(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2003 年5 月1 日 (01.05.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/036734 A2

(51) 国際特許分類[7]: H01L 43/08, 43/10, 43/12, 27/105, G11B 5/39, G01R 33/09, H01F 10/16, C23C 14/14

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/10609

(22) 国際出願日: 2002 年10 月11 日 (11.10.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2001-315857
2001 年10 月12 日 (12.10.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大場 和博 (OHBA,Kazuhiro) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 林 和彦 (HAYASHI,Kazuhiko) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 鹿野 博司 (KANO,Hiroshi) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 別所 和宏 (BESSHO,Kazuhiro) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 水口 徹也 (MIZUGUCHI,Tetsuya) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 肥後 豊 (HIGO,Yutaka) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 細見 政功 (HOSOMI,Masanori) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 山元 哲也 (YAMAMOTO,Tetsuya) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 成沢 浩亮 (NARISAWA,Hiroaki) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 曽根 威之 (SONE,Takeyuki) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 遠藤 敬太郎 (ENDO,Keitaro) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 窪 真也 (KUBO,Shinya) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都 品川区 北品川６丁目７番３５号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 角田 芳末, 外(TSUNODA,Yoshisue et al.); 〒160-0023 東京都 新宿区 西新宿１丁目８番１号 新宿ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): JP, KR, US.

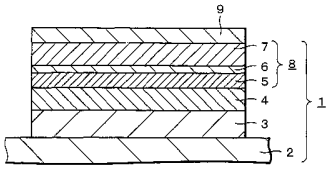
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書なし；報告書を受け取り次第公開される。

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, MAGETIC MEMORY ELEMENT, MAGNETIC MEMORY DEVICE, AND THEIR MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子、磁気メモリ素子、磁気メモリ装置およびこれらの製造方法



(57) Abstract: A magnetoresistance effect element comprising a ferromagnetic tunnel coupling with a tunnel barrier layer sandwiched by at least a pair of ferromagnetic layers wherein a magnetization free layer constituted of one of the ferromagnetic layers is made of a single layer of a material having an amorphous or crystallite structure, or a material layer the main part of which has an amorphous or crystallite structure. This magnetoresistance effect element provides excellent magnetic-resistance characteristics. A magnetic memory element and a magnetic memory device comprising it as the memory element improve both characteristics of write and read.

[続葉有]

WO 03/036734 A2

(57) 要約:

少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子であって、強磁性層の一方により構成される磁化自由層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層からなる構成とし、磁気抵抗効果素子において、すぐれた磁気－抵抗特性を得ることができ、磁気メモリ素子、およびこれをメモリ素子とする磁気メモリ装置において、その書き込みおよび読み出しの双方の特性を同時に向上することできる。

明　細　書

磁気抵抗効果素子、磁気メモリ素子、磁気メモリ装置およびこれらの製造方法

技術分野

本発明は、磁気抵抗効果素子、磁気メモリ素子、磁気メモリ装置およびこれらの製造方法に関し、特に安定した磁気特性を有する磁気抵抗効果素子、磁気による不揮発性メモリ素子としての磁気メモリ素子、この磁気メモリ素子によって構成される磁気メモリ装置およびこれらの製造方法に関する。

背景技術

情報通信機器、特に携帯端末などの個人用小型機器の飛躍的な普及に伴い、これを構成するメモリやロジックなどの素子には、高集積化、高速化、低電力化など、一層の高性能化が要請されている。特に不揮発性メモリの高密度・大容量化は、可動部分の存在により本質的に小型化が不可能なハードディスクや光ディスクに置き換える技術として、ますます重要になってきている。

不揮発性メモリとしては、半導体を用いたフラッシュメモリや、強誘電体を用いたＦＲＡＭ（Ferro electric Random Access Memory ）などが挙げられる。

しかしながら、フラッシュメモリは、書き込み速度がマイクロ秒のオーダーであり、その書き込み速度が遅いという欠点がある。

一方、ＦＲＡＭにおいては、書き換え可能回数が少ないという問題が指摘されている。

これらの欠点を有さない不揮発性メモリとして注目されているのが、ＭＲＡＭ（Magnetic Random Access Memory ）とよばれる

磁気メモリである（例えばWang et al., IEEE Trans. Magn. 33 (1997), 4498参照。）。

このＭＲＡＭは、構造が単純であるため高集積化が容易であり、また磁気モーメントの回転により記憶を行うために書き換え可能回数が大である。またアクセス時間についても、かなりの高速化が予想されており、既にナノ秒台で動作可能であることが確認されている。

このＭＲＡＭに用いられる、磁気メモリ素子、ＴＭＲ(Tunnel Magnetoresistance)素子は、その基本的構造が、強磁性層/ トンネルバリア層/ 強磁性層の積層構造である。

この磁気メモリ素子は、上述した強磁性層間に一定の電流を流した状態で、外部磁場を印加した場合、両強磁性層の磁化の相対角度に応じて磁気抵抗効果が現れる。具体的には、双方の強磁性層の磁化の向きが反平行の場合は抵抵抗値が最大となり、平行の場合は抵抗値が最小となる。磁気メモリ素子としての機能は、外部磁場により反平行と平行の状態を、一方の強磁性層における磁化の反転により作り出すことによってもたらされる。

この抵抗の変化率は、それぞれの磁性層のスピン分極率をP_1、P_2とすると、

$$2P_1P_2/(1-P_1P_2) \qquad (1)$$

で表される。それぞれのスピン分極率が大きいほど抵抗変化率が大きくなる。強磁性層に用いる材料と、この抵抗変化率の関係、特に、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉ等のＦｅ族の強磁性体元素や、それら3種類の各組み合わせによる合金ついては、すでに報告がなされている。

ＭＲＡＭに関しては、書き込みについては、その磁気メモリ素子アレイのうちの、選択されたメモリ素子に情報を記憶するために、アレイを縦横に横切るビット書き込み線とワード書き込み線

を設け、これらビット書き込み線とワード書き込み線の選択された立体的交叉位置の素子のみを、そのアステロイド特性を使用して選択書き込みする方法が知られている（例えば特開平10-116490号公報参照）。

その際の書き込み線には、Ｃｕや、Ａｌのような、半導体装置で通常使用される導体薄膜が使用される。この場合、上述した磁化反転を発生させるための反転磁界が、例えば４０〔Ｏｅ〕の磁気メモリ素子に、線幅が０．３５μｍの書き込み線で、上述した磁化反転を生じさせて、その書き込みを行うためには、約１０ｍＡの電流が必要であった。この場合において、例えば、書き込み線の厚さが、線幅と同じであるとすると、その際の電流密度は８．０×１０$^{-6}$Ａ／ｃｍ^{2}となり、エレクトロンマイグレーションによる断線が懸念される。

そこで、このようなエレクトロンマイグレーションの発生、更には、記録電流による発熱の問題や、消費電力低減の観点等からも、この記録電流を低減させる必要がある。

この記録電流を減少させる１つの手段として、ＴＭＲ素子の反転磁界すなわち保磁力を小さくすることが挙げられる。

このＴＭＲ素子の保磁力は、素子の大きさや、形状および膜構成と材料の選択で決まる。素子の大きさは、ＭＲＡＭの記録密度の向上を図って微細化させることが望まれるが、この微細化によって素子の保磁力は、上昇する傾向にある。したがって、材料の面からの保磁力の低減も必要とされる。

また、磁気メモリ素子の磁気特性が素子ごとにばらついたり、同一素子を繰り返し使用した場合にばらつきが生じると、アステロイド特性を用いた選択書き込みが困難になる。

したがって、理想的なアステロイド曲線を描かせるための磁気特性も求められる。理想的なアステロイド曲線を描かせるために

は、ＴＭＲ測定を行った際のＲ－Ｈ（抵抗- 磁場）ループにおいてバルクハウゼンノイズ等のノイズが少なく、角型性がよく、保磁力Ｈｃのばらつきが少ないことが必要となる。

読み込みに関しては、トンネルバリア層を挟んだ一方の強磁性層と他方の強磁性層の磁気モーメントの向きが反平行であり抵抗値が高い場合を例えば“１”、その逆に各々の磁気モーメントが平行で抵抗値が低い場合を例えば“０”とし、これらの“１”，“０”状態での一定バイアス電圧での差電流や一定バイアス電流での差電圧により読み出しを行う。

したがって、素子間の抵抗ばらつきが同じである場合には、ＴＭＲ比（低抵抗状態の抵抗値R_{min}と高抵抗状態の抵抗値R_{max}とするときの（$R_{max}-R_{min}$）／R_{min}が高いほど有利であり、高速で集積度が高く、エラーレートの低い磁気メモリ装置が実現される。

また、強磁性層/ トンネルバリア層/ 強磁性層の基本構造を有する磁気メモリ素子にはＴＭＲ比のバイアス電圧依存性が存在し、バイアス電圧が上昇するにつれてＴＭＲ比が減少していくことが知られている。

差電流または差電圧で読み出しを行う場合に、多くの場合、ＴＭＲ比が、バイアス電圧依存性により半減する電圧（Ｖｈ）で読み出し信号の最大値をとることが知られている。したがって、バイアス依存性の少ないほうが読み出しＭＲＡＭのエラーの低減において有効である。

したがって、ＭＲＡＭに用いられるＴＭＲ素子としては、上述の書き込み特性要件と読み出し特性要件とを同時に満たす必要がある。

しかし、一般的にＣｏ，Ｆｅ，Ｎｉの強磁性遷移金属元素のみを成分とする磁性材料で磁化自由層を作製した場合には、前記（

1）式で示すP_1およびP_2で示されるスピン分極率が大きくなるような合金組成を選択した場合には、Ｈｃが大きくなる傾向にある。

例えば、$Co_{75}Fe_{25}$（原子％）合金等を磁化自由層に用いた場合は、スピン分極率が大きく４０％以上の高いＴＭＲ比が確保できるが保磁力も大きい。代わりに、軟磁性材料として知られるパーマロイと呼称される$Ni_{80}Fe_{20}$（原子％）合金等を用いた場合には、保磁力は低減させることはできるものの、$Co_{75}Fe_{25}$（原子％）と比較してスピン分極率が低いためにＴＭＲ比が３３％程度まで低下してしまう。

さらに、$Co_{90}Fe_{10}$（原子％）を用いると約３７％のＴＭＲ比が得られて、その保磁力は、上述した$Co_{75}Fe_{25}$（原子％）合金と$Ni_{80}Fe_{20}$（原子％）合金の中間となるが、Ｒ－Ｈループの角型性が劣り、書き込みを可能とするアステロイド特性が得られない。

発明の開示

本発明は、角型性にすぐれ、ノイズの改善が図られ、安定した磁気特性を有する磁気抵抗効果素子、また、これらの特性を有し、ばらつきが改善され、すぐれたアステロイド特性を有する磁気メモリ素子、この磁気メモリ素子によって、書き込み特性および読み出し特性の改善がなされた磁気メモリ装置、そして、これらの製造方法を提供するものである。

本発明による磁気抵抗効果素子は、少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子である。

一方の強磁性層により構成される磁化自由層は、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質も

しくは微結晶構造を有する材料層から成る。

この磁化自由層は、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上含む構成による。

このメタロイド元素およびメタリック元素としては、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｐ，Ｇａ，Ｇｅ，Ａｓ，Ｉｎ，Ｓｎ，Ｓｂ，Ｔｌ，Ｐｂ，Ｂｉのいずれか１種もしくは２種以上が用いられる。

より好ましくは、Ｂ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｇｅのいずれか１種もしくは２種以上が用いられる。

この磁化自由層におけるメタロイド元素およびメタリック元素の含有量は、５～３５原子％とされる。

あるいは、磁化自由層としては、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしくは２種以上の成分に対して、周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素を少なくとも１種もしくは２種以上含む構成とする。

この場合の、磁化自由層の、４Ａ族元素，５Ａ族元素としては、Ｔｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｈｆ，Ｔａの少なくとも１種もしくは２種以上を用いることができる。

この磁化自由層の、４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量は、５～２５原子％とする。

また、磁化自由層としては、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上とを含む構成とする。

また、この磁化自由層、すなわちＦｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元

素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上を含む磁化自由層において、２原子％以下のＣｕ，Ｎ，Ｏ，Ｓの添加元素を含む構成とする。

更に、本発明による磁気抵抗効果素子は、その磁化自由層の上述した主な部分が、トンネルバリア層側に位置して配置された構成とする。

そして、本発明による磁気メモリ素子は、少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子による磁気メモリ素子であり、強磁性層の一方により構成される磁化自由層による情報記憶層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層からなる構成とする。

この磁気メモリ素子における情報記憶層は、上述した磁気抵抗効果素子における磁化自由層の各構成と同様の構成とする。

また、本発明による磁気メモリ装置は、互いに立体的に交叉するワード線とビット線とを有し、これらワード線とビット線との交叉部間に、上述した本発明による各構成の磁気抵抗効果素子の構成による磁気メモリ素子が配置された構成とするものである。

図面の簡単な説明

図１Ａおよび図１Ｂは、それぞれ本発明に係わる磁気抵抗効果素子もしくは磁気メモリ素子の一例の断面図であり、図２は、本発明による磁気メモリ装置の一例の要部の斜視図であり、図３は、本発明による磁気メモリ素子の一例の概略断面図であり、図４Ａは、磁気メモリ素子の評価素子の概略平面図、図４Ｂは、図４

ＡのＡ－Ａ線の断面図であり、図５Ａは、$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M_x$（Ｍは、Ｂ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅ，Ｍｇ，Ｚｎ）の組成における３Ｂ～５Ｂ族添加元素の種類および添加量と保磁力の関係を示す図であり、比較例として２Ａ族のＭｇと２Ｂ族のＺｎの結果も示し、図５Ｂは、$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M_x$（Ｍは、Ｂ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅ，Ｍｇ，Ｚｎ）の組成における３Ｂ～５Ｂ族添加元素の種類および添加量とＴＭＲ比の関係を示す図であり、比較例として２Ａ族のＭｇと２Ｂ族のＺｎの結果も示し、図６Ａは、$(Co_{90}Fe_{10})_{75}Si_{15}M_{10}$（Ｍは、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｐ）の組成として、Ｓｉと、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｐを同時に２種添加した場合の磁化自由層の材料組成と保磁力の関係を示す図であり、図６Ｂは、$(Co_{90}Fe_{10})_{75}Si_{15}M_{10}$（Ｍは、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｐ）の組成として、ＳｉとＢ，Ｃ，Ａｌ，Ｐを同時に２種添加した場合の磁化自由層の材料組成とＴＭＲ比の関係を示す図であり、図７Ａは、$(Co_xFe_yNi_z)_{80}B_{20}$組成として磁化自由層の強磁性遷移金属元素の組成依存性（Ｂ添加２０原子％一定）と保磁力の関係を示す図であり、比較例としてＢを添加していない場合の結果を示していて、図７Ｂは、$(Co_xFe_yNi_z)_{80}B_{20}$組成として磁化自由層の強磁性遷移金属元素の組成依存性（Ｂ添加２０原子％一定）とＴＭＲ比の関係を示す図であり、比較例としてＢを添加していない場合の結果を示していて、図８Ａは、$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M_x$（Ｍは、４Ａおよび５Ａ族元素のＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａ）として、４Ａおよび５Ａ族元素を添加した磁化自由層材料の添加元素および添加量と保磁力の関係を示す図であり、図８Ｂは、$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M_x$（Ｍは、４Ａおよび５Ａ族元素のＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａ）として、４Ａおよび５Ａ族元素を添加した磁化自由層材料の添加元素および添加量とＴＭＲ比の関係を示す図であり、図９Ａは、$(Co_{90}Fe_{10})$

$_{90-x}M_x$ B_{10}（Mは、４Ａおよび５Ａ族元素のＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａ）としてＢ１０原子％と４Ａおよび５Ａ族元素を同時に添加した磁化自由層材料の添加元素および添加量と保磁力の関係を示す図であり、図９Ｂは、$(Co_{90}Fe_{10})_{90-x}M_x$ B_{10}（Mは、４Ａおよび５Ａ族元素のＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａ）としてＢ１０原子％と４Ａおよび５Ａ族元素を同時に添加した磁化自由層材料の添加元素および添加量とＴＭＲ比の関係を示す図であり、図１０Ａは、Ｃｕ，Ｎｂ，Ｓｉ，Ｂを同時にＣｏＦｅに添加している磁化自由層を用いた場合の保磁力を示す図であり、図１０Ｂは、Ｃｕ，Ｎｂ，Ｓｉ，Ｂを同時にＣｏＦｅに添加している磁化自由層を用いた場合のＴＭＲ比を示す図であり、図１１Ａは、磁化自由層の成膜時基板温度と保磁力との関係を示す図であり、図１１Ｂは、磁化自由層の成膜時基板温度とＴＭＲ比との関係を示す図であり、図１２Ａは、磁化自由層を結晶質材料と非晶質材料との積層構造とした場合の保磁力であり、図１２Ｂは、磁化自由層を結晶質材料と非晶質材料との積層構造とした場合のＴＭＲ比、図１３Ａは、本発明の磁化自由層によるＴＭＲ比のバイアス電圧依存性の測定値であり、図１３Ｂは、本発明の磁化自由層によるＴＭＲ比のバイアス電圧依存性の測定値のプロットであり、図１４は、$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$および$Co_{90}Fe_{10}$を磁化自由層に用いた場合のＭＴＪ素子の抵抗ー外部磁場曲線であり、図１５Ａは、$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$を磁化自由層に用いた場合のアステロイド曲線図であり、図１５Ｂは、$Co_{90}Fe_{10}$を磁化自由層に用いた場合のアステロイド曲線であり、図１６は、磁気メモリ装置のブロック図である。

発明を実施する最良の形態

本発明による磁気抵抗効果素子の実施の形態は、例えば磁気セ

ンサーとして用いることができる磁気抵抗効果素子である。

また、本発明による磁気メモリ素子は、磁気メモリ装置の各メモリ素子に適用できるメモリ素子である。

更に、本発明による磁気メモリ装置は、それぞれ複数のビット書き込み線（以下ビット線もしくはＢＬという）とワード書き込み線（以下ワード線あるいはＷＬまたはＷＷＬという）とが、立体的に交叉し、ビット線とワード線間の立体的交叉部に、本発明による磁気メモリ素子が配置された構成を有する。

先ず、本発明による磁気抵抗効果素子および磁気メモリ素子は、その基本的構成が同等であることから、これら磁気抵抗効果素子および磁気メモリ素子について説明する。

〔磁気抵抗効果素子および磁気メモリ素子〕

本発明による磁気抵抗効果素子および磁気メモリ素子は、少なくとも一対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合の構造を有して成る。

図１Ａは、この強磁性トンネル結合構造を有するＴＭＲ素子による磁気抵抗効果素子ないしは磁気メモリ素子１の一例の概略断面図で、この例では、基板２、例えばＳｉ基板上に、下地層３が形成され、この下地層３を介して反強磁性層４が形成され、この上に、順次強磁性層５（以下第１の強磁性層という）、トンネルバリア層６、強磁性層７（以下第２の強磁性層という）が積層されて成る強磁性トンネル結合部８が形成される。

そして、この強磁性トンネル結合部８上に、保護層９いわゆるトップコート層が形成される。

第１の強磁性層５は、その磁化の向きが固定される磁化固定層であり、第２の強磁性層７は、磁化反転がなされる磁化自由層、磁気メモリ素子においては、情報記憶層である。

この磁化自由層もしくは情報記憶層を構成する第２の強磁性層７は、少なくとも１種類もしくは２種類以上のＦｅ，Ｎｉ，Ｃｏの遷移金属（以下ＦＭＴＭという）に対して、以下に示すような合金元素を添加して、非晶質化もしくは微細結晶化された構成を有する。

このように、強磁性層７による磁化自由層および情報記憶層は、これが非晶質化もしくは微細結晶化された構成とされたことによって、ＦＭＴＭのスピン分極率を維持しながら保磁力を低下させ、軟磁気特性を得てＲ－Ｈループにおけるバルクハウゼンノイズ、角型性が改善され、情報記憶層として、反転磁界の繰り返し書き込みにおいてもそのばらつきを低減させて、良好な書き込み特性を得ることができる。また、同時に、高いＴＭＲ比を実現し、バイアス依存特性を改善した優れた読み出し特性を得ることができるものである。

また、上述した効果すなわち目的を達成させるＦＭＴＭに添加する元素としては、次に列記する分類１～３に、大別分類することができる。

分類１．周期律表で３Ｂ～５Ｂ族元素のメタロイドおよびメタリック元素の添加。

分類２．周期律表で４Ａ族と５Ａ族元素の添加。

分類３．上記分類１および２の一方もしくは両方の添加、およびＣｕ，Ｏ，Ｎなどの元素の微量添加。

本発明の磁気抵抗効果素子および磁気メモリ素子において、第２の強磁性層７は、スピン分極率を維持したまま保磁力を低下させる目的で、ＦＭＴＭに上記分類１および２に示した合金添加成分を含んでいればよい。上述の目的を達成する限りにおいては、ＦＭＴＭと第２主成分である上記分類１および２に示した添加成分以外の成分が含まれていてもよい。

上記分類１では、磁化自由層の非晶質化が目的であり、これに属する合金系の、ＦＭＴＭに１種類の半金属元素を添加する例としては、ＦＭＴＭ－Ｓｉ合金、ＦＭＴＭ－Ｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｐ合金、ＦＭＴＭ－Ｃ合金など、ＦＭＴＭに周期律表で３Ｂ～５Ｂ族元素を添加した合金系が挙げられる。しかしながら、好ましくはＦＭＴＭ－Ｓｉ合金やＦＭＴＭ－Ｂ合金である。

また、上述のような目的を達成する範囲内において、周期律表で３Ｂおよび４Ｂ族の半金属元素を２種以上含んでいてもよい。この場合に挙げられる合金系としては、ＦＭＴＭ－Ｂ－Ｃ合金、ＦＭＴＭ－Ｂ－Ｐ合金、ＦＭＴＭ－Ｂ－Ｇｅ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｐ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｃ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ａｌ合金・・・等の多数の組み合わせが挙げられる。このうち、好ましくはＦＭＴＭ－Ｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ合金や、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ａｌ合金である。

上記分類２も非晶質形成能もしくは結晶粒微細化の向上の効果を図るものであり、４Ａ族元素と５Ａ族元素（好ましくはＴｉ，Ｚｒ，Ｈｆ，Ｎｂ，Ｔａ）を添加する。この例としては、ＦＭＴＭ－Ｔｉ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ合金、ＦＭＴＭ－Ｈｆ合金、ＦＭＴＭ－Ｎｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｔａ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｎｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｔａ－Ｎｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｔｉ－Ｚｒ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｔａ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｎｂ－Ｔａ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｎｂ合金・・・等の組み合わせが挙げられる。しかしながら、このうち好ましくはＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｎｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｔａ合金、ＦＭＴＭ－Ｔａ－Ｎｂ合金等が挙げられる。

上記分類３は、分類１や分類２における半金属元素の効果よりも非晶質形成能もしくは結晶粒微細化の向上を図るものであり、上述した分類１と分類２の添加を行う。この例としては、ＦＭＴ

Ｍ－Ｂ－Ｎｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｂ－Ｚｒ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ａｌ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｎｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｚｒ合金の３元合金やＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ－Ａｌ合金の４元合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ－Ｎｂ合金・・・等の無数の組み合わせが挙げられる。また、ＦＭＴＭに対しての添加元素の主成分が上記分類１や分類２に属するものであればよく、その他にＣｕ，Ｏ，Ｎなどの分類含んでいてもよい。これらのうち好ましくはＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ａｌ合金、ＦＭＴＭ－Ｚｒ－Ｂ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｃｕ合金、ＦＭＴＭ－Ｎｂ－ＳｉＢ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ－Ｃｕ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ－Ｚｒ－Ｃｕ合金、ＦＭＴＭ－Ｓｉ－Ｂ－Ｎｂ－Ｃｕ合金等が挙げられる。

このように、合金元素を加えて、情報記憶層の大きな抵抗変化率を得るためのスピン分極を維持しつつ、保磁力を下げようとする場合において、ＦＭＴＭに対して、３Ｂ～５Ｂ族の半金属元素や４Ａおよび５Ａ族元素などの添加元素を増加させ過ぎることによって、強磁性遷移金属元素ＦＭＴＭ量が少なくなり過ぎると、膜特性が強磁性でなくなる。また、ターゲットの抵抗値が大きく成り過ぎてこの磁性層の成膜を、例えばＤＣマグネトロンスパッタリングによって成膜する場合の成膜が困難になり、良質な膜の成膜がなされないという不都合が生じる場合がある。

このような場合には、その原因はまだ明確でないが、磁気抵抗変化率が減少してしまうことなどの不具合があるので、上記分類１の場合の周期律表における３Ｂ～５Ｂ族であるメタロイドおよびメタリック元素（好ましくはＢ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅ）の添加量は、ＴＭの組成にも依存するが５０％以下であることが望ましい。

また、添加元素の量が多すぎると、強磁性を示さなくなることもあるので、非晶質もしくは微細結晶の組織構造を得るためには

、１種もしくは２種以上用いる場合で、これらの元素が合計で、５～３５原子％の範囲にあることが望ましい。

微結晶構造にする場合でも例えばＢを添加した場合ＦｅＢ，Fe_2B，Fe_3B，Co_2B，Co_3Bの等の強磁性の析出物が得られる範囲で、５～３５原子％にあることが望ましい。

上記分類２の４Ａと５Ａ族元素（好ましくはＴｉ，Ｚｒ，Ｈｆ，Ｎｂ，Ｔａ）を加える場合は、多すぎると非晶質構造が得られないことや、強磁性ではなくなるなどの理由から、磁気特性が悪化しＴＭＲ比が低下するので、多くても２０％程度でそれ以下が望ましい。

上記分類１と２の両方を添加する場合においても同様で、余り添加量が多すぎると強磁性を失ってしまったり、所望の非晶質構造や微細結晶組織を得ることが困難となるので、ＦＭＴＭに対するこれらの添加量は、分類１の３Ｂ～５Ｂ族元素の場合と同様で３５％程度以下とすることが望ましい。

なお、分類１および２の元素がＦＭＴＭに対して共に添加されていて、これらが、添加元素のうちの主成分である限りにおいては、Ｃｕ，Ｏ，Ｓなどの元素がさらに微量に含まれていてもよい。このことは、その他の添加元素についても同様である。

また、上記に挙げた要件を満たしている限りにおいては、磁気工学ハンドブック、川西健次、近角總信、桜井良文著、P298等に掲載されているような公知の非晶質および微結晶の軟磁性材料を使用することができる。

これらの非晶質および微結晶構造の磁性材料層によって、第２の強磁性層、すなわち磁化自由層もしくは情報記憶層を構成する場合、その非晶質もしくは微細結晶構造によって保磁力すなわち反転磁界の低減効果とＴＭＲ比の維持を発現するために、この磁化自由層もしくは情報記憶層は、この磁性材料による単層構造と

するか、あるいはこの磁性材料層によって主な部分を構成することが望ましい。

一方、磁化固定層は、例えば図１Ａで示すように、第１の強磁性層５と反強磁性的に結合するような反強磁性体層４が配置され、これによって、例えば磁気メモリに対する情報記録のための電流磁界が印加された場合においても磁化固定層において、磁化反転が生じないようにすることができる。

この磁化固定層の第１の強磁性層５の構成強磁性材料は、特に限定はないが、Ｆｅ，Ｎｉ，Ｃｏの１種もしくは２種以上からなる合金材料を用いることができる。

また、反強磁性層４の構成材料は、Ｆｅ，Ｎｉ，Ｐｔ，Ｉｒ，ＲｈなどのＭｎ合金、Ｃｏや、Ｎｉ酸化物などによって構成することができる。

また、図１Ｂに、その一例の概略断面図を示すように、第１の強磁性層５すなわち磁化固定層を、第１の強磁性体層５１、非磁性の導電体層５２、第２の強磁性体層５３による積層フェリ構造とすることもできる。

この場合においても、第１の強磁性体層５１は、反強磁性層４と接しており、これらの層間に働く交換相互作用によって、磁化固定層５は強い一方向の磁気異方性を持つ。

この場合の導体層５２の材料としては、Ｒｕ，Ｃｕ，Ｃｒ，Ａｕ，Ａｇ等によって構成することができる。

尚、図１Ｂにおいて、図１Ａと対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。

そして、図１ＡおよびＢで示す、第１および第２の強磁性層５および７間には、上述したように、トンネルバリア層６が介在されており、このトンネルバリア層の介在によって、第１の強磁性層５すなわち磁化固定層と、第２の強磁性層７の磁化自由層もし

くは情報記憶層との磁気的結合を切るとともに、トンネル電流を流すための役割を担う。

このトンネルバリア層６の構成材料は、例えばＡｌ，Ｍｇ，Ｓｉ，Ｌｉ，Ｃａ等の酸化物、窒化物、ハロゲン化物等の絶縁薄膜層によって構成することができる。

〔磁気抵抗効果素子およびメモリ素子の製造方法〕

これら磁気抵抗効果素子もしくは磁気メモリ素子を構成する各層、すなわち各磁性層および導体層は、蒸着法、スパッタリングすなわちスパッタ蒸着法によって形成することができる。

そして、トンネルバリア層６の形成は、例えばスパッタリングで形成された金属膜を酸化、もしくは窒化させることにより形成するとか、有機金属と酸素やオゾン、窒素もしくはハロゲンおよびハロゲン化ガスを用いる化学気相成長法（ＣＶＤ）によって形成することができる。

磁化自由層例えば情報記憶層を構成する第２の強磁性層７の作製は、真空蒸着法、スパッタ蒸着法、ＣＶＤ(Chemical Vapor Deposition）法などの気相成長法、または電解ないし無電解めっき法等によることができる。

しかしながら、ＭＲＡＭを構成する場合におけるように、ＴＭＲ膜における厚さが、数ｎｍから数十ｎｍである場合は一般的に、スパッタリングなどの気相成長法が望ましい。

そして、例えば上述した気相成長法による成膜において、基板２を加熱しない状態で行うことによって、その成膜材料の組成、堆積条件によって非晶質膜の成膜を行うことができる。

すなわち、第２の強磁性層７による磁化自由層例えば情報記憶層を、非晶質膜構成とする場合、結晶粒界が存在しなくなることから、この強磁性層内における均一性が向上する。したがって、

ＦＭＴＭ成分の組成比が同じであっても、非晶質元素の添加により非晶質化することによって保磁力を低下させることができる。

この際には、非晶質膜の成膜のために、その成膜時の基板温度を、冷却等によって、１００℃以下に保つことが望ましい。

また、非晶質からの結晶化により微細な結晶組織を生成させる方法を用いることもできる。この場合、所望の磁気特性を発現させるためには、結晶組織がより微細で均一であることが好ましく、少なくとも２ｎｍ以下の粒径であることが望ましい。

この場合の熱処理温度としては、材料組成によって異なるが、材料の結晶化温度付近以上の温度であり、析出した微結晶相が再結晶により結晶粒径が増大する温度よりも低いことが望ましい。

次に、本発明による磁気メモリ装置の実施の形態について説明する。

〔磁気メモリ装置〕

本発明による磁気メモリ装置は、そのメモリセルを構成する磁気メモリ素子が、上述した本発明による磁気メモリ素子１によって構成される。

この磁気メモリ装置は、例えば図２に、その一例の要部の概略構成の斜視図を示し、図３に、その１つのメモリセルの概略断面図を示すように、クロスポイント型のＭＲＡＭアレイ構造とすることができる。

すなわち、このＭＲＡＭにおいては、並置配列された複数のワード線ＷＬと、これらワード線ＷＬとそれぞれ立体的に交叉するように並置配列された複数のビット線ＢＬとを有し、これらワード線ＷＬとビット線ＢＬとの間の立体的交叉部に、それぞれ本発明による磁気メモリ素子１が配置されて、これら交叉部においてメモリセル１１が構成される。

図２においては、磁気メモリ装置における３×３のメモリセルがマトリクス状に配置された部分を示している。

図３は、このメモリセルの概略断面図を示す。この場合、例えばシリコン基板より成る半導体基板２上すなわち半導体ウエハ上に、スイッチング用のトランジスタ１３が形成される。

このトランジスタ１３は、絶縁ゲート電界効果型トランジスタ例えばＭＯＳトランジスタより成る。この場合、半導体基板２上にゲート絶縁層１４が形成され、この上にゲート電極１５が被着された絶縁ゲート部が構成される。

また、半導体基板２に、絶縁ゲート部を挟んでその両側にソース領域１６とドレイン領域１７とが形成される。この構成において、ゲート電極１５は、読み出し用のワード線ＲＷＬ　を構成している。

このトランジスタ１３が形成された半導体基板２上には、ゲート電極１５を覆って第１の層間絶縁層３１が形成され、この第１の層間絶縁層３１の、各ソース領域１６およびドレイン領域１７上に、層間絶縁層３１を貫通してコンタクトホール１８が穿設され、各コンタクトホール１８に、導電性プラグ１９が充塡される。

そして、第１の層間絶縁層３１上に、ソース領域１６に対する配線層２０が、ソース領域１６にコンタクトされた導電性プラグ１９上に跨がって被着形成される。

更に、配線層２０を覆って第１の層間絶縁層３１上に第２の層間絶縁層３２が形成される。

この第２の層間絶縁層３２には、ドレイン領域１７にコンタクトされた導電性プラグ１９上に、コンタクトホール１８が貫通穿設され、これに導電性プラグ１９が充塡される。

第２の層間絶縁層３２上には、例えば読み出し用ワード線ＲＷ

Ｌ　の延長方向に延長して図２のワード線ＷＬに相当する書き込み用ワード線ＷＷＬ　が形成される。

また、この書き込み用ワード線ＷＷＬ　を覆って、第２の層間絶縁層３２上に、例えば酸化シリコンより成る第３の層間絶縁層３３が形成される。この第３の層間絶縁層３３においても、ドレイン領域１７にコンタクトされた導電性プラグ１９上に、コンタクトホール１８が貫通穿設され、これに導電性プラグ１９が充填される。

そして、この第３の層間絶縁層３３を貫通する導電プラグ１９にコンタクトして、第３の層間絶縁層３３上に、例えば図１～図３で示したように、導電性の例えばＴａより成る下地層３を形成し、この下地層３上に、磁気メモリ素子１が形成される。

更に、この下地層３とこの上の磁気メモリ素子１を覆って第４の層間絶縁層３４が形成され、この上に、書き込み用ワード線ＷＬ上を横切って、ビット線ＢＬが形成される。

ビット線ＢＬ上には、図示しないが表面絶縁層が必要に応じて形成される。

上述した第１～第４の各層間絶縁層や表面絶縁層等は、例えばプラズマＣＶＤによって形成することができる。

これら、メモリセル１１は、共通の半導体基板２すなわち半導体ウエハ上に、図２で示すように、マトリックス状に配列される。

次に、磁場中熱処理して反強磁性層４の規則化すなわち反強磁性層４を所定の向きに磁化し、これによってこの反強磁性層４上に接して形成されこれと反強磁性結合された強磁性層による磁化固定層５の磁化を一方向に固定することができる。

この構成による磁気メモリ装置は、ビット線ＢＬと書き込みワード線ＷＬ（ＷＷＬ　）とに所要の電流を通電することによって

、選択された交叉部のメモリセル１１の磁気抵抗効果素子例えばＴＭＲ素子１の磁化自由層に、両ビット線ＢＬと書き込みワード線ＷＬによる発生磁界の合成による所要の書き込み磁界を印加して、前述したように、磁化自由層の磁化を反転させて、情報の記録を行う。

この情報の読み出しは、選択された読み出しを行うメモリセルに関わるトランジスタ１３のゲート電極１５すなわち読み出しワード線ＲＷＬ　に所要のオン電圧を印加してトランジスタ１３をオン状態とし、ビット線ＢＬとトランジスタ１３のソース領域１６の配線層２０との間に、読み出し電流を通電することによってその読み出しを行う。

本発明による磁気メモリ装置の製造は、その磁気メモリ素子については、前述した製造方法を適用することができる。

次に、実施例を説明する。この実施例は、前述した図２および図３で示したＭＲＡＭのメモリ素子として用いられるが、他の半導体集積回路、電子回路等における磁気メモリ素子に適用できることはいうまでもない。

〔実施例１〕

この実施例における磁気メモリ素子は、前述した強磁性体層５／トンネルバリア層６／強磁性体層７の積層による基本構造を有する強磁性トンネル結合部、すなわちＭＴＪ（Magnetic Tunnel Junction）を有するＴＭＲ素子とした。

この場合、第１の強磁性層５が、積層フェリ構造とされた場合である。

また、この場合、スピンバルブで用いられているように、強磁性層５を、反強磁性層４によって固定する磁化固定層とし、常に磁化の向きが一定に設定され、他方の強磁性層７を磁化自由層すなわち情報記憶層として、外部磁場により磁化反転させるように

なされている。

この実施例においては、図４Ａに要部の平面図を示し、図４Ｂに図４ＡのＡ－Ａ’の断面図を示すように、素子の磁気抵抗特性を調べることができるように、図３で示したスイッチング用のトランジスタ等を排除した構成とした。

この実施例では、まず、表面に厚さ３００ｎｍ熱酸化膜による絶縁層１２が形成された厚さ０．５２５ｍｍのＳｉによる半導体基板２を用意した。

この半導体基板２上に、ワード線を構成する金属膜を、全面的に形成し、フォトリソグラフィによるパターンエッチングを行って、一方向に延長するワード線ＷＬを形成した。

このとき、ワード線ＷＬの形成部以外のエッチング部においては、半導体基板２の酸化膜すなわち絶縁膜１２が、深さ５ｎｍまでエッチングされた。

このワード線ＷＬ上に、磁気メモリ素子（ＴＭＲ素子）１を作製した。このＴＭＲ素子１は、順次、下層から下地層３／反強磁性層４／第１の強磁性層の第１の強磁性体層５１／導電体層５２、第２の強磁性体層５３／トンネルバリア層６／第２の強磁性層７／保護層８の積層構造とした。各層の構成は、Ｔａ（３ｎｍ）／ＰｔＭｎ（３０ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ｒｕ（０．８）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ａｌ（１ｎｍ）の酸化膜／$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M1_x$（３ｎｍ）／Ｔａ（５ｎｍ）とした。（この積層状態を表す表記において、各元素の添字は原子％で、括弧内のｎｍの単位で示す数値は、各層の膜厚を示すもので、以下同様の表記による。）

この積層膜の一部によってＴＭＲ素子１を構成するものであり、このために、積層膜のＴＭＲ素子１の形成部上に、フォトレジスト層によるマスク層（図示せず）を形成し、フォトリソグラフ

ィによるパターンエッチングを、ドライエッチングによって行って平面形状が楕円形状をなすＴＭＲ素子１を形成した。

この場合のＴＭＲ素子１のパターンは、短軸０．８μｍ、長軸１．６μｍの楕円形状とした。

この膜構成のうちでＡｌ酸化物のトンネルバリア層以外はＤＣマグネトロンスパッタ法を用いて成膜した。Ａｌ酸化物のトンネルバリア層は、まず、金属Ａｌ膜をＤＣスパッタ方式で１ｎｍ堆積させて、その後に酸素：アルゴンの流量比を１：１とし、チャンバーガス圧を０．１ｍTorrとして、ＩＣＰ（Inductive Coupled Plasma：誘導結合プラズマ）により金属Ａｌ膜をプラズマ酸化させて形成した。酸化時間はＩＣＰ出力によっても異なるが、この実施例においては、３０秒とした。

その後に、磁場中熱処理炉で、１０〔ｋＯｅ〕、２７０℃、４時間の熱処理を行い、反強磁性層４のＰｔＭｎ規則化熱処理を行って、第１の強磁性層５の磁化を一方向に固定した。

この実施例においては、磁化自由層（情報記憶層）を構成する第２の強磁性層７以外のＣｏＦｅの組成は$Co_{90}Fe_{10}$（原子％）とした。そして、第２の強磁性層７は、$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M1_x$とし、後述の比較例１の$Co_{90}Fe_{10}$合金の結果と対比できるように、ＣｏとＦｅの強磁性遷移金属元素の比率をCo_{90}：Fe_{10}に固定して、Ｍ１（Ｂ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅ）の量を１原子％から４０原子％まで変化させた。

また、上述した基板２上に形成されたＴＭＲ素子１は、図４Ｂに示すように、Al_2O_3絶縁層３０をスパッタリングし、フォトリソグラフィによるエッチングによってＴＭＲ素子１上に開口を形成し、この開口を通じて絶縁層３０上に、差し渡って、ワード線ＷＬの延長方向と交叉する１方向に延長するビット線ＢＬを、金属膜の成膜およびフォトリソグラフィによるパターンエッチ

ングによって形成する。

尚、各ワード線ＷＬおよびビット線ＢＬの各両端には、これらの形成と同時に、特性測定用の端子パッド２３および２４が形成される。

〔実施例２〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

$(Co_{90}Fe_{10})_{75}Si_{15}M1_{10}$とし、そのＭ１をＢ，Ｃ，Ｐ，Ａｌとした以外は、実施例１と同様の構成とした。

〔実施例３〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$，$(Co_{75}Fe_{25})_{80}B_{20}$，$(Co_{50}Fe_{50})_{80}B_{20}$，$(Ni_{80}Fe_{20})_{80}B_{20}$の組成とした以外は、実施例１と同様の構成とした。

〔実施例４〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M2_x$とし、そのＭ２をＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａとして、組成比ｘを０～４０原子％まで変化させた以外は、実施例１と同様の構成とした。

〔実施例５〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

$(Co_{90}Fe_{10})_{90-x}B_{10}M2_x$とし、そのＭ２をＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａとして、組成比ｘを０～２０原子％まで変化させた以外は、実施例１と同様の構成とした。

〔実施例６〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

$(Co_{90}Fe_{10})_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ および $(Co_{90}Fe_{10})_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{16.5}B_6$ の組成とした以外は、実施例１と同様の構成とした。

〔実施例７〕

この実施例においては、下記の２つのサンプル（１）、（２）を作製した。これらは、ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、ワード線ＷＬが形成された基板側から

サンプル（１）は、

基板／Ｔａ（３ｎｍ）／ＰｔＭｎ（３０ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ｒｕ（０．８ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ａｌ（１ｎｍ）の酸化膜／$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$（２ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（１ｎｍ）／Ｔａ（５ｎｍ）

とした。

サンプル（２）は、

基板／Ｔａ（３ｎｍ）／ＰｔＭｎ（３０ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ｒｕ（０．８ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ａｌ（１ｎｍ）の酸化膜／$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$（１ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（１ｎｍ）／$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$（１ｎｍ）／Ｔａ（５ｎｍ）

とした。

これらサンプル（１）および（２）のいずれにおいても、第２の強磁性層７を上記構成とした以外は、実施例１と同様の構成とした。

〔比較例１〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁

化自由層（情報記憶層）の組成を、

$Co_{90}Fe_{10}$、$Co_{75}Fe_{25}$、$Co_{50}Fe_{50}$、$Ni_{80}Fe_{20}$を用いた以外は実施例１と同様の構成とした。

〔比較例２〕

ＴＭＲ素子１の膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

基板／Ｔａ（３ｎｍ）／ＰｔＭｎ（３０ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ｒｕ（０．８ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ａｌ（１ｎｍ）の酸化膜／$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M3_x$（３ｎｍ）／Ｔａ（５ｎｍ）とした。

この膜構成で、磁化自由層以外のトンネルバリア層より下のＣｏＦｅ組成は$Co_{90}Fe_{10}$（原子％）とした。磁化自由層の$(Co_{90}Fe_{10})_{100-x}M3_x$については、比較例１の$Co_{90}Fe_{10}$合金の結果と対比できるように、ＣｏとＦｅの強磁性遷移金属元素の比率を$Co_{90}Fe_{10}$（原子％）に固定して、Ｍ３（Ｍｇ，Ｚｎ）の量を１原子％～４０原子％まで変化させた。

〔比較例３〕

膜構成において、第２の強磁性層７すなわち磁化自由層（情報記憶層）の組成を、

基板／Ｔａ（３ｎｍ）／ＰｔＭｎ（３０ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ｒｕ（０．８ｎｍ）／$Co_{90}Fe_{10}$（２ｎｍ）／Ａｌ（１ｎｍ）の酸化膜／$(Co_{90}Fe_{10})_{90-x}B_{10}M3_x$（３ｎｍ）／Ｔａ（５ｎｍ）

とした。

この膜構成で、磁化自由層以外のトンネルバリア層より下のＣｏＦｅ組成は$Co_{90}Fe_{10}$（原子％）とした。磁化自由層の$(Co_{90}Fe_{10})_{90-x}B_{10}M3_x$については、比較例１の$Co_{90}Fe_{10}$合金の結果と対比できるように、Ｃｏ：Ｆｅ＝９０：１０（原

子％）に固定して、M3（Mg，Zn）の量を1原子％から40原子％まで変化させた以外は実施例1と同様の構成とした。

〔比較例4〕

TMR素子1の膜構成は、

$(Co_{90}Fe_{10})_{95}B_5$ の組成の膜を磁化自由層に用いて、磁化自由層を成膜する際の基板温度を50℃～200℃とした以外は実施例1と同様の構成とした。

〔比較例5〕

TMR素子1の膜構成を、

基板／Ta（3nm）／PtMn（30nm）／$Co_{90}Fe_{10}$（2nm）／Ru（0．8nm）／$Co_{90}Fe_{10}$（2nm）／Al（1nm）の酸化膜／$Co_{90}Fe_{10}$（2nm）／$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$（1nm）／Ta（5nm）

のように、第2の強磁性層7を積層構造とした以外は実施例1と同様の構成とした。

上述した各実施例および比較例について特性評価を行った。本発明の磁気メモリ素子が磁気メモリ装置のメモリ素子として使用される場合は、電流磁界によって、その磁化自由層が情報記憶層として磁化反転させることによって使用されるが、この特性評価においては、磁気メモリの特性評価を行うために外部磁界による磁化反転によって特性評価を行った。

ここで、磁気特性およびTMR比の評価に用いたTMR素子1は、上述したように、短軸0．8μm、長軸1．6μmの楕円形状の素子とした。

情報記憶層の磁化反転のための磁界は、情報記憶層の磁化容易軸に対して平行に印加した。この測定のための磁界の大きさは、500〔Oe〕とした。この磁界を情報記憶層の磁化容易軸の一方から見て－500〔Oe〕～＋500〔Oe〕まで掃引すると

同時に、ワード線ＷＬの端子２３、ビット線ＢＬの端子２４に印加するバイアス電圧が１００ｍＶとなるように調節して、ＴＭＲ素子１に、膜面と交叉する方向の通電を行って外部磁界値に対する抵抗値を測定し、ＴＭＲ比を測定した。

ＴＭＲ比は、第１の強磁性層の磁化固定層と第２の強磁性層の磁化自由層（情報記憶層）の磁化とが、反平行の状態にあって抵抗が高い状態での抵抗値をR_{max}とし、磁化固定層と磁化自由層の磁化が平行の状態であって抵抗が低い状態での抵抗値をR_{min}とするときの（$R_{max}-R_{min}$）／R_{min}とする。

測定温度は室温２５℃とした。

また、保磁力Ｈｃは、この測定法から求められた磁気抵抗Ｒ－外部磁界Ｈ特性曲線から求めた。結晶構造は、ＴＥＭ（透過電子顕微鏡：Transmission Electron Microscopy）によった。この場合、ＴＥＭの明視野像に結晶粒界が認められず、電子線回折図形においてハローリングが見られるものを非晶質構造とした。

バイアス依存測定は、バイアス電圧を１００～１０００ｍＶまで１００ｍＶ刻みに変化させながら、Ｒ－Ｈループの測定をしてＴＭＲ比を求めて、バイアス電圧に対してプロットした。

以下その結果を記載する。

１．ＨｃとＴＭＲ比について

実施例１～７、比較例１～５についてＴＭＲ比と情報記憶層の保磁力についての評価を行った。それぞれの評価結果を示して、本発明の効果について説明する。

〔１－１〕．磁化反転を行わしめる磁化自由層が、ＦＭＴＭ（遷移金属）に対して添加元素を含まない構成とした場合：

すなわち、比較例１の、磁化自由層が、

$Co_{90}Fe_{10}$，$Co_{75}Fe_{25}$，$Co_{50}Fe_{50}$，$Ni_{80}Fe_{20}$

による構成とした従来構成である。

この場合、ＴＥＭによる観察結果から、これらの材料は結晶質であることが確認された。

表１

磁化自由層組成	Ｈｃ（Ｏｅ）	ＴＭＲ（％）
$Co_{90}Fe_{10}$	４０	３７
$Co_{75}Fe_{25}$	５５	４２
$Co_{50}Fe_{50}$	６０	４０
$Ni_{80}Fe_{20}$	２５	３０

ＴＭＲ素子１における情報記憶層の反転磁界Ｈｃは、素子の寸法、形状、厚さに依存するが、素子１の寸法を、短軸を０．８μｍ、長軸を１．６μｍに固定して、それぞれの磁性材料を情報記憶層を構成する磁化自由層に用いたＴＭＲ素子１の磁性材料依存性を比較した。

これは、電流磁界を発生させるワード線やビット線の構造にもよるが、ＴＭＲ素子の磁化自由層の反転磁界が大きくなるほど、書き込み電流は増大する。したがって、反転磁界を低減させることが書き込み電流の低減および消費電力の低減に結びつく。

このように、書き込み電流値の大小に影響を与えるＨｃは、表１に挙げた比較例１の磁性材料で比較すると、いわゆるパーマロイの$Ni_{80}Fe_{20}$が最も小さく、書き込み電流値を抑えることができることが分かるが、このパーマロイは、ＴＭＲ比が３０％程度であって、他の材料に比較して小さい。

このため、読み出しの出力電圧もしくは出力電流が不足する。一方、$Co_{75}Fe_{25}$合金は、ＴＭＲ比が、これら材料のうちでは最も大きいが、保磁力Ｈｃも大きいことから書き込み電力が大きくなる。すなわち、いずれの材料においても、読み込み特性と、

書き込み特性を同時に満たすことは困難であるというが分かる。

また、従来の結晶質材料を、情報記憶層を構成する磁化自由層に用いると、特にＣｏＦｅ合金系の場合、抵抗－磁場曲線の角形性が良好でないことなどに起因して、反転磁界が測定毎に異なり安定しない。

〔１－２〕．ＦＭＴＭに対する３Ｂ～５Ｂ族元素単体での添加効果：

実施例１の構成による、ＦＭＴＭを原子％でＣｏ：Ｆｅ＝９０：１０に固定して、これに添加する３Ｂ～５Ｂ族元素であるＢ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅを原子％で１～４０％まで添加したサンプルと、比較例２の構成で３Ｂ～５Ｂ族元素以外の元素であるＭｇおよびＺｎを原子％で１～４０％まで添加したサンプルとについての添加量に対する保磁力ＨｃとＴＭＲ比との測定結果を、図５Ａおよび図５Ｂに示す。

Ｂ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅを添加した構成では、その添加量が多くなるにつれて一旦ＴＭＲ比が増加し、再び低下する傾向を示す。そして、反転磁界Ｈｃは、Ｓｉ，Ｂ，Ａｌ，Ｇｅの各添加によって低下していることが確認された。

ところが、２Ａ族のＭｇの添加では、Ｈｃは低下するが、Ｓｉ，Ｂ，Ａｌ，Ｇｅで確認されたＴＭＲ比が上昇する効果が見られない。

また、２Ｂ族のＺｎの添加では、ＴＭＲ比の上昇の効果も、Ｈｃ低減の効果も見られなかった。

すなわち、これら２Ａ，２Ｂ族元素の添加による構成では、ＴＭＲ比を大にし、Ｈｃを低くすること、つまり読み出し特性と書き込み特性とが両立せず、磁気メモリ素子における情報記憶層の磁化自由層材料としてふさわしくない。

尚、上述した本発明実施例では、３Ｂ～５Ｂ族元素として、Ｂ

，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅを添加した場合の効果について示したが、元素周期律表中で、これらＢ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅの近くに位置していて、性質が類似しているＣ，Ｐ，Ｇａ，Ｉｎ，Ａｓ，Ｓｅ，Ｓｎ，Ｓｂ，Ｔｅなどや、その他のメタロイド元素や、３Ｂおよび４Ｂ族のメタリック元素に関しても同様の効果を得ることが推測される。

このように、Ｂ，Ｓｉ，Ａｌ，Ｇｅおよび周期律表でのこれらの周辺の元素で性質の似ている３Ｂ～５Ｂ族のメタロイドおよびメタリック元素では、ＴＭＲ比を向上させて、Ｈｃを低下させる効果があるが、これらのうちでもＢ，Ｓｉ，Ｐ，Ａｌ，Ｇｅ等が特に望ましい。

また、図５ＡおよびＢの結果から、これら元素の添加量が少な過ぎる場合は、ＴＭＲ比の向上の効果が少なく、Ｈｃの低減効果も少ない。３Ｂ～５Ｂ族のメタロイドおよびメタリック元素を添加する場合、前述の効果を発現させようとする場合、少なくとも５原子％以上必要である。また、添加量が多すぎた場合には、Ｈｃは４０原子％添加しても低下し続ける添加元素もあるが、磁化量が少なくなり過ぎてＴＭＲ比が減少するおそれが生じる。添加量が３５％を超えても、Ｈｃの大きさが低下していく効果は見られるが、高いＴＭＲ比と両立させるためには、添加量を３５％を超えないことが望ましい。したがって、ＴＭＲ比を向上およびＨｃを両立させる最も適当な添加元素の添加量は、ＦＭＴＭに対して１元素を添加する場合には５～３５原子％が望ましい。

ここで、作製したサンプルのうちで、本発明の実施例であり、Ｈｃの低減効果が見られた$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$組成の磁化自由層と、本発明に対する比較例であって、Ｈｃの低下効果の少ない$(Co_{90}Fe_{10})_{97}B_{3}$組成の磁化自由層の断面のＴＥＭ像を観察した結果、微細構造は、$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$については

、非晶質層、$(Co_{90}Fe_{10})_{97}B_3$については微結晶であることがわかった。Ｈｃの低減に関しては微結晶および非晶質層であることによりもたらされていると考えられる。

また、後述する磁化判定挙動の項目で述べるように、非晶質であることにより、抵抗－磁場曲線の角形性が向上して磁化反転の挙動が安定化し、磁化反転のばらつきの減少がもたらされる。この点でも、非晶質強磁性材料を磁化自由層に用いることにより、読み出し特性が向上し、磁化自由層として好適な材料であるといえる。

〔１－３〕．３Ｂ～５Ｂ族２種類以上の添加効果：

本発明のＴＭＲ比の上昇とＨｃの低減効果は３Ｂ～５Ｂ族の半金属元素を１種類のみ含んでいる場合のみでなく、２種以上含んでいる場合でも発現される。

実施例２の構成では、これらの元素を２種以上含む場合であり、Ｓｉを第１添加元素としてその添加量を１５原子％とし、第２添加元素としてＢ，Ｃ，Ｐ，Ａｌを添加した結果を図６Ａおよび図６Ｂに示した。これらの元素を２種以上含んでいても、上記〔１－２〕．で述べた保磁力Ｈｃの低減効果とＴＭＲ比の増加とが認められる。特に、ＳｉとＢおよびＳｉとＡｌとを同時に添加した場合、Ｈｃの低減効果が大きい。

このように、本発明構成による場合のＴＭＲ比の増大およびＨｃの低減効果は、３Ｂ～５Ｂ族のメタロイド元素およびメタリック元素の１種もしくは２種含んでいても発現する。

また、３Ｂ～５Ｂ族のメタロイド元素およびメタリック元素を３種以上含んでいても同様の効果が発現することが考えれる。

したがって、３Ｂ～５Ｂ族の元素に関して特に限定はないが、上述したＢ，Ｃ，Ｓｉ，Ｐ，Ａｌの中から1 種もしくは２種以上を選択することが好ましい。

〔１－４〕．Ｂを２０原子％添加した場合における強磁性遷移金属元素の組成依存：

非晶質化するための元素が添加された本発明の磁化自由層材料のうちで、強磁性元素であるＦｅ，Ｃｏ，Ｎｉの組成比と、ＴＭＲ比およびＨｃの値について、実施例３のＢを２０原子％添加したサンプルと、比較例１の本発明の添加元素を用いていないサンプルの測定結果に基いて本発明の効果を説明する。

実施例３および比較例１の測定結果を併せて図７Ａおよび図７Ｂに示す。本発明の３Ｂ～５Ｂ族元素であるＢを添加したサンプルにおいて、$Co_{90}Fe_{10}$，$Co_{75}Fe_{25}$，$Co_{50}Fe_{50}$，$Ni_{80}Fe_{20}$のうちでどの強磁性遷移金属の組成比においても、前記〔１－２〕．の実施例１で示したような、ＴＭＲ比の上昇およびＨｃの低下の効果が見られる。

したがって、これらの効果は、ここで示したＣｏＦｅ，ＮｉＦｅの組成に限定されるわけでなく、どの組成範囲をもつＦｅ，Ｃｏ，Ｎｉに対しても、３Ｂ～５Ｂ族の半金属元素をＡｌを５～３５原子％程度まで添加した合金系の磁化自由層を有する磁気メモリ素子に関してこのような効果が現れる。

また、添加元素に関しても、此処で示したＢのみならず、３Ｂ～５Ｂのメタロイドおよびメタリック元素およびＡｌもしくは後に示す本発明の添加元素を含んでいればよい。

〔１－５〕．４Ａ族および５Ａ族元素１種添加効果：

図８Ａおよび図８Ｂに、実施例４の構成のサンプルで、ＦＭＴＭに対して４Ａおよび５Ａ族のいわゆるバルブメタルのうちでＴｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｔａを添加したときの、保磁力ＨｃおよびＴＭＲ比の組成依存性を示す。

これらの元素を添加することによっても、Ｈｃの低減効果が認められる。このうちＦＭＴＭ－Ｚｒ合金を磁化自由層に用いたも

のについて、ＴＥＭ観察を行ったところＨｃの低減効果が見られる１５原子％の添加量のサンプルについては、非晶質層が得られていることが分かった。これに対し３原子％の添加量では、Ｈｃの低減効果が小さい。これは、非晶質化ないし結晶粒微細化効果によるものと考えられる。このようにＴａ，Ｚｒ，ＮｂにおいてＨｃの低減効果が認められるが、同様にいて４Ａ族と５Ａ族のいわゆるバルブメタルに関しては同様の効果が見られる。また、添加量に関してはこのような効果が見られる限りにおいては特に限定はしないが、図８Ａおよび図８Ｂに示される実験結果からして、良好なＴＭＲ比とＨｃの低減が認められる範囲としては２５原子％程度までが好ましい。また、言うまでもなくこれらの添加元素は単独でＦＭＴＭに添加する場合のみでなく、少なくとも１種もしくは２種以上が含まれていれば同様の効果が発現される。

〔１－６〕．３Ｂ～５Ｂ族元素と４Ａおよび５Ａ族元素の同時添加効果：

図９Ａおよび図９Ｂに実施例５のサンプルで、ＦＭＴＭに対してＢが１０原子％含まれている他にＴｉ，Ｚｒ、Ｎｂ，Ｔａを含んでいる場合の特性評価結果を示す。実施例１の３Ｂ～５Ｂ族元素の添加に比較して程度は小さいが、これらの元素をさらに添加することにより、３Ｂ～５Ｂ族元素による高いＴＭＲ比を維持しつつ、更に保磁力を低減できる。言うまでもなく、このような効果はここで挙げたＴｉ，Ｚｒ、Ｎｂ，Ｔａに限られるのではなく、この他にも周期律表で同じ族に属する４Ａ～５Ａ族元素であるＨｆ，Ｖでもこのような効果が見られることは容易に推定できる。

〔１－７〕．多元系：

実施例１～５の構成による場合のＴＭＲ比およびＨｃの測定結果で示してきた効果は、上述した３Ｂ～５Ｂ族元素および４Ａ～

５Ａ元素を含んでいる必要があるが、これらのほかに少量の微量元素を含んでいてもよい。

実施例６と比較例１による構成に因る場合の評価結果を、図１０Ａおよび図１０Ｂで示す。これらに示されるように、これまで示してきた元素の他にＣｕを含んでいる系でも、同様にＨｃの低減とＴＭＲ比の向上とが実現できる。

〔１－８〕．成膜時の基板温度：

磁化自由層成膜時の基板温度の効果について調べた比較例４の構成のサンプルについての基板温度に対するＨｃおよびＴＭＲ比を、図１１Ａおよび図１１Ｂに示す。非晶質の形成条件からも基板を加熱しての磁化自由層の成膜は、これまで述べてきたＨｃの低減とＴＭＲ比の向上とに対して悪影響を及ぼしており、室温で成膜した結果が、ここで示している中で最も優れている。したがって、非晶質構造を形成する観点から、磁化自由層成膜時に基板を加熱するのは好ましくなく、少なくとも１００℃以下で、むしろ基板を冷却する方が好ましい。

〔１－９〕．積層構造：

実施例６および比較例５の磁化自由層を積層構造にした場合の磁化自由層材料とＨｃおよびＴＭＲ比の測定結果を、図１２Ａおよび図１２Ｂに示す。

周期律表で３Ｂから５Ｂ族元素のメタロイドおよびメタリック元素の１種もしくは２種以上添加による非晶質化がなされている層と結晶質である層の積層構造による磁化自由層によっても同様な保磁力低下と高いＴＭＲ比の発現がなされている。この場合、原因についてはまだ明らかではないが、非晶質層をトンネルバリア層側に用いるのが好ましい。結晶質層をトンネルバリア層側に隣接して用いた場合には、比較例４における図１１で示すように、保磁力の低下が認められない。

2．バイアス依存性：

図１３Ａおよび図１３Ｂに、比較例１の$Co_{90}Fe_{10}$合金の磁化自由層に使用した場合と、実施例１の$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$合金を磁化自由層に使用した場合のＴＭＲ比のバイアス電圧依存性を示す。

図１３Ａはその測定値でを示し、図１３Ｂはこの測定値をプロットしてグラフ化した図である。現在のところ原因に関しては、まだ明らかではないが、図のように本発明の磁化自由層を用いた場合にはバイアス依存性が向上し、実動作バイアス電圧での出力特性が向上して、低抵抗状態と高抵抗状態の判別が容易になることから、磁気メモリ素子の読み出し特性が向上する。

3．磁化反転挙動：

同様にして図１４に、実施例１の$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$合金を磁化自由層に使用した場合の抵抗－外部磁場曲線と、比較例１の$Co_{90}Fe_{10}$合金の磁化自由層に使用した場合の抵抗－外部磁場曲線とを、それぞれ曲線４０と曲線４１に示す。上述してきたように、本発明の情報記憶層を用いることにより、ＴＭＲ比を高く維持しつつ、Ｈｃを低減することが可能である。また、Ｒ－Ｈループの角型性が向上すると共にバルクハウゼンノイズも低減する。これらのことにより、書き込み電流の低減が可能となるばかりでなく、アステロイド曲線の形状も改善されて書き込み特性が向上し書き込みエラーの低減を図ることが可能となる。

図１５Ａおよび図１５Ｂに、２０素子のアステロイド曲線の重ね合せの測定結果を示す。図１５Ａは、$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$を磁化自由層に用いた場合、図１５Ｂは、$Co_{90}Fe_{10}$を磁化自由層に用いた場合である。これら図１５ＡとＢとを比較して明らかなように、従来の結晶質材料である$Co_{90}Fe_{10}$を用いている場合は、理想的なアステロイド形状から外れているものが多く、

読み出し特性に劣る。しかし、本発明の非晶質強磁性材料を磁化自由層に用いることにより、アステロイド形状が理想的になり、かつ安定する。

この効果は、図１５に示した材料組成の磁化自由層を用いた場合だけでなく、本発明の範囲である非晶質強磁性材料を磁化自由層の主な部分に用いた場合に共通に見られる。したがって、本発明により、メモリ素子への書き込み特性が大きく向上し、ＭＲＡＭの書き込みエラーを低減することが可能となる。

次に、本発明による磁気メモリ装置ＭＲＡＭの一例の具体的回路構成を、図１６の概略構成を示すブロック図を参照して説明する。このＭＲＡＭにおいては、メモリセル１１の配列によるセルアレイ部分１６０と、周辺回路部１６１とから成る。

セルアレイ部分１６０は、メモリセル１１が、行および列にそれぞれ複数個配列されて成る。各メモリ素子は、ＭＴＪによるメモリ素子１と、そのセル選択を行うトランジスタ１３とを有する。

周辺回路部１６１は、アドレス情報からセルを選択するためのデコーダ１６２、１６３、書き込み電流を通電するためのドライバ１６４、１６５、読み出し電流を選出するためのセンスアンプ１６６等を有して成る。

そして、周辺回路部１６１は、セルアレイ部分１６０に延線されたビット線ＢＬ、書き込みワード線ＷＷＬ、読み出しワード線ＲＷＬを有し、ビット線ＢＬがデコーダ１６２に接続され、ＢＬ通じて、各メモリセル１１にアクセスする。

この磁気メモリ装置ＭＲＡＭにおける書き込み動作および読み出し動作とそれぞれの構成を説明する。

〔書き込み動作〕

メモリセル１１に情報を書き込むためには、電流による発生磁

界を利用する。この電流を流すための配線がＢＬとＷＷＬである。ＢＬとＷＷＬは、前述したように、メモリセルを挟んでその上下で交叉するように配置される。ＢＬおよびＷＷＬの両端には書き込み電流を印加するたのドライバ（インバータ）１６４および１６５が接続される。ドライバのゲートは、外部からのアドレス入力を変換するデコーダ１６２および１６３が接続され、書き込み電流を印加するＢＬおよびＷＷＬが選択される。

ここで、メモリ素子すなわち磁気抵抗メモリ素子の情報記憶層７の磁化反転を行う反転磁界を発生させるＢＬでは、書き込み電流の方向、すなわち“０”もしくは“１”の情報書き込み電流を、データ線入力によって制御する。一方、この情報書き込みのための磁界反転をアシストするアシスト磁界を発生させるＷＷＬでは、書き込み電流の方向は、一定でもよいが、エレクトロマイグレーションを考慮して、書き込み毎に電流の方向を反転させることもできる。

〔読み出し動作〕

このようにして、“０”、“１”の情報の書き込みがなされたメモリセルからの情報の読み出しは、ＢＬおよびＲＷＬを用いる。その読み出しを行うセルの選択は、それぞれのメモリセルに設けられたトランジスタ１３によってなされる。トランジスタのゲートはＲＷＬに接続され、ドレインはＭＴＪの一端にそれぞれ接続される。そして、ＭＴＪの他端は、ＢＬに接続される。ＢＬおよびＲＷＬは、デコーダに接続されて、読み出しの選択されたＢＬおよびＲＷＬがアラートされる。このようにして、選択されたセルには、ＢＬ→ＭＴＪ→トランジスタの経路でセンス電流が流れ、このセンス電流の大きさをセンスアンプ１６６で検出する。すなわち、記録情報の“０”と“１”の判別がなされる。すなわち、記録情報の読み出しがなされるものである。

以上説明した本発明による磁気センサー等における磁気抵抗素子、磁気メモリ装置における磁気メモリ素子においては、その磁化自由層を非晶質もしくは微結晶による材料の単層あるいはその主な部分とすることによって、更に望ましくは強磁性遷移金属元素Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの少なくとも１種もしくは２種以上に対して周期律表で３Ｂ族、４Ｂ族、５Ｂ族の元素もしくは４Ａ族および５Ａ族元素の少なくとも1 方もしくは両方が少なくとも１種もしくは２種以上添加されている磁性材料によって、磁化自由層を、その単層として、もしくは主な部分として構成する。

この構成によって、上述したところから明らかなように、磁気抵抗効果素子においては、Ｒ－Ｈ特性における角形性がすぐれ、ノイズの低減が図られることから、磁気検出器、磁気ヘッド等各種用途の磁気センサーとして用いて、確実にその磁気検出を行うことができる。

また、磁気メモリ素子および磁気メモリ装置においては、ＴＭＲ比を増大させて読み出し信号の増大を図ると共に、書き込み電流を低減する効果が得られる。さらに、読み出しにおいて、ＴＭＲ比のバイアス依存特性が向上して、低抵抗状態と高抵抗状態の判別が容易となり、読み出し特性が向上する。書き込みにおいては抵抗－外部磁場曲線のノイズが低減されて、アステロイド特性が向上して書き込み特性が向上し書き込みエラーが低減される。すなわち、書き込み特性および読み出し特性の両方を満足することができる。

請　求　の　範　囲

1．少なくとも1対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子であって、

上記強磁性層の一方により構成される磁化自由層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

2．請求の範囲第1項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも1種もしく2種以上の成分に対して、周期律表で3Ｂ族元素，4Ｂ族元素，5Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも1種もしくは2種以上含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

3．請求の範囲第2項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、メタロイド元素およびメタリック元素として、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｐ，Ｇａ，Ｇｅ，Ａｓ，Ｉｎ，Ｓｎ，Ｓｂ，Ｔｌ，Ｐｂ，Ｂｉのいずれか1種もしくは2種以上が用いられたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

4．請求の範囲第2項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、メタロイド元素およびメタリック元素として、Ｂ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｇｅ，Ｐのいずれか1種もしくは2種以上が用いられたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

5．請求の範囲第2項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、5～35原子％とされたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

6．請求の範囲第3項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

７．請求の範囲第４項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

８．請求の範囲第１項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしくは２種以上の成分に対して、周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素を少なくとも１種もしくは２種以上含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

９．請求の範囲第８項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素として、Ｔｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｈｆ，Ｔａの少なくとも１種もしくは２種以上を用いたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

１０．請求の範囲第８項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量が、５～２５原子％とされたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

１１．請求の範囲第９項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量が、５～２５原子％とされたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

１２．請求の範囲第１項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは

2種以上とを含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

１３．請求の範囲第１項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

２原子％以下のＣｕ，Ｎ，Ｏ，Ｓの添加元素を含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

１４．請求の範囲第１項に記載の磁気抵抗効果素子において、

上記磁化自由層の主な部分が、上記トンネルバリア層側に位置して配置されることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

１５．少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子による磁気メモリ素子であって、

上記強磁性層の一方により構成される磁化自由層による情報記憶層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層からなることを特徴とする磁気メモリ素子。

１６．請求の範囲第１５項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上含むことを特徴とする磁気メモリ素子。

１７．請求の範囲第１６項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、メタロイド元素およびメタリック元素とし

て、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｐ，Ｇａ，Ｇｅ，Ａｓ，Ｉｎ，Ｓｎ，Ｓｂ，Ｔｌ，Ｐｂ，Ｂｉのいずれか１種もしくは２種以上が用いられたことを特徴とする磁気メモリ素子。

１８．請求の範囲第１６項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、メタロイド元素およびメタリック元素として、Ｂ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｇｅ，Ｐのいずれか１種もしくは２種以上が用いられたことを特徴とする磁気メモリ素子。

１９．請求の範囲第１６項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ素子。

２０．請求の範囲第１７項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ素子。

２１．請求の範囲第１８項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ素子。

２２．請求の範囲第１５項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしくは２種以上の成分に対して、周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素を少なくとも１種もしくは２種以上含むことを特徴とする磁気メモリ素子。

２３．請求の範囲第２２項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素として、Ｔｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｈｆ，Ｔａの少なくとも１種もしくは２種以上を用いたことを特徴とする磁気メモリ素子。

２４．請求の範囲第２２項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量が、５～２５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ素子。

２５．請求の範囲第２３項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量が、５～２５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ素子。

２６．請求の範囲第１５に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上とを含むことを特徴とする磁気メモリ素子。

２７．請求の範囲第１５項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

２原子％以下のＣｕ，Ｎ，Ｏ，Ｓの添加元素を含むことを特徴とする磁気メモリ素子。

２８．請求の範囲第１５項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の主な部分が、上記トンネルバリア層側に位置して配置されることを特徴とする磁気メモリ素子。

２９．互いに立体的に交叉するワード線とビット線とを有し、

これらワード線とビット線との交叉部間に、磁気抵抗効果素子による磁気メモリ素子が配置されて成り、

上記磁気メモリ素子は、少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子より成り、

上記強磁性層の一方により構成される磁化自由層による情報記憶層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層からなることを特徴とする磁気メモリ装置。

３０．請求の範囲第２９項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上含むことを特徴とする磁気メモリ装置。

３１．請求の範囲第３０項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、メタロイド元素およびメタリック元素として、Ｂ，Ｃ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｐ，Ｇａ，Ｇｅ，Ａｓ，Ｉｎ，Ｓｎ，Ｓｂ，Ｔｌ，Ｐｂ，Ｂｉのいずれか１種もしくは２種以上が用いられたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３２．請求の範囲第３０項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、メタロイド元素およびメタリック元素として、Ｂ，Ａｌ，Ｓｉ，Ｇｅ，Ｐのいずれか１種もしくは２種以上が用いられたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３３．請求の範囲第３０項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３４．請求の範囲第３１項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素

の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３５．請求の範囲第３２項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、上記メタロイド元素およびメタリック元素の含有量が、５～３５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３６．請求の範囲第２９項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしくは２種以上の成分に対して、周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素を少なくとも１種もしくは２種以上含むことを特徴とする磁気メモリ装置。

３７．請求の範囲第３６項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素として、Ｔｉ，Ｚｒ，Ｎｂ，Ｈｆ，Ｔａの少なくとも１種もしくは２種以上を用いたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３８．請求の範囲第３６項に記載の磁気メモリ素子において、

上記情報記憶層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量が、５～２５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ装置。

３９．請求の範囲第３７項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の、上記４Ａ族元素と５Ａ族元素の含有量が、５～２５原子％とされたことを特徴とする磁気メモリ装置。

４０．請求の範囲第１５に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上とを含むことを特徴とする磁気メモリ装置。

４１．請求の範囲第２９に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層が、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉの強磁性元素のうち少なくとも１種もしく２種以上の成分に対して、周期律表で３Ｂ族元素，４Ｂ族元素，５Ｂ族元素であるメタロイド元素およびメタリック元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

周期律表で４Ａ族元素，５Ａ族元素の少なくとも１種もしくは２種以上と、

２原子％以下のＣｕ，Ｎ，Ｏ，Ｓの添加元素を含むことを特徴とする磁気メモリ装置。

４２．請求の範囲第２９項に記載の磁気メモリ装置において、

上記情報記憶層の主な部分が、上記トンネルバリア層側に位置して配置されることを特徴とする磁気メモリ装置。

４３．少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用い、

上記強磁性層の一方により構成される磁化自由層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層から成る磁気抵抗効果素子の製造方法であって、

上記、磁化自由層が、気相凝固法によって成膜し、該成膜時の基板温度が１００℃以下とすることを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

４４．上記基板温度が常温の冷却温度に設定されたことを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

４５．上記気相凝固法が、真空蒸着法、またはスパッタ蒸着法であることを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

４６．少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用い、

上記強磁性層の一方により構成される磁化自由層による情報記

憶層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層から成る磁気抵抗効果素子による磁気メモリ素子の製造方法であって、

上記、情報記憶層が、気相凝固法によって成膜し、該成膜時の基板温度が１００℃以下とすることを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

４７．請求の範囲第４６項に記載の磁気メモリ素子の製造方法において、

上記基板温度が常温の冷却温度に設定されたことを特徴とする磁気メモリ素子の製造方法。

４８．請求の範囲第４６項に記載の磁気メモリ素子の製造方法において、

上記気相凝固法が、真空蒸着法、またはスパッタ蒸着法であることを特徴とする磁気メモリ素子の製造方法。

４９．互いに立体的に交叉するワード線とビット線とを有し、

これらワード線とビット線との交叉部間に、磁気抵抗効果素子による磁気メモリ素子が配置されて成り、

上記磁気メモリ素子は、少なくとも１対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んだ強磁性トンネル結合を用いた磁気抵抗効果素子より成り、

上記強磁性層の一方により構成される磁化自由層による情報記憶層が、非晶質もしくは微結晶構造を有する材料の単層、あるいは主な部分が非晶質もしくは微結晶構造を有する材料層から成る磁気メモリ装置の製造方法であって、

上記、情報記憶層が、気相凝固法によって成膜し、該成膜時の基板温度が１００℃以下とすることを特徴とする磁気メモリ装置の製造方法。

５０．請求の範囲第４９項に記載の磁気メモリ装置の製造方法に

おいて、

上記基板温度が常温の冷却温度に設定されたことを特徴とする磁気メモリ装置の製造方法。

５１．請求の範囲第４９項に記載の磁気メモリ装置の製造方法において、

上記気相凝固法が、真空蒸着法、またはスパッタ蒸着法であることを特徴とする磁気メモリ装置の製造方法。

FIG. 1A

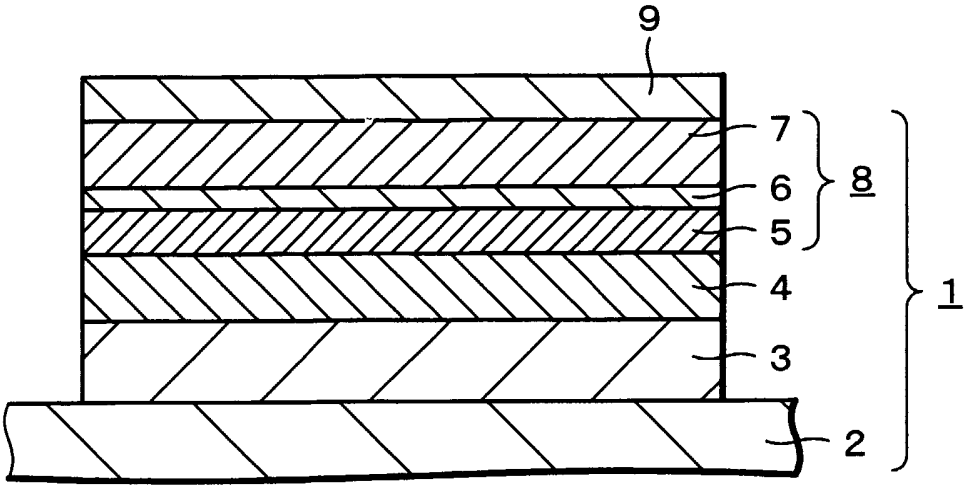


FIG. 1B

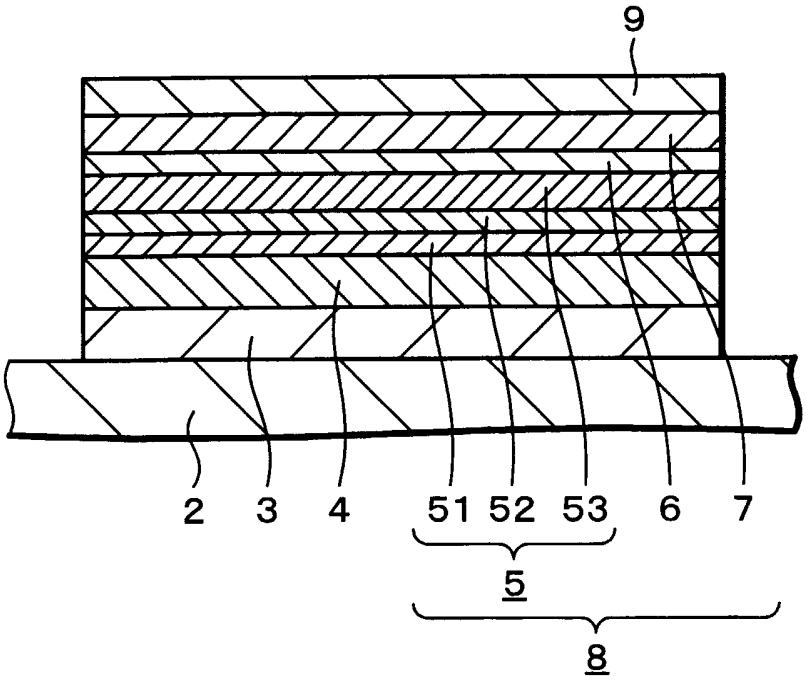


FIG. 2

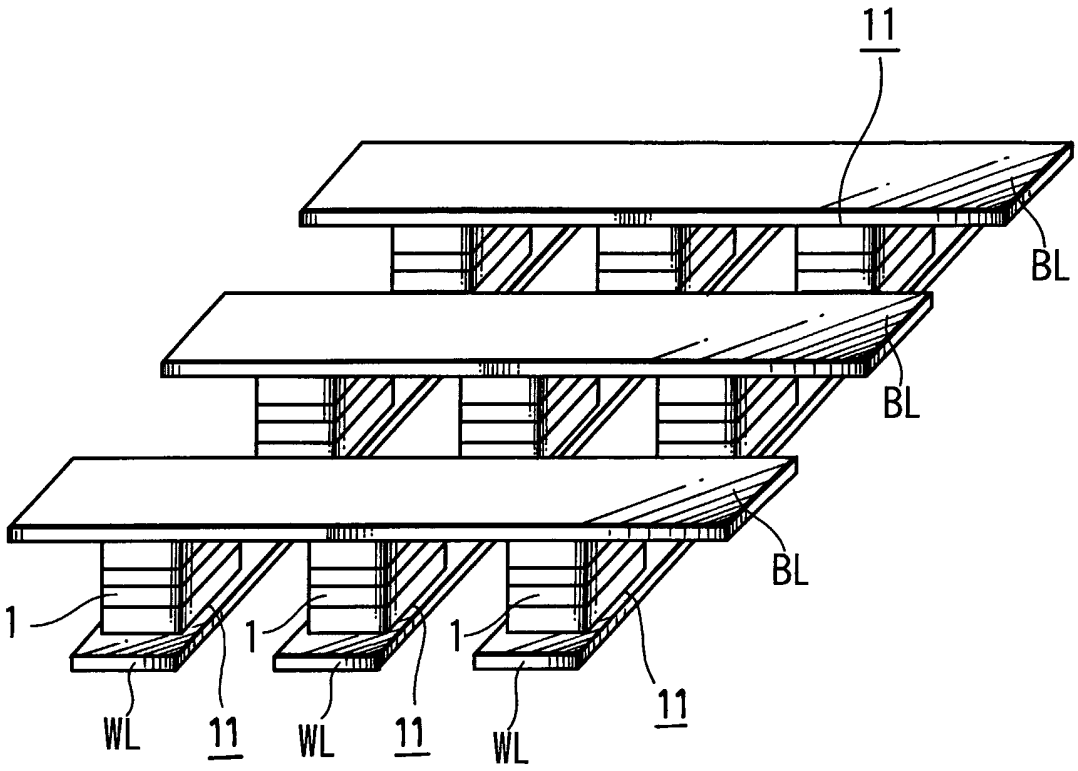


FIG. 3

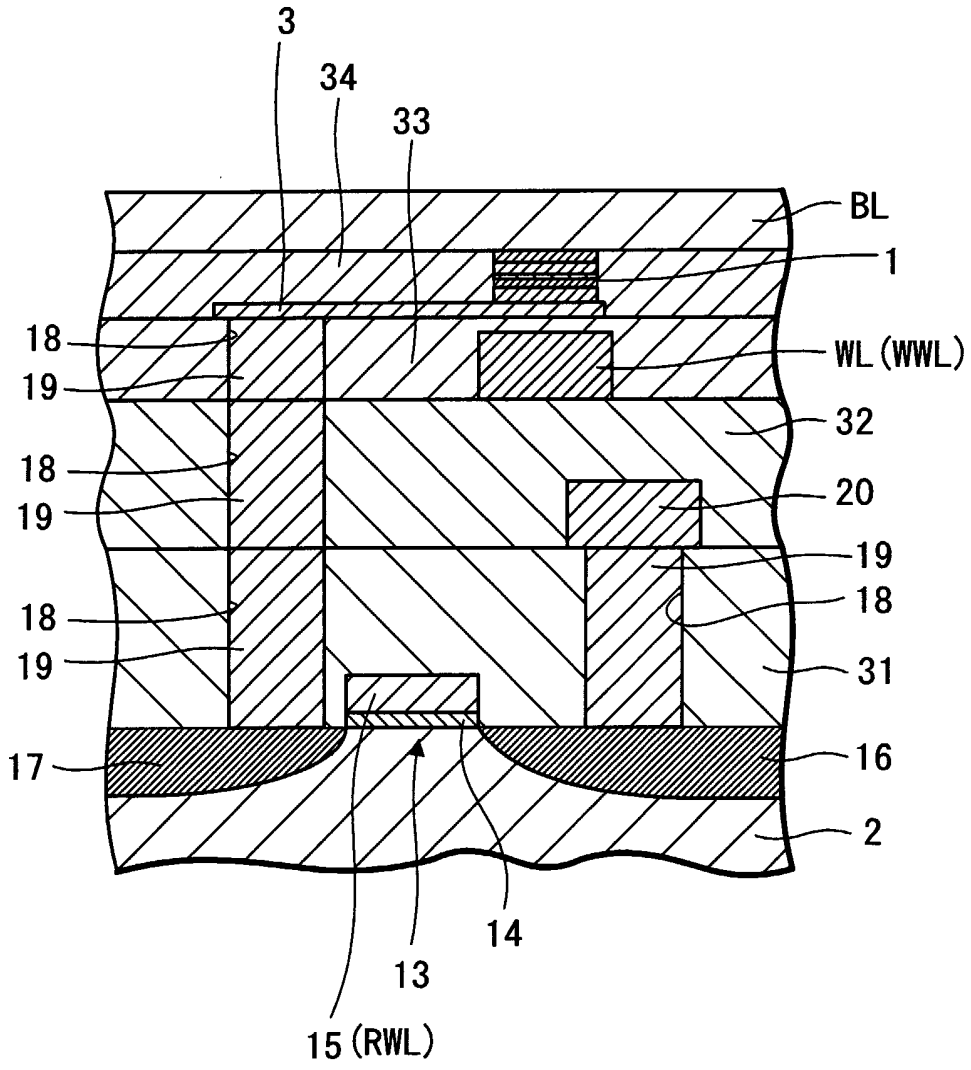


FIG. 4A

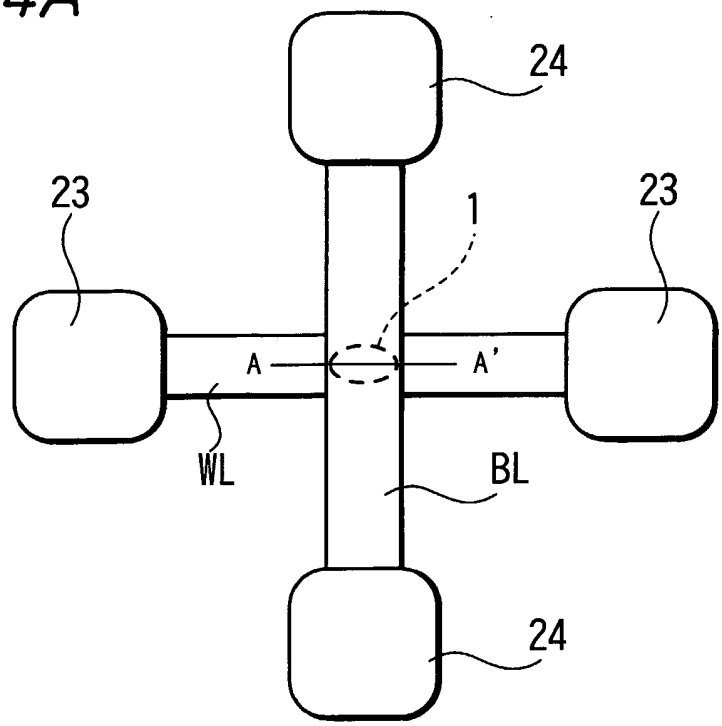


FIG. 4B

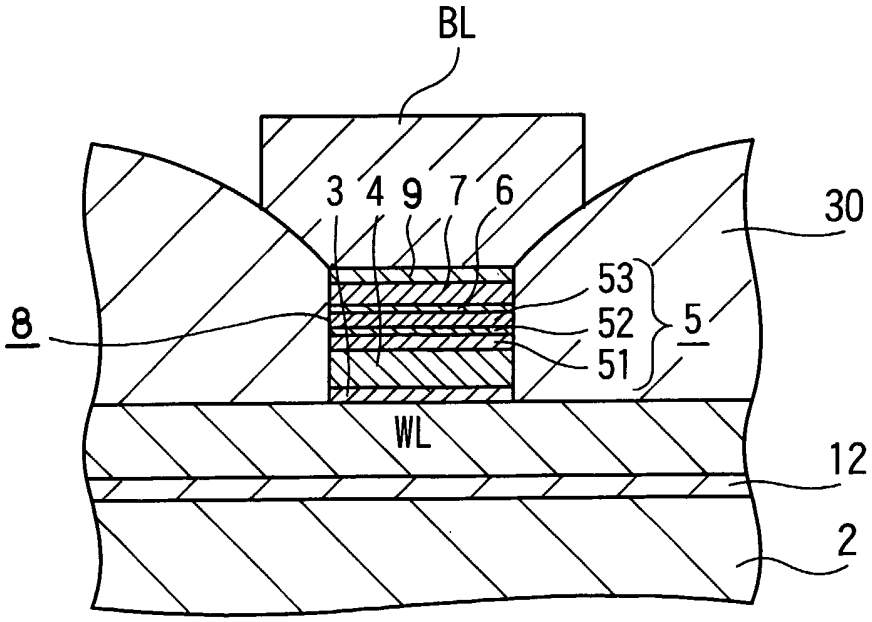


FIG. 5A

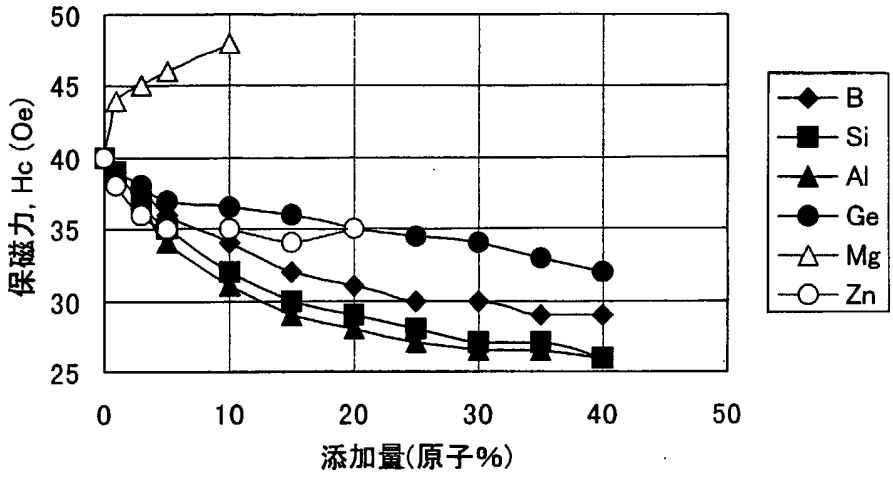

保磁力, Hc (Oe)
50
45
40
35
30
25
0
10
20
30
40
50
添加量(原子%)
B
Si
Al
Ge
Mg
Zn

FIG. 5B

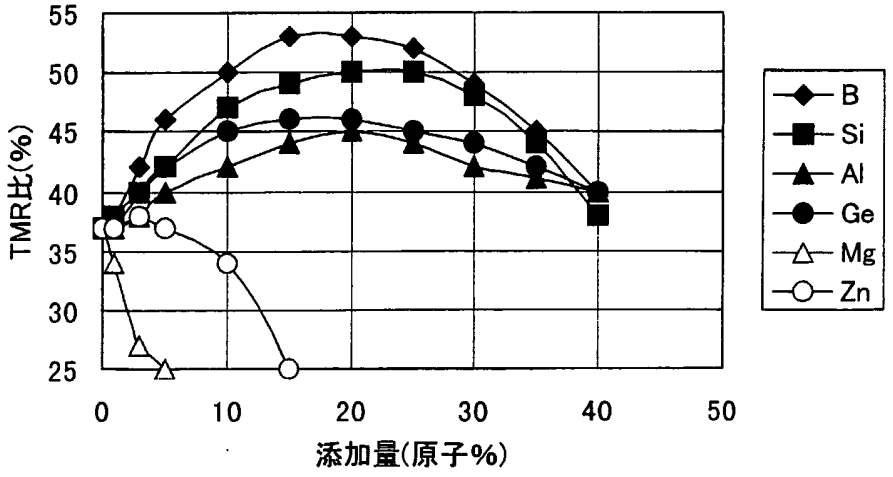

TMR比(%)
55
50
45
40
35
30
25
0
10
20
30
40
50
添加量(原子%)
B
Si
Al
Ge
Mg
Zn

FIG. 6A

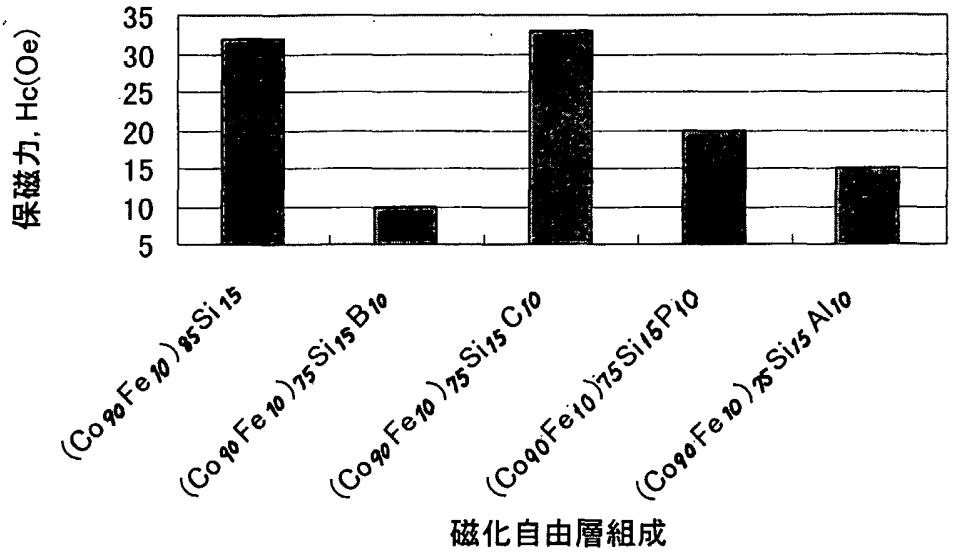

保磁力, Hc(Oe)
35
30
25
20
15
10
5
(Co90Fe10)85Si15
(Co90Fe10)75Si15B10
(Co90Fe10)75Si15C10
(Co90Fe10)75Si15P10
(Co90Fe10)75Si15Al10
磁化自由層組成

FIG. 6B

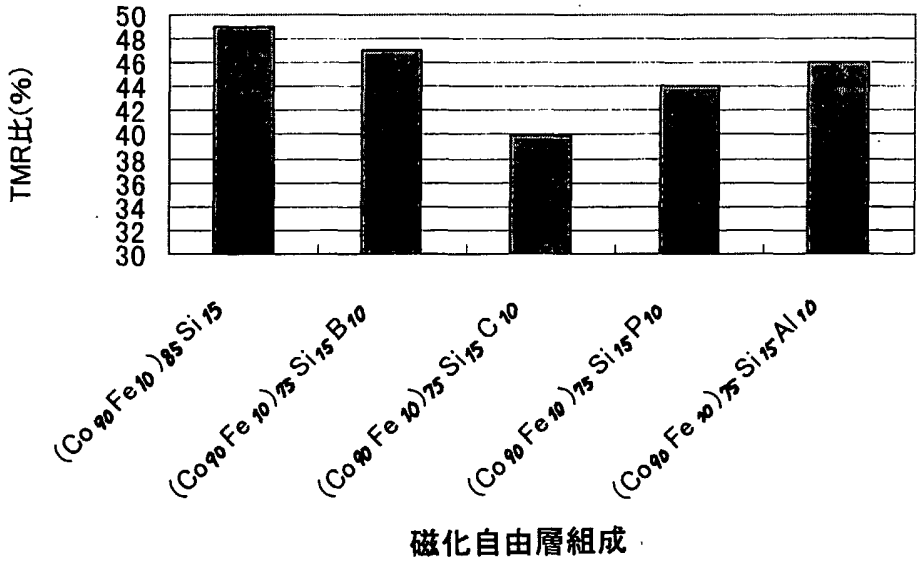

TMR比(%)
50
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
(Co90Fe10)85Si15
(Co90Fe10)75Si15B10
(Co90Fe10)75Si15C10
(Co90Fe10)75Si15P10
(Co90Fe10)75Si15Al10
磁化自由層組成

FIG. 7A

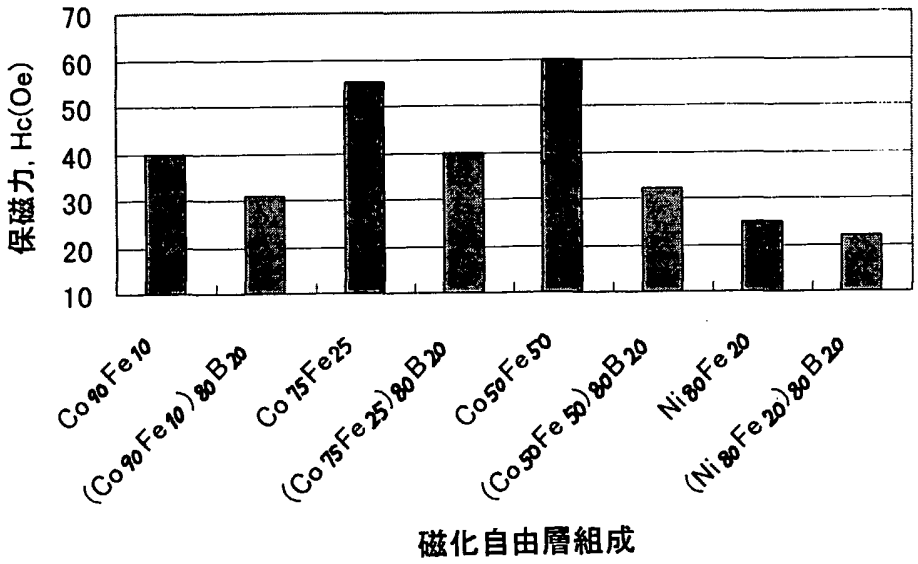

保磁力, Hc(Oe)
70
60
50
40
30
20
10
Co90Fe10
(Co90Fe10)80B20
Co75Fe25
(Co75Fe25)80B20
Co50Fe50
(Co50Fe50)80B20
Ni80Fe20
(Ni80Fe20)80B20
磁化自由層組成

FIG. 7B

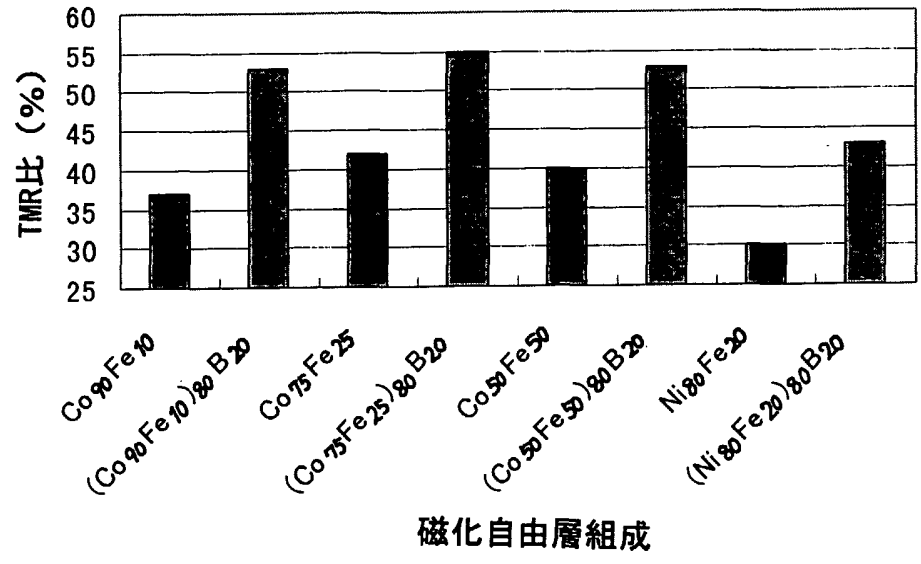

TMR比（%）
60
55
50
45
40
35
30
25
Co90Fe10
(Co90Fe10)80B20
Co75Fe25
(Co75Fe25)80B20
Co50Fe50
(Co50Fe50)80B20
Ni80Fe20
(Ni80Fe20)80B20
磁化自由層組成

FIG. 8A

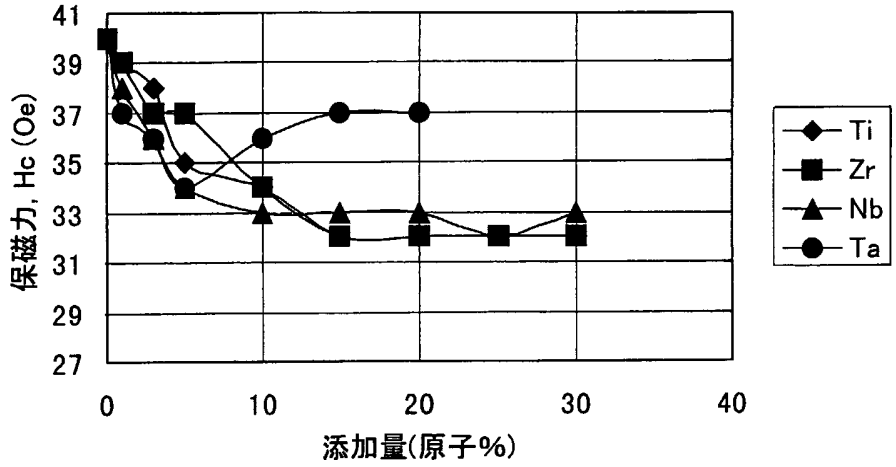

41
39
37
35
33
31
29
27
保磁力, Hc (Oe)
0
10
20
30
40
添加量(原子%)
Ti
Zr
Nb
Ta

FIG. 8B

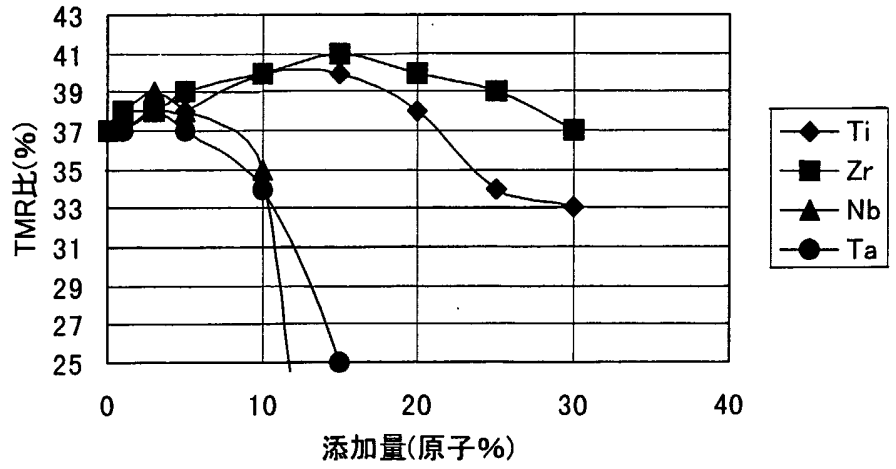

43
41
39
37
35
33
31
29
27
25
TMR比(%)
0
10
20
30
40
添加量(原子%)
Ti
Zr
Nb
Ta

FIG. 9A

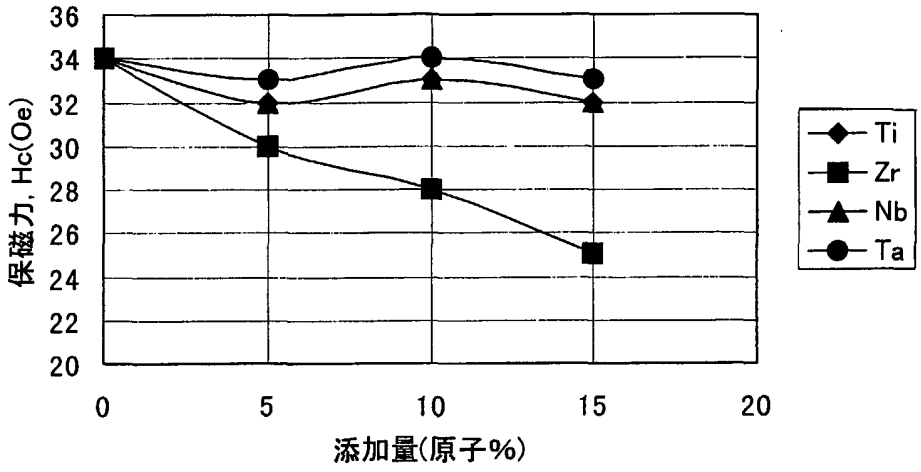

保磁力, Hc(Oe)
36
34
32
30
28
26
24
22
20
0
5
10
15
20
添加量(原子%)
Ti
Zr
Nb
Ta

FIG. 9B

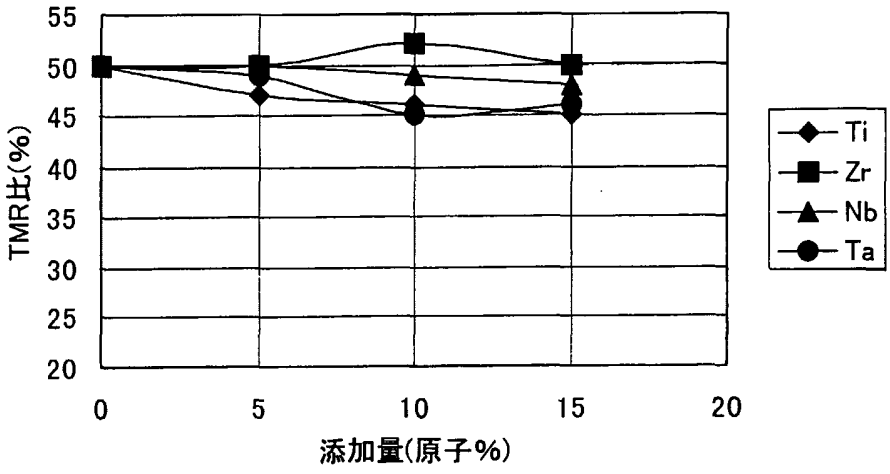

TMR比(%)
55
50
45
40
35
30
25
20
0
5
10
15
20
添加量(原子%)
Ti
Zr
Nb
Ta

FIG. 10A

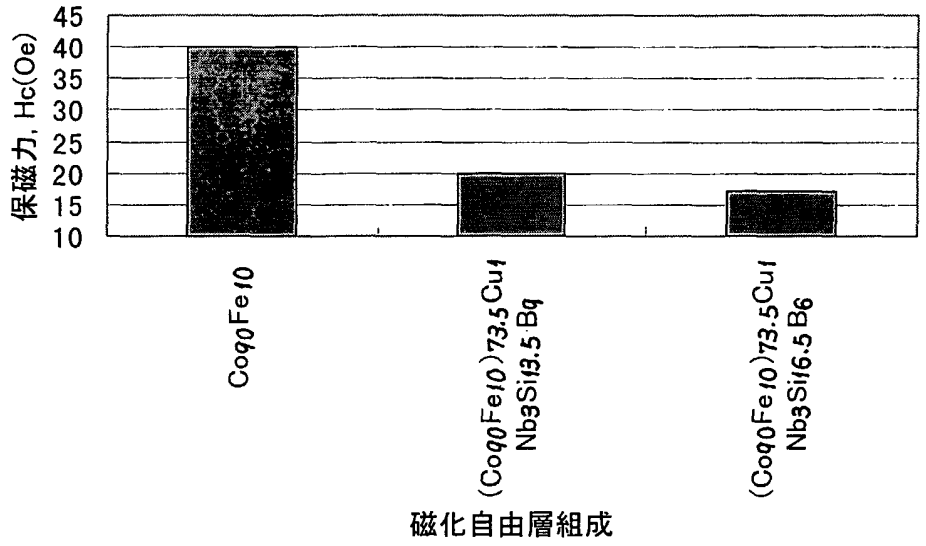


FIG. 10B

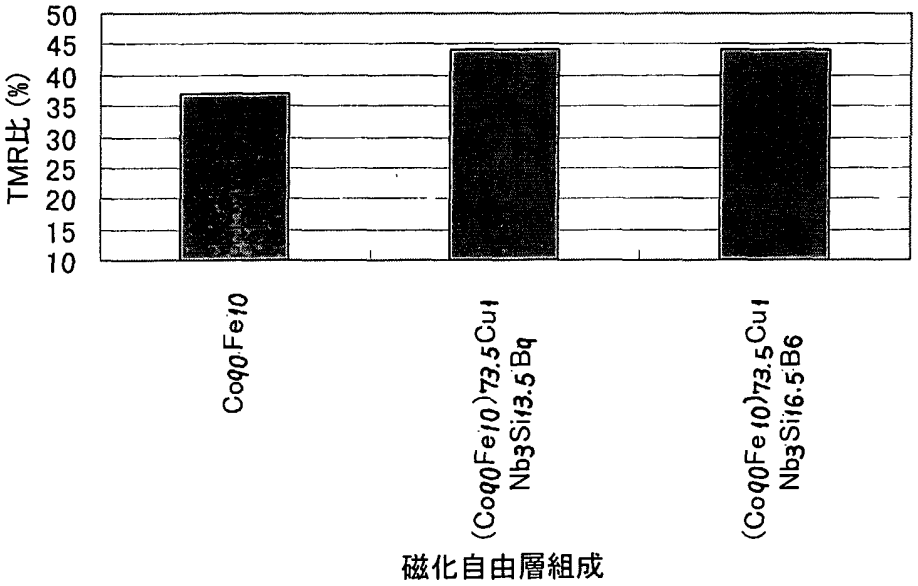


FIG. 11A

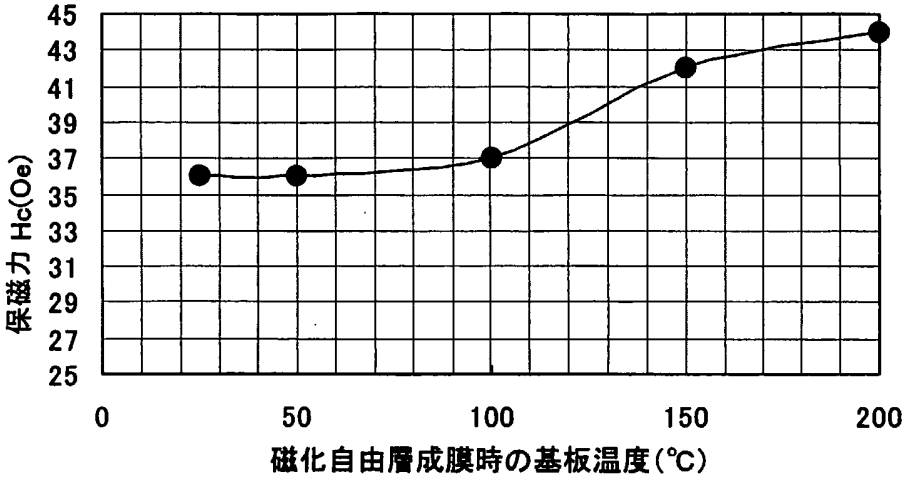


FIG. 11B

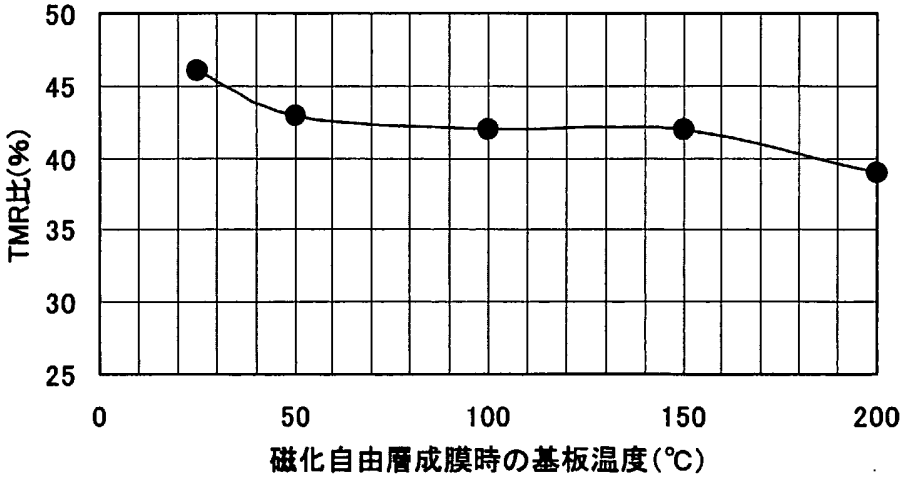


FIG. 12A

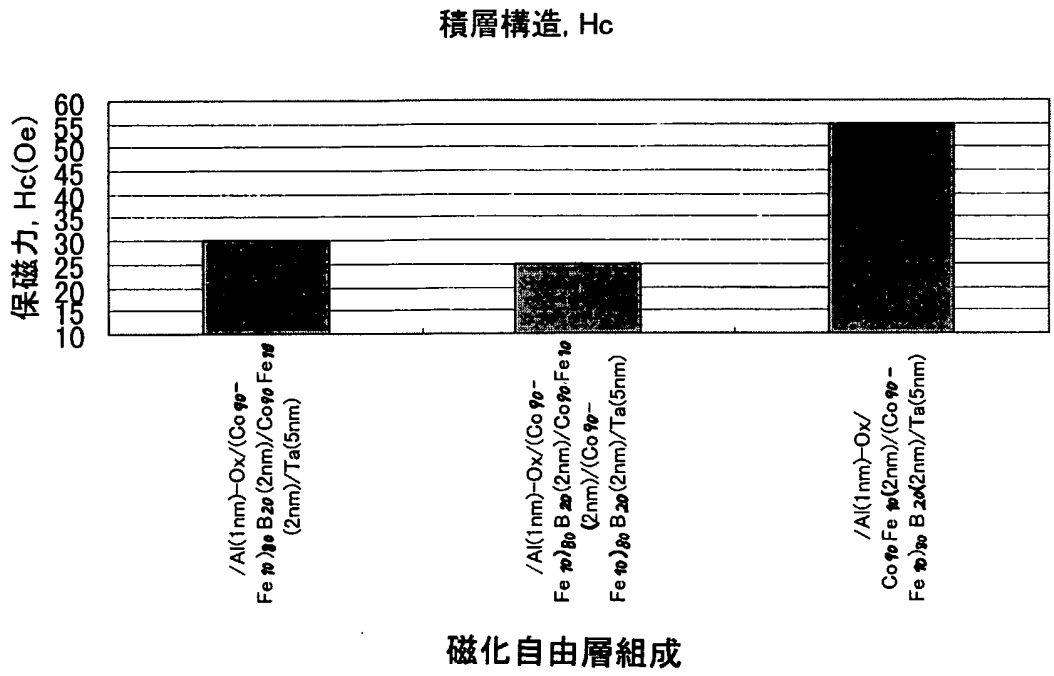


FIG. 12B

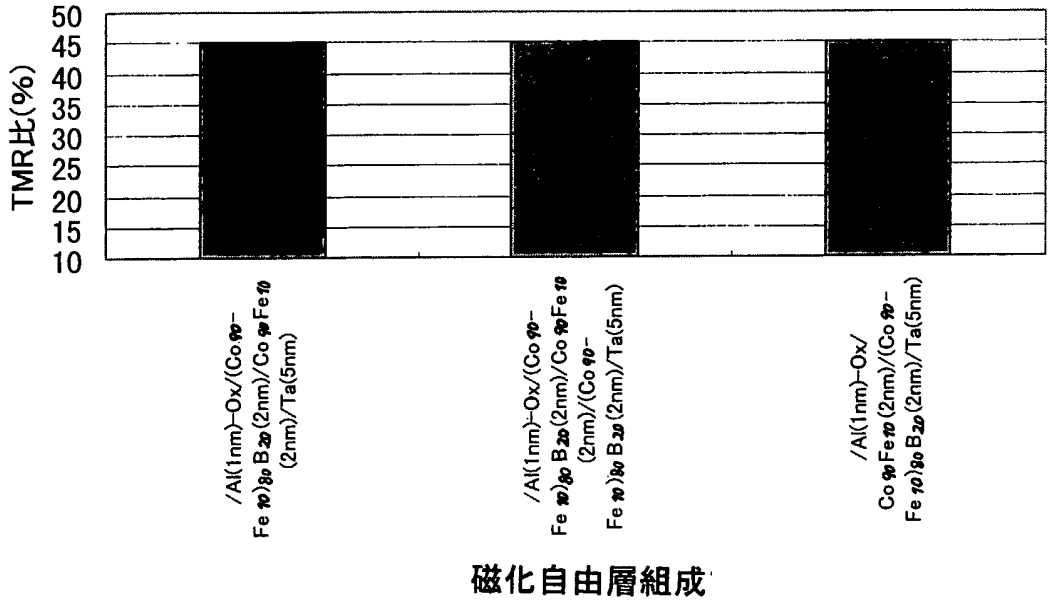


FIG. 13A

バイアス電圧 (V)	TMR比 (%)	
	$Co_{20}Fe_{10}$	$(Co_{90}Fe_{10})_{80}B_{20}$
0.0	42%	53%
0.1	37.0%	47.5%
0.2	32.6%	42.5%
0.3	28.8%	38.1%
0.4	25.4%	34.1%
0.5	22.4%	30.6%
0.6	19.7%	27.4%
0.7	17.4%	24.5%
0.8	15.3%	22.0%
0.9	13.5%	19.7%
1	11.9%	17.6%
V_h(V)	0.55	0.63

FIG. 13B

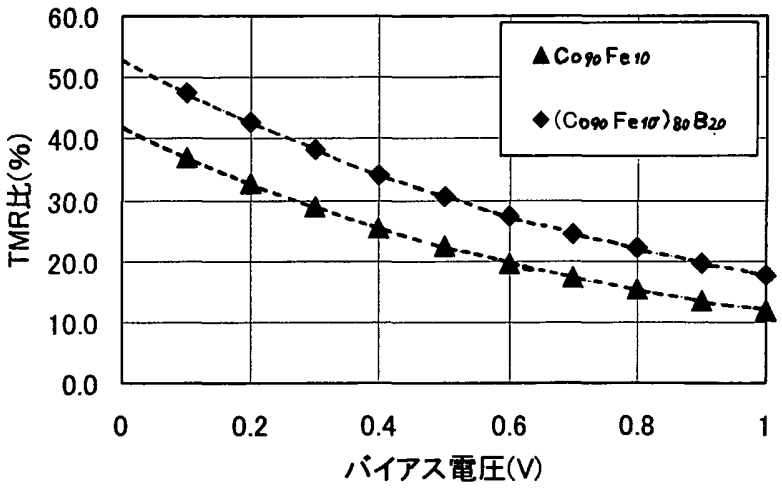


FIG. 14

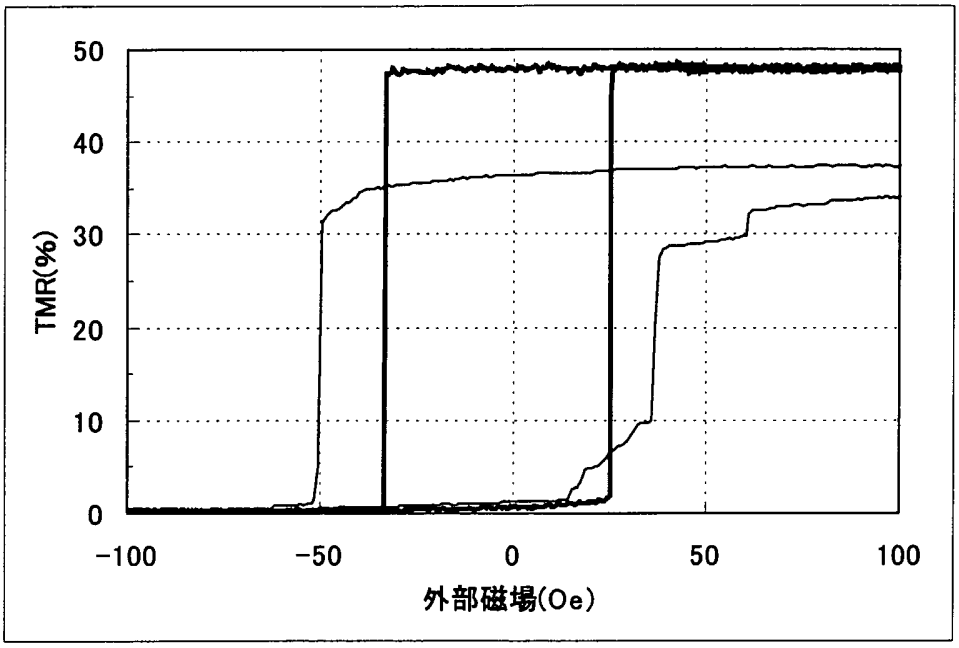


FIG. 15(A)

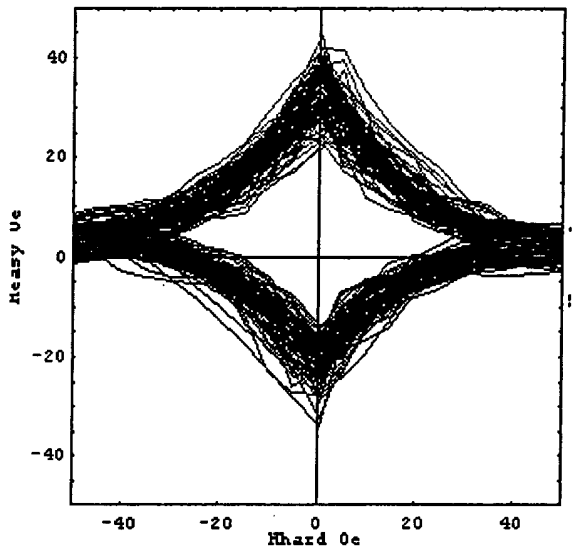


FIG. 15(B)

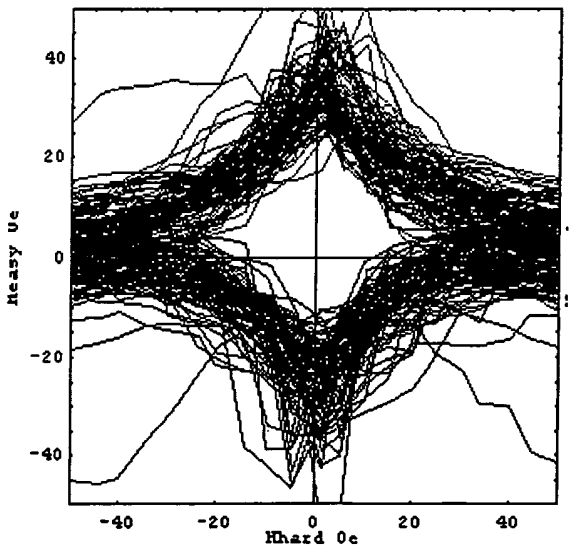
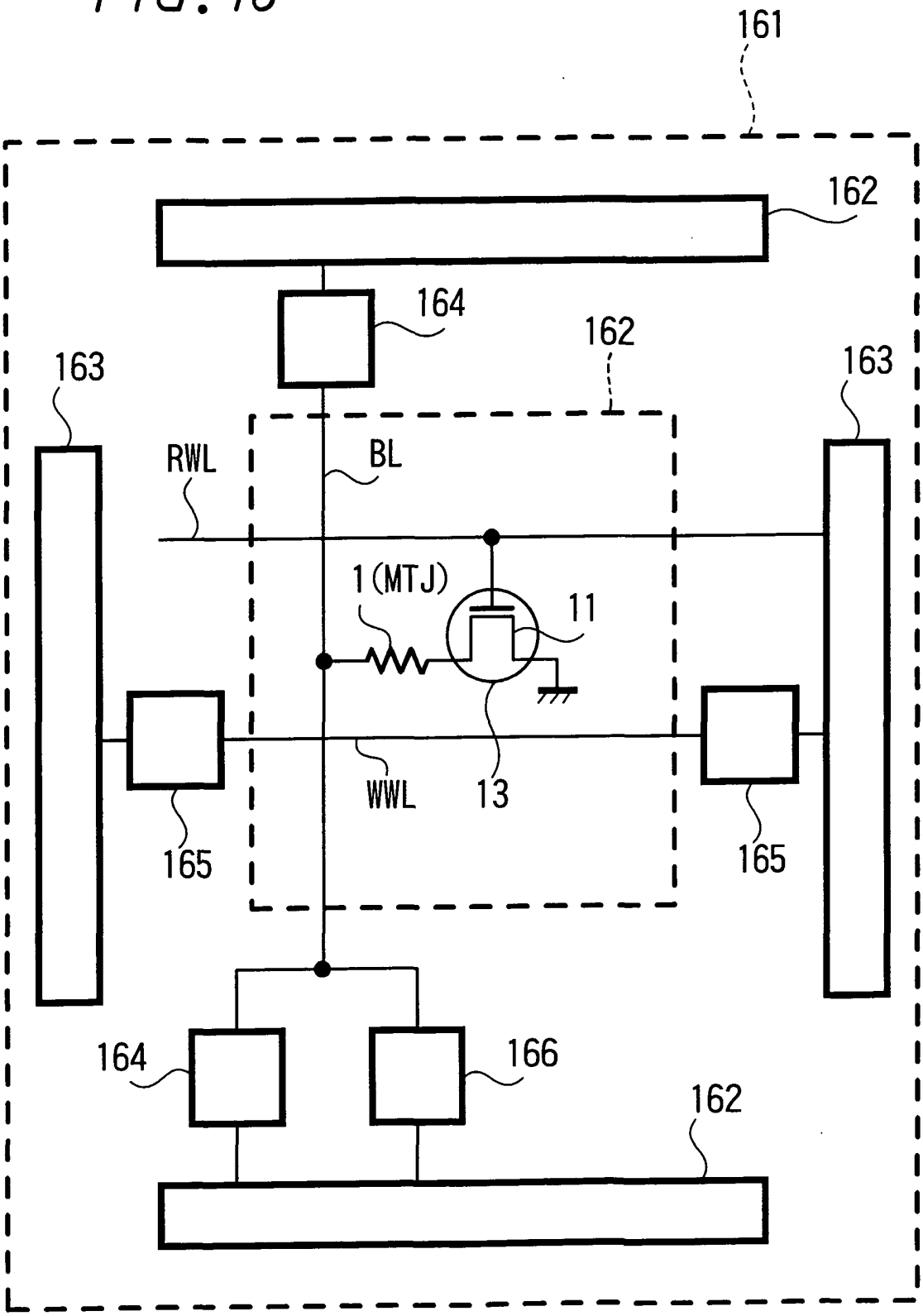


FIG. 16



引　用　符　号　の　説　明

引用符号		事　項
1	・・・	磁気抵抗効果素子ないしはメモリ素子
2	・・・	基板
3	・・・	下地層
4	・・・	反強磁性層
5	・・・	強磁性層（第１の強磁性層）
５１	・・・	第１の強磁性体層
５２	・・・	導電層
５３	・・・	第２の強磁性体層
6	・・・	トンネルバリア層
7	・・・	強磁性層（第２の強磁性層）
8	・・・	強磁性トンネル結合部（ＭＴＪ）
9	・・・	保護層
１１	・・・	メモリ素子
１２，３０	・・・	絶縁層
１３	・・・	トランジスタ
１４	・・・	ゲート絶縁層
１５	・・・	ゲート電極
１６	・・・	ソース領域
１７	・・・	ドレイン領域
１８	・・・	コンタクトホール
１９	・・・	導電性プラグ
２０	・・・	配線層
２３，２４	・・・	端子パッド
３１～３４	・・・	第１～第４の層間絶縁層