

(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
2010年5月6日(06.05.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/050125 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) *H01L 27/105* (2006.01)
G11B 5/39 (2006.01) *H01L 43/10* (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/005183
- (22) 国際出願日: 2009年10月6日(06.10.2009)
- (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 2008-281596 2008年10月31日(31.10.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6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): 添谷進(SOEYA, Susumu) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地株式会社日立製作所中央研究所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: ポレール特許業務法人(Polaire I.P.C.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目7番1号 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

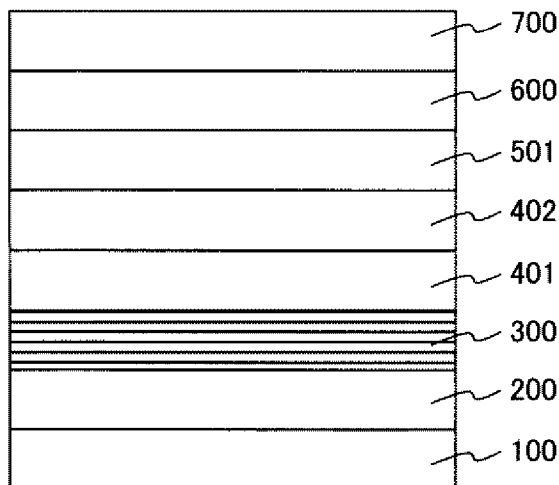
— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: CPP-GMR ELEMENT, TMR ELEMENT, AND MAGNETIC RECORDING/REPRODUCTION DEVICE

(54) 発明の名称: CPP-GMR素子、TMR素子および磁気記録再生装置

[図1]

図 1



(57) Abstract: At present, the standard antiferromagnetic film in the industry may be an $\text{Mn}_{80}\text{Ir}_{20}$ film of irregular phase and an $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ film of regular phase. However, both of the films have a crystal structure as a cubic crystal having a crystal magnetic anisotropy energy constant as small as 10^5 erg/cm^3 and insufficient resistance against thermal fluctuation. There is a problem of so-called pin degradation. In order to solve the problem, an $\text{Ll}_0\text{Mn}_{50}\text{Ir}_{50}$ film having the crystal magnetic anisotropy energy constant of about $2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ is employed as the antiferromagnetic film (300) for a fixed layer. This assures the relaxation time of 1.2×10^{49} years and resistance of an astronomical value against the thermal fluctuation even if, for example, the element size is $5 \text{ nm} \square$ and the antiferromagnetic film thickness is 5 nm . As for the low-temperature ordering means for the $\text{Ll}_0\text{Mn}_{50}\text{Ir}_{50}$ -based antiferromagnetic film, the problem may be solved by arranging below the $\text{Mn}_{50}\text{Ir}_{50}$ film, a low-temperature ordered MnIr layer driven by dynamic stress/static stress.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/050125 A1



現在、反強磁性膜として、不規則相 $\text{Mn}_{80}\text{Ir}_{20}$ 膜、規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 膜が業界標準である。しかしながら、両者とも結晶構造が立方晶であるが故に結晶磁気異方性エネルギー定数が 10^5 erg/cm^3 程度と小であり、熱揺らぎ耐性が不足している状態にある。いわゆる、ピンデグレが顕在化している問題がある。上記課題を克服するため、結晶磁気異方性エネルギー定数約 $2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有している $\text{L}_{10}\text{Mn}_{50}\text{Ir}_{50}$ 膜を固定層用、反強磁性膜 300 として適用する。これにより、例えば、素子サイズ 5 nm □、反強磁性膜厚 5 nm になっても、緩和時間 1.2×10^{49} 年と、天文学的数値の熱揺らぎ耐性を確保できる。 $\text{L}_{10}\text{Mn}_{50}\text{Ir}_{50}$ 系反強磁性膜の低温規則化手段については、 $\text{Mn}_{50}\text{Ir}_{50}$ 膜下方に動的応力駆動・静的応力駆動 MnIr 低温規則化層を設けることにより、解決する。

明 細 書

発明の名称：

C P P－G M R素子、T M R素子および磁気記録再生装置

技術分野

[0001] 本発明は、 $\text{L}_{1-x}\text{MnIr}$ 系反強磁性層を適用したC P P－G M R素子、T M R素子等の磁気抵抗効果素子、およびそれを用いた磁気記録再生装置〔ハードディスクドライブ（HDD）やスピンランダムアクセスメモリ（S P R A M）〕に関する。

背景技術

[0002] 高密度磁気記録再生対応の磁気センサとしてC P P－G M R（current perpendicular to the plane-Giant magnetoresistive）素子、T M R（Tunneling magnetoresistive）素子等の磁気抵抗効果素子が知られている。以下に、いわゆるスピンバルブタイプのC P P－G M R素子の概略、および、動作原理を説明する。

[0003] C P P－G M R素子は、導電性非磁性中間層によって分離された強磁性膜（１）と強磁性膜（２）を含む適切なる物質上に形成された積層構造を含有する。代表的なC P P－G M R素子構造は、下部電極／反強磁性層／強磁性膜（１）／導電性非磁性中間層／強磁性膜（２）／上部電極である。ここで、最上層が上部電極、最下層が下部電極であり、以下の積層膜もこのように表記する。強磁性膜のひとつ、強磁性膜（１）の磁化方向は、外部印加磁場ゼロのとき、強磁性膜（２）の磁化方向と垂直方向に固定されている。この強磁性膜（１）の磁化方向の固定は、反強磁性膜を隣接させ、反強磁性膜と強磁性膜（１）との交換結合により、強磁性膜（１）に一方向異方性エネルギー、或いは交換磁気異方性エネルギーを付与することによりなされる。そのため、強磁性膜（１）は、固定層、或いは固定側強磁性膜と呼ばれており、本明細書でも、このように表記する。固定層の代表的な磁化の固定方向は、媒体対抗面・浮上面（A B S面）と垂直な方向である。一方、強磁性膜（

2) の磁化方向は、外部印加磁場によって自由に回転することができる。そのため、強磁性膜 (2) は、自由層、或いは自由側強磁性膜と呼ばれており、本明細書でも、このように表記する。CPP-GMR素子では、磁性媒体から発生する磁場を印加磁場として、この磁場に応じて自由層の磁化方向が自由に回転し、結果、固定層の磁化方向と自由層の磁化方向とのなす角度に変化が生じる。CPP-GMR素子は、これら固定層と自由層の磁化方向のなす角度の変化に応じて電気抵抗が変化することを利用し、磁性媒体からの磁気的信号を電气的信号に変換する磁気抵抗トランスデューサーである。現在では、自由層や固定層に、いわゆるハーフメタル膜を使ったり、導電性非磁性中間層に電流狭窄と呼ばれている技術を導入したりして、MR比20%超が得られている。

[0004] 一方の、TMR素子は、絶縁障壁層によって分離された強磁性膜 (1) と強磁性膜 (2) を含む適切なる物質上に形成された積層構造を含有する。代表的なTMR素子構造は、下部電極／反強磁性膜／強磁性膜 (1) ／絶縁障壁層／強磁性膜 (2) ／上部電極である。各々の膜の役割、および、TMR素子の動作原理は、絶縁障壁層を用いトンネル効果を利用して上下の通電をはかっている以外は、上で述べたCPP-GMR素子と同じである。現在、固定層、絶縁障壁層、自由層を、CoFeB/MgO/CoFeB構成とすることで、MR比350%超が得られている。

[0005] CPP-GMR素子、TMR素子ともに、高密度化・特性向上にあたっての要の技術は、固定層／導電性非磁性中間層、導電性非磁性中間層／自由層、および、固定層／絶縁障壁層、絶縁障壁層／自由層、の界面DOSの保有するスピン分極率を上げてのMR比を向上させる技術、そして、反強磁性層による固定層の強固なピンニング技術、いかえると、固定層への大きな一方向異方性エネルギー、或いは交換磁気異方性エネルギー付与技術、と言っても過言ではない。

[0006] 固定層用の反強磁性膜としては、不規則相FeMn膜、NiO膜、CrMnPt膜、L₁₀PtMn膜、L₁₀PtPdMn膜、不規則相MnIr膜、

規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 膜、などが知られている。そして現在では、不規則相 MnIr 膜、規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 膜が業界標準として使用されている。ちなみに、規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 膜は、上記反強磁性膜の中では最も大きい交換磁気異方性エネルギー一定数約 1.3 erg/cm^2 を付与できることで知られている。（特許文献1、非特許文献1、非特許文献2参照）

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2002-289947号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Appl. Phys. Lett., 89, 052504 (2006)

非特許文献2：Appl. Phys. Lett., 85, 3812 (2004)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 不規則相 MnIr 膜は、結晶構造が立方晶（fcc）であるが故に反強磁性膜の結晶磁気異方性エネルギー一定数（ K_{AF} ）が 10^5 erg/cm^3 のオーダーにあり、小さい。同様に、規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 膜も、確かに巨大交換磁気異方性エネルギー一定数（ K_e ）約 1.3 erg/cm^2 が得られるものの、やはり結晶構造がfccであるが故に K_{AF} は 10^5 erg/cm^3 のオーダーであり、小さい。

[0010] それゆえ、面記録密度 Tb/in^2 超を達成するためには、CPP-GMR・TMR素子サイズを、例えば $35 \square \text{ nm}$ ：トラック幅 35 nm 、素子高さ 35 nm にまで低減することが必要とされているが、この素子サイズ、そして不規則相 MnIr 膜、或いは、規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 膜厚が 5 nm の場合について、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値を計算してみると、もはや25を大きく下回っている。（ V_{AF} ：反強磁性膜の体積、 k_B ：ボルツマン定数、 T ：温度

）。

[0011] $(K_{AF} V_{AF}) / (k_B T) \ll 25$ の場合について、反強磁性膜の結晶磁気異方性が維持される時間、いわゆる緩和時間 τ を、 $N e e l$ の関係式 $\tau = \tau_0 \exp [(K_{AF} V_{AF}) / (k_B T)]$ (τ_0 : $N e e l$ の定数) を用いて計算してみると、 $\tau \ll 72 \text{ s}$ となり、もはや、結晶磁気異方性は 72 s も持たない、という数値がはじき出される。すなわち、熱揺らぎ耐性がまったくなく、固定層用の反強磁性膜として、まったく機能しないという問題に直面する。さらには、言うまでもなく、今後の記録密度向上に伴う素子サイズ低減の要求に耐えられない。

課題を解決するための手段

[0012] 上記の問題を解決するため、本発明では、第一原理計算により予見されている $K_{AF} \doteq 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する規則相 $L1_0 \text{ MnIr}$ 膜（組成は、at. %比でおおよそ $50:50$ 。但し、組成マージンは広い。）を固定層用の反強磁性膜に適用する。具体的には以下のとおりである。

本発明の代表的な CPP-GMR 素子は、少なくとも、下部電極上に、シード層と、反強磁性膜と、強磁性膜と、固定側強磁性層と、非磁性導電性中間層と、外部磁界に応じて磁化方向が自由に変化する自由側強磁性層と、上部電極とを有する CPP-GMR 素子であって、

前記反強磁性膜が、結晶磁気異方性エネルギー一定数を 10^8 erg/cm^3 以上保有するか、もしくは規則度を 0.8 以上保有する $L1_0 \text{ MnIr}$ 系反強磁性膜で構成されることを特徴とする。

また、本発明の代表的な TMR 素子は、下部電極上に、シード層と、反強磁性膜と、強磁性膜と、固定側強磁性層と、絶縁性障壁層と、外部磁界に応じて磁化方向が自由に変化する自由側強磁性層と、上部電極とを有する TMR 素子であって、

前記反強磁性膜が、結晶磁気異方性エネルギー一定数を 10^8 erg/cm^3 以上保有するか、もしくは規則度を 0.8 以上保有する $L1_0 \text{ MnIr}$ 系反強磁性膜で構成されることを特徴とする。

但し、 MnIr 膜の L_{10} 規則相を得るためには、いいかえると MnIr 膜に不規則／規則相変態（規則化）を生じさせるためには、平衡状態図上、融点の約 $1/2$ である 600°C 程度の高温熱処理、或いは、加熱しながらの形成が必要とされる。しかしながら、薄膜は非平衡状態にあり、種々の低温規則化技術を駆使して上で述べた温度を低減することが可能である。そこで本発明では、下記3つの MnIr 膜の低温規則化の解決手段を提供する。

- (1) AuCu 系、 PtMn 系動的応力駆動 MnIr 膜低温規則化、
- (2) 貴金属シード配置による静的応力駆動 MnIr 膜低温規則化、
- (3) そのほか、高 Ar 圧製膜駆動 MnIr 膜低温規則化。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、超高密度に対応するため、素子サイズが極めて小さくなっても、極論すると $\text{CPP-GMR} \cdot \text{TMR}$ 素子などの磁気抵抗効果素子終焉まで使える固定層用の反強磁性膜を提供できる。

例えば、素子サイズ 10nm □、 $L_{10}\text{MnIr}$ 膜厚 5nm のとき、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 2416 、同様に、素子サイズ 5nm □、 $L_{10}\text{MnIr}$ 膜厚 5nm のとき、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 604 、同様に、素子サイズ 2.5nm □、 $L_{10}\text{MnIr}$ 膜厚 5nm のとき、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 151 と、熱揺らぎ耐性が極めて大きい固定層用の反強磁性膜を提供できる。

ちなみに、上で述べた $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T) = 151$ から、 τ を計算してみると、 $\tau = 1.2 \times 10^{49}$ 年と天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が得られる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]実施例1による、 $L_{10}\text{MnIr}$ 反強磁性膜を適用した CPP-GMR 素子の拡大断面図である。

[図2]実施例1による、 $L_{10}\text{MnIr}$ 反強磁性膜を適用した TMR 素子の拡大断面図である。

[図3]実施例2による、 $L_{10}\text{MnIr}$ 反強磁性膜を適用し、その上で動的応

力駆動層を新たに設けたCPP-GMR素子の拡大断面図である。

[図4]実施例2による、 L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用し、その上で動的応力駆動層を新たに設けたTMR素子の拡大断面図である。

[図5]本発明に係わる、AuCu動的応力駆動層、および、 MnIr 膜の(111)面内、および、(111)面間の格子パラメータを示す図である。

[図6]本発明に係わる、PtMn動的応力駆動層、および、 MnIr 膜の(111)面内、および、(111)面間の格子パラメータを示す図である。

[図7]本発明に係わる、3方向動的応力駆動 MnIr 低温規則化を説明するための図である。

[図8]実施例3による、 L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用し、動的応力駆動層を設け、その上で貴金属シード静的応力駆動層を新たに設けた、CPP-GMR素子の拡大断面図である。

[図9]実施例3による、 L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用し、動的応力駆動層を設け、その上で貴金属シード静的応力駆動層を新たに設けた、TMR素子の拡大断面図である。

[図10]実施例3による、貴金属シードによる静的応力駆動 MnIr 低温規則化を説明するための図である。

[図11]実施例3による、高Ar圧製膜駆動 MnIr 低温規則化を説明するための図である。

[図12]本発明に係わる、CPP-GMR素子、或いはTMR素子を適用したハードディスクドライブ(HDD)の構成図である。

[図13]本発明に係わる、TMR素子を適用したスピンランダムアクセスメモリ(SPRAM)の構成図である。

[図14]スピンランダムアクセスメモリの「0」「1」記録状態時の固定層と自由層の磁化ベクトルの方向を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照して本発明の代表的な実施例について説明する。

<実施例1>

図1は、結晶磁気異方性エネルギー一定数 $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用した、少なくとも、下部電極100上に、シード層200と、 L_{10}MnIr 反強磁性膜300と、固定層の一部をなす強磁性膜(1-a)401と、固定層の一部をなす強磁性膜(固定側強磁性層)(1-b)402と、導電性非磁性中間層501と、自由層の役割を担う強磁性膜(自由側強磁性層)(2)600と、上部電極700と、を順次積層してなる磁性積層膜を含むCPP-GMR素子の媒体対抗面、いわゆるABS面から見た拡大断面図を示す。重複するが、固定層用の反強磁性膜300が、 L_{10}MnIr 反強磁性膜で構成されることを特徴とする。

[0016] 実施例1のCPP-GMR素子の代表的な材料・膜厚は、以下のとおりである。下部電極100はRu膜で構成され、膜厚は50nmである。シード層200はTa/Cu積層膜で構成され、膜厚はともに5nmである。 L_{10}MnIr 反強磁性膜300の膜厚は、5nmである。強磁性膜(1-a)401はCo膜で構成され、膜厚は1.5nmである。強磁性膜(1-b)402はハーフメタルCoMnSi膜で構成され、膜厚は3nmである。導電性非磁性中間層501はCu-Al-O膜で構成され、膜厚は2nmである。強磁性膜(2)600はハーフメタルCoMnSi膜で構成され、膜厚は3nmである。上部電極700はRu膜で構成され、膜厚は50nmである。なお、強磁性膜(1-a)401と強磁性膜(1-b)402とは、強磁性/強磁性の交換結合により強固に固定されている。

[0017] L_{10}MnIr 反強磁性膜にとって妥当な交換結合モデルであるMalozemoffモデル、 $K_0 = 4 \times z \times \pi^{-3/2} \times \sqrt{A_{AF} \times K_{AF}}$ (z : 再隣接原子数、 A_{AF} : 交換ステフィネス定数)、なる関係式を使って K_0 の理論値をはじき出してみたところ、約 80 erg/cm^2 という値が得られた。この結果は、 L_{10}MnIr 膜を固定層用の反強磁性膜として用いることにより、上で述べた固定層: 強磁性膜(1-a)401/強磁性膜(1-b)402積層膜に、理想的には約 80 erg/cm^2 もの交換磁気異方性エネルギー一定数を付与できることを示している。

- [0018] しかしながら、実際には、格子不整合、界面汚染物質のコンタミ、膜中不純物、 360° 面内異方性軸ローテーションがあり、上の理論値には届かない。
- [0019] そこで、実際に、どの程度の交換磁気異方性エネルギー一定数の実験値が得られるか、実験と計算により、以下に見積もってみた。
- [0020] LaPtMn 反強磁性膜は、 LaMnIr 反強磁性膜と結晶構造・磁気構造が類似していて、妥当交換結合モデルも同じ *Malozemoff* モデルである、として知られる。そして、この LaPtMn 反強磁性膜の K_u の実験値は約 0.4 erg/cm^2 である。加えて、第一原理計算から予見されている LaPtMn の K_{AF} は、 LaMnIr の約 $1/20$ である。いいかえると、 LaMnIr の K_{AF} は、 LaPtMn の約 20 倍である。以上の事実を、上の *Malozemoff* モデルからの K_u $[= 4 \times z \times \pi^{-3/2} \times \sqrt{(A_{AF} \times K_{AF})}]$ 理論式にはめこんで比例計算を行うと、 LaMnIr 反強磁性膜の K_u の実験値は、 $K_u \doteq 0.4 (\text{erg/cm}^2) \times \sqrt{20} (\text{倍}) \doteq 1.8 \text{ erg/cm}^2$ 、という値が得られる。なお、 LaMnIr 、 LaPtMn の z はともに 12 と同じであり、 A_{AF} についてもネール温度 (T_N) や再隣接 Mn 原子間距離等がほとんど同じであることから、 z や A_{AF} については、各々、 1 倍、約 1 倍として見積もった。
- [0021] 以上、 LaMnIr 膜を固定層用の反強磁性膜として用いることにより、実験的にも、固定層：強磁性膜 $(1-a)401$ / 強磁性膜 $(1-b)402$ 積層膜に、 K_u 約 1.8 erg/cm^2 もの極めて大きな交換磁気異方性エネルギー一定数を付与できることが分かった。なお、この K_u 約 1.8 erg/cm^2 は、これまでに知られている規則相 $\text{Mn}_{75}\text{Ir}_{25}$ 反強磁性膜の約 1.3 erg/cm^2 を凌ぐ値である。
- [0022] LaMnIr 反強磁性膜のブロッキング温度 T_B については、 LaMnIr の T_N が約 867°C もあることから、極めて高く、膜が壊れてしまって測定困難である。しかしながら、結晶構造・磁気構造が類似していて、妥当交換結合モデルも同じである LaPtMn 、 LaNiMn 反強磁性膜の T_B が T

N よりもおよそ 200°C 低い温度にある、ことの類推から、 T_B 約 600°C 超と見積もられる。

[0023] 次に、本発明のキーである熱揺らぎ耐性について、以下に述べたい。熱揺らぎ耐性を示す物理パラメータは、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値、および、 $\tau = \tau_0 \exp[(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)]$ である。 L_{10}MnIr 反磁性膜の $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を用いて、代表的な素子サイズについて計算すると、以下のとおり見積もられる。

[0024] 例えば、素子サイズ $10 \text{ nm} \square$ 、 L_{10}MnIr 膜厚 5 nm のとき、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 2416 、同様に、素子サイズ $5 \text{ nm} \square$ 、 L_{10}MnIr 膜厚 5 nm のとき、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 604 、同様に、素子サイズ $2.5 \text{ nm} \square$ 、 L_{10}MnIr 膜厚 5 nm のとき、 $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 151 と、熱揺らぎ耐性が極めて高いことが分かる。ちなみに、上で述べた $(K_{AF}V_{AF}) / (k_B T)$ 値約 151 から、 τ を計算してみると、 $\tau = 1.2 \times 10^{49} \text{ years}$ と天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が得られる。噛み砕いて言うならば、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の異方性軸が倒れるまでには、 $1.2 \times 10^{49} \text{ years}$ もの年数がかかる。以上から、 L_{10}MnIr 膜を固定層用の反強磁性膜として用いることにより、素子サイズが極めて小さくなくても、極論すると、CPP-GMR・TMR素子などの磁気抵抗効果素子終焉まで使える固定層用の反強磁性膜を提供できる。

[0025] 以上の熱揺らぎ耐性は、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の K_{AF} が約 $2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ であって規則度 S が約 1 の場合であるが、実際には規則度 $S = 1$ を得ることは難しい。規則度 S は、 0.8 程度まで落ちてしまう場合が多い。しかしながら、規則度 S は 0.8 以上もあれば十分である。なぜなら、規則度 S が 0.8 に下がった場合には、 K_{AF} は $1/2$ くらいまで減少するとされているが、 $K_{AF} = 1 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ まで減少したとしても、素子サイズ小としても上記天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が維持されるからである。すなわち、素子サイズ $2.5 \text{ nm} \square$ 、 L_{10}MnIr 膜厚 5 nm としても $\tau = 2.1 \times 10^{14} \text{ years}$ と天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が維持される。

。したがって、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の K_{AF} は 10^8 erg/cm^3 のオーダーを保有していれば十分であり、規則度 S も 0.8 以上であれば十分である。

[0026] なお、 $K_{AF} = 1 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ の場合、理屈上、 $K_u = 1.2 \text{ erg/cm}^2$ まで減少するが、 K_u 値としては 0.4 erg/cm^2 以上あれば実用上問題ないが故にこの低下は問題なく、一方の T_B 値は、一番良好な交換結合手で決まるが故に 600°C 超は維持されることを付記しておきたい。

[0027] なお、本発明に係わる、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の組成は、上でも述べたとおり、 $\text{at.}\%$ 比でおよそ $50:50$ であるが、組成マージンが広いいため多少ずれていても構わない。加えて、 Pt 、 Pd 、 Rh 、 Au 、 Ag 、 Ru など数 $\text{at.}\%$ ～数 $10 \text{ at.}\%$ 添加しても良く、これら 2 元素以上の貴金属を組み合わせで添加しても良い。

[0028] さらに、図 1 では、 L_{10}MnIr 反強磁性膜下置きタイプの基本的な CPP-GMR 構造を示したが、 L_{10}MnIr 反強磁性膜上置きタイプとしても良く、さらにはサンドイッチしてデュアル構造タイプとしても良い。

[0029] さらに、 L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 の下方に、例えば、不規則相 MnIr/NiFe/Ru/NiFe で構成される積層フェリ構造膜を設けても構わない。同様に、上置き積層フェリ構造膜、デュアル積層フェリ構造膜を設けても、良い。

[0030] さらに、図 1 では、良質なハーフメタル CoMnSi 膜〔強磁性膜 (1-b)〕を得るため、 Co 膜〔強磁性膜 (1-a)〕を介在させたが、必要に応じ、強磁性膜 (1-a) はなくても構わない。

[0031] 図 2 に、結晶磁気異方性エネルギー一定数 $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用した、少なくとも、下部電極 100 上に、シード層 200 と、 L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 と、固定層の一部をなす強磁性膜 (1-a) 401 と、固定層の一部をなす強磁性膜 (1-b) 402 と、絶縁障壁層 502 と、自由層の役割を担う強磁性膜 (2) 600 と、上部電極 700 と、を順次積層してなる磁性積層膜を含む TMR 素子

の媒体対抗面、いわゆるABS面から見た拡大断面図を示す。重複するが、固定層用の反強磁性膜300が、 L_{10}MnIr 反強磁性膜で構成されることを特徴とする。

[0032] 実施例1のTMR素子の代表的な材料・膜厚は、以下のとおりである。下部電極100はRu膜で構成され、膜厚は50nmである。シード層200はTa/Cu積層膜で構成され、膜厚はともに5nmである。 L_{10}MnIr 反強磁性膜300の膜厚は、5nmである。強磁性膜(1-a)401はCo膜で構成され、膜厚は1.5nmである。強磁性膜(1-b)402はCoFeB膜で構成され、膜厚は4nmである。絶縁障壁層502はMgO膜で構成され、膜厚は1.5nmである。強磁性膜(2)600はCoFeB膜で構成され、膜厚は4nmである。上部電極700はRu膜で構成され、膜厚は50nmである。なお、強磁性膜(1-a)401と強磁性膜(1-b)402とは、強磁性/強磁性の交換結合により強固に固定されている。

[0033] 本TMR素子構造でも、 L_{10}MnIr 反強磁性膜を固定層用の反強磁性膜に用いることにより、上で述べた、 K_u 実験値約 1.8 erg/cm^2 、 T_B 値 600°C 超、そして、素子サイズを極めて小としても、天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が得られる。

[0034] なお、上でも述べたとおり、実際には L_{10}MnIr 反強磁性膜の $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ 、規則度 $S \simeq 1$ を得ることは難しい。規則度 S は、0.8程度まで落ちてしまう場合が多い。しかしながら、規則度 S は0.8以上もあれば十分である。なぜなら、規則度 S が0.8に下がった場合には、 K_{AF} は1/2くらいまで減少するとされているが、 $K_{AF} = 1 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ まで減少したとしても、素子サイズ小としても天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が維持されるからである。すなわち、素子サイズ $2.5 \text{ nm} \square$ 、 L_{10}MnIr 膜厚5nmとしても $\tau = 2.1 \times 10^{14} \text{ years}$ と天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が維持される。したがって、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の K_{AF} は 10^8 erg/cm^3 のオーダーを保有していれば十分であり、規則度 S も0.8以上もあれば十分である。

[0035] なお、 $K_{AF} = 1 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ の場合、理屈上、 $K_0 = 1.2 \text{ erg/cm}^2$ まで減少するが、 K_0 値としては 0.4 erg/cm^2 以上あれば実用上問題ないが故にこの低下は問題なく、一方の T_B 値は、一番良好な交換結合手で決まるが故に 600°C 超は維持されることを付記しておきたい。

[0036] なお、本発明に係わる、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の組成は、上でも述べたとおり、at. %比でおおよそ50 : 50であるが、組成マージンが広いいため多少ずれていても構わない。加えて、Pt、Pd、Rh、Au、Ag、Ruなど数at. %～数10at. %添加しても良く、これら2元素以上の貴金属を組み合わせて添加しても良い。

[0037] さらに、図2では、 L_{10}MnIr 反強磁性膜下置きタイプの基本的なTMR構造を示したが、 L_{10}MnIr 反強磁性膜上置きタイプとしても良く、さらにはサンドイッチしてデュアル構造タイプとしても良い。

[0038] さらに、 L_{10}MnIr 反強磁性膜300の上方に、例えば、 NiFe/Ru/NiFe で構成される積層フェリ構造膜を設けても構わない。同様に、 L_{10}MnIr 反強磁性膜上置きタイプの場合には上置き積層フェリ構造膜、デュアル構造タイプの場合にはデュアル積層フェリ構造膜を設けても、良い。

[0039] さらに、図2では、良質な CoFeB 膜〔強磁性膜(1-b)402〕を得るため、 Co 膜〔強磁性膜(1-a)401〕を介在させたが、必要に応じ、強磁性膜(1-a)はなくても構わない。

[0040] <実施例2>

図3は、結晶磁気異方性エネルギー一定数 $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用した、そして動的応力駆動 MnIr 低温規則化を図るために AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層を新たに設けた、少なくとも、下部電極100上に、シード層200と、 AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層250と、 L_{10}MnIr 反強磁性膜300と、固定層の一部をなす強磁性膜(1-a)401と、固定層の一部をなす強磁性膜(1-b)402と、導電性非磁性中間層501と、自由層の役

割を担う強磁性膜（２）６００と、上部電極７００と、を順次積層してなる磁性積層膜を含むＣＰＰ－ＧＭＲ素子の媒体対抗面、いわゆるＡＢＳ面から見た拡大断面図を示す。重複するが、固定層用の反強磁性膜３００が、 $L1_0$ $MnIr$ 反強磁性膜で構成され、その上で、 $L1_0$ $MnIr$ 反強磁性膜の低温規則化を促進するために $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層２５０が設けられていることを特徴とする。

[0041] 実施例２のＣＰＰ－ＧＭＲ素子の代表的な材料・膜厚は、以下のとおりである。下部電極１００は Ru 膜で構成され、膜厚は５０ｎｍである。シード層２００は Ta/Cu 積層膜で構成され、膜厚はともに５ｎｍである。動的応力駆動層２５０は組成比が $at. \%$ 比でおよそ５０：５０にある $AuCu$ 膜で構成され、膜厚は１０ｎｍである。 $L1_0$ $MnIr$ 反強磁性膜３００の膜厚は、５ｎｍである。強磁性膜（１－ａ）４０１は Co 膜で構成され、膜厚は１．５ｎｍである。強磁性膜（１－ｂ）４０２はハーフメタル $CoMnSi$ 膜で構成され、膜厚は３ｎｍである。導電性非磁性中間層５０１は $Cu-AI-O$ 膜で構成され、膜厚は２ｎｍである。強磁性膜（２）６００はハーフメタル $CoMnSi$ 膜で構成され、膜厚は３ｎｍである。上部電極７００は Ru 膜で構成され、膜厚は５０ｎｍである。なお、強磁性膜（１－ａ）４０１と強磁性膜（１－ｂ）４０２とは、強磁性／強磁性の交換結合により強固に固定されている。

[0042] 上記 $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層を設けることにより、低温熱処理（３５０°Ｃ以下）で、実施例１で述べた、 $L1_0$ $MnIr$ 反強磁性膜の K_u 実験値約 1.8 erg/cm^2 、 T_B 値６００°Ｃ超、そして、素子サイズを極めて小としても、天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が得られやすくなる。

[0043] なお、本実施例に係わる、 $AuCu$ 動的応力駆動層の組成は、上でも述べたとおり、 $at. \%$ 比でおよそ５０：５０であるが、組成マージンが広いので多少ずれていても構わない。加えて、 Pt 、 Pd 、 Rh 、 Ir 、 Ag 、 Ru 、や、 Fe 、 Co 、 Ni など数 $at. \%$ 添加されていても構わない。さ

らには、これら2元素以上の金属を組み合わせる添加していても良い。

[0044] 本実施例に係る、PtMn動的応力駆動層の組成については、at. % 比でおおよそ50 : 50であるが、組成マージンが広いので多少ずれていても構わない。加えて、Au、Pd、Rh、Ir、Ag、Ru、や、Fe、Co、Niなど数at. %添加されていても構わない。さらには、これら2元素以上の金属を組み合わせる添加していても良い。

[0045] さらに、AuCu系動的応力駆動層を用いた場合には、シード層200はなくても構わない。なぜなら、AuCu系膜は、シード層がなくても良好な稠密面(111)配向を示すからである。

[0046] さらに、図3では、AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層/L₁₀MnIr反強磁性膜の下置きタイプの基本的なCPP-GMR構造を示したが、例えば、下部電極100/シード層200/強磁性膜(2)600/導電性非磁性中間層501/強磁性膜(1-b)402/強磁性膜(1-a)401/L₁₀MnIr反強磁性膜300/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/上部電極700、のようにL₁₀MnIr反強磁性膜/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層の上置きタイプとしても良く、さらには、サンドイッチして、例えば、下部電極100/シード層200/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/L₁₀MnIr反強磁性膜300/強磁性膜(1-a)401/強磁性膜(1-b)402/導電性非磁性中間層501/強磁性膜(2)600/導電性非磁性中間層501/強磁性膜(1-b)402/強磁性膜(1-a)401/L₁₀MnIr反強磁性膜300/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/上部電極700、のようにデュアル構造タイプとしても良い。

[0047] さらに、L₁₀MnIr反強磁性膜300の上方に、例えば、NiFe/Ru/NiFeで構成される積層フェリ構造膜を設けても構わない。同様に、L₁₀MnIr反強磁性膜/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層の上置きタイプの場合には上置き積層フェリ構造膜、デュアル構造タイプの場合にはデュアル積層フェリ構造膜を設けても、良い。

[0048] L_{10}MnIr 反強磁性膜の添加元素、強磁性膜 (1-a) 401 の要否論については、実施例 1 と同じのため、説明を省略する。

[0049] 図 4 は、結晶磁気異方性エネルギー一定数 $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する L_{10}MnIr 反強磁性膜を適用した、そして動的応力駆動 MnIr 低温規則化を図るために AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層を新たに設けた、少なくとも、下部電極 100 上に、シード層 200 と、 AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250 と、 L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 と、固定層の一部をなす強磁性膜 (1-a) 401 と、固定層の一部をなす強磁性膜 (1-b) 402 と、絶縁障壁層 502 と、自由層の役割を担う強磁性膜 (2) 600 と、上部電極 700 と、を順次積層してなる磁性積層膜を含む TMR 素子の媒体対抗面、いわゆる ABS 面から見た拡大断面図を示す。重複するが、固定層用の反強磁性膜 300 が、 L_{10}MnIr 反強磁性膜で構成され、その上で、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の低温規則化を促進するために AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250 が設けられていることを特徴とする。

[0050] 実施例 2 の TMR 素子の代表的な材料・膜厚は、以下のとおりである。下部電極 100 は Ru 膜で構成され、膜厚は 50 nm である。シード層 200 は Ta/Cu 積層膜で構成され、膜厚はともに 5 nm である。動的応力駆動層 250 は組成比が at. % 比でおよそ 50 : 50 にある AuCu 膜で構成され、膜厚は 10 nm である。 L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 の膜厚は、5 nm である。強磁性膜 (1-a) 401 は Co 膜で構成され、膜厚は 1.5 nm である。強磁性膜 (1-b) 402 は CoFeB 膜で構成され、膜厚は 4 nm である。絶縁障壁層 502 は MgO 膜で構成され、膜厚は 1.5 nm である。強磁性膜 (2) 600 は CoFeB 膜で構成され、膜厚は 4 nm である。上部電極 700 は Ru 膜で構成され、膜厚は 50 nm である。なお、強磁性膜 (1-a) 401 と強磁性膜 (1-b) 402 とは、強磁性／強磁性の交換結合により強固に固定されている。

[0051] 上記 AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層を設けることにより、低

温熱処理（ 350°C 以下）で、実施例1で述べた、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の K_1 。実験値約 $1.8\text{erg}/\text{cm}^2$ 、 T_B 値 600°C 超、そして、素子サイズを極めて小としても、天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が得られやすくなる。

[0052] なお、本実施例に係わる、 AuCu 動的応力駆動層の組成は、上でも述べたとおり、 $\text{at. \%}$ 比でおおよそ $50:50$ であるが、組成マージンが広いので多少ずれていても構わない。加えて、 Pt 、 Pd 、 Rh 、 Ir 、 Ag 、 Ru 、や、 Fe 、 Co 、 Ni など数 $\text{at. \%}$ 添加されていても構わない。さらには、これら2元素以上の金属を組み合わせで添加していても良い。

[0053] 本実施例に係わる、 PtMn 動的応力駆動層の組成については、 $\text{at. \%}$ 比でおおよそ $50:50$ であるが、組成マージンが広いので多少ずれていても構わない。加えて、 Au 、 Pd 、 Rh 、 Ir 、 Ag 、 Ru 、や、 Fe 、 Co 、 Ni など数 $\text{at. \%}$ 添加されていても構わない。さらには、これら2元素以上の金属を組み合わせで添加していても良い。

[0054] さらに、 AuCu 系動的応力駆動層を用いた場合には、シード層はなくても構わない。なぜなら、 AuCu 系膜は、シード層がなくても良好な稠密面（ 111 ）配向を示すからである。

[0055] さらに、図4では、 AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層/ L_{10}MnIr 反強磁性膜の下置きタイプの基本的なTMR構造を示したが、例えば、下部電極 100 /シード層 200 /強磁性膜（2） 600 /絶縁障壁層 502 /強磁性膜（1-b） 402 /強磁性膜（1-a） 401 / L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 / AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250 /上部電極 700 、のように L_{10}MnIr 反強磁性膜/ AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層の上置きタイプとしても良く、さらには、サンドイッチして、例えば、下部電極 100 /シード層 200 / AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250 / L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 /強磁性膜（1-a） 401 /強磁性膜（1-b） 402 /絶縁障壁層 502 /強磁性膜（2） 600 /絶縁障壁層 502 /強磁性膜（1-b） 402 /強磁性膜（

1-a) 401/L₁₀MnIr反強磁性膜300/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/上部電極700、のようにデュアル構造タイプとしても良い。

[0056] さらに、L₁₀MnIr反強磁性膜300の上方に、例えば、NiFe/Ru/NiFeで構成される積層フェリ構造膜を設けても構わない。同様に、L₁₀MnIr反強磁性膜/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層の上置きタイプの場合には上置き積層フェリ構造膜、デュアル構造タイプの場合にはデュアル積層フェリ構造膜を設けても、良い。

[0057] L₁₀MnIr反強磁性膜の添加元素、強磁性膜(1-a)401の要否論については、実施例1と同じのため、説明を省略する。

[0058] 上記実施例に係わる、AuCu、或いはPtMn系膜、および、MnIr系膜の結晶構造は、ともに、不規則相ではfcc、規則相では面心正方晶(fct)である。そして、AuCu、PtMn、および、MnIr系膜は、不規則相状態にあっても、規則相状態にあっても、ともに(111)配向を示していた。

[0059] そこで、図5に、上記実施例に係わる、AuCu膜、および、MnIr膜の(111)面内、および、(111)面間の格子パラメータを示す。AuCu膜、MnIr膜とも、規則化に伴い、(111)面稠密六方格子の2辺： (-110) 面間隔(d_{-110})が長くなり、残り4辺、いかえると、 $(-1-12)$ 面間隔(d_{-1-12})が短くなっているのが分かる。すなわち、 $[-1-12]$ 方向に自発歪み(圧縮)、 $[-110]$ 方向に自発歪み(引張り)、が生じて規則化する。なお、 d_{111} は、(111)面間隔である。

[0060] 同様に、図6に、上記実施例に係わる、PtMn膜、および、MnIr膜の(111)面内、および、(111)面間の格子パラメータを示す。PtMn膜、MnIr膜とも、規則化に伴い、(111)面稠密六方格子の2辺： (-110) 面間隔(d_{-110})が長くなり、残り4辺、いかえると、 $(-1-12)$ 面間隔(d_{-1-12})が短くなっているのが分かる。加えて、(111)面間隔(d_{111})が短くなっているのが分かる。すなわち、 $[111]$

、 $[-1-12]$ 方向に自発歪み（圧縮）、 $[-110]$ 方向に自発歪み（引張り）、が生じて規則化する。以上のように自発歪みを伴う不規則／規則相変態は、広義の意味でマルテンサイト変態と称されている。

[0061] 図5、6を踏まえ、上記実施例に係わる、3方向動的応力駆動MnIr低温規則化について、以下に説明する。図7は、上記実施例に係わる、3方向動的応力駆動MnIr低温規則化のSchematicである。AuCu膜も同じであるが、ここでは、話を分かりやすくするためPtMn動的応力駆動MnIr低温規則化のメカニズムについて以下に記載する。図中、 d_{111} 、 d_{-1-12} 、および、 d_{-110} は、 (111) 面間隔、 $(-1-12)$ 面間隔、および、 (-110) 面間隔である。

[0062] PtMn膜の規則化温度は約 $250-275^{\circ}\text{C}$ と低い。そのため、熱処理を行うと、まずはじめにPtMn $[111]$ 、 $[-1-12]$ 方向に自発歪み（圧縮）、 $[-110]$ 方向に自発歪み（引張り）が生じる（図6参照）、次いで、これら、自発歪は、上方のMnIr膜に、MnIr $[111]$ 、 $[-1-12]$ 方向動的引張り応力、MnIr $[-110]$ 方向動的圧縮応力を付与する。最後に、これら動的応力が、熱処理中に、MnIr膜のMnIr $[111]$ 、 $[-1-12]$ 方向自発歪み（圧縮）、MnIr $[-110]$ 方向自発歪み（引張り）（図6参照）をアシストする。それゆえ、MnIr膜規則化のための相互拡散活性化エネルギーの山を越えやすくなって、MnIr膜の低温規則化が促進される、という訳である。

[0063] AuCu動的応力駆動MnIr低温規則化も、AuCu膜の規則化温度が $275-325^{\circ}\text{C}$ 程度と低い故に上記とほぼ同じメカニズムである。ただ、AuCu膜の場合には、熱処理に伴うAuCu $[111]$ 方向の自発歪みはほとんどない（図5参照）。しかしながら、AuCu膜規則化の際のAuCu $[-110]$ 方向自発歪み（引張り）は、極めて大きい。それゆえ熱処理を行うと、まずはじめに上側のMnIr膜に、実効的にMnIr $[111]$ 方向動的引張り応力が付与され、次いで、この動的応力がMnIr $[111]$ 方向自発歪み（圧縮）をアシストしている、ということは、おおいに

考えられうることである。噛み砕いて述べるならば、AuCu動的応力駆動層を用いても、PtMn動的応力駆動層と同様、MnIr $[111]$ 方向にも動的応力駆動が働く。

[0064] 以上のように、PtMn動的応力駆動層、AuCu動的応力駆動層を用いることにより、3方向動的応力駆動：MnIr $[111]$ 、 $[-1-12]$ 方向動的引張り応力駆動、MnIr $[-110]$ 方向動的圧縮応力駆動、が働いて、MnIr低温規則化が促進される。

[0065] 上記、3方向動的応力駆動MnIr低温規則化をスムーズに働かせるためには、図5、6から分かるように、AuCu、或いは、PtMn系動的応力駆動層と、 $L1_0$ MnIr系反強磁性膜との格子パラメータ長さ関係を、AuCu、或いはPtMn系膜、および、MnIr系膜の不規則／規則相変態前後で、下記(1)－(7)を満足させる必要がある：

(1) 不規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (-110) 面間隔>不規則相MnIr系膜の (-110) 面間隔、

(2) 不規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (-110) 面間隔<規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (-110) 面間隔、

(3) 不規則相AuCu、或いはPtMn系膜の $(-1-12)$ 面間隔>規則相AuCu、或いはPtMn系膜の $(-1-12)$ 面間隔、

(4) 不規則相MnIr系膜の (-110) 面間隔<規則相MnIr系膜の (-110) 面間隔、

(5) 不規則相MnIr系膜の $(-1-12)$ 面間隔>規則相MnIr系膜の $(-1-12)$ 面間隔、

(6) 不規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (111) 面間隔 $\approx$ 規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (111) 面間隔、もしくは、不規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (111) 面間隔>規則相AuCu、或いはPtMn系膜の (111) 面間隔、

(7) 不規則相MnIr系膜の (111) 面間隔>規則相MnIr系膜の (111) 面間隔、

を満足させる必要がある。

[0066] これら大小関係がひとつでも逆転した場合には、例えば、上記（２）の大小関係が逆転した場合には、 $MnIr$ 膜には $MnIr[-110]$ 方向動的引張り応力が付与されてしまい、結果、３方向動的応力駆動： $MnIr[111]$ 、 $[-1-12]$ 方向動的引張り応力駆動、 $MnIr[-110]$ 方向動的圧縮応力駆動、のうちの $MnIr[-110]$ 方向動的圧縮応力駆動が失われて、 $MnIr$ 膜低温規則化が困難な事態に陥る。

[0067] <実施例３>

図８は、結晶磁気異方性エネルギー一定数 $K_{AF}=2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する $L1_0MnIr$ 反強磁性膜を適用し、 $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層を設けた上で、さらに、静的応力駆動 $MnIr$ 低温規則化を図るために新たに貴金属シード静的応力駆動層を設けた、少なくとも、下部電極１００上に、シード層２００と、貴金属シード静的応力駆動層２２５と、 $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層２５０と、 $L1_0MnIr$ 反強磁性膜３００と、固定層の一部をなす強磁性膜（１－ａ）４０１と、固定層の一部をなす強磁性膜（１－ｂ）４０２と、導電性非磁性中間層５０１と、自由層の役割を担う強磁性膜（２）６００と、上部電極７００と、を順次積層してなる磁性積層膜を含むCPP-GMR素子の媒体対抗面、いわゆるABS面から見た拡大断面図を示す。重複するが、固定層用の反強磁性膜３００が $L1_0MnIr$ 反強磁性膜で構成され、その $L1_0MnIr$ 反強磁性膜の低温規則化を促進するため、 $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層２５０に加えて、新たに貴金属シード静的応力駆動層２２５を設けたことを特徴とする。

[0068] 実施例３のCPP-GMR素子の代表的な材料・膜厚は、以下のとおりである。下部電極１００は Ru 膜で構成され、膜厚は５０nmである。シード層２００は Ta/Cu 積層膜で構成され、膜厚はともに５nmである。貴金属シード静的応力駆動層２２５は Ag 膜で構成され、膜厚は５nmである。動的応力駆動層２５０は組成比が $at.\%$ 比でおよそ５０：５０にある A

uCu膜で構成され、膜厚は10nmである。L₁₀MnIr反強磁性膜300の膜厚は、5nmである。強磁性膜(1-a)401はCo膜で構成され、膜厚は1.5nmである。強磁性膜(1-b)402はハーフメタルCoMnSi膜で構成され、膜厚は3nmである。導電性非磁性中間層501はCu-AI-O膜で構成され、膜厚は2nmである。強磁性膜(2)600はハーフメタルCoMnSi膜で構成され、膜厚は3nmである。上部電極700はRu膜で構成され、膜厚は50nmである。なお、強磁性膜(1-a)401と強磁性膜(1-b)402とは、強磁性/強磁性の交換結合により強固に固定されている。

[0069] 上記のように、AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層に加え、新たに貴金属シード静的応力駆動層を設置・加算することにより、低温熱処理(350°C以下)であっても、実施例1で述べた、L₁₀MnIr反強磁性膜のK_u実験値約1.8erg/cm²、T_B値600°C超、そして、素子サイズを極めて小としても、天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が、より一層得られやすくなる。

[0070] なお、本実施例に係わる、貴金属シード静的応力駆動層は、Ag膜のほか、Au、Pt、Ir、Pd、Rh、および、Ru膜で構成されていても良い。さらには、これら2元素以上の金属を組み合わせで構成されていても構わない。

[0071] さらに、図8では、貴金属シード静的応力駆動層/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層/L₁₀MnIr反強磁性膜の下置きタイプの基本的なCPP-GMR構造を示したが、例えば、下部電極100/シード層200/強磁性膜(2)600/導電性非磁性中間層501/強磁性膜(1-b)402/強磁性膜(1-a)401/L₁₀MnIr反強磁性膜300/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/貴金属シード静的応力駆動層225/上部電極700、のようにL₁₀MnIr反強磁性膜/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層/貴金属シード静的応力駆動層の上置きタイプとしても良く、さらには、サンドイッチして、例えば、下部電極100

／シード層 200／貴金属シード静的応力駆動層 225／AuCu、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250／L₁₀MnIr 反強磁性膜 300／強磁性膜 (1-a) 401／強磁性膜 (1-b) 402／導電性非磁性中間層 501／強磁性膜 (2) 600／導電性非磁性中間層 501／強磁性膜 (1-b) 402／強磁性膜 (1-a) 401／L₁₀MnIr 反強磁性膜 300／AuCu、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250／貴金属シード静的応力駆動層 225／上部電極 700、のようにデュアル構造タイプとしても良い。

[0072] さらに、L₁₀MnIr 反強磁性膜 300 の上方に、例えば、NiFe/Ru/NiFe で構成される積層フェリ構造膜を設けても構わない。同様に、L₁₀MnIr 反強磁性膜/AuCu、或いは PtMn 系動的応力駆動層/貴金属シード静的応力駆動層の上置きタイプの場合には上置き積層フェリ構造膜、デュアル構造タイプの場合にはデュアル積層フェリ構造膜を設けても、良い。

[0073] L₁₀MnIr 反強磁性膜の添加元素、強磁性膜 (1-a) の要否論については、実施例 1 と同じのため、AuCu 動的応力駆動層、PtMn 動的応力駆動層の組成比と添加元素、AuCu 系動的応力駆動層を用いた場合のシード層の要否論については、実施例 2 と同じため、説明を省略する。

[0074] 図 9 は、結晶磁気異方性エネルギー一定数 $K_{AF} = 2 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$ を保有する L₁₀MnIr 反強磁性膜を適用し、AuCu、或いは PtMn 系動的応力駆動層を設けた上で、さらに、静的応力駆動 MnIr 低温規則化を図るために新たに貴金属シード静的応力駆動層を設けた、少なくとも、下部電極 100 上に、シード層 200 と、貴金属シード静的応力駆動層 225 と、AuCu、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250 と、L₁₀MnIr 反強磁性膜 300 と、固定層の一部をなす強磁性膜 (1-a) 401 と、固定層の一部をなす強磁性膜 (1-b) 402 と、絶縁障壁層 502 と、自由層の役割を担う強磁性膜 (2) 600 と、上部電極 700 と、を順次積層してなる磁性積層膜を含む TMR 素子の媒体対抗面、いわゆる ABS 面から見た拡大断面図を示す。重複するが、固定層用の反強磁性膜 300 が L₁₀MnIr 反

強磁性膜で構成され、その L_{10}MnIr 反強磁性膜の低温規則化を促進するため、 AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層 250 に加えて、新たに貴金属シード静的応力駆動層 225 を設けたことを特徴とする。

[0075] 実施例 3 の TMR 素子の代表的な材料・膜厚は、以下のとおりである。下部電極 100 は Ru 膜で構成され、膜厚は 50 nm である。シード層 200 は Ta/Cu 積層膜で構成され、膜厚はともに 5 nm である。貴金属シード静的応力駆動層 225 は Ag 膜で構成され、膜厚は 5 nm である。動的応力駆動層 250 は組成比が at. % 比でおよそ 50 : 50 にある AuCu 膜で構成され、膜厚は 10 nm である。 L_{10}MnIr 反強磁性膜 300 の膜厚は、5 nm である。強磁性膜 (1-a) 401 は Co 膜で構成され、膜厚は 1.5 nm である。強磁性膜 (1-b) 402 は CoFeB 膜で構成され、膜厚は 4 nm である。絶縁障壁層 502 は MgO 膜で構成され、膜厚は 1.5 nm である。強磁性膜 (2) 600 は CoFeB 膜で構成され、膜厚は 4 nm である。上部電極 700 は Ru 膜で構成され、膜厚は 50 nm である。なお、強磁性膜 (1-a) 401 と強磁性膜 (1-b) 402 とは、強磁性／強磁性の交換結合により強固に固定されている。

[0076] 上記のように、 AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層に加え、新たに貴金属シード静的応力駆動層を設置・加算することにより、低温熱処理 (350°C 以下) であっても、実施例 1 で述べた、 L_{10}MnIr 反強磁性膜の K_u 実験値約 1.8 erg/cm^2 、 T_B 値 600°C 超、そして、素子サイズを極めて小としても、天文学的数値の熱揺らぎ耐性値が、より一層得られやすくなる。

[0077] なお、本実施例に係わる、貴金属シード静的応力駆動層は、 Ag 膜のほか、 Au 、 Pt 、 Ir 、 Pd 、 Rh 、又は Ru 膜で構成されていても良い。さらには、これら 2 元素以上の金属を組み合わせで構成されていても構わない。

[0078] さらに、図 9 では、貴金属シード静的応力駆動層／ AuCu 、或いは PtMn 系動的応力駆動層／ L_{10}MnIr 反強磁性膜の下置きタイプの基本的な

TMR構造を示したが、例えば、下部電極100/シード層200/強磁性膜(2)600/絶縁障壁層502/強磁性膜(1-b)402/強磁性膜(1-a)401/L₁₀MnIr反強磁性膜300/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/貴金属シード静的応力駆動層225/上部電極700、のようにL₁₀MnIr反強磁性膜/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層/貴金属シード静的応力駆動層の上置きタイプとしても良く、さらには、サンドイッチして、例えば、下部電極100/シード層200/貴金属シード静的応力駆動層225/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/L₁₀MnIr反強磁性膜300/強磁性膜(1-a)401/強磁性膜(1-b)402/絶縁障壁層502/強磁性膜(2)600/絶縁障壁層502/強磁性膜(1-b)402/強磁性膜(1-a)401/L₁₀MnIr反強磁性膜300/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層250/貴金属シード静的応力駆動層225/上部電極700、のようにデュアル構造タイプとしても良い。

[0079] さらに、L₁₀MnIr反強磁性膜300の上方に、例えば、NiFe/Ru/NiFeで構成される積層フェリ構造膜を設けても構わない。同様に、L₁₀MnIr反強磁性膜/AuCu、或いはPtMn系動的応力駆動層/貴金属シード静的応力駆動層の上置きタイプの場合には上置き積層フェリ構造膜、デュアル構造タイプの場合にはデュアル積層フェリ構造膜を設けても、良い。

[0080] L₁₀MnIr反強磁性膜の添加元素、強磁性膜(1-a)の要否論については、実施例1と同じのため、AuCu動的応力駆動層、PtMn動的応力駆動層の組成比と添加元素、AuCu系動的応力駆動層を用いた場合のシード層の要否論については、実施例2と同じため、説明を省略する。

[0081] 本実施例に係わる、貴金属シード静的応力駆動層225は、Ru系膜を除き、fccの結晶構造を保有していた。Ru系膜については、hcpの結晶構造であった。そして、貴金属シード静的応力駆動層225は、Ru系膜を除き、(111)稠密面配向を示していた。Ru系膜については、(001

）面稠密面配向を示していた。

[0082] そこで、図10に、本実施例に係わる、貴金属シードによる静的応力駆動MnIr低温規則化のSchematicを示す。図中、 d_{111} 、 d_{-1-12} 、および、 d_{-110} は、(111)面間隔、(-1-12)面間隔、および、(-110)面間隔である。例として、貴金属シード静的応力駆動層としてAg膜、動的応力駆動層としてPtMn膜を用いた場合についての、静的応力駆動MnIr低温規則化のメカニズムを以下に記載する。

[0083] まずはじめに、この静的応力駆動を働かせるためには、下記的前提条件が必要とされる。すなわち、PtMn膜、MnIr膜が不規則相状態にあるとき、Ag膜と、PtMn膜と、MnIr膜の(111)面稠密六方格子の一辺の長さ関係が、或いは、格子定数の長さ関係が、Ag膜>PtMn膜>MnIr膜、にあることが必要とされる。なぜならこの静的応力は、Ag(111)/不規則相PtMn(111)の大きな格子ミスマッチに起因し、不規則相PtMn膜を介して、不規則相MnIr膜に付与されるMnIr[111]方向静的引張り応力だからである。貴金属シード静的応力駆動層としてAg膜、動的応力駆動層としてPtMn膜、反強磁性膜としてMnIr膜を選択した場合には、稠密六方格子の一辺の長さ関係は、Ag(2.892オングストローム)>不規則相PtMn(2.761オングストローム)>不規則相MnIr(2.696オングストローム)であり、上記の長さ関係を満たす。

[0084] 図10に示すように、この長さ関係があるがために、As-dep.状態、そしてPtMn膜、MnIr膜が不規則相状態にあるとき、不規則相MnIr膜にMnIr[111]方向の静的引張り応力が、不規則相PtMn膜を介して付与される。次いで、この静的応力が、熱処理中、MnIr膜のMnIr[111]方向の自発歪み(圧縮)(図6参照)をアシストする。それゆえ、MnIr膜規則化のための相互拡散活性化エネルギーの山を越えやすくなって、MnIr膜の低温規則化が促進される、という訳である。

[0085] 動的応力駆動層としてPtMn膜の代わりにAuCu膜を用いた場合にも

、稠密六方格子の一辺の長さ関係は、 A_g (2.892オングストローム) > 不規則相 $AuCu$ (2.744オングストローム) > 不規則相 $MnIr$ (2.696オングストローム) にあり、上で述べた長さ関係を満たす。それゆえ、 $AuCu$ 膜を用いた場合にも、図10と同じメカニズムでもって静的応力駆動 $MnIr$ 低温規則化が促進される。

[0086] 貴金属シードとしてすでに述べた代替材料を適用する場合には、そして $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 膜、および、 $MnIr$ 膜にすでに述べた添加元素をドーピングする場合には、これら貴金属シード、 $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系膜、 $MnIr$ 系膜の稠密面六方格子の一辺の長さ関係が、貴金属シード > 不規則相 $AuCu$ 、或いは $PtMn$ 系膜 > 不規則相 $MnIr$ 系膜、を満たすよう代替材料、添加元素、添加量を選択する必要がある、ということ言うまでもない。本関係を満たせない場合には、貴金属シード静的応力駆動 $MnIr$ 低温規則化は働かない。

[0087] そのほか、静的応力駆動として、高 A_r 圧製膜駆動 $MnIr$ 低温規則化がある。図11に、本実施例に係わる、高 A_r 圧製膜駆動 $MnIr$ 低温規則化の *Schematic* を示す。図中、 d_{111} は、(111) 面間隔である。例として、貴金属シード静的応力駆動層として Ag 膜、動的応力駆動層として $PtMn$ 膜を用いた場合についての、高 A_r 圧製膜駆動 $MnIr$ 低温規則化のメカニズムを以下に記載する。

[0088] まず、*A s - d e p.* 段階で、 Ag 膜、 $PtMn$ 膜、 $MnIr$ 膜のすべての膜に静的引張り応力を付与できるよう、適当な高 A_r 圧値、例えば 10 m Torr でスパッタ形成する。言うまでもなく、これにより、不規則相 $MnIr$ 膜には $MnIr$ [111] 方向の静的引張り応力が付与される。次いで、この静的応力が、熱処理中、 $MnIr$ 膜の $MnIr$ [111] 方向の自発歪み (圧縮) (図6参照) をアシストする。それゆえ、 $MnIr$ 膜規則化のための相互拡散活性化エネルギーの山を越えやすくなって、 $MnIr$ 膜の低温規則化が促進される、という訳である。

[0089] 重複するかもしれないが、この高 A_r 圧製膜駆動 $MnIr$ 系膜低温規則化

を働かせるためには、貴金属シード静的応力駆動層、AuCu、或いはPtMn系膜動的応力駆動層、そしてMnIr系膜に、As-dep. 段階で静的引張り応力を付与できるよう、各々の膜・層にとって十分に高いAr圧値を見出して、スパッタ形成する必要がある。

[0090] 以上、実施例2、および、実施例3にて、AuCu、或いはPtMn系膜による動的応力駆動MnIr系膜低温規則化、貴金属シードによる静的応力駆動MnIr系膜低温規則化、高Ar圧製膜駆動MnIr系膜低温規則化を述べてきたが、これら3つの応力駆動を組み合わせた場合が、最もMnIr系膜を低温規則化させやすい、ということと言うまでもない。加えて、これら3つの応力駆動の中で最もdominantなのは、AuCu、或いはPtMn系膜による動的応力駆動MnIr系膜低温規則化であることを付記しておきたい。

[0091] 最後に、サイクル熱処理、すなわち2回目以降の熱処理を行った場合には、新たに2種類の静的応力駆動MnIr系膜低温規則化：(1) L1₀AuCu、或いはL1₀PtMn系膜(111)/MnIr系膜(111)格子ミスマッチ起因のMnIr系膜[111]方向静的応力駆動MnIr系膜低温規則化、(2) 貴金属シード(111)/L1₀AuCu、或いはL1₀PtMn系膜(111)格子ミスマッチ起因のMnIr系膜[111]方向静的応力駆動MnIr系膜低温規則化、が加算され、サイクル熱処理、2回目以降の熱処理を行うことにより、MnIr系膜の規則度Sを向上させやすくなる、ことを付記しておきたい。

[0092] <実施例4>

図12は、本発明に係わる、CPP-GMR素子、或いはTMR素子を用いた磁気ディスク装置（ハードディスクドライブ：HDD）についての一実施例を示す図である。HDDに本発明に係わるCPP-GMR素子、或いはTMR素子を適用した概略を示す図である。しかしながら、本発明に係わるCPP-GMR素子、或いはTMR素子は、たとえば、磁気テープ装置などのような磁気記録装置、光磁気ディスク装置、熱アシスト磁気ディスク装置

にも適用することが可能である。

[0093] 図示したHDDは、同心円状のトラックと呼ばれる記録領域にデータを記録するためのディスク状に形成された磁気記録媒体としての磁気ディスク10と、本発明に係わるCPP-GMR素子、或いはTMR素子を含む、上記データの書き込み・読み取りを行うための磁気ヘッド18と、この磁気ヘッド18を支え、そして磁気ディスク10上の所定の位置へ移動させるためのアクチュエータ24と、磁気ヘッド18が書き込み・読み取りするデータの送受信、および、アクチュエータ24の移動などを制御する制御手段と、を含み構成される。

[0094] 構成と動作について、以下に説明する。少なくとも一枚の回転可能な磁気ディスク10が回転軸12により支持されており、駆動用モータ14により回転させられる。少なくとも一個のスライダ16が、磁気ディスク10上に設置され、このスライダ16は、一個以上設けられており、情報を書き込み・読み込むための磁気ヘッド18を支持している。

[0095] 磁気ディスク10が回転すると同時に、スライダ16が磁気ディスク10表面を移動することにより、データを記録する所定位置にアクセス、或いは、目的とするデータが記録されている所定位置にアクセスされる。スライダ16は、ジンバル20によってアーム22に取り付けられる。ジンバル20にはわずかな弾力性を付与し、スライダ16を磁気ディスク10に密着させる。アーム22は、アクチュエータ24に取り付けられる。

[0096] アクチュエータ24としては、ボイスコイルモータ（以下、VCMと呼ぶ）がある。VCMは固定された磁界中に配置された移動可能なコイルから構成され、コイルの移動方向、および、移動速度等は、制御手段26からライン30を介して与えられる電気信号により制御される。したがって、本実施例によるアクチュエータ24は、スライダ16とジンバル20とアーム22とアクチュエータ24とライン30を含み構成される。

[0097] 磁気ディスクの動作中、磁気ディスク10の回転によりスライダ16と磁気ディスク10表面との間に空気流によるエアベアリングが生じ、それがス

ライダ 16 を磁気ディスク 10 の表面から浮上させる。よって、磁気ディスク装置動作中には、このエアベアリングはジンバル 20 に付与されているわずかな弾力性とバランスを取り、スライダ 16 は磁気ディスク 10 表面に触れずに、かつ、磁気ディスク 10 と一定の間隔を保って浮上するよう維持される。

[0098] 通常、制御手段 26 は、ロジック回路、メモリ、および、マイクロプロセッサなどから構成される。そして制御手段 26 は、各ラインを介して制御信号を送受信し、かつ、磁気ディスク装置の種々の構成手段を制御する。

[0099] 例えば、モータ 14 は、ライン 28 を介し伝達されるモータ駆動信号により制御される。アクチュエータ 24 は、ライン 30 を介した磁気ヘッド位置の制御信号、および、シーク制御信号等により、磁気ディスク 10 上の目的とするデータトラックにスライダ 16 を最適位置に移動、位置決めするよう制御される。

[0100] そして、制御手段 26 は、磁気ヘッド 18 が磁気ディスク 10 にデータとして書き込むための電気信号を、ライン 32 を介して、磁気ヘッド 18 に送信する。また、磁気ヘッド 18 が磁気ディスク 10 に記録されたデータを読み取り、変換した電気信号を、ライン 32 を介して受信し、解読する。すなわち、制御手段 26 は、磁気ヘッド 18 が、書き込み・読み取りする電気信号の送受信を制御している。

[0101] なお、上記の書き込み・読み取り信号は、磁気ヘッド 18 から直接伝達される手段も可能である。また、制御信号として、例えばアクセス制御信号、および、クロック信号などがある。さらに、磁気ディスク装置には、複数の磁気ディスクやアクチュエータ等を保有し、そのアクチュエータが複数の磁気ヘッドを保有していてもよい。

[0102] 図 12 に示す HDD は、本発明に係わる、CPP-GMR 素子、或いは、TMR 素子を現状 HDD に適用しただけではあるが、これによる効果は極めて大きい。すでに述べたとおり、素子サイズを極めて小としても、反強磁性膜の熱揺らぎ耐性極めて大を維持できる。したがって、本発明に係わる、C

PP-GMR素子、もしくはTMR素子をHDDに適用するだけで、超高密度対応HDDを提供しやすくなる、ということを強調しておきたい。

[0103] 図13は、本発明に係わる、TMR素子を用いたスピンランダムアクセスメモリ（SPRAM）についての一実施例を示す図である。SPRAMに本発明に係わるTMR素子を適用した概略を示す図である。以下に、そのSPRAMの概略構成を述べる。

[0104] 図示したSPRAMは、少なくとも、複数の下部細線50と、上部細線54と、下部細線50と上部細線54との格子点に配置されたTMR素子52とを含み構成される。下部細線50はゲート電極として、上部細線54はビット線として使用される。2次元面内に配列された下部細線50と上部細線54の本数は同じである。

[0105] 例えば、基板上に、下部細線50が配置され、その上方に、上部細線54が、下部細線50と交差するよう配置される。そして各々の交差する位置にあって、下部細線50と上部細線54とに挟まれる位置に、上記実施例1～3のいずれかのTMR素子52を配置して構成される。上部細線54は、例えばCu膜で構成され、膜厚、線幅はそれぞれ50nm、0.1μmである。下部細線50も、例えばCu膜で構成され、膜厚、線幅はそれぞれ50nm、0.1μmである。

[0106] 次に、SPRAMの動作原理について、簡単に触れておく。SPRAMでは、例えば、下記のようにして記録が行われる。図14に、そのSPRAMへの「0」「1」記録状態時の固定層と自由層の磁化ベクトルの方向を示す。（a）は記録状態「0」にあるとき、（b）は記録状態「1」にあるときである。

[0107] 図14（a）に示すように、初期状態では、いわゆる着磁により固定層と自由層の磁化ベクトルを反平行状態にさせておく。着磁後、外部印加磁場はゼロとなってしまうが、固定層は隣接する反強磁性膜との交換結合により図示した磁化ベクトルの方向が維持され、一方の自由層は自由層自身の保有する誘導磁気異方性エネルギー、もしくは結晶磁気異方性エネルギーにより図

示した磁化ベクトルの方向が維持される。SPRAMでは、このように固定層と自由層の磁化ベクトルが反平行状態にあるとき、例えば、記録状態「0」にあるとする。

[0108] この状態から、例えば、図14(b)に示すパルス電流 i を流す。これにより、自由層の異方性エネルギーが弱いがある一定の電流値、これを閾値電流と呼ぶが、この閾値以上の電流を流すことにより自由層の磁化ベクトルは、いわゆるスピン注入スピントルク磁化反転を起こし、まずはじめにパルス電流 i と平行方向に向けられ、次いで、自由層のもうひとつの異方性軸（磁化安定軸）、すなわち初期状態とは反対方向に向けられ、落ち着く。SPRAMでは、以上のように記録を行って、固定層と自由層の磁化ベクトルの方向が平行状態にあるとき、例えば、記録状態「1」にあるとする。

[0109] 一方の再生は、TMR素子と同じ原理にて行う。但し、あまり大きな電流を流してはいけない。なぜなら、例えば記録状態「0」にある自由層の磁化ベクトルがスピン注入スピントルク磁化反転を起こしてしまい、記録状態「1」に転じてしまうからである。よって、再生は、上で述べた閾値電流以下の電流を通电しながら行わなければならない。記録状態「1」にあるとき、固定層と自由層の磁化ベクトルは平行状態にあるが故にTMR素子は低抵抗になる。一方、記録状態「0」にあるときは、固定層と自由層の磁化ベクトルは反平行状態にあるが故にTMR素子は高抵抗になる。SPRAMでは、以上のように、記録状態「1」を低抵抗であるとして検知、記録状態「0」を高抵抗であるとして検知し、再生を行う。

[0110] 最後に、図13に示すSPRAMは、上記実施例1-3に係わる、TMR素子を現状SPRAMに適用しただけではあるが、これによる効果は極めて大きい。すでに述べたとおり、素子サイズを極めて小としても、反強磁性膜の熱揺らぎ耐性極めて大を維持できる。したがって、上記実施例1-3に係わる、TMR素子をSPRAMに適用するだけで、超集積度対応SPRAMを提供しやすくなる、ということを強調しておきたい。

符号の説明

[0111] 10…磁気ディスク、12…回転軸、14…モータ、16…スライダ、18…磁気ヘッド、20…ジンバル、22…アーム、24…アクチュエータ、26…制御手段、50…下部細線、52…スピン注入スピントルク磁化反転型 TMR 素子、54…上部細線、100…下部電極、200…シード層、225…貴金属シード静的応力駆動層、250…動的応力駆動層、300…L1。MnIr 系反強磁性膜、401…強磁性膜（1-a）、402…強磁性膜（1-b）、501…導電性非磁性中間層、502…絶縁障壁層、600…強磁性膜（2）、700…上部電極。

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも、下部電極上に、シード層と、反強磁性膜と、強磁性膜と、固定側強磁性層と、非磁性導電性中間層と、外部磁界に応じて磁化方向が自由に変化する自由側強磁性層と、上部電極とを有するCPP-GMR素子であって、
- 前記反強磁性膜が、結晶磁気異方性エネルギー一定数を 10^8 erg/cm^3 以上保有するか、もしくは規則度を0.8以上保有する L_{10}MnIr 系反強磁性膜で構成されることを特徴とするCPP-GMR素子。
- [請求項2] 請求項1記載のCPP-GMR素子において、前記 L_{10}MnIr 系反強磁性膜の下方に該 L_{10}MnIr 系反強磁性膜の低温規則化を図るためのAuCu或いはPtMn系動的応力駆動層を設けたことを特徴とするCPP-GMR素子。
- [請求項3] 請求項2記載のCPP-GMR素子において、前記AuCu或いはPtMn系動的応力駆動層の下方に、前記 L_{10}MnIr 系反強磁性膜の低温規則化を図るための貴金属シード静的応力駆動層を設けたことを特徴とするCPP-GMR素子。
- [請求項4] 請求項3記載のCPP-GMR素子において、前記貴金属シード静的応力駆動層と、前記AuCu或いはPtMn系動的応力駆動層と、前記 L_{10}MnIr 系反強磁性膜との稠密六方格子の一辺の長さ関係、或いは格子定数の長さ関係が、前記AuCu或いはPtMn系動的応力駆動層、および前記 L_{10}MnIr 系反強磁性膜が不規則相状態にあるとき、貴金属シード静的応力駆動層>不規則相AuCu或いはPtMn系膜>不規則相MnIr系膜の関係にあることを特徴とするCPP-GMR素子。
- [請求項5] 請求項2記載のCPP-GMR素子において、前記AuCu或いはPtMn系動的応力駆動層と、前記 L_{10}MnIr 系反強磁性膜との格子パラメータの長さ関係が、AuCu或いはPtMn系膜およびM

$n\text{I r}$ 系膜の不規則／規則相変態前後で、
 不規則相 A u C u 或いは P t M n 系膜の $(-1\ 1\ 0)$ 面間隔<規則相 A u C u 或いは P t M n 系膜の $(-1\ 1\ 0)$ 面間隔、
 不規則相 A u C u 或いは P t M n 系膜の $(-1\ -1\ 2)$ 面間隔>規則相 A u C u 或いは P t M n 系膜の $(-1\ -1\ 2)$ 面間隔、
 不規則相 M n I r 系膜の $(-1\ 1\ 0)$ 面間隔<規則相 M n I r 系膜の $(-1\ 1\ 0)$ 面間隔、および、
 不規則相 M n I r 系膜の $(-1\ -1\ 2)$ 面間隔>規則相 M n I r 系膜の $(-1\ -1\ 2)$ 面間隔、
 の関係にあることを特徴とするCPP-GMR素子。

[請求項6] 少なくとも、下部電極上に、シード層と、反強磁性膜と、強磁性膜と、固定側強磁性層と、絶縁性障壁層と、外部磁界に応じて磁化方向が自由に変化する自由側強磁性層と、上部電極とを有するTMR素子であって、

前記反強磁性膜が、結晶磁気異方性エネルギー一定数を $10^8\text{ erg} / \text{cm}^3$ 以上保有するか、もしくは規則度を0.8以上保有する $\text{L}_{10}\text{M n I r}$ 系反強磁性膜で構成されることを特徴とするTMR素子。

[請求項7] 請求項6記載のTMR素子において、前記 $\text{L}_{10}\text{M n I r}$ 系反強磁性膜の下方に該 $\text{L}_{10}\text{M n I r}$ 系強磁性膜の低温規則化を図るための A u C u 或いは P t M n 系動的応力駆動層を設けたことを特徴とするTMR素子。

[請求項8] 請求項7記載のTMR素子において、前記 A u C u 或いは P t M n 系動的応力駆動層の下方に、前記 $\text{L}_{10}\text{M n I r}$ 系反強磁性層の低温規則化を図るための貴金属シード静的応力駆動層を設けたことを特徴とするTMR素子。

[請求項9] 請求項8記載のTMR素子において、前記貴金属シード静的応力駆動層と、前記 A u C u 或いは P t M n 系動的応力駆動層と、前記 $\text{L}_{10}\text{M n I r}$ 系反強磁性膜との稠密六方格子の一辺の長さ関係、或いは

格子定数の長さ関係が、前記 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層、および前記 $LaMnIr$ 系反強磁性膜が不規則相状態にあるとき、貴金属シード静的応力駆動層 $>$ 不規則相 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系膜 $>$ 不規則相 $MnIr$ 系膜の関係にあることを特徴とする TMR 素子。

[請求項10]

請求項7記載の TMR 素子において、前記 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系動的応力駆動層と、前記 $LaMnIr$ 系反強磁性膜との格子パラメータの長さ関係が、 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系膜および $MnIr$ 系膜の不規則／規則相変態前後で、
不規則相 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系膜の (-110) 面間隔 $<$ 規則相 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系膜の (-110) 面間隔、
不規則相 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系膜の $(-1-12)$ 面間隔 $>$ 規則相 $AuCu$ 或いは $PtMn$ 系膜の $(-1-12)$ 面間隔、
不規則相 $MnIr$ 系膜の (-110) 面間隔 $<$ 規則相 $MnIr$ 系膜の (-110) 面間隔、および、
不規則相 $MnIr$ 系膜の $(-1-12)$ 面間隔 $>$ 規則相 $MnIr$ 系膜の $(-1-12)$ 面間隔、
の関係にあることを特徴とする TMR 素子。

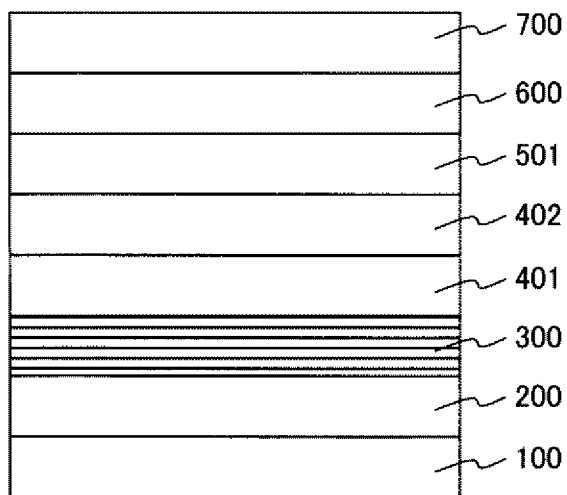
[請求項11]

情報を記録する磁気記録媒体と、
前記情報を書き込みする記録ヘッドと、前記情報を読み取る、請求項1乃至5のいずれかに記載の CPP-GMR 素子、或いは請求項6乃至10のいずれに記載の TMR 素子を有する再生ヘッドを含む磁気ヘッドと、
前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体上の所定の位置へ移動させるアクチュエータと、
前記磁気ヘッドが読み取りまたは書き込みする前記情報の送受信と前記アクチュエータの移動を制御する制御手段と、
を有することを特徴とする磁気記録再生装置。

[請求項12] 少なくとも、基板上に、複数の下部細線が配置され、その上方に、該下部細線と同数の上部細線が、該下部細線と交差するよう配置され、該下部細線と該上部細線の交差する位置にあって、該下部細線と該上部細線とに挟まれる位置に、請求項6乃至10のいずれかに記載のTMR素子が配置されることを特徴とするスピンランダムアクセスメモリ。

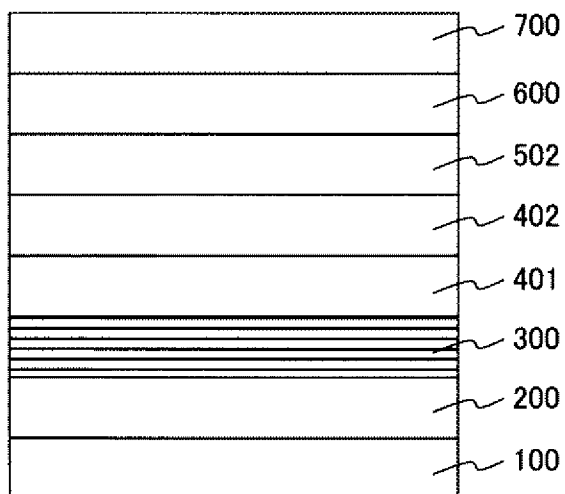
[図1]

図 1



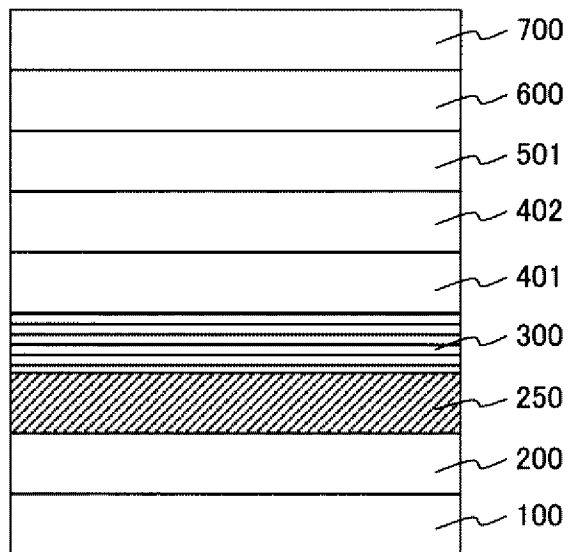
[図2]

図 2



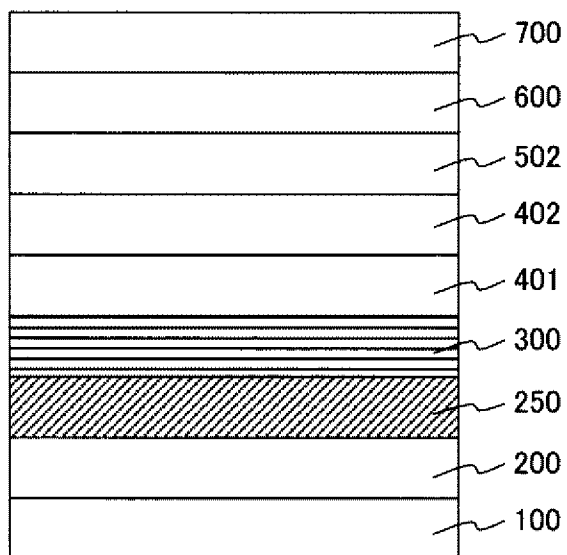
[図3]

図 3



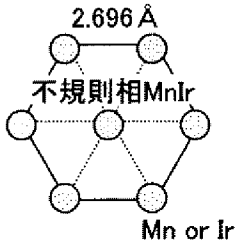
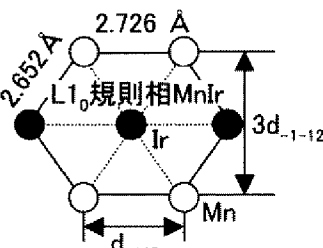
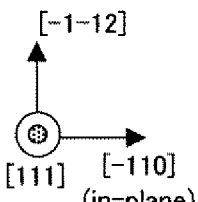
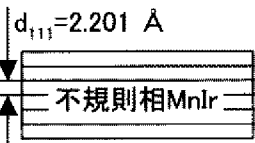
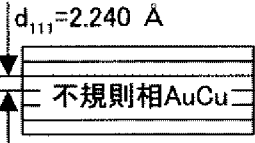
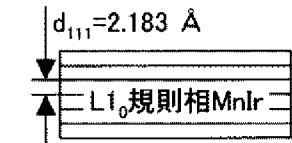
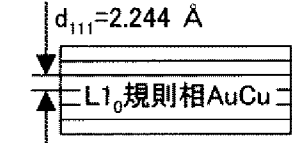
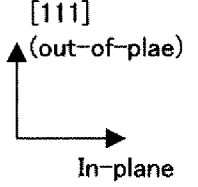
[図4]

図 4



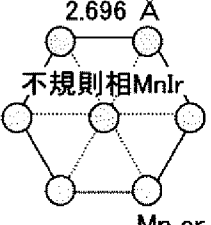
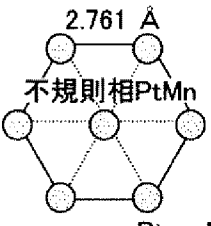
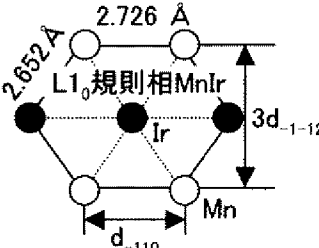
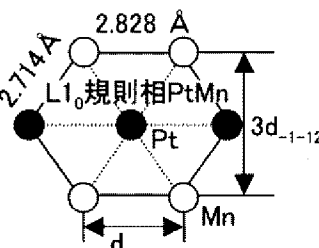
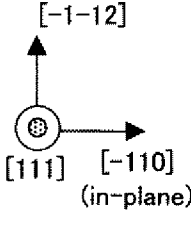
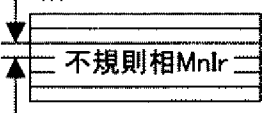
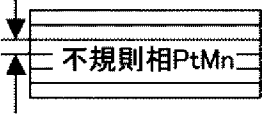
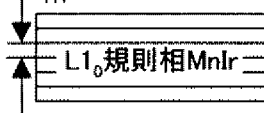
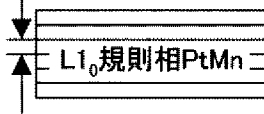
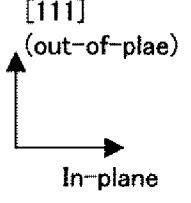
[図5]

図 5

格子パラメータ	不規則相	L ₁₀ 規則相	結晶方位
Fcc、fcc(111)面内 稠密六方格子	 2.696 Å 不規則相MnIr Mn or Ir	 2.726 Å L₁₀規則相MnIr Ir Mn d_{-110} $3d_{-1-12}$	 $[-1-12]$ $[111]$ $[-110]$ (in-plane)
(111)面間隔	 $d_{111}=2.201 \text{ Å}$ 不規則相MnIr  $d_{111}=2.240 \text{ Å}$ 不規則相AuCu	 $d_{111}=2.183 \text{ Å}$ L₁₀規則相MnIr  $d_{111}=2.244 \text{ Å}$ L₁₀規則相AuCu	 $[111]$ (out-of-plane) In-plane

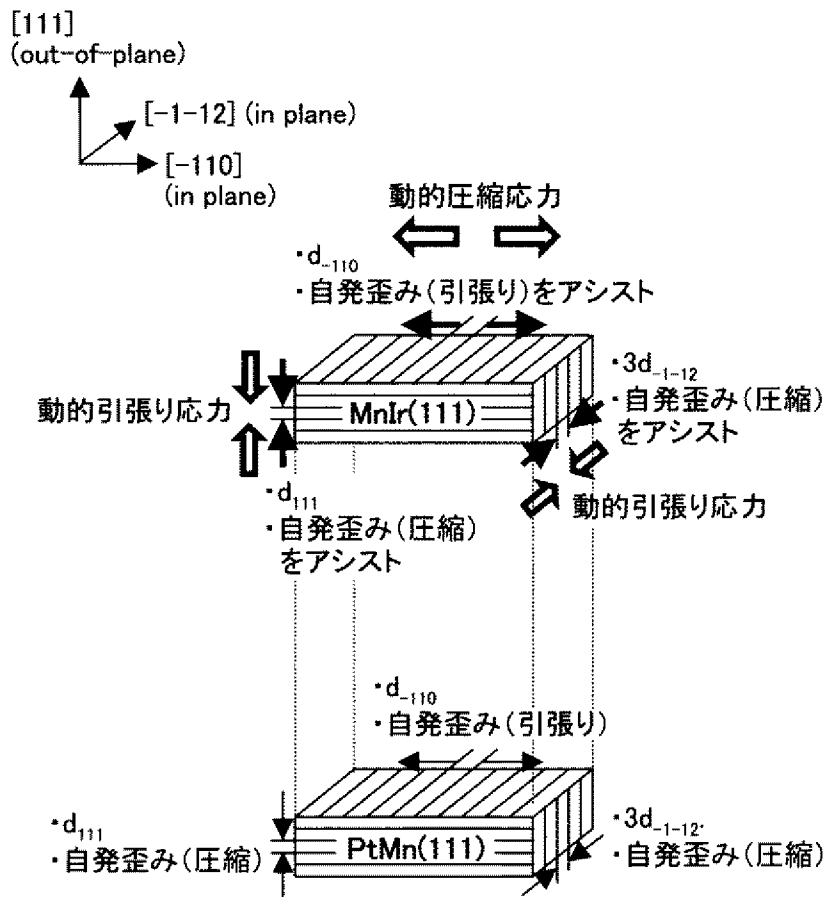
[図6]

図 6

格子パラメータ	不規則相	$L1_0$ 規則相	結晶方位
Fcc, fct(111)面内 稠密六方格子	2.696 Å  不規則相MnIr Mn or Ir 2.761 Å  不規則相PtMn Pt or Mn	2.726 Å  $L1_0$規則相MnIr Ir Mn d_{-110} $3d_{-1-12}$ 2.828 Å  $L1_0$規則相PtMn Pt Mn d_{-110} $3d_{-1-12}$	 [111] [111] (in-plane) [-1-12] [-110]
(111)面間隔	$d_{111}=2.201$ Å  不規則相MnIr $d_{111}=2.252$ Å  不規則相PtMn	$d_{111}=2.183$ Å  $L1_0$規則相MnIr $d_{111}=2.240$ Å  $L1_0$規則相PtMn	 [111] (out-of-plane) In-plane

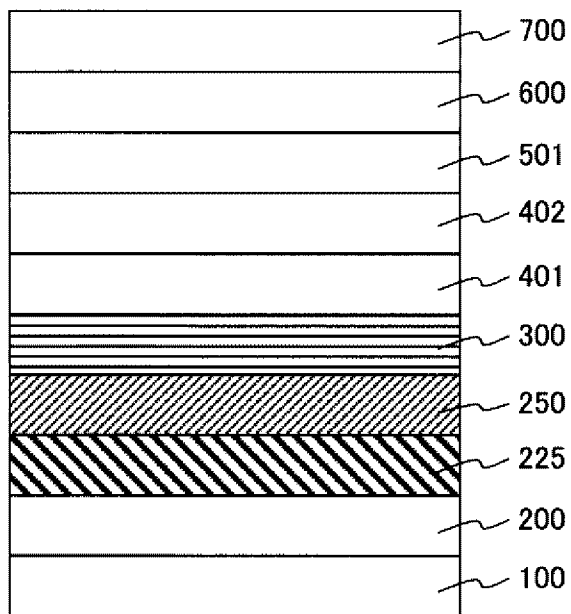
[図7]

図 7



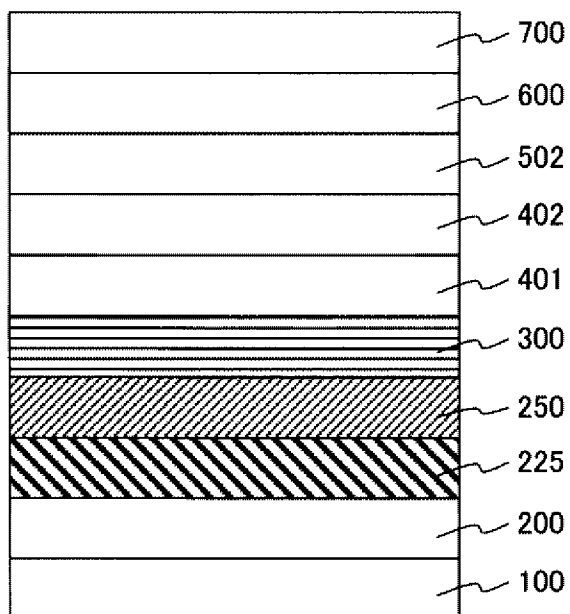
[図8]

図 8



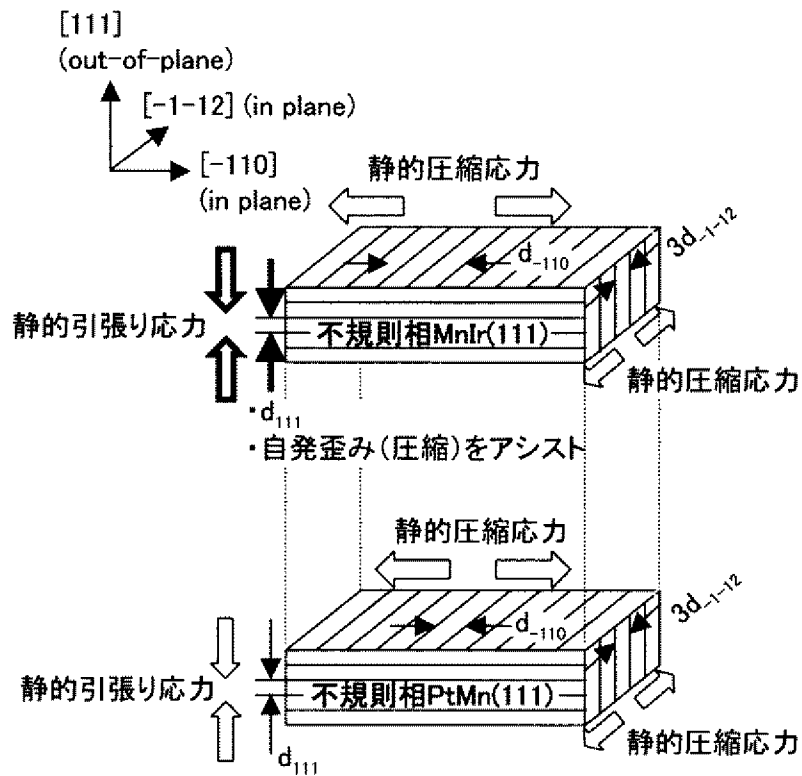
[図9]

図 9



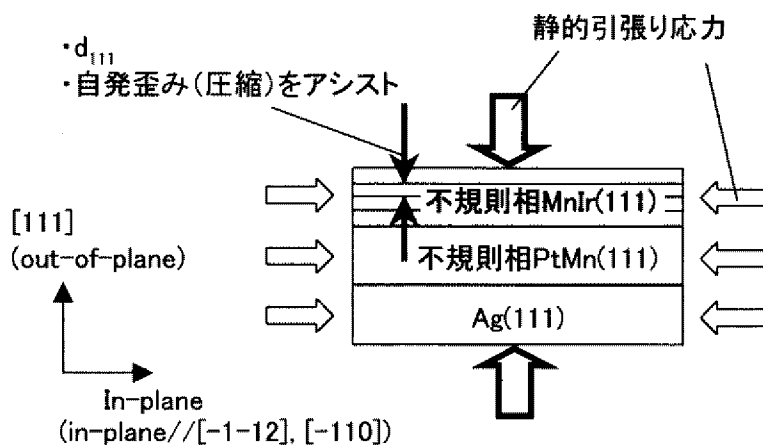
[図10]

図 10



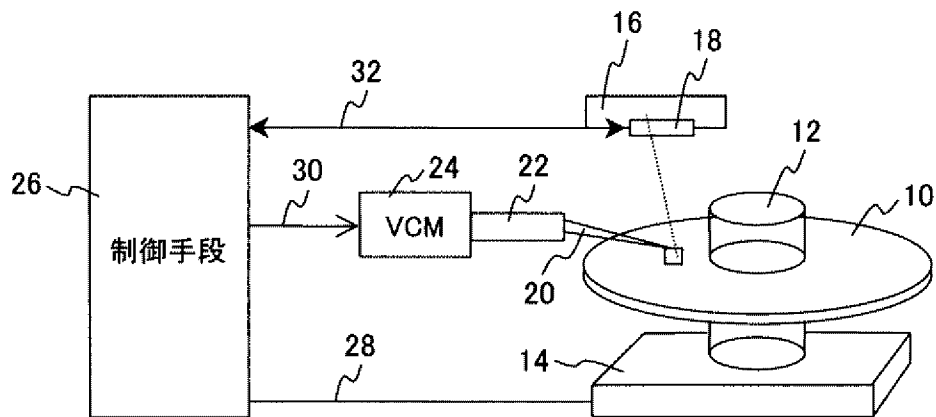
[図11]

図 11



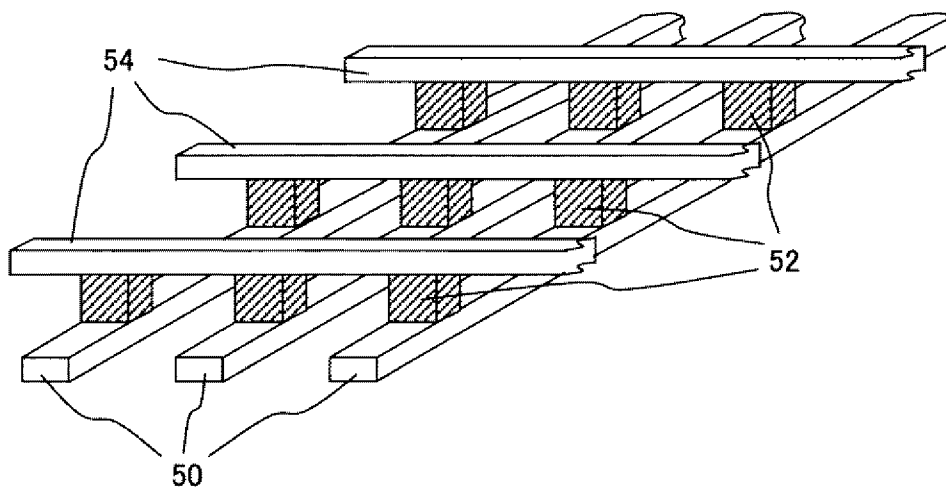
[図12]

図 12



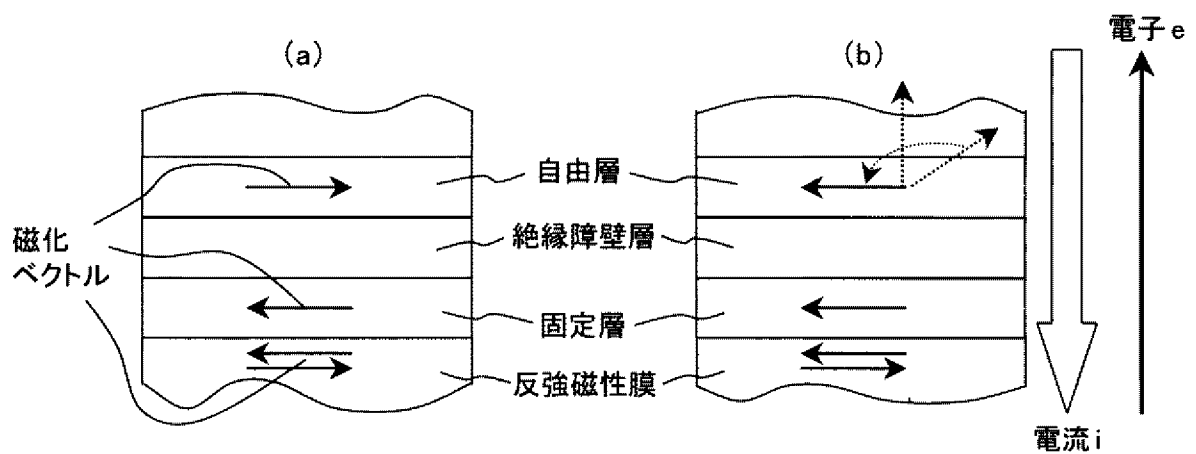
[図13]

図 13



[図14]

図 14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/005183

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/08(2006.01)i, G11B5/39(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i,
H01L27/105(2006.01)i, H01L43/10(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L43/08, G11B5/39, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2004-186659 A (Alps Electric Co., Ltd.), 02 July 2004 (02.07.2004), paragraphs [0001], [0055] to [0114] & US 2004/0067389 A1	1, 6, 11 2, 5, 7, 10, 12 3, 4, 8, 9
X Y A	WO 2005/008799 A1 (Fujitsu Ltd.), 27 January 2005 (27.01.2005), page 3, line 6 to page 4, line 26; page 8, line 5 to page 11, line 24; page 20, line 6 to page 22, line 6 & US 2006/0157810 A1 & EP 1648039 A1	1, 6, 11 2, 5, 7, 10, 12 3, 4, 8, 9
Y A	JP 2000-332318 A (Toshiba Corp.), 30 November 2000 (30.11.2000), paragraph [0247] & US 2002/0048690 A1	2, 5, 7, 10, 12 3, 4, 8, 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 January, 2010 (05.01.10)

Date of mailing of the international search report
19 January, 2010 (19.01.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/005183

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2002-026421 A (Toshiba Corp.), 25 January 2002 (25.01.2002), paragraphs [0002] to [0006] (Family: none)	12 1-11
A	JP 2005-333106 A (Ken TAKAHASHI), 02 December 2005 (02.12.2005), entire text (Family: none)	1-12
A	JP 2007-251013 A (TDK Corp.), 27 September 2007 (27.09.2007), entire text (Family: none)	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/005183

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions in claims 1 and 6 as independent claims cannot be considered to have a common "special technical feature", since the inventions do not make technical contribution over the prior art documents.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L43/08(2006.01)i, G11B5/39(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/10(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L43/08, G11B5/39, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2004-186659 A (アルプス電気株式会社) 2004. 07. 02, 段落【0001】、【0055】 - 【0114】 & US 2004/0067389 A1	1, 6, 11 2, 5, 7, 10, 12 3, 4, 8, 9
X Y A	WO 2005/008799 A1 (富士通株式会社) 2005. 01. 27, 第3頁第6行 - 第4頁第26行, 第8頁第5行 - 第11頁第24行, 第20頁第6行 - 第22頁第6行 & US 2006/0157810 A1 & EP 1648039 A1	1, 6, 11 2, 5, 7, 10, 12 3, 4, 8, 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

川村 裕二

4 M

3 3 4 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 6 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2000-332318 A (株式会社東芝) 2000. 11. 30, 段落【0 2 4 7】 & US 2002/0048690 A1	2, 5, 7, 10, 12 3, 4, 8, 9
Y A	JP 2002-026421 A (株式会社東芝) 2002. 01. 25, 段落【0 0 0 2】－【0 0 0 6】 (ファミリーなし)	12 1-11
A	JP 2005-333106 A (高橋研) 2005. 12. 02, 全文 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2007-251013 A (TDK株式会社) 2007. 09. 27, 全文 (ファミリーなし)	1-12

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

独立した請求項である請求項1及び6に係る発明は、先行技術文献に技術的貢献をもたらすものではないので、請求項1に係る発明と請求項6に係る発明とが共通の「特別な技術的特徴」を有しているとは認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。