

(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2014-140077

(P2014-140077A)

(43) 公開日 平成26年7月31日(2014.7.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 27/105 (2006.01)	HO 1 L 27/10 4 4 7	4 M 1 1 9
HO 1 L 21/8246 (2006.01)	HO 1 L 29/82 Z	5 F 0 9 2
HO 1 L 29/82 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z	
HO 1 L 43/08 (2006.01)		

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-94590 (P2014-94590)
 (22) 出願日 平成26年5月1日(2014.5.1)
 (62) 分割の表示 特願2011-543243 (P2011-543243) の分割
 原出願日 平成22年11月22日(2010.11.22)
 (31) 優先権主張番号 特願2009-270093 (P2009-270093)
 (32) 優先日 平成21年11月27日(2009.11.27)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000004237
 日本電気株式会社
 東京都港区芝五丁目7番1号
 (74) 代理人 100102864
 弁理士 工藤 実
 (72) 発明者 本庄 弘明
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内
 Fターム(参考) 4M119 AA03 AA05 BB01 CC05 DD05
 DD06 DD09 DD15 DD25 DD33
 DD47 EE23 EE27
 5F092 AA03 AB08 AC12 AD25 BB17
 BB22 BB23 BB36 BB42 BB43
 BC03 BC04 BC07 BC13 BE24
 BE27

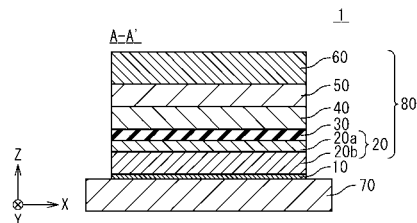
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気ランダムアクセスメモリの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 低電流の書込み電流で、かつ、高速動作を実現することが可能な磁気メモリセルの製造方法を提供する。

【解決手段】 磁気抵抗効果素子の製造方法が、反転可能な磁化を有する磁化自由層を形成する工程と、磁化自由層の上に絶縁層を形成する工程と、絶縁層の上に、磁化がほぼ一方に固定された磁化固定層を形成する工程とを具備する。磁化自由層を形成する工程は、NiFeBから成る第2磁化自由層を形成する工程と、第2磁化自由層の上に、Fe又はCoから成る第1磁化自由層を形成する工程とを備えている。絶縁層は、前記第1磁化自由層の上に形成される。

【選択図】 図1B



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反転可能な磁化を有する磁化自由層を形成する工程と、
前記磁化自由層の上に絶縁層を形成する工程と、
前記絶縁層の上に、磁化がほぼ一方向に固定された磁化固定層を形成する工程と
を具備し、

前記磁化自由層を形成する工程は、

NiFeB から成る第 2 磁化自由層を形成する工程と、

前記第 2 磁化自由層の上に、Fe 又は Co から成る第 1 磁化自由層を形成する工程と
を備え、

前記絶縁層は、前記第 1 磁化自由層の上に形成される
磁気抵抗効果素子の製造方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法であって、
前記第 1 磁化自由層の膜厚が 0.2 nm 以上 1.0 nm 以下である
磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法であって、
前記第 2 磁化自由層の膜厚が 3 nm 以上 20 nm 以下である
磁気抵抗効果素子の製造方法。

20

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法であって、
前記第 2 磁化自由層の組成は、

Ni が 70 at % 以上、90 at % 以下、

Fe が 5 at % 以上、15 at % 以下、

B が 5 at % 以上、20 at % 以下

である

磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法であって、
前記絶縁層は MgO から成る
磁気抵抗効果素子の製造方法。

30

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法を用いて磁気メモ
リセルが形成される

磁気ランダムアクセスメモリの製造方法。

【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、および磁気ランダムアクセスメモリに関する。

40

【背景技術】

【0002】

近年、磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM; Magnetic Random Access Memory) が提案され、実用化を目指した研究が盛んに行われている。磁気ランダムアクセスメモリは、磁性体を記憶素子として用いることから、不揮発性のランダムアクセスメモリとして動作し、また 10 の 15 乗回以上の書き換え耐性が保障され、さらに数ナノ秒以下のタイムスケールでのスイッチングが可能である。このようなことから、磁気ランダムアクセスメモリは、特に数 100 MHz 以上の高速不揮発性ランダムアクセスメモリとしての応用が期待されている。

【0003】

50

磁気ランダムアクセスメモリは、磁気抵抗効果素子から形成される。磁気抵抗効果素子は、磁化自由層と絶縁層と磁化固定層から形成され、また磁化固定層には一般的には反強磁性層が隣接する。磁化自由層と絶縁層と磁化固定層はこの順に積層し、ここで磁気トンネル接合(MTJ; Magnetic Tunnel Junction)が形成される。磁化固定層は比較的ハードな強磁性体から構成され、また、隣接して設けられる反強磁性層によりその磁化方向は実質的に一方向に固定される。磁化固定層は読み出しの際のリファレンスとして作用する。一方、磁化自由層は比較的ソフトな強磁性体から構成され、その磁化方向は磁化固定層の磁化と平行か反平行かのいずれかの状態をとるような磁気異方性が付与される。磁化自由層は情報の記憶部位としての役割を果たす。絶縁層は絶縁性の材料から構成される。そして、磁気ランダムアクセスメモリにおいては、磁化自由層の磁化が磁化固定層の磁化に対して平行か反平行かに応じて“0”、“1”の情報が記憶される。

10

【0004】

磁気ランダムアクセスメモリにおける情報の読み出しには、磁気抵抗効果が利用される。すなわち、磁化自由層の磁化と磁化固定層の磁化の相対角の違いによって生ずるMTJの抵抗値の違いを、MTJを貫通する電流を流して検出することにより、情報が読み出される。

【0005】

一方で磁気ランダムアクセスメモリにおける情報の書き込み方法としては、様々な方法が提案されている。その方法は、磁界書き込み方式とスピン注入書き込み方式に大別される。

20

【0006】

スピン注入書き込み方式とは、MTJを貫通する電流の方向を変えることにより、磁化自由層の磁化を磁化固定層の磁化とのスピントルクのやり取りで反転させる方法である。スピン注入書き込み方式においては、書き込みに要する電流はMTJの面積に比例する。従って、MTJの面積が小さいほど、書き込みに要する電流値も小さい。つまり、スピン注入書き込み方式はスケール特性に優れ、大容量の磁気ランダムアクセスメモリを実現する手段として有望視されている。

【0007】

しかし、スピン注入書き込み方式においては、書き込みの際に比較的大きな電流がMTJを貫通することから書き換え耐性に劣ることが懸念される。また絶縁層の耐圧の問題も応用上の課題として挙げられる。また、スピン注入磁化反転は磁界による磁化反転に比べて比較的長い時間を要してしまい、高速動作には不利である。つまり、スピン注入書き込み方式を用いた高速、高信頼性のランダムアクセスメモリの実用化には、疑問視される問題が多い。

30

【0008】

一方、磁界による磁化反転はナノ秒以下で起こり、また絶縁層を大きな電流が流れることはないため、信頼性も保障される。このようなことから、高速での動作が可能な磁気ランダムアクセスメモリには磁界書き込み方式を用いることが望ましい。

【0009】

磁気ランダムアクセスメモリにおける磁界書き込み方式は、MTJの近傍に配置される書き込み配線に電流が流れたときに誘起される磁界を利用して行われることが一般的である。また現在研究・開発が行われている磁界書き込み方式の磁気ランダムアクセスメモリのほとんどは、直交する2つの書き込み配線の交点に磁気抵抗効果素子が配置され、2つの書き込み配線に電流が流れたときの磁化自由層にかかる合成磁界により書き込みが行われる(以下、これを2軸書き込み方式と呼ぶ)。

40

【0010】

このうち最も一般的な2軸書き込み方式はアステロイド方式である。これは2つの直交する書き込み配線に同時に電流が流れ、その合成磁界により磁化自由層の磁化反転を行う。この際、選択されるセルと同じ列、または同じ行にあるセルは、1つの書き込み配線に

50

よって誘起される磁界が印加された、いわゆる半選択状態となる。この半選択状態における磁化反転を回避するためには、限られたマージン内で記録を行わなければならない。つまり、アステロイド方式はセルの選択性に問題がある。

【0011】

このセル選択性の問題を解決する2軸書き込み方式として特許文献1（米国特許第6545906号公報）ではトグル方式が提案されている。トグル方式では、直交する2つの書き込み配線にシーケンシャルに電流が流れ、磁化反転が起こる。トグル方式ではセルの選択性の問題がほぼ完全に解決されるが、一方で書き込み前に読み出しを行う必要があり、高速動作には不向きである。

【0012】

一方、特許文献2（特開2004-348934号公報：対応米国特許US7184301（B2））では1軸磁界書き込み方式が提案されている。これによれば、上記の選択性、および高速性は同時に解決される。この1軸磁界方式は、一つのセルは一つの書き込み配線を有し、上記書き込み配線はMOSトランジスタのソース/ドレインに接続される。このMOSトランジスタのゲートは第1の方向に沿って設けられるワード線に接続され、またこのMOSトランジスタの他方のソース/ドレインは第2の方向に沿って設けられるビット線に接続される。このような構造により、セルの選択性と高速性が同時に解決される。このことから、1軸磁界方式は高速動作が可能な磁気ランダムアクセスメモリを実現する上で有望な方式であると言える。非特許文献1（J. Appl. Phys. 105, 07C921（2009））および非特許文献2（J. Appl. Phys. 103, 07A711（2008））では、この1軸書き込み方式を用いたセルで1mA以下の書き込み電流での動作が確認されている。

【0013】

メモリの高速動作のためには、高速で書き込むと同時に高速での読み出しが必要である。高速で読み出すためには、“0”状態と“1”状態の素子抵抗値の信号量の差が十分に大きい必要がある。すなわち、MR比が十分に高い必要がある。非特許文献3（IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 42, NO. 4, APRIL 2007）に示されるように500MHz以上の高速の読み出し動作のためにはMR比が70%以上必要であるとのシミュレーション結果が示されている。

【0014】

近年、CoFeB/MgO/CoFeBからなるMTJを用いたTMR膜が開発され、200%を超えるMR比が報告されている。しかしながら、CoFeB膜は結晶磁気異方性などの材料の異方性が大きいため磁化自由層に用いた場合には、反転磁界の値が大きくなるという問題があり、磁界書き込み方式のMRAMへの適用は、書き込み電流が大きくなるために困難である。一方、磁化自由層として従来、一般的な磁場書き込みセルに用いられているNiFe磁化自由層は、書き込み電流は小さいがMR比も小さいという問題があった。

【0015】

関連する技術として、特許文献3（特開2003-198003号公報：対応米国特許US7173300（B2））に磁気抵抗効果素子およびその製造方法並びに磁気メモリ装置が開示されている。この磁気抵抗効果素子は、磁化方向の反転が可能な自由層を備え、当該自由層における磁化方向の変化を利用して情報記録を行う。この磁気抵抗効果素子において、その自由層は、少なくとも二層からなる積層構造を有している。その積層構造は、少なくとも一層が強磁性体からなる強磁性体層であり、他の少なくとも一層が当該強磁性体層よりも小さい飽和磁化の低飽和磁化強磁性体層である。

【0016】

特許文献4（特開2004-200245号公報：対応米国特許US7379280（B2））に磁気抵抗素子及び磁気抵抗素子の製造方法が開示されている。この磁気抵抗素子は、反強磁性層と、反強磁性層に接合され固定される固定自発磁化を有する固定強磁性

10

20

30

40

50

層と、固定強磁性層に接合され非磁性のトンネル絶縁層と、トンネル絶縁層に接合され反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層とを具備する。固定強磁性層は、反強磁性層を構成する材料の少なくとも一種がトンネル絶縁層へ拡散することを防止する機能を有する第1複合磁性層を備える。

【0017】

特許文献5（特開2006-318983号公報）に磁気メモリ素子、メモリが開示されている。この磁気メモリ素子は、強磁性層の磁化状態により情報を保持する記憶層と、トンネル絶縁膜と、磁化の向きが固定された磁化固定層とを有する。記憶層又は磁化固定層のうち、少なくとも一方を構成する強磁性層が、Fe, Co, Niから選ばれる1種以上の元素と、B元素とを少なくとも含み、かつ結晶質構造を有する化合物から構成される。化合物の結晶の単位結晶構造の周期xが、0.19nm x 0.23nmの範囲内である。

10

【0018】

特許文献6（特開2008-103728号公報：対応米国出願US2008088986（A1））に磁気トンネル接合素子およびその製造方法が開示されている。この磁気トンネル接合素子の製造方法は、磁気モーメントを有するフリー層を含む磁気トンネル接合（MTJ）素子の製造方法である。基板上に磁気ピンニング層を形成するステップと、磁気ピンニング層の上に磁気ピンド層を形成するステップと、磁気ピンド層の上にトンネルバリア層を形成するステップと、トンネルバリア層の上に、NiFe（ニッケル鉄）からなるフリー層と、NiFeHf（ニッケル鉄ハフニウム）からなる第1のキャップ層とを形成するステップと、第1のキャップ層の上に、Ta（タンタル）とRu（ルテニウム）とを順次積層してなる第2のキャップ層を形成するステップと、フリー層中に捕捉されている酸素を第1のキャップ層中に拡散させるのに十分な時間と温度下で加熱処理を行うことにより、トンネルバリア層とフリー層との界面を鮮鋭化させるステップとを含む。

20

【0019】

特許文献7（特開2009-117846号公報：対応米国出願US2009122450（A1））にTMR素子およびその形成方法が開示されている。このTMR（tunneling magnetoresistive）素子は、基板の上に順に積層形成され、シード層、反強磁性層およびピンド層を含む積層体と、ピンド層の上に形成され、MgO_x（酸化マグネシウム）からなるトンネルバリア層と、トンネルバリア層の上に形成され、CoB_x（コバルトボロン；1原子% x 30原子%）またはFeB_y（鉄ボロン；1原子% y 30原子%）を含むフリー層と、フリー層の上に形成されたキャップ層とを備える。

30

【0020】

特許文献8（特許第3888463号公報：対応米国特許US7184301（B2））にメモリセル及び磁気ランダムアクセスメモリが開示されている。このメモリセルは、第1ゲートと、第1ゲート以外の一方の端子としての第1端子と、他方の端子としての第2端子とを含む第1トランジスタと、記憶されるデータに応じて磁化方向が反転される自発磁化を有し、一方の端子としての第3端子と、他方の端子としての第4端子とを含む磁気抵抗素子とを具備する。第1端子は、第1ビット線に接続される。第2端子は、第2ビット線に接続される。第1ゲートは、第1ワード線に接続される。第3端子は、第2ワード線に接続される。第4端子は、前記第2端子に接続される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0021】

【特許文献1】米国特許第6545906号公報

【特許文献2】特開2004-348934号公報

【特許文献3】特開2003-198003号公報

【特許文献4】特開2004-200245号公報

【特許文献5】特開2006-318983号公報

50

【特許文献6】特開2008-103728号公報

【特許文献7】特開2009-117846号公報

【特許文献8】特許3888463号公報

【非特許文献】

【0022】

【非特許文献1】H. Honjo et al., "Performance of shape-varying magnetic tunneling junction for high-speed magnetic random access memory cells", J. Appl. Phys. 105, 07C921 (2009).

10

【非特許文献2】H. Honjo et al., "Performance of write-line inserted magnetic tunneling junction for low-write-current magnetic random access memory cell", J. Appl. Phys. 103, 07A711 (2008).

【非特許文献3】N. Sakimura et al., "MRAM Cell Technology for Over 500-MHz SoC", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 42, NO. 4, APRIL 2007.

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

MgOトンネルバリア膜を用いたMTJ素子では、MR比の大きさはMgOに隣接する磁性膜のスピンの分極率とともに、MgOの結晶配向性等によって決定される。CoFeB、Fe、Coなどは、スピンの分極率が比較的高く、また、MgOの結晶配向性を向上するため高いMR比を得ることができる。しかしながら、CoFeB、FeおよびCoは結晶磁気異方性が大きいために、CoFeB、Fe、Coを磁化自由層に用いると反転磁界が高くなるという問題がある。

【0024】

一方、NiFeは、スピンの分極率が比較的小さく、MgOの結晶配向性を悪化するためNiFeを磁化自由層に用いた場合には高いMRが得られない。しかし、NiFeは結晶磁気異方性が小さいため、反転磁化は小さいという利点がある。

30

【0025】

本発明の目的は、磁界書き込み方式の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、低電流（例示：1mA以下）の書き込み電流で、かつ、高速動作（例示：500MHz以上）を実現することが可能な磁気ランダムアクセスメモリを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0026】

本発明の磁気抵抗効果素子は、反転可能な磁化を有する磁化自由層と、磁化自由層に隣接する絶縁層と、絶縁層の磁化自由層と反対側に隣接し、磁化がほぼ一方向に固定された磁化固定層とを具備する。磁化自由層は、絶縁層に隣接し、Fe又はCoから成り第1磁化自由層と、第1磁化自由層に隣接し、NiFeBから成り第2磁化自由層とを備える。

40

【0027】

また、本発明の磁気ランダムアクセスメモリは、アレイ状に設けられた複数の磁気メモリセルと、複数の磁気メモリセルの書き込み動作及び読み出し動作を制御する制御回路とを具備する。複数の磁気メモリセルの各々は、上記の複磁気抵抗効果素子と、磁気抵抗効果素子の近傍に設けられ、書き込み電流が流れる配線層とを備える。

【発明の効果】

【0028】

本発明によれば、磁界書き込み方式の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、低電流の

50

書込み電流で、かつ、高速動作を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1A】図1Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの主要な部分の構造を表す模式図である。

【図1B】図1Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの主要な部分の構造を表す模式図である。

【図2】図2は、本発明の実施の形態における磁気メモリセルのMR比の第2磁化自由層膜厚依存性を示すグラフである。

【図3】図3は、本発明の実施の形態における磁気メモリセルのMR比の第1磁化自由層膜厚依存性を示すグラフである。

【図4】図4は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの書込み電流の第1磁化自由層のFe膜厚依存性を示すグラフである。

【図5】図5は、図4の場合における書込み電流ばらつきの第1磁化自由層のFe膜厚依存性を示すグラフである。

【図6】図6は、本発明の実施の形態に係るMRAMの構成を示す概念図である。

【図7A】図7Aは、本発明の実施の形態の変形例に係る磁気メモリセルの主要な部分の構造を表す模式図である。

【図7B】図7Bは、本発明の実施の形態の変形例に係る磁気メモリセルの主要な部分の構造を表す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

添付図面を参照して、本発明の実施の形態に係る磁気抵抗素子及び磁気ランダムアクセスメモリについて説明する。本発明の実施の形態に係る磁気ランダムアクセスメモリは、アレイ状に配置された複数の磁気メモリセルを有している。各磁気メモリセルは磁気抵抗効果素子を有している。

【0031】

1. 磁気メモリセルの構造

図1A及び図1Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの主要な部分（磁気抵抗効果素子の部分）の構造を表す模式図である。ただし、図1Aは平面図であり、図1Bは図1AにおけるA-A'断面図である。本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの主要部1はy軸方向に延伸して設けられる配線層70と磁気抵抗効果素子80とを備えている。

【0032】

磁気抵抗効果素子80は、下地層10と、磁化自由層20と、絶縁層30と、磁化固定層40と、反強磁性層50と、キャップ層60とを備えている。絶縁層30は、磁化自由層20と磁化固定層40とに挟まれている。これら磁化自由層20、絶縁層30、磁化固定層40によって磁気トンネル接合(MTJ)が形成されている。すなわち、絶縁層30は、MTJのトンネルバリア層として機能する。磁化固定層40は、MTJのピン層として機能する。磁化自由層20は、MTJのフリー層として機能する。

【0033】

磁化固定層40は強磁性体から構成される。磁化固定層40は、2つの強磁性体層が磁化結合層を介して反強磁性結合(anti-ferromagnetic)した多層膜でもよい。磁化固定層40には反強磁性層50が隣接して設けられ、一つの層内においてその磁化は実質的に一方向に固定されている。磁化固定層40/反強磁性層50の材料としては、CoFe/PtMnあるいはCoFeB/PtMnが例示される。磁化固定層40が上記多層膜の場合、第1の強磁性体層/磁化結合層/第2の強磁性体層(以上、磁化固定層40)/反強磁性層50の材料としては、CoFe/Ru/CoFe/PtMnあるいはCoFeB/Ru/CoFe/PtMnが例示される。

【0034】

10

20

30

40

50

絶縁層 30 は MgO から構成されることが好ましい。高い MR 比を得るためである。また、配線層 70 は導電性であり、書き込み電流が流れる層である。配線層 70 の両端は例えばコンタクト配線を介して MOS トランジスタのソース/ドレインに接続される。配線層 70 の材料としては例えば Cu である。

【0035】

磁化自由層 20 は、第 1 磁化自由層 20 a と第 2 磁化自由層 20 b との積層膜から構成されている。第 1 磁化自由層 20 a は、Fe 又は Co から構成されている。ただし、製造誤差による少量の不純物を含むことは許される。一方、第 2 磁化自由層 20 b は、NiFeB から構成されている。特に、下記の図 2 ~ 図 5 で示される特性を有するためには、第 2 磁化自由層 20 b の組成は、Ni を 70 at % 以上 90 at % 以下とし、Fe を 5 at % 以上 15 at % 以下とし、B を 5 at % 以上 20 at % 以下とすることが好ましい。ただし、製造誤差による少量の不純物を含むことは許される。第 1 磁化自由層 20 a 及び第 2 磁化自由層 20 b は、その磁化が磁化固定層 40 の磁化と平行、または反平行を取り得るように磁気異方性が付与されている。この磁気異方性は形状によって制御されてもよく、材料、組織、結晶構造によって制御されてもよい。

10

【0036】

既述のように、メモリの高速動作のためには MR 比が十分に高い必要があり、500 MHz 以上の高速の読み出し動作のためには MR 比が 70 % 以上必要であると考えられる。以下、上記構成を有する磁気メモリセルについて、その MR 比を評価した結果について説明する。

20

【0037】

図 2 は、本発明の実施の形態における磁気メモリセルの MR 比の第 2 磁化自由層膜厚依存性を示すグラフである。縦軸は MTJ における MR 比 (%) を示し、横軸は第 2 磁化自由層 20 b の膜厚 (nm) を示す。また、測定点 (曲線) E1 は、第 2 磁化自由層 20 b が NiFeB の場合を示す。測定点 (曲線) F1 は、第 2 磁化自由層 20 b が NiFe の場合を示す。ただし、第 1 磁化自由層 20 a は、Fe (膜厚 0.2 nm) で固定している。

【0038】

第 2 磁化自由層 20 b が NiFe の場合 (F1) では、MR 比は膜厚 2 ~ 3 nm 付近で極大値をとり、その値は 50 % である。それに対して、第 2 磁化自由層 20 b が NiFeB の場合 (E1) では、MR 比は膜厚に比例して単調に増加し、その値は膜厚 3 nm 以上で 70 % 以上となる。

30

【0039】

図 3 は、本発明の実施の形態における磁気メモリセルの MR 比の第 1 磁化自由層膜厚依存性を示すグラフである。縦軸は MTJ における MR 比 (%) を示し、横軸は第 1 磁化自由層 20 a の膜厚 (nm) を示す。また、測定点 (曲線) E2 は、第 2 磁化自由層 20 b が NiFeB の場合を示す。測定点 (曲線) F2 は、第 2 磁化自由層 20 b が NiFe の場合を示す。ただし、第 2 磁化自由層 20 b の膜厚は、3 nm で固定している。

【0040】

第 2 磁化自由層 20 b が NiFe の場合 (F2) では、MR 比は Fe (第 1 磁化自由層 20 a) の膜厚 0.3 nm 付近で極大値をとり、その値は 60 % 程度である。それに対して、第 2 磁化自由層 20 b が NiFeB の場合 (E2) では、MR 比は Fe の膜厚に比例して単調に増加し、その値は Fe 挿入膜厚 0.2 nm 以上で 70 % 以上となる。

40

【0041】

以上のように、第 1 磁化自由層 20 a が Fe、第 2 磁化自由層 20 b が NiFeB の場合に、目標とする MR 比 70 % 以上を得ることが可能となる。例えば、上記図 2 及び図 3 の条件からは、第 1 磁化自由層 20 a : 膜厚 0.2 nm 以上の Fe、第 2 磁化自由層 20 b : 膜厚 3 nm 以上の NiFeB、とすることで MR 比 70 % 以上を達成することができる。そして、第 1 磁化自由層 20 a の膜厚は、第 2 磁化自由層 20 b の膜厚に比較して薄くなる。第 2 磁化自由層 20 b がフリー層としてのデータ記憶機能を有する必要がある一

50

方、第1磁化自由層20aが絶縁層30との界面特性を改善するために形成されるので、相対的に薄くて良いからである。なお、第1磁化自由層20aがCoの場合にも、Feの場合とほぼ同様の効果を得ることができる。以下同様である。

【0042】

上記のように、MR比はNiFeB(第2磁化自由層20b)およびFe(第1磁化自由層20a)の膜厚が厚いほど大きくなる。しかし、これらの膜厚が厚くなると磁化の大きさが増加するため書き込み電流値が増加する。従って、書き込み電流値を低く抑えるため、NiFeB(第2磁化自由層20b)およびFe(第1磁化自由層20a)の最適な膜厚値が存在する。以下その評価結果を示す。

【0043】

図4は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの書き込み電流値の第1磁化自由層のFe膜厚依存性を示すグラフである。ただし、縦軸は書き込み電流値(mA)、横軸はFe膜厚(nm)である。また、測定点E3は、第2磁化自由層20bがNiFeBの場合を示す。測定点F3は、第2磁化自由層20bがNiFeの場合を示す。第2磁化自由層20bの膜厚は、3nmで固定している。

【0044】

書き込み電流値は、Fe膜厚が厚くなるほど増加する。Fe膜厚が1nm以下の領域では、書き込み電流値は1mA以下となる。そして、第2磁化自由層20bがNiFeBの場合(E3)もNiFe(F3)の場合もほぼ同じ書き込み電流値である。従って、書き込み電流値を1mA以下とするためには、第1磁化自由層20a:膜厚1nm以下のFeとすることが好ましい。これは、第2磁化自由層20bの上記の他の膜厚でも同様である。

【0045】

図5は、図4の場合における書き込み電流ばらつきの第1磁化自由層のFe膜厚依存性を示すグラフである。ただし、縦軸は書き込み電流ばらつき(%)、横軸はFe膜厚(nm)である。また、測定点E4は、第2磁化自由層20bがNiFeBの場合を示す。測定点F4は、第2磁化自由層20bがNiFeの場合を示す。第2磁化自由層20bの膜厚は、3nmで固定している。

【0046】

第2磁化自由層20bがNiFeの場合(F4)では、書き込み電流ばらつきはFe膜厚によらずほぼ一定である。それに対して、第2磁化自由層20bがNiFeBの場合(E4)では、書き込み電流ばらつきはFe膜厚が厚くなるに従って減少する。そして、NiFeBの場合(E4)の方がNiFeの場合(F4)よりも書き込み電流ばらつきが半分程度と小さくなっている。これは、NiFeB膜は結晶粒が小さい又はアモルファスの膜のためバリア層(絶縁層30)の下側の平滑性が向上し、その結果としてネールカップリング磁界が減少すること、及び、NiFeB膜がFe(第1磁化自由層20a)/MgO(バリア層)の結晶配向性を向上すること、などの効果によるものである。書き込み電流値のばらつきを15%程度まで許容するとすれば、第1磁化自由層20a:膜厚0.2nm以上のFeとすることが好ましい。これは、第2磁化自由層20bの上記の他の膜厚でも同様である。

【0047】

以上のことから、第1磁化自由層20aのFe膜厚は0.2nm以上1.0nm以下付近の膜厚が好適である。また、第2磁化自由層20bのNiFeB膜厚は3nm以上の膜厚が好適である。NiFeB膜厚の上限は配線層70を流れる1mAの電流で反転させる得る膜厚であり約10nmである。

これにより、MgOトンネルバリア膜(絶縁層30)に隣接して、スピン分極率が高くMgOの結晶配向性を向上させるFe磁性膜(第1磁化自由層20a)を設けているので、MTJ素子のMR比の大きさを高くすることができる。すなわち、高速動作が可能となる。加えて、Fe磁性膜(第1磁化自由層20a)下にNiFeB磁性膜(第2磁化自由層20b)を相対的に厚く設けているので、MTJ素子のフリー層としては、結晶磁気異方性を小さくできるので、すなわち、反転磁化を小さくできるので、書き込み電流値を低

10

20

30

40

50

く抑えることができる。

【0048】

2. MRAMの構成及び動作

上記の磁気メモリセルの主要部1は、MRAMに集積化されて使用され得る。図6は、本発明の実施の形態に係るMRAMの構成を示す概念図である。当該MRAMは、複数の磁気メモリセル91がマトリクス状に配置されたメモリセルアレイ90を有している。各磁気メモリセル91は、磁気メモリセルの主要部1と、2つの選択トランジスタTR1、TR2とを有している。選択トランジスタTR1のソース/ドレインの一方は配線層70の一方の端に接続され、他方は第1ビット線BL1に接続されている。選択トランジスタTR2のソース/ドレインの一方は配線層70の他方の端に接続され、他方は第2ビット線BL2に接続されている。選択トランジスタTR1、TR2のゲートはワード線WLに接続されている。磁気抵抗素子80のキャップ層60は、配線を介して接地線に接続されている。

10

【0049】

ワード線WLは、Xセクタ92に接続されている。Xセクタ92は、データの書き込み・読み出しにおいて、対象の磁気メモリセル91（以下、「選択磁気メモリセル」という）に対応するワード線WLを選択ワード線WLとして選択する。第1ビット線BL1はY側電流終端回路94に接続されており、第2ビット線BL2はYセクタ93に接続されている。Yセクタ93は、選択磁気メモリセル91につながる第2ビット線BL2を選択第2ビット線BL2として選択する。Y側電流終端回路94は、選択磁気メモリセル91につながる第1ビット線BL1を選択第1ビット線BL1として選択する。

20

【0050】

メモリセルアレイ90は、データの記録に用いられる磁気メモリセル91に加え、データ読み出しの際に参照されるリファレンスセル91rを含んでいる。リファレンスセル91rの構造は、磁気メモリセル91と同じである。リファレンスセル91rの列に沿って、第1リファレンスビット線BL1r及び第2リファレンスビット線BL2rが設けられている。

【0051】

データ書き込み時のMRAMの動作は、下記の通りである。Y側電流源回路95は、Yセクタ93により選択された選択第2ビット線BL2に対して所定の書き込み電流の供給又は引き込みを行う。Y側電源回路96は、Y側電流終端回路94により選択された選択第1ビット線BL1に所定の電圧を供給する。その結果、書き込み電流は、書き込むデータに応じて、選択第1ビット線BL1と配線層70と選択第2ビット線BL2の経路を介してYセクタ93へ流れ込む、あるいは、Yセクタ93から流れ出す。そのとき、配線層70を通る書き込み電流の向きで磁化自由層20の近傍に書き込むデータに応じた+x方向又は-x方向の磁界が発生する。それにより、磁化自由層20の磁化方向としてデータが書込まれる。これらXセクタ92、Yセクタ93、Y側電流終端回路94、Y側電流源回路95、及びY側電源回路96は、磁気メモリセル91に書き込み電流を供給しデータを書き込むため書き込み制御回路を構成している。

30

【0052】

一方、データ読み出し時のMRAMの動作は下記の通りである。Y側電流終端回路94により第1ビット線BL1は“Open”に設定される。読み出し電流付加回路97は、Yセクタ93により選択された選択第2ビット線BL2に所定の読み出し電流を流す。読み出し電流は、選択第2ビット線BL2と配線層70と磁気抵抗効果素子80と接地線の経路に流れる。その結果、選択第2ビット線BL2の電位は、磁気抵抗効果素子80の抵抗値に基づいた電位となる。また、読み出し電流付加回路97は、選択ワード線WLに対応するリファレンスセル91rにつながる第2リファレンスビット線BL2rに所定の電流を流す。その結果、同様にして、第2リファレンスビット線BL2rの電位は、リファレンスセル91rの磁気抵抗効果素子80の抵抗値に基づいた電位となる。センスアンプ98は、選択第2ビット線の電位と第2リファレンスビット線BL2rの電位との差か

40

50

ら選択磁気メモリセル91に記憶されているデータを判別し、そのデータを出力する。これらXセクタ92、Yセクタ93、Y側電流終端回路94、読み出し電流付加回路97、及びセンスアンプ98は、磁気抵抗素子に読み出し電流を供給し、データを読み出すための読み出し制御回路を構成している。

【0053】

上記MRAMの動作において、磁化自由層20に軟磁性なパーマロイ系の膜(第2磁化自由層20b)と非常に薄いFe、Co膜(第1磁化自由層20a)などを積層することによって、1mA以下の書き込み電流と500MHz以上の高速で動作を同時に確認することができた。なお、上記の書き込み動作を制御する書き込み制御回路及び読み出し動作を制御する読み出し制御回路は、併せてデータ制御回路と見ることができる。なお、データ制御回路の構成は、この例に限定されるものではなく、上記磁気メモリセル91に対する書き込み及び読み出しが可能であれば他の構成を用いることも可能である。

10

【0054】

3. 効果

以上に説明されたように、本発明の実施の形態によれば新たなMRAMが提供される。そのMRAMは、アレイ状に配置された複数の磁気メモリセルを有しており、各磁気メモリセルは配線層70と磁気抵抗効果素子80とを備えている。磁気抵抗効果素子80は磁化固定層40、絶縁層30、及び第1磁化自由層20aおよび第2磁化自由層20bから構成されている。こうした磁気ランダムアクセスメモリにより、少なくとも以下の効果が得られる。

20

【0055】

第1の効果は、MTJのフリー層としての磁化自由層をFeあるいはCoとNiFeBの積層膜とすることで、MgOバリア層(絶縁層)の結晶配向性を向上してMR比を向上させることができる。それにより、高速動作を可能とすることができる。また、結晶磁気異方性の大きなCoあるいはFeの膜厚を薄くし、また、結晶磁気異方性の小さいパーマロイ系磁性膜と積層することによって反転磁界を低減することができる。それにより書き込み電流を小さくすることができる。

【0056】

第2の効果は、NiFeB膜を用いることでMgOバリア層下の表面平滑性を向上し、ネールカップリング磁界を低減することができる。それにより、書き込み電流ばらつきを低減させることができる。

30

【0057】

第3の効果は、MgOバリア層下の平滑性を向上することでMgOバリアの絶縁耐圧、TDDB(Time Dependent Dielectric Breakdown)などの信頼性を向上させることができる。かくして、本実施の形態により、1mA以下の書き込み電流及び500MHz以上の高速動作が実現される。

【0058】

4. 変形例

図7A及び図7Bは、本発明の実施の形態の変形例に係る磁気メモリセルの主要な部分(磁気抵抗効果素子の部分)の構造を表す模式図である。ただし、図7Aは平面図であり、図7Bは図7AにおけるB-B'断面図である。本発明の実施の形態の変形例に係る磁気メモリセルの主要部1は、y軸方向に延伸して設けられる配線層70と磁気抵抗効果素子80とを備えている。

40

【0059】

本変形例では、磁気抵抗効果素子80に関する変形例である。図1A及び図1Bの場合と比較すると、この磁気抵抗効果素子80は、第1磁化自由層20a及び第2磁化自由層20bと、磁化固定層40及び反強磁性層50とが絶縁層30に対して上下反転した構造になっている。

【0060】

このような構造でも、図1A及び図1Bの場合とほぼ同様の効果を得ることができる。

50

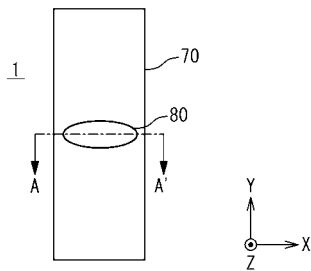
【 0 0 6 1 】

以上、実施の形態（変形例を含む）を参照して本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明のスコープ内で当業者が理解しうる様々な変更をすることができる。

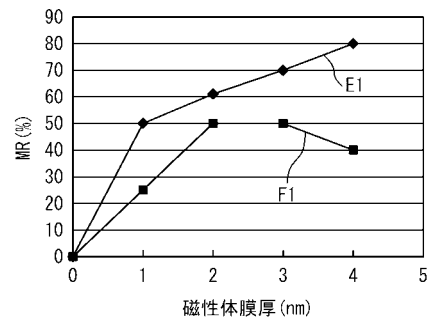
【 0 0 6 2 】

この出願は、2009年11月27日に出願された特許出願番号2009-270093号の日本特許出願に基づいており、その出願による優先権の利益を主張し、その出願の開示は、引用することにより、そっくりそのままここに組み込まれている。

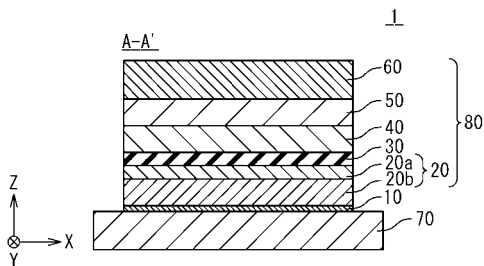
【 図 1 A 】



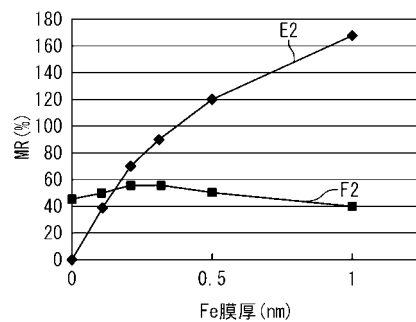
【 図 2 】



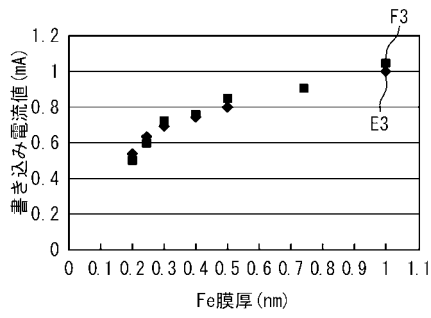
【 図 1 B 】



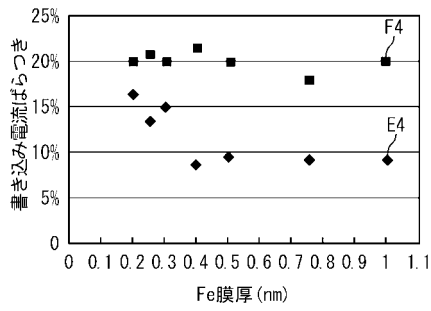
【 図 3 】



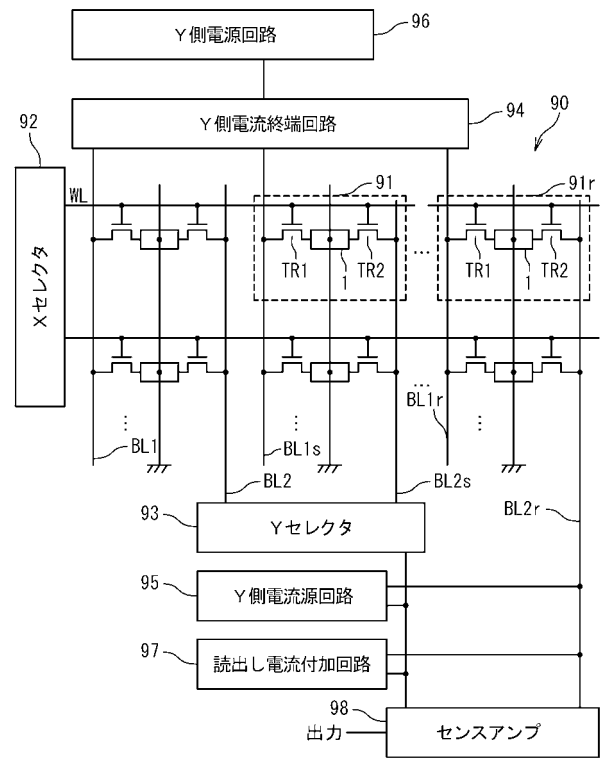
【 図 4 】



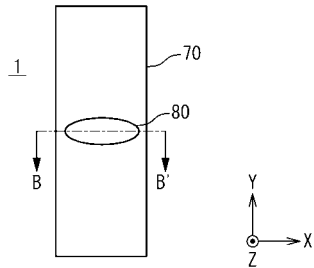
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 A 】



【 図 7 B 】

