

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4929119号
(P4929119)

(45) 発行日 平成24年5月9日 (2012.5.9)

(24) 登録日 平成24年2月17日 (2012.2.17)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 43/06 (2006.01)

HO 1 L 43/06 M

HO 1 L 27/105 (2006.01)

HO 1 L 27/10 4 4 7

HO 1 L 21/8246 (2006.01)

HO 1 L 43/08 S

HO 1 L 43/08 (2006.01)

請求項の数 7 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2007-267243 (P2007-267243)	(73) 特許権者	507340441
(22) 出願日	平成19年10月12日 (2007.10.12)		コリア ユニヴァーシティー インダストリアル アンド アカデミック コラボレイション ファウンデーション
(65) 公開番号	特開2009-94441 (P2009-94441A)		大韓民国 ソウル 136-713 セオンパーク、アナムードン、コリア ユニヴァーシティー、インダストリアル アンド アカデミック コラボレイション ビルディング、ファースト フロア
(43) 公開日	平成21年4月30日 (2009.4.30)		
審査請求日	平成19年10月12日 (2007.10.12)	(74) 代理人	100091683
(31) 優先権主張番号	10-2007-0101416		弁理士 ▲吉▼川 俊雄
(32) 優先日	平成19年10月9日 (2007.10.9)	(72) 発明者	リー, サン-ホーン
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		大韓民国 ソウル 139-956 ナウオン-グ, ウォルギィ-3-ドン, グレンヴィル アpartment, 105-705
特許法第30条第1項適用 発行者名 American Institute of Physics 刊行物名 APPLIED PHYSICS LETTERS 巻数 90 発行年月日 2007年4月13日			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
前記基板上に形成され、多重ドメイン状態を用いて多重状態を平面ホール効果または磁気抵抗値を通じて貯蔵しセンシングする強磁性半導体層と、
前記強磁性半導体層上に形成された絶縁膜と、
前記絶縁膜上に形成された第1電流ラインと、
前記第1電流ライン上に形成された絶縁膜と、
前記絶縁膜上に形成された第2電流ラインと、を含み、

前記強磁性半導体層は、書き込みの動作時に前記第1電流ラインと第2電流ラインが交差するセル内にパルス形態に電流を印加して誘導磁場を形成し、磁場の方向 (D) と強さ (M) を調節して磁気異方性を有する強磁性材料を単一ドメイン状態または多重ドメイン状態に作り、前記単一ドメイン状態または多重ドメイン状態に従い異なる多重状態に対する平面ホール抵抗値あるいは磁気抵抗値を記録して多重情報を貯蔵することを特徴とする強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

【請求項 2】

基板と、
前記基板上に形成された第1電流ラインと、

前記第 1 電流ライン上に形成された絶縁膜と、
 前記絶縁膜上に形成され、単一または多重ドメイン状態を用いて多重情報を平面ホール効果または磁気抵抗を通じて貯蔵しセンシングする強磁性半導体層と、
 前記強磁性半導体層上に形成された絶縁膜と、
 前記絶縁膜上に形成された第 2 電流ラインと、を含み、

前記強磁性半導体層は、書き込みの動作時に前記第 1 電流ラインと第 2 電流ラインが交差するセル内にパルス形態に電流を印加して誘導磁場を形成し、磁場の方向 (θ) と強さ (ΔI) を調節して磁気異方性を有する強磁性材料を単一ドメイン状態または多重ドメイン状態に作り、前記単一ドメイン状態または多重ドメイン状態に従い異なる多重状態に対する平面ホール抵抗値あるいは磁気抵抗値を記録して多重情報を貯蔵することを特徴とする強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

10

【請求項 3】

前記多重ドメイン状態は、磁場の方向と強さに従い多重ドメインの壊れた程度を調節でき、平面ホール抵抗値または磁気抵抗値を用いてドメインがどのくらい壊れているかを確認可能なことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

【請求項 4】

前記強磁性半導体層は、読み出し動作時に前記半導体層にセンシング電流を流して貯蔵された平面ホール抵抗または磁気抵抗値を読み出すことを特徴とする請求項 3 に記載の強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

20

【請求項 5】

前記平面ホール抵抗値は以下の数式

$$R_{xy} = \frac{k}{t} M^2 \sin 2\phi$$

により測定されることを特徴とする請求項 4 に記載の強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

(式中、 k は電流の方向が磁化方向に垂直なとき、および平行なときの比抵抗値の差であり、 t は試料の厚さである。)

30

【請求項 6】

前記磁気抵抗値は以下の数式

$$R_{xx} = R_{\perp} + (R_{\parallel} - R_{\perp}) \cos^2 \phi$$

により測定されることを特徴とする請求項 4 に記載の強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

(式中、 $R_{\perp}$ は外部磁場が電流方向に垂直なときの強磁性材料の抵抗値であり、 $R_{\parallel}$ は外部磁場が電流方向と平行なときの抵抗値であり、 ϕ は磁化方向である。)

40

【請求項 7】

前記強磁性半導体層は GaMnAs から構成されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、強磁性の特性を有する半導体物質の多重ドメイン状態を用いた記憶素子に係るもので、詳しくは、磁気情報の記録される強磁性半導体層 (Magnetic Semiconductors、MS) 自体をセンサー層として同時に利用することにより、磁気記録素子の構造を簡単に

50

して工程を短縮し、生産単価を節減するばかりか、さらに多重ドメイン状態を利用した巨大な平面ホール効果 (Planar Hall Effect) または磁気抵抗 (Magnetoresistance) を測定して多重状態の情報を記録することができる記憶素子に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、磁気記憶素子は現在使用されている D R A M (Dinamic-RAM)、S R A M (Static-RAM)、フラッシュメモリ (Flesh memory) などを代替する記憶素子として認識されており、コンピュータだけでなくスマートカード、移動端末機、携帯フォーンなどのようなモバイル機器に広く利用される見通しである。

【0003】

現在、一番広く使用されている D R A M は、電源の供給が中断されると保持された情報の全部が消えてしまう揮発性メモリであり、このため、機器の初期動作の時に作動に至るまでに長い時間がかかるなどの短所がある。このような問題点を解決するための方法として提示されている F e R A M は現在常用化の段階までに至っているが、未だに初期動作時に高電圧を必要とし、構造的に複雑ないろんな短所を有している実情である。

【0004】

磁気記憶素子 (Magnetic - RAM、MRAM) は上記のような短所を解決し、低電圧で速い動作速度が可能なので研究が活発に進行されつつある。

図 1 は従来の M R A M 素子を概略的に示した構造図である。

図 1 を参照すると、従来の M R A M 素子は非磁性層を介した二つの磁性層のスピンの方向が同一な場合よりも違う場合に抵抗が大きく異なってくる巨大磁気抵抗 (G M R) 現象を用いたもので、スピンバルブ構造を基本とすることにより多重磁性層からなった複合構造を有する。

【0005】

従来の M R A M 素子はスペース層を基準にして下層に形成されてセンシング役目を果たすハード磁性層と、上層に形成されて貯蔵役目を果たすソフト磁性層とを含んで構成される。

ここで、前記ソフト磁性層の磁化方向をワードラインに電流を流すことにより書き込み、二つの磁性層の磁化方向に従う抵抗変化を感知することにより記録された磁化方向を読み出す。

然るに、上述のような従来の M R A M 素子は、スピンバルブを構成するいろんな磁性層と、ワードラインおよびリードラインの役目を果たす層とが加えられて多重層の複雑な構造を有することにより、工程上の難しさとともに生産性が低下されとの問題点があった。また、一つのセル内に貯蔵可能な情報は “ 0 ” と “ 1 ” を表す 1 ビットデータで、複雑な構造に比べ貯蔵された情報量が少ないとの問題点があった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

そこで、本発明の目的は、安定した多重ドメイン状態を有する磁性半導体 (M S) を用いて素子の厚さを減し、製造工程を短縮させて工程効率性を高めることができる磁気記憶素子を提供することにある。

本発明の他の目的は、磁性半導体の安定した多重ドメイン状態を用いて一つのセル内に 4 状態以上の情報を貯蔵することが可能なので、記憶素子の貯蔵容量を増加させ、処理速度を増加させることができる磁気記憶素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

このような目的を達成するため本発明の第 1 実施形態による強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子は、基板と、前記基板上に形成され、多重ドメイン状態を用いて多重の状態を平面ホール効果または磁気抵抗値を通じて貯蔵しセンシングする強磁性半導体層と、前記強磁性半導体層上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜上に形成

10

20

30

40

50

された第 1 電流ラインと、前記第 1 電流ライン上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜上に形成された第 2 電流ラインと、を含むことを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

本発明の第 2 実施形態による強磁性物質のドメイン構造および多重状態を用いた磁気記憶素子は、基板と、前記基板上に形成された第 1 電流ラインと、前記第 1 電流ライン上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜上に形成され、単一または多重ドメイン状態を用いて多重の情報を平面ホール効果または磁気抵抗を通じて貯蔵しセンシングする強磁性半導体層と、前記強磁性半導体層上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜上に形成された第 2 電流ラインと、を含むことを特徴とする。

ここで、前記強磁性半導体層は書き込みの動作時に前記第 1 電流ラインと第 2 電流ラインが交差するセル内にパルス形態に電流を印加して誘導磁気場を形成し、磁気場の方向（ ϕ ）と強さ（ M ）を調節して磁気異方性を有する強磁性材料を単一ドメイン状態または多重ドメイン状態に作り、前記単一ドメイン状態または多重ドメイン状態に従い異なってくる多重状態に対する平面ホール抵抗値あるいは磁気抵抗値を記録して多重の情報を貯蔵することを特徴とする。

そして、前記多重ドメイン状態は磁気場の方向と強さに従い多重ドメインの壊れた程度を調節できるし、平面ホール抵抗値または磁気抵抗値を用いてドメインがどのくらい壊れているかが確認できることを特徴とする。

また、前記強磁性半導体層は読み出しの動作時に電流ラインにセンシング電流を流して貯蔵された平面ホール抵抗または磁気抵抗値を読み出すことを特徴とする。

そして、前記平面ホール抵抗値は以下の数式

$$R_{xy} = \frac{k}{t} M^2 \sin 2\phi$$

により測定されることを特徴とする。

ここで、 k は電流の方向が磁化方向と垂直なときおよび平行なときに非抵抗値の差で、 t は試料の厚さである。

また、前記磁気抵抗値は以下の数式

$$R_{xx} = R_{\perp} + (R_{\parallel} - R_{\perp}) \cos^2 \phi$$

により測定されることを特徴とする。

ここで、

$$R_{\perp}$$

は外部磁気場が電流方向と垂直なときに強磁性材料の抵抗値で、

$$R_{\parallel}$$

は外部磁気場が電流方向と平行なときの抵抗値で、 ϕ は磁化方向である。

そして、前記強磁性半導体層は $G a M n A s$ から構成されることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明による強磁性物質の多重ドメイン状態を用いた磁気記憶素子は、磁性半導体の優れた磁気異方性を用いて多重の抵抗値を一つのセル内に貯蔵することにより記憶素子の貯蔵容量を増加させ、3重層を必要とするスピナルブ記憶素子と比べ単一層の磁性半導体層のみで具現することにより、全体記憶素子の構造を簡単にして工程の効率性を高めると共に高集積化を図ることができるとの効果がある。

また、情報の書き込み及び読み出しのプロセスが簡素化されて記憶素子の動作速度を大きく向上させることができるとの効果がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 0 】

図2は本発明の第1実施例による磁気記憶素子を概略的に示した断面図であり、図3は本発明の第2実施例による磁気記憶素子を概略的に示した断面図である。

図2を参照すると、本発明の第1実施例による磁気記憶素子は、基板110と、前記基板110上に形成された強磁性半導体層(MS)120と、前記強磁性半導体層120上に形成された絶縁膜130と、前記絶縁膜130上に形成された第1電流ライン140と、前記第1電流ライン140上に形成された絶縁膜150と、前記絶縁膜150上に形成された第2電流ライン160と、前記第2電流ライン160上に形成された保護膜170と、を含んで構成される。

図3を参照すると、本発明の第2実施例による磁気記憶素子は、基板210と、前記基板210上に形成された第1電流ライン220と、前記第1電流ライン220上に形成された絶縁膜230と、前記絶縁膜230上に形成された強磁性半導体層(MS)240と、前記強磁性半導体層240上に形成された絶縁膜250と、前記絶縁膜250上に形成された第2電流ライン260と、前記第2電流ライン260上に形成された保護膜270と、を含んで構成される。

ここで、前記強磁性半導体層120、240は単一または多重ドメイン状態を用いて多重の情報を平面ホール効果または磁気抵抗を通じて貯蔵しセンシングする役目を担当する。前記強磁性半導体層120、240は磁気異方性特性の強い磁性物質であるIII-V磁性半導体から構成され、好ましくはガリウム・マンガン・ヒ素(GaMnAs)から構成される。

【 0 0 1 1 】

以下、磁気記憶素子の構造は当業者には自明なものであるため、一般的な磁気記憶素子構成に対する説明は省略し、本発明の核心に該当する強磁性半導体層の構成および作用に対して重点的に説明する。

本発明は、多重層の複雑なMRAM構造を改善する方案としてスピンバルブ構造のGMR効果の代わりに、多重ドメイン構造において現れる平面ホール効果(PHE)または磁気抵抗を利用する。

より詳しくは、単一ドメイン状態は強磁性材料の磁化が全部同一な方向を向いている状態を示し、たいていの強磁性材料はこのような状態を有し得る。

【 0 0 1 2 】

多重ドメイン状態はドメイン境界(Domain wall)を有する強磁性材料の状態を示し、この場合に磁化方向は各ドメイン毎に異なって現れる。特に、強磁性半導体の場合には大きな磁気異方性(magnetic anisotropy)を有する物質として、平面で4方向の磁化方向を有し得る。

図4は強磁性半導体が磁気エネルギーが最少となる角度で4個の磁化方向を示した図であり、図5は単一ドメイン状態で外部磁気場のスキャンのときに磁化方向に従い平面ホール抵抗値が変化する履歴曲線を概略的に示した図である。ここで、図5の矢印番号1, 2, 3, 4は磁気場スキャン方向を示し、太い矢印は抵抗状態に対応される磁化方向を示す。

図4および図5を参照すると、高い抵抗の二つの磁化状態(即ち、 $[010]$ と $[0\bar{1}0]$)と抵抗値の小さい二つの磁化状態(即ち、 $[\bar{1}00]$ と $[100]$)に情報を貯蔵することにより、四つの情報を貯蔵することができる。

これは従来の磁性体3重層構造でなるスピンバルブ構造から得られる四つの組合せ(例えば、高抵抗状態 $\rightleftharpoons (10)$ と $\rightleftharpoons (01)$ 、低抵抗状態 $\rightleftharpoons (00)$ 、 $\rightleftharpoons (11)$)に対応される状態を単一の強磁性半導体層にて具現できるとの効果がある。

しかし、前記四つの状態のうち二つの磁化状態(即ち、 $[010]$ と $[0\bar{1}0]$)の抵抗値と二つの磁化状態(即ち、 $[\bar{1}00]$ と $[100]$)の抵抗値が同じなので、貯蔵された情報を読み出すには複雑な過程を経なければならないとの問題点が発生する。

本発明は上述のような問題点を解決するために多重ドメイン構造を用いた四つの状態を書

き込むようになる。

多重ドメイン状態は単ドメイン状態から 90° だけ回転した他のドメイン状態に回転するとき、互いに異なった磁化方向を有する単ドメイン状態の中間部分において外部磁気場の印加がなくなると形成され、前記図5において2番磁化方向スイッチングの場合に中間平面ホール抵抗値が多重ドメイン状態に該当する。

【0013】

多重ドメイン状態の各ドメインは四つの磁化方向のうち磁化し易い方向(magnetic easy axes)に磁化され、多重ドメイン状態の全体磁化値はこれらドメインのベクトル和で表すことができる。

【0014】

例えば、45°と135°を有するドメインの、磁気異方性を有する強磁性体の場合、各面積比を p 対 1 - p に定義すると、これらのベクトル和で表した全体磁化量 M は

$$M = \sqrt{p^2 + (1-p)^2} |M_{total}|$$

であり、

全体磁化方向(φ)は

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{1-p}{p}\right) + \frac{\pi}{4}$$

である。

図6は本発明の好ましい実施例による多重ドメイン状態に対する磁気履歴曲線を示した図である。

多重ドメイン状態が発生した場合に平面ホール抵抗値または磁気抵抗値を用いてドメインがどのくらい壊れたかが分かる。

図6を参照すると、単ドメイン状態と多重ドメイン状態の間に磁化転換が起こる平面ホール効果の履歴曲線を通じて四つの抵抗値(0、1、2、3状態)がそれぞれ違う状態にあることがわかる。

ここで、論理状態“0”、“1”、“2”、“3”は磁性体スピバルブ構造の ⇐ (10) と ⇐ (01)、そして ⇐ (00) と ⇐ (11) の論理状態に対応される値である。互いに違う平面ホール抵抗値のうち“0”“3”状態は単ドメイン状態を表し、“1”“2”状態は多重ドメイン状態を表す。

従って、外部磁気場の方向(φ)と強さ(M)を調節することにより、磁気異方性を有する強磁性材料を単ドメイン状態または多重ドメイン状態に作ることができるし、前記磁化転換による平面ホール抵抗値を貯蔵して四つの状態の他の抵抗値を貯蔵することができる。ここで、前記平面ホール抵抗値は以下の式により計算される。

$$R_{xy} = \frac{k}{t} M^2 \sin 2\phi$$

ここで、kは電流の方向が磁化方向と垂直なときおよび平行なときに非抵抗値の差であり、tは試料の厚さである。

つまり、強磁性半導体の単一と多重ドメイン状態を用いると、四つの抵抗値がそれぞれ違う状態を具現できるし、抵抗値として貯蔵された情報を直ちに読み出すことができるので、情報をリードする過程が磁性体スピバルブ構造よりもっと簡単に具現できる。前記平面ホール抵抗を基本にして記述した内容は磁気抵抗を用いても可能である。磁気抵抗を用いる場合に磁気抵抗値は以下の式により計算される。

$$R_{xx} = R_{\perp} + (R_{\parallel} - R_{\perp}) \cos^2 \phi$$

ここで、

$$R_{\perp}$$

は外部磁気場が電流方向と垂直なときに強磁性材料の抵抗値であり、

$$R_{\parallel}$$

は外部磁気場が電流方向と平行なときの抵抗値であり、

$$(R_{\parallel} - R_{\perp})$$

は磁化 M の関数なので、平面ホール抵抗値のように単一または多重ドメイン状態に従い磁気抵抗値が異なってくる。

(実施例)

単一または多重ドメイン状態を作るための外部磁気場は強磁性半導体層上に電流ラインを形成して誘導磁気場を作って代替できるし、図7は本発明による誘導磁気場形成のための構造を概略的に示した構造図であり、図8は本発明の好ましい実施例による磁気記憶素子の誘導磁気場形成を概略的に示した例示図である。

図7および図8を参照すると、情報貯蔵用セル内に絶縁層として区別された電流ラインが形成され、電流ラインの交差するセル内にパルス形態の電流が流して誘導磁気場が形成されてセル内に情報を書き込むことができる。

【0015】

言い換えれば、電流をパルス形態に調節すると、電流ラインの周りに誘導磁気場を形成することができるし、平面ホール抵抗値が電流パルスにより調節されるドメイン状態（単一または多重ドメイン）に従い異なってくることがわかる。

図9は本発明による平面ホール抵抗値の測定方法を示した図であり、図10は本発明による磁気抵抗値の測定方法を示した図である。

図9および図10を参照すると、十字形の強磁性半導体層上に絶縁層があり、その上に第1電流ラインが形成され、前記絶縁層上に第2電流ラインが形成される。第1電流ラインと第2電流ラインに同時に電流が流れる十字中央の強磁性半導体層領域に強い誘導磁気場が形成されることにより、強磁性材料のドメイン状態が変えられ、上記のような方法により強磁性半導体層に情報（4状態）を貯蔵することができる。上述のように貯蔵された情報はセンシング電流を通じて平面ホール抵抗値または磁気抵抗値をその大きさを測定して読み出すことができる。従って、単一の強磁性半導体層がセンシング役目と貯蔵役目を同時に果たすことができる。

【0016】

以上、説明した本発明の詳細な説明においては本発明の好ましい実施例を参照して説明したが、本発明の保護範囲は前記実施例に限らず、該当技術分野の通常の知識を有する者ならば本発明の思想および技術領域から外れない範囲内で本発明を多様に修正および変更可能なのは勿論のことである。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】従来のMRAM素子を概略的に示した構造図である。

【図2】本発明の第1実施例による磁気記憶素子を概略的に示した断面図である。

【図3】本発明の第2実施例による磁気記憶素子を概略的に示した断面図である。

【図4】強磁性半導体が磁気エネルギーが最少となる角度で四つの磁化方向を表したものを示した図である。

【図5】単一ドメイン状態で外部磁気場スキャンのときに磁化方向に従い平面ホール抵抗値が変化する履歴曲線を概略的に示した図である。

10

20

30

40

50

【図 6】本発明の好ましい実施例による多重ドメイン状態に対する磁気履歴曲線を示した図である。

【図 7】本発明による誘導磁気場形成のための構造を概略的に示した構造図である。

【図 8】本発明の好ましい実施例による磁気記憶素子の誘導磁気場形成を概略的に示した例示図である。

【図 9】本発明による平面ホール抵抗値の測定方法を示した図である。

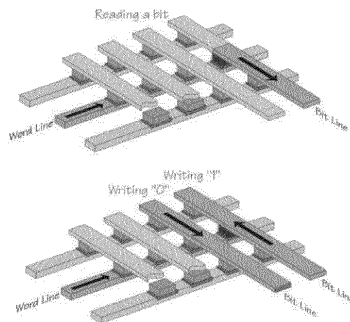
【図 10】本発明による磁気抵抗値の測定方法を示した図である。

【符号の説明】

【 0 0 1 8 】

110 : 基板	120 : 強磁性半導体	10
130 : 絶縁膜	140 : 第 1 電流ライン	
150 : 絶縁膜	160 : 第 2 電流ライン	
170 : 保護膜		

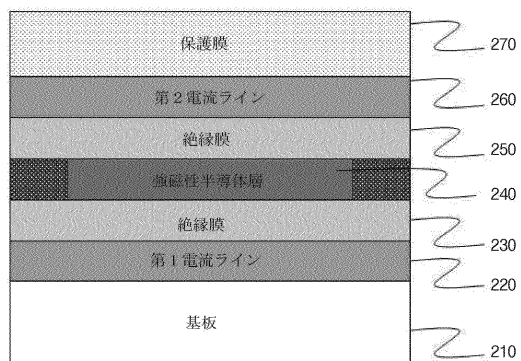
【図 1】



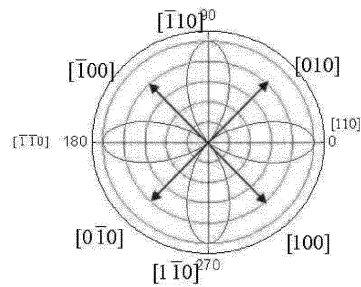
【図 2】



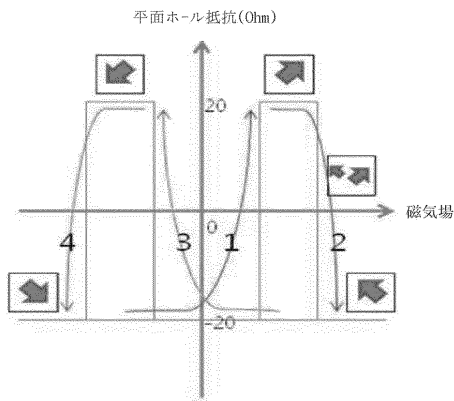
【図 3】



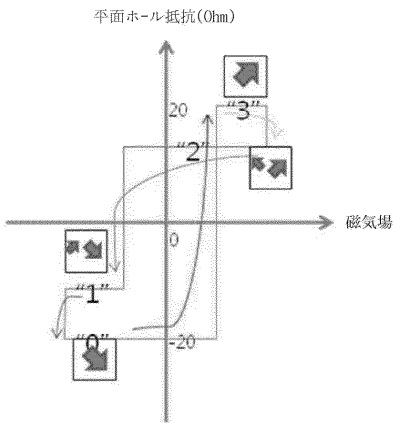
【図 4】



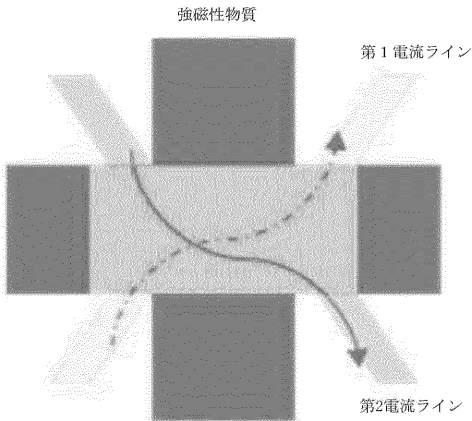
【図 5】



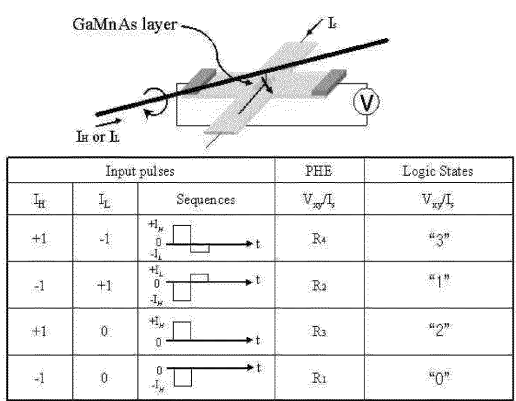
【図 6】



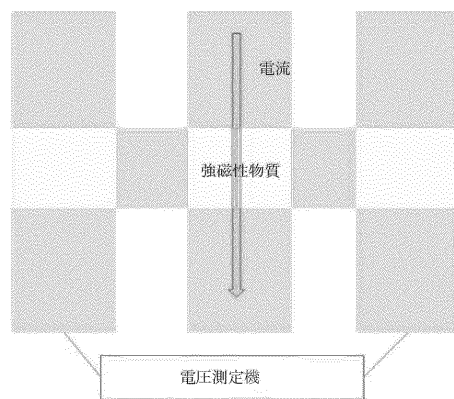
【図 7】



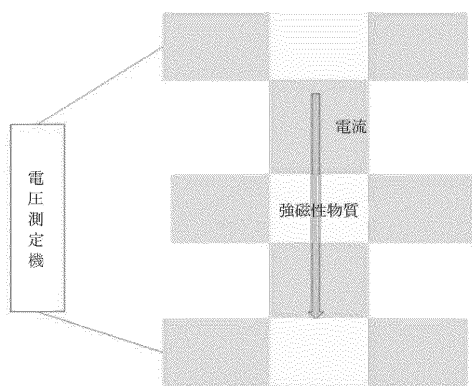
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 シン, ドン - ユン

大韓民国 ソウル 139 - 230 ナウォン - グ, ハガエ - ドン, チェオングソル アパートメント, 702 - 911

審査官 羽鳥 友哉

(56)参考文献 国際公開第2005/109517(WO, A1)

特開2005-150303(JP, A)

国際公開第2005/069368(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 43/06

H01L 43/08

H01L 21/8246

H01L 27/105