

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6686990号
(P6686990)

(45) 発行日 令和2年4月22日(2020.4.22)

(24) 登録日 令和2年4月6日(2020.4.6)

(51) Int.Cl.

F 1

HO 1 L 29/82	(2006.01)
HO 1 L 21/8239	(2006.01)
HO 1 L 27/105	(2006.01)
HO 1 L 43/08	(2006.01)

HO 1 L	29/82	Z
HO 1 L	27/105	4 4 7
HO 1 L	43/08	Z

請求項の数 10 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-169733 (P2017-169733)
(22) 出願日	平成29年9月4日(2017.9.4)
(65) 公開番号	特開2019-47001 (P2019-47001A)
(43) 公開日	平成31年3月22日(2019.3.22)
審査請求日	令和1年11月29日(2019.11.29)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	000003067 TDK株式会社 東京都中央区日本橋二丁目5番1号
(74) 代理人	100106909 弁理士 棚井 澄雄
(74) 代理人	100163496 弁理士 荒 則彦
(74) 代理人	100188558 弁理士 飯田 雅人
(74) 代理人	100169694 弁理士 萩野 彰広
(72) 発明者	須田 慶太 東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】スピンドル型トルク型磁化反転素子及び磁気メモリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁化方向が変化する強磁性金属層と、
前記強磁性金属層の積層方向に対して交差する第1の方向に延在し、前記強磁性金属層に接合するスピンドル型トルク配線と、
前記スピンドル型トルク配線の前記強磁性金属層と反対側の面から交差する方向に延在し、半導体回路に接続される2つのビア配線と、
前記ビア配線と前記スピンドル型トルク配線との間に平坦化層と、を備え、
前記2つのビア配線の前記第1の方向におけるビア間距離は、前記強磁性金属層の前記第1の方向における幅より短く、
前記平坦化層がTi又はTaを含む窒化物である、スピンドル型トルク型磁化反転素子。

【請求項 2】

磁化方向が変化する強磁性金属層と、
前記強磁性金属層の積層方向に対して交差する第1の方向に延在し、前記強磁性金属層に接合するスピンドル型トルク配線と、
前記スピンドル型トルク配線の前記強磁性金属層と反対側の面から交差する方向に延在し、半導体回路に接続される2つのビア配線と、を備え、
前記2つのビア配線の前記第1の方向におけるビア間距離は、前記強磁性金属層の前記第1の方向における幅より短く、
前記強磁性金属層が積層される積層面において、前記2つのビア配線と、前記2つのビ

10

20

ア配線の間を絶縁する層間絶縁部とのピッカース硬度差が3 GPa以下である、スピン軌道トルク型磁化反転素子。

【請求項3】

前記ビア配線と前記スピン軌道トルク配線との間に平坦化層をさらに備える、請求項2に記載のスピン軌道トルク型磁化反転素子。

【請求項4】

前記平坦化層がTi又はTaを含む窒化物である、請求項3に記載のスpin軌道トルク型磁化反転素子。

【請求項5】

前記強磁性金属層が積層される積層面において、前記2つのビア配線と、前記2つのビア配線の間を絶縁する層間絶縁部とのピッカース硬度差が3 GPa以下である、請求項1に記載のスpin軌道トルク型磁化反転素子。 10

【請求項6】

前記スpin軌道トルク配線は、積層方向に積層構造を有し、

前記スpin軌道トルク配線の前記強磁性金属層側の第1層の抵抗値は、前記ビア配線側の第2層の抵抗値より低い、請求項1～5のいずれか一項に記載のスpin軌道トルク型磁化反転素子。

【請求項7】

前記強磁性金属層の前記スpin軌道トルク配線と反対側の面に、非磁性層と、前記強磁性金属層に対して磁化の向きが固定された磁化固定層とをさらに備える、請求項1～6のいずれか一項に記載のスpin軌道トルク型磁化反転素子。 20

【請求項8】

前記強磁性金属層を積層方向から平面視した際の面積が、前記磁化固定層を積層方向から平面視した際の面積より大きい、請求項7に記載のスpin軌道トルク型磁化反転素子。

【請求項9】

請求項1～8のいずれか一項に記載のスpin軌道トルク型磁化反転素子を複数備える磁気メモリ。

【請求項10】

磁化方向が変化する強磁性金属層と、

前記強磁性金属層の積層方向に対して交差する第1の方向に延在し、前記強磁性金属層に接合するスpin軌道トルク配線と、 30

前記スpin軌道トルク配線の前記強磁性金属層と反対側の面から交差する方向に平坦化層を介して延在し、半導体回路に接続される2つのビア配線と、を備え、

前記2つのビア配線の前記第1の方向におけるビア間距離は、前記強磁性金属層の前記第1の方向における幅より短く、

前記平坦化層がTi又はTaを含む窒化物である、スpin軌道トルク型磁化反転素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スpin軌道トルク型磁化反転素子及び磁気メモリに関するものである。 40

【背景技術】

【0002】

強磁性層と非磁性層の多層膜からなる巨大磁気抵抗(GMR)素子、及び、非磁性層に絶縁層(トンネルバリア層、バリア層)を用いたトンネル磁気抵抗(TMR)素子が知られている。これらは、磁気センサ、高周波部品、磁気ヘッド及び不揮発性ランダムアクセスメモリ(MRAM)用の素子として、注目が集まっている。

【0003】

MRAMは、絶縁層を挟む二つの強磁性層の互いの磁化の向きが変化するとGMR素子又はTMR素子の素子抵抗が変化するという特性を利用してデータを読み書きする。MRAMの書き込み方式としては、電流が作る磁場を利用して書き込み(磁化反転)を行う方 50

式や磁気抵抗効果素子の積層方向に電流を流して生ずるスピントランスマートルク (S T T) を利用して書き込み (磁化反転) を行う方式が知られている。

【 0 0 0 4 】

S T T を用いた T M R 素子の磁化反転はエネルギーの観点から考えると効率的ではあるが、磁化反転をさせるための反転電流密度が高い。T M R 素子の長寿命の観点からはこの反転電流密度は低いことが望ましい。この点は、G M R 素子についても同様である。

【 0 0 0 5 】

そこで近年、反転電流を低減する手段としてスピン軌道相互作用により生成された純スピン流を利用した磁化反転に注目が集まっている (例えは、非特許文献 1) 。このメカニズムはまだ十分には明らかになっていないが、スピン軌道相互作用によって生じた純スピン流又は異種材料の界面におけるラシュバ効果が、スピン軌道トルク (S O T) を誘起し、磁化反転が生じると考えられている。純スピン流は上向きスピンの電子と下向きスピン電子が同数で互いに逆向きに流れることで生み出されるものであり、電荷の流れは相殺されている。そのため磁気抵抗効果素子に流れる電流はゼロであり、磁気抵抗効果素子の長寿命化が期待されている。

【 0 0 0 6 】

これらの磁性素子は単独で用いられることより、複数の素子を集積して用いられることが多い。複数の素子のそれぞれは、半導体回路に接続され集積回路 (I C) となる。磁気抵抗効果素子は、数原子層レベルの層が積層してなる。そのため、従来の集積回路に組み込まれていたキャパシタやダイオード等と比較して、集積回路内に組み込むためにはより精密な制御が求められる。

【 0 0 0 7 】

例えは、磁気抵抗効果素子が積層される積層面の僅かな凹凸は磁気抵抗効果素子の磁気抵抗変化率の低下や特性のばらつきを引き起す。そのため、特許文献 1 ~ 3 に記載の磁性素子は、ピア配線を形成する位置と、磁気抵抗効果素子が積層される積層面とを面内方向にずらしている (例えは、特許文献 1 ~ 3) 。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】特開 2 0 1 0 - 1 0 4 8 5 号公報

【 特許文献 2 】特開 2 0 1 2 - 1 8 6 3 7 2 号公報

【 特許文献 3 】特開 2 0 1 4 - 8 2 3 5 3 号公報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 非特許文献 1 】I.M.Miron, K.Garello, G.Gaudin, P.-J.Zermatten, M.V.Costache, S.Auffret, S.Bandiera, B.Rodmacq, A.Schuhl, and P.Gambardella, Nature, 476, 189 (2011) .

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

しかしながら、磁気抵抗効果素子とピア配線とが面内方向の異なる位置に存在すると、磁気抵抗効果素子とピア配線のそれぞれの面積を確保する必要があり、多数の素子を一つの集積回路内に効率的に集積化することができない。

【 0 0 1 1 】

またピア配線を磁気抵抗効果素子の面内位置と重なるように配置することは、磁気抵抗効果素子が積層される積層面の平坦性が乱れる可能性が高く、当業者からは忌避されている。

【 0 0 1 2 】

特にスピン軌道トルク型磁化反転素子の場合において、このような配置は忌避されている。スピン軌道トルク型磁化反転素子は、磁気抵抗効果素子の積層方向と交差する位置に

10

20

30

40

50

延在するスピン軌道トルク配線に電流を流すための 2 つのビア配線が必要である。2 つのビア配線と磁気抵抗効果素子との面内位置が重なると、積層面が異なる複数の部材により構成されることになり、積層面の平坦性が乱れる可能性がより高まる。さらに、スピン軌道トルク配線に流れる電流は、磁気抵抗効果素子との積層界面に対して直交する方向に流れることが理想的だが、ビア配線と磁気抵抗効果素子との面内位置が重なるとスピン軌道トルク配線に流れる電流が斜めに流れる成分を持ちやすくなる。

【0013】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、スピン軌道トルク型磁化反転素子の集積性を高めることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0014】

本発明者らは、鋭意検討の結果、2 つのビア配線と磁気抵抗効果素子との面内位置が重なるように配設した場合においても、スピン軌道トルク型磁化反転素子が充分な性能を示すを見出した。すなわち、当業者にとって忌避されていた 2 つのビア配線と磁気抵抗効果素子との面内位置を重ねることが可能であることを見出し、集積回路内にスピン軌道トルク型磁化反転素子を効率的に集積化できることを見出した。

すなわち、本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

【0015】

(1) 第 1 の態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子は、磁化方向が変化する強磁性金属層と、前記強磁性金属層の積層方向に対して交差する第 1 の方向に延在し、前記強磁性金属層に接合するスピン軌道トルク配線と、前記スピン軌道トルク配線の前記強磁性金属層と反対側の面から交差する方向に延在し、半導体回路に接続される 2 つのビア配線と、を備え、前記 2 つのビア配線の前記第 1 の方向におけるビア間距離は、前記強磁性金属層の前記第 1 の方向における幅より短い。

20

【0016】

(2) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子において、前記スピン軌道トルク配線は、積層方向に積層構造を有し、前記スピン軌道トルク配線の前記強磁性金属層側の第 1 層の抵抗値は、前記ビア配線側の第 2 層の抵抗値より低くてもよい。

【0017】

(3) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子において、前記ビア配線と前記スピン軌道トルク配線との間に平坦化層をさらに備えてもよい。

30

【0018】

(4) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子において、前記平坦化層が Ti 又は Ta を含む窒化物であってもよい。

【0019】

(5) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の前記強磁性金属層が積層される積層面において、前記 2 つのビア配線と、前記 2 つのビア配線の間を絶縁する層間絶縁部とのピッカース硬度差が 3 GPa 以下であってもよい。

【0020】

(6) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子において、前記強磁性金属層の前記スピン軌道トルク配線と反対側の面に、非磁性層と、前記強磁性金属層に対して磁化の向きが固定された磁化固定層とをさらに備えてもよい。

40

【0021】

(7) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子において、前記強磁性金属層を前記鉛直方向から平面視した際の面積が、前記磁化固定層を前記鉛直方向から平面視した際の面積より大きい構成でもよい。

【0022】

(8) 第 2 実施形態にかかる磁気メモリは、上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子を複数備える。

【発明の効果】

50

【0023】

本発明によれば、集積性を高めることができるスピン軌道トルク型磁化反転素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の断面模式図である。

【図2】スピンホール効果について説明するための模式図である。

【図3】第2実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の断面模式図である。

【図4】第3実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の要部を拡大した断面模式図である。

10

【図5】第4実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の断面模式図である。

【図6】第5実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の断面模式図である。

【図7】第1実施形態～第5実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子を含む磁気メモリの模式図である。

【図8】比較例1にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子の断面模式図である。

【図9】実施例1及び比較例1の検討結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

20

【0026】

「第1実施形態」

(スピン軌道トルク型磁化反転素子)

図1は、第1実施形態に係るスピン軌道トルク型磁化反転素子を模式的に示した斜視図である。

第1実施形態に係るスピン軌道トルク型磁化反転素子100は、磁気抵抗効果素子10と、スピン軌道トルク配線20と、2つのビア配線30とを有する。

以下、ビア配線30がスピン軌道トルク配線20から延在する鉛直方向をz方向、スピン軌道トルク配線20が延在する第1の方向をx方向、z方向及びx方向のいずれにも直交する第2の方向をy方向とする。

30

【0027】

<磁気抵抗効果素子>

磁気抵抗効果素子10は、磁化方向が固定された第1強磁性金属層1と、磁化方向が変化する第2強磁性金属層2と、第1強磁性金属層1及び第2強磁性金属層2に挟持された非磁性層3とを有する。

【0028】

磁気抵抗効果素子10は、第1強磁性金属層1の磁化が一方向に固定され、第2強磁性金属層2の磁化の向きが相対的に変化することで機能する。保磁力差型(擬似スピンバルブ型; Pseudo spin valve型)のMRAMに適用する場合には、磁気抵抗効果素子の第1強磁性金属層の保磁力を第2強磁性金属層の保磁力よりも大きくする。交換バイアス型(スピンバルブ; spin valve型)のMRAMに適用する場合には、磁気抵抗効果素子における第1強磁性金属層の磁化を、反強磁性層との交換結合によって固定する。

40

【0029】

磁気抵抗効果素子10は、非磁性層3が絶縁体からなる場合は、トンネル磁気抵抗(TMTR: Tunneling Magnetoresistance)素子であり、非磁性層3が金属からなる場合は巨大磁気抵抗(GMR: Giant Magnetoresistance)素子である。

【0030】

磁気抵抗効果素子の積層構成は、公知の磁気抵抗効果素子の積層構成を採用できる。例えば、各層は複数の層からなるものでもよいし、第1強磁性金属層1の磁化方向を固定するための反強磁性層等の他の層を備えてよい。第1強磁性金属層1は固定層や参照層、

50

第2強磁性金属層2は自由層や記憶層などと呼ばれる。

【0031】

第1強磁性金属層1の材料には、公知のものを用いることができる。例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属及びこれらの金属を1種以上含み強磁性を示す合金を用いることができる。またこれらの金属と、B、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とを含む合金を用いることもできる。具体的には、Co-FeやCo-Fe-Bが挙げられる。

【0032】

また、より高い出力を得るためにCo₂FeSiなどのホイスラー合金を用いることが好ましい。ホイスラー合金は、X₂YZの化学組成をもつ金属間化合物を含み、Xは、周期表上でCo、Fe、Ni、あるいはCu族の遷移金属元素または貴金属元素であり、Yは、Mn、V、CrあるいはTi族の遷移金属又は上記のXの元素種であり、Zは、II族からV族の典型元素である。例えば、Co₂FeSi、Co₂MnSiやCo₂Mn_{1-a}Fe_aAl_bSi_{1-b}などが挙げられる。

【0033】

また、第1強磁性金属層1の第2強磁性金属層2に対する保磁力をより大きくするために、第1強磁性金属層1と接する材料としてIrMn、PtMnなどの反強磁性材料を用いてもよい。さらに、第1強磁性金属層1の漏れ磁場を第2強磁性金属層2に影響させないようにするために、シンセティック強磁性結合の構造としてもよい。

【0034】

さらに第1強磁性金属層1の磁化の向きを積層面に対して垂直にする場合には、CoとPtの積層膜を用いることが好ましい。具体的には、第1強磁性金属層1は、非磁性層3側から順にFeB(1.0nm)/Ta(0.2nm)/[Pt(0.16nm)/Co(0.16nm)]₄/Ru(0.9nm)/[Co(0.24nm)/Pt(0.16nm)]₆とすることができる。

【0035】

第2強磁性金属層2の材料として、強磁性材料、特に軟磁性材料を適用できる。例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属、これらの金属を1種以上含む合金、これらの金属とB、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とが含まれる合金等を用いることができる。具体的には、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Feが挙げられる。

【0036】

第2強磁性金属層2の磁化の向きを積層面に対して垂直にする場合には、第2強磁性金属層2の厚みを2.5nm以下とすることが好ましい。第2強磁性金属層2と非磁性層3の界面で、第2強磁性金属層2に垂直磁気異方性を付加することができる。また、垂直磁気異方性は第2強磁性金属層2の膜厚を厚くすることによって効果が減衰するため、第2強磁性金属層2の膜厚は薄い方が好ましい。

【0037】

非磁性層3には、公知の材料を用いることができる。

例えば、非磁性層3が絶縁体からなる場合(トンネルバリア層である場合)、その材料としては、Al₂O₃、SiO₂、MgO、Ga₂O₃及び、MgAl₂O₄等を用いることができる。またこれらの他にも、Al、Si、Mgの一部が、Zn、Be等に置換された材料等も用いることができる。さらに、MgAl₂O₄のMgがZnに置換された材料や、AlがGaやInに置換された材料等も用いることができる。これらの中でも、MgOやMgAl₂O₄は他の層との格子整合性が高い。

非磁性層3が金属からなる場合、その材料としては、Cu、Ag等を用いることができる。また、Ag-SnやAg-Mgなどの合金も用いることができる。さらに、非磁性層3が半導体からなる場合、その材料としては、Si、Ge、CuInSe₂、CuGaSe₂、Cu(In, Ga)Se₂等を用いることができる。

【0038】

10

20

30

40

50

また、磁気抵抗効果素子 10 は、その他の層を有していてもよい。例えば、第 2 強磁性金属層 2 の非磁性層 3 と反対側の面に下地層を有していてもよいし、第 1 強磁性金属層 1 の非磁性層 3 と反対側の面にキャップ層を有していてもよい。

【0039】

スピン軌道トルク配線 20 と磁気抵抗効果素子 10 との間に配設される層は、スピン軌道トルク配線 20 から伝播するスピンを散逸しないことが好ましい。例えば、銀、銅、マグネシウム、及び、アルミニウム等は、スピン拡散長が 100 nm 以上と長く、スピンが散逸しにくいことが知られている。

【0040】

またこの層の厚みは、層を構成する物質のスピン拡散長以下であることが好ましい。10 層の厚みがスピン拡散長以下であれば、スピン軌道トルク配線 20 から伝播するスピンを磁気抵抗効果素子 10 に十分伝えることができる。

【0041】

<スピン軌道トルク配線>

スピン軌道トルク配線 20 は、x 方向に延在する。スピン軌道トルク配線 20 は、第 2 強磁性金属層 2 の z 方向の一面に接続されている。スピン軌道トルク配線 20 は、第 2 強磁性金属層 2 に直接接続されてもよいし、他の層を介して接続されてもよい。

【0042】

スピン軌道トルク配線 20 は、電流が流れるとスピンホール効果によって純スピン流が生成される材料からなる。かかる材料としては、スピン軌道トルク配線 20 中に純スピン流が生成される構成のものであれば足りる。従って、単体の元素からなる材料に限らないし、純スピン流が生成される材料で構成される部分と純スピン流が生成されない材料で構成される部分とからなるもの等であってもよい。

20

スピンホール効果とは、材料に電流を流した場合にスピン軌道相互作用に基づき、電流の向きに直交する方向に純スピン流が誘起される現象である。

【0043】

図 2 は、スピンホール効果について説明するための模式図である。図 2 は、図 1 に示すスピン軌道トルク配線 20 を x 方向に沿って切断した断面図である。図 2 に基づいてスピンホール効果により純スピン流が生み出されるメカニズムを説明する。

【0044】

図 2 に示すように、スピン軌道トルク配線 20 の延在方向に電流 I を流すと、紙面奥側に配向した第 1 スピン S 1 と紙面手前側に配向した第 2 スピン S 2 はそれぞれ電流と直交する方向に曲げられる。通常のホール効果とスピンホール効果とは運動（移動）する電荷（電子）が運動（移動）方向を曲げられる点で共通するが、通常のホール効果は磁場中で運動する荷電粒子がローレンツ力を受けて運動方向を曲げられるのに対して、スピンホール効果では磁場が存在しないのに電子が移動するだけ（電流が流れるだけ）で移動方向が曲げられる点で大きく異なる。

30

【0045】

非磁性体（強磁性体ではない材料）では第 1 スピン S 1 の電子数と第 2 スピン S 2 の電子数とが等しいので、図中で上方向に向かう第 1 スピン S 1 の電子数と下方向に向かう第 2 スピン S 2 の電子数が等しい。そのため、電荷の正味の流れとしての電流はゼロである。この電流を伴わないスピン流は特に純スピン流と呼ばれる。

40

【0046】

強磁性体中に電流を流した場合は、第 1 スピン S 1 と第 2 スピン S 2 が互いに反対方向に曲げられる点は同じである。一方で、強磁性体中では第 1 スピン S 1 と第 2 スピン S 2 のいずれかが多い状態であり、結果として電荷の正味の流れが生じてしまう（電圧が発生してしまう）点が異なる。従って、スピン軌道トルク配線 20 の材料としては、強磁性体だけからなる材料は含まれない。

【0047】

ここで、第 1 スピン S 1 の電子の流れを J_1 、第 2 スピン S 2 の電子の流れを J_2 、ス

50

ピン流を J_s と表すと、 $J_s = J - J$ で定義される。図 2においては、純スピン流として J_s が図中の上方向に流れる。ここで、 J_s は分極率が 100 % の電子の流れである。

【 0 0 4 8 】

図 1において、スピン軌道トルク配線 20 の上面に強磁性体を接触させると、純スピン流は強磁性体中に拡散して流れ込む。すなわち、磁気抵抗効果素子 10 にスピンが注入される。

【 0 0 4 9 】

スピン軌道トルク配線 20 は、非磁性の重金属を含んでもよい。ここで、重金属とは、イットリウム以上の比重を有する金属の意味で用いている。スピン軌道トルク配線 20 は、非磁性の重金属だけからなってもよい。 10

【 0 0 5 0 】

この場合、非磁性の重金属は最外殻に d 電子又は f 電子を有する原子番号 39 以上の原子番号が大きい非磁性金属であることが好ましい。かかる非磁性金属は、スピンホール効果を生じさせるスピン軌道相互作用が大きいからである。スピン軌道トルク配線 20 は、最外殻に d 電子又は f 電子を有する原子番号 39 以上の原子番号が大きい非磁性金属だけからなってもよい。

【 0 0 5 1 】

通常、金属に電流を流すとすべての電子はそのスピンの向きに関わりなく、電流とは逆向きに動くのに対して、最外殻に d 電子又は f 電子を有する原子番号が大きい非磁性金属はスピン軌道相互作用が大きいためにスピンホール効果によって電子の動く方向が電子のスピンの向きに依存し、純スピン流 J_s が発生しやすい。 20

【 0 0 5 2 】

また、スピン軌道トルク配線 20 は、磁性金属を含んでもよい。磁性金属とは、強磁性金属、あるいは、反強磁性金属を指す。非磁性金属に微量な磁性金属が含まれるとスピン軌道相互作用が増強され、スピン軌道トルク配線 20 に流す電流に対するスピン流生成効率を高くできるからである。スピン軌道トルク配線 20 は、反強磁性金属だけからなってもよい。

【 0 0 5 3 】

スピン軌道相互作用はスピン軌道トルク配線材料の物質の固有の内場によって生じるため、非磁性材料でも純スピン流が生じる。スピン軌道トルク配線材料に微量の磁性金属を添加すると、磁性金属自体が流れる電子スピンを散乱するためにスピン流生成効率が向上する。ただし、磁性金属の添加量が増大し過ぎると、発生した純スピン流が添加された磁性金属によって散乱されるため、結果としてスピン流が減少する作用が強くなる。したがって、添加される磁性金属のモル比はスピン軌道トルク配線における純スピン生成部の主成分のモル比よりも十分小さい方が好ましい。目安で言えば、添加される磁性金属のモル比は 3 % 以下であることが好ましい。 30

【 0 0 5 4 】

また、スピン軌道トルク配線 20 は、トポロジカル絶縁体を含んでもよい。スピン軌道トルク配線 20 は、トポロジカル絶縁体だけからなってもよい。トポロジカル絶縁体とは、物質内部が絶縁体、あるいは、高抵抗体であるが、その表面にスピン偏極した金属状態が生じている物質である。物質にはスピン軌道相互作用という内部磁場のようなものがある。そこで外部磁場が無くてもスピン軌道相互作用の効果で新たなトポロジカル相が発現する。これがトポロジカル絶縁体であり、強いスピン軌道相互作用とエッジにおける反転対称性の破れにより純スピン流を高効率に生成することができる。 40

【 0 0 5 5 】

トポロジカル絶縁体としては例えば、 SnTe , $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_{1.7}\text{Se}_{1.3}$, TlBiSe_2 , Bi_2Te_3 , $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$, $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ などが好ましい。これらのトポロジカル絶縁体は、高効率にスピン流を生成することが可能である。 50

【0056】

<ビア配線>

ビア配線30は、スピン軌道トルク配線20の第2強磁性金属層2と反対側の面からスピン軌道トルク配線20と交差する方向に延在する。図1では、スピン軌道トルク配線20の鉛直方向に延在する。ビア配線30のスピン軌道トルク配線20と反対側の端部は、半導体回路に接続される。ビア配線30が接続される半導体回路には、例えば、トランジスタ、抵抗素子、キャパシタ等が接続される。

【0057】

図1に示すように、2つのビア配線30のx方向におけるビア間距離Gは、第2強磁性金属層2のx方向における幅dより短い。ビア間距離Gが第2強磁性金属層2のx方向の幅dが短いと、z方向から見てビア配線30と磁気抵抗効果素子10とが重畳する。

10

【0058】

磁気抵抗効果素子10とビア配線30とがz方向から見て重畳しない場合は、1つの素子のために磁気抵抗効果素子10とビア配線30のそれぞれの面積を足した分の面積が必要である。これに対して、ビア配線30と磁気抵抗効果素子10とがz方向から見て一部で重畳すると、1つの素子に必要な面積が、その重畳している面積分だけ小さくなる。すなわち、複数の素子をより効率的に集積回路内に集積することができる。

【0059】

ビア配線30のx方向及びy方向の幅は、設計されており自由に変更することはできない。例えば、現状の半導体における最小加工寸法(feature size: F)は7nmと言われており、ビア配線30のx方向及びy方向の幅は最小で7nmである。換言すると、ビア配線30のx方向及びy方向の幅は、このサイズ以上に小さくすることは難しく、ビア配線30の面積を変えることで集積性を高めることは難しい。

20

【0060】

ビア配線30には、導電性の高い材料を用いることができる。例えば、銅、アルミニウム、銀等が挙げられる。またこの他、導電性を有する窒化膜等を用いることができる。

【0061】

二つのビア配線30の間は、層間絶縁部31により絶縁されている。層間絶縁部31は、多層配線の配線間や素子間を絶縁する絶縁層である。層間絶縁部31には、半導体デバイス等で用いられているものと同様の材料を用いることができる。例えば、酸化シリコン(SiO_x)、窒化シリコン(SiN_x)、炭化シリコン(SiC)、窒化クロム(CrN)、炭窒化シリコン(SiCN)、酸窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)等が用いられる。

30

【0062】

層間絶縁部31とビア配線30とのピッカース硬度差は3GPa以下であることが好ましい。層間絶縁部31とビア配線30とのピッカース硬度差が3GPa以下であると、化学機械研磨(CMP)等によりスピン軌道トルク配線20が積層される積層面30aの研磨状態を一定にすることができる。その結果、スピン軌道トルク配線20が積層される積層面30aを平坦化することができる。また積層面30aが平坦化されれば、磁気抵抗効果素子10が積層される積層面20aの平坦性も高まる。

40

【0063】

CMPは、物理力と化学力を用いて、1つの面内に異なる物質がある場合でも同様に研磨ができる手法の一つである。そのため、層間絶縁部31とビア配線30とのピッカース硬度差が大きくても、平坦性を高めることはできる。しかしながら、磁気抵抗効果素子10を構成する各層は厚みが数nm程度であり、僅かな段差も磁気抵抗効果素子10の特性(例えば、磁気抵抗効果素子10の磁化の配向性)に影響を及ぼす。層間絶縁部31とビア配線30とのピッカース硬度差が3GPa以下であれば、磁気抵抗効果素子10の特性に影響を及ぼす程度の僅かな段差の発生も抑制できる。

【0064】

ここで、僅かな段差もない十分な平坦性の指標としては、以下の第1条件又は第2条件

50

の少なくとも一方を満たすことが好ましい。

【0065】

第1の条件は、ビア配線30と層間絶縁部31とのz方向の高さ位置の差が、1.5nm以下であることである。この高さ位置の差は1.2nm以下であることが好ましく、1.0nm以下であることがより好ましい。

【0066】

ここで、ビア配線30と層間絶縁部31とのz方向の高さ位置の差とは、ビア配線30のz方向の最高点から層間絶縁部31の高さ方向の平均面に下した垂線の長さを意味する。層間絶縁部31の高さ方向の平均面は、層間絶縁部31のz方向の平均高さ位置に延在する面を意味する。

10

【0067】

第2の条件は、ビア配線30と層間絶縁部31とのz方向の高さ位置の差を層間絶縁部31の幅dで割った凸度が0.015以下であることである。凸度は0.012以下であることが好ましく、0.010以下であることがより好ましい。ここで凸度は、層間絶縁部31の方がビア配線30より突出する場合は突出方向への凸度を意味し、層間絶縁部31の方がビア配線30より窪む場合は窪み方向への凸度を意味する。

【0068】

層間絶縁部31とビア配線30とのビッカース硬度差が3GPa以下となる具体的な組み合わせとしては以下のようない組合せが考えられる。

例えば、層間絶縁部31が酸化シリコンの場合は、ビア配線30に窒化バナジウムを用いることができる。

20

また例えば、層間絶縁部31が酸化ジルコニアの場合は、ビア配線30にNb、V及びAlからなる群から選択されるいづれかを含む窒化物を用いることができる。

また例えば、層間絶縁部31が窒化シリコンの場合は、ビア配線30にNb、Zr及びAlからなる群から選択されるいづれかを含む窒化物を用いることができる。

また例えば、層間絶縁部31に窒化クロム、単窒化珪素、酸化アルミニウムのいづれかの場合は、ビア配線30にTi又はZrを含む窒化物を用いることができる。

【0069】

(スピン軌道トルク型磁化反転素子の動作)

スピン軌道トルク型磁化反転素子100は、スピン軌道トルク配線20から注入されたスピンが誘起するスピン軌道トルク(SOT)により第2強磁性金属層2の磁化の向きを制御する。

30

【0070】

二つのビア配線30間に電位差を与えると、スピン軌道トルク配線20が延在するx方向に電流が流れる。スピン軌道トルク配線20内に電流が流れると、スピンホール効果が生じる。スピンホール効果により生じた一方向に配向したスピンは、第2強磁性金属層2内に注入される。第2強磁性金属層2内に注入されたスピンは、スピン軌道トルク(SOT)を第2強磁性金属層2の磁化に与え、第2強磁性金属層2の磁化の向きが変化する(書き込み動作)。

【0071】

第1強磁性金属層1の磁化の向きと第2強磁性金属層2の磁化の向きとの相対角の変化に応じて、磁気抵抗効果素子10の抵抗値は変化する。磁気抵抗効果素子10の抵抗値変化を検出することで、データを読み出すことができる。

40

【0072】

「第2実施形態」

図3は、第2実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子101の断面模式図である。図3に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子101は、スピン軌道トルク配線20とビア配線30との間に平坦化層32が形成されている点が、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100と異なる。図3において、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100と同一の構成については同一の符号を付し、説明を省

50

く。

【0073】

平坦化層32は導電性を有し、スピン軌道トルク配線20が積層される積層面30aの平坦性を高めるための層である。平坦化層32には、Ti、Nb、V、Ta、Zr及びAlからなる群から選択されるいずれかを含む窒化物を用いることができる。これらの中でも平坦化層32には、Ti又はTaを含む窒化物を用いることが好ましい。

【0074】

層間絶縁部31と平坦化層32とのビッカース硬度差は3GPa以下であることが好ましい。平坦化層32を設けることで、ビア配線30を構成する材料の選択性を高めることができる。層間絶縁部31と平坦化層32とのビッカース硬度差が3GPa以下となる具体的な組み合わせは、上述の層間絶縁部31とビア配線30との関係と同一である。

10

【0075】

平坦化層32により積層面30aの平坦性を高めることで、磁気抵抗効果素子10の特性に影響を及ぼす程度の僅かな段差の発生をより抑制できる。またビア配線30に用いることができる材料の選択性が高まり、より導電性の高い物質をビア配線30に用いることができる。

【0076】

「第3実施形態」

図4は、第3実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子102の要部を拡大した断面模式図である。図4に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子102は、スピン軌道トルク配線21が2層になっている点が、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100と異なる。図4において、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100と同一の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

20

【0077】

図4に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子102は、スピン軌道トルク配線21がz方向に積層構造を有している。図4に示すスピン軌道トルク配線21は、第2強磁性金属層2側の第1層21Aと、ビア配線30側の第2層21Bとを備える。図4ではスピン軌道トルク配線21の積層構造を2層で図示したが、3層以上の積層構造でもよい。

【0078】

第1層21Aの抵抗値は、第2層21Bの抵抗値より低い。第1層21Aの抵抗値が第2層21Bの抵抗値より低いと、電流は第1層21A側を流れようとする。そのため、電流I2は、ビア配線30からz方向にまず第1層21Aに向かって流れた後、x方向に流れる。これに対し、スピン軌道トルク配線が1層の場合(第1実施形態)、ビア配線30及びスピン軌道トルク配線20を流れる電流I1は、最短距離を流れる。

30

【0079】

電流I2は、磁気抵抗効果素子10のz方向直下の領域において、電流I1よりx方向の成分を多く有する。スピンホール効果は、電流の流れ方向と直交する方向に生じる。そのため、電流I2がx方向の成分を多く持つと、第2強磁性金属層2にスピンを効率的に注入することができる。

【0080】

40

「第4実施形態」

図5は、第4実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子103の断面模式図である。図5に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子103は、磁気抵抗効果素子11の断面が、第1強磁性金属層1から第2強磁性金属層2に向かって拡幅している点が、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100と異なる。図5において、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100と同一の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

【0081】

図5に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子103は、磁気抵抗効果素子11の断面が、第1強磁性金属層1から第2強磁性金属層2に向かって拡幅している。2つのビア配線

50

の x 方向におけるピア間距離 G は、第 2 強磁性金属層 2 の x 方向における幅 d より短い。ここで、第 2 強磁性金属層 2 の x 方向における幅 d は、スピン軌道トルク配線 20 との積層界面における幅を意味する。

【 0 0 8 2 】

また第 2 強磁性金属層 2 を z 方向から平面視した際の面積が、第 1 強磁性金属層 1 を z 方向から平面視した際の面積より大きい。すなわち、第 2 強磁性金属層 2 の体積は、第 1 強磁性金属層 1 の体積より大きい。第 2 強磁性金属層 2 の体積が大きいと、第 2 強磁性金属層 2 の磁化の安定性が高まる。第 2 強磁性金属層 2 の磁化は、第 1 強磁性金属層 1 の磁化より磁化方向が変わりやすい。第 2 強磁性金属層 2 の磁化方向が変化すると、磁気抵抗効果素子 11 が保持するデータが書き換わる。第 2 強磁性金属層 2 の磁化が安定化する 10 と、データを安定的に長期間保持できる。

【 0 0 8 3 】

また第 1 強磁性金属層 1 の x 方向の幅 D は、ピア間距離 G より狭いことが好ましい。ここで、第 1 強磁性金属層 1 の x 方向の幅 D とは、スピン軌道トルク配線 20 から最も離れた面における第 1 強磁性金属層 1 の x 方向の幅を意味する。

【 0 0 8 4 】

第 1 強磁性金属層 1 の x 方向の幅 D が狭くなると、第 1 強磁性金属層 1 が高抵抗になる。つまりスピン軌道トルク配線 20 を流れる電流の一部が、磁気抵抗効果素子 11 の積層方向 (z 方向) に分流することを抑制できる。スピン軌道トルク配線 20 に流れる電流の x 成分を高まると、より効率的に SOT により第 2 強磁性金属層 2 の磁化を回転させることができ 20 とができる。

【 0 0 8 5 】

「第 5 実施形態」

図 6 は、第 5 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子 104 の断面模式図である。図 6 に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子 104 は、非磁性層 3 と第 1 強磁性金属層 1 とを有さない点が、第 1 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子 100 と異なる。図 6 において、第 1 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子 100 と同一の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

【 0 0 8 6 】

図 6 に示す第 5 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子 104 は、非磁性層 3 と第 1 強磁性金属層 1 とを有さない。スピン軌道トルク型磁化反転素子 104 は、これらの層を有さなくても素子として機能する。例えば、AMR (磁気異方性) センサ、磁気カーポロ又は磁気ファラデー効果を利用して空間光変調器として用いることができる。 30

【 0 0 8 7 】

上述のように、第 1 実施形態～第 5 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子は、ピア配線と磁気抵抗効果素子とが z 方向から見て一部で重畠する。そのため、1 つの素子に必要な面積を、その重畠している面積分だけ小さくすることができ、複数の素子をより効率的に集積回路内に集積することができる。また第 1 実施形態～第 5 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子を複数備えることで、集積性に優れる磁気メモリ 200 を得ることができる (図 7)。 40

【 0 0 8 8 】

以上、本発明の好ましい実施の形態について詳述したが、本発明は特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【 実施例 】

【 0 0 8 9 】

(実施例 1)

図 1 に示すように、ピア配線 30 と磁気抵抗効果素子 10 とが z 方向から見て一部で重畠するように配設されたスピン軌道トルク型磁化反転素子 100 を作製した。

【 0 0 9 0 】

スピン軌道トルク型磁化反転素子100において、第1強磁性金属層1と第2強磁性金属層2の磁化方向がz方向を向くように、各層の構成及び厚みを以下のようにした。磁気抵抗効果素子10のz方向からの平面形状は円形とし、その直径dを100nmとした。第1強磁性金属層1はCoFeBからなり、厚みを1nmとした。非磁性層3はMgOからなり、厚みを1nmとした。第2強磁性金属層2はCoFeB(1.0nm)/W(0.15nm)/[Pt(0.16nm)/Co(0.16nm)]₄/Ru(0.9nm)/[Co(0.24nm)/Pt(0.16nm)]₆とした。またスピン軌道トルク配線20はWからなり、厚みを3nm、Y方向の幅は200nmとした。ビア配線30と層間絶縁部31は、それぞれCuとSiO₂により作製し、ビア間距離Gを90、80、70、60、50nmとした。

10

【0091】

実施例1にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100の反転電流値を測定した。反転電流値とビア間距離Gは表1に示した。なお、反転電流は5nsecのパルスであり、書込み電流Iwを流し、x方向に500eの磁場を印可して測定を行った。磁化の向きは積層方向に読み込み電流Irを流すことによって生じる磁気抵抗効果によって判定した。したがって、反転電流値は書込み電流Iwと読み込み電流Irを交互に印可し、書込み電流Iwを増大させた後に読み込み電流Irから求められる抵抗変化から反転電流値を見積もった。

【0092】

【表1】

20

ビア間距離G [nm]	90	80	70	60	50
反転電流値 [μA]	120	119	120	118	119

【0093】

(比較例1)

比較例1では、図8に示すように、ビア配線30と磁気抵抗効果素子10とがz方向から見て一部で重畠しないスピン軌道トルク型磁化反転素子105を作製した。

30

【0094】

図8に示すスピン軌道トルク型磁化反転素子105は、磁気抵抗効果素子10と、スピン軌道トルク配線20と、ビア配線30と、層間絶縁部31と、半導体回路40とを備えある。半導体回路40に繋がるビア配線30は、スピン軌道トルク配線20の磁気抵抗効果素子10が積層されている面と同一面の磁気抵抗効果素子と異なる位置に接続されている。比較例1における各構成に用いられる材料等は、実施例1と同一とした。またビア間距離Gは180、160、140、120、100nmとし、またスピン軌道トルク配線20はWからなり、厚みを3nm、Y方向の幅は200nmとした。磁気抵抗効果素子10のz方向からの平面形状は円形とし、その直径dを100nmとした。

40

【0095】

比較例1にかかるスピン軌道トルク型磁化反転素子100の反転電流値を測定した。反転電流値とビア間距離Gは表2に示した。なお、反転電流は5nsecのパルスであり、書込み電流Iwを流し、x方向に500eの磁場を印可して測定を行った。磁化の向きは積層方向に読み込み電流Irを流すことによって生じる磁気抵抗効果によって判定した。したがって、反転電流値は書込み電流Iwと読み込み電流Irを交互に印可し、書込み電流Iwを増大させた後に読み込み電流Irから求められる抵抗変化から反転電流値を見積もった。

【0096】

【表2】

ピア間距離G [nm]	100	120	140	160	180
反転電流値 [μ A]	122	124	127	125	126

【0097】

図9に実施例1と比較例1の結果を示す。実施例1は、ピア配線30と磁気抵抗効果素子10とがz方向から見て一部で重畠させているのにも関わらず、反転電流値の減少が観測された。一般的に、ピア配線30と磁気抵抗効果素子10とがz方向から見て重畠している部分はx方向の電流成分がほとんどないため、重畠している部分は磁化反転を起こしにくいと考えることができる。しかしながら、図9では反転電流値とピア間距離Gが磁気抵抗効果素子10のx方向の長さdよりも狭い領域でも反転電流値が減少している。また、一つのメモリセルに必要な面積はピア間距離Gが磁気抵抗効果素子10のx方向の幅よりも小さくすることで減少するため、従来よりも高い集積度の磁気メモリを形成することができる。すなわち、当業者にとって忌避されていた構成であっても十分な特性を示しており、当該構成によれば十分な特性を確保しつつ、集積性を高めることができることが確認できた。

10

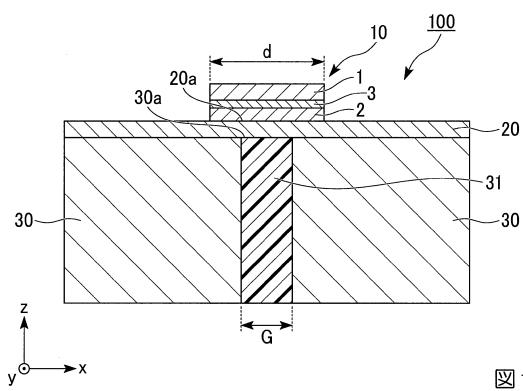
20

【符号の説明】

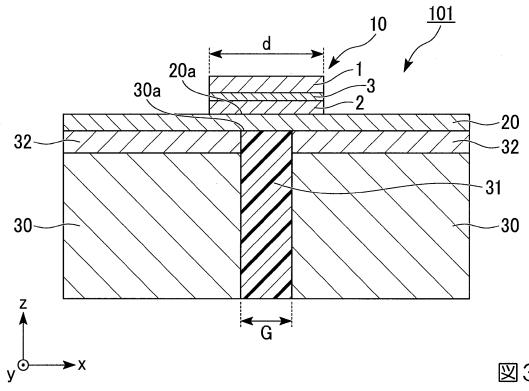
【0098】

1...第1強磁性金属層、2...第2強磁性金属層、3...非磁性層、10, 11...磁気抵抗効果素子、20, 21...スピン軌道トルク配線、21A...第1層、21B...第2層、30...ピア配線、31...層間絶縁部、32...平坦化層、40...半導体回路、100, 101, 102, 103, 104, 105...スピン軌道トルク型磁化反転素子

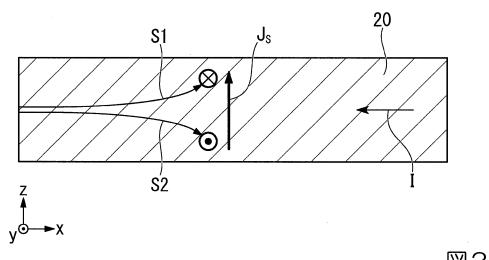
【図1】



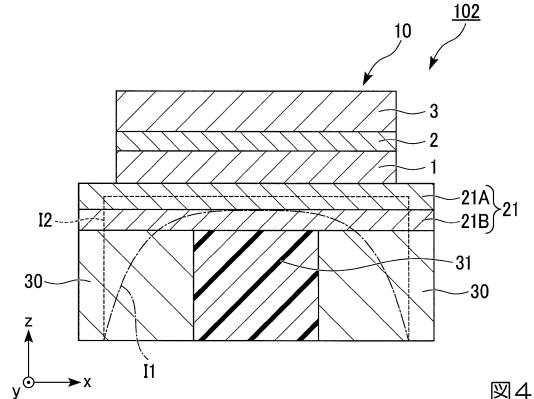
【図3】



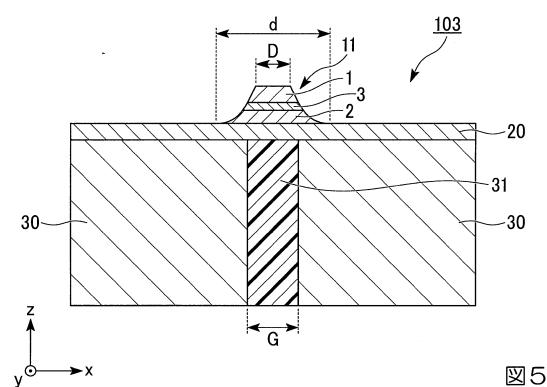
【図2】



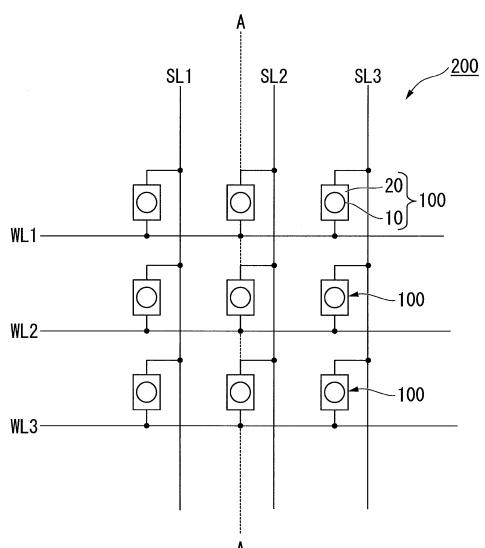
【図4】



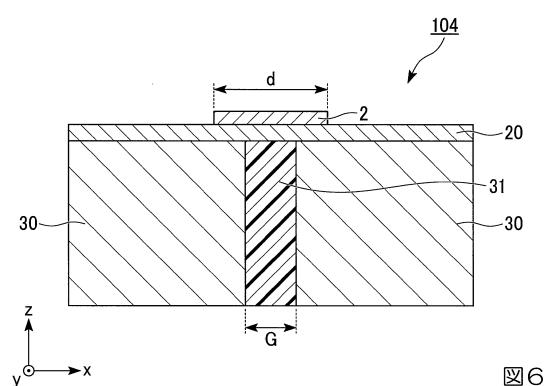
【図5】



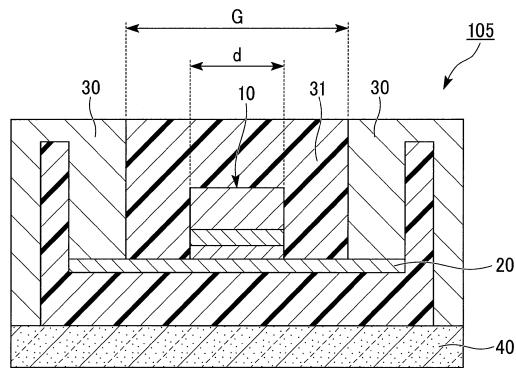
【図7】



【図6】

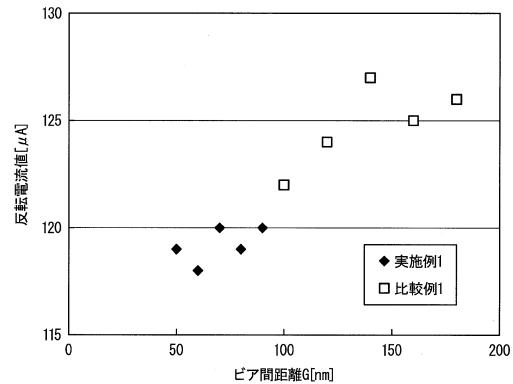


【 四 8 】



8

【 図 9 】



9

フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 智生
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

審査官 宮本 博司

(56)参考文献 特開2017-59679 (JP, A)
特開2017-59594 (JP, A)
特開2016-46492 (JP, A)
国際公開第2016/021468 (WO, A1)
特開2017-59634 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/82
H01L 21/8239
H01L 27/105
H01L 43/08