

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5764949号  
(P5764949)

(45) 発行日 平成27年8月19日(2015.8.19)

(24) 登録日 平成27年6月26日(2015.6.26)

(51) Int.Cl.

G 0 1 R 33/26 (2006.01)  
A 6 1 B 5/05 (2006.01)

F 1

G 0 1 R 33/26  
A 6 1 B 5/05

A

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2011-20926 (P2011-20926)  
 (22) 出願日 平成23年2月2日 (2011.2.2)  
 (65) 公開番号 特開2012-159464 (P2012-159464A)  
 (43) 公開日 平成24年8月23日 (2012.8.23)  
 審査請求日 平成26年1月29日 (2014.1.29)

(73) 特許権者 000002369  
 セイコーエプソン株式会社  
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  
 (74) 代理人 110000752  
 特許業務法人朝日特許事務所  
 (72) 発明者 保刈 龍治  
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 川瀬 正巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁場計測装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ポンプ光により励起される原子を含む複数のセルと、  
 前記セルに対してポンプ光を出力する第1光源と、  
 前記セルに対し、前記ポンプ光と当該セル内で交差するようにプローブ光を出力する第2光源と、  
 前記セルを通過した前記プローブ光を受光して前記セルにおける磁場を検出する検出手段と、  
 前記セル毎に対応して設けられ、制御信号に従って、前記ポンプ光の当該セルへの入射光量を調整するセル毎の調整手段と、

前記セル毎に、前記ポンプ光の入射光量の調整量を記憶する記憶手段と  
 を備え、

前記セル毎の調整手段は、前記調整量に基づいて前記ポンプ光の当該セルへの入射光量を調整する

ことを特徴とする磁場計測装置。

## 【請求項 2】

前記第1光源と前記セル毎の調整手段との間に、前記第1光源から出力されたポンプ光を分配する分配機構を更に備える

ことを特徴とする請求項1に記載の磁場測定装置。

## 【請求項 3】

10

20

前記セル毎の調整手段と前記セルとの間には、前記第1光源から出力されたポンプ光を、円偏光成分を有する様に変換する光変換部と更に備えることを特徴とする請求項1又は2に記載の磁場測定装置。

**【請求項4】**

前記各セルに対して一定の磁場を印加すると共に、前記制御信号を変化させて前記セル毎の調整手段に入力し、前記磁場検出手段で検出される前記各セルの磁場の検出値が予め定められた基準値となるときの前記制御信号を前記セル毎に特定し、特定した前記セル毎の前記制御信号に基づく前記調整量を前記記憶手段に記憶させる特定手段を備えることを特徴とする請求項1に記載の磁場計測装置。

**【発明の詳細な説明】**

10

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は、磁場計測装置に関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

生体の心臓等から発せられる磁場を検出する生体磁気計測装置等において、光ポンピングを利用した磁気センサーが利用されている。このような磁気センサーとしては、アルカリ金属原子等のガスが封入された各セルに、円偏光成分を有するポンプ光と直線偏光成分を有するプローブ光とが直交するように照射され、生体から発せられる磁場をプローブ光によって検出するものがある。下記特許文献1には、そのような光ポンピング原子磁力計が開示されている。

20

**【先行技術文献】**

**【特許文献】**

**【0003】**

【特許文献1】特開2009-236599号公報

**【発明の概要】**

**【発明が解決しようとする課題】**

**【0004】**

ところで、セルにおいて励起されるアルカリ金属原子の電子数は、セル内の原子量やポンプ光を照射するパワー等の違いによって異なる。複数のセルを並べて生体の広範囲な部分を測定する場合、各セルにおいて励起される電子数に差異があるとセルのスピン偏極率が異なり、各セルの磁場感度にばらつきが生じる。

30

本発明は、複数のセルを並べて磁場を計測する磁場計測装置において、各セルのポンプ光の光量を制御して磁場の測定精度を向上させる技術を提供する。

**【課題を解決するための手段】**

**【0005】**

本発明に係る磁場計測装置は、ポンプ光により励起される原子からなる原子群を含むセルを複数有するセルアレイと、前記セルアレイの各セルに対してポンプ光を照射する第1照射手段と、前記各セルに対し、当該セルに対して照射される前記ポンプ光と当該セル内で交差するようにプローブ光を照射する第2照射手段と、前記各セルを透過した前記プローブ光を各々受光して前記各セルにおける磁場を検出する検出手段と、前記各セルに対応して設けられ、入力された制御信号に従って、前記第1照射手段で照射された前記ポンプ光が当該セルに入射する光量を調整する調整手段と、前記セル毎に、前記調整手段の調整量を記憶する記憶手段と、前記記憶手段に記憶されている前記セル毎の前記調整量に基づく前記制御信号を前記調整手段に入力する入力手段とを備えることを特徴とする。この構成によれば、予め検証されたセルのスピン偏極率が均一となるセル毎の調整量を記憶手段に記憶させておくことで、各セルの磁場感度が均一になるように各セルのポンプ光の光量が制御され、磁場の測定精度を向上させることができる。

40

**【0006】**

また、本発明に係る磁場計測装置は、上記磁場計測装置において、前記各セルに対して

50

一定の磁場を印加すると共に、前記制御信号を変化させて前記調整手段に入力し、前記磁場検出手段で検出される前記各セルの磁場の検出値が予め定められた基準値となるときの前記制御信号を前記セル毎に特定し、特定した前記セル毎の前記制御信号に基づく前記調整量を前記記憶手段に記憶させる特定手段を備えることとしてもよい。この構成によれば、各セルにおけるスピン偏極が均一となるようにセル毎の調整量が設定できるので、磁場計測装置の設置環境が変化した場合やセルを交換した場合でも各セルの磁場感度を均一にすることができる。

【0007】

また、本発明に係る磁場計測装置は、上記磁場計測装置において、前記第1照射手段は、前記セルアレイにおける複数のセルに対して一の前記ポンプ光の光源を有し、当該光源から前記複数のセルに対して前記ポンプ光を分配して照射することとしてもよい。この構成によれば、セル毎にポンプ光の光源を設ける必要がなく装置を小型化することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施形態に係る磁場計測装置の構成例を示す図である。

【図2】実施形態に係るセルに対して照射されるポンプ光とプローブ光を説明する図である。

【図3】(a)は、実施形態に係る第1照射部と調整部とを説明する図である。(b)は、実施形態に係る第2照射部と検出部とを説明する図である。

20

【図4】実施形態に係る記憶部に記憶されているセル毎の調整量を例示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

<実施形態>

(構成)

図1は、本発明に係る実施形態の磁場計測装置の構成を表すブロック図である。磁場計測装置1は、セルアレイ10、ポンプ光調整ユニット20、磁場検出ユニット30、制御部40、操作部50及び記憶部60を備えている。

【0010】

セルアレイ10は、複数のセル(10a, 10b, 10c, 10d)を一列に並べて構成されている。各セルは、光を透過するガラス等の素材で形成され、セル内部に所定の原子からなる原子群が含まれた立方体形状の各々独立した物体である。この所定の原子は、円偏光によって励起状態となりスピン偏極する原子であり、例えば、リチウム(Li)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、ルビジウム(Rb)、セシウム(Cs)及びフランシウム(Fr)等のアルカリ金属である。なお、各セル内には、アルカリ金属の原子の他に、ヘリウム(He)、窒素(N)などのバッファーガスが含まれていてもよい。アルカリ金属の原子は、磁気を検出する際に気体の状態であればよく、常時気体の状態でなくてもよい。また、本実施形態では、セルアレイ10のセルは一列に4つ並べられている例であるが、セルの数は複数であればよく、複数列であってもよい。また、本実施形態では、各セルは独立した物体である例を用いるが、例えば、隣接するセルとの影響を受けないように直方体を仕切って形成されたものでもよいし、隣接するセルとの影響を受けない程度にセルとセルとの仕切りの一部に設けられた孔によって各セルが連通されていてもよい。要は、セルアレイ10は、区分けされた複数の空間が形成されればよい。また、セルの形状は、立方体形状の例を用いるが、セルの形状はこの形状に限らない。

30

【0011】

磁場検出ユニット30は、各セル(10a, 10b, 10c, 10d)における磁場を検出する磁場検出部(30a, 30b, 30c, 30d)を有する。各磁場検出部は、各セル(10a, 10b, 10c, 10d)内の原子を同一方向にスピン偏極させるためのポンプ光を照射する第1照射部(図示略)を共有する。また、各磁場検出部は、各セルにおける磁場を検出するためのプローブ光を照射する第2照射部(図示略)と、各セルを透

40

50

過したプローブ光を検出して各セルにおける磁場を検出する検出部(図示略)を各々有する。本実施形態では、図2の破線矢印で示す各セルの上面方向( z 軸方向)からポンプ光を照射し、図2の実線矢印で示す各セルの側面方向( y 軸方向)からプローブ光を照射する。第1照射部、第2照射部、検出部についての詳細は後述する。

#### 【0012】

ポンプ光調整ユニット20は、各セル(10a, 10b, 10c, 10d)に対応して設けられた調整部(20a, 20b, 20c, 20d)を有する。各調整部は、調整手段の一例であり、対応するセルに入射するポンプ光の光量を調整する。本実施形態では、各調整部は、例えば液晶シャッターで実現され、後述する制御部40によって入力される制御信号に応じてポンプ光の透過率を変化させる。

10

#### 【0013】

図3(a)は、第1照射部310と図2に示した各セルと各調整部とを示す図である。図3(a)に示すように、第1照射部310は、第1照射手段の一例であり、光源311と、光源311から出力される光を分配する分配機構312とを有する。光源311は、無偏光のレーザー光をコリメートレンズ、偏光板、四分の一波長板等の光学部材(図示略)により円偏光成分を有するポンプ光に変換して出力する。分配機構312は、光源311からのポンプ光をセルの数だけ分岐させ、分岐させた各ポンプ光を各出力端から出力する分岐カプラーを有する。分岐カプラーで分岐されて出力された各ポンプ光は光ファイバ等の光を伝送する媒体を介して対応する各調整部に照射される。

#### 【0014】

20

図3(b)は、図2に示した各セルと各第2照射部(320a, 320b, 320c, 320d)及び各検出部(330a, 330b, 330c, 330d)を示す図である。図3(b)に示すように、各第2照射部と各検出部とは、セル毎に対応して設けられている。各第2照射部は、第2照射手段の一例であり、直線偏光成分を有するプローブ光を出力する光源を各々有する。

各光源は、無偏光のレーザー光をコリメートレンズ、偏光板、半波長板等の光学部材(図示略)により直線偏光成分を有するプローブ光に変換して出力する。各第2照射部から出力されるプローブ光は、当該第2照射部に対応するセルに照射されるポンプ光と当該セル内で略直交するように照射される。各セルに照射されたプローブ光は、各々のセルに入射し、各セルにおける磁場の影響によりセル内の原子が歳差運動を行った回転力に応じて偏光面が回転されてセルを透過する。なお、本実施形態では、セル内に入射したポンプ光とプローブ光とが略直交するようにポンプ光とプローブ光とが照射される例であるが、セル内でポンプ光とプローブ光とが交差していれば直交に限らない。

30

#### 【0015】

各検出部は、検出手段の一例であり、各セルを透過したプローブ光を偏光ビームスプリッター等によってP偏光成分とS偏光分成分とに分離し、分離した光をフォトディテクターで受光する。各検出部は、フォトディテクターから出力されたP偏光成分とS偏光成分の光量に応じた電気信号を解析してプローブ光の偏光面の回転角度を求め、回転角度に応じた磁場の強度を検出する。この例においては、図3(b)に示すx軸方向の磁場が検出される。

40

#### 【0016】

図1に戻り、構成の説明を続ける。制御部40は、CPU(Central Processing Unit)とROM(Read Only Memory)及びRAM(Random Access Memory)のメモリとを有する。CPUは、ROMに予め記憶されている制御プログラムを実行することにより、キャリブレーション処理と、検体から発する磁場を検出する磁場検出処理とを行う。

#### 【0017】

制御部40は、操作部50を介したユーザー操作に応じて、キャリブレーション処理と磁場検出処理とを切り換えて行う。制御部40は、キャリブレーション処理として、各セルに対して設けられた図示しないコイルを用い、セルアレイ10に対して図2のx軸方向に一定の磁場を印加すると共に、ポンプ光調整ユニット20、第1照射部310、各第2

50

照射部(320a, 320b, 320c, 320d)、及び各検出部(330a, 330b, 330c, 330d)を制御して各セル(10a, 10b, 10c, 10d)における磁場を検出する。制御部40は、各セルにおける磁場の検出結果が予め定められた基準値となるように、各調整部の透過率を変化させた制御信号をポンプ光調整ユニット20に入力し、各検出部で検出された各セルの磁場の検出値が基準値となるときの各調整部の制御信号を特定すると共に、特定した各調整部の制御信号を示す調整量をセル毎に記憶部60に記憶する特定手段としての機能を有する。なお、本実施形態では、基準値の一例としてセルアレイ10に印加した磁場に相当する値を用いる。また、制御部40は、磁場検出処理において、記憶部60に記憶されているセル毎の調整部の調整量に基づく制御信号をポンプ光調整ユニット20へ入力する入力手段としての機能を有し、第1照射部310、各第2照射部、及び各検出部を制御して検体から発する磁場を検出して検出結果を出力する。

#### 【0018】

操作部50は、キャリブレーションの指示操作を受付ける操作スイッチと、検体から発する磁場の測定指示を受付ける操作スイッチ等の操作手段を有し、操作された内容を示す操作信号を制御部40に送出する。記憶部60は、記憶手段の一例であり、不揮発性の記憶媒体で構成される。記憶部60は、制御部40の制御の下、キャリブレーション処理によって特定されたセル毎の各調整部の調整量を記憶する。

#### 【0019】

##### (動作例)

次に、この磁場計測装置1の動作例について説明する。磁場計測装置1の制御部40は、キャリブレーション処理を指示するユーザー操作が操作部50を介してなされると、制御部40は、円偏光成分を有するポンプ光を第1照射部310から照射すると共に、直線偏光成分を有するプローブ光を各第2照射部(320a, 320b, 320c, 320d)から照射する。そして、制御部40は、ポンプ光とプローブ光とに直交する方向の一定の磁場を図示しないコイルを用いて印加する。また、制御部40は、各調整部における光の透過率を予め定められた下限値から順次変化させた制御信号を各調整部に入力して、各調整部における透過率を変化させる。

#### 【0020】

第1照射部310の光源311から照射されたポンプ光は、分配機構312によって分岐されて各調整部(20a, 20b, 20c, 20d)に向けて照射される。各調整部に照射されたポンプ光は、調整部における透過率に応じた光量に調整されて各セルに入射する。各セル内の原子は、入射したポンプ光の光量に応じて励起されて同一方向にスピン偏極し、印加された磁場に応じて磁気モーメントの方向を変化させて歳差運動を行う。

各第2照射部から照射されて各セルに入射したプローブ光は、当該セル内の原子が受けている磁場の大きさに応じて偏光面を回転させ当該セルを透過する。各セルを透過したプローブ光は、対応する検出部で各々受光される。各検出部(330a, 330b, 330c, 330d)は、受光したプローブ光の光量を解析してプローブ光の偏光面の回転角を求め、対応するセルにおける磁場を検出して制御部40に検出結果を出力する。

#### 【0021】

制御部40は、各セルについて検出された検出値が印加した磁場に相当する値となるまで各セルに対応する調整部の透過率を変化させた制御信号を調整部に入力し、各セルの磁場を検出する。そして、制御部40は、各セルの磁場の検出値が印加した磁場に相当する値となるときの調整部の制御信号をセル毎に特定する。制御部40は、図4に示すように、セルを識別するセルNO.と、各セルについて特定した各調整部の制御信号を示す調整量とを対応づけて記憶部60に記憶する。

#### 【0022】

次に、検体から発する磁場を計測する磁場計測処理を行う場合の動作例について説明する。制御部40は、ユーザーにより磁場計測処理を指示するユーザー操作が操作部50を介してなされると、記憶部60からセル毎の各調整部の調整量を読み出し、読み出した調

10

20

30

40

50

整量に基づく制御信号を各調整部に入力する。各調整部は、入力された制御信号に従って、当該調整部における光の透過率を調整する。そして、制御部40は、各磁場検出部(30a, 30b, 30c, 30d)を制御して検体から発する磁場を検出し、セル毎の検出結果を外部装置等に出力する。

【0023】

上記実施形態の例では、キャリブレーション処理において、各セルの磁場の検出感度が均一になるように各セルに入射させるポンプ光の光量を調整することができる。そして、検体からの磁場を検出する際には、キャリブレーション処理で調整した調整量に従って、各セルに入射させるポンプ光の光量が調整されるので、各セルの検出感度が均一化され磁場の検出精度を向上させることができる。また、第1照射部310から円偏光成分を有するポンプ光が分配されて出力された後、各セルにポンプ光が入射する前に、各セルの特性に応じたポンプ光の光量となるように各調整部で調整されるため、ポンプ光の光源をセル毎に設ける必要がなく装置を小型化することができる。10

【0024】

<変形例>

本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、以下のように変形させて実施してもよい。また、以下の変形例を組み合わせてもよい。

【0025】

(1) 上述した実施形態では、キャリブレーション処理における基準値として印加した磁場に相当する値を例に説明したが、例えば、キャリブレーション処理において、調整部の透過率を最大にした場合に検出感度が最も低いセルの最大検出値以下の値を基準値として設定してもよい。また、基準値は、例えば、印加した磁場に相当する値を基準に予め定めた一定の幅を有する値であってもよい。つまり、キャリブレーション処理において、各セルの磁場の検出値が基準値の範囲内であれば、当該検出値が得られたときの調整部の制御値を特定するようにしてもよい。20

【0026】

(2) 上述した実施形態では、第1照射部310は分岐カプラーを用いてセルの数だけポンプ光を分岐させて出力する例を説明したが、例えば、複数のセル単位に第1照射部310を設けるようにしてもよい。この場合には、第1照射部310が設けられる単位のセル数だけ各第1照射部310においてポンプ光を分岐させる。また、セル毎に第1照射部310を設ける場合にはポンプ光を分岐させることなく照射する。30

【0027】

(3) 上述した実施形態では、磁場計測装置1は、キャリブレーション処理と磁場計測処理とを行う構成について説明したが、磁場計測装置1の製造時や出荷時において、各セルにおけるスピニ偏極率が均一になるように予めセル毎に検証された各調整部の調整量を記憶部60に記憶させておいてもよい。この場合には、磁場計測装置1は、実施形態と同様の磁場計測処理だけを行うように構成されていてもよい。

【0028】

(4) 上述した実施形態では、操作部50を介したユーザー操作に応じてキャリブレーション処理と磁場検出処理とを切り換えて行う例を説明したが、1回のユーザー操作で、キャリブレーション処理を開始し、キャリブレーション処理の後に磁場検出処理に移行するようにしてもよい。40

【0029】

(5) 上述した実施形態では、調整部の一例として液晶シャッターを用いる例を説明したが、ポンプ光の光量を調整する機構であれば例えばレンズシャッター等でもよい。

【0030】

(6) 上述した実施形態では、第1照射部310から出力された円偏光成分を有するポンプ光が各調整部に入射される例を説明したが、例えば、第1照射部310から無偏光のレーザー光を分岐させて各調整部に向けて照射し、各調整部を透過した当該レーザー光をコリメートレンズ、偏光板、四分の一波長板等の光学部材を用いて円偏光成分を有するポン50

プ光に変換し、当該ポンプ光をセルに照射するようにしてもよい。

【0031】

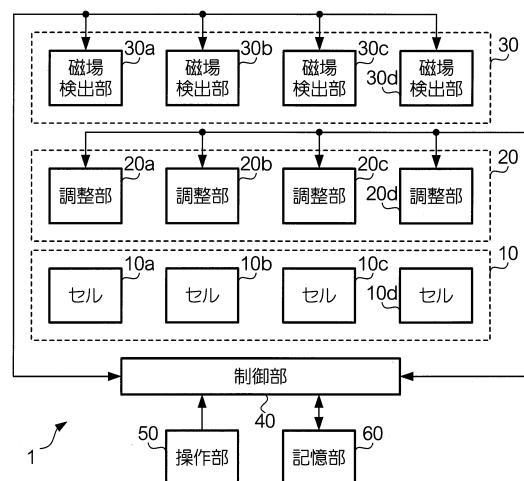
(7) 上述した実施形態では、各セルに対して設けられたコイルを用いて一定の磁場を印加する例を説明したが、例えば、1組のコイルでセルアレイ10の全体に対して磁場を供給しても良いし、磁石等を用いて一定の磁場を印加するようにしてもよい。要は、予め定めた磁場を生成できる構成であればこれに限らない。

【符号の説明】

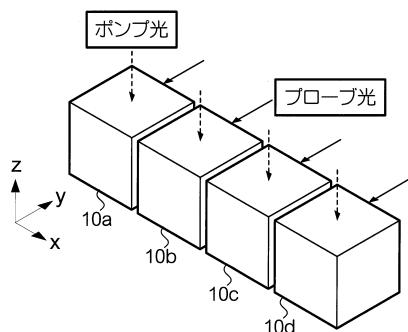
【0032】

1 . . . 磁場計測装置、10 . . . セルアレイ、10a, 10b, 10c, 10d . . .  
 · セル、20 . . . ポンプ光調整ユニット、20a, 20b, 20c, 20d . . . 調整部、30 . . . 磁場検出ユニット、30a, 30b, 30c, 30d . . . 磁場検出部、40 . . . 制御部、301, 302, 303 . . . 光学部材、310 . . . 第1照射部、311 . . . 光源、312 . . . 分配機構、320a, 320b, 320c, 320d . . . 第2照射部、330a, 330b, 330c, 330d . . . 検出部

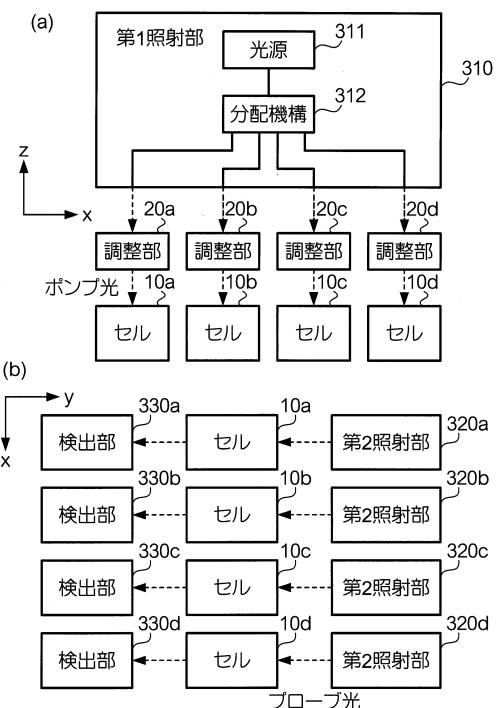
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

セルNO.	調整量
1	V1
2	V2
3	V3
4	V4

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-085134(JP,A)  
特開平11-052036(JP,A)  
特表2009-518657(JP,A)  
特表2008-513762(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 33/26  
A61B 5/05