

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5691562号
(P5691562)

(45) 発行日 平成27年4月1日(2015.4.1)

(24) 登録日 平成27年2月13日(2015.2.13)

(51) Int.Cl.

G O 1 R 33/032 (2006.01)

F 1

G O 1 R 33/032

請求項の数 1 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2011-16163 (P2011-16163)
 (22) 出願日 平成23年1月28日 (2011.1.28)
 (65) 公開番号 特開2012-154876 (P2012-154876A)
 (43) 公開日 平成24年8月16日 (2012.8.16)
 審査請求日 平成25年12月2日 (2013.12.2)

(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 100095728
 弁理士 上柳 雅善
 (74) 代理人 100107261
 弁理士 須澤 修
 (74) 代理人 100127661
 弁理士 宮坂 一彦
 (72) 発明者 大沼 文彦
 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 荒井 誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁場測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子を含む物質を内部に封入し、光を透過させるセルと、
 前記セルを透過した前記光の回転角を計測する計測部と、
 前記セルに光が透過する第1領域の温度を測定する第1温度測定部と、
 前記セルの光が透過しない第2領域の温度を測定する第2温度測定部と、
 前記第1領域および前記第2領域の各温度のうち、少なくとも一方の温度の値が予め定められた条件を満たす場合に、前記第1領域よりも前記第2領域の温度が低く、且つ、前記第1領域と前記第2領域との温度差が予め定められた閾値を上回るように前記温度差を制御する温度差制御部と、を備え、

前記の温度に関する値は、前記温度の単位時間あたりの変化を示す温度変化速度であり

前記温度差制御部は、前記温度変化速度が予め定められた閾値を上回った場合に、前記温度差を制御することを特徴とする磁場測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁場を測定する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

光ポンピングを利用した磁気センサーが、M R I (magnetic resonance imaging：磁気共鳴画像法) 装置などに用いられている。この磁気センサーにおいては、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交差するように(望ましくは、直交するように)セルに照射され、さらに、これらの光の照射方向に対して直交する方向の磁場が印加される(例えば、特許文献1参照)。

【0003】

ポンプ光とプローブ光が照射されるセルには、アルカリ金属などの原子が気体の状態で封入されている。この原子は、ポンプ光により励起されると外部から印加された磁場に応じてプローブ光に含まれる直線偏光の偏光面を回転させる。磁気センサーは、このセルを透過したプローブ光の偏光面の回転角を計測することで、磁場を測定する。

10

【0004】

ところで、磁場の測定に先駆けて、上述した原子が気体の状態を保つようにセルが加熱されるが、測定の最中や、測定が終了した後に、セルの温度制御がなされない期間があるために、セル内の原子が露点以下に冷やされて壁面等に析出(結露)することがある。このとき、セルの壁面のうち、磁場測定のための光(ポンプ光やプローブ光)が照射される領域に原子が析出すると、析出したその原子が光を吸収して測定の妨げとなる。このような領域への原子の析出を低減するために、例えば、特許文献2は、容器の窓部以外の部分(特に窓部近傍)に、容器内部に向かって凹部を有する複数の突起部を設けるとともに、容器を加熱するヒーターを設けることを開示する。特許文献2に記載の技術は、突起部を冷却するとともにヒーターによって容器の窓部を加熱することで、突起部よりも窓部が高温となる温度差を発生させ、その突起部にアルカリ金属を集める。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2009-14708号公報

【特許文献2】特開2010-205875号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、突起部を冷却する冷却装置に例えばペルティ工素子を採用した場合、これにより発生する磁気ノイズが、上記の回転角の計測に影響する可能性があるため、計測中に突起部を冷却することは望ましくない。そのため、計測中において、ペルティ工素子等にセルを冷却させ続けるべきではない。

30

【0007】

本発明は、光が透過する領域に原子が析出し難くなるように適切なタイミングでセル内部の温度差を制御することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、光により励起されると磁場に応じて直線偏光の偏光面を回転させる原子を含む物質を内部に封入し、気体状態の前記物質に照射される前記直線偏光を透過させるセルと、前記セルを透過した前記直線偏光の偏光面の回転角を計測する計測部と、前記セルのうち前記直線偏光が透過する第1領域の温度を測定する第1温度測定部と、前記セルのうち前記直線偏光が透過しない領域であって、予め定められた第2領域の温度を測定する第2温度測定部と、前記第1領域および前記第2領域の各温度のうち、少なくとも一方の温度に関する値が予め定められた条件を満たす場合に、前記第1領域よりも前記第2領域の温度が低く、且つ、前記第1領域と前記第2領域との温度差が予め定められた閾値を上回るように、前記温度差を制御する温度差制御部とを備えることを特徴とする磁場測定装置を提供する。この構成によれば、光の透過する領域に原子が析出し難くなるように適切なタイミングでセル内部の温度差を制御することができる。

40

【0009】

50

上記磁場測定装置において、前記温度差制御部は、前記第1領域と前記第2領域との前記温度差が、予め定められた目標温度差に近づくように、当該温度差を制御するとよい。この構成によれば、光が透過する領域に原子が析出し難くなるように適切なタイミングでセル内部の温度差を制御することができる。

【0010】

また、上記磁場測定装置において、前記温度差制御部は、前記温度差を拡大させる処理を行う温度差拡大部を有し、前記温度差が、予め定められた最低温度差を下回ったときに、前記温度差拡大部に前記処理を開始させ、前記温度差が、予め定められた最高温度差を上回ったときに、前記温度差拡大部に前記処理を停止させるとよい。この構成によれば、光が透過する領域に原子が析出し難くなるように適切なタイミングでセル内部の温度差を制御することができる。10

【0011】

また、上記磁場測定装置において、前記温度差制御部は、前記第2領域を冷却する冷却部を有し、前記冷却部に前記第2領域を冷却させることにより前記温度差を拡大させるとよい。この構成によれば、光が透過する第1領域よりも光の透過しない第2領域に原子を析出し易くさせることができる。

【0012】

また、上記磁場測定装置において、前記温度差制御部は、前記第1領域を加熱する加熱部を有し、前記加熱部に前記第1領域を加熱させることにより前記温度差を拡大させるとよい。この構成によれば、光の透過しない第2領域よりも光が透過する第1領域に原子を析出し難くさせることができます。20

【0013】

また、上記磁場測定装置において、前記温度に関する値は、前記温度の単位時間あたりの変化を示す温度変化速度であり、前記温度差制御部は、前記温度変化速度が予め定められた閾値を上回った場合に、前記温度差を制御するとよい。この構成によれば、急激な温度変化に伴って、光が透過する領域に原子が析出し難くすることができます。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】第1実施形態に係る磁場測定装置の構成を示す図である。

【図2】第1実施形態に係るセルの構成を示す斜視図である。30

【図3】被覆層によってセルが覆われた様子を示す図である。

【図4】図3における矢視IV-IVからセルを見た断面図である。

【図5】図3における矢視V-Vからセルを見た断面図である。

【図6】磁場測定装置の制御に関する構成を示すブロック図である。

【図7】制御部による磁場測定装置の制御の流れを示すフロー図である。

【図8】第1実施形態において、磁場の測定を停止する際に計測される領域温度の時間変化を示した図である。

【図9】第2実施形態に係るセルの構成を示す斜視図である。

【図10】第2実施形態において、磁場の測定を停止する際に計測される領域温度の時間変化を示した図である。40

【発明を実施するための形態】

【0015】

1. 第1実施形態

1 - 1. 構成

図1は、本発明の第1実施形態に係る磁場測定装置100の構成を示す図である。磁場測定装置100は、例えば心磁（心臓からの磁気）や脳磁（脳からの磁気）などの生体から発生する微弱な磁場の測定に用いられる。磁場測定装置100は、セル1と、被覆層2と、ポンプ光照射部3と、プローブ光照射部4と、プローブ光計測部5と、冷却部6と、加熱部7と、温度計測部8とを備える。

【0016】

10

20

30

40

50

磁場測定装置 100 の各構成の配置を説明するため、各構成が配置される空間を x y z 右手系座標空間として表す。図 1 に示す座標記号のうち、内側が白い円の中に黒い円を描いた記号は、紙面奥側から手前側に向かう矢印を表している。また、後述する図 4 に示す座標記号のうち、内側が白い円の中に交差する 2 本の線分を描いた記号は、紙面手前側から奥側に向かう矢印を表している。空間において x 成分が増加する方向を + x 方向といい、x 成分が減少する方向を - x 方向という。同様に、y、z 成分についても、+ y 方向、- y 方向、+ z 方向、- z 方向を定義する。

【 0 0 1 7 】

図 1 に示すように、セル 1 は被覆層 2 に覆われており、セル 1 の - x 方向には、ポンプ光照射部 3 が設置される。ポンプ光照射部 3 は円偏光成分を有するポンプ光を、+ x 方向に平行な矢印 D 1 方向に沿ってセル 1 に照射する。10

【 0 0 1 8 】

プローブ光照射部 4 は、セル 1 の - y 方向に設置されており、直線偏光成分を有するプローブ光を、+ y 方向に平行な矢印 D 2 方向に沿ってセル 1 に照射する。プローブ光計測部 5 は、セル 1 の + y 方向に設置される。プローブ光計測部 5 は、プローブ光照射部 4 から矢印 D 2 方向に沿って照射され、セル 1 を透過したプローブ光を受ける。磁場測定装置 100 は、測定対象の磁場の中にセル 1 が位置するように配置される。具体的には、磁場測定装置 100 は、セル 1 から見て - z 方向に測定対象が位置するように配置される。

【 0 0 1 9 】

図 2 は、第 1 実施形態に係るセル 1 の構成を示す斜視図である。セル 1 は、中空の立方体の一面から末端が閉ざされた管が伸びた形状をしており、ガラス等の光を透過する材料で形成される。セル 1 の上述した中空の立方体は、外部と内部とを仕切り、光を透過する少なくとも 4 枚の部材を有している。この光を透過する 4 枚の部材とは、セル 1 の + x 方向、- x 方向、+ y 方向、および - y 方向に面した各部材であり、- x 方向の部材を壁面 11 a (図 2 において図示せず) と、+ x 方向の部材を壁面 11 b という。また、セル 1 の部材のうち、- y 方向の部材を壁面 12 a と、+ y 方向の部材を壁面 12 b (図 2 において図示せず) という。また、セル 1 を構成する部材のうちポンプ光およびプローブ光が照射されない + z 方向の部材を壁面 13 b といい、- z 方向の部材を壁面 13 a という (図 2 において図示せず) 。そして、壁面 13 b から + z 方向に延びてさらに - x 方向に曲がる、末端の閉塞された筒状の部材を筒状部 14 という。なお、セル 1 の形状は、他の立体形状であってもよい。20

【 0 0 2 0 】

セル 1 の内部には、例えばアルカリ金属などの原子を含む物質 (以下、偏光面回転物質という) が気体の状態 (すなわちガス状態) で封入される。この偏光面回転物質に含まれる原子は、例えばリチウム (L i) 、ナトリウム (N a) 、カリウム (K) 、ルビジウム (R b) 、セシウム (C s) 、フランシウム (F r) である。セル 1 内の原子は、円偏光により励起されて原子の外殻電子のスピンが偏極されるため、磁場に応じて直線偏光の偏光面を回転させる。すなわち、偏光面回転物質は、光により励起されると磁場に応じて直線偏光の偏光面を回転させる原子を含む物質の一例である。なお、セル 1 の内部には、典型的には単一種類の偏光面回転物質が封入されるが、複数種類の偏光面回転物質が含まれていてもよい。また、セル 1 内の偏光面回転物質は、常時気体の状態である必要はなく、磁場の測定を行うときに気体の状態であればよい。さらに、セル 1 の内部には、セル 1 の壁との衝突等による偏光面回転物質の緩和を穏やかにするために、ヘリウム (H e) 、窒素 (N) などが緩衝ガスとして含まれていてもよい。40

【 0 0 2 1 】

冷却部 6 は、例えばペルティ工素子であり、筒状部 14 の末端に接触してその接触面から吸熱することでセル 1 の内部に封入された気体を冷却する。加熱部 7 は、例えば電熱ヒーターであり、セル 1 と壁面 13 a で接触し、その接触面を介してセル 1 の内部に封入された気体を加熱する。

【 0 0 2 2 】

10

20

30

40

50

温度計測部 8 は、筒状部 1 4 の外表面のうち、壁面 1 3 b との境界よりも筒状部 1 4 の末端部に近い位置に取り付けられた温度計測部 8 a と、壁面 1 2 a の外表面のうち、他の壁面よりも、プローブ光照射部 4 から照射されるプローブ光が透過する領域に近い位置に取り付けられた温度計測部 8 b を含む。温度計測部 8 a は、筒状部 1 4 の上記の位置において温度を計測することで、筒状部 1 4 の局所的な領域温度 T a を得る。すなわち、温度計測部 8 a は、セルのうち直線偏光が透過しない領域であって、予め定められた第 2 領域の温度を測定する第 2 温度測定部の一例である。

【 0 0 2 3 】

温度計測部 8 b は、壁面 1 2 a の上記の位置において温度を計測することで、セル 1 の内部であって、壁面 1 2 a のプローブ光が透過する領域の近傍における局所的な領域温度 T b を得る。すなわち、温度計測部 8 b は、セルのうち直線偏光が透過する第 1 領域の温度を測定する第 1 温度測定部の一例である。この場合、セル 1 の材質および厚み、または実験結果などに基づいて温度計測部 8 a , 8 b の計測値を補正して、これらの領域温度 T a , T b を得てもよい。

10

【 0 0 2 4 】

被覆層 2 は、+z 方向および -z 方向にそれぞれ正方形の開口部を有する四角柱状の部材であり、セル 1 を -z 方向に移動させてその開口部に嵌め込むことで、壁面 1 1 a 、壁面 1 1 b 、壁面 1 2 a 、および壁面 1 2 b に接し、これらをそれぞれ外側から覆う。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、被覆層 2 によってセル 1 が覆われた様子を示す図である。図 4 は、図 3 における矢視 IV - IV からセル 1 、被覆層 2 、冷却部 6 、および加熱部 7 を見た断面図である。そして、図 5 は、図 3 における矢視 V - V からセル 1 、被覆層 2 、冷却部 6 、加熱部 7 および温度計測部 8 を見た断面図である。被覆層 2 には、ポンプ光を透過させるための孔 2 1 a (図 2 において図示せず) および孔 2 1 b と、プローブ光を透過させるための孔 2 2 a および孔 2 2 b (図 2 において図示せず) が設けられている。

20

【 0 0 2 6 】

被覆層 2 は、材質として例えば炭化ケイ素などを含んでおり、セル 1 内に封入された偏光面回転物質をガス状態にするために加熱部 7 がセル 1 を加熱するときに、セル 1 とともに加熱される。

【 0 0 2 7 】

30

ポンプ光照射部 3 は、光源と、半波長板と、偏光ビームスプリッターと、四分の一波長板とを備える。光源は、無偏光のレーザー光を図 1 に示す矢印 D 1 方向に照射する。半波長板は、光源から照射された光の偏光面を回転させる。偏向ビームスプリッターは、半波長板を透過した光の p 偏光成分 (入射面に対して平行な成分) を透過させ、s 偏光成分 (入射面に対して垂直な成分) を反射させる。この s 偏光成分は、例えばレーザー光の出力のモニタリングに用いられてもよいし、光を吸収する部材により吸収されてもよい。四分の一波長板は、偏向ビームスプリッターを透過した光を円偏光に変化させる。これにより、四分の一波長板を透過した光は、円偏光成分を有するポンプ光となる。

【 0 0 2 8 】

プローブ光照射部 4 は、光源と、半波長板と、偏向ビームスプリッターと、偏光板とを備える。光源は、無偏光のレーザー光を図 1 に示す矢印 D 2 方向に照射する。半波長板は、光源から照射された光の偏光面を回転させる。偏向ビームスプリッターは、半波長板を透過した光の p 偏光成分を透過させ、s 偏光成分を反射させる。偏光板は、偏向ビームスプリッターを透過した光のうち特定方向に偏光した光だけを透過させる。これにより、偏光板を透過した光は、直線偏光成分を有するプローブ光となる。なお、ポンプ光とプローブ光とは、互いに直交する関係であることが好ましいが、交差する関係であれば完全に直交しなくてもよい。

40

【 0 0 2 9 】

プローブ光計測部 5 (計測部の一例) は、プローブ光照射部 4 から照射されセル 1 を透過したプローブ光を検出し、検出したプローブ光に含まれる直線偏光の偏光面の回転角を

50

計測する。プローブ光計測部5は、半波長板と、液晶パネルと、光センサーと、A/D変換器と、メモリーと、演算部とを備える。半波長板は、セル1を透過したプローブ光の偏光面を回転させる。液晶パネルは、ネマティック液晶と呼ばれる液晶を用いて、半波長板を通過したプローブ光のp偏光成分又はs偏光成分を透過させる。ここで液晶パネルは時分割制御されるため、上述したp偏光成分とs偏光成分とは時分割された期間ごとに透過されて分離される。

【0030】

光センサーは、例えばフォトダイオードであり、液晶パネルを透過したプローブ光を電気信号に変換して出力する。A/D変換器は、光センサーから出力された電気信号をデジタルデータに変換して出力する。メモリーは、A/D変換器から出力されたデータを記憶する。演算部は、メモリーに記憶されたデータを用いて、光センサーにより検出されたプローブ光のp偏光成分とs偏光成分との差分を算出する。なお、プローブ光計測部5は、偏光ビームスプリッターを用いて、セル1を透過したプローブ光をp偏光成分とs偏光成分に分離し、これらの差分を算出してもよい。10

【0031】

図6は、磁場測定装置100の制御に関する構成を示すブロック図である。制御部9は、CPU(Central Processing Unit)、ROM(Read Only Memory)、RAM(Random Access Memory)や、ハードディスクドライブなどの記憶部を有し、記憶部やROMに記憶されているコンピュータープログラムを読み出して実行することにより、ポンプ光照射部3、プローブ光照射部4、プローブ光計測部5、冷却部6、加熱部7および温度計測部8を制御する。具体的には、制御部9は、温度計測部8が計測した領域温度Ta,Tbの各値を取得し、これらに基づいて加熱部7による壁面13aの加熱や、冷却部6による筒状部14の冷却などを制御する。ここで冷却部6は、稼動状態において筒状部14の末端部を冷却することにより、セル1の内部のうち、筒状部14の末端部近傍の空間と壁面11,12,13に囲まれた空間との温度差を拡大させてるので、温度差拡大部として機能する。20

【0032】

なお、利用者からの操作を受け付ける操作部や、操作部を備えた外部機器と通信を行う通信インターフェイスなどを備えており、これらを介して利用者の指示を示す指示信号を取得する。また、これら操作部や通信インターフェイスなどは、利用者からの指示を受け付けているが、例えば、異常が検知された際ににおける緊急停止指示のように、利用者以外からの指示を受け付けてもよい。要するに、これら操作部や通信インターフェイスなどは、指示を示す指示信号を取得する手段の一例である。そして、これらの指示信号を取得したことを契機として、制御部9は、上記の制御や磁場の測定の制御を行う。30

【0033】

磁場測定装置100は、これらの構成のほかに、例えば、測定対象以外の磁場を遮蔽するための磁気シールドや、外部からの磁場に対する補正用の磁場を印加するコイルなどを備えていてもよい。また、被覆層2が磁気シールドを兼ねていてもよい。

【0034】

1 - 2 . 動作

次に、磁場測定装置100の動作を説明する。図7は、制御部9による磁場測定装置100の制御の流れを示すフロー図である。制御部9は、上述した操作部や通信インターフェイスなどから取得した指示信号が計測を停止する旨の指示を示す計測停止指示信号であるか否かを判定する(ステップS101)。そして、取得したその指示信号が計測停止指示信号出ない場合(ステップS101でNO)、次に取得する指示信号について、この判定を繰り返す。一方、取得したその指示信号が計測停止指示信号である場合(ステップS101でYES)、制御部9は、ポンプ光照射部3、プローブ光照射部4、プローブ光計測部5、および加熱部7を停止する(ステップS102)。なお、これらの機器は、制御部9が計測停止指示信号を受け取ってすぐに停止されてもよいが、計測停止指示信号を受け取ってから、それぞれの機器について予め定められた時間が経過した後に停止されても4050

よい。

【0035】

そして、制御部9は、温度計測部8aが計測した領域温度Taと温度計測部8bが計測した領域温度Tbとを取得し、温度差 $T = (Tb - Ta)$ が予め定められた第1の閾値である最低温度差 T_L を下回るか否か判定する(ステップS103)。温度差 T が最低温度差 T_L を下回る場合(ステップS103でYES)、制御部9は、温度差拡大部としての冷却部6を稼動させる(ステップS104)。ここで、制御部9は、冷却部6を稼動するために、冷却を開始させる旨の信号を冷却部6に送るが、冷却部6が既に稼動中である場合には、この信号は無視される。また同様に、制御部9が冷却部6を停止させるために送る信号は、冷却部6が既に停止中である場合には、無視される。

10

【0036】

一方、温度差 T が最低温度差 T_L を下回らない場合(ステップS103でNO)、制御部9は、温度差 T が予め定められた第2の閾値である最高温度差 T_H を上回るか否か判定する(ステップS105)。

【0037】

温度差 T が最高温度差 T_H を上回る場合(ステップS105でYES)、制御部9は、温度差拡大部としての冷却部6を停止させる(ステップS106)。一方、温度差 T が最高温度差 T_H を上回らない場合(ステップS105でNO)、制御部9は、領域温度Tbが予め定められた第3の閾値である露点TFを下回るか否か判定する(ステップS107)。

20

【0038】

領域温度Tbが露点TFを下回らない場合(ステップS107でNO)、制御部9は、処理をステップS103に戻す。一方、領域温度Tbが露点TFを下回る場合(ステップS107でYES)、制御部9は、温度差拡大部としての冷却部6を停止させ(ステップS108)、処理を終了する。

【0039】

図8は、第1実施形態において、磁場の測定を停止する際に温度計測部8(8a, 8b)により計測される領域温度Ta, Tbの時間変化を示した図である。図8における横軸は時間経過を表しており、縦軸は計測される領域温度を表している。

30

【0040】

時刻t0より前において、領域温度Taは予め定められた温度Ta0に、領域温度Tbは予め定められた温度Tb0に、それぞれなるように温度制御が行われている。具体的に制御部9は、間欠的に加熱部7を稼動させたり停止させたりすることにより、系の熱収支をバランスさせ、擬似的な定常状態を維持させる。

【0041】

時刻t0において、制御部9が利用者から磁場の測定を停止する旨の指示を示す計測停止指示信号を取得すると、制御部9は、ポンプ光照射部3およびプローブ光照射部4に照射を停止させ、プローブ光計測部5に計測を停止させ、加熱部7に加熱を停止させるとともに、冷却部6に冷却を開始させる。加熱部7による加熱が停止されると、壁面13aを介してセル1内の空間に流入する熱が断たれるため、壁面11a, 11b, 12a, 12b(以下、光透過壁面という)の内壁の温度が低下する。これに伴い、温度計測部8bが計測する領域温度Tbが低下する。

40

【0042】

一方、温度計測部8aが設置されている筒状部14は、温度計測部8bが設置されている壁面12aよりも、加熱部7によって加熱される壁面13aから遠い位置にある。そのため、加熱部7による加熱停止直後において、温度計測部8aにより計測される領域温度Taは、温度計測部8bにより計測される領域温度Tbに比べてゆっくりと低下する。その結果、 $T = (Tb - Ta)$ は小さくなていき、温度差 T が最低温度差 T_L を下回ったときに、制御部9は、冷却部6による筒状部14の末端部の冷却を開始する。これにより、領域温度Taは急速に低下し、時刻t1において領域温度Tbとの温度差が最高

50

温度差 T_H を上回ったとき、制御部 9 は冷却部 6 による冷却を停止させる。

【0043】

この後も、図 8 に示すように時刻 t_2 , t_4 において T が最低温度差 T_L を下回るため、制御部 9 はこれらのタイミングで冷却部 6 を稼動させ、時刻 t_3 において T が最高温度差 T_H を上回るため、制御部 9 はこのタイミングで冷却部 6 を停止する。そして、時刻 t_5 において、計測された領域温度 T_b が予め定められた露点 T_F を下回る。このため、制御部 9 は、冷却部 6 による冷却を停止し、計測停止の処理を終了する。

【0044】

以上説明したように、磁場測定装置 100 の制御部 9 は、加熱部 7 による加熱の停止に伴って、温度差拡大部としての冷却部 6 を稼働させることにより、放冷されるセル 1 の内部空間に温度差を生じさせる。この温度差とは、具体的には光透過壁面よりも筒状部 14 の末端部の方が低温となる温度差である。これによりセル 1 の内部でガス状態となっている偏光面回転物質のうち結露する可能性があるものは冷却されている筒状部 14 の末端部に集まるため、光透過壁面における結露が防止される。10

【0045】

2. 第 2 実施形態

2 - 1. 構成

第 2 実施形態に係る磁場測定装置 100a について説明する。第 2 実施形態に係る磁場測定装置 100a は第 1 実施形態に係る磁場測定装置 100 と共通の構成を有しており、磁場測定装置 100 が温度差拡大部として冷却部 6 を備えていたのに対し、磁場測定装置 100a は、温度差拡大部として補助加熱部 6a を備えている点が異なっている。20

【0046】

図 9 は、第 2 実施形態に係るセル 1 の構成を示す斜視図である。第 2 実施形態において、セル 1 は第 1 実施形態と同じように、被覆層 2 によって $+x$ 方向、 $-x$ 方向、 $+y$ 方向、および $-y$ 方向が覆われているが、セル 1 と被覆層 2 との間にはさらに、補助加熱部 6a が設けられている。補助加熱部 6a は、例えば電熱線等で構成されるヒーターであり、被覆層 2 のうちセル 1 を覆う面に固定され、セル 1 の内部を加熱する加熱手段である。なお、補助加熱部 6a は、ポンプ光やプローブ光が照射される領域を避けて設けられているため、これにより、ポンプ光やプローブ光が妨げられることはない。30

【0047】

2 - 2. 動作

次に、第 2 実施形態に係る磁場測定装置 100a の動作を説明する。図 10 は、第 2 実施形態において、磁場の測定を停止する際に計測される領域温度 T_a , T_b の時間変化を示した図である。図 10 における横軸は時間経過を表しており、縦軸は計測される領域温度を表している。

【0048】

時刻 t_6 より前において、領域温度 T_a は予め定められた温度 T_{a0} に、領域温度 T_b は予め定められた温度 T_{b0} に、それぞれなるように温度制御が行われており、擬似的な定常状態が維持されている。

【0049】

時刻 t_6 において、制御部 9 が利用者から磁場の測定を停止する旨の指示を示す計測停止指示信号を取得すると、制御部 9 は、ポンプ光照射部 3 およびプローブ光照射部 4 に照射を停止させ、プローブ光計測部 5 に計測を停止させ、加熱部 7 に加熱を停止させるとともに、補助加熱部 6a に光透過壁面の加熱を開始させる。加熱部 7 による加熱が停止されると、壁面 13a を介してセル 1 内の空間に流入する熱が断たれるため、光透過壁面の内壁の温度が低下する。これに伴い、温度計測部 8b が計測する領域温度 T_b が低下する。40

【0050】

一方、温度計測部 8a が設置されている筒状部 14 は、温度計測部 8b が設置されている壁面 12a よりも、加熱部 7 によって加熱される壁面 13a から遠い位置にある。そのため、加熱部 7 による加熱停止直後において、温度計測部 8a により計測される領域温度50

T_aは、温度計測部8bにより計測される領域温度T_bに比べてゆっくりと低下する。その結果、T = (T_b - T_a)は小さくなつていき、温度差Tが最低温度差T_Lを下回ったときに、制御部9は、補助加熱部6aによる光透過壁面の加熱を開始する。これにより、領域温度T_bは急速に上昇し、時刻t₇において領域温度T_aとの温度差が最高温度差T_Hを上回ったとき、制御部9は補助加熱部6aによる加熱を停止させる。

【0051】

この後も、図10に示すように時刻t₈, t₁₀においてTが最低温度差T_Lを下回るため、制御部9はこれらのタイミングで補助加熱部6aを稼動させ、時刻t₉, t₁₁においてTが最高温度差T_Hを上回るため、制御部9はこれらのタイミングで補助加熱部6aを停止する。そして、時刻t₁₂において、計測された領域温度T_bが予め定められた露点T_Fを下回る。このため、制御部9は、補助加熱部6aによる加熱を停止し、計測停止の処理を終了する。10

【0052】

以上説明したように、磁場測定装置100aの制御部9は、加熱部7による加熱の停止に伴って、温度差拡大部としての補助加熱部6aを稼働させることにより、放冷されるセル1の内部空間に温度差を生じさせる。これにより第1実施形態と同様に、光透過壁面における結露が防止される。

【0053】

3. 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。20

【0054】

3-1. セル1に照射されるポンプ光及びプローブ光は、出射されてからセル1に入射するまでの進行方向が一定である必要はない。つまり、ポンプ光及びプローブ光は、セル1に入射するときに所定の方向になっていればよく、途中でミラー等によって反射され、進行方向が変更されてもよい。したがって、例えば、光の照射位置や検出位置を1箇所に集中させることも可能である。

【0055】

また、プローブ光がポンプ光を兼ねてもよい。この場合、プローブ光照射部4により照射された光により、セル1に封入された偏光面回転物質が励起し、その励起された偏光面回転物質によって、その光に含まれた直線偏光成分の偏光面が回転すればよい。なお、この変形例において、ポンプ光照射部3はなくてもよい。30

【0056】

3-2. 磁場測定装置100, 100aは、セル1を透過したポンプ光を検出してもよい。また、磁場測定装置100, 100aには、セル1を透過したポンプ光を吸収する部材を設けてよい。この部材は、シート状であるとより好ましい。

【0057】

3-3. 磁場測定装置100, 100aは、プローブ光計測部5で検出した光に応じた信号を可視化し、これを表示する手段を備えてもよい。また、磁場測定装置100, 100aは、プローブ光計測部5で検出した光に応じた信号を生成し、これを外部装置(表示装置、コンピュータ装置など)に出力する構成を備えていてもよい。40

【0058】

3-4. 被覆層2が透明な材質である場合、または、磁場測定に影響を与えない程度に光を吸収する材質である場合には、被覆層2に孔21aなどを設けなくてもよい。また、被覆層2はなくてもよい。第2実施形態において、被覆層2がない場合には、セル1の光透過壁面を覆うように補助加熱部6aが配置されていてもよい。

【0059】

3-5. 上述の実施形態において、セル1には、筒状部14が設けられていたが、筒状部14はなくてもよい。第1実施形態において、筒状部14がない場合には、壁面13bに接するように冷却部6が配置されていてもよい。これにより、セル1内部の偏光面回転物50

質は、光透過壁面よりも壁面 13 b に結露しやすくなるため、偏光面回転物質の光透過壁面への結露が防止される。

【 0 0 6 0 】

また、壁面 13 b に代えて、壁面 13 a に冷却部 6 が配置されていてもよい。加熱部 7 によって加熱されていた壁面 13 a を、加熱部 7 の加熱を停止させた後に、冷却部 6 によって冷却することで、セル 1 内部の偏光面回転物質は、光透過壁面よりも壁面 13 a に結露しやすくなる。

【 0 0 6 1 】

3 - 6 . 上述の実施形態において、温度差拡大部としての冷却部 6 や補助加熱部 6 a は、制御部 9 により温度差 T が最低温度差 T_L を下回ったときに稼動させられ、最高温度差 T_H を上回ったときに停止させられていたが、他の方法により、 T が予め定められた値となるように制御されてもよい。例えば、温度差拡大部の出力が温度差 T の大きさに応じて変化するように構成してもよい。具体的には、例えば、目標とされる温度差である目標温度差 T_d が予め定められており、制御部 9 は、計測された領域温度 T_a , T_b により算出される温度差 T と、目標温度差 T_d との差 ($T_d - T$) を求める。そして、制御部 9 は、求めたこの差に比例して温度差拡大部の出力が大きくなるように、温度差拡大部を制御すればよい。この場合、制御部 9 と温度差拡大部とは、第 1 領域と第 2 領域との温度差が、予め定められた目標温度差に近づくように、当該温度差を制御する温度差制御部の一例である。

【 0 0 6 2 】

また、上述した目標温度差 T_d は、領域温度 T_a , T_b に連動して変化してもよい。この場合、目標温度差 T_d は、領域温度 T_a または領域温度 T_b の関数として予め定められてもよい。要するに、磁場測定装置 100, 100 a は、温度計測部 8 が計測した領域温度 T_a または領域温度 T_b のうち、少なくとも一方の温度に関する値が予め定められた条件を満たす場合に、光透過壁面（第 1 領域）よりも筒状部 14（第 2 領域）の温度が低く、且つ、光透過壁面と筒状部 14 との温度差が予め定められた閾値を上回るように、温度差を制御すればよい。

【 0 0 6 3 】

3 - 7 . 上述の実施形態において、計測停止指示信号を取得すると、制御部 9 は、加熱部 7 等を停止させるとともに、冷却部 6 や補助加熱部 6 a の温度差拡大部を稼働させていたが、計測を開始する旨の指示を示す指示信号である計測開始指示信号を取得したことを契機として、温度差拡大部を稼働させてもよい。この場合、領域温度 T_a , T_b は時間経過とともに上昇するが、温度差拡大部が稼働するために、これらの温度差 T は、予め定められた最低温度差 T_L を上回り、且つ最高温度差 T_H を下回るよう、あるいは、目標温度差 T_d に近づくように、制御されればよい。

【 0 0 6 4 】

3 - 8 . 上述の実施形態において、温度差 T と、最低温度差 T_L 、最高温度差 T_H 、または目標温度差 T_d との比較結果に応じて、制御部 9 は、温度差拡大部を制御していたが、温度変化の値が予め定められた条件を満たしたときに、温度差拡大部を制御してもよい。例えば、領域温度 T_a , T_b 、および温度差 T について、単位時間あたりの変化を監視し、その変化を示す温度変化速度や、その変化の時間についての二次微分などをこれら温度に関する値として特定する。そして、特定した温度に関する値が予め定められた条件を満たした場合に、制御部 9 は、温度差拡大部を制御すればよい。

【 0 0 6 5 】

具体的には、上述した温度変化速度などが、予め定められた閾値を上回った場合に、温度差 T を制御するようにすればよい。温度変化速度が或る値を上回るということは、セル 1 内部に急激な温度変化が生じていることを意味しており、温度分布の拡散よりも速い局所的な温度変化によって、内部ガスが結露する可能性が高いからである。なお、この場合、制御部 9 および温度差拡大部とは、温度変化速度が予め定められた閾値を上回った場合に、温度差を制御する温度差制御部の一例である。

10

20

30

40

50

【0066】

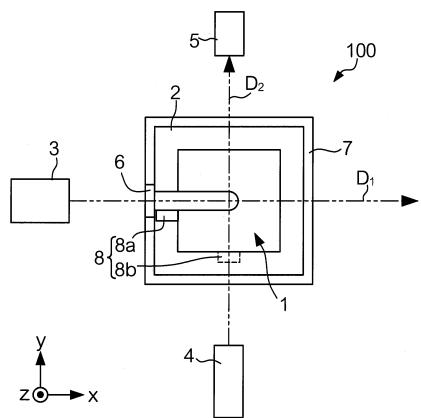
3 - 9 . 上述した第1実施形態および第2実施形態を組み合わせてもよい。すなわち、磁場測定装置100, 100aは冷却部6と補助加熱部6aとをともに備えていてもよい。この場合でも、上述したタイミングで、冷却部6と補助加熱部6aとを制御することにより、セル1の内壁に温度差が生じるので光透過壁面における結露が防止される。

【符号の説明】

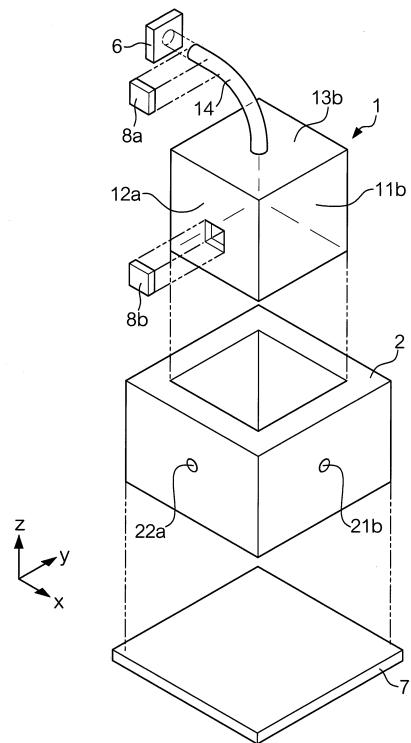
【0067】

1 ... セル、11a, 11b, 12a, 12b, 13a, 13b ... 壁面、14 ... 筒状部、2 ... 被覆層、21a, 21b, 22a, 22b ... 孔、3 ... ポンプ光照射部、4 ... プローブ光照射部、5 ... プローブ光計測部、6 ... 冷却部、6a ... 補助加熱部、7 ... 加熱部、8, 8a, 8b ... 温度計測部、9 ... 制御部、100, 100a ... 磁場測定装置。
10

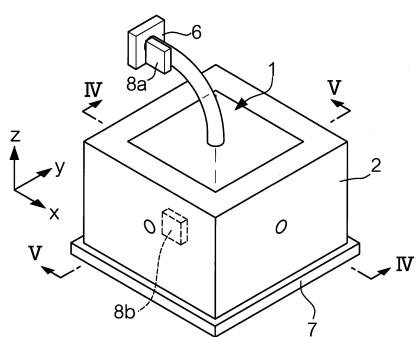
【図1】



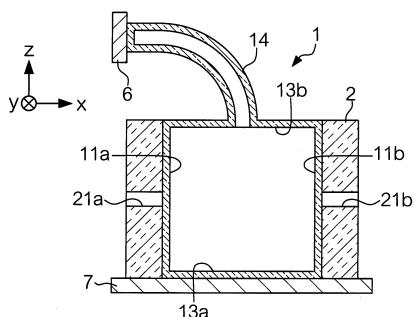
【図2】



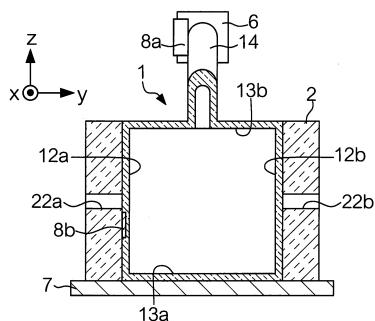
【図3】



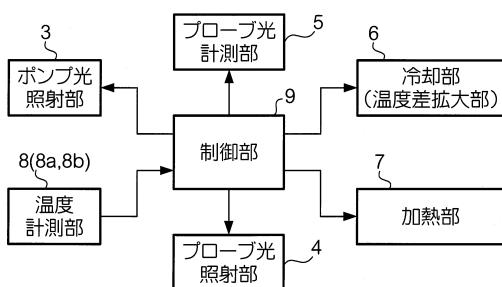
【図4】



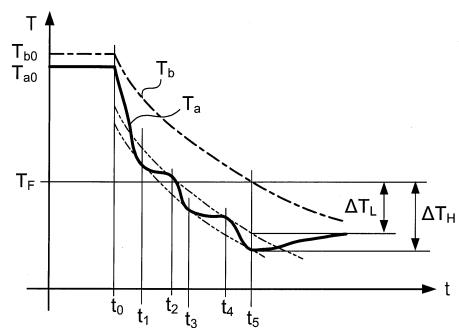
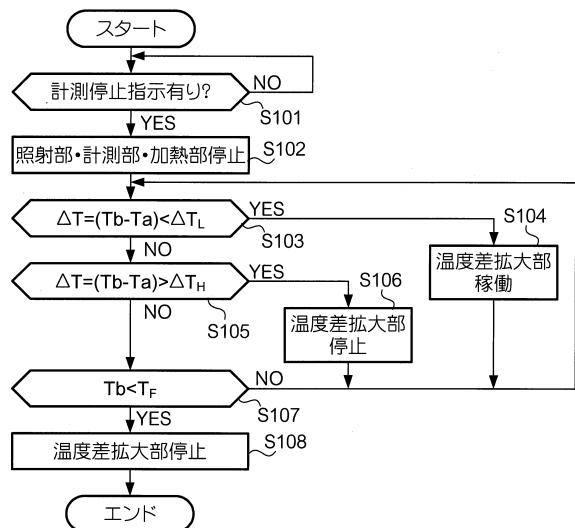
【図5】



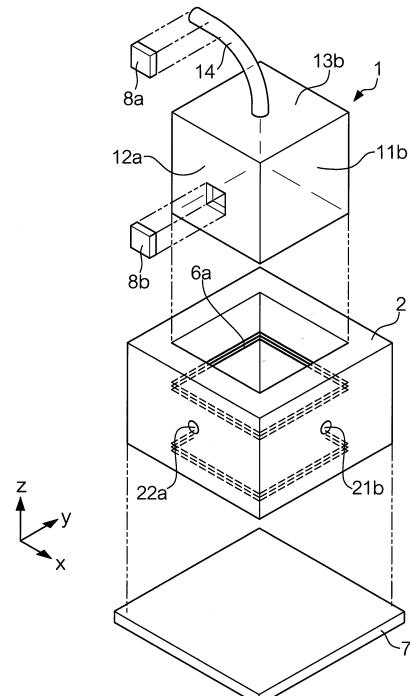
【図6】



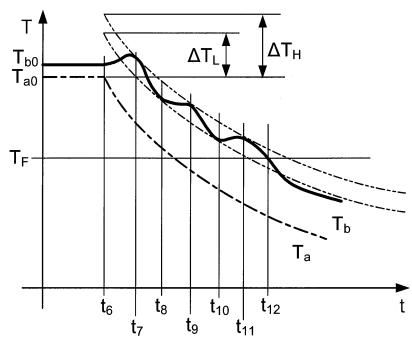
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-205875(JP,A)
特開2009-194099(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01R 33/032