(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 11 月 4 日(04.11.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/125641 A1

(51) 国際特許分類:
*H01L 43/08* (2006.01) *H01L 29/82* (2006.01)
*H01L 21/8246* (2006.01) *H01L 43/12* (2006.01)
*H01L 27/105* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2009/058335

(22) 国際出願日: 2009 年 4 月 28 日(28.04.2009)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 東北大学(TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 Miyagi (JP). 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): 大野 英男 (OHNO, Hideo) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 池田 正二(IKEDA, Shoji) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 国立大学法人 東北大学内 Miyagi (JP). 早川 純(HAYAKAWA, Jun) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼２５２０番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内 Saitama (JP). 山本 浩之(YAMAMOTO, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼２５２０番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 筒井 大和(TSUTSUI, Yamato); 〒1600022 東京都新宿区新宿２丁目３番１０号 新宿御苑ビル３階 筒井国際特許事務所 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, 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, PG, PH, PL, PT,

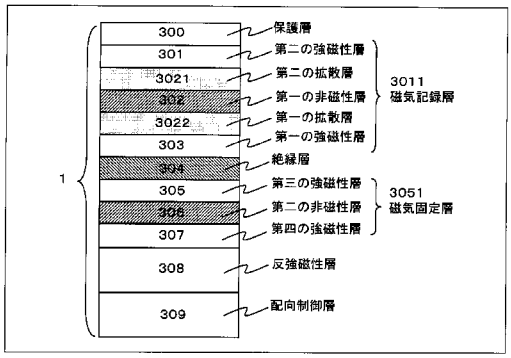
[続葉有]

(54) **Title**: TUNNELING MAGNETIC RESISTANCE EFFECT ELEMENT, AND MAGNETIC MEMORY CELL AND RANDOM ACCESS MEMORY USING THE ELEMENT

(54) 発明の名称 : トンネル磁気抵抗効果素子、それを用いた磁気メモリセル及びランダムアクセスメモリ

[図1]

*図 1*




300 PROTECTION LAYER
301 SECOND FERROMAGNETIC LAYER
3021 SECOND DIFFUSION LAYER
302 FIRST NON-MAGNETIC LAYER
3022 FIRST DIFFUSION LAYER
303 FIRST FERROMAGNETIC LAYER
3011 MAGNETIC RECORDING LAYER
304 INSULATING LAYER
305 THIRD FERROMAGNETIC LAYER
306 SECOND NON-MAGNETIC LAYER
307 FORTH FERROMAGNETIC LAYER
3051 MAGNETICALLY FIXED LAYER
308 ANTI-FERROMAGNETIC LAYER
309 ORIENTATION-CONTROLLED LAYER

(57) **Abstract**: Provided is a nonvolatile magnetic memory including a tunneling magnetic resistance effect element of a high output, to which a recording layer of a high heat stability is applied, and a writing method of a spin transfer torque is applied to the nonvolatile magnetic memory. The tunneling magnetic resistance effect element (1) is constituted to have a magnetically recording layer made of a body-centered cubic structure containing Co, Fe and B and including a first ferromagnetic layer (303), a second ferromagnetic layer (301), a first non-magnetic film (302), a first diffusion layer (3022) and a second diffusion layer (3021), and to have a magnetically fixed layer (3051) laminated on the magnetically recording layer through a MgO insulating film (304) having a rock salt structure of a (100) orientation.

(57) 要約: 不揮発性磁気メモリに、高い熱安定性をもつ記録層を適用した高出力なトンネル磁気抵抗効果素子を装備し、スピントランスファートルクによる書込み方式を適用する。トンネル磁気抵抗効果素子１は、ＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の第一の強磁性層３０３と第二の強磁性層３０１と第一の非磁性膜３０２と第一の拡散層３０２２と第二の拡散層３０２１で構成される磁気記録層を持ち、磁気記録層に（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ絶縁膜３０４を介して磁気固定層３０５１を積層した構造を有する。

WO 2010/125641 A1

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, 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)）

# 明　細　書

## 発明の名称 ：

# トンネル磁気抵抗効果素子、それを用いた磁気メモリセル及びランダムアクセスメモリ

## 技術分野

[0001] 本発明は、高い熱安定性を有する高出力トンネル磁気抵抗素子及びそれを装備した低消費電力不揮発性磁気メモリに関するものである。

## 背景技術

[0002] 将来の高集積磁気メモリに適用されるトンネル磁気抵抗効果素子として、ＡｌＯの酸化物を絶縁体に用いたトンネル磁気抵抗効果素子（T. Miyazaki and N. Tezuka, J. Magn. Magn. Mater. 139, L231 (1995)）よりも数倍大きい磁気抵抗比が得られる絶縁膜に酸化マグネシウムを用いたトンネル磁気抵抗効果素子（S. Yuasa. et al., Nature Material 3, 868(2004)）が開示されている。また、従来の不揮発性磁気メモリは、ＭＯＳＦＥＴ上にトンネル磁気抵抗効果素子を形成したメモリセルにより構成される。スイッチングはＭＯＳＦＥＴを利用し、ビット線とワード線に通電させることにより発生する電流誘起の空間磁場を使ってトンネル磁気抵抗効果素子の磁化方向を回転させ、情報を書込み、トンネル磁気抵抗効果素子の出力電圧により情報を読み出す方式である。また、上記電流誘起の空間磁場を使った磁化回転のほかに、直接磁気抵抗効果素子に電流を流すことにより磁化を回転させるいわゆるスピントランスファートルク磁化反転あるいは同義であるスピン注入磁化反転方式があり、例えば米国特許第５，６９５，８６４号明細書あるいは特開２００２－３０５３３７号公報に開示されている。特開２００７－２９４７３７号広報には、外部からの侵入磁界に対して安定にスピントランスファートルク磁化反転動作させる目的で、非磁性膜を介して２層の強磁性膜を積層した記録層を適用したトンネル磁気抵抗効果素子が開示されている。

## 先行技術文献

## 非特許文献

[0003] 非特許文献1：J. Magn. Magn. Mater. 139, L231 (1995)

非特許文献2：Nature Material 3, 868(2004)

## 特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第５，６９５，８６４号明細書

特許文献2：特開２００２－３０５３３７号公報

特許文献3：特開２００７－２９４７３７号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0005] 高い信頼性をもつ低消費電力不揮発性磁気メモリの実現には、高出力トンネル磁気抵抗効果素子の記録層において高い熱安定性と、スピントランスファートルク磁化反転による書込み方式とを同時に満足する技術を開発する必要がある。

[0006] 本発明は、このような要請に応えることのできる高い熱安定性を有するトンネル磁気抵抗効果素子及びそれを用いた不揮発性磁気メモリを提供することを目的とする。

## 課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、トンネル磁気抵抗効果素子の強磁性膜にＢを含むＣｏあるいはＦｅの体心立方格子をもつ化合物強磁性膜を適用し、絶縁層に（１００）配向した岩塩構造酸化マグネシウムを適用し、非磁性層を挟んで設けられた第一の拡散層と第二の拡散層、第一の拡散層に隣接した第一の強磁性層と第二の拡散層に隣接した第二の強磁性層からなり、前記第一の強磁性層と第二の強磁性層が強磁性結合した強磁性記録層を適用する。すなわち、本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子は、絶縁層と、絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の拡散層と第二の拡散層、第一の拡散層に隣接した第一の強磁性層と第二の拡

散層に隣接した第二の強磁性層からなり、前記第一の強磁性層は前記絶縁層に隣接し、前記第二の強磁性層と第一の強磁性層は強磁性結合しており、強磁性固定層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜を有する。

[0008] 絶縁層に（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜を用いない場合には、磁気抵抗比は著しく低下し、磁気メモリセルあるいは磁気ランダムアクセスメモリに最低限必要な２００ｍＶの読み出し電圧が得られない。

[0009] 本発明のトンネル磁気抵抗効果素子は、磁気メモリセルや磁気ランダムアクセスメモリに適用することができる。

## 発明の効果

[0010] 本発明によると、高い熱安定性を有し、絶縁耐圧の高いトンネル磁気抵抗効果素子が得られる。また、そのトンネル磁気抵抗効果素子を磁気メモリに装備することにより、高い熱安定性、すなわち磁気情報の保持時間の長い不揮発性メモリを実現することが可能である。

## 図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の第一の構成例を示した図である。

[図2]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の第二の構成例を示した図である。

[図3]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の第三の構成例を示した図である。

[図4]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の第四の構成例を示した図である。

[図5]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の第一、第二の構成の製膜直後の構成例を示した図である。

[図6]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の第三、第四の構成の製膜直後の構成例を示した図である。

[図7]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子における書込み電流（ａ）、熱安定性（ｂ）の熱処理温度依存性例を示した図である。

[図8]本発明のトンネル磁気抵抗効果素子におけるアステロイド特性と磁気記録層の積層状態の熱処理温度依存性を示した図である。

[図9]本発明の磁気メモリセルの構成例を示した図である。

[図10]本発明の磁気メモリセルの構成例を示した図である。

[図11]本発明の磁気ランダムアクセスメモリの構成例を示した図である。

## 発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。以下に述べるトンネル磁気抵抗効果素子では、その強磁性記録層の磁化反転（スイッチング）を空間的な外部磁界ではなく主として、トンネル磁気抵抗効果素子中を流れるスピン偏極した電流のスピンが強磁性記録層の磁気モーメントにトルクを与えることにより行う。このスピン偏極した電流は、トンネル磁気抵抗効果素子に電流を流すこと自体で発生する。したがって、トンネル磁気抵抗効果素子に外部からトンネル磁気抵抗効果素子の各層の積層方向に電流を流すことによりスピントランスファートルク磁化反転は実現される。また、その電流の方向により磁気記録層の磁化方向を制御し、磁気記録層と磁気固定層の磁化配列を決定する。磁気記録層から磁気固定層に電流を流す場合は、磁気固定層と磁気記録層が平行配列、磁気固定層から磁気記録層に電流を流す場合は、磁化配列は反平行配列になる。以下では、スピントランスファートルク磁化反転の起こる電流密度の閾値をＪｃと定義した。

[0013] ［実施例１］

図１は、本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子の一例を示す断面模式図である。本実施例では、トンネル磁気抵抗効果素子１はスパッタリング法を用いて作製した。このトンネル磁気抵抗効果素子１は、配向制御層３０９、反強磁性層３０８、磁気固定層３０５１、絶縁層３０４、第一の強磁性層３０３、第一の拡散層３０２２、第一の非磁性層３０２、第二の拡散層３０２１、第二の強磁性層３０１、保護層３００より形成される。ここで、第一の強磁性層３０３、第一の拡散層３０２２、第一の非磁性層３０２、第二の拡散層３０２１、第二の強磁性層３０１の積層構造で磁気記録層が形成される。磁気固定層３０２１は、第四の強磁性層３０２、第二の非磁性膜３０３、第三の強磁性層３０４で構成される場合もある。

[0014] 上記のトンネル磁気抵抗効果素子は、図３に示した積層膜を３３０度以上～４２０度以下の温度で熱処理することにより形成する。図３は、スパッタ

リング法を用いて製膜され熱処理を行う前、あるいは、３３０度以下の熱処理が施されたトンネル磁気抵抗効果素子を示し、配向制御層３０９、反強磁性層３０８、磁気固定層３０５１、絶縁層３０４、第一の強磁性層３０３、第一の拡散層３０２２、第一の非磁性層３０２、第二の拡散層３０２１、第二の強磁性層３０１、保護層３００の順に積層されている。

[0015] 配向制御層３０９はＮｉＦｅにより形成したが、Ｔａ／ＮｉＦｅの２層膜、またＴａ／Ｒｕ／Ｔａ／ＮｉＦｅ、Ｔａ／ＮｉＦｅＣｒなど、上記反強磁性層３０８の配向性を向上させ、安定した反強磁性結合を実現することのできる他の材料を用いてもよい。反強磁性層３０８にはＭｎＩｒ（８ｎｍ）を用いたが、膜厚は４～１５ｎｍの範囲で選択可能である。また、ＭｎＰｔ、ＭｎＦｅなど、Ｍｎ化合物で構成される反強磁性層を用いても安定に反強磁性結合を実現できる。第四の強磁性層３０７にはＣｏＦｅ（２ｎｍ）を、第二の非磁性層３０６にはＲｕ（０．８ｎｍ）を、第三の強磁性層３０５には体心立方格子をもつＣｏＦｅＢ（３ｎｍ）を用いた。この体心立方格子のＣｏＦｅＢは、製膜時は非結晶の膜である。絶縁層に（１００）のＭｇＯ膜を適用している場合、３３０度以上の熱処理により製膜時は非結晶であったＣｏＦｅＢが結晶化することによって体心立方格子のＣｏＦｅＢに形成される。第四の強磁性層３０７のＣｏＦｅの組成比は、Ｃｏ組成を５０～９０ａｔｍ%の間とした。この組成範囲において、上記反強磁性層と安定した反強磁性結合を実現できる。第四の強磁性層３０７、第二の非磁性層３０６、第三の強磁性層３０５は、第四の強磁性層３０７と第三の強磁性層３０５の磁化が反強磁性結合するような材料を選択し、それぞれの膜厚は第四の強磁性層３０７と第三の強磁性層３０５の磁化の大きさが等しくなるように選択した。

[0016] 絶縁層３０５は、岩塩構造をもつ酸化マグネシウム結晶膜であり、（１００）方向に配向度の高い膜である。また、完全に（１００）に配向した単結晶膜であってもよい。絶縁層の膜厚は０．６ｎｍ～３ｎｍの範囲とした。絶縁層３０５の膜厚を前記の範囲とすることにより、トンネル磁気抵抗効果素

子１において任意の電気抵抗を選択することが可能である。第一の強磁性層３０３にはＣｏＦｅＢが用いられ、３３０度以上の熱処理により結晶化し、第三の強磁性層３０５の場合と同様に体心立方格子を得る。第一の強磁性層３０３と第二の強磁性層３０１のＣｏＦｅＢのＣｏとＦｅの組成は２５：７５～７５：２５の範囲とするのが好ましい。この組成範囲では体心立方構造が安定に存在し、かつ絶縁層３０５にＭｇＯを適用したトンネル磁気抵抗効果素子１では、トンネル磁気抵抗比に寄与するスピン分極率を向上できるためである。第一の非磁性層３０２は、Ｒｕを用いることが望ましい。製膜時の第一の強磁性層／第一の非磁性層／第二の強磁性層に使用する材料はＣｏＦｅＢ／Ｒｕ／ＣｏＦｅＢであり、これを３３０度以上の熱処理を行うことにより、ＣｏＦｅＢ中にＲｕが拡散したＣｏＦｅＢ－Ｒｕが第一の拡散層と第二の拡散層として形成する。その第一の拡散層と第二の拡散層の膜厚は第一の強磁性層と第二の強磁性層よりも小さく、０．２ｎｍ以上であることが望ましい。この膜厚のときに、第一の強磁性層と第二の強磁性層の磁化方向が平行結合する。さらに、３３０度以上の熱処理を行った結果、第一の強磁性層と第二の強磁性層の磁化方向が強磁性結合した平行状態を形成する。本実施例における熱処理時間は１時間以上が好ましい。

[0017] 図７は、上記の例のように、Ｔａ／Ｒｕ／Ｔａ／ＮｉＦｅ／ＭｎＩｒ／ＣｏＦｅ／Ｒｕ／ＣｏＦｅＢ／ＭｇＯ／ＣｏＦｅＢ／Ｒｕ／ＣｏＦｅＢ／保護膜の順に積層したトンネル磁気抵抗効果素子を３００℃、３２５℃、３５０℃でアニールした時のスピントランスファートルクによる磁化反転の閾値電流密度と磁気記録層の熱安定性の指標を示すＥ／ｋＢＴの値をアニール温度（Ｔａ）に対してプロットした結果を示す。これによると、Ｔａが３５０℃において、Ｅ／ｋＢＴが１００以上の値が得られる。一方で、Ｔａが３３０℃以下である場合のＥ／ｋＢＴ（６０～８０）に比べて飛躍的に大きくなる。

[0018] 図８は、磁気記録層を構成する第一の強磁性層であるＣｏＦｅＢと第二の強磁性層であるＣｏＦｅＢの磁化配列を調べるために測定したアステロイド

特性のアニール温度による変化を示したものである。図８（ａ）－１、（ｂ）－１、（ｃ）－１がアステロイド特性を示す。図８（ａ）－１と図８（ｂ）－１のアステロイド特性は、それぞれ図８（ａ）－２、図８（ｂ）－２の示すように第一の強磁性層と第二の強磁性層の磁化が反平行状態であることを意味している。一方、Ｔａ＝３５０℃の場合、アステロイド特性は図８（ｃ）－１に示すような菱側形状である。これは、図８（ｃ）－２のように第一の強磁性層と第二の強磁性層の磁化方向が３５０℃アニールにより形成された第一の拡散層と第二の拡散層と拡散せずに残った第一の非磁性層を介して平行配列していることを意味している。あるいは、図８（ｃ）－３のように、製膜時に作製した磁気記録層の非磁性層（Ｒｕ）の全てが拡散して一層の強磁性層となっていることを意味している。したがって、図７に示したＴａ＝３５０℃のときのＥ／ｋＢＴの向上は、磁気記録層が図８（ｃ）－２、図８（ｃ）－３に示したような構造になることで実現されたものと理解される。また、第一の強磁性層と第二の強磁性層に使用するＣｏＦｅＢはＴａ＝３５０℃の場合結晶化して体心立方格子の結晶の状態になる。

[0019] ＣｏＦｅＢのＢの組成比は、結晶化が安定となるＢ組成が１０～３０ａｔｍ%の間とすることが望ましい。さらに、第一の強磁性層３０３、第二の強磁性層３０１にはＣｏＦｅＢ以外に、ＣｏＦｅの単層膜、ＮｉＦｅの単層膜、ＣｏＦｅ／ＮｉＦｅあるいはＣｏＦｅＢ／ＮｉＦｅさらにＣｏＦｅＢ／ＣｏＦｅの２層膜を用いてもよい。保護層３００は、Ｔａ（５ｎｍ）／Ｒｕ（５ｎｍ）の２層膜で形成した。

[0020] ［実施例２］

図２は、本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子１において、製膜時の第一の非磁性層が３３０℃以上の熱処理により全て第一の強磁性層と第二の強磁性層に拡散し、一層の拡散強磁性層を形成した例を示す断面模式図である。このトンネル磁気抵抗効果素子２は、配向制御層３０９、反強磁性層３０８、磁気固定層３０５１、絶縁層３０４、拡散強磁性層３０１２、保護層３００より形成される。磁気固定層３０２１は、第四の磁性層３０２、第二の

非磁性層３０３、第三の強磁性層３０４で構成される場合もある。

[0021] 上記のトンネル磁気抵抗効果素子２は、実施例１で示したトンネル磁気抵抗効果素子１の作製方法と同様に、図３に示した積層膜を３３０度以上～４２０度以下の温度で熱処理することにより形成する。

[0022] トンネル磁気抵抗効果素子２においても、トンネル磁気抵抗効果素子１と同様に図７に示すようにＴａ＝３５０℃において１００以上のＥ／ｋＴが実現可能である。製膜時の第一の強磁性層と第二の強磁性層にＣｏＦｅＢ、第一の非磁性層にＲｕを使用した場合がもっとも好ましく、３３０℃以上のアニールにより結果として形成される拡散強磁性層はＣｏＦｅＢＲｕである。

[0023] ［実施例３］

図３は、図１のトンネル磁気抵抗効果素子１において磁気固定層と磁気記録層の積層順が反対の構成をもつトンネル磁気抵抗効果素子３を示す。

[0024] 本実施例では図６に示すように、配向制御膜３０９、第二の強磁性層３０１、第一の非磁性層３０２、第一の強磁性層３０３、絶縁層３０４、第三の強磁性層３０５、第二の非磁性層３０６、第四の強磁性層３０７、反強磁性層３０８、保護層３００の順に積層した積層膜を、３３０℃において熱処理を行って形成した。

[0025] 本実施例により形成したトンネル磁気抵抗効果素子３においても、トンネル磁気抵抗効果素子１およびトンネル磁気抵抗効果２と同様に、図７に示すようにＴａ＝３５０℃において１００以上のＥ／ｋＴが実現可能である。

[0026] 第一の非磁性層３０２は、Ｒｕを用いることが望ましい。製膜時の第一の強磁性層／第一の非磁性層／第二の強磁性層に使用する材料はＣｏＦｅＢ／Ｒｕ／ＣｏＦｅＢであり、これを３３０度以上の熱処理を行うことにより、ＣｏＦｅＢ中にＲｕが拡散したＣｏＦｅＢ－Ｒｕが第一の拡散層と第二の拡散層として形成する。その第一の拡散層と第二の拡散層の膜厚は第一の強磁性層と第二の強磁性層よりも小さく、０．２ｎｍ以上であることが望ましい。この膜厚のときに、第一の強磁性層と第二の強磁性層の磁化方向が平行結合する。ｎｍが望ましい。さらに、３３０度以上の熱処理を行った結果、第

一の強磁性層と第二の強磁性層の磁化方向が強磁性結合した平行状態を形成する。本実施例における熱処理時間は１時間以上が好ましい。

[0027] ［実施例４］

図４は、図２のトンネル磁気抵抗効果素子２において磁気固定層と磁気記録層の積層順が反対の構成をもつトンネル磁気抵抗効果素子４を示す。このトンネル磁気抵抗効果素子４は、配向制御層３０９、反強磁性層３０８、拡散強磁性層３０１２、絶縁層３０４、磁気固定層３０５１、保護層３００より形成される。磁気固定層３０２１は、第四の強磁性層３０２、第二の非磁性層３０３、第三の強磁性層３０４で構成される場合もある。

[0028] 上記のトンネル磁気抵抗効果素子４は、実施例２で示したトンネル磁気抵抗効果素子１の作製方法と同様に、図６に示した積層膜を３３０℃以上～４２０℃以下の温度で熱処理することにより形成する。トンネル磁気抵抗効果素子２においても、トンネル磁気抵抗効果素子１と同様に図７に示すようにＴａ＝３５０℃において１００以上のＥ／ｋＴが実現可能である。製膜時の第一の強磁性層と第二の強磁性層にＣｏＦｅＢ、第一の非磁性層にＲｕを使用した場合がもっとも好ましく、３３０℃以上のアニールにより結果として形成される拡散強磁性層はＣｏＦｅＢＲｕである。

[0029] 図９と図１０は本発明による磁気メモリセルの構成例を示す断面模式図である。この磁気メモリセルは、メモリセルとして実施例１から４に示したトンネル磁気抵抗効果素子２００を搭載している。図９は、トンネル磁気抵抗効果素子２００がソース電極１０２から立ちあがった電極上に形成されることを特徴とし、図１０はトンネル磁気抵抗効果素子２００がソース電極１０２の積層上から電極４００を引き出した上に形成されることを特徴とする。

[0030] Ｃ－ＭＯＳ１００は、２つのｎ型半導体１０１、１０２と一つのｐ型半導体１０３からなる。ｎ型半導体１０１にドレインとなる電極１２１が電気的に接続され、電極１４１及び電極１４７を介してグラウンドに接続されている。ｎ型半導体１０２には、ソースとなる電極１２２が電気的に接続されている。さらに１２３はゲート電極であり、このゲート電極１２３のｏｎ／ｏ

ｆｆによりソース電極１２２とドレイン電極１２１の間の電流のＯＮ／ＯＦＦを制御する。上記ソース電極１２２に電極１４５、電極１４４、電極１４３、電極１４２が積層され、電極４００を介してトンネル磁気抵抗効果素子２０の配向制御膜３０９が接続されている。

[0031] ビット線４０１は上記トンネル磁気抵抗効果素子２００の保護膜３００に接続されている。本実施例の磁気メモリセルでは、トンネル磁気抵抗効果素子２００に流れる電流、いわゆるスピントランスファートルクによりトンネル磁気抵抗効果素子２００の強磁性記録層の磁化方向を回転し磁気的情報を記録する。スピントランスファートルクは空間的な外部磁界ではなく主として、トンネル磁気抵抗効果素子中を流れるスピン偏極した電流のスピンが前記トンネル磁気抵抗効果素子の強磁性自由層の磁気モーメントにトルクを与える原理である。このスピン偏極した電流はトンネル磁気抵抗効果素子に電流を流すこと自身で発生するメカニズムをもつ。したがって、トンネル磁気抵抗効果素子に外部から電流を供給する手段を備え、その手段から電流を流すことによりスピントランスファートルク磁化反転は実現される。その電流の方向により磁気記録層の磁化方向を制御し、磁気記録層と磁気固定層の磁化配列を決定する。本実施例では、Ｃ－ＭＯＳ１００を使用していることにより、トンネル磁気抵抗効果素子２００に流れる電流の向きを双方向に設定できる。磁気記録層から磁気固定層に電流を流す場合は、磁気固定層と磁気記録層が平行配列、磁気固定層から磁気記録層に電流を流す場合は、磁化配列は反平行配列になる。本実施例では、ビット線２１２と電極４７の間に電流が流れることによりトンネル磁気抵抗効果素子２００中の強磁性記録層にスピントランスファートルクが作用する。スピントランスファートルクにより書込みを行った場合、書込み時の電力は電流磁界を用いた場合に比べ百分の一程度まで低減可能である。また、１００以上のＥ／ｋＴを有するトンネル磁気抵抗効果素子２００を装備することにより、ギガビットの磁気メモリを構成可能な磁気メモリセルを実現できる。

[0032] 図１１は、上記磁気メモリセルを配置した磁気ランダムアクセスメモリの

構成例を示す図である。ゲート電極１２３とビット線４０１がメモリセル５００に電気的に接続されている。前記実施例に記載した磁気メモリセルを配置することにより前記磁気メモリは低消費電力で動作が可能であり、ギガビット級の高密度磁気メモリを実現可能である。

## 符号の説明

[0033] １　トンネル磁気抵抗効果素子

２　トンネル磁気抵抗効果素子

３　トンネル磁気抵抗効果素子

４　トンネル磁気抵抗効果素子

５　トンネル磁気抵抗効果素子

６　トンネル磁気抵抗効果素子

１００　Ｃ－ＭＯＳ

１０１　第一のｎ型半導体

１０２　第二のｎ型半導体

１０３　ｐ型半導体

１２２　ソース電極

４０１　ビット線

１２１　ドレイン電極

１２３　ゲート電極

３０９　配向制御膜

３０８　反強磁性層

３０５１　磁気固定層

３０７　第四の強磁性層

３０６　第二の非磁性層

３０５　第三の強磁性層

３０４　絶縁層

３０３　第一の強磁性層

３０２　第一の非磁性層

３０１　第二の強磁性層

３００　保護層

３０１１　磁気記録層

３０１２　拡散強磁性層

３０２１　第一の拡散層

３０２２　第二の拡散層

１４１　電極配線

１４２　電極配線

１４３　電極配線

１４４　電極配線

１４５　電極配線

１４６　電極配線

# 請求の範囲

[請求項1] 絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、

前記強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の拡散層と第二の拡散層と第一の拡散層に隣接した第一の強磁性層と第二の拡散層に隣接した第二の強磁性層からなり、前記第一の強磁性層は前記絶縁層に隣接し、前記第二の強磁性層と第一の強磁性層は強磁性結合しており、

前記強磁性固定層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜を有することを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項2] 請求項１記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の強磁性層と前記第二の強磁性層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜であり、

前記第一の拡散層と第二の拡散層はＣｏとＦｅとＢとＲｕを含有することを特徴とし、その膜厚は、第一の強磁性層と第二の強磁性層よりも小さく、０．２ｎｍ以上であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項3] 請求項１記載のトンネル磁気抵抗効果素子は、スパッタリング法により製膜され、製膜時、絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、前記強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の強磁性層と第二の強磁性層からなる膜を、３３０度以上、４２０度以下の温度で熱処理することにより形成されることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項4] 絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、

前記強磁性記録層は、ＣｏとＦｅとＢと拡散したＲｕを含有する体心立方構造の膜を有することを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項5] 請求項１から請求項４のいずれか一項に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記強磁性固定層は反強磁製層の上に形成され、前記絶縁層は前記強磁性固定層の上に形成され、前記強磁性記録層は前記絶縁層の上に形成され、前記強磁性固定層は、非磁性層を挟んで反強磁性結合した２層の強磁性層からなることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項6] 請求項１から請求項４のいずれか一項に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記絶縁層は前記強磁性記録層の上に形成され、前記強磁性固定層は前記絶縁層の上に形成され、前記強磁性固定層の上に反強磁性層が形成され、前記強磁性固定層は、非磁性層を挟んで反強磁性結合した２層の強磁性層からなることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項7] 絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、前記強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の拡散層と第二の拡散層、第一の拡散層に隣接した第一の強磁性層と第二の拡散層に隣接した第二の強磁性層からなり、前記第一の強磁性層は前記絶縁層に隣接し、前記第二の強磁性層と第一の強磁性層は強磁性結合しており、前記強磁性膜固定層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子と、

前記強磁性記録層をスピントランスファートルクにより磁化反転させるための電流を前記トンネル磁気抵抗効果素子に流す電極を備え、

前記電流の方向により強磁性記録層の磁化の方向を制御し、

前記トンネル磁気抵抗効果素子に流れる電流をオン・オフ制御する

スイッチング素子とを備えることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項8] 請求項７記載の磁気メモリセルにおいて、前記第一の強磁性層と前記第二の強磁性層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜であり、前記第一の拡散層と第二の拡散層はＣｏとＦｅとＢとＲｕを含有することを特徴とし、その膜厚が第一の強磁性層と第二の強磁性層よりも小さく、０．２ｎｍ以上であることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項9] 請求項８記載のトンネル磁気抵抗効果素子は、スパッタリング法により製膜され、製膜時、絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、前記強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の強磁性層と第二の強磁性層からなる膜を、３３０度以上、４２０度以下の温度で熱処理することにより形成されることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項10] 絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、

前記強磁性記録層は、ＣｏとＦｅとＢと拡散したＲｕを含有する体心立方構造の膜を有することを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子と

前記強磁性記録層をスピントランスファートルクにより磁化反転させるための電流を前記トンネル磁気抵抗効果素子に流す電極を備え、

前記電流の方向により強磁性記録層の磁化の方向を制御し、

前記トンネル磁気抵抗効果素子に流れる電流をオン・オフ制御するスイッチング素子とを備えることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項11] 複数の磁気メモリセルと、所望の磁気メモリセルを選択する手段とを備え、

前記磁気メモリセルは、

絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、前記強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の拡散層と第二の拡散層、第一の拡散層に隣接した第一の強磁性層と第二の拡散層に隣接した第二の強磁性層からなり、前記第一の強磁性層は前記絶縁層に隣接し、前記第二の強磁性層と第一の強磁性層は強磁性結合しており、前記強磁性膜固定層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子と、

前記強磁性自由層をスピントランスファートルクにより磁化反転させるための電流を前記トンネル磁気抵抗効果素子に流す電極と

前記電流の方向により強磁性記録層の磁化の方向を制御することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

[請求項12] 請求項１０記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記第一の強磁性層と前記第二の強磁性層はＣｏとＦｅとＢを含有する体心立方構造の膜であり、前記第一の拡散層と第二の拡散層はＣｏとＦｅとＢとＲｕを含有することを特徴とし、その膜厚が***であることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項13] 請求項１０記載のトンネル磁気抵抗効果素子は、スパッタリング法により製膜され、製膜時、絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、前記強磁性記録層は、非磁性導電層を挟んで設けられた第一の強磁性層と第二の強磁性層からなる膜を、３３０度以上、４２０度以下の温度で熱処理することにより形成されることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

[請求項14] 複数の磁気メモリセルと、所望の磁気メモリセルを選択する手段とを備え、

前記磁気メモリセルは、

絶縁層と、前記絶縁層を挟んで設けられた強磁性記録層と強磁性固定層とを有し、

前記絶縁層は（１００）配向した岩塩構造のＭｇＯ膜であり、

前記強磁性記録層は、ＣｏとＦｅとＢと拡散したＲｕを含有する体心立方構造の膜を有することを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子と、

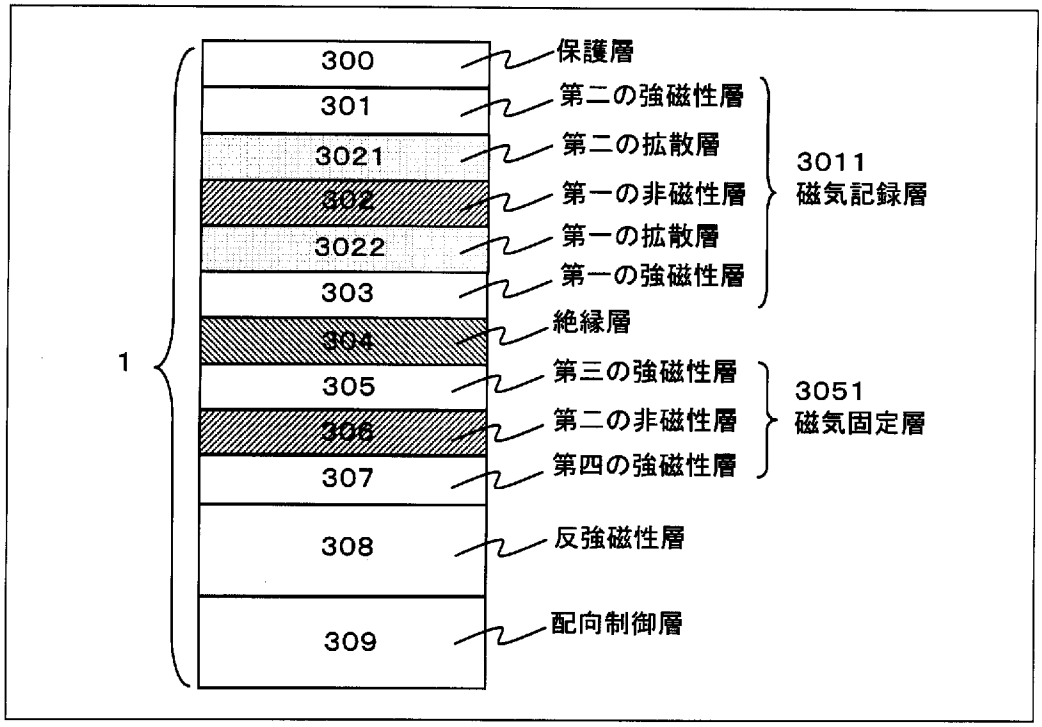
前記強磁性自由層をスピントランスファートルクにより磁化反転させるための電流を前記トンネル磁気抵抗効果素子に流す電極と

前記電流の方向により強磁性記録層の磁化の方向を制御することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

[請求項15] 請求項１１から請求項１４のいずれか一項に記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、スピントランスファートルクにより磁気情報を記録することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

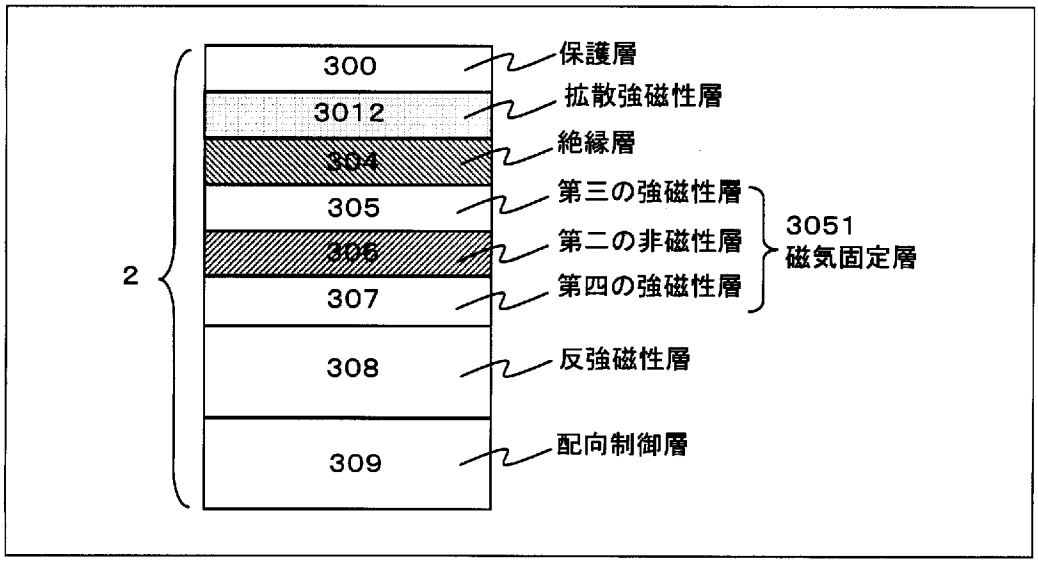
[図1]

図 1


300
保護層
301
第二の強磁性層
3021
第二の拡散層
302
第一の非磁性層
3022
第一の拡散層
303
第一の強磁性層
3011
磁気記録層
304
絶縁層
1
305
第三の強磁性層
306
第二の非磁性層
307
第四の強磁性層
3051
磁気固定層
308
反強磁性層
309
配向制御層

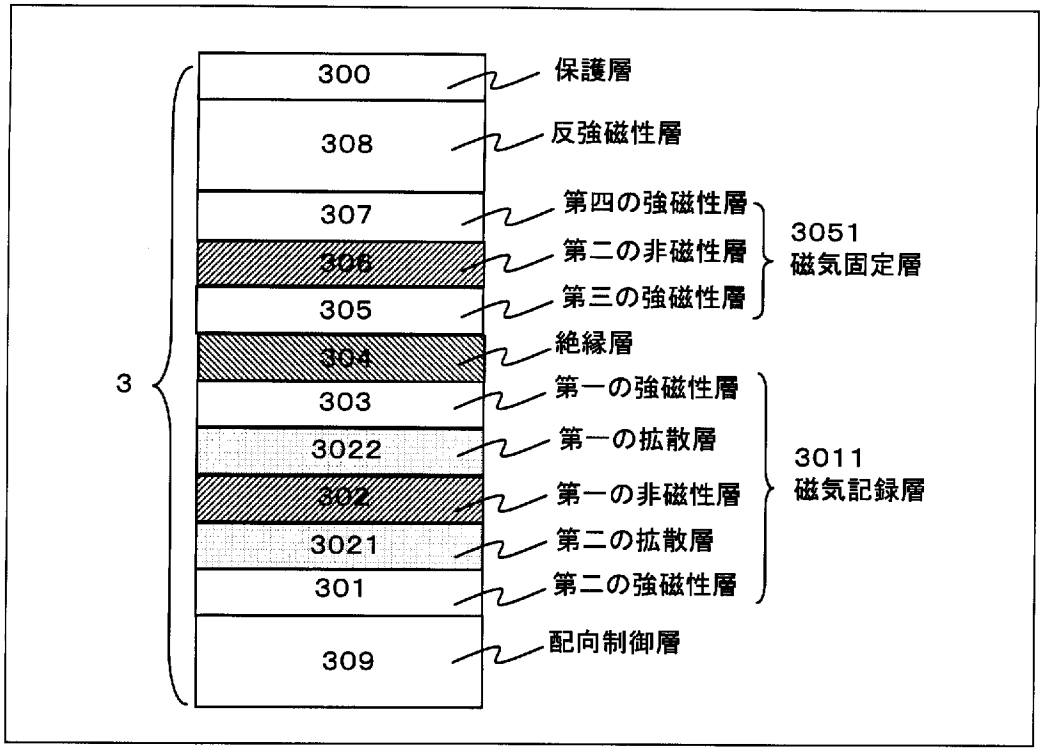
[図2]

図 2


300
保護層
3012
拡散強磁性層
304
絶縁層
305
第三の強磁性層
306
第二の非磁性層
307
第四の強磁性層
3051
磁気固定層
2
308
反強磁性層
309
配向制御層

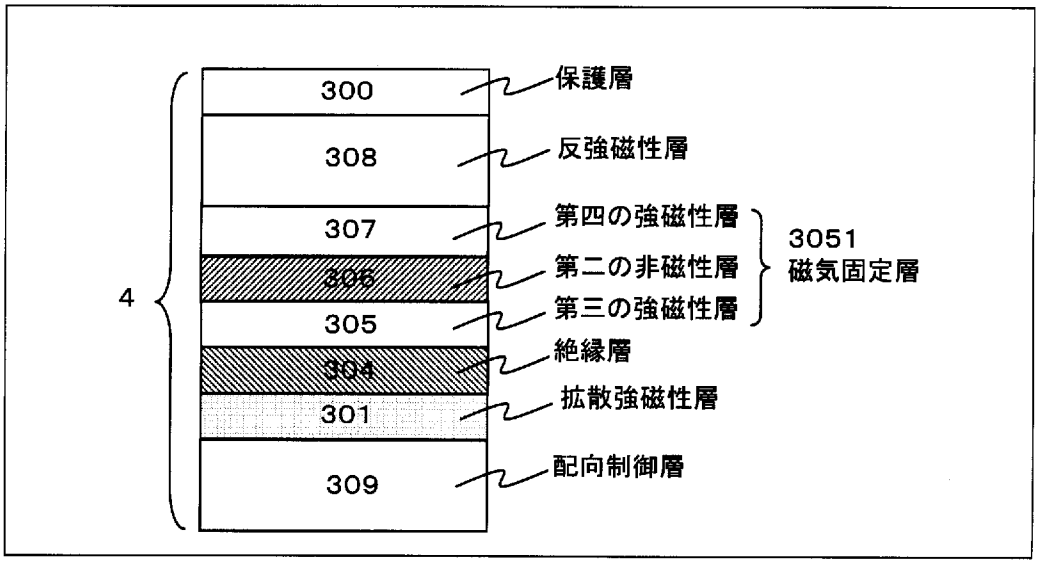
[図3]

図 3


300
保護層
308
反強磁性層
307
第四の強磁性層
306
第二の非磁性層
305
第三の強磁性層
3051
磁気固定層
304
絶縁層
303
第一の強磁性層
3022
第一の拡散層
302
第一の非磁性層
3021
第二の拡散層
301
第二の強磁性層
3011
磁気記録層
309
配向制御層
3

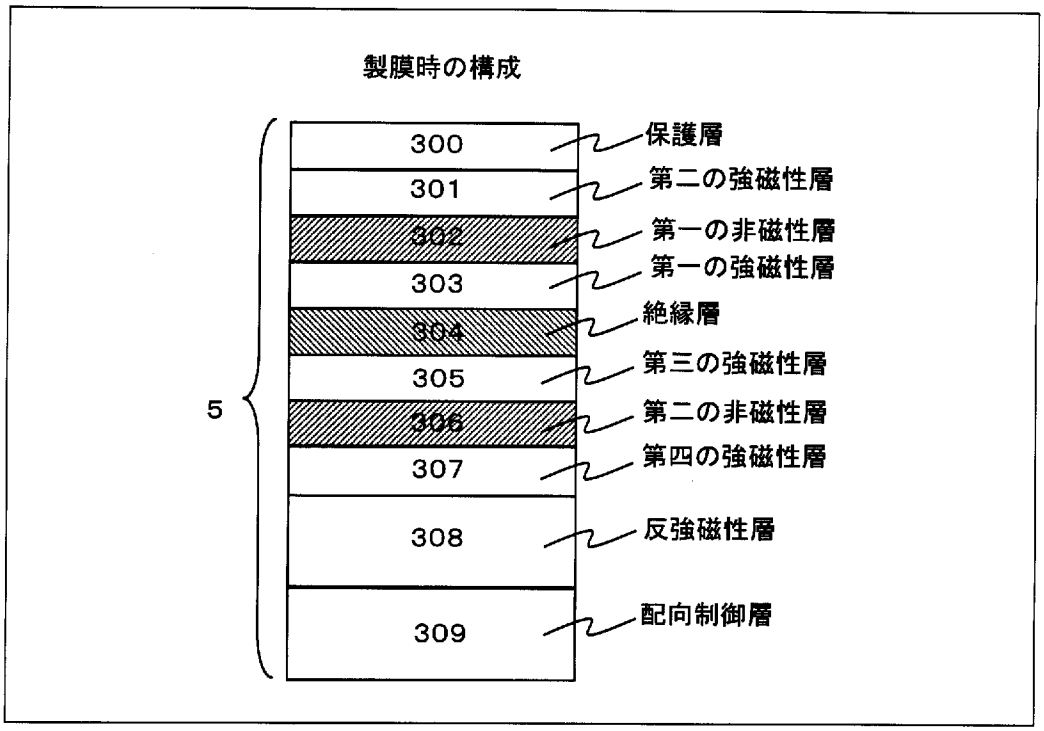
[図4]

図 4


300
保護層
308
反強磁性層
307
第四の強磁性層
306
第二の非磁性層
305
第三の強磁性層
3051
磁気固定層
304
絶縁層
301
拡散強磁性層
309
配向制御層
4

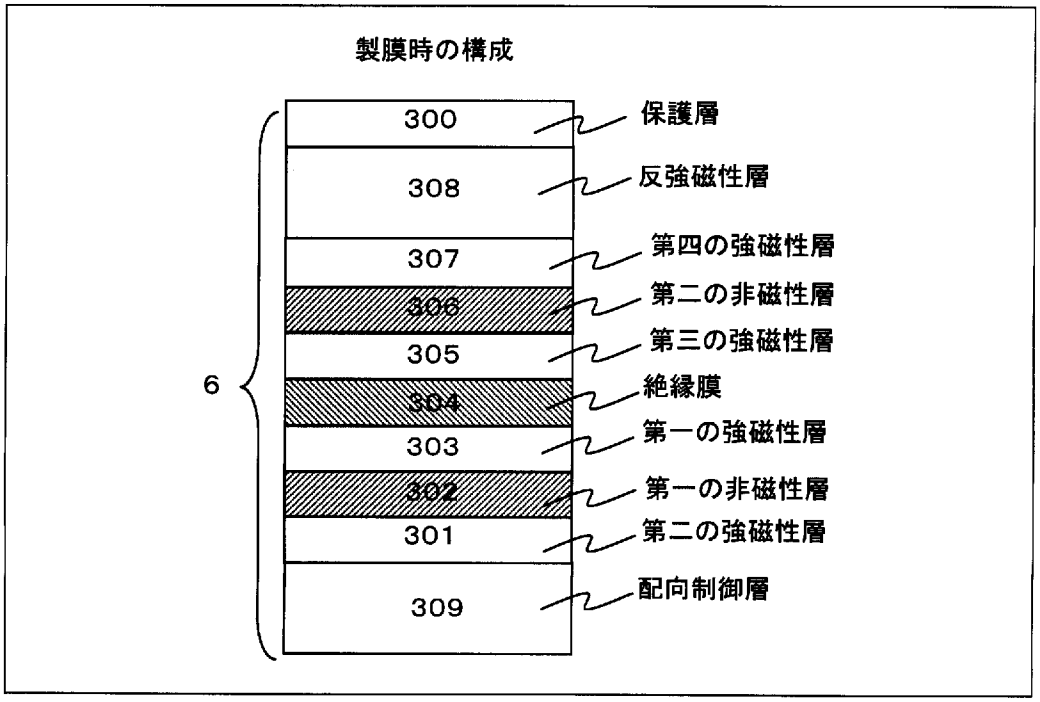
[図5]

図 5


製膜時の構成
300
保護層
301
第二の強磁性層
302
第一の非磁性層
303
第一の強磁性層
304
絶縁層
305
第三の強磁性層
306
第二の非磁性層
307
第四の強磁性層
308
反強磁性層
309
配向制御層
5

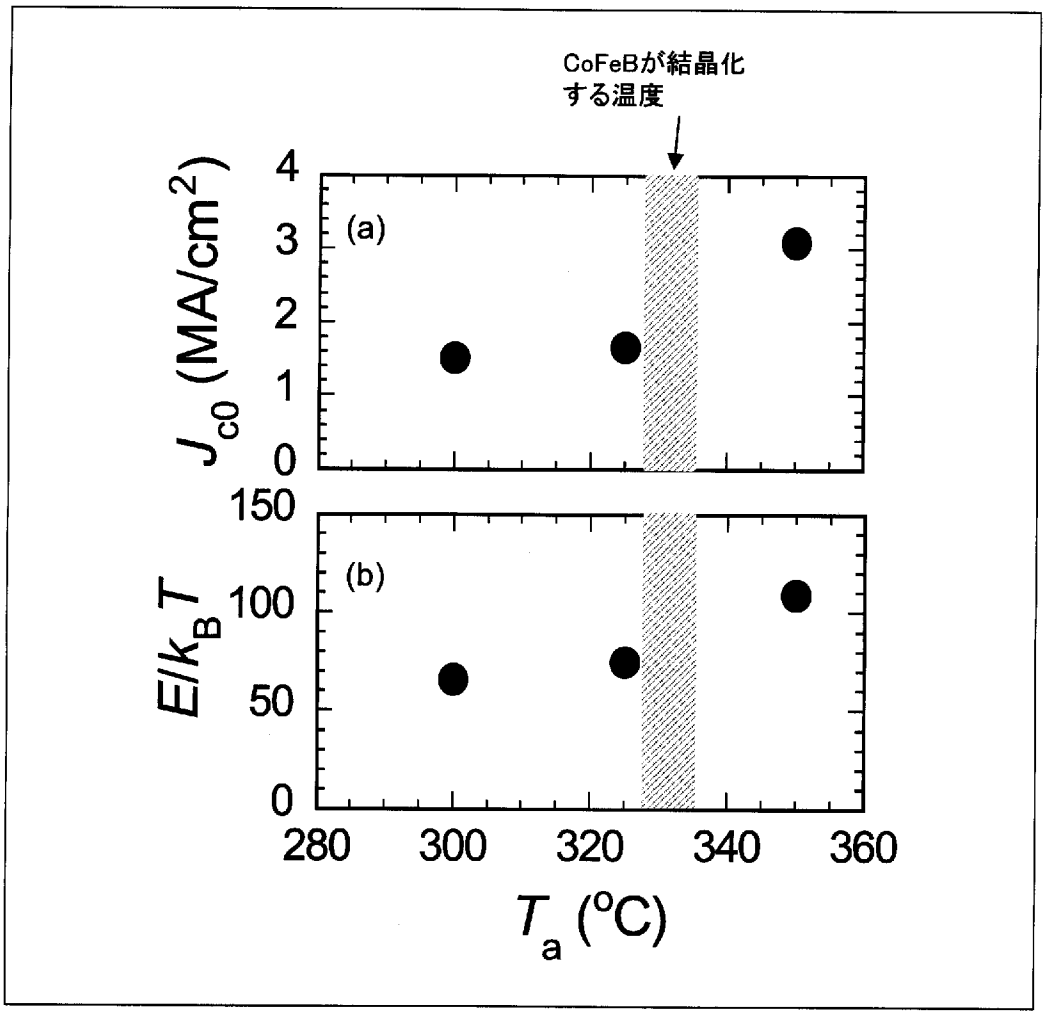
[図6]

図 6


製膜時の構成
300
保護層
308
反強磁性層
307
第四の強磁性層
306
第二の非磁性層
305
第三の強磁性層
304
絶縁膜
303
第一の強磁性層
302
第一の非磁性層
301
第二の強磁性層
309
配向制御層
6

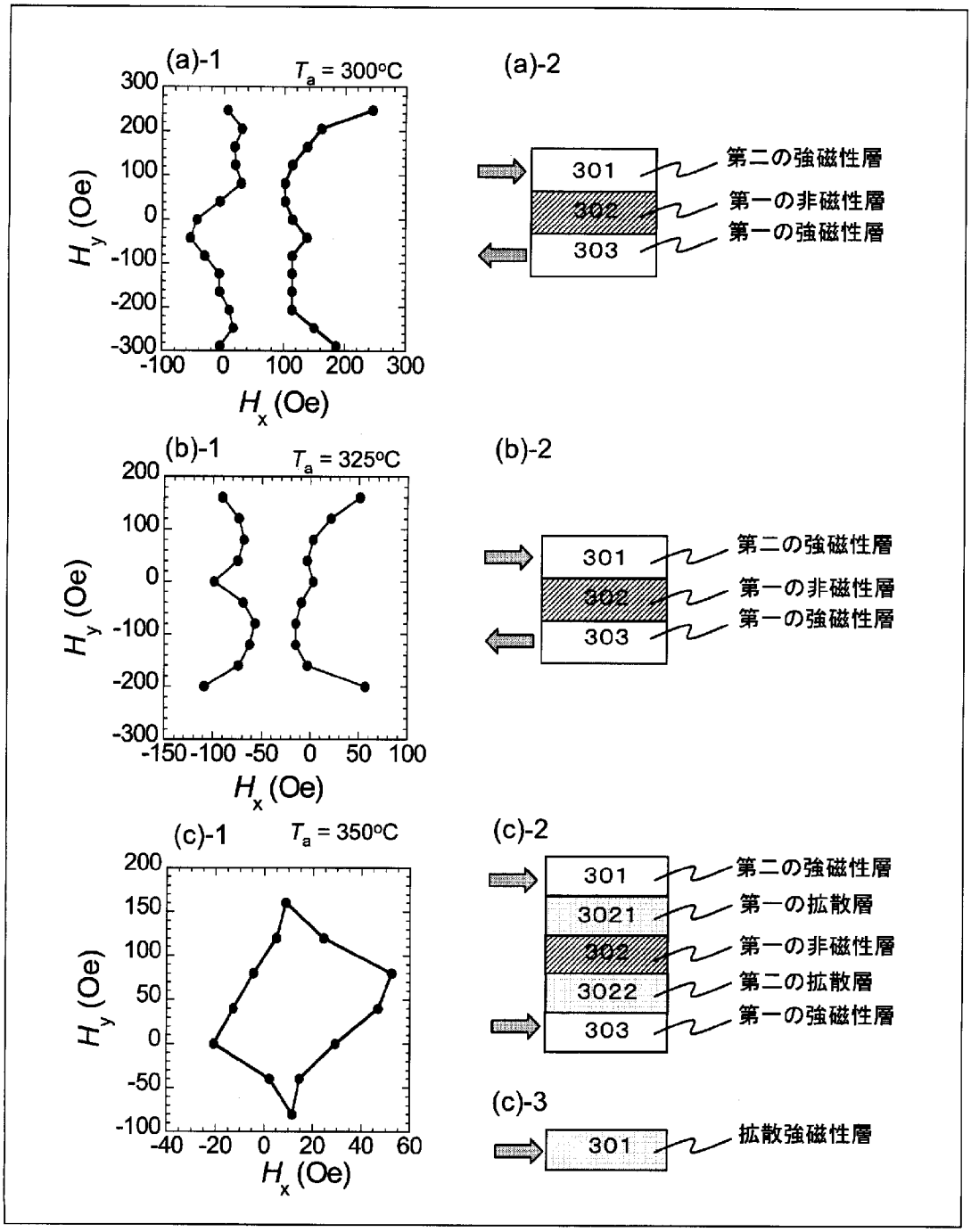
[図7]

図 7


CoFeBが結晶化
する温度
(a)
(b)
$J_{c0}$ (MA/cm$^2$)
$E/k_BT$
$T_a$ (°C)
0
1
2
3
4
50
100
150
280
300
320
340
360

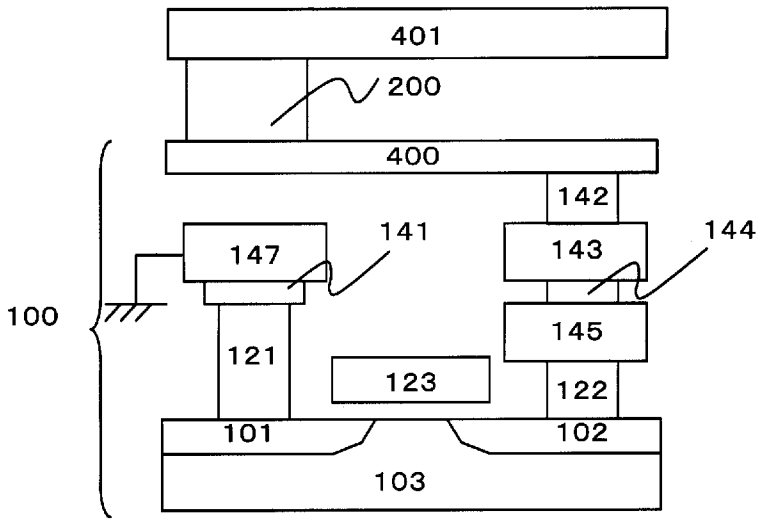
[図8]

図 8


(a)-1
$T_a$ = 300°C
$H_y$ (Oe)
$H_x$ (Oe)
(a)-2
301
302
303
第二の強磁性層
第一の非磁性層
第一の強磁性層
(b)-1
$T_a$ = 325°C
$H_y$ (Oe)
$H_x$ (Oe)
(b)-2
301
302
303
第二の強磁性層
第一の非磁性層
第一の強磁性層
(c)-1
$T_a$ = 350°C
$H_y$ (Oe)
$H_x$ (Oe)
(c)-2
301
3021
302
3022
303
第二の強磁性層
第一の拡散層
第一の非磁性層
第二の拡散層
第一の強磁性層
(c)-3
301
拡散強磁性層

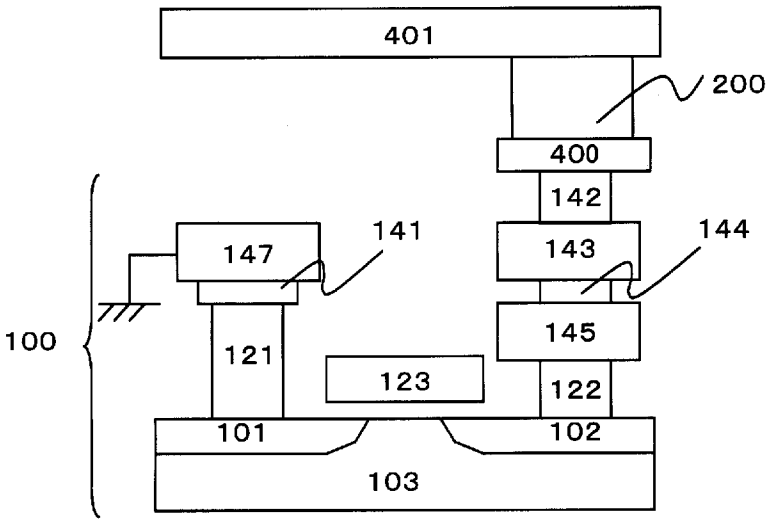
[図9]

図 9


401
200
400
142
147
141
143
144
100
121
145
123
122
101
102
103

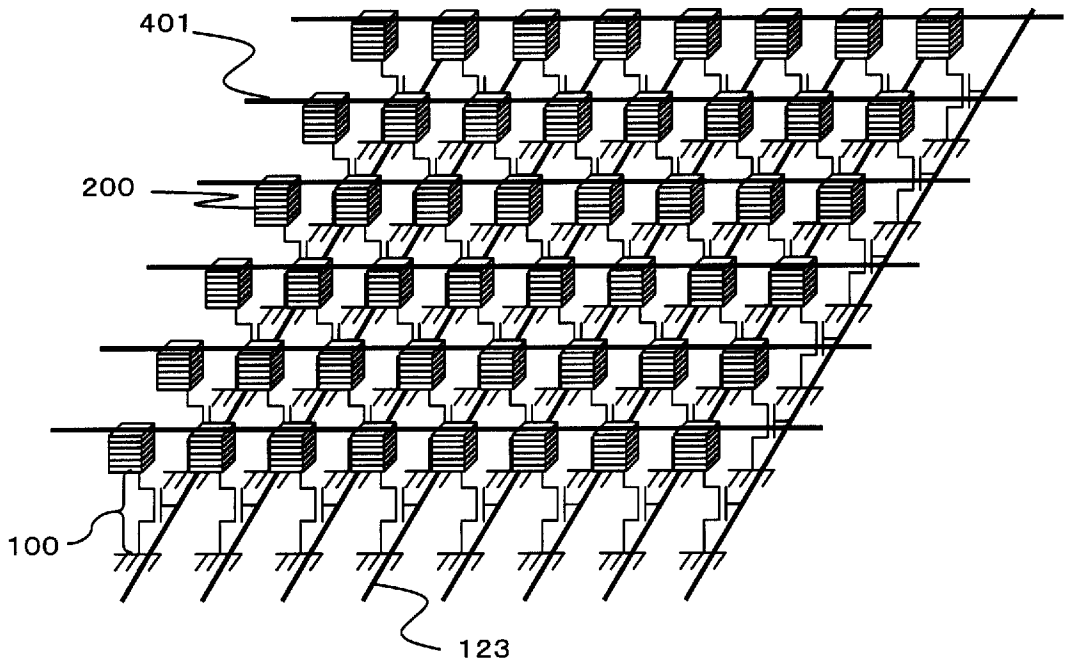
[図10]

図 10


401
200
400
142
147
141
143
144
100
121
145
123
122
101
102
103

[図11]

図 11



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/058335

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
*H01L43/08*(2006.01)i, *H01L21/8246*(2006.01)i, *H01L27/105*(2006.01)i,
*H01L29/82*(2006.01)i, *H01L43/12*(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, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/12

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 1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

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. |
|---|---|---|
| Y | JP 2009-004692 A (Fujitsu Ltd.), 08 January, 2009 (08.01.09), Par. Nos. [0016] to [0031], [0062] to [0066] (Family: none) | 1-15 |
| Y | JP 2006-114868 A (Toshiba Corp.), 27 April, 2006 (27.04.06), Par. Nos. [0036] to [0065] & US 2006/0060901 A1 | 1-15 |
| Y | JP 2008-198792 A (Hitachi, Ltd., Tohoku University), 28 August, 2008 (28.08.08), Par. No. [0021] (Family: none) | 1-15 |

☐ 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 | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 04 August, 2009 (04.08.09) | 11 August, 2009 (11.08.09) |
| Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office<br>Facsimile No. | Authorized officer<br>Telephone No. |

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００９／０５８３３５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L43/08(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/12(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.　H01L43/08, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/12

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 | １９７１－２００９年 |
| 日本国実用新案登録公報 | １９９６－２００９年 |
| 日本国登録実用新案公報 | １９９４－２００９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 |
|---|---|---|
| Y | JP 2009-004692 A (富士通株式会社) 2009.01.08, 段落【００１６】－【００３１】,【００６２】－【００６６】 (ファミリーなし) | 1-15 |
| Y | JP 2006-114868 A (株式会社東芝) 2006.04.27, 段落【００３６】－【００６５】 & US 2006/0060901 A1 | 1-15 |
| Y | JP 2008-198792 A (株式会社日立製作所, 国立大学法人東北大学) 2008.08.28, 段落【００２１】 (ファミリーなし) | 1-15 |

☐　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<br>０４．０８．２００９ | 国際調査報告の発送日<br>１１．０８．２００９ |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）<br>郵便番号１００－８９１５<br>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）　４Ｍ　３３４９<br>川村　裕二<br>電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４６２ |