

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5380317号
(P5380317)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 43/08 (2006.01)

H O 1 L 43/08 Z

H O 1 L 43/10 (2006.01)

H O 1 L 43/08 M

H O 1 L 43/12 (2006.01)

H O 1 L 43/10

H O 1 L 21/8246 (2006.01)

H O 1 L 43/12

H O 1 L 27/105 (2006.01)

H O 1 L 27/10 4 4 7

請求項の数 19 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-15152 (P2010-15152)
 (22) 出願日 平成22年1月27日 (2010.1.27)
 (65) 公開番号 特開2011-82477 (P2011-82477A)
 (43) 公開日 平成23年4月21日 (2011.4.21)
 審査請求日 平成22年1月27日 (2010.1.27)
 (31) 優先権主張番号 10-2009-0095703
 (32) 優先日 平成21年10月8日 (2009.10.8)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

(73) 特許権者 591074116
 韓国科学技術研究院
 K O R E A I N S T I T U T E O F
 S C I E N C E A N D T E C N O L O
 G Y
 大韓民国 136-791 ソウル 城北
 区 下月谷洞 39-1
 39-1 H a w o l g o k - d o n g ,
 S e o n g b u k - g u , S e o u l 1
 36-791 K O R E A
 (74) 代理人 100083806
 弁理士 三好 秀和
 (74) 代理人 100095500
 弁理士 伊藤 正和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気トンネル接合デバイスおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反転可能な磁化方向を有する第1磁性層、
 前記第1磁性層上に位置する非磁性層、
 前記非磁性層上に位置して、固定された磁化方向を有する第2磁性層、
 前記第2磁性層上に位置する酸化防止層、
 前記酸化防止層上に位置して、前記第2磁性層との磁性結合によって前記第2磁性層の
 磁化方向を固定させる第3磁性層、および
 前記第3磁性層上に位置して、前記第3磁性層の磁化方向を固定させる反強磁性層を含
 み、
 前記第1磁性層および前記第2磁性層は、体心立方格子構造を有し、
 前記酸化防止層は、非晶質を含み、
 前記非晶質は、RuまたはRuとTa、Cr、V、Rh、Ir、Re、Mo、Os、お
 よびPtからなる群より選択された一つ以上の物質との合金を含むことを特徴とする、磁
 気トンネル接合デバイス。

【請求項 2】

前記第3磁性層は、Fe、Co、Ni、FeCo、CoNi、およびNiFeからなる
 群より選択された物質を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバ
 イス。

【請求項 3】

前記第3磁性層は、B、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、およびTbからなる群より選択された一つの元素と前記物質との化合物を含むことを特徴とする、請求項2に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項4】

前記第1磁性層および前記第2磁性層は、Fe、およびFeCoからなる群より選択された物質とB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、およびTbからなる群より選択された一つの元素との化合物を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項5】

前記第1磁性層および前記第2磁性層からなる群より選択された一つ以上の磁性層の厚さは1nm乃至5nmであることを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバイス。

10

【請求項6】

前記非磁性層は、絶縁体または半導体を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項7】

前記非磁性層が絶縁体を含む場合、前記絶縁体は、MgO、Al₂O₃、HfO₂、TiO₂、Y₂O₃、およびYb₂O₃からなる群より選択された一つ以上の化合物を含むことを特徴とする、請求項6に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項8】

20

前記非磁性層の厚さは0.7nm乃至2nmであることを特徴とする、請求項6に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項9】

前記反強磁性層は、IrMn、PtMn、NiMn、およびFeMnを含む群からなる群より選択された一つ以上の化合物を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項10】

前記第1磁性層下に位置するバッファ層、および

前記反強磁性層上に位置する保護層をさらに含み、

前記バッファ層または前記保護層は、Au、Ru、Ta、Cu、CuN、Pd、Pt、およびダイヤモンド状炭素からなる群より選択された一つ以上の元素を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバイス。

30

【請求項11】

前記酸化防止層および前記第3磁性層の間に位置して、前記第2磁性層と前記第3磁性層との磁性結合を誘導する交換結合層をさらに含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項12】

前記交換結合層は、Ru、Cr、V、Rh、Ir、Re、Mo、Cu、Os、Au、およびAgからなる群より選択された一つ以上の元素を含むことを特徴とする、請求項11に記載の磁気トンネル接合デバイス。

40

【請求項13】

前記第2磁性層の磁化方向および前記第3磁性層の磁化方向は互いに反対に固定されることを特徴とする、請求項11に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項14】

第1磁性層を提供する段階、

前記第1磁性層上に非磁性層を提供する段階、

前記非磁性層上に第2磁性層を提供する段階、

前記第2磁性層上に酸化防止層を提供する段階、

前記第1磁性層、前記非磁性層、前記第2磁性層、および前記酸化防止層を真空熱処理する段階、

50

前記酸化防止層上に第3磁性層を提供する段階、および
前記第3磁性層上に反強磁性層を提供する段階を含み、
前記真空熱処理する段階で、前記第1磁性層および前記第2磁性層は、前記酸化防止層が非晶質のまま体心立方格子構造に変化することを特徴とする、磁気トンネル接合デバイスの製造方法。

【請求項15】

第1磁性層を提供する段階、
前記第1磁性層上に非磁性層を提供する段階、
前記非磁性層上に第2磁性層を提供する段階、
前記第2磁性層上に酸化防止層を提供する段階、
前記第1磁性層、前記非磁性層、前記第2磁性層、および前記酸化防止層を真空熱処理する段階、
前記酸化防止層上に交換結合層を提供する段階、
前記交換結合層上に第3磁性層を提供する段階、および
前記第3磁性層上に反強磁性層を提供する段階を含み、
前記真空熱処理する段階で、前記第1磁性層および前記第2磁性層は、前記酸化防止層が非晶質のまま体心立方格子構造に変化することを特徴とする、磁気トンネル接合デバイスの製造方法。

10

【請求項16】

前記各層を最終熱処理しつつ磁場を印加する段階をさらに含み、
前記各層を最終熱処理しつつ磁場を印加する段階で、前記第2磁性層の磁化方向および前記第3磁性層の磁化方向が固定されることを特徴とする、請求項14または15に記載の磁気トンネル接合デバイスの製造方法。

20

【請求項17】

前記最終熱処理する段階での熱処理温度は、前記真空熱処理する段階での熱処理温度より低いことを特徴とする、請求項16に記載の磁気トンネル接合デバイスの製造方法。

【請求項18】

前記真空熱処理する段階で、熱処理温度は250乃至600であることを特徴とする、請求項14または15に記載の磁気トンネル接合デバイスの製造方法。

【請求項19】

前記第1磁性層を提供する段階で、前記第1磁性層は非晶質を含み、
前記非磁性層上に第2磁性層を提供する段階で、前記第2磁性層は非晶質を含むことを特徴とする、請求項14または15に記載の磁気トンネル接合デバイスの製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気トンネル接合デバイスおよびその製造方法に関するものである。より詳しくは、本発明は、磁気トンネル接合構造体を形成しつつ熱処理して、その特性を向上させた、磁気トンネル接合デバイスおよびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

40

【0002】

最近、多様な種類のメモリが開発されている。例えば、メモリとして、磁気ランダムアクセスメモリ(magnetic random access memory、MRAM)、相転移ランダムアクセスメモリ(phase-change random access memory、PRAM)、および抵抗ランダムアクセスメモリ(resistive random access memory、RRAM)などが開発されている。

【0003】

前述したメモリのうちの磁気ランダムアクセスメモリは、磁気トンネル接合(magnetic tunnel junction、MTJ)素子を情報保存素子として利用す

50

る。磁気トンネル接合素子は、メモリセル内に含まれて、強磁性トンネル接合を形成する。磁気トンネル接合素子は、磁性層、絶縁層、および磁性層の構造からなり、電流は、絶縁層をトンネリングして流れる。ここで、2つの磁性層の相対的な磁化方向が互いに同一である場合、磁気トンネル接合素子は低い抵抗値を有する。反対に、2つの磁性層の相対的な磁化方向が互いに異なる場合、磁気トンネル接合素子は高い抵抗値を有する。前述した低い抵抗値および高い抵抗値は、それぞれデジタル情報として0および1に対応する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、大きなトンネリング磁気抵抗 (tunneling magnetoresistance、TMR) 比および安定した交換結合が可能な磁気トンネル接合デバイスを提供する。また、前述した磁気トンネル接合デバイスの製造方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合デバイスは、i) 反転可能な磁化方向を有する第1磁性層、ii) 第1磁性層上に位置する非磁性層、iii) 非磁性層上に位置して、固定された磁化方向を有する第2磁性層、iv) 第2磁性層上に位置する酸化防止層、v) 酸化防止層上に位置して、第2磁性層との磁性結合によって第2磁性層の磁化方向を固定させる第3磁性層、およびvi) 第3磁性層上に位置して、第3磁性層の磁化方向を固定させる反強磁性層を含む。

【0006】

酸化防止層は、非晶質を含むことができる。酸化防止層は、Ru、Ta、Cr、V、Rh、Ir、Re、Mo、Os、およびPtからなる群より選択された一つ以上の物質を含むことができる。第3磁性層は、Fe、Co、Ni、FeCo、CoNi、およびNiFeからなる群より選択された物質を含むことができる。第3磁性層は、B、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、およびTbからなる群より選択された一つの元素と前記物質との化合物を含むことができる。第1磁性層および前記第2磁性層は、Fe、Co、Ni、FeCo、CoNi、およびNiFeからなる群より選択された物質とB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、およびTbからなる群より選択された一つの元素との化合物を含むことができる。第1磁性層および第2磁性層からなる群より選択された一つ以上の磁性層は、体心立方 (body centered cubic、BCC) 格子構造を有することができる。

【0007】

第1磁性層および第2磁性層からなる群より選択された一つ以上の磁性層の厚さは1 nm乃至5 nmである。非磁性層は、絶縁体または半導体を含むことができる。非磁性層が絶縁体を含む場合、絶縁体は、MgO、Al₂O₃、HfO₂、TiO₂、Y₂O₃、およびYb₂O₃からなる群より選択された一つ以上の化合物を含むことができる。非磁性層の厚さは0.7 nm乃至2 nmである。反強磁性層は、IrMn、PtMn、NiMn、およびFeMnを含む群からなる群より選択された一つ以上の化合物を含むことができる。

【0008】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合デバイスは、i) 第1磁性層下に位置するバッファ層、およびii) 反強磁性層上に位置する保護層をさらに含むことができる。バッファ層または保護層は、Au、Ru、Ta、Cu、CuN、Pd、Pt、およびダイヤモンド状炭素からなる群より選択された一つ以上の元素を含むことができる。

【0009】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合デバイスは、酸化防止層および第3磁性層の間に位置して、第2磁性層と第3磁性層との磁性結合を誘導する交換結合層をさらに含むことができる。交換結合層は、Ru、Cr、V、Rh、Ir、Re、Mo、Cu、Os、Au、およびAgからなる群より選択された一つ以上の元素を含むことができる。第2磁

10

20

30

40

50

性層の磁化方向および第3磁性層の磁化方向は互いに反対に固定される。

【0010】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合デバイスの製造方法は、i)第1磁性層を提供する段階、ii)第1磁性層上に非磁性層を提供する段階、iii)非磁性層上に第2磁性層を提供する段階、iv)第2磁性層上に酸化防止層を提供する段階、v)第1磁性層、非磁性層、第2磁性層、および酸化防止層を真空熱処理する段階、vi)酸化防止層上に第3磁性層を提供する段階、およびvii)第3磁性層上に反強磁性層を提供する段階を含む。

【0011】

また、本発明の他の実施例による磁気トンネル接合デバイスの製造方法は、i)第1磁性層を提供する段階、ii)第1磁性層上に非磁性層を提供する段階、iii)非磁性層上に第2磁性層を提供する段階、iv)第2磁性層上に酸化防止層を提供する段階、v)第1磁性層、非磁性層、第2磁性層、および酸化防止層を真空熱処理する段階、vi)酸化防止層上に交換結合層を提供する段階、vii)交換結合層上に第3磁性層を提供する段階、およびviii)第3磁性層上に反強磁性層を提供する段階を含む。

10

【0012】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合デバイスの製造方法は、各層を最終熱処理しつつ磁場を印加する段階をさらに含むことができる。各層を最終熱処理しつつ磁場を印加する段階で、第2磁性層の磁化方向および第3磁性層の磁化方向が固定される。最終熱処理する段階での熱処理温度は、真空熱処理する段階での熱処理温度より低い。

20

【0013】

真空熱処理する段階で、熱処理温度は250乃至600である。真空熱処理する段階で、第1磁性層および第2磁性層は、体心立方格子構造に変化する。第1磁性層を提供する段階で、第1磁性層は非晶質を含み、非磁性層上に第2磁性層を提供する段階で、第2磁性層は非晶質を含むことができる。

【発明の効果】

【0014】

磁気トンネル接合デバイスの蒸着中に磁気トンネル接合デバイスを*in-situ*熱処理することによって、Mnなどの磁気トンネル接合デバイスの動作特性を低下させる元素の拡散を防止することができる。また、磁性層およびトンネル障壁層の結晶整合性を向上させることができる。そして、磁気トンネル接合デバイスの熱処理温度の制限を緩和させることができる。さらには、高い熱処理温度を要求する磁気トンネル接合工程と低い熱処理温度を要求する交換結合バイアス確保工程とを分離することによって、磁気トンネル接合デバイスのトンネリング磁気抵抗比を高めることができ、磁気トンネル接合デバイスの交換結合を安定化させることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の第1実施例による磁気トンネル接合デバイスの概略的な断面図である。

【図2】図1の磁気トンネル接合デバイスの製造方法を概略的に示したフローチャートである。

40

【図3】本発明の第2実施例による磁気トンネル接合デバイスの概略的な断面図である。

【図4】本発明の第3実施例による磁気トンネル接合デバイスの概略的な断面図である。

【図5】本発明の実験例1によって製造された磁気トンネル接合デバイスの磁気抵抗比を示したグラフである。

【図6】本発明の実験例2によって製造された磁気トンネル接合デバイスの磁気抵抗比を示したグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

ある部分が他の部分の「上に」と言及する場合、これは他の部分のすぐ上にあってもよく、その間に他の部分を伴ってもよい。対照的に、ある部分が他の部分の「真上に」

50

あると言及する場合、その間には他の部分を伴わない。

【 0 0 1 7 】

第 1、第 2、および第 3 などの用語は、多様な部分、成分、領域、層、および/またはセクションを説明するために使用されるが、これに限られない。これらの用語は、ある部分、成分、領域、層、またはセクションを他の部分、成分、領域、層、またはセクションと区別するためだけに使用される。したがって、後述する第 1 部分、成分、領域、層、またはセクションは、本発明の範囲を逸脱しない範囲内で、第 2 部分、成分、領域、層、またはセクションと言及されることもある。

【 0 0 1 8 】

ここで使用される専門用語は、単に特定の実施例を言及するためのものであり、本発明はこれに限られない。ここで使用される単数形態は、文章がこれと明確に反対の意味を表わさない限り、複数形態も含む。明細書で使用される「含む」の意味は、特定の特性、領域、定数、段階、動作、要素、および/または成分を具体化し、他の特性、領域、定数、段階、動作、要素、および/または成分の存在や付加を除外するのではない。

【 0 0 1 9 】

「下」、「上」などの相対的な空間を示す用語は、図面に示された一つ部分の他の部分に対する関係をより容易に説明するために使用される。このような用語は、図面で意図する意味と共に、使用中の装置の他の意味や動作を含むように意図される。例えば、図面中の装置を逆さにすれば、他の部分の「下」にあると説明されているある部分は、他の部分の「上」にあると説明される。したがって、「下」という例示的な用語は、上下の全てを含む。装置は、90°または異なる角度に回転することができ、相対的な空間を示す用語もこれによって解釈される。

【 0 0 2 0 】

特に定義してはいないが、ここで使用される技術用語および科学用語を含む全ての用語は、本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者が一般に理解する意味と同一な意味を有する。通常使用される辞典に定義された用語は、関連技術文献および現在開示されている内容に符合する意味を有すると追加解釈され、定義しない限り、理想的であったり非常に公式的な意味に解釈されない。

【 0 0 2 1 】

断面図を参照して説明している本発明の実施例は、本発明の理想的な実施例を具体的に示している。その結果、図解の多様な変形、例えば製造方法および/または仕様の変形が予想される。したがって、実施例は、図示している領域の特定の形態に限定されず、例えば製造による形態の変形を含むこともできる。例えば、扁平であると図示されたり説明された領域は、一般に粗かったり粗くて非線形の特性を有してもよい。また、鋭い角度を有すると示された部分は、ラウンド形態であってもよい。したがって、図面に示された領域は、元来概略的なものにすぎず、これらの形態は、領域の正確な形態を示すように意図されたものではなく、本発明の範囲を縮小しようとは意図されたものでもない。

【 実施例 】

【 0 0 2 2 】

図 1 は、本発明の第 1 実施例による磁気トンネル接合デバイス 100 の断面構造を概略的に示した図面である。図 1 の磁気トンネル接合デバイス 100 の断面構造は、単に本発明を例示するためのものであり、本発明がこれに限定されるのではない。したがって、磁気トンネル接合デバイス 100 の断面構造は、他の形態に変更することもできる。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示したように、磁気トンネル接合デバイス 100 は、第 1 磁性層 10、非磁性層 20、第 2 磁性層 30、酸化防止層 40、第 3 磁性層 50、および反強磁性層 60 を含む。これ以外にも、磁気トンネル接合デバイス 100 は、必要に応じて他の層をさらに含むことができる。

【 0 0 2 4 】

第 1 磁性層 10 は、非磁性層 20 によって第 2 磁性層 30 と分離される。つまり、第 2

10

20

30

40

50

磁性層 30 は、第 1 磁性層 10 上に位置する非磁性層 20 上に位置する。第 1 磁性層 10 は、反転可能な磁化方向を有する。つまり、第 1 磁性層 10 は、自由磁化層として機能する。したがって、磁場を第 1 磁性層 10 に印加して、第 1 磁性層 10 の磁化方向をスイッチングすることができる。第 1 磁性層 10 の磁化方向および第 2 磁性層 30 の相対的な磁化方向によって互いに異なる抵抗値が示される。例えば、第 1 磁性層 10 および第 2 磁性層 30 の磁化方向が互いに平行である場合、磁気トンネル接合デバイス 100 の抵抗値は低い。ここで、この抵抗値は、デジタル情報 0 に対応する。反対に、第 1 磁性層 10 および第 2 磁性層 30 の磁化方向が互いに平行でない場合、磁気トンネル接合デバイス 100 の抵抗値は高い。ここで、この抵抗値は、デジタル情報 1 に対応する。

【0025】

10

前述のように、磁化方向を調節して磁気トンネル接合デバイス 100 を駆動するために、第 2 磁性層 30 の磁化方向を固定させる。磁化方向が固定された第 2 磁性層 30 は、磁場によってその磁化方向があまり変わらない。したがって、磁場、つまり第 1 磁性層 10 の保磁力より大きな磁場を印加しても、第 2 磁性層 30 の磁化方向は変わらずに、第 1 磁性層 10 の磁化方向だけがスイッチングされる。したがって、このような現象を利用して、磁気トンネル接合デバイス 100 を駆動することができる。

【0026】

図 1 に示したように、第 1 磁性層 10 の厚さ (t_{10}) または第 2 磁性層 30 の厚さ (t_{30}) は 1 nm 乃至 5 nm である。第 1 磁性層 10 の厚さ (t_{10}) または第 2 磁性層 30 の厚さ (t_{30}) が小さすぎる場合、スピン分極を十分に得ることができない。反対に、第 1 磁性層 10 の厚さ (t_{10}) または第 2 磁性層 30 の厚さ (t_{30}) が大きすぎる場合、電流による磁化反転効果が減少する。したがって、第 1 磁性層 10 の厚さ (t_{10}) または第 2 磁性層 30 の厚さ (t_{30}) を前述した範囲に調節する。

20

【0027】

図 1 に示したように、非磁性層 20 は、第 1 磁性層 10 上に位置する。非磁性層 20 は、トンネル障壁 (tunnel barrier) として機能する。非磁性層 20 の厚さ (t_{20}) は 0.7 nm 乃至 2 nm である。非磁性層 20 の厚さ (t_{20}) が小さすぎる場合、非磁性層 20 のスピンフィルタリング (spin filtering) 効果が小さくなるので、磁気抵抗比が低下する。また、非磁性層 20 にピンホールが発生するので、漏洩電流が発生することがある。反対に、非磁性層 20 の厚さ (t_{20}) が大きすぎる場合、抵抗および面積の積 (RA product) が大きすぎて、磁気トンネル接合デバイス 100 の駆動に必要な駆動電圧が大きくなりすぎる。したがって、非磁性層 20 の厚さ (t_{20}) を前述した範囲に調節する。

30

【0028】

図 1 に示したように、第 2 磁性層 30 上には酸化防止層 40 が位置する。第 2 磁性層 30 は、磁気トンネル接合デバイス 100 の熱処理中に酸化される。したがって、酸化防止層 40 を利用して、第 2 磁性層 30 の酸化を防止する。

【0029】

第 3 磁性層 50 は、酸化防止層 40 上に位置する。第 3 磁性層 50 は、第 2 磁性層 30 との磁性結合によって第 2 磁性層 30 の磁化方向を固定させる。ここで、第 3 磁性層 50 の磁化方向は、第 2 磁性層 30 の磁化方向と同一である。反強磁性層 60 は、第 3 磁性層 50 上に位置して、直接交換バイアス構造を形成する。反強磁性層 60 は、第 3 磁性層 50 の交換結合によって第 3 磁性層 50 をスイッチングさせて、第 3 磁性層の磁化方向を固定させる。その結果、第 3 磁性層 50 の磁場の大きさは、反強磁性層 60 によって一方に大きく増加する。つまり、反強磁性層 60 は、これと隣接した第 3 磁性層 50 の磁化方向を固定させる。以下では、図 2 を参照して図 1 の磁気トンネル接合デバイス 100 の製造過程について説明する。

40

【0030】

図 2 は、図 1 の磁気トンネル接合デバイス 100 の製造方法のフローチャートを概略的に示した図面である。図 2 の磁気トンネル接合デバイス 100 の製造方法は、単に本発明

50

を例示するためのものであり、本発明がこれに限定されるのではない。したがって、磁気トンネル接合デバイス100の製造方法は、他の形態に変形することができる。

【0031】

図2に示したように、磁気トンネル接合デバイス100(図1に図示、以下同一)の製造方法は、i)第1磁性層10(図1に図示、以下同一)を提供する段階(S10)、ii)第1磁性層10上に非磁性層20(図1に図示、以下同一)を提供する段階(S20)、iii)非磁性層20上に第2磁性層30(図1に図示、以下同一)を提供する段階(S30)、iv)第2磁性層30上に酸化防止層40(図1に図示、以下同一)を提供する段階(S40)、v)第1磁性層10、非磁性層20、第2磁性層30、および酸化防止層40を真空熱処理する段階(S50)、vi)酸化防止層40上に第3磁性層50(図1に図示、以下同一)を提供する段階(S60)、およびvii)第3磁性層50上に反強磁性層60(図1に図示、以下同一)を提供する段階(S70)を含む。これ以外にも、磁気トンネル接合デバイス100の製造方法は、必要に応じて他の段階をさらに含むことができる。

10

【0032】

まず、段階(S10)では、第1磁性層10を提供する。第1磁性層10の素材としては、Fe、Co、Ni、FeCo、CoNi、およびNiFeからなる群より選択された物質とB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、およびTbからなる群より選択された一つの元素との化合物を含むことができる。例えば、第1磁性層10は、FeX、CoX、NiX、FeCoX、CoNiX、またはNiFeXなどの化合物であることができる。ここで、Xは、B、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、またはTbである。第1磁性層10は、非晶質を含む。

20

【0033】

次に、段階(S20)では、第1磁性層10上に非磁性層20を提供する。非磁性層20は、第1磁性層10上に蒸着形成される。非磁性層20は、絶縁体または半導体を含む。ここで、絶縁体は、MgO、Al₂O₃、HfO₂、TiO₂、Y₂O₃、またはYb₂O₃などの化合物を含むことができる。

【0034】

好ましくは、絶縁体は、MgO化合物を含むことができる。この場合、コヒーレントトンネリング(coherent tunneling)によって磁気トンネル接合デバイス100の磁気抵抗比を高めることができる。これは、MgOの結晶配向性とこれと隣接した第1磁性層10および第2磁性層30の結晶方向性とが一致するので、特定の対称性(1対称性)を有する波動関数だけがMgO障壁を選択的に通過するためである。したがって、第1磁性層10および第2磁性層30が特定の結晶配向性を有することによって、磁気トンネル接合デバイス100の磁気抵抗比を高めることができる。

30

【0035】

次に、段階(S30)では、非磁性層20上に第2磁性層30を提供する。第2磁性層30は、非磁性層20上に蒸着形成される。第2磁性層30の素材としては、Fe、Co、Ni、FeCo、CoNi、およびNiFeからなる群より選択された物質とB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、およびTbからなる群より選択された一つの元素との化合物を含むことができる。例えば、第2磁性層30は、FeX、CoX、NiX、FeCoX、CoNiX、またはNiFeXなどの化合物であることができる。ここで、Xは、B、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、またはTbである。第2磁性層30は、非晶質を含む。

40

【0036】

段階(S40)では、第2磁性層30上に酸化防止層40を提供する。酸化防止層40は、第2磁性層30上に蒸着形成される。酸化防止層40の素材としては、融点が高く、拡散係数が低くて、段階(S50)の真空熱処理時に結晶化せずに非晶質構造を維持する物質を使用することができる。このような条件を満たすために、酸化防止層40は、Ru、Ta、Cr、V、Rh、Ir、Re、Mo、Os、またはPtを含むことができる。

【0037】

50

次に、段階（Ｓ５０）では、前述した第１磁性層１０、非磁性層２０、第２磁性層３０、および酸化防止層４０を真空熱処理する。つまり、反強磁性体層が形成される前に熱処理が行われる。この場合、熱処理温度は２５０乃至６００である。熱処理温度が低すぎる場合、第１磁性層１０、非磁性層２０、および第２磁性層３０の結晶の整合を促進することができない。反対に、熱処理温度が高すぎる場合、磁気トンネル接合素子を構成する各層間に元素が拡散するので、磁気抵抗比が低下したり、磁気トンネル接合素子の動作特性が低下する。前述した温度範囲で第１磁性層１０、非磁性層２０、第２磁性層３０、および酸化防止層４０を熱処理することによって、高い磁気抵抗比を有する磁気トンネル接合デバイス１００を製造することができる。

【００３８】

10

段階（Ｓ５０）での熱処理によって、第１磁性層１０および第２磁性層３０は、それぞれＢを失ってその構造が非晶質から結晶に転移する。例えば、ＣｏＦｅＢを含む非晶質構造の第１磁性層１０および第２磁性層３０を熱処理する場合、ＣｏＦｅＢからＢが消失する。この場合、第１磁性層１０および第２磁性層３０の結晶構造は、体心立方格子構造に変化する。体心立方格子構造の第１磁性層１０および第２磁性層３０は、非磁性層２０の格子構造と同一である。特に、非磁性層２０がＭｇＯを含む場合、第１磁性層１０および第２磁性層３０の結晶構造は、非磁性層２０の結晶構造と同一である。したがって、第１磁性層１０、非磁性層２０、および第２磁性層３０の間の結晶配向性が増加する。

【００３９】

一方、Ｍｎなどの磁気トンネル接合デバイス１００の磁気抵抗比を低下させる物質はまだ形成されていないので、磁気トンネル接合デバイス１００の磁気抵抗比を低下させる物質の拡散が原則的に防止される。したがって、高い磁気抵抗比を有する磁気トンネル接合デバイス１００を製造することができる。これとは反対に、Ｍｎを含む反強磁性体層が形成された場合、Ｍｎが拡散するので、高温熱処理が難くなる。

20

【００４０】

酸化防止層４０は、段階（Ｓ４０）での高い熱処理温度でも非晶質構造を維持し、その拡散係数も小さいので、第２磁性層３０の体心立方格子構造を破壊しない。しかし、酸化防止層４０に含まれている物質が第２磁性層３０に拡散するのを防止するために、酸化防止層４０の厚さを最少化するのが望ましい。

【００４１】

30

次に、段階（Ｓ６０）では、酸化防止層４０上に第３磁性層５０を提供する。第３磁性層５０は、酸化防止層４０上に蒸着形成される。第３磁性層５０は、Ｆｅ、Ｃｏ、Ｎｉ、ＦｅＣｏ、ＣｏＮｉ、またはＮｉＦｅを含む。また、第３磁性層５０は、前述した物質およびＢ、Ｒｅ、Ｒｈ、Ｃｒ、Ｃｕ、Ｇｄ、またはＴｂの化合物をさらに含むことができる。例えば、化合物としては、ＦｅＸ、ＣｏＸ、ＮｉＸ、ＦｅＣｏＸ、ＣｏＮｉＸ、またはＮｉＦｅＸなどが挙げられる。ここで、Ｘは、Ｂ、Ｒｅ、Ｒｈ、Ｃｒ、Ｃｕ、Ｇｄ、またはＴｂである。

【００４２】

段階（Ｓ７０）では、第３磁性層５０上に反強磁性層６０を提供する。反強磁性層６０は、第３磁性層５０上に蒸着形成される。反強磁性層６０は、ＩｒＭｎ、ＰｔＭｎ、ＮｉＭｎ、またはＦｅＭｎなどの化合物を含む。

40

【００４３】

段階（Ｓ８０）では、前述した各層を最終熱処理する。この場合、段階（Ｓ８０）での最終熱処理温度は、段階（Ｓ５０）での熱処理温度より低い。段階（Ｓ８０）での熱処理温度は、望まない物質の拡散を防止するために低いのが望ましい。例えば、最終熱処理温度は２５０乃至３５０である。最終熱処理温度が低すぎる場合、Ｍｎを含む反強磁性層６０と第３磁性層５０との間に交換バイアスが形成されない。このような温度をブロック温度（blocking temperature）という。この温度は、反強磁性層６０を構成する物質、組成、および構造によって決定される。反対に、最終熱処理温度が高すぎる場合、ＭｎおよびＲｕなどの磁気トンネル接合を低下させる物質が大きく拡

50

散される。

【 0 0 4 4 】

段階 (S 8 0) では、ネール (N e e l) 温度以上で反強磁性層 6 0 を熱処理して磁場を印加する。次に、反強磁性層 6 0 をネール温度以下に冷却することもできる。この場合、反強磁性層 6 0 の磁場が特定の方向に固定され、反強磁性層 6 0 は、第 3 磁性層 5 0 の磁化方向を固定させる。その結果、第 3 磁性層 5 0 によって第 2 磁性層 3 0 の磁化方向も固定される。したがって、段階 (S 8 0) での熱処理によって第 3 磁性層 5 0 の磁化方向および第 2 磁性層 3 0 の磁化方向を固定させることができる。

【 0 0 4 5 】

図 3 には、本発明の第 2 実施例による磁気トンネル接合デバイス 2 0 0 の断面構造を概略的に示した。図 3 の磁気トンネル接合デバイス 2 0 0 は、バッファ層 7 0 および保護層 8 0 を除いては図 1 の磁気トンネル接合デバイス 1 0 0 と同一であるので、同一な部分には同一な符号を付けて、その詳細な説明は省略する。

10

【 0 0 4 6 】

図 3 には、磁気トンネル接合デバイス 2 0 0 がバッファ層 7 0 および保護層 8 0 の全てを含むことを例示したが、これは単に本発明を例示するためのものであり、本発明がこれに限定されるのではない。したがって、磁気トンネル接合デバイス 2 0 0 は、バッファ層 7 0 または保護層 8 0 のうちのいずれか一層だけを含むこともできる。

【 0 0 4 7 】

図 3 に示したように、バッファ層 7 0 は、第 1 磁性層 1 0 下に位置する。バッファ層 7 0 は、磁気トンネル接合デバイス 2 0 0 を他の素子に接合する際に緩衝の役割を果たす。一方、保護層 8 0 は、反強磁性層 6 0 上に位置する。保護層 8 0 は、外部から反強磁性層 6 0 を保護する。バッファ層 7 0 および保護層 8 0 は、A u、R u、T a、C u、C u N、P d、P t、またはダイヤモンド状炭素を含む。また、バッファ層 7 0 および保護層 8 0 は、前述した元素を積層して形成される。

20

【 0 0 4 8 】

図 4 は、本発明の第 3 実施例による磁気トンネル接合デバイス 3 0 0 の断面構造を概略的に示した図面である。図 4 の磁気トンネル接合デバイス 3 0 0 は、交換結合層 9 0 を除いては図 1 の磁気トンネル接合デバイス 1 0 0 と同一であるので、同一な部分には同一な符号を付けて、その詳細な説明は省略する。

30

【 0 0 4 9 】

図 4 に示したように、交換結合層 9 0 は、酸化防止層 4 0 と第 3 磁性層 5 0 との間に位置する。交換結合層 9 0 は、第 2 磁性層 3 0 と第 3 磁性層 5 0 との間に位置して合成反強磁性 (s y n t h e t i c a n t i - f e r r o m a g n e t、S A F) 構造を形成することによって、第 2 磁性層 3 0 と第 3 磁性層 5 0 との磁性結合を誘導する。

【 0 0 5 0 】

交換結合層 9 0 では、その内部の自由電子が量子井戸に閉じ込められた正弦波形状で存在する。自由電子が第 2 磁性層 3 0 および第 3 磁性層 5 0 の交換相互作用を媒介することによって、交換結合層 9 0 によって第 2 磁性層 3 0 および第 3 磁性層 5 0 の磁氣的磁性結合を誘導する。その結果、第 3 磁性層 5 0 は、第 2 磁性層 3 0 と反強磁性形態の磁性結合を形成する。したがって、第 2 磁性層 3 0 の磁化方向は、第 3 磁性層 5 0 の磁化方向と反対に維持される。

40

【 0 0 5 1 】

第 2 磁性層 3 0 および第 3 磁性層 5 0 の磁化方向を互いに反対に固定させることができるので、第 1 磁性層 1 0 に及ぶ漏洩磁場による影響を最少化することができる。より具体的に、第 2 磁性層 3 0 と第 3 磁性層 5 0 との反強磁性相互結合は、第 1 磁性層 1 0 および第 2 磁性層 3 0 の交換バイアスによる相互結合より熱的安定性において優れている。したがって、第 2 磁性層 3 0 の磁化方向と第 3 磁性層 5 0 との磁化方向を半平衡状態に固定させ、反強磁性層 6 0 で第 3 磁性層 5 0 を拘束することによって、第 2 磁性層 3 0 の磁化方向および第 3 磁性層 5 0 の磁化方向を安定的に固定させることができる。

50

【 0 0 5 2 】

交換結合層 90 は、図 2 の段階 (S 5 0) の真空熱処理以降に酸化防止層 40 上に形成することができる。交換結合層 90 は、Ru、Cr、V、Rh、Ir、Re、Mo、Cu、Os、Au、またはAgを含む。これらの物質は、交換相互作用が大きいので、第 2 磁性層 30 と第 3 磁性層 50 との磁性結合を容易に誘導することができる。交換結合層 90 は、図 2 の段階 (S 8 0) で熱処理される。したがって、図 2 の段階 (S 5 0) の比較的高い温度で磁気トンネル接合のための熱処理を実施し、図 2 の段階 (S 8 0) の比較的低い温度で交換結合バイアスの確保のための熱処理をそれぞれ分離して実施することによって、良好な交換結合構造を有する磁気トンネル接合デバイス 300 を製造することができる。

10

【 0 0 5 3 】

以下、実験例を通して本発明を詳細に説明する。このような実験例は、単に本発明を例示するためのものであり、本発明がこれに限定されるのではない。

【 0 0 5 4 】

実験例実験例 1

図 3 の磁気トンネル接合デバイスと同一な構造の磁気トンネル接合デバイスをスパッタリングおよび写真エッチング工程を利用して製造した。酸化シリコンを形成させたシリコン基板上にバッファ層を形成し、その上に CoFeB 薄膜からなる第 1 磁性層を形成した。トンネル障壁として機能する非磁性層の素材としては、MgO を使用した。非磁性層上には CoFeB 薄膜からなる第 2 磁性層を形成した。酸化防止層の素材としては、Ru を使用した。第 3 磁性層の素材としては、CoFe 合金を使用し、反強磁性層の素材としては、IrMn を使用して、その上に保護層を形成した。そして、製造された磁気トンネル接合デバイスの磁気抵抗比を試片に印加される磁場を変化させつつ 4 端子法で測定した。

20

【 0 0 5 5 】

図 5 は、磁気トンネル接合デバイスの磁気抵抗比を示したグラフである。

【 0 0 5 6 】

図 5 に示したように、磁気トンネル接合デバイスの磁気トンネル接合は 250 % に近い良好な磁気抵抗比を示した。第 1 磁性層は、0 Oe 付近でスイッチングされ、第 2 磁性層は、負の値を有する交換バイアスによって第 1 磁性層のスイッチング地点よりはるかに大きい - 400 Oe でスイッチングされた。第 2 磁性層がスイッチングされる磁場の強さの中間値がほぼ交換バイアスの大きさであるので、磁気トンネル接合デバイスの交換バイアスの大きさは 400 Oe 程度であって、非常に良好であることがわかった。したがって、実験例 1 によって大きな磁気抵抗比を有し、安定した交換結合の大きさを有する磁気トンネル接合デバイスを製造することができた。

30

【 0 0 5 7 】

実験例 2

図 4 の磁気トンネル接合デバイスにバッファ層および保護層を追加した磁気トンネル接合デバイスをスパッタリングおよび写真エッチング工程を利用して製造した。酸化シリコンを形成させたシリコン基板上にバッファ層を形成し、その上に CoFeB 薄膜からなる第 1 磁性層を形成した。トンネル障壁として機能する非磁性層の素材としては、MgO を使用した。非磁性層上には CoFeB 薄膜からなる第 2 磁性層を形成した。酸化防止層の素材としては、Ru を使用した。交換結合層の素材としても、Ru を使用した。第 3 磁性層の素材としては、CoFe 合金を使用し、反強磁性層の素材としては、IrMn を使用して、その上に保護層を形成した。そして、製造された磁気トンネル接合デバイスの磁気抵抗比を試片に印加される磁場を変化させつつ 4 端子法で測定した。

40

【 0 0 5 8 】

図 6 は、磁気トンネル接合デバイスの磁気抵抗比を示したグラフである。

【 0 0 5 9 】

図 6 に示したように、磁気トンネル接合デバイスの磁気トンネル接合は 300 % に近い

50

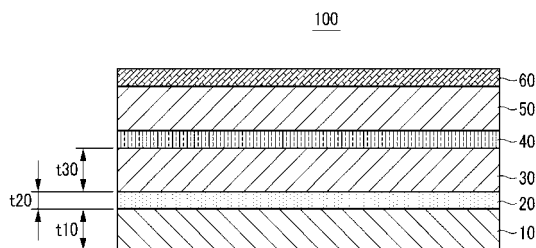
良好な磁気抵抗比を示した。第1磁性層は、0 Oe付近でスイッチングされ、第2磁性層は、正の値を有する交換バイアスによって第1磁性層のスイッチング地点よりはるかに大きい+2800 Oeでスイッチングされた。第2磁性層がスイッチングされる磁場の強さの中間値がほぼ交換バイアスの大きさであるので、磁気トンネル接合デバイスの交換バイアスの大きさは2800 Oe程度であって、非常に良好であることがわかった。したがって、実験例2によって大きな磁気抵抗比を有し、安定した交換結合の大きさを有する磁気トンネル接合デバイスを製造することができた。

【0060】

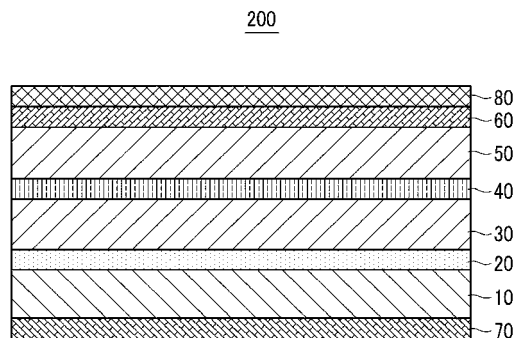
以上で本発明について説明したが、以下に記載する特許請求の範囲の概念および範囲を逸脱しない限り、多様な修正および変形が可能であることを当業者であれば容易に理解することができる。

10

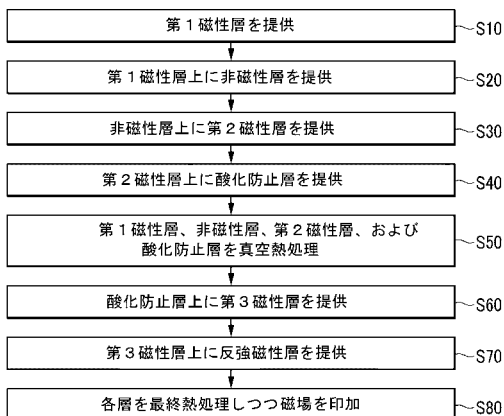
【図1】



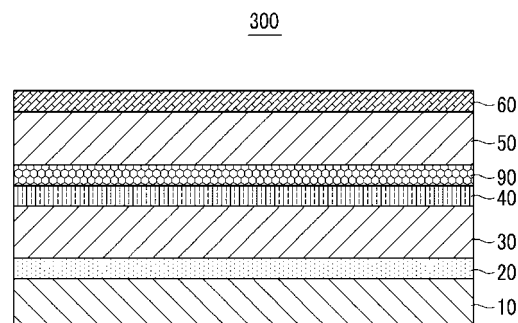
【図3】



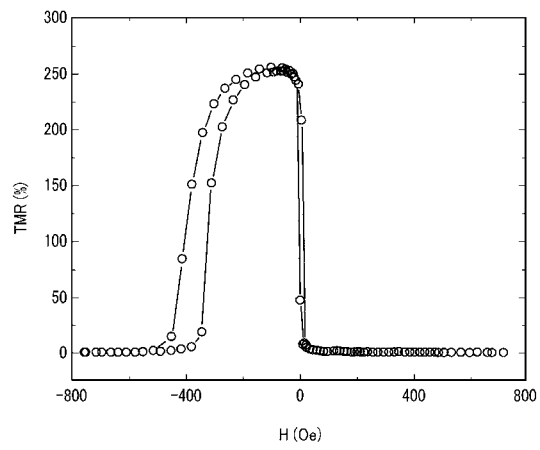
【図2】



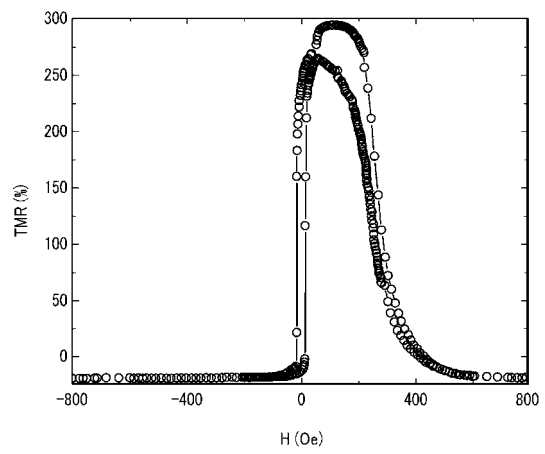
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 F 10/32 (2006.01) H 0 1 F 10/32
G 1 1 B 5/39 (2006.01) G 1 1 B 5/39

(74)代理人 100111235

弁理士 原 裕子

(72)発明者 愼 一 緯

大韓民国ソウル市江北区樊洞 2 4 1 住公アパート 2 1 1 棟 1 0 6 号

(72)発明者 閔 丙 ▲吉▼

大韓民国京畿道光明市鐵山洞 4 4 9 住公アパート 1 2 0 1 棟 5 0 4 号

(72)発明者 申 慶 浩

大韓民国ソウル市蘆原区下溪洞 東成韓新アパート 4 棟 1 1 0 4 号

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 1 5 8 3 8 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 1 3 3 6 1 4 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 2 6 1 4 5 4 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 2 6 0 2 0 5 (J P , A)
 特開 2 0 0 4 - 1 7 2 5 9 9 (J P , A)
 国際公開第 2 0 0 6 / 0 0 6 4 2 0 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 7 - 0 5 9 8 7 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 5 - 2 0 3 7 0 2 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 3 3 8 6 4 4 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 0 9 2 4 4 4 (J P , A)
 特開 2 0 0 4 - 0 3 9 9 4 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 8 2 4 6、2 7 / 1 0 5、2 7 / 2 2、2 9 / 8 2、
 4 3 / 0 0 - 4 3 / 1 4、
 H 0 1 F 1 0 / 0 0 - 1 0 / 3 2、4 1 / 1 4 - 4 1 / 3 4、
 G 0 1 R 3 3 / 0 0 - 3 3 / 2 6、
 G 1 1 B 5 / 3 3 - 5 / 3 9