

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-129196

(P2007-129196A)

(43) 公開日 平成19年5月24日(2007.5.24)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
<b>H01L 29/82</b>	<b>(2006.01)</b>	H01L 29/82	Z	2G017
<b>G11B 5/33</b>	<b>(2006.01)</b>	G11B 5/33		5F092
<b>G01R 33/09</b>	<b>(2006.01)</b>	G01R 33/06	R	

審査請求 有 請求項の数 24 O L (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2006-248062 (P2006-248062)	(71) 出願人	000005049 シャープ株式会社
(22) 出願日	平成18年9月13日 (2006.9.13)		大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(31) 優先権主張番号	特願2005-289567 (P2005-289567)	(74) 代理人	100089196 弁理士 梶 良之
(32) 優先日	平成17年10月3日 (2005.10.3)	(74) 代理人	100104226 弁理士 須原 誠
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100127203 弁理士 奈良 泰宏
		(72) 発明者	宮西 晋太郎 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内
		(72) 発明者	荻本 泰史 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

最終頁に続く

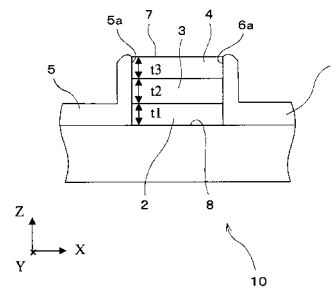
(54) 【発明の名称】 電磁界検出素子、電磁界検出センサ、電磁界検出回路、磁気記録再生ヘッド、情報記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 AB効果又はAC効果を利用した高効率の電磁界検出を常温下において行えるようにする。

【解決手段】 電磁界検出素子10は、積層された3つの絶縁層2、3、4を有している。絶縁層3の絶縁破壊電界は絶縁層2、4の絶縁破壊電界よりも大きい。3つの絶縁層2、3、4は一对の電極5、6に挟まれている。Z方向に関する電極5、6の対向面5a、6aの重複範囲の両端境界7、8と絶縁層3との間は、それぞれ、絶縁層2、4の厚みt1、t3だけ離隔している。絶縁層2、4を絶縁破壊させつつ絶縁層3を絶縁破壊させない大きさの電界を一对の電極5、6間に印加すると、一对の電極5、6間に絶縁層3を挟む2つの弾道的な電流経路が形成される。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、

前記対向面に沿った一方向に関する前記対向面の重複範囲の両端境界からそれぞれ離隔しつつ前記重複範囲内に収まるように前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第 1 の絶縁体とを備えていることを特徴とする電磁界検出素子。

## 【請求項 2】

互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、 10

前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第 1 の絶縁体とを備えており、

前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分を絶縁破壊させつつ前記第 1 の絶縁体を絶縁破壊させない大きさの電界を前記一对の対向電極間に印加した際に、前記一对の対向電極間に前記第 1 の絶縁体を挟む 2 つの弾道的な電流経路が形成されることを特徴とする電磁界検出素子。

## 【請求項 3】

前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分には、前記第 1 の絶縁体を挟みつつ前記第 1 の絶縁体と接触する第 2 及び第 3 の絶縁体が配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の電磁界検出素子。 20

## 【請求項 4】

前記対向面に沿った一方向に関する前記第 2 及び第 3 の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程以下であることを特徴とする請求項 3 に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 5】

前記第 2 及び第 3 の絶縁体が、前記一对の対向電極に係る 2 つの前記対向面の両方と接触していることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 6】

前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体が、互いに平行な表面を有する積層構造を形成していることを特徴とする請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。 30

## 【請求項 7】

前記対向面が、前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体の表面と直交していることを特徴とする請求項 3 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 8】

前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体の少なくともいずれか 1 つが、3 以上の透磁率を有する材料からなることを特徴とする請求項 3 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 9】

前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体の少なくともいずれか 1 つが、4 以上の誘電率を有する材料からなることを特徴とする請求項 3 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。 40

## 【請求項 10】

前記一对の対向電極に係る 2 つの前記対向面の最短距離が 100 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 11】

前記対向面に沿った一方向に関する前記第 1 の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程の 2 倍以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 12】

前記対向面に沿った一方向に関する前記第 1 の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程以下であることを特徴とする請求項 11 に 50

記載の電磁界検出素子。

【請求項 13】

前記対向面には、少なくとも2つの段差部が形成されていることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の電磁界検出素子。

【請求項 14】

前記第1の絶縁体が、前記一对の対向電極に係る2つの前記対向面の少なくともいずれか一方と接触していることを特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載の電磁界検出素子。

【請求項 15】

請求項1～14のいずれか1項に記載の電磁界検出素子と、  
前記電磁界検出素子において前記一对の対向電極間に形成される2つの電流経路の少なくともいずれか一方を通過するキャリアの位相をシフトさせる位相シフト部材とを備えていることを特徴とする電磁界検出センサ。

10

【請求項 16】

前記位相シフト部材が、磁界発生源であることを特徴とする請求項15に記載の電磁界検出センサ。

【請求項 17】

前記位相シフト部材が、電界発生源であることを特徴とする請求項15に記載の電磁界検出センサ。

【請求項 18】

前記位相シフト部材が、電磁波発生源であることを特徴とする請求項15に記載の電磁界検出センサ。

20

【請求項 19】

前記位相シフト部材が、近接場発生源であることを特徴とする請求項15に記載の電磁界検出センサ。

【請求項 20】

請求項15～19のいずれか1項に記載の電磁界検出センサと、  
前記位相シフト部材によるキャリアの位相シフト量を制御する位相制御回路とを備えていることを特徴とする電磁界検出回路。

【請求項 21】

情報記録媒体に電磁界情報を記録する電磁界発生素子と、  
情報記録媒体に記録された電磁界情報を読み取る請求項1～14のいずれか1項に記載の電磁界検出素子とを備えていることを特徴とする磁気記録再生ヘッド。

30

【請求項 22】

前記電磁界検出素子及び前記電磁界発生素子が、スライダと一体形成されていることを特徴とする請求項21に記載の情報記録再生ヘッド。

【請求項 23】

請求項21又は22に記載の情報記録再生ヘッドと、  
前記情報記録再生ヘッドを情報記録媒体上の所定位置に移動させる移動手段とを備えていることを特徴とする情報記録再生装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高密度磁気記録における極小磁気ビットの検出に用いられる、電磁界検出素子と、電磁界検出センサと、電磁界検出回路と、電磁界情報の記録・再生を行うのに用いられる、情報記録再生ヘッドと、情報記録再生装置とに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、コンピュータの演算能力の向上、情報通信能力の向上によって、外部情報記憶装置に求められる性能も飛躍的に高くなってきている。特に、ハードディスクドライブに対

50

しては、 $1\text{ Tb/inch}^2$  を超えた高密度記録の要請がなされ始めている。しかし、記録面密度  $1\text{ Tb/inch}^2$  となると、一つのビットサイズが約  $25\text{ nm}$  平方となるなど、記録ビットのサイズが極めて小さくなり、従来のスピンバルブ方式の GMR (Giant Magneto Resistance) 素子や TMR (Tunnel Magneto Resistance) 素子などでは、記録情報の検出が困難になると予想される。そこで、 $1\text{ Tb/inch}^2$  の要求水準を達成すべく、従来法とは異なる検出原理に基づいた素子の出現が待たれている。

#### 【0003】

従来方法とは異なる新しい検出原理として、下記非特許文献 1 に記載のアハラノフ・ボーム (A B) 効果がある。後段で再度詳述するが、この効果は、電子波が可干渉性を維持したまま伝播するとき、二つの電子波の進路に挟まれる空間を貫通する磁束が形成するベクトルポテンシャルによって、その二つの電子波の位相差が変化を受けるといものである。また、下記特許文献 1 には、A B 効果を用いた電子の可干渉性を利用した磁界検出器が開示されている。また、下記非特許文献 2 において、磁界が無い場合でも、物質中のスピン軌道相互作用により物質内部に印加した電界によって電子波の位相が変化すると報告されている (アハラノフ・キャシャー (A C) 効果 (この効果の詳細な原理は下記非特許文献 3 参照))。公知の磁気検出素子においては磁界を一旦軟磁性層に転写してから磁気抵抗変化を検出する必要があるのに対して、A B 効果又は A C 効果を検出原理として利用した電磁界検出素子は、検出対象を電磁界ではなくベクトルポテンシャルとしているので、上記のような転写が不要であり、そのため転写に伴う減衰や遅延を生じることがない。したがって、効率のよい電磁界検出が可能となるため、極小磁気ビットの再生ができるという利点がある。

#### 【0004】

【特許文献 1】特開平 2 - 306412 号公報

【非特許文献 1】福山秀敏編 「シリーズ物性物理の新展開 メゾスコピック系の物理」 P. 55 ~ 57 丸善 (株) 出版事業部 1996 年

【非特許文献 2】「NATURE VOL427」 P. 50 ~ 53 2004 年 1 月

【非特許文献 3】「Physical Review Letters Vol.53」 P. 319 ~ 321 1984 年 7 月

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

しかしながら、特許文献 1 の磁界検出器では、電子の電流経路として半導体がいられしており、磁界中での電子の可干渉効果 (A B 効果) を実現するためには、電流経路である半導体を低温で維持し、電子のコヒーレント性を保つ必要がある。従って、常温下においては、半導体内での電子のコヒーレント性が保てず、A B 効果による磁界検出が不可能である。また、特許文献 1 の磁界検出器では、常温下において電界中での電子の可干渉効果である A C 効果を実現することはできない。なお、A C 効果については後段で詳述する。

#### 【0006】

そこで、本発明の目的は、常温下において A B 効果又は A C 効果を利用して電磁界を検出することが可能な電磁界検出素子、電磁界検出センサ、及び電磁界検出回路と、これらの電磁界検出素子、電磁界検出センサ、又は電磁界検出回路を備え、電磁界情報の記録・再生を行うのに用いられる情報記録再生ヘッド及び情報記録再生装置とを提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段及び効果】

#### 【0007】

(1) 本発明の電磁界検出素子は、互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、前記対向面に沿った一方向に関する前記対向面の重複範囲の両端境界からそれぞれ離隔しつつ前記重複範囲内に収まるように前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第 1 の絶縁体とを備えている。

10

20

30

40

50

## 【0008】

上記構成によると、絶縁領域のうち一对の対向電極の間に挟まれた部分を絶縁破壊させつつ第1の絶縁体を絶縁破壊させない大きさの電界を一对の対向電極間に印加すると、対向電極間に第1の絶縁体を挟む2つのバリステック（弾道的）な電流経路が形成される。つまり、常温下において第1の絶縁体を挟む2つのバリステックな電流経路が形成される。これら2つの電流経路に挟まれた領域又はその近傍に電磁界が存在する場合、その電磁界に由来するベクトルポテンシャルによって、2つの電流経路を通過するバリステックな（つまり、コヒーレント性（可干渉性）を有する）キャリアに位相変化が生じる。その結果、2つの電流経路を通過したキャリアは相互の位相ずれに起因した干渉を起こす（磁界についてはAB効果、電界についてはAC効果）。つまり、外部電磁界に係るベクトルポテンシャルによって対向電極間の電気伝導度が変化するため、電磁界検出素子の電気特性を常温下において測定すれば、電磁波、近接場を含む静的な外部電磁界を検出することができる。また、2つの電流経路に挟まれた領域又はその近傍での電磁界変化を対向電極間の電気伝導度の変化として検出することで、常温下における動的な外部電磁界検出も可能となる。

10

## 【0009】

(2) 本発明の電磁界検出素子は、互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第1の絶縁体とを備えており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分を絶縁破壊させつつ前記第1の絶縁体を絶縁破壊させない大きさの電界を前記一对の対向電極間に印加した際に、前記一对の対向電極間に前記第1の絶縁体を挟む2つの弾道的な電流経路が形成されるものである。

20

## 【0010】

上記構成によると、第1の絶縁体を挟む2つのバリステックな電流経路に挟まれた領域又はその近傍に電磁界が存在する場合、その電磁界に由来するベクトルポテンシャルによって、常温下において形成される2つの電流経路を通過するバリステックなキャリアに位相変化が生じる。その結果、2つの電流経路を通過したキャリアは相互の位相ずれに起因した干渉を起こす。つまり、外部電磁界に係るベクトルポテンシャルによって対向電極間の電気伝導度が変化するため、電磁界検出素子の電気特性を常温下において測定すれば、電磁波、近接場を含む静的な外部電磁界を検出することができる。また、2つの電流経路に挟まれた領域又はその近傍での電磁界変化を対向電極間の電気伝導度の変化として検出することで、常温下における動的な外部電磁界検出も可能となる。

30

## 【0011】

このように、(1)及び(2)の電磁界検出素子は、AB効果又はAC効果を利用した高効率の電磁界検出を、常温下において行うことを可能とする。しかも、本発明の電磁界検出素子は、素子構造が比較的単純で製造も容易であるという利点を有している。

## 【0012】

なお、(1)及び(2)において、絶縁領域は、一对の対向電極の間に挟まれた部分が第1の絶縁体よりも絶縁破壊電界が小さいものであれば、固体、気体、液体のいずれであってもよい。例えば気体及び液体の場合、絶縁領域は電磁界検出素子の一部であってもよいし、そうでなくてもよい。

40

## 【0013】

(3) 本発明の電磁界検出素子は、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分には、前記第1の絶縁体を挟みつつ前記第1の絶縁体と接触する第2及び第3の絶縁体が配置されていることが好ましい。これにより、第1の絶縁体をこれと接触する2つの絶縁体で挟むことによって、電磁界検出素子の電気特性が安定し、より高い精度での外部電磁界検出が可能となる。

## 【0014】

(4) 上記(3)の電磁界検出素子においては、前記対向面に沿った一方向に関する前

50

記第2及び第3の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程以下であることが好ましい。これにより、電極に到達したバリスティックな電子の干渉性を高めることができる。

【0015】

(5) 上記(3)、(4)の電磁界検出素子においては、前記第2及び第3の絶縁体が、前記一对の対向電極に係る2つの前記対向面の両方と接触していることが好ましい。これにより、電極に到達したバリスティックなキャリアの干渉性を高めることができる。

【0016】

(6) 上記(3)～(5)の電磁界検出素子においては、前記第1～第3の絶縁体が、互いに平行な表面を有する積層構造を形成していることが好ましい。これにより、微小な領域での電磁界検出が可能となる。

10

【0017】

(7) 上記(3)～(6)の電磁界検出素子においては、前記対向面が、前記第1～第3の絶縁体の表面と直交していることが好ましい。これにより、電極に到達したバリスティックなキャリアの干渉性を高めることができる。

【0018】

(8) 上記(3)～(7)の電磁界検出素子においては、前記第1～第3の絶縁体の少なくともいずれか1つが、3以上の透磁率を有する材料からなることが好ましい。これにより、3以上の透磁率を有する材料からなる絶縁体が生じさせる磁界シフトで電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることによって、外部電磁界の検出効率を改善することができる。

20

【0019】

(9) 或いは、上記(3)～(7)の電磁界検出素子においては、前記第1～第3の絶縁体の少なくともいずれか1つが、4以上の誘電率を有する材料からなるものであってもよい。これにより、4以上の誘電率を有する材料からなる絶縁体が生じさせる電界シフトで電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることによって、外部電磁界の検出効率を改善することができる。

【0020】

(10) 上記(1)～(9)の電磁界検出素子においては、前記一对の対向電極に係る2つの前記対向面の最短距離が100nm以下であることが好ましい。これにより、一对の対向電極間の電圧を大きくすることなく、絶縁領域の絶縁破壊を引き起こすことができる。

30

【0021】

(11) 上記(1)～(10)の電磁界検出素子においては、前記対向面に沿った一方向に関する前記第1の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程の2倍以下であることが好ましい。これにより、電極に到達したバリスティックなキャリアの干渉性を高めることができる。

【0022】

(12) 上記(11)の電磁界検出素子においては、前記対向面に沿った一方向に関する前記第1の絶縁体の厚さが、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程以下であることがより好ましい。これにより、電極に到達したバリスティックなキャリアの干渉性をさらに高めることができる。

40

【0023】

(13) 上記(1)～(12)の電磁界検出素子においては、前記対向面に、少なくとも2つの段差部が形成されていることが好ましい。これにより、電界印加時に選択的に段差部で電流の集中が起こり、効率よくバリスティックなキャリアが生成できる。

【0024】

(14) 上記(1)～(13)の電磁界検出素子においては、前記第1の絶縁体が、前記一对の対向電極に係る2つの前記対向面の少なくともいずれか一方と接触していることが好ましい。これにより、電極に到達したバリスティックなキャリアの干渉性を高めるこ

50

とができる。

【0025】

(15) 本発明の電磁界検出センサは、上記(1)~(13)のうちいずれか一つの電磁界検出素子と、前記電磁界検出素子において前記一对の対向電極間に形成される2つの電流経路の少なくともいずれか一方を通過するキャリアの位相をシフトさせる位相シフト部材とを備えている。これにより、電流経路を通過するキャリアの位相を外部電磁界以外の要因でシフトさせることによって、外部電磁界の検出効率を改善することができる。

【0026】

(16) 上記(15)の電磁界検出センサにおいては、前記位相シフト部材が、磁界発生源であることが好ましい。これにより、磁界発生源が発生した磁界がベクトルポテンシャルを変化させるので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。

10

【0027】

(17) 或いは、上記(15)の電磁界検出センサにおいて、前記位相シフト部材が、電界発生源であってもよい。これにより、電界発生源が発生した電界が第1の絶縁体及び/又は絶縁領域における物質中でのスピン軌道相互作用を通じて物質中のバンド構造に変化を与え、ベクトルポテンシャルを変化させる。したがって、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。

【0028】

(18) 或いは、上記(15)の電磁界検出センサにおいて、前記位相シフト部材が、電磁波発生源であってもよい。これにより、電磁波発生源が発生した電磁波が第1の絶縁体及び/又は絶縁領域でキャリア励起及びこれに伴う電子正孔対の生成を引き起こすと、第1の絶縁体及び/又は絶縁領域における物質中での誘電率が変化する。すると、第1の絶縁体及び/又は絶縁領域における電界が変化するので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。これを利用すると、例えばレーザー素子から発生する電磁波のパワーをモニタリングすることができる。また、電磁波発生源が発生した電磁波が絶縁領域中のキャリアを励起し、電子正孔対が生成されると、絶縁領域を低電圧で絶縁破壊させることが可能となる。

20

【0029】

(19) 或いは、上記(15)の電磁界検出センサにおいて、前記位相シフト部材が、近接場発生源であってもよい。これにより、近接場発生源が発生した近接場が第1の絶縁体及び/又は絶縁領域でキャリア励起及びこれに伴う電子正孔対の生成を引き起こすと、第1の絶縁体及び/又は絶縁領域における物質中での誘電率が局所的に変化する。すると、第1の絶縁体及び/又は絶縁領域における電界が変化するので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。これを利用すると、例えば近接場発生素子のパワーをモニタリングすることができる。

30

【0030】

(20) 本発明の電磁界検出回路は、上記(15)~(19)のうちいずれか一つの電磁界検出センサと、前記位相シフト部材によるキャリアの位相シフト量を制御する位相制御回路とを備えている。これにより、電磁界検出素子の検出感度を最大化することができる。

40

【0031】

(21) 本発明の磁気記録再生ヘッドは、情報記録媒体に電磁界情報を記録する電磁界発生素子と、情報記録媒体に記録された電磁界情報を読取る上記(1)~(14)のうちいずれか一つの電磁界検出素子とを備えている。これにより、電磁界発生素子によって情報記録媒体上に記録した電磁界情報を、高感度で検出できる。したがって、例えば1Tb/inch<sup>2</sup>を超えた高記録面密度に対応した電磁界情報の記録及び再生が可能な磁気記録再生ヘッドが得られる。

【0032】

(22) 上記(21)の磁気記録再生ヘッドにおいては、前記電磁界検出素子及び前記

50

電磁界発生素子が、スライダと一体形成されていることが好ましい。これにより、従来の磁気ヘッドと類似の製造プロセスで製造が可能となるため生産性が向上する。また、電磁界検出素子及び電磁界発生素子の各端子がスライダと一体化した基板上に形成されるので、外部への端子のアクセスが容易になり生産性が向上する。

【0033】

(23) 本発明の情報記録再生装置は、上記(21)又は(22)のうちいずれか一つの情報記録再生ヘッドと、前記情報記録再生ヘッドを情報記録媒体上の所定位置に移動させる移動手段とを備えている。これにより、情報記録媒体上の所定位置に情報記録再生ヘッドを移動させることができるので、例えば  $1 \text{ Tb/inch}^2$  を超えた高記録面密度に対応したナノサイズの領域での電磁界情報を記録及び再生することができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

<第1実施形態>

以下、図面を参照しながら、本発明の第1実施形態に係る電磁界検出素子について説明する。図1は、本発明の第1実施形態に係る電磁界検出素子の斜視構成図である。図2は、図1の電磁界検出素子10をY軸方向から見た場合の構成図である。

【0035】

図1に示すように、本実施形態に係る電磁界検出素子10において、微小な領域で電磁界検出をするために、基板1上に絶縁層2、3、4が順に互いに平行な表面を有するように積層されており、これら絶縁層2、3、4の間隔L方向の各端面及び基板1表面と接するよう

20

【0036】

電極5、6が形成されている。絶縁層2、3、4からなる積層部分は、電極5、6の対向面5a、6aの間に収まるように形成されている。特に、絶縁層2、4において絶縁破壊を確実に起こさせるために、絶縁層3は、Z軸方向に関する対向面5a、6aの重複範囲の両端に形成された境界面7、8からそれぞれ離隔しつつ、上記対向面5a、6aの重複範囲内に収まるように電極5と電極6との間に挟まれている。絶縁層2の下面は境界面8と、絶縁層4の上面は境界面7とそれぞれ一致している。電極5、6の対向面5a、6aは、絶縁層2、3、4の表面と直交するように形成されている。これにより、電極に到達したパリスティックなキャリアの干渉性を高めることができる。

30

【0037】

また、基板1と絶縁層2及び電極5、6の間には、絶縁破壊電界の高い絶縁体又は半導体(図示せず)が形成されている。これにより、電極5、6に電界が印加された場合、絶縁破壊によるパリスティック電子が基板1内で生成されるのを抑制することができる。この絶縁体又は半導体は、基板1又は絶縁層2、3、4と同じ材料からなる。

【0038】

絶縁層3は、絶縁層2、4よりも絶縁破壊電界が高い材料で構成されている。これにより、絶縁層2、4を絶縁破壊させ且つ絶縁層3を絶縁破壊させない大きさの電圧を対向している電極5、6間に印加した場合、電極5、6の対向面間に形成された絶縁破壊電界の大きな絶縁体3と周囲の絶縁層2、4との界面に沿って、選択的に絶縁破壊が起こり、高電圧で加速されたパリスティックなキャリア(ここでは、電子)が形成される。したがって、対向する電極5、6間において少なくとも2つのパリスティックな電流経路が形成されることになる。基板1及び絶縁層2、3、4は、Si、Ge、SiC等のIV属半導体、GaAs、GaP、InP、AlAs、GaN、InN、InSb、GaSb、AlNに代表されるIII-V属化合物半導体、ZnTe、ZnSe、ZnS、ZnO等のII-VI属化合物半導体、ZnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、CrO<sub>2</sub>、CeO<sub>2</sub>等の酸化物絶縁体、または、SiNなどの窒化物絶縁体からなる。

40

【0039】

絶縁層3は、フェライトやガーネットなどの3以上の透磁率を有する物質で形成されている。そのため、絶縁層3が生じさせる磁界シフトが電流経路を通過するキャリアの位相

50



をシフトさせるので、外部電磁界の検出効率を改善できる。なお、絶縁層3の代わりに、絶縁層2又は絶縁層4が3以上の透磁率を有する物質で形成されていてもよい。

【0040】

また、一変形例として、絶縁層3が4以上の誘電率を有する物質で形成されていてもよい。これによると、絶縁層3が生じさせる電界シフトが電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせるので、外部電磁界の検出効率を改善できる。なお、絶縁層3の代わりに、絶縁層2又は絶縁層4が4以上の誘電率を有する物質で形成されていてもよい。

【0041】

上述のように、絶縁層3は、絶縁層2、4よりも高い絶縁破壊電界を有する材料で構成されている。例えば、絶縁破壊電界が1MV/cmのZnOを絶縁層2、4に形成した場合、絶縁破壊に必要な電圧は7Vとなる。ZnOは成膜条件(材質の組成や欠陥の数、不純物の量など)を変えることで物質中に容易に酸素欠損や空孔を形成でき、絶縁破壊電界を制御(減少させる)することができる。これは、他の酸化物絶縁体や窒化物絶縁体にも適応できる(窒化物絶縁体の場合は窒素欠損の形成)。

10

【0042】

なお、基板1及び絶縁層2、3、4は、すべてが半導体であることが好ましい。半導体は望ましい結晶成長をするため、原子レベルで平坦な絶縁層界面が得られ、直線的な電流経路が得られるからである。酸化物絶縁体又は窒化物絶縁体を使用する場合には、同じ製造過程で成膜することができ、製造コストをおさえることができるので、絶縁層2、3、4すべてに酸化物絶縁体若しくは窒化物絶縁体を用いるのが望ましい。このとき、基板1

20

【0043】

次に、絶縁層2、3、4の層厚について説明する。図2に示すように、絶縁層2、3、4のそれぞれの層厚は、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ で表されている。基板1上に多層構造として、絶縁層2、3、4と対向電極5、6とを形成することで、各層の層厚制御によってパリスティック電子の2つの貫通経路間距離でもある層厚 $t_2$ 及び貫通経路幅でもある層厚 $t_1$ 、 $t_3$ の制御を行うことができる。これによって、2つのパリスティックな電流経路に挟まれた領域を数百 $\text{nm}^2$ のサイズに制限でき、ナノサイズの微小な領域での電磁界検出が可能となる。絶縁層3の層厚 $t_2$ は、電極5、6を構成する金属の電子の平均自由行程(30nm)の2倍以下(60nm)となるように形成されている。これにより、2つの経路から貫通してきたパリスティック電子の干渉性が高まり、電磁界の検出感度が向上する。なお、さらに電磁界の検出感度を向上させるために、絶縁層3の層厚 $t_2$ を、電極5、6を構成する金属の電子の平均自由行程(30nm)以下としてもよい。また、絶縁層2、4の層厚 $t_1$ 、 $t_3$ は、電極5、6を構成する金属の電子の平均自由行程以下となるように形成されており、電極5、6を構成する金属の電子の平均自由行程より層厚が厚い場合に比べ、パリスティック電子のコヒーレント性が改善されている。

30

【0044】

電極5、6は、対向面5a、5bを内側にそれぞれ有するように配置されている。電極5、6の材質は通常の金属であってもよいが、電気伝導度の高い物質がよいため、金属中の電子の平均自由行程が約30~40nmのAu、Ag、又はCuを用いる。これにより、電極5、6に到達したパリスティックな電子の干渉性を高めることができる。また、図示しないが、電極5、6の密着性を高めるために、絶縁層2、3、4と電極5、6との間、及び、基板1と電極5、6との間には、Zn、Ti、Cr、Alなどから構成される密着層が形成されている。密着層の膜厚は、電子の干渉性を維持するためにも密着層を構成する金属中電子の平均自由行程(約10nm)以下となっている。また、対向した電極5、6間での2つのパリスティックな電流経路での電子の干渉性を高めるために、電極5、6の幅Wは、電極5、6に用いられる金属での電子の平均自由行程以下となっている。

40

【0045】

電極5、6の間隔Lは、最短部で100nm以下に形成されている。このように対向し

50

た電極 5、6 間の距離が短くなることで、低電圧でも絶縁層 3 において絶縁破壊を起こしてパリスティックな電子を生成できる。具体的に説明すると、間隔  $L$  が  $70 \text{ nm}$  であって、絶縁破壊電界が  $0.06 \text{ MV/cm}$  の  $\text{GaAs}$  で絶縁層 2、4 を形成した場合、絶縁破壊に必要な電圧 = 間隔  $L$  ( $70 \text{ nm}$ )  $\times$  絶縁破壊電圧 ( $0.06 \text{ MV/cm}$ ) =  $0.42 \text{ V}$  となる。なお、 $1 \text{ MV/cm}$  の  $\text{ZnO}$  で絶縁層 2、4 を形成した場合は、絶縁破壊に必要な電圧 = 間隔  $L$  ( $70 \text{ nm}$ )  $\times$  絶縁破壊電圧 ( $1 \text{ MV/cm}$ ) =  $7 \text{ V}$  となる。絶縁破壊後の電圧電流特性は、空間電荷制限伝導に基づいた電流が得られるとすると、チャイルド則から  $i \propto V^2 / L^3$  となる。絶縁層 2、4 における電子の移動度が  $30 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$  である場合、間隔  $L$  を  $100 \text{ nm}$ 、印加電圧を  $10 \text{ V}$  とし、絶縁層 2、4 における電子の緩和時間を  $1 \text{ ps}$  とすると、電子の速度 = 電子の移動度  $\times$  電界、電界 = 印加電圧 / 間隔  $L$  の式より、電子の速度 =  $(30 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}) \times (10 \text{ V} / 100 \text{ nm}) = 3 \times 10^7 \text{ m/s}$  となる。平均自由行程 = 電子の速度  $\times$  電子の緩和時間であるので、平均自由行程 =  $(3 \times 10^7 \text{ m/s}) \times 1 \text{ ps} = 300 \text{ nm}$  となる。絶縁層 2、4 における絶縁体の欠陥などによる緩和時間の減少や電極 5、6 間での電界分布などによっては、平均自由行程は多少減少するが、 $100 \text{ nm}$  の間隔  $L$  では干渉性を保ったまま電子が電極間を貫通することができる。

10

## 【0046】

図示していないが、電磁界検出素子 10 の表面全体は、電極 5、6 の間の絶縁層 2、4 以外の短絡を防ぐために、絶縁層 2、4 よりも高い絶縁破壊電界を有する絶縁体で覆われている。

20

## 【0047】

ここで、AB 効果及び AC 効果とともに電磁界検出素子 10 の動作について説明する。図 3 は、AB 効果の原理説明を行うために使用する図である。

## 【0048】

( AB 効果と電磁界検出素子 10 の動作 )

図 3 の上図に示すように、電子線源 11 から電子線  $e_1$ 、 $e_2$  が放出され、磁界 B によるベクトルポテンシャル A が発生しているゲージ場中を電子線  $e_1$ 、 $e_2$  が通過し、電子線検出器 12 で検出される。この場合磁界 B に対して、電子線の検出量 (伝導度)  $F$  は、周期的に振動する。これは、電子線  $e_1$ 、 $e_2$  がベクトルポテンシャル A により、位相が変化し、それぞれの位相が異なる電子線  $e_1$ 、 $e_2$  が電子線検出器 12 で干渉することで、図 3 の下図のように検出量  $F$  の周期的振動が表れる。振動周期 (磁界 [T]) は  $B_0 = \Phi_0 / S$  となっている。磁束量子  $\Phi_0 = h / 2e$  は、 $2.07 \times 10^{-15} [\text{Wb}]$  の普遍定数であり、 $S$  は電子線  $e_1$ 、 $e_2$  の経路が囲む面積である。ここで  $L = 70 \text{ nm}$ 、 $t_2 = 30 \text{ nm}$  とし、パリスティック電子の経路が絶縁層 3 の界面付近の数  $\text{nm}$  範囲で貫通する場合、 $S = (30 \times 70) \text{ nm}^2$  となり、記録面密度  $300 \text{ Gb/inch}^2$  のビットサイズに対応しており、このときの振動周期  $B_0$  [T] は  $0.98$  [T] となる。また、記録面密度  $1 \text{ Tb/inch}^2$  に対応したビットサイズ  $S = (25 \times 25) \text{ nm}^2$  の場合、振動周期  $B_0$  [T] は  $3.3$  [T] となる。この電磁界検出素子 10 からの検出信号を一般的な信号処理を施すことにより、振動周期  $B_0$  の  $1/1000$  まで磁界分解能を高めることが出来る。従って、記録面密度  $1 \text{ Tb/inch}^2$  に対応した場合は、振動周期  $B_0 = 3.3$  [T] であるため、磁界分解能は約  $3$  [mT] となる。一般的なハードディスクの磁気記録媒体の磁化  $200 \text{ emu/cc}$  を例にとると、磁気記録媒体から発生する磁界は、約  $250$  [mT] であり十分検出が可能になる。従って、この電磁界検出素子 10 は、記録面密度  $1 \text{ Tb/inch}^2$  超えた磁気記録媒体についても、磁気記録媒体からの漏洩磁界を十分検出することが可能となる。

30

40

## 【0049】

ここで、一例として、実際に図 1 に示す電磁界検出素子 10 とほぼ同構成の電磁界検出素子を作製し、この電磁界検出素子の磁気抵抗効果を測定した。まず、本例における電磁界検出素子の製造方法について説明する。 $\text{SiO}_2$  からなる熱酸化膜が表面に形成された  $\text{Si}$  基板上に  $\text{ZnO}$  層 (厚さ  $30 \text{ nm}$ )、 $\text{SiO}_2$  層 (厚さ  $40 \text{ nm}$ )、 $\text{ZnO}$  層 (厚

50

さ30nm)、更にZnO層上に保護層としてSiO<sub>2</sub>層(厚さ100nm)を順にスパッタリング成膜して多層構造を形成した。多層構造形成後にレジストによるパターンニングを行い、ドライエッチングによりレジストに覆われた部分以外の部位を深さ250nmまで削り、絶縁層2、3、4に相当する層を形成する。その後、電子線蒸着法により絶縁層2、3、4に相当する層の上から密着層としてTi層(厚さ50nm)、電極としてAu層(厚さ200nm)を順に形成し、レジストと、レジストの上のTi層及びAu層をエッチングで除去し、電磁界発生素子10とほぼ同構成の電磁界検出素子を作製した。なお、電極間の間隔Lは1μm、電極の幅Wも1μmの構成になっている。

#### 【0050】

上述の実際に作製した電磁界検出素子では、電極間でIV曲線を測定したところ図21に示すように良好なオーミック特性が得られ、低電圧下でもパリスティック電子を生成することができた。すなわち、実験結果に示した電磁界検出素子はオーミック特性を示しているため、電磁界検出素子の低抵抗化が実現でき、インピーダンスが低くなるので電磁界検出素子の高周波検出特性の改善や低消費電力化が実現できる。

#### 【0051】

図22、23に電極間の印加電圧が10Vと0.5Vの場合における、上述の実際に作製した電磁界検出素子の磁気抵抗効果の測定結果を示す。図22、23の縦軸は電流値、横軸は磁場を示している。なお、測定は室温(常温)で行い、外部磁界発生機及びホールセンサにより半導体パラメータアナライザで測定した。

#### 【0052】

図22および図23に示すように、磁場の大きさが0.2T(2kOe)と0.25T(2.5kOe)付近で少なくとも10<sup>7</sup>(7桁)の磁気抵抗変化が生じており、磁気抵抗変化が非常に巨大な電磁界検出素子が得られていることがわかる。急激な磁気抵抗変化が生じる外部印加磁場の大きさは、電極の形状・電極間の距離・絶縁層の多層構造変化によって変化する。これは、パリスティック電子のコヒーレント性に強く依存するためである。したがって、電極間の間隔Lや電極の幅Wが100nmの上記電磁界検出素子と同構成の電磁界検出素子も、原理上上記電磁界検出素子と同様の効果が得られると考えられるので、電極間の距離Lや電極幅Wを100nmのサイズにすることでパリスティック電子の干渉性が向上し、より高感度な電磁界検出が可能な電磁界検出素子を実現できることがわかる。

#### 【0053】

(AC効果と電磁界検出素子10の動作)

電磁界検出素子10は、電子干渉効果により電子経路中のスピン軌道相互作用を検出でき、外部電界をこのスピン軌道相互作用を介して検出できるため、静的な外部電界も検出することができる。これはAC効果を利用したものであるが、具体的にAB効果と比較しながらこのAC効果について説明する。AB効果では、磁界Bが下記式(1)のシュレーディンガー方程式中のベクトルポテンシャルAとして導入される。

#### 【数1】

$$\left[ \frac{1}{2m} \left( \vec{p} + \frac{e}{c} \vec{A} \right)^2 + V(r) \right] \phi(r) = \varepsilon \phi(r) \quad (1)$$

電界Eを用いた場合、シュレーディンガー方程式は下記式(2)となる。

#### 【数2】

$$\left[ \frac{1}{2m} \left( \vec{p} - \vec{E} \times \vec{\mu} \right)^2 \right] \phi(r) = \varepsilon \phi(r) \quad (2)$$

ここでのμは、電子の磁気モーメントのことである。電子の磁気モーメントはパウリ行列により、下記(3)式となる。なお、μ<sub>B</sub>は、ボーア磁子である。

10

20

30

40

50

【数 3】

$$\vec{\mu} = \mu_B \vec{\sigma} / 2 \quad (3)$$

ここで、電界 E と電子の磁気モーメント（スピン）によるスピン軌道相互作用をベクトルポテンシャル  $A_{SO}$  の形式にみなせば、下記式（4）のようになる。

【数 4】

$$\vec{A}_{SO} = \mu_B \vec{\sigma} \times \vec{E} / 2 \quad (4)$$

10

これは、電界 E による位相変化について、形式的に A B 効果と同様に取り扱えることを意味する。つまり、電界 E と電子の磁気モーメント  $\mu$  からのベクトルポテンシャル  $A_{SO}$  によって、電子の位相変化とその干渉効果とが生じることを示している。この効果を A C 効果と呼ぶ。この効果が発生すると、電子の 2 つの経路で印加される電界 E が異なることで、位相変化が現れる。この点が A B 効果と異なる点ではあるが、電気伝導度との関連は、A B 効果の場合と同様である。

【0054】

また、2 つの電子線経路に挟まれた領域である絶縁層 3 に、外部電磁波（近接場も含む）を吸収してキャリアを励起し、続いて電子・ホール対を生成するような材料（上述した基板 1 の材料と同様のものなど）を形成すると、外部電磁波を絶縁層 3 に照射した場合に、電子・ホール対生成により絶縁層 3 の誘電率が変化し内部電界変化が生じる。このような電磁界検出素子 10 は、この内部電界変化をベクトルポテンシャルの変化として検出できるため、静的な電磁界のみならず、動的な外部電磁波も検出が可能となる。

20

【0055】

上記構成の電磁界検出素子 10 によると、絶縁層 2、3、4 からなる絶縁領域のうち電極 5、6 の間に挟まれた部分を絶縁破壊させつつ絶縁層 3 を絶縁破壊させない大きさの電界を電極 5、6 間に印加すると、電極 5、6 間に絶縁層 3 を挟む 2 つのバリスティック（弾道的）な電流経路が形成される。つまり、常温下において絶縁層 3 を挟む 2 つのバリスティックな電流経路が形成される。これら 2 つの電流経路に挟まれた領域又はその近傍に電磁界が存在する場合、その電磁界に由来するベクトルポテンシャルによって、2 つの電流経路を通過するバリスティックな（つまり、コヒーレント性（可干渉性）を有する）キャリアに位相変化が生じる。その結果、2 つの電流経路を通過したキャリアは相互の位相ずれに起因した干渉（A B 効果や A C 効果）を起こす。つまり、外部電磁界に係るベクトルポテンシャルによって電極 5、6 間の電気伝導度が変化するため、電磁界検出素子 10 の電気特性を常温下において測定すれば、電磁波、近接場を含む静的な外部電磁界を検出することができる。また、2 つの電流経路に挟まれた領域又はその近傍での電磁界変化を電極 5、6 間の電気伝導度の変化として検出することで、常温下における動的な外部電磁界検出も可能となる。このように本実施形態の電磁界検出素子 10 は、A B 効果又は A C 効果を利用した高効率の電磁界検出を、常温下において行うことを可能とする。しかも、電磁界検出素子 10 は、素子構造が比較的単純で製造も容易であるという利点を有している。

30

40

【0056】

また、絶縁層 3 をこれと接触する 2 つの絶縁層 2、4 で挟んでいるので、電磁界検出素子 10 の電気特性が安定し、より高い精度での外部電磁界検出が可能となる。

【0057】

また、絶縁層 2、4 が、電極 5、6 の対向面 5 a、6 a の両方と接触しているので、電極に到達したバリスティックなキャリアの干渉性を高めることができる。

【0058】

50

なお、絶縁層 2、3、4 の間隔 L 方向の両端面が電極 5、6 の対向面 5 a、6 a と物理的に接触していなくとも、絶縁破壊された際、上述の 2 つの電流経路が形成されるように接近していればよい。ただし、絶縁層 2、3、4 の間隔 L 方向の両端面が電極 5、6 の対向面 5 a、6 a と接触している方が、電極に到達したパルスティックなキャリアの干渉性は高くなる。また、絶縁層 3 の絶縁破壊電界が空気よりも大きい場合には、絶縁層 2、4 を除去してもよい。その場合、絶縁層 3 の両側の空気層が絶縁層 2、4 と同等の機能を果たすことになる。

#### 【0059】

##### < 第 1 実施形態の変形例 1 >

次に、第 1 実施形態の変形例 1 について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の部分には一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することがある。図 4 は、第 1 実施形態の変形例 1 の電磁界検出素子を示す図であって、( a ) は斜視構成図、( b ) は上視図である。図 4 ( b ) に示すように、電極 2 5、2 6 は、絶縁層 2 2、2 3、2 4 と幅  $W_1$  の部分にわたって接続され、中心から遠ざかるにつれて幅が広がるように基板 2 1 上に形成されている。これらの点が第 1 実施形態の電磁界検出素子 1 0 と異なっている。なお、ここでは、電極 2 5、2 6 と絶縁層 2 2、2 3、2 4 との接続部分の幅が同じ距離である場合を示したが、それぞれ同じ幅でなくともよい。

10

#### 【0060】

本変形例によると、第 1 実施形態の電磁界検出素子 1 0 と同様の作用・効果を得ることができる。また、幅  $W_1$  を電極 2 5、2 6 の電子の平均自由行程よりも小さくすることが容易にできるので、電極 2 5、2 6 に到達したパルスティックなキャリアの干渉性を高めることができる。

20

#### 【0061】

##### < 第 1 実施形態の変形例 2 >

次に、第 1 実施形態の変形例 2 について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の部分には一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することがある。図 5 は、第 1 実施形態の変形例 2 の電磁界検出素子を図 2 と同様 Y 軸方向から見た場合の構成図である。電磁界検出素子 3 0 は、絶縁層 3 2、3 4 と絶縁層 3 3 との電極 3 5、3 6 間方向の長さが異なっており、絶縁層 3 2、3 4 の長さが絶縁層 3 3 よりも短くなるように形成されている。言い換えれば、電極 3 5、3 6 の対向面にそれぞれ 1 つの凹部 ( 図面においては、凹部とその外側との境界角部に符号 P 1、Q 1 : P 2、Q 2 を付している ) が形成されており、間隔 P 1 - P 2 と、Q 1 - Q 2 とが電極 3 5、3 6 間の最短部となっている。これらの点が第 1 実施形態の電磁界検出素子 1 0 と異なっている。

30

#### 【0062】

本変形例によると、第 1 実施形態の電磁界検出素子 1 0 と同様の作用・効果を得ることができるだけでなく、電極 2 5、2 6 間に電界を印加した場合に、選択的にこの最短部に電界及び電流が集中し、パルスティック電子の生成が効率よく行われるという効果も奏する。

#### 【0063】

##### < 第 2 実施形態 >

次に、本発明の第 2 実施形態に係る電磁界検出回路について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の部分には十の位が 4 であり且つ一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することがある。

40

#### 【0064】

図 6 は、本発明の第 2 実施形態に係る電磁界検出回路の概略図である。図 7 は、図 6 の電磁界検出回路の電磁界検出素子と磁界発生源との関係を具体的に示す斜視構成図である。図 6 に示すように、本実施形態に係る電磁界検出回路 1 0 0 は、電磁界検出センサ 1 0 1 と、位相制御回路 1 0 2 とを備えている。

#### 【0065】

電磁界検出センサ 1 0 1 は、電磁界検出素子 4 0 と、電磁界検出素子 4 0 の近傍に設け

50

られている磁界発生源としての金属細線 103 と、電磁界検出素子 40 に直列接続されている基準抵抗 104 と、基準抵抗 104 に直列接続されている定電圧電源回路 105 と、基準抵抗 104 と並列接続されている信号増幅器 106 とを備えている。

【0066】

図 7 に示すように、電磁界検出素子 40 の絶縁層 44 上部（図 5 中の Z 方向）に、磁界 B を発生させる金属細線 103 が配設されている。尚、図示していないが、金属細線 103 と電極 45、46 とは絶縁体を介して絶縁されている。この金属細線 103 は、電気伝導度の高い物質（Au、Ag、又は Cu）からなる。また、位相制御回路 102 によって、金属細線 103 に流す電流  $i$  を制御できるようになっている。ここでは磁界発生源として、金属細線 103 を用いたが、他の磁界発生源として、例えば磁気コイルや磁性体などを配置しても良い。

10

【0067】

図 7 に示すように、絶縁層 44 の上部に金属細線 103 を配置した場合、金属細線 103 に電流  $i$  を流すことで磁界 B が、金属細線 103 の周囲に発生し、絶縁層 42、43、44 に図 7 中の Y 軸方向に略並行に磁界 B が印加される。このように構成する理由は以下の通りである。通常、所望の測定すべき電磁界以外に、電磁界検出素子 40 の絶縁層 42、43、44 や、電極 45、46 それぞれの界面で発生する電界の影響や、外因的な漏洩電磁界の影響によりパリスティック電子に位相変化が生じる。したがって、この位相変化をキャンセルするために、新たに磁界発生源としての金属細線 103 を設け、印加された磁界 B により、2 つの絶縁層 42、44 を貫通する電子の位相に変化を与え、外因的な要

20

【0068】

ここで示した位相シフト制御用の金属細線 103 は、外因的な要因からの位相シフトに応じて、2 つの電子位相差を制御できるように配置される。

【0069】

基準抵抗 104 は、電磁界検出素子 40 の検出信号を電圧として検出するものである。定電圧電源回路 105 は、電磁界検出素子 40 に所望する定電圧を印加することができるものである。信号増幅器 106 は、検出信号を増幅するのに用いられるものである。

【0070】

位相制御回路 102 は、ロックイン検出器 107 と、出力端子 108 と、変調信号用発信器 109、110 と、V/I 変換器 111、112 と、スイッチ 113 と、ホールド回路 114 と、スイッチ回路 115 と、抵抗 116 とを備えている。

30

【0071】

ロックイン検出器 107 は、信号を選択的に検出できるものであり、電磁界検出センサ 101 における信号増幅器 106 と直列接続されている。出力端子 108 は、検出信号を出力するためのものであり、ロックイン検出器 107 に接続されている。

【0072】

変調信号用発信器 109 は、ロックイン検出器 107 に接続され、周波数  $f_0$  の信号を発するものである。V/I 変換器 111 は、変調信号用発信器 109 から発せられる変調信号用発信器 110 から発せられる信号を電流に変換するものである。同様に、V/I 変換器 112 は、抵抗 116 を介して信号を電流に変換するものである。また、これら V/I 変換器 111、112 は、電磁界検出センサ 101 における金属細線 103 と接続されている。スイッチ 113 は、変調信号用発信器 109 と V/I 変換器 111 との電気接続のオン・オフを行うためのものである。

40

【0073】

変調信号用発信器 110 は、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_1$  の三角波の信号をホールド回路 114 に向けて発することができるものである。ホールド回路 114 は、ホールド信号をスイッチ回路 115 に発することができるものである。スイッチ回路 115 は、変調信号用発信器 110 の制御を行うものである。

50

## 【 0 0 7 4 】

次に、電磁界検出回路 1 0 0 の動作について説明する。まず、電磁界検出素子 4 0 に基準抵抗 1 0 4 を介して定電圧電源回路 1 0 5 から所望の定電圧を印加する。このとき、電磁界検出素子 4 0 からの検出信号は、基準抵抗 1 0 4 の電圧として検出される。この検出信号は信号増幅器 1 0 6 により増幅され、ロックイン検出器 1 0 7 を介して出力端子 1 0 8 に出力される。位相シフト制御を行う場合には、位相制御回路 1 0 2 が用いられる。具体的には、スイッチ 1 1 3 がオンになり、周波数  $f_0$  の変調信号用発信器 1 0 9 の信号が V / I 変換器 1 1 1 により電流  $i$  に変換され、電流  $i$  が金属細線 1 0 3 に流れ、変調磁界 B を発生する。発生した磁界 B を電磁界検出素子 4 0 が検出し、ロックイン検出器 1 0 7 によって電磁界検出素子 4 0 から発せられた検出信号の周波数  $f_0$  成分の信号増幅を行う。増幅された検出信号は、ホールド回路 1 1 4 に入力され、検出信号の最大値がモニタリングされる。次に、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_1$  の変調信号用発信器 1 1 0 から三角波の信号がホールド回路 1 1 4 に入力され、この入力された三角波信号は、抵抗 1 1 6 を介して V / I 変換器 1 1 2 により電流  $i$  に変換される。金属細線 1 0 3 には、ロックイン検出器 1 0 7 からの信号による電流と V / I 変換器 1 1 2 からの三角波信号に対応した電流とが重畳して流れる。これにより、金属細線 1 0 3 から磁界  $B_c$  が発生する。そして、ホールド回路 1 1 4 は、周期  $1 / f_1$  内でロックイン検出器 1 0 7 からの検出信号が最大になる三角波の位相を検出し、その位相の電圧値をホールドする。スイッチ回路 1 1 5 は、ホールド回路 1 1 4 からのホールド信号により、変調信号用発信器 1 1 0 をオフ状態にする。ホールド回路 1 1 4 からのホールド信号は、V / I 変換器 1 1 2 により電流  $i$  に変換され、ホールド信号に対応した位相シフト磁界  $B_p$  (位相制御が完了したときの磁界) が金属細線 1 0 3 から発生する。これにより、外部電磁界検出を行う場合に、電磁界発生素子 4 0 の検出感度が最大になる。

## 【 0 0 7 5 】

本実施形態の電磁界検出回路 1 0 0 によれば、磁界発生源 1 0 3 が発生した磁界がベクトルポテンシャルを変化させるので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。その結果として、電磁界検出素子 4 0 における外部電磁界の検出効率を改善することができる。さらに、位相制御回路 1 0 2 を用いることによって、電磁界検出素子 4 0 の検出感度を最大化することができる。この点については、図 1 9 において詳細に説明する。

## 【 0 0 7 6 】

< 第 3 実施形態 >

次に、本発明の第 3 実施形態に係る電磁界検出回路について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の部分には十の位が 5 であり且つ一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することができる。また、本実施形態における符号 2 0 1、2 0 2、2 0 4 ~ 2 1 0、2 1 3 ~ 2 1 6 が付されている部位は、第 2 実施形態の符号 1 0 1、1 0 2、1 0 4 ~ 1 1 0、1 1 3 ~ 1 1 6 の部位と同様の部位であるため、これらについてもその説明を省略することができる。

## 【 0 0 7 7 】

図 8 は、本発明の第 3 実施形態に係る電磁界検出回路の概略図である。図 9 は、図 8 の電磁界検出回路の電磁界検出素子と電界発生源との関係を具体的に示す斜視構成図である。図 8 に示すように、本実施形態に係る電磁界検出回路 2 0 0 は、電磁界検出センサ 2 0 1 と、位相制御回路 2 0 2 とを備えている。

## 【 0 0 7 8 】

電磁界検出センサ 2 0 1 は、第 1 実施形態における電磁界検出センサ 1 0 1 とほぼ同構成であるが、磁界発生源の代わりに電界発生源としての金属板 2 0 3 を用いている点が異なっている。具体的には、図 9 に示すように、電磁界検出素子 5 0 の絶縁層 5 4 上部 (図 9 中の Z 方向) に、電界 E を発生させる電界発生源である金属板 2 0 3 が配設されている。尚、図示していないが、金属板 2 0 3 と電極 5 5、5 6 とは絶縁体を介して絶縁されている。金属板 2 0 3 は、電気伝導度の高い物質 (Au、Ag、又は Cu) からなる。また

、位相制御回路 202 によって、金属板 203 に印加される電圧  $V$  を制御できるようになっている。

【0079】

また、図 9 に示すように、絶縁層 54 の上部に金属板 203 を配置した場合、金属板 203 に印加する電圧  $V$  によって電界  $E$  が、金属板 203 の周囲に発生し、絶縁層 52、53、54 に図 9 中の Z 軸方向に略並行に磁界  $E$  が印加される。印加された電界  $E$  は絶縁層 52、53、54 中でのスピン軌道相互作用を通じて、絶縁層 52、53、54 中のバンド構造に変化を与え、それがベクトルポテンシャル変化を与える。このように構成する理由は以下の通りである。通常、所望の測定すべき電磁界以外に、電磁界検出素子 50 の絶縁層 52、53、54 や、電極 55、56 それぞれの界面で発生する電界の影響や、外因的な漏洩電磁界の影響によりパリティ電子に位相変化が生じる。したがって、この位相変化をキャンセルするために、新たに金属板 203 を設け、印加された電界  $E$  により、2 つの絶縁層 52、54 を貫通する電子の位相に変化を与え、外因的な要因からの位相シフトを制御することによって、外部電磁界の検出効率を改善するものである。

10

【0080】

ここで示した位相シフト制御用の金属板 203 は、外因的な要因からの位相シフトに応じて、2 つの電子位相差を制御できるように配置される。

【0081】

位相制御回路 202 は、第 1 実施形態における位相制御回路 102 とほぼ同構成であるが、 $V/I$  変換器 111、112 の代わりに、金属板 203 に電圧  $V$  を印加する電圧発生回路 211 を用いている点が異なっている。

20

【0082】

次に、電磁界検出回路 200 の動作について説明する。まず、電磁界検出素子 50 に基準抵抗 204 を介して定電圧電源回路 205 から所望の定電圧を印加する。このとき、電磁界検出素子 50 からの検出信号は、基準抵抗 204 の電圧として検出される。この検出信号は信号増幅器 206 により増幅され、ロックイン検出器 207 を介して出力端子 208 に出力される。位相シフト制御を行う場合には、位相制御回路 202 が用いられる。具体的には、スイッチ 213 がオンになり、周波数  $f_0$  の変調信号用発信器 209 の信号が電圧発生回路 211 により電圧  $V$  に変換され、電圧  $V$  が電界発生源 203 に印加されることにより、変調電界  $E$  を発生する。発生した電界  $E$  を電磁界検出素子 50 が検出し、ロックイン検出器 207 によって電磁界検出素子 40 から発せられた検出信号の周波数  $f_0$  成分の信号増幅を行う。増幅された検出信号は、ホールド回路 214 に入力され、検出信号の最大値がモニタリングされる。次に、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_1$  の変調信号用発信器 210 から三角波の信号がホールド回路 214 に入力され、この入力された三角波信号は、抵抗 216 を介して電圧発生回路 211 により電圧  $V$  に変換される。金属板 203 には、ロックイン検出器 207 からの信号とホールド回路 214 からの三角波信号とを重畳した信号に対応した電圧  $V$  が発生する。これにより、金属板 203 から電界  $E_c$  が発生する。そして、ホールド回路 214 は、周期  $1/f_1$  内でロックイン検出器 207 からの検出信号が最大になる三角波の位相を検出し、その位相の電圧値をホールドする。スイッチ回路 215 は、ホールド回路 214 からのホールド信号により、変調信号用発信器 210 をオフ状態にする。ホールド回路 214 からのホールド信号は、電圧発生回路 211 により電圧  $V$  に変換され、ホールド信号に対応した位相シフト電界  $E_p$  が金属板 203 から発生する。これにより、外部電磁界検出を行う場合に、電磁界発生素子 50 の検出感度が最大になる。

30

40

【0083】

本実施形態の電磁界検出回路 200 によれば、金属板 203 が発生した電界が絶縁層 53 や絶縁領域における物質中でのスピン軌道相互作用を通じて物質中のバンド構造に変化を与え、ベクトルポテンシャルを変化させるので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。その結果として、電磁界検出素子 50 における外部電磁界の検出効率を改善することができる。さらに、位相制御回路 202 を用いることによって、

50



電磁界検出素子 50 の検出感度を最大化することができる。

【0084】

< 第 4 実施形態 >

次に、本発明の第 4 実施形態に係る電磁界検出回路について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の部分には十の位が 6 であり且つ一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することがある。また、本実施形態における符号 301、302、304 ~ 306 が付されている部位は、第 2 実施形態の符号 101、102、104 ~ 106 の部位と同様の部位であるため、これらについてもその説明を省略することがある。

【0085】

図 10 は、本発明の第 4 実施形態に係る電磁界検出回路の概略図である。図 11 は、図 10 の電磁界検出回路の電磁界検出素子と半導体レーザー素子との関係を具体的に示す斜視構成図である。図 10 に示すように、本実施形態に係る電磁界検出回路 300 は、電磁界検出センサ 301 と、位相制御回路 302 とを備えている。 10

【0086】

電磁界検出センサ 301 は、第 1 実施形態における電磁界検出センサ 101 とほぼ同構成であるが、磁界発生源の代わりに、電磁波発生源である半導体レーザー素子 303 と、光検出素子 317 と、レーザー駆動回路 318 と、レーザー駆動電流出力回路 319 とを用いている点が異なっている。

【0087】

半導体レーザー素子 303 は、駆動電源からの入力端子 320 と接続されており、レーザー光発振を実現するための分布型ブラッグ反射器 303a、303b をレーザー光発振方向（図 11 における Y 軸方向）の両端部付近に有するレーザー光発振部 303c と、レーザー光発振部 303c に電流を注入するための電極 303d、303e とを備えている。図 11 に示すように、レーザー光発振部 303c は、半導体レーザー素子 303 の活性領域 303f から発振されるレーザー光が電磁界検出素子 60 の絶縁層 62、63、64 に伝播するように、また、基板 61 上において 2 つの電極 65、66 によって挟まれた位置に形成されている。電極 303d は、レーザー光発振部 303c の側面付近において、レーザー光発振部 303c に沿って基板 61 上に形成され、電極 303e は、レーザー光発振部 303c の上面に形成されている。ここで、図示していないが、電磁界検出素子 60 と半導体レーザー素子 303 との間は、電極 65、66 や電極 303d、303e と絶縁状態を維持するために絶縁体でコーティングされている。なお、分布型ブラッグ反射器 303a、303b の代わりに切り出し端面（図 11 中の Y 軸方向から見たときの半導体レーザー素子 303 の端面）側に反射膜が形成されていてもよい。 20 30

【0088】

このような半導体レーザー素子 303 から発振されるレーザー光が、絶縁層 62、63、64 の全体又は一部においてキャリアを励起し、電子・正孔対が生成される。これによって、電子・正孔対が電界を発生するため、絶縁層 62、64 を絶縁破壊させるために電極 65、66 に印加すべき電界を低減できる。また、半導体レーザー素子 303 から発振されたレーザー光が発生させるキャリア励起により、絶縁層 62、63、64 の全体又は一部において誘電率変化が引き起こされ、絶縁層 62、63、64 内部の電界が変化するので、パリティック電子の位相がレーザー光の強度に応じて変化し、電気移動度の変化として現れる。従って、半導体レーザー素子 303 から発生するレーザー光のパワーをモニタリングすることができる。レーザー光の強弱により、電子位相の制御も可能となる。 40

【0089】

電磁界検出センサ 301 の符号 307 ~ 311、313 ~ 316 の各部位は、第 2 実施形態における電磁界検出センサ 201 の符号 207 ~ 211、213 ~ 216 の各部位と同構成であるので、その説明を省略する。

【0090】

次に、電磁界検出回路 300 の動作について説明する。まず、電磁界検出素子 60 に基準抵抗 304 を介して定電圧電源回路 305 から所望の定電圧を印加する。このとき、電 50

磁界検出素子 60 からの検出信号は、基準抵抗 304 の電圧として検出される。この検出信号は信号増幅器 306 により増幅され、ロックイン検出器 307 を介して出力端子 308 に出力される。位相シフト制御を行う場合には、位相制御回路 302 が用いられる。具体的には、スイッチ 313 がオンになり、周波数  $f_0$  の変調信号用発信器 309 の信号が電圧発生回路 311 により電圧  $V$  に変換され、この電圧  $V$  がレーザー駆動回路 318 に入力される。入力された電圧  $V$  にしたがって、レーザー駆動電流出力回路 319 が半導体レーザー素子 303 に電流を流す。半導体レーザー素子 303 からの発光は、光検出素子 317 によって検出され、レーザーパワーが電流として変換され、レーザー駆動回路 318 に入力される。レーザー駆動回路 318 は光検出素子 317 からの電流から、電圧発生回路 311 からの電位  $V$  に対応した所望のレーザーパワーになるようにフィードバック制御される。レーザーパワーの安定化が行われる時間  $t_s$  の場合、周波数  $f_0$  は  $1/t_s$  よりも十分低くなるように調整する。半導体レーザー素子 303 からの発光を電磁界検出素子 60 が検出し、検出信号はロックイン検出器 307 によって周波数  $f_0$  成分の信号増幅を行う。増幅された検出信号は、ホールド回路 314 に入力され、検出信号の最大値がモニタリングされる。次に、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_1$  の変調信号用発信器 310 から三角波の信号がホールド回路 314 に入力され、この入力された三角波信号は、抵抗 316 を介して電圧発生回路 311 により電圧  $V$  に変換される。したがって、半導体レーザー素子 303 には、ロックイン検出器 307 からの信号とホールド回路 314 からの三角波信号とを重畳した信号に対応した電圧  $V$  が印加される。これにより、半導体レーザー素子 303 からレーザー光が発生する。そして、ホールド回路 314 は、周期  $1/f_1$  内でロックイン検出器 307 からの検出信号が最大になる三角波の位相を検出し、その位相の電圧値をホールドする。スイッチ回路 315 は、ホールド回路 314 からのホールド信号により、変調信号用発信器 310 をオフ状態にする。ホールド回路 314 からのホールド信号は、電圧発生回路 311 により電圧  $V$  に変換され、ホールド信号に対応した位相シフトレーザー光が半導体レーザー素子 303 から発生する。これにより、外部電磁界検出を行う場合に、電磁界発生素子 60 の検出感度が最大になる。

#### 【0091】

本実施形態の電磁界検出回路 300 によれば、半導体レーザー素子 303 から発せられるレーザー光がベクトルポテンシャルを変化させるので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。これを利用すると、半導体レーザー素子 303 から発生するレーザー光のパワーをモニタリングすることができる。また、半導体レーザー素子 303 が発生したレーザー光が絶縁領域中のキャリアを励起し、電子正孔対が生成されると、絶縁領域を低電圧で絶縁破壊させることが可能となる。その結果として、電磁界検出素子 60 における外部電磁界の検出効率を改善することができる。さらに、位相制御回路 302 を用いることによって、電磁界検出素子 60 の検出感度を最大化することができる。

#### 【0092】

##### < 第 4 実施形態の変形例 1 >

ここで、第 4 実施形態の変形例 1 について説明する。ここでは、光検出素子を用いずに、電磁界検出素子の検出信号を用いて、半導体レーザー素子のレーザーパワー制御及びレーザー光検出に伴う位相制御を行う場合について説明する。なお、第 1 実施形態と同様の部分には十の位が 7 であり且つ一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することができる。また、本実施形態における符号 401、402、404 ~ 406 が付されている部位は、第 2 実施形態の符号 101、102、104 ~ 106 の部位と同様の部位であるため、これらについてもその説明を省略することができる。図 12 は、本発明の第 4 実施形態の変形例に係る電磁界検出回路の概略図である。本変形例に係る電磁界検出回路 400 は、電磁界検出センサ 401 と、位相制御回路 402 とを備えている。

#### 【0093】

電磁界検出センサ 401 は、第 4 実施形態における電磁界検出センサ 301 とほぼ同構成であるが、光検出素子 317 を用いていない点で異なる。

## 【 0 0 9 4 】

位相制御回路 4 0 2 は、第 4 実施形態における位相制御回路 3 0 2 とほぼ同構成であるが、ホールド回路 4 1 4 とレーザー駆動回路 3 1 8 とが直接接続されている点が異なる。また、図示していないが、第 2 又は第 3 実施形態で述べた位相制御回路が存在し、レーザー光の検出の前に、第 2 又は第 3 実施形態で述べた位相制御回路により、電磁界発生素子 7 0 の検出感度が最大になるようにすでに位相制御がなされている点が異なる。なお、電磁界検出センサ 4 0 1 の符号 4 0 7 ~ 4 1 1、4 1 3 ~ 4 1 6 の各部位は、第 2 実施形態における電磁界検出センサ 2 0 1 の符号 2 0 7 ~ 2 1 1、2 1 3 ~ 2 1 6 の各部位と同構成であるので、その説明を省略する。

## 【 0 0 9 5 】

次に、半導体レーザー素子 4 0 3 のレーザーパワー制御について説明する。まず、電磁界検出素子 7 0 に基準抵抗 4 0 4 を介して定電圧電源回路 4 0 5 から所望の定電圧を印加する。このとき、電磁界検出素子 7 0 からの検出信号は、基準抵抗 4 0 4 の電圧として検出される。この検出信号は信号増幅器 4 0 6 により増幅され、ロックイン検出器 4 0 7 を介して出力端子 4 0 8 に出力される。入力端子 4 2 1 から、所望のレーザーパワーに対応した電圧  $V$  がレーザー駆動回路 4 1 8 に入力される。入力された電圧  $V$  にしたがって、レーザー駆動電流出力回路 4 1 9 が、駆動電源の入力端子 4 2 0 と接続されている半導体レーザー素子 4 0 3 に電流を流す。半導体レーザー素子 4 0 3 からの発光は、電磁界検出素子 7 0 によって検出され、検出信号が、ホールド回路 4 1 4 を経由して、電圧発生回路 4 1 1 により所望の電圧  $V$  に変換され、電圧  $V$  がレーザー駆動回路 4 1 8 に入力される。このとき、レーザー駆動回路 4 1 8 は、信号により電磁界検出素子 7 0 からの検出信号をそのままレーザー駆動回路 4 1 8 に流すようにホールド回路 4 1 4 へ信号を出している。レーザー駆動回路 4 1 8 において、入力端子 4 2 1 からの信号と電磁界検出素子 7 0 からの検出信号とから、偏差を示す信号が演算され、偏差信号が増幅された後、この増幅信号がレーザー駆動電流出力回路 4 1 9 に入力され、入力端子 4 2 1 からの信号に対応する設定レーザーパワーになるようにフィードバックが行われる。レーザーパワーの制御が完了した後は、レーザー駆動回路 4 1 8 は、ホールド回路 4 1 4 への信号を停止する。以上の手順により、電磁界検出素子 7 0 を用いて、所望するレーザーパワーを出力できるレーザーパワー制御が実現する。

## 【 0 0 9 6 】

レーザーパワー制御の後に、位相シフト制御を行う場合には、位相制御回路 4 0 2 が用いられる。具体的には、スイッチ 4 1 3 がオンになり、周波数  $f_0$  の変調信号用発信器 4 0 9 の信号が電圧発生回路 4 1 1 により所望の電圧  $V$  に変換され、この電圧  $V$  がレーザー駆動回路 4 1 8 に入力される。入力された電圧  $V$  にしたがって、レーザー駆動電流出力回路 4 1 9 が半導体レーザー素子 4 0 3 に電流を流す。ここでは、半導体レーザー素子 4 0 3 に、半導体レーザー素子 4 0 3 の閾値電流よりも大きな値に変調した電流を流してレーザー光発振させる。半導体レーザー素子 4 0 3 からの発光は、電磁界検出素子 7 0 によって検出され、レーザーパワーが電流として変換され、レーザー駆動回路 4 1 8 に入力される。レーザー駆動回路 4 1 8 は光検出素子 4 1 7 からの信号から、所望のレーザーパワーになるようにフィードバック制御される。レーザーパワーの安定化が行われる時間  $t_s$  の場合、周波数  $f_0$  は  $1/t_s$  よりも十分低くなるように調整する。半導体レーザー素子 4 0 3 からの発光を電磁界検出素子 7 0 が検出し、検出信号はロックイン検出器 4 0 7 によって周波数  $f_0$  成分の信号増幅を行う。増幅された検出信号は、ホールド回路 4 1 4 に入力され、検出信号の最大値がモニタリングされる。次に、周波数  $f_0$  よりも低い周波数  $f_1$  の変調信号用発信器 4 1 0 から三角波の信号がホールド回路 4 1 4 に入力され、この入力された三角波信号は、抵抗 4 1 6 を介して電圧発生回路 4 1 1 により電圧  $V$  に変換される。したがって、半導体レーザー素子 4 0 3 には、ロックイン検出器 4 0 7 からの信号とホールド回路 4 1 4 からの三角波信号とを重畳した信号に対応した電圧  $V$  が印加される。これにより、半導体レーザー素子 4 0 3 からレーザー光が発生する。そして、ホールド回路 4 1 4 は、周期  $1/f_1$  内でロックイン検出器 4 0 7 からの検出信号が最大になる三角

10

20

30

40

50

波の位相を検出し、その位相の電圧値をホールドする。スイッチ回路415は、ホールド回路414からのホールド信号により、変調信号用発信器410をオフ状態にする。ホールド回路414からのホールド信号は、電圧発生回路411により電圧Vに変換され、ホールド信号に対応した位相シフトレーザ光が半導体レーザ素子403から発生する。これにより、外部電磁界検出を行う場合に、電磁界発生素子70の検出感度が最大になる。

#### 【0097】

本変形例によれば、半導体レーザ素子403から発せられるレーザ光がベクトルポテンシャルを変化させるので、電流経路を通過するキャリアの位相をシフトさせることができる。その結果として、電磁界検出素子70における外部電磁界の検出効率を改善することができる。また、位相制御回路402を用いることによって、電磁界検出素子70の検出感度を最大化することができる。さらに、光検出素子を用いないので、第4実施形態の電磁界検出回路300に比べ、簡易な構成とできる。

10

#### 【0098】

<第5実施形態>

次に、本発明の第5実施形態に係る磁気記録再生ヘッドについて説明する。なお、第1実施形態と同様の部分には十の位が8であり且つ一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することができる。

#### 【0099】

図13は、本発明の第5実施形態に係る磁気記録再生ヘッドを示す正面構成図である。図13に示すように、磁気記録再生ヘッド500は、基板81上に形成されている電磁界発生素子501と、絶縁層502を介して電磁界発生素子501上に形成されている電磁界検出素子80とを備えている。

20

#### 【0100】

電磁界発生素子501は、絶縁体503を挟み込むように形成された一対の電極504、505と、電極504、505に跨るように形成された薄肉の導体層506と、基板81上においてY軸方向に第4実施形態と同じように配置され、かつ、同構成の半導体レーザ素子(図13においては各素子の裏側になるので図示せず)とを備えている。電磁界検出素子80は、絶縁層82、83、84と、電極85、86とを備えている。

#### 【0101】

電極504、505と導体層506は、電気伝導率が高い金属またはカーボンナノチューブで構成されている。特に、高周波応答性を考える上で非磁性金属であるAu、Pt、Ag、Cu、Al、Ti、W、Ir、Pdなどが用いられる。また、図示しないが、電極504、505と導体層506との界面及び電極504、505、導体層506と他の絶縁体部位との界面には、Zn、Ti、Cr、Alなどから構成される密着層が形成されている。

30

#### 【0102】

図13中の $A_w$ 、 $A_h$ は、半導体レーザ素子(図示せず)の活性領域の幅と高さを示しており、点線で囲まれる領域にレーザ光が伝播するように構成されている。電極504、505の間にはギャップGがあいており、ギャップGは透明な絶縁体503で埋め込まれている。Gは200nm以下であり、導体層506の幅(図13中のY軸方向長さ)は400nm以下である。また、導体層506がAuからなる場合、導体層506の断面積(X軸に垂直な切断面)は $6400\text{nm}^2$ 程度より大きく形成される。断面積が、 $6400\text{nm}^2$ より小さくなると、電流iが流れた時に発生するジュール熱で導体層506が発熱融解してしまうからである。なお、他の導電材料では、Auの断面積と同等か、さらに大きい断面積とする。

40

#### 【0103】

次に、図14を用いて、電磁界発生素子501による電磁界の発生原理を説明し、併せて電磁界検出素子80の動作についても説明する。電極505から導体層506を介して電極504に電流iを流した場合、導体層506のギャップGに対応する部位で磁界Bが

50

発生する。また、導体層506に電位Vを印加した場合には、導体層506の周辺に電界が発生する。また、半導体レーザー素子からレーザー光が照射された場合、導体層506のギャップGに対応する部位で近接場NFが発生する。ここで、近接場の発生原理について説明する。金属（ここでは導電層506）と誘電体物質（ここでは絶縁層502、503）との界面に電磁波（近赤外から可視光領域のもの）が照射されると、その界面に金属中の電荷による疎密波が発生し、照射した電磁波とカップリングする。この状態では、上記界面に電磁波が閉じ込められ、界面に対して垂直方向には伝播できなくなる。このような状態を近接場が発生している状態という。ここでの近接場とはエバネッセント波、表面プラズモン、表面プラズモンポラリトン、局所表面プラズモンポラリトンなどを総称している。従って、電磁界発生素子501からの、磁界B、電界E、近接場NFによって、電磁界検出素子80内の2つのパリスティック電子の位相差を制御することができる。また、電磁界検出素子80において、レーザー光による絶縁層82、83、84でのキャリア励起と同様に、近接場NFによってもキャリア励起に伴う電子・正孔対生成により絶縁層82、83、84の全体又は一部の誘電率の変化を引き起こし、絶縁層82、83、84内部の電界が変化することで、パリスティック電子の位相が変化し電気伝導度の変化として現れる。従って、電磁界検出素子80によって、電磁界発生素子501から発生する近接場NFのパワーをモニタリングすることができる。なお、レーザー光を照射するのは、絶縁層82、83、84のうちのいずれか1つであってもよい。また、絶縁層503が透明な材料からなるものであれば、絶縁層503と金属材料からなる導電層506との界面での近接場の減衰が抑えることができる。

10

20

#### 【0104】

本実施形態によれば、電磁界発生素子501によって情報記録媒体上に記録した電磁界情報を、電磁界検出素子80によって高感度で検出できる。したがって、例えば1Tb/inch<sup>2</sup>を超えた高記録面密度に対応した電磁界情報の記録及び再生が可能な磁気記録再生ヘッド500が得られる。また、電磁界発生素子501を用いることで、電磁界発生素子501から発生する電界E・磁界B・近接場NFにより、電磁界検出素子80の位相の制御が可能となり、電磁界検出素子80による電界E・磁界B・近接場NFの検出感度が改善される。

#### 【0105】

なお、本実施形態での位相制御については、前述の第2実施形態から第4実施形態で挙げた位相制御回路を用いたり、組み合わせたりすることで実現できる。

30

#### 【0106】

< 第5実施形態の変形例 >

次に、第5実施形態の変形例に係る磁気記録再生ヘッドについて説明する。なお、第1実施形態と同様の部分には十の位が9であり且つ一の位が同じ符号を付け、その説明を省略することができる。

#### 【0107】

図15は、本発明の第5実施形態の変形例に係る磁気記録再生ヘッドを示す正面構成図である。図15に示すように、磁気記録再生ヘッド600は、基板91上に形成されている電磁界検出素子90と、絶縁層602を介して電磁界検出素子90上に形成されている電磁界発生素子601とを備えている。

40

#### 【0108】

電磁界検出素子90は、基板91上に形成されている絶縁層92、83、84と、電極85、86とを備えている。電磁界発生素子601は、絶縁層602の上に形成された導体層606と、導体層606及び絶縁層602の上において、絶縁体603を挟み込むように形成された電極604、605と、基板91上においてY軸方向に第4実施形態と同じように配置され、かつ、同構成の半導体レーザー素子（図15においては各素子の裏側になるので図示せず）とを備えている。

#### 【0109】

上記構成であれば、第5実施形態と同様の作用・効果を得ることができるとともに、基

50

板 9 1 に結晶基板を用いて、電磁界検出素子 9 0 を形成することができるため、絶縁層 9 2、9 3、9 4 の各層が結晶性の物質で構成される場合、結晶性が改善され絶縁破壊電界の増加や、電子の伝導度が改善されるといった効果をも奏することができる。

#### 【 0 1 1 0 】

##### < 第 6 実施形態 >

次に、本発明の第 6 実施形態に係る情報記録再生装置について説明する。図 1 6 は、本発明の第 6 実施形態に係る情報記録再生装置の主要部の構成を示す斜視図である。図 1 7 は、図 1 6 に示す情報記録再生装置の情報記録再生ヘッド付近の拡大斜視図である。図 1 8 は、図 1 6 に示す情報記録再生装置の情報記録再生ヘッドが情報記録媒体に対して行う電磁界情報の記録・再生の動作を説明するための図である。

10

#### 【 0 1 1 1 】

情報記録再生装置 7 0 0 は、移動手段であるアクチュエータ 7 0 1 によって移動するアーム 7 0 2 と、アーム 7 0 2 によって支持されているスライダ 7 0 3 と、スライダ 7 0 3 に取り付けられている情報記録再生ヘッド 8 0 0 と、情報記録再生ヘッド 8 0 0 によって、電磁界情報の記録・再生がなされる情報記録媒体 7 0 4 とを備えている。

#### 【 0 1 1 2 】

情報記録再生ヘッド 8 0 0 は、図 1 7、図 1 8 に示すように、第 5 実施形態における情報記録再生ヘッド 5 0 0 と同構成のものであり、基板 8 0 6 の上に形成された半導体レーザー素子 8 0 2 及び電磁界発生素子 8 0 3 と、電磁界発生素子 8 0 3 の上に絶縁層 8 0 5 を介して形成されている電磁界検出素子 8 0 4 とを備えている。導電層 8 0 3 c を介して電氣的に接続されている電磁界発生素子 8 0 3 の電極 8 0 3 a、8 0 3 b と、半導体レーザー素子 8 0 2 の電極 8 0 2 a、8 0 2 b と、電磁界検出素子 8 0 4 の電極 8 0 4 a、8 0 4 b とがそれぞれフレキシブルケーブルの細線が接続されている。電磁界検出素子 8 0 4 は、第 5 実施形態における情報記録再生ヘッド 5 0 0 と同構成の絶縁層 8 0 4 c、8 0 4 d、8 0 4 e を有している。

20

#### 【 0 1 1 3 】

図 1 7 に示すように、スライダ 7 0 3 の下部には、エアーベアリング構造 8 0 1 が形成されており、回転する情報記録媒体 7 0 4 の記録面 7 0 4 a を滑走する。情報記録再生ヘッド 8 0 0 と記録面 7 0 4 a との距離（フライングハイト）は、100 nm 以下に設定されている。また、スライダ 7 0 3 は、移動手段であるアクチュエータ 7 0 1 によって情報記録媒体 7 0 4 の記録トラックを走査する。

30

#### 【 0 1 1 4 】

情報記録媒体 7 0 4 は、ハードディスクドライブに用いられている一般的な磁気記録媒体であり、例えば、CoCrPt 系磁気記録媒体、希土類遷移金属磁気記録媒体あるいは FePt 系磁気記録媒体などである。または、RhFe 系などの反強磁性物質で構成された磁気記録媒体でも良い。または、熱による相変化を生じる媒体であっても良い。

#### 【 0 1 1 5 】

次に、本実施の形態の情報記録再生ヘッド 8 0 0 が情報記録媒体 7 0 4 に対して、記録または再生する動作原理について、図 1 8 を用いて説明する。

#### 【 0 1 1 6 】

まず、記録時の動作原理について説明する。第 5 実施形態でも説明したように、情報記録再生ヘッド 8 0 0 の半導体レーザー素子 8 0 2 からレーザー光が電磁界発生素子 8 0 3 の導電層 8 0 3 c に照射されギャップ周辺に近接場を発生する。発生した近接場によって、情報記録媒体 7 0 4 が局所的に加熱される。情報記録媒体 7 0 4 が保磁力の大きな磁性体で構成される場合、局所加熱した情報記録媒体 7 0 4 の部位では保磁力が減少する。同時に導電層 8 0 3 c に電流  $i$  を流すことにより、情報記録媒体 7 0 4 の保磁力以上の磁界  $B$  を印加することで、近接場アシスト磁気記録が行われる。また、図 1 8 において、電磁界発生素子 8 0 3 に対して、情報記録媒体 7 0 4 が紙面左に向かって移動する場合、近接場アシスト垂直磁気記録が行われる。逆に、電磁界発生素子 8 0 3 に対して、情報記録媒体 7 0 4 が紙面右に向かって移動する場合、近接場アシスト斜め磁気記録が行われる。ま

40

50

た、常温で情報記録媒体 704 の保磁力よりも、発生磁界が強い場合は、通常の磁気記録を行っても良い。情報記録媒体 704 が相変化媒体で構成される場合、近接場の発生による情報記録媒体 704 の局所加熱によって、相変化記録を行う。以上のように、電磁界発生素子 803 により、情報記録媒体 704 に記録が実現される。

【0117】

次に、再生時の動作原理について説明する。電磁界検出素子 804 に所望の高電界が印加され、2つのパリスティック電子の経路が生成される。図19は、図18に示す情報記録媒体 704 の情報記録トラック 704 b 上に記録された磁気記録ビット 704 c が、電磁界検出素子 804 付近を通過した場合の電磁界検出の様子を説明するための図である。図19では、垂直磁気記録媒体を例に用いて説明する。情報記録トラック 704 b には、図19紙面に対し垂直であって、磁化の向きが反平行の磁気記録ビット 704 c が交互に並んでいる。また、この磁気記録ビット 704 c によるベクトルポテンシャルが点線矢印で示されている。最も上の磁気記録ビット 704 c においては、紙面表面に向けて磁化が向き、左回りのベクトルポテンシャルが形成されている。図19(A)左図のようにパリスティック電子の経路 e1 の進行方向がベクトルポテンシャルと反対向きで経路 e2 の進行方向がベクトルポテンシャルと同じ向きである場合、2つのパリスティック電子間で位相変化が生じる。2つのパリスティック電子間の位相差は  $2\pi / \lambda_0$  となる。ここで、 $\lambda_0$  は磁束量子、 $\lambda_0$  は2つのパリスティック電子の経路に挟まれる領域での磁束量である。このとき電磁界検出素子 800 の電気伝導度 F は位相差分だけ減少する(図19(A)の中央図)。

10

20

【0118】

図19(B)左図のようにパリスティック電子の経路 e1、e2 の進行方向のいずれもベクトルポテンシャルと直交している場合、2つのパリスティック電子間で位相変化が生じない。したがって、電磁界検出素子 800 の電気伝導度 F は減少しない(図19(B)の中央図)。

【0119】

図19(C)左図のようにパリスティック電子の経路 e1 の進行方向がベクトルポテンシャルと同じ向きで経路 e2 の進行方向がベクトルポテンシャルと反対向きである場合、2つのパリスティック電子間で位相変化が生じる。2つのパリスティック電子間の位相差は、図19(A)の場合とは逆に  $-2\pi / \lambda_0$  となる。2つのパリスティック電子の経路に挟まれる領域での磁束量は  $-\lambda_0$  となる。このとき電磁界検出素子 800 の電気伝導度 F は、図19(A)の場合と同じ量だけ減少する(図19(C)の中央)。ただし、両者間で磁束量すなわち位相差の正負が互いに異なるので、図19(A)の中央図と図19(C)の中央図とは変化の方向が逆となっている。

30

【0120】

ここで、外部の磁界 B、電界 E、絶縁層 804 d の透磁率  $\mu$ 、誘電率  $\epsilon$  を変化させ、2つのパリスティック電子間に同じ位相シフトを導入することで、磁束量を  $+\lambda_0$  とする。 $(B, E, \mu, \epsilon)$  は、磁界 B、電界 E、透磁率  $\mu$ 、誘電率  $\epsilon$  の関数となっている。例えば図6、図8、図10又は図12に示したような位相制御回路を用いて位相制御を行うことで、電磁界検出素子 804 の電磁界検出感度を最大にすることができる。位相制御前においては、図19(A)、(B)、(C)の各中央図を見比べると分かるように、これらの間での電気伝導度 F 同士の差異は比較的小さく、図19(A)の中央図と図19(C)の中央図とを比べると分かるように、これら2つの電気伝導度 F は同じである。これに対して、磁束量が  $+\lambda_0$  となると、 $\epsilon > 0$  の場合は、磁気記録ビットと逆位相の再生(磁気記録ビットの信号の極性(正負)が反転した極性(負正)で再生)が行われ、 $\epsilon = \lambda_0 / 2$  の時に検出感度が最大になる。つまり、図19(A)、(B)、(C)の各右図を見比べると分かるように、これらの間での電気伝導度 F 同士の差異は比較的大きく、図19(A)の右図と図19(C)の右図とを比べると分かるように、これら2つの電気伝導度 F の差は最大値となっている。したがって、このときの電気伝導度をモニタリングすることで、磁気記録ビットの情報を検出すれば高精度の検出が可能である。同様に、 $\epsilon < 0$  の場

40

50

合は、磁気記録ビットと同位相の再生が行われ、 $\theta = \pi / 2$ の時に検出感度が最大になる。

#### 【0121】

ここでは、磁気記録について取り上げたが、電磁界検出素子804は原理的にはベクトルポテンシャルを直接検出するため、磁界以外の電界や近接場も検出できる。従って、情報記録媒体704が相変化記録媒体で構成される場合、相変化記録媒体の磁気記録ビット704cの電界Eの検出や、電磁界発生素子803から発生した近接場が磁気記録ビット704cで反射した近接場を電磁界検出素子804により検出できる。電磁界検出素子804と情報記録トラック704bとの配置に関しては、任意の角度で配置されても検出が可能である。以上のことから、2つのパリスティック電子の経路に挟まれる領域のサイズを25nm平方のサイズにすれば、 $1\text{ Tb/inch}^2$ を超えた記録面密度に対応した電磁界情報を検出することができる記録または再生を行う情報記録再生ヘッドを提供することができる。

10

#### 【0122】

次に、情報記録再生装置700の動作について説明する。図20は、情報記録再生装置700の記録・再生の動作を説明するための概略ブロック図である。

#### 【0123】

情報記録再生装置700は、さらに上位装置から記録または再生を制御する記録再生制御端子901と、上位装置から記録データが入力される入力端子902と、上位装置へ再生データを出力する出力端子903とを有している。また、記録再生制御端子901に接続され、記録または再生を制御する記録再生制御部904と、入力端子902に接続され、記録データを記録信号化するデータ記録部905と、出力端子903に接続され、再生信号を符号化するデータ再生部906とを有している。さらに、半導体レーザー素子802を備えているレーザー発光部907と、レーザー駆動部908と、電磁界発生素子803を備えている電磁界発生部909と、電流・電圧制御部910と、電磁界検出素子804を備えている電磁界検出部911とを有している。

20

#### 【0124】

記録再生制御部904は、データ記録部905、データ再生部906、レーザー発光部907のレーザー駆動電流を制御するレーザー駆動部908、データ記録部905からの記録信号に従って記録磁界を発生させる電磁界発生部909へ流す電流を制御する電流・電圧制御部910に接続されている。電磁界検出部911は、記録再生制御部904からの指示により、レーザー発光部907からのレーザー光、あるいは電磁界発生部909から発生する近接場を受光し、記録再生制御部904へレーザー光強度の検出信号を記録再生制御部904に出力し、記録再生制御部904はレーザー光強度または電磁界発生部909から発生する近接場を一定にするようにレーザー駆動部908を制御する。また、電磁界検出部911は、情報記録媒体704と電磁界発生部909から発生する近接場との相互作用による強度変化を検出し、検出結果をデータ再生部906に出力する。

30

#### 【0125】

通常磁気記録の場合は、電流・電圧制御部910は、データ記録部905からの記録信号および記録再生制御部904からの指示により、電磁界発生部909に対して記録データに応じた電流を発生させる。これにより、情報記録媒体704に情報記録を行う。近接場アシスト磁気記録の場合は、通常磁気記録の場合の手順に加え、記録再生制御部904からの指示により、レーザー駆動部908が制御され、レーザー発光部907が所望の強度のレーザー光が発生し、電磁界発生部909に近接場が発生することで、情報記録媒体704が局所的に加熱され、過熱された領域でのみ近接場アシスト磁気記録が実現され情報記録が行われる。また、近接場NFによる相変化記録の場合、データ記録部905からの記録信号から記録再生制御部904が、レーザー駆動部908に指示を出し、レーザー発光部907が所望の強度のレーザー光が発生し、電磁界発生部909に近接場が発生することで、情報記録媒体704が局所的に加熱され、過熱された領域でのみ相変化記録が行われる。

40

50



## 【0126】

再生の前段階として、電磁界の検出感度を最大にするために、前述の位相制御回路を用いて電磁界検出部911でのパリストティック電子に対して所望の位相シフトを行う。再生時は、記録再生制御部904からの指示で、電磁界発生部909から所望の磁界もしくは電界、あるいは、近接場が発生する。情報記録媒体704の記録マークのからの電磁界情報を電磁界検出部911が検出し、データ再生部906に再生信号を出力する。データ再生部906は、記録再生制御部904からの指示で、再生信号より、再生データに変換し出力端子903に再生データ出力させる。

## 【0127】

本実施形態によれば、基板806に形成された情報記録再生ヘッド800がスライダ703と一体化されており、従来の磁気ヘッドと類似のプロセスが利用できるため生産性が向上する。さらに、それぞれの素子の端子が、スライダ703と一体化した基板806上に形成されるので、外部への端子のアクセスが容易になり生産性が向上する。また、情報記録媒体704の所望の位置に情報記録再生ヘッド800を移動することができ、 $1\text{Tb}/\text{inch}^2$ を超えた記録面密度に対応したナノサイズの領域での電磁界情報を記録、再生できるので、 $1\text{Tb}/\text{inch}^2$ を超えた高密度情報記録再生装置を提供することができる。

## 【0128】

なお、本発明は、特許請求の範囲を逸脱しない範囲で設計変更できるものであり、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、第1実施形態の変形例1、2の電磁界検出素子のいずれかを第2～第5実施形態の各電磁界検出素子の代わりに用いてもよい。また、第2～第4を組み合わせた電磁界検出回路としてもよい。また、上述した実施形態では一対の電極の対向面が3つの絶縁層の表面と直交しているが、一対の電極の対向面が3つの絶縁層の表面と平行であってもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0129】

【図1】本発明の第1実施形態に係る電磁界検出素子の斜視構成図である。

【図2】図1の電磁界検出素子10をY軸方向から見た場合の構成図である。

【図3】AB効果の原理説明を行うために使用する図である。

【図4】第1実施形態の変形例1の電磁界検出素子を示す図であって、(a)は斜視構成図、(b)は上視図である。

【図5】第1実施形態の変形例2の電磁界検出素子をY軸方向から見た場合の構成図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係る電磁界検出回路の概略図である。

【図7】図6の電磁界検出回路の電磁界検出素子と磁界発生源との関係を具体的に示す斜視構成図である。

【図8】本発明の第3実施形態に係る電磁界検出回路の概略図である。

【図9】図8の電磁界検出回路の電磁界検出素子と電界発生源との関係を具体的に示す斜視構成図である。

【図10】本発明の第4実施形態に係る電磁界検出回路の概略図である。

【図11】図10の電磁界検出回路の電磁界検出素子と半導体レーザー素子との関係を具体的に示す斜視構成図である。

【図12】本発明の第4実施形態の変形例に係る電磁界検出回路の概略図である。

【図13】本発明の第5実施形態に係る磁気記録再生ヘッドを示す正面構成図である。

【図14】図13に示す磁気記録再生ヘッドにおける電磁界発生素子による電磁界の発生原理を説明するための図である。

【図15】本発明の第5実施形態の変形例に係る磁気記録再生ヘッドを示す正面構成図である。

【図16】本発明の第6実施形態に係る情報記録再生装置の主要部の構成を示す斜視図である。

【図 17】図 16 に示す情報記録再生装置の情報記録再生ヘッド付近の拡大斜視図である。

【図 18】図 16 に示す情報記録再生装置の情報記録再生ヘッドが情報記録媒体に対して行う電磁界情報の記録・再生の動作を説明するための図である。

【図 19】図 18 に示す情報記録媒体の情報記録トラック上に記録された磁気記録ビットが、電磁界検出素子付近を通過した場合の電磁界検出の様子を説明するための図である。

【図 20】情報記録再生装置 700 の記録・再生の動作を説明するための概略ブロック図である。

【図 21】図 1 の電磁界検出素子 10 とほぼ同構成の電磁界検出素子の電流 - 電圧特性を示した図である。

【図 22】図 21 で用いた電磁界検出素子に 10 V 電圧印加した場合の電流 - 磁場特性を示した図である。

【図 23】図 21 で用いた電磁界検出素子に 0.5 V 電圧印加した場合の電流 - 磁場特性を示した図である。

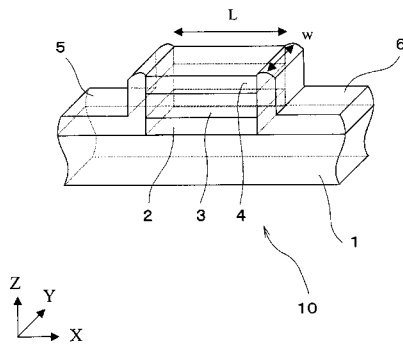
#### 【符号の説明】

##### 【0130】

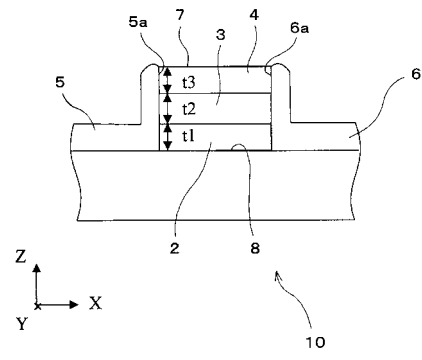
1、21、31、41、51、61、81、91、806	基板	
2、3、4、22、23、24、32、33、34、42、43、44、52、53、54、62、63、64、82、83、84、92、93、94、502、602、804c、804d、804e、805	絶縁層	20
5、6、25、26、35、36、45、46、55、56、65、66、85、86、303d、303e、504、505、604、605、802a、803a、803b、804a、804b	電極	
5a、6a	対向面	
7、8	境界面	
10、20、30、40、50、60、70、80、90、804	電磁界検出素子	
11	電子線源	
12	電子線検出器	
100、200、300、400	電磁界検出回路	
101、201、301、401	電磁界検出センサ	30
102、202、302、401	位相制御回路	
103	磁界発生源	
103a	金属細線	
104、204、304、404	基準抵抗	
105、205、305、405	定電圧電源回路	
106、206、306、406	信号増幅器	
107、207、307、407	ロックイン検出器	
108、208、308、408、903	出力端子	
109、110、209、210、309、310、409、410	変調信号用発信器	40
111、112	V / I 変換器	
113、213、313、413	スイッチ	
114、214、314、414	ホールド回路	
115、215、315、415	スイッチ回路	
116、216、316、416	抵抗	
203	電界発生源	
211、311、411	電圧発生回路	
303、403、802	半導体レーザー素子	
303a	分布型ブラッグ反射器	
303c	レーザー光発振部	50

3 0 3 f	活性領域	
3 1 7、4 1 7	光検出素子	
3 1 8、4 1 8	レーザー駆動回路	
3 1 9、4 1 9	レーザー駆動電流出力回路	
3 2 0、4 2 0、4 2 1、9 0 2	入力端子	
5 0 0、6 0 0、8 0 0	情報記録再生ヘッド	
5 0 1、6 0 1、8 0 3	電磁界発生素子	
5 0 3、6 0 3	絶縁体	
5 0 6、6 0 6、8 0 3 c	導体層	
7 0 0	情報記録再生装置	10
7 0 1	アクチュエータ	
7 0 2	アーム	
7 0 3	スライダ	
7 0 4	情報記録媒体	
7 0 4 a	記録面	
7 0 4 b	情報記録トラック	
7 0 4 c	磁気記録ビット	
8 0 1	エアベアリング構造	
9 0 1	記録再生制御端子	
9 0 4	記録再生制御部	20
9 0 5	データ記録部	
9 0 6	データ再生部	
9 0 7	レーザー発光部	
9 0 8	レーザー駆動部	
9 0 9	電磁界発生部	
9 1 0	電流・電圧制御部	
9 1 1	電磁界検出部	

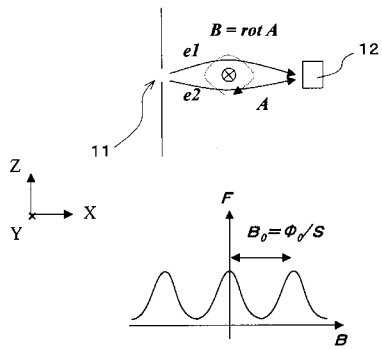
【 図 1 】



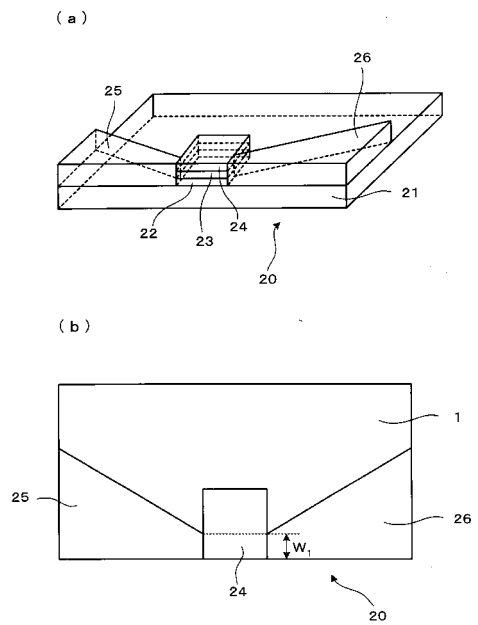
【 図 2 】



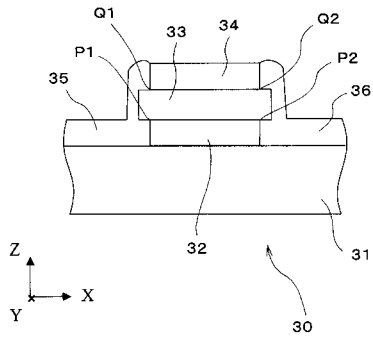
【 図 3 】



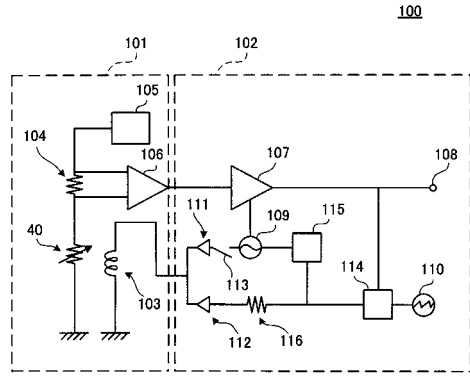
【 図 4 】



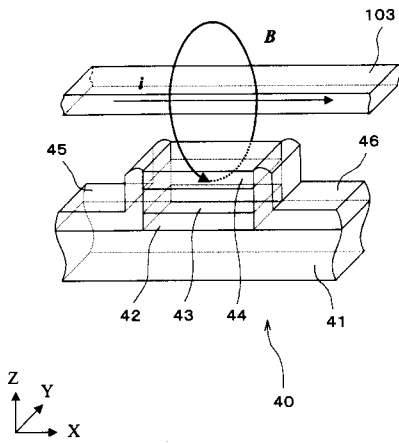
【 図 5 】



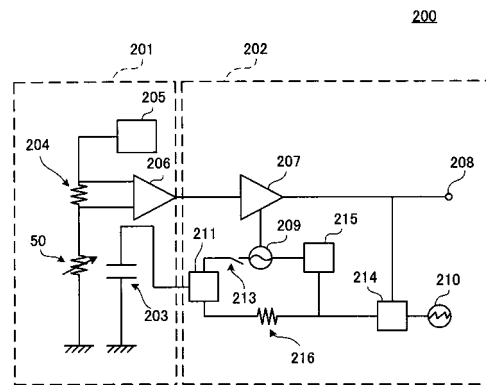
【 図 6 】



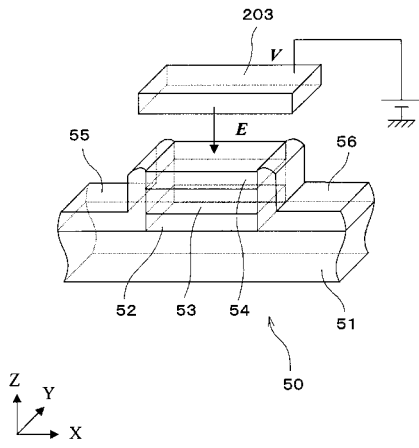
【 図 7 】



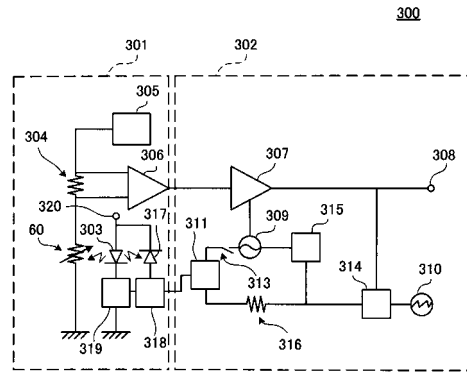
【 図 8 】



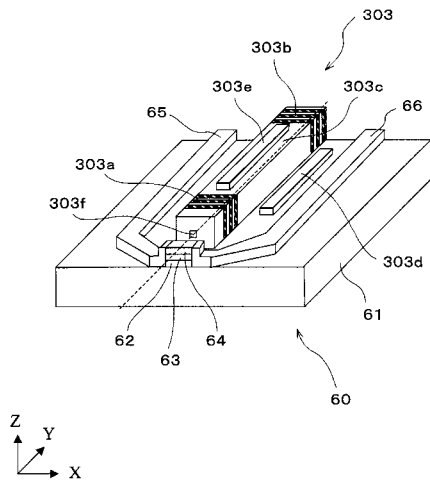
【 図 9 】



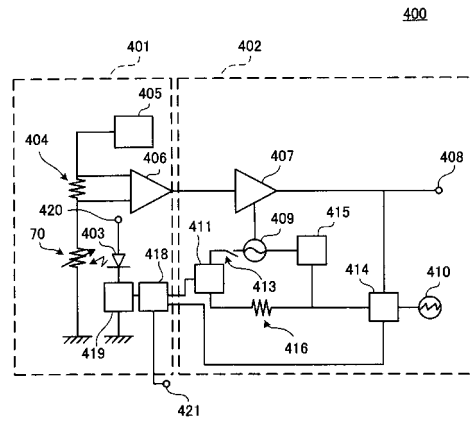
【 図 1 0 】



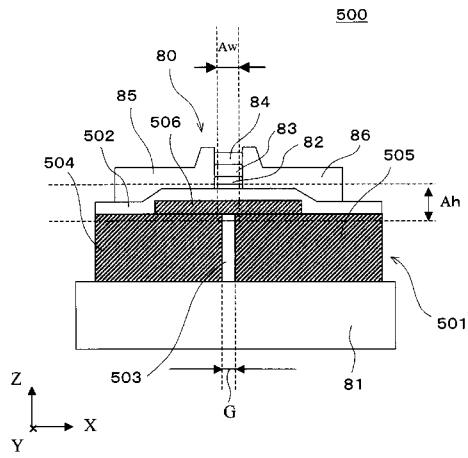
【 図 1 1 】



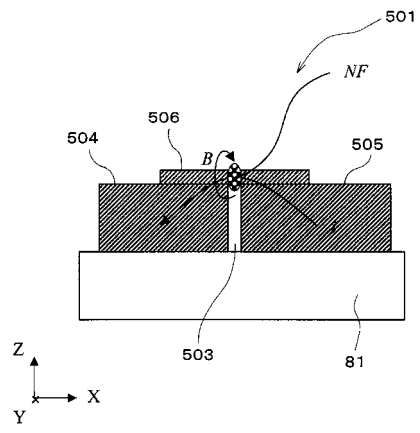
【 図 1 2 】



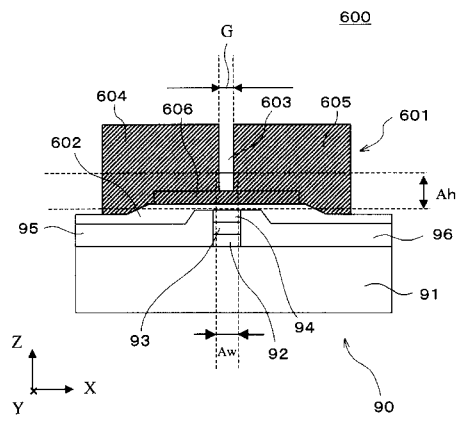
【 図 1 3 】



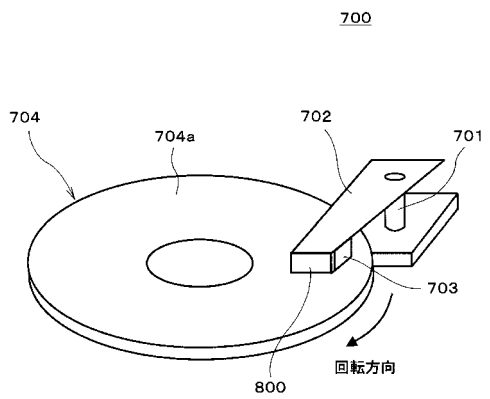
【 図 1 4 】



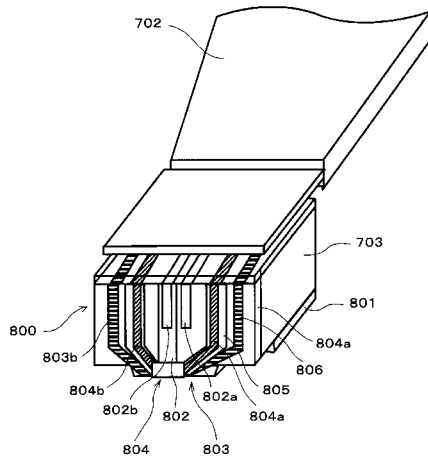
【 図 1 5 】



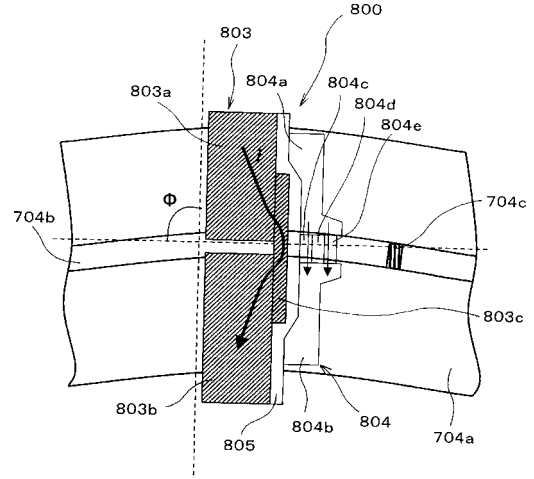
【 図 1 6 】



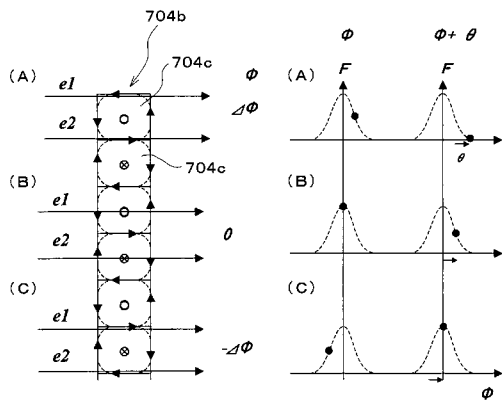
【 図 1 7 】



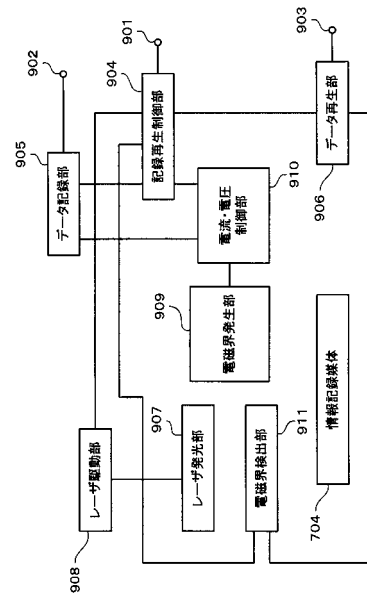
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

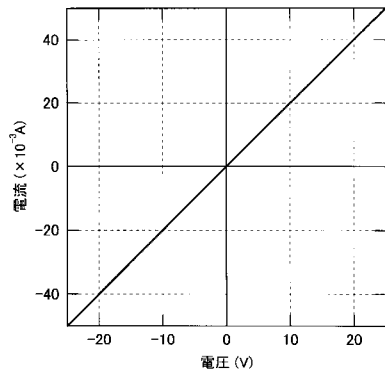


【 図 2 0 】

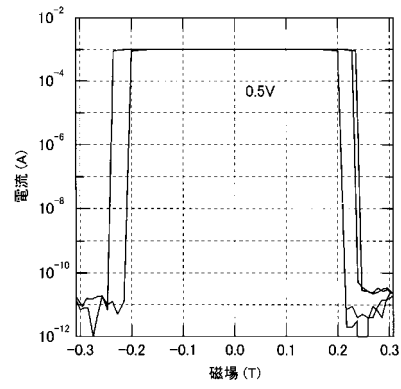




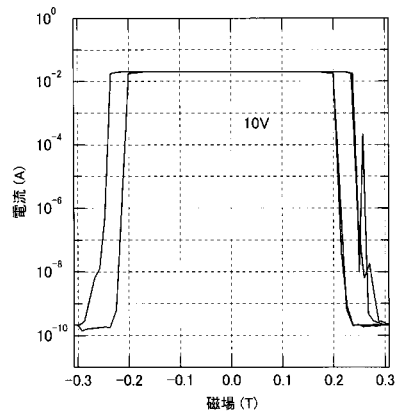
【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



【 図 2 3 】



## 【手続補正書】

【提出日】平成19年2月9日(2007.2.9)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、

前記対向面に沿った一方向に関する前記対向面の重複範囲における両端境界のそれぞれから離隔して前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第1の絶縁体とを備えていることを特徴とする電磁界検出素子。

## 【請求項2】

互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、

前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第1の絶縁体とを備えており、

前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分を絶縁破壊させ且つ前記第1の絶縁体を絶縁破壊させない大きさの電界を前記一对の対向電極間に印加した際に、前記一对の対向電極間に前記第1の絶縁体を挟む2つの弾道的な電流経路が形成されることを特徴とする電磁界検出素子。

## 【請求項3】

前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分には、前記第1の絶縁体を挟み且つ前記第1の絶縁体と接触する第2及び第3の絶縁体が配置され、

前記第1の絶縁体の絶縁破壊電界が、前記第2及び前記第3の絶縁体の絶縁破壊電界より大きいものであり、

前記弾道的な電流経路が、前記第1の絶縁体と前記第2の絶縁体との間、前記第1の絶縁体と前記第3の絶縁体との間のそれぞれに形成されていることを特徴とする請求項2に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項4】

基板上に、第2の絶縁体、第1の絶縁体、第3の絶縁体の順で積層された積層体と、互いに対向する対向面をそれぞれ有するように且つ前記積層体を挟むように配置された一对の対向電極とを有しており、

前記第1の絶縁体が、前記対向面に沿った一方向に関する前記対向面の重複範囲に収まるように形成されており、

前記第1の絶縁体の絶縁破壊電界が、前記第2の絶縁体及び前記第3の絶縁体の絶縁破壊電界より大きいことを特徴とする電磁界検出素子。

## 【請求項5】

前記対向面に沿った一方向に関する前記第2及び第3の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程以下であることを特徴とする請求項3又は4に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項6】

前記第2及び第3の絶縁体が、前記一对の対向電極に係る2つの前記対向面の両方と接触していることを特徴とする請求項3～5のいずれか1項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項7】

前記第1～第3の絶縁体が、互いに平行な表面を有する積層構造を形成していることを特徴とする請求項3～6のいずれか1項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 8】

前記対向面が、前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体の表面と直交していることを特徴とする請求項 3 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 9】

前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体の少なくともいずれか 1 つが、3 以上の透磁率を有する材料からなることを特徴とする請求項 3 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 10】

前記第 1 ~ 第 3 の絶縁体の少なくともいずれか 1 つが、4 以上の誘電率を有する材料からなることを特徴とする請求項 3 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 11】

前記一对の対向電極に係る 2 つの前記対向面の最短距離が 100 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 12】

前記対向面に沿った一方向に関する前記第 1 の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程の 2 倍以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 13】

前記対向面に沿った一方向に関する前記第 1 の絶縁体の幅が、前記一对の対向電極を構成する導電性材料における電子の平均自由行程以下であることを特徴とする請求項 12 に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 14】

前記対向面には、少なくとも 2 つの段差部が形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 15】

前記第 1 の絶縁体が、前記一对の対向電極に係る 2 つの前記対向面の少なくともいずれか一方と接触していることを特徴とする請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子。

## 【請求項 16】

請求項 1 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子と、  
前記電磁界検出素子において前記一对の対向電極間に形成される 2 つの電流経路の少なくともいずれか一方を通過するキャリアの位相をシフトさせる位相シフト部材とを備えていることを特徴とする電磁界検出センサ。

## 【請求項 17】

前記位相シフト部材が、磁界発生源であることを特徴とする請求項 16 に記載の電磁界検出センサ。

## 【請求項 18】

前記位相シフト部材が、電界発生源であることを特徴とする請求項 16 に記載の電磁界検出センサ。

## 【請求項 19】

前記位相シフト部材が、電磁波発生源であることを特徴とする請求項 16 に記載の電磁界検出センサ。

## 【請求項 20】

前記位相シフト部材が、近接場発生源であることを特徴とする請求項 16 に記載の電磁界検出センサ。

## 【請求項 21】

請求項 16 ~ 20 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出センサと、  
前記位相シフト部材によるキャリアの位相シフト量を制御する位相制御回路とを備えていることを特徴とする電磁界検出回路。

## 【請求項 22】

情報記録媒体に電磁界情報を記録する電磁界発生素子と、

情報記録媒体に記録された電磁界情報を読み取る請求項 1 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の電磁界検出素子とを備えていることを特徴とする磁気記録再生ヘッド。

【請求項 23】

前記電磁界検出素子及び前記電磁界発生素子が、スライダと一体形成されていることを特徴とする請求項 22 に記載の情報記録再生ヘッド。

【請求項 24】

請求項 22 又は 23 に記載の情報記録再生ヘッドと、

前記情報記録再生ヘッドを情報記録媒体上の所定位置に移動させる移動手段とを備えていることを特徴とする情報記録再生装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

(1) 本発明の電磁界検出素子は、互いに対向する対向面をそれぞれ有するように絶縁領域中に配置された一对の対向電極と、前記対向面に沿った一方向に関する前記対向面の重複範囲における両端境界のそれぞれから離隔して前記一对の対向電極の間に挟まれており、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた部分よりも絶縁破壊電界が大きい第 1 の絶縁体とを備えている。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0013】

(3) 本発明の電磁界検出素子は、前記絶縁領域のうち前記一对の対向電極の間に挟まれた前記部分には、前記第 1 の絶縁体を挟み且つ前記第 1 の絶縁体と接触する第 2 及び第 3 の絶縁体が配置され、前記第 1 の絶縁体の絶縁破壊電界が、前記第 2 及び前記第 3 の絶縁体の絶縁破壊電界より大きいものであり、前記弾道的な電流経路が、前記第 1 の絶縁体と前記第 2 の絶縁体との間、前記第 1 の絶縁体と前記第 3 の絶縁体との間のそれぞれに形成されていることが好ましい。これにより、第 1 の絶縁体をこれと接触する 2 つの絶縁体で挟むことによって、電磁界検出素子の電気特性が安定し、より高い精度での外部電磁界検出が可能となる。上記(1)、(2)の電磁界検出素子及び上記(1)、(2)の電磁界検出素子における好ましい形態の別の観点として、本発明の電磁界検出素子は、基板上に、第 2 の絶縁体、第 1 の絶縁体、第 3 の絶縁体の順で積層された積層体と、互いに対向する対向面をそれぞれ有するように且つ前記積層体を挟むように配置された一对の対向電極とを有しており、前記第 1 の絶縁体が、前記対向面に沿った一方向に関する前記対向面の重複範囲に収まるように形成されており、前記第 1 の絶縁破壊電界が、前記第 2 の絶縁体及び前記第 3 の絶縁体の絶縁破壊電界より大きいものであってもよい。これによっても、上記(1)、(2)の効果を奏するだけでなく、第 1 の絶縁体をこれと接触する 2 つの絶縁体で挟むことから、電磁界検出素子の電気特性が安定し、より高い精度での外部電磁界検出が可能となる。

【手続補正 4】

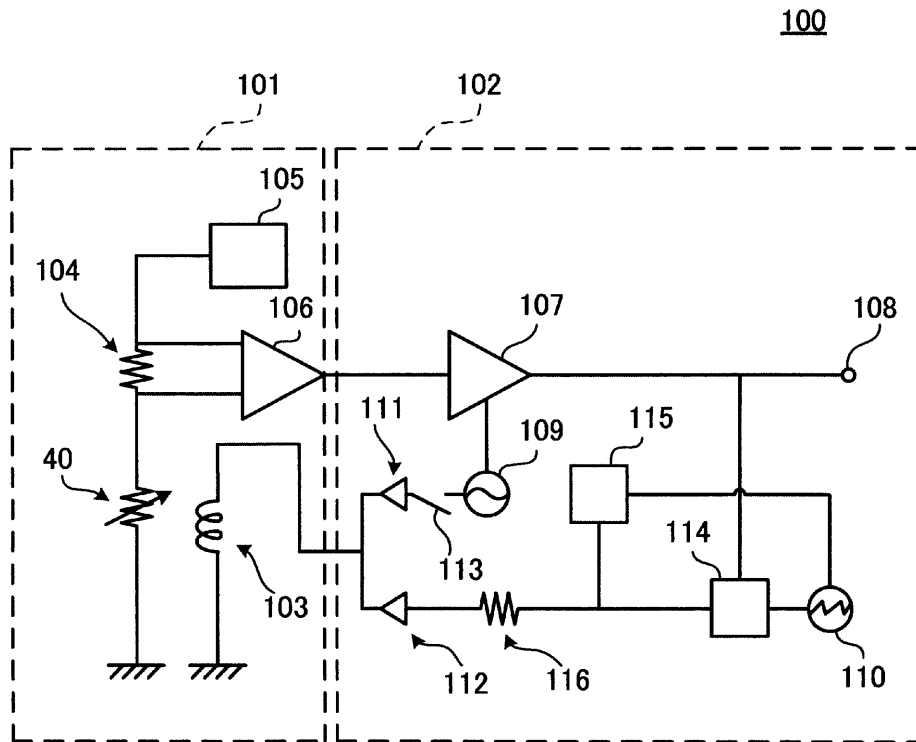
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 6

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図6】



【手続補正5】

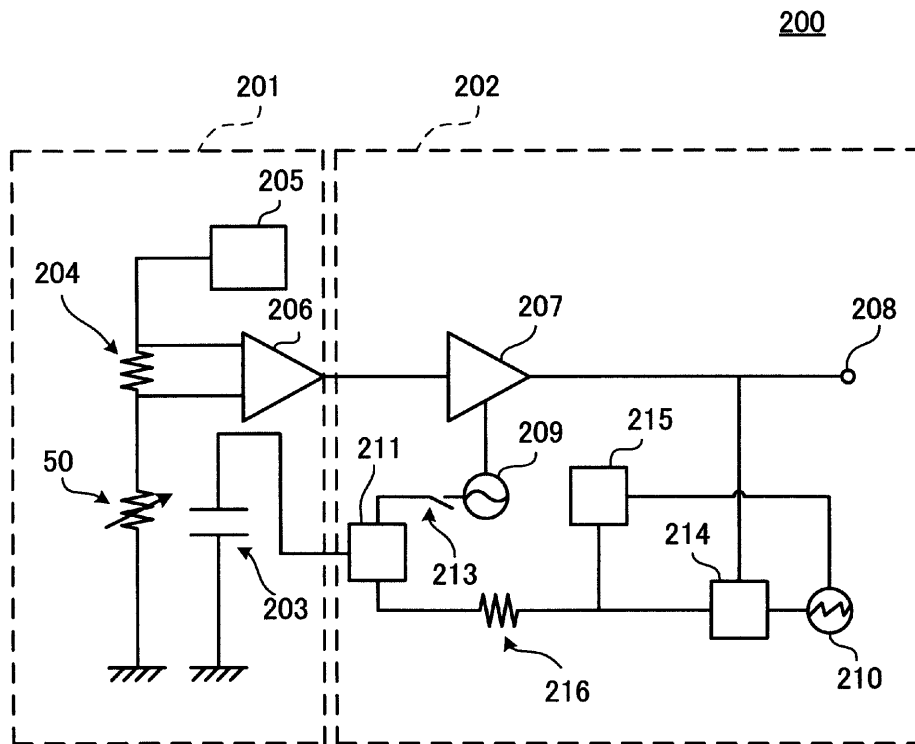
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 図 8 】



【 手続補正 6 】

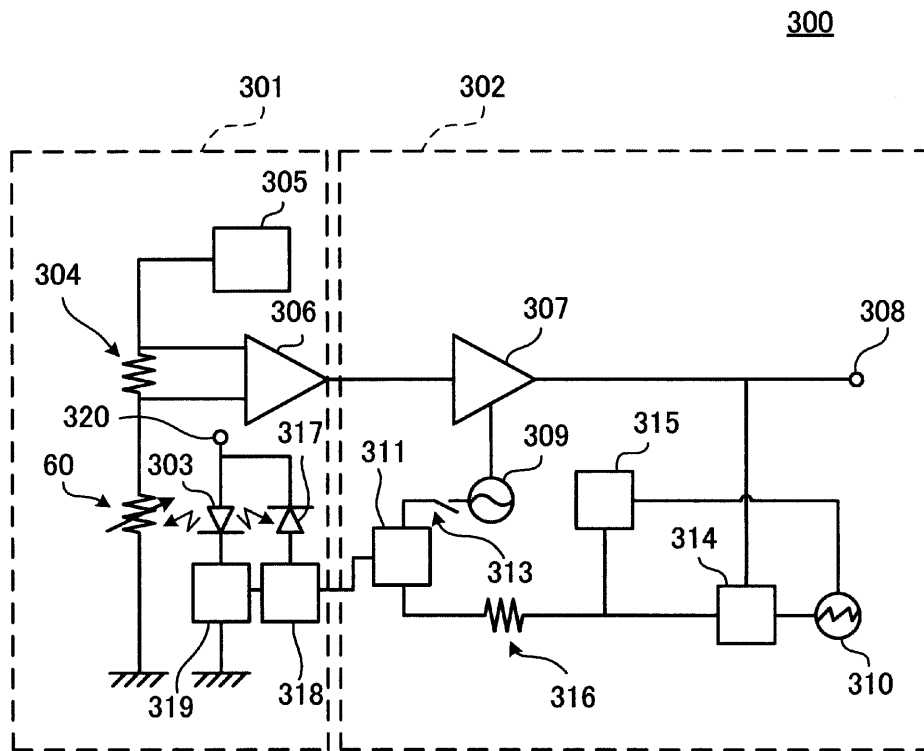
【 補正対象書類名 】 図面

【 補正対象項目名 】 図 1 0

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 図 1 0 】



【 手続補正 7 】

【 補正対象書類名 】 図面

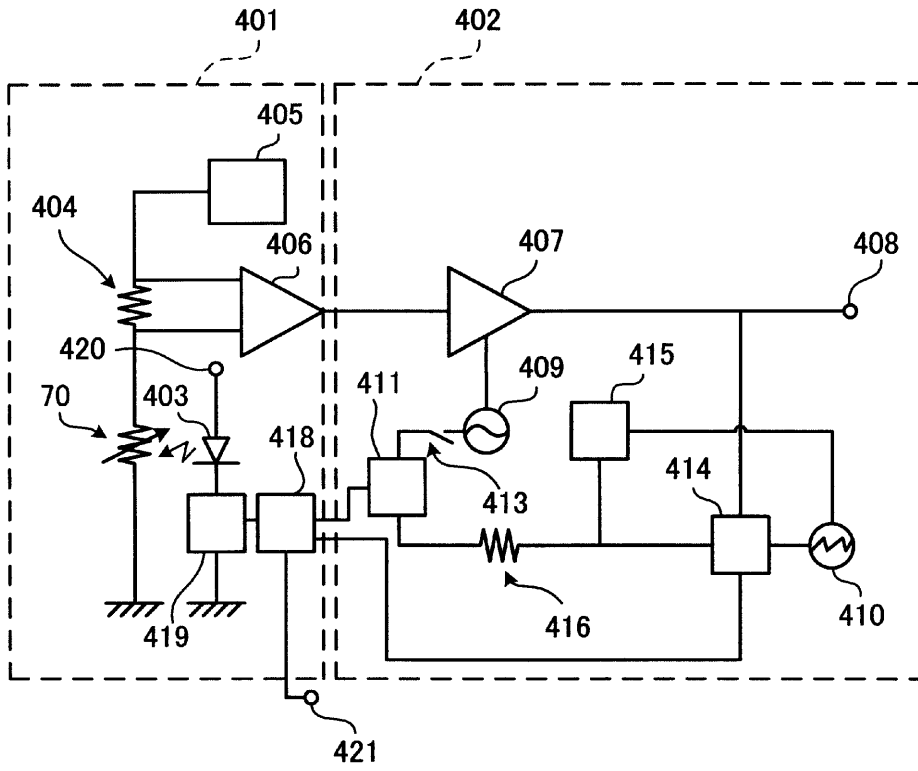
【 補正対象項目名 】 図 1 2

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 図 1 2 】

400





---

フロントページの続き

(72)発明者 村上 善照

大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内

(72)発明者 小嶋 邦男

大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AD55 AD56 AD63 AD64

5F092 AA08 AB01 AB02 AC30 BD14 BD15 BD20 BD23