

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-100667

(P2006-100667A)

(43) 公開日 平成18年4月13日(2006.4.13)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z	5 F O 8 3
HO 1 L 43/10 (2006.01)	HO 1 L 43/08 M	
HO 1 L 27/105 (2006.01)	HO 1 L 43/10	
HO 1 L 21/8246 (2006.01)	HO 1 L 27/10 4 4 7	

審査請求 有 請求項の数 16 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2004-286396 (P2004-286396)	(71) 出願人	000003078 株式会社東芝
(22) 出願日	平成16年9月30日 (2004. 9. 30)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	100075812 弁理士 吉武 賢次
		(74) 代理人	100088889 弁理士 橘谷 英俊
		(74) 代理人	100082991 弁理士 佐藤 泰和
		(74) 代理人	100096921 弁理士 吉元 弘
		(74) 代理人	100103263 弁理士 川崎 康

最終頁に続く

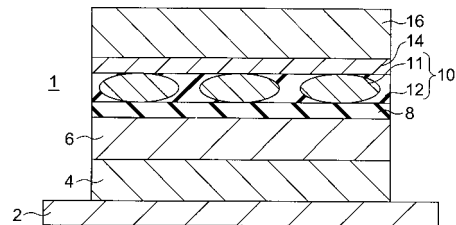
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子および磁気メモリ

(57) 【要約】

【課題】 スピン注入による書き込み動作を確実に行うことを可能にする。

【解決手段】 少なくとも1層の磁性層を有し磁化の方向が固着された第1磁化固着層6と、誘電体12で隔てられた複数の強磁性粒11を有し磁化の方向が可変の磁気記録層10と、第1磁化固着層と磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層8と、磁気記録層のトンネルバリア層とは反対側に設けられた第1非磁性層14とを備え、膜厚方向に電流を流すことにより磁気記録層の強磁性粒の磁化の方向が可変となる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 1 層の磁性層を有し磁化の方向が固着された第 1 磁化固着層と、誘電体で隔てられた複数の強磁性粒を有し磁化の方向が可変の磁気記録層と、前記第 1 磁化固着層と前記磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層と、前記磁気記録層の前記トンネルバリア層とは反対側に設けられた第 1 非磁性層とを備え、膜厚方向に電流を流すことにより前記磁気記録層の強磁性粒の磁化の方向が可変となることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】

前記磁気記録層が Co を含む強磁性材料からなっている場合は、前記第 1 非磁性層の材料が Cr、Ru、Ir、Os、Re から選ばれた少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であり、

10

前記磁気記録層が Fe を含む強磁性材料からなっている場合は、前記第 1 非磁性層の材料が Cr、Ru、Os、Re、W、Mn、V、Ti、Mo から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であり、

前記磁気記録層が Ni を含む強磁性材料からなっている場合は、前記第 1 非磁性層の材料が Cr、Ru、Os、Re、Rh、Ir、W、Nb、V、Ta、Mo から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】

20

前記第 1 非磁性層の前記磁気記録層とは反対側に設けられ少なくとも 1 層の磁性層を有し磁化の方向が固着された第 2 磁化固着層を備え、前記第 1 磁化固着層と前記第 2 磁化固着層の前記トンネルバリア層側の磁性層の磁化の方向は実質的に 180 度異なっていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】

前記第 2 磁化固着層は、第 2 非磁性層とこの第 2 非磁性層を挟む 2 つの磁性層とが積層された積層膜であることを特徴とする請求項 3 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】

前記第 1 非磁性層が Cu または Cu 合金からなっている場合、前記第 2 非磁性層の材料が Cr、Ru、Os、Re、Rh から選ばれた少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であることを特徴とする請求項 4 記載の磁気抵抗効果素子。

30

【請求項 6】

前記第 1 非磁性層の前記磁気記録層とは反対側に設けられ少なくとも 1 層の磁性層を有し磁化の方向が固着された第 2 磁化固着層を備え、前記第 1 磁化固着層と前記第 2 磁化固着層の前記トンネルバリア層側の磁性層の磁化の方向は実質的に同じ方向であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】

前記第 2 磁化固着層が Co を含む強磁性材料からなっている場合は、前記第 1 非磁性層の材料が Cr、Ru、Ir、Os、Re から選ばれた少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であり、

40

前記第 2 磁化固着層が Fe を含む強磁性材料からなっている場合は、前記第 1 非磁性層の材料が Cr、Ru、Os、Re、W、Mn、V、Ti、Mo から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であり、

前記第 2 磁化固着層が Ni を含む強磁性材料からなっている場合は、前記第 1 非磁性層の材料が Cr、Ru、Os、Re、Rh、Ir、W、Nb、V、Ta、Mo から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはこれらの合金であることを特徴とする請求項 6 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】

前記第 1 非磁性層および前記第 2 磁化固着層は前記磁気記録層の強磁性粒上に柱状に積層されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

50

【請求項 9】

前記第 1 磁化固着層の前記トンネルバリア層側の面が前記トンネルバリア層と反対側の面よりも狭いことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 10】

反強磁性層と磁化の向きが固着された磁化固着層が交互に積層され一方の面が磁化固着層となる積層膜と、磁化の向きが可変の磁気記録層と、前記積層膜の前記一方の面の前記磁気固着層と前記磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層と、前記磁気記録層の前記トンネルバリア層とは反対側に設けられた非磁性層とを備え、膜厚方向に電流を流すことにより前記磁気記録層の磁化の方向が可変となることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 11】

前記磁気記録層は、誘電体で隔てられた複数の強磁性粒からなる層であることを特徴とする請求項 10 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 12】

前記積層膜の前記トンネルバリア層側の面が前記トンネルバリア層と反対側の面よりも狭いことを特徴とする請求項 10 または 11 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 13】

磁化の向きが固着された磁化固着層と、磁化の向きが可変の磁気記録層と、前記磁気固着層と前記磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層と、前記磁化固着層および前記磁気記録層のいずれか一方と前記トンネルバリア層との間に互いに分離して設けられた複数の絶縁体とを備えたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

20

【請求項 14】

前記複数の絶縁層と前記トンネルバリア層との間に前記絶縁層で覆われた非磁性層を備えていることを特徴とする請求項 13 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 15】

前記磁気記録層に非磁性元素が含まれていることを特徴とする請求項 13 または 14 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 16】

請求項 1 乃至 15 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有するメモリセルと、前記磁気抵抗効果素子の一端が電氣的に接続される第 1 配線と、前記磁気抵抗効果素子の他端が電氣的に接続される第 2 配線と、を備えたことを特徴とする磁気メモリ。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気抵抗効果素子および磁気メモリに関する。

【背景技術】

【0002】

磁性体膜を用いた磁気抵抗効果素子は、磁気ヘッド、磁気センサなどに用いられているとともに固体磁気メモリ(MRAM(Magnetic Random Access Memory))に用いることが提案されている。

40

近年、2つの磁性金属層の間に1層の誘電体を挿入したサンドイッチ構造膜を有し、膜面に対して垂直に電流を流し、トンネル電流を利用した磁気抵抗効果素子として、いわゆる「強磁性トンネル接合素子(Tunneling Magneto-Resistance effect: TMR素子)」が提案されている。強磁性トンネル素子は20%以上の磁気抵抗変化率が得られるようになったことからMRAMへの民生応用技術開発が盛んに行われている。

【0003】

このTMR素子は、強磁性層上に厚さが0.6nm~2.0nmの薄いAl(アルミニウム)層を成膜した後、その表面を酸素グロー放電または酸素ガスに曝してAl₂O₃からなるトンネルバリア層を形成することにより実現できる。

50

【0004】

また、この強磁性1重トンネル接合のトンネルバリア層を挟む一方の強磁性層に反強磁性層を付与して上記強磁性層を磁化が固着された磁化固着層とした構造を有する強磁性1重トンネル接合素子が提案されている。また、誘電体中に分散した磁性粒子を介した強磁性トンネル接合や、強磁性膜が連続膜である強磁性2重トンネル接合素子も提案されている。

【0005】

これらの磁気抵抗効果素子においても、20%~50%の磁気抵抗変化率が得られるようになったこと、および所望の出力電圧値を得るためTMR素子に印加する電圧値を増やしても磁気抵抗変化率の減少が抑えられることから、MRAMへの応用の可能性がある。TMR素子をMRAMのメモリ素子として用いた場合、トンネルバリア層を挟む一方の強磁性層を磁化固着層とし、他方の強磁性層を磁気記録層とする。これらの強磁性1重トンネル接合あるいは強磁性2重トンネル接合を用いたメモリ素子は、不揮発性で書き込み読み出し時間も10ナノ秒以下と速く、書き換え回数も 10^{15} 以上というポテンシャルを有する。

10

【0006】

しかし、メモリのセルサイズに関しては、メモリセルが1個のトランジスタと1個のTMR素子からなるアーキテクチャを用いた場合、半導体のDRAM(Dynamic Random Access Memory)以下にサイズを小さくできないという問題がある。

【0007】

この問題を解決するために、ビット線とワード線との間にTMR素子とダイオードを直列接続したダイオード型アーキテクチャや、ビット線とワード線の間にはTMR素子を配置した単純マトリクス型アーキテクチャが提案されている。

20

【0008】

しかし、いずれの場合も磁気記録層への書き込み時には電流パルスによる電流磁場で磁気記録層の磁化の反転を行っているため、消費電力が大きい、大容量化したとき配線の許容電流密度に限界があり大容量化できない、電流を流すためのドライバの面積が大きくなってしまふなどの問題点がある。

【0009】

上記の問題に対し、書き込み配線の周りに高透磁率磁性材料からなる薄膜を設けた固体磁気メモリが提案されている。この磁気メモリによれば配線の周囲に高透磁率の磁性膜が設けられているため、磁気記録層への情報書き込みに必要な電流値を効率的に低減できる。しかしながら、この場合でも、書き込み電流を1mA以下にすることは非常に困難であった。

30

【0010】

これら課題を解決するために、スピン注入法による書き込み方法が提案されている(例えば、特許文献1参照)。このスピン注入法は、スピン偏極した電流を、メモリ素子の磁気記録層に注入することによって磁気記録層の磁化を反転することを利用している。このスピン注入法においては、スピン偏極した電流を注入して磁気記録層の磁化を反転する場合に、メモリ素子の面積が大きいと上記電流による環状の磁界が発生してしまい、磁化の反転が起こらない。

40

【0011】

さらに固体磁気メモリとして応用するためには、高集積化することが求められるため、小さい面積でなおかつ面積のばらつきのない小さい素子を形成することが必要とされる。さらに、熱揺らぎ耐性が限界となるサイズ $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ より小さなセルも含め、幅広いサイズを有するセルで低電流書き込みが可能で、熱揺らぎに対する磁気記録層の熱安定性を有することが必要である。また、スピン注入法による場合は、書き込み時の磁化固着層の磁化の安定性を有することが必要である。

【特許文献1】米国特許第6,256,223号明細書

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

以上、説明したように、低書き込み電流で動作するスピン注入法は、メモリ素子のサイズが大きいと、書き込み電流による環状の磁界が発生してしまい、磁化の反転が起こらず、書き込みが確実に行われないことになる。

【0013】

本発明は上記事情を考慮してなされたものであって、スピン注入による書き込み動作を確実に行うことのできる磁気抵抗効果素子および磁気メモリを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0014】

本発明の第1の態様による磁気抵抗効果素子は、少なくとも1層の磁性層を有し磁化の方向が固着された第1磁化固着層と、誘電体で隔てられた複数の強磁性粒を有し磁化の方向が可変の磁気記録層と、前記第1磁化固着層と前記磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層と、前記磁気記録層の前記トンネルバリア層とは反対側に設けられた第1非磁性層とを備え、膜厚方向に電流を流すことにより前記磁気記録層の強磁性粒の磁化の方向が可変となることを特徴とする。

【0015】

本発明の第2の態様による磁気抵抗効果素子は、反強磁性層と磁化の向きが固着された磁化固着層が交互に積層され一方の面が磁化固着層となる積層膜と、磁化の向きが可変の磁気記録層と、前記積層膜の前記一方の面の前記磁気固着層と前記磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層と、前記磁気記録層の前記トンネルバリア層とは反対側に設けられた非磁性層とを備え、膜厚方向に電流を流すことにより前記磁気記録層の磁化の方向が可変となることを特徴とする。

20

【0016】

本発明の第3の態様による磁気抵抗効果素子は、磁化の向きが固着された磁化固着層と、磁化の向きが可変の磁気記録層と、前記磁気固着層と前記磁気記録層との間に設けられたトンネルバリア層と、前記磁化固着層および前記磁気記録層のいずれか一方と前記トンネルバリア層との間に互いに分離して設けられた複数の絶縁体とを備えたことを特徴とする。

30

【0017】

本発明の第4の態様による磁気メモリは、上記のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有するメモリセルと、前記磁気抵抗効果素子の一端が電氣的に接続される第1配線と、前記磁気抵抗効果素子の他端が電氣的に接続される第2配線と、を備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、スピン注入による書き込み動作を確実に行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

40

本発明の実施形態を以下、図面を参照して説明する。

【0020】

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図1に示す。この実施形態の磁気抵抗効果素子1は、下部電極となる下地層2と、下地層2上に設けられた反強磁性層4と、反強磁性層4上に設けられた強磁性層6と、強磁性層6上に設けられたトンネルバリア層8と、トンネルバリア層8上に設けられ誘電体12によってそれぞれが隔てられた複数の強磁性粒11を有する磁気記録層10と、磁気記録層10上に設けられた非磁性層14と、非磁性層14上に設けられ上部電極となる非磁性電極層16とを備え、下部電極2と上部電極16間に電流を流す構成となっている。強磁性層6は反強磁性層4との交換結

50

合により磁化が固着されており、磁化固着層となる。誘電体 12 によって隔てられた複数の強磁性粒 11 は、それぞれがトンネルバリア層 8 および非磁性層 14 に接するように構成されている。

【0021】

このように構成された本実施形態の磁気抵抗効果素子 1 においては、強磁性トンネル接合の実効的な接合面積が誘電体 12 で隔てられた複数の強磁性粒 11 の、強磁性層 6 への膜面垂直方向の投影面積で規定されるため、磁気記録層が強磁性体からなる連続膜の場合に比べて実効的な接合面積が小さい。このため、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層 10 においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

10

【0022】

なお、非磁性層 14 は、材料を選択して用いることにより、スピン偏極した電子を反射する性質を有するが詳細は第 5 実施形態の後で説明する。

【0023】

本実施形態において、反強磁性層 4 を削除し、強磁性層 6 を膜厚 5 nm の CoFe、トンネルバリア層 8 を膜厚 1.6 nm の AlOx、誘電体 10 で隔てられた強磁性粒 11 を膜厚方向の厚さ 2.0 nm の Co-Pt、非磁性層 14 を膜厚 5 nm の Ru からなるように構成した素子を作成し、実験を行った。この素子に外部磁界を印加した場合は、CoFe が Co-Pt に比べて保持力が小さいため、CoFe からなる強磁性層 6 の方が誘電体 10 で隔てられた Co-Pt からなる強磁性粒 11 に比べて磁化が先に反転する。しかし、スピン偏極した電流を膜面に垂直に、すなわち膜厚方向に流すと、誘電体 10 で隔てられた Co-Pt からなる強磁性粒 11 が先に磁化が反転することが本発明者等によって見いだされた。

20

【0024】

したがって、誘電体 12 で隔てられた強磁性粒 11 としては、室温でも磁気異方性エネルギー密度 K_u が高い（保持力の大きな）、熱揺らぎ耐性を有する Co-Pt 系、Co-Fe-Pt 系、Fe-Pt 系、Co-Fe-Cr-Pt 系、Co-Cr-Pt 系などの材料を用いることが好ましい。このような材料を用いることにより、熱揺らぎに対する磁気記録層の熱安定性の問題も無くなる。

30

【0025】

（第 2 実施形態）

次に、本実施形態による磁気抵抗効果素子の第 2 実施形態の構成を図 2 に示す。この実施形態の磁気抵抗効果素子 1A は、図 1 に示す第 1 実施形態の磁気抵抗効果素子 1 において、磁化固着層となる強磁性層 6 を強磁性層 6A に置き換えた構成となっている。この強磁性層 6A は、トンネルバリア層 8 との接合面積は変わらないが、強磁性層 6 に比べて体積が大きくなるように構成されている。したがって、第 2 実施形態においては、第 1 実施形態に比べて、磁化固着層となる強磁性層 6A の体積が大きい。このため、スピン注入書き込み時の磁化固着層の磁化は第 1 実施形態に比べてより安定性を増すことになる。

【0026】

なお、第 2 実施形態も、第 1 実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層 10 においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

40

【0027】

（第 3 実施形態）

次に、本発明の第 3 実施形態による磁気メモリの構成を図 3 に示す。この実施形態の磁気メモリは少なくとも 1 個のメモリセルを有し、このメモリセルは、第 2 実施形態の磁気抵抗効果素子 1A と、選択トランジスタ 60 とを備えている。上記磁気抵抗効果素子は、引き出し電極 40 上に設けられた反強磁性層 4 と、この反強磁性層 4 上に設けられた磁化

50

固着層 6 A と、この磁化固着層 6 A 上に設けられたトンネルバリア層 8 と、トンネルバリア層 8 上に設けられ誘電体 10 に隔てられた強磁性粒 11 からなる磁気記録層 10 と、磁気記録層 10 上に設けられた非磁性層 14 と、非磁性層 14 上に設けられた上部電極 16 とを備えている。選択トランジスタ 60 は、ゲート電極 61 と、このゲート電極の両側に設けられたソースおよびドレイン領域 63、65 とを備えている。上部電極 16 は、メモリセルを選択するビット線 30 に接続され、引き出し電極 40 は接続部 50 を介して、選択トランジスタ 60 のソース 63 に接続される。選択トランジスタ 60 のゲート電極 61 はメモリセルを選択するためのワード線を兼ねている。したがって、メモリセルはビット線 30 と、ワード線 61 が交差する領域に設けられている。

【0028】

10

次に、この実施形態のスピン注入書き込み原理を、以下に説明する。まず、選択トランジスタ 60 のゲート電極に電圧を印加し、選択トランジスタ 60 をオンさせる。

【0029】

a) 磁化固着層 6 A、磁気記録層 10 のスピンモーメントが反平行 平行へのスピン反転の場合；

磁化固着層 6 A 側から電子を注入し、磁化固着層 6 A でスピン偏極した電子がトンネルバリア層 8 を介し、磁気記録層 10 へスピントルクをおよぼし、磁気記録層 10 のスピンの反平行 平行へ反転する。

【0030】

b) 磁化固着層、磁気記録層のスピンモーメントが平行 反平行へのスピン反転の場合；

20

磁気記録層 10 側から電子を注入すると磁気記録層 10 でスピン偏極した電子が注入される。その際、磁化固着層 6 A のスピンの方向と同じスピンの方向を持つ電子は散乱確率が低く容易にスピン電流が流れるが、反平行のスピンは反射される。磁気記録層 10 へ反射してきた電子は、磁気記録層 10 へスピントルクを及ぼし、磁気記録層 10 のスピンの平行 反平行へ反転する。

【0031】

この時に必要な電流は以下の式で書き表すことができる。

【0032】

反平行 平行の場合；

$$I_c^P = e M A_t [H - H_k - 2 M] / h g ()$$

平行 反平行の場合；

$$I_c^{A P} = e M A_t [H + H_k + 2 M] / h g (0)$$

ここで、 e は電気素量、 α は Gilbert damping parameter、 M は磁化、 A_t は磁気記録層の体積、 H は磁場の強さ、 H_k は異方性定数、 h はプランク定数である。 $g ()$ 、 $g (0)$ は、磁化固着層 / 非磁性層界面でのスピン依存で、次式で与えられる。

【0033】

$$g () = [- 4 + (1 + p)^3 (3 + \cos) / 4 p^{3/2}]^{-1}$$

ここで、 p はスピン偏極率である。この式より、 $g () > g (0)$ であるため、一般に、反平行 平行にスピン反転させる場合の電流 I_c^P の方が、平行 反平行にスピン反転させる場合の電流 $I_c^{A P}$ に比べて小さい。

40

【0034】

この実施形態の磁気メモリは、メモリ素子として第 2 実施形態の磁気抵抗効果素子 1 A を備えているため、第 2 実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層 10 においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。なお、スピン書き込み時における磁化固着層の磁化の安定性を保つためには、磁化固着層の体積をなるべく大きくしたほうがよい。

【0035】

(第 4 実施形態)

50

次に、本発明の第4実施形態による磁気メモリの構成を図4に示す。この実施形態の磁気メモリは、図3に示す第3実施形態の磁気メモリにおいて、磁気抵抗効果素子1Aを磁気抵抗効果素子1Bに置き換えた構成となっている。磁気抵抗効果素子1Bは、磁気抵抗効果素子1Aの反強磁性層4および磁化固着層6Aを、反強磁性層と強磁性層が交互に積層された積層膜6Bに置き換えた構成となっている。積層膜6Bの強磁性層は反強磁性層との交換結合により磁化が固着され、磁化固着層となる。そして、第3実施形態の反強磁性層4および磁化固着層6Aの積層膜の形状と、第4実施形態の積層膜6Bの形状はほぼ同一となっている。また、積層膜6Bはトンネルバリア層8に接する層が強磁性層であるように構成する必要があるが、引き出し電極40に接する層が強磁性層または反強磁性層であるように構成してもよい。

10

【0036】

この第4実施形態も、第3実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。なお、この第4実施形態は、磁化固着層となる積層膜6Bの総体積が第3実施形態の磁化固着層6Aの体積よりも大きいため、第3実施形態に比べて、スピン書き込み時における磁化固着層の磁化を、より安定に保つことができる。

【0037】

(変形例)

この第4実施形態のように、磁化固着層が強磁性層と反強磁性層が交互に積層された積層膜6Bからなる構造は、図5に示すように、サイズが $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ 以下の素子面積でかつ磁気記録層13が連続膜からなる磁気抵抗効果素子1Cを有する磁気メモリに用いることができる。磁気抵抗効果素子1Cは、図4に示す磁気メモリの磁気抵抗効果素子1Bにおいて、磁気記録層10を強磁性層の連続膜からなる磁気記録層13に置き換えた構成となっている。この図5に示す磁気メモリにおいては、サイズが $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ 以下であってもスピン書き込み時における磁化固着層の磁化を安定に保つことができる。

20

【0038】

また、図5に示す磁気メモリにおいて、磁気抵抗効果素子1Cを図6に示す磁気抵抗効果素子1Dに置き換えた構成としてもよい。磁気抵抗効果素子1Dは、磁気抵抗効果素子1Cにおいて、強磁性層と反強磁性層が交互に積層された積層膜6Bを、強磁性層と非磁性層が交互に積層された積層膜6Cと、反強磁性層4との積層構造膜に置き換えた構成となっている。この図6に示す磁気メモリにおいても、サイズが $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ 以下であってもスピン書き込み時における磁化固着層の磁化を安定に保つことができる。なお、積層膜6Cは、トンネルバリア層8および反強磁性層4に接する層、すなわち最上層および最下層が強磁性層となるように構成する必要がある。

30

【0039】

(第5実施形態)

次に、本発明の第5実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図7に示す。この第5実施形態の磁気抵抗効果素子1Eは、図1に示す第1実施形態の磁気抵抗効果素子1において、非磁性層14と上部電極16との間に、強磁性層18と、この強磁性層18と交換結合して強磁性層18の磁化を固着させる反強磁性層20とを設けた構成となっている。そして、磁化固着層となる強磁性層6と、磁化固着層となる強磁性層18の磁化の向きは略 180° と異なっている。また、本実施形態においては、非磁性層14は、CuまたはCu合金からなる非磁性金属層となっている。

40

【0040】

図7の磁化の向きが略 180° 異なっているため、磁化固着層6から磁化固着層18側へスピン注入を行う場合と逆の場合とで、磁気記録層10の磁化の向きが変化することになる。

【0041】

50

つまり本実施形態において、磁化固着層 6、トンネルバリア層 8、磁気記録層 10 間のスピンモーメント（磁化）を反平行 平行へのスピン反転させる場合、磁化固着層 6 側から磁気記録層へ電子を注入すると磁化固着層 6 でスピン偏極した電子がトンネルバリア層 8 をトンネルし、磁気記録層 10 へスピントルクを及ぼす。このとき、スピン偏極した電子は、磁気記録層 10 から非磁性金属層 14 を介して磁化固着層 18 に流れるので、磁気記録層 10 のスピンの磁化固着層 6 のスピンに対して反平行の間は、磁気記録層 10 と磁化固着層 18 のスピンの方向が平行のため、磁化固着層 18 によって反射された反射スピン電子も磁気記録層 10 へスピントルクを及ぼし、磁気記録層 10 のスピンの方向が磁化固着層 6 のスピンに対して反平行 平行へ反転する。この 2 つのスピントルクにより、磁気記録層のスピンの方向が変化することになる。

10

【0042】

また、本実施形態において、磁化固着層 6、トンネルバリア層 8、磁気記録層 10 間のスピンモーメントを平行 反平行へスピン反転させる場合、磁化固着層 18 から磁気記録層 10 へ電子を注入すると、磁化固着層 18 でスピン偏極された電子が非磁性金属層 14 を通過して磁気記録層 10 へ流れスピントルクを及ぼす。このとき、スピン偏極した電子はトンネルバリア層 8 をトンネルして磁化固着層 6 へ流れようとするが、トンネルバリア層 8 をトンネルする際、磁化固着層 6 のスピンの方向と同じスピンの方向を持つ電子はトンネル確率が高く容易に流れるが、反平行のスピンは反射される。磁気記録層 10 へ反射してきた電子は、磁気記録層 10 へスピントルクを及ぼし、この 2 つのスピントルクにより、磁気記録層 10 のスピンの方向が平行 反平行へ反転する。

20

【0043】

したがって、本実施形態の磁気抵抗効果素子 1E において、電流を流す方向を変えることにより、スピン注入書き込みを行うことが可能となり、“1”、“0”の書き込みを行うことができる。

【0044】

なお、本実施形態においては、磁化固着層 18 および反強磁性層 20 がスピン偏極した電子の反射層となる。

【0045】

本実施形態の磁気抵抗効果素子も、第 1 実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層 10 においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

30

【0046】

（変形例）

また、本実施形態の変形例による磁気抵抗効果素子の構成を図 8 に示す。この変形例の磁気抵抗効果素子 1F は、第 5 実施形態の磁気抵抗効果素子 1E において、磁化固着層 18 を、磁性層 18₁、非磁性層 18₂、および磁性層 18₃ からなる積層構造の磁化固着層 18 に置き換えた構成となっている。そして、磁気記録層 10 側の磁性層 18₁ と、磁化固着層 6 の磁化の向きは、180 度異なっている。

【0047】

この変形例の磁気抵抗効果素子 1F も第 5 実施形態と同様に、電流を流す方向を変えることにより、スピン注入書き込みを行うことが可能となり、“1”、“0”の書き込みを行うことができる。また、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層 10 においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

40

【0048】

この変形例において、非磁性層 14 が Cu または Cu 合金からなっている場合は、非磁性層 18₂ としては、Cr、Ru、Os、Re、Rh から選ばれた少なくとも 1 種類の元素を含むことが好ましい。

【0049】

50

なお、磁化固着層 6 および磁化固着層 18 の磁気モーメントの方向が互いに略 180 度異なるようにする一つの方法としては、図 7 に示すように、磁化固着層 6、18 にネール温度 T_N が異なる反強磁性層 4、20 を付与し、磁場中でのアニール処理後の冷却時に反強磁性層 4 と反強磁性層 20 のネール温度の間の適当な温度で磁場印加方向を 180 度回転する。また、もう一つの方法としては、磁化固着層 6、18 のうちの一方の磁化固着層を、図 8 に示すように、磁性層と非磁性層が交互に積層され、最上層と最下層に磁性層となる多層構造（図 8 では 3 層構造）にし、非磁性層を介した磁性層間の相互作用が反強磁性相互作用を有するようにすることで実現できる。なお、本変形例においては、磁化固着層 18 および反強磁性層 20 がスピン偏極した電子の反射層となる。

【0050】

なお、第 5 実施形態およびその変形例の磁気抵抗効果素子を、例えば図 3 乃至図 4 に示す磁気メモリの磁気記憶素子（磁気抵抗効果素子）として用いることができる。この場合、第 3 乃至第 4 実施形態の場合と同様に、スピン書き込み時における磁化固着層の磁化の安定性を保つために、磁化固着層の体積をなるべく大きくしたほうがよい。

【0051】

第 5 実施形態およびその変形例においては、スピン偏極した電子の反射層が設けられていたが、図 1 乃至図 6 に示す磁気抵抗効果素子の非磁性層 14 の材料を限定することで、この非磁性層 14 を、磁気記録層 10 の磁化と反対方向のスピン電流を反射させる反射層として機能させることができる。

【0052】

具体的には、磁気記録層 10 が Co リッチである強磁性材料からなっている場合は、非磁性層 14 の材料としては、Cr、Ru、Ir、Os、Re から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはそれらの合金であることが好ましい。

【0053】

また、磁気記録層 10 が Fe リッチである強磁性材料からなっている場合は、非磁性層 14 の材料は、Cr、Ru、Os、Re、W、Mn、V、Ti、Mo から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはそれらの合金であることが好ましい。

【0054】

また、磁気記録層 10 が Ni リッチである強磁性材料からなっている場合は、非磁性層 14 の材料は、Cr、Ru、Os、Re、Rh、Ir、W、Nb、V、Ta、Mo から選ばれる少なくとも 1 種の元素を含むか、またはそれらの合金であることが好ましい。

【0055】

上記のことから分かるように、スピン注入書き込みを行う場合では、磁気記録層 10 が Ni-Co、Ni-Fe、Co-Fe、または Co-Fe-Ni を含む場合は、非磁性層 14 の材料として好ましいものは Cr、Ru、Os、Re から選ばれた少なくとも一種の元素を含むか、またはこれらの合金であり、これらを用いればスピン注入書き込み時の電流を低減することができる。

【0056】

（第 6 実施形態）

次に、本発明の第 6 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図 9 に示す。この実施形態の磁気抵抗効果素子 1G は、第 1 実施形態の磁気抵抗効果素子 1 において、非磁性層 14 の材料を限定して、磁気記録層 10 の磁化と反対方向のスピン電流を反射させる反射層として機能させるとともに、非磁性層 14 の磁気記録層 10 と反対側の面に磁化の向きが磁化固着層 6 の磁化の向きと平行となるように固着された強磁性層 18 を設けた構成となっている。この強磁性層 18 は、スピン偏極した電子の反射層としての機能を有するので、第 1 実施形態において、非磁性層 14 を反射層として用いた場合よりも有効にスピン偏極した電子を反射することが可能となり、磁気記録層 10 の磁化を反転されるのに必要な電流の密度を少なくすることができる。

【0057】

なお、本実施形態において、非磁性層 14 を反射層として機能させるためには、以下の

10

20

30

40

50

材料を用いればよい。

【0058】

具体的には、強磁性層18がCoリッチである強磁性材料からなっている場合は、非磁性層14の材料としては、Cr、Ru、Ir、Os、Reから選ばれる少なくとも1種の元素を含むか、またはそれらの合金であることが好ましい。

【0059】

また、強磁性層18がFeリッチである強磁性材料からなっている場合は、非磁性層14の材料は、Cr、Ru、Os、Re、W、Mn、V、Ti、Moから選ばれる少なくとも1種の元素を含むか、またはそれらの合金であることが好ましい。

【0060】

また、強磁性層18がNiリッチである強磁性材料からなっている場合は、非磁性層14の材料は、Cr、Ru、Os、Re、Rh、Ir、W、Nb、V、Ta、Moから選ばれる少なくとも1種の元素を含むか、またはそれらの合金であることが好ましい。

【0061】

上記のことから分かるように、スピン注入書き込みを行う場合では、強磁性層18がNi-Co、Ni-Fe、Co-Fe、またはCo-Fe-Niを含む場合は、非磁性層14の材料として好ましいものはCr、Ru、Os、Reから選ばれた少なくとも一種の元素を含むか、またはこれらの合金であり、これらを用いればスピン注入書き込み時の電流を低減することができる。

【0062】

本実施形態の磁気抵抗効果素子も、第1実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0063】

(第1変形例)

次に、第6実施形態の第1変形例による磁気抵抗効果素子の構成を図10に示す。この第1変形例による磁気抵抗効果素子1Hは、第6実施形態による磁気抵抗効果素子1Gにおいて、強磁性層18と上部電極16との間に強磁性層18の磁化の向きを固着する反強磁性層20を設けた構成となっている。これにより、強磁性層18の磁化は、第6実施形態に比べて安定する。

【0064】

なお、この第1変形例も第6実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0065】

(第2変形例)

次に、第6実施形態の第2変形例による磁気抵抗効果素子の構成を図11に示す。この第2変形例による磁気抵抗効果素子1Iは、第2変形例による磁気抵抗効果素子1Hにおいて、強磁性層18を、強磁性層18₁、非磁性層18₂、強磁性層18₃、非磁性層18₄、強磁性層18₅からなる積層構造とした構成となっている。強磁性層18₁と、強磁性層18₅は、磁化固着層6の磁化と同じ向きすなわち平行に磁化が固着され、強磁性層18₃は磁化固着層6の磁化と反対の向きすなわち反平行に磁化が固着されている。すなわち、強磁性層18はシンセティックな反強磁性結合を有している。強磁性層18は、第1変形例に比べて体積が大きくすることが可能となり、磁化がより安定することになる。

【0066】

なお、この第2変形例も第1変形例と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層1

10

20

30

40

50

0においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0067】

(第3変形例)

次に、第6実施形態の第3変形例による磁気抵抗効果素子の構成を図12に示す。この第3変形例の磁気抵抗効果素子1Jは、第6実施形態の磁気抵抗効果素子1Gにおいて、磁化固着層となる強磁性層6を強磁性層6Aに置き換えた構成となっている。この強磁性層6Aは、トンネルバリア層8との接合面積は変わらないが、強磁性層6に比べて体積が大きくなるように構成されている。したがって、第3変形例においては、第6実施形態に比べて、磁化固着層となる強磁性層6Aの体積が大きい。このため、スピン注入書き込み時の磁化固着層の磁化は第1実施形態に比べてより安定性を増すことになる。

10

【0068】

なお、第3変形例も、第6実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0069】

(第7実施形態)

次に、本発明の第7実施形態による磁気メモリの構成を図13に示す。この実施形態による磁気メモリは、第3実施形態の磁気メモリにおいて、磁気抵抗効果素子1Aを、第6実施形態の第3変形例による磁気抵抗効果素子1Jに置き換えた構成となっている。

20

【0070】

この実施形態の磁気メモリは、メモリ素子として第6実施形態の第3変形例による磁気抵抗効果素子1Jを備えているため、第6実施形態の第3変形例と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。なお、スピン書き込み時における磁化固着層の磁化の安定性を保つためには、磁化固着層の体積をなるべく大きくしたほうがよい。

【0071】

なお、本実施形態による磁気メモリにおいては、磁気記憶素子として第6実施形態の第3変形例による磁気抵抗効果素子を用いたが、第6実施形態、第1変形例、または第2変形例による磁気抵抗効果素子を用いてもよい。

30

【0072】

(変形例)

次に、第7実施形態の変形例による磁気メモリの構成を図14に示す。この変形例による磁気メモリは、第7実施形態による磁気メモリにおいて、磁気抵抗効果素子1Jを磁気抵抗効果素子1Kに置き換えた構成となっている。磁気抵抗効果素子1Kは、磁気抵抗効果素子1Jの反強磁性層4および磁化固着層6Aを、反強磁性層と強磁性層が交互に積層された積層膜6Bに置き換えた構成となっている。積層膜6Bの強磁性層は反強磁性層との交換結合により磁化が固着され、磁化固着層となる。そして、第7実施形態の反強磁性層4および磁化固着層6Aの積層膜の形状と、この変形例の積層膜6Bの形状はほぼ同一となっている。また、積層膜6Bはトンネルバリア層8に接する層が強磁性層であるように構成する必要があるが、引き出し電極40に接する層が強磁性層または反強磁性層であるように構成してもよい。

40

【0073】

この変形例も、第7実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。なお、この変形例は、磁化固着層となる積層膜6Bの総体積が第7実施形態の磁化固着層6Aの体積よりも大きいため、第7実施形態に比べて、スピン書き込み時における磁化固着

50

層の磁化を、より安定に保つことができる。

【0074】

(第8実施形態)

次に、本発明の第8実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図15に示す。第1乃至第7実施形態の磁気抵抗効果素子においては、誘電体で隔てられた強磁性粒を備えた磁気記録層上に設けられる非磁性層14、強磁性層18、反強磁性層20等は連続膜であったが、本実施形態による磁気抵抗効果素子1Lは、磁気記録層となる強磁性層11上に、非磁性層14、磁化が固着された強磁性層18、反強磁性層20、および金属コンタクト層19が積層された柱状の形状の構造部を構成している。すなわち、磁気記録層11、非磁性層14、強磁性層18、反強磁性層20、および金属コンタクト層19は積層されて柱状の構造部を構成し、この柱状の積層構造部が複数個、トンネルバリア層8上にそれぞれ離間して設けられている。そして、複数の柱状に積層された構造部はお互いに層間絶縁膜36によって絶縁されている。各積層構造部の金属コンタクト層19は共通の上部電極16に接続されている。なお、トンネルバリア層8は磁化固着層6上に設けられ、磁化固着層6は反強磁性層4上に設けられ、反強磁性層4は下地層2上に設けられている。強磁性層18の磁化の向きは、磁化固着層6の磁化の向きと同じ方向、すなわち平行となるように固着される。このため非磁性層14は第6実施形態で説明した材料、すなわち強磁性層18の材料に応じて選択した材料を用いる。

10

【0075】

このように構成された本実施形態の磁気抵抗効果素子においては、第1乃至第7実施形態と同様に、強磁性トンネル接合の実効的な接合面積が複数の強磁性層11の、強磁性層6への膜面垂直方向の投影面積で規定されるため、磁気記録層が強磁性体からなる連続膜の場合に比べて実効的な接合面積が小さい。このため、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は発生せず、大きな素子サイズの磁気記録層10においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

20

【0076】

なお、本実施形態においては、柱状の積層構造部は、磁気記録層11、非磁性層14、強磁性層18、反強磁性層20、および金属コンタクト層19から構成されていたが、トンネルバリア層8を含んでもよいし、磁化固着層6の一部を含んでもよい。

30

【0077】

次に、第8実施形態の磁気抵抗効果素子の製造方法を図16乃至図19を参照して説明する。この製造方法は、パターンドメディア作成プロセスを応用したものである。

【0078】

まず、図16(a)に示すように、非磁性基板100上に下地層2、反強磁性層4、磁化が固着された強磁性層6、トンネルバリア層8、強磁性層11、非磁性層14、強磁性層18、反強磁性層20、金属コンタクト層19を積層する。続いて、図16(b)に示すように、金属コンタクト層19上にフォトレジスト24を塗布し、フォトレジスト24をハードベークする。その後フォトレジスト24上に、ジブロックコポリマー26を有機溶剤に溶かしたものをスピコート法で形成する(図16(b)参照)。

40

【0079】

次に、真空中で140 ~ 200 程度の温度で30時間ほど長時間アニールを行なう。すると、アニール中にジブロックコポリマー26は自己組織化による相分離を起こし、15nm ~ 30nmサイズの高島構造が数十nm間隔で整列する(図17(a)参照)。なお、図17(a)では、説明を簡単にするため、高島構造は1個しか表示していない。この自己組織化現象を用いたパターン形成方法は、通常のパターン形成方法、例えば、EB描画、フォトリソグラフィ、X線リソグラフィ、近接場光リソグラフィ、干渉露光法、FIB(Focused Ion Beam)などと比べると安価で短時間に大面積のパターンを形成することができる。その後、酸素プラズマにさらし、ジブロックポリマー部26aのみを選択的に除去する。ジブロックポリマー部26aが除去された部分に穴27が開く(図1

50

7 (b) 参照)。

【 0 0 8 0 】

次に、乳酸で希釈した S O G (スピンオングラス) をスピンコート法で塗布すると、この穴 2 7 内に S O G 2 8 が埋め込まれる (図 1 8 (a) 参照)。その後、酸素プラズマを用いて S O G 2 8 をマスクとして R I E (Reactive Ion Etching) でフォトレジスト 2 4 およびジブロックコポリマー 2 6 をパターンニングする。このとき、S O G で被覆されたフォトレジスト以外のフォトレジストが除去される。このパターンニングされたレジストと S O G 2 8 からなるエッチングマスクを用いて、イオンミリングで図 1 8 (b) に示すように強磁性層 6 の途中までパターンニングする。続いて、エッチングマスクを除去した後、直ちに A l O x または S i O x からなる保護膜 3 4 を形成する (図 1 8 (c) 参照)。

10

【 0 0 8 1 】

次に、図 1 9 (a) に示すように、全面に S O G を塗布してベーキングすることにより層間絶縁膜 3 6 を形成する。その後、層間絶縁膜 3 6 をエッチバックし、金属コンタクト層 1 9 の表面を露出させる (図 1 9 (b) 参照)。続いて、非磁性金属膜を成膜し、パターンニングすることにより上部電極 1 6 を形成する (図 1 9 (c) 参照)。これにより、本実施形態の磁気抵抗効果素子が製造される。

【 0 0 8 2 】

なお、上記製造方法を用いれば、図 2 0 に示す構造の磁気抵抗効果素子 1 M を得ることができる。この磁気抵抗効果素子 1 M は、図 1 5 に示す本実施形態の磁気抵抗効果素子 1 L において、反強磁性層 2 0 を除去した構成となっている。また、図 2 1 に示す構造の磁気抵抗効果素子 1 N を得ることができる。この磁気抵抗効果素子 1 N は、図 1 5 に示す本実施形態の磁気抵抗効果素子 1 L において、強磁性層 1 8 を強磁性層 1 8₁、非磁性層 1 8₂、および強磁性層 1 8₃ が積層された積層膜 1 8 に置き換えた構成となっている。なお、

20

磁気記録層 1 1 に近い強磁性層 1 8₁ の磁化の向きは、磁化固着層 6 の磁化の向きと同じ、すなわち平行となっており、強磁性層 1 8₃ の磁化の向きは、磁化固着層 6 の磁化の向きと反対、すなわち反平行となっている。したがって、強磁性層 1 8 はシンセティックな反強磁性結合を有している。

【 0 0 8 3 】

図 2 0 および図 2 1 に示す磁気抵抗効果素子も本実施形態と同様に、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層 1 0 においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。なお、図 2 1 に示す磁気抵抗効果素子 1 N においては、強磁性層 1 8 が、図 1 5 に示す本実施形態の磁気抵抗効果素子に比べて体積が大きくなるのが可能となり、磁化がより安定することになる。

30

【 0 0 8 4 】

なお、本実施形態、図 2 0 および図 2 1 に示す構造の磁気抵抗効果素子は図 3 に示す磁気メモリの磁気記憶素子として用いることができることはいうまでもない。

【 0 0 8 5 】

また、上記製造方法を第 1 乃至第 7 実施形態の磁気抵抗効果素子の製造に用いれば、強磁性粒 1 1 上に設けられる非磁性層 1 4、強磁性層 1 8、反強磁性層 2 0 等は連続膜ではなく、柱状の積層構造部を構成することになる。

40

【 0 0 8 6 】

なお、第 1 乃至第 8 実施形態において、反強磁性層としては、F e - M n (鉄 - マンガン)、P t - M n (白金 - マンガン)、P t - C r - M n (白金 - クロム - マンガン)、N i - M n (ニッケル - マンガン)、I r - M n (イリジウム - マンガン)、N i O (酸化ニッケル)、F e₂ O₃ (酸化鉄) などを用いることができる。

【 0 0 8 7 】

第 3 実施形態、第 4 実施形態、第 7 実施形態においては、磁気抵抗効果素子の一端に電氣的にビット線が接続されており、磁気抵抗効果素子の他端に読み出し / 書き込み兼用選

50

択トランジスタ60が接続されている。この場合、読み出し/書き込み兼用選択トランジスタ60をONにし、同じ基板上のトンネル磁気抵抗効果素子を利用して“1”か“0”を判定して読み込みを行う。また書き込みは読み出し/書き込み兼用選択トランジスタ60をONにし、スピン注入書き込みを行うことにより“1”か“0”の書き込みを行う。スピン注入による読み出し/書き込み動作では、読み出し電流は書き込み電流より小さく設定される。上記構造により素子面積を容易に小さくすることが出来、スピン注入書き込みが可能となり、小さな書き込み電流でスピン反転が可能になったと考えられる。

【0088】

また、第3実施形態、第4実施形態、第7実施形態の磁気メモリにおいては、磁気抵抗効果素子が記憶する情報を読み出すために上記磁気抵抗効果素子に流すセンス電流を制御するセンス電流制御素子回路、ドライバ、およびシンカーをさらに具備することとなる。

10

【0089】

磁化固着層としては、一方向異方性を、磁気記録層としては、一軸異方性を有することが望ましい。またその厚さは0.1nmから100nmが好ましい。さらに、この強磁性層の膜厚は、超常磁性にならない程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることがより望ましい。

【0090】

磁気記録層として用いる、誘電体で隔てられた強磁性粒としては、Co-Pt, Co-Fe-Pt, Fe-Pt, Co-Fe-Cr-Pt, Co-Cr-Ptからなる群より選ばれ、少なくとも1種を用いることが好ましい。

20

【0091】

磁気記録層においても磁性材料に、Ag(銀)、Cu(銅)、Au(金)、Al(アルミニウム)、Ru(ルテニウム)、Os(オスニウム)、Re(レニウム)、Ta(タンタル)、B(ボロン)、C(炭素)、O(酸素)、N(窒素)、Pd(パラジウム)、Pt(白金)、Zr(ジルコニウム)、Ir(イリジウム)、W(タングステン)、Mo(モリブデン)、Nb(ニオブ)などの非磁性元素を添加して、磁気特性を調節したり、結晶性、機械的特性、化学的特性などの各種物性を調節することができる。

【0092】

(第9実施形態)

次に、本発明の第9実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図22に示す。この実施形態の磁気抵抗効果素子10は、図示しない基板上に設けられた下部電極層72と、下部電極72上に設けられ磁化が可変の磁性体からなる磁気記録層74と、磁気記録層74上に設けられたトンネルバリア層76と、トンネルバリア層76上に離散的に設けられた絶縁層78と、トンネルバリア層76および絶縁層78を覆うように設けられ磁化が固着された磁性体からなる磁化固着層80と、磁気記録層80上に設けられた上部電極層82とを備えている。なお、磁化固着層80は、反強磁性層を付加して磁化を固着することが好ましい。絶縁層78は原子一層分の膜厚であってもよい。

30

【0093】

このように、本実施形態においては、磁気記録層74と磁化固着層80との間のトンネルバリア層76および絶縁層78からなる絶縁体の合計膜厚は、均一ではない。絶縁体の厚さに対してトンネル電流密度は指数関数的に低くなるので、絶縁体の膜厚が均一でない場合のトンネル電流は絶縁体の薄い部分に集中して流れる。すなわち、絶縁層78が設けられたトンネルバリア層76の領域を通して流れる電流密度は、絶縁層78が設けられていないトンネルバリア層76の領域を流れるトンネル電流密度に比べて無視できるほど低い。このため、絶縁体が堆積された領域は高抵抗となり、素子形状の面積に対してトンネル電流の流れている面積は実効的に小さくなる。

40

【0094】

以上説明したように、本実施形態によれば、素子形状の面積に対してトンネル電流の流れる面積が実効的に小さくできるので、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層においても

50

磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0095】

(第10実施形態)

次に、本発明の第10実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図23に示す。この実施形態の磁気抵抗効果素子1Pは、第9実施形態の磁気抵抗効果素子1Oにおいて、トンネルバリア層76と、絶縁層78の配置を逆にした構成となっている。すなわち、本実施形態による磁気抵抗効果素子1Pは、図示しない基板上に設けられた下部電極層72と、下部電極72上に設けられた磁気記録層74と、磁気記録層74上に離散的に設けられた絶縁層78と、磁気記録層74および絶縁層78を覆うように設けられたトンネルバリア層76と、トンネルバリア層76上に設けられた磁化固着層80と、磁気記録層80上に設けられた上部電極層82とを備えている。

10

【0096】

この実施形態も、第6実施形態と同様に、磁気記録層74と磁化固着層80との間のトンネルバリア層76および絶縁層78からなる絶縁体の合計膜厚は、均一ではない。このため、素子形状の面積に対してトンネル電流の流れる面積が実効的に小さくできるので、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0097】

(第11実施形態)

次に、本発明の第11実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を図24に示す。この実施形態の磁気抵抗効果素子1Qは、図22に示す第9実施形態の磁気抵抗効果素子1Oにおいて、トンネルバリア層76と、絶縁層78との間に非磁性層77を設けた構成となっている。すなわち、この実施形態の磁気抵抗効果素子1Qは、図示しない基板上に設けられた下部電極層72と、下部電極72上に設けられた磁気記録層74と、磁気記録層74上に設けられたトンネルバリア層76と、トンネルバリア層76上に離散的に設けられた非磁性層77と、この非磁性層77の表面を覆うように設けられた絶縁層78と、トンネルバリア層76および絶縁層78を覆うように設けられた磁化固着層80と、磁気記録層80上に設けられた上部電極層82とを備えている。絶縁層78は、非磁性層77の表面を酸化することによって形成してもよい。

20

30

【0098】

なお、非磁性層77は、Mg、Al、Ga、In、Hf、Ta、半導体、および希土類元素から選択された少なくとも一つの元素を含むか、これらの化合物または合金であることが好ましい。

【0099】

この実施形態においても、絶縁層78が設けられたトンネルバリア層76の領域を通して流れる電流密度は、絶縁層78が設けられていないトンネルバリア層76の領域を流れるトンネル電流密度に比べて無視できるほど低い。このため、絶縁体が堆積された領域は高抵抗となり、素子形状の面積に対してトンネル電流の流れている面積は実効的に小さくなる。

40

【0100】

以上説明したように、本実施形態によれば、素子形状の面積に対してトンネル電流の流れる面積が実効的に小さくできるので、書き込み時にスピン偏極した電流を流してもこの書き込み電流による環状磁界は非常に小さく、大きな素子サイズの磁気記録層においても磁化が安定して反転することになり、書き込み動作を確実に行うことができる。

【0101】

なお、上記第9乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、磁気記録層74には非磁性元素(例えばCrまたはPt)を添加することにより粒界を形成し、絶縁層78が設けられていない領域より小さな磁区を形成してもよい。すなわち、磁気記録層74は非磁性元素を含む強磁性材料、例えばCoCrPt、CoFeCrPt等から形成すればよい。こ

50

の場合、小さな磁区により磁気記録層74における電流の流れる領域と流れない領域が磁氣的に分かれる。このように小さな磁区を形成することにより、磁気記録層74の電流が流れる領域のみをスピン注入により磁化反転させることが可能となり、さらに書き込み動作を確実に行うことができる。

【0102】

また、第9乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、素子形状を小さくすることなく、磁気抵抗効果素子のスピン注入による磁化反転が実現できる。

【0103】

また、第9乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、磁気記録層74上にトンネルバリア層76を設け、トンネルバリア層76上に絶縁層78を設け、トンネルバリア層76および絶縁層78を覆うように磁化固着層89を設けたが、磁気記録層74と磁化固着層80の配置を逆にしてもよい。

【0104】

また、第9乃至第11実施形態の磁気抵抗効果素子は、図3乃至図4に示す第3乃至第4実施形態による磁気メモリのメモリ素子（磁気抵抗効果素子）として用いることができる。この場合、第3乃至第4実施形態の場合と同様に、スピン書き込み時における磁化固着層の磁化の安定性を保つために、磁化固着層の体積をなるべく大きくしたほうがよい。

【0105】

第1乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、磁気抵抗効果素子の磁性層は、Ni-Fe、Co-Fe、Co-Fe-Ni合金、または、(Co, Fe, Ni) - (Si, B)、(Co, Fe, Ni) - (Si, B) - (P, Al, Mo, Nb, Mn)系またはCo - (Zr, Hf, Nb, Ta, Ti)系などのアモルファス材料、 $Fe_2(Cr_x Ni_{1-x})Al$ 、 $Co_2(Cr_x Fe_{1-x})Al$ 、 Co_2MnSi 、 Co_2MnAl 系などのホイスラー材料、Co-Pt系、Co-Fe-Pt系、Fe-Pt系、Co-Fe-Cr-Pt系、Co-Cr-Pt系からなる群より選ばれる少なくとも1種の薄膜またはそれらの積層膜で構成される。なお、“-”は含まれる成分を示し、“(,)”は括弧内の少なくとも1つの元素が選択されることを意味している。

【0106】

第1乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、磁気記録層における磁性材料に、Ag（銀）、Cu（銅）、Au（金）、Al（アルミニウム）、Ru（ルテニウム）、Os（オスニウム）、Re（レニウム）、Ta（タンタル）、B（ボロン）、C（炭素）、O（酸素）、N（窒素）、Pd（パラジウム）、Pt（白金）、Zr（ジルコニウム）、Ir（イリジウム）、W（タングステン）、Cr（クロム）、Mo（モリブデン）、Nb（ニオブ）、Mg（マグネシウム）などの非磁性元素を添加して、磁気特性を調節するばかりでなく、結晶性、機械的特性、化学的特性などの各種物性を調節することができる。

【0107】

特に、磁気記録層が強磁性層を少なくとも2つ含む積層膜の場合には、トンネルバリア層に近い強磁性層には磁気抵抗効果による抵抗変化率が大きくなるCo-Fe、Co-Fe-Ni、FeリッチNi-Feを用い、トンネルバリア層と接していない強磁性層にはNiリッチNi-Fe、NiリッチNi-Fe-Coなどを用いると抵抗変化率を大きく保ったまま、書き込み電流を低減でき、より好ましい。

【0108】

添加する非磁性材料としては、Ag（銀）、Cu（銅）、Au（金）、Al（アルミニウム）、Ru（ルテニウム）、Rh（ロジウム）、Os（オスニウム）、Re（レニウム）、Si（シリコン）、Bi（ビスマス）、Ta（タンタル）、B（ボロン）、C（炭素）、Pd（パラジウム）、Pt（白金）、Zr（ジルコニウム）、Ir（イリジウム）、W（タングステン）、Cr（クロム）、Mo（モリブデン）、Nb（ニオブ）またはそれら合金を用いることができる。

【0109】

また第5乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、磁気記録層として、軟磁性層/強

10

20

30

40

50

磁性層という2層構造、または強磁性層/軟磁性層/強磁性層という3層構造を用いてもよい。また磁気記録層として、強磁性層/非磁性層/強磁性層という3層構造または強磁性層/非磁性層/強磁性層/非磁性層/強磁性層という5層構造を用いて、強磁性層の層間の交互作用の強さを制御することにより、メモリセルである磁気記録層のセル幅がサブミクロン以下になっても、スピン注入の書き込み電流を増大させずに済むという好ましい効果が得られる。スピン注入書き込みの場合は、特に層間の相互作用としてはその相互作用の強さが2000e以下であることが好ましい。また、その交換相互作用の符号は正(強磁性的)であることがより好ましい。層間の相互作用の強さ、符号を選ぶことによって電流を低減することが可能となる。この際、強磁性層の種類、膜厚を変えてもかまわない。

10

【0110】

また第1乃至第11実施形態のそれぞれにおいては、磁化固着層として用いる強磁性層には、反強磁性膜を付加して磁化を固着することが望ましい。反強磁性膜としては、Fe-Mn(鉄-マンガン)、Pt-Mn(白金-マンガン)、Pt-Cr-Mn(白金-クロム-マンガン)、Ni-Mn(ニッケル-マンガン)、Ir-Mn(イリジウム-マンガン)、NiO(酸化ニッケル)、Fe₂O₃(酸化鉄)などを用いることができる。

【0111】

また、磁化固着層と磁気記録層を構成する磁性体にも、Ag(銀)、Cu(銅)、Au(金)、Al(アルミニウム)、Mg(マグネシウム)、Si(シリコン)、Bi(ビスマス)、Ta(タンタル)、B(ボロン)、C(炭素)、O(酸素)、N(窒素)、Pd(パラジウム)、Pt(白金)、Zr(ジルコニウム)、Ir(イリジウム)、W(タングステン)、Cr(クロム)、Mo(モリブデン)、Nb(ニオブ)などの非磁性元素を添加して、磁気特性を調節するだけでなく、結晶性、機械的特性、化学的特性などの各種物性を調節することができる。

20

【0112】

第1乃至第11実施形態のそれぞれにおいて、磁化固着層としては、一方向異方性を、磁気記録層としては、一軸異方性を有することが望ましい。またその厚さは0.1nmから100nmが好ましい。さらに、この強磁性層の膜厚は、超常磁性にならない程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることがより望ましい。

【0113】

第1乃至第11実施形態のそれぞれにおいて、磁気抵抗効果素子としてトンネル接合を用いる場合に、磁化固着層と磁気記録層との間に設けられる絶縁層としては、Al₂O₃(酸化アルミニウム)、SiO₂(酸化シリコン)、MgO(酸化マグネシウム)、AlN(窒化アルミニウム)、Bi₂O₃(酸化ビスマス)、MgF₂(フッ化マグネシウム)、CaF₂(フッ化カルシウム)、SrTiO₃(チタン酸ストロンチウム)、LaAlO₃(ランタンアルミネート)、Al-N-O(酸化窒化アルミニウム)、HfO(酸化ハフニウム)などの各種の絶縁体を用いることができる。

30

【0114】

これらの化合物は、化学量論的にみて完全に正確な組成である必要はなく、酸素、窒素、フッ素などの欠損、あるいは過不足が存在していてもよい。また、この絶縁層の厚さは、トンネル電流が流れる程度に薄いほうが望ましく、実際上は、10nm以下、より好ましくは2nm以下であることが望ましい。

40

【0115】

このような磁気抵抗効果素子は、各種スパッタ法、蒸着法、分子線エピタキシャル法などの通常の薄膜形成手段を用いて、所定の基板上に形成することが出来る。この場合の基板としては、Si(シリコン)、SiO₂(酸化シリコン)、Al₂O₃(酸化アルミニウム)、スピネル、AlN(窒化アルミニウム)など各種の基板を用いることができる。

【0116】

また、基板の上に下地層や保護層、ハードマスクなどとして、Ta(タンタル)、Ti(チタン)、Pt(白金)、Pd(パラジウム)、Au(金)、Ti/Pt(チタン/白

50

金)、Ta/Pt(タンタル/白金)、Ti/Pd(チタン/パラジウム)、Ta/Pd(タンタル/パラジウム)、Cu(銅)、Al-Cu(アルミニウム-銅)、Ru(ルテニウム)、Ir(イリジウム)、Os(オスミウム)Rh(ロジウム)などからなる層を設けてもよい。

【0117】

以下、実施例を参照して本発明の実施形態をさらに詳細に説明する。

【0118】

(実施例1)

まず、本発明の実施例1として、図1および図3に示すTMR構造を有する磁気抵抗効果素子の試料を作製した。

10

【0119】

この磁気抵抗効果素子の試料の製造手順は、以下の通りである。

【0120】

まず、SiO₂基板上に、Ta(50nm)/Ru(10nm)の積層膜からなる下地電極、PtMn(20nm)からなる反強磁性層、Co₉₀Fe₁₀(5nm)からなる磁化固着層、AlO_x(1.4nm)からなるトンネルバリア層、AlO_xからなる誘電体で隔てられたCo₈₀Pt₂₀からなる強磁性粒を有する膜厚2.0nmの磁気記録層、Ru(15nm)からなる非磁性層、Ta(150nm)からなるコンタクト層をスパッタにより順次成膜した。なお、括弧内の数値は膜厚を示す。なお、磁気記録層は強磁性体と誘電体を同時にスパッタリングし、成膜される基板に高周波のバイアスを印加することにより形成される。この方法によって形成される強磁性粒のサイズは20nm~100nmの大きさとなる。高周波のバイアスを基板に印加しながら誘電体と強磁性体を同時に成膜すると、強磁性粒の粒径をそろえることができ、スピン注入書き込みで最適である。今回の実験で粒の面積の誤差範囲は5%以下に抑えられることが分かった。

20

【0121】

膜厚1.4nmのAlO_xからなるトンネルバリア層は、膜厚6nmのAlを成膜した後、そのままの位置(in situ)で純酸素を用いて自然酸化するプロセスを2回繰り返して作製した。その後、断面TEM(Transmission Electron Microscope)でAlO_x層の膜厚を調べたところ、膜厚1.2nmのAlが酸化されAlO_xは膜厚が1.4nmになっていることが分かった。

30

【0122】

トンネル接合の形成は接合面積を規定する部分だけはEB(Electron Beam)描画装置を用い、その他はKrFステッパ装置を用いてパターンニングした。接合分離を行う際、図1に示すように磁化固着層を完全に切りきったサンプル(試料1)と、図3に示すように磁化固着層の途中で接合分離をストップした試料2を作製した。接合面積が0.1×0.1μm²である試料1,2をそれぞれ試料1-1,試料2-1とし、接合面積が0.1×0.15μm²である試料1,2をそれぞれ試料1-2,試料2-2とし、接合面積が0.2×0.3μm²である試料1,2をそれぞれ試料1-3,試料2-3とし、接合面積が0.25×0.35μm²である試料1,2をそれぞれ試料1-4,試料2-4とするものを作製した。

40

【0123】

接合分離を行った後、SiO_xからなる膜厚35nmの保護膜を成膜し、Ta/Ruからなる下地電極をパターンニングし、ミリングにより形成した後、層間絶縁膜を成膜する。続いて、エッチバックでコンタクト層を露出させた後、コンタクトクリーニングを行い、Ti(15nm)/Al(300nm)/Ti(15nm)からなる上部電極をスパッタし、RIE(Reactive Ion Etching)法によってパターンニングした。

【0124】

その後、磁性層の長軸方向に磁場を印加して、280で10時間アニールを行い一軸異方性を付与した。

【0125】

50

まず、外部磁界で磁気抵抗効果を測定したところ、磁化固着層の磁気モーメントと、誘電体で隔てられた強磁性粒を有する磁気記録層の磁気モーメントが平行または反平行になる磁場が存在し(図25(a)、(b)参照)、MR変化率は全ての試料で $26\% \pm 1\%$ の範囲に入っていることが分かった。なお、上記各試料に対して、膜厚15nmのRuからなる非磁性層および膜厚150nmのTaからなる金属コンタクト層を、膜厚7nmのRuからなる非磁性層、膜厚5nmの $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ からなる磁化が固着された強磁性層、膜厚20nmのPtMnからなる反強磁性層、膜厚10nmのRuおよび膜厚150nmのTaからなる金属コンタクト層に置き換えたもの、すなわち非磁性層と金属コンタクト層との間に第2磁化固着層を設けた試料を作成し、外部磁界で磁気抵抗を測定したところ、すべての試料に対してMR変化率は $26\% \pm 1\%$ の範囲に入っていた。このことは、第2磁化固着層も外部磁場によって磁化の向きが反転しているはずであるが、この磁化の向きの反転は磁気抵抗変化に効いていないことがわかる。

10

【0126】

図25(a)、(b)から明らかのように、誘電体で隔てられた強磁性粒を有する磁気記録層の飽和磁化は、上記強磁性粒の材料にCo-Ptを用いたことおよび磁気記録層の膜厚が薄いことのため、小さいが、Co-Ptの保磁力が大きいため、熱揺らぎに対する磁気記録層の熱安定性は良いことが分かる。

【0127】

図26(a)、(b)に電流-電圧特性を示す。約400mVのところで電流注入によるスピン反転が実現され、抵抗変化が観測された。電流注入によるスピン反転電流が試料1, 試料2でほとんど変化していないことから、誘電体で隔てられた強磁性粒を有する磁気記録層がスピン反転していることがわかる。スピン反転の電流密度は磁気記録層の磁化の向きを磁化固着層に対して反平行から平行の向きに反転させる場合は $1.3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 、逆に平行から反平行へ反転させる場合は $1.5 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ と見積もられる。なお、第2磁化固着層を設けた場合は、スピン反転の電流密度は磁気記録層の磁化の向きを磁化固着層に対して反平行から平行の向きに反転させる場合は $0.6 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 、逆に平行から反平行へ反転させる場合は $0.75 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ と見積もられる。すなわち、第2磁化固着層を設けた場合は、設けない場合に比べてスピン反転の電流密度は1/2以下となる。

20

【0128】

図26(b)に示したように、 $0.25 \times 0.35 \mu\text{m}^2$ の大きさまで還流磁場による影響は見られず、 $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ の小さい面積の時と反転電流密度は変わらなかった。

30

【0129】

また、接合面積が $0.2 \times 0.3 \mu\text{m}^2$ である試料1-3, 試料2-3に 10^6 回のスピン反転(書き込み)を繰り返した結果を図27に示す。図3に示す構造の試料2-3ではスピン注入に関して安定した特性が得られたが、図1に示す構造の試料1-3ではMR値に不安定性が観測され、図3に示す構造がスピン注入書き込みには好ましいことがわかった。また、第2磁化固着層を設けた場合も同様の結果が得られた。

【0130】

以上説明したように、 $0.25 \times 0.35 \mu\text{m}^2$ の大きさまで環状磁界による影響は見られず、素子サイズが $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ のセルも含め、幅広いサイズで低電流書き込みが可能となる。また、熱揺らぎに対する磁気記録層の熱安定性も得ることができ。また、スピン注入書き込み時の磁化固着層の磁化の安定性も図3に示す構造を用いることにより得ることができ。

40

【0131】

(実施例2)

次に本発明の実施例2として、図4乃至図6に示すTMR構造を有する試料3, 4, 5を作製した。

【0132】

50

この磁気抵抗効果素子の試料 3, 4, 5 の製造手順は実施例 1 と同様である。

【0133】

試料は以下の構造を作製した。

【0134】

(試料 3 の構成)

この試料 3 は、図 4 に示す構造を有し、 SiO_2 基板上に Ta (50 nm) / Ru (10 nm) からなる下地電極、 PtMn (15 nm) からなる反強磁性層と $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm) からなる磁化固着層との積層膜を 2 層積層した積層構造、 AlOx (1.4 nm) からなるトンネルバリア層、 AlOx からなる誘電体で隔てられた ($\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$)₈₀ Pt_{20} からなる強磁性粒を有する磁気記録層、 Ru (15 nm) からなる非磁性層、および Ta (150 nm) からなるコンタクト層を備えている。

【0135】

(試料 4 の構成)

この試料 4 は、図 5 に示す構造を有し、 SiO_2 基板上に Ta (50 nm) / Ru (10 nm) からなる下地電極、 PtMn (15 nm) からなる反強磁性層と $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm) からなる磁化固着層との積層膜を 2 層積層した積層構造、 AlOx (1.4 nm) からなるトンネルバリア層、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3.0 nm) からなる磁気記録層、 Ru (14 nm) からなる非磁性層、および Ta (150 nm) からなるコンタクト層を備えている。

【0136】

(試料 5 の構成)

この試料 5 は、図 6 に示す構造を有し、 SiO_2 基板上に Ta (50 nm) / Ru (10 nm) からなる下地電極、 PtMn (15 nm) からなる反強磁性層、 Ru (0.9 nm) からなる非磁性層を介して $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm) からなる磁化固着層を 2 層積層した積層構造、 AlOx (1.4 nm) からなるトンネルバリア層、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3.0 nm) からなる磁気記録層、 Ru (14 nm) からなる非磁性層、および Ta (150 nm) からなるコンタクト層を備えている。

【0137】

接合面積は全て $0.1 \times 0.15 \mu\text{m}^2$ である。外部磁界で MR 値を測定したところ、試料 3, 4, 5 に対してそれぞれ 26%, 31.5%, 32% であった。この試料にスピン注入書き込みを行い、 10^6 回のスピン反転を繰り返した結果を図 28 に示す。図 4、図 5、図 6 に示す構造では、スピン注入に関して安定した特性が得られたが、図 27 に示す試料 1 - 3 では MR 値に不安定性が観測され、図 4、図 5、図 6 に示す構造がスピン注入書き込み構造として好ましいことが分かった。

【0138】

以上説明したように、スピン注入書き込み時の磁化固着層の磁化の安定性も保つことができることが分かった。

【0139】

(実施例 3)

次に、本発明の実施例 3 として、第 8 実施形態で説明した製造方法を用いて、下地層、反強磁性層、磁化固着層、トンネルバリア層、磁気記録層、および反射層を備えた図 29 に示す試料 6 - 1 ~ 試料 6 - 15 を作成するとともに反射層を備えていない比較例 1 - 1、1 - 2 を作成し、それぞれの電流密度を測定した。これらの試料 6 - 1 ~ 試料 6 - 15 および比較例 1 - 1、比較例 1 - 2 はいずれも、下地層が膜厚 50 nm の Ta および膜厚 10 nm の Ru 、反強磁性層が膜厚 15 nm の PtMn 、磁化固着層が膜厚 5 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、トンネルバリア層が膜厚 1.4 nm の AlOx からなっている。そして、磁気記録層および反射層は第 8 実施形態で説明したように、柱状に積層された構成となっている。なお、各試料および比較例の素子サイズは $0.1 \times 0.15 \mu\text{m}^2$ であり、図 19 (c) に示す保護膜 34 は AlOx 、層間絶縁膜 36 は SiOx を用いた。

【0140】

10

20

30

40

50

また磁気記録層は、試料 6 - 1 ~ 試料 6 - 10、試料 6 - 13 ~ 試料 6 - 14、および比較例 1 - 2 が膜厚 3 nm の $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ であり、試料 6 - 11 ~ 試料 6 - 12、試料 6 - 15 および比較例 1 - 1 が膜厚 4 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ である。

【0141】

試料 6 - 1 は、図 1 に示す第 1 実施形態の磁気抵抗効果素子を上述の製造方法で製造したものであり、非磁性層 14 を膜厚 5 nm の Ru を用いて反射層の機能を持たせた構成となっている。試料 6 - 2 は、図 20 に示す磁気抵抗効果素子であって、非磁性層 14 が膜厚 5 nm の Ru、強磁性層 18 が膜厚 5 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、反強磁性層 19 が膜厚 15 nm の PtMn から構成されている。すなわち、試料 6 - 1 は試料 6 - 2 の強磁性層および反強磁性層を削除した構成となっている。

10

試料 6 - 3 は、試料 6 - 2 の非磁性層 14 を Ru から Cr に換えた構成となっている。試料 6 - 4 は、試料 6 - 3 の非磁性層 14 を Cr から RuCr に換えた構成となっている。

【0142】

試料 6 - 5 は、試料 6 - 1 の非磁性層 14 Ru から Ir に換えた構成となっている。試料 6 - 6 は、試料 6 - 2 の非磁性層 14 を Ru から Ir に換えた構成となっている。すなわち、試料 6 - 5 は試料 6 - 6 の強磁性層および反強磁性層を削除した構成となっている。

試料 6 - 7 は、試料 6 - 1 の非磁性層 14 を Ru から IrRu に換えた構成となっている。試料 6 - 8 は、試料 6 - 2 の非磁性層 14 を Ru から IrRu に置き換えた構成となっている。すなわち、試料 6 - 7 は試料 6 - 8 の強磁性層および反強磁性層を削除した構成となっている。

20

【0143】

試料 6 - 9 は、試料 6 - 2 の非磁性層 14 を Ru から Re に換えた構成となっている。試料 6 - 10 は、試料 6 - 2 の非磁性層 14 を Ru から RuRe に換えた構成となっている。

【0144】

試料 6 - 11 は、試料 6 - 2 の磁気記録層を膜厚 3 nm の $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ から膜厚 4 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ に換えた構成となっている。試料 6 - 12 は、試料 6 - 11 の非磁性層を Ru から Ir に換えた構成となっている。

30

【0145】

試料 6 - 13 は、図 8 に示す第 5 実施形態の変形例による磁気抵抗効果素子を上述の製造方法によって製造したもので、非磁性層 14 が膜厚 5 nm の Cu、強磁性層 18₁ が膜厚 4 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、非磁性層 18₂ が膜厚 0.9 nm の Ru、強磁性層 18₃ が膜厚 5 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、反強磁性層 20 が膜厚 15 nm の PtMn から構成されている。

【0146】

試料 6 - 14 は、図 7 に示す第 5 実施形態による磁気抵抗効果素子を上述の製造方法で製造したものであって、非磁性層が膜厚 5 nm の Cu、強磁性層 18 が膜厚 5 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、反強磁性層 20 が膜厚 15 nm の IrMn から構成されている。

40

【0147】

試料 6 - 15 は、試料 6 - 13 の磁気記録層を膜厚 3 nm の $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ から膜厚 4 nm の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ に換えた構成となっている。

【0148】

なお、試料 6 - 1 ~ 試料 6 - 15 は、反射層上に金属コンタクト層として膜厚 5 nm の Ru 層と膜厚 150 nm の Ta 層が積層され、比較例 1 - 1、比較例 1 - 2 では反射層上に膜厚 155 nm の Ta 層が形成されている。

【0149】

図 29 からわかるように、反射層が非磁性層のみからなる場合（試料 6 - 1、試料 6 - 5、試料 6 - 7 は反射層がない比較例 1 - 2 に比べて電流密度は 2 / 3 倍程度になる。

50

【0150】

また、反射層が非磁性層/強磁性層/反強磁性層からなる場合(試料6-2、試料6-6、試料6-8)は、反射層が非磁性層のみからなる場合(試料6-1、試料6-5、試料6-7)に比べて電流密度は約半分程度となる。

【0151】

また、反射層が非磁性層/強磁性層/反強磁性層から構成されているときに、磁化固着層と、反射層を構成する磁気記録層側の強磁性層の磁化の向きが平行な場合(試料6-2~試料6-4、試料6-6、試料6-8~試料6-10)は、磁化固着層と、反射層を構成する磁気記録層側の強磁性層の磁化の向きが反平行な場合(試料6-13~試料6-15)に比べて電流密度が小さいことがわかる。

10

【0152】

なお、図29に示す電流密度は、平行の向きに反転させる場合の電流密度と逆に平行から反平行へ反転させる場合の電流密度との平均値を示す。

【0153】

また、反射層の材料の違いによる特性をみるために、上記試料6-2~試料6-4、試料6-6、試料6-8、試料6-9に対して反射層の材料を換えた比較例2-1~比較例2-4を作成し、電流密度を測定した結果を図30に示す。比較例2-1は試料6-2の膜厚5nmのRu層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層を膜厚5nmのCu層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層に置き換えた構成であり、比較例2-2は試料6-2の膜厚5nmのRu層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層を膜厚5nmのRh層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層に置き換えた構成であり、比較例2-3は試料6-2の膜厚5nmのRu層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層を膜厚5nmのAg層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層に置き換えた構成であり、比較例2-4は試料6-2の膜厚5nmのRu層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層を膜厚5nmのAu層と膜厚5nmのCo₉₀Fe₁₀層とからなる反射層に置き換えた構成である。なお、比較例2-1~比較例2-4は試料6-2~試料6-4、試料6-6、試料6-8、試料6-9と同様に、反射層上に形成されたPtMnからなる反強磁性層上に、膜厚5nmのRu層と膜厚150nmのTa層からなる金属コンタクト層が設けられている。また、試料6-2~試料6-4、試料6-6、試料6-8、試料6-9および比較例2-1~比較例2-4においては、反射層を構成するCo₉₀Fe₁₀からなる強磁性層はこの強磁性層上に設けられるPtMnからなる反強磁性層によって磁化の向きが固着されるが、この磁化の向きと、トンネルバリア層下に設けられる磁化固着層との磁化の向きは平行となっている。

20

30

【0154】

図29および図30の測定結果からわかるように、反射層の強磁性層がCoを含む強磁性層である場合、この強磁性層に接する非磁性層の材料がCr、Ru、Ir、Reから選ばれる少なくとも1種の元素を含むか、またはそれら合金であるが好ましいことがわかる。

【0155】

また、磁気記録層が磁性粒からなる場合と連続膜からなる場合とを比較するために、磁気記録層が磁性粒からなる試料6-11と、この試料6-11の反射層の膜厚5nmのRu層を膜厚5nmのCr層に置き換えたものを製作して試料6-16とし、試料6-11の反射層の膜厚5nmのRu層を膜厚5nmのRuCr層に置き換えたものを製作して試料6-17とした。また、試料6-11、試料6-16、試料6-17の磁気記録層および反射層を連続膜としたものを製作し、それぞれ比較例3-1、比較例3-2、比較例3-3とした。なお、試料6-11、試料6-16、試料6-17および比較例3-1~比較例3-3においては、反射層を構成するCo₉₀Fe₁₀からなる強磁性層はこの強磁性層上に設けられるPtMnからなる反強磁性層によって磁化の向きが固着されるが、この磁化の向きと、トンネルバリア層下に設けられる磁化固着層との磁化の向きは平行とな

40

50

っている。

【0156】

これらの試料6-11、試料6-16、試料6-17、比較例3-1、比較例3-2、比較例3-3の電流密度を測定した結果を図31に示す。図31に示す結果から磁気記録層が強磁性粒からなる場合のほうが連続膜の場合に比べて電流密度が低いことがわかる。

【0157】

(実施例4)

次に、本発明の実施例4として、図22に示す構造の磁気抵抗効果素子を製作した。この実施例の磁気抵抗効果素子は以下のように形成される。

【0158】

まず、 SiO_2 からなる基板上に超高真空スパッタ装置により、膜厚80nmのTaからなる下部電極層、膜厚5nmのRuからなるバッファ層、膜厚3nmのCoFeCrPtからなる磁気記録層を成膜する。次に、膜厚0.7nmのAlの層を成膜し、純酸素ガスを導入することによりAl層を酸化させ、薄いトンネルバリア層を形成した。その後、酸化Al層の表面全体は覆わない平均膜厚が0.5nmの Al_2O_3 からなる絶縁体を堆積させる。次に、膜厚5nmのCoFeからなる磁化固着層、膜厚15nmのPtMnからなる反強磁性層、膜厚20nmのRuからなるキャップ層の順に成膜する。その後、キャップ層上に膜厚100nmのTaからなる上部電極層を形成する。なお、酸化Al層の表面全体は覆わない平均膜厚が0.5nmの Al_2O_3 からなる絶縁体の形成は、形成される絶縁体が平坦にならないような方法で形成すればよく、平均膜厚が5nm以下であれば表面全体は覆わない絶縁体を形成することができる。このとき、絶縁体のサイズは形成される絶縁体の平均膜厚による。

【0159】

上記積層膜上にレジストで素子形状のレジストパターンを形成した後、このレジストパターンをマスクとして反応性エッチングを用いて上部電極層をパターンニングし、上部電極を形成すると同時に素子形状が形成される。レジストパターンを剥離した後、素子部分を除いてイオンミリングによりキャップ層、磁気記録層、トンネルバリア層、磁化固着層をエッチングする。その後、膜厚50nmの SiO_2 からなる絶縁層を成膜し、素子を SiO_2 で覆う。次に、下部電極のパターンをレジストで形成し、反応性イオンエッチングにより下部電極層をパターンニングし、レジストを剥離する。膜厚300nmの SiO_2 から

【0160】

平坦化レジストを塗布した後、反応性イオンエッチングにより平坦化レジストおよび SiO_2 絶縁層をエッチングし、素子の上部電極が現れたところでエッチングを止めた。その後、膜厚60nmのTi、膜厚180nmのAl、膜厚60nmのTiを成膜する。次にレジストにより、上部配線層のパターンを形成し、反応性イオンエッチングにより上部配線のパターンニングを行う。レジストを剥離した後、磁性層の長軸方向に磁場を印加しながら、280℃でアニールを行った。

【0161】

このような製造方法により素子形状が $0.4 \times 0.8 \mu\text{m}^2$ の面積の素子が形成できた。図32に示すように、この素子の電流-電圧特性においてはスピン注入磁化反転による抵抗変化を示した。磁気記録層の磁化が平行から反平行へ磁化反転する電圧は320mV、電流は59 μA であった。

【0162】

本実施例では Al_2O_3 からなる絶縁体を堆積した領域が高抵抗になり、実効的にトンネル電流の流れる面積を小さくすることができた。また、磁気記録層にCrおよびPtが粒界を形成しているため磁気記録層は小さな磁区が形成されており、スピン反転する領域の体積が小さくなっている。そのためスピン反転が容易になり、スピン反転の電流密度を低くすることができた。本実施例ではスピン注入による磁化反転が実現され、23%の抵抗変化が得られた。本実施例の構造は、低電流でスピン注入磁化反転ができ、大容量メモ

10

20

30

40

50

りとして適していることがわかった。

【0163】

(実施例5)

次に、本発明の実施例5として、図23に示す構造の磁気抵抗効果素子を製作した。この実施例の磁気抵抗効果素子は以下のように形成される。

【0164】

まず、 SiO_2 からなる基板上に超高真空スパッタ装置により、膜厚80nmのTaからなる下部電極層、膜厚5nmのCrからなるバッファ層、膜厚3nmのCoCrPtからなる磁気記録層を成膜する。次に、磁気記録層の表面全体は覆わない平均膜厚が0.5nmの Al_2O_3 からなる絶縁体を堆積させた後、膜厚0.7nmのAlの層を成膜し、純酸素ガスを導入することによりAl層を酸化させ、薄いトンネルバリアを形成した。その後、膜厚5nmのCoFeからなる磁化固着層、膜厚15nmのPtMnからなる反強磁性層、膜厚20nmのRuからなるキャップ層の順に成膜する。その後、キャップ層上に膜厚100nmのTaからなる上部電極層を形成する。上記積層膜を上記実施例4と同様に加工し、素子を形成する。

10

【0165】

このような製造方法により素子形状が $0.4 \times 0.8 \mu\text{m}^2$ の面積の素子が形成できた。この素子の電流-電圧特性においてはスピン注入磁化反転による抵抗変化を示した。磁気記録層の磁化が平行から反平行へ磁化反転する電圧は360mV、電流は230 μA であった。

20

【0166】

本実施例では Al_2O_3 からなる絶縁体を堆積した領域が高抵抗になり、実効的にトンネル電流の流れる面積を小さくすることが出来た。また、磁気記録層がCrおよびPtを含んでいるため磁気記録層は小さな磁区が形成されており、スピン反転する領域の体積が小さくなっている。そのためスピン反転が容易になり、スピン反転の電流密度を低くすることができた。本実施例ではスピン注入による磁化反転が実現され、17%の抵抗変化が得られた。本実施例の構造は、低電流でスピン注入磁化反転ができ、大容量メモリとして適していることがわかった。

【0167】

(実施例6)

次に、本発明の実施例6として、図24に示す構造の磁気抵抗効果素子を製作した。この実施例の磁気抵抗効果素子は以下のように形成される。

30

【0168】

まず、 SiO_2 からなる基板上に超高真空スパッタ装置により、膜厚80nmのTaからなる下部電極層、膜厚5nmのRuからなるバッファ層、膜厚3nmのCoFeCrPtからなる磁気記録層を成膜する。次に、膜厚0.7nmのAlの層を成膜し、純酸素ガスを導入することによりAl層を酸化させ、薄いトンネルバリアを形成した。その後、酸化Al層の表面全体は覆わない平均膜厚が0.4nmのAlを堆積させ、純酸素を導入して堆積させたAlの表面を酸化させる。次に、膜厚5nmのCoFeからなる磁化固着層、膜厚15nmのPtMnからなる反強磁性層、膜厚20nmのRuからなるキャップ層の順に成膜する。その後、キャップ層上に膜厚100nmのTaからなる上部電極層を形成する。上記積層膜を上記実施例1と同様に加工し、素子を形成する。

40

【0169】

このような製造方法により素子形状が $0.4 \times 0.8 \mu\text{m}^2$ の面積の素子が形成できた。この素子の電流-電圧特性においてはスピン注入磁化反転による抵抗変化を示した。磁気記録層の磁化が平行から反平行へ磁化反転する電圧は290mV、電流は53 μA であった。

【0170】

本実施例では、表面を覆わないように堆積させたAlの表面を酸化させた領域が高抵抗になり、実効的にトンネル電流の流れる面積を小さくすることができた。また、磁気記録

50

層がCrおよびPtを含んでいるため磁気記録層は小さな磁区が形成されており、スピン反転する領域の体積が小さくなっている。そのためスピン反転が容易になり、スピン反転の電流密度を低くすることができた。本実施例ではスピン注入による磁化反転が実現され、28%の抵抗変化が得られた。本実施例の構造は、低電流でスピン注入磁化反転ができ、大容量メモリとして適していることがわかった。

【0171】

(実施例7)

本発明の実施例7として、実施例4で磁気記録層にCoCrPtを用いた磁気抵抗効果素子を製作した。この実施例の磁気抵抗効果素子は以下のように形成される。

【0172】

磁気記録層の材料にCoCrPtを用い、それ以外は実施例4と同じ作製プロセスにより磁気抵抗効果素子を作製した。このような製造方法により $0.08 \times 0.3 \mu\text{m}^2$ の小面積の素子が形成できた。本実施例では小面積の素子を形成できたため、電流注入によるスピン反転が実現され、21%の抵抗変化が得られた。スピン反転の電流密度は磁気記録層の磁化の向きを磁化固着層に対して反平行から平行の向きに反転させる場合は $7.3 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ 、逆に平行から反平行へ反転させる場合は $1.1 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ と見積もられる。

【0173】

本実施例では添加された非磁性元素Cr及びPtにより磁気記録層に粒界が形成され、小さな磁区が形成されており、スピン反転する領域の体積が小さくなっている。そのためスピン反転が容易になり、スピン反転の電流密度を低くすることができた。

【0174】

本実施例の構造は、低電流でスピン注入書き込みが出来、大容量メモリとして適していることが分かった。

【0175】

(実施例8)

本発明の実施例8として、実施例5で磁気記録層にCoFeCrPtを用いた磁気抵抗効果素子を製作した。この実施例の磁気抵抗効果素子は以下のように形成される。

【0176】

磁気記録層の材料にCoFeCrPtを用い、それ以外は実施例5と同じ作製プロセスにより磁気抵抗効果素子を作製した。このような製造方法により $0.08 \times 0.3 \mu\text{m}^2$ の小面積の素子が形成できた。本実施例では小面積の素子を形成できたため、電流注入によるスピン反転が実現され、21%の抵抗変化が得られた。スピン反転の電流密度は磁気記録層の磁化の向きを磁化固着層に対して反平行から平行の向きに反転させる場合は $7.1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ 、逆に平行から反平行へ反転させる場合は $1.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ と見積もられる。

【0177】

本実施例では添加された非磁性元素Cr及びPtにより磁気記録層に粒界が形成され、小さな磁区が形成されており、スピン反転する領域の体積が小さくなっている。そのためスピン反転が容易になり、スピン反転の電流密度を低くすることができた。

【0178】

本実施例の構造は、低電流でスピン注入書き込みができ、大容量メモリとして適していることが分かった。

【0179】

以上説明したように、本発明の各実施形態によれば、スピン注入による書き込み動作を確実に行うことができる。

【図面の簡単な説明】**【0180】**

【図1】本発明の第1実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。

【図2】本発明の第2実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。

10

20

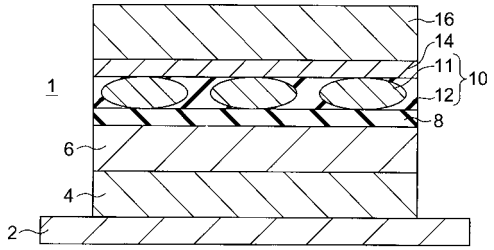
30

40

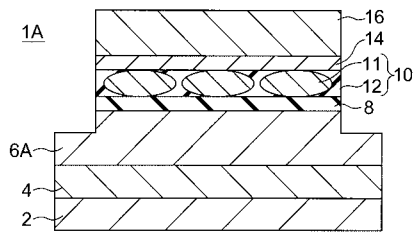
50

- 【図 3】本発明の第 3 実施形態による磁気メモリの構成を示す断面図。
- 【図 4】本発明の第 4 実施例による磁気メモリの構成を示す断面図。
- 【図 5】第 4 実施形態の第 1 変形例による磁気メモリの構成を示す断面図。
- 【図 6】第 4 実施形態の第 2 変形例による磁気メモリの構成を示す断面図。
- 【図 7】本発明の第 5 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 8】第 5 実施形態の変形例による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 9】本発明の第 6 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 10】第 6 実施形態の第 1 変形例による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 11】第 6 実施形態の第 2 変形例による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 12】第 6 実施形態の第 3 変形例による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。 10
- 【図 13】本発明の第 7 実施形態による磁気メモリの構成を示す断面図。
- 【図 14】第 7 実施形態の変形例による磁気メモリの構成を示す断面図。
- 【図 15】本発明の第 8 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 16】本発明の第 8 実施形態による磁気抵抗効果素子の製造工程を示す断面図。
- 【図 17】本発明の第 8 実施形態による磁気抵抗効果素子の製造工程を示す断面図。
- 【図 18】本発明の第 8 実施形態による磁気抵抗効果素子の製造工程を示す断面図。
- 【図 19】本発明の第 8 実施形態による磁気抵抗効果素子の製造工程を示す断面図。
- 【図 20】第 8 実施形態の第 1 変形例による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 21】第 8 実施形態の第 2 変形例による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 22】本発明の第 9 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。 20
- 【図 23】本発明の第 10 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 24】本発明の第 11 実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図。
- 【図 25】本発明の実施例 1 で作製した試料の外部磁場に対する MR 変化率を示すグラフ。
- 。
- 【図 26】本発明の実施例 1 で作製した試料の電流 - 電圧特性を示すグラフ。
- 【図 27】本発明の実施例 1 で作製した試料の書き込み回数に対する MR 変化率を示すグラフ。
- 【図 28】本発明の実施例 2 で作製した試料の書き込み回数に対する MR 変化率を示すグラフ。
- 【図 29】本発明の実施例 3 で作製した試料の電流密度の測定結果を示す図。 30
- 【図 30】本発明の実施例 3 で作製した試料の電流密度の測定結果を示す図。
- 【図 31】本発明の実施例 3 で作製した試料の電流密度の測定結果を示す図。
- 【図 32】本発明の実施例 4 で作製した試料の電流 - 電圧特性を示すグラフ。
- 【符号の説明】
- 【0181】
- 1 磁気抵抗効果素子
- 2 下部電極
- 4 反強磁性層
- 6 磁化固着層
- 8 トンネルバリア層 40
- 10 磁気記録層
- 11 強磁性粒
- 12 誘電体
- 14 非磁性層
- 16 上部電極

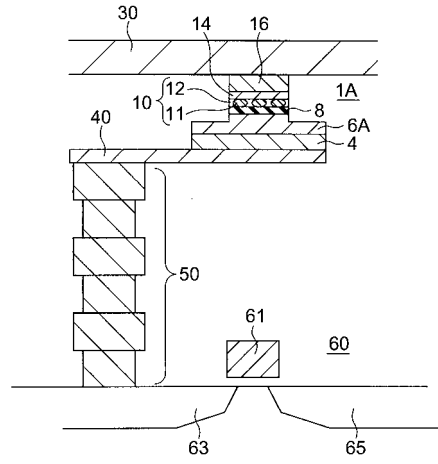
【 図 1 】



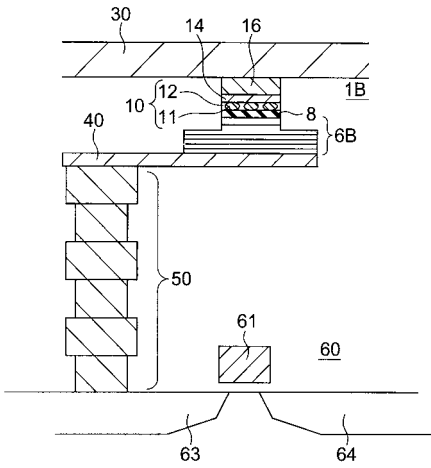
【 図 2 】



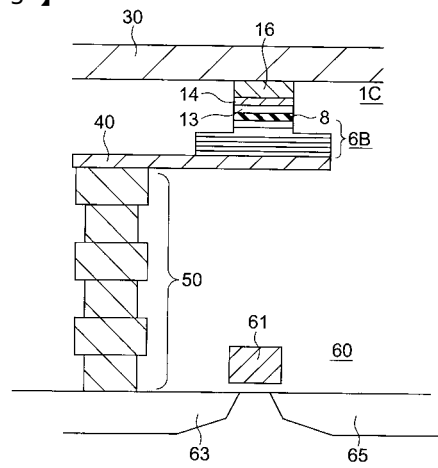
【 図 3 】



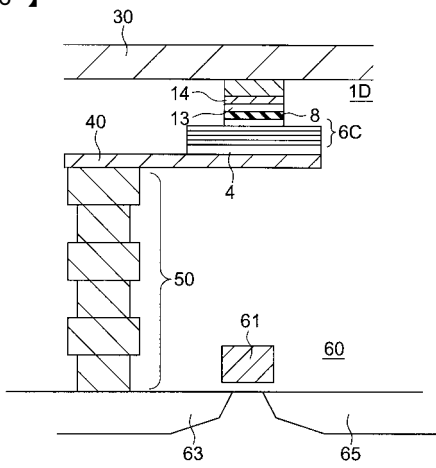
【 図 4 】



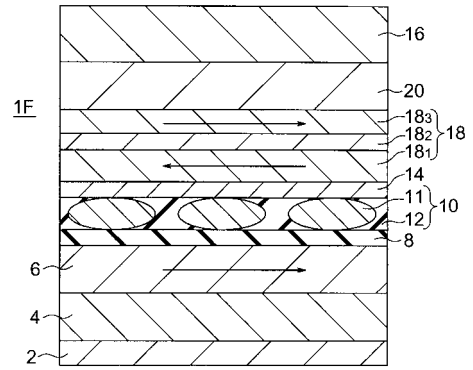
【 図 5 】



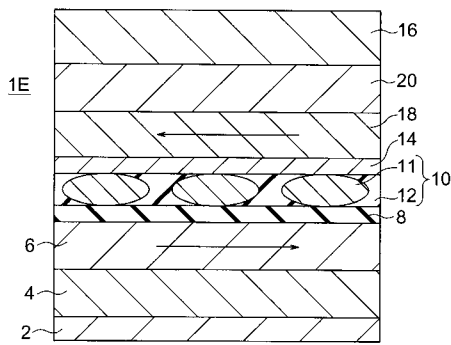
【 図 6 】



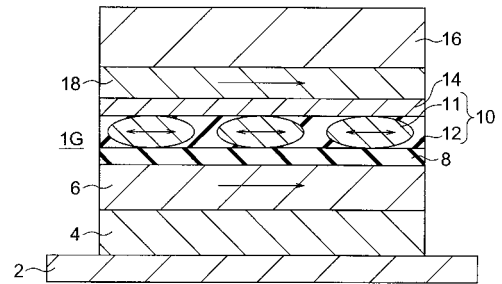
【 図 8 】



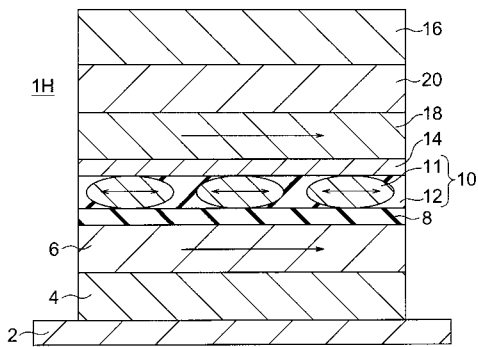
【 図 7 】



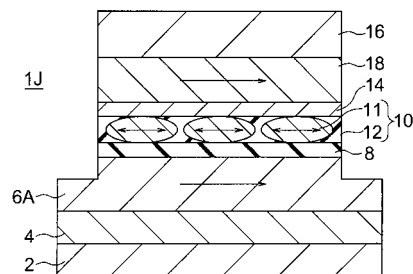
【 図 9 】



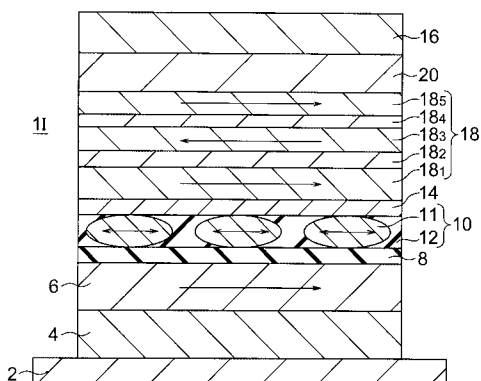
【 図 1 0 】



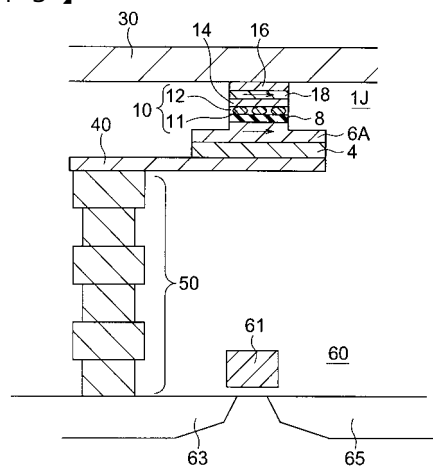
【 図 1 2 】



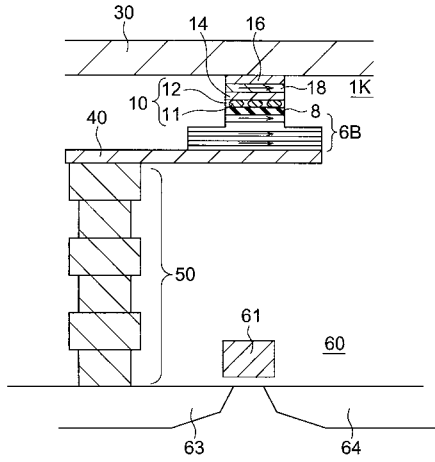
【 図 1 1 】



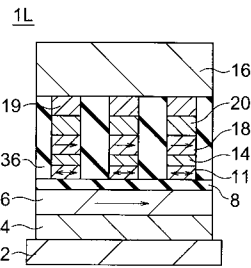
【 図 1 3 】



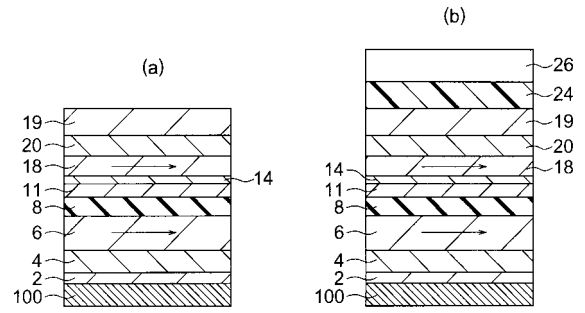
【 図 1 4 】



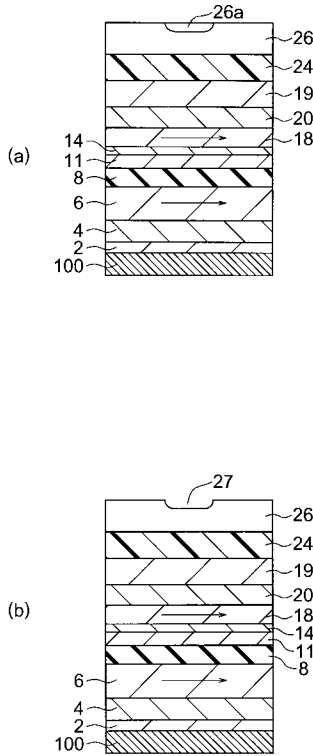
【 図 1 5 】



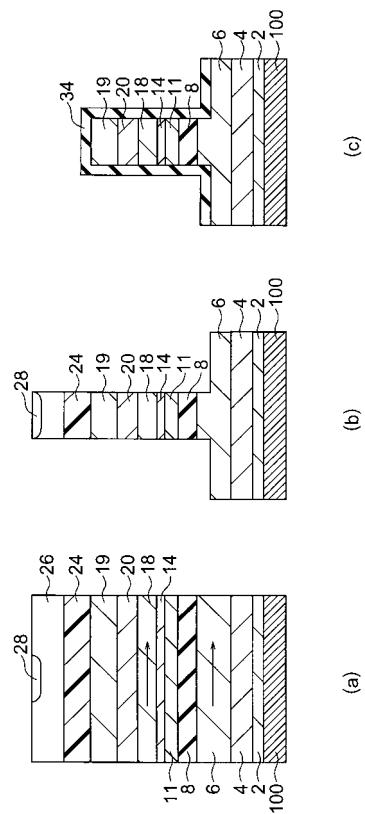
【 図 1 6 】



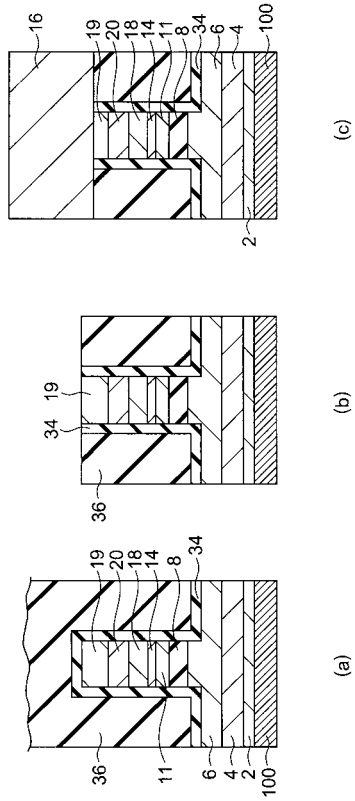
【 図 1 7 】



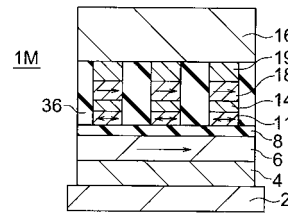
【 図 1 8 】



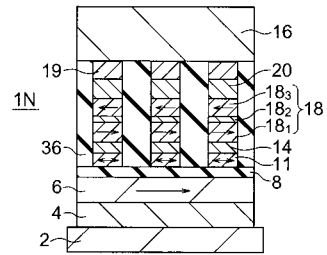
【 図 1 9 】



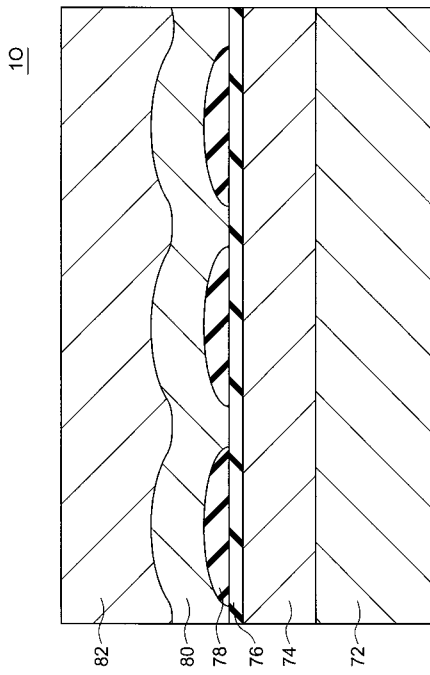
【 図 2 0 】



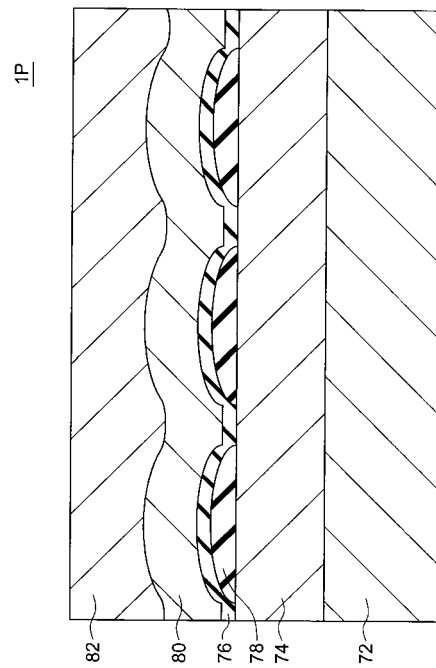
【 図 2 1 】



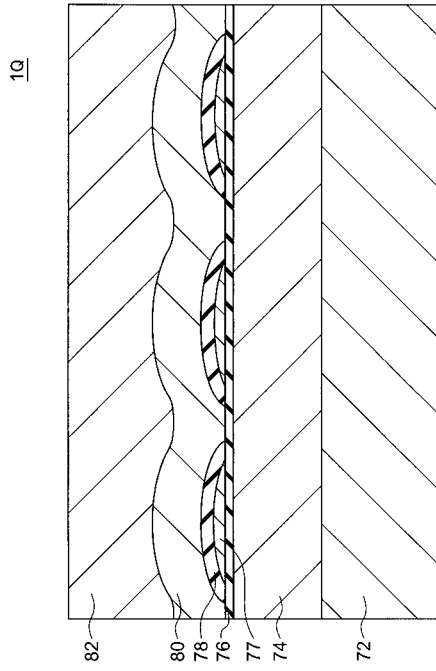
【 図 2 2 】



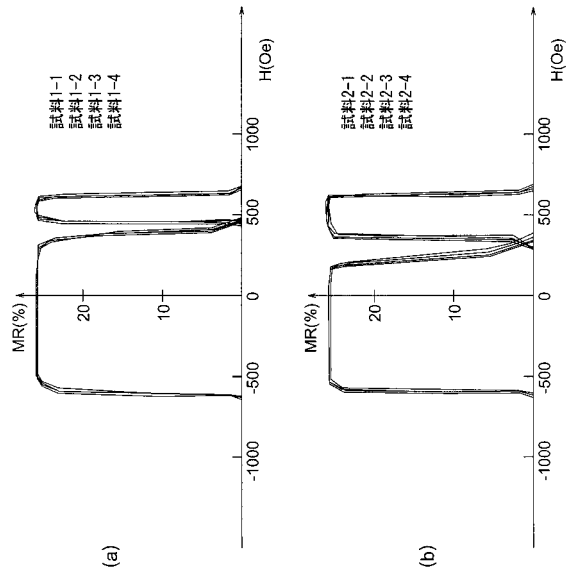
【 図 2 3 】



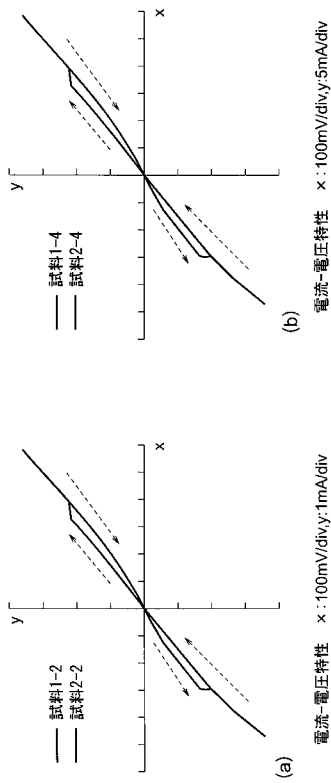
【 図 2 4 】



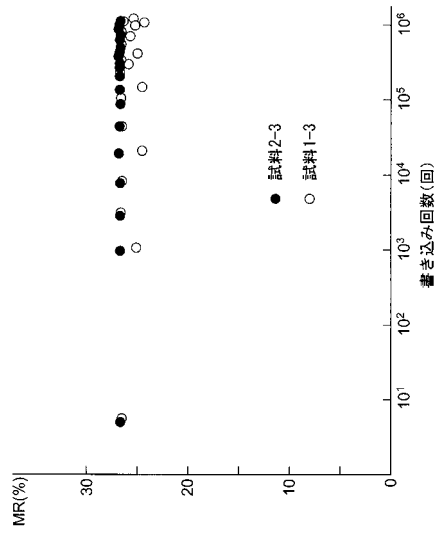
【 図 2 5 】



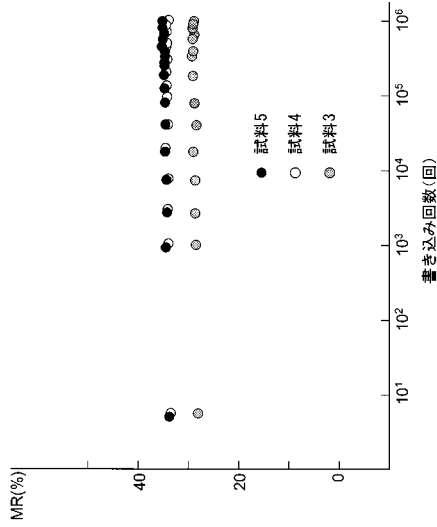
【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 2 9 】

材料名	下地層	反応磁性層	トンネルバリア層	磁気記録層	反射層	電流密度 (A/cm ²)
材料6-2	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.7 × 10 ⁷
材料6-3	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.75 × 10 ⁷
材料6-4	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	RuCr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.65 × 10 ⁷
比較例2-1	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cu (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.2 × 10 ⁷
比較例2-2	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.1 × 10 ⁷
比較例2-3	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ag (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.05 × 10 ⁷
比較例2-4	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Au (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.3 × 10 ⁷
材料6-5	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	1.4 × 10 ⁷
材料6-6	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.7 × 10 ⁷
材料6-7	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	RuCr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.75 × 10 ⁷
材料6-8	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ir (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	1.5 × 10 ⁷
材料6-9	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Re (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.65 × 10 ⁷
材料6-10	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	RuBa (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.65 × 10 ⁷
材料6-11	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.45 × 10 ⁷
材料6-12	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ir (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.55 × 10 ⁷
材料6-13	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cu (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / Ru (0.9nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.8 × 10 ⁷
材料6-14	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cu (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.9 × 10 ⁷
材料6-15	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cu (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / Ru (0.9nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.85 × 10 ⁷
比較例1-1	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	無し	1.8 × 10 ⁷
比較例1-2	Ta (50nm) / Ru (10nm)	CoFeFe ₂ (5nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	無し	2.1 × 10 ⁷

【 図 3 0 】

非磁性層反射材料比較例

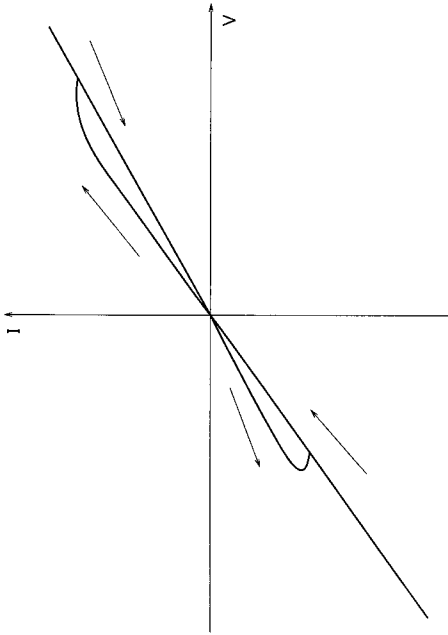
材料名	下地層	反応磁性層	トンネルバリア層	磁気記録層	反射層	電流密度
試料6-2	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.7 × 10 ⁷
試料6-3	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.75 × 10 ⁷
試料6-4	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	RuCr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.65 × 10 ⁷
比較例2-1	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Cu (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.2 × 10 ⁷
比較例2-2	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.1 × 10 ⁷
比較例2-3	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Ag (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.05 × 10 ⁷
比較例2-4	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (3.0nm)	Au (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	2.3 × 10 ⁷

【 図 3 1 】

磁気記録層が磁性粒、連続膜の比較例

材料名	下地層	反応磁性層	トンネルバリア層	磁気記録層	反射層	電流密度
試料6-11	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (4nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.45 × 10 ⁷
試料6-16	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (4nm)	Cr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.55 × 10 ⁷
試料6-17	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (4nm)	RuCr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	0.52 × 10 ⁷
比較例3-1	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (4nm)	Ru (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	1.1 × 10 ⁷
比較例3-2	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (4nm)	Cr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	1.5 × 10 ⁷
比較例3-3	Ta (50nm) / Ru (10nm)	PtMn (15nm)	AlOX (1.4nm)	CoFeFe ₂ (4nm)	RuCr (5nm) / CoFeFe ₂ (5nm) / PtMn (15nm)	1.3 × 10 ⁷

【 図 3 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 斉 藤 好 昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 杉 山 英 行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

Fターム(参考) 5F083 FZ10 GA11 MA06 MA16 MA19