

(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
2015年5月14日(14.05.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/068509 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/8246 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
G11C 11/15 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01L 27/105 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/076643
- (22) 国際出願日: 2014年9月30日(30.09.2014)
- (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 2013-229971 2013年11月6日(06.11.2013) JP
- (71) 出願人: 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). 国立大学法人東北大学(TOHOKE UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 深見 俊輔 (FUKAMI, Shunsuke); 〒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). 山ノ内路彦(YAMANOUCHI, Michihiko); 〒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). 大野 英男(OHNO, Hideo); 〒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).
- (74) 代理人: 池田 憲保, 外(IKEDA, Noriyasu et al.); 〒1000011 東京都千代田区内幸町1丁目2番2号 日比谷ダイビル 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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), ユーロピア (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),

[続葉有]

(54) Title: MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC MEMORY AND MAGNETIC STORAGE METHOD

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、及び磁気記憶方法

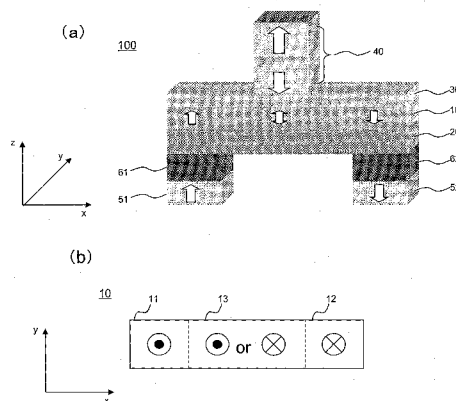


図1

(57) Abstract: This magnetic memory is provided with a magnetoresistive effect element. This magnetoresistive effect element is provided with: a magnetization free layer that is configured of a ferromagnetic body having a perpendicular magnetic anisotropy; a spin current generation layer that is arranged adjacent to the magnetization free layer; a tunnel barrier layer that is arranged adjacent to the magnetization free layer on the side opposite to the side of the spin current generation layer; a reference layer that is arranged adjacent to the tunnel barrier layer on the side opposite to the side of the magnetization free layer; and a first leakage magnetic field generation layer and a second leakage magnetic field generation layer, which are configured of a ferromagnetic body. A magnetic wall having a magnetization component in the longitudinal direction of the magnetization free layer is formed of the in-plane component of the leakage magnetic field in the position of the magnetization free layer, said leakage magnetic field being generated by the first leakage magnetic field generation layer and the second leakage magnetic field generation layer.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/068509 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明に係る磁気メモリは磁気抵抗効果素子を具備する。その磁気抵抗効果素子は垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成される磁化自由層と、上記磁化自由層に隣接して設けられるスピン流生成層と、上記磁化自由層に隣接して上記スピン流生成層とは反対側に設けられるトンネルバリア層と、上記トンネルバリア層に隣接して上記磁化自由層とは反対側に設けられるリファレンス層と、強磁性体から構成される第1漏洩磁場生成層と第2漏洩磁場生成層を具備し、上記第1漏洩磁場生成層と上記第2漏洩磁場生成層から生ずる漏洩磁場の上記磁化自由層の位置における面内成分によって上記磁化自由層の長手方向に磁化成分を有する磁壁が形成される。

明 細 書

発明の名称：

磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、及び磁気記憶方法

5

技術分野：

本発明は、磁気抵抗効果素子、その磁気抵抗効果素子を利用した磁気メモリ (Magnetic Random Access Memory)、及び磁気記憶方法に関する。

10

背景技術：

磁気メモリ、または、磁気ランダムアクセスメモリ (Magnetic Random Access Memory)、磁気抵抗ランダムアクセスメモリ (Magnetoresistive Random Access Memory) は、書き換えの回数制限がない不揮発性メモリであり、SRAM (Static Random Access Memory)、DRAM (Dynamic Random Access Memory)、NOR-Flash等の代替として期待されている。SRAM、DRAMなどを磁気メモリで置き換えた場合、磁気メモリは情報を不揮発に保存するため消費電力の低減が可能となる。

15

20 非特許文献1には、磁気メモリの中でも3端子型のセル構造を有する3端子型磁気メモリは、高速動作に適した回路構成を有しており、現行のSRAMと同等レベルの高速動作が可能であると記載されている。

25

非特許文献2には、3端子型磁気メモリの中でも、電流誘起磁壁移動を利用した3端子磁壁移動型磁気メモリは、書き込み電流や書き込み速度が素子寸法の微細化に対して低減するため、先端LSI世代への適用に好適であると記載されている。

非特許文献3には、電流誘起磁壁移動による書き込みを行う層に、垂直磁気異方性を有する材料を適用することによって、書き込み電流が小さく、かつ、熱安定性に優れた磁気メモリが提供されることが記載されている。

3 端子磁壁移動型磁気メモリにおいては、磁壁を電流で駆動するために必要な電流は小さく、磁壁の移動速度は高速であることが望ましい。

非特許文献4と、非特許文献5と、非特許文献6とには、Dzyaloshinskii-Moriya (ジャロシンスキー-モリヤ) 相互作用によって、
5 旋回性の規定された磁壁 (DW) に隣接する層から、スピンホール効果によってスピン流が流入した場合には、磁壁は低電流で高速に移動できることが実験的、理論的に示されている。

先行技術文献：

10 非特許文献

非特許文献1：N. Sakimura, T. Sugibayashi, T. Honda, H. Honjo, S. Saito, T. Suzuki, N. Ishiwata, and S. Tahara: IEEE Journal of Solid-State Circuits, 15 vol. 42, no. 4, p. 830 (2007).

非特許文献2：H. Numata, T. Suzuki, N. Ohshima, S. Fukami, K. Nagahara, N. Ishiwata, and N. Kasai: 2007 Symposium on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, p. 232 (2007).
20

非特許文献3：S. Fukami, T. Suzuki, K. Nagahara, N. Ohshima, Y. Ozaki, S. Saito, R. Nebashi, N. Sakimura, H. Honjo, K. Mori, C. Igarashi, S. Miura, N. Ishiwata, and T. Sugibayashi: 2009 Symposium on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, p. 230 (2009).
25

非特許文献4：A. Thiaville, S. Rohart, E. Jue, V. Cros, A. Fert: Europhysics Le

ters, vol. 100, p. 57002 (2012).

非特許文献5: S. Emori, U. Bauer, S.-M. Ahn, E. Martinez, and G. D. S. Beach: Nature Materials, DOI: 10.1038/NMAT3675 (2013).

非特許文献6: K.-S. Ryu, L. Thomas, S.-H. Yang, and S. Parkin: Nature Nanotechnology, DOI: 10.1038/NNANO.2013.102 (2013).

10

発明の概要:

発明が解決しようとする課題

電流誘起磁壁移動を利用した3端子磁壁移動型磁気メモリを実用化するためには十分な不揮発性、例えば、10年間情報が安定して保持されることが必要となる。このためには非動作時において、磁壁は、拘束機構によって拘束され、その拘束機構は熱や外乱磁場などの擾乱にも十分に打ち勝てるような強さを有していることが必要となる。一方で、磁壁を電流で駆動する際には、小さな電流で拘束機構から脱出できることが望ましい。これまでの研究では、十分なデータ保持特性を維持しながら、小さな電流で駆動できるような方式については調べられていなかった。

20

課題を解決するための手段

本発明に係る磁気メモリは磁気抵抗効果素子を具備する。その磁気抵抗効果素子は垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成される磁化自由層と、上記磁化自由層に隣接して設けられるスピン流生成層と、上記磁化自由層に隣接して上記スピン流生成層とは反対側に設けられるトンネルバリア層と、上記トンネルバリア層に隣接して上記磁化自由層とは反対側に設けられるリファレンス層と、強磁性体から構成される第1漏洩磁場生成層と第2漏洩磁場生成層を具備し、上記第1漏洩磁場生成層と上記第2漏洩磁場生成層から生ずる漏洩磁場の上記磁化自由層の位置における面内成分によって上記磁化自由層の長手方向に磁化成分を有する

25

磁壁が形成される。

発明の効果

- 本発明によれば、Dzyaloshinski-Moriya相互作用と、スピンホール効果によって駆動される磁壁移動を利用した磁気メモリにおいて、
- 5 データ保持特性と書き込み電流を独立に設計することができ、高いデータ保持特性と、小さな書き込み電流を両立することができる。

図面の簡単な説明：

- 図1は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗素子を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の一例を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の磁化自由層の構造を示す模式図である。
- 10

- 図2は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗素子の磁化構造を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子に、「0」が格納された状態の磁化構造を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子に、「1」が格納された状態の磁化構造を示す模式図である。
- 15

- 図3は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗素子に形成される磁壁を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の右旋回性磁壁の模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の左旋回性磁壁の模式図である。
- 20

- 図4は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗素子に形成される磁壁と、漏洩磁場との関係を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の「0」状態における磁壁の旋回方向と、漏洩磁場生成層からの漏洩磁場の関係を示す模式図である。(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の「1」状態における磁壁の旋回方向と、漏洩磁場生成層からの漏洩磁場の関係を示す模式図である。(c)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の「0」状態における磁壁の旋回方向と、漏洩磁場生成層からの漏洩磁場の関係を示す模式図である。(d)は、本発明の
- 25

第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の「1」状態における磁壁の旋回方向と、漏洩磁場生成層からの漏洩磁場の関係を示す模式図である。

図5は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗素子への書き込み動作を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子に「1」を書き込む時の動作方法を示した模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子に「0」を書き込む時の動作方法を示した模式図である。

図6は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗素子からの読み出し動作を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子から「0」状態の情報の読み出し方法を示した模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子から「1」状態の情報の読み出し方法を表した模式図である。

図7は、本発明に係る磁気メモリセルのセル回路図である。

図8は、本発明に係る磁気メモリの回路ブロック図である。

図9は、数値計算に用いるパラメータを説明するための図である。(a)は、数値計算に用いた局所的なx方向の漏洩磁場の分布を示す模式図であり、(b)は、数値計算に用いた磁壁が感じる局所的なピンポテンシャルの形状を示す模式図である。

図10は、局所的なx方向の漏洩磁場に由来した拘束場所から脱出する際の磁壁位置 q と、磁壁内磁化角度 Φ の時間発展の計算結果である。

図11は、局所的なx方向の磁場と、局所的なエネルギーポテンシャルによって拘束された磁壁が、拘束位置から脱出するのに必要な電流密度のx方向磁場依存性、及びピンポテンシャル深さ依存性の計算結果である。

図12は、漏洩磁場生成層からの漏洩磁場の計算結果である。

図13は、本発明の第1の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図である。(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。(c)は、本発明の第1の実施の形態に係る第1変形例の磁気

抵抗素子の「0」状態を示す模式図である。(d)は、本発明の第1の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗素子の「1」状態を示す模式図である。

図14は、本発明の第1の実施の形態に係る第2変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第2変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第2変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図15は、本発明の第1の実施の形態に係る第3変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第3変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第3変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図16は、本発明の第1の実施の形態に係る第4変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第4変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第4変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図17は、本発明に第1の実施の形態に係る第5変形例の磁気抵抗素子の一例を示す模式図である。

図18は、本発明の第1の実施の形態に係る第6変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第6変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第6変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図19は、本発明の第1の実施の形態に係る第7変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第7変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第7変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図20は、本発明の第1の実施の形態に係る第8変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る第8変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る第7変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図21は、本発明の第2の実施の形態に係る磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第2の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第2の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

図22は、本発明の第2の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗素子の磁化の状態を説明するための図である。(a)は、本発明の第2の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗効果素子の「0」状態を示す模式図であり、(b)は、本発明の第2の実施の形態に係る第1変形例の磁気抵抗効果素子の「1」状態を示す模式図である。

15

発明を実施するための形態：

以下、添付図面を参照して本発明に係る磁気抵抗効果素子100、及び磁気メモリ300を実施するための形態に関して説明する。本発明に係る磁気メモリ300は、アレイ状に配置された複数の磁気メモリセル200を有しており、各磁気メモリセル200は、磁気抵抗効果素子100を有している。

20

[1. 磁気抵抗効果素子の構造]

図1(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の構造の一例を示す模式図である。なお、図に示されているx-y-z座標系において、z軸は基板垂直方向であり、x-y軸は基板平面に平行であるものとする。

このx-y-z座標系の定義は、以下の図においても共通である。

25

本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100は、少なくとも磁化自由層10と、スピン流生成層20と、トンネルバリア層30と、リファレンス層40と、漏洩磁場生成層(第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52)と、を具備する。また、図1(a)を参照すると、更に、スペーサー層(第1ス

ペーサー層 6 1・第 2 スペーサー層 6 2) が設けられる例が図示されている。

磁化自由層 1 0 と、リファレンス層 4 0 と、漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 5 1・第 2 漏洩磁場生成層 5 2) は、少なくとも一部分に強磁性体を有する。図 1 (a) では、磁化自由層 1 0 と、リファレンス層 4 0 と、漏洩磁場生成層 5 (第 1 漏洩磁場生成層 5 1・第 2 漏洩磁場生成層 5 2) と、を構成する強磁性体の磁化方向を矢印で示している。また、図 1 (b) は、磁化自由層 1 0 の構造を z 軸から見た平面図であり、図 1 (a) と同様に、磁化方向を矢印で示している。

磁化自由層 1 0 は、垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成される。垂直磁気異方性は、結晶が有する結晶磁気異方性に由来していてもよいし、界面との相互作用により生ずる界面磁気異方性に由来していてもよい。

また、磁化自由層 1 0 は、図 1 (b) の平面図で示されているように、第 1 磁化固定領域 1 1 と、第 2 磁化固定領域 1 2 と、磁化自由領域 1 3 と、を有している。なお、図 1 では磁化自由層 1 0 は、x 軸方向に延伸して形成され、磁化自由領域 1 3 は第 1 磁化固定領域 1 1 と第 2 磁化固定領域 1 2 に挟まれて設けられている。しかしながら、本発明における第 1 磁化固定領域 1 1 と、第 2 磁化固定領域 1 2 と、磁化自由領域 1 3 と、の位置関係はこれに限定されるものではない。

本発明の第 1 の実施の形態においては、第 1 磁化固定領域 1 1 と、第 2 磁化固定領域 1 2 とは、z 軸方向に固定された磁化を有しており、かつ、それらは互いに反平行方向に固定されている。図 1 の例では、第 1 磁化固定領域 1 1 の磁化は +z 方向に固定されており、第 2 磁化固定領域 1 2 の磁化は -z 方向に固定されている。磁化自由領域 1 3 の磁化は、+z 方向、または、-z 方向のいずれかを向くことができる。

磁化自由層 1 0 内の磁化が、図 1 に示すような磁化配置にあるとき磁化自由層 1 0 内には単一の磁壁が形成される。その磁壁は、磁化自由領域 1 3 の磁化方向に応じて、第 1 磁化固定領域 1 1 と磁化自由領域 1 3 の境界、あるいは第 2 磁化固定領域 1 2 と磁化自由領域 1 3 の境界のいずれかに形成される。

スピン流生成層 2 0 は、非磁性の導電体から構成される。スピン流生成層 2 0 は、スピン軌道相互作用の大きな元素から形成されるか、あるいは、スピン起動相互作用の大きな元素を含有していることが望ましい。スピン流生成層 2 0 は、

磁化自由層 10 に隣接して設けられる。図 1 の例では、スピン流生成層 20 は、磁化自由層 10 の $-z$ 側の面の全面を覆うように形成されている。しかしながら、より一般的にスピン流生成層 20 は、磁化自由層 10 のうちの磁化自由領域 13 に隣接していればよく、必ずしも片側の一面において全面で隣接している必要はない。

トンネルバリア層 30 は、非磁性体から構成される。また、トンネルバリア層 30 は、スピン流生成層 20 とは反対側の面に磁化自由層 10 に隣接して設けられる。好適には、トンネルバリア層 30 は、磁化自由層 10 の一方の面の全体を覆うようにして形成される。図 1 の例では、トンネルバリア層 30 は、磁化自由層 10 の $+z$ 側の面の全面を覆うようにして形成されている。

リファレンス層 40 は、トンネルバリア層 30 の磁化自由層 10 とは反対側の面にトンネルバリア層 30 に隣接して設けられる。リファレンス層 40 は、垂直磁気異方性を有し、磁化方向の固定された強磁性体を有する。図 1 (a) においては、リファレンス層 40 は、強磁性体／非磁性体／強磁性体からなる積層体により構成される例が示されている。また、図 1 (a) の例においては、二つの強磁性体は、その間に挟まれた非磁性体により反強磁性的に結合した例が示されている。また、リファレンス層 40 は、 $x-y$ 平面において、少なくとも磁化自由層 10 のうちの磁化自由領域 13 にオーバーラップするようにして設けられる。図 1 (a) に示された例では、リファレンス層 40 は、磁化自由領域 13 の直上に配置され、 $x-y$ 平面において、磁化自由領域 13 に収まるようにして設けられている。但し、実際にはリファレンス層 40 は、磁化自由領域 13 に対して $x-y$ 平面において少なくとも一部分でオーバーラップしていればよく、その大きさも磁化自由領域 13 よりも大きく形成されても構わない。

本発明の第 1 の実施の形態においては、漏洩磁場生成層（第 1 漏洩磁場生成層 51・第 2 漏洩磁場生成層 52）は、少なくとも一部分に垂直磁気異方性を有する強磁性体を有する。また、第 1 漏洩磁場生成層 51 は、磁化自由層 10 の第 1 磁化固定領域 11 の上部、または下部に設けられる。第 2 漏洩磁場生成層 52 は、磁化自由層 10 の第 2 磁化固定領域 12 の上部、または下部に設けられる。

また、第 1 漏洩磁場生成層 51 と、第 2 漏洩磁場生成層 52 との磁化は、互い

に反平行方向に固定されている。図1 (a) の例では、第1漏洩磁場生成層5 1の磁化は+z方向に固定されており、第2漏洩磁場生成層5 2の磁化は-z方向に固定されている。

第1漏洩磁場生成層5 1と、第2漏洩磁場生成層5 2は、それぞれから生ずる漏洩磁場によって磁化自由層1 0の第1磁化固定領域1 1と、第2磁化固定領域1 2の磁化を反平行方向に固定し、かつ第1磁化自由層1 0内に形成される磁壁を固定する役割を有する。

また、図1の例では、上記に加えて第1スペーサー層6 1と、第2スペーサー層6 2とが設けられている。第1スペーサー層6 1は、スピン流生成層2 0と、第1漏洩磁場生成層5 1との間に設けられており、第2スペーサー層6 2は、スピン流生成層2 0と第2漏洩磁場生成層5 2の間に設けられている。スペーサー層(第1スペーサー層6 1・第2スペーサー層6 2)は導電体から構成される。

また、上記の層の他に、磁気抵抗効果素子1 0 0には外部の配線との接続のために導電体から構成されるコンタクト層が設けられることが好ましいが、図1ではコンタクト層は省略されている。

[2. 磁気抵抗効果素子のメモリ状態]

次に、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子1 0 0のメモリ状態に関して図2を参照して説明する。

上述のように、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子1 0 0は、少なくとも磁化自由層1 0と、スピン流生成層2 0と、トンネルバリア層3 0と、リファレンス層4 0と、漏洩磁場生成層(第1漏洩磁場生成層5 1・第2漏洩磁場生成層5 2)と、を有し、磁化自由層1 0は少なくとも一部分に強磁性体を有する。また、磁化自由層1 0は、磁化方向が互いに反平行方向に固定された第1磁化固定領域1 1と、第2磁化固定領域1 2と、磁化方向が可変な磁化自由領域1 3と、から構成される。

本発明に係る磁気抵抗効果素子1 0 0においては、この磁化自由層1 0の磁化状態が記憶情報に関連付けられる。

図2 (a) と、図2 (b) は、それぞれ本発明に係る磁気抵抗効果素子1 0 0にメモリ情報として「0」が格納された状態と、「1」が格納された状態におけ

る磁化構造を示す模式図である。

図2 (a) に示されている「0」状態においては、磁化自由層10のうちの磁化自由領域13の磁化は $-z$ 方向を向いている。このとき、第1磁化固定領域11は $+z$ 方向、第2磁化固定領域12は $-z$ 方向を向いている。この状態では、
5 磁化自由領域13と第1磁化固定領域11の境界に磁壁DW (Domain Wall) が形成される。

一方、図2 (b) に示されている「1」状態においては、磁化自由層10のうちの磁化自由領域13の磁化は $+z$ 方向を向いている。このとき、磁化は、第1磁化固定領域11において $+z$ 方向、第2磁化固定領域12において $-z$ 方向を
10 向いているため、磁化自由領域13と第2磁化固定領域12の境界に磁壁(DW) が形成される。

このように、本発明に係る磁気抵抗効果素子100においては、磁化自由層10のうちの磁化自由領域13の磁化方向がメモリ素子として見たときの記憶情報に対応しており、言い換えると、磁壁(DW)の位置が記憶情報に対応している。
15 なお、本発明に係る磁気抵抗効果素子100におけるメモリ状態の定義は上述の限りではなく、第1磁化固定領域11と、第2磁化固定領域12と、磁化自由領域13と、の磁化方向とメモリ状態の関連付けには任意性があることは自明である。

また、本発明に係る磁気抵抗効果素子100においては、磁壁(DW)の磁化の
20 方向(旋回方向)と、漏洩磁場生成層(第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52)と、の磁化の方向に関連性がある。以下、それらについて図3、図4を参照して説明する。

図3は、磁壁(DW)の旋回方向を示す模式図である。はじめに、図3を用いて磁壁の旋回方向について説明する。

25 積層方向に非対称性のある極薄の強磁性層においては、Dzyalloski-Moriya相互作用が働き、強磁性層が垂直磁気異方性を有しており、その中に磁壁が形成される場合には、磁壁の磁化の旋回方向がDzyalloski-Moriya相互作用により規定されることが知られている。具体的には、Dzyalloski-Moriya相互作用の

符号によって磁壁 (DW) の旋回方向が変化する (非特許文献 4 参照)。

図 3 (a) には右旋回型の磁壁が示されている。右旋回型の磁壁 (DW) においては磁壁 (DW) 内の磁化は左から右に、 $\uparrow \cdot \rightarrow \cdot \downarrow$ 、または、 $\downarrow \cdot \leftarrow \cdot \uparrow$ という順に時計回りに変化している。

- 5 一方、図 3 (b) には、左旋回型の磁壁 (DW) が示されている。左旋回型の磁壁 (DW) においては、磁壁内の磁化は左から右に、 $\uparrow \cdot \leftarrow \cdot \downarrow$ 、または、 $\downarrow \cdot \rightarrow \cdot \uparrow$ という順に反時計回りに変化している。

次に図 4 には、磁化自由層 10 が右旋回型の磁壁 (DW) を有する場合の漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 51・第 2 漏洩磁場生成層 52) の磁化方向との
10 関係が示されている。

図 4 (a) と、図 4 (b) には、それぞれ「0」状態、「1」状態での漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 51・第 2 漏洩磁場生成層 52) と、スペーサー層 (第 1 スペーサー層 61・第 2 スペーサー層 62) と、スピン流生成層 20 と、磁化自由層 10 とが、示されている。

- 15 また、漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 51・第 2 漏洩磁場生成層 52) からの漏洩磁場 $H_{s, tr}$ が破線で示されている。図 4 (a) からわかるように、「0」状態においては、 $+z$ 方向に固定された磁化を有する第 1 漏洩磁場生成層 51 からの漏洩磁場 $H_{s, tr}$ は、磁壁 (DW) の位置において $+x$ 方向成分を有している。また図 4 (b) からわかるように、「1」状態においても、 $-z$ 方向に固
20 定された磁化を有する第 2 漏洩磁場生成層 52 からの漏洩磁場 $H_{s, tr}$ は、磁壁 (DW) の位置において $+x$ 方向の成分を有している。これらはいずれも磁壁 (DW) の磁化方向と一致している。

また、図 4 (c)、図 4 (d) には、第 1 漏洩磁場生成層 51 の磁化が $-z$ 方向に固定され、第 2 漏洩磁場生成層 52 の磁化が $+z$ 方向に固定されていた場合
25 の磁化配置と漏洩磁場の方向が図示されている。この場合には、磁化自由層 10 の第 1 磁化固定領域 11 の磁化は $-z$ 方向に、第 2 磁化固定領域 12 の磁化は $+z$ 方向に固定される。そして、磁化自由層 10 において Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用により優先的に形成される磁壁 (DW) が右旋回である場合、磁壁 (DW) の磁化は $-x$ 方向を向く。この場合も、第 1 漏洩磁場生

成層 5 1 と、第 2 漏洩磁場生成層 5 2 とから生ずる漏洩磁場 H_{str} の x 成分の磁壁 (DW) の位置における方向は、磁壁の磁化の方向と一致している。

このように磁化自由層 1 0 において、優先的に形成される磁壁 (DW) が右旋回性を持つ場合、漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 5 1 ・第 2 漏洩磁場生成層 5 2) は、磁化自由層 1 0 の下側に配置することで、磁壁の磁化と、漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 5 1 ・第 2 漏洩磁場生成層 5 2) から生ずる漏洩磁場 H_{str} の面内成分と、を一致させることができる。なお、磁化自由層 1 0 において形成される磁壁 (DW) が、左旋回性を持つ場合の実施の形態については、第 1 変形例として後述される。

10 ここでは、磁化自由層 1 0 内において形成される磁壁 (DW) の旋回性が、 $Dzyaloshinskii-Moriya$ 相互作用により規定される場合を例にとって説明したが、実際には磁壁 (DW) 内の磁化が細線長手方向 ($\pm x$ 方向) に固定されるメカニズムはいかようであっても構わない。例えば、本発明は、磁化自由層 1 0 が面内において、一方向異方性を有するように設計していれば、実
15 施が可能である。また、磁化自由層 1 0 の y 方向の線幅が、磁壁幅と比べて十分に細くなれば、優先的かつ安定的にネール磁壁が形成されるようになり、その場合にも本発明は実施が可能である。すなわち本質的には、磁化自由層 1 0 内において形成される磁壁 (DW) 内の磁化が優先的に細線長手方向 ($\pm x$ 方向) を向くように設計されていれば、それがどのような効果によるものであったとしても本
20 発明の効果を得ることが可能である。

[3. 磁気抵抗効果素子への情報の書き込み方法]

次に、本発明の第 1 の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子 1 0 0 への情報の書き込み方法に関して、図 5 を参照して説明する。

前述のように本発明に係る磁気抵抗効果素子 1 0 0 においては、磁壁の位置が、
25 記憶情報に対応している。本発明に係る磁気抵抗効果素子 1 0 0 においては、この磁壁を電流により移動させることによって情報の書き込みを行う。磁壁の移動メカニズムは、いかようであっても構わないが、スピホール効果と $Dzyaloshinskii-Moriya$ 相互作用によって磁壁 (DW) が駆動する場合を例にとって説明する。

スピン流生成層 20 に x 方向の電流を導入した場合、スピンホール効果によって z 方向にスピン流が生じ、+y 方向、または -y 方向にスピン偏極した電子が磁化自由層 10 に流入することになる。流入したスピン偏極した電子は、磁壁 (DW) の磁化と相互作用をする。

- 5 ここで非特許文献 4 によれば、Dzyaloshinski-Moriya 相互作用によって +x 方向、または -x 方向に旋回方向が規定された磁壁 (DW) に、+y または -y 方向の伝導電子が流入した場合、スピン流生成層 20 中を流れる電流と同方向または逆方向に磁壁 (DW) が移動する。磁壁 (DW) の移動方向は、Dzyaloshinski-Moriya 相互作用の符号、及び
- 10 スピンホール効果の符号によって決定される。

以下では、磁壁 (DW) が電流方向に移動する場合を例にとって、「1」書き込み動作、「0」書き込み動作のそれぞれについて説明する。

- 図 5 (a) と、図 5 (b) は、それぞれ本発明に係る磁気抵抗効果素子 100 における、メモリ情報として「1」を書き込む場合と、「0」を書き込む場合の
- 15 動作方法を示す模式図である。

- 図 5 (a) に示されている「1」書き込みの動作においては、スピン流生成層 20 内に、「1」書き込み電流 I_{w1} が +x 方向に流される。このとき、スピン流生成層 20 において、z 方向にスピン流が生じ、y 方向にスピン偏極した電子が、磁化自由層 10 に流入する。これによって、磁化自由領域 13 と、第 1 磁化固定
- 20 領域 11 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が働く。スピントランスファートルクとは、スピン偏極した電子から、磁壁 (DW) へスピン角運動量が移行する現象である。したがって、スピントランスファートルクを受けた磁壁 (DW) は、磁化自由領域 13 内を移動し、結果として磁化自由層 13 の磁化方向を変化させる。

- 25 図 5 (a) の例で言うと、スピントランスファートルクを受けた磁壁 (DW) の向きは、+y 方向にスピン偏極した電子から、+x 方向に向いている磁壁 (DW) へのトルクで表すことができる。トルクは、2つのベクトルの外積で表すことができるため、スピントランスファートルクを受けた磁壁 (DW) は +z 方向を向く。すると、磁化自由領域 13 内では、隣接する磁化は同じ向きを向いたほうが安定

するため、スピントランスファートルクを受け $+z$ 方向を向いた磁化と隣接する磁化も $+z$ 方向を向く。そして、磁化自由領域13と、第2磁化固定領域12の境界で、磁壁(DW)が形成される。したがって、磁壁(DW)は、磁化自由領域13と第1磁化固定領域11との境界から、磁化自由領域13と第2磁化固定領域12との境界へと移動する。

磁化自由領域13と、第2磁化固定領域12との境界で磁壁(DW)が止まるのは、第2磁化固定領域12の磁化が、第2漏洩磁場生成層52からの漏洩磁場によって固定されていることに起因している。これによって実現される磁化状態は、図2(b)で示されている「1」状態に他ならない。かくして「1」書き込み電流 I_{w1} を磁気抵抗効果素子100に導入することによって、「0」状態から「1」状態への格納情報の書き換えを行うことができる。

一方、図5(b)に示されている「0」書き込みの動作においては、スピン流生成層20内に、「0」書き込み電流 I_{w0} が $-x$ 方向に流される。このとき、スピン流生成層20において、 $+z$ 方向にスピン流が生じ、 $-y$ 方向にスピン偏極した電子が、磁化自由層10に流入する。これによって磁化自由領域13と、第2磁化固定領域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が働く。スピントランスファートルクを受けた後の磁壁(DW)の向きは、 $-y$ 方向にスピン偏極した電子から、 $+x$ 方向を向いている磁壁(DW)へのトルクで表すことができる。この場合、スピントランスファートルクを受けた磁壁(DW)は $-z$ 方向を向く。すると、磁化自由領域13内では、隣接する磁化は同じ向きを向いたほうが安定するため、スピントランスファートルクを受け $-z$ 方向を向いた磁化と隣接する磁化も $-z$ 方向を向く。そして、磁化自由領域13と、第1磁化固定領域11の境界で、磁壁(DW)が形成される。したがって、磁壁(DW)は磁化自由領域13と第2磁化固定領域12との境界から、磁化自由領域13と第1磁化固定領域11との境界へと移動する。

磁化自由領域13と第1磁化固定領域11との境界で磁壁(DW)が止まるのは、第1漏洩磁場生成層51からの漏洩磁場によって第1磁化固定領域11の磁化が固定されていることに起因している。これによって、実現される磁化状態は図2(a)で示されている「0」状態に他ならない。かくして「0」書き込み電流 I

w_0 を磁気抵抗効果素子100に導入することによって、「1」状態から「0」状態への格納情報の書き換えを行うことができる。

このように、磁化自由層10に双方向の書き込み電流を導入することによって、「0」状態と「1」状態の間での格納情報の書き換えが可能である。なお、図55においては、書き込み電流 I_{w1} 、及び I_{w0} は第1漏洩磁場生成層51と、第1スペーサー層61と、第2スペーサー層62と、第2漏洩磁場生成層52と、を経由するように書かれているが、この書き込み電流の経路はこれに限定されるものではない。書き込み電流は、スピン流生成層20を通りさえすれば、どのような経路をたどっても構わない。

10 また、「0」状態において「0」書き込み電流 I_{w0} が導入された場合、及び「1」状態において「1」書き込み電流 I_{w1} が導入された場合には、メモリ状態の変化は起こらない。すなわち、本発明に係る磁気抵抗効果素子100においては、情報のオーバーライトも可能である。

[4. 磁気抵抗効果素子からの情報の読み出し方法]

15 次に、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100からの情報の読み出し方法に関して、図6を参照して説明する。

上述のように本発明に係る磁気抵抗効果素子100においては、磁化自由層10のうちの磁化自由領域13の磁化方向が、格納されている記憶情報に対応している。本発明に係る磁気抵抗効果素子100においては、この磁化自由領域13
20 と、リファレンス層40との磁化の相対角によって生ずるトンネル磁気抵抗効果を利用して情報の読み出しを行う。

図6(a)と図6(b)は、それぞれ本発明に係る磁気抵抗効果素子100における、メモリ情報として「0」を読み出す場合と「1」を読み出す場合の動作方法の模式図である。いずれの場合においても読み出し電流 I_R をリファレンス層40と、トンネルバリア層30と、磁化自由層10とを貫通するように導入する。
25

ここで、メモリ情報は、電流を導入した際のトンネル磁気抵抗効果によるトンネル磁気抵抗の大きさの大小によって、「0」状態と、「1」状態とが判別される。トンネル磁気抵抗効果は、例えば、強磁性体層1/絶縁層/強磁性体層2で構成

される素子に電流を導入した際に、強磁性体層 1 の磁化と、強磁性体層 2 の磁化との相対角度によって、電気抵抗が変化する現象である。強磁性体層 1 と、強磁性体層 2 との、相対角度が 0° の時にトンネル磁気抵抗は最小となり、相対角度が 180° の時にトンネル磁気抵抗は最大となる。このことは、本発明に係る磁気抵抗効果素子においても同様である。

図 6 (a) に示された「0」を読み出す場合には、リファレンス層 40 のうちの非磁性層 20 に隣接した強磁性層の磁化方向は $-z$ 方向を向いており、また磁化自由層 10 のうちの磁化自由領域 13 の磁化も $-z$ 方向を向いている。この場合の、2つの磁化の相対角度は 0° である。したがって、リファレンス層 40 と、トンネルバリア層 30 と、磁化自由層 10 と、を貫通する方向に電流を導入すると、トンネル磁気抵抗効果によって低抵抗状態が観測される。

一方で、図 6 (b) に示された「1」を読み出す場合には、リファレンス層 40 のうちのトンネルバリア層 30 に隣接した強磁性層の磁化は $-z$ 方向を向いており、また磁化自由層 10 のうちの磁化自由領域 13 の磁化は $+z$ 方向を向いている。この場合の、2つの磁化の相対角度は 180° である。したがって、リファレンス層 40 と、トンネルバリア層 30 と、磁化自由層 10 と、を貫通する方向に電流を導入すると、トンネル磁気抵抗効果によって高抵抗状態が観測される。

このように、磁化自由領域 13 の磁化と、リファレンス層 40 の磁化との相対角によって当該磁気抵抗効果素子 100 における抵抗が変化するので、この抵抗の差を利用することで磁気抵抗効果素子 100 からの情報の読み出しを行うことができる。

なお、図 4 では、読み出し電流 I_R は、漏洩磁場生成層（第 1 漏洩磁場生成層 51・第 2 漏洩磁場生成層 52）と、スペーサー層（第 1 スペーサー層 61・第 2 スペーサー層 62）と、スピン流生成層 20 と、磁化自由層 10 と、トンネルバリア層 30 と、リファレンス層 40 という経路で導入されているが、上述の説明からわかるように読み出し電流 I_R の経路はこれに限定されるものではない。すなわち、リファレンス層 40 と、トンネルバリア層 30 と、磁化自由層 10 のうちの磁化自由領域 13 と、を貫通する方向に電流が流れさえすれば、それ以外の経路がいかなるものであっても構わないことは自明である。

[5. 磁気メモリの回路構成]

次に、本発明の第1の実施の形態に係る磁気メモリ300の回路構成と回路動作方法に関して、図7、図8を参照して説明する。なお、ここで説明される回路構成は、本発明に係る磁気抵抗効果素子100を用いて磁気メモリ300を形成する上での一例であり、他の回路構成を用いても本発明と同等の効果を有する磁気メモリを提供することができる。

前述のように本発明に係る磁気メモリ300は、アレイ状に配置された複数の磁気メモリセル200を有しており、各磁気メモリセル200は磁気抵抗効果素子100を有している。

10 図7は、本発明に係る磁気メモリ300を構成する一つの磁気メモリセル200の回路構成の一例を示す模式図である。この磁気メモリセル200では、磁気抵抗効果素子100は第1ビット線102aと、第2ビット線102bと、ワード線103と、グラウンド線104とに接続されている。リファレンス層40に繋がる端子は、グラウンド線104に接続されている。

15 第1磁化固定領域11は、第1スペーサー層61と、第1漏洩磁場生成層51と、を経由して、第1セルトランジスタ101aのソース/ドレインに接続されている。

第2磁化固定領域12は、第2スペーサー層62と、第2漏洩磁場生成層52と、を経由して、第2セルトランジスタ101bのソース/ドレインに接続され
20 ている。

第1セルトランジスタ101aと、第2セルトランジスタ101bとのゲート電極は、ワード線103に接続されている。

また、第1セルトランジスタ101aと、第2セルトランジスタ101bとのソース/ドレインのうちの磁気抵抗効果素子100に接続される側とは反対側の
25 端子は、それぞれ第1ビット線102aと、第2ビット線102bへと接続されている。

情報を書き込む際には、ワード線103はHighレベルに設定され、これによって第1セルトランジスタ101a、第2セルトランジスタ101bはON状態になる。そして、第1ビット線102aと、第2ビット線102bと、のいずれ

れかをHighに設定することによって磁気抵抗効果素子100への情報の書き込みが可能となる。

情報を読み出す際には、ワード線103はHighレベルに設定され、これによって第1セルトランジスタ101aと、第2セルトランジスタ101bはON状態になる。そして、第1ビット線102aと、第2ビット線102bの両方をHighに設定する、あるいは、一方をHighに、他方をOpenに設定することによって、磁気抵抗効果素子100からの情報の読み出しが可能となる。

図8は、本発明に係る磁気メモリ300の構成を表した回路ブロックの一例を示す模式図である。磁気メモリ300は、メモリセルアレイ110と、Xドライバ120と、Yドライバ130と、コントローラ140とを備えている。

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200を有している。

各磁気メモリセル200は、第1ビット線102aと、第2ビット線102bと、ワード線103と、グランド線104とに接続されている。

Xドライバ120は、複数のワード線103に接続されており、それら複数のワード線103のうちの、アクセス対象の磁気メモリセル200に繋がるワード線103を駆動する。

Yドライバ130は、複数の第1ビット線102aと、複数の第2ビット線102bとに接続されており、それら複数の第1ビット線102aと、複数の第2ビット線102bとを所望のデータ書き込み、読み出し状態に設定する。

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。なお、磁気抵抗効果素子100のリファレンス層30へと接続されるグラウンド線104は、Xドライバ120へと接続されているが、これは、Yドライバ130に接続される読み出しビット線によって代用することも可能である。

[6. 材料と膜厚]

次に、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100に用いることのできる材料とその好適な膜厚範囲について説明する。

磁化自由層10の材料は、Fe, Co, Niなどの3d強磁性遷移金属元素を

少なくとも一つ含むことが望ましい（但し、3d強磁性遷移金属元素を含まないが、Mn-Al、Mn-Gaなども磁化自由層10の材料として適している）。また、前述の通り磁化自由層10は垂直磁気異方性を有する。この垂直磁気異方性は、結晶磁気異方性に由来してもよいし、界面磁気異方性に由来してよい。結晶磁気異方性を利用する場合、Fe-Pt、Co-Pt、Fe-Pd、Fe-Ni、Sm-Co、Co-Cr-Ptなどの合金材料、Co/Pt、Co/Pd、Co/Ni、Fe/Auなどの交互積層膜などを用いることができる。

一方、界面磁気異方性を利用する場合、Fe、Co、Niを含む様々な材料を用いることができる。具体的には、Fe-Co、Fe-Co-Ni、Co-Niなどが例示される。またこれらにはB、C、N、O、F、Si、Al、P、Sなどの元素を添加してもよい。例えば、Co-Fe-Bなどが例示される。

磁化自由層10の膜厚は、Dzyalloskii-Moriya相互作用の影響を大きくし、かつ磁壁を少ない電流で効率的に動かすためには薄い方が好ましい。低膜厚側の下限は一原子層であるので、約0.2nmである。膜厚の上限には任意性があるが、5nm以下、より好適には2nm以下が好ましい。特に界面磁気異方性を利用する場合には、界面磁気異方性の大きさと飽和磁化の兼ね合いで膜厚の上限が設定される。

スピン流生成層20は、非磁性の導電体から構成される。好適にはスピン起動相互作用の大きい元素から構成されるか、あるいは、スピン起動相互作用の大きい元素を含有する材料から構成される。具体的には、W、Ta、Hf、Re、Os、Ir、Pt、Biなどが例示される。また、これらの元素に別の元素を添加して、スピンホール効果や、Dzyalloskii-Moriya相互作用の大きさや符号を制御することができる。このために添加する元素としては、B、O、N、C、Al、Si、Pなどが挙げられる。また、Cu、Alなどの軽元素を母相としてこれらの重元素をドーピングしてもよい。

スピン流生成層20の膜厚の下限は、スピンホール効果が発現する膜厚の下限として設定される。一般的には、スピンホール効果が発現する膜厚の下限は、2原子層程度となるので、0.2nm程度となる。

スピン流生成層20の膜厚の上限は、材料のスピン拡散長が目安となる。これ

は材料によって大きく異なるが、Ta、W、Ptなどの重元素の場合には数nm程度である。一方で、Cuなどでは数100nmである。ただし、あまり厚すぎると書き込み電流が増大してしまうので、膜厚は書き込み電流との兼ね合いで設計することが好ましい。好適にはスピン流生成層20の膜厚上限は10nm、より好適には5nmである。

トンネルバリア層30は、N、O、Cのうちのいずれか一つを含んだ絶縁体で構成される。具体的にはMg-O、Al-O、Si-O、Si-N、Si-C-N、Mg-N、Al-N、Zn-O、Zn-Nなどが例示される。トンネルバリア層30の膜厚は所望の読み出し特性が得られるように設計される。具体的には0.5nmから2nm程度の膜厚を用いることができる。

リファレンス層40には、垂直磁気異方性を有する様々な強磁性体を用いることができる。従ってFe、Co、Niのうちのいずれかの元素を含むことが望ましい（但し、強磁性体を含まないが、Mn-Al、Mn-Gaなどはリファレンス層40として用いることができる。）。具体的に用いることのできる材料は磁化自由層10の場合と重複するので省略する。

また、リファレンス層40は、異なる強磁性層と非磁性層の積層体となってもよい。前述の通り、これまで図示された例ではリファレンス層40は、強磁性体/非磁性体/強磁性体が積層された構造を有しており、二つの強磁性層の磁化は反平行方向に固定されている。また、リファレンス層40のうちのトンネルバリア層30に隣接する層には、高いトンネル磁気抵抗効果比が得られるように高いスピン偏極率を有する材料、あるいはトンネルバリア層30との組み合わせにより高いトンネル磁気抵抗効果比が得られるような材料を用いることが望ましい。以上を踏まえると、リファレンス層40に用いる積層構造としては、トンネルバリア層30側から順にCo-Fe-B/[Co/Pt]積層膜/Ru/[Co/Pt]積層膜などが例示される。

また、リファレンス層40の膜厚は任意に設計される。但し、リファレンス層40から生ずる漏洩磁場は磁化自由層10の高さにおいて小さいことが望ましい。従って、リファレンス層40の積層構造は磁化自由層10の高さにおいて漏洩磁場が小さくなるように設計されることが望ましい。

本発明の第1の実施の形態においては、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）には、垂直磁気異方性を有する様々な強磁性体を用いることができる。従ってFe、Co、Niのうちのいずれかの元素を含むことが望ましい（但し、強磁性体を含まないが、Mn-Al、Mn-Gaなどは漏洩磁場生成層として用いることができる。）。具体的に用いること

5 漏洩磁場生成層として用いることのできる材料は磁化自由層10の場合と重複するので省略する。また、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）は、大きな漏洩磁場を発生させるために飽和磁化の大きな材料を用いることが好ましい。具体的には、Fe-Pt、Co/Pt、Co-Fe/Ptなどが例示される。

- 10 漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）の膜厚は、任意に設計することができる。例えば、漏洩磁場生成層の膜厚は1nm以上、30nm以下の範囲に設定される。なお、漏洩磁場生成層は、第1漏洩磁場生成層51と第2漏洩磁場生成層52で、磁化を反平行方向に向ける必要がある
- 15 ので、第1漏洩磁場生成層51と第2漏洩磁場生成層52の磁気特性を異ならしめることが望ましい。これは材料、膜構成、膜厚、製造方法などを変えることで実現することができる。

スペーサー層（第1スペーサー層61・第2スペーサー層62）は、導電性のあるあらゆる材料を用いることができる。具体的には、Ta、W、Au、Ag、Cu、Ti、V、Cr、Alなどが例示される。

- 20 また、スペーサー層の膜厚は、磁化自由層10の位置における漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）からの漏洩磁場の大きさが、最適になるように設計される。スペーサー層の好適な膜厚範囲については後述される。

[7. 原理]

- 25 次に本発明に係る磁気抵抗効果素子100の原理について、図9乃至図12に示された計算結果を参照しながら説明する。

本発明者らは、磁化自由層10内において、Dzyalloskii-Moriya相互作用によって旋回方向の規定された磁壁(DW)、即ち、隣接するスピン流生成層20からのスピン流によって駆動される際の磁壁(DW)のダ

イナミクスを、集団座標を用いた Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式によって数値的に計算した（非特許文献 4 参照）。また、磁壁 (DW) の状態を記述する集団座標としては磁壁 (DW) の位置を表す q と、磁壁 (DW) の磁化の角度を表す ϕ を用いた。ここで ϕ は細線長手方向を向いた場合を 0 とした。

- 5 Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用によって旋回方向の規定された磁壁 (DW) が、隣接するスピン流生成層 20 からのスピン流によって駆動される際、細線に一切の磁壁 (DW) を拘束する機構が存在しない場合には、磁壁 (DW) を駆動するためのしきい電流は存在しない。そこで、本発明者らは 2 つの磁壁 (DW) の拘束機構を計算に取り入れた。それらが図 9 に示されている。
- 10 1 つ目は図 9 (a) に示されているような（細線の長手方向）に局所的な x 方向磁場が存在する場合である。局所的な x 方向磁場の形状としては二次関数を仮定した。具体的には $-q_{x0}$ から $+q_{x0}$ の範囲内において、 x 方向磁場は以下の式 1 で与えられる。

$$H_x(q) = -H_{x0} \left(\frac{q}{q_{x0}} \right)^2 + H_{x0} \quad \dots \text{式 1}$$

- 15 ここで、 q は磁壁 (DW) の x 方向の位置を表し、 $-q_{x0}$ から $+q_{x0}$ の外側では、 $H_x(q) = 0$ となるような関数を仮定した。

2 つ目は磁壁 (DW) の感じる単位面積当たりのエネルギー ε が二次関数で与えられる場合であり、具体的には、 $-q_0$ から $+q_0$ の範囲内においては、以下の式 2 で与えられる。

$$\varepsilon(q) = MH_{c0}q_0 \left(\frac{q}{q_0} \right)^2 \quad \dots \text{式 2}$$

20

$-q_0$ から $+q_0$ の外側では $\varepsilon(q) = MH_{c0}q_0$ となるような関数を仮定した。

- 図 10 には、上述の 2 つの磁壁 (DW) の拘束機構のうちの前者のみがある場合の、集団座標 q と ϕ の時間発展の計算結果が示されている。破線、実線、点線はそれぞれ $\mu_0 H_{x0}$ が、 -100 mT 、 0 mT 、 100 mT の場合の計算結果を表している。図 10 からわかるようにいずれの場合も磁壁 (DW) 内磁化角度 ϕ
- 25

の時間発展は H_{x0} に依存して大きく変化しているが、磁壁 (DW) 位置 q の時間発展にはほとんど影響を及ぼしていないことが分かる。印加する電流密度を変えて計算を行ったところ、 x 方向の局所的な漏洩磁場によって拘束された磁壁 (DW) を電流で駆動する場合のしきい電流は存在しないことが分かった。

- 5 図 1 1 には、上述の 2 つの磁壁 (DW) の拘束機構の両方がある場合に磁壁 (DW) が拘束位置から脱出するのに必要なしきい電流密度の H_{x0} 依存性、 H_{c0} 依存性が示されている。図 1 1 は、図 1 0 とは異なり有限なしきい電流密度 j_c が存在している。ここで注目すべきは、しきい電流密度 j_c は H_{x0} と H_{c0} に対して依存性が異なる点である。すなわち、 H_{x0} には一切依存していないのに対して、 H_{c0} には線形に依存していることがわかる。

- 10 一方で、系のエネルギーをもとにした解析計算からは、 H_{x0} と、 H_{c0} はいずれも磁場で磁壁 (DW) を拘束位置から脱出させる場合に必要なしきい磁場に対しては、線形の依存関係があることがわかった。すなわち、しきい磁場は H_{x0} に対して線形な依存関係があるのに対して、しきい電流密度 j_c は H_{x0} には依存しないということである。これは、 H_{x0} を大きくすることで熱安定性はいくらでも大きくでき、一方で、しきい電流密度は増大しないことを意味している。これは磁気メモリの熱安定性と低電流特性を両立する上で非常に重要な特性である。

- 20 本発明においては、情報保持状態においては、この x 方向の局所的な漏洩磁場を用いて磁壁 (DW) を拘束し、この磁壁 (DW) を小さな電流によって駆動することが一番のポイントである。言い換えると、漏洩磁場生成層 (第 1 漏洩磁場生成層 5 1 ・第 2 漏洩磁場生成層 5 2) から生成される漏洩磁場は、磁化自由層 1 0 の位置において、 x 成分はなるべく大きく、一方で、 z 成分 (漏洩磁場の z 成分は上述の H_{c0} と同様に振る舞う) は十分に小さいことが望ましい。

- 25 図 1 2 には、本発明者らが行った漏洩磁場生成層からの漏洩磁場の計算結果が示されている。漏洩磁場生成層としては x 方向、および y 方向の長さが 1 0 0 n m で z 方向の膜厚が 1 0 n m の直方体を考え、飽和磁化は 1 0 0 0 e m u / c c を仮定した。

この磁性体の上面から h の高さにおいて形成される漏洩磁場の x 成分と、 z 成分を横軸として計算した結果がグラフに示されている。漏洩磁場生成層のエッジ

部分において、大きな漏洩磁場がx方向と、z方向との両方に出ていることが分かる。ここでz方向の漏洩磁場 H_z の拡大図に着目すると、エッジ部分における $\mu_0 H_z$ は、漏洩磁場生成層からの高さhが離れると急激に小さくなっていることが分かる。特に漏洩磁場生成からの高さhが10 nm以上では $\mu_0 H_z$ は20 mT以下、さらに漏洩磁場生成からの高さhが15 nm以上では $\mu_0 H_z$ は10 mT以下となっており、これはしきい電流密度 j_c に及ぼす影響としては問題のないレベルと考えられる。このことから、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）と、磁化自由層10の高さ方向との間隔は、10 nm以上、より好適には15 nm以上離すことが望ましいと言える。従ってスペーサー層（第1スペーサー層61、第2スペーサー層62）とスピン流生成層20の合計膜厚は10 nm以上、より好適には15 nm以上とすることが望ましい。

[8. 第1変形例]

図13(a)乃至図13(d)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第1変形例の構造を模式的に示した断面図である。第1変形例は、磁化自由層10内に形成される磁壁(DW)が左旋回性を持つ場合の実施の形態である。

磁化自由層10内に形成される磁壁(DW)が左旋回性を持つ場合、図13(a)と、図13(b)に示しているように、第1磁化固定領域が+z方向、第2磁化固定領域が-z方向に固定された磁化を有する場合、磁壁(DW)の磁化は-x方向を向く。この場合には、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）を磁化自由層10に対して上側(+z側)に配置することによって、漏洩磁場によって磁壁(DW)を拘束することができる。なお、図13(a)は「0」状態、図13(b)は「1」状態での磁化配置を示している。図からわかるように、磁壁(DW)の位置においては漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）からの漏洩磁場は-x方向成分を持つことが分かる。

図13(c)と、図13(d)は、第1磁化固定領域が+z方向、第2磁化固定領域が-z方向に固定された磁化を有する場合の「0」状態、「1」状態での

磁化配置が示されている。この場合は、磁壁 (DW) の位置において漏洩磁場生成層 (第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52) からの漏洩磁場は+x方向成分を持っており、やはり磁壁 (DW) の磁化方向と一致していることが分かる。

- 5 なお、図13に示された例では漏洩磁場生成層 (第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52) は、磁化自由層10から電氣的に分離して設けられているが、このように電氣的に接続されていなくても漏洩磁場が印加される範囲であればどのように配置しても構わない。

10 なお、図12を用いて漏洩磁場生成層 (第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52) の上面と磁化自由層10の中心高さの間の距離は10nm以上、より好適には15nm以上であることが望ましいことを述べたが、図13に示されたような漏洩磁場生成層 (第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52) が磁化自由層10の上側に配置される場合には、この距離は磁化自由層10の中心高さ
15 の下面の距離として規定されることは明らかである。

[9. 第2変形例]

図14(a)と、図14(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第2変形例の構造を模式的に示した断面図である。

20 図14(a)は「0」状態、図14(b)は「1」状態に対応する。第2変形例においては、漏洩磁場生成層として第1漏洩磁場生成層51と、第2漏洩磁場生成層52と、第3漏洩磁場生成層53と、第4漏洩磁場生成層54と、が設けられている。

第1漏洩磁場生成層51と第2漏洩磁場生成層52とは、磁化自由層10に対して下側(-z側)に、第3漏洩磁場生成層53と第4漏洩磁場生成層54とは、
25 磁化自由層10に対して上側(+z側)に設けられている。

第2変形例においては、例えば、第1磁化固定領域11の下側に第1漏洩磁場生成層51が設けられ、上側に第3漏洩磁場生成層53が設けられている。これによって、磁壁 (DW) の位置におけるz方向の漏洩磁場の大きさを小さくし、同時にx方向の漏洩磁場を大きくすることができる。図11において、z方向の

漏洩磁場は、磁壁 (DW) の電流での駆動に必要なしきい電流密度を増大させるのに対して、x方向の漏洩磁場は、影響を及ぼさないという実験結果が示された。しかしながら、第2変形例を用いることによって、x方向の漏洩磁場の増加によって素子の熱安定性を増大させると同時に、z方向の漏洩磁場の減少によって書き込み電流を低減することができる。

[10. 第3変形例]

図15(a)、図15(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第3変形例の構造を模式的に示した断面図である。

図15(a)は「0」状態、図15(b)は「1」状態に対応する。第3変形例においては、リファレンス層40と、漏洩磁場生成層(第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52)と、が同一レイヤーに同一材料にて形成される。リファレンス層40と、漏洩磁場生成層(第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52)とを同一レイヤーに形成することによって、漏洩磁場生成層を形成するための成膜プロセスが不要となるため、工程数を低減することが可能となる。なお、図15では第1漏洩磁場生成層51と、第2漏洩磁場生成層52のそれぞれで上面の高さが変わっており、これによって磁気特性を異ならしめている例が示されている。

[11. 第4変形例]

図16(a)と、図16(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第4変形例の構造を模式的に示した断面図である。

図16(a)は「0」状態、図16(b)は「1」状態に対応する。第4変形例は、第2変形例と、第3変形例との両方の技術思想を合わせた変形例である。磁化自由層10の下側(-z側)には第1漏洩磁場生成層51、第2漏洩磁場生成層52が形成され、上側(+z側)にはリファレンス層40と同一レイヤーに同一材料にて第3漏洩磁場生成層53、第4漏洩磁場生成層54が形成されている。

[12. 第5変形例]

図17は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第5変形例の構造を模式的に示した斜視図である。

第5変形例においては、基板側から順にリファレンス層40と、トンネルバリア層30と、磁化自由層10と、スピン流生成層20との順に積層されている。またリファレンス層40は磁化自由層10と同形状に加工されている。図17に示されているように、本発明に係る磁気抵抗効果素子100においては、リファレンス層40、トンネルバリア層30、磁化自由層10、スピン流生成層20の積層順には任意性があり、また、リファレンス層40の大きさにも任意性がある。

[13. 第6変形例]

図18(a)と、図18(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第6変形例の構造を模式的に示した断面図である。

図18(a)は「0」状態、図18(b)は「1」状態に対応する。第6変形例においては、面内磁気異方性を有する面内磁化漏洩磁場生成層(第1面内磁化漏洩磁場生成層71・第2面内磁化漏洩磁場生成層72)が設けられる。

面内磁化漏洩磁場生成層(第1面内磁化漏洩磁場生成層71・第2面内磁化漏洩磁場生成層72)は、磁壁(DW)の位置における $\pm x$ 方向の漏洩磁場を大きくするように設けられる。図18では、第1磁化固定領域11と、第1漏洩磁場生成層51の磁化は上向き(+z方向)、第2磁化固定領域12と、第2漏洩磁場生成層52の磁化は下向き(-z方向)に固定されている。また、磁壁(DW)は右旋回性の場合が示されている。

このときの第1面内磁化漏洩磁場生成層71と、第2面内磁化漏洩磁場生成層72の磁化の向きは、図18では-x方向に固定されている。しかし、実際には第1面内磁化漏洩磁場生成層71と、第2面内磁化漏洩磁場生成層72が設けられる位置に応じて+x方向に磁化を固定した方が、磁壁(DW)の位置におけるx方向の漏洩磁場の大きさを大きくできる場合もある。これらは製造者において適宜設計されうる。

また、図18では面内磁化漏洩磁場生成層(第1面内磁化漏洩磁場生成層71・第2面内磁化漏洩磁場生成層72)は、スピン流生成層20と、スペーサー層(第1スペーサー層61・第2スペーサー層62)との間に形成されているが、実際には面内磁化漏洩磁場生成層(第1面内磁化漏洩磁場生成層71・第2面内磁化漏洩磁場生成層72)の設けられる位置はこれに限定されるものではない。

例えば、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）とスペーサー層（第1スペーサー層61・第2スペーサー層62）の間であってもよいし、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51、第2漏洩磁場生成層52）の下側であってもよいし、或いは磁化自由層10の上側であってもよい。

5 [14. 第7変形例]

図19(a)と、図19(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第7変形例の構造を模式的に示した断面図である。

図19(a)は「0」状態、図19(b)は「1」状態に対応する。第7変形例においては、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）がテーパを有するように形成されている。図19に示されているように漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）をテーパを有するように形成することによって、磁壁(DW)の位置におけるx方向と、z方向の漏洩磁場の大きさを調整することが可能である。なお、図19では漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）は、上底よりも下底の長い台形状の形状に加工された例が示されているが、実際には上底よりも下底が短い台形状に加工されていても構わない。また、本変形例は、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）が磁化自由層10の上側に配置される場合においても用いることができる。

テーパを有するように漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）を加工する方法としては、ハードマスクの形状、エッチングガス、エッチング条件などの調整が挙げられる。

[15. 第8変形例]

図20(a)と、図20(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第8変形例の構造を模式的に示した断面図である。

第8変形例においては、リファレンス層40と磁化自由層10が同一の形状で形成されている。一般にはリファレンス層40は磁化自由層10内の磁化自由領域13とx-y平面においてオーバーラップしていればよく、その形状はいかようであっても構わない。またリファレンス層40も漏洩磁場を生成し、その磁場は磁化自由層10にも印加されるが、第8変形例のように磁化自由領域13より

も大きな面積でリファレンス層40を形成することで磁化自由領域13に印加される漏洩磁場の大きさを低減することができる。

[16. 第2の実施の形態]

次に本発明の第2の実施の形態に関わる磁気抵抗効果素子100の構造と動作方法を説明する。第1の実施の形態において、漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）は、少なくとも一部分に垂直磁気異方性を有する強磁性体を有することを述べた。それに対して、第2の実施の形態においては漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）は、少なくとも一部分に面内磁気異方性を有する強磁性体を有することを特徴とする。

10 図21(a)と図21(b)は、それぞれ本発明の第2の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100にメモリ情報として「0」が格納された状態と、「1」が格納された状態における磁化構造を示す模式図である。

図21に示された例では、第1漏洩磁場生成層51と第2漏洩磁場生成層52は面内方向に固定された磁化を有しており、それらは-x方向を向いている。この場合には、第1漏洩磁場生成層51の上に形成される第1磁化固定領域11と、第2漏洩磁場生成層52の上に形成される第2磁化固定領域12においては+x方向の漏洩磁場が印加され、結果として第1磁化固定領域11と第2磁化固定領域12の磁化は+x方向に固定される。

15

そして第1の実施の形態においては、磁化自由層10内には180度磁壁が形成されていたのに対して、第2の実施の形態においては、90度磁壁が形成される。形成される磁壁が90度磁壁であっても、その磁壁が磁化自由層10内の長手方向に磁化成分を有していれば（図21の例では+x方向）、第1の実施の形態で述べたスピホール効果によってこの磁壁を電流または電子の方向に駆動することができ、その移動方向はスピホール角の符号によって決定される。

20

第2の実施の形態における情報の書き込み方法、読み出し方法、及び回路構成などに関しては第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

また第2の実施の形態の場合にはDzyalloski-Moriya相互作用が働かなくても漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）から面内方向に磁場が印加されるので、スピホール効果に

よって磁壁を移動させることができる。また第2の実施の形態においては、第1漏洩磁場生成層51と第2漏洩磁場生成層52は平行方向に磁化が固定されていてもよい。これは製造容易性の観点で第1の実施の形態よりも好ましい。

第2の実施の形態において各層に用いることのできる材料は、漏洩磁場生成層5（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）以外は第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。漏洩磁場生成層（第1漏洩磁場生成層51・第2漏洩磁場生成層52）には面内磁気異方性を有する強磁性体を用いることができる。具体的には、Fe、Co、Ni、Fe-Co、Fe-Co-Niなどが例示される。また保磁力を高めるために他の元素を添加してもよい。さらには、
10 磁化の固定をより安定化させるために、反強磁性体を隣接させてもよい。用いる反強磁性体としては、Pt-Mn、Ir-Mn、Fe-Mn、Ni-Mnなどが例示される。

図22(a)と図22(b)は、それぞれ本発明の第2の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子100の第1の変形例の構造を模式的に示している。図22(a)
15 と図22(b)はそれぞれメモリ情報として「0」が格納された状態と、「1」が格納された状態における磁化構造の模式図である。

本変形例においては、漏洩磁場生成層（第3漏洩磁場生成層53・第4漏洩磁場生成層54）は磁化自由層10に対して電気的には分離して設けられている。漏洩磁場生成層（第3漏洩磁場生成層53・第4漏洩磁場生成層54）が磁化自由層10に対して電気的に分離して設けられた場合でも、磁化自由層10に対して
20 十分な大きさの漏洩磁場が印加されさえすれば、漏洩磁場生成層（第3漏洩磁場生成層53・第4漏洩磁場生成層54）の位置はいかようであっても構わない。また本変形例の場合、スピン流生成層20に対して書き込み電流を導入するための層として第1プラグ層81と第2プラグ層82がそれぞれその両端部に隣接して設けられている。第1プラグ層81と第2プラグ層82は書き込み用のセルトランジスタに電気的に接続される。

本発明は上記各実施の形態に限定されず、本発明の技術思想の範囲内において、各実施の形態は適宜変形又は変更されうることは明らかである。

産業上の利用可能性：

本発明に係る磁気抵抗効果素子100、及び磁気メモリ300は、メガビット、ギガビットクラスの大規模なメモリアレイのみならず、キロビット、メガビット
 5 クラスの高速で動作するキャッシュメモリやシステムLSIのロジック領域に設けられるレジスタのような単ビットや数ビットの一時的な記憶素子、さらにはロジックインメモリアーキテクチャにおける記憶素子にも適用できる。

本発明の産業上の利用可能性として、携帯電話などのモバイル機器やパソコンに使用される不揮発性の半導体メモリ装置や、自動車やゲーム機などに使用される不揮発性メモリ内蔵のマイコンにおけるメモリ部分、及びロジック部分に接続
 10 されるキャッシュメモリやレジスタなどの一時記憶素子が挙げられる。

この出願は、2013年11月6日に出願された日本出願特願第2013-229971号を基礎とする優先権を主張し、その開示のすべてをここに取り込む。

符号の説明：

- 15 10 磁化自由層
- 11 第1磁化固定領域
- 12 第2磁化固定領域
- 13 磁化自由領域
- 20 スピン流生成層
- 20 30 トンネルバリア層
- 40 リファレンス層
- 51 第1漏洩磁場生成層
- 52 第2漏洩磁場生成層
- 53 第3漏洩磁場生成層
- 25 54 第4漏洩磁場生成層
- 61 第1スペーサー層
- 62 第2スペーサー層
- 71 第1面内磁化漏洩磁場生成層
- 72 第2面内磁化漏洩磁場生成層

	8 1	第1プラグ層
	8 2	第2プラグ層
	1 0 0	磁気抵抗効果素子
	1 0 1 a	第1セルトランジスタ
5	1 0 1 b	第2セルトランジスタ
	1 0 2 a	第1ビット線
	1 0 2 b	第2ビット線
	1 0 3	ワード線
	1 0 4	グラウンド線
10	1 1 0	メモリセルアレイ
	1 2 0	Xドライバ
	1 3 0	Yドライバ
	1 4 0	コントローラ
	2 0 0	磁気メモリセル
15	3 0 0	磁気メモリ

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る磁化自由層と、

- 5 前記磁化自由層に隣接して設けられるスピン流生成層と、
前記磁化自由層に隣接して前記スピン流生成層とは反対側に設けられるトンネルバリア層と、
前記トンネルバリア層に隣接して前記磁化自由層とは反対側に設けられるリファレンス層と、
- 10 強磁性体から構成される第1漏洩磁場生成層と、第2漏洩磁場生成層とを具備し、
前記第1漏洩磁場生成層と前記第2漏洩磁場生成層から生ずる漏洩磁場の前記磁化自由層の位置における面内成分によって前記磁化自由層の長手方向に磁化成分を有する磁壁が形成される、
ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

15 [請求項2]

請求項1に記載の磁気抵抗効果素子であって、

前記第1漏洩磁場生成層と前記第2漏洩磁場生成層は垂直磁気異方性を有する強磁性体から構成され、

- 20 前記第1漏洩磁場生成層と前記第2漏洩磁場生成層は互いに反平行方向に固定された磁化を有し、

前記第1漏洩磁場生成層と、前記漏洩磁場生成層から生ずる漏洩磁場の前記磁化自由層の位置における面内成分は、前記磁化自由層において優先的に形成される磁壁の磁化方向と一致する、

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

25 [請求項3]

請求項1または2に記載の磁気抵抗効果素子であって、

前記磁化自由層は、第1磁化固定領域と、第2磁化固定領域と、磁化自由領域とからなり、

前記第1磁場漏洩磁場生成層は、前記第1磁化固定領域の鉛直面上に配置され、

前記第2漏洩磁場生成層は、前記第2磁化固定領域の鉛直面上に配置される、
ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項4]

請求項2または3に記載の磁気抵抗効果素子であって、

- 5 前記第1及び第2漏洩磁場生成層が前記磁化自由層の下側に形成される場合には、
前記第1及び第2漏洩磁場生成層の上面と、前記磁化自由層の中心高さとの間の
距離、

前記第1及び第2漏洩磁場生成層が前記磁化自由層の上側に形成される場合には、
前記第1及び第2漏洩磁場生成層の下面と、前記磁化自由層の中心高さとの間の

- 10 距離が10nm以上である、

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項5]

請求項4に記載の磁気抵抗効果素子であって、

前記第1及び第2漏洩磁場生成層が前記磁化自由層の下側に形成される場合には、

- 15 前記第1及び第2漏洩磁場生成層の上面と、前記磁化自由層の中心高さとの間の
距離、

前記第1及び第2漏洩磁場生成層が前記磁化自由層の上側に形成される場合には、
前記第1及び第2漏洩磁場生成層の下面と、前記磁化自由層の中心高さとの間の
距離が15nm以上である、

- 20 ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項6]

請求項1乃至5のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子であって、

前記漏洩磁場生成層に隣接し、前記磁化自由層側の面にスペーサー層が設けられ
る、

- 25 ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項7]

請求項1乃至6のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子であって、

更に、第3漏洩磁場生成層と、第4漏洩磁場生成層とを具備し、

前記第1漏洩磁場生成層と前記第2漏洩磁場生成層は、前記磁化自由層の下側に

配置され、

前記第3漏洩磁場生成層と前記第4磁場生成層は、前記磁化自由層の上側に配置される、

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

5 [請求項8]

請求項2乃至7のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子であって、前記漏洩磁場生成層が、前記リファレンス層と同一レイヤーに形成される、ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項9]

- 10 請求項2乃至8のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子であって、更に、第1面内磁化漏洩磁場生成層と、第2面内磁化漏洩磁場生成層とを具備する、

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項10]

- 15 請求項1乃至9のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子であって、前記漏洩磁場生成層がテーパーを有するように形成される、ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項11]

請求項1に記載の磁気抵抗効果素子であって、

- 20 前記第1漏洩磁場生成層と前記第2漏洩磁場生成層は面内磁気異方性を有する強磁性体から構成される、

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子

[請求項12]

請求項1乃至11のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と、

- 25 第1ビット線と、
第2ビット線と、
ワード線と、
第1セルトランジスタと、
第2セルトランジスタと、を具備する、

ことを特徴とする磁気メモリ。

[請求項 1 3]

スピン流生成層に電流を流すことでスピン流を生じさせ、前記スピン流によって磁化自由層内の磁壁を移動させると共に、移動した前記磁壁を漏洩磁場生成層から生じる漏洩磁場で固定し、前記磁壁の位置を情報として対応付ける、

5 ことを特徴とする磁気記憶方法。

[請求項 1 4]

磁化自由層と、

前記磁化自由層に隣接して設けられるスピン流生成層と、を備え、

- 10 前記磁化自由層内の磁壁を固定する漏洩磁場を生成する漏洩磁場生成層を有する、ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

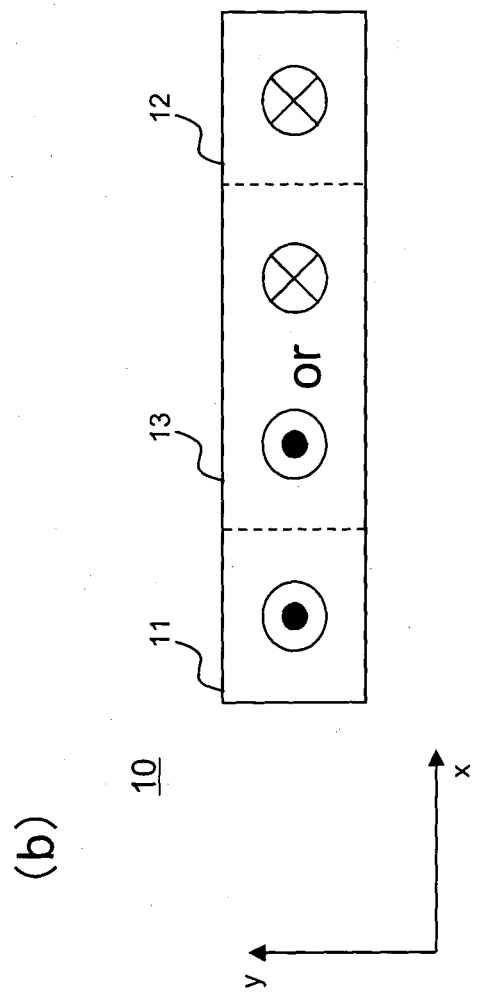
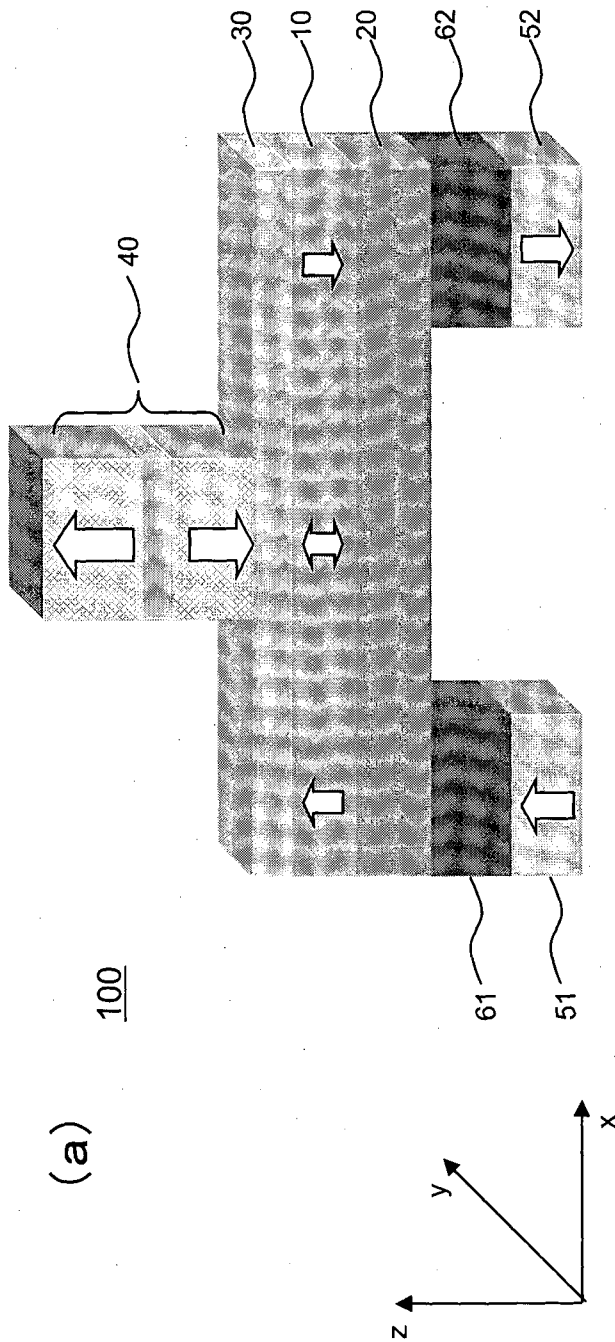


図 1

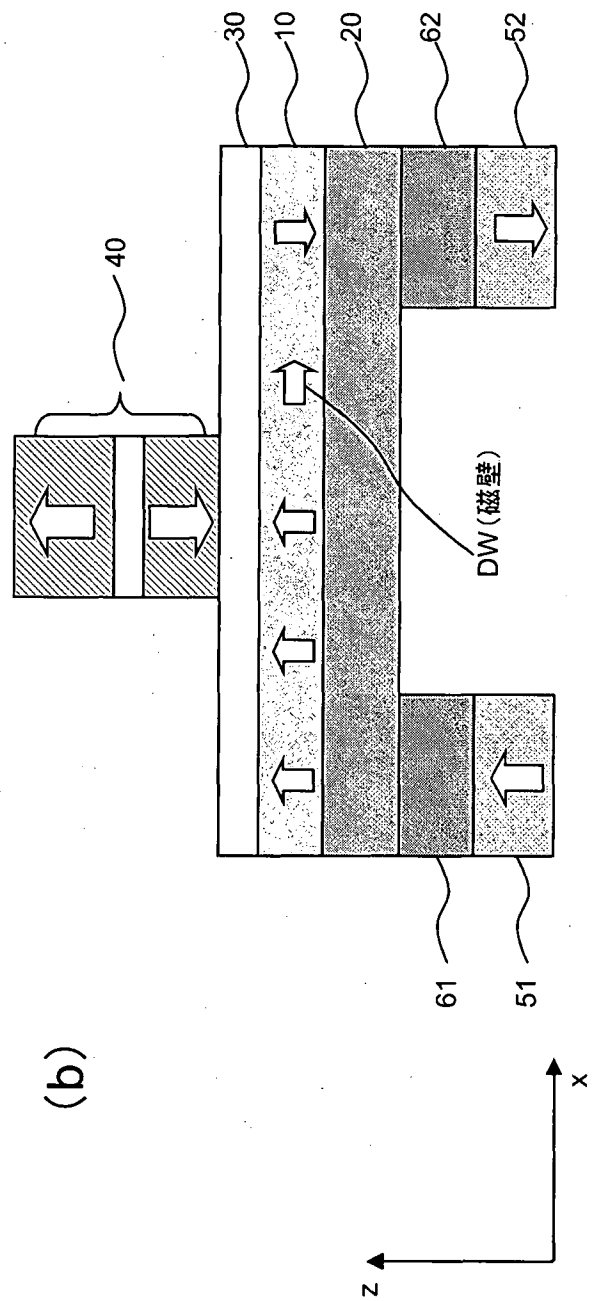
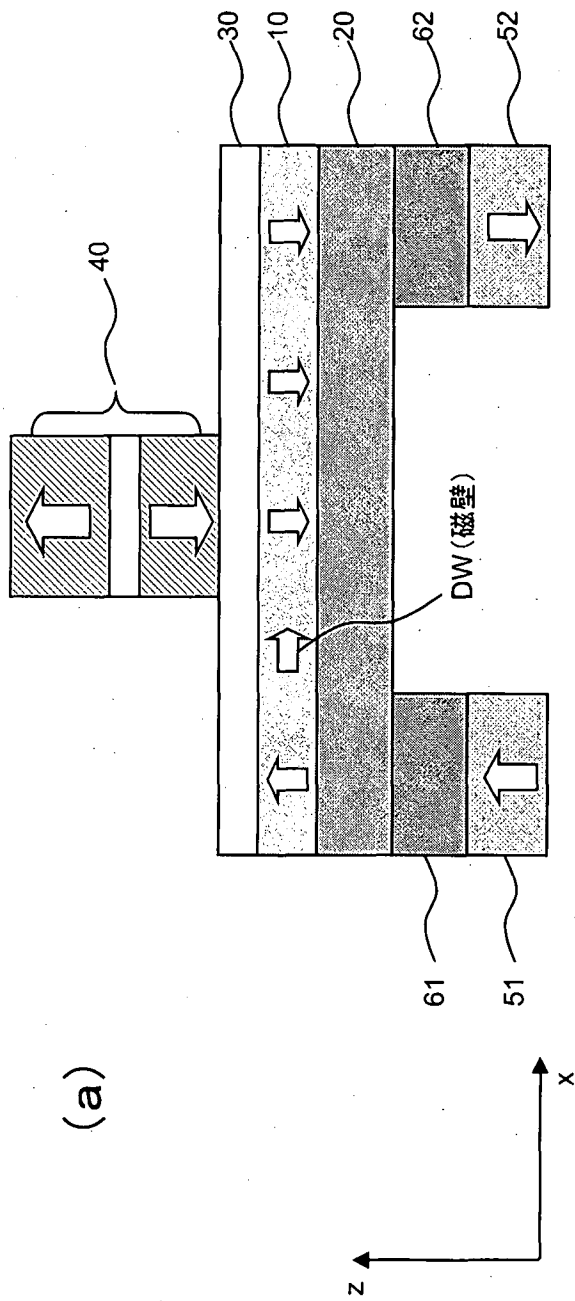


図2

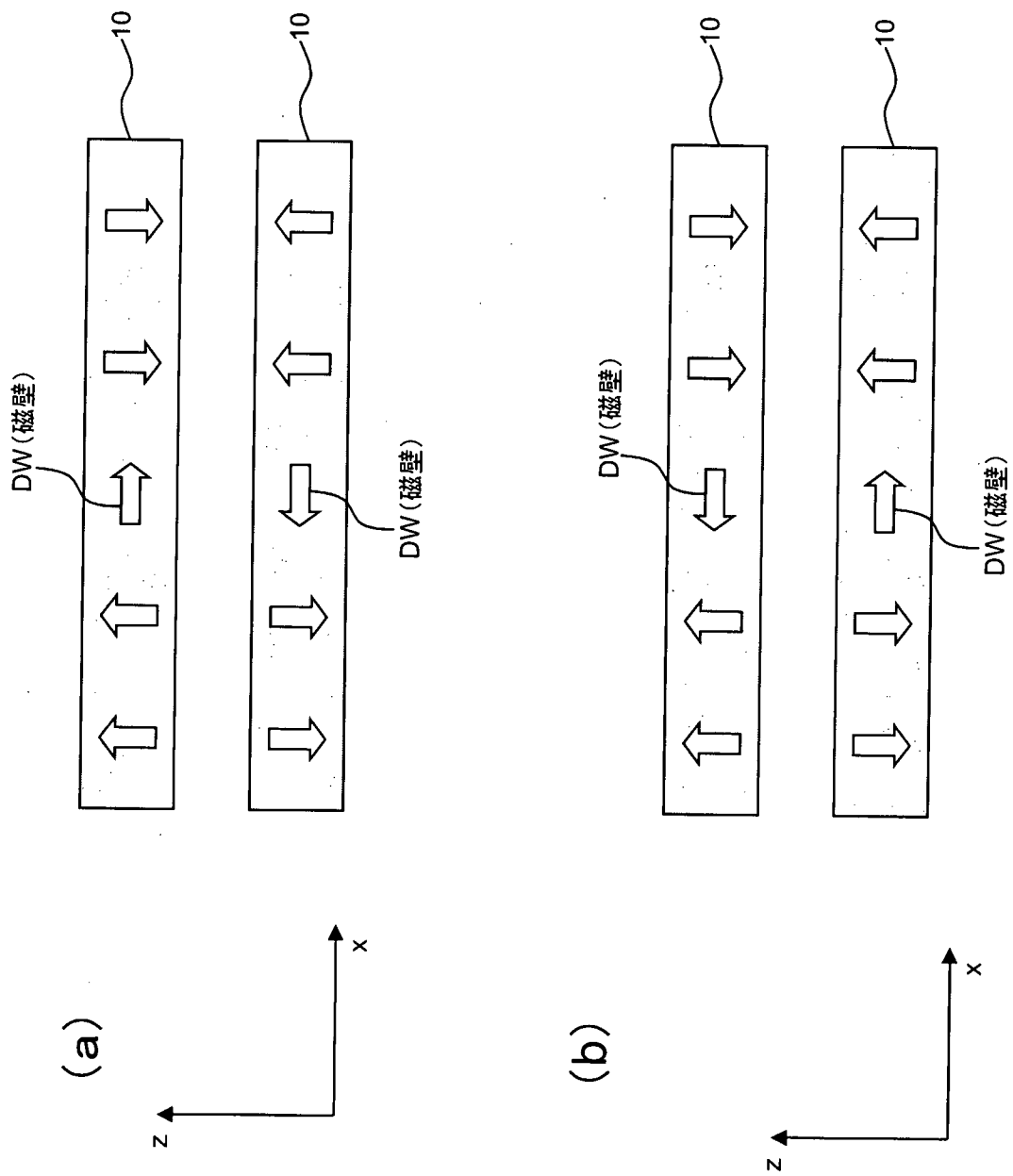


図3

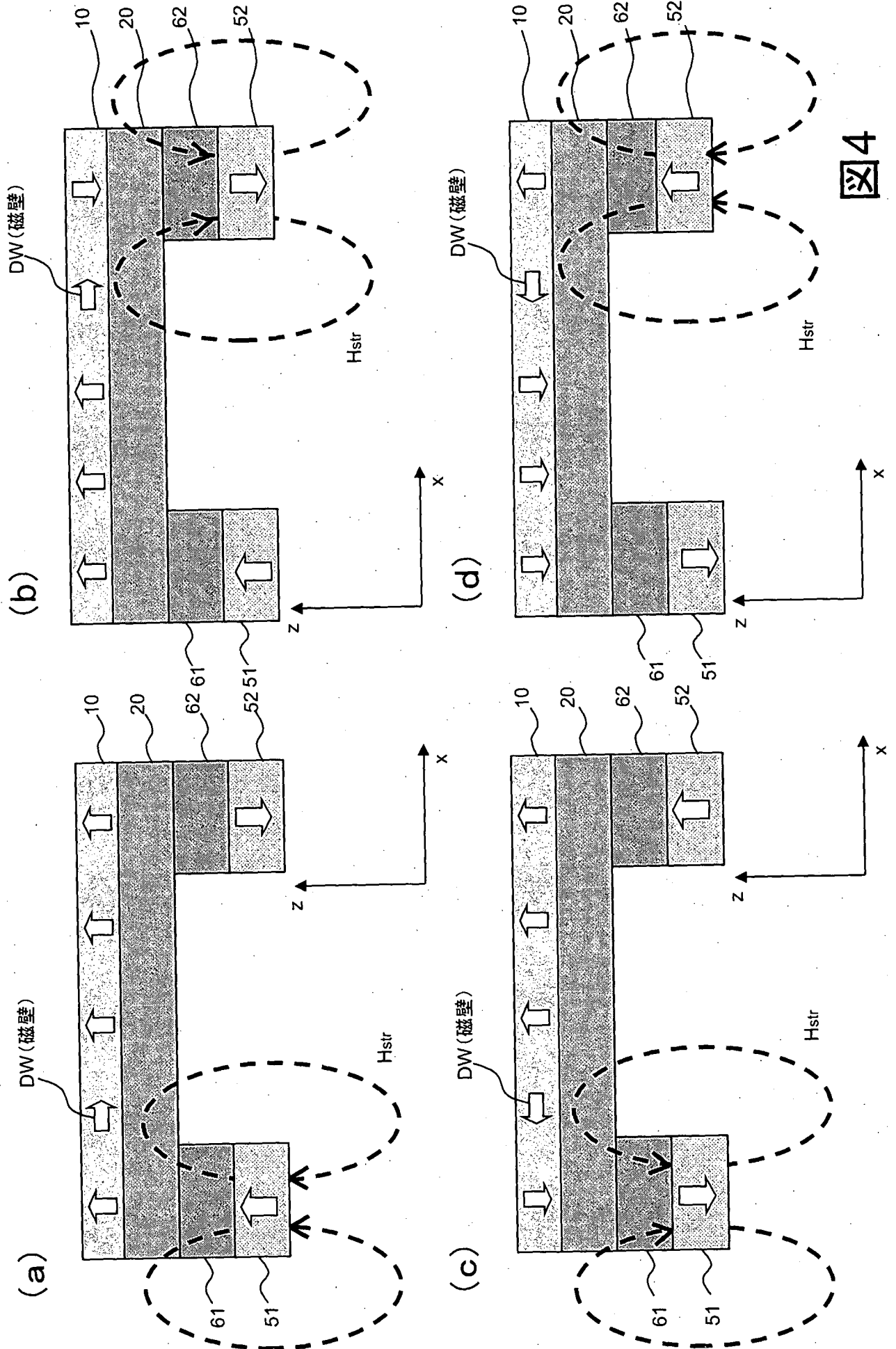


図4

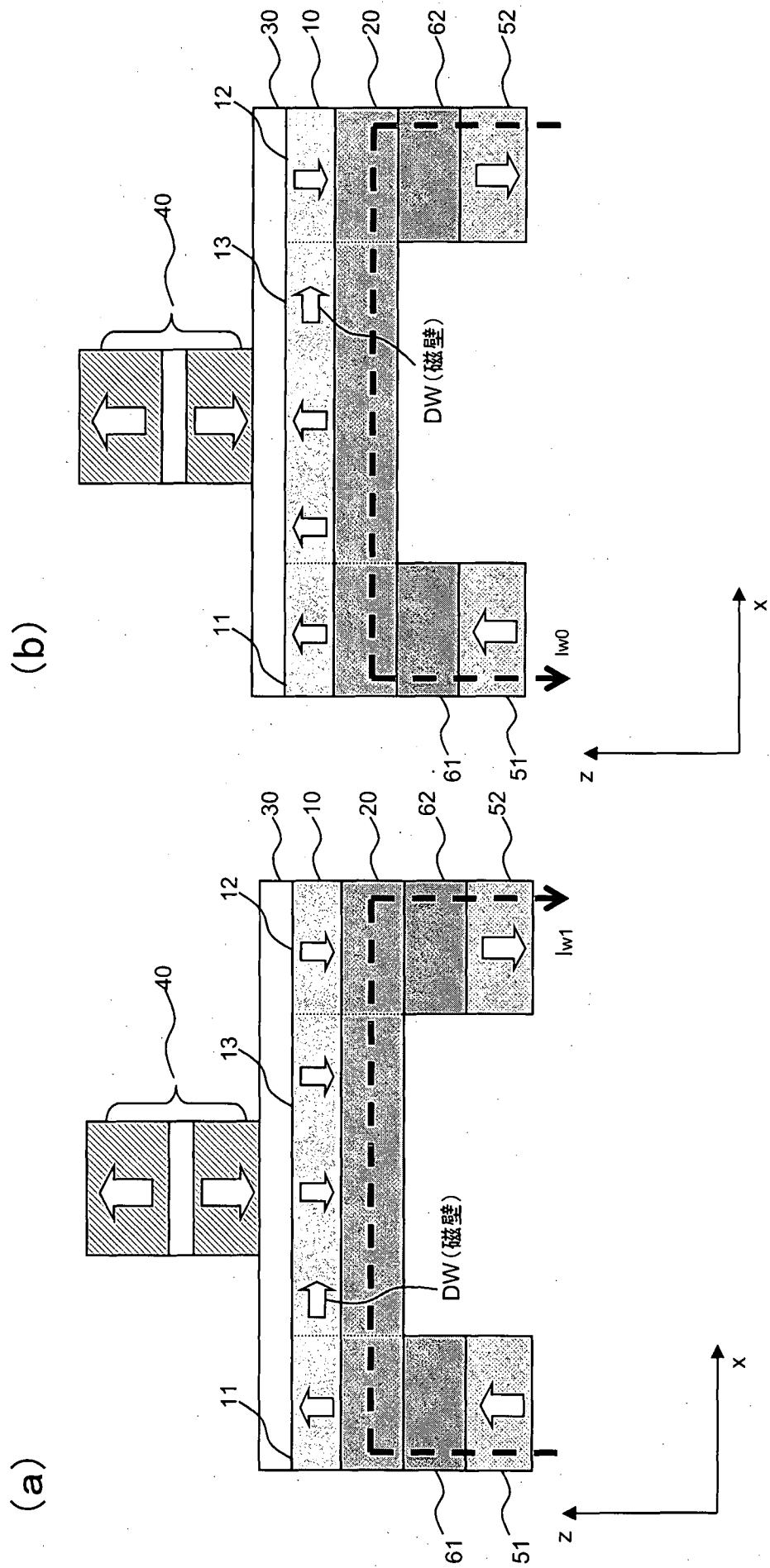


図5

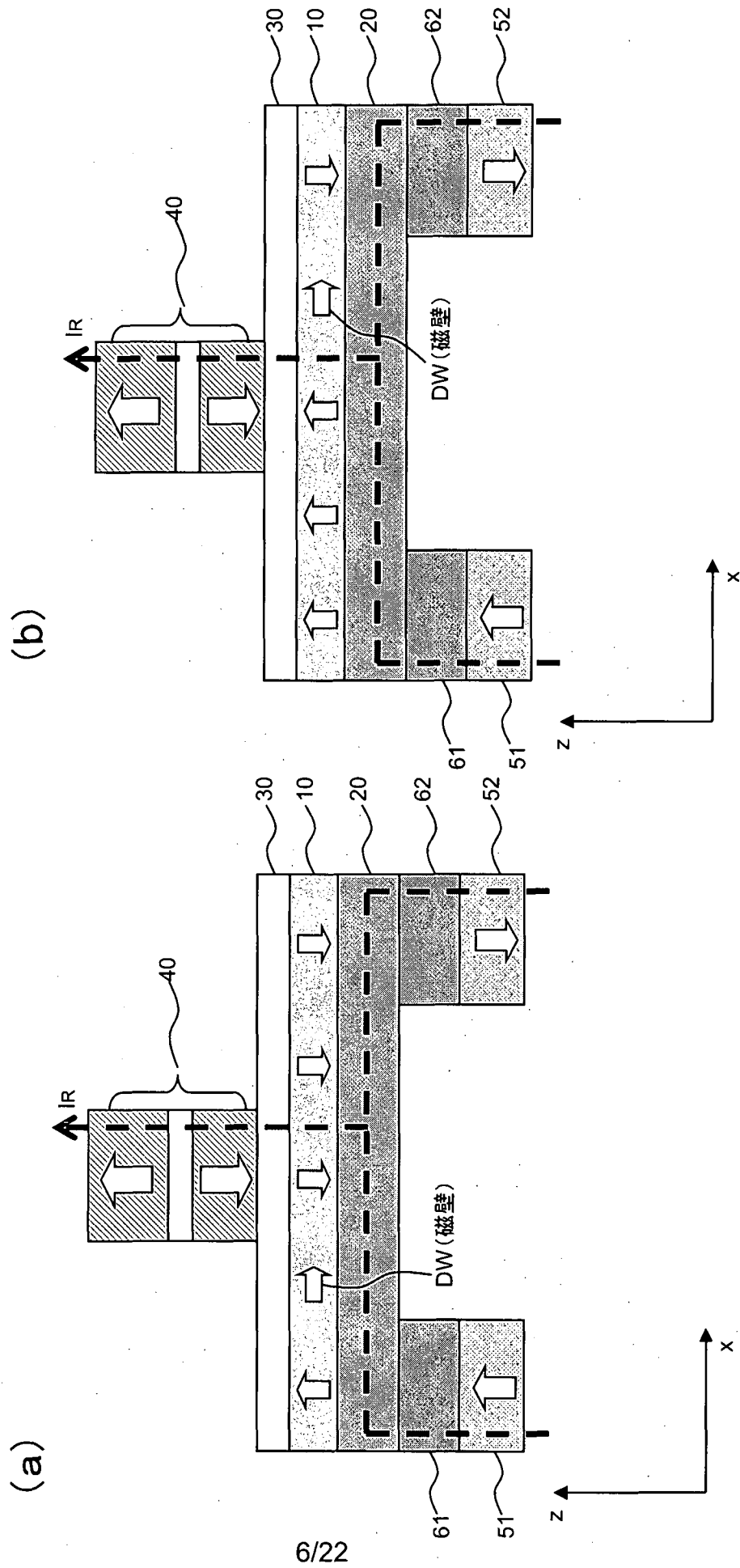


図6

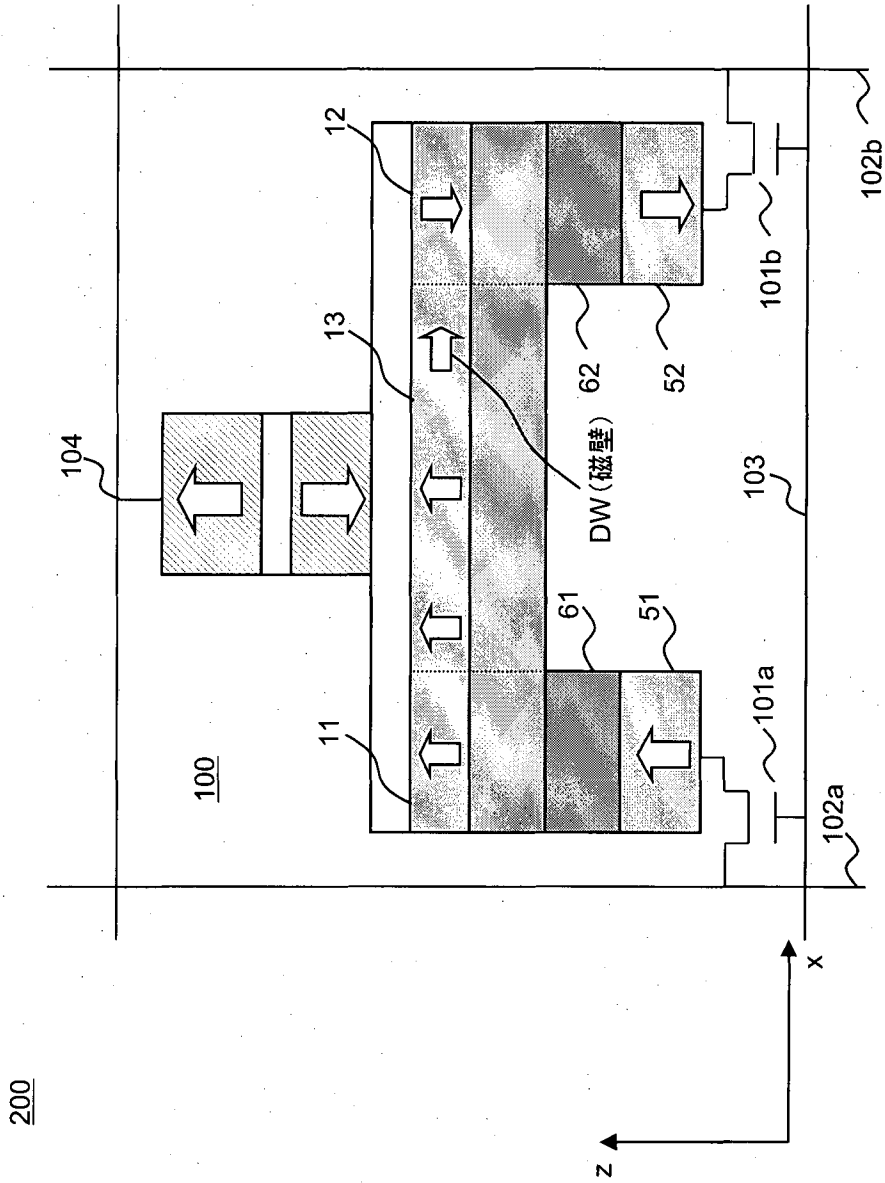
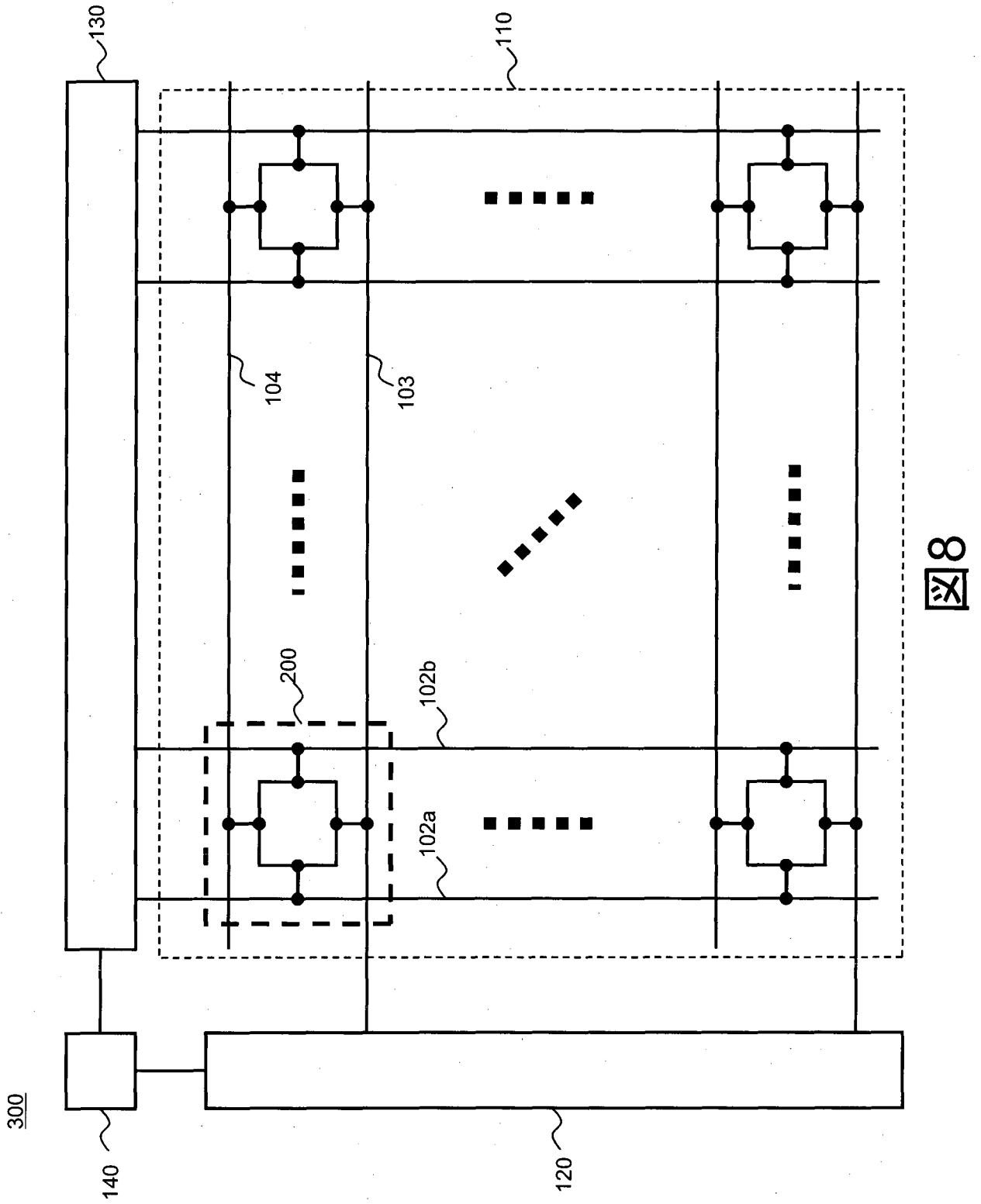
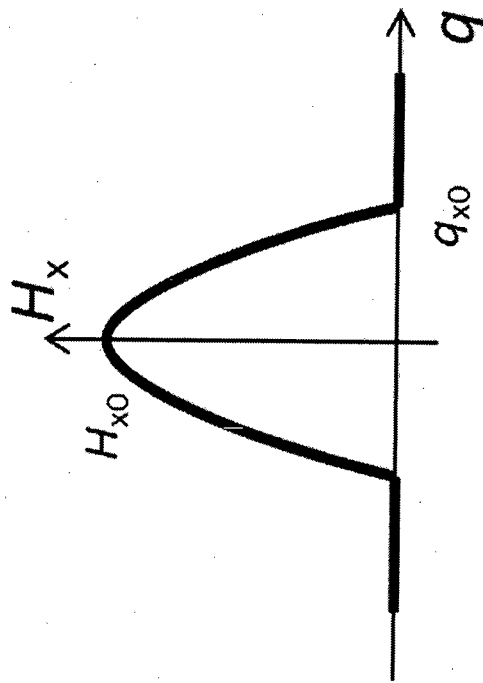


図7

200



(a)



(b)

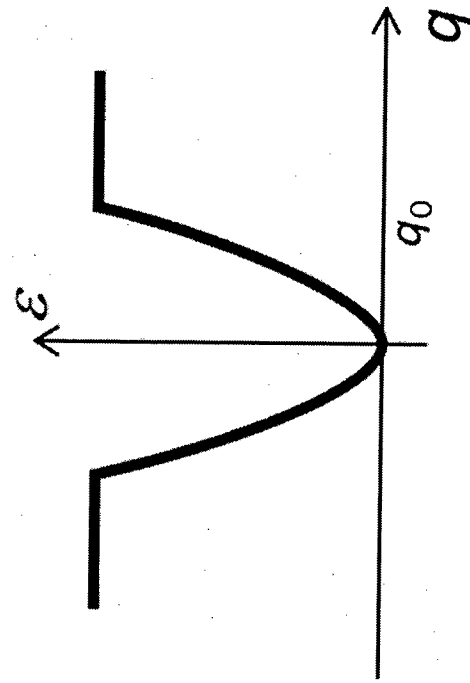


図9

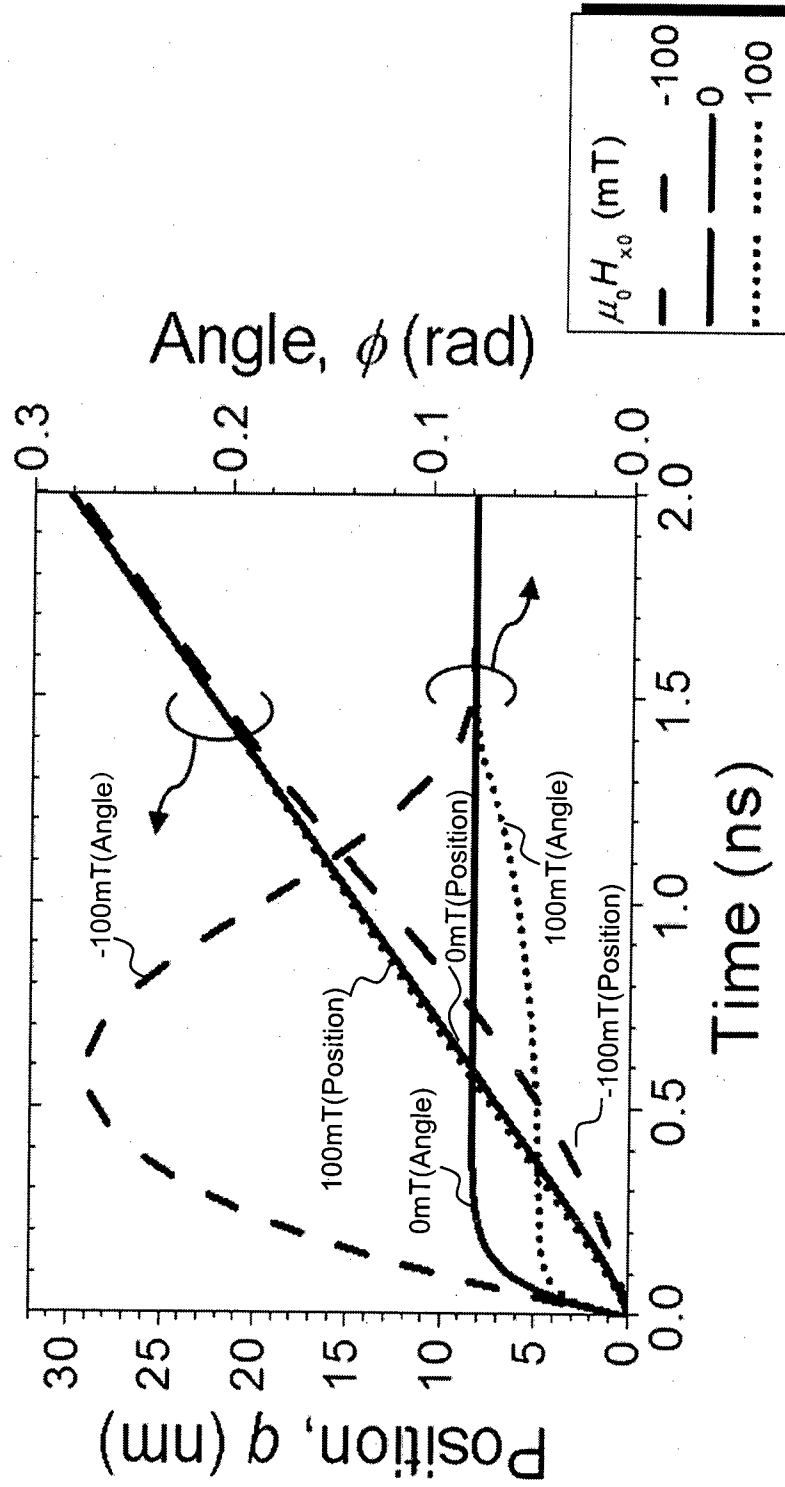


図10

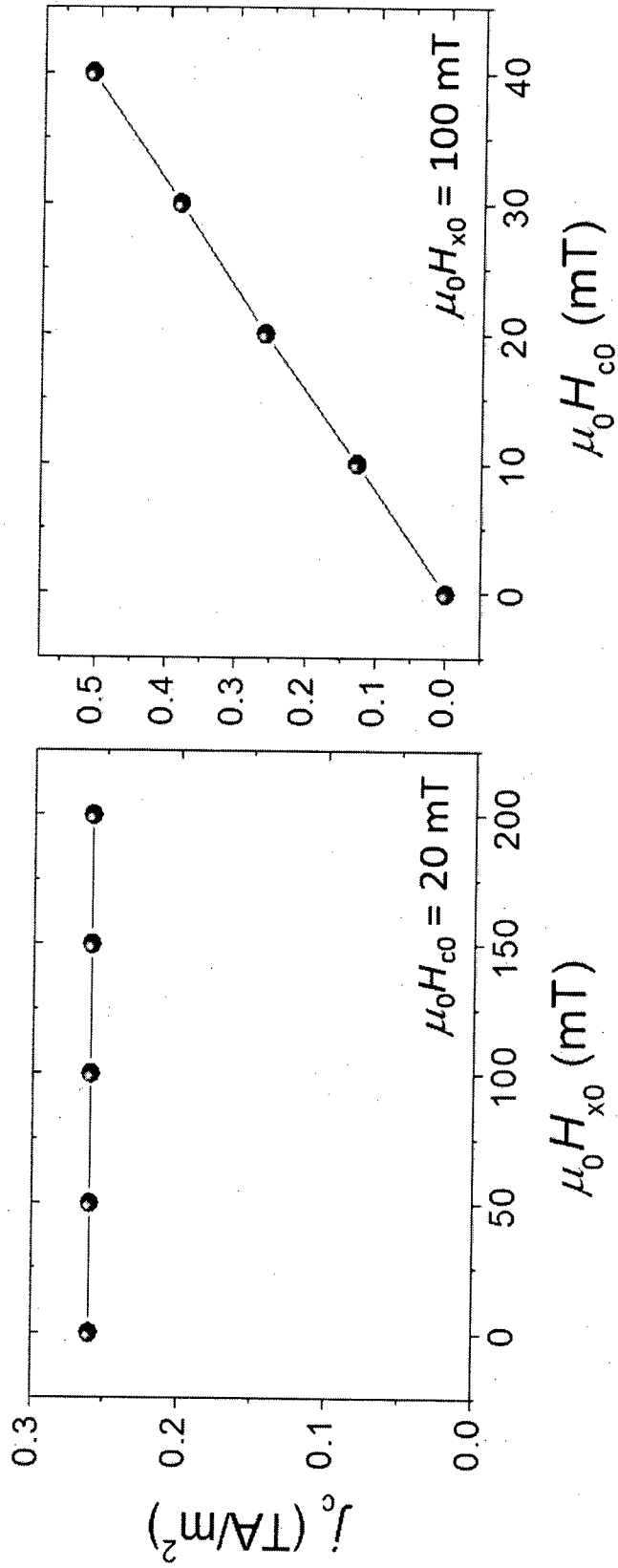


図11

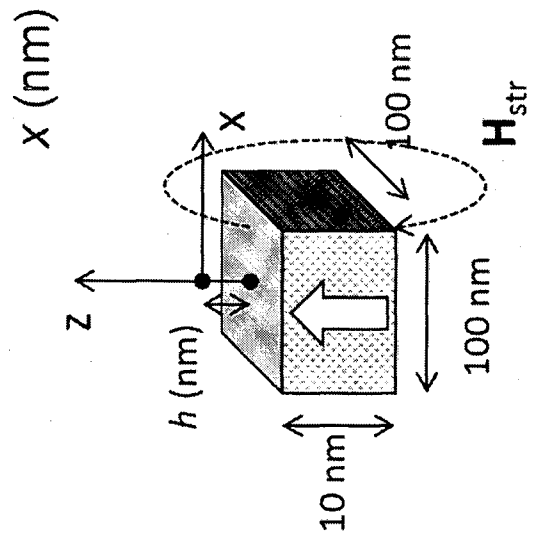
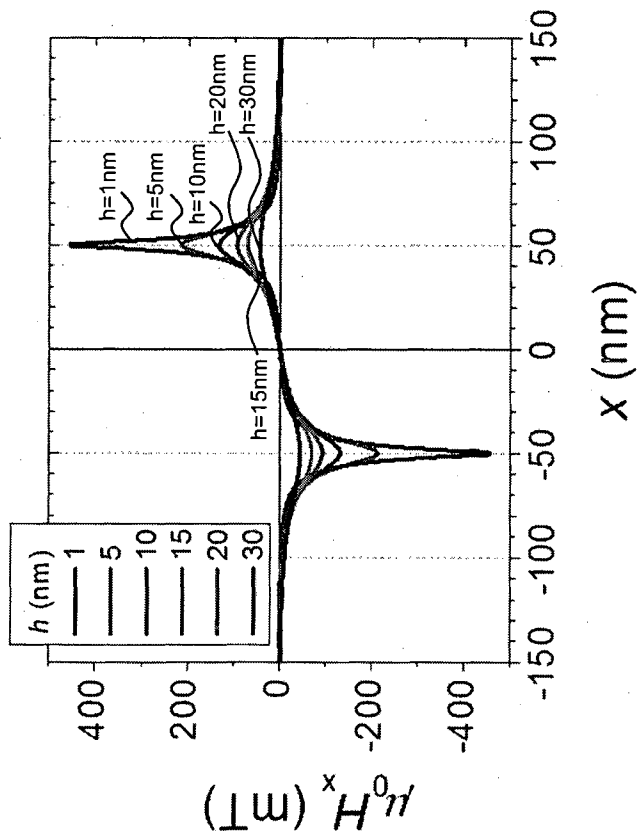
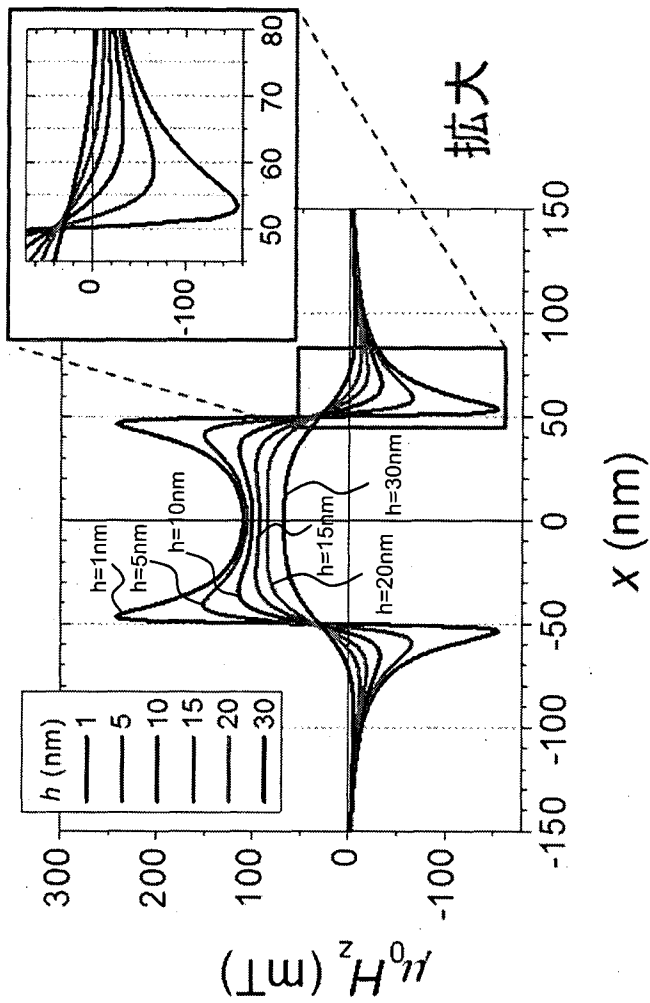


図12

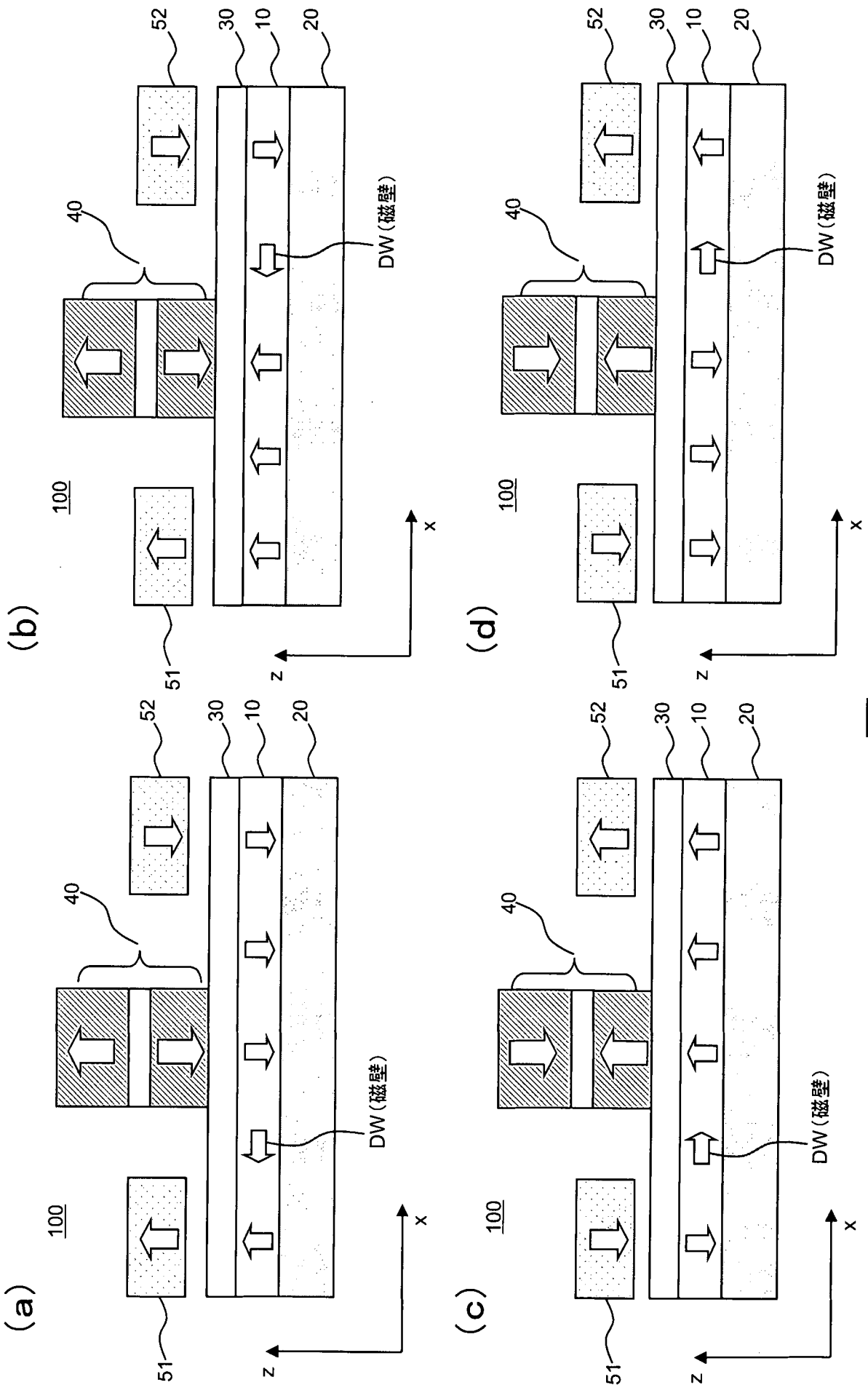


図13

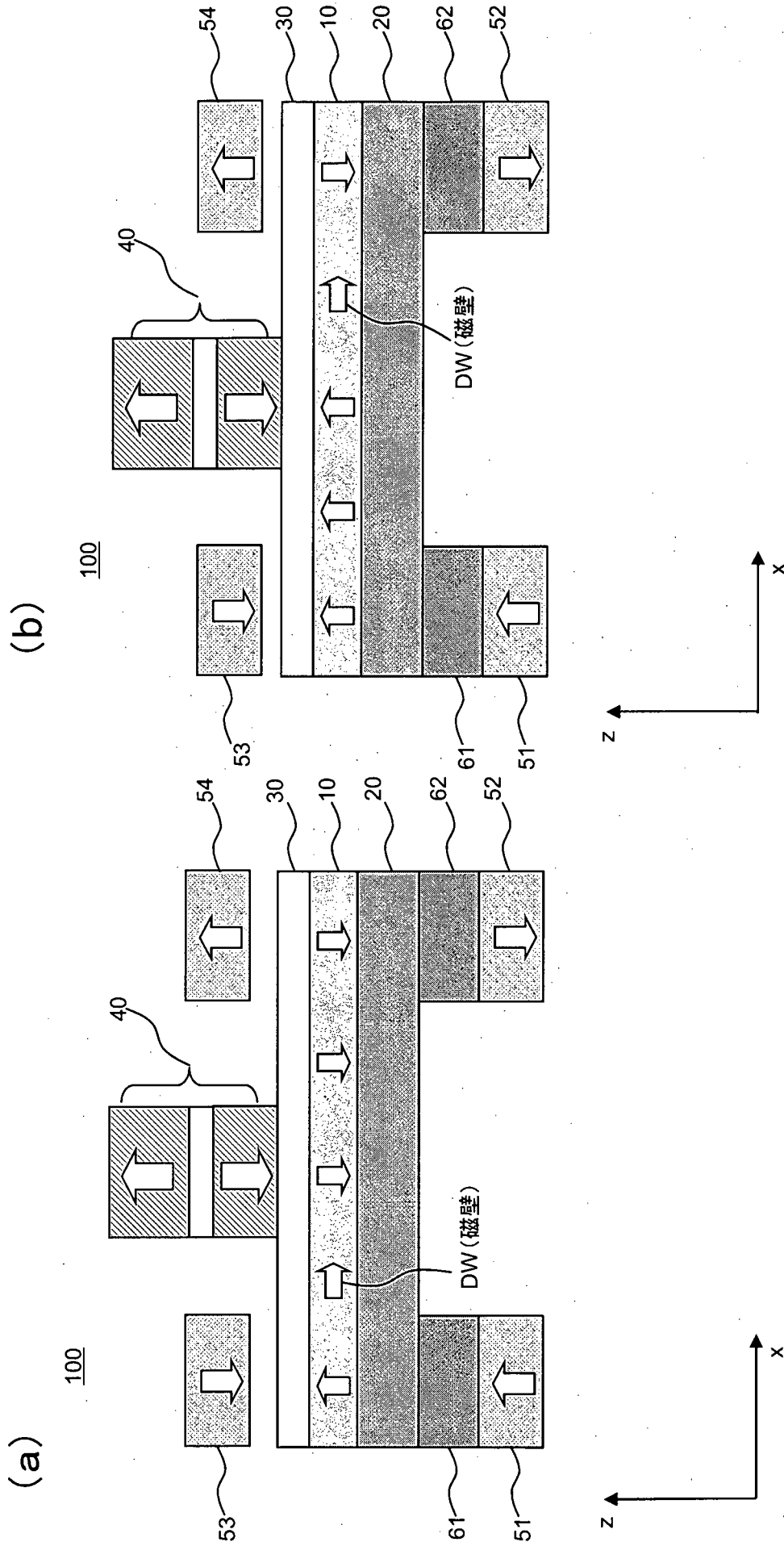


図14

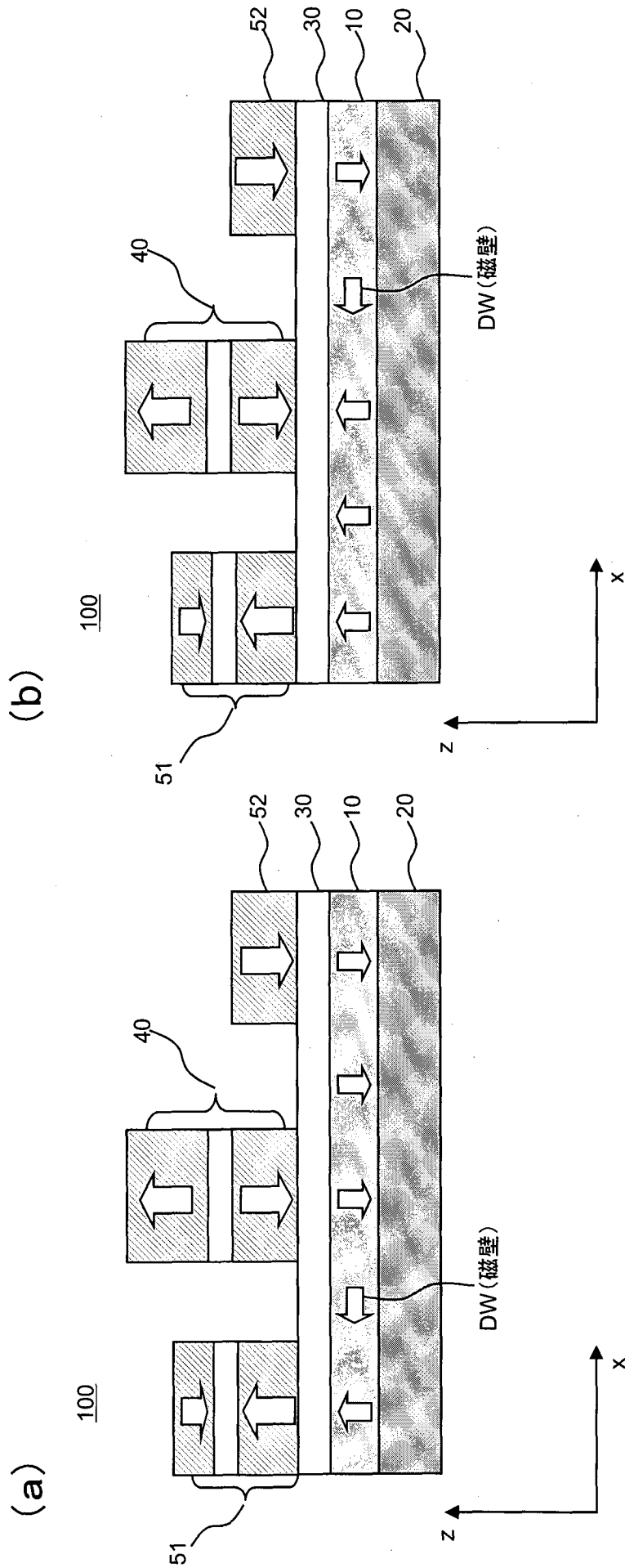
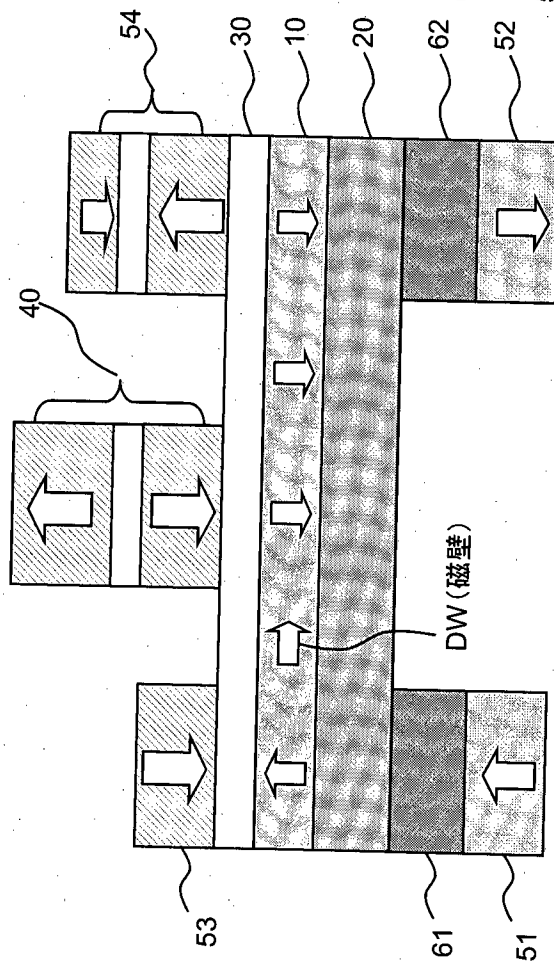


図15

(a)

100



(b)

100

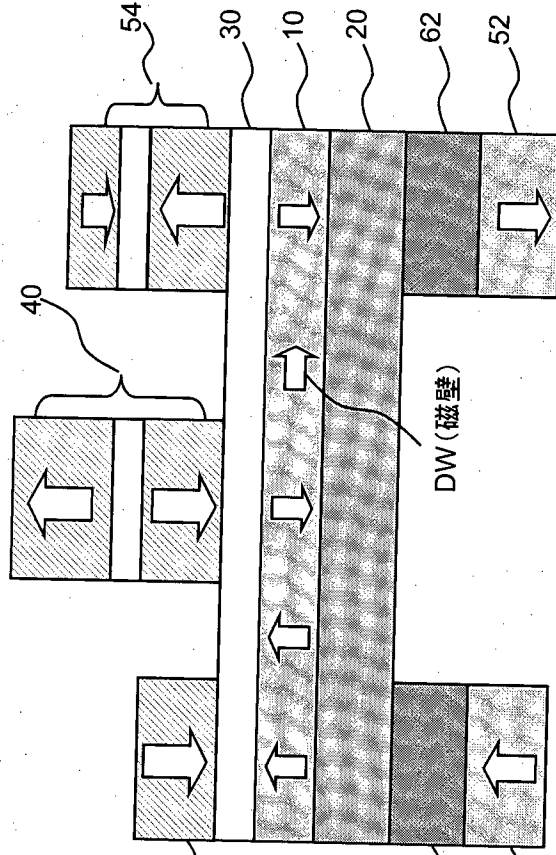


図16

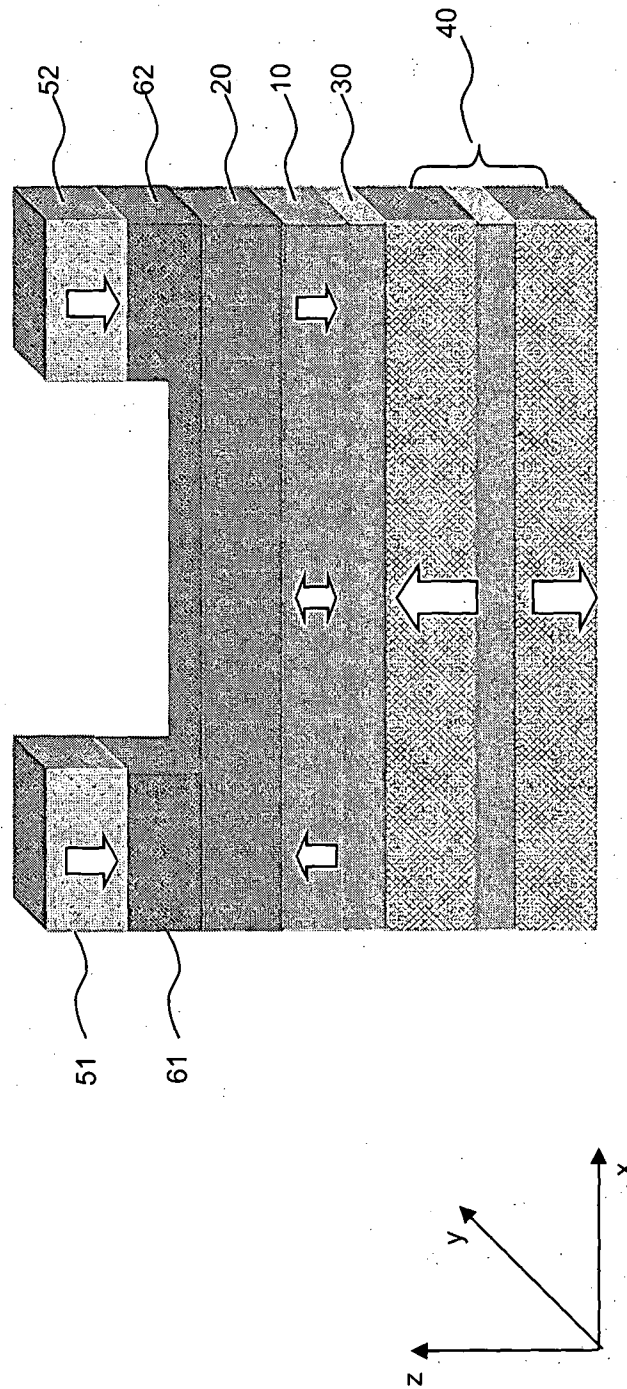


図17

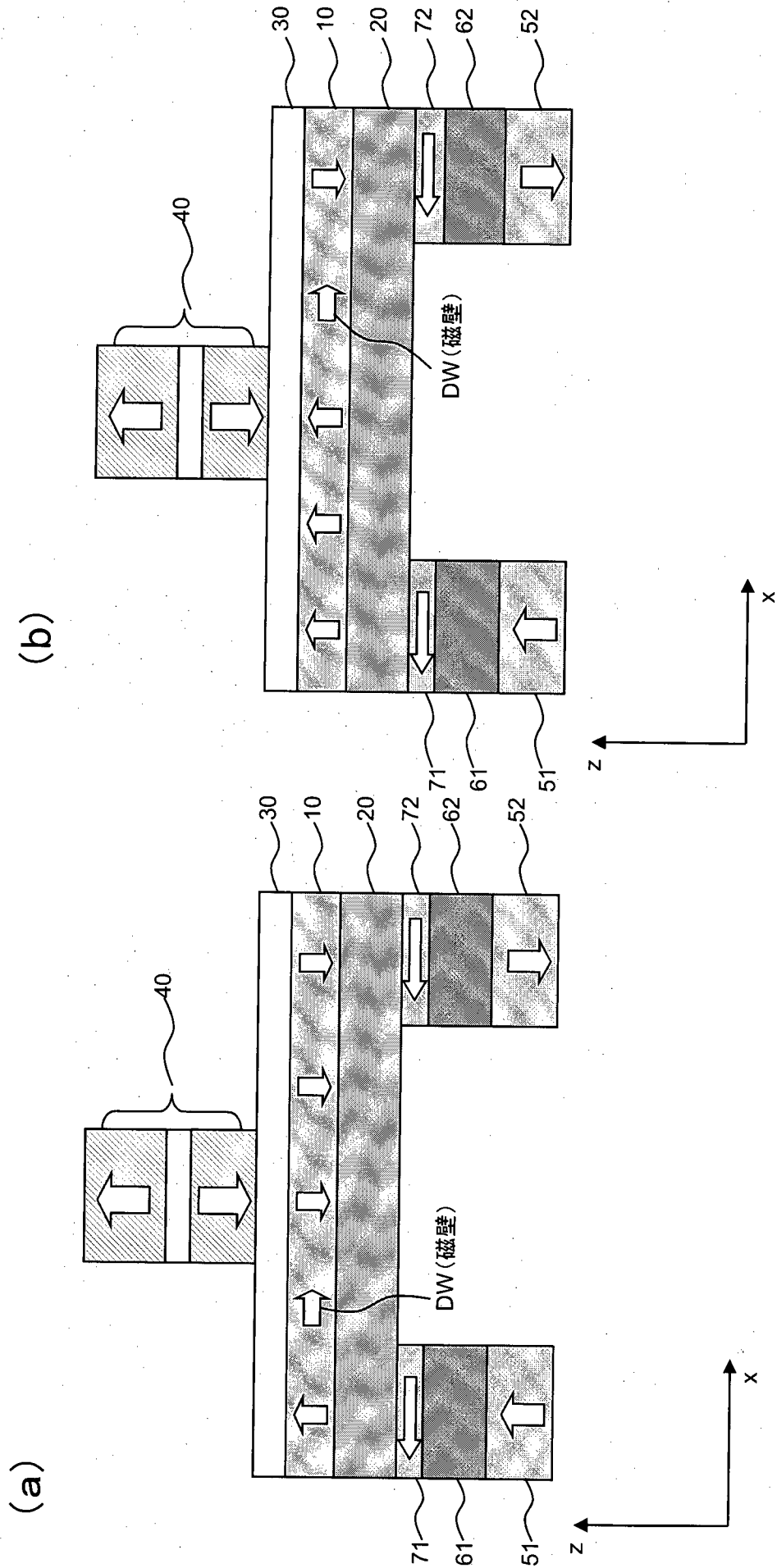
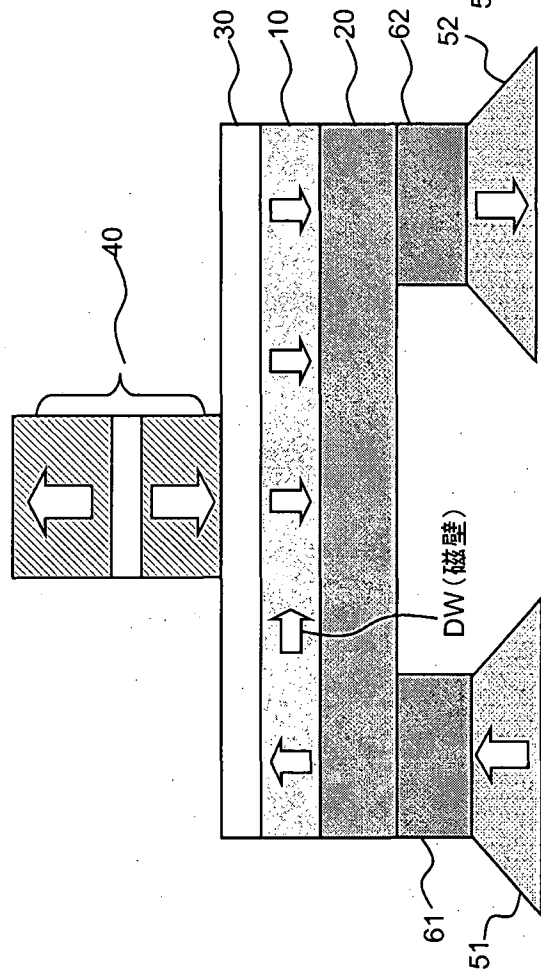


図18

(a)



(b)

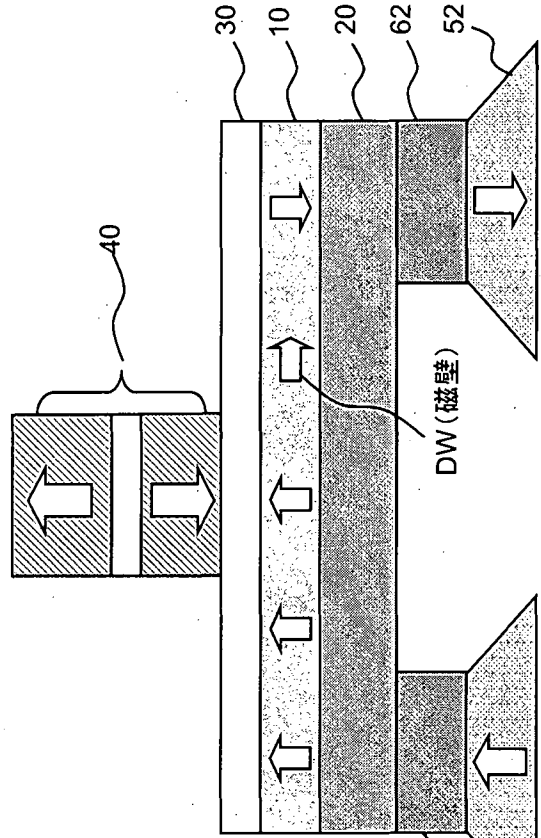


図19

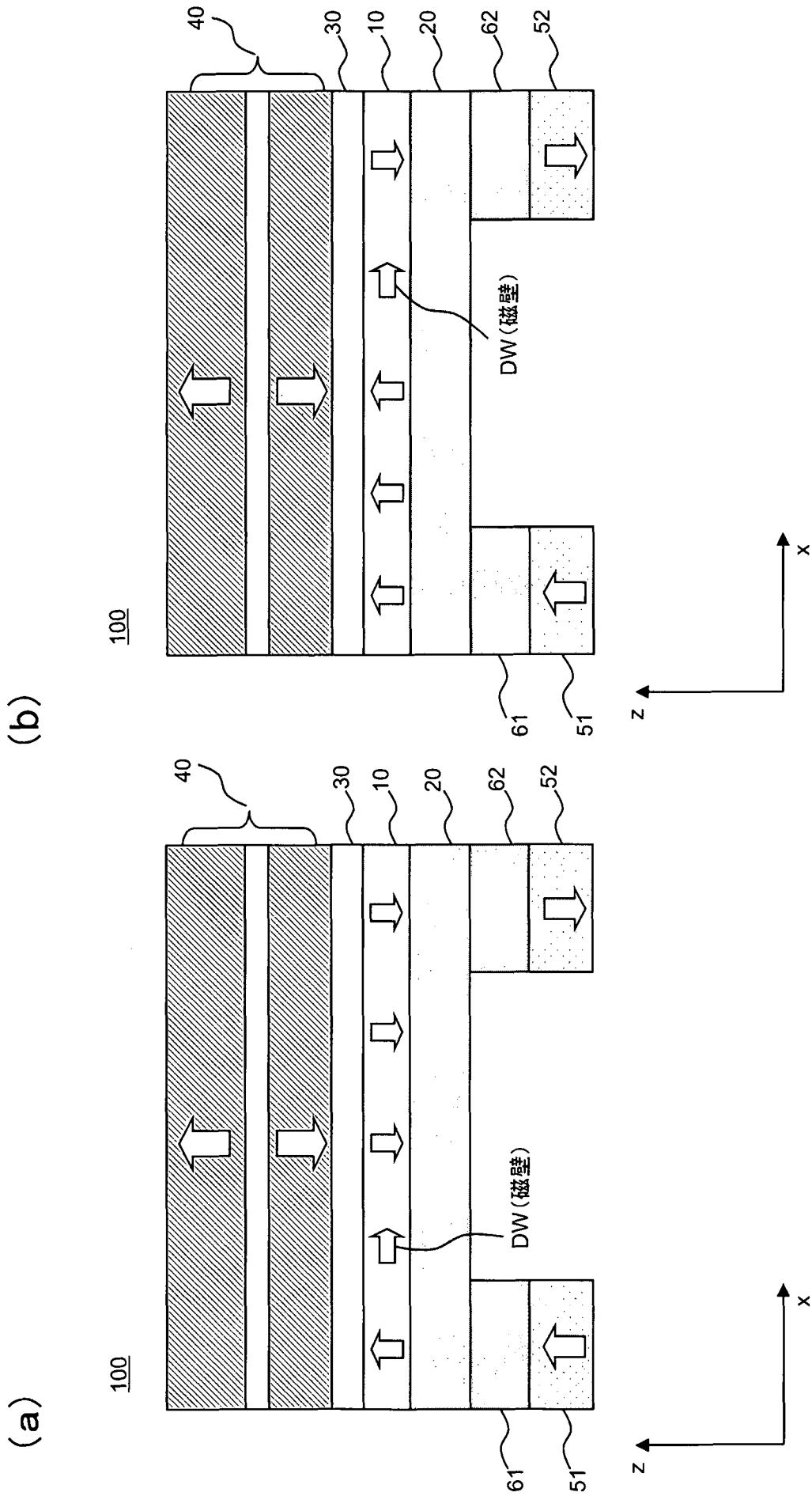


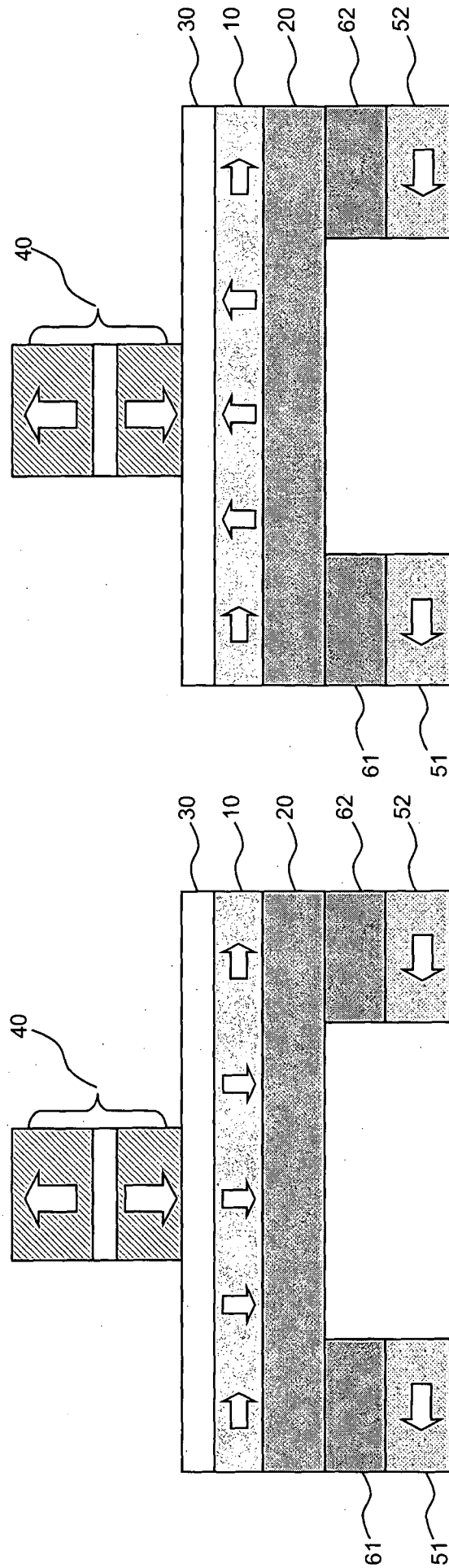
図20

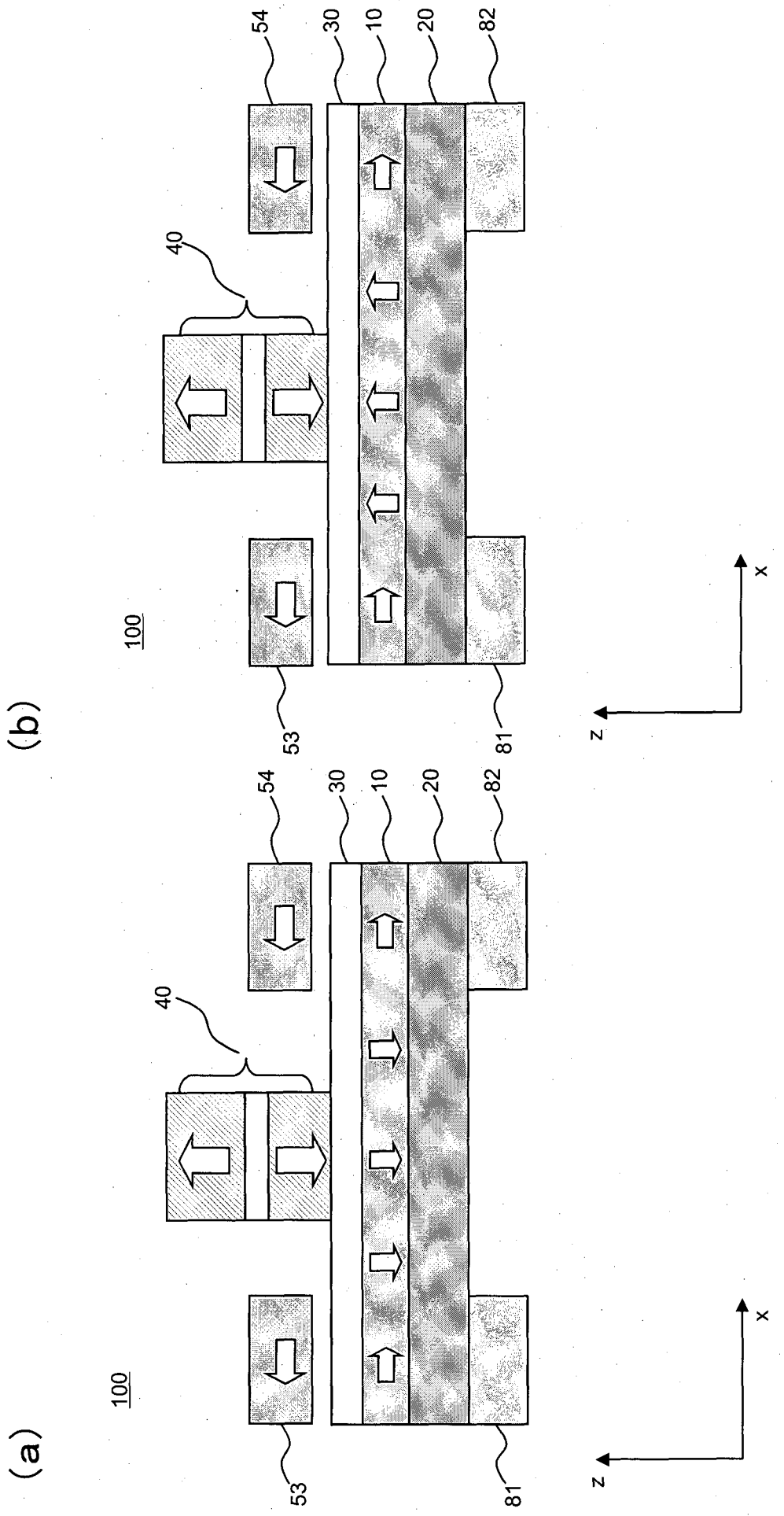
(a)

(b)

100

100





(b)

(a)

図22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/076643

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L21/8246(2006.01)i, G11C11/15(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82 (2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L21/8246, G11C11/15, 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 1996-2014 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014		
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 A	JP 2011-119537 A (NEC Corp.), 16 June 2011 (16.06.2011), entire text; all drawings (Family: none)	13-14 1-12
Y A	WO 2013/025994 A2 (CORNELL UNIVERSITY), 21 February 2013 (21.02.2013), column 4, lines 26 to 29; column 20, line 24 to column 21, line 4; fig. 12 to 13 & KR 10-2014-0044941 A	13-14 1-12
A	WO 2010/026861 A1 (NEC Corp.), 11 March 2010 (11.03.2010), paragraphs [0050] to [0054]; fig. 7 & US 2011/0163402 A1	1-14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 27 October, 2014 (27.10.14)		Date of mailing of the international search report 04 November, 2014 (04.11.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H01L21/8246(2006.01)i, G11C11/15(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i</p>												
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H01L21/8246, G11C11/15, H01L27/105, H01L29/82, H01L43/08</p>												
<p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年		
日本国実用新案公報	1922-1996年											
日本国公開実用新案公報	1971-2014年											
日本国実用新案登録公報	1996-2014年											
日本国登録実用新案公報	1994-2014年											
<p>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）</p>												
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y A</td> <td>JP 2011-119537 A（日本電気株式会社） 2011.06.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)</td> <td>13-14 1-12</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>WO 2013/025994 A2 (CORNELL UNIVERSITY) 2013.02.21, 第4欄第26行-第29行, 第20欄第24行-第21欄第4行, FIG. 12-13 & KR 10-2014-0044941 A</td> <td>13-14 1-12</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	Y A	JP 2011-119537 A（日本電気株式会社） 2011.06.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	13-14 1-12	Y A	WO 2013/025994 A2 (CORNELL UNIVERSITY) 2013.02.21, 第4欄第26行-第29行, 第20欄第24行-第21欄第4行, FIG. 12-13 & KR 10-2014-0044941 A	13-14 1-12	
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号										
Y A	JP 2011-119537 A（日本電気株式会社） 2011.06.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	13-14 1-12										
Y A	WO 2013/025994 A2 (CORNELL UNIVERSITY) 2013.02.21, 第4欄第26行-第29行, 第20欄第24行-第21欄第4行, FIG. 12-13 & KR 10-2014-0044941 A	13-14 1-12										
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>												
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <table border="0"> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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）</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>			「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	「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	「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	「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	「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）	「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	「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献	「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
「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	「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											
「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	「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											
「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）	「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											
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献											
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願												
<p>国際調査を完了した日</p> <p>27. 10. 2014</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>04. 11. 2014</p>											
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁（ISA/J P）</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官（権限のある職員）</p> <p>小山 満</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3516</p>	<table border="1"> <tr> <td>5 F</td> <td>5 5 8 9</td> </tr> </table>	5 F	5 5 8 9								
5 F	5 5 8 9											

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	WO 2010/026861 A1 (日本電気株式会社) 2010.03.11, 段落[0050]-[0054], 図7 & US 2011/0163402 A1	1-14