

(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2010-80746

(P2010-80746A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 43/08 (2006.01)	H O 1 L 43/08 Z	4 M 1 1 9
H O 1 L 21/8246 (2006.01)	H O 1 L 27/10 4 4 7	5 F 0 9 2
H O 1 L 27/105 (2006.01)	G 1 1 C 11/15 1 1 0	
G 1 1 C 11/15 (2006.01)		

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2008-248633 (P2008-248633)
 (22) 出願日 平成20年9月26日 (2008.9.26)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成19年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 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 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
 (72) 発明者 小瀬木 淳 一
 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

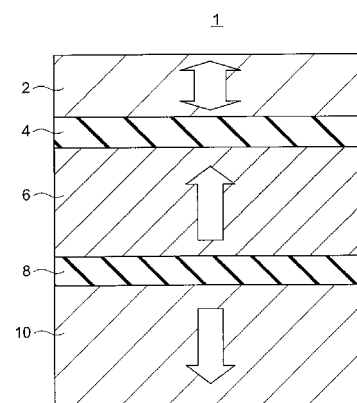
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ

(57) 【要約】

【課題】記憶層にかかる漏れ磁界を可及的に低減することを可能にする。

【解決手段】膜面に垂直方向の磁気異方性を有する強磁性層10と、強磁性層上に設けられた第1の非磁性層8と、第1の非磁性層上に設けられ、かつ膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記強磁性層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ強磁性層の積層方向の膜厚の1/2・8以上1/1・5以下の膜厚を有する参照層6と、参照層上に設けられた第2の非磁性層8と、第2の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極した電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層2と、を備えている。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

膜面に垂直方向の磁気異方性を有する強磁性層と、
 前記強磁性層上に設けられた第 1 の非磁性層と、
 前記第 1 の非磁性層上に設けられ、かつ膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに
 前記強磁性層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記強磁性層の積層方向の膜厚の
 $1/2.8$ 以上 $1/1.5$ 以下の膜厚を有する参照層と、
 前記参照層上に設けられた第 2 の非磁性層と、
 前記第 2 の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極した
 電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層と、
 を備えていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 2】

膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極した電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層と、
 前記記憶層上に設けられた第 1 の非磁性層と、
 前記第 1 の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有する参照層と、
 前記参照層上に設けられた第 2 の非磁性層と、
 前記第 2 の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記
 参照層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記参照層の積層方向の膜厚の 1.5 倍
 以上 2.8 倍以下の膜厚を有する強磁性層と、
 を備えていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

20

【請求項 3】

前記参照層の飽和磁化を M_{s1} 、膜厚を t_1 とし、前記強磁性層の飽和磁化を M_{s2} 、
 膜厚を t_2 とするとき、
 $2.0 < (M_{s2} \times t_2) / (M_{s1} \times t_1) < 3.8$
 の関係を満たす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】

前記参照層のキュリー温度を T_1 、前記強磁性層のキュリー温度を T_2 とするとき、
 $T_1 < T_2$
 の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

30

【請求項 5】

膜面に垂直方向の磁気異方性を有する第 1 の強磁性層と、
 前記第 1 の強磁性層上に設けられた第 1 の非磁性層と、
 前記第 1 の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記
 第 1 の強磁性層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記第 1 の強磁性層の積層方向
 の膜厚の $1/2.8$ 以上 $1/1.5$ 以下の膜厚を有する第 1 の参照層と、
 前記第 1 の参照層上に設けられた第 2 の非磁性層と、
 前記第 2 の非磁性層上に設けられ、かつ膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極
 した電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層と、
 前記記憶層上に設けられた第 3 の非磁性層と、
 前記第 3 の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記
 第 1 の参照層の磁化の向きと反平行の磁化を有する第 2 の参照層と、
 前記第 2 の参照層上に設けられた第 4 の非磁性層と、
 前記第 4 の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記
 第 2 の参照層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記第 2 の参照層の積層方向の膜
 厚の 1.5 倍以上 2.8 倍以下の膜厚を有する第 2 の強磁性層と、
 を備えていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

40

【請求項 6】

前記第 1 および第 2 の参照層の飽和磁化をそれぞれ M_{s11} 、 M_{s12} 、膜厚をそれぞ
 れ t_{11} 、 t_{12} とし、前記第 1 および第 2 の強磁性層の飽和磁化をそれぞれ M_{s21} 、

50

$M s_{22}$ 、膜厚をそれぞれ t_{21} 、 t_{22} とするとき、
 $2.0 (M s_{21} \times t_{21}) / (M s_{11} \times t_{11}) \quad 3.8$ 、および
 $2.0 (M s_{22} \times t_{22}) / (M s_{12} \times t_{12}) \quad 3.8$
 の関係を満たすことを特徴とする請求項 5 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】

前記第 1 の参照層のキュリー温度を T_1 、前記第 1 の強磁性層のキュリー温度を T_2 、
 前記第 2 の参照層のキュリー温度を T_3 、前記第 2 の強磁性層のキュリー温度を T_4 とす
 るとき、

$$T_1 < T_2、および$$

$$T_3 < T_4$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 5 または 6 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子に対して通電を
 行う第 1 及び第 2 の電極と、を含むメモリセルを備えていることを特徴とする磁気メモリ
 。

【請求項 9】

前記第 1 の電極に電氣的に接続された第 1 の配線と、
 前記第 2 の電極に電氣的に接続された第 2 の配線と、
 前記第 1 の配線及び前記第 2 の配線に電氣的に接続され、かつ前記磁気抵抗素子に双方
 向に電流を供給する書き込み回路と、
 をさらに具備することを特徴とする請求項 7 記載の磁気メモリ。

【請求項 10】

前記磁気抵抗素子の前記第 2 の電極と前記第 2 の配線との間に接続される選択トランジ
 スタと、
 前記選択トランジスタのオン / オフを制御する第 3 の配線と、
 をさらに備えていることを特徴とする請求項 9 記載の磁気メモリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、双方向に電流を供給することで情報を記録することが可能な磁気抵抗効果素
 子及びそれを用いた磁気メモリに関する。

【背景技術】

【0002】

トンネル磁気抵抗効果 (TMR : Tunneling Magneto Resistive) を利用する磁気ラン
 ダムアクセスメモリ (MRAM : Magnetoresistive Random Access Memory) は、デー
 タを MTJ (Magnetic Tunnel Junction) 素子の磁化状態により記憶する点に特徴を有する
 。一般に、MTJ 素子は、記憶層と呼ばれる磁性層と、参照層と呼ばれる磁性層と、これ
 らの磁性層間に設けられたトンネルバリア層とを備えている。磁気ランダムアクセスメモ
 リに関しては、実用化に向けて数々の技術が提案されている。例えば、書き込み電流の低
 減を目的として、ヨーク配線構造が提案されている。また、MTJ 素子の構造に関しては
 、GdFe 合金からなる垂直磁化膜を用いた構造 (例えば、非特許文献 1 参照) や、垂直
 磁化膜を用いた積層構造 (例えば、非特許文献 2 参照) 等が提案されている。

【0003】

これらは、基本的に電流により発生する磁場を利用して、磁性層の磁化の向きを反転さ
 せる磁場書き込み方式である。電流により発生する磁場は、当然、電流が大きければ大き
 な磁場を発生できるが、微細化が進むほど配線に流せる電流も制限される。配線と磁性層
 の距離を近づける、あるいは発生する磁場を集中させるヨーク構造を利用することで、磁
 性体の磁化を反転させるために必要な電流値を低減することはできるが、微細化により、
 磁性体の磁化反転に必要な磁場が増大するため、低電流化と微細化の両立が非常に難しい
 。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

微細化により磁性体の磁化反転に必要な磁場が増大するのは、熱擾乱に打ち勝つだけの磁気エネルギーを必要とするためである。磁気エネルギーは磁気異方性エネルギー密度と磁性体の体積を大きくすればよいが、微細化により体積が減少してしまうので、形状磁気異方性エネルギー、結晶磁気異方性エネルギーを利用するのが一般的である。

【 0 0 0 5 】

しかし、上述したように磁性体の持つ磁気エネルギーの増大は反転磁場を増大させるため、低電流化と微細化を両立するのは非常に困難である。結晶磁気異方性エネルギーの大きな垂直磁化膜を導入し、かつ究極的に大きな電流磁場の発生効率を有する完全閉磁路型のヨーク構造が提案されている（例えば特許文献1参照）。しかし、この特許文献1においては、ヨーク構造が磁性体素子に対して大きくなるため、セル面積が比較的大きくなり、微細化、低電流化、セル面積の縮小をすべて満たすことができない。

10

【 0 0 0 6 】

近年、スピン偏極電流による磁化反転が理論的に予想され、実験でも確認されるようになり、スピン偏極電流を利用したMRAMが提案されてきた（例えば、非特許文献3参照）。このMRAMによれば、磁性体にスピン偏極電流を流すだけで、スピン偏極した電子の作用により磁性体の磁化反転を実現でき、磁性体の体積が小さければ注入するスピン偏極電子も少なく済むため、微細化、低電流化を両立できると期待されている。さらに、電流により発生する磁場を利用しないため、磁場を増加させるヨーク構造も必要ではなく、セル面積を縮小できるという利点を持つ。

20

【 0 0 0 7 】

しかし、当然のことながらスピン偏極電流における磁化反転方式においても、熱擾乱の問題は微細化に伴って顕在化する。上述したように、熱擾乱耐性を確保するためには、磁気異方性エネルギー密度を増加させる必要がある。これまで主に検討されている面内磁化型の構成では、形状磁気異方性を利用するのが一般的である。この場合、形状を利用して磁気異方性を確保しているため、磁化反転に必要な電流は形状に敏感になり、微細化に伴い反転電流ばらつきが増加することが問題になる。また、MTJセルのアスペクトも少なくとも1.5以上は必要となるため、セルサイズも大きくなる。磁気抵抗効果素子の磁性層が面内磁化型であって、形状磁気異方性ではなく、結晶磁気異方性を利用する場合、大きな結晶磁気異方性エネルギー密度を有する材料、例えば、ハードディスク媒体で用いられているようなCo-Cr合金材料を用いた場合、結晶軸が面内に大きく分散してしまう。このため、MR比(Magneto Resistive)の低下、インコヒーレントな歳差運動が誘発され、結果として反転電流が増加してしまう。

30

【特許文献1】特開2005-19464号公報

【非特許文献1】池田他、「GdFe合金垂直磁化膜を用いたGMR膜及びTMR膜」、日本応用磁気学会誌、Vol.24, No.4-2, 2000, p.563-566

【非特許文献2】N.Nisimura, et al., "Magnetic tunnel junction device with perpendicular magnetization films for high-density magnetic random access memory", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, VOLUME 91, NUMBER 8, 15 APRIL 2002

【非特許文献3】J.C. Slonczewski et al., "Current-driven excitation of magnetic multilayers", JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS, VOLUME 159, NUMBER 1-2, L1-7 1996

40

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

上述したように、MTJ素子を構成する記憶層および参照層は磁性材料から形成され、外部に対して磁界を発生している。一般に、垂直磁化型のMTJ素子では、参照層から発生する漏れ磁界が面内磁化型のそれに比べて大きい。また、参照層に比べて保磁力の小さい記憶層は、参照層からの漏れ磁界の影響を強く受ける。具体的には、参照層からの漏れ磁界の影響により、書き込みに必要な反転電流値が増加し、熱安定性を低下させる問題が

50

発生する。

【0009】

垂直磁化型のMTJ素子において、記憶層にかかる、参照層からの漏れ磁界を低減する一つの施策として、SAF(Synthetic Anti-Ferromagnetic)構造やデュアルピン構造等が提案されている。SAF構造については、膜厚差を付けることで記憶層にかかる漏れ磁界を低減させている。面内磁化型のSAF構造の場合には、膜厚差が1.2倍程度で記憶層にかかる漏れ磁界を低減することが可能である。

【0010】

しかしながら、後述するように、垂直磁化型のSAF構造の場合には、1.2倍程度の膜厚差では、記憶層にかかる漏れ磁界を十分に低減することはできないことを本発明者達は見いだした。

10

【0011】

また、デュアルピン構造についても記憶層にかかる漏れ磁界の垂直方向の大きさは低減されるが面内方向の漏れ磁界は逆に増加してしまうため、結果としてMRは低下し、書き込みに必要な反転電流値も増加してしまう。

【0012】

垂直磁化型のMTJ構成における漏れ磁界低減施策は上述したようにいくつか報告例があるが、記憶層にかかる漏れ磁界を低減するための具体的な手段は提案されていない。

【0013】

本発明は、上記事情を考慮してなされたものであって、記憶層にかかる漏れ磁界を可及的に低減することの可能な磁気抵抗効果素子及びそれを用いた磁気ランダムアクセスメモリを提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の第1の態様による磁気抵抗効果素子は、膜面に垂直方向の磁気異方性を有する強磁性層と、前記強磁性層上に設けられた第1の非磁性層と、前記第1の非磁性層上に設けられ、かつ膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記強磁性層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記強磁性層の積層方向の膜厚の $1/2 \sim 8$ 以上 $1/1 \sim 5$ 以下の膜厚を有する参照層と、前記参照層上に設けられた第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極した電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層と、を備えていることを特徴とする。

30

【0015】

また、本発明の第2の態様による磁気抵抗効果素子は、膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極した電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層と、前記記憶層上に設けられた第1の非磁性層と、前記第1の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有する参照層と、前記参照層上に設けられた第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記参照層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記参照層の積層方向の膜厚の $1 \sim 5$ 倍以上 $2 \sim 8$ 倍以下の膜厚を有する強磁性層と、を備えていることを特徴とする。

【0016】

40

また、本発明の第3の態様による磁気抵抗効果素子は、膜面に垂直方向の磁気異方性を有する第1の強磁性層と、前記第1の強磁性層上に設けられた第1の非磁性層と、前記第1の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記第1の強磁性層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記第1の強磁性層の積層方向の膜厚の $1/2 \sim 8$ 以上 $1/1 \sim 5$ 以下の膜厚を有する第1の参照層と、前記第1の参照層上に設けられた第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層上に設けられ、かつ膜面に垂直方向の磁気異方性を有しスピン偏極した電子の作用により磁化の方向が変化する記憶層と、前記記憶層上に設けられた第3の非磁性層と、前記第3の非磁性層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記第1の参照層の磁化の向きと反平行の磁化を有する第2の参照層と、前記第2の参照層上に設けられた第4の非磁性層と、前記第4の非磁性

50

層上に設けられ、膜面に垂直方向の磁気異方性を有するとともに前記第 2 の参照層の磁化の向きと反平行の磁化を有し、かつ前記第 2 の参照層の積層方向の膜厚の 1 . 5 倍以上 2 . 8 倍以下の膜厚を有する第 2 の強磁性層と、を備えていることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

また、本発明の第 4 の態様による磁気メモリは、第 1 乃至第 3 の態様のいずれかによる磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第 1 及び第 2 の電極と、を含むメモリセルを備えていることを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、記憶層にかかる漏れ磁界を可及的に低減することの可能な磁気抵抗効果素子及びそれを用いた磁気ランダムアクセスメモリを提供することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 9 】

本発明の実施形態を以下に図面を参照して説明する。この説明に際し、全図にわたり、共通する部分には共通する参照符号を付す。

【 0 0 2 0 】

(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を図 1 に示す。本実施形態の磁気抵抗効果素子は、シングルピン構造の M T J 素子 1 である。本実施形態の M T J 素子 1 は、磁性層からなる磁化自由層 (記憶層) 2 と、磁性層からなる参照層 6 と、磁性層からなる強磁性層 1 0 と、記憶層 2 と参照層 6 の間に挟まれた非磁性層 4 と、参照層 6 と強磁性層 1 0 の間に挟まれた非磁性層 8 と、を有する積層構造を備えている。すなわち、本実施形態の M T J 素子 1 は、強磁性層 1 0 、非磁性層 8 、参照層 6 、非磁性層 4 、および記憶層 2 が、この順序で積層された積層構造 (図 1 に示す順で形成された積層構造) であってもよいし、記憶層 2 、非磁性層 4 、参照層 6 、非磁性層 8 、および強磁性層 1 0 が、この順序で積層された積層構造 (図 1 に示す順序とは逆の順で形成された積層構造) であってもよい。

【 0 0 2 1 】

そして、本実施形態の M T J 素子 1 は、記憶層 2 、参照層 6 、及び強磁性層 1 0 の磁化方向が膜面に対して垂直方向を向く、いわゆる垂直磁化型の M T J 素子である。すなわち、記憶層 2 、参照層 6 、及び強磁性層 1 0 は、膜面に垂直方向の磁気異方性を有している。ここで、「膜面」とは、各層の上面を意味する。記憶層 2 は、スピン偏極した電子の作用により、磁化の向きが反転することが可能となっている。参照層 6 及び強磁性層 1 0 は、磁化が互いに逆方向に向いた反平行の磁化配列である。参照層 6 は書き込みの前後の磁化の向きが不変となっている。この M T J 素子 1 は、非磁性層 4 が絶縁体の場合は T M R 効果を有し、非磁性層 4 が金属の場合は G M R 効果を有する。ここで、非磁性層 4 が絶縁体の場合は M g O (酸化マグネシウム) 、 A l O (酸化アルミニウム、例えば A l ₂ O ₃) 等が用いられ、非磁性層 4 が金属の場合は C u 、 P t 、 A u 等が用いられる。この構造では、強磁性層 1 0 の飽和磁化 M s および膜厚 t を参照層 6 と同じ大きさにすると、記憶層 2 に加わる参照層 6 からの漏れ磁界を完全に打ち消すことができない。

【 0 0 2 2 】

そこで、本発明者達は、鋭意研究に努め、記憶層 2 に加わる漏れ磁界の膜面垂直成分 H z を打ち消すために必要なパラメータ間の条件を求めた。ここで、「打ち消す」とは、記憶層の上面と下面との間の中間の面にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H z の面積平均が 0 となる場合を意味する。

【 0 0 2 3 】

まず、図 2 に示す、直径サイズ R が R = 5 0 n m の円柱形状のシングルピン構造の M T J 素子 1 の場合について、記憶層 2 に加わる漏れ磁界の膜面垂直成分 H z を打ち消すための強磁性層 1 0 の最適な膜厚を解析 (シミュレーション) により求めた。この解析に用いたパラメータの値は、記憶層 2 の飽和磁化 M s 、磁気異方性定数 K u 、膜厚 t の大きさは

、それぞれ、 $M_s = 700 \text{ (emu/cm}^3\text{)}$ 、 $K_u = 4.7 \times 10^6 \text{ (erg/cm}^3\text{)}$ 、 $t = 2 \text{ nm}$ とし、参照層6の飽和磁化 M_{s1} 、磁気異方性定数 K_{u1} 、膜厚 t_1 の大きさは、それぞれ、 $M_{s1} = 750 \text{ (emu/cm}^3\text{)}$ 、 $K_{u1} = 20 \times 10^6 \text{ (erg/cm}^3\text{)}$ 、 $t_1 = 7 \text{ nm}$ とする。ここで、非磁性層4の厚さを 1 nm とし、非磁性層8の厚さを 5 nm とする。強磁性層10の飽和磁化 M_{s2} 、磁気異方性定数 K_{u2} の大きさを、それぞれ、 $M_{s2} = 1000 \text{ (emu/cm}^3\text{)}$ 、 $K_{u2} = 20 \times 10^6 \text{ (erg/cm}^3\text{)}$ とする。この場合に、記憶層2にかかる参照層6からの漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すための強磁性層10の最適な膜厚を t_2 とすると、解析計算から $t_2 = 19.80 \text{ nm}$ であった。

【0024】

10

漏れ磁界の膜面垂直成分を打ち消す条件、即ち、強磁性層の膜厚 $t_2 = 19.80 \text{ nm}$ の場合のMTJ素子1のM-Hループを図3のグラフ g_1 に示す。横軸はMTJ素子に印加される外部磁界 H_x を示し、縦軸は、飽和磁化 M を記憶層2の磁化 M_s で正規化した磁化を示す。なお、図3において、グラフ g_2 は、図2に示すMTJ素子1から強磁性層10を削除した構造のMTJ素子のM-Hループを示す。漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すことでシフトが改善されるだけでなく、保磁力および角型も改善されていることがわかる。

【0025】

20

ここで、参照層6および非磁性層8の膜厚について検討する。参照層6の膜厚 t_1 は、 5 nm 以上であることが好ましい。参照層6の膜厚が 5 nm より薄くなると、結晶性が低下し垂直磁気異方性を維持できなくなる。また、参照層6の膜厚は 7 nm 以下であることが好ましい。参照層6の膜厚が 7 nm を超えると、参照層6と非磁性層8との界面でのラフネスが増大する。これにより、非磁性層8を介して形成される強磁性層10の結晶性が低下し、垂直磁気異方性を維持できなくなる。したがって、参照層6の膜厚 t_1 は、

$$5 \text{ nm} < t_1 < 7 \text{ nm}$$

の関係を満たすことが望まれる。

【0026】

30

非磁性層8の膜厚は、 1 nm 以上が好ましい。非磁性層8の膜厚が 1 nm より薄くなると、参照層6と強磁性層10との間の強磁性的な層間結合が強く、反平行結合状態を作りづらくしてしまう。また、非磁性層8の膜厚は、 5 nm 以下であることが好ましい。非磁性層8の膜厚が 5 nm を超える膜厚になると、強磁性層10と非磁性層8との界面でのラフネスが増大する。これにより、強磁性層10の結晶性が低下し、垂直磁気異方性を維持するのが難しくなる。したがって、非磁性層8の膜厚 t_{12} は、

$$1 \text{ nm} < t_{12} < 5 \text{ nm}$$

の関係を満たすことが望まれる。

【0027】

次に、MTJ素子1に対して、参照層6の膜厚 $t_1 = 5 \text{ nm}$ 、 6 nm 、 7 nm とした場合の、記憶層2にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すために必要な強磁性層10の膜厚 t_2 を解析により求めた。

【0028】

40

a) $t_1 = 5 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 1 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 7.52 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比($= t_2 / t_1$)の値は 1.50 となる。

また、 $t_1 = 5 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 3 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 8.96 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比($= t_2 / t_1$)の値は 1.79 となる。

また、 $t_1 = 5 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 5 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 10.9 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比($= t_2 / t_1$)の値は 2.18 となる。

したがって、 $t_1 = 5 \text{ nm}$ においては、膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比($= t_2 / t_1$)の値は

$$1.50 < t_2 / t_1 < 2.18$$

を満たす。

50

【 0 0 2 9 】

b) $t_1 = 6 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 1 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 9.75 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は 1.63 となる。

また、 $t_1 = 6 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 3 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 12.01 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は 2.00 となる。

また、 $t_1 = 6 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 5 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 14.76 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は 2.46 となる。

したがって、 $t_1 = 6 \text{ nm}$ においては、膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は

$$1.63 \quad t_2 / t_1 \quad 2.46$$

を満たす。

【 0 0 3 0 】

c) $t_1 = 7 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 1 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 12.73 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は 1.82 となる。

また、 $t_1 = 7 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 3 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 15.84 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は 2.26 となる。

また、 $t_1 = 7 \text{ nm}$ に対して、 $t_{12} = 5 \text{ nm}$ の場合、 $t_2 = 19.81 \text{ nm}$ が必要である。この場合の膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は 2.83 となる。

したがって、 $t_1 = 7 \text{ nm}$ においては、膜厚 t_2 と膜厚 t_1 との比 ($= t_2 / t_1$) の値は

$$1.82 \quad t_2 / t_1 \quad 2.83$$

を満たす。

【 0 0 3 1 】

この解析結果を図 4 に示す。図 4 においては、参照層 6 と強磁性層 10 との間の非磁性層 8 の膜厚 t_{12} をパラメータにとり、 $t_{12} = 1 \text{ nm}$ 、 3 nm 、 5 nm である場合について求めた。

【 0 0 3 2 】

次に、非磁性層 8 の膜厚 $t_{12} = 1 \text{ nm}$ 、 3 nm 、 5 nm とした M T J 素子について考察した結果を図 5 に示す。図 5 は、それぞれの場合において、記憶層 2 にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すために必要な、強磁性層 10 の磁化 $M s_2$ と強磁性層 10 の膜厚 t_2 との積 ($M s_2 \times t_2$) と、参照層 6 の飽和磁化 $M s_1$ と参照層 6 の膜厚 t_1 との積 ($M s_1 \times t_1$) との比 ($(M s_2 \times t_2) / (M s_1 \times t_1)$) をプロットしたものである。なお、図 5 においては、参照層 6 の膜厚 t_1 をパラメータにとり、 $t_1 = 5 \text{ nm}$ 、 6 nm 、 7 nm である場合について求めた。

【 0 0 3 3 】

以上のことから、記憶層 2 にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すためには、参照層 6 の膜厚 t_1 ($5 \text{ nm} \leq t_1 \leq 7 \text{ nm}$) に対して強磁性層 10 の膜厚 t_2 は、最低でも 1.5 倍以上 2.8 倍以下必要であることがわかる。

【 0 0 3 4 】

さらに、これに対応する比 ($(M s_2 \times t_2) / (M s_1 \times t_1)$) の値は、図 5 からわかるように、

$$2.0 \leq (M s_2 \times t_2) / (M s_1 \times t_1) \leq 3.8$$

の関係を満たすことが好ましい。

【 0 0 3 5 】

また、記憶層 2 にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すためには、比 ($(M s_2 \times t_2) / (M s_1 \times t_1)$) が、2.0 以上 3.8 以下である条件を更に満たすことが好ましい。

【 0 0 3 6 】

また、記憶層 2 にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すためには、参照層 6 のキュリー温度を T_1 、強磁性層 10 のキュリー温度 T_2 とするとき、 $T_1 < T_2$ の関係を

10

20

30

40

50

更に満たすことが好ましい。これは、記憶層 2 にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を低減するには、 $M s_1 < M s_2$ の関係を満たすことが好ましい。さらには、強磁性層 10 のキュリー温度 T_2 が参照層 6 のキュリー温度 T_1 よりも大きければ、 $M s_1 < M s_2$ の大小関係を常に維持することができる。よって、参照層 6 のキュリー温度 T_1 と強磁性層 10 のキュリー温度 T_2 との関係は、 $T_1 < T_2$ の関係を更に満たすことが好ましい。

【0037】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態による磁気抵抗効果素子を図6に示す。本実施形態の磁気抵抗効果素子は、デュアルピン構造のMTJ素子1である。本実施形態のMTJ素子1は、強磁性層12と、非磁性層14と、参照層16と、非磁性層18と、記憶層20と、非磁性層22と、参照層24と、非磁性層26と、強磁性層28と、この順序で積層された積層構造を有している。また、図6に示す場合と逆に、本実施形態のMTJ素子1は、強磁性層28と、非磁性層26と、参照層24と、非磁性層22と、記憶層20と、非磁性層18と、参照層16と、非磁性層14と、強磁性層12とが、この順序で積層された積層構造を有していてもよい。

【0038】

そして、参照層16、24、強磁性層12、28、および記憶層20には、垂直磁気異方性を有した垂直磁化材料が用いられる。すなわち本実施形態のMTJ素子1は、記憶層20、参照層16、24、強磁性層12、28の磁化方向が膜面に対して垂直方向を向く、いわゆる垂直磁化型のMTJ素子である。すなわち、記憶層20、参照層16、24、及び強磁性層22、38は、膜面に垂直方向の磁気異方性を有している。ここで、「膜面」とは、各層の上面を意味する。記憶層20は、スピン偏極した電子の作用により、磁化の向きが反転することが可能となっている。また、デュアルピン構造の場合には、参照層16と参照層24の磁化は、互いに逆方向に向いた反平行の磁化配列である。強磁性層12と強磁性層28の磁化も同様に、互いに逆方向に向いた反平行の磁化配列である。参照層16と強磁性層12の磁化は、互いに逆方向に向いた反平行の磁化配列となっている。また、参照層24と強磁性層28の磁化も同様に、互いに逆方向に向いた反平行の磁化配列である。

【0039】

このMTJ素子1は、非磁性層18、22が絶縁体の場合はTMR効果を有し、非磁性層18、22が金属の場合はGMR効果を有する。ここで、非磁性層18、22が絶縁体の場合はMgO(酸化マグネシウム)、AlO(酸化アルミニウム、例えばAl₂O₃)等が用いられ、非磁性層18、22が金属の場合はCu、Pt、Au等が用いられる。この構造では、強磁性層12、28の飽和磁化Msおよび膜厚tを、参照層16、24とそれぞれ同じ大きさにすると、記憶層20にかかる参照層16、24からの漏れ磁界を完全に打ち消すことができない。

【0040】

そこで、本発明者達は、鋭意研究に努め、記憶層20に加わる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すために必要なパラメータ間の条件を求めた。ここで、「打ち消す」とは、記憶層にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z の面積平均が0となる場合を意味する。

【0041】

まず、図7に示す、直径サイズRがR=50nmの円柱形状のデュアルピン構造のMTJ素子1の場合について、記憶層20に加わる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すための強磁性層12、28の最適な膜厚を解析(シミュレーション)により求めた。

【0042】

この解析に用いたパラメータの値は、記憶層20の飽和磁化Ms、磁気異方性定数Ku、膜厚の大きさは、それぞれ、 $M s = 700$ (emu/cm³)、 $K u = 4.7 \times 10^6$ (erg/cm³)、 $t = 2$ nmとし、参照層16、24の飽和磁化 $M s_{11}$ 、 $M s_{12}$ 、磁気異方性定数 $K u_{11}$ 、 $K u_{12}$ 、膜厚 t_{11} 、 t_{12} の大きさは、それぞれ $M s_{11} = M s_{12} = 750$ (emu/cm³)、 $K u_{11} = K u_{12} = 20 \times 10^6$ (erg

10

20

30

40

50

$/\text{cm}^3$)、 $t_{11} = t_{12} = 7\text{nm}$ とする。ここで、非磁性層18, 22の厚さを1nmとし、非磁性層14, 26の厚さを5nmとする。強磁性層12, 28の飽和磁化 M_{s21} , M_{s22} 、磁気異方性定数 K_{u21} , K_{u22} 、膜厚 t_{21} , t_{22} の大きさは、それぞれ、 $M_{s21} = M_{s22} = 1000 (\text{emu}/\text{cm}^3)$ 、 $K_{u21} = K_{u22} = 20 \times 10^6 (\text{erg}/\text{cm}^3)$ とする。この場合に、記憶層20にかかる参照層16, 24からの漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すための強磁性層12、28の最適な膜厚 t_{21} および t_{22} は等しく、 $t_{21} = t_{22} = 19.80\text{nm}$ である。

【0043】

以上の解析結果は、強磁性層12、非磁性層14、参照層16、非磁性層18、記憶層20が一つのMTJ素子を構成し、記憶層20、非磁性層22、参照層24、非磁性層26、強磁性層28が他の一つのMTJ素子を構成している場合と同じ結果となっている。このため、記憶層20にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すためには、第1実施形態と同様に、参照層16の膜厚 t_{11} ($5\text{nm} < t_{11} < 7\text{nm}$)に対して強磁性層12の膜厚 t_{21} は、最低でも1.5倍以上2.8倍以下必要であり、参照層24の膜厚 t_{12} ($5\text{nm} < t_{12} < 7\text{nm}$)に対して強磁性層28の膜厚 t_{22} は、最低でも1.5倍以上2.8倍以下必要となる。

【0044】

また、参照層16, 24の飽和磁化をそれぞれ M_{s11} , M_{s12} 、膜厚を t_{11} , t_{12} とし、強磁性層12, 28の飽和磁化をそれぞれ M_{s21} , M_{s22} 、膜厚をそれぞれ t_{21} , t_{22} とすると、

$$\frac{2.0}{2.0} \left(\frac{M_{s21} \times t_{21}}{M_{s11} \times t_{11}} \right) \approx 3.8, \text{ および } \frac{2.0}{2.0} \left(\frac{M_{s22} \times t_{22}}{M_{s12} \times t_{12}} \right) \approx 3.8$$

の関係を更に満たすことが好ましい。

【0045】

また、記憶層20にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すためには、参照層16のキュリー温度を T_1 、強磁性層12のキュリー温度を T_2 、参照層24のキュリー温度を T_3 、強磁性層28のキュリー温度を T_4 とすると、

$$T_1 < T_2, \text{ および }$$

$$T_3 < T_4$$

の関係を更に満たしていてもよい。

【0046】

上記の条件を満たせば、記憶層20にかかる漏れ磁界の膜面垂直成分 H_z を打ち消すことができる。

【0047】

(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(MRAM)について図8乃至図9を参照して説明する。

【0048】

本実施形態のMRAMの回路図を図8に示す。本実施形態のMRAMは、第1実施形態或いは第2実施形態のMTJ素子1をメモリセルの記憶素子として用いている。このMRAMは、マトリクス状に配列された複数のメモリセルMCを有するメモリセルアレイ30を備えている。メモリセルアレイ30には、それぞれが列(カラム)方向に延在するように、複数のビット線対BL、/BLが配設されている。また、メモリセルアレイ30には、それぞれが行(ロウ)方向に延在するように、複数のワード線WLが配設されている。

【0049】

ビット線BLとワード線WLとの交差部分には、メモリセルMCが配置されている。各メモリセルMCは、MTJ素子1、及びnチャネルMOSトランジスタからなる選択トランジスタ31を備えている。MTJ素子1の一端は、ビット線BLに接続されている。MTJ素子10の他端は、選択トランジスタ31のドレイン端子に接続されている。選択トランジスタ31のゲート端子は、ワード線WLに接続されている。選択トランジスタ31

のソース端子は、ビット線 / B L に接続されている。

【 0 0 5 0 】

ワード線 W L には、ロウデコーダ 3 2 が接続されている。ビット線対 B L 、 / B L には、書き込み回路 3 4 及び読み出し回路 3 5 が接続されている。書き込み回路 3 4 及び読み出し回路 3 5 には、カラムデコーダ 3 3 が接続されている。各メモリセル M C は、ロウデコーダ 3 2 及びカラムデコーダ 3 3 により選択される。

【 0 0 5 1 】

メモリセル M C へのデータの書き込みは、以下のように行われる。まず、データ書き込みを行うメモリセル M C を選択するために、このメモリセル M C に接続されたワード線 W L が活性化される。これにより、選択トランジスタ 3 1 がオン状態となる。

10

【 0 0 5 2 】

ここで、M T J 素子 1 には、書き込みデータに応じて、双方向の書き込み電流 I_w が供給される。具体的には、M T J 素子 1 に、図 8 において左から右へ書き込み電流 I_w を供給する場合、書き込み回路 3 4 は、ビット線 B L に正の電圧を印加し、ビット線 / B L に接地電圧を印加する。また、M T J 素子 1 に、図 8 において右から左へ書き込み電流 I_w を供給する場合、書き込み回路 3 4 は、ビット線 / B L に正の電圧を印加し、ビット線 B L に接地電圧を印加する。このようにして、メモリセル M C にデータ “ 0 ” 、或いはデータ “ 1 ” を書き込むことができる。

【 0 0 5 3 】

次に、メモリセル M C からのデータ読み出しは、以下のように行われる。まず、データ読み出しを行うメモリセル M C を選択するために、このメモリセル M C に接続されたワード線 W L が活性化される。これにより、選択されたメモリセル M C の選択トランジスタ 3 1 がオン状態となる。読み出し回路 3 5 は、M T J 素子 1 に、例えば図 8 において右から左へ流れる読み出し電流 I_r を供給する。そして、読み出し回路 3 5 は、この読み出し電流 I_r に基づいて、M T J 素子 1 の抵抗値を検出する。このようにして、M T J 素子 1 に記憶されたデータを読み出すことができる。

20

【 0 0 5 4 】

次に、M R A M の構造について説明する。図 9 は、1 個のメモリセル M C を中心に示した M R A M の構成を示す断面図である。

【 0 0 5 5 】

p 型半導体基板 4 0 の表面領域には、素子分離絶縁層 4 1 が設けられ、この素子分離絶縁層 4 1 が設けられていない半導体基板 4 0 の表面領域が素子を形成する素子領域 (active area) となる。素子分離絶縁層 4 1 は、例えば S T I (Shallow Trench Isolation) により構成される。S T I としては、例えば酸化シリコンが用いられる。

30

【 0 0 5 6 】

半導体基板 4 0 の素子領域に選択トランジスタ 3 1 が形成される。この選択トランジスタ 3 1 は、互いに離間したソース領域 3 2 a 及びドレイン領域 3 2 b が設けられている。このソース領域 3 2 a 及びドレイン領域 3 2 b はそれぞれ、半導体基板 4 0 内に高濃度の N^+ 型不純物を導入して形成された n^+ 型拡散領域から構成される。ソース領域 3 2 a 及びドレイン領域 3 2 b 間のチャネル 3 3 となる半導体基板 4 0 の領域上には、ゲート絶縁膜 3 4 が形成され、このゲート絶縁膜 3 4 上にゲート電極 3 5 が設けられている。ゲート電極 3 5 は、ワード線 W L として機能する。

40

【 0 0 5 7 】

ソース領域 3 2 a 上には、コンタクト 4 2 を介して配線層 4 3 が設けられている。配線層 4 3 は、ビット線 / B L として機能する。ドレイン領域 3 2 b 上には、コンタクト 4 4 を介して引き出し配線 4 5 が設けられている。引き出し配線 4 5 上には、下部電極 3 6 と、上部電極 3 7 に挟まれた M T J 素子 1 が設けられている。上部電極 3 7 上には、配線層 4 7 が設けられている。配線層 4 7 は、ビット線 B L として機能する。また、半導体基板 4 0 と配線層 4 7 との間は、例えば酸化シリコンからなる層間絶縁層 4 6 で満たされている。

50

【0058】

以上詳述したように本実施形態によれば、第1実施形態或いは第2実施形態のMTJ素子1を用いてMRAMを構成することができる。なお、MTJ素子1は、スピン注入型の磁気メモリの他、磁壁移動型の磁気メモリにも使用することが可能である。

【0059】

次に、上記実施形態の垂直磁化を有する参照層および垂直磁化を有する強磁性層に用いられる磁性材料について説明する。

【0060】

本実施形態のMTJ素子に用いられる垂直磁化膜としては、Fe（鉄）、Co（コバルト）、Ni（ニッケル）及びMn（マンガン）のうち少なくとも1種類以上と、Pt（白金）、Pd（パラジウム）、Ir（イリジウム）、Rh（ロジウム）、Os（オスミウム）、Au（金）、Ag（銀）、Cu（銅）及びCr（クロム）のうち少なくとも1種類以上とを含むことを基本とする。さらには、飽和磁化の調整、結晶磁気異方性エネルギーの制御、結晶粒径及び結晶粒間結合の調整をするために、B（ホウ素）、C（炭素）、Si（シリコン）、Al（アルミニウム）、Mg（マグネシウム）、Ta（タンタル）、Zr（ジルコニウム）、Ti（チタン）、Hf（ハフニウム）、Y（イットリウム）及び希土類元素から選ばれる少なくとも1種類以上の元素を添加してもよい。

【0061】

Coを主成分とする材料として、具体的には、HCP（Hexagonal Closest Packing）構造を有するCo-Cr-Pt合金、Co-Cr-Ta合金、及び、Co-Cr-Pt-Ta合金などがあげられる。これらは、各元素の組成を調整することにより、 1×10^5 以上 1×10^7 erg/cc未満の範囲内で結晶磁気異方性エネルギーを調整することが可能である。ここで、記号「-」は合金を表す。

【0062】

Co-Pt合金は、Co₅₀Pt₅₀（at（原子）%）付近の組成域において、L₁₀-CoPt規則合金を形成する。この規則合金は、FCT（Face-Centered Tetragonal）構造を有する。非磁性層としてMgO（100）を用いる場合、（001）面配向したFCT-CoPt規則合金は、非磁性層との界面ミスフィットも小さくできるので好ましい。

【0063】

Feを主成分とする材料として、具体的には、Fe-Pt合金、或いは、Fe-Pd合金があげられる。中でも、Fe-Pt合金は、組成がFe₅₀Pt₅₀（at%）において規則化し、FCT構造を基本構造とするL₁₀構造を有する。これにより、 1×10^7 erg/cc以上の大きな結晶磁気異方性エネルギーを発現することができる。

【0064】

Fe₅₀Pt₅₀合金は、規則化する前は、FCC（Face-Centered Cubic）構造を有する。この場合の結晶磁気異方性エネルギーは、 1×10^6 erg/cc程度である。従って、アニール温度、組成の調整、積層構成による規則度の制御、及び、添加物の添加により、 5×10^5 erg/cc以上 5×10^8 erg/cc以下の範囲内で結晶磁気異方性エネルギーを調整することができる。

【0065】

具体的には、Fe-Pt合金にCu或いはV（バナジウム）を添加することで、Fe-Pt合金の飽和磁化（Ms）及び結晶磁気異方性エネルギー（Ku）を制御することが可能である。また、Vに関しては、スピン注入磁化反転において重要なダンピング定数（磁化制動定数）を下げる効果があり、反転電流を低減する効果がある。

【0066】

規則化したFe-Pt合金はFCT構造を有し、規則化する前はFCC構造を有する。従って、MgO（100）とは非常に整合性がよい。具体的には、MgO（100）面上に（100）面配向したBCC（Body-Centered Cubic）-Feを成長させ、その上にPt（100）を積層することで、MgO（100）上に（100）面優先配向成長したF

10

20

30

40

50

e - P t 規則合金を形成することが可能である。また、F e - P t 規則合金とM g O (1 0 0) との間にB C C - C r を形成すると、さらにF e - P t 規則合金の (1 0 0) 面配向が優先的となり望ましい。

【 0 0 6 7 】

また、F e - P t 規則合金を形成する場合、[F e / P t] n (n は整数) の多層構造を形成すると理想的な規則に近いF e - P t 規則合金を形成できる。この場合、F e 及びP t の膜厚は、0 . 1 n m 以上1 n m 以下となるように設定されることが望ましい。これは、均一な組成状態を作り出すためには必須であり、それにより、F e - P t 合金の規則化の場合、F C C 構造からF C T 構造へのマルテンサイト変態 (martensitic transformation) を伴うため、この変態が促進されるので重要である。

10

【 0 0 6 8 】

また、F e - P t 合金の規則化温度は5 0 0 度以上と高く、耐熱性に優れている。この点は、後工程でのアニール処理に対する耐性があることとなり、非常に好ましい。また、C u やVなどの添加元素により、その規則化温度を低下させることが可能である。

【 0 0 6 9 】

さらに、上記実施形態のM T J 素子に用いられる垂直磁化膜としては、金属磁性相と絶縁相との混晶からなる強磁性体を用いてもよい。この場合、金属磁性相は、F e 、C o 、N i 及びM n のうち少なくとも1 種類以上と、P t 、P d 、I r 、R h 、O s 、A u 、A g 、C u 、C r 、T a 及び希土類元素のうち少なくとも1 種類以上を含む強磁性体から構成される。絶縁相は、B 、C 、S i 、A l 、M g 、T a 、C r 、Z r 、T i 、H f 、Y 及び希土類元素から選ばれる少なくとも1 種類以上の元素を含む酸化物、窒化物、及び、酸窒化物から構成される。

20

【 0 0 7 0 】

金属磁性相と絶縁相との混晶からなる強磁性体は、導電性を有する金属磁性体部と非導電性の絶縁体部に分離しているため、金属磁性体部に電流が集中して通電面積が小さくなり、局所的な電流密度が上昇する。これにより、実質的に必要となる反転電流が小さくなる効果を有する。

【 0 0 7 1 】

このような効果を得るためには、結晶性を制御する必要がある。2 相分離構造としては、グラニューラ (結晶粒分散) 型構造、アイランド (島状) 型構造、及び、コラムナ (柱状) 型構造がある。コラムナ型構造の場合は、磁性層中で金属磁性体部が上下に貫通しているので、電流狭窄効果が得られやすい。グラニューラ型構造及びアイランド型構造の場合は、電流はもっともトンネル障壁が小さいパスを通電することとなるので、コラムナ型構造と同様に電流狭窄効果が得られる。

30

【 0 0 7 2 】

その他、上記実施形態のM T J 素子に用いられる垂直磁化膜としては、M n 系強磁性合金、或いはC r 系強磁性合金があげられる。M n 系強磁性合金としては、M n - A l 合金、M n - A u 合金、M n - Z n 合金、M n - G a 合金、M n - I r 合金、及び、M n - P t ₃ 合金などがあり、これらは、規則格子を有する特徴がある。また、C r 系強磁性合金としては、C r - P t ₃ 合金などがあげられる。これも、規則格子を有する。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 3 】

【 図 1 】 第 1 実施形態による磁気抵抗効果素子の断面図。

【 図 2 】 第 1 実施形態の磁気抵抗効果素子における最適な膜厚を示す断面図。

【 図 3 】 漏れ磁界の膜面垂直成分を打ち消す条件を満たす場合のM - H ループを示す図。

【 図 4 】 漏れ磁界の膜面垂直成分を打ち消す条件を満たす場合における、強磁性層の膜厚と、参照層の膜厚との関係を示す図。

【 図 5 】 漏れ磁界の膜面垂直成分を打ち消す条件を満たす場合における、強磁性層および参照層に関する非磁性層の膜厚依存性を示す図。

【 図 6 】 第 2 実施形態による磁気抵抗効果素子の断面図。

50

【図 7】第 2 実施形態の磁気抵抗効果素子における最適な膜厚を示す断面図。

【図 8】第 3 実施形態の磁気メモリを示す回路図。

【図 9】第 3 実施形態の磁気メモリにおけるメモリセルを示す断面図。

【符号の説明】

【 0 0 7 4 】

1 M T J 素子

2 記憶層

4 非磁性層

6 参照層

8 非磁性層

10 強磁性層

20 M T J 素子

22 強磁性層

24 非磁性層

26 参照層

28 非磁性層

30 メモリセルアレイ

32 非磁性層

34 参照層

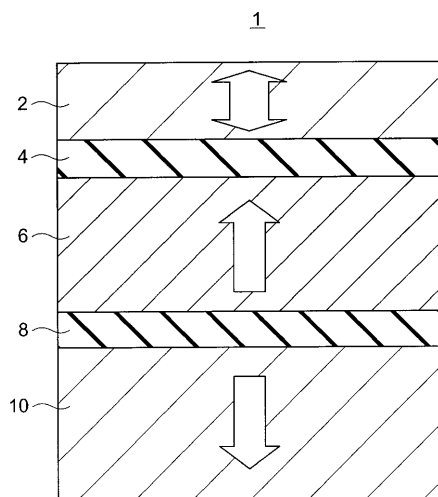
36 非磁性層

38 強磁性層

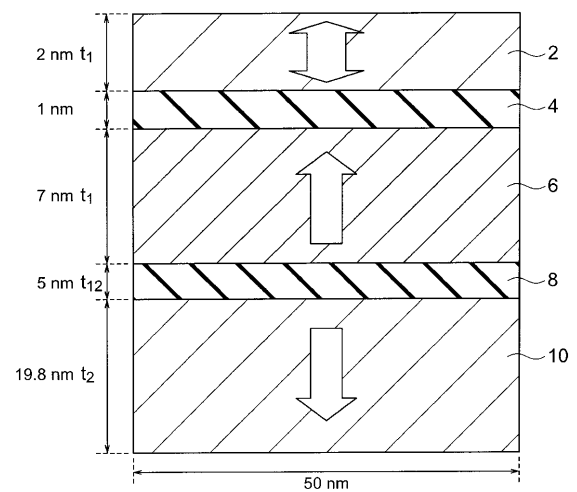
10

20

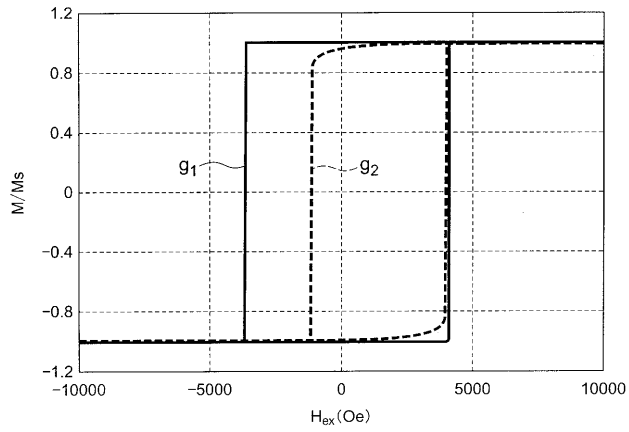
【図 1】



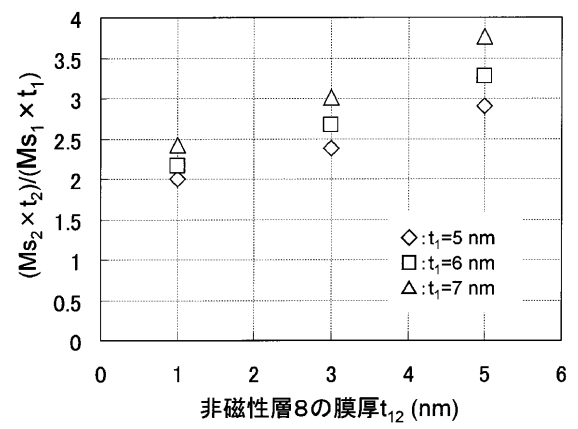
【図 2】



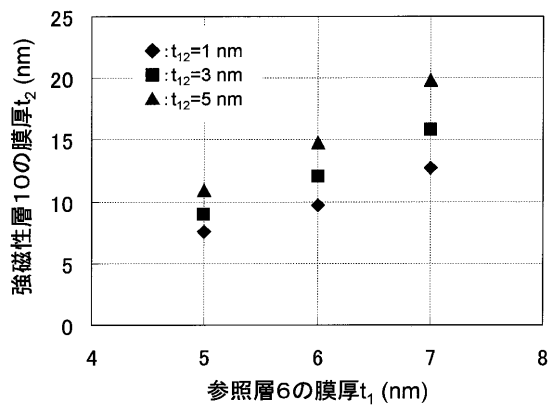
【図 3】



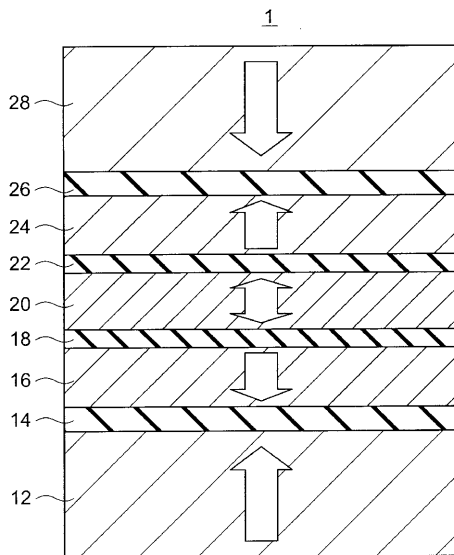
【図 5】



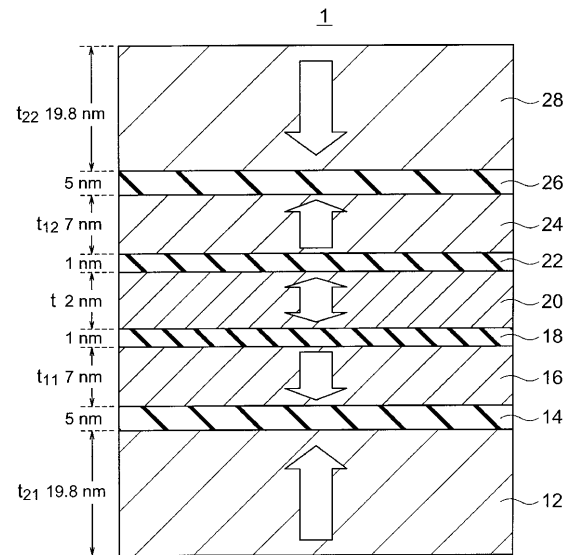
【図 4】



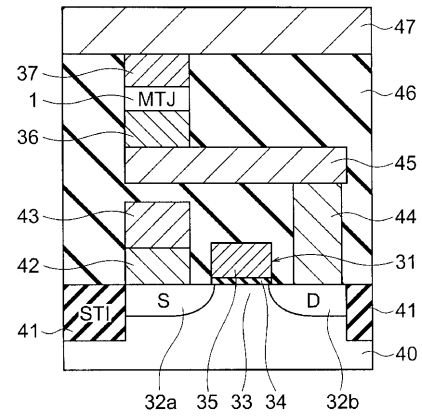
【図 6】



【図 7】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 下 村 尚 治
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 池 川 純 夫
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 甲 斐 正
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 中 山 昌 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 相 川 尚 徳
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 岸 達 也
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 興 田 博 明
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

Fターム(参考) 4M119 AA10 BB01 BB03 CC05 DD06 DD17 EE23 EE27 HH01 HH04
5F092 AB08 AC08 AC12 AD12 AD23 AD25 BB23 BB31 BB35 BB36
BB43 BC04 BC07 BC32 BC42 BC46 BE12 BE21 BE27