

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5170679号
(P5170679)

(45) 発行日 平成25年3月27日 (2013. 3. 27)

(24) 登録日 平成25年1月11日 (2013. 1. 11)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 D 5/245 (2006. 01) GO 1 D 5/245 I 1 O B
 GO 1 D 5/245 N

請求項の数 12 (全 27 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-238938 (P2008-238938) (22) 出願日 平成20年9月18日 (2008. 9. 18) (65) 公開番号 特開2010-32484 (P2010-32484A) (43) 公開日 平成22年2月12日 (2010. 2. 12) 審査請求日 平成23年8月10日 (2011. 8. 10) (31) 優先権主張番号 特願2008-18031 (P2008-18031) (32) 優先日 平成20年1月29日 (2008. 1. 29) (33) 優先権主張国 日本国(JP) (31) 優先権主張番号 特願2008-164644 (P2008-164644) (32) 優先日 平成20年6月24日 (2008. 6. 24) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 000005083 日立金属株式会社 東京都港区芝浦一丁目2番1号 (72) 発明者 岡田 泰行 埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金 属株式会社先端エレクトロニクス研究所内 (72) 発明者 三俣 千春 埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金 属株式会社先端エレクトロニクス研究所内 審査官 岡田 卓弥</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサおよび回転角度検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

4 個の磁気抵抗効果素子をブリッジ回路に有する磁気センサであって、
 前記磁気抵抗効果素子は、1 方向の磁気異方性を有する固定層と、磁化方向が外部磁界の方向に回転する自由層と、前記固定層と前記自由層に挟まれた中間層とを有するスピバルブ型巨大磁気抵抗効果膜を備えており、
 前記磁気抵抗効果素子の少なくとも一つは、その素子形状の長手方向が固定層磁化方向に対して $36^\circ < 45^\circ$ の鋭角で傾いていることを特徴とする磁気センサ。

【請求項 2】

4 個の前記磁気抵抗効果素子の内、2 個の磁気抵抗効果素子が固定層磁化方向に対して前記鋭角で傾き、残りの 2 個が鋭角で傾いていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 3】

前記ブリッジ回路の他にもう一つのブリッジ回路が形成され、両ブリッジ回路の磁気抵抗効果素子は素子形状の長手方向が互いに直交する方向に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 4】

4 個の前記磁気抵抗効果素子の内、ハーフブリッジを構成する 2 個の磁気抵抗効果素子は、固定層磁化方向が反平行方向であり、かつその素子形状の長手方向が固定層磁化方向に対して一方は角度で傾くとともに他方は角度で傾いていることを特徴とする請求

10

20

項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 5】

4 個の前記磁気抵抗効果素子の内、一方のハーフブリッジの電源端子側に配置される磁気抵抗効果素子はその素子形状の長手方向が固定層磁化方向に対して一方は角度 θ で傾くとともに、他方のハーフブリッジの接地端子側に配置される磁気抵抗効果素子は角度 θ で傾いていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 6】

一方のハーフブリッジの電源端子側に配置される磁気抵抗効果素子の固定層磁化方向と、他方のハーフブリッジの接地端子側に配置される磁気抵抗効果素子の固定層磁化方向が同一方向であることを特徴とする請求項 5 に記載の磁気センサ。

10

【請求項 7】

前記磁気抵抗効果素子が、直線を折り返した形状であることを特徴とする、請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 8】

前記磁気抵抗効果素子が、半円を連結し、素子長手方向に折り返して形成されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 9】

前記磁気抵抗効果素子が、円の一部を切り欠いた形状を連結し、素子長手方向に折り返して形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 10】

前記磁気抵抗効果素子が、多角形の一部を切り欠いた形状を連結し、素子長手方向に折り返して形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

20

【請求項 11】

スピナルブ型巨大磁気抵抗効果膜は、固定層と自由層との間の交換結合磁界 H_{int} の値が、単位を kA/m として、

$$-0.4 < H_{int} < 0.4$$

の範囲であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 12】

請求項 1 乃至請求項 11 のいずれかに記載の磁気センサと、前記磁気センサに磁界を与える磁石とを備える回転角度検出装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スピナルブ型巨大磁気抵抗効果膜で構成する磁気抵抗効果素子を用いた磁気センサ及び回転角度検出装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

磁気抵抗効果素子を用いた磁気センサは、物理量の変位を非接触で検出できる点で有用である。特に回転角度を検出する磁気センサについては、回転磁界に対して磁気抵抗効果素子の検出感度が良好であることが要求される。

40

【0003】

高感度な磁気抵抗効果素子として、スピナルブ (SV) 型巨大磁気抵抗効果 (GMR) 膜が用いられている (以後、おののおを SV GMR 素子、SV GMR 膜と表記する)。その基本構成は、一方向異方性を有する磁化固定層 (以下、固定層と称する) と、この固定層の上部に形成される磁氣的結合を切る非磁性中間層と、この非磁性中間層の上部に形成される外部磁界によって磁化方向が任意の方向に回転する自由層からなるものである。このような SV GMR 膜を用い、フォトリソグラフィなどの薄膜加工プロセスを経て形成された SV GMR 素子をホイートストンブリッジ状に接続し、所定の電圧を印加することで、外部磁界の方向によって出力電圧が変化する磁気センサを得ることができる。

【0004】

50

【特許文献1】特開2001-159542号公報

【特許文献2】特表2003-502876号公報

【特許文献3】特開2005-024287号公報

【特許文献4】特許第3587678号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

S V G M R 素子を複数個用いて回転角度センサを構成する場合、S V G M R 素子自身の磁気特性（層間結合磁界 $H_{i n t}$ 、異方性磁界 H_k ）のばらつきにより、角度誤差（回転角度センサの出力から得る回転角度の誤差）が増加する問題がある。特許文献1には同一ウェハから切り出した4つの素子をブリッジ接続する手法が開示されているが、ウェハ面内でのバラつきを吸収できるものではない。以下、特にことわらない限り、S V G M R 素子を“素子”と表記する。

10

【0006】

一方、特許文献2には同一ウェハ上に複数方向の感磁軸を持つ素子を作製する方法について開示されている。開示された手法に因れば、薄膜形成やフォトリソグラフィなどにより所望の素子パターンを形成した後、ヒータ素子を用いて局部的に素子を加熱しながら外部磁界を印加することで、固定層磁化方向を所望の方向に設定することが可能である。

【0007】

また、消費電力量や素子発熱を回転角度センサとしての適正範囲に抑えるためには、素子形状は線幅を細くし素子長を長くすることで高抵抗化を図ることが望ましい。このような形状では素子自身の形状異方性を無視できなくなり、S V G M R 膜の自由層に起因する異方性磁気抵抗効果（A M R）の影響が大きくなり角度誤差が増加する問題がある。特許文献3では、A M R 効果をキャンセルするために同一素子内で素子長手方向が 90° 異なるパターンを接続した素子が提案されている。また特許文献4では、 H_k を低減する素子パターンとして、半円形状をつなぎ合わせたものや螺旋状の形状が提案されている。しかしながらこれらの構成はA M R 効果のキャンセルのみ、もしくは H_k の低減のみに掛かり、G M R 特性のばらつきを低減し回転角度センサ全体としての角度誤差を低減するものではない。

20

【0008】

本発明はこのような問題を鑑みてなされたものであり、S V G M R 膜の製造ばらつきに起因する角度誤差を低減したS V G M R 素子を用いた磁気センサ、ならびに回転角度検出装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は4個の磁気抵抗効果素子を接続したブリッジ回路を有する磁気センサであって、前記磁気抵抗効果素子は、1方向の磁気異方性を有する固定層と、磁化方向が外部磁界の方向に回転する自由層と、前記固定層と前記自由層に挟まれた中間層とを有するスピンバルブ型巨大磁気抵抗効果膜であり、前記磁気抵抗効果素子の少なくとも一つは、その素子形状の長手方向が固定層磁化方向に対して $36^\circ < 45^\circ$ の鋭角で傾いていることを特徴とするものである。2つのブリッジ回路を組み合わせる場合、両者の磁気抵抗効果素子の長手方向が各々直交するように形成することが好ましい。

40

4個の磁気抵抗効果素子の2個が固定層磁化方向に対して前記鋭角で傾き、残りの2個が鋭角で傾く構成が好ましい。

4個の前記磁気抵抗効果素子の内、ハーフブリッジを構成する2個の磁気抵抗効果素子は、固定層磁化方向が反平行方向であり、かつその素子形状の長手方向が固定層磁化方向に対して一方は角度で傾くとともに他方は角度で傾いている構成を採用できる。

【0010】

4個の前記磁気抵抗効果素子の内、一方のハーフブリッジの電源端子側に配置される磁気抵抗効果素子はその素子形状の長手方向が固定層磁化方向に対して一方は角度で傾くと

50

ともに、他方のハーフブリッジの接地端子側に配置される磁気抵抗効果素子は角度 θ で傾いていることが好ましい。

上記の磁気センサは、一方のハーフブリッジの電源端子側に配置される磁気抵抗効果素子の固定層磁化方向と、他方のハーフブリッジの接地端子側に配置される磁気抵抗効果素子の固定層磁化方向が同一方向であることが好ましい。

固定層磁化方向が同一の磁気抵抗効果素子を非平行に配置することで、AMR効果がキャンセルされ、角度誤差への影響を抑制できる。

【0011】

また本発明の磁気センサでは、磁気抵抗効果素子の形状として、直線を折り返した形状、半円を連結し素子長手方向に折り返して形成した形状、または円もしくは多角形の一部を切り欠いた形状を連結し素子長手方向に折り返して形成した形状のいずれかとするのが望ましい。

10

【0012】

スピナルブ型巨大磁気抵抗効果膜は、固定層 自由層間の交換結合磁界 H_{int} の値が $-0.4 < H_{int} < 0.4$ (kA/m) の範囲であることが好ましい。

【0013】

さらに本発明の回転角度検出装置は、前記磁気センサと、前記磁気センサに磁界を与える磁石とを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明に因れば、SVGM R膜の製造ばらつきに起因するブリッジ出力歪を低減できるセンサを提供でき、角度誤差を低減した磁気センサならびに回転角度検出装置を得ることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明について図面を用いて具体的な実施形態を説明する。ただし、これら実施形態により本発明が必ずしも限定されるものではない。

図1にSVGM R膜の模式図を示す。図の膜厚の拡大倍率は一定ではない。また本発明に用いられるSVGM R膜の構造はこの図面に限定されるものではない。SVGM R膜は基板10上に下地膜11、固定層12、中間層13、自由層14、保護層15の順で薄膜を堆積して形成される。一般的には固定層12は反強磁性層121/第1の強磁性層122/反平行結合層123/第2の強磁性層124を積層し、また自由層14は2層以上の強磁性層141、142を積層してそれぞれ形成される。固定層全体で一方向の磁気異方性を発現し、外部磁界により自由に回転する自由層磁化方向とのなす角度で電気抵抗が変化する。このときの、固定層の磁気異方性の方向を「固定層磁化方向」と定義する。

30

【0016】

(セルフピン型SVGM R膜・素子の作製方法)

本発明においては、SVGM R膜は図1に示した構成のうち反強磁性層121を除いた、図27の構成としている。すなわち、固定層の一方向磁気異方性を強磁性層122と124の反強磁性的結合によってのみ発現させるものである。図27に示される構成のSVGM R膜は、たとえば特許第3033934号公報や特開2004-296000号公報などに開示されている。図27に示した構成のSVGM R膜は、反強磁性層を規則化させて固定層を着磁するための熱処理工程が不要となるだけでなく、成膜プロセス中に固定層の異方性を任意の方向に設定することができる。具体的には、固定層に用いる2層の強磁性層の成膜時、少なくとも中間層13と接する強磁性層の成膜時に磁界を印加することで、印加磁界の方向に固定層磁化方向を向けることができる。本発明では固定層磁化方向の異なるSVGM R膜を、絶縁層を介して4回積層することによって、4方向の固定層磁化方向を持つ素子を同一ウェハ上に形成している。

40

【0017】

図2にはSVGM R膜を所定の形状にパターンニングしてSVGM R素子を形成した場合に

50

、磁気抵抗効果素子が受ける磁気エネルギーの模式図を示す。 M は素子全体の磁化の方向、 dip は形状異方性の方向、 $free$ は自由層の一軸磁気異方性の付与方向を示す。SVGM R素子に外部磁界 H_{app} が印加されたとき、素子に加わる実効磁界 M は、素子の形状に起因する形状異方性 H_{kd} のほか、 H_k 、 H_{int} などのSVGM R膜に起因する磁界の影響を受けて、 H_{app} の方向とは異なる向きに向けられる。

【0018】

ここで、SVGM R素子が受ける磁気エネルギーは以下の数式を用いて計算される。

・SVGM R素子の形状磁気異方性エネルギー E_{kd} ：

【0019】

【数1】

$$E_{kd} = K_{ud} \sin^2(\theta_M - \theta_{dip})$$

10

【0020】

・自由層の磁気異方性エネルギー E_k ：

【0021】

【数2】

$$E_k = K_u \sin^2(\theta_M - \theta_{free})$$

20

【0022】

・SVGM R膜の層間交換結合エネルギー E_{ex} ：

【0023】

【数3】

$$E_{ex} = -H_{int} \cdot M_s \cos(\theta_M - \theta_{free})$$

30

【0024】

・SVGM R膜のゼーマンエネルギー E_z ：

【0025】

【数4】

$$E_z = -H_{app} \cdot M_s \cos(\theta_{app} - \theta_M)$$

【0026】

・SVGM R素子が受けるエネルギーの総和 E_{total} ：

【0027】

【数5】

$$E_{total} = E_{kd} + E_k + E_{ex} + E_z$$

【0028】

なお M_s は自由層の磁化量を示し、磁気異方性定数 K_u および K_{ud} は下記の数式より算

50

出した。

【 0 0 2 9 】

【 数 6 】

$$K_u = \frac{H_k \cdot M_s}{2}, \quad K_{ud} = \frac{H_{kd} \cdot M_s}{2}$$

【 0 0 3 0 】

最終的に、基準軸に対するMの方向 θ_M は E_{total} が最小となるように決定される。決定された θ_M を用いると、SVGMR素子の抵抗Rは下記の数式で表される。

【 0 0 3 1 】

【 数 7 】

$$R = \left\{ R_{min} + \frac{dR}{2} (1 - \cos(\theta_M - \theta_{pin})) \right\} + \left\{ dR' \cos^2(\theta_M - \theta_{dip}) \right\}$$

10

20

【 0 0 3 2 】

数7の前半の項はGMR効果による抵抗変化、後半の項はAMR効果による抵抗変化である。 R_{min} はSVGMR素子抵抗の最小値、 dR はGMR効果起因の抵抗変化量、 dR' はAMR効果起因の抵抗変化である。

【 0 0 3 3 】

ここで、形状異方性の方向 θ_{dip} は素子長手方向と同義である。形状異方性は素子の形状により規定され、図21のように直線状(アスペクト比の大きい矩形)のSVGMR素子221もしくは直線を九十九折状に配置した形状の素子231の場合、形状異方性の向きは通電用端子223間に流れる電流の向き222とほぼ一致する。したがって、この場合、直線の延長方向すなわち素子長手方向が θ_{dip} となる。図22のような円を接続した形状の素子241、251については、電流は円の接続部から上下に分かれて流れると考えられるが、素子全体で見た場合は端子223間の向きに流れるため、 θ_{dip} は巨視的に見た電流の向き222と同一の向きとして定義する。図23から図25のように一部を切り欠いた円又は半円を接続した形状についても同様に、 θ_{dip} は電流の向き222と同一の向きとして定義する。

30

【 0 0 3 4 】

図3にはSVGMR素子をブリッジ接続して構成される磁気センサの等価回路を示す。各SVGMR素子の固定層磁化方向は図中矢印で示す。SVGMR素子21aと21c、素子21bと21d、31aと31c、31bと31dの固定層磁化方向はそれぞれ同一方向に設定する。また素子21aと21b、素子31aと31bの固定層磁化方向はそれぞれ反平行(180°)方向に設定し、素子21aと31aの固定層磁化方向は90°異なる向きに設定する。便宜的に、素子21a~21dで構成されるブリッジをXブリッジ、素子31a~31dで構成されるブリッジをYブリッジと呼ぶ。実際のブリッジ回路では21aと31a、21bと31b、21cと31c、21dと31dは互いの素子の長手方向が直交するように配置される。(詳細は図19、20で説明する)これらのブリッジ回路から出力される電圧 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} はそれぞれ下記の数式で算出される。

40

【 0 0 3 5 】

【数 8】

$$V_{x1} = \left(\frac{R_{21d}}{R_{21a} + R_{21d}} \right) \times V_{cc} \quad , \quad V_{x2} = \left(\frac{R_{21c}}{R_{21c} + R_{21b}} \right) \times V_{cc}$$

$$V_{y1} = \left(\frac{R_{31d}}{R_{31a} + R_{31d}} \right) \times V_{cc} \quad , \quad V_{y2} = \left(\frac{R_{31c}}{R_{31c} + R_{31b}} \right) \times V_{cc}$$

【0036】

V_{x1} - V_{x2} より出力電圧 V_x を、 V_{y1} - V_{y2} より出力電圧 V_y を得る。 V_x 及び V_y は略正弦波もしくは略余弦波の波形となるため、 V_x と V_y を用いて逆正接演算を行って演算角 θ_{calc} を算出し、基準軸に対する H_{app} の方向 θ_{app} との差が磁気センサの角度誤差 θ_{err} となる。

【0037】

[実施形態 1]

各 SVGM R 素子の配置角を表 1 に示した角度関係で変化させ、配置角が角度誤差に与える影響について検討を行った。なお固定層磁化方向は変化させていない。エネルギー計算時のパラメータとして、 $M_s = 800 \text{ emu/cc}$ 、 $H_k = 0.16 \text{ kA/m}$ 、 $H_{kd} = 1.6 \text{ kA/m}$ 、 $H_{app} = 24 \text{ kA/m}$ を用い、各素子の θ_{free} は固定層磁化方向と 90° をなすよう設定した。また、GMR 比を示す dR/R は 10% とし、 dR' は 0 とし AMR 効果は加味していない。具体例として、表 1 の条件 1 - 3 で設定した素子配置ならびにブリッジ接続を図 19 に示す。図 19 中、上のブリッジ回路の固定層磁化方向は図面水平方向に、下のブリッジ回路の固定層磁化方向は図面上下方向に設けている。上のブリッジ回路の右方向を 0° と規定した場合の各磁気抵抗効果素子 ($201a \sim 201d$) と、下のブリッジ回路の上方向を 0° と規定した場合の各磁気抵抗効果素子 ($203a \sim 203d$) の素子の長手方向の各角度 θ_{dip} は、下のそれぞれ表 1 に示した関係となる。(括弧内のマイナス表記は、請求項 2、請求項 4 の関係を満たすことがわかり易いように記載するものである。)

【0038】

10

20

30

【表 1】

表 1 素子配置角度 (θ_{dip}) 設定値

条件	θ_{dip} 設定値				備考	
	素子	201a, 201c	201b, 201d	203a, 203c		203b, 203d
1-1		0	180 (0)	0	180 (0)	比較例 1
1-2		5	175 (-5)	5	175 (-5)	
1-3		30	150 (-30)	30	150 (-30)	
1-4		40	140 (-40)	40	140 (-40)	実施例 1
1-5		45	135 (-45)	45	135 (-45)	比較例 2
1-6		85	95 (-85)	85	95 (-85)	
1-7		90	90 (-90)	90	90 (-90)	比較例 3
1-8		95 (-85)	85	95 (-85)	85	
1-9		140 (-40)	40	140 (-40)	40	
1-10		175 (-5)	5	175 (-5)	5	
1-11		180 (0)	0	180 (0)	0	

【0039】

【表 2】

θ	$\theta_{e r r a n g e}$ ($^{\circ}$)
35	0.4101
36	0.3438
37	0.2771
38	0.2102
39	0.1432
40	0.0762
41	0.1088
42	0.1763
43	0.2433
44	0.3099
45	0.3760

【0040】

図 4 に、 e_{err} 変化幅 ($e_{err range}$) の dip 依存性を示す。図 4 の dip_{R1} は、表 1 の dip 設定値における 201a, 201c の列のパラメータに相当する。また、表 1 に示した磁気抵抗効果素子 201a の素子配置角度 dip が $35^{\circ} \sim 4$

10

20

30

40

50

5°の時の、 e_{rr} の値を表2に示す。変化幅 e_{rr_range} とは、 a_{pp} を0から360°まで変化させた際の e_{rr} の最大値から最小値を引いた値である。変化幅が大きいほど、該素子配置で回転角度センサを構成した場合に角度誤差が大きいことを示す。磁気抵抗効果素子201aの素子配置角度を40°もしくは140°(-40°)とした場合(条件1-4および1-9)において、 e_{rr} 変化幅が0.076°で最も小さくなっている。磁気抵抗効果素子201aの素子配置角度が140°(-40°)である場合、ハーフブリッジを構成する他方の磁気抵抗効果素子201bの素子配置角度が40°となるので、これも本発明で規定する構成に含まれる。

一方、条件1-1では変化幅は約1.8°となった。このように、 e_{rr} は dip に大きく依存し、素子配置により角度誤差が大幅に変化することがわかる。表2から解るように、従来の素子配置角度 dip が45°のブリッジ回路とするよりも、素子配置角度 dip が36°以上45°未満にするブリッジ回路の方が角度誤差を減らせることができる。さらに好ましい素子配置角度 dip は37~43°の範囲であり、さらに好ましい素子配置角度 dip は39°~42°である。

【0041】

図5~図7に、表1の条件1-4(実施例1)と条件1-1(比較例1)、条件1-5(比較例2)、および条件1-7(比較例3)における e_{rr} の a_{pp} 依存性をそれぞれ示す。ここで、特許文献2及び3に示された素子配置は、条件1-5(比較例2)に相当する。 e_{rr} はそれぞれ、実施例1では最大で約0.04°、比較例1および比較例3では最大で約0.9°、比較例2では約0.19°となった。実施例1と比較例2とでは、 dip の差異は5°だけであるにもかかわらず、 e_{rr} の変化傾向は大きく異なっている。また比較例1と比較例3とでは、同じような素子配置であるにもかかわらず、 dip と固定層磁化方向との関係が異なることで、 e_{rr} の a_{pp} 依存性が異なっていることがわかる。これらの結果をふまえると、 dip と固定層磁化方向との関係で e_{rr} が異なることがわかる。

【0042】

これらの周期性についてさらに詳細に考察するため、図8および図9には発明例1、比較例1~3におけるそれぞれの e_{rr} の a_{pp} 依存性について、フーリエ級数展開により5次成分まで高調波解析を行った結果を示す。ここで1次及び2次高調波は高次の高調波に比べ圧倒的に小さく、また dip 依存性が小さいことから、図には3次から5次の高調波を示した。なお図9は縦軸を高調波発生率として示したものである。 e_{rr} が小さかった発明例1では全ての高調波が非常に小さく、その割合は3次および5次が4割、4次成分が2割程度含まれていることがわかる。一方で e_{rr} が大きかった比較例1~3では4次高調波が大きく出ており、発生率は4次が8割、3次および5次はそれぞれ1割程度であることがわかる。特に比較例1と比較例3のように、 dip を固定層磁化方向と直交もしくは平行とした場合には非常に大きい4次高調波が存在している。したがって、4次高調波の低減が e_{rr} の低減に大きく寄与していることがわかる。

【0043】

SVGM R膜を用いた磁気センサにおいて、数1及び数2に \sin^2 の項が存在することから、4次高調波が発生する主要因は形状もしくはSVGM R膜の自由層の磁気異方性、すなわち H_{kd} 及び H_k であると考えられる。図10には自由層の磁気異方性 H_k を変化させ、図4と同様に e_{rr} の dip 依存性を比較した結果を示す。 H_k はそれぞれ0.16kA/mから3.2kA/mまで変化させた。このとき $H_{kd} = 1.6kA/m$ とした。 H_k の低下に伴って、 e_{rr} の dip 依存性は低下する傾向が見られる。 e_{rr} の極小値は H_k の値に因らずほぼ同程度(約0.07~0.3°)であるが、極小値をとる dip は30~40°付近で変化している。また H_k が H_{kd} と等しくなる $H_k = 1.6kA/m$ の条件では、 $dip = 0°$ で極小値をとっている。これは H_k と H_{kd} が互いにキャンセルしあうためである。

【0044】

図11には同様に H_{kd} を変化させた結果を示す。 $H_k = 0.16kA/m$ とし、 H_{kd}

10

20

30

40

50

は 0.16 kA/m から 3.2 kA/m まで変化させた。 H_k を変化させた場合と同様、 H_{kd} の低下に伴い e_{rr} の dip 依存性は低下する傾向が見られ、 e_{rr} が極小となる dip の範囲も概ね $30 \sim 40^\circ$ 付近である。 e_{rr} の極小値は約 $0.04 \sim 0.13^\circ$ であった。また $H_{kd} = H_k$ となる条件では $dip = 0$ で e_{rr} が極小となる。このように、 H_k ならびに H_{kd} を低減することで角度誤差は小さくなることがわかる。

【0045】

但し、 H_k は自由層に用いる材料によって一義的に決まる。本検討では自由層に一般的に用いられる NiFe の H_k ($=$ 約 0.16 kA/m) を仮定したが、低 H_k を示す他の材料を採用することで、例えばヒステリシスの大小にかかわる保磁力などのパラメータが変化する可能性がある。また、例えば非磁性層を介した2層の強磁性層で自由層を構成する積層フェリ自由層などの構造を用いることで、巨視的な H_k を小さくできる可能性があるが、膜厚増加による分流損増加や感度低下を招きかねないことから現実的ではない。さらに H_{kd} について、センサ内の SVGM 素子は有限の長さを持つことから、素子形状の観点から H_{kd} を0に近づけることも容易ではない。しかしながら、本検討によれば固定層磁化方向と dip を適切な関係に保つ、具体的には $dip = 40^\circ$ とすることで、 SVGM 膜特性のばらつきによる H_k の変動や、素子形状による H_{kd} の変動に対して e_{rr} の増加を抑えることが可能となる。その結果検出精度の高い回転角度検出装置を得ることが可能となる。

【0046】

[実施形態2]

磁気センサ用 SVGM 素子は、消費電力を抑えるため素子抵抗を比較的大きくする必要があり、そのため素子の長手方向の寸法は数十 $\sim 100 \mu\text{m}$ 程度にまでなる。このように膜厚に対して素子長もしくは素子幅が大きい場合、 SVGM 膜の自由層の AMR 効果が無視できない。そこで実施形態1と同様に、 AMR 効果を加味した場合の dip と e_{rr} の関係について図12に示す。 dip の条件は表3に示すとおりとし、比較のため AMR 効果を加味しない結果(図4)を併記した。数7において、 SVGM 膜に対する自由層の膜厚比および NiFe 膜の比抵抗から、 AMR に寄与する抵抗の値を 7500 、 AMR 比を 0.3% と仮定して dR' を 22.5 と見積もった。実施形態1と同様、比較例5が特許文献2及び3に記載の素子配置と等価である。表3中、 dip 設定値の括弧内のマイナス表記は、請求項2, 請求項4, 請求項5の関係を満たすことがわかり易いように記載するものである。

【0047】

10

20

30

【表 3】

表 3 素子配置角度(θ_{dip})設定値

条件	θ_{dip} 設定値				備考
	素子	201a, 201c	201b, 201d	203a, 203c ; 203b, 203d	
2-1	0	180 (0)	0	180 (0)	比較例 4
2-2	5	175 (-5)	5	175 (-5)	
2-3	30	150 (-30)	30	150 (-30)	
2-4	40	140 (-40)	40	140 (-40)	
2-5	45	135 (-45)	45	135 (-45)	比較例 5
2-6	85	95(-85)	85	95(-85)	
2-7	90	90 (-90)	90	90 (-90)	比較例 6
2-8	95(-85)	85	95(-85)	85	
2-9	140(-40)	40	140(-40)	40	
2-10	175(-5)	5	175(-5)	5	
2-11	180(0)	0	180(0)	0	

【 0 0 4 8 】

θ_{dip} が 0° の条件 (表 3 の条件 2 - 1 : 比較例 4) もしくは 90° の条件 (表 3 の条件 2 - 7 : 比較例 6) で極小値 (約 2.6°) を示している、AMR 効果を加味しない場合と同じ結果をしめしている。一方で、 θ_{dip} が 45° の条件 (表 3 の条件 2 - 5 : 比較例 5) においては、AMR を加味すると角度誤差は増大し、極大値 (約 47°) を示している。これらの素子配置はいずれも、同一ブリッジ内の各素子対において電流の流れる向きが逆方向となっており、角度誤差に対する AMR 効果の寄与はセンス電流の流れる向き、すなわち素子形状に依存しているといえる。“素子対”は図 19 でいうと、201a と 201c、又は 201b と 201d である。

【 0 0 4 9 】

そこで、図 20 に示すように、固定層磁化方向が同一の素子をブリッジ内で非平行に配置して同様の検討を行った。 θ_{dip} の設定値は表 4 のとおりとした。一方のハーフブリッジの電源端子側に配置される磁気抵抗効果素子と、他方のハーフブリッジの接地端子側に配置される磁気抵抗効果素子の素子配置を非平行にした。具体的には、素子 211a と 211d の対、素子 211b と 211c をそれぞれ同じ角度に設定し、素子 211a と素子 211c を非並行に、素子 211b と素子 211d を非並行に設定した。Yブリッジ (素子 213a ~ 213d) についても同様である。固定層磁化方向は実施形態 1 と同じく素子 211a と 211c、211b と 211d とで同一で、素子配置角度がそれぞれ異なっていることになる。

図 20 は表 4 の条件 3 - 4 で設定した素子配置である。図 20 中、上のブリッジ回路の固定層磁化方向は図面水平方向に、下のブリッジ回路の固定層磁化方向は図面上下方向に設けている。上のブリッジ回路の右方向を 0° と規定した場合の各磁気抵抗効果素子 (211a ~ 211d) と、下のブリッジ回路の上方向を 0° と規定した場合の各磁気抵抗効果素子 (213a ~ 213d) の素子の長手方向の各角度 θ_{dip} は、下のそれぞれ表 4 に示した関係となる。また、磁気抵抗効果素子 211a の素子配置角度 θ_{dip} が $35^\circ \sim 45^\circ$ の時の $error$ の値を表 5 に示す。

【0050】

【表4】

表4 素子配置角度(θ_{dip})設定値

条件	θ_{dip} 設定値				備考	
	素子	211b, 211c	211a, 211d	213b, 213c		213a, 213d
3-1		0	180 (0)	0	180 (0)	比較例 8
3-2		5	175 (-5)	5	175 (-5)	
3-3		30	150 (-30)	30	150 (-30)	
3-4		40	140 (-40)	40	140 (-40)	実施例 2
3-5		45	135 (-45)	45	135 (-45)	比較例 7
3-6		85	95(-85)	85	95(-85)	
3-7		90	90 (-90)	90	90 (-90)	
3-8		95(-85)	85	95(-85)	85	
3-9		140(-40)	40	140(-40)	40	
3-10		175(-5)	5	175(-5)	5	
3-11		180(0)	0	180(0)	0	

【0051】

【表5】

θ	$\theta_{err range}$ ($^{\circ}$)
35	0.6087
36	0.5139
37	0.4187
38	0.3232
39	0.2275
40	0.1317
41	0.0360
42	0.0595
43	0.1547
44	0.2494
45	0.3435

【0052】

図12と同様に、AMR効果を加味した θ_{err} 変化幅 ($\theta_{err range}$) の θ_{dip} 依存性を図13に示す。また、表4に示した磁気抵抗効果素子201bの素子配置角度

10

20

30

40

50

dip が $35^\circ \sim 45^\circ$ の時の、 e_{rr} range の値を表 5 に示す。変化幅 e_{rr} range とは、 a_{pp} を 0 から 360° まで変化させた際の e_{rr} の最大値から最小値を引いた値である。変化幅が大きいほど、該素子配置で回転角度センサを構成した場合に角度誤差が大きいことを示す。

一方のハーフブリッジの電源端子側に配置される磁気抵抗効果素子と、他方のハーフブリッジの接地端子側に配置される磁気抵抗効果素子の素子配置を非平行にすると、 e_{rr} は AMR 効果を加味する前の実施例 2 の図 4 (AMR 寄与無) とほぼ同等の値を示し、 dip を 40° (表 4 の 3-4 : 発明例 2) とした条件で e_{rr} は約 0.13° まで小さくなった。また固定層磁化方向が同一の素子が互いに素子長手方向の直交する素子配置、すなわち表 4 の 3-5 (比較例 7) では e_{rr} は約 0.34° である。このことから、素子を直交に配置してセンス電流の方向を 90° にしても、角度誤差は必ずしも最小にはならないことがわかり、素子配置角度によってさらに角度誤差を小さくできることが明らかとなった。

表 5 から解るように、従来の素子配置角度 dip が 45° のブリッジ回路とするよりも、素子配置角度 dip が 38° 以上 45° 未満にするブリッジ回路の方が角度誤差を減らせることができる。さらに好ましい素子配置角度 dip は $39^\circ \sim 44^\circ$ の範囲であり、さらに好ましい素子配置角度 dip は $40^\circ \sim 43^\circ$ である。

【0053】

誤差低減効果について詳細に検討するため、 e_{rr} の dip 依存性について 5 次までの高調波解析を行った。素子平行配置 (表 3 の条件) の比較例 4 ~ 6 の結果を図 14 に、素子非平行配置 (表 4 の条件) の発明例 2 と比較例 7 の結果を図 15 にそれぞれ示す。素子平行配置の場合、 e_{rr} が比較的小さかった比較例 4 及び比較例 6 で現れる高調波はほぼすべて 4 次であることがわかる。一方 e_{rr} が大きい比較例 5 では 5 次までの全ての高調波が含まれており、1 次および 3 次高調波が特に大きいことがわかる。数 7 から AMR 効果の項は 4 次高調波として現れるはずだが、素子配置との兼ね合いで 3 次が大きくなっていると推察される。

【0054】

一方、素子非平行配置については、発明例 2、比較例 7 どちらの素子配置でも 4 次以外の高調波は非常に小さく、その値は発明例 2 の方が小さくなっている。図 16 では dip を 45° に設定し、各素子が直交に配置されている比較例 5 と比較例 7 とを比較し、素子配置を平行もしくは非平行とした場合の高調波解析結果を示す。素子配置を非平行にした比較例 7 では、比較例 5 に比べ全ての次数の高調波が大幅に抑えられており、比較例 7 で唯一存在する 4 次高調波も半減していることがわかる。このことから e_{rr} の低減には 1 次もしくは 3 次高調波をほぼ 0 に近い値にまで小さくし、さらに 4 次高調波を低減する素子配置にすることが必要である。

【0055】

[実施形態 3]

SVGM R 膜において、種々の磁気特性のうちもっとも変動しやすいパラメータは H_{int} である。 H_{int} は中間層を介した固定層と自由層との間に働く磁界であることから、中間層膜厚による変動や中間層表面のラフネスによるオレンジピール効果、さらには動作温度や環境温度といった温度パラメータによって変動しやすいためである。そこで本発明で得られた最適な素子配置、発明例 2 の条件で H_{int} 変動に対する e_{rr} の変化挙動を計算した。結果を図 17 に示す。ここで各素子の H_{int} の値は、R1 と R4 (図 20 の 211a と 211d に相当)、R2 と R3 (同 211b と 211c)、R5 と R8 (同 213a と 213d)、R6 と R7 (同 213b と 213c) をそれぞれ等しく設定し、また R1 と R2、R5 と R6 はそれぞれ符号が異なっている。例えば R1 の H_{int} 、すなわち (H_{int_R1}) を $+0.8 \text{ kA/m}$ とした場合、 $H_{int_R2} = -0.8 \text{ kA/m}$ 、 $H_{int_R3} = -0.8 \text{ kA/m}$ 、 $H_{int_R4} = +0.8 \text{ kA/m}$ である。図中横軸は H_{int_R5} の値を示す。全ての H_{int} は -0.8 から $+0.8 \text{ kA/m}$ まで変化させた。 H_{int_R1} の値が小さくなるにつれ e_{rr} は小さくなり、 H_{i}

10

20

30

40

50

H_{int_R5} が概ね H_{int_R1} の値と符号が逆転した値をとるときに e_{rr} が最小を示している。また H_{int_R1} が 0.16 kA/m 以下の条件で e_{rr} が 1° 以下となり、 H_{int_R1} が 0.4 kA/m 以上の場合でも H_{int_R5} が $\pm 0.4 \text{ kA/m}$ 以内であれば e_{rr} が 1° 以下となっている。このことから、本発明の素子配置をとることで素子間の H_{int} の変動が $\pm 0.4 \text{ kA/m}$ より小さい値であれば、 H_{int} による角度誤差の増加を抑制できることは明らかである。すなわち、SVGM R膜成膜時の中間層膜厚変動や、高温動作時の H_{int} 変動に対して耐性の高い磁気センサを得ることが可能となる。

【0056】

[実施形態4]

図18には本発明に係る回転角度検出装置の構成を示す。該装置はパターンニングしたSVGM R膜をブリッジ接続してなる磁気センサ31と、径方向にNS2極に着磁した円盤状の永久磁石33とを対向して配置した。磁石取り付け治具34はシャフト34b(回転体)と機械的に接続され、永久磁石33の回転に伴い漏洩磁界の分布が変化する。図18中、1点鎖線は回転中心軸に相当する。永久磁石33と磁気センサ32間の実線の矢印32は磁力線を表す。この構成によって、磁気抵抗効果素子面内方向の磁界変化を磁気センサで検出した。磁気センサ31及びシャフト34bを支持するフレームの図示は省略した。このような構成の回転角度検出装置の磁気センサにおいて、本発明で得られた素子配置をとることにより、素子形状に起因する H_{kd} のばらつきや、SVGM R膜特性に起因する H_k ならびに H_{int} のばらつきなど、磁気センサ作成に係る変動に対して耐性が高い磁気センサを得ることができ、これを具備した高精度の回転角度検出装置を得ることができた。

【0057】

本発明に係る他の回転角度検出装置の構成は、図18において磁気センサ31の位置を磁気センサ31'の位置に変更したものである。磁気センサ31'はその基板面が永久磁石の外周面と対向しており、前記基板面が回転中心軸と平行である。この構成も出力の歪を低減することができる。

【0058】

図19には、上述の磁気センサにおける、2個のブリッジ回路201, 203を構成する素子の配置を示す。一方のブリッジ回路201は、基板(図示省略)上に4個のSVGM R素子201a~201dをパターンニングで形成すると共に、配線(太線で図示した)で素子を接続している。電源端子(Vcc)には素子201c及び素子201bを接続し、グランド端子(GND)には素子201a及び素子201dを接続し、一方の出力端子(Vx1)には素子201a及び素子201bを接続し、他方の出力端子(Vx2)には素子201d及び素子201cを接続する。1点鎖線で示した軸202は固定層磁化方向と平行な向きを表す。この軸202に対して、素子201aの長手方向は $\theta = 40^\circ$ の角度で配置され、素子201bの長手方向は 140° (-40°) の角度で配置されている(θ は反時計方向の角度)。軸202に対して、素子201cの長手方向は $\theta = 40^\circ$ の角度で配置され、素子201dの長手方向は 140° (-40°) の角度で配置されている。軸に平行にした各素子の固定層磁化方向は太い矢印で示す。固定層磁化方向が同一である組み合わせは、素子201aと素子201cの組と、素子201bと素子201dの組である。

他方のブリッジ回路203は、素子203a~203dを接続したものである。各素子は、ブリッジ回路201の各磁気抵抗効果素子の長手方向に対して直行する方向に形成されている。その軸204は、出力端子 V_{y1} 及び V_{y2} を結ぶ向きではなく、前記軸202と直交する向きになっている。各ブリッジ回路内で、固定層磁化方向が同じ方向である素子同士は、長手方向が平行となるように配置している(素子配置: 平行)。

【0059】

図20には、2個のブリッジ回路211, 213を構成する素子の配置を示す。各ブリッジ回路内で、固定層磁化方向が同じ方向である素子同士は、長手方向が非平行となるよう

10

20

30

40

50

に配置している（素子配置：非平行）。図19のブリッジにおいて、 $V \times 1$ 側の素子を縦方向の軸に対して反転させると、図20の素子配置と同様になる。素子211a~d、213a~dの形状は、図19と同様、矩形である。

【0060】

図28には、図20で示したブリッジ回路における素子配置をより具体的に示したものである。図中矢印XならびにYはそれぞれ素子を形成したセンサチップの辺方向である。また図29は図28の素子配置を、ピン止め方向と共に模式的に示したものである。ピン止め方向を同じくする磁気抵抗効果素子311aおよび311c（図中点線で囲んである。以下同様。）の素子長手方向は、ピン止め方向に対し 40° の角度を為している。一方これらの素子とハーフブリッジを形成する磁気抵抗効果素子311bおよび311dも、同じようにピン止め方向に対し 40° の角度を為している。しかしながら、点線で括っている部分のように、311aと311cならびに311bと311dの素子対はそれぞれ素子長手方向が平行ではないため、AMR効果をキャンセルする素子配置となっている。

10

【0061】

図29において、素子311cと素子311b及び素子313aと素子313dは図形的に等価であることから、これらの素子配置を入れ替えたブリッジ回路を図30に示す。この素子配置とした場合でも、素子長手方向とピン止め方向との関係は変わっていない。配線が交差する部分は、配線層間に絶縁層などを形成することでブリッジ間の絶縁を取ることができる。さらに図31および図32には別の素子配置の例を示す。図29と比較して隣り合う素子と為す角度が異なっているが、素子長手方向とピン止め方向との関係は同じである。

20

【0062】

このような素子の入れ替えはピン止め方向を成膜時に自由に設定できるSVGMR膜により実現可能であり、さらには成膜時の磁界印加方向を任意に設定できる成膜装置を用いることで、素子配置の自由度はさらに高まる。図33は図29の素子配置を素子面内方向に 45° 回転させて形成したブリッジ回路である。各素子のピン止め方向を図29からそれぞれ 45° 回転させることにより、素子配置をさらに密にすることも可能である。すなわち、素子長手方向とピン止め方向との角度関係を最適に設定することにより、SVGMR膜の特性変動に対して耐性が高く、自由な素子配置が可能で、出力歪が小さく角度誤差を低減できる磁気センサならびに回転角度検出装置を得ることができる。また、図33の構成において一部の磁化の向きを変更することも可能であり、図34に示す。さらに他の可能な例を図35、図36に示す。

30

【0063】

なお、図37には特許文献2に記載された素子配置の一例を示す。図38には矢印100に固定層の磁化方向が示されているが、ピン止め方向が 90° 方向を向いた素子に対して反平行のピン止め方向を有する素子が存在しないため、この素子配置でブリッジ回路を形成しても出力端子からは同相の出力しか得られず、フルブリッジ出力が得られない。また、素子配置については図38以外の構成については記載がなく、出力歪が最小となる素子配置について検討しているものではない。仮に図38で示された方向と異なる方向にピン止め方向を設定し、本発明と同様の定義でピン止め方向を設定したとすると、素子間の相対角が 90° となるため、段落0039で述べたように、この素子配置は本発明の $d_{ip_R1} = 45^\circ$ に相当する。この条件での角度誤差は図4に実線で示した値となり、 $36^\circ < d_{ip_R1} < 45^\circ$ に設定することで従来技術より角度誤差や出力歪の小さい磁気センサが得られることは明らかである。

40

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】磁気抵抗効果膜の構成を示す断面図である。

【図2】磁気抵抗効果素子が受ける磁気エネルギーの模式図である。

【図3】磁気センサを構成する磁気抵抗効果素子をブリッジ接続した回路図を示す。

【図4】磁気抵抗効果素子の d_{ip} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出

50

したグラフである。

【図5】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図6】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図7】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図8】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化から高調波成分を計算より算出したグラフである。

【図9】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化から高調波成分を計算より算出したグラフである。 10

【図10】磁気抵抗効果素子の d_{ip} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図11】磁気抵抗効果素子の d_{ip} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図12】磁気抵抗効果素子の d_{ip} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図13】磁気抵抗効果素子の d_{ip} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図14】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化から高調波成分を計算より算出したグラフである。 20

【図15】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化から高調波成分を計算より算出したグラフである。

【図16】磁気抵抗効果素子の a_{pp} による角度誤差変化から高調波成分を計算より算出したグラフである。

【図17】磁気抵抗効果素子の H_{int} による角度誤差変化をシミュレーションにより算出したグラフである。

【図18】回転角度検出装置の正面図を示す。

【図19】磁気抵抗効果素子の配置形態を示す。

【図20】磁気抵抗効果素子の別の配置形態を示す。 30

【図21】直線で形成した磁気抵抗効果素子の形状を示す。

【図22】円形で形成した磁気抵抗効果素子の形状を示す。

【図23】円形で形成した磁気抵抗効果素子の別の形状を示す。

【図24】半円で形成した磁気抵抗効果素子の形状を示す。

【図25】半円で形成した磁気抵抗効果素子の別の形状を示す。

【図26】六角形で形成した磁気抵抗効果素子の別の形状を示す。

【図27】磁気抵抗効果膜の別の構成を示す断面図である。

【図28】磁気抵抗効果素子の具体的な配置ならびにブリッジ回路構成を示す。

【図29】磁気抵抗効果素子とピン止め方向の関係、及びブリッジ回路構成を示す。

【図30】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。 40

【図31】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。

【図32】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。

【図33】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。

【図34】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。

【図35】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。

【図36】別の磁気抵抗効果素子の配置例を示す。

【図37】公知例で示された素子配置の一例を示す。

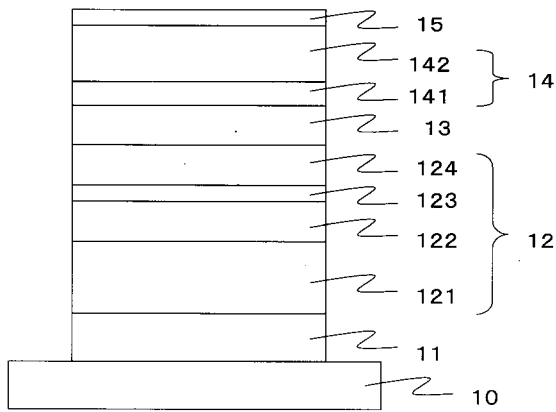
【図38】公知例で示された素子配置の一例を示す。

【符号の説明】

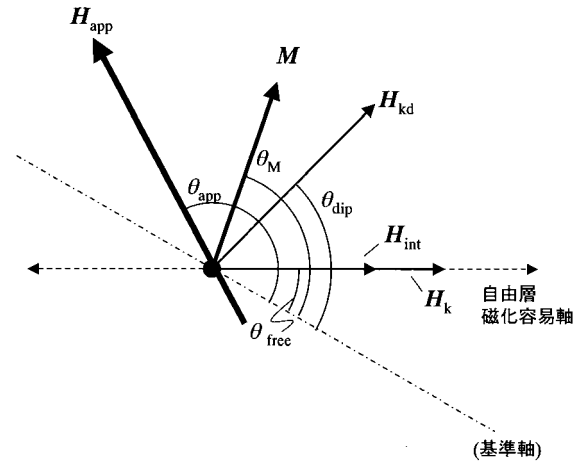
【0065】 50

1 0	: 基板	
1 1	: 下地膜	
1 2	: 固定層	
1 3	: 中間層	
1 4	: 自由層	
1 5	: 保護層	
1 2 1	: 反強磁性層	
1 2 2	: 第 1 の強磁性層	
1 2 3	: 反平行結合層	
1 2 4	: 第 2 の強磁性層	10
1 4 1	: 第 1 の強磁性層	
1 4 2	: 第 2 の強磁性層	
2 1 a ~ 2 1 d、3 1 a ~ 3 1 d	: S V G M R 素子	
3 1	: 磁気センサ	
3 2	: 磁力線	
3 3	: 永久磁石	
3 4	: 磁石取り付け冶具	
3 4 b	: シャフト	
2 0 1, 2 0 3, 2 1 1, 2 1 3	: ブリッジ回路	
2 0 1 a ~ 2 0 1 d, 2 0 3 a ~ 2 0 3 d	: S V G M R 素子	20
2 1 1 a ~ 2 1 1 d, 2 1 3 a ~ 2 1 3 d	: S V G M R 素子	
2 0 2, 2 0 4, 2 1 2, 2 1 4	: 軸	
2 2 1, 2 3 1, 2 4 1, 2 5 1, 2 6 1	: S V G M R 素子	
2 7 1, 2 8 1, 2 9 1, 3 0 1, 3 1 1	: S V G M R 素子	
2 2 2	: 電流の方向	
2 2 3	: 通電用端子	
3 1 1 a ~ 3 1 1 d, 3 1 3 a ~ 3 1 3 d	: S V G M R 素子	

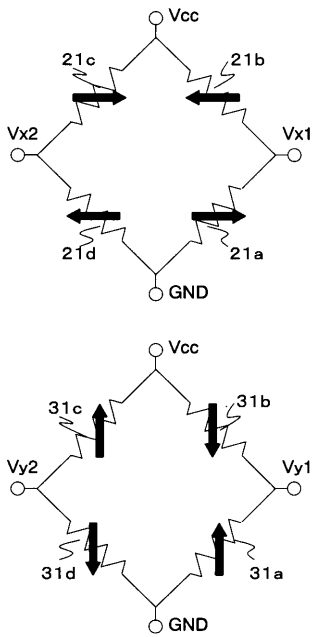
【 図 1 】



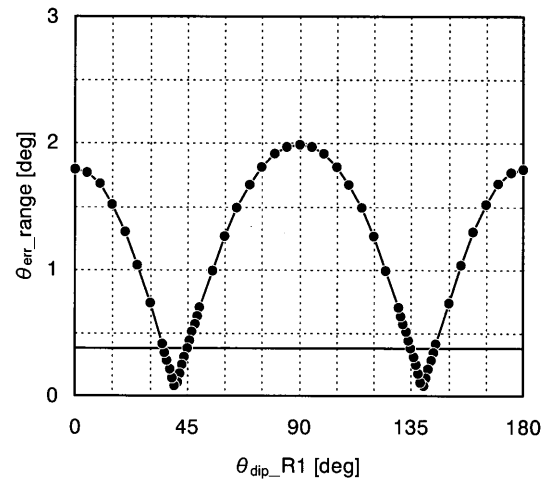
【 図 2 】



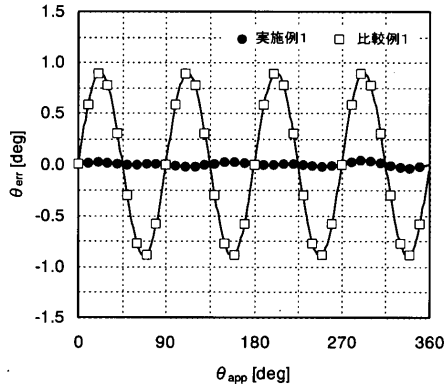
【 図 3 】



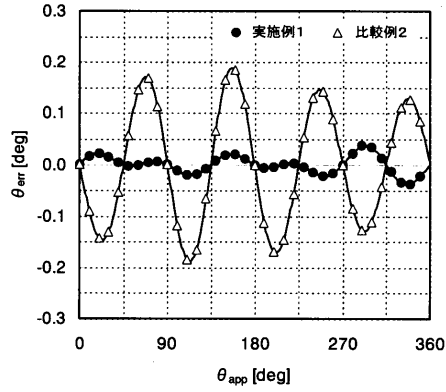
【 図 4 】



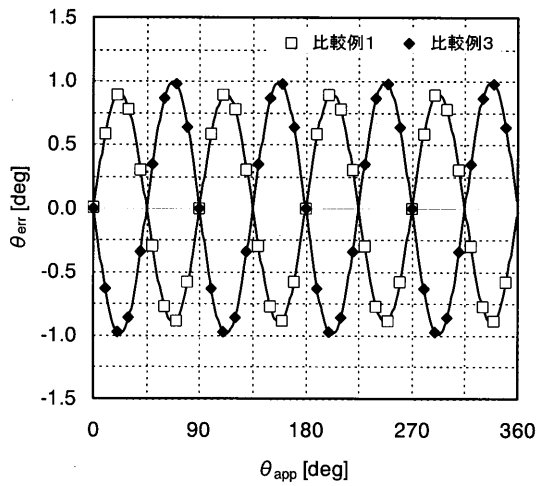
【 図 5 】



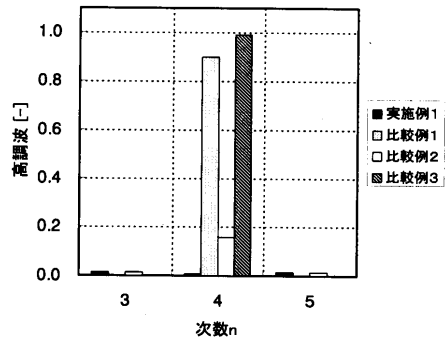
【 図 6 】



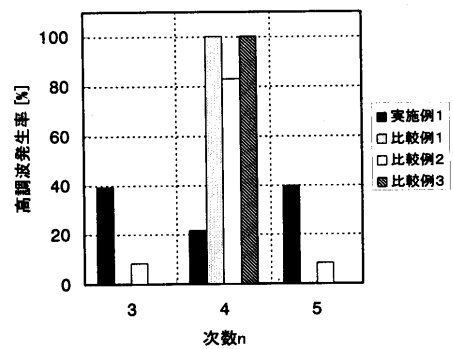
【 図 7 】



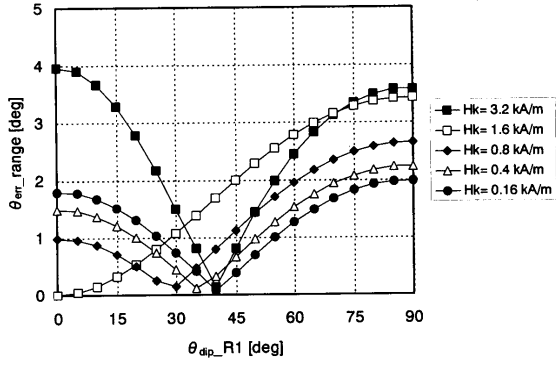
【 図 8 】



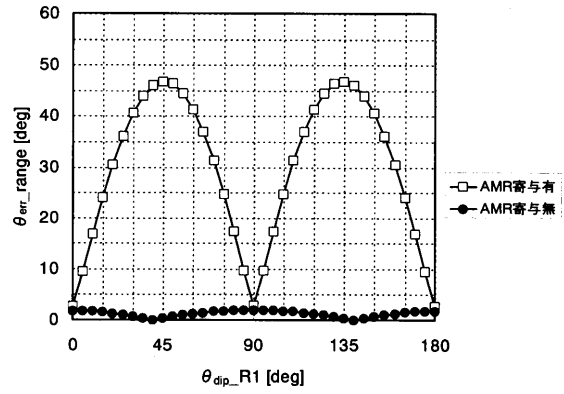
【 図 9 】



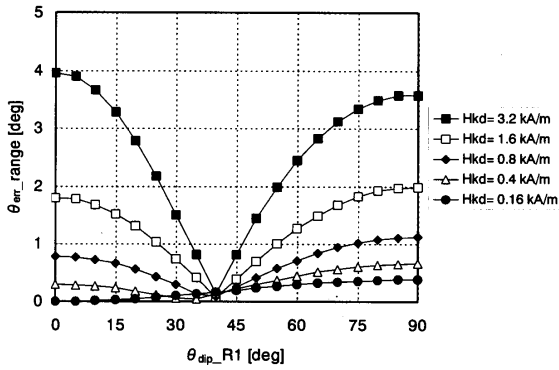
【 10 】



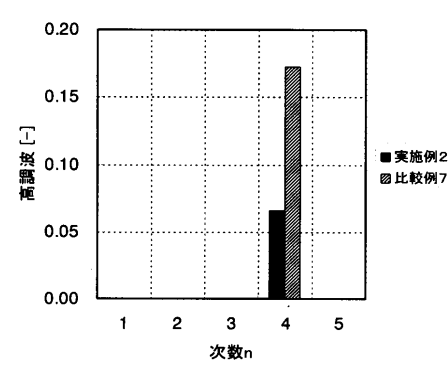
【 12 】



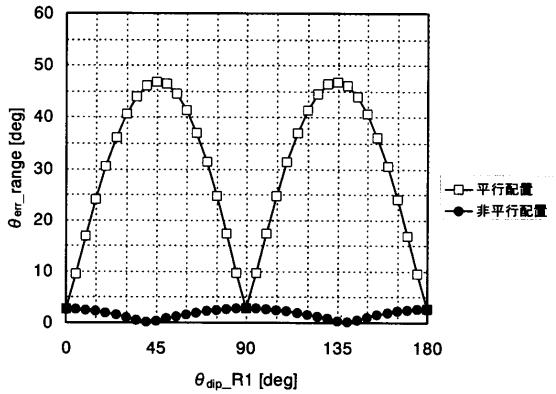
【 11 】



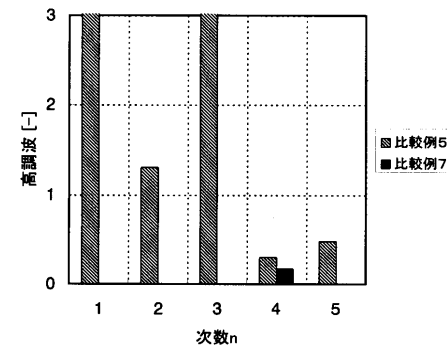
【 15 】



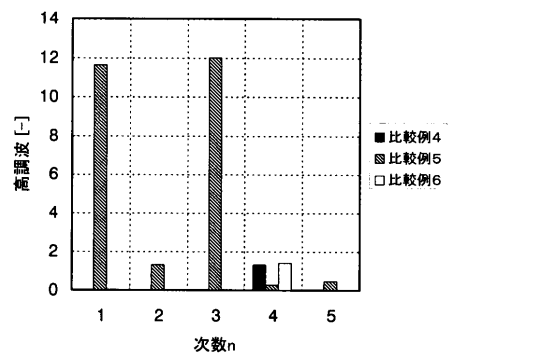
【 13 】



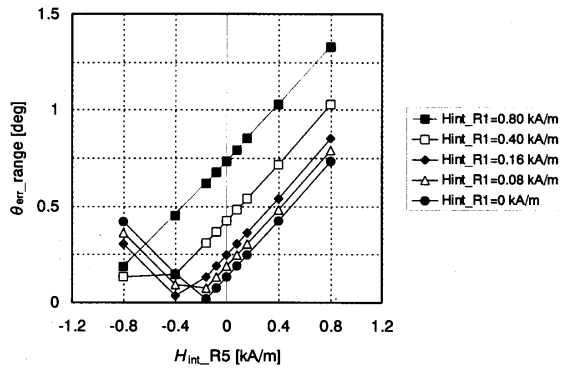
【 16 】



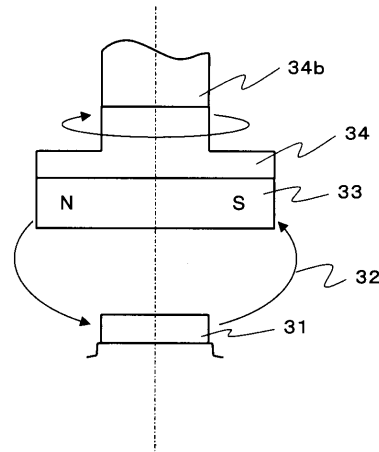
【 14 】



【 図 17 】

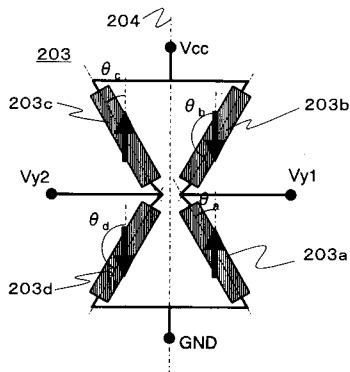
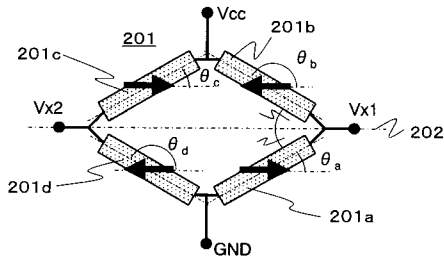


【 図 18 】



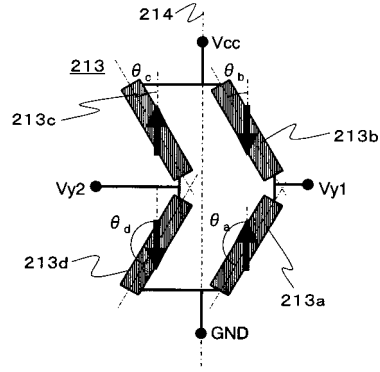
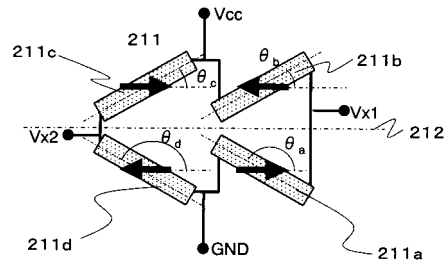
【 図 19 】

素子配置: 平行



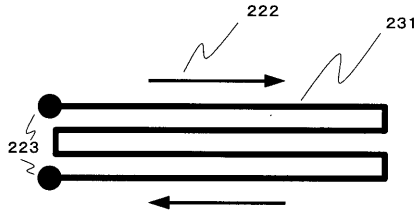
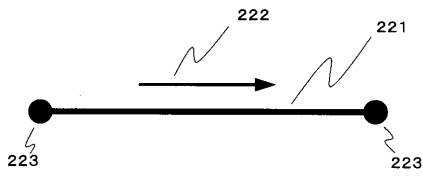
【 図 20 】

素子配置: 非平行



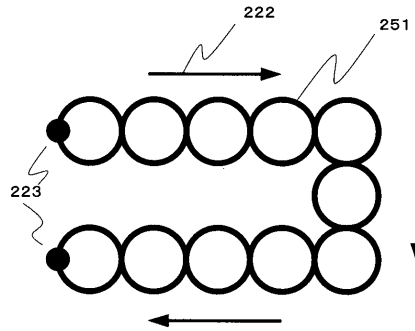
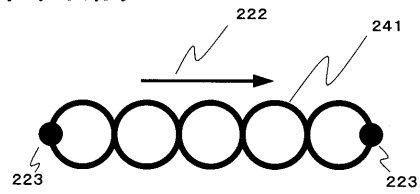
【図 2 1】

素子パターン:直線



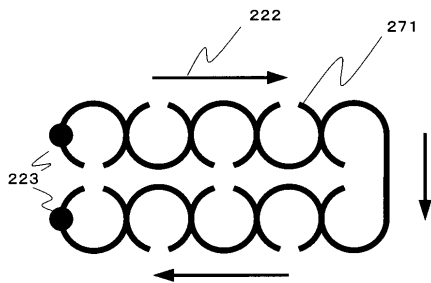
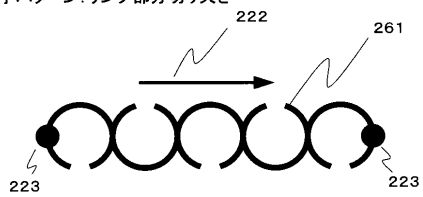
【図 2 2】

素子パターン:リング



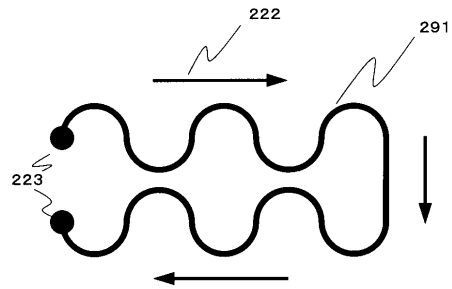
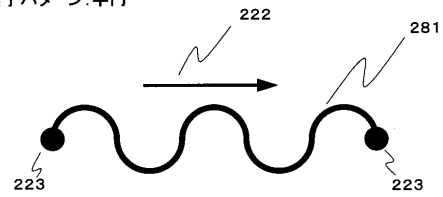
【図 2 3】

素子パターン:リング部分切り欠き



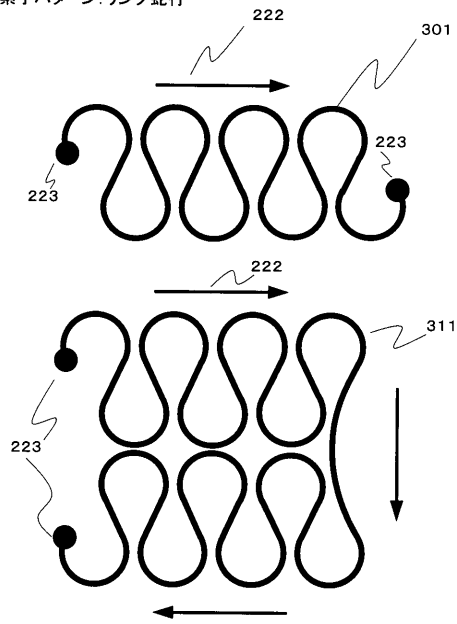
【図 2 4】

素子パターン:半円



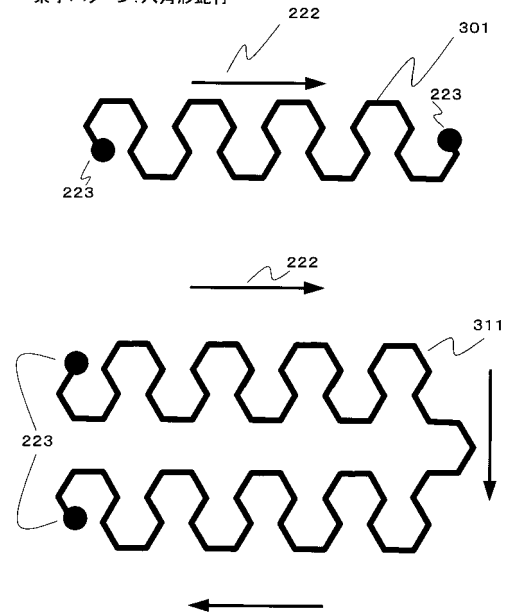
【図 25】

素子パターン: リング蛇行

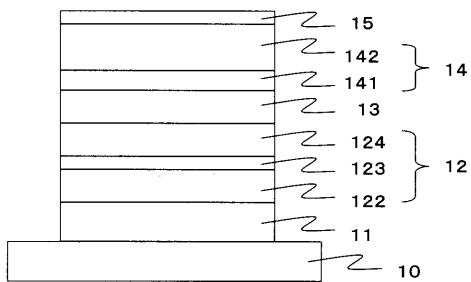


【図 26】

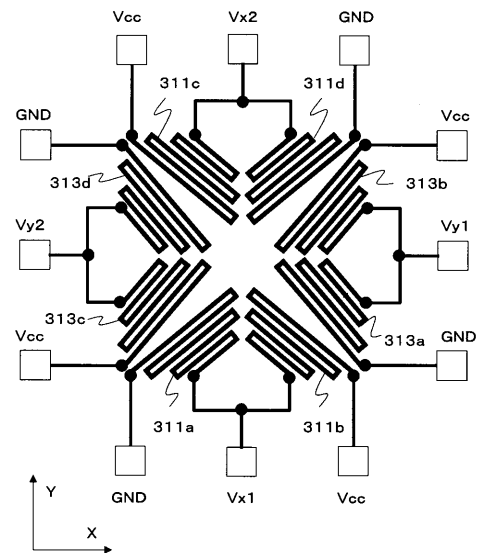
素子パターン: 六角形蛇行



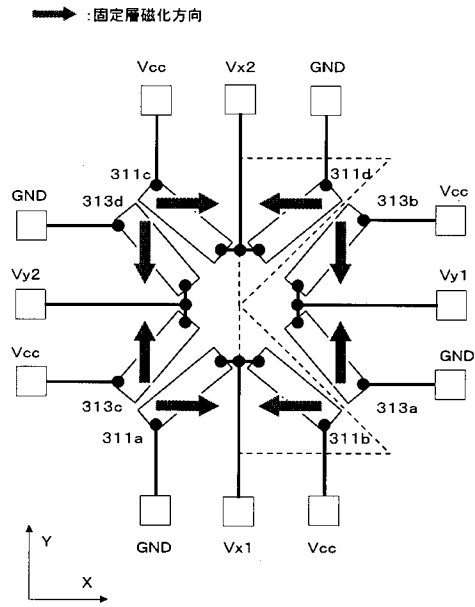
【図 27】



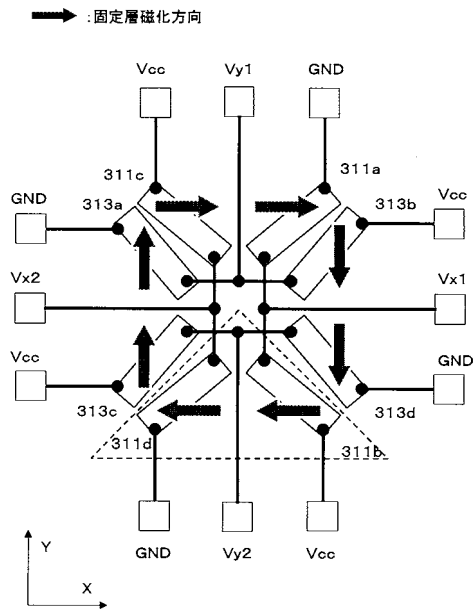
【図 28】



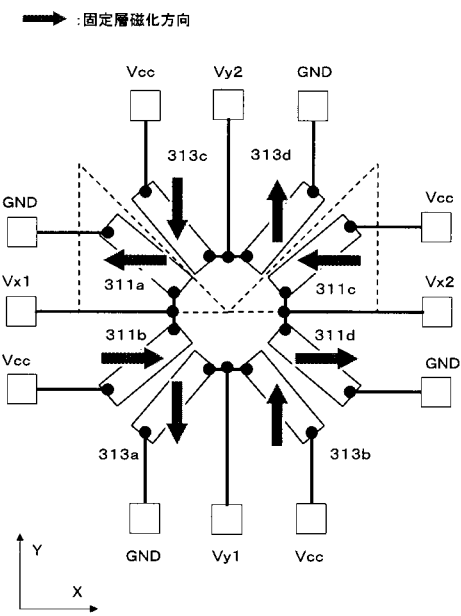
【図 29】



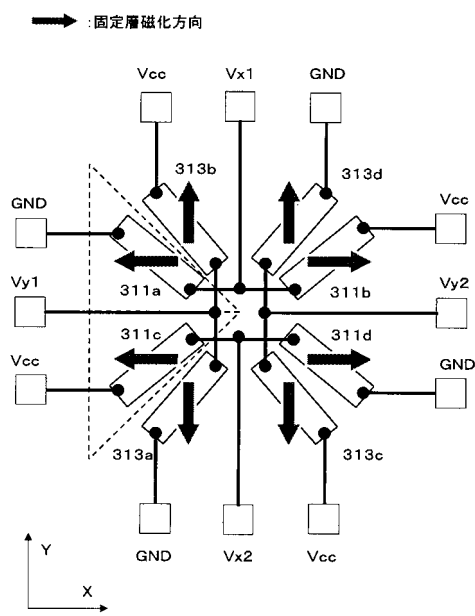
【図 30】



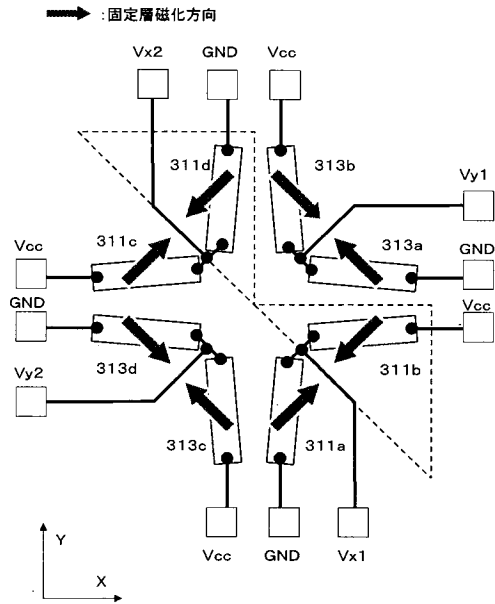
【図 31】



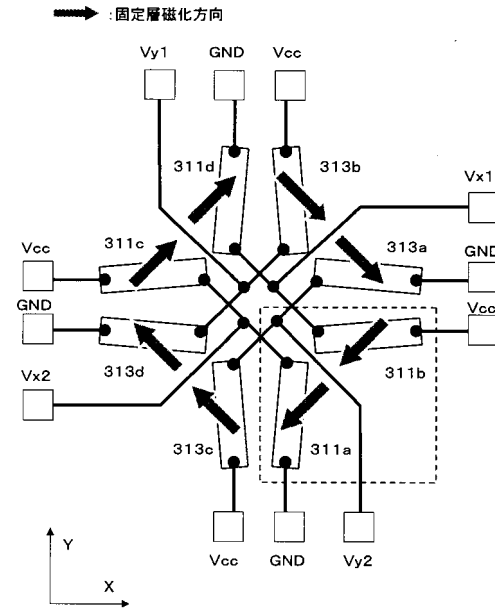
【図 32】



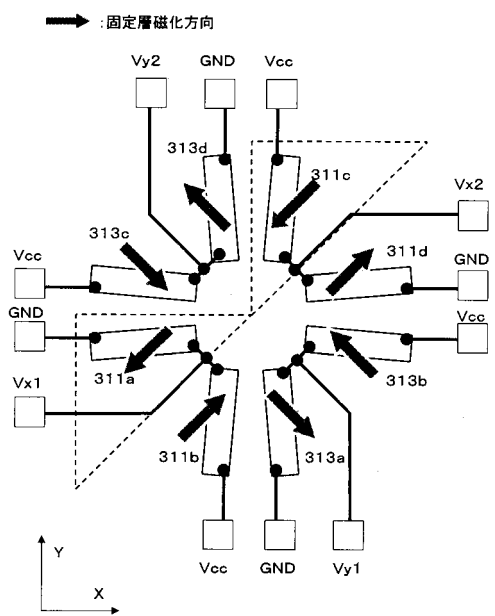
【図 3 3】



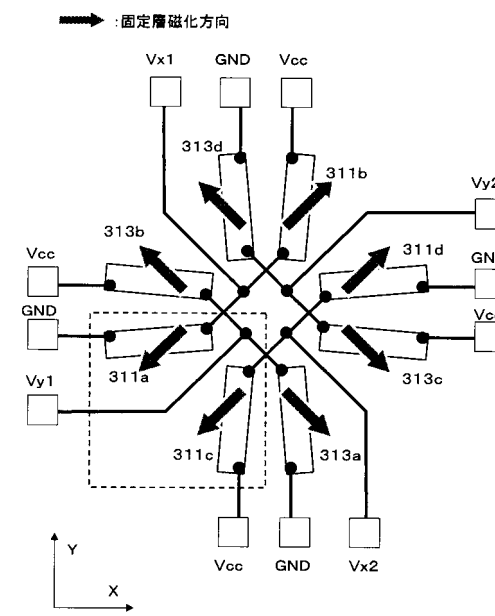
【図 3 4】



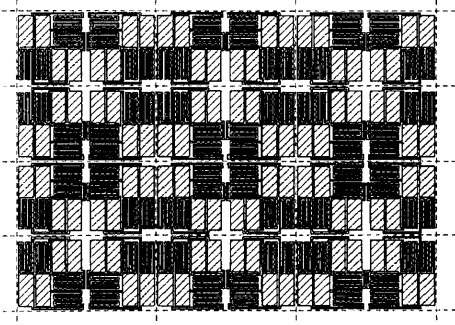
【図 3 5】



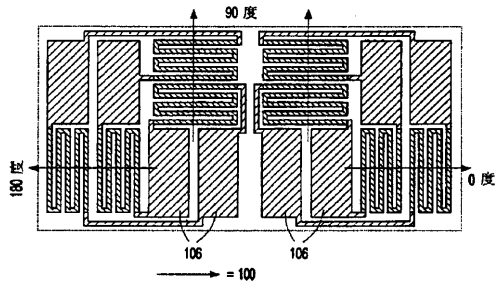
【図 3 6】



【 図 3 7 】



【 図 3 8 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-209311(JP,A)
特表2004-504713(JP,A)
特開平10-97709(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01D 5/00 - 5/252
G01D 5/39 - 5/62
G01B 7/00 - 7/34
G01R33/00 - 33/26