

(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
2020年6月4日(04.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/110360 A1

(51) 国際特許分類:

G11B 5/39 (2006.01) *H01L 43/08* (2006.01)
H01F 10/16 (2006.01) *H01L 43/10* (2006.01)
H01F 10/30 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/025635

(22) 国際出願日: 2019年6月27日(27.06.2019)

(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 2018-223592 2018年11月29日(29.11.2018) JP

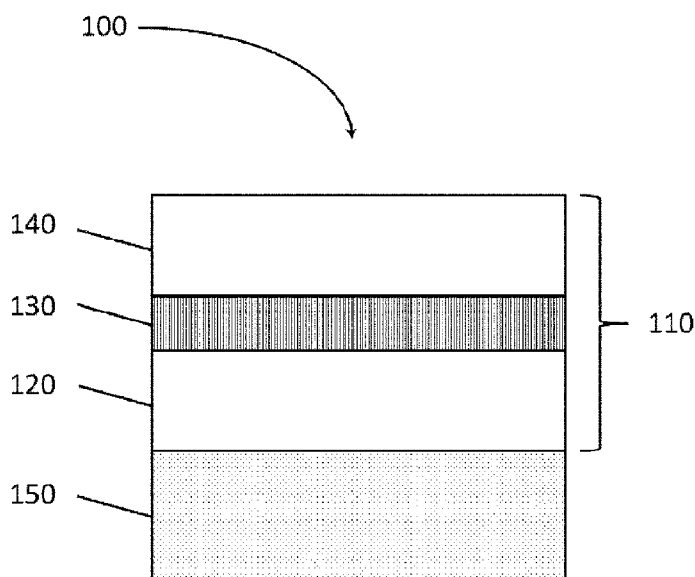
(71) 出願人: 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS

SCIENCE) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: ファトニ クレスナボンダン(FATHONI Kresna Bondan); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 桜庭 裕弥(SAKURABA Yuya); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 佐々木 泰祐(SASAKI Taisuke); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 中谷 友也(NAKATANI Tomoya); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 三浦 良雄(MIURA Yoshio); 〒3050047 茨

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT, MAGNETIC SENSOR, REPRODUCING HEAD, AND MAGNETIC RECORDING AND REPRODUCING DEVICE

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子、磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide: a magnetoresistive element having a large magnetoresistance change ratio (MR ratio); and a magnetic sensor, a reproducing head and a magnetic recording and reproducing device, each of which has high sensitivity to a magnetic field due to the large MR ratio. In a magnetoresistive element provided with a magnetoresistive film according to the present invention, the magnetoresistive film is provided with at least a pair of ferromagnetic layers and a non-magnetic layer positioned between the pair of ferromagnetic layers, each of the pair of ferromagnetic layers is a layer having a body-centered cubic



WO 2020/110360 A1

城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 宝野 和博(HONO Kazuhiro); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 浅村 特許事務所 (ASAMURA PATENT OFFICE, P.C.); 〒1408776 東京都品川区東品川2丁目2番24号 天王洲セントラルタワー 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

— 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v))

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(bcc) crystal structure and represented by the general formula: $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (wherein the parameter p satisfies the requirement: $0 \leq p \leq 75$, and the p values in the pair of ferromagnetic layers are the same as or different from each other), the non-magnetic layer is a layer having a body-centered cubic (bcc) crystal structure and made from Cu, and each of the ferromagnetic layers and the non-magnetic layer is a single crystal (001) layer or a layer in which a (001) crystal plane is preferentially aligned.

(57) 要約: 大きな磁気抵抗変化率 (MR比) を有する磁気抵抗効果素子、ならびに、その大きなMR比による磁場に対する高い感度を有する磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置を提供することを目的とする。本発明の磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効果膜は、少なくとも、一対の強磁性層と、一対の強磁性層の間に位置する非磁性層とを備え、一対の強磁性層のそれぞれは、体心立方 (bcc) の結晶構造を有し、一般式 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ で表される層 (パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 75$ を満たし、一対の強磁性層のそれぞれにおける p は、同一または別異である) であり、非磁性層は、体心立方 (bcc) の結晶構造を有し、Cuからなる層であり、強磁性層、および、非磁性層のそれぞれは、単結晶 (001) 層であるか、または、(001) 結晶面が優先配向している。

明 細 書

発明の名称：

磁気抵抗効果素子、磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子、磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置に関する。

背景技術

[0002] 一对の強磁性層と、それに挟まれた非磁性層との多層膜を有する磁気抵抗効果素子が知られている。このような磁気抵抗効果素子は、多層膜の面内方向に電流を流すCIP (Current in Plane) 型として、あるいは、多層膜の積層方向に電流を流すCPP (Current Perpendicular to Plane) 型として使用される。

[0003] CIP型磁気抵抗効果素子は、トンネル磁気抵抗効果素子に比べてノイズが小さいという利点があるが、磁気抵抗変化率(MR比)が小さく、磁気センサとしての高感度ためにはMR比の増大が求められる。

[0004] このようなCIP型磁気抵抗効果素子として、強磁性層に $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ を、非磁性層にCuを用いた磁気抵抗効果素子が知られている(例えば、特許文献1を参照)。特許文献1の実施例1によれば、サファイア基板C面上に $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 膜、Cu膜、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 膜、FeMn膜、Ti膜を順次成膜した $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{FeMn}/\text{Ti}$ なるスピバルブ構造を有する磁気抵抗効果素子において、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 層がfcc相(111)面配向をしており、10%の磁気抵抗変化率(MR比)を示した。しかしながら、磁気センサとしての感度向上のためには、さらなるMR比の向上が求められている。

[0005] 近年、MR比が25%となるCIP型磁気抵抗効果素子が開発された(例えば、非特許文献1を参照)。非特許文献1によれば、シリコン熱酸化膜を基板とした $\text{SiO}_x/\text{NiFeCr}/\text{CoFeO}_x/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{C}$

$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{AlO}$ のCIP型磁気抵抗効果素子は、25%を超えるMR比を示す。しかしながら、強磁性層以外に NiFeCr や CoFeO_x 等の層を設ける必要があり、プロセスが煩雑になるのに加え、 CoFeO_x 層におけるスペキュラー反射を利用しMR比を向上させているため、多層膜化によるMR比の向上は得られないという問題がある。

[0006] また、このような磁気抵抗効果素子において、層の界面におけるスピンの透過率がMR比に影響することが報告されている（例えば、非特許文献2を参照）。非特許文献2の「Chapter 2、2.3.3 CIP transport properties」は、強磁性層のマジョリティスピンを有する電子のバンド構造と、非磁性層の電子のバンド構造との間の良好なマッチングにより、マジョリティスピン電子の透過率が増大し、MR比が向上することを報告する。しかしながら、上述の特許文献1や非特許文献1において、CoとFeとからなる二元系合金の強磁性層と、Cuからなる非磁性層との間の電子のバンド構造のマッチングについては何ら報告がない。

[0007] このように、CoとFeとからなる二元系合金の強磁性層およびCuからなる非磁性層を用い、とりわけ、面方向に電流を流した際に、大きなMR比が得られる磁気抵抗効果素子が開発されることが望まれる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開平6-325934号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：M. Seigler, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 43, No. 2, 651-656, 2007

非特許文献2：M. Johnson編集, 12月2日2004年, 「Magnetoelectronics」1st Edition, Chapter 2、2.3.3 CIP transport properties

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 以上から、本発明の課題は、大きな磁気抵抗変化率（MR比）を有する磁気抵抗効果素子、ならびに、その大きなMR比による磁場に対する高い感度を有する磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明による磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果膜は、少なくとも、一对の強磁性層と、前記一对の強磁性層の間に位置する非磁性層とを備え、前記一对の強磁性層のそれぞれは、体心立方（bcc）の結晶構造を有し、一般式 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ で表される層（パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 75$ を満たし、前記一对の強磁性層のそれぞれにおける p は、同一または別異である）であり、前記非磁性層は、体心立方（bcc）の結晶構造を有し、Cuからなる層であり、前記一对の強磁性層、および、前記非磁性層のそれぞれは、単結晶（001）層であるか、または、（001）結晶面に優先配向しており、これにより上記課題を解決する。

前記パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 70$ を満たしてもよい。

前記パラメータ p は、 $p=0$ または $20 \leq p \leq 75$ を満たしてもよい。

前記パラメータ p は、 $p=0$ または $22 \leq p \leq 70$ を満たしてもよい。

前記パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 65$ を満たしてもよい。

前記パラメータ p は、 $p=0$ または $25 \leq p \leq 65$ を満たしてもよい。

前記非磁性層は、1.5 nm以上5 nm以下の範囲の厚さを有してもよい。

前記一对の強磁性層のそれぞれは、1.5 nm以上15 nm以下の範囲の厚さを有してもよい。

前記磁気抵抗効果膜は、前記一对の強磁性層のうち一方と磁氣的に結合する反強磁性層をさらに備えてもよい。

前記反強磁性層は、IrMn層、FeMn層、PtMn層およびCoO層

からなる群から選択されてもよい。

前記磁気抵抗効果膜は、前記一对の強磁性層と、前記一对の強磁性層の間に位置する前記非磁性層とからなる多層構造を2以上有し、前記2以上の多層構造のそれぞれは絶縁層によって分離していてもよい。

前記磁気抵抗効果膜は、前記強磁性層と前記非磁性層とが繰り返し積層された人工格子構造であってもよい。

前記強磁性層のそれぞれは、異なる保磁力を有してもよい。

前記前記磁気抵抗効果膜は基板上に位置し、前記基板は、ガラス基板、アルミナ基板、熱酸化膜を有する／有しないSi単結晶、MgO単結晶、サファイア単結晶、SrTiO₃単結晶、MgAl₂O₄単結晶およびTiO₂単結晶からなる群から選択されてもよい。

前記基板は、バッファ層をさらに備えてもよい。

前記磁気抵抗効果膜は、キャップ層をさらに備えてもよい。

前記磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果膜の面内方向に電流を流すCIP (Current in Plane) 型、または、前記磁気抵抗効果膜の積層方向に電流を流すCPP (Current Perpendicular to Plane) 型であってもよい。

本発明による磁気抵抗効果素子を備えた磁気センサは、前記磁気抵抗効果素子が上述の磁気抵抗効果素子であり、これにより上記課題を解決する。

本発明による磁気抵抗効果素子を備えた磁気記録再生装置用の再生ヘッドは、前記磁気抵抗効果素子が上述の磁気抵抗効果素子であり、これにより上記課題を解決する。

本発明による再生ヘッドを備えた磁気記録再生装置は、前記再生ヘッドが上述の再生ヘッドであり、これにより上記課題を解決する。

前記磁気記録再生装置は記録ヘッドをさらに備えてもよい。

発明の効果

[0012] 本発明の磁気抵抗効果素子は、少なくとも、一对の強磁性層と、一对の強磁性層の間に位置する非磁性層とを備えた磁気抵抗効果膜を備えるので、巨

大磁気抵抗効果が期待される。また、一対の強磁性層のそれぞれは、体心立方（ bcc ）の結晶構造を有し、一般式 $Co_{100-p}Fe_p$ で表される層（パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 75$ を満たし、一対の強磁性層のそれぞれにおける p は、同一または別異である）であり、非磁性層は、体心立方（ bcc ）の結晶構造を有し、 Cu からなる層である。これにより、強磁性層のマジョリティスピンを有する電子のバンド構造と、非磁性層の電子のバンド構造とは、フェルミ準位（ $E - E_F = 0$ ）において、良好にマッチングする。また、これらの強磁性層、および、非磁性層のそれぞれは、単結晶（ 001 ）層であるか、または、（ 001 ）結晶面に優先配向している。これにより、強磁性層と非磁性層との間の界面は良好に整合するため、界面においてスピン電子の透過率が増大し、 MR 比が顕著に向上する。

[0013] このような効果は、 CIP 型磁気抵抗効果素子に特に有効であるが、 CIP 型以外にも CPP 型でも同様の効果が期待される。また、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置に適用される。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の磁気抵抗効果素子を示す図

[図2] $bcc-Co_{100-p}Fe_p$ （ $p=50$ ）のマジョリティスピンの電子のバンド構造（a）と、 $bcc-Cu$ の電子のバンド構造（b）とを示す図

[図3]本発明の別の一実施態様である磁気抵抗効果素子300を示す図

[図4]本発明のさらに別の一実施態様である磁気抵抗効果素子400を示す図

[図5]本発明の磁気センサを示す図

[図6A]本発明の再生ヘッドと記録ヘッドとを組み合わせた磁気ヘッドを示す図

[図6B]図6Aに示すA-A線断面図

[図7]本発明の磁気記録再生装置を示す図

[図8]例1～例5および例7の試料のXRDパターンを示す図

[図9]例7および例3の試料のHAADF-STEM像および電子回折パターン

ンを示す図（図中の（a）および（b）は、それぞれ、例7および例3のHAADF-STEM像を示す図であり、図中の（c）、（d）および（e）、（f）は、それぞれ、例7および例3の電子回折パターンを示す図である。）

[図10]例3の試料について異なる晶帯軸から撮影したHAADF-STEM像を示す図（図中の（a）は、図9（b）から45°時計回りに回転した際の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ [100] 晶帯軸から撮影したHAADF-STEM像を示す図であり、図中の（b）は、図9（b）から45°反時計回りに回転した際の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ [010] 晶帯軸から撮影したHAADF-STEM像を示す図である。）

[図11]例3の試料において厚さの異なるCu層のHAADF-STEM像、逆フーリエ変換（IFFT）像および電子回折パターンを示す図（図中の（a）および（c）、（d）は、それぞれ、厚さが2.1nmのHAADF-STEM像および電子回折パターンを示す図であり、図中の（b）および（e）、（f）は、それぞれ、厚さが4.3nmのHAADF-STEM像および電子回折パターンを示す図である。）

[図12]例1～例5の試料のMR比のCu層の厚さ依存性を示す図

[図13]例1～例5の試料のMR比の $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ のp値依存性を示す図

[図14]例3、例6および例7の試料のMR比のCu層／Ag層（Cu層またはAg層）の厚さ依存性を示す図

[図15]例3および例8の試料のMR比のCu層の厚さ依存性を示す図

[図16]例8の試料のMR比および出力電圧のバイアス電圧依存性を示す図

[図17]例3および例7の試料のMR比の温度依存性を示す図

[図18]（a）例3および（b）例7の試料の抵抗（R）および抵抗変化（dR）の温度依存性を示す図

[図19]例9の試料のMR比の外部磁場依存性を示す図

[図20]（a）bcc-Cu、（b）bcc- $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 、（c）bcc- $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 、（d）bcc-Fe、および（e）bcc-Feの第一原理

計算によるバンド構造を示す図

[図21] (a) $bcc-Co$ 、(b) $bcc-Co_{75}Fe_{25}$ および (c) $bcc-Co_{25}Fe_{75}$ の第一原理計算によるバンド構造を示す図

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。なお、同様の要素には同様の番号を付し、その説明を省略する。

(実施の形態1)

実施の形態1では、本発明の磁気抵抗効果素子およびその製造方法について説明する。

[0016] 図1は、本発明の磁気抵抗効果素子を示す図である。

[0017] 本発明の磁気抵抗効果素子100は、磁気抵抗効果膜110を備えるが、このような磁気抵抗効果膜110は、少なくとも、一对の強磁性層120、140と、その間に位置する非磁性層130とを備える。このような構造により、本発明の磁気抵抗効果素子100は巨大磁気抵抗効果(GMR)を示す。図1では、基板150と、その上に形成された磁気抵抗効果膜110とを備える磁気抵抗効果素子100を示す。

[0018] ここで、強磁性層120、140のそれぞれは、体心立方(bcc)の結晶構造を有し、一般式 $Co_{100-p}Fe_p$ で表される層(ここで、パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 75$ を満たし、強誘電層120、140のそれぞれにおける p は、同一であってもよいし、別異であってもよい)である。以降では、簡単のため、「 $Co_{100-p}Fe_p$ で表される層」を「 $Co_{100-p}Fe_p$ 層」と称する。

[0019] Co と Fe との二元系合金において、 $Co_{100-p}Fe_p$ 層($20 \leq p \leq 75$)であれば、状態図から bcc の結晶構造を取ることが知られている。

[0020] 一方、 $Co_{100-p}Fe_p$ 層($0 < p < 20$)においては、状態図から bcc の結晶構造を維持できない場合があるが、 bcc の結晶構造を有するバッファ層(下地層)あるいは bcc の結晶構造を有する基板上にこれらの層を成長させた場合、通常 fcc の結晶構造が、 bcc の結晶構造となり安定化し

得る。

- [0021] また、 p が0の場合、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層はCo層となるが、Shinji Yuasaら、Applied Physics Letters 89, 04505 (2006)によると、bccの結晶構造を有するバッファ層（下地層）あるいはbccの結晶構造を有する基板上に成長させた場合、通常、六方最密充填構造（hcp）が安定なCoが、bccの結晶構造となることが示されている。
- [0022] さらに、本願発明者らは、 $p=0$ のCo、ならびに、 $0 < p \leq 75$ を満たす $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ のバンド構造が、bccの結晶構造を有せば、後述するbccの結晶構造を有するCuのバンド構造と、フェルミ準位（ $E - E_F = 0$ ）において良好にマッチングすることを見出し、bccの結晶構造を有する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 \leq p \leq 75$ ）を強磁性層120、140に、bccの結晶構造を有するCuからなる層を非磁性層130に採用し、MR比が向上した磁気抵抗効果素子を提供できる。後述するように、 p が75を超えると、バンド構造がマッチングしない場合があるため、 p の上限は75が妥当である。
- [0023] また、上述したように、強磁性層120、140は、それぞれ、同じ組成を有する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層であってもよいし、別の組成を有していてもよい。同じ組成であれば、ターゲットの交換が不要であるため、製造プロセスが簡略化されるので好ましい。異なる組成であれば、保磁力差による磁化反平行状態が得られる可能性があるため、好ましい。
- [0024] バンド構造のマッチングの観点から、パラメータ p は、好ましくは、 $0 \leq p \leq 70$ 、なお好ましくは、 $0 \leq p \leq 65$ を満たす。これにより、バンド構造がさらにマッチングするため、MR比がさらに向上し得る。一方で、製造効率の観点から、パラメータ p は、好ましくは、 $p=0$ または $20 \leq p \leq 75$ 、なお好ましくは、 $p=0$ または $22 \leq p \leq 70$ 、なお好ましくは、 $p=0$ または $25 \leq p \leq 65$ を満たす。なおさらに好ましくは、パラメータ p は、 $p=0$ または $40 \leq p \leq 60$ を満たす。

- [0025] 強磁性層 120、140の厚さは、特に制限はないが、例示的には、1.5 nm以上15 nm以下の範囲の厚さを有する。この範囲の厚さであれば、強磁性層 120、140を、物理的气相成長法や化学的气相成長法により制御よく製造できる。
- [0026] 非磁性層 130は、体心立方（bcc）の結晶構造を有するCuからなる層（以降では簡単のため、Cu層と称する）である。通常、Cuは、面心立方（fcc）の結晶構造を有するが、本願発明者らは、種々の実験を繰り返した結果、上述のbccの結晶構造を有する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 \leq p \leq 75$ ）を強磁性層とし、これらの間に挟まれるCu層の結晶構造が、bccの結晶構造となることを見出した。さらに驚くべきことに、本願発明者らは、非磁性層 130として、bccの結晶構造を有するCu層を採用することにより、上述の強磁性層 120、140とバンド構造がマッチングすることを見出した。
- [0027] 非磁性層 130の厚さは、bccの結晶構造を有する限り特に制限はないが、好ましくは、1.5 nm以上5 nm以下の範囲を有する。この範囲であれば、非磁性層 130を、bccの結晶構造を維持しつつ、物理的气相成長法や化学的气相成長法により制御よく製造できるとともに、連続膜となるために強磁性層 120、140間の磁化を平行方向に揃える磁氣的結合が現れない。より好ましくは、非磁性層 130の厚さは、1.8 nm以上3 nm以下の範囲を有する。この範囲であれば、非磁性層 130の内部に流れる磁気抵抗効果に寄与しない電流量を低減できるためMR比が向上し得る。さらに好ましくは、非磁性層 130の厚さは、1.8 nm以上2.5 nm以下の範囲を有する。この範囲であれば、非磁性層 130のbccの結晶構造が安定化し、非磁性層 130と強磁性層 120、140との間の界面が良好に格子整合するため、MR比が向上し得る。
- [0028] 図2は、 $\text{bcc}-\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ （ $p=50$ ）のマジョリティスピンの電子のバンド構造（a）と、 $\text{bcc}-\text{Cu}$ の電子のバンド構造（b）とを示す図である。

[0029] 図2には、第一原理計算から求めたバンド構造を示す。図2(a)および図2(b)によれば、 $bcc-Co_{100-p}Fe_p$ のマジョリティスピン（上向き）スピンを有する電子のバンド構造は、フェルミ準位（ $E - E_F = 0$ ）において、 $bcc-Cu$ の電子のバンド構造とは極めて類似していることが分かる。すなわち、 $bcc-Co_{100-p}Fe_p$ と $bcc-Cu$ とは、電子のバンド構造が同じであるため、違う物質であるにも関わらず互いに同じ物質のようにマジョリティスピン電子を界面にて輸送することができる。

[0030] さらに、強磁性層120、140、および、非磁性層130のそれぞれは、単結晶（001）層であるか、または、（001）結晶面に優先配向している。これにより、強磁性層120、140、および、非磁性層130の界面が良好に格子整合するため、バンド構造のマッチングの効果を促進し、スピン電子が界面にて散乱することなく透過し、MR比が向上し得る。

[0031] なお、本願明細書において、単結晶（001）層である場合、強磁性層120、140、および、非磁性層130のそれぞれは、基板150の結晶面に揃い、単結晶様（エピタキシャル膜である）であることを意図する。このようなエピタキシャル膜であるか否かは、X線回折や透過型電子顕微鏡（TEM）等により判定できる。また、本願明細書において、（001）結晶面に優先配向しているとは、X線回折法の $\theta - 2\theta$ スキャンにおいて、体心立方（bcc）の結晶構造の（001）面からの回折ピーク強度が、他の結晶面からの回折ピークよりも大きい状態、あるいは、その（001）面からの回折ピークのみが観察される状態を意図する。

[0032] 図1に示すように、磁気抵抗効果膜110が基板150上に位置してもよく、この場合、基板は、好ましくは、ガラス基板、アルミナ基板、熱酸化膜を有する／有しないSi単結晶、MgO単結晶、サファイア単結晶、SrTiO₃単結晶、MgAl₂O₄単結晶およびTiO₂単結晶からなる群から選択される。単結晶基板を用いた場合には、強磁性層120、140、および、非磁性層130のそれぞれが、エピタキシャル成長する（単結晶（001）層である）か、または、（001）結晶面に優先配向するような、結晶面を

選べばよい。例えば、MgO単結晶を選んだ場合、MgO（001）面が採用される。

[0033] 特に、強磁性層120として通常fccの結晶構造が安定な $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 \leq p < 20$ ）を採用する場合、bccの結晶構造を有する基板150を積極的に採用することが好ましい。これにより、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 \leq p < 20$ ）は、fcc又はhcpの結晶構造からbccの結晶構造へと変化し、安定化する。

[0034] 基板150は、さらに、バッファ層（図示せず）を備えてもよい。これにより、基板150と強磁性層120、140、および、非磁性層130とのミスマッチが大きい場合、あるいは、基板150が単結晶基板でない場合であっても、これら強磁性層120、140、および、非磁性層130は、エピタキシャル成長する（単結晶（001）層である）か、または、（001）結晶面に優先配向する。例えば、このようなバッファ層は、 $\text{Mg}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}$ （ $0 \leq x \leq 0.8$ ）、Cr、TiN等が挙げられる。

[0035] あるいは、強磁性層120として通常fccの結晶構造をとる $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 < p < 20$ ）もしくはhcpの結晶構造をとるCo（ $p = 0$ ）を採用する場合、bccの結晶構造を有するバッファ層を積極的に採用することが好ましい。このようなバッファ層には、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ （ $20 \leq p \leq 100$ ）、 $\text{Ni}_{100-p}\text{Fe}_p$ （ $70 \leq p \leq 100$ ）等を採用できる。状態図によれば、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ （ $20 \leq p \leq 100$ ）は、bccの結晶構造を有するため、その上に $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 \leq p < 20$ ）を成膜すれば、fcc又はhcpの結晶構造からbccの結晶構造へと変化し、安定化する。

[0036] なお、強磁性層140は、後述するように、bccの結晶構造を有するCuからなる層である非磁性層130上に位置するため、非磁性層130をバッファ層として、bccの結晶構造を有する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層（ $0 \leq p \leq 75$ ）が安定化することは当業者であれば理解する。

[0037] 大きなMR比を得るために、強磁性層120、140の磁化はある磁場領域で完全な反平行状態を向くことが必要である。そのために強磁性層120

、140に異なる保磁力を有する材料を用いてもよいし、図3に示す反強磁性層320を備える構造にして交換バイアスを加えてもよいし、強磁性層120、140が、非磁性層130を介した反強磁性的な層間交換相互作用を得てもよい。ここで、本発明の磁気抵抗効果膜110を採用すれば、層間交換相互作用を得ることができる。また、図1に示す積層構造を繰り返し、図4に示す人工格子構造とすれば、反平行結合が積層方向にどこまでも続き、隣接する強磁性層の磁化が常に反平行となった状態を作りだせるので、大きなMR比が期待できる。

[0038] なお、強磁性層120、140に保磁力差を設ける場合、例えば、それぞれの強磁性層を構成する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層の組成を制御（すなわち、パラメータ p の値）すればよい。

[0039] 図1では、磁気抵抗効果膜110は、一对の強磁性層120、140と、その間に位置する非磁性層130との1組の多層構造を有するが、このような多層構造を2以上備えてもよい。この場合、2以上の多層構造のそれぞれは絶縁層（バリア層）によって分離している。このような構造とすることにより、MR比を大きくできる。この場合、絶縁層には、 MgO 、 AlO 等が挙げられる。また、絶縁層の厚さは、0.2nm以上3nm以下が好ましい。

[0040] 磁気抵抗効果素子100において、磁気抵抗効果膜110が強磁性層140上にキャップ層（図示せず）をさらに備えてもよい。キャップ層は磁気抵抗効果膜110の表面の保護層として機能し得る。このようなキャップ層には、例えば、タンタル（Ta）、金（Au）、アルミニウム（Al）、ルテニウム（Ru）、白金（Pt）等が挙げられる。また、キャップ層の厚さは、0.5nm以上2nm以下が好ましい。

[0041] 図3は、本発明の別の一実施態様である磁気抵抗効果素子300を示す図である。

[0042] 磁気抵抗効果素子300は、磁気抵抗効果膜310が、一对の強磁性層120、140のうちの一方の強磁性層140と磁氣的に結合する反強磁性層

320を備える点が、図1の磁気抵抗効果素子100と異なる。図1と同様の要素には同様の番号を付し、説明を省略する。このような構造により、磁気抵抗効果膜310は、スピバルブと呼ばれ、強磁性層120がフリー層となり、強磁性層140と反強磁性層320とがピン層として機能し、フリー層の磁化の向きを変えることにより巨大磁気抵抗効果を示すことができる。

[0043] このような反強磁性層320は、当該分野で一般的に使用される反強磁性層が採用されるが、例示的には、IrMn層、FeMn層、PtMn層およびCoO層からなる群から選択される。また、反強磁性層320の厚さは、1nm以上10nm以下が好ましい。

[0044] 図3では、磁気抵抗効果膜310は、強磁性層120、非磁性層130、強磁性層140、反強磁性層320の1組の多層構造を有するが、磁気抵抗効果膜110と同様に、このような多層構造を2以上備えてもよい。この場合、2以上の多層構造のそれぞれは絶縁層によって分離している。このような構造とすることにより、MR比を大きくできる。絶縁層は上述したとおりである。

[0045] あるいは、磁気抵抗効果膜310は、フリー層である強磁性層120を共有するように、強磁性層120、非磁性層130、強磁性層140、反強磁性層320の多層構造を2以上有してもよい。このような構造は、デュアルスピバルブ型磁気抵抗効果素子と呼ばれる。

[0046] 図3の磁気抵抗効果膜310は、図1の磁気抵抗効果膜110と同様に、反強磁性層320上にキャップ層（図示せず）を備えてもよい。キャップ層は上述したとおりである。

[0047] 図4は、本発明のさらに別の一実施態様である磁気抵抗効果素子400を示す図である。

[0048] 磁気抵抗効果素子400は、磁気抵抗効果膜410が、一对の強磁性層120、140と、その間に位置する非磁性層130との多層構造に加えて、強磁性層120_{1~n}と非磁性層130_{1~n}とが交互に繰り返す積層された人工

格子構造を有する点が、図1の磁気抵抗効果素子100および図3の磁気抵抗効果素子300と異なる。ここでも、図1と同様の要素には同様の番号を付し、説明を省略する。このような構造により、磁気抵抗効果膜410は、巨大磁気抵抗効果を示すことができる。この場合の繰返し数 n は、特に制限はないが、例示的には、2以上100以下の範囲である。

[0049] 図4の磁気抵抗効果膜410は、図1の磁気抵抗効果膜110、図3の磁気抵抗効果膜310と同様に、強磁性層 120_n 上にキャップ層（図示せず）や反強磁性層（図示せず）を備えてもよい。キャップ層や反強磁性層は上述したとおりである。

[0050] また、磁気抵抗効果膜410が人工格子構造を有する場合、強磁性層 $120_{1\sim n}$ は、非磁性層130を隔てて隣接する強磁性層の磁化との間に反平行層間磁気結合（層間交換相互作用）を実現し、これにより、磁化の反平行状態が得られるため、MR比を大きくすることができる。

[0051] 本発明の磁気抵抗効果素子100、300、400は、特に、磁気抵抗効果膜110、310、410の面内方向に電流を流すCIP（Current in Plane）型の磁気抵抗効果素子として使用すれば、大きなMR比を示すため好ましい。しかしながら、本発明の磁気効果素子100、300、400は、磁気抵抗効果膜110、310、410の積層方向に電流を流すCPP（Current Perpendicular to Plane）型の磁気抵抗効果素子として使用しても、問題ない。

[0052] また、本発明の磁気抵抗効果素子100、300、400において、磁気抵抗効果膜110、310、410が、必要に応じて、バッファ層、リファレンス層、バリア層等を備えてもよい。

[0053] 本発明の磁気抵抗効果素子100の例示的な製造方法は以下のとおりである。基本的な製造プロセスは、基板150上に、強磁性層120、非磁性層130、強磁性層140を順に形成する。必要に応じて、バッファ層、キャップ層、シールド層、リファレンス層、バリア層等を形成してもよい。例えば、反強磁性層320（図3）を形成すれば、磁気抵抗効果素子300が製

造され、強磁性層および非磁性層を繰り返し積層すれば、磁気抵抗効果素子 400 が製造される。これらの層は、物理的气相成長法、化学的气相成長法によって成膜できることが当該分野で知られており、好ましくは、スパッタ法に代表される物理的气相成長法が採用される。また、成膜に続いて、物理的または化学的エッチングやフォトリソグラフィを行い、微細加工することにより、磁気抵抗効果素子が得られる。例示的な製造方法は、後述する実施例を参照されたい。

[0054] (実施の形態 2)

実施の形態 2 では、実施の形態 1 で説明した本発明の磁気抵抗効果素子を用いた用途について説明する。

[0055] 図 5 は、本発明の磁気センサを示す図である。

[0056] 本発明の磁気センサ 500 は、図 1 で説明した磁気抵抗効果素子 100 として磁気抵抗効果素子 100_A、100_Bを備える。なお、図 5 では、2つの磁気抵抗効果素子 100_A、100_Bが接続されているが、素子の数は2つに限らない。磁気抵抗効果素子 100_Aの強磁性層 140 と、磁気抵抗効果素子 100_Bの強磁性層 120 との間に電圧 V_{cc} が印加され、磁気抵抗効果素子 100_Aの強磁性層 120 と、磁気抵抗効果素子 100_Bの強磁性層 140 との間の電圧が計測される。また、磁気センサ 500 は、図 1 に示す磁気抵抗効果素子 100 を用いたが、図 1 の磁気抵抗効果素子 100 に代えて、図 3 の磁気抵抗効果素子 300、図 4 の磁気抵抗効果素子 400、または、これらの組み合わせを用いてもよい。

[0057] また、磁気センサ 500 の出力電圧に基づいて所定の演算を行い、磁気情報を取得する演算回路（図示せず）や得られた磁気情報を表示する表示部（図示せず）を設けることにより、磁気検出装置を実現してもよい。

[0058] 図 6 A は、本発明の再生ヘッドと記録ヘッドとを組み合わせた磁気ヘッドを示す図である。

図 6 B は、図 6 A に示す A-A 線断面図である。

[0059] 図 6 A に示すように、磁気ヘッド 600 は、本発明の再生ヘッド 610 と

記録ヘッド620とを備え、浮上面の構造が示される。図6Aにおいて、紙面の上下方向は、磁気記録媒体（図示せず）の移動方向であり、紙面の水平方向は、磁気記録媒体に形成されるトラックの幅方向に相当する。図6Bの磁気ヘッド600は、A-A線に対して垂直な面方向の断面の様子である。

[0060] 本発明の再生ヘッド610は、少なくとも磁気抵抗効果素子100を備えればよいが、図6Aでは、平坦なスライダ611上に絶縁層612、下部シールド層613、下部ギャップ絶縁層614、磁気抵抗効果素子100、一对の端子層616、磁気抵抗効果素子100の両側に磁区制御層615、上部ギャップ絶縁層617および上部シールド層618をさらに備える。

[0061] また、記録ヘッド620は、再生ヘッド610上に絶縁層621を介して設けられており、下部磁極622、記録ギャップ層624を挟んで下部磁極622に対向する側に、通常、磁気記録媒体のトラックに相当する幅を有する上部磁極625を備え、これらが絶縁層623で覆われている。また、記録ヘッド620は、図6Bに示すように、下部磁極622と上部磁極625とを接続するヨークと、ヨークを巻回するコイル626とを備える。図6A、図6Bで例示的に示す絶縁層、シールド層、ヨーク、コイル、磁極、端子、磁区制御層等の材料は、特に制限はなく、いずれも当該分野で通常使用されるものであればよい。

[0062] このような構成により、磁気ヘッド600は、記録ヘッド620の下部磁極622と上部磁極625とから漏洩する記録磁界により対向する磁気記録媒体に情報が記録され、記録された情報に対応する磁気記録媒体の漏洩磁界を、再生ヘッド610の磁気抵抗効果素子100が抵抗変化として検知する。詳細には、再生ヘッド610は、抵抗変化を検知するセンス電流が一对の端子層616から磁気抵抗効果素子100の磁気抵抗効果膜の面内方向に流れ込み、他方の端子層616から引き出される。センス電流を流した際に生じる磁気抵抗効果素子100の両端の電圧により、磁気記録媒体からの漏洩磁界の変化を磁気抵抗効果素子100の幅方向の電気抵抗値の変化を介して検出する。

[0063] なお、図 6 A および図 6 B では、再生ヘッド 6 1 0 と記録ヘッド 6 2 0 とを備える複合型の磁気ヘッド 6 0 0 を示したが、再生ヘッド 6 1 0 のみを備える磁気ヘッドとして構成してもよい。磁気抵抗効果素子 1 0 0 は、当然ながら、磁気抵抗効果素子 3 0 0、4 0 0 を用いてもよい。

[0064] 図 7 は、本発明の磁気記録再生装置を示す図である。

[0065] 磁気記録再生装置 7 0 0 は、矩形形状のハウジング 7 1 0 内に、アクチュエータ 7 2 0、これに取り付けられたアクチュエータアーム 7 3 0、および、アクチュエータアーム 7 3 0 の先端に取り付けられたヘッドスライダ 7 4 0、および、磁気記録媒体 7 5 0 を備える。

[0066] 磁気記録媒体 7 5 0 に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ 7 4 0 には、少なくとも、図 6 A、図 6 B を参照して説明した本発明の再生ヘッド 6 1 0 が取り付けられている。

[0067] 磁気記録媒体 7 5 0 は、駆動装置の制御部（図示せず）からの制御信号に応答するモータにより矢印の方向に回転する。磁気記録媒体 7 5 0 が回転すると、ヘッドスライダ 7 4 0 の媒体対向面は磁気記録媒体 7 5 0 の表面から所定の浮上量に維持されるか、または、表面と接触する。

[0068] 本発明では、上述した本発明の磁気抵抗効果素子を用いた再生ヘッド 6 1 0 が採用されるので、ノイズを低減し、安定した信号の記録再生が可能となる。

[0069] 当然ながら、再生ヘッド 6 1 0 に代えて、記録ヘッド 6 2 0 を備えた複合型の磁気ヘッド 6 0 0 を用いてもよい。また、磁気記録媒体 7 5 0 は磁気ディスクに限定されるものではない。

[0070] 次に具体的な実施例を用いて本発明を詳述するが、本発明がこれら実施例に限定されないことに留意されたい。

実施例

[0071] [例 1 ～ 例 9]

例 1 ～ 例 9 では、 MgO (001) 単結晶基板、または、熱酸化膜 (SiO_x) 付 c-Si (001) 単結晶基板上に、強磁性層として $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}$

p 層を、非磁性層としてCu層またはAg層を用い、磁気抵抗効果素子を製造した。

[0072] 詳細には、表1に示す条件で、例1～例7では、基板上に $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / CuまたはAg (0～5 nmの傾斜膜) / $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / IrMn (8 nm) / Ta (3 nm) のスピバルブ型の磁気抵抗効果素子を、例8では、基板上にIrMn (8 nm) / $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / Cu (0～5 nmの傾斜膜) / $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / Cu (0～5 nmの傾斜膜) / $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / IrMn (8 nm) のデュアルスピバルブ型の磁気抵抗効果素子を、例9では、基板上に $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / Cu (1.87 nm) / $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ (6 nm) / MgO (3 nm) の層間交換相互作用型の磁気抵抗効果素子を製造した。なお、例1～例8の非磁性層は、0 nm～5 nmの傾斜膜のウェッジ構造とし、膜厚依存性を調べた。

[0073] [表1]

例	素子タイプ	強磁性層($\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$)		非磁性層		基板	反強磁性層	キャップ層	
		p	厚さ(nm)	Cu/Ag	厚さ(nm)		IrMnの厚さ(nm)	Ta/MgO	厚さ(nm)
1	スピバルブ	10	6	Cu	0～5	MgO(001)	8	Ta	3
2	スピバルブ	25	6	Cu	0～5	MgO(001)	8	Ta	3
3	スピバルブ	50	6	Cu	0～5	MgO(001)	8	Ta	3
4	スピバルブ	67	6	Cu	0～5	MgO(001)	8	Ta	3
5	スピバルブ	100	6	Cu	0～5	MgO(001)	8	Ta	3
6	スピバルブ	50	6	Cu	0～5	SiO ₂ /c-Si(001)	8	Ta	3
7	スピバルブ	50	6	Ag	0～5	MgO(001)	8	Ta	3
8	デュアルスピバルブ	50	6	Cu	0～5	MgO(001)	8	—	—
9	層間交換相互作用	50	6	Cu	1.87	MgO(001)	—	MgO	3

表1：例1～例9の試料の一覧

[0074] 種々の組成の $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 、Cu、Ag、IrMn、Taの各ターゲットを、DC-RFマグネトロンスパッタ（エイコーエンジニアリング社製、型番ESA-0788）にセットし、表2に示すスパッタリング条件によりスパッタを行った。その後、表2に示すアニーリング条件にて、例1～例9の試料を磁場中で熱処理し、一方向磁気異方性を付与した。なお、例1～例9の試料は、フォトリソグラフィによりワイヤ状に加工した。また、予備実験において、ターゲットの組成と、強磁性層の組成とは、実質的に同一となる

ことを組成分析から確認しているため、本願明細書では、ターゲットに用いた組成が、得られた強磁性層の組成であるものとして取り扱う。

[0075] [表2]

	強磁性層	非磁性層	反強磁性層	キャップ層	
ターゲット	$\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$	Cu/Ag	IrMn	Ta	MgO
圧力(Pa)	$<5 \times 10^{-7}$	$<5 \times 10^{-7}$	$<5 \times 10^{-7}$	$<5 \times 10^{-7}$	$<5 \times 10^{-7}$
基板温度(°C)	室温	室温	室温	室温	室温
スパッタ電力(W)	DC20	RF30	DC20	DC20	DC20
スパッタ時間(s)	120~180	0~130	55	45	45
膜厚(nm)	6	0.5 (傾斜膜)	8	3	3
アニーリング処理条件	3kOe中250°C、1時間				

表2：例1～例9の試料のスパッタリング条件およびアニーリング条件

[0076] このようにして得られた例1～例9の試料の構造を簡単のため表3にまとめて示す。

[0077] [表3]

例	素子構造
1	MgO/ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ /Cu/ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ /IrMn/Ta
2	MgO/ $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ /Cu/ $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ /IrMn/Ta
3	MgO/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /Cu/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /IrMn/Ta
4	MgO/ $\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$ /Cu/ $\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67}$ /IrMn/Ta
5	MgO/Fe/Cu/Fe/IrMn/Ta
6	c-Si/ SiO_2 / $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /Cu/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /IrMn/Ta
7	MgO/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /Ag/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /IrMn/Ta
8	MgO/IrMn/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /Cu/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /Cu/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /IrMn
9	MgO/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /Cu/ $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ /MgO

表3：例1～例9の素子構造の一覧

[0078] 例1～例9の試料についてX線回折を行った。結果を図8に示す。例1～例9の試料について透過型電子顕微鏡（TEM、FEI社製、型番TITAN G2-200）を用いた高角度散乱暗視野走査透過型電子顕微鏡法（H

AADF-STEM法)により高分解能観察を行い、電子回折パターンを得た。結果を図9～図11に示す。

[0079] 例1～例9の試料に磁気特性を、4探針法を用いて測定した。詳細には、室温(25℃)にて、膜の面内方向に電流を流し、その方向と平行な方向に外部磁場を印加し、その際の抵抗値の変化を測定し、MR比を求めた。また、例3および例7の試料について、MR比、抵抗(R)および抵抗変化(dR)の温度依存性を調べた。例8の試料についてMR比のバイアス電圧依存性、ならびに、例9の試料について外部磁場に対する抵抗値の依存性を調べた。これらの結果を図12～図19に示す。

[0080] bcc-Cuおよび $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ ($p=0, 25, 50, 75, 100$) について第一原理計算を行い、バンド構造を求めた。結果を図20および図21に示す。

[0081] 以上の結果をまとめて説明する。

図8は、例1～例5および例7の試料のXRDパターンを示す図である。

[0082] いずれの試料においても、約 48° 近傍にピークが現れ、これはIrMnの(002)ピークと同定され、すべての試料はエピタキシャル膜であった。例2～例5および例7の試料では、約 66° にピークが現れ、これは、(002) bccの結晶構造によるピークと同定された。一方、例1の試料では、このピークが観察されなかった。このことから、例1の試料における $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ は、fccの結晶構造を有し、例2～例5および例7の試料における $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ ($p=25, 50, 67, 100$) は、bccの結晶構造を有することが分かった。図示しないが、例8および例9の試料も例3と同様のXRDパターンを示すことを確認した。

[0083] 図9は、例7および例3の試料のHAADF-STEM像および電子回折パターンを示す図である。

図10は、例3の試料について図9とは異なる晶帯軸から撮影したHAADF-STEM像を示す図である。

図11は、例3の試料において厚さの異なるCu層のHAADF-STE

M像、逆フーリエ変換（IFFT）像および電子回折パターンを示す図である。

[0084] 図9（a）および（b）は、それぞれ、例7および例3の試料の断面の原子分解能HAADF-STEM像を示す。像は、いずれも、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層の $[110]$ 晶帯軸から撮影され、Ag層およびCu層の厚さは、それぞれ、 2.8 nm および 2.1 nm であった。いずれの像も、エピタキシャル成長していることが示唆されるが、図9（a）のAg層と $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層との界面に着目すると、転位（dislocation）が存在し、界面近傍では結晶に歪みが生じていることが分かる。しかしながら、図9（b）のCu層と $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層と界面に着目すると、驚くべきことに、転位等の欠陥は、原子解像度レベルにおいて確認されず、Cu層と $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層とがあたかも単一の材料であるかのようにであった。図示しないが、例えば、Cu層の厚さが約 2 nm である例2、例4～例6、例8および例9の試料においても図9（b）と同様の様態であった。

[0085] 図9（c）、（d）および（e）、（f）は、それぞれ、例7および例3の試料の電子回折パターンを示す。図9（c）、（d）によれば、例7の試料では、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}(001)[110] \parallel \text{fcc-Ag}(001)[100]$ の関係となっていることが分かる。一方、図9（e）、（f）によれば、例3の試料では、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ の回折パターンと、Cuの回折パターンとは、互いに極めて類似しており、図9（c）、（d）の回折パターンの関係とは異なっていた。このことは、Cuは、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ と同様に、bccの結晶構造を有していることを示唆する。図示しないが、例えば、Cu層の厚さが約 2 nm である例2、例4～例6、例8および例9の試料においても図9（e）、（f）と同様の回折パターンであった。

[0086] 図10（a）および（b）は、それぞれ、図9（b）から 45° 時計回りおよび反時計回りに回転した際の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}[100]$ および $[010]$ 晶帯軸から撮影したHAADF-STEM像を示す図である。図10（a）

および(b)によれば、いずれの像も互いに類似しており、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層とCu層との間の界面に視認できる格子歪はない。

[0087] Cuがfccの結晶構造である場合、 45° 時計回りの像と、 45° 反時計回りの像とは、互いに異なり、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層とCu層との間の界面には格子歪が生じるはずである。しかしながら、上述したとおり、 45° 時計回りの像と、 45° 反時計回りの像とが、互いに類似しており、界面に格子歪が確認できないことから、Cuは、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ の結晶構造と同様に、bccの結晶構造を有しており、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層およびCu層はいずれも単結晶(001)層であるといえる。

[0088] 例5の試料は、B. Heinrichら、Phys. Rev. Lett., Vol. 64, No. 6, 1990の報告と同様に、Fe層もCu層もbccの結晶構造を有しており、単結晶(001)層であったが、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層およびCu層についても、同様の関係が成り立つことは本願発明者らが実験から初めて確認したことに留意されたい。

[0089] 図11(a)および(b)は、それぞれ、Cu層の厚さが2.1nmおよび4.3nmである例3の試料の断面の原子分解能HAADF-STEM像を示す。図11(c)、(d)および(e)、(f)は、それぞれ、Cu層の厚さが2.1nmおよび4.3nmである例3の試料の電子回折パターンを示す。ここで、図11(a)、(c)および(d)は、図9(b)、(e)および(f)と同一である。

[0090] 図11(b)によれば、Cu層の厚さが厚くなると、Cu層と $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層と界面にわずかながら格子歪が確認されたが、図11(e)および(f)によれば、Cu層は、bccの結晶構造を維持していることが分かった。このことから、Cu層がbccの結晶構造を維持し、界面において良好な格子整合となるためには、Cu層の厚さの上限は、5nmとすることが好ましいといえる。なお、下限については、1nm以下の厚さであっても、Cu層を平坦かつ均一に成膜できる場合には、bccの結晶構造を維持するため、特に制限を設けないが、スパッタ等の汎用的な手法によって効率よく成膜する

ことを考慮すれば、1.5 nm以上とすることが好ましい。

[0091] 図12は、例1～例5の試料のMR比のCu層の厚さ依存性を示す図である。

図13は、MR比の $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ のp値依存性を示す図である。

[0092] 図12によれば、いずれの試料もCu層の厚さが減少するにともない、MR比が増大し、また、Cu層の厚さがさらに減少し、強磁性層が磁氣的に結合すると、MR比が消失した。しかしながら、例2～例4の試料のMR比は、例1および例5の試料のそれよりも全体的に顕著に大きいことが分かる。例えば、例3の試料は、最大で25%を超えるMR比を示した。

[0093] このことから、一对のbccの結晶構造を有する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層と、その間に位置するbccの結晶構造を有するCu層との積層構造であって、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層およびCu層がいずれも単結晶(001)層である場合、このような積層構造は、高いMR比を有する磁気抵抗効果膜として機能することが示された。

[0094] また、例2～例4の試料のMR比の消失の程度は、例1および例5の試料のそれに比べて急峻であった。このことは、例2～例4の試料における $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層とCu層との間の界面は、例1および例5のそれと比べて、格子歪がなく、平滑であることを示唆し、上述の図9の結果に良好に一致した。

[0095] いずれの試料においても、Cu層が1.5 nm以下において強磁性層が磁氣的に結合し、MR比が消失したが、これは、Cu層の膜質や平坦性を向上させることによって、高いMR比を維持できると考える。しかしながら、 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層のp値にも依存するが、Cu層の厚さが好ましくは1.5 nm以上で顕著に向上し、5 nm以下までは、特別な膜質制御等（例えば、Cu層の成膜時の成膜レートや基板温度の最適化）を要することなく、高いMR比を維持することが示された。

[0096] 例1の試料は、図8を参照して述べたように、fccの結晶構造を示したが、例えば、基板上にbccの結晶構造を有する $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ ($20 \leq p \leq 100$) などのバッファ層を設ければ、強磁性層および非磁性層のいずれ

も bcc の結晶構造を有し、単結晶 (001) 層または (001) 結晶面に優先配向した磁気抵抗効果素子（例えば、 $MgO/Co_{100-p}Fe_p/Co_{90}Fe_{10}/Cu/Co_{90}Fe_{10}/IrMn/Ta$ 等）を提供できることが示唆される。

[0097] 図13には、 Cu 層の厚さが 2.5 nm である例1～例5の試料のMR比の値（丸で示す）と、例1～例5の試料のMR比の最大値（四角で示す）とが示される。例2～例4の試料は、いずれも20%を超える、または、20%程度の大きなMR比を有した。一方、例1や例5の試料は、従来どおりの10%以下の小さなMR比であった。

[0098] このことから、二元系合金となる $Co_{100-p}Fe_p$ 層の p 値は、20以上75以下、好ましくは22以上70以下、より好ましくは25以上65以下であり、なおさらに好ましくは40以上60以下であることが示された。

[0099] 図14は、例3、例6および例7の試料のMR比の Cu 層/ Ag 層の厚さ依存性を示す図である。

[0100] 図14において、例3の試料のMR比の Cu 層の厚さ依存性は、図12のそれと同一である。図14によれば、例6の試料のMR比は、例3の試料のそれよりも小さいものの、例7の試料のMR比よりも大きかった。このことから、例6の試料において、 $Co_{100-p}Fe_p$ 層および Cu 層は、 (001) 結晶面に優先配向しており、これにより大きなMR比が得られる磁気抵抗効果膜として機能することが示唆される。

[0101] 図15は、例3および例8の試料のMR比の Cu 層の厚さ依存性を示す図である。

図16は、例8の試料のMR比および出力電圧のバイアス電圧依存性を示す図である。

[0102] 図15によれば、例8の試料のMR比は、例3の試料のそれよりも大きいことが分かった。このことから、単結晶 (001) 層または (001) 面に優先配向した、強磁性層 ($bcc-Co_{100-p}Fe_p$) と非磁性層 ($bcc-Cu$) とを2以上繰り返した磁気抵抗効果膜を有する磁気抵抗効果素子は、

より大きなMR比を示し、有利であることが分かった。

[0103] 図16によれば、最大3.0Vまでバイアス電圧を変化させても、例8の試料のMR比は変化せず、出力電圧は線形に変化した。このことから、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効果による高い電圧出力を得るのに有利であることが示された。

[0104] 図17は、例3および例7の試料のMR比の温度依存性を示す図である。

図18は、例3および例7の試料の抵抗(R)および抵抗変化(dR)の温度依存性を示す図である。

[0105] 図17によれば、例3の試料は、温度の低下に伴い、さらにMR比が増大し、10Kにおいて最大40%のMR比が得られた。一方、例7の試料は、温度を低下させてもMR比は10%程度の小さな値を維持し、変化しなかった。

[0106] 図18では、図17で得られたMR比の温度依存性を抵抗Rと抵抗変化dRとに分けて示す。抵抗Rの温度依存性に着目すると、例3の試料および例7の試料は、いずれも、同様の温度依存性を示した。しかしながら、抵抗変化dRに着目すると、例3の試料の抵抗変化dRは、温度の低下に伴い上昇したが、例7の試料のそれは、温度の低下に伴い減少した。このことは、低温で電子の平均自由行程が長くなった際に、界面散乱のスピン非対称性の影響が大きくなり、MR比が向上したことを示し、例3の試料におけるCo₁₀₀-pFe_p層とCu層とのマジョリティスピン電子の界面のバンド整合は、例7の試料におけるCo₁₀₀-pFe_p層とAg層とのそれに比べて高いことを示唆する。

[0107] 図19は、例9の試料のMR比の外部磁場依存性を示す図である。

[0108] 図19によれば、例9の試料は、上下に同じ膜厚と同じ組成のCo₅₀Fe₅₀を用いているため、保磁力差が生じず、また反強磁性体による交換バイアスを加えるわけでもないが、外部磁場ゼロで明確な反平行状態が実現されており、31%もの大きなMR比を示した。このことは、例9の試料において、Co₅₀Fe₅₀層の磁化は、Cuを介した層間交換相互作用によって反平行状

態となったことを示す。従って、これを複数積層させた人工格子を形成すれば、隣接する $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層が交互に反平行を向いた磁化状態が実現されるため、さらに大きなMR比を示す磁気抵抗効果素子が期待できる。

[0109] 図20は、 bcc-Cu 、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ および bcc-Fe の第一原理計算によるバンド構造を示す図である。

図21は、(a) bcc-Co 、(b) $\text{bcc-Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ および (c) $\text{bcc-Co}_{25}\text{Fe}_{75}$ の第一原理計算によるバンド構造を示す図である。

[0110] 図20(a)は、 bcc-Cu のバンド構造であり、図20(b) および図20(c)は、それぞれ、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ のマジョリティスピン状態およびマイノリティスピン状態のバンド構造であり、図20(d) および図20(e)は、それぞれ、 bcc-Fe のマジョリティスピン状態およびマイノリティスピン状態のバンド構造である。

[0111] 図20(a)と図20(b)とを比較する(例えば、フェルミレベル近傍に着目すると)、 bcc-Cu のバンド分散は、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ のマジョリティスピン状態と極めて類似しており、バンド構造が良好にマッチングしている。なお、図20(a)と図20(c)とを比較すれば、 bcc-Cu のバンド分散は、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ のマイノリティスピン状態とは異なる。また、図20(a)と、図21(a)～(c)とをそれぞれ比較すると、 bcc-Cu のバンド分散は、 bcc-Co 、 $\text{bcc-Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ 、 $\text{bcc-Co}_{25}\text{Fe}_{75}$ のマジョリティスピン状態と極めて類似しており、バンド構造が良好にマッチングしている。

[0112] この結果、アップスピン電子は、ダウンスピン電子に比べて、 $\text{bcc-Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ 層(ただし、 $0 \leq p \leq 75$ を満たす)と bcc-Cu 層との間を容易に移動できることになる。このような高いスピンの非対称性により、大きなMR比が得られる。

[0113] 一方、 $\text{bcc-Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層と同様の bcc-Fe は、 bcc-Cu との格子不整合も小さいものの、図12の例5の試料に示すように、MR比は小さかった。これは、図20(a)と図20(d)および図20(e)との

比較から、 $bcc-Cu$ のバンド分散は、 $bcc-Fe$ のマジョリティスピン状態ともマイノリティスピン状態とも異なり、フェルミ準位 ($E - E_F = 0$) におけるバンド構造の整合性がないためと考えられる。

[0114] これらから、MR比の向上には、強磁性層と非磁性層との格子整合のみならず、強磁性層と非磁性層との間のバンド構造のマッチングも重要であることが示された。本願発明者らは、体心立方 (bcc) の結晶構造を有する、一般式 $Co_{100-p}Fe_p$ で表される層 (パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 75$ を満たす) である強磁性層と、体心立方 (bcc) の結晶構造を有する、 Cu となる層である非磁性層とが、図20、図21に示すように、良好なバンド構造のマッチングを示すことを見出し、さらに、これらが、単結晶 (001) 層であるか、または、(001) 結晶面に優先配向とすることにより、界面にて格子が歪むことなく良好に格子整合し、高いMR比を達成する磁気抵抗効果素子の開発に成功した。

産業上の利用可能性

[0115] 本発明の磁気抵抗効果素子は、CIP型で使用しても高いMR比を示すので、このような高いMR比による磁場に対する高い感度を有する磁気センサ、再生ヘッドおよび磁気記録再生装置に適用される。

符号の説明

[0116] 100、100_A、100_B、300、400 磁気抵抗効果素子
 110、310、410 磁気抵抗効果膜
 120、120_n、140 強磁性層
 130、130_n 非磁性層
 150 基板
 320 反強磁性層
 500 磁気センサ
 600 磁気ヘッド
 610 再生ヘッド
 620 記録ヘッド

- 6 1 1 スライダ
- 6 1 2、6 2 1、6 2 3 絶縁層
- 6 1 3 下部シールド層
- 6 1 4 下部ギャップ絶縁層
- 6 1 5 磁区制御層
- 6 1 6 一对の端子層
- 6 1 7 上部ギャップ絶縁層
- 6 1 8 上部シールド層
- 6 2 2 下部磁極
- 6 2 4 記録ギャップ層
- 6 2 5 上部磁極
- 6 2 6 コイル
- 7 0 0 磁気記録再生装置
- 7 1 0 ハウジング
- 7 2 0 アクチュエータ
- 7 3 0 アクチュエータアーム
- 7 4 0 ヘッドスライダ
- 7 5 0 磁気記録媒体

請求の範囲

- [請求項1] 磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、
前記磁気抵抗効果膜は、少なくとも、一対の強磁性層と、前記一対の強磁性層の間に位置する非磁性層とを備え、
前記一対の強磁性層のそれぞれは、体心立方（b c c）の結晶構造を有し、一般式 $\text{Co}_{100-p}\text{Fe}_p$ で表される層（パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 75$ を満たし、前記一対の強磁性層のそれぞれにおける p は、同一または別異である）であり、
前記非磁性層は、体心立方（b c c）の結晶構造を有し、Cu となる層であり、
前記一対の強磁性層、および、前記非磁性層のそれぞれは、単結晶（0 0 1）層であるか、または、（0 0 1）結晶面に優先配向している、磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 前記パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 70$ を満たす、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項3] 前記パラメータ p は、 $p = 0$ または $22 \leq p \leq 70$ を満たす、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 前記パラメータ p は、 $0 \leq p \leq 65$ を満たす、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 前記パラメータ p は、 $p = 0$ 、または、 $25 \leq p \leq 65$ を満たす、請求項4に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項6] 前記非磁性層は、1.5 nm以上5 nm以下の範囲の厚さを有する、請求項1～5のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項7] 前記一対の強磁性層のそれぞれは、1.5 nm以上15 nm以下の範囲の厚さを有する、請求項1～6のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項8] 前記磁気抵抗効果膜は、前記一対の強磁性層のうち一方と磁気的に結合する反強磁性層をさらに備える、請求項1～7のいずれかに記載

の磁気抵抗効果素子。

[請求項9] 前記反強磁性層は、 IrMn 層、 FeMn 層、 PtMn 層および CoO 層からなる群から選択される、請求項8に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項10] 前記磁気抵抗効果膜は、前記一对の強磁性層と、前記一对の強磁性層の間に位置する前記非磁性層とからなる多層構造を2以上有し、前記2以上の多層構造のそれぞれは絶縁層によって分離している、請求項1～9のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項11] 前記磁気抵抗効果膜は、前記強磁性層と前記非磁性層とが繰り返し積層された人工格子構造である、請求項1～9のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項12] 前記強磁性層のそれぞれは、異なる保磁力を有する、請求項1～7のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項13] 前記磁気抵抗効果膜は基板上に位置し、
前記基板は、ガラス基板、アルミナ基板、熱酸化膜を有する／有しない Si 単結晶、 MgO 単結晶、サファイア単結晶、 SrTiO_3 単結晶、 MgAl_2O_4 単結晶および TiO_2 単結晶からなる群から選択される、請求項1～12のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項14] 前記基板は、バッファ層をさらに備える、請求項13に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項15] 前記磁気抵抗効果膜は、キャップ層をさらに備える、請求項1～14のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項16] 前記磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果膜の面内方向に電流を流すCIP型、または、前記磁気抵抗効果膜の積層方向に電流を流すCPP型である、請求項1～15のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項17] 磁気抵抗効果素子を備えた磁気センサであって、
前記磁気抵抗効果素子は、請求項1～16のいずれかに記載の磁気

抵抗効果素子である、磁気センサ。

[請求項18] 磁気抵抗効果素子を備えた磁気記録再生装置用の再生ヘッドであり

、

前記磁気抵抗効果素子は、請求項1～16のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子である、再生ヘッド。

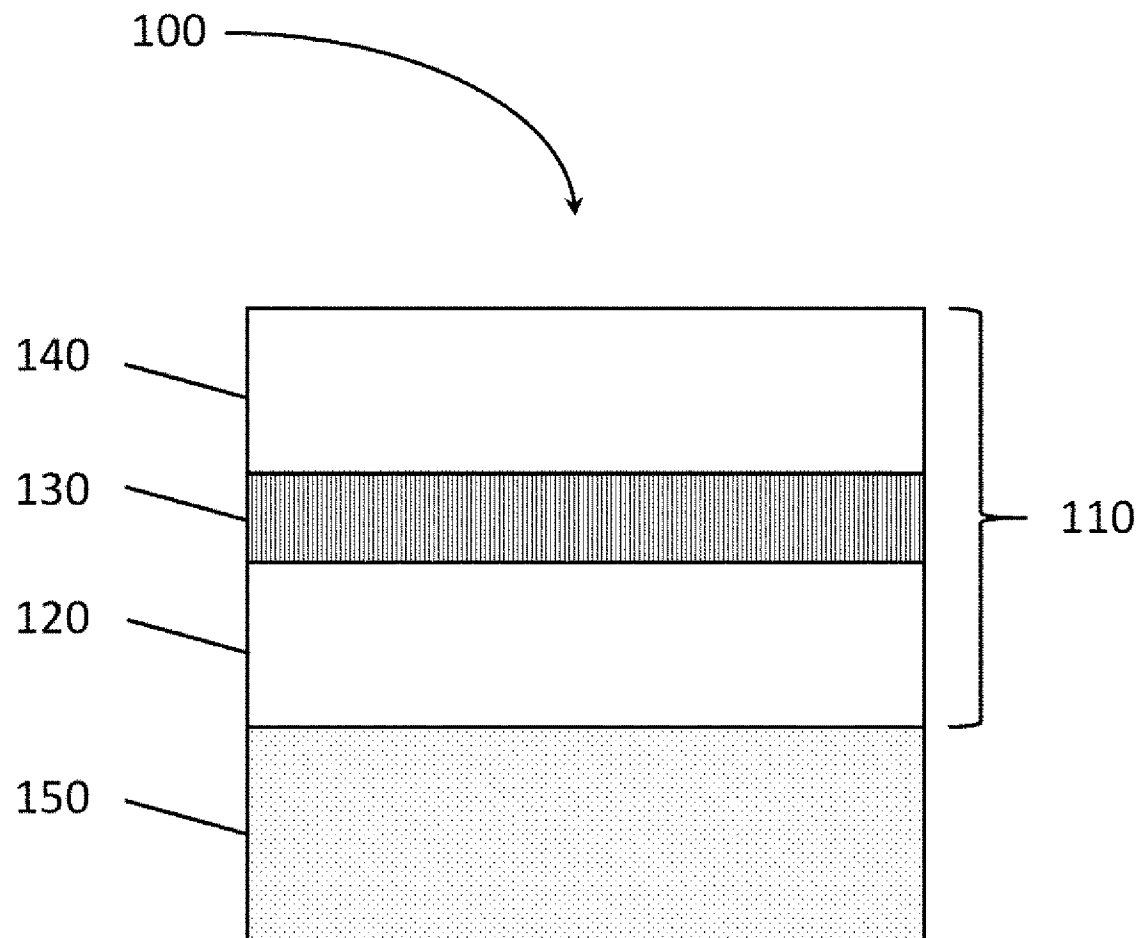
[請求項19] 再生ヘッドを備えた磁気記録再生装置であって、

前記再生ヘッドは、請求項18に記載の再生ヘッドである、磁気記録再生装置。

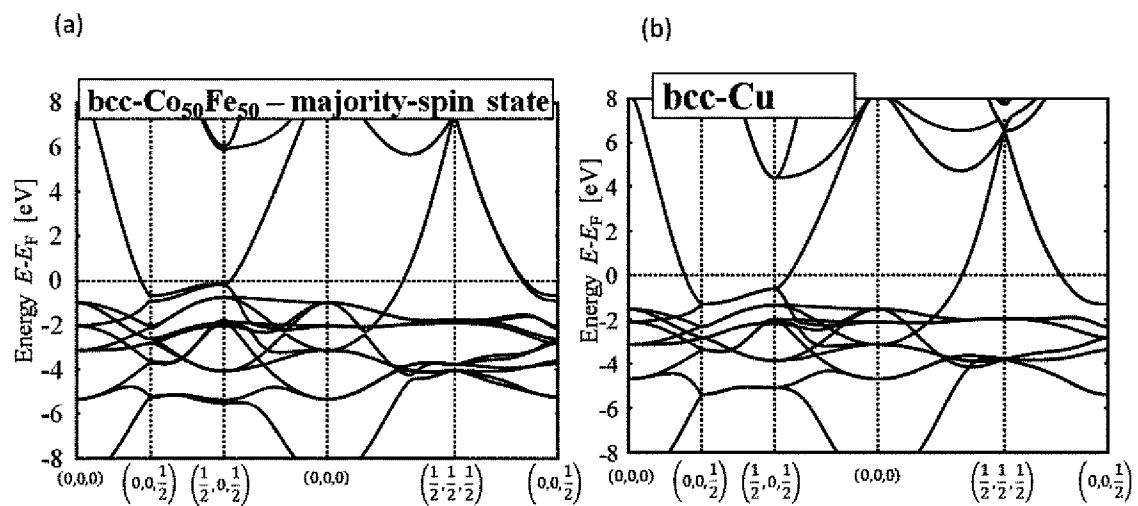
[請求項20] 記録ヘッドをさらに備える、請求項19に記載の磁気記録再生装置

。

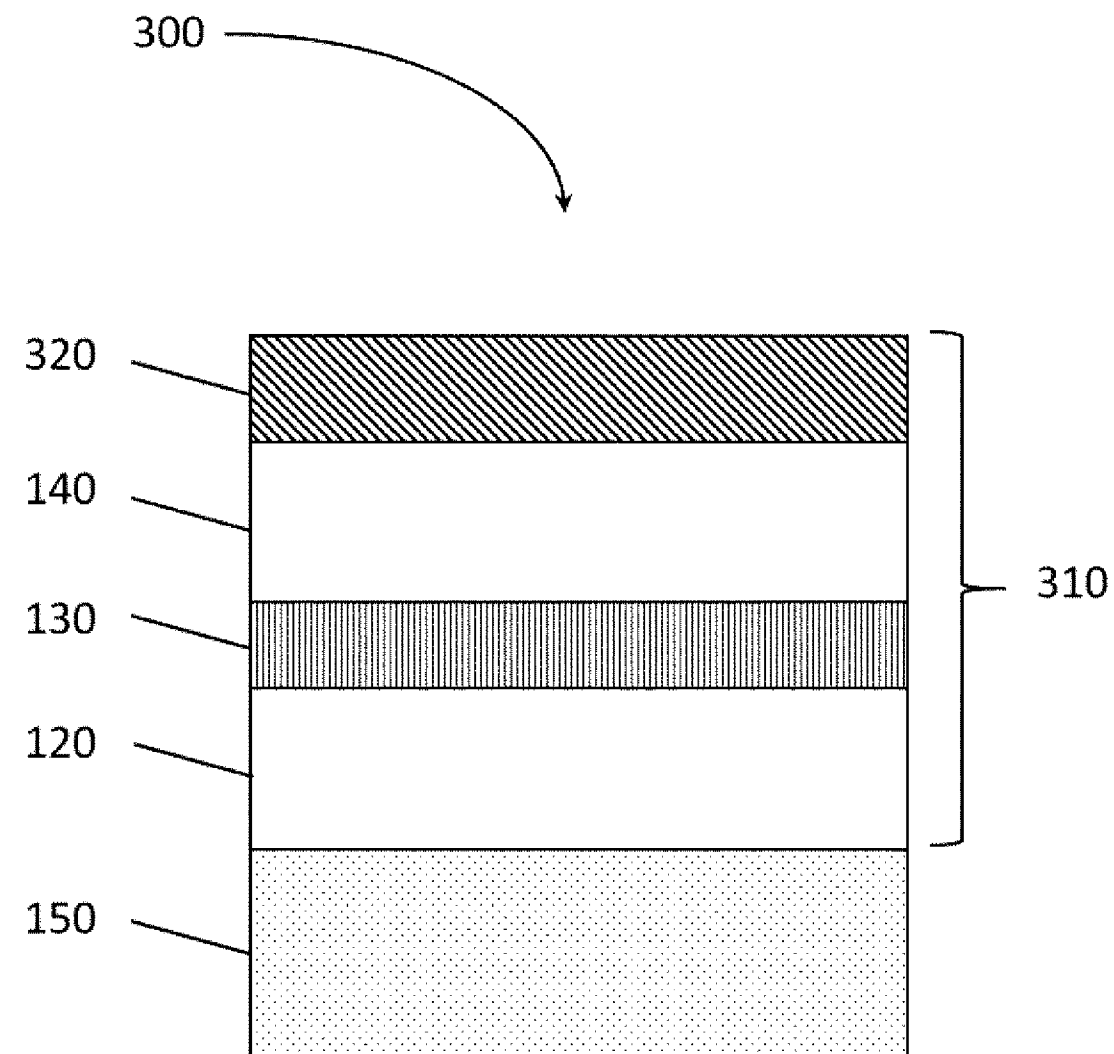
[図1]



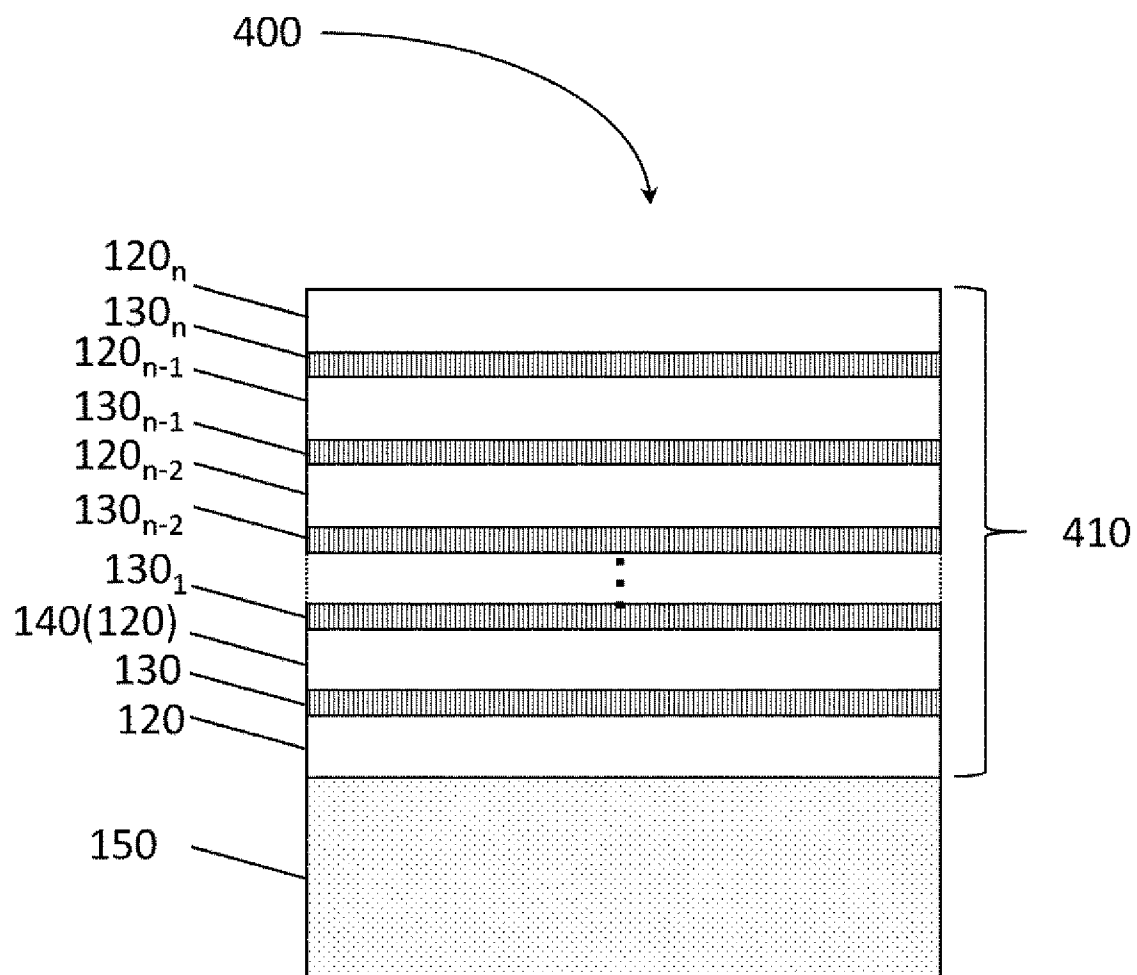
[図2]



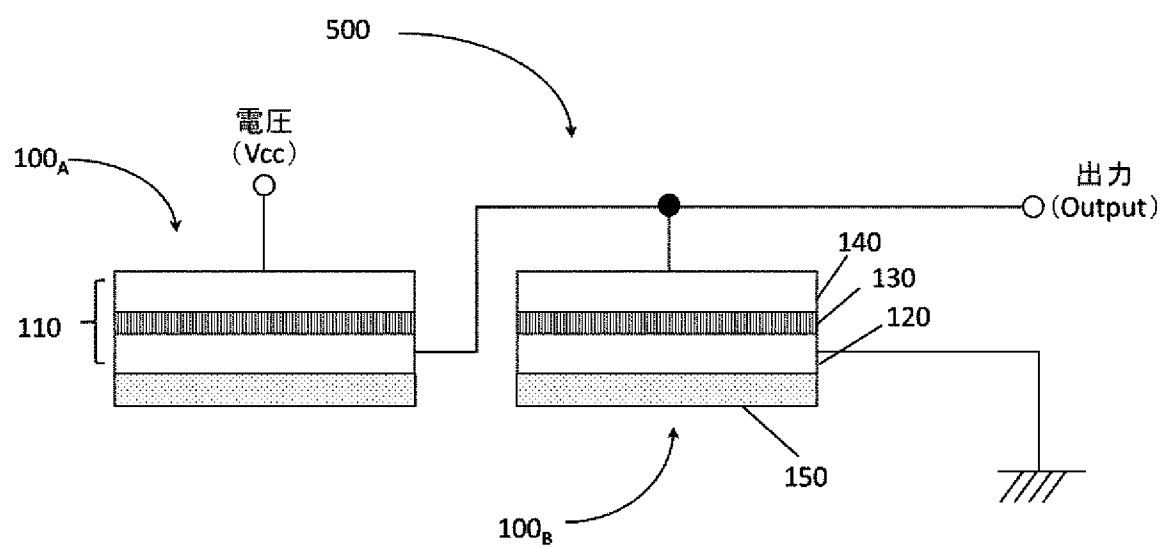
[図3]



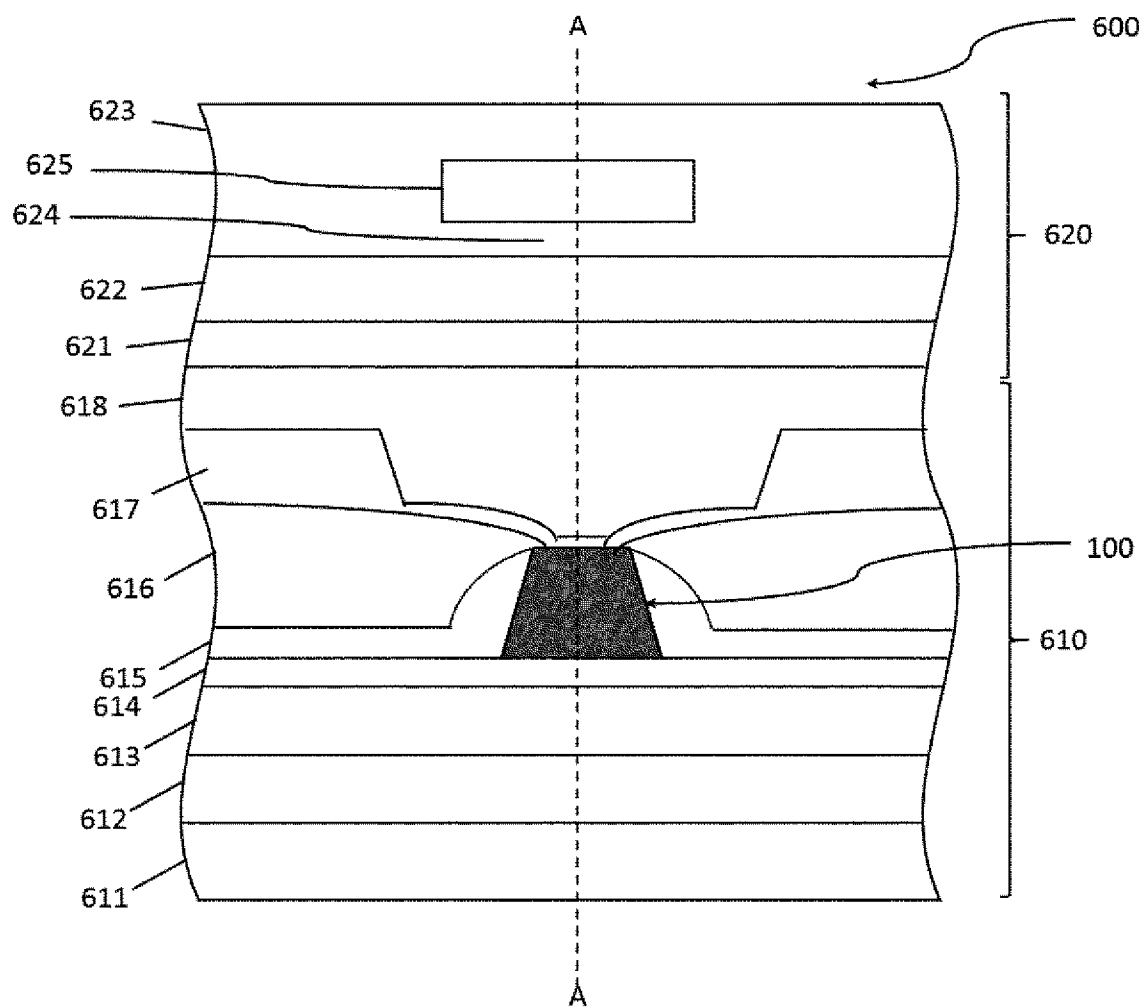
[図4]



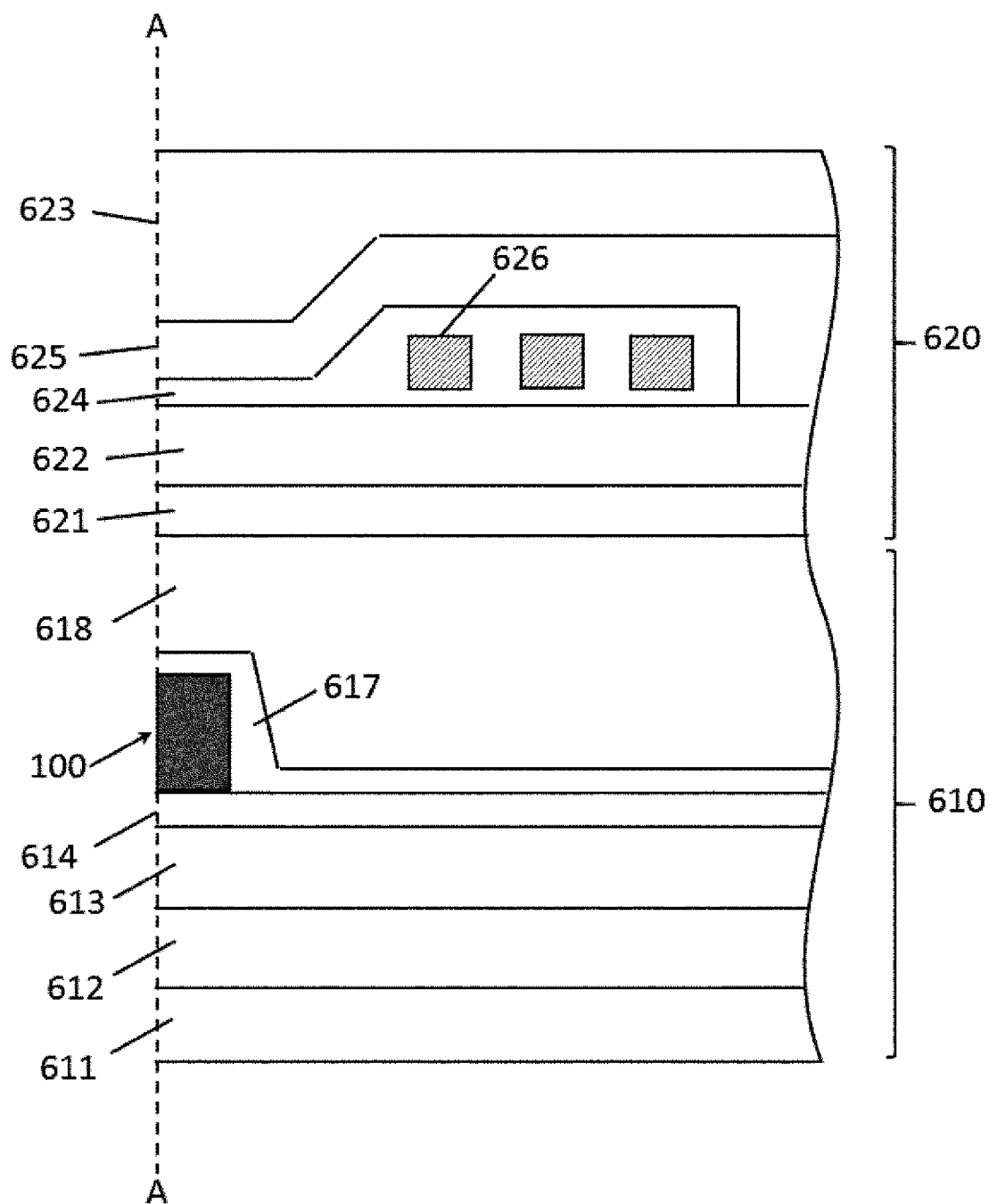
[図5]



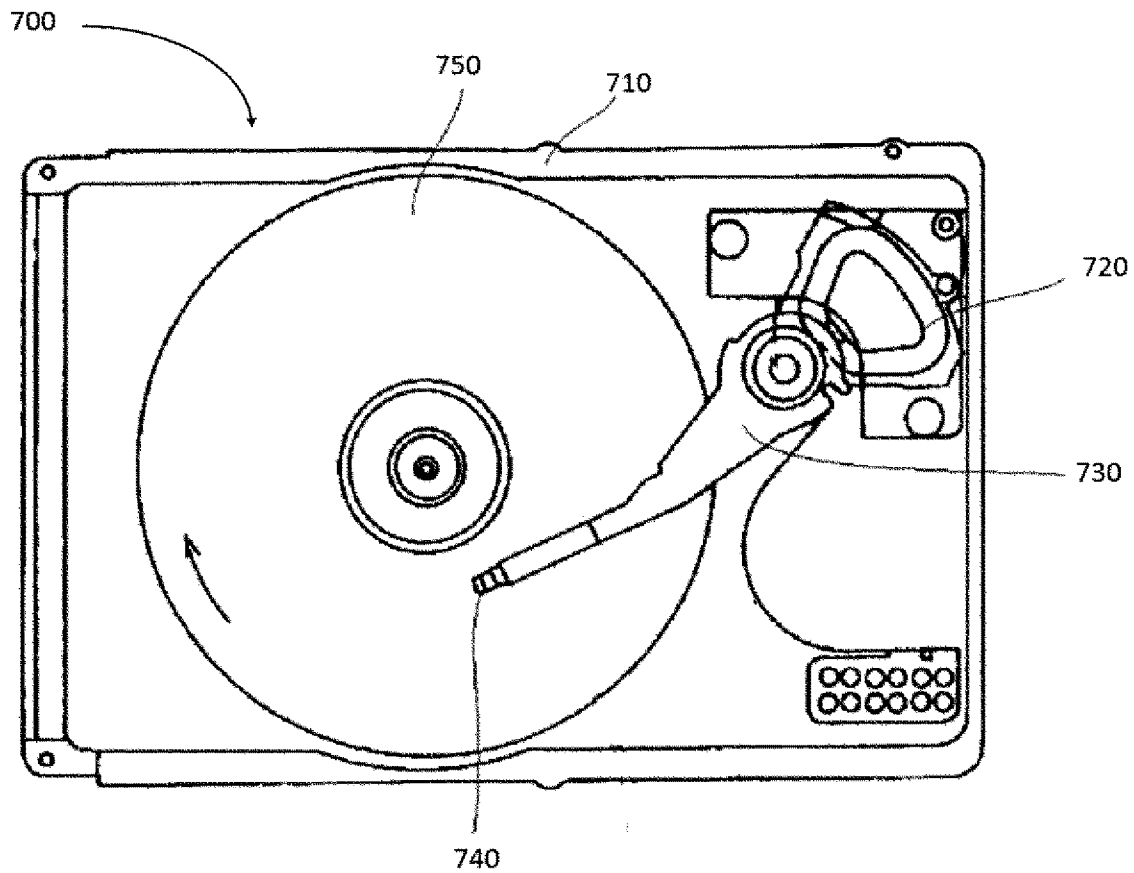
[図6A]



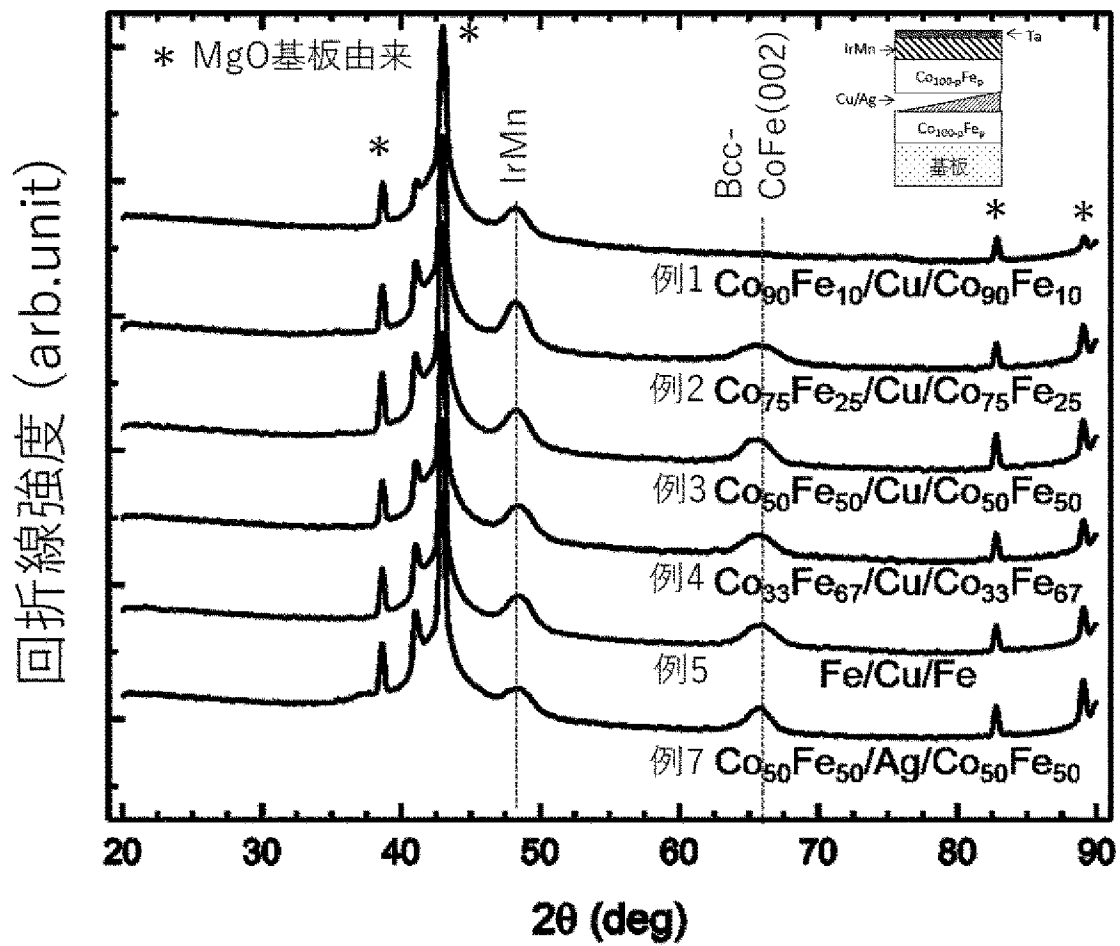
[図6B]



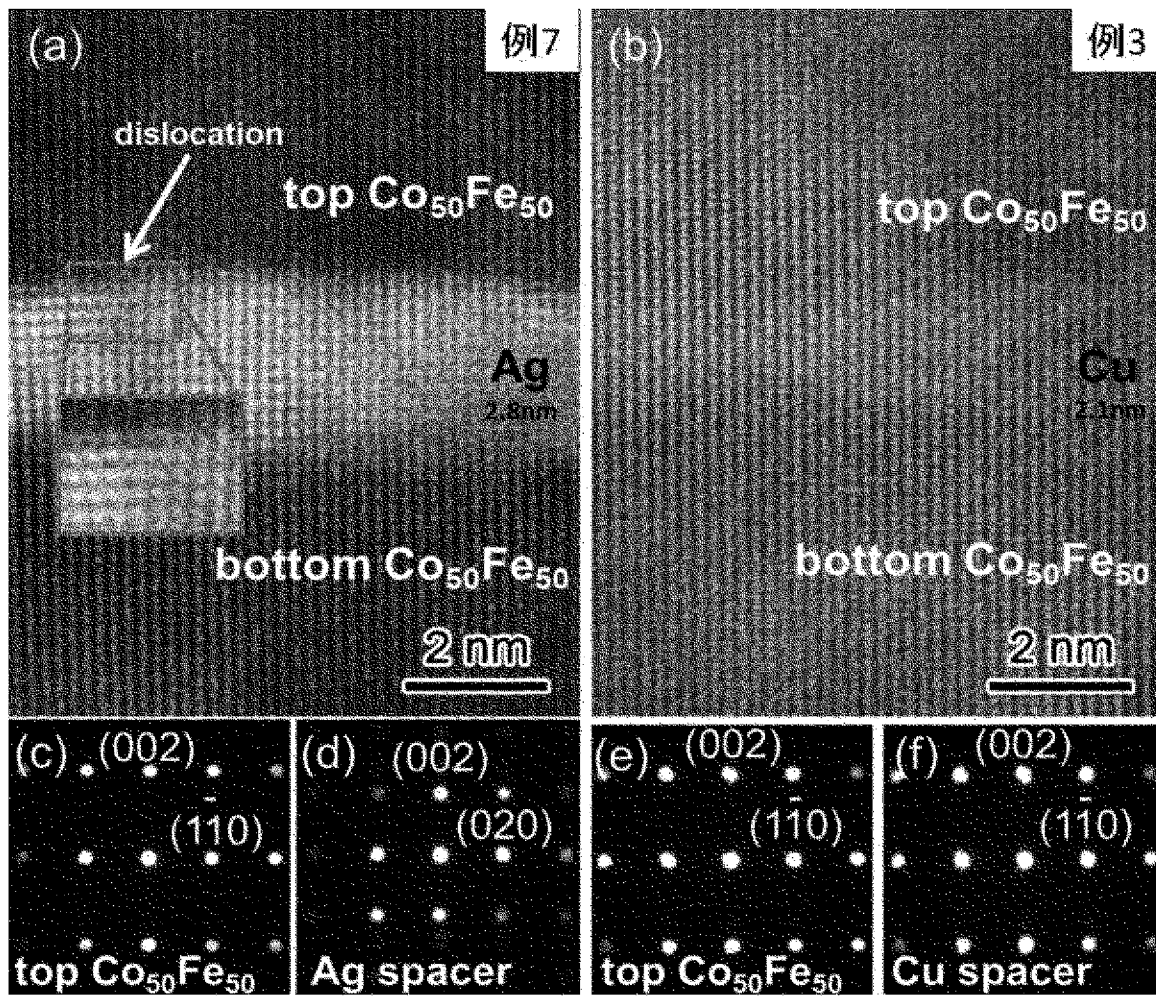
[図7]



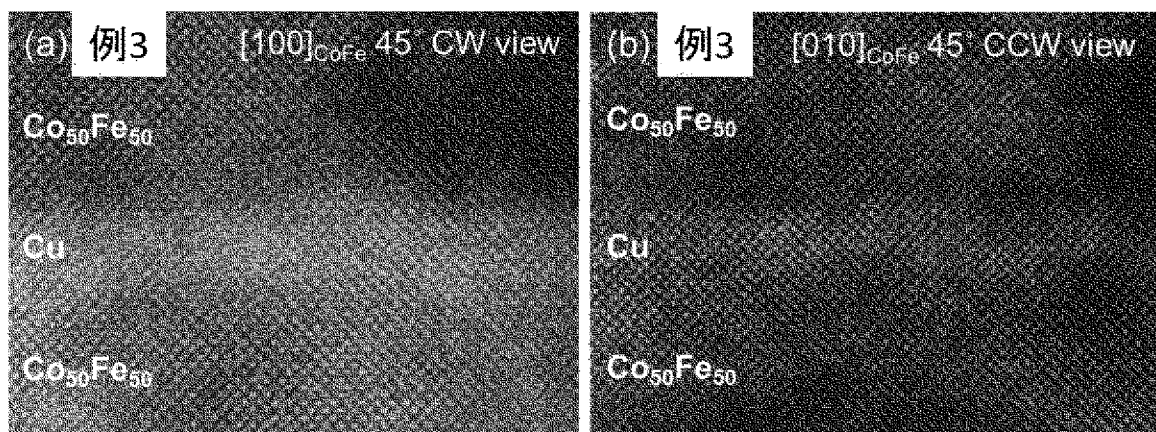
[図8]



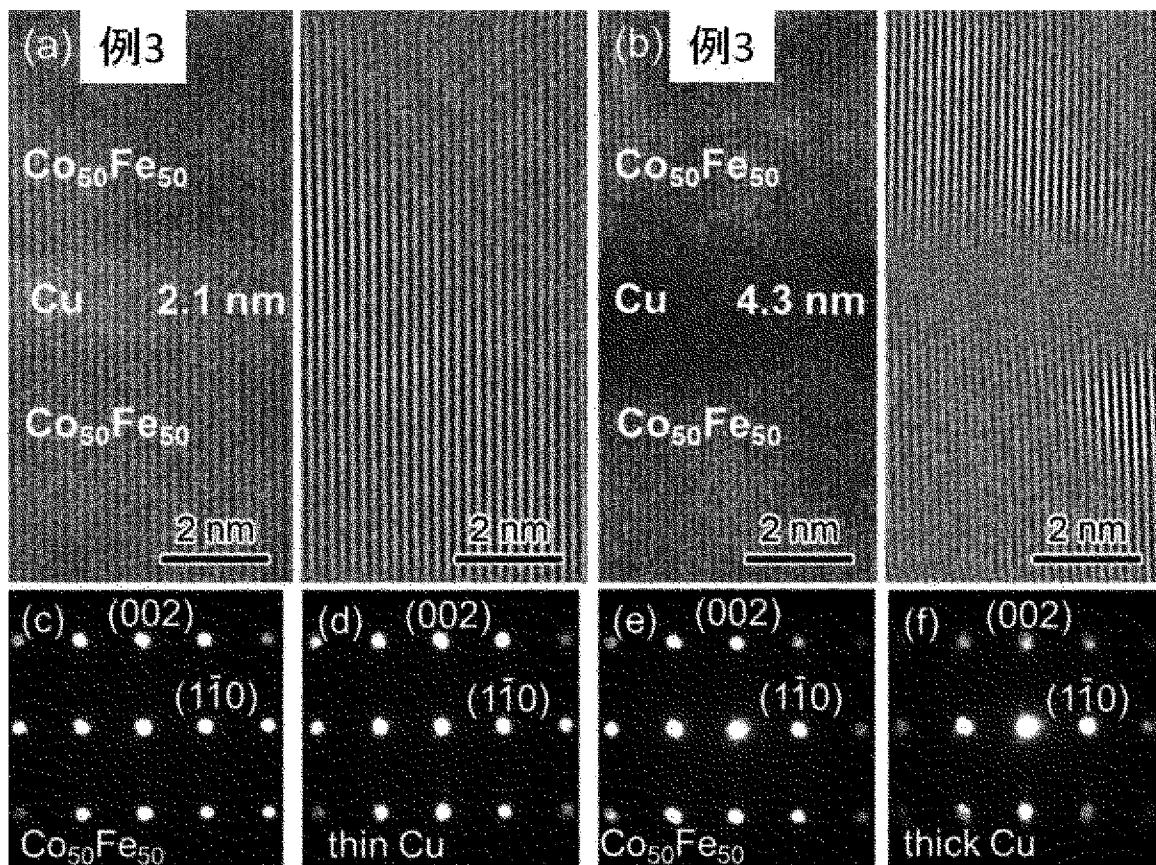
[図9]



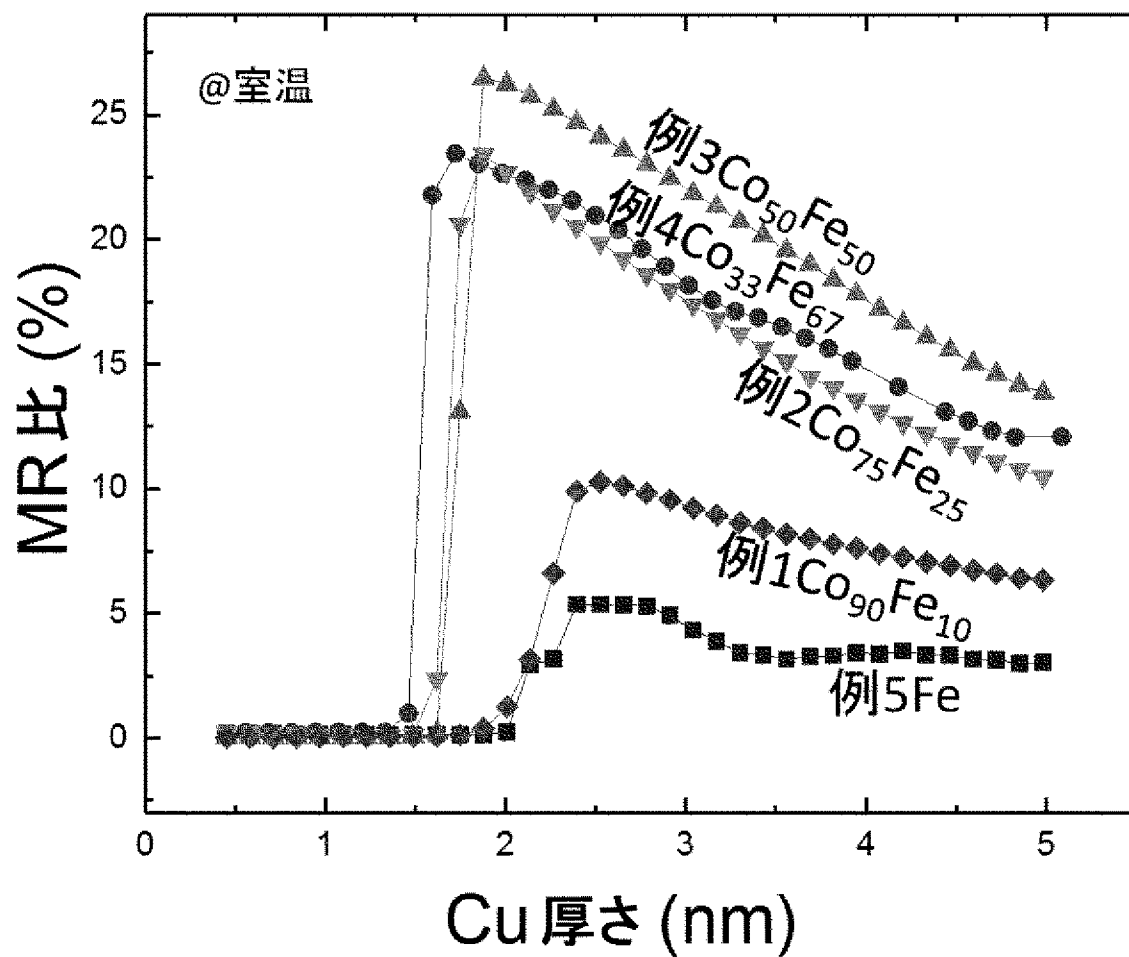
[図10]



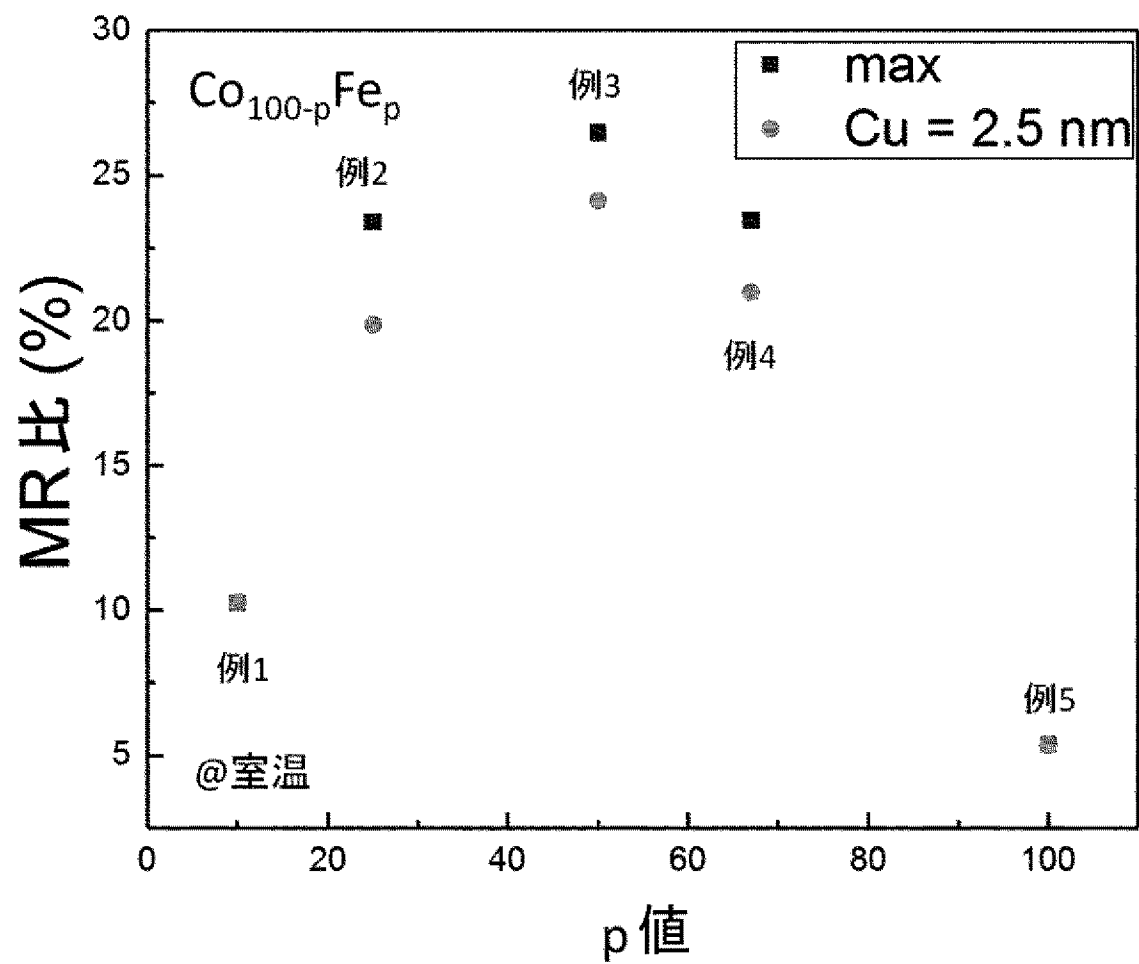
[図11]



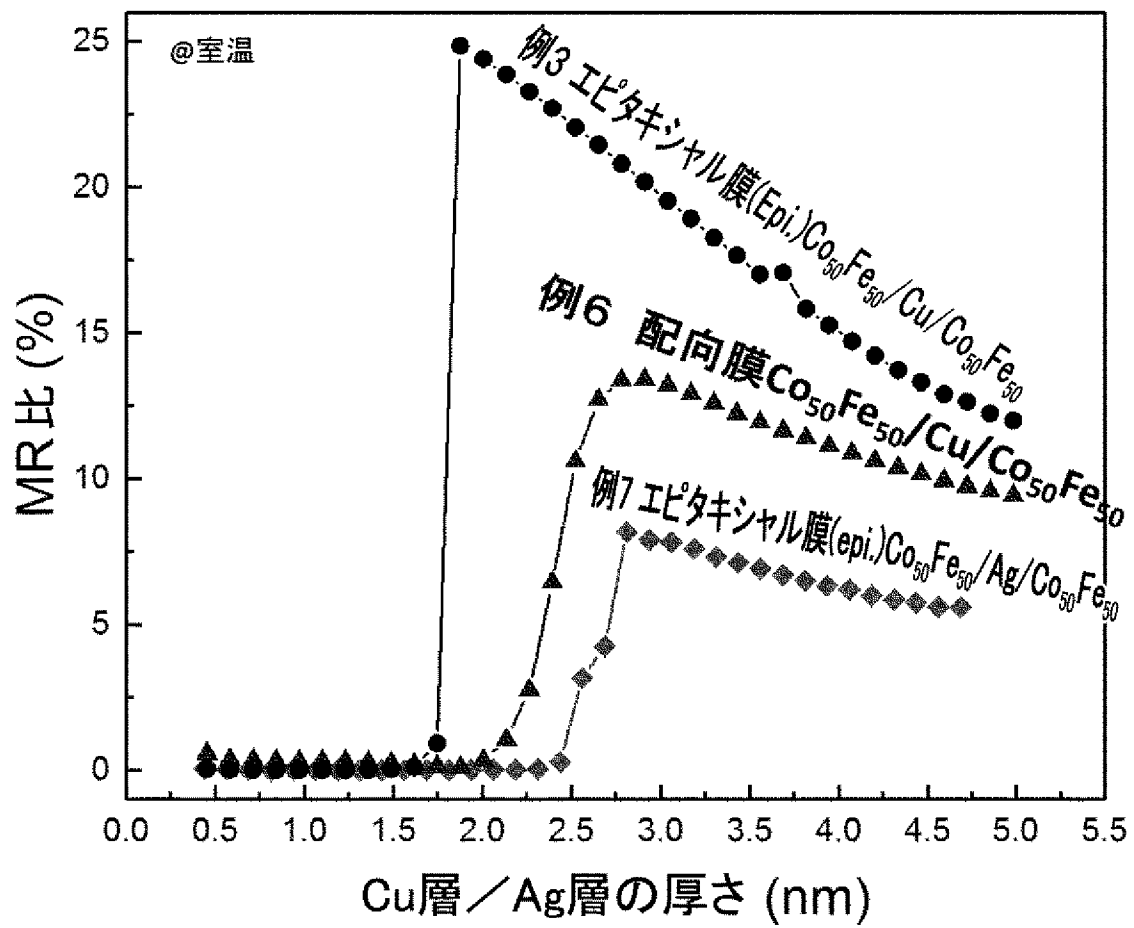
[図12]



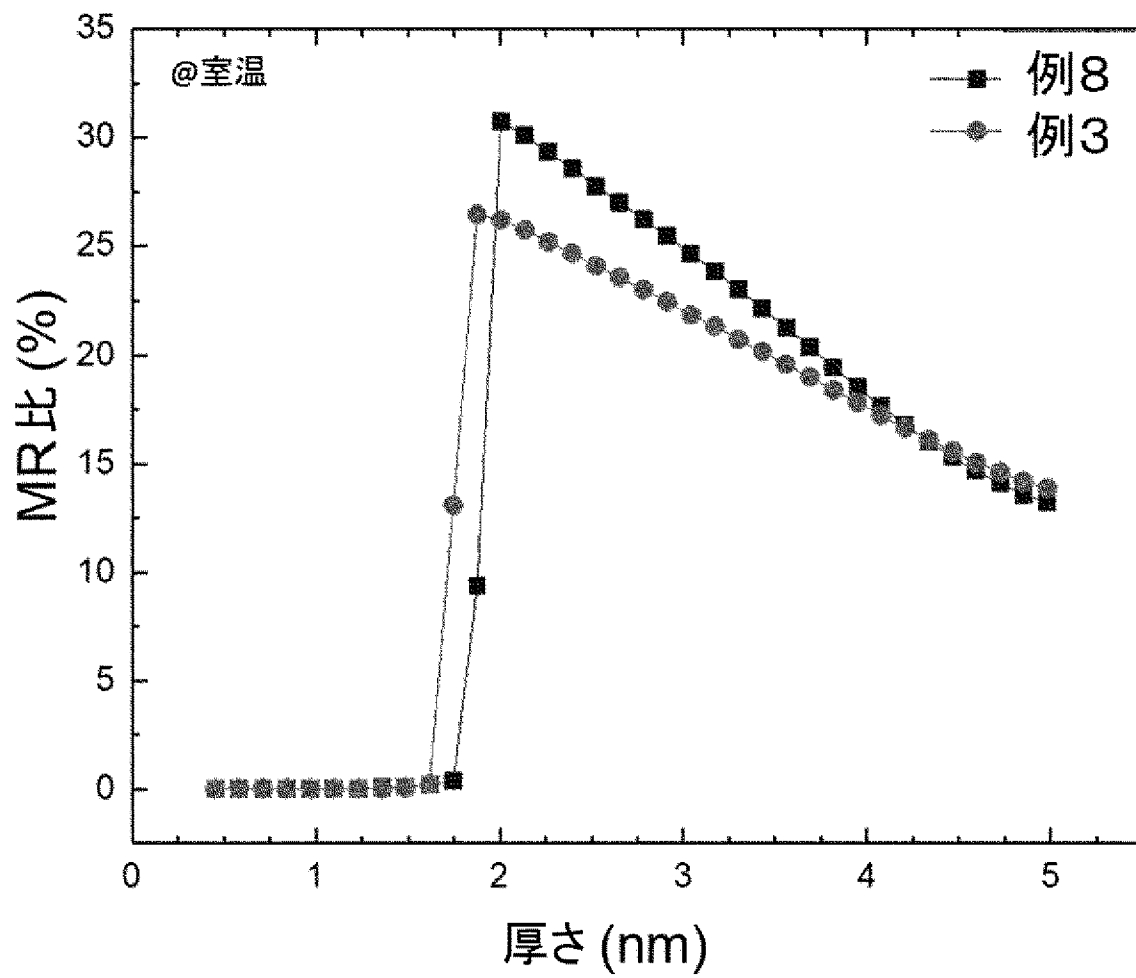
[図13]



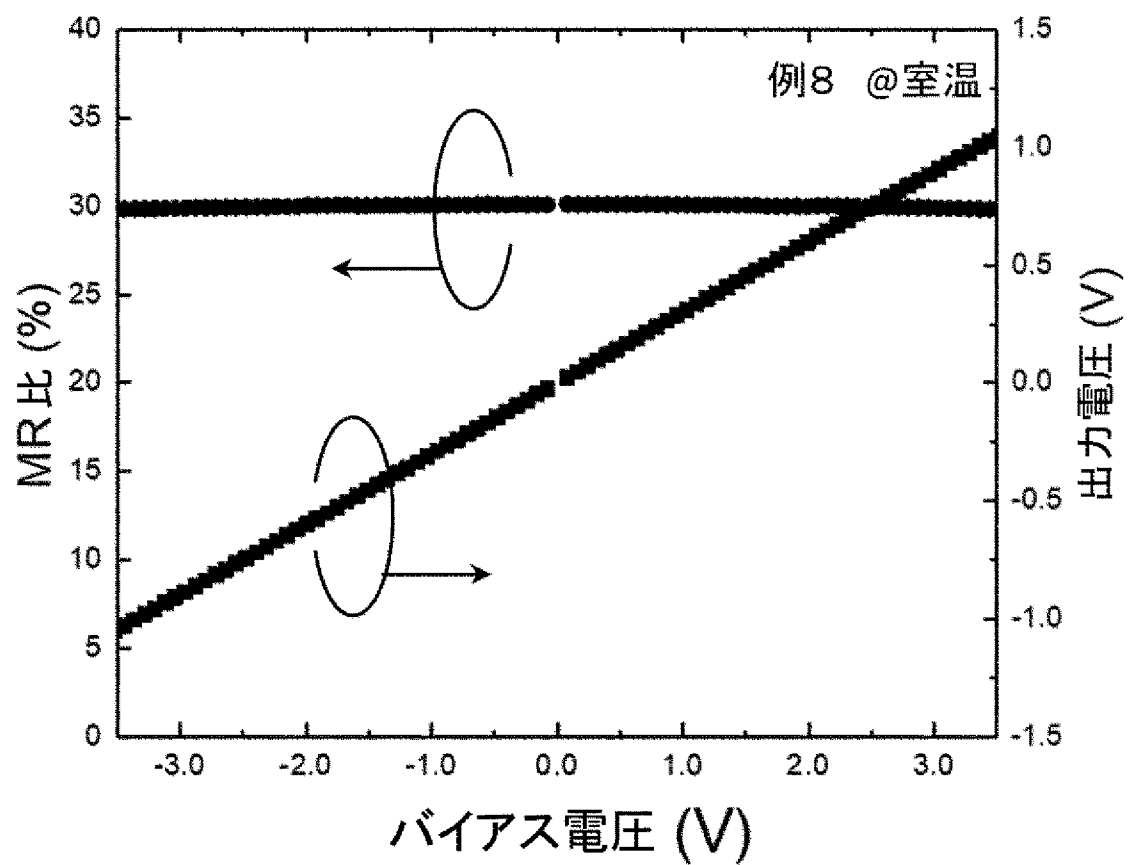
[図14]



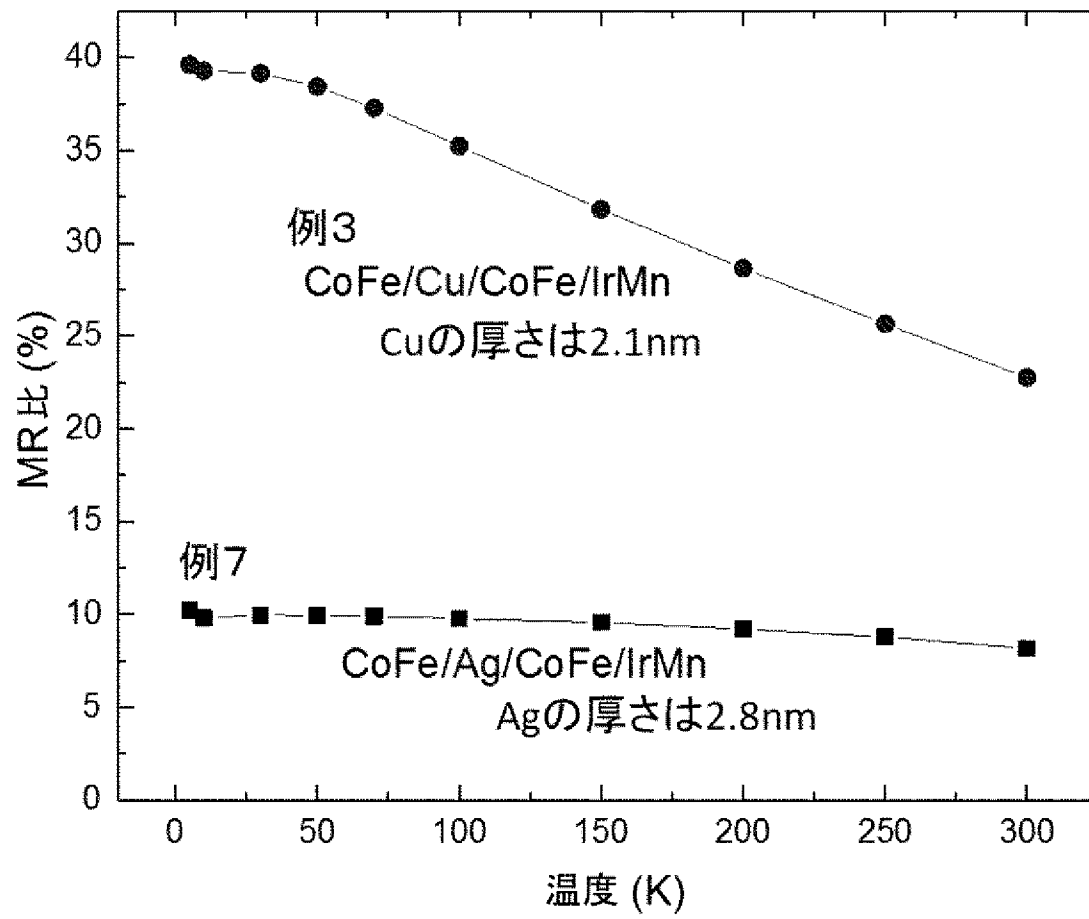
[図15]



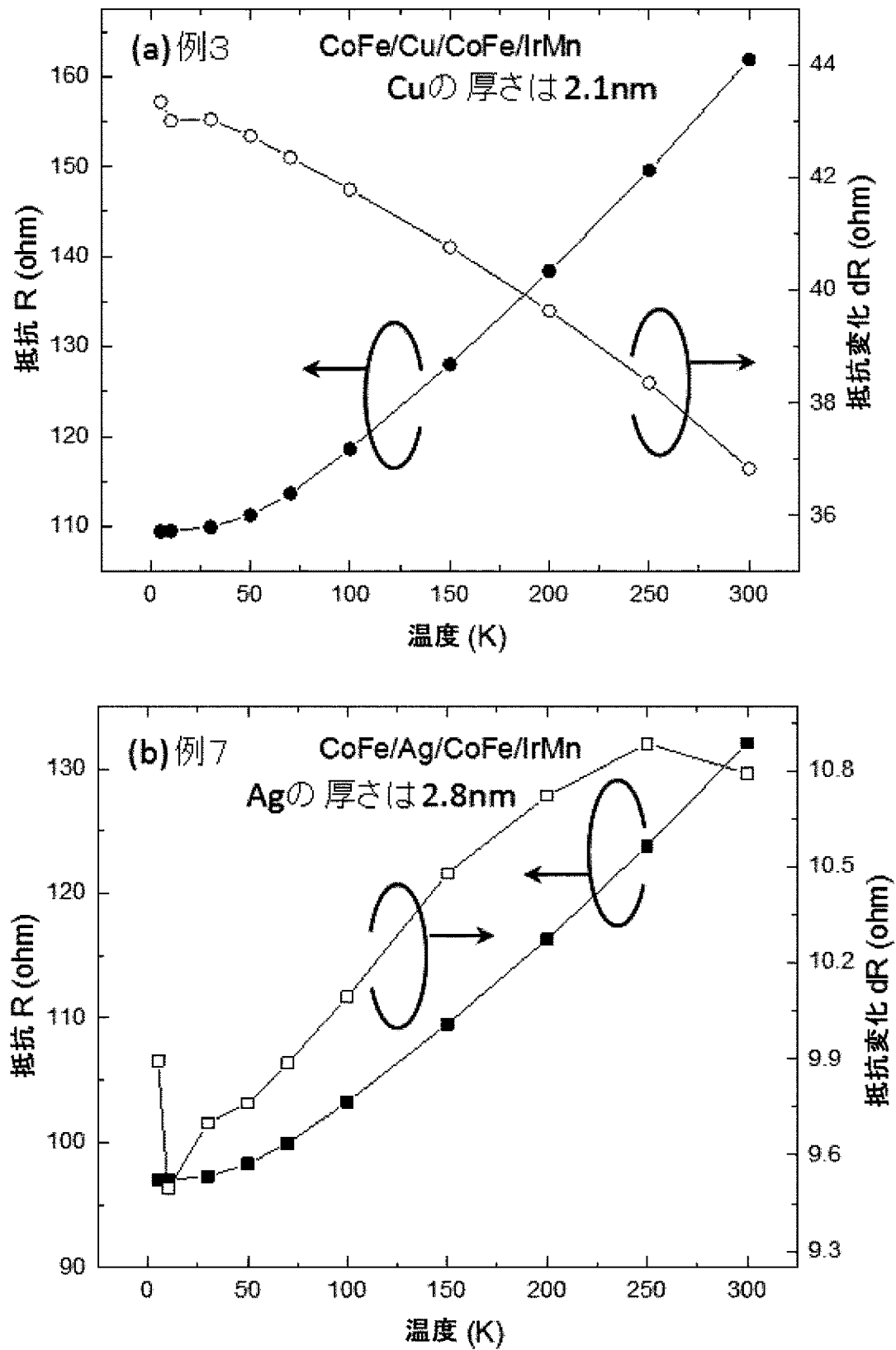
[図16]



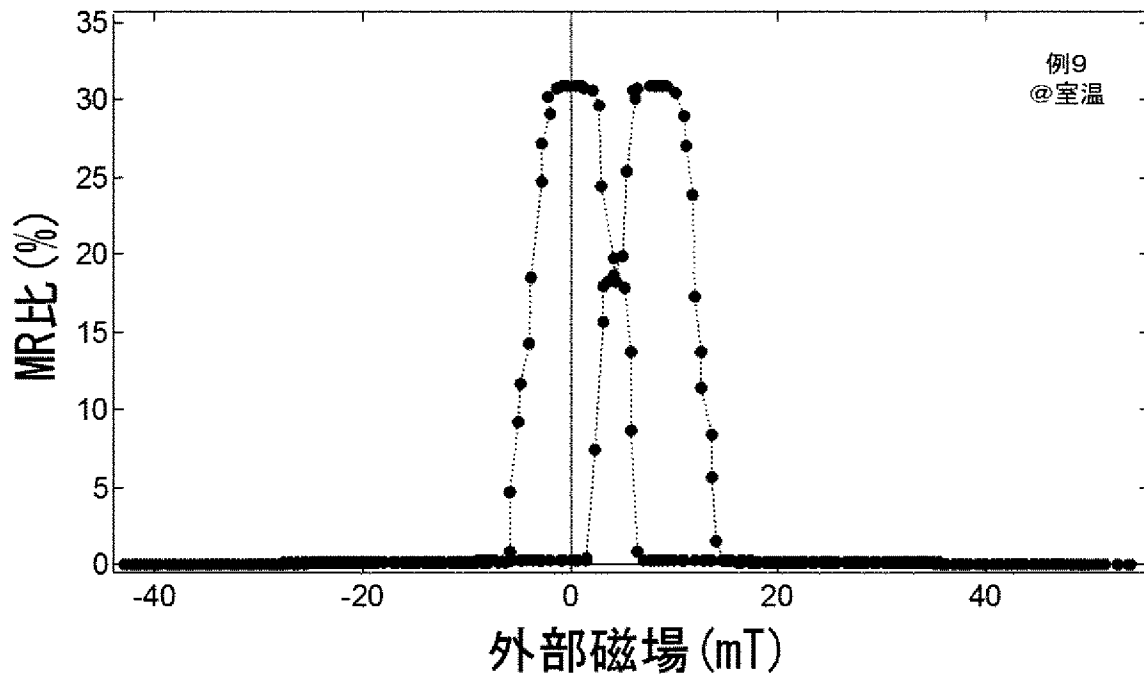
[図17]



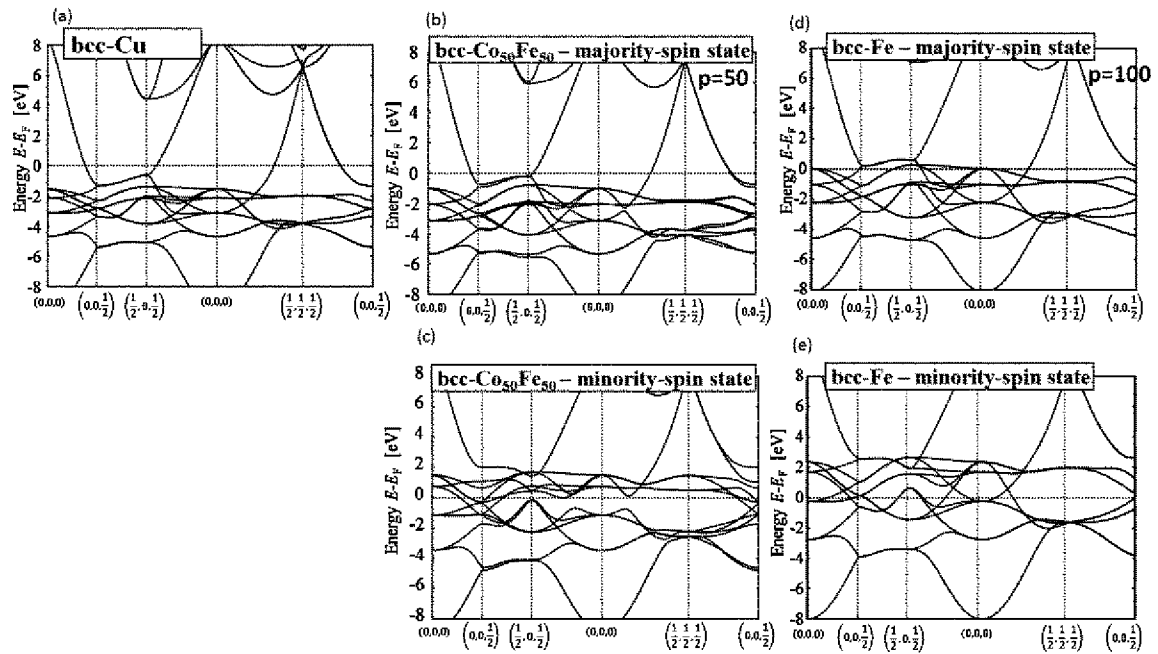
[図18]



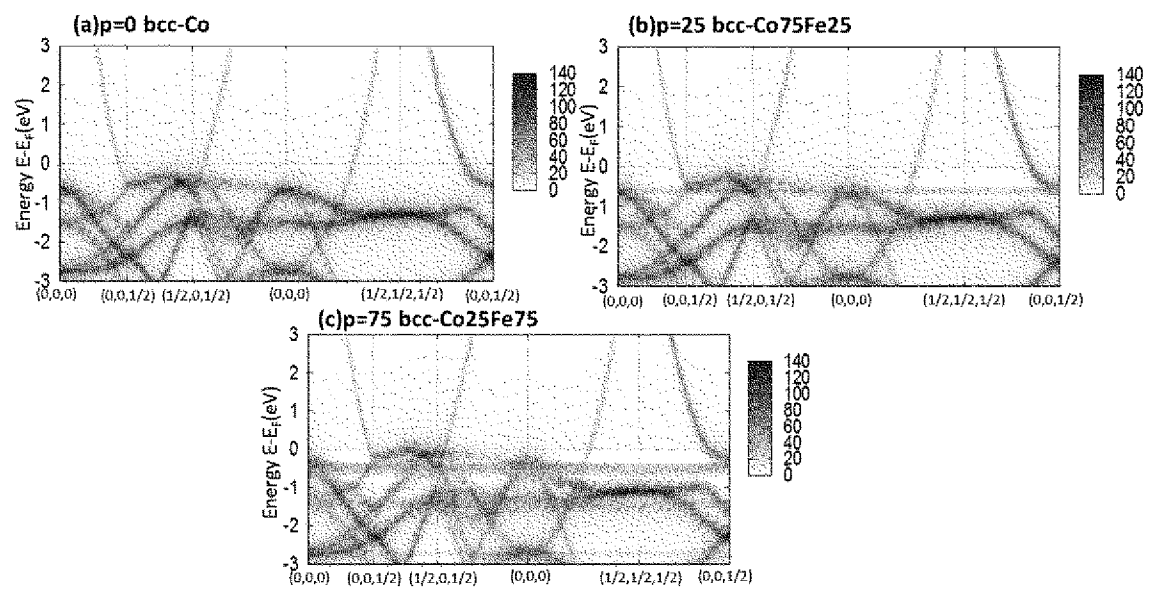
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/025635

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G11B5/39(2006.01)i, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/30(2006.01)i, H01L43/08(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)

Int.Cl. G11B5/39, H01F10/16, H01F10/30, H01L43/08, H01L43/10

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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	US 2011/0007420 A1 (TDK CORPORATION) 13 January 2011, paragraphs [0039]-[0077], fig. 1-6	1-9, 12, 15-20
Y	(Family: none)	10, 11, 13-20
Y	JP 2015-049927 A (SEAGATE TECHNOLOGY LLC) 16 March 2015, paragraphs [0017]-[0019], fig. 1 & US 2015/0062735 A1, paragraphs [0020]-[0022], fig. 1 & CN 104424961 A & KR 10-2015-0026913 A	10, 13-20



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

04.09.2019

Date of mailing of the international search report

17.09.2019

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/025635

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 06-325934 A (TOSHIBA CORPORATION) 25 November 1994, paragraphs [0016], [0064], [0103]-[0119], fig. 4 & US 5549978 A, column 3, lines 41-53, column 10, lines 12-18, column 24, line 45 to column 27, line 24, fig. 6 & KR 10-1994-0010134 A	11, 13-20
A	JP 2015-212996 A (TOSHIBA CORPORATION; TDK CORPORATION) 26 November 2015, paragraphs [0017]-[0083], fig. 1, 8, 9 (Family: none)	1-20

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G11B5/39(2006.01)i, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/30(2006.01)i, H01L43/08(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 (IPC))

Int.Cl. G11B5/39, H01F10/16, H01F10/30, H01L43/08, 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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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	US 2011/0007420 A1 (TDK CORPORATION) 2011.01.13, 段落 [0039] - [0077]、図1-図6 (ファミリーなし)	1-9, 12, 15-20
Y		10, 11, 13-20
Y	JP 2015-049927 A (シーゲイト テクノロジー エルエルシー) 2015.03.16, 段落 [0017] - [0019]、図1 & US 2015/0062735 A1、段落 [0020] - [0022]、図1	10, 13-20

☑ 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

04.09.2019

国際調査報告の発送日

17.09.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

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)

斎藤 眞

電話番号 03-3581-1101 内線 3541

5 C

3793

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	& CN 104424961 A & KR 10-2015-0026913 A J P 06-325934 A (株式会社東芝) 1994. 1 1. 25, 段落 [0016]、[0064]、[0103] - [01 19]、図4 & US 5549978 A、第3欄第41行-第53行、第 10欄第12行-第18行、第24欄第45行-第27欄第24行、 図6 & KR 10-1994-0010134 A	11, 13-20
A	J P 2015-212996 A (株式会社東芝、TDK株式 会社) 2015. 11. 26, 段落 [0017] - [0083]、 図1、図8、図9 (ファミリーなし)	1-20