

(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8月5日(05.08.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2010/087389 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 21/8246 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)  
H01L 27/105 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/051098
- (22) 国際出願日: 2010年1月28日(28.01.2010)
- (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 2009-020138 2009年1月30日(30.01.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社(NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1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): 深見 俊輔 (FUKAMI Shunsuke) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 哲広 (SUZUKI Tetsuhiro) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 永原 聖万 (NAGAHARA Kiyokazu) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝

五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 石綿 延行 (ISHIWATA Nobuyuki) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 大嶋 則和 (OHSHIMA Norikazu) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

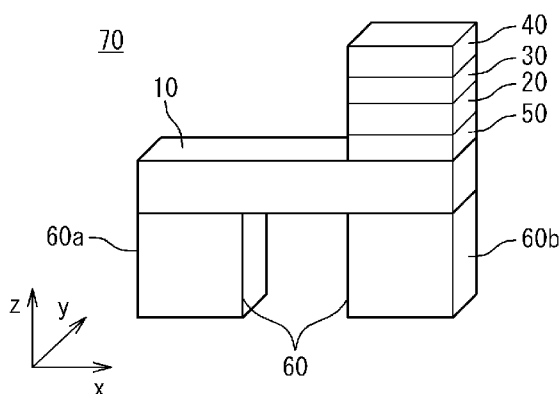
- (74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH Minoru); 〒1400013 東京都品川区南大井六丁目24番10号カドヤビル6階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, 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, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC MEMORY ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気メモリ素子、磁気メモリ

[図1A]



(57) Abstract: A magnetic memory element is provided with: a first magnetization free layer composed of a ferromagnetic material having perpendicular magnetic anisotropy; a second magnetization free layer, which is arranged in the vicinity of the first magnetization free layer and is composed of a ferromagnetic material having in-plane magnetic anisotropy; a reference layer composed of a ferromagnetic material having in-plane magnetic anisotropy; and a non-magnetic layer arranged between the second magnetization free layer and the reference layer. The first magnetization free layer is provided with: a first magnetization fixed region wherein magnetization is fixed; a second magnetization fixed region wherein magnetization is fixed; and a magnetization free region which is connected to the first magnetization fixed region and the second magnetization fixed region and permits magnetization to be inverted. The second magnetization free layer is stored in the first magnetization free layer within a flat surface parallel to a substrate. The second magnetization free layer is arranged within the flat surface by being shifted in the first direction with respect to the magnetization free region.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/087389 A1



(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))

---

磁気メモリ素子は、垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成された第 1 磁化自由層と、第 1 磁化自由層の近傍に設けられ、面内磁気異方性を有する強磁性体から構成された第 2 磁化自由層と、面内磁気異方性を有する強磁性体から構成されたリファレンス層と、第 2 磁化自由層とリファレンス層との間に設けられた非磁性層とを具備する。第 1 磁化自由層は、磁化が固定される第 1 磁化固定領域と、磁化が固定される第 2 磁化固定領域と、第 1 磁化固定領域と第 2 磁化固定領域とに接続され、磁化が反転可能な磁化自由領域とを備える。第 2 磁化自由層は基板に平行な平面内において第 1 磁化自由層内に収まる。第 2 磁化自由層は平面内において磁化自由領域に対して第 1 方向にずれて設けられる。

## 明 細 書

**発明の名称**：磁気メモリ素子、磁気メモリ

### 技術分野

[0001] 本発明は、磁気メモリ素子、磁気メモリに関する。特に本発明は磁壁移動を利用した磁気メモリ素子、磁気メモリに関する。

### 背景技術

[0002] 磁気メモリ、特に磁気ランダムアクセスメモリ (Magnetic Random Access Memory; MRAM) は高速動作、及び無限回の書き換えが可能な不揮発性メモリとして動作する。そのため、一部で実用化が始まり、またより汎用性を高めるための開発が行われている。MRAMでは記憶素子として磁性体を用い、磁性体の磁化の向きに対応させて情報を記憶する。この磁性体の磁化をスイッチングさせる方法としていくつかの方式が提案されているが、いずれも電流を使う点では共通している。MRAMを実用化の上では、この書き込み電流をどれだけ小さくできるかが非常に重要である。

[0003] 非特許文献1によれば、その書き込み電流には0.5mA以下への低減、さらに好ましくは0.2mA以下への低減が求められている。これは書き込み電流が0.2mA程度まで低減されると、非特許文献1で提案されている2T-1MTJ (Two Transistors-One Magnetic Tunnel Junction) 回路構成において最小レイアウトが可能となり、既存の揮発性メモリと同等以上のコストパフォーマンスを実現できるためである。

[0004] MRAMへの情報の書き込み方法のうちで最も一般的なものは、磁性記憶素子の周辺に書き込みのための配線を配置し、この配線に電流を流すことで発生する磁場によって磁性記憶素子の磁化の方向をスイッチングさせる方法である。この方法は磁場による磁化反転となるため、原理的には1ナノ秒以下の書き込みが可能であり、高速MRAMを実現する上では好適である。し

かしながら熱安定性、外乱磁場耐性が確保された磁性体の磁化をスイッチングするための磁場は一般的には数100e（エールステッド）程度となる。このような磁場を発生させるためには数mA程度の電流が必要となる。この場合、チップ面積が大きくならざるを得ず、また書き込みに要する消費電力も増大する。そのため、他のランダムアクセスメモリと比べて競争力で劣ることになる。これに加えて、素子が微細化されると、書き込み電流はさらに増大してしまい、スケーリングの点でも好ましくない。

[0005] 近年このような問題を解決する手段として、以下の2つの方法が提案されている。第1の方法はスピン注入磁化反転を用いる方法である。これは反転可能な磁化を有する第1の磁性層（磁化自由層）と、それに電氣的に接続され、磁化が固定された第2の磁性層（リファレンス層）から構成された積層膜を用いる。そして、第2の磁性層（リファレンス層）と第1の磁性層（磁化自由層）との間で電流を流したときのスピン偏極した伝導電子と第1の磁性層（磁化自由層）中の局在電子との間の相互作用を利用して、第1の磁性層（磁化自由層）の磁化を反転する方法である。読み出しの際には第1の磁性層（磁化自由層）と第2の磁性層（リファレンス層）との間で発現される磁気抵抗効果を利用する。従ってスピン注入磁化反転方式を用いたMRAMは2端子の素子となる。

[0006] スピン注入磁化反転はある電流密度以上のときに起こることから、素子のサイズが小さくなれば、書き込みに要する電流は低減される。すなわちスピン注入磁化反転方式はスケーリング性に優れているとすることができる。しかしながら、一般的に第1の磁性層（磁化自由層）と第2の磁性層（リファレンス層）の間には絶縁層が設けられ、書き込みの際には比較的大きな電流をこの絶縁層に流さなければならない。そのため、書き換え耐性や信頼性が課題となる。また、書き込みの電流経路と読み出しの電流経路とが同じになる。そのため、読み出しの際の誤書き込みも懸念される。このようにスピン注入磁化反転はスケーリング性には優れるものの、実用化にはいくつかの障壁がある。

[0007] 一方、第2の方法である電流誘起磁壁移動現象を利用した磁化反転方法は、スピン注入磁化反転の抱える上述のような問題を解決することができる。電流誘起磁壁移動現象を利用したMRAMは例えば特許文献1で開示されている。すなわち、特許文献1には磁気記憶装置及び磁気情報の書き込み方法が開示されている。この磁気記憶装置は、磁化固定層と、トンネル絶縁層と、磁化自由層と、一对の磁気情報書き込み用端子とを備える。磁化固定層は、固定磁化が付与された導電性である。トンネル絶縁層は、磁化固定層に積層形成されている。磁化自由層は、トンネル絶縁層を介して磁化固定層と積層形成された接合部、接合部の一对の端部に隣接形成された磁壁ピン止め部、及び、磁壁ピン止め部に隣接する互いに反対向きの固定磁化が付与された一对の磁化固定部を具備する導電性である。一对の磁気情報書き込み用端子は、一对の磁化固定部に電気接続し、磁化自由層の接合部、一对の磁壁ピン止め部及び一对の磁化固定部を貫通する電流を磁化自由層に流す。このような電流誘起磁壁移動現象を利用したMRAMは、一般的には反転可能な磁化を有する第1の磁性層（磁化自由層）において、その両端部の磁化が互いに略反平行となるように固定されている。このような磁化配置のとき、第1の磁性層内には磁壁が導入される。ここで、非特許文献2で報告されているように、磁壁を貫通する方向に電流を流したとき、磁壁は伝導電子の方向に移動することから、第1の磁性層（磁化自由層）内に電流を流すことにより書き込みが可能となる。情報を読み出す際には、磁壁が移動する領域に設けられる磁気トンネル接合（Magnetic Tunnel Junction; MTJ）を用い、磁気抵抗効果により読み出しを行う。従って、電流誘起磁壁移動方式を利用したMRAMは3端子の素子となり、上述の非特許文献1で提案されている2T-1MTJ構成とも整合する。

[0008] 電流誘起磁壁移動もある電流密度以上のときに起こることから、スピン注入磁化反転と同様にスケーリング性があると言える。これに加えて、電流誘起磁壁移動を利用したMRAM素子では、書き込み電流が磁気トンネル接合中の絶縁層を流れることはなく、また書き込み電流経路と読み出し電流経路

は別となるため、スピン注入磁化反転で挙げられるような上述の問題は解決されることになる。

[0009] 一方で非特許文献2では電流誘起磁壁移動に必要な電流密度として $1 \times 10^8$  [A/cm<sup>2</sup>] 程度を要している。この場合、例えば磁壁移動の起こる層（磁化自由層）の幅を100 nm、膜厚を10 nmとした場合の書き込み電流は1 mAとなる。これは前述の書き込み電流に関する条件を満たすことができない。しかし、非特許文献3で述べられているように、電流誘起磁壁移動が起こる強磁性層（磁化自由層）として垂直磁気異方性を有する材料を用いることによって、書き込み電流を十分小さく低減できることが報告されている。このようなことから、電流誘起磁壁移動を利用してMRAMを製造する場合、磁壁移動が起こる層（磁化自由層）としては垂直磁気異方性を有する強磁性体を用いることが好ましいと言える。

[0010] 関連する技術として特許文献2に磁壁移動を利用した磁気抵抗効果素子の磁化状態の変化方法及び該方法を用いた磁気メモリ素子、固体磁気メモリが開示されている。この磁気メモリ素子は、第一の磁性層と中間層と第二の磁性層とを有し、情報を第一の磁性層と、第二の磁性層との磁化の方向で記録する。この磁気メモリ素子は、少なくとも一方の磁性層内に互いに反平行磁化となる磁区とそれらの磁区を隔てる磁壁を定常的に形成し、前記磁壁を磁性層内で移動させることで、隣り合う磁区の位置を制御して情報記録を行う。

[0011] 特許文献3に、パルス電流による磁壁移動に基づいた磁気抵抗効果素子および高速磁気記録装置が開示されている。この磁気抵抗効果素子は、第1の磁化固定層／磁化自由層／第2の磁化固定層を有する。磁気抵抗効果素子は、該磁化固定層／磁化自由層あるいは磁化自由層／第2の磁化固定層の少なくとも一方の境界となる磁化固定層と磁化自由層間の遷移領域に磁壁発生を誘導するための機構を備え、これら磁化固定層の磁化の向きを略反平行に設定し、磁化固定層／磁化自由層の遷移領域のいずれか一方に磁壁が存在する構造において、所定のパルス幅の電流を印加することにより、直流電流密度

$10^6 \text{ A/cm}^2$ を超えない電流で磁壁が2つの遷移領域の間で移動することにより磁化自由層の磁化を反転させ、相対磁化の向きの変化に伴う磁気抵抗を検出する。

### 先行技術文献

### 特許文献

- [0012] 特許文献1：特開2005-191032号公報  
特許文献2：特開2006-73930号公報  
特許文献3：特開2006-270069号公報

### 非特許文献

- [0013] 非特許文献1：IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 42, p. 830 (2007).  
非特許文献2：Physical Review Letters, vol. 92, p. 077205, (2004).  
非特許文献3：Journal of Applied Physics, vol. 103, p. 07E718, (2008).  
非特許文献4：Applied Physics Letters, vol. 89, p. 232510, (2006).  
非特許文献5：Applied Physics Express, vol. 1, p. 101303, (2008).

### 発明の概要

- [0014] ここで、特許文献1に開示されているように、磁壁移動型MRAMにおいては磁壁移動が起こる領域に隣接して読み出しのためのMTJが設けられる。ここで、MTJは磁化が反転する磁化自由層と非磁性層とリファレンス層から構成される。垂直磁気異方性を有する強磁性体を磁化自由層に用いて磁壁移動型MRAMを製造する場合、リファレンス層も垂直磁気異方性を有する強磁性体により構成される必要がある。すなわち当該MTJは垂直磁化MTJとなる。

- [0015] ここで、近年非特許文献4で報告されているように、面内磁化MTJにおいては500%を超える非常に大きなTMR比が得られている。しかし、その一方で、垂直磁化MTJにおいてはこのような大きなTMR比は報告されていない。TMR比はMRAMにおける読み出し信号量に相当し、高速動作のためにはなるべく大きいことが好ましい。従って高速での読み出しが可能なMRAMにおいては、MTJは面内磁化MTJであることが望ましい。
- [0016] また、一般的にMRAMセルのセル面積は小さいほどビットコストが下がり、低コスト化に繋がる。前述の2T-1MTJ方式においては、最小で $12F^2$ にまでセル面積の低減が可能である。磁壁移動型MRAMにおいても同様で、 $12F^2$ のセル面積となるようなセル構造が好ましい。
- [0017] したがって、本発明の目的は、書き込み電流が小さく、読み出し信号が大きく、且つセル面積の小さな磁壁移動型の磁気メモリ素子、磁気メモリを提供することにある。
- [0018] 本発明の磁気メモリ素子は、第1磁化自由層と、第2磁化自由層と、リファレンス層と、非磁性層とを具備する。第1磁化自由層は、垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成されている。第2磁化自由層は、第1磁化自由層の近傍に設けられ、面内磁気異方性を有する強磁性体から構成されている。リファレンス層は、面内磁気異方性を有する強磁性体から構成されている。非磁性層は、第2磁化自由層とリファレンス層との間に設けられている。第1磁化自由層は、第1磁化固定領域と、第2磁化固定領域と、化自由領域とを備える。第1磁化固定領域は、磁化が固定される。第2磁化固定領域は、磁化が固定される。磁化自由領域は、第1磁化固定領域と第2磁化固定領域とに接続され、磁化が反転可能である。第2磁化自由層は基板に平行な平面内において第1磁化自由層内に収まる。第2磁化自由層は平面内において磁化自由領域に対して第1方向にずれて設けられる。
- [0019] 本発明の磁気メモリは、上記の本発明の磁気メモリ素子を備えた複数の磁気メモリセルが行列状に配置されている。
- [0020] 本発明により、書き込み電流が小さく、読み出し信号が大きく、且つセル



面積の小さな磁壁移動型の磁気メモリ素子、磁気メモリを提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0021] [図1A] 図 1 A は、本発明に係る磁気メモリ素子の主要な部分の代表的な構造を模式的に示す斜視図である。

[図1B] 図 1 B は、本発明に係る磁気メモリ素子の主要な部分の代表的な構造を模式的に示す  $x - z$  断面図である。

[図1C] 図 1 C は、本発明に係る磁気メモリ素子の主要な部分の代表的な構造を模式的に示す  $x - y$  平面図である。

[図1D] 図 1 D は、本発明に係る磁気メモリ素子の磁化自由層の構造を模式的に示す平面図である。

[図2A] 図 2 A は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の“0”のメモリ状態における磁化の状態の例を模式的に示す断面図である。

[図2B] 図 2 B は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の“1”のメモリ状態における磁化の状態の例を模式的に示す断面図である。

[図2C] 図 2 C は、磁化自由領域の磁化と第 2 磁化自由層の磁化との結合について模式的に示す断面図である。

[図2D] 図 2 D は、磁化自由領域の磁化と第 2 磁化自由層の磁化との結合について模式的に示す断面図である。

[図3A] 図 3 A は、本発明に係る磁気メモリ素子への情報の書き込み方法の一例を模式的に示す断面図である。

[図3B] 図 3 B は、本発明に係る磁気メモリ素子への情報の書き込み方法の一例を模式的に示す断面図である。

[図4A] 図 4 A は、図 1 A ~ 図 1 D に示された構成を有する磁気メモリ素子からの情報の読み出し方法の一例を模式的に示す断面図である。

[図4B] 図 4 B は、図 1 A ~ 図 1 D に示された構成を有する磁気メモリ素子からの情報の読み出し方法の一例を模式的に示す断面図である。

[図5] 図 5 は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルの 1 ビット分の回路

の構成の一例を示すブロック図である。

[図6] 図6は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリの構成の一例を示すブロック図である。

[図7A] 図7Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルのレイアウトの一例を模式的に示すx-y平面図である。

[図7B] 図7Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセルのレイアウトの一例を模式的に示すx-z断面図である。

[図8A] 図8Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第1の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図8B] 図8Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第1の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図8C] 図8Cは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第1の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図9A] 図9Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第2の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図9B] 図9Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第2の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図9C] 図9Cは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第2の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図9D] 図9Dは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第2の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図9E] 図9Eは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第2の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図10A] 図10Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第3の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図10B] 図10Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第3の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図10C] 図10Cは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第3の変形

例の構造を模式的に示す断面図である。

[図11A]図 1 1 Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第 4 の変形例の形態を示す模式図である。

[図11B]図 1 1 Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第 4 の変形例の形態を示す模式図である。

[図12A]図 1 2 Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第 5 の変形例の形態を模式的に示す断面図である。

[図12B]図 1 2 Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第 5 の変形例の形態を模式的に示す断面図である。

[図13A]図 1 3 Aは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第 6 の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

[図13B]図 1 3 Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の第 6 の変形例の構造を模式的に示す断面図である。

### 発明を実施するための形態

[0022] 以下、添付図面を参照して、本発明の磁気メモリ素子及び磁気メモリの実施の形態について説明する。

#### [0023] 1. 構造

本発明の実施の形態に係る磁気メモリは、アレイ状に配置された複数の磁気メモリセルを有している。複数の磁気メモリセルの各々は磁気メモリ素子を有している。以下、磁気メモリ素子の構造について説明する。図 1 A、図 1 B、及び図 1 Cは、それぞれ本発明に係る磁気メモリ素子 7 0 の主要な部分の代表的な構造を模式的に示す斜視図、 $x-z$  断面図、及び  $x-y$  平面図である。なお、図に示されている  $x-y-z$  座標系において、 $z$  軸は基板に垂直な方向であり、 $x$  軸と  $y$  軸は基板平面に平行であるものとする。また、図 1 B の白抜き矢印は、その層における磁化方向を示し、両方向矢印は両方の磁化方向を取り得ることを示す。以下、各図面において同じである。磁気メモリ素子 7 0 は第 1 磁化自由層 1 0、第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 を具備する。この他、導電層 5 0、磁化固定層群 6 0

を具備することが好ましい。

[0024] 図1Dは、本発明に係る磁気メモリ素子70の磁化自由層10の構造を模式的に示す平面図である。第1磁化自由層10は第1磁化固定領域11a、第2磁化固定領域11b、及び磁化自由領域12の3つの領域から構成される。第1磁化固定領域11aは磁化自由領域12の一方の端部に隣接し、第2磁化固定領域11bは磁化自由領域12の別の端部に隣接する。図1Dの例では、第1磁化固定領域11aは磁化自由領域12の-x方向側の端部に隣接し、第2磁化固定領域11bは磁化自由領域12の+x方向側の端部に隣接している。好適には第1磁化固定領域11a、第2磁化固定領域11b、磁化自由領域12はそれぞれ略正方形の形状を有する。また第1磁化固定領域11a、磁化自由領域12、第2磁化固定領域11bは一直線上に配置される。このとき、磁化自由層10はアスペクト比が約3の長方形となる。

[0025] 図1Dにおいて、丸に点及びバツの印は、その層における紙面に垂直上向き及び下向きの磁化方向を示し、両方の印が記載された層は両方の磁化方向を取り得ることを示す。以下、各図面において同じである。第1磁化自由層10は、垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成される。そして、第1磁化固定領域11a、第2磁化固定領域11bは実質的に一方向に固定された磁化を有する。また第1磁化固定領域11a、第2磁化固定領域11bの磁化は互いに反平行方向に固定されている。図1Dでは第1磁化自由領域11a、第2磁化固定領域11bはそれぞれ+z方向、-z方向に固定されているものとして描かれている。磁化自由領域12の磁化は反転可能である。この場合+z、-zのいずれかの方向を向くことができる。

[0026] 磁化自由層10内の3つの領域が上述のような磁化構造であるとき、磁化自由領域12の磁化方向に応じて、第1磁化固定領域11aと磁化自由領域12との境界、及び第2磁化固定領域11bと磁化自由領域12との境界のいずれか一方に磁壁が形成される。図1Dの場合、磁化自由領域12の磁化が+z方向のとき、第2磁化固定領域11bと磁化自由領域12との境界に

磁壁が形成され、磁化自由領域 1 2 の磁化が  $-z$  方向のとき、第 1 磁化固定領域 1 1 a と磁化自由領域 1 2 との境界に磁壁が形成される。

[0027] 第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 はこの順に積層して設けられる。第 2 磁化自由層 2 0、及びリファレンス層 4 0 は強磁性体から構成される。また非磁性層 3 0 は非磁性体から構成され、好適には絶縁体から構成される。このとき、第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 の 3 つの層の積層体によって磁気トンネル接合 (M a g n e t i c T u n n e l J u n c t i o n ; M T J) が構成される。なお、第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 の形状、及び位置関係には任意性がある。但し、第 2 磁化自由層 2 0、リファレンス層 4 0 は少なくとも一部分において  $x-y$  面内で重なって設けられる必要がある。図 1 A ~ 図 1 C の例では第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 の形状は同一であり、互いに重なったものとして描かれている。

[0028] また、図 1 B の例では、第 2 磁化自由層 2 0、及びリファレンス層 4 0 がとりうる磁化方向の一例が矢印で示されている。第 2 磁化自由層 2 0 は好適には面内磁気異方性を有する強磁性体から構成される。また第 2 磁化自由層 2 0 は反転可能な磁化を有する。さらに、第 2 磁化自由層 2 0 における反転可能な磁化は、磁化自由層 1 0 の中の磁化自由領域 1 2 の磁化と磁氣的に結合している。言い換えると、磁化自由領域 1 2 の磁化の方向が変わったとき、それに付随して第 2 磁化自由層 2 0 の磁化もその方向を変えることができる。図 1 B の例では、磁化自由領域 1 2 の磁化は  $+z$  または  $-z$  方向のいずれかの方向をとり、また第 2 磁化自由層 2 0 の磁化は  $+x$  方向、または  $-x$  方向のいずれかの成分をとらうる。

[0029] リファレンス層 4 0 は実質的に一方向に固定された磁化を有する。図 1 B の例ではリファレンス層 4 0 の磁化は  $+x$  方向に固定されている。また図示されていないが、リファレンス層 4 0 は以下のような積層構造を有していてもよい。例えばリファレンス層 4 0 は強磁性体、非磁性体、強磁性体の 3 層がこの順に積層された構造を有していることが好ましい。ここで二つの強磁

性体に挟まれた非磁性体は上下の強磁性体を反平行方向に磁気結合させる（積層フェリ結合させる）機能を有していることが好ましい。このような機能を有する非磁性体としてはRuが例示される。リファレンス層40を積層フェリ結合を有する積層構造にすることによって、外部への漏洩磁界を低減し、第2磁化自由層などのその他の層への磁気的な影響を低減することができる。これに加えて、リファレンス層には反強磁性体が隣接していることが好ましい。これは、反強磁性体を隣接させ、磁場中で熱処理を行うことによって界面の磁化方向を一方向に固定することができるためである。代表的な反強磁性体としてはPt-Mnが例示される。

[0030] 第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40はいずれもx-y面内において第1磁化自由層10に収まることが好ましい。さらに第2磁化自由層20のx-y面内における位置は第1磁化自由層10の中の磁化自由領域12に対して一方向にずれて設けられる必要がある。より好適には、第2磁化自由層20は第1磁化自由領域11a、または第2磁化自由領域11bのいずれか一方の上部、または下部に設けられる。図1A～図1Cの例では第2磁化自由層20は第1磁化自由領域11bの上部に設けられている。さらに、前述のようにリファレンス層40は実質的に一方向に固定された磁化を有するが、この固定磁化の方向は、第2磁化自由層20が磁化自由領域12に対するズレの方向に平行であることが望ましい。図1A～図1Cの例の場合、第2磁化自由層20が磁化自由領域12に対して+x方向にずれて設けられており、リファレンス層40の磁化は+x方向に固定されている。

[0031] 導電層50は磁化自由層10と、第2磁化自由層20、非磁性層30、及びリファレンス層40から構成されるMTJとの間に設けられる。導電層50は磁化自由層10とMTJとを電氣的に接続する。また導電層50の形状は任意である。図1A～図1Cの例では導電層50の形状はMTJと同形状となっている。

[0032] 磁化固定層群60は強磁性体、または反強磁性体の少なくとも一方を含有

する。磁化固定層群60は磁化自由層10の第1磁化固定領域11a、及び第2磁化固定領域11bの磁化を反平行方向に向け、またその磁化を一方向に固定する働きを有する。磁化固定層群60は、図1A～図1Cの例に示されるように第1磁化固定層群60a、第2磁化固定層群60bの二つの領域から構成されてもよい。ここで第1磁化固定層群60aは第1磁化固定領域11aに磁氣的に結合して設けられており、第2磁化固定層群60bは第2磁化固定領域11bに磁氣的に結合して設けられている。また図1A～図1Cの例では第1磁化固定層群60a、第2磁化固定層群60bは強磁性体から構成され、第1磁化固定層群60aと第1磁化固定領域11a、及び第2磁化固定層群60bと第2磁化固定領域11bはそれぞれ強磁性的に結合している。なお、図1A～図1Cの例では磁化固定層群60と磁化自由層10は隣接して設けられている。しかし、これらは磁氣的に結合していればよく、電氣的には絶縁されていても構わない。なお磁化固定層群60の具体的な構成例は後述される。

[0033] また図には示されていないが、第1磁化固定領域11a、第2磁化固定領域11bがそれぞれ異なる外部の配線に接続され、またMTJにおける磁化自由層10と接続される側とは反対の側が別の外部の配線へと接続される。すなわち、当該磁気メモリ素子70は3端子の素子となる。なお、磁化自由層10と磁化固定層群60とが電氣的に接続して設けられている場合、磁化自由層10が外部の配線に接続される経路上に磁化固定層群60があってもよい。すなわち、図1A～図1Cの例の場合、第1磁化固定層群60aと第2磁化固定層群60bがそれぞれ異なる外部の配線に接続されてもよい。

[0034] 2. メモリ状態

次に、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子のメモリ状態について説明する。図2A及び図2Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子の“0”及び“1”それぞれのメモリ状態における磁化の状態の例を模式的に示す断面図である。図2Aは“0”状態における磁化の状態を、図2Bは“1”状態における磁化の状態をそれぞれ示している。なお、ここでは第1磁

化固定領域 1 1 a の磁化は + z 方向に固定され、第 2 磁化固定領域 1 1 b の磁化は - z 方向に固定されているものとしている。いま、図 2 A に示されるような “0” 状態においては、磁化自由領域 1 2 の磁化は + z 方向成分を有している。このとき第 2 磁化固定領域 1 1 b との境界に磁壁 DW が形成される。一方、図 2 B に示されるような “1” 状態においては、磁化自由領域 1 2 の磁化は - z 方向成分を有している。このとき第 1 磁化固定領域 1 1 a との境界に磁壁 DW が形成される。磁化自由領域 1 2 が上述のような磁化状態にあるとき、図 2 A に示された “0” 状態では、第 2 磁化自由層 2 0 は + x 方向の磁化成分を有する。一方、図 2 B に示された “1” 状態では、第 2 磁化自由層 2 0 は - x 方向の磁化成分を有する。

[0035] 図 2 C 及び図 2 D は、磁化自由領域 1 2 の磁化と第 2 磁化自由層 2 0 の磁化との結合について模式的に示す断面図である。図 2 C 及び図 2 D では磁化自由領域 1 2 及び第 2 磁化自由層 2 0 のみが示されている。いま、図 2 C のように磁化自由領域 1 2 が + z 方向の磁化を有している場合、図に矢印で示されたような漏洩磁界が周辺部に発生する。ここで第 2 磁化自由層 2 0 の位置においてはこの漏洩磁界は + x 方向である。従って第 2 磁化自由層 2 0 の磁化は + x 方向を向く。一方、図 2 D のように磁化自由領域 1 2 が - z 方向の磁化を有している場合、図に矢印で示されたような漏洩磁界が周辺部に発生する。ここで第 2 磁化自由層 2 0 の位置においてはこの漏洩磁界は - x 方向である。従って第 2 磁化自由層 2 0 の磁化は - x 方向を向く。

[0036] このように第 2 磁化自由層 2 0 が x - y 面内において磁化自由領域 1 2 に対して一方向にずれて設けられているために、漏洩磁界によりその磁化方向を x - y 面内で変えることができる。なお、第 2 磁化自由層 2 0 の磁化自由領域 1 2 に対するズレの方向を第 1 方向としたとき、第 2 磁化自由層 2 0 の磁化は格納される情報に対応して、その第 1 方向と平行成分、または反平行成分のいずれかを取る。一方、リファレンス層 4 0 は前述のようにこの第 1 方向に略平行方向に固定されていることが望ましい。このとき、磁化自由領域 1 2 に格納されている情報に応じて第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0 及



びリファレンス層40から構成されるMTJは、平行（成分を有する状態）及び反平行（成分を有する状態）のいずれか一方の状態となる。

[0037] なお、図2A、図2Bで定義された磁化状態とメモリ状態（“0”、“1”）の間の対応には任意性があり、この限りではないことは明らかである。

[0038] 3. 書き込み方法

次に、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子への情報の書き込み方法について説明する。図3A及び図3Bは、本発明に係る磁気メモリ素子への情報の書き込み方法の一例を模式的に示す断面図である。なお、図3A及び図3Bでは簡単のために第1磁化自由層10以外の層は省略されている。いま、図2Aで定義された“0”状態において図3Aに矢印I<sub>w r i t e</sub>で示された方向に書き込み電流を導入する。このとき伝導電子は第1磁化自由層10において第2磁化固定領域11bから磁化自由領域12を経由して第1磁化固定領域11aへと流れる。このとき第2磁化固定領域11bと磁化自由領域12の境界に形成された磁壁DWにはスピントランスファートルク（Spin Transfer Torque；STT）が働き、-x方向に移動する。すなわち電流誘起磁壁移動が起こる。ここで、伝導電子は第1磁化固定領域11aと磁化自由領域12との境界よりも-x方向では減少する。そのため、磁壁DWは第1磁化固定領域11aと磁化自由領域12との境界で停止する。この状態は図2Bで定義された“1”状態に相当する。このようにして“1”書き込みを行うことができる。

[0039] また、図2Bで定義された“1”状態において図3Bに矢印I<sub>w r i t e</sub>で示された方向に書き込み電流を導入する。このとき伝導電子は第1磁化自由層10において第1磁化固定領域11aから磁化自由領域12を経由して第1磁化固定領域11aへと流れる。このとき第1磁化固定領域11aと磁化自由領域12との境界に形成された磁壁DWにはスピントランスファートルク（Spin Transfer Torque）が働き、+x方向に移動する。すなわち電流誘起磁壁移動が起こる。ここで、伝導電子は第2磁化固定領域11bと磁化自由領域12との境界よりもx軸の正の方向では減少

する。そのため、磁壁DWは第2磁化固定領域11bと磁化自由領域12との境界で停止する。この状態は図2Aで定義された“0”状態に相当する。このようにして“0”書き込みを行うことができる。

[0040] なお、“0”状態における“0”書き込み、及び“1”状態における“1”書き込みを行った場合には状態の変化は起こらない。すなわちオーバーライトが可能である。なお、第1磁化自由層10の磁化状態が電流によって書き換わったとき、図2A～図2Dを用いて示されたように、第2磁化自由層20の磁化方向は付随して変化する。

#### [0041] 4. 読み出し方法

次に、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子からの情報の読み出し方法について説明する。図4A及び図4Bは、図1A～図1Dに示された構成を有する磁気メモリ素子からの情報の読み出し方法の一例を模式的に示す断面図である。本実施の形態においては主にトンネル磁気抵抗効果（Tunneling Magnetoresistive effect; TMR effect）を利用して情報の読み出しを行う。そのために第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40から構成される磁気トンネル接合（MTJ）を貫通する方向に読み出し電流  $I_{read}$  を導入する。なおこの読み出し電流  $I_{read}$  の方向には任意性がある。

[0042] いま、図4Aに示されるように図2Aで定義された“0”状態において読み出し電流  $I_{read}$  を導入したとき、当該MTJにおいて磁化は平行状態となっているので、低抵抗が実現される。また図4Bに示されるように図2Bで定義された“1”状態において読み出し電流  $I_{read}$  を導入したとき、当該MTJにおいて磁化は反平行状態となっているので、高抵抗が実現される。このようにして、当該磁気メモリ素子70に格納された情報は抵抗値の差として検出することができる。

#### [0043] 5. 回路構成

次に、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子70を有する磁気メモリセル80に書き込み電流及び読み出し電流を導入するための回路構成につい

て説明する。図5は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセル80の1ビット分の回路の構成の一例を示すブロック図である。図5の例では、磁気メモリセル80は、磁気メモリ素子70、トランジスタTRa、TRbを備える。磁気メモリ素子70は3端子の素子であり、ワード線WL、グラウンド線GL、及びビット線対BLa、BLbに接続されている。例えば、リファレンス層40につながる端子は、読み出しのためのグラウンド線GLに接続されている。(第1磁化固定層群60aを経由して)第1磁化固定領域11aにつながる端子は、トランジスタTRaのソース/ドレインの一方に接続され、ソース/ドレインの他方は、ビット線BLaに接続されている。(第2磁化固定層群60bを経由して)第2磁化固定領域11bにつながる端子は、トランジスタTRbのソース/ドレインの一方に接続され、ソース/ドレインの他方は、ビット線BLbに接続されている。トランジスタTRa、TRbのゲートは、共通のワード線WLに接続されている。

[0044] データ書き込み時、ワード線WLはHighレベルに設定され、トランジスタTRa、TRbがONされる。また、ビット線対BLa、BLbのいずれか一方がHighレベルに設定され、他方がLowレベル(グラウンドレベル)に設定される。その結果、トランジスタTRa、TRb、第1磁化自由層10を経由して、ビット線BLaとビット線BLbとの間で書き込み電流Iwriteが流れる。

[0045] データ読み出し時、ワード線WLはHighレベルに設定され、トランジスタTRa、TRbがONされる。また、ビット線BLaはオープン状態に設定され、ビット線BLbはHighレベルに設定される。その結果、読み出し電流Ireadが、ビット線BLbからトランジスタTRb及び磁気メモリ素子70のMTJを貫通してグラウンド線GLへ流れる。これによって磁気抵抗効果を利用した読み出しが可能となる。

[0046] 図6は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ90の構成の一例を示すブロック図である。磁気メモリ90は、メモリセルアレイ110、Xドライバ120、Yドライバ130、コントローラ140を備えている。メモリセル

アレイ 110 は、アレイ状に配置された複数の磁気メモリセル 80 を有している。磁気メモリセル 80 の各々は、上述の磁気メモリ素子 70 を有している。既出の図 5 で示されたように、各磁気メモリセル 80 は、ワード線 WL、グラウンド線 GL、及びビット線対 BL a、BL b に接続されている。X ドライバ 120 は、複数のワード線 WL に接続されており、それら複数のワード線 WL のうちアクセス対象の磁気メモリセル 80 につながる選択ワード線を駆動する。Y ドライバ 130 は、複数のビット線対 BL a、BL b に接続されており、各ビット線をデータ書き込みあるいはデータ読み出しに応じた状態に設定する。コントローラ 140 は、データ書き込みあるいはデータ読み出しに応じて、X ドライバ 120 と Y ドライバ 130 のそれぞれを制御する。

[0047] 6. レイアウト

次に、本発明の実施の形態に係る磁気メモリセル 80 のレイアウトについて説明する。図 7 A 及び図 7 B は、それぞれ本発明の実施の形態に係る磁気メモリセル 80 のレイアウトの一例を模式的に示す x-y 平面図、及び x-z 断面図である。ただし、図 7 B は、図 7 A における A-A' 断面である。図 7 A 及び図 7 B においては、トランジスタ TR a、TR b は y 方向に延伸して設けられており、かつ一方のソース/ドレインが二つの磁気メモリ 80 の間で共有されている。共有されている側のソース/ドレインは V i a を介して最上層のビット線 BL a、BL b に接続される。ビット線 BL a、BL b は y 方向に延伸して設けられている。またトランジスタ TR a、TR b のゲート電極は共通のワード線 WL に接続される。ワード線 WL は x 方向に延伸して設けられている。また、ビット線 BL a、ビット線 BL b と接続されないソース/ドレインは磁気メモリ素子 70 に接続される。また磁気メモリ素子 70 のうちの MT J 側の端子は、上層においてグラウンド線 GL に接続される。グラウンド線 GL は x 方向に延伸して設けられている。

[0048] ここで、磁気メモリ素子 70 においては、好適には磁化自由層 10 がアスペクト比 3 の長方形であり、MT J は x-y 面内において磁化自由層 10 内

に収まるように設けられる。従って磁気メモリ素子70はアスペクト比3の長方形となる。このとき磁気メモリセル80は図に示されているように、 $3F \times 4F = 12F^2$ のセル面積となる。ここでFは設計ルール（またはメタル層ピッチの $1/2$ ）である。図7A及び図7Bのレイアウトで実現されている $12F^2$ というセル面積は、高速MRAMに適した2T-1MTJ回路構成における最小レイアウトである。従って、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子70を用いることによって高速MRAMのセル面積を極限まで低減できることができ、製造コストを抑制することができる。

[0049] 7. 材料

次に、第1磁化自由層10、第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40、導電層50、及び磁化固定層群60に用いることのできる材料について説明する。

[0050] 第1磁化自由層10は前述の通り垂直磁気異方性を有する強磁性体により構成されることが好ましい。具体的にはFe-Pt合金、Fe-Pd合金、Co-Pt合金、Co-Pd合金、Tb-Fe-Co合金、Gd-Fe-Co合金、Tb-Fe合金、Tb-Co合金、Gd-Fe合金、Gd-Co合金、Co-Cr-Pt合金、Co-Re-Pt合金、Co-Ru-Pt合金、Co-W合金などの合金系材料のほか、Co/Pt積層膜、Co/Pd積層膜、Co/Ni積層膜、Co/Cu積層膜、Co/Ag積層膜、Co/Au積層膜、Fe/Pt積層膜、Fe/Pd積層膜、Fe/Au積層膜などの交互積層膜が例示される。特にこの中で発明者らはCo/Ni積層膜を用いて制御性の高い電流誘起磁壁移動が実現できることを実験的に確認しており（非特許文献5（Applied Physics Express, vol. 1, p. 101303（2008）））、この点でCo/Ni積層膜が磁化自由層10の好適な材料として挙げられる。

[0051] 第2磁化自由層20は面内磁気異方性を有する強磁性体により構成される。さらに磁化自由領域12の磁化方向に敏感に反応する必要があるため、磁氣的にソフトである必要がある。このような材料としては、Ni-Fe、C

o-F e-Bなどが例示される。非磁性層30は絶縁性材料により構成されることが好ましい。具体的にはMg-O、Al-O、Al-N、Ti-Oなどが例示される。リファレンス層40は面内磁気異方性を有する強磁性体から構成される。具体的には多くの材料を用いることができ、代表的にはF e、C o、N iのいずれかを含有する。またその磁化方向は一方向に固定されている必要があり、さらに外部への漏洩磁界が小さいことが好ましい。このために前述のように、積層フェリ結合を有する積層構造としたり、反強磁性層を隣接させたりすることが好ましい。具体的なリファレンス層40の積層構造としては、非磁性層30側から順にC o-F e-B/R u/C o-F e/P t-M nなどが例示される。

[0052] 導電層50は導電性の材料であればあらゆる材料を用いることができる。具体的にはT a、W、T i、R u、C u、A lなどが例示される。磁化固定層群60は強磁性体を含有する。このうち図1A~図1Dに示されるように磁化固定層群60が第1磁化固定層群60a、第2磁化固定層群60bから構成され、第1磁化固定層群60a、第2磁化固定層群60bがいずれも単一の強磁性体から構成される場合の例として、その材料は垂直磁気異方性を有する強磁性体により構成されてもよい。具体的に用いることのできる材料は、第1磁化自由層10で例示した材料と重複するので省略する。

[0053] 8. 効果

次に、本発明で得られる効果について説明する。

本発明においては、電流誘起磁壁移動の起こる第1磁化自由層10が垂直磁気異方性を有する強磁性体により構成されることによって書き込み電流を低減することができる。例えば第1磁化自由層10の材料を適切に選択することによって書き込み電流密度を $5 \times 10^{11}$  [A/m<sup>2</sup>]程度まで低減できる。このとき、第1磁化自由層10の幅を90nm、膜厚を4nmとすると、書き込み電流は1.8mA程度となる。従って高速動作に適した2T-1MTJ回路構成における最小レイアウトが可能となる。

[0054] また本発明においては、読み出し用のMTJは第2磁化自由層20、非磁

性層 30、リファレンス層 40 から構成され、第 2 磁化自由層 20、リファレンス層 40 は面内磁気異方性を有する強磁性体により構成される。従って比較的容易に 100% を超えるような大きな TMR 比を得ることができ、高速での読み出しが可能となる。

[0055] さらにこの読み出し用の MTJ は x-y 面内において第 1 磁化自由層 10 内に収まるようにして形成される。従ってセル面積は増大せず、特に第 1 磁化自由層 10 がアスペクト比 3 の長方形により形成されたとき、 $12F^2$  のレイアウトが可能となる。従って既存の混載メモリと同程度のコストパフォーマンスを有する MRAM を提供することができる。

[0056] 本発明では、垂直磁気異方性を有する強磁性体の第 1 磁化自由層 10 を用いることによって、磁壁移動型磁気メモリ素子 70 の第 1 磁化自由層 10 での書き込み電流を低減することができる。加えて、面内磁気異方性を有する強磁性体の第 2 磁化自由層 20 及びリファレンス層 40 を用いて読み出し用の MTJ を構成することによって、大きな読み出し信号を得ることができる。また読み出し用の MTJ を基板平行平面内において第 1 磁化自由層 10 に収まるように形成することによってセル面積の増加を防ぐことができる。それにより、 $12F^2$  のような小さなメモリセルでのレイアウトが可能となる。以上のように、本発明は、書き込み電流が小さく、読み出し信号が大きく、且つセル面積の小さな磁壁移動型の磁気メモリ素子や、それを用いた磁気メモリ（例示：MRAM）を提供することができる。

[0057] 9. 変形例

以上で説明された磁気メモリは以下に説明される変形例を用いて実施してもよい。

[0058] (第 1 の変形例)

図 8A ~ 図 8C は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子 70 の第 1 の変形例の構造を模式的に示す断面図である。第 1 の変形例は第 2 磁化自由層 20、非磁性層 30、リファレンス層 40 から構成される MTJ の位置に関する。

- [0059] 磁気メモリ素子70では、第2磁化自由層20が磁化自由領域12に対してx-y面内でずれて設けられればどのような位置に配置されても構わない。従って、図8Aに示されるように第2磁化固定領域11bの上部に配置されてもよいし、図8Bに示されるように第1磁化固定領域11aの上部に設けられてもよいし、図8Cに示されるように第2磁化固定領域11bの下部に配置されてもよいし、図示されないが第1磁化固定領域11aの下部に配置されてもよい。
- [0060] なお、いずれの場合においても第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40から構成されるMTJはx-y面内において第1磁化自由層10に収まるようにして形成されることが好ましい。これは、第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40から構成されるMTJはx-y面内において第1磁化自由層10に収まるようにして形成されることで、前述の通りセル面積を低減することが可能であるためである。なお、図8A、図8B、図8Cのいずれの場合においても磁気メモリ素子70はアスペクト比が3の長方形の形状をしており、 $1.2F^2$ のセル面積でのレイアウトが可能である。
- [0061] (第2の変形例)
- 図9A~図9Eは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子70の第2の変形例の構造を模式的に示す断面図である。第2の変形例は磁化固定層群60の構造に関する。
- [0062] 磁気メモリ素子70では、磁化自由層10の第1磁化固定領域11a、及び第2磁化固定領域11bの磁化を反平行方向に向け、またその磁化を一方方向に固定するために磁化固定層群60が設けられることが好ましい。ここでこの磁化固定層群60の構造には任意性がある。
- [0063] 図9Aはそのうちの一例であり、第1磁化固定領域11aの下側に隣接して第1磁化固定層群60aが設けられ、第2磁化固定領域11bの下側に隣接して第2磁化固定層群60bが隣接して設けられている。ここで第1磁化固定層群60aと第2磁化固定層群60bは磁氣的性質が異なってもよ



い。

- [0064] 図9Bは他の一例として、磁化固定層群60が一つだけ設けられる例が示されている。図9Bにおいては第1磁化固定領域11aのみに隣接して第1磁化固定層群60aが設けられており、第2磁化固定領域11bの近傍には磁化固定層群60bは設けられていない。このような場合にも第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bの磁化を反平行方向に向けることは可能である。
- [0065] 図9Cは他の一例として、磁化固定層群60が第1磁化自由層10に対して上側に隣接して設けられる例が示されている。図9Cに示されているように磁化固定層群60は第1磁化自由層10に対して上側に設けられてもよい、これ以外にも第1磁化固定領域11a、且つ／又は第2磁化固定領域11bに対して磁氣的な影響を及ぼすことができる範囲においてどのような場所に配置されても構わない。
- [0066] 図9Dは他の一例として、磁化固定層群60が第1磁化自由層10に対して上側、及び下側の両方に隣接して設けられる例が示されている。図9Dにおいては第1磁化固定領域11aに隣接して第1磁化固定層群60a、第3磁化固定層群60cが隣接して設けられており、また第2磁化固定領域11bに隣接して第2磁化固定層群60b、第3磁化固定層群60dが隣接して設けられている。このように磁化固定層群60の数は任意であり、いくつ設けられても構わない。
- [0067] 図9Eは他の一例として、複数設けられる磁化固定層群60が互いに構造が異なる例が示されている。図9Eにおいては第1磁化固定領域11aに隣接して設けられる第1磁化固定層群60aの膜厚が第2磁化固定領域11bに隣接して設けられる第2磁化固定層群60bの膜厚よりも厚く形成される例が示されている。このように第1磁化固定層群60aと第2磁化固定層群60bの構造は互いに異なってもよく、膜厚の他に形状などが異なってもよい。
- [0068] (第3の変形例)

図10A～図10Cは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子70の第3の変形例の構造を模式的に示す断面図である。第3の変形例は第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40から構成されるMTJと磁化固定層群60との位置関係に関する。

[0069] 本発明においては、MTJと磁化固定層群60の位置関係には任意性がある。図10Aはその一例を示している。図10Aにおいては、MTJは第1磁化自由層10の上側に設けられており、また磁化固定層群60は第1磁化自由層10の下側に設けられている。

[0070] 図10Bは別の一例を示している。図10Bにおいては、MTJも磁化固定層群60も第1磁化自由層10の上側に設けられている。なお、この場合、第1磁化自由層10に対して磁化固定層群60がMTJよりも近い位置に設けられることが好ましい。図10Bのような構成の場合、第2磁化自由層20と磁化自由領域12の距離が離れるため、図2C、図2Dで説明された漏洩磁界による静磁結合は弱まるが、磁化固定層群60の膜厚が過度に厚くない限り、この磁気結合によって第2磁化自由層20の磁化は磁化自由領域12の磁化方向に応答することができる。また図10Bのような構造を用いた場合、磁化自由層10、磁化固定層群60、導電層50、第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40を一括で堆積させ、パターニングを行うことにより磁気メモリ素子70を形成することができる。従ってプロセスが容易となる。

[0071] 図10Cは別の一例を示している。図10Cにおいては、第1磁化固定領域11aに隣接して第1磁化固定層群60aが設けられており、一方第2磁化固定領域11bに隣接しては磁化固定層群60は設けられていない。そして第2磁化固定領域11bの上部には導電層50、及び第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40が設けられている。このような構成を用いた場合、第2磁化自由層20と磁化自由領域12の距離を近づけることができるので、第2磁化自由層20と磁化自由領域12の間での漏洩磁界による静磁結合を強めることができる。ここで、第1磁化固定層群60aと、

導電層 50、第2磁化自由層 20、非磁性層 30、リファレンス層 40のいずれか一方を非連続で堆積させる必要がある。本形態の場合、第1磁化固定層群 60aを先に堆積し、導電層 50、第2磁化自由層 20、非磁性層 30、リファレンス層 40は第1磁化固定層群 60aのパターニングを行った後で堆積、パターニングしてもよいし、逆に導電層 50、第2磁化自由層 20、非磁性層 30、リファレンス層 40を先に堆積し、第1磁化固定層群 60aは導電層 50、第2磁化自由層 20、非磁性層 30、リファレンス層 40のパターニングを行った後で堆積、パターニングをしてもよい。

[0072] (第4の変形例)

図 11A 及び図 11B は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子 70 の第4の変形例の形態を示す模式図である。第4の変形例は第2磁化自由層 20の磁気異方性の方向に関する。

[0073] 磁気メモリ素子 70 では、情報は第1磁化自由層 10 中の磁化自由領域 12 の磁化方向として格納される。そして読み出しの際は、磁化自由領域 12 の磁化方向を反映した磁化方向をとる第2磁化自由層 20 を含む MTJ における TMR 比として読み出される。一般的な MRAM においては、情報はフリー層に格納され、読み出しの際はこのフリー層の磁化とリファレンス層の磁化の相対角度によって生ずる TMR 比が用いられる。ここで本発明の場合、一般的なフリー層が書き込み用のフリー層である第1磁化自由層 10 と読み出し用のフリー層である第2磁化自由層 20 に分けて設けられることが特徴である。ここで第2磁化自由層 20 の磁化は磁化自由領域 12 の磁化方向に応じて磁化方向に変化が起こればよく、格納される情報（“0”、“1”）に対応して磁化方向が 180 度変化してもよいし、しなくてもよい。そしてこのような観点から第2磁化自由層 20 の磁気異方性の方向には任意性が生ずる。

[0074] 図 11A は第2磁化自由層 20 の磁気異方性の方向の一例を示している。図 11A においては第2磁化自由層 20 の磁気異方性は y 方向に付与されている。この場合、y 方向に異方性磁界  $H_a$  が設けられているため、磁化自由

領域 1 2 の磁化が + z 方向、または - z 方向を向いたときに、第 2 磁化自由層 2 0 の磁化は y 軸回りで + x 方向、または - x 方向へと回転する。すなわち第 2 磁化自由層 2 0 は困難軸動作となる。第 2 磁化自由層 2 0 が困難軸動作となった場合、磁化自由領域 1 2 から生ずる漏洩磁界が小さくても敏感に反応することができる。

[0075] 一方、図 1 1 B は第 2 磁化自由層 2 0 の磁気異方性の方向の他の一例を示している。図 1 1 B においては第 2 磁化自由層 2 0 の磁気異方性は x 方向に付与されている。つまり、x 方向に異方性磁界  $H_a$  が付与されている。この場合、磁化自由領域 1 2 の磁化が + z 方向、または - z 方向を向いたときに、第 2 磁化自由層 2 0 の磁化は + x 方向、または - x 方向のいずれかの方向を向く。すなわち、第 2 磁化自由層 2 0 は容易軸動作となる。第 2 磁化自由層 2 0 が容易軸動作となった場合、第 2 磁化自由層 2 0 の磁化方向の変化が 180 度となるため、この MTJ において得られる最大の TMR 比を得ることができる。

[0076] なお、図 1 1 A、図 1 1 B で示されたような磁気異方性は、結晶構造に起因した結晶磁気異方性によって付与されてもよく、また形状に起因した形状磁気異方性によって付与されてもよく、或いは磁歪と応力に起因した応力誘起磁気異方性によって付与されてもよい。応力誘起磁気異方性によって付与される場合、周辺に配置される配線の材料、膜厚などによってその大きさをコントロールすることができる。

[0077] (第 5 の変形例)

図 1 2 A 及び図 1 2 B は、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子 7 0 の第 5 の変形例の形態を模式的に示す断面図である。第 5 の変形例は第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 の積層順序に関する。

[0078] 磁気メモリ素子 7 0 では、第 2 磁化自由層 2 0、非磁性層 3 0、リファレンス層 4 0 により構成される MTJ はこの順に積層される範囲で、その積層順序には任意性がある。すなわち、例えば図 1 2 A に示されているように、第 2 磁化自由層 2 0 が第 1 磁化自由層 1 0 側に配置されてもよく、また図 1

2 Bに示されているように、リファレンス層20が第1磁化自由層10側に配置されてもよい。

[0079] 図12Aに示されたように第2磁化自由層20が第1磁化自由層10側に配置された場合、第2磁化自由層20と磁化自由領域12の距離が近くなるため、第2磁化自由層20と磁化自由領域12の間での漏洩磁界による静磁結合が強くなる。一方、図12Bに示されたようにリファレンス層40が第1磁化自由層10側に配置された場合、第2磁化自由層20、非磁性層30、リファレンス層40から構成されるMTJはボトムピン構造となる。ボトムピン構造のMTJは図12Aに示されるようなトップピン構造のMTJに比べて一般的には大きなTMR比を得やすい。

[0080] (第6の変形例)

図13A及び図13Bは、本発明の実施の形態に係る磁気メモリ素子70の第6の変形例の構造を模式的に示す断面図である。第6の変形例は第1磁化自由層10と磁化固定層群60の位置関係に関する。

[0081] 磁気メモリ素子70では、磁化固定層群60が第1磁化自由層10の近傍に設けられ、磁化自由層10の第1磁化固定領域11a、及び第2磁化固定領域11bの磁化を反平行方向に向け、またその磁化を一方向に固定する。ここでこの目的を果たすためには磁化固定層群60は第1磁化自由層10に隣接していなくてもよく、異なる層がこの間に挿入されてもよい。例えば図13Aに示されるように磁化固定層群60の上部にキャップ層65が隣接して設けられてもよい。また、図13Bに示されるように第1磁化自由層10の下部に下地層15が隣接して設けられてもよい。

[0082] 図13Aに示されるように磁化固定層群60の上部に隣接してキャップ層65を設けることによって、磁化固定層群60の形成過程で磁化固定層群60を製造プロセス中のダメージから保護することができる。また図13Bに示されるように第1磁化自由層10の下部に隣接して下地層15を設けることによって、第1磁化自由層10において好ましい磁気特性が得られるように結晶構造を調整することができる。

- [0083] 本発明の活用例として、携帯電話、モバイルパソコンやPDAに使用される不揮発性の半導体メモリ装置や、自動車などに使用される不揮発性メモリ内蔵のマイコンが挙げられる。
- [0084] 以上、実施の形態を参照して本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明の範囲内で当業者が理解しうる様々な変更をすることができる。また、実施の形態及び各変形例に示される技術は、技術的な矛盾が発生しない限り、互いに適用可能である。
- [0085] この出願は、2009年1月30日に提出された特許出願番号2009-020138号の日本特許出願に基づいており、その出願による優先権の利益を主張し、その出願の開示は、引用することにより、そっくりそのままここに組み込まれている。

## 請求の範囲

- [請求項1] 垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成された第1磁化自由層と、  
、  
前記第1磁化自由層の近傍に設けられ、面内磁気異方性を有する強磁性体から構成された第2磁化自由層と、  
面内磁気異方性を有する強磁性体から構成されたリファレンス層と、  
、  
前記第2磁化自由層と前記リファレンス層との間に設けられた非磁性層と  
を具備し、  
前記第1磁化自由層は、  
磁化が固定される第1磁化固定領域と、  
磁化が固定される第2磁化固定領域と、  
前記第1磁化固定領域と前記第2磁化固定領域とに接続され、磁化が反転可能な磁化自由領域とを備え、  
前記第2磁化自由層は基板に平行な平面内において前記第1磁化自由層内に収まり、  
前記第2磁化自由層は前記平面内において前記磁化自由領域に対して第1方向にずれて設けられる  
磁気メモリ素子。
- [請求項2] 請求項1記載の磁気メモリ素子であって、  
前記リファレンス層は前記第1方向に略平行方向に固定された磁化を有する  
磁気メモリ素子。
- [請求項3] 請求項1又は2に記載の磁気メモリ素子であって、  
前記第2磁化自由層は、前記平面内において前記第1磁化固定領域、及び前記第2磁化固定領域のいずれか一方の内に収まるようにして設けられる

磁気メモリ素子。

[請求項4]

請求項3記載の磁気メモリ素子であって、

前記第1磁化固定領域、前記磁化自由領域、前記第2磁化固定領域がこの順に直線状に配置され、

前記第1磁化自由層のアスペクト比が約3の長方形である

磁気メモリ素子。

[請求項5]

請求項3又は4に記載の磁気メモリ素子であって、

前記第1磁化自由層に磁氣的に結合して磁化固定層群が設けられる磁気メモリ素子。

[請求項6]

請求項3又は4に記載の磁気メモリ素子であって、

前記第1磁化自由層と、前記第2磁化自由層又は前記リファレンス層とに電氣的に接続して設けられた導電層を更に具備する

磁気メモリ素子。

[請求項7]

請求項5又は6に記載の磁気メモリ素子であって、

前記第2磁化自由層及び前記磁化固定層群が、前記第1磁化自由層に対して互いに反対側に設けられる

磁気メモリ素子。

[請求項8]

請求項5又は6に記載の磁気メモリ素子であって、

前記第2磁化自由層及び前記磁化固定層群が、前記第1磁化自由層に対して互いに同じ側に設けられる

磁気メモリ素子。

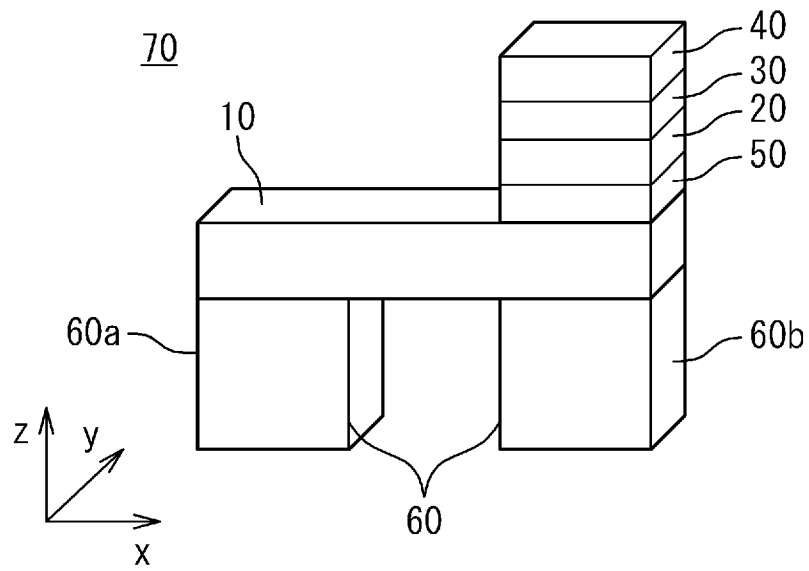
[請求項9]

請求項1乃至8のいずれか一項に記載の磁気メモリ素子を備えた複数の磁気メモリセルが行列状に配置された

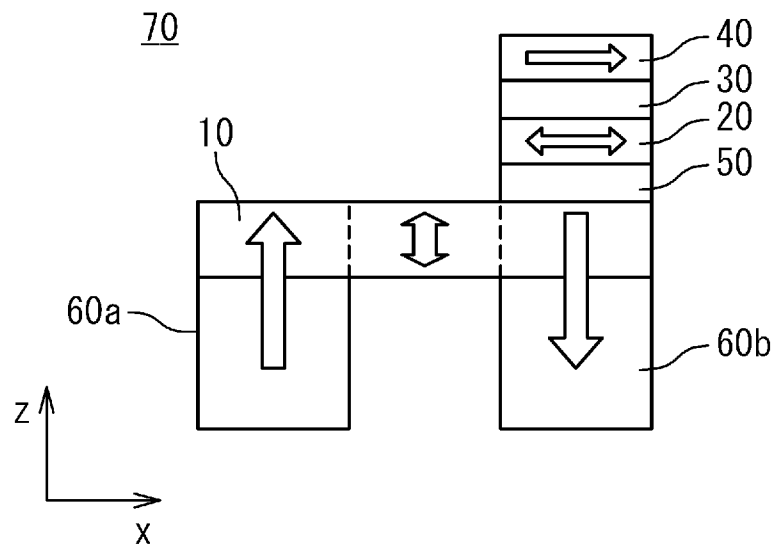
磁気メモリ。



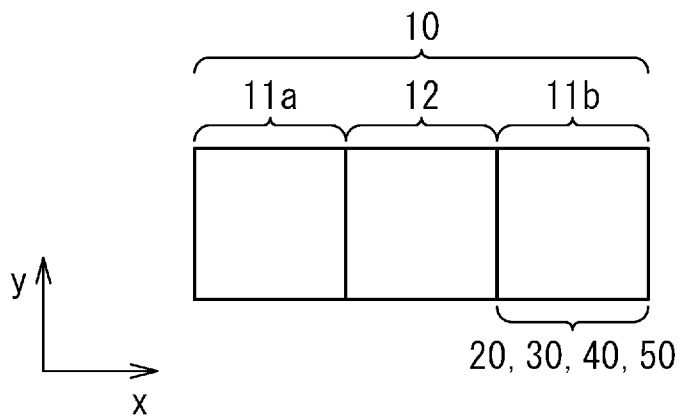
[図1A]



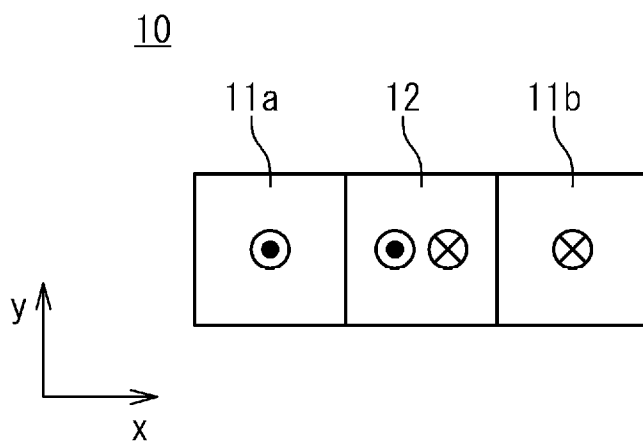
[図1B]



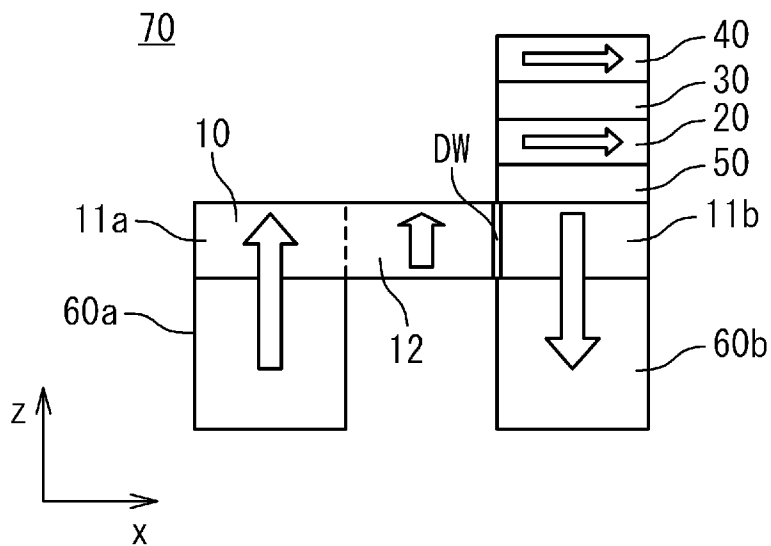
[図1C]



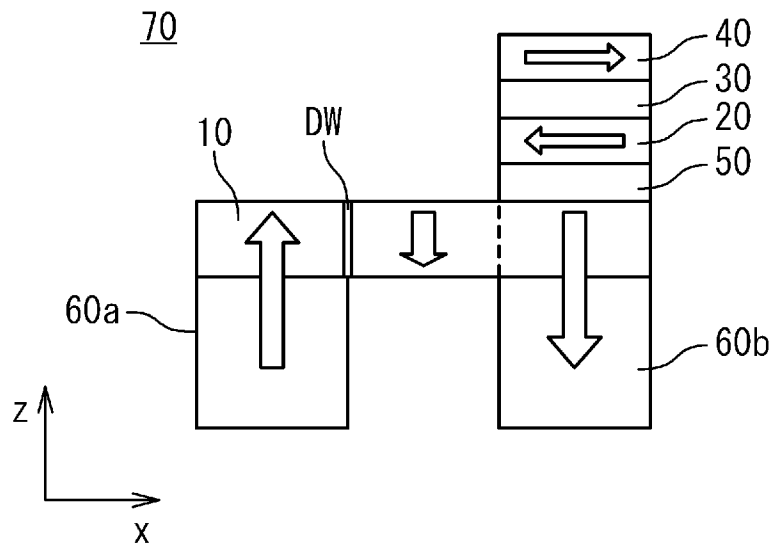
[図1D]



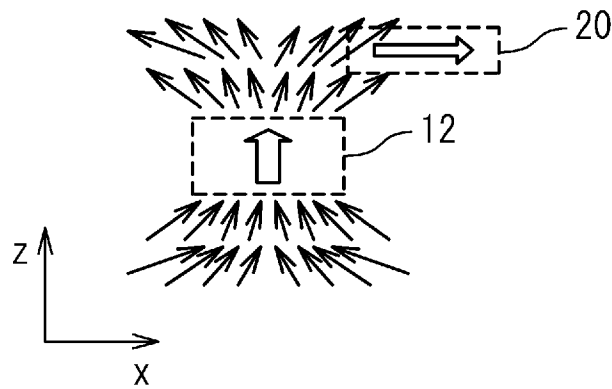
[図2A]



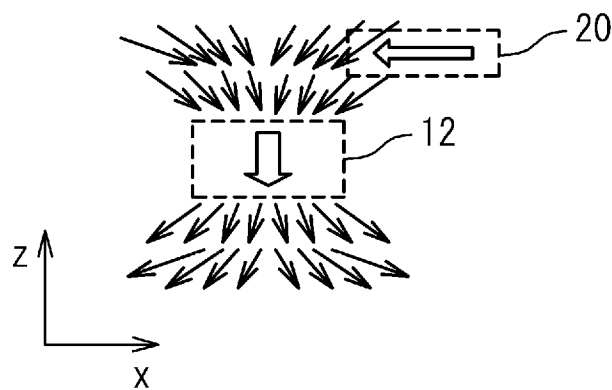
[図2B]



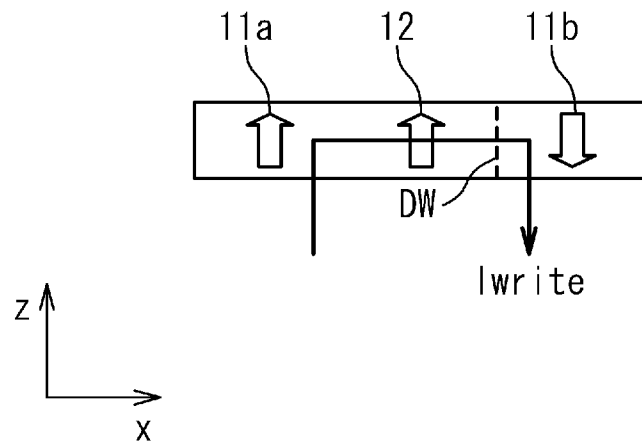
[図2C]



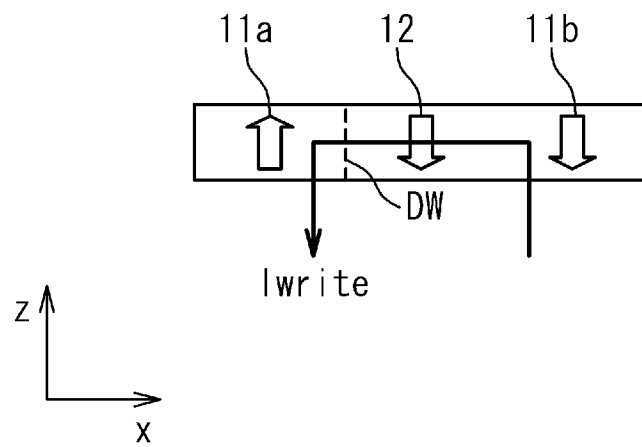
[図2D]



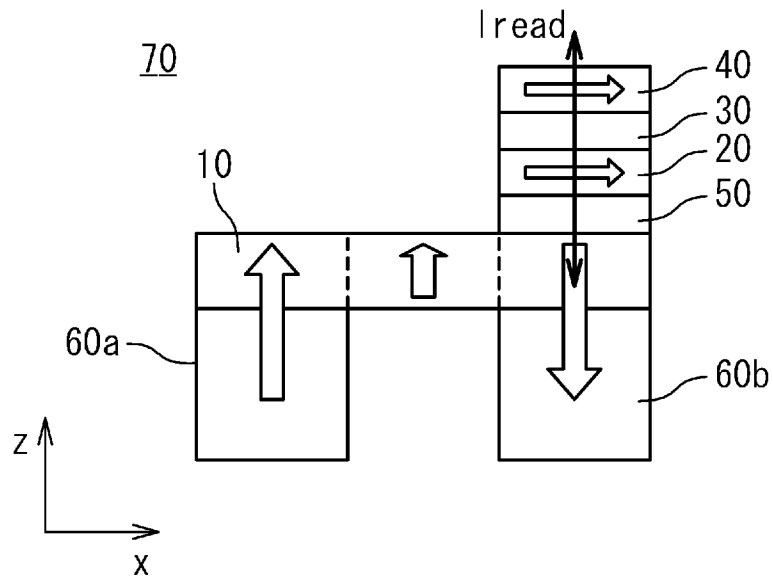
[図3A]



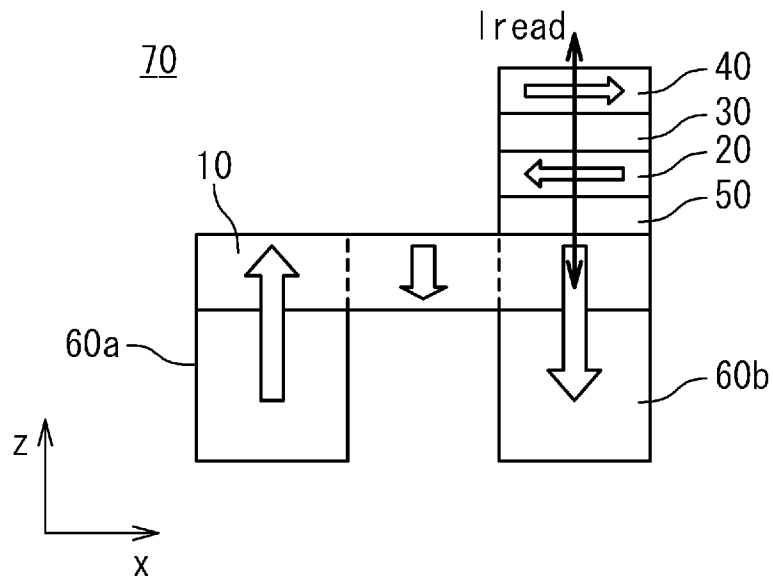
[図3B]



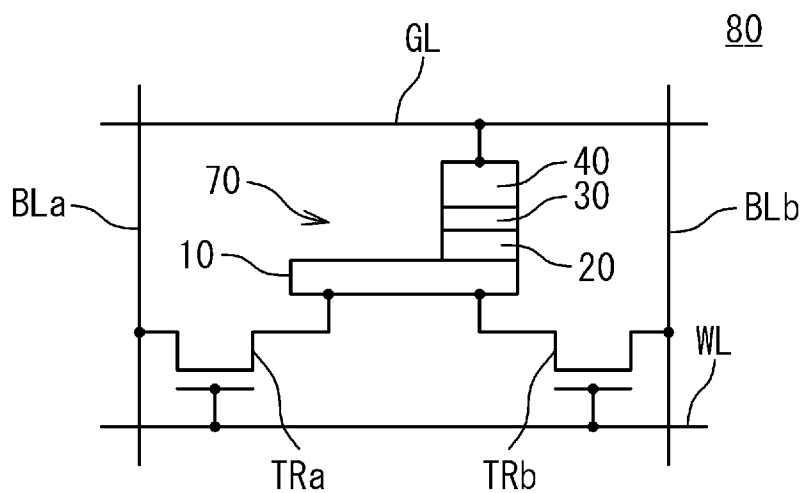
[図4A]



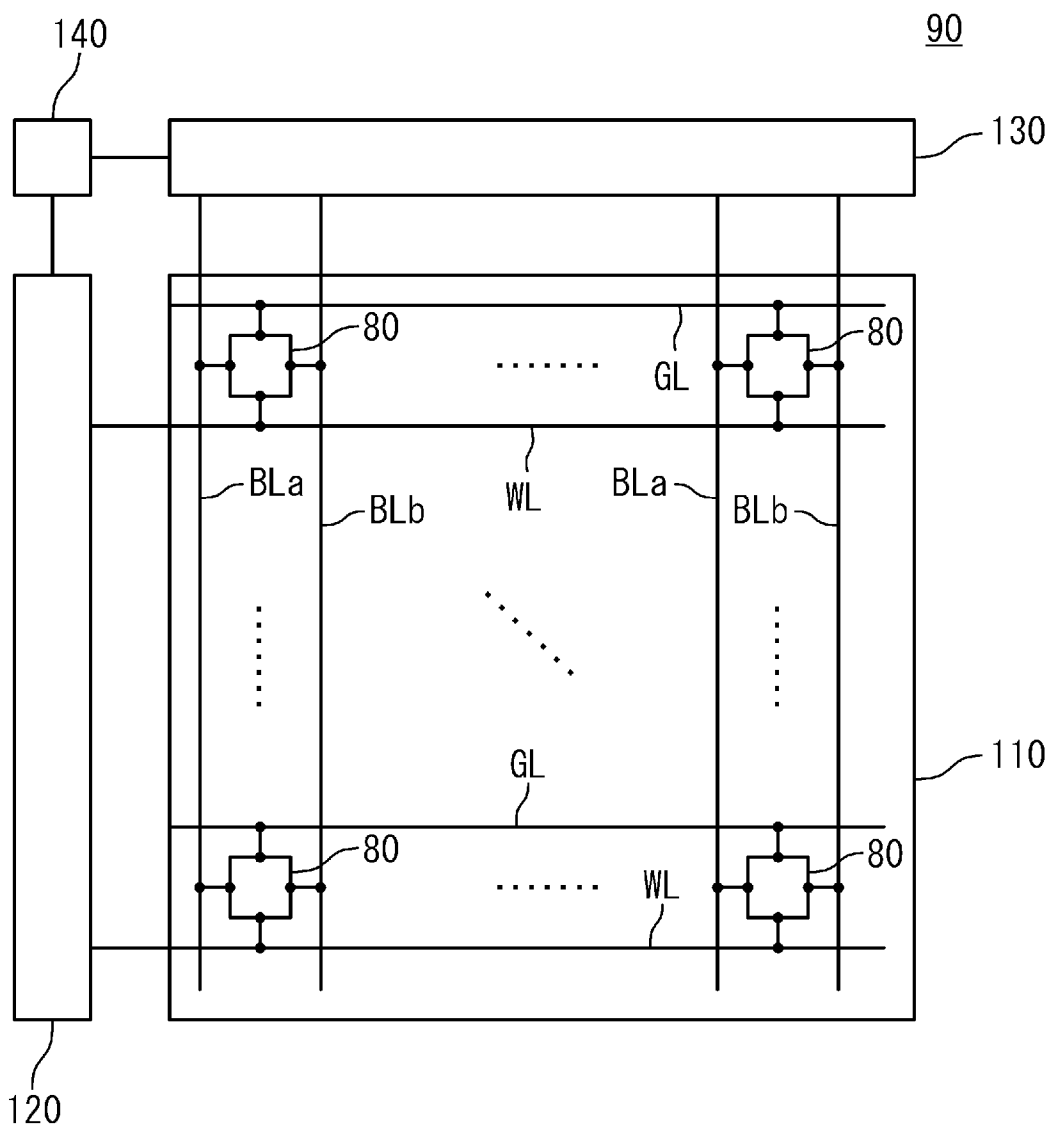
[図4B]



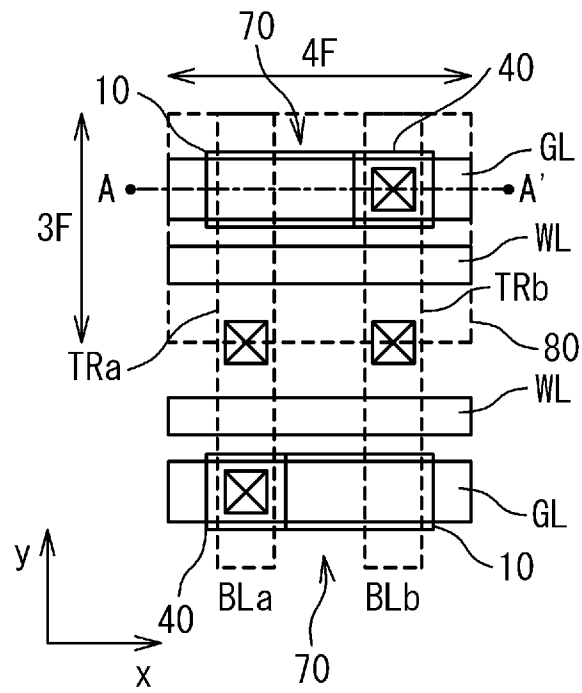
[図5]



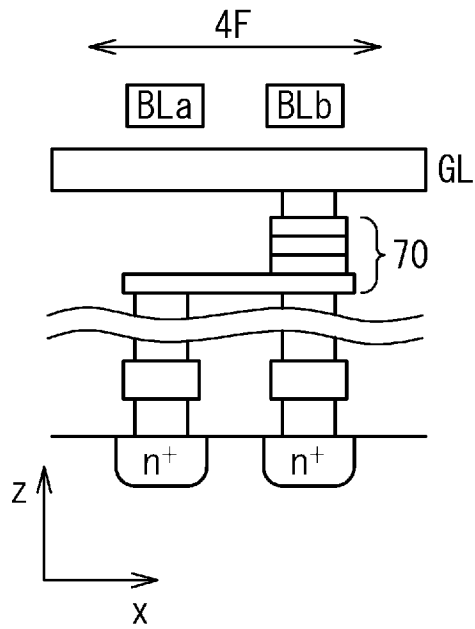
[図6]



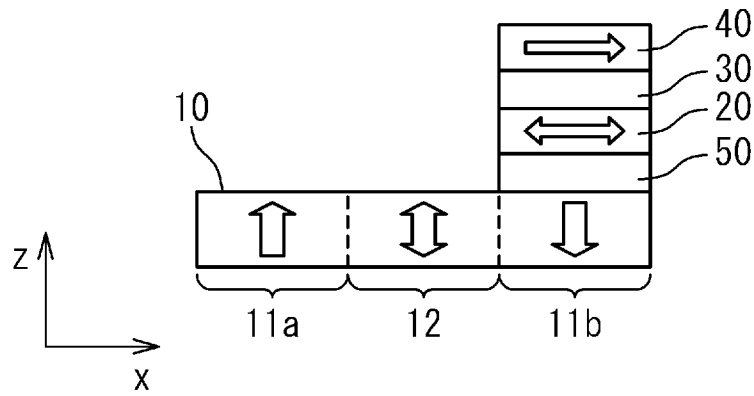
[図7A]



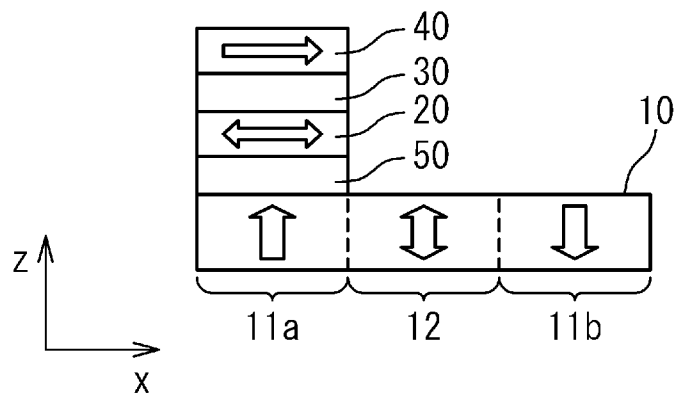
[図7B]



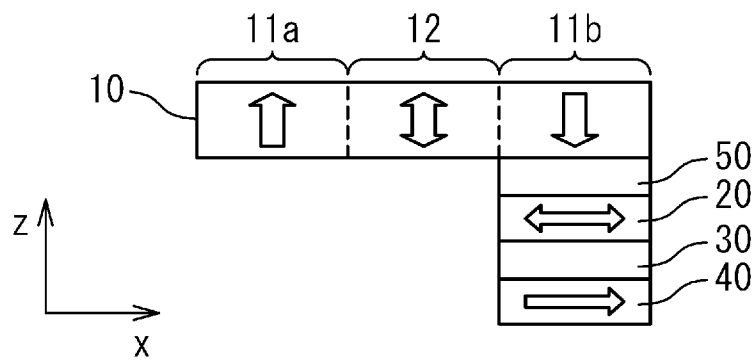
[図8A]



[図8B]

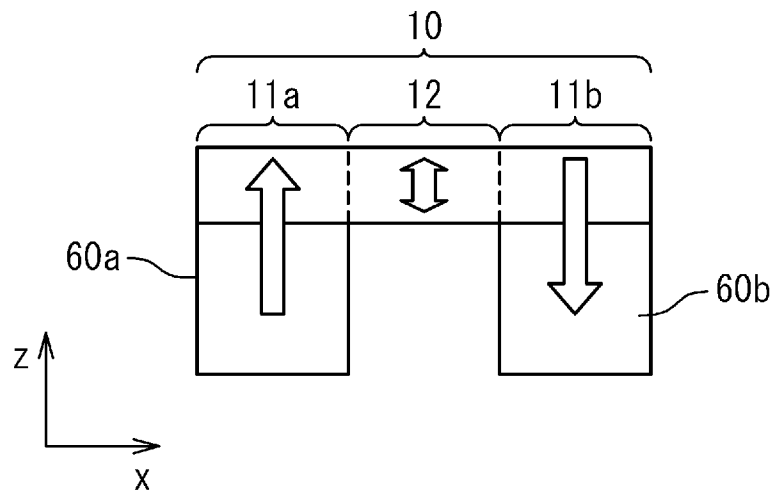


[図8C]

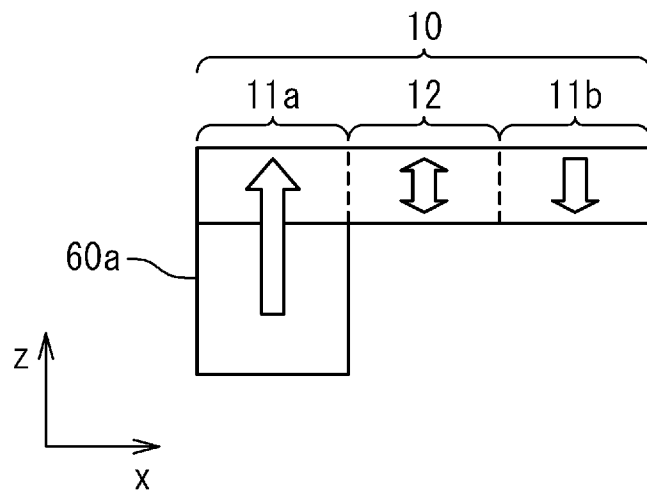




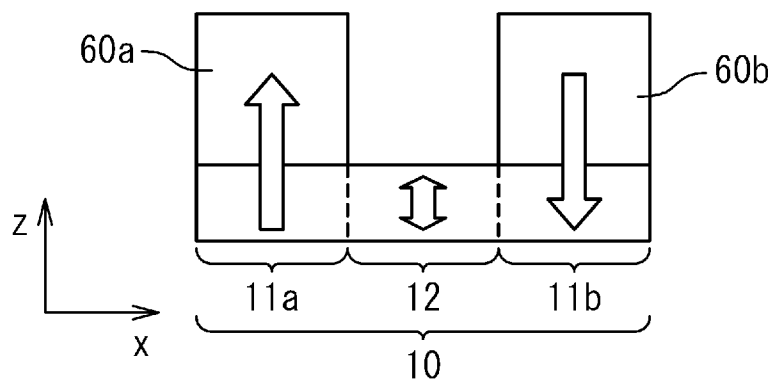
[図9A]



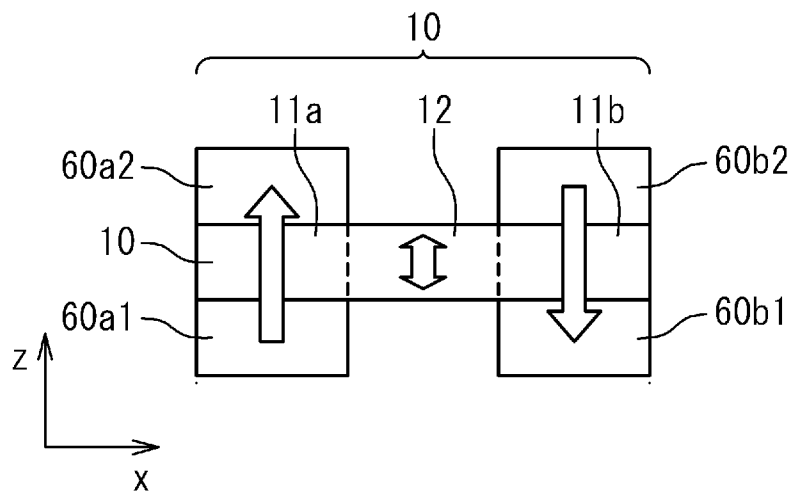
[図9B]



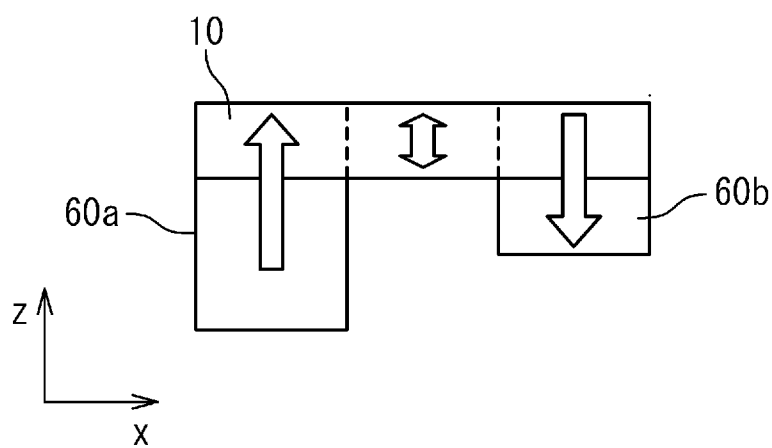
[図9C]



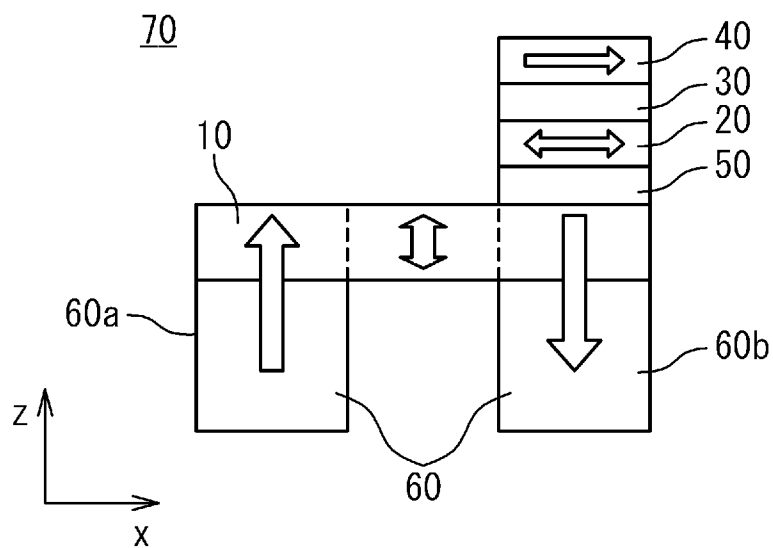
[図9D]



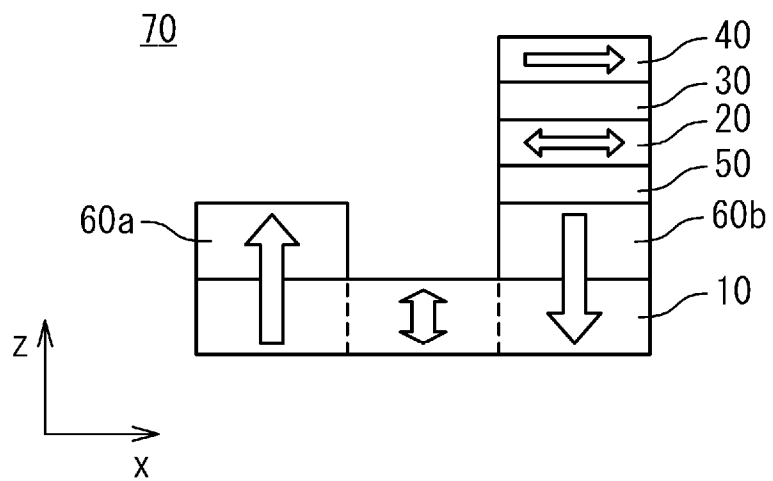
[図9E]



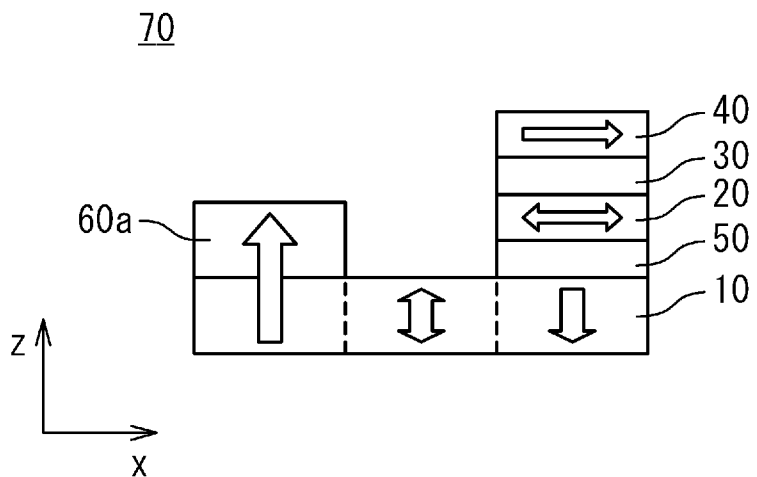
[図10A]



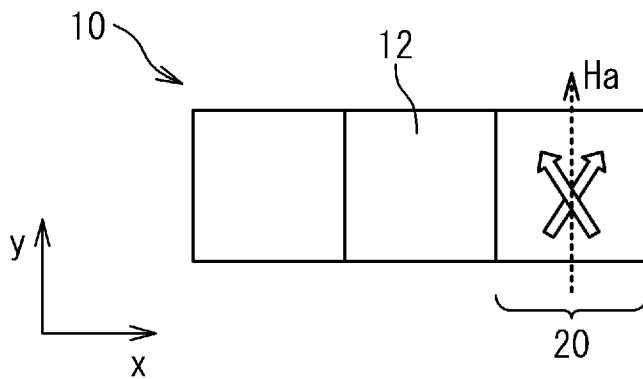
[図10B]



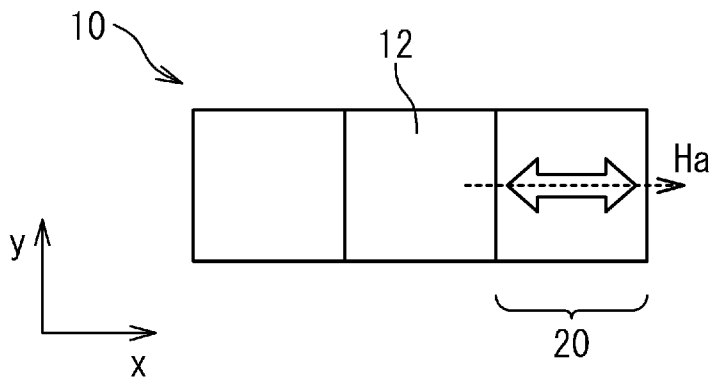
[ 10C]



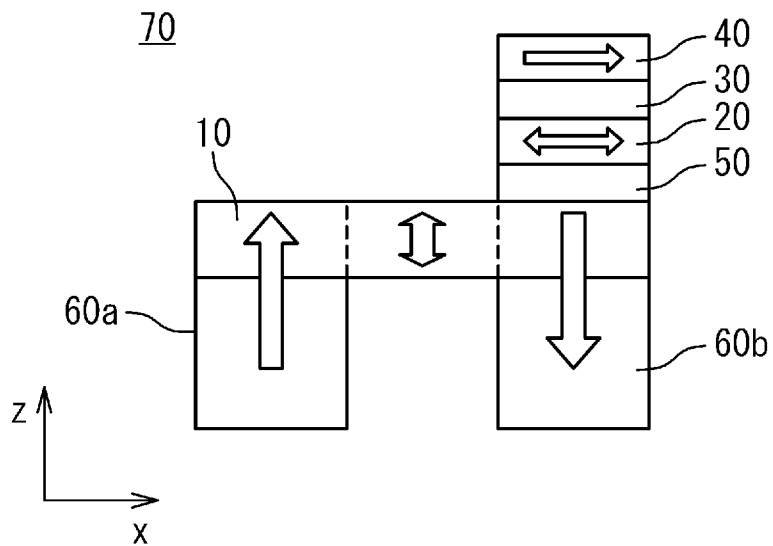
[ 11A]



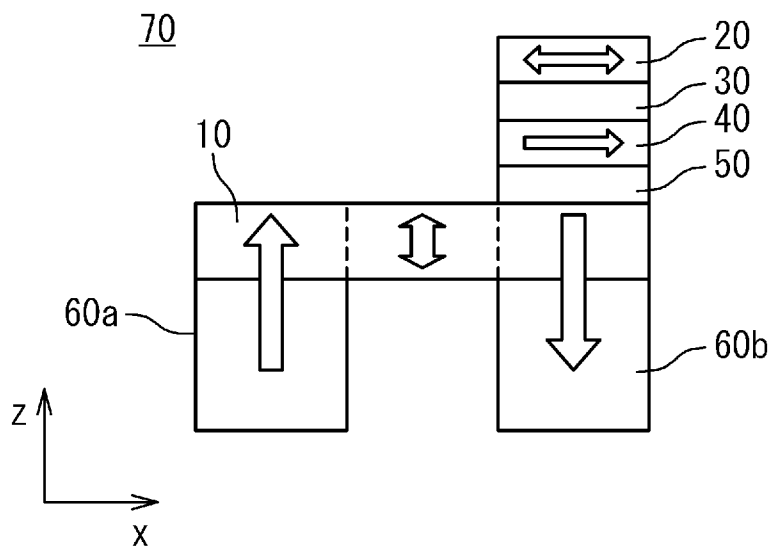
[ 11B]



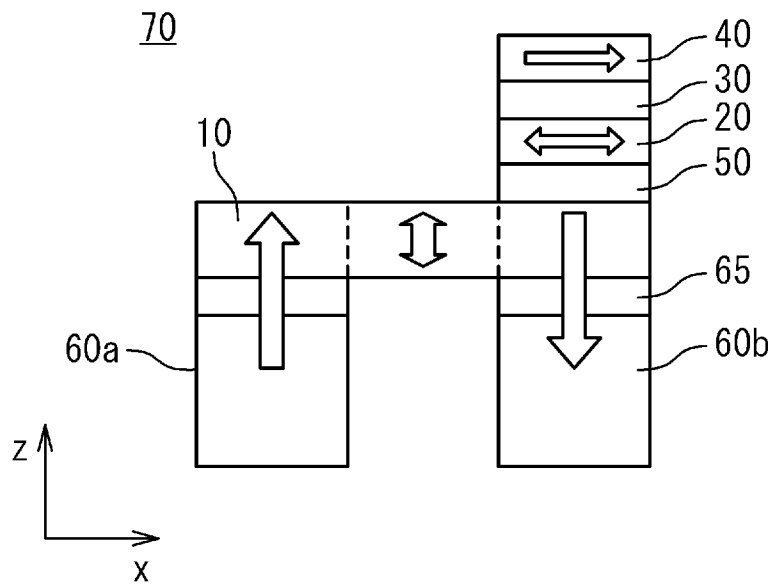
[図12A]



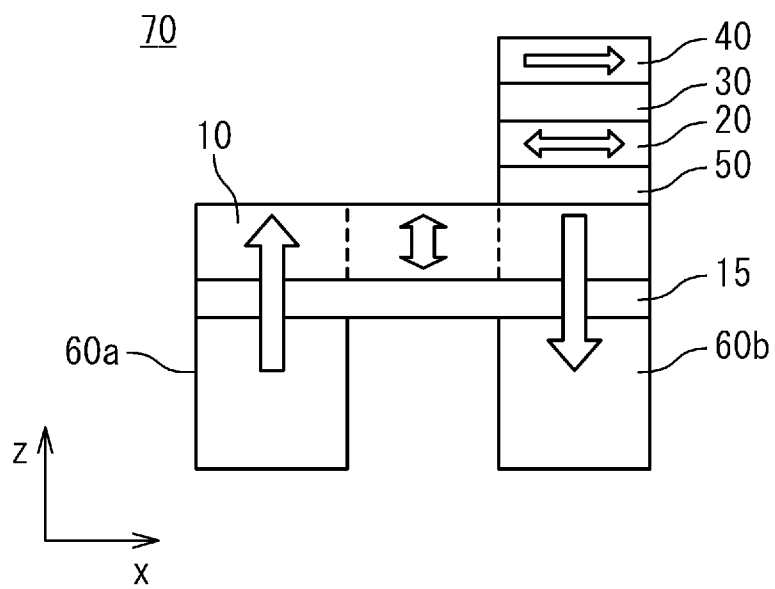
[図12B]



[図13A]



[図13B]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/051098

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i,  
H01L43/08(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)

H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/08

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.
A	JP 2006-073930 A (Canon Inc.), 16 March 2006 (16.03.2006), paragraphs [0023] to [0058]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-9
A	WO 2007/119446 A1 (NEC Corp.), 25 October 2007 (25.10.2007), entire text; all drawings & US 2009/0251955 A	1-9
A	WO 2008/068967 A1 (NEC Corp.), 12 June 2008 (12.06.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

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  
25 February, 2010 (25.02.10)

Date of mailing of the international search report  
09 March, 2010 (09.03.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/051098

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-103663 A (Toshiba Corp.), 19 April 2007 (19.04.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-9



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(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. H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/08

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 1971-2010年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2010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
A	JP 2006-073930 A (キヤノン株式会社) 2006.03.16, 段落【0023】 - 【0058】, 図1-6 (ファミリーなし)	1 - 9
A	WO 2007/119446 A1 (日本電気株式会社) 2007.10.25, 全文, 全図 & US 2009/0251955 A	1 - 9
A	WO 2008/068967 A1 (日本電気株式会社) 2008.06.12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 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、一般的な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 25.02.2010	国際調査報告の発送日 09.03.2010
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) 三浦 尊裕 電話番号 03-3581-1101 内線 3462

4M 3775

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
A	JP 2007-103663 A (株式会社東芝) 2007.04.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 9