

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有權機關
國際事務局



(43) 国際公開日
2015年2月5日(05.02.2015)

(10) 国際公開番号

WO 2015/015628 A1

- (51) 國際特許分類:
G01R 33/26 (2006.01)

(21) 國際出願番号: PCT/JP2013/070958

(22) 國際出願日: 2013 年 8 月 2 日(02.08.2013)

(25) 國際出願の言語: 日本語

(26) 國際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目
6番6号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 川畑 龍三(KAWABATA, Ryuzo); 〒
1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号
株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 神鳥 明彦
(KANDORI, Akihiko); 〒1008280 東京都千代田区丸
の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内
Tokyo (JP). 長部 太郎(OSABE, Taro); 〒1008280 東
京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社
日立製作所内 Tokyo (JP). 鈴木 聖一(SUZUKI,
Seiichi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目

6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 鎌
田 雄大(KAMADA, Yuudai); 〒1008280 東京都千
代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製
作所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE, Manabu et al.); 〒
1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号
株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

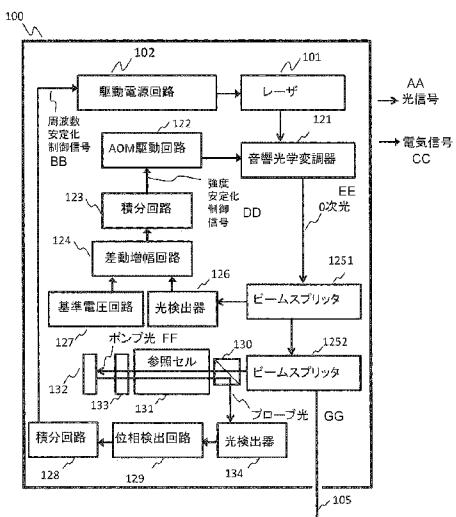
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPQ(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC FIELD MEASURING DEVICE

(54) 発明の名称：磁場計測装置



- 101 Laser
- 102 Drive power supply circuit
- 121 Acousto-optic modulator
- 122 AOM drive circuit
- 123, 128 Integration circuit
- 124 Differential amplifier circuit
- 126, 134 Photodetector
- 127 Reference voltage circuit
- 129 Phase detection circuit
- 131 Reference cell
- 1251, 1252 Beam splitter
- AA Optical signal
- BB Frequency stabilization control signal
- CC Electrical signal
- DD Intensity stabilization control signal
- EE Zero-order light
- FF Pump light
- GG Probe light

(57) Abstract: A magnetic field measuring device having: a magnetic sensor unit that has a glass cell having an alkali metal gas sealed therein and uses the magneto-optical properties of spin-polarized alkali metal to detect a magnetic field; a light source unit for generating excitation light to be introduced into the magnetic sensor unit; a coil unit that is disposed in the same magnetically shielded space as the magnetic sensor unit and applies a static magnetic field and RF magnetic field to the magnetic sensor unit; and a signal processing unit for performing lock-in detection of the detection signal for light that has passed through the glass cell of the magnetic sensor unit, using the lock-in detection output to control the intensity of the static magnetic field generated by the coil unit and the frequency of the RF magnetic field generated by the coil unit, and obtaining a measurement signal that reflects the magnetic field strength of the measurement target within the magnetically shielded space. The light source unit includes a laser, an intensity stabilization unit for controlling an optical modulator that receives the output light of the laser so that the output light intensity of the optical modulator reaches a prescribed value, and a frequency stabilization unit for creating, on the basis of an optical phase obtained from a glass cell for reference that receives one light beam split from the light that has passed through the optical modulator of the intensity stabilization unit, a frequency stabilization control signal that controls the resonator length of the laser. The other light beam split from the light that has passed through the optical modulator of the intensity stabilization unit is made to be the excitation light.

(57) 要約:

[続葉有]



MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッ
パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

アルカリ金属ガスが封入されたガラスセルを有し、スピニ偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記磁気センサ部に導入励起光を発生する光源部と、前記磁気センサ部と同一の磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記磁気センサ部のガラスセルを透過した光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間内の計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有する磁気計測装置であり、前記光源部は、レーザと、該レーザの出力光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部と、該強度安定化部の光変調器を通過した光を分光した一方の光を受ける参照用ガラスセルから得た光の位相を基に前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部とを含み、該強度安定化部の光変調器を通過した光を分光したもう一方の光を前記励起光とする。

明 細 書

発明の名称：磁場計測装置

技術分野

[0001] 本発明は、光ポンピングによる磁気光学効果を利用した磁場計測装置に関する。

背景技術

[0002] 光ポンピングによる磁気光学効果を利用した光ポンピング磁場計測装置では、センサとしてアルカリ金属ガス（例えば、カリウム、ルビジウム、セシウムなど）が封入されたガラスセルを用いる。このガラスセルに静磁場を印加し、ガラスセル内のアルカリ金属のエネルギー準位をゼーマン分裂させ、直線偏光、円偏光、橜円偏光などの偏光状態を操作した光、もしくは、強度変調光、位相変調光などの強度や位相を操作した光をガラスセルに照射することで生じた光と磁気との相互作用を利用して当該ガラスセルに入った磁気を検出する。そのガラスセルへ照射する励起光の光源は、原子や分子の分光計測の分野で使用するのに匹敵するぐらい周波数安定化した光源が必要である。

[0003] 光源として半導体レーザをはじめとする各種レーザが使用される。周波数安定化するレーザでは、基準周波数に対する周波数のずれを検出する機構を有する。周波数のずれを検出した信号がレーザを周波数安定化するための制御信号となる。基準周波数となる対象として、原子や分子の吸収線もしくは、干渉計が用いられる。

[0004] レーザの周波数安定化に関する背景技術として、特開2005-72103号公報（特許文献1）がある。この公報には、原子のサブドップラーフィルタースペクトルを用いてレーザ周波数の安定化を図る技術について記載され、とくに従来よりも簡便かつ適切な周波数安定化レーザ装置を提供すると記載されている。

[0005] 半導体レーザをはじめとする光源の光強度は一般的に常時安定ではない。

そのため、安定な光強度を必要とする用途では、光源から生じた光を光検出器で計測し、その計測信号によって光源の駆動電流を制御することで光強度を安定化するオートパワーコントロール（A P C）が行われる。

- [0006] A P Cを用いた背景技術として、特開2008-153320号公報（特許文献2）がある。この公報には、光源と、前記光源から出力された光を検出する光検出器と、前記光源と前記光検出器の光路の間に配置された光散乱体と、前記光検出器の検出結果を用いて前記光源の出力を制御または、前記光源の出力変動を補正する制御／補正部とを有することを特徴とする光源システムを提供する旨が記載されている。
- [0007] また、特開2002-314187号公報（特許文献3）がある。この公報には、半導体レーザと電界吸収型変調器とが集積化された光半導体素子と、半導体レーザ側からの背面光の出力を、波長透過依存性を有した光フィルタを介してフォトダイオードに入力させ、フォトダイオードの出力に応じて温度制御を行うとともに、電界吸収型変調器の出力に基づいて半導体レーザの電流を制御するレーザダイオードモジュールを得ると記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開2005-72103号公報
特許文献2：特開2008-153320号公報
特許文献3：特開2002-314187号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 特許文献1に記載のレーザ周波数安定化装置、およびレーザ周波数安定化方法では、基準周波数の対象として気体が封入されたガスセルを用いる。ガスセルを通過するポンプ光を一定の時間間隔で遮光させている状態で、同様にガスセルにプローブ光を入射する。ポンプ光がONの時とOFFの時のプローブ光の強度の差から得た一次微分信号を用いてレーザの周波数安定化を

行う。周波数安定化時に、レーザヘッド内部の回折格子もしくはミラーなどの光学部品の角度調整の制御や、レーザへの注入電流の制御を行う。そのため、レーザの出力光強度は一定にならず、常に変動してしまう。

- [0010] 一方、特許文献2に記載の光源システムでは、レーザから出力された光は光散乱体を介して光検出器で検出され、当該検出信号を用いてレーザの出力光強度を安定に制御する。出力光強度の安定化を行う際に、レーザへの注入電流を制御するため、常にレーザの周波数は変動してしまう。
- [0011] さらに、特許文献3に記載のレーザダイオードモジュール及び光送信機では、レーザからの出力光を検出した光検出器の出力信号で、レーザダイオードの温度制御とレーザダイオードの注入電流をそれぞれ制御する。そのため、前記特許文献2と同様にレーザの周波数は常時一定にはならない。
- [0012] そこで、本発明は、レーザの周波数安定化と出力光強度安定化が両立できる光源を備えた磁場計測装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0013] 本発明の代表的実施例にしたがう磁場計測装置は、スピン偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用した光ポンピング磁気センサであり、アルカリ金属が封入されたガラスセルをセンサ部とする。光ポンピング磁気センサは、センサ部に励起光を照射するための光源部、センサ部に静磁場およびRF磁場を印加するためのコイル部、信号制御処理部を有し、センサ部とコイル部は磁気シールド内にある。励起光の光源にはレーザ共振器長を高速かつ高精度に調整する機構を備えたレーザ、代表的には外部共振器型半導体レーザを用いる。光源部としては、そのレーザの共振器長の調整機構およびレーザ注入電流の供給源にレーザの出力光の位相検出信号を基にする周波数安定化制御信号を帰還する周波数安定化部に加えて、レーザの出力光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう光変調器を制御する強度安定化部を有し、強度安定かつ周波数安定な励起光は偏光保持光ファイバーを通じてセンサ部に照射する。このように、レーザの共振器長を制御する周波数安定化部とは独立してレーザの出力光を受ける光変調器を通過した光強度が所定値に

なるよう光変調器を制御する強度安定化部を具備した光源部を用いることにより、周波数安定化と出力光強度安定化が両立した励起光が確保され、磁気計測装置の計測感度と計測精度の向上が達成される。代表的には上記の強度安定化部の光変調器は、レーザ出力光の位相を検出するための参照ガラスセルにレーザ出力光を分光するビームスプリッタの前段に設けられる。つまり光源部の強度安定化部は、周波数安定化部がつくる制御ループ内に設けられる。

[0014] 別の実施例では、強度安定化部の光変調器はレーザ出力光の位相を検出するための参照ガラスセルにレーザ出力光を分光するビームスプリッタの後段に設けられる。つまり周波数安定化部の作る制御ループの外に強度安定化部があり、励起光は、周波数安定化、強度安定化の順に調節される構成を有する。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、光源の強度安定化と、光源の周波数安定化を両立できる装置構成で、光ポンピング磁気センサの低雑音化および安定動作を提供する。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の第1の実施例である光ポンピング磁気センサを用いた磁場計測装置の全体構成を示すブロック図である。

[図2]上記磁場計測装置の強度安定化と周波数安定化機構を備えた光源部を示すブロック図である。

[図3]上記磁場計測装置の磁気センサの構造を示す側面図である。

[図4]本発明の第2の実施例である光ポンピング磁気センサを用いた磁場計測装置の光源部の構成を示すブロック図である。

[図5]本発明の第3の実施例である光ポンピング磁気センサを用いた磁場計測装置の全体構成を示すブロック図である。

[図6]本発明の第4の実施例である光ポンピング磁気センサを用いた磁場計測装置の全体構成を示すブロック図である。

[図7]本発明の第5の実施例である光ポンピング磁気センサを用いた磁場計測装置の全体構成を示すブロック図である。

[図8]本発明の第6の実施例である光ポンピング磁気センサを用いた磁場計測装置の全体構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

実施例 1

[0017] 図1は、本発明の実施例（実施例1）の磁場計測装置の概要構成を示す。磁場計測装置は、光源部100、コイル部107、センサ部106、磁気シールド部110、信号制御処理部120から構成される。光源部100は、レーザ101、駆動電源回路102、強度安定化部103、周波数安定化部104から成り、センサ部106のアルカリ金属ガスを封入したセンサ用ガラスセルに導入するセンサ用励起光105を発生する。光源は安定性や性能を考慮し、ランプよりもレーザが好ましい。したがって、本実施例の光源はレーザを使用している。

[0018] 光ポンピング磁気センサの動作では、レーザの発振周波数がアルカリ金属の吸収線（D₁線、D₂線）を含み、レーザのスペクトル線幅がアルカリ金属の吸収線幅以下で、シングルモードで発振している必要がある。そのため、必要なレーザ動作条件だけでなく、実用性（安価・小型）の面も考慮すると、使用するレーザは半導体レーザとなる。なかでも、レーザ素子の外部に回折格子などの光学部品を備えた外部共振器型半導体レーザ、またはレーザ素子内部に共振器長調節構造を備えた分布帰還型レーザ（DFBレーザ）もしくは分布反射型レーザ（DBRレーザ）の使用が好ましい。

[0019] レーザ101は駆動電源回路102で駆動されて発振する。レーザ素子が所望の発振周波数で発振するようにペルチェ素子を用いて設定温度に常時温調制御している。外部共振器型レーザを使用する場合には、レーザ素子の温調だけでなく、レーザ素子への注入電流値の設定と、回折格子などの光学部品から成る外部共振器長の調節を行うことで、レーザの発振周波数がアルカリ金属の吸収線から大きく外れるモードホップが生じないようにする。また

、 DFB レーザや DBR レーザを使用する場合にも、同様にモードホップが生じることを防ぐために、レーザ素子の温調だけでなく、レーザ素子への注入電流値の設定を行う。

- [0020] 図2は実施例1の磁場計測装置の光源部100の詳細構成を示す。レーザ101から出力したレーザ光は音響光学変調器（AOM）121に入射する。このレーザ光はAOMを出射する際にブラッグ回折によって、0次光、1次光、・・・、N次光（Nは整数）に分離されたレーザ光となって出射する。その際に、AOM121に入る入射レーザ光の角度を調節することで1次光が最大になるように設定する。入射レーザ光の調節のために、AOM121に3軸（X軸、Y軸、Z軸）かつ角度（θ軸）などの位置調節機構があると容易に調整が可能である。AOM121からの出射レーザ光は0次光を使用し、当該0次光はビームスプリッタ1251によって2つに分離する。
- [0021] 分離された0次光の一つは、レーザ光の強度安定化を行うために光検出器126で検出する。光検出器126の出力電圧と、外部に設けた基準電圧回路127の出力電圧を差動增幅回路124に入力する。この差動增幅回路124の出力電圧は積分回路123を介して、AOM駆動回路122に入力する構成となっている。この構成でレーザ光の強度安定化の制御が行われる。ここで、AOMはレーザ光の強度調節としても機能でき、強度を調節する際は前記基準電圧回路127の出力電圧を調節する。
- [0022] 前記分離された0次光のもう一つは、ビームスプリッタ1252でさらに2つのレーザ光に分離する。分離したレーザ光は、レーザ光の周波数安定化と、センサの励起光にそれぞれ使用する。レーザ光の周波数安定化のためには、背景技術で記したアルカリ金属の吸収線、もしくは干渉計を周波数安定化の基準として使用することができる。干渉計を用いた場合は周波数安定性が最も高い。しかし、簡便性かつコストの面ではアルカリ金属の吸収線を用いた周波数安定化が好ましい。また、アルカリ金属原子の吸収線は熱運動によって室温（例えば、24°C）でも数百MHzの広がりがあるため、アルカリ金属原子の吸収線の自然幅（例えば、セシウム原子では約5MHz）以下

に周波数安定化できれば十分な性能といえる。そこで、本実施例の周波数安定化は、実用的なアルカリ金属原子の吸収線を用いた周波数安定化を採用し、その中でも一般的といえる飽和吸収分光法を用いている。

[0023] すなわち、前記ビームスプリッタ 1252 で分離した周波数安定化用のレーザ光は、アルカリ金属の吸収線を得るためにアルカリ金属のみが入った参照ガラスセル 131 に入射する。そのレーザ光の入射側と対向する側には ND ファイル 133 とミラー 132 が積層して設けられる。この構造により、参照ガラスセル 131 を通過したレーザ光は、ミラーで反射し、減弱されて参照ガラスセル 131 に戻され、入射レーザ光の経路と重なる経路を逆方向に進む。このように、入射レーザ光（ポンプ光）の光強度は強く、もう片方の反射レーザ光（プローブ光）はポンプ光に比べて十分弱くなり、両者の経路は重なる。レーザ光強度が強いポンプ光でアルカリ金属原子の励起が飽和され、プローブ光の周波数を掃引することで飽和が起こっているアルカリ金属原子の共鳴周波数ではプローブ光の吸収が減少する。これにより参照ガラスセルでの光吸収周波数特性には鋭い窪みが生じる。この窪みの線幅はアルカリ金属原子の自然幅であり、窪みの底もしくはスロープの部分にレーザの周波数をロックすることで周波数安定化を行う。レーザ 101 として外部共振器型半導体レーザを用いた場合について、この周波数安定化のための制御ループの詳細を述べる。外部共振器型半導体レーザではレーザ素子と対向して配置されて共振器を形成する回折格子の角度を微細に変化させる圧電素子、もしくは上記の回折格子からの回折光の光路に設けたミラーの角度を微細に変化させる圧電素子を備える。前者の構造をもつのはリトロー型レーザと呼ばれ、後者の構造をもつのはリットマン型レーザと呼ばれる。いずれの場合も、圧電素子へ引加する電圧により共振器長を調整してレーザの周波数を調整可能となっている。上記した参照セルの光吸収周波数特性の窪みの底に、つまり参照ガラスセル 131 を経た光の周波数特性のピークに周波数安定化する場合には、レーザの周波数を掃引時に上述の共振器長を調節するための圧電素子の電圧信号に変調をかけて、その変調成分を位相検出回路 129

で検波して得られる分散型のエラー信号を積分回路128に通し、上記圧電素子及びレーザ素子の注入電流にフィードバックをかける。また、スロープの部分に周波数安定化を行う場合には、直線性がある範囲でスロープの傾きをエラー信号として積分回路に通し、圧電素子及びレーザ素子の注入電流にフィードバックをかける。

- [0024] 前記分離された0次光のもう一つのレーザ光は、前記強度安定化と前記周波数安定化によって周波数安定かつ強度安定になったレーザ光であり、磁気シールド110の内部に導入されてセンサ部106の励起光となる。
- [0025] センサ部106は測定対象の磁場の発生源とともに磁気シールド110の内部に置かれる。更に磁気シールド110の内部には、センサ部106のガラスセルに、上記の励起光の光軸と45度の各度をなす方向の静磁場を引加する静磁場コイル108と、その静磁場と直交する方向の振動磁場を発生するRFコイル109を有する。
- [0026] 図3はセンサ部106の主要構造を示す。センサ部106では図示しない非磁性のモールドの内部に図3の各部品が図のとおりに配置されている。光ファイバーによって光源部から導くセンサの励起光は、コリメートレンズ301、 $\lambda/4$ 波長板303を介してセンサ用ガラスセル305に導入される。励起光はコリメートレンズ301で平行光となり、 $\lambda/4$ 波長板303で円偏光になってセンサ用ガラスセル305に入射する。そして、センサ用ガラスセル305を通過したレーザ光は集光レンズ307で集光され、図1の信号処理部120に設けられたフォトダイオード111に導かれて検出される。センサの励起光は空間伝播光としてセンサ用ガラスセルへ入射してもよいが、実用性を考慮すると偏波保持光ファイバーによってセンサ用のガラスセルへ導くことが好ましい。また、直線偏光を調節するために、コリメートレンズ301と $\lambda/4$ 波長板303との間に偏光子もしくは $\lambda/2$ 波長板を入れてもよい。センサ用ガラスセル305を通過したレーザ光の検出は直接光検出器で検出するだけでなく、光ファイバーを介してフォトダイオード111に導いてもよい。高い結合効率を得るにはコア径の大きいマルチモード

光ファイバーを用いるのが望ましい。マルチモード光ファイバーは、一般に偏波面保存の機能はない。しかし、センサ部のガラスセルへの入射光では問題である偏光の崩れは、検出光の光量検出では問題とならないため、マルチモード光ファイバー 130 を使用することで問題は生じない。信号処理部 120 は、さらにカレントアンプ回路 112、アンプフィルタ回路 113、位相検波回路 114、A/D 変換回路 115、発振回路 116、ループフィルタ回路 117、安定化電源 118、及び PC 119 を備える。フォトダイオード 111 から出力された電流信号はカレントアンプ回路 112 によって電圧信号に変換され、アンプフィルタ回路 113 で測定に必要なゲインと帯域に調整する。位相検波回路 114 では、発振回路 116 からの信号を参照信号にしてアンプフィルタ回路 113 の出力を検波する。検波された位相信号をループフィルタ回路 117 で発振しないように制御し、ループフィルタ回路 117 の出力を発振回路 116 に入力することで発振周波数を電圧制御し、これによってセンサ部 106 に印加する RF 磁場の周波数をフィードバック制御する。フィードバック制御時の位相検波回路 114 の出力変化によって、センサ用ガラスセル 305 の近傍の測定対象で発生する微弱磁場を計測できる。なおフォトダイオード 111 とカレントアンプ回路 112 との間はシールド線で接続するのが一般的であるが、両者を一体構造とするのが電磁ノイズに強い構造としてより好ましい。

[0027] 以上の構成により、磁気センサ部に導入する励起用のレーザ光の光強変動と周波数変動の双方を排除し、安定した励起光源による高精度な光ポンピング磁気計測が可能な磁気計測装置が得られる。

実施例 2

[0028] 本発明の第 2 の実施例（実施例 2）の磁気計測装置では、光源部の構成が実施例 1 と異なる。この磁気計測装置は、光源部以外の構成は図 1 に示した実施例 1 の磁気計測装置と全く同様である。以下に、実施例 2 の磁気計測装置の光源部 140 の構成を図 4 に沿って説明する。図 2 に示した実施例 1 の光源部と同一の構成要素は同一の符号を付してある。実施例 1 の光源部と比

較とすると、光検出器 126、基準電圧回路 127、差動増幅器 124、積分回路 123、AOM 駆動回路 122、および音響光学変調器 121 で構成する強度安定化部が、周波数安定化部から駆動電源回路 102 を経てレーザ 101 にフィードバックする周波数安定化のための制御ループの内側にあるのではなく、この制御ループの後段にある点が異なる。すなわち光源であるレーザ 101 から出力されたレーザ光を分割する第 1 のビームスプリッタ 1251 で得る分割光の一つは、ハーフミラー 130、参照セル 131、ND フィルタ 133、ミラー 132 の積層構造体に導入される。光検出器 134 の出力を位相検出回路 129 で検波して得るレーザの共振器長の変調成分の抽出信号は積分回路 128 で積分されてレーザの駆動電源回路 102 に帰還され、レーザ 101 の周波数安定化制御信号として働く。以上の制御ループにより周波数安定化がなされたレーザ光の分割光のもう一つは、ビームスプリッタ 1251 から音響光学変調器 121 に導かれる。音響光学変調器 121 は、第 2 のビームスプリッタ 1252 から得る分割光を検出する光検出器 126、基準電圧回路 127、差動増幅器 124、積分回路 123、AOM 駆動回路 122 で構成される制御回路で得る強度安定化制御信号で制御され、もってその出力光の強度が一定に制御される。以上のように、周波数安定化部、強度安定化部の順に制御ループが構成され、これらを介して、センサ用励起光 105 が得られる。

[0029] 励起光 105 を導入するセンサ用ガラスセル以降の構成は実施例 1 と全く同様であり、本実施例でも励起用のレーザ光の光強変動と周波数変動の双方を排除し、安定した励起光源による高精度な光ポンピング磁気計測が可能である。

実施例 3

[0030] 本発明の第 3 の実施例（実施例 3）では、センサ用ガラスセルに導入する励起光が実施例 1 のように単一波長のレーザ光ではなく、センサ用ガラスセルに用いるアルカリ金属の吸収線である D₁ 線と D₂ 線のそれぞれのレーザ光の混合光を励起光として用いる。

- [0031] 図5に実施例3の磁気計測装置の全体構成を示す。互いに独立した光源部100-1と100-2を有する。光源部100-1はD₁線レーザ101-1、強度安定化部103-1、周波数安定化部104-1、駆動電源回路102-1を有し、その詳細構成は図2に示した実施例1の光源部100と同様である。光源部100-2も同様にはD₂線レーザ101-2、強度安定化部103-2、周波数安定化部104-2、駆動電源回路102-2を有し、その詳細構成も図2に示した実施例1の光源部100と変わりがない。したがって、それぞれの光源部にてレーザ光が強度安定化かつ周波数安定化するまでの構造は図1の実施例1と同様である。
- [0032] それぞれ強度安定化かつ周波数安定化された各レーザ光は、コリメートレンズで平行光にし、その後で入／4波長板を介して円偏光にする。円偏光になった各レーザ光はハーフミラー230を用いて同軸上に重ね合わせられて混合光となる。この混合光が磁気シールド110-1内に備えられたセンサ用セルに入射する。磁気シールド110-1内の構成では、センサ用ガラスセルを通過したレーザ光を入射させる回折格子234を有する点が実施例1の磁気シールドと異なる。この回折格子234を用いてガラスセルを通過したレーザ光をD₁レーザ光とD₂レーザ光にそれぞれ分離し、どちらか一方のレーザ光のみを抽出して磁気計測用の信号として検出する。この抽出されたレーザ光の検出を行うフォトダイオード111以降の信号処理部120の構成、動作は実施例1と変りがない。
- [0033] このように、本実施例では重ね合わせたD₁レーザ光とD₂レーザ光を励起光として用いることで、その片方のレーザ光が磁気計測のためのポンプープローブ光となり、もう片方のレーザ光が磁気計測信号の信号対雑音比を向上するためのリポンプ光として機能する。この実施例3の磁気計測装置では、センサ用カラスセル内のアルカリ金属原子（例えばセシウム原子）のうち基底準位F4にあった原子と基底準位F3にあった原子も励起することが出来る。そのため、光ポンピング磁力計の磁気検出感度が実施例1、2の装置よりも更に向上するとの利点を有する。

[0034] ポンプープローブ光はD₁レーザ光もしくはD₂レーザ光どちらでも用いることができる。つまり、リポンプ光においても同様なことが言える。しかしながら、D₁レーザ光をポンプープローブ光とし、D₂レーザ光をリポンプ光とすると、より効果的である。これは、D₁線の方がD₂線よりもアルカリ金属原子のエネルギー遷移の間隔が広いため、使用するエネルギー遷移に近い別のエネルギー遷移の影響が小さいできることが理由である。

実施例 4

[0035] 本発明の第4の実施例（実施例4）の磁気計測装置の全体構成を図6に示す。本実施例の磁気計測装置では、実施例3と同様にセンサ用ガラスセルに用いるアルカリ金属の吸収線であるD₁線とD₂線のそれぞれのレーザ光の混合光を励起光として用いる。したがってD₁レーザ光とD₂レーザ光をそれぞれ発生する光源部140-1、140-2を備える。これらの光源部は実施例1の光源部のように周波数安定化のための制御ループの内側に強度安定化部を備えたものではない。強度安定化部103-1、103-2は、それぞれ周波数安定化部104-1が作る制御ループの後段、周波数安定化部104-2が作る制御ループの後段にそれぞれ設けられる。これら光源部140-1、140-2の詳細構成は図4に示すもとの同様である。ただし、図6では光源部140-1、140-2の内部は概要ブロック構成で示している。光源部140-1からのD₁レーザ光と光源部140-2からのD₂レーザ光とは、それぞれコリメートレンズ、λ/4波長板により互い平行な円偏光とされ、ハーフミラー140で同軸上に重ね合わせられて混合光となることも実施例3と同様である。また、センサ部106のセンサ用ガラスセルを通過したレーザ光を回折格子234に通し、もってD₁レーザ光とD₂レーザ光のいずれか一方を抽出して検出する構成も実施例3の磁気計測装置と全く同様である。

実施例 5

[0036] 本発明の第5の実施例（実施例5）の磁気計測装置の全体構成を図7に示す。本実施例の磁気計測装置では、実施例3と同様にセンサ用ガラスセルに

用いるアルカリ金属の吸収線であるD₁線とD₂線のそれぞれのレーザ光の混合光を励起光として用いる。したがってD₁レーザ光とD₂レーザ光をそれぞれ発生する光源部140-1、140-2を備える。レーザ光が強度安定化かつ周波数安定化するまでの構造ならびに、センサ部への励起光を導く装置構成は図5に示した実施例3と同様である。

[0037] それぞれ強度安定化かつ周波数安定化された各レーザ光は、コリメートレンズで平行光にし、その後でλ/4波長板を介して円偏光にする。円偏光になった各レーザ光はハーフミラー230を用いて同軸上に重ね合わせられて混合光となる。この混合光が磁気シールド110-2内に備えられたセンサ用セルに入射する。磁気シールド110-2内の構成では、センサ用ガラスセルを通過したレーザ光を入射させる回折格子234の代わりにλ/4波長板2000と、偏光ビームスプリッタ2001を有する点が実施例3の磁気シールドと異なる。このλ/4波長板2000でガラスセルを通過したD₁レーザ光とD₂レーザ光を円偏光から直線偏光に変換する。変換された直線偏光であるD₁レーザ光とD₂レーザ光は偏光ビームスプリッタ2001で、D₁レーザ光とD₂レーザ光にそれぞれ分離し、どちらか一方のレーザ光のみを抽出して磁気計測用の信号として検出する。この抽出されたレーザ光の検出を行うフォトダイオード111以降の信号処理部120の構成、動作は実施例3と変りがない。

実施例 6

[0038] 本発明の第6の実施例（実施例6）の磁気計測装置の全体構成を図8に示す。本実施例の磁気計測装置では、実施例3と同様にセンサ用ガラスセルに用いるアルカリ金属の吸収線であるD₁線とD₂線のそれぞれのレーザ光の混合光を励起光として用いる。したがってD₁レーザ光とD₂レーザ光をそれぞれ発生する光源部140-1、140-2を備える。レーザ光が強度安定化かつ周波数安定化するまでの構造ならびに、センサ部への励起光を導く装置構成は図5に示した実施例3と同様である。

[0039] これらの光源部は実施例5の光源部のように周波数安定化のための制御ル

ープの内側に強度安定化部を備えたものではない。強度安定化部 103-1, 103-2 は、それぞれ周波数安定化部 104-1 が作る制御ループの後段、周波数安定化部 104-2 が作る制御ループの後段にそれぞれ設けられる。これら光源部 140-1, 140-2 の詳細構成は図 6 に示すもとの同様である。また、磁気シールド 110-2 内の構成は実施例 5 と全く同様である。光源部 140-1 からの D₁ レーザ光と光源部 140-2 からの D₂ レーザ光とは、それぞれコリメートレンズ、λ/4 波長板により互い平行な円偏光とされ、ハーフミラー 140 で同軸上に重ね合わせられて混合光となることも実施例 5 と同様である。また、センサ部 106 のセンサ用ガラスセルを通過したレーザ光を λ/4 波長板 2000 と、偏光ビームスプリッタ 2001 に通し、もって D₁ レーザ光と D₂ レーザ光のいずれか一方を抽出して検出する構成も実施例 5 の磁気計測装置と全く同様である。

符号の説明

[0040] 100, 140, 100-1, 100-2, 140-1, 140-2 : 光源部

101 : レーザ

101-1 : D₁ レーザ

101-2 : D₂ レーザ

102, 102-1, 102-2 : 駆動電源回路

103, 103-1, 103-2 : 強度安定化部

104, 104-1, 104-2 : 周波数安定化部

105 : センサ用励起光

106 : センサ部

107 : コイル部

108 : 静磁場コイル

109 : RF コイル

110, 110-1, 110-2 : 磁気シールド

111 : フォトダイオード

- 112 : カレントアンプ回路
113 : アンプフィルタ回路
114 : 位相検波回路
115 : A/D変換回路
116 : 発振回路
117 : ループフィルタ回路
118 : 安定化電源
119 : PC
120 : 信号制御処理部
121 : 音響光学変調器 (AOM)
122 : AOM駆動回路
123, 128 : 積分回路
124 : 差動增幅回路
126, 134 : 光検出器
127 : 基準電圧回路
129 : 位相検出回路
130 : ハーフミラー
131 : 参照セル
132 : ミラー
133 : NDフィルタ
230 : ハーフミラー
234 : 回折格子
301 : コリメートレンズ
303, 2000 : $\lambda/4$ 波長板
305 : センサ用ガラスセル
307 : 集光レンズ
1251, 1252 : ビームスプリッタ
2001 : 偏光ビームスプリッタ

請求の範囲

- [請求項1] 磁気シールド空間に設けられ、アルカリ金属ガスが封入されたガラスセルを有してスピニ偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記磁気センサ部に導入する励起光を発生する光源部と、前記磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記ガラスセルを透過した光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間に設置された計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有し、前記光源部は、レーザと、該レーザの出力光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部と、該強度安定化部の光変調器を通過した光を分光した一方の光を受ける参照用ガラスセルから得た光の位相をもとに前記前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部とを含み、該強度安定化部の光変調器を通過した光を分光したもう一方の光を強度安定化され周波数安定化された励起光として前記ガラスセルに導くよう構成されることを特徴とする磁場計測装置。
- [請求項2] 磁気シールド空間に設けられ、アルカリ金属ガスが封入されたガラスセルを有してスピニ偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記磁気センサ部に導入する励起光を発生する光源部と、前記磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記ガラスセルを透過した光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間に設置された計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有し、前記光源部は、レーザと、該レーザの出力光を分光した一方の光を受

ける参照用ガラスセルから得た光の位相をもとに前記前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部と、前記レーザの出力光を分光した他方の光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部とを含み、該光変調器を通したレーザ光を、周波数安定化され強度安定化された励起光として前記ガラスセルに導くよう構成されることを特徴とする磁場計測装置。

[請求項3]

磁気シールド空間に設けられ、アルカリ金属ガスが封入されたガラスセルを有してスピニ偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₁線のレーザ光を発生する第1の光源部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₂線のレーザ光を発生する第2の光源部と、前記第1の光源部からのD₁線のレーザ光と前記第2の光源部からのD₁線のレーザ光を同軸に重ね合わせた励起光を前記磁気センサ部のガラスセルに導入するよう配置されたハーフミラーと、前記磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記磁気センサ部のガラスセルのガラスセルを透過した光のうちのD₁線、D₂線のいずれか一方を抽出するよう配置された回折格子と、前記回折格子で抽出された光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間に設置された計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有し、前記第1、第2の光源部のそれぞれは、レーザと、該レーザの出力光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部と、該強度安定化部の光変調器を通過した光を分光した一方の光を受ける参照用ガラスセルから得た光の位相をもとに前記前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部とを含み、それぞれの光変調器を

通過した光を分光したもう一方の光を強度安定化され周波数安定化された前記D₁線のレーザ光、前記D₂線の励起光としてそれぞれ出力するよう構成されることを特徴とする磁場計測装置。

[請求項4]

磁気シールド空間に設けられ、アルカリ金属ガスが封入されたガラスセルを有してスピン偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₁線のレーザ光を発生する第1の光源部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₂線のレーザ光を発生する第2の光源部と、前記第1の光源部からのD₁線のレーザ光と前記第2の光源部からのD₁線のレーザ光を同軸に重ね合わせた励起光を前記磁気センサ部のガラスセルに導入するよう配置されたハーフミラーと、前記磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記磁気センサ部のガラスセルのガラスセルを透過した光のうちのD₁線、D₂線のいずれか一方を抽出するよう配置された回折格子と、前記回折格子で抽出された光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間に設置された計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有し、前記第1、第2の光源部のそれぞれは、レーザと、該レーザの出力光を分光した一方の光を受ける参照用ガラスセルから得た光の位相をもとに前記前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部と、前記レーザの出力光を分光した他方の光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部とを含み、該光変調器を通したレーザ光を強度安定化され周波数安定化された前記D₁線のレーザ光、また前記D₂線の励起光としてそれぞれ出力するよう構成されることを特徴とする磁場計測装置。

[請求項5]

磁気シールド空間に設けられ、アルカリ金属ガスが封入されたガラ

スセルを有してスピン偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₁線のレーザ光を発生する第1の光源部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₂線のレーザ光を発生する第2の光源部と、前記第1の光源部からのD₁線のレーザ光と前記第2の光源部からのD₁線のレーザ光を同軸に重ね合わせた励起光を前記磁気センサ部のガラスセルに導入するよう配置されたハーフミラーと、前記磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記磁気センサ部のガラスセルのガラスセルを透過した光のうちのD₁線、D₂線のいずれか一方を抽出するよう配置されたλ/4波長板、偏光ビームスプリッタと、前記λ/4波長板と前記偏光ビームスプリッタで抽出された光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間に設置された計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有し、前記第1、第2の光源部のそれぞれは、レーザと、該レーザの出力光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部と、該強度安定化部の光変調器を通過した光を分光した一方の光を受ける参照用ガラスセルから得た光の位相をもとに前記前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部とを含み、それぞれの光変調器を通過した光を分光したもう一方の光を強度安定化され周波数安定化された前記D₁線のレーザ光、前記D₂線の励起光としてそれぞれ出力するよう構成されることを特徴とする磁場計測装置。

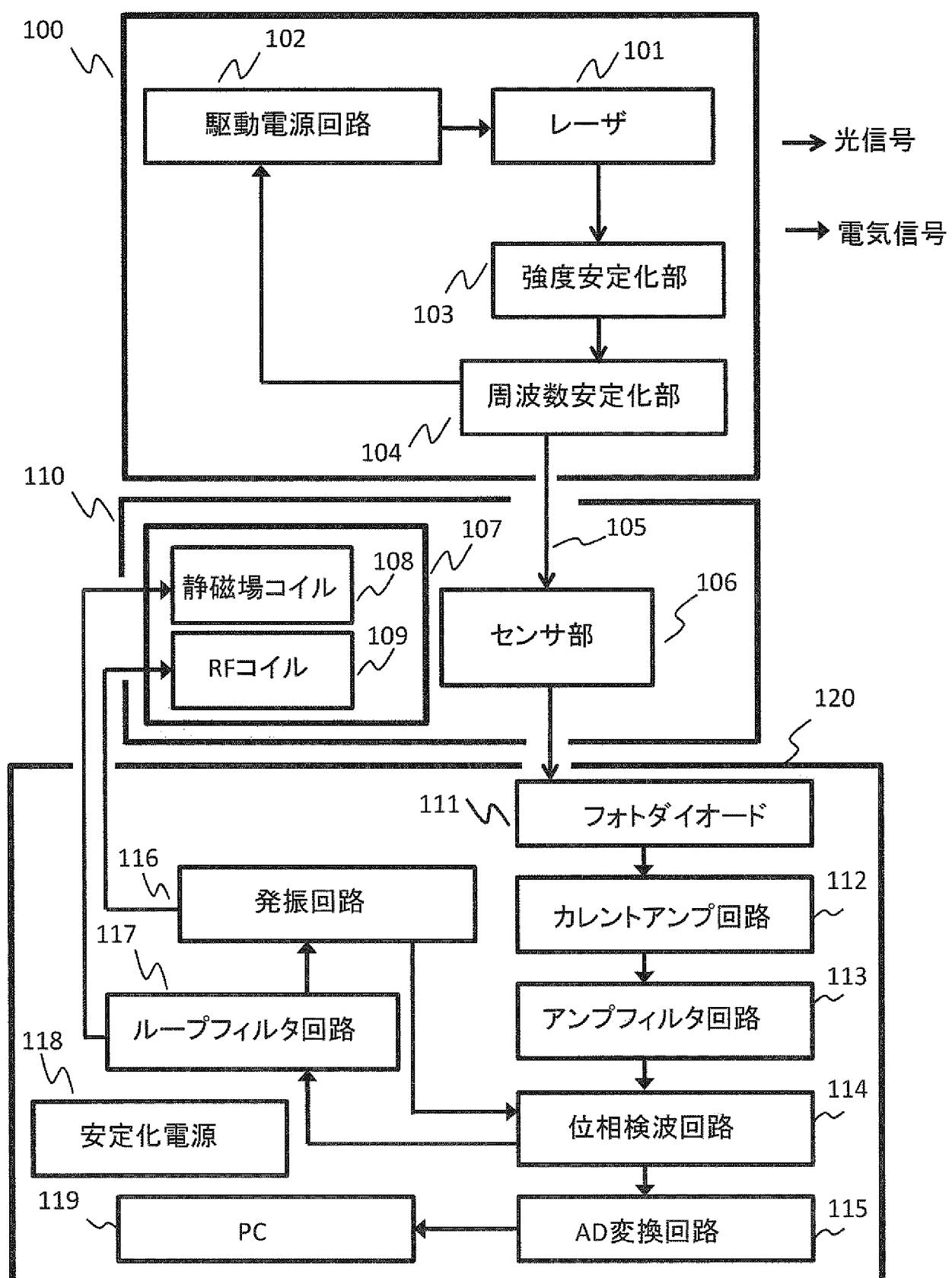
[請求項6]

磁気シールド空間に設けられ、アルカリ金属ガスが封入されたガラスセルを有してスピン偏極したアルカリ金属の磁気光学特性を利用して磁場を検出する磁気センサ部と、前記アルカリ金属の吸収線であるD₁線のレーザ光を発生する第1の光源部と、前記アルカリ金属の吸

収線であるD₂線のレーザ光を発生する第2の光源部と、前記第1の光源部からのD₁線のレーザ光と前記第2の光源部からのD₁線のレーザ光を同軸に重ね合わせた励起光を前記磁気センサ部のガラスセルに導入するよう配置されたハーフミラーと、前記磁気シールド空間に設けられ、前記磁気センサ部に静磁場及びRF磁場を印加するコイル部と、前記磁気センサ部のガラスセルのガラスセルを透過した光のうちのD₁線、D₂線のいずれか一方を抽出するよう配置されたλ/4波長板、偏光ビームスプリッタと、前記λ/4波長板と前記偏光ビームスプリッタで抽出された光の検出信号をロックイン検波し、そのロックイン検波出力により前記コイル部から発生する前記静磁場の強度と前記RF磁場の周波数を制御するとともに、前記磁気シールド空間に設置された計測対象の磁場強度を反映した計測信号を得る信号処理装置を有し、前記第1、第2の光源部のそれぞれは、レーザと、該レーザの出力光を分光した一方の光を受ける参照用ガラスセルから得た光の位相をもとに前記前記レーザの共振器長を制御する周波数安定化制御信号を作成する周波数安定化部と、前記レーザの出力光を分光した他方の光を受ける光変調器の出力光強度が所定値になるよう該光変調器を制御する強度安定化部とを含み、該光変調器を通したレーザ光を強度安定化され周波数安定化された前記D₁線のレーザ光、また前記D₂線の励起光としてそれぞれ出力するよう構成されることを特徴とする磁場計測装置。

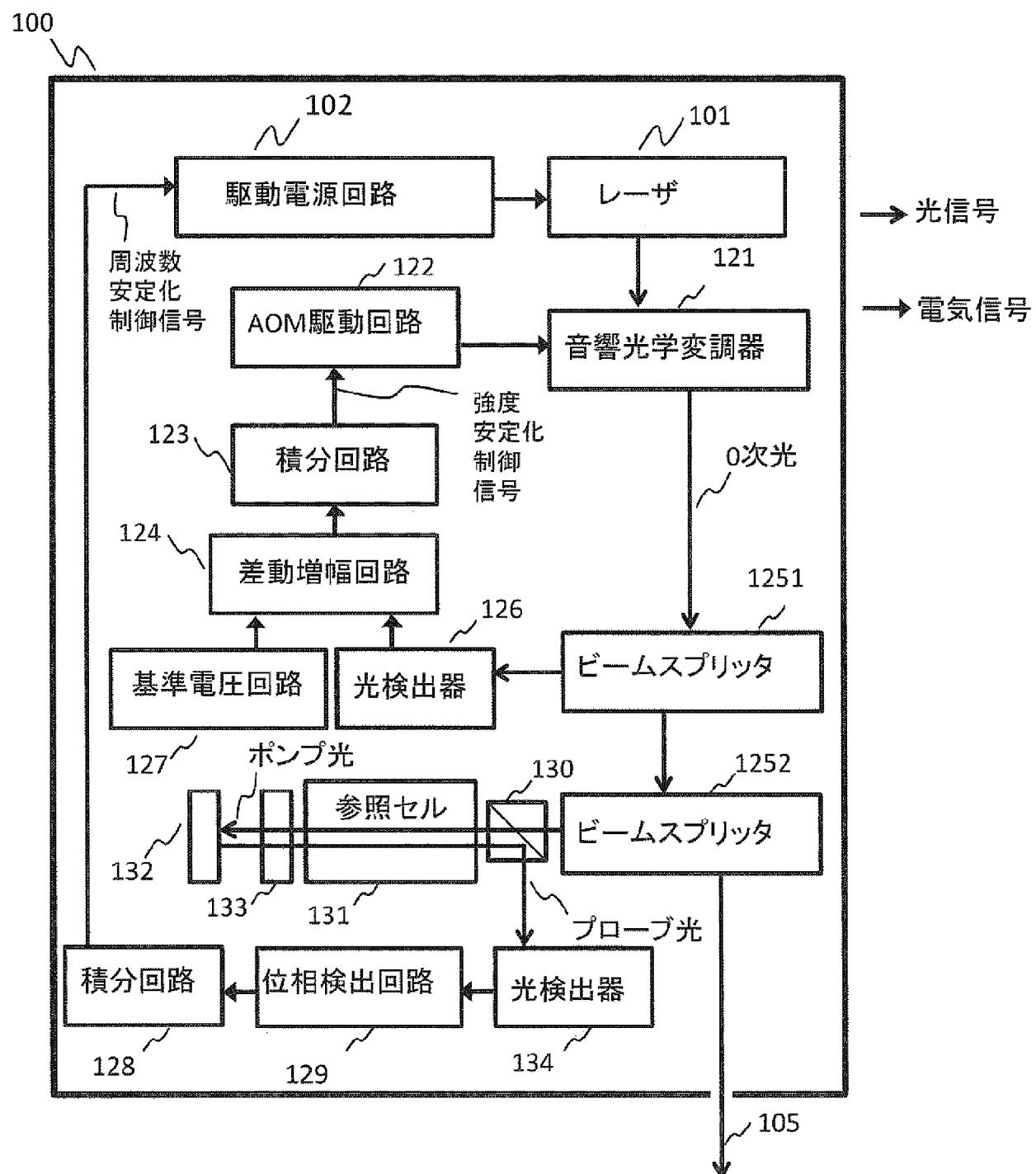
[図1]

図1



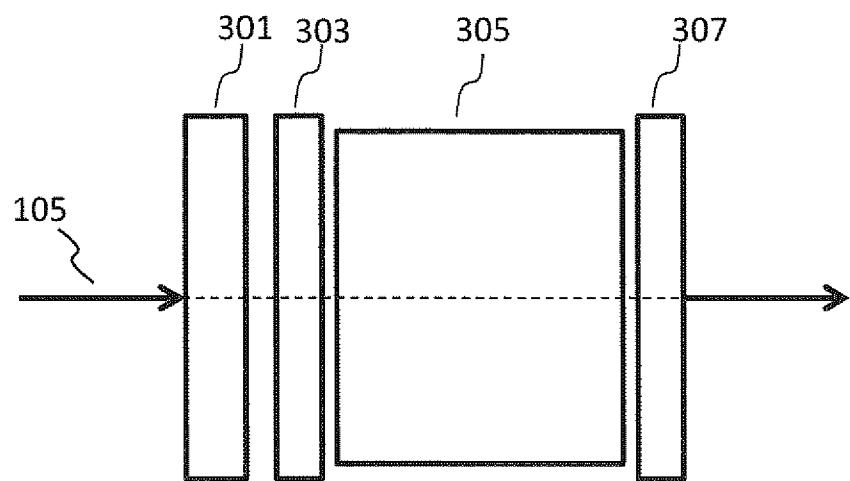
[図2]

図2



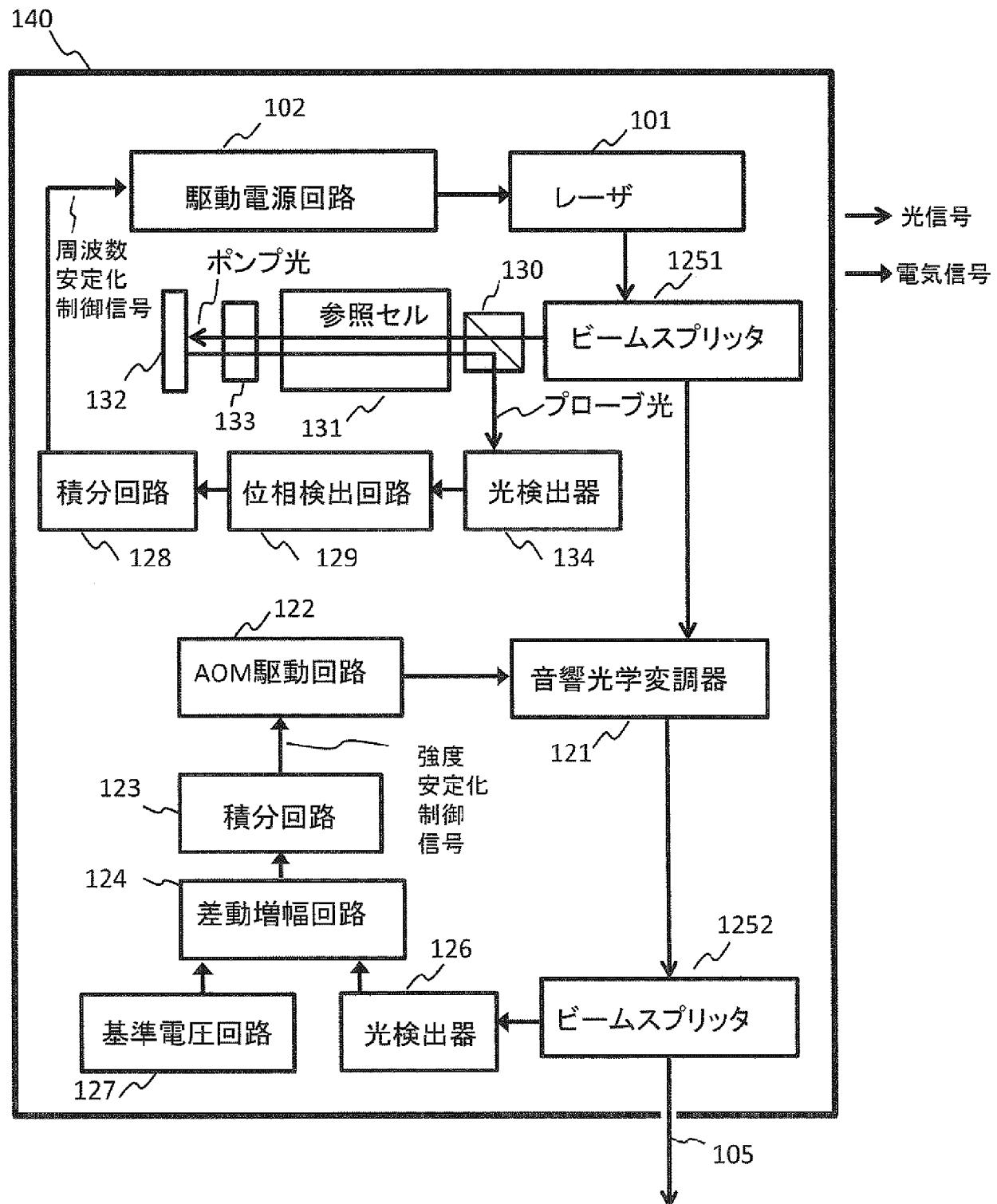
[図3]

図3



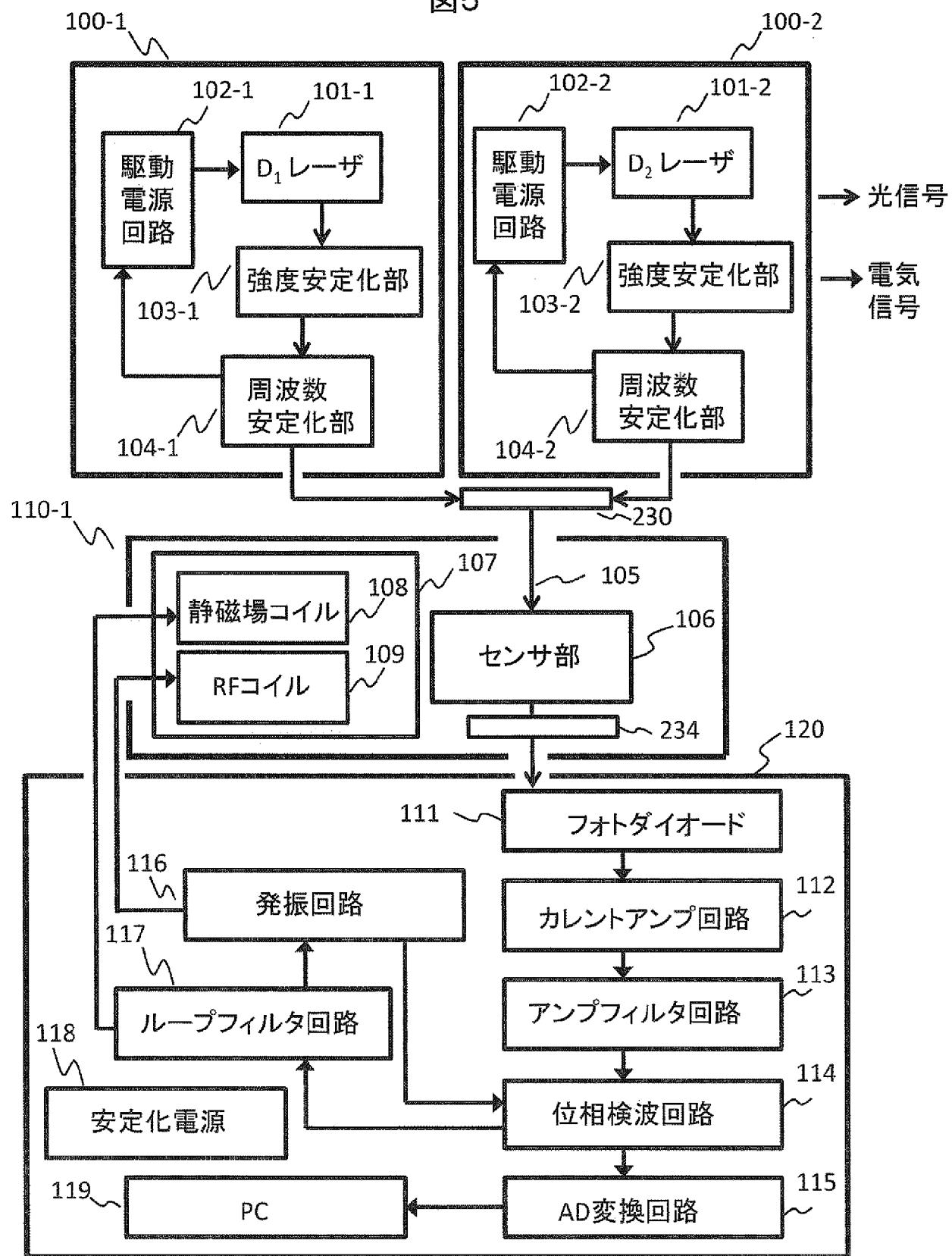
[図4]

図4



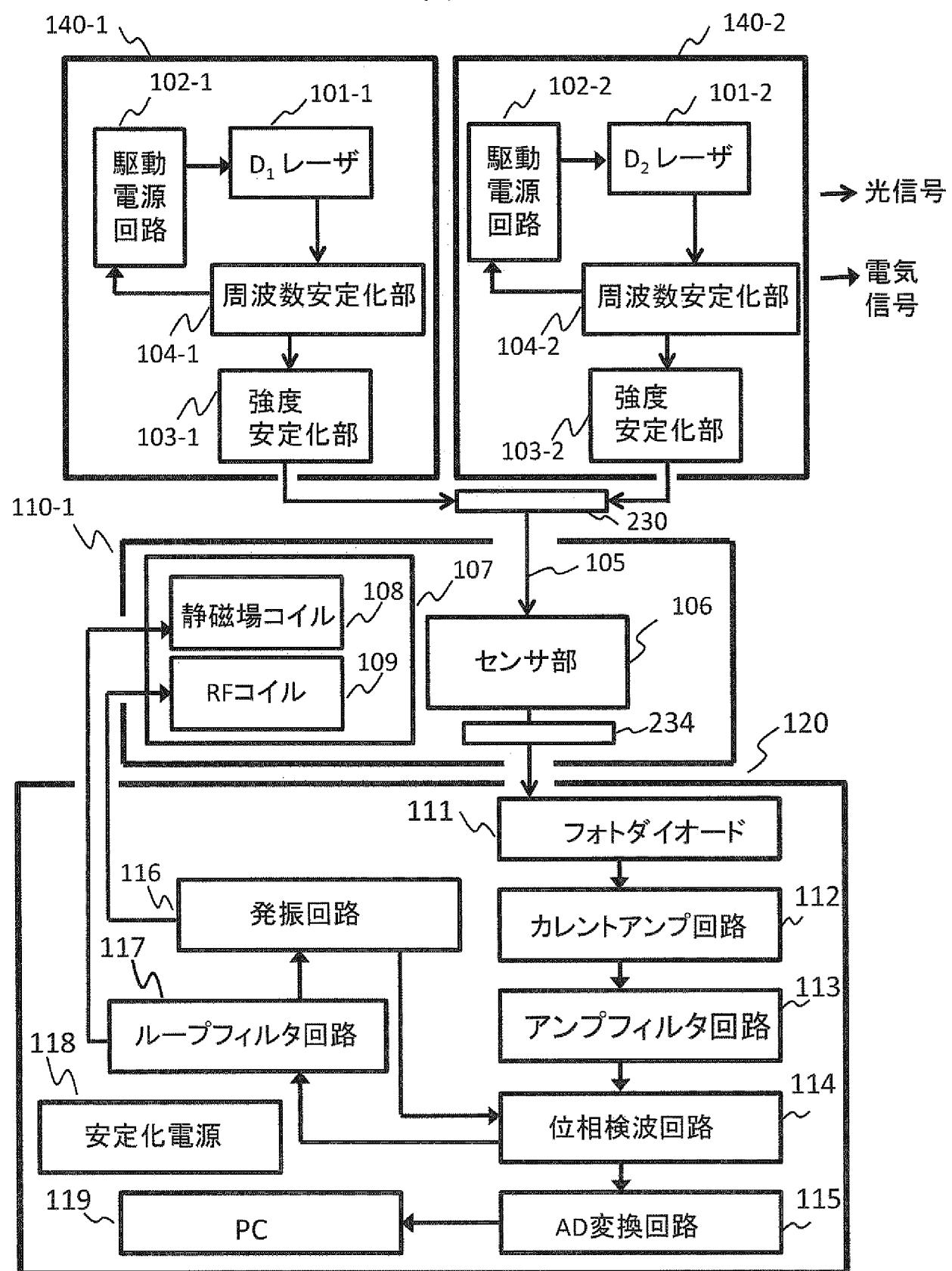
[図5]

図5

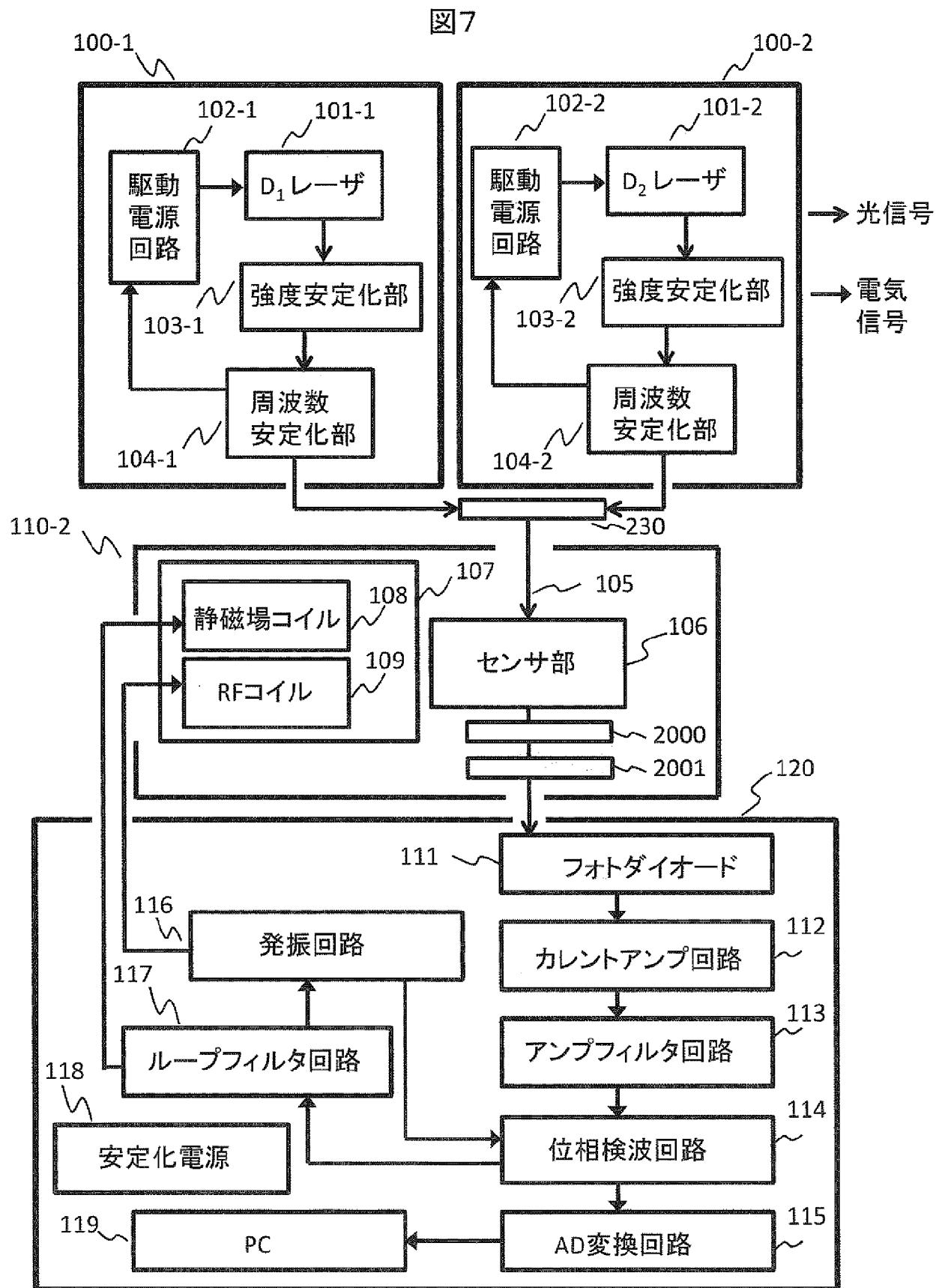


[図6]

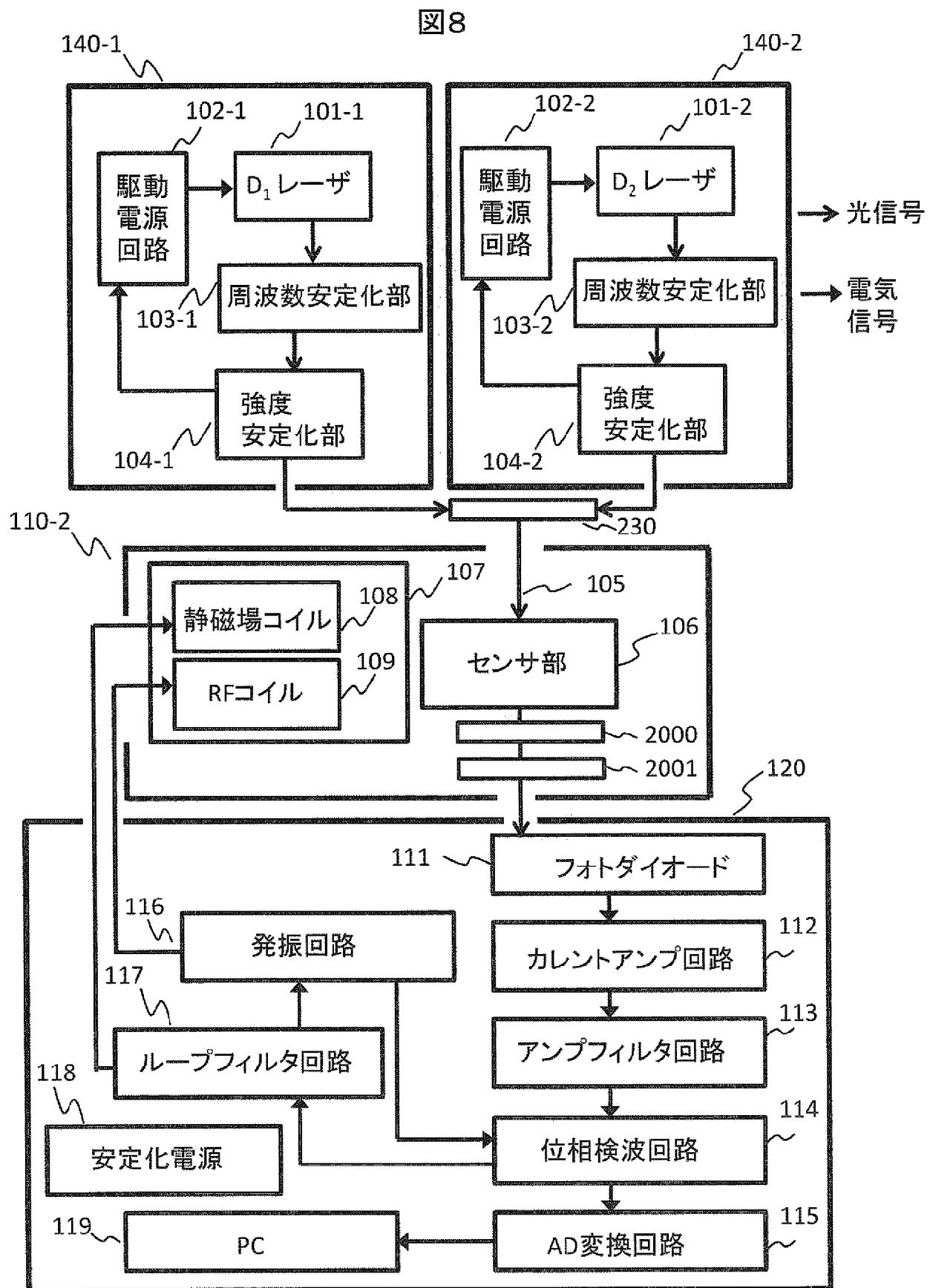
図6



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/070958

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01R33/26(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R33/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922–1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996–2013
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971–2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994–2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-128235 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0011] to [0023]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1–6
Y	JP 5-50758 U (Yokogawa Electric Corp.), 02 July 1993 (02.07.1993), fig. 1, 5 (Family: none)	1–6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 October, 2013 (25.10.13)

Date of mailing of the international search report
05 November, 2013 (05.11.13)

Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01R33/26(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01R33/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2013年
日本国実用新案登録公報	1996-2013年
日本国登録実用新案公報	1994-2013年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2009-128235 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2009.06.11, 【0011】-【0023】, 図1-図4 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 5-50758 U (横河電機株式会社) 1993.07.02, 図1, 図5 (ファミリーなし)	1-6

□ C欄の続きにも文献が列挙されている。

□ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願目前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 10. 2013

国際調査報告の発送日

05. 11. 2013

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

越川 康弘

2 S 9605

電話番号 03-3581-1101 内線 3258