を形成する。

【0238】

ステップ S 1 8 では、アニール処理を行う。その後、キャップ層 1 9 上に第 2 電極 2 0 を形成する。

【0239】

本実施形態によれば、M R 変化率が大きい磁気抵抗効果素子を提供できる。これにより、高集積化が可能な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【0240】

本実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の製造方法は、例えば、第 1 電極 1 1 を形成する工程と、第 1 電極 1 1 の上に第 1 磁性層 1 4 を形成する工程と、第 1 磁性層 1 4 の上に酸化物層 2 1 を形成する工程と、酸化物層 2 1 の上に第 2 磁性層 1 8 を形成する工程と、第 2 磁性層 1 8 の上に第 2 電極 2 0 を形成する工程と、を含む。酸化物層 2 1 を形成する工程は、鉄を含むウスタイト構造の (1 1 1) 面配向のウスタイト結晶粒 2 1 s を含み、

10

20

30

40

50

ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔が 0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下の酸化物層 2 1 を形成することを含む。

【 0 2 4 1 】

本実施形態に係る別の磁気抵抗効果素子の製造方法は、第 1 部分 p 1 と、第 1 部分 p 1 と離間した第 2 部分 p 2 と、を有する非磁性層 1 6 を形成する工程と、第 1 部分 p 1 と積層された第 1 電極 1 1 を形成する工程と、第 1 部分 p 1 と第 1 電極 1 1 との間に設けられる第 1 磁性層 1 4 を形成する工程と、第 2 部分 p 2 と積層された第 2 電極 2 0 を形成する工程と、第 2 部分 p 2 と第 2 電極 2 0 との間に設けられる第 2 磁性層 1 8 を形成する工程と、第 1 電極 1 1 と第 1 部分 p 1 との間、及び、第 2 電極 2 0 と第 2 部分 p 2 との間の少なくともいずれかに金属酸化物の酸化物層 2 1 を形成する工程と、を含む。酸化物層 2 1 を形成する工程は、鉄を含むウスタイト構造の (1 1 1) 面配向のウスタイト結晶粒 2 1 s を含み、ウスタイト結晶粒 2 1 s の (1 1 1) 面の面間隔が 0 . 2 5 3 nm 以上 0 . 2 7 5 nm 以下の酸化物層 2 1 を形成することを含む。本製造方法において、技術的に可能な範囲で、各工程の順序は入れ替えることができ、また、複数の工程を同時に実施することができる。例えば、第 1 電極 1 1 の形成の少なくとも一部を、第 2 電極 2 0 の形成の少なくとも一部と同時に実施しても良い。

10

これらの製造方法において、酸化物層 2 1 の形成方法には、上記の任意の方法が適用できる。

【 0 2 4 2 】

(第 4 の実施形態)

20

本実施形態は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドに係る。本実施形態においては、第 1 の実施形態に係る任意の磁気抵抗効果素子を用いることができる。以下では、例として、磁気抵抗効果素子 1 1 0 を用いる場合について説明する。

【 0 2 4 3 】

図 2 3 及び図 2 4 は、第 4 の実施形態に係る磁気ヘッドの構成を例示する模式的断面図である。

図 2 3 は、磁気記録媒体 (図示せず) に対向する媒体対向面に対してほぼ平行な方向に磁気抵抗効果素子 1 1 0 を切断した断面図である。

図 2 4 は、磁気抵抗効果素子 1 1 0 を媒体対向面 A B S に対して垂直な方向に切断した断面図である。

30

これらの図では、磁気抵抗効果素子 1 1 0 に含まれる第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 2 0 が図示され、その他の構成は、省略されている。

【 0 2 4 4 】

図 2 3 及び図 2 4 に表したように、本実施形態に係る磁気ヘッド 2 1 0 は、磁気抵抗効果素子 1 1 0 を含む。磁気ヘッド 2 1 0 は、例えば、ハード・アバタッド (hard abutted) 構造を有する。磁気抵抗効果素子 1 1 0 の両側面には、バイアス磁界印加膜 4 1 と絶縁膜 4 2 とが積層して設けられている。

図 2 4 に表したように、磁気ヘッド 2 1 0 の媒体対向面 A B S には保護層 4 3 が設けられている。

【 0 2 4 5 】

40

磁気抵抗効果素子 1 1 0 に対するセンス電流は、第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 2 0 によって矢印 A で示したように、磁気抵抗効果素子 1 1 0 の膜面に対してほぼ垂直方向に通電される。磁気抵抗効果素子 1 1 0 の左右に設けられた一対のバイアス磁界印加膜 4 1 により、磁気抵抗効果素子 1 1 0 にはバイアス磁界が印加される。バイアス磁界により、磁気抵抗効果素子 1 1 0 の第 2 磁性層 1 8 の磁気異方性を制御して単磁区化する。これにより、磁区構造が安定化し、磁壁の移動に伴うバルクハウゼンノイズ (Barkhausen noise) を抑制することができる。

【 0 2 4 6 】

磁気抵抗効果素子 1 1 0 の M R 変化率が向上しているので、磁気ヘッド 2 1 0 に応用した場合に高感度の磁気再生が可能となる。M R 変化率の高い磁気ヘッドを提供することが

50

できる。

【0247】

(第5の実施形態)

第5の実施形態は、磁気記録再生装置に係る。磁気記録再生装置には、第1の実施形態に係る任意の磁気抵抗効果素子が搭載される。本磁気記録再生装置には、第1の実施形態に係る任意の磁気抵抗効果素子を用いた磁気抵抗効果素子ヘッドが用いられる。以下、磁気ヘッドに磁気抵抗効果素子111が搭載される例として説明する。

図25は、第5の実施形態に係る磁気記録再生装置の一部の構成を例示する模式的斜視図である。

図25は、磁気抵抗効果素子が搭載される磁気ヘッドの構成を例示している。

10

図25に表したように、実施形態に係る磁気抵抗効果素子110が搭載される磁気ヘッド5は、磁気記録媒体80に対向して設けられる。磁気記録媒体80は、磁気記録層81と、裏打ち層82と、を有する。磁気記録層81は、磁気ヘッド5に対向する。

【0248】

磁気ヘッド5は、磁気記録媒体80に対向する書き込みヘッド部60と、書き込みヘッド部60と併設され、磁気記録媒体80に対向する再生ヘッド部70とを有する。

ただし、磁気ヘッド5には、再生ヘッド部70が設けられれば良く、書き込みヘッド部60は省略可能であり、書き込みヘッド部60は必要に応じて設けられる。以下では、実施形態に係る磁気記録再生装置として、磁気ヘッド5が書き込みヘッド部60を有する場合について説明する。

20

【0249】

再生ヘッド部70は、第1磁気シールド層72aと、第2磁気シールド層72bと、第1磁気シールド層72aと第2磁気シールド層72bとの間に設けられた磁気再生素子71と、を有する。磁気再生素子71として、実施形態に係る、例えば、磁気抵抗効果素子110が用いられる。

【0250】

磁気再生素子71は、磁気記録層81の磁化の方向を読み取り、磁気記録媒体80に記録された記録情報を読み取る。

【0251】

磁気記録層81の磁気ヘッド5に対向する面に対して垂直な方向をZ軸方向とする。そして、Z軸方向に対して垂直な1つの方向をX軸方向とする。そして、Z軸方向とX軸方向とに対して垂直な方向をY軸方向とする。なお、後述するように、磁気記録媒体80は、例えば円板状とすることができ、磁気記録媒体80の円周に沿って、磁気記録媒体80と磁気ヘッド5との相対的な位置が変化される。上記のX-Y-Z座標系は、磁気ヘッド5の近傍の短い距離の範囲において定義されることができる。

30

【0252】

例えば、磁気記録媒体80は、Z軸方向に対して垂直な方向に沿って、磁気ヘッド5に対して相対的に移動する。磁気ヘッド5により、磁気記録媒体80の磁気記録層81の各位置の磁化が制御され、磁気記録が行われる。磁気記録媒体80の媒体移動方向は、例えばY軸方向とされる。なお、磁気記録媒体80と磁気ヘッド5との相対的な移動は、磁気ヘッド5の移動によって行われても良く、磁気記録媒体80と磁気ヘッド5とがZ軸方向に対して垂直な方向に沿って相対的に移動すれば良い。

40

【0253】

磁気ヘッド5は、後述するヘッドスライダ3に搭載され、ヘッドスライダ3の機能により、磁気ヘッド5は、磁気記録媒体80から離間して保持される。磁気抵抗効果素子110の周囲に図示しない磁気シールドを設け、磁気ヘッド5の検出分解能を規定することができる。

【0254】

図26は、第5の実施形態に係る磁気記録再生装置の一部の構成を例示する模式的斜視図である。

50

図26は、磁気記録再生装置の一部であるヘッドスライダの構成を例示している。

図26に表したように、磁気ヘッド5は、ヘッドスライダ3に搭載される。ヘッドスライダ3は、 Al_2O_3 及びTiCなどを含み、磁気ディスクなどの磁気記録媒体80の上を、浮上または接触しながら相対的に運動できるように設計され、製作される。

【0255】

ヘッドスライダ3は、例えば、空気流入側3Aと空気流出側3Bとを有し、磁気ヘッド5は、空気流出側3Bの側面などに配置される。これにより、ヘッドスライダ3に搭載された磁気ヘッド5は、磁気記録媒体80の上を浮上または接触しながら相対的に運動する。

【0256】

以下、本実施形態に係る磁気記録再生装置の全体の構成の例について、磁気記録再生装置250を例にして説明する。

図27は、第5の実施形態に係る磁気記録再生装置の構成を例示する模式的斜視図である。

図28(a)及び図28(b)は、第5の実施形態に係る磁気記録再生装置の一部の構成を例示する模式的斜視図である。

図28(a)は、磁気記録再生装置250に含まれるヘッドスタックアセンブリ260を拡大して示している。

図28(b)は、ヘッドスタックアセンブリ260の一部である磁気ヘッドアセンブリ(ヘッドジンバルアセンブリ258)を例示している。

【0257】

図27に表したように、磁気記録再生装置250は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。記録用媒体ディスク280は、スピンドルモータ4に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印AAの方向に回転する。なお、磁気記録再生装置250は、複数の記録用媒体ディスク280を有していても良い。

【0258】

記録用媒体ディスク280に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ3は、薄膜状のサスペンション254の先端に取り付けられている。

【0259】

記録用媒体ディスク280が回転すると、サスペンション254による押し付け圧力とヘッドスライダ3の媒体対向面で発生する圧力とが釣りあい、ヘッドスライダ3の媒体対向面は、記録用媒体ディスク280の表面から所定の浮上量をもって保持される。なお、ヘッドスライダ3が記録用媒体ディスク280と接触するいわゆる「接触走行型」としても良い。

【0260】

サスペンション254は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム255の一端に接続されている。アクチュエータアーム255の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ256が設けられている。ボイスコイルモータ256は、アクチュエータアーム255のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石及び対向ヨークからなる磁気回路と、を含む。

【0261】

アクチュエータアーム255は、軸受部257の上下2箇所設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ256により回転摺動が自在にできるようになっている。その結果、磁気ヘッド5を記録用媒体ディスク280の任意の位置に移動可能となる。

【0262】

図28(a)に表したように、ヘッドスタックアセンブリ260は、軸受部257と、ヘッドジンバルアセンブリ258と、支持フレーム261と、を含む。ヘッドジンバルア

10

20

30

40

50

センブリ 258 は、軸受部 257 から延出する。支持フレーム 261 は、軸受部 257 から、ヘッドジンバルアセンブリ 258 とは反対方向に延出している。支持フレーム 261 は、ボイスコイルモータのコイル 262 を支持する。

【0263】

図 28 (b) に表したように、ヘッドジンバルアセンブリ 258 は、軸受部 257 から延出したアクチュエータアーム 255 と、アクチュエータアーム 255 から延出したサスペンション 254 と、を有している。サスペンション 254 の先端には、ヘッドスライダ 3 が取り付けられている。

【0264】

なお、本具体例では、ヘッドジンバルアセンブリ 258 が 2 つ設けられる例であるが、ヘッドジンバルアセンブリ 258 の数は 1 つでも良い。

10

【0265】

このように、磁気ヘッドアセンブリ（ヘッドジンバルアセンブリ 258）は、磁気ヘッド 5 と、磁気ヘッド 5 が搭載されたヘッドスライダ 3 と、ヘッドスライダ 3 を一端に搭載するサスペンション 254 と、サスペンション 254 の他端に接続されたアクチュエータアーム 255 と、を有する。例えば、磁気ヘッドアセンブリ（ヘッドジンバルアセンブリ 258）は、磁気抵抗効果素子 110 を一端に搭載するサスペンション 254 と、サスペンション 254 の他端に接続されたアクチュエータアーム 255 と、を含む。

【0266】

サスペンション 254 は、信号の書き込み及び読み取り用、浮上量調整のためのヒータ用などのリード線（図示しない）を有し、このリード線とヘッドスライダ 3 に組み込まれた磁気ヘッド 5 の各電極とが電氣的に接続される。

20

【0267】

図 27 に表したように、磁気ヘッド 5 を用いて磁気記録媒体 80 への信号の書き込みと読み出しを行う信号処理部 290 が設けられる。信号処理部 290 は、例えば、図 27 に例示した磁気記録再生装置 250 の図面中の背面側に設けられる。信号処理部 290 の入出力線は、ヘッドジンバルアセンブリ 258 の電極パッドに接続され、磁気ヘッドと電氣的に結合される。

【0268】

磁気記録再生装置 250 は、上記の磁気ヘッドアセンブリと、磁気ヘッドアセンブリに搭載された磁気抵抗効果素子 110 を用いて情報が記録される磁気記録媒体 80 と、を含む。

30

【0269】

磁気記録再生装置 250 は、例えば、磁気記録媒体 80 及び磁気ヘッド 5 に加え、磁気記録媒体 80 と磁気ヘッド 5 とを離間させ、または、接触させた状態で対峙させながら磁気記録媒体 80 と磁気ヘッド 5 とを相対的に移動させる可動部と、磁気ヘッド 5 を磁気記録媒体 80 の所定記録位置に位置合わせする位置制御部と、磁気ヘッド 5 を用いて磁気記録媒体への信号の書き込みと読み出しを行う信号処理部 290 と、をさらに含むことができる。

【0270】

上記の磁気記録媒体 80 として、記録用媒体ディスク 280 が用いられる。上記の可動部は、ヘッドスライダ 3 を含むことができる。また、上記の位置制御部は、ヘッドジンバルアセンブリ 258 を含むことができる。

40

【0271】

（第 6 の実施の形態）

本実施形態は、第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリに係る。第 1 の実施形態に係る任意の磁気抵抗効果素子を用いて、例えばメモリセルがマトリクス状に配置されたランダムアクセス磁気メモリ（MRAM: magnetic random access memory）などの磁気メモリを実現できる。以下では、磁気抵抗効果素子 110 を用いる場合として説明する。

50

【0272】

図29は、第6の実施形態に係る磁気メモリの構成を例示する模式図である。

図29は、磁気メモリ301の回路構成を例示している。磁気メモリ301においては、アレイ状に配置された複数のメモリセルを有する。

図29に表したように、磁気メモリ301においては、アレイ中の1ビット（1つのメモリセル）を選択するために、列デコーダ350及び行デコーダ351が設けられている。列デコーダ350に接続されたビット線334と、行デコーダ351に接続されたワード線332と、により、スイッチングトランジスタ330がオンになり、メモリセル（磁気抵抗効果素子110）が一意に選択される。磁気抵抗効果素子110に流れる電流をセンスアンプ352で検出することにより、磁気抵抗効果素子110に含まれる記憶層（第1磁性層14及び第2磁性層18の少なくともいずれか）に記録されたビット情報を読み出す。

10

【0273】

各メモリセルに情報を書き込むときは、特定の書き込みワード線323とビット線322とに書き込み電流を流して発生する磁場を各メモリセルに印加する。

【0274】

図30は、第6の実施形態に係る別の磁気メモリの構成を例示する模式図である。

図30に表したように、磁気メモリ301aにおいては、マトリクス状に配線されたビット線372とワード線384とが、それぞれデコーダ360、361、362により選択されて、アレイ中の特定のメモリセルが選択される。それぞれのメモリセルは、磁気抵抗効果素子110とダイオードDとが直列に接続された構成を有する。ダイオードDは、選択された磁気抵抗効果素子110以外のメモリセルにおいてセンス電流が迂回することを抑制する。書き込みは、特定のビット線372と書き込みワード線383とにそれぞれに書き込み電流を流して発生する磁場により行われる。

20

【0275】

図31は、第6の実施形態に係る磁気メモリの構成を例示する模式的断面図である。

図32は、図31のA-A'線断面図である。

これらの図は、磁気メモリ301aに含まれる1ビット分のメモリセルの構成を例示している。このメモリセルは、記憶素子部分311とアドレス選択用トランジスタ部分312とを有する。

30

【0276】

図31及び図32に表したように、記憶素子部分311は、磁気抵抗効果素子110と、磁気抵抗効果素子110と接続された一対の配線422及び配線424とを有する。

【0277】

アドレス選択用トランジスタ部分312には、ビア326及び埋め込み配線328を介して接続されたスイッチングトランジスタ330が設けられている。スイッチングトランジスタ330は、ゲート370に印加される電圧に応じてスイッチング動作をし、磁気抵抗効果素子110と配線434との電流経路の開閉を制御する。

【0278】

磁気抵抗効果素子110の下方には、書き込み用の配線423が、配線422とほぼ直交する方向に設けられている。配線422及び配線423には、例えば、アルミニウム（Al）、銅（Cu）、タングステン（W）及び、タンタル（Ta）の少なくともいずれか、または、これらのいずれかを含む合金により形成することができる。

40

上記の配線422がビット線322に対応し、配線423がワード線323に対応する。

【0279】

このような構成を有するメモリセルにおいて、ビット情報を磁気抵抗効果素子110に書き込むときは、配線422及び423に書き込みパルス電流を流し、それらの電流により誘起される合成磁場を印加することにより磁気抵抗効果素子110の記憶層の磁化を適宜反転させる。

50

【0280】

ビット情報を読み出すときは、配線422と、記憶層を含む磁気抵抗効果素子110と、配線424と、を通してセンス電流を流し、磁気抵抗効果素子110の抵抗値または抵抗値の変化を測定する。

【0281】

実施形態に係る磁気メモリ301及び301aは、第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いることにより、MR変化率が大きい動作が可能であり、信頼性の高い記憶及び読み出しが可能である。

【0282】

実施形態によれば、MR変化率が大きい磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリが提供できる。

10

【0283】

なお、本願明細書において、「垂直」及び「平行」は、厳密な垂直及び厳密な平行だけではなく、例えば製造工程におけるばらつきなどを含むものであり、実質的に垂直及び実質的に平行であれば良い。

【0284】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリに含まれる第1電極、第2電極、第1磁性層、第2磁性層、非磁性層及び酸化物層などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

20

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。例えば、磁気抵抗効果素子114～120、116a及び130、並びに、その変形の磁気抵抗効果素子には、磁気抵抗効果素子110及び111に関して説明した構成及び材料を適用することができる。

【0285】

その他、本発明の実施の形態として上述し磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリを基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドアセンブリ、磁気記録再生装置及び磁気メモリも、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

30

【0286】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと了解される。

【0287】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

40

【符号の説明】

【0288】

3…ヘッドスライダ、 3A…空気流入側、 3B…空気流出側、 4…スピンドルモータ、 5…磁気ヘッド、 10r、10s…積層体、 11…第1電極、 12…下地層、 13、13b…ピニング層、 14、14b、14u…第1磁性層、 14l…第4磁性層、 15…下部金属層、 16、16b…非磁性層、 16c…導電部材、 16i…絶縁部材、 16h…貫通孔、 16l…第1非磁性層、 16u…第2非磁性層、 17…上部金属層、 18、18l…第2磁性層、 18u…第3磁性層、 19、

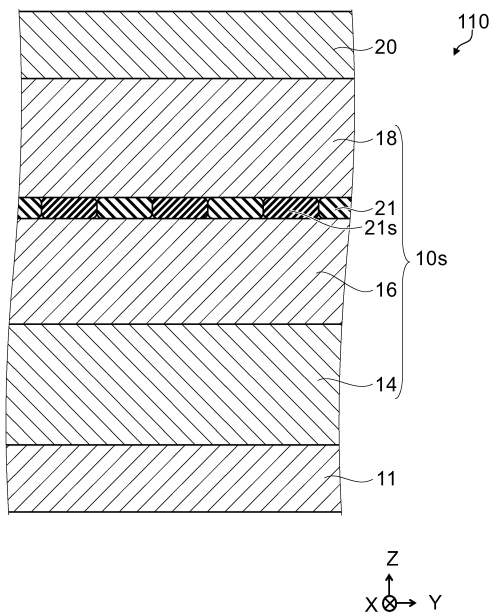
50

19 a、19 b…キャップ層、 20…第2電極、 21、21 a、21 b…酸化物層、
 21 r…ウルツァイト結晶粒、 21 s…ウスタイト結晶粒、 22 a…Fe原子、
 22 b…酸素原子、 25 a…第1電極層、 25 b…第2電極層、 29…中間非磁性
 層、 41…バイアス磁界印加膜、 42…絶縁膜、 43…保護層、 51…中間層、
 60…書き込みヘッド部、 70…再生ヘッド部、 71…磁気再生素子、 72 a…
 第1磁気シールド層、 72 b…第2磁気シールド層、 80…磁気記録媒体、 81…
 磁気記録層、 82…裏打ち層、 110、110 a～110 j、111、114～12
 0、116 a、130…磁気抵抗効果素子、 141…下部ピン層、 141 b…下部ピ
 ン層、 142…反平行磁気結合層、 142 b…反平行磁気結合層、 143…上部ピ
 ン層、 143 b…中央部ピン層、 144 b…反平行磁気結合層、 145 b…上部ピ
 ン層、 210…磁気ヘッド、 250…磁気記録再生装置、 254…サスペンション
 、 255…アクチュエータアーム、 256…ボイスコイルモータ、 257…軸受部
 、 258…ヘッドジンバルアセンブリ（磁気ヘッドアセンブリ）、 260…ヘッドス
 タックアセンブリ、 261…支持フレーム、 262…コイル、 280…記録用媒体
 ディスク、 290…信号処理部、 301、301 a…磁気メモリ、 311…記憶素
 子部分、 312…アドレス選択用トランジスタ部分、 322、334、372…ビット
 線、 323、332、383、384…ワード線、 326…ビア、 328…埋め
 込み配線、 330…スイッチングトランジスタ、 350…列デコーダ、 351…行
 デコーダ、 352…センスアンプ、 360、361、362…デコーダ、 370…
 ゲート、 422、423、424、434…配線、 A…実効面積、 A A…矢印、
 A B S…媒体対向面、 D…ダイオード、 I n t…強度、 R 1～R 4…領域、 V b
 …加速電圧、 d…面間隔、 p 1～p 4…第1～第4部分

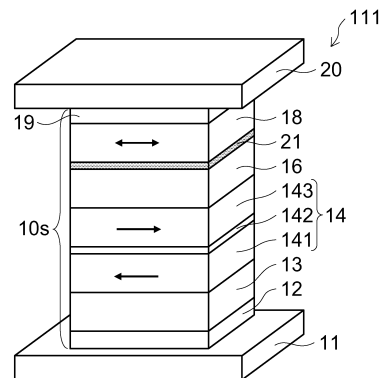
10

20

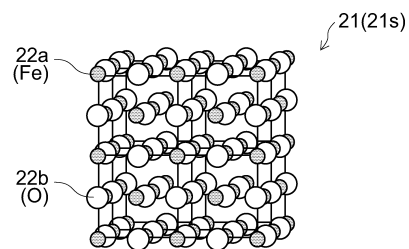
【図1】



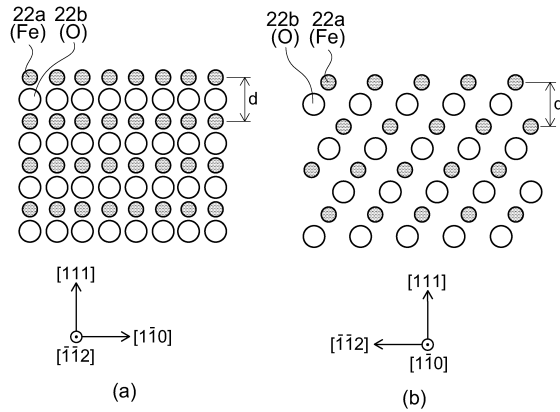
【図2】



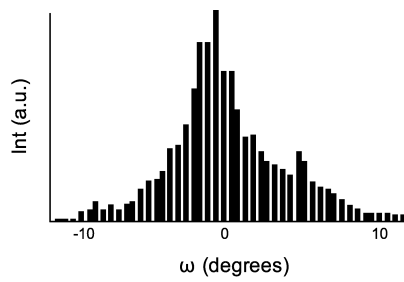
【図3】



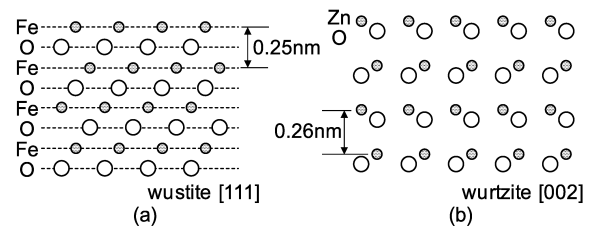
【図 4】



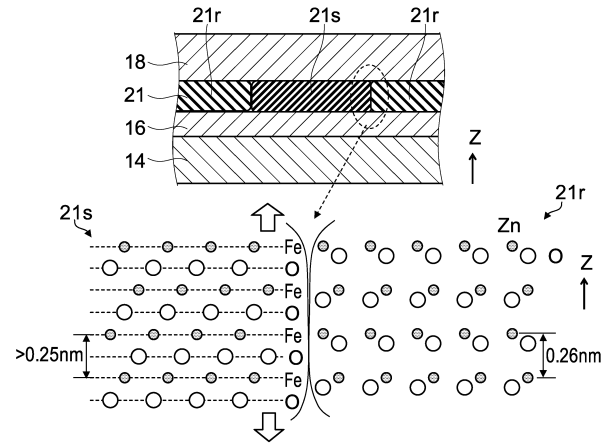
【図 7】



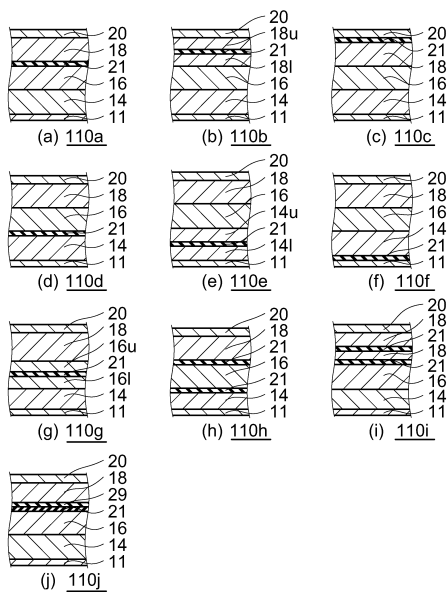
【図 10】



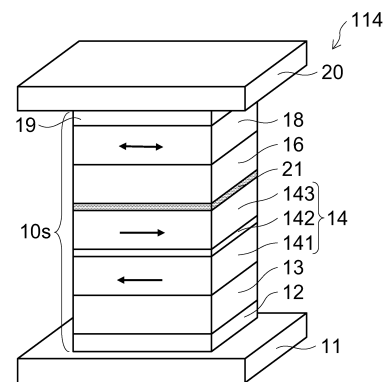
【図 11】



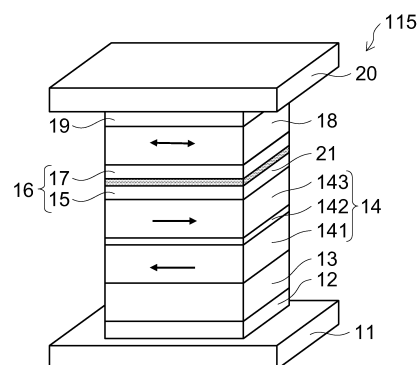
【図 12】



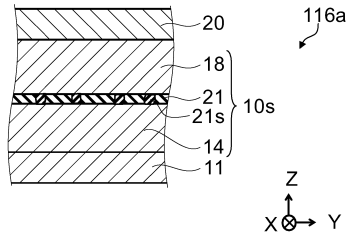
【図 13】



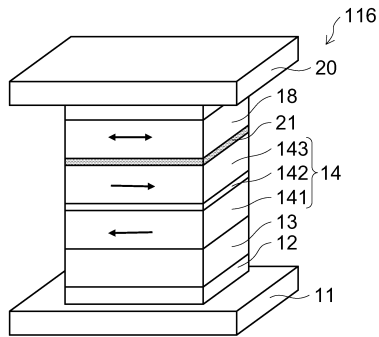
【図 14】



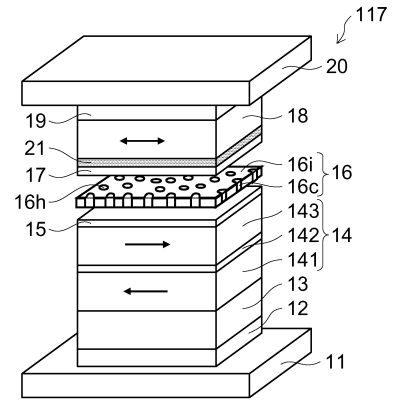
【図 15】



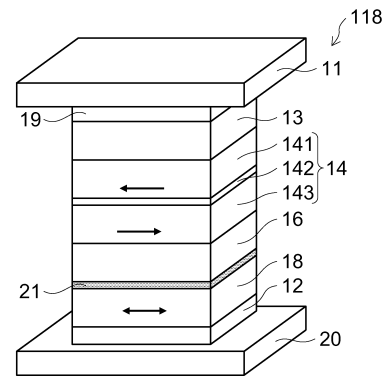
【図 16】



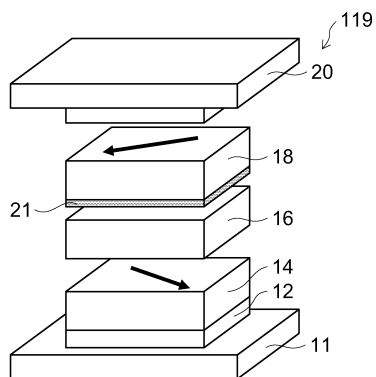
【図 17】



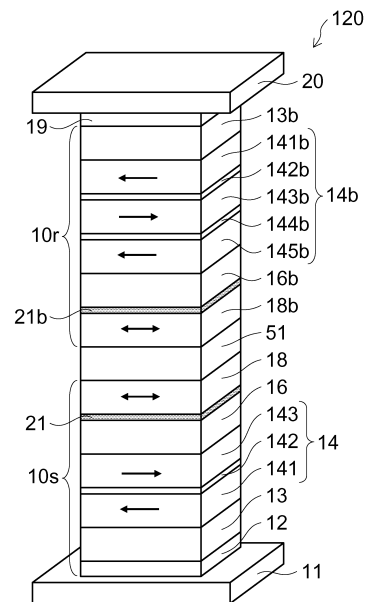
【図 18】



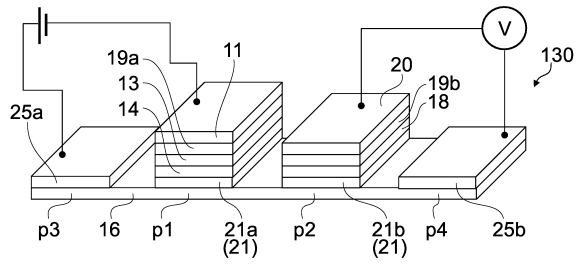
【図 19】



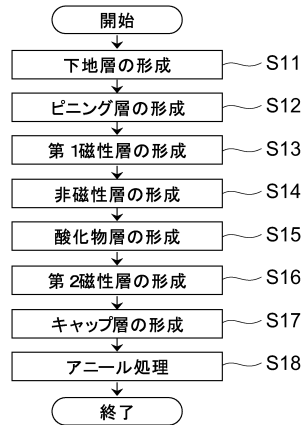
【図 20】



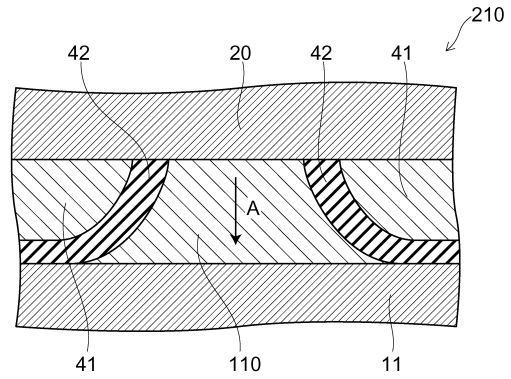
【図 2 1】



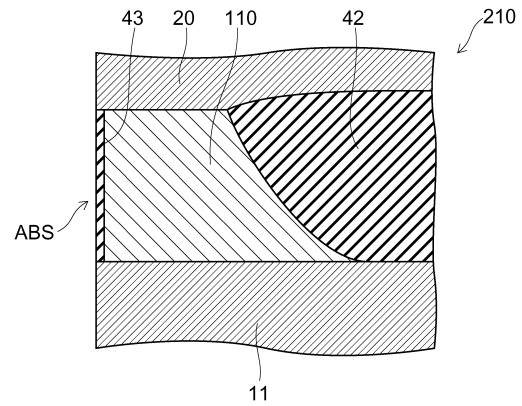
【図 2 2】



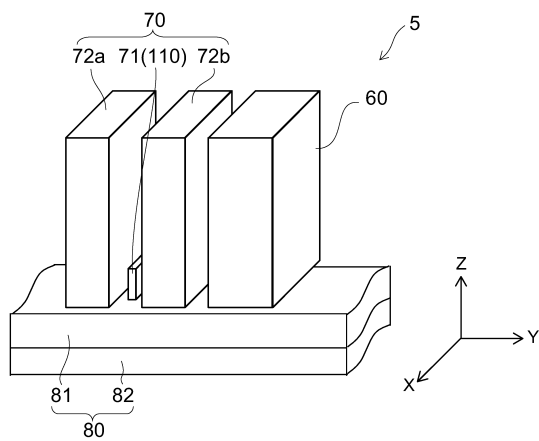
【図 2 3】



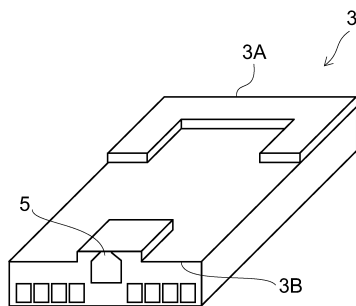
【図 2 4】



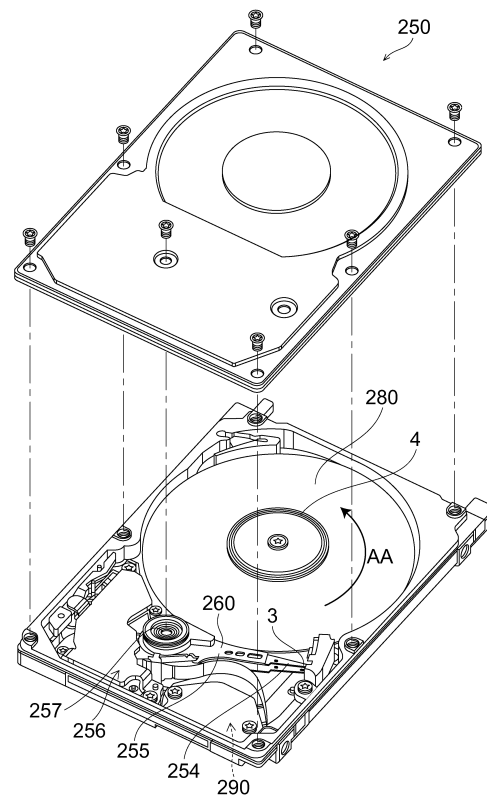
【図 2 5】



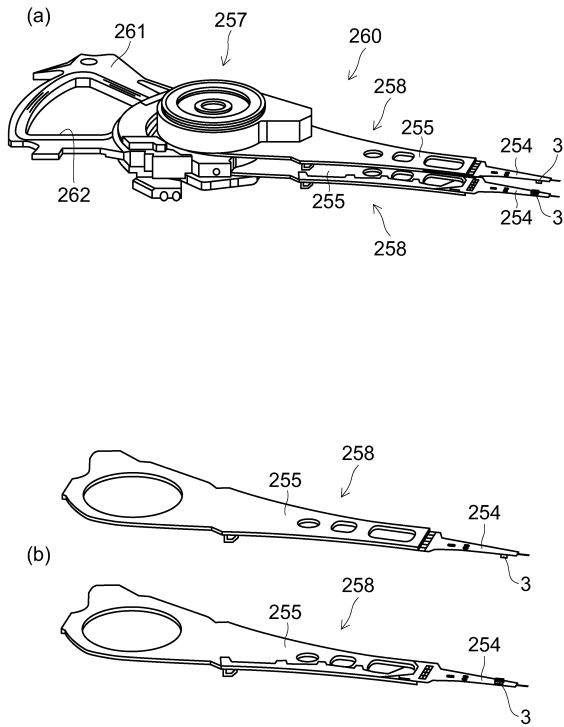
【図 2 6】



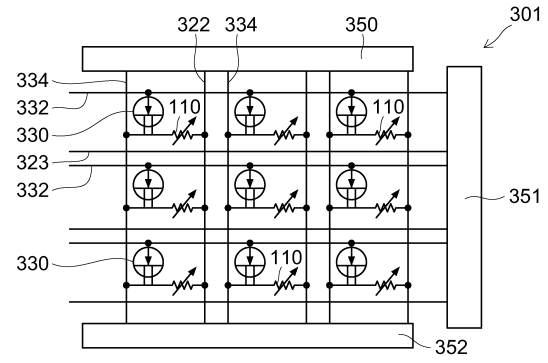
【図 2 7】



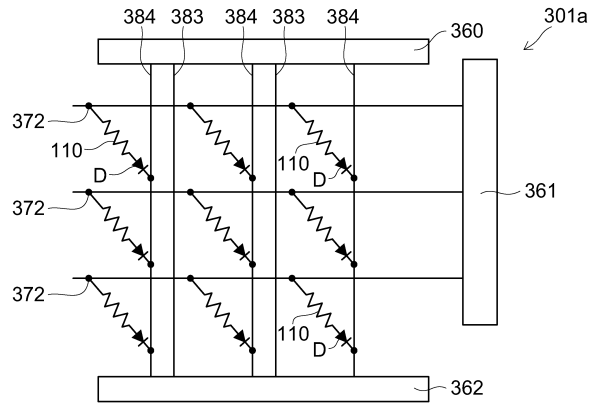
【図 28】



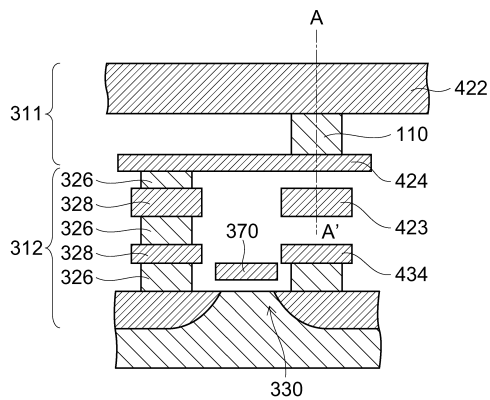
【図 29】



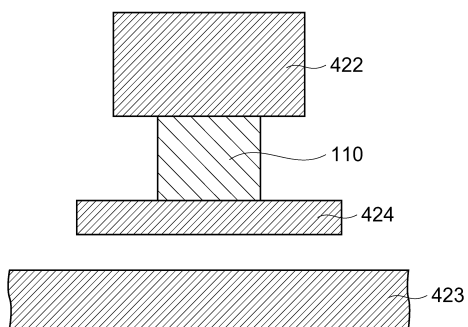
【図 30】



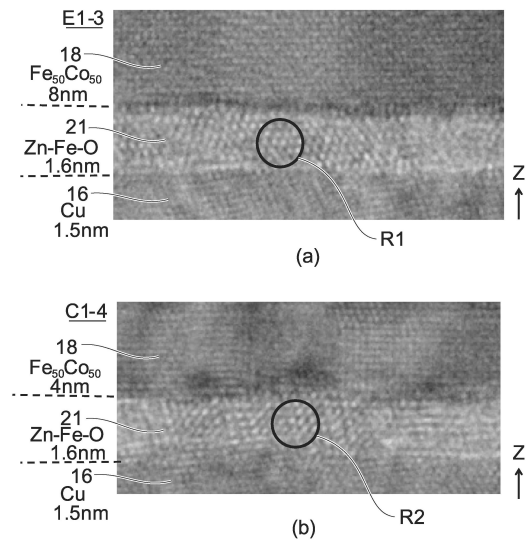
【図 31】



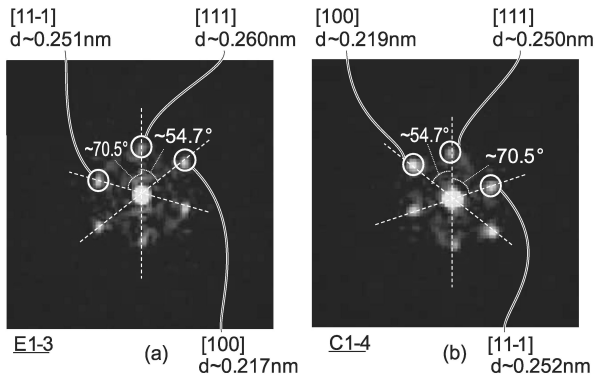
【図 32】



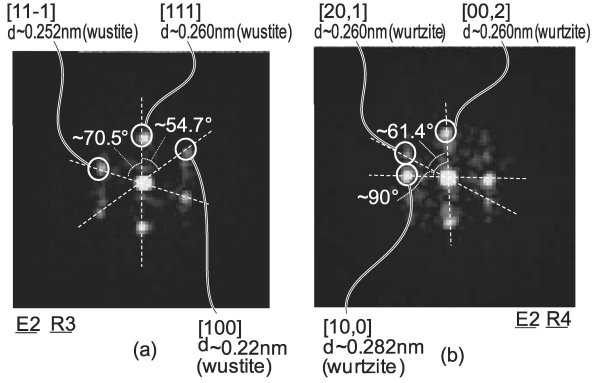
【図 5】



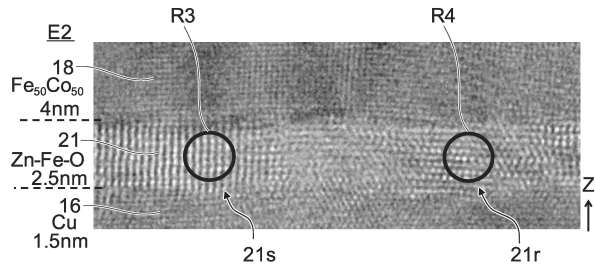
【図 6】



【図 9】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 湯浅 裕美
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 加藤 俊哉

(56)参考文献 国際公開第2011/064822 (WO, A1)
特開2009-283499 (JP, A)
国際公開第03/092083 (WO, A1)
特開2003-031871 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 43/10
G11B 5/39
H01L 21/8246
H01L 27/105
H01L 43/08