

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年7月30日(30.07.2020)

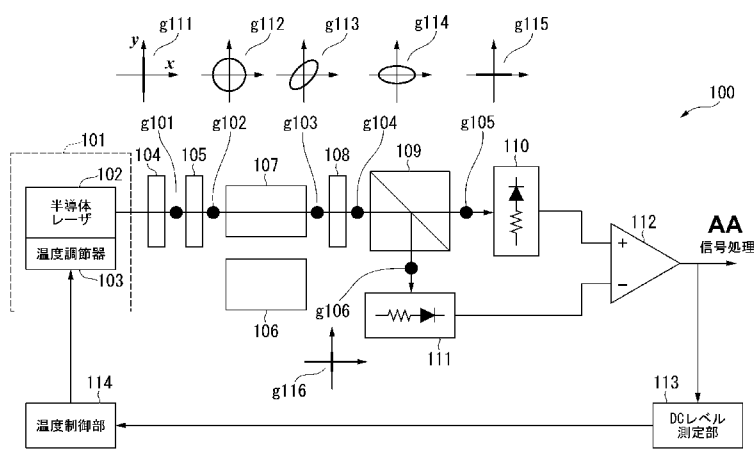


(10) 国際公開番号
WO 2020/153322 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 29/08 (2006.01) G01R 29/12 (2006.01) [JP/JP]; 〒1028160 東京都千代田区富士見 2 丁目 1 7 番 1 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/001833
- (22) 国際出願日: 2020年1月21日(21.01.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-008252 2019年1月22日(22.01.2019) JP
- (71) 出願人: 横河電機株式会社(YOKOGAWA ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1808750 東京都武蔵野市中町 2 丁目 9 番 3 2 号 Tokyo (JP). 学校法人法政大学(HOSEI UNIVERSITY)
- (72) 発明者: 松本 憲典(MATSUMOTO Yoshinori); 〒1808750 東京都武蔵野市中町 2 丁目 9 番 3 2 号 横河電機株式会社内 Tokyo (JP). 品川 満 (SHINAGAWA Mitsuru); 〒1028160 東京都千代田区富士見 2 丁目 1 7 番 1 号 学校法人法政大学内 Tokyo (JP). 勝山 純(KATSUYAMA Jun); 〒1808750 東京都武蔵野市中町 2 丁目 9 番 3 2 号 横河電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).

(54) Title: ELECTRIC FIELD SENSOR

(54) 発明の名称: 電界センサ



- 102 Semiconductor laser
- 103 Temperature adjuster
- 113 DC level measurement unit
- 114 Temperature control unit
- AA Signal processing

(57) Abstract: This electric field sensor comprises: a light source; an electro-optic crystal into which light in a prescribed polarization state based on light emitted by the light source is incident, and which receives an electric field generated by an object; a first separation unit that separates light emitted from the electro-optic crystal into a P wave and an S wave; a first wavelength plate that is disposed at a pre-stage of the first separation unit and that changes the phase of light; a first light-receiving unit that receives the P wave light and that converts the received light to a first electrical signal; a second light-receiving unit that receives the S wave light and that converts the received light to a second electrical signal; a differential amplification unit that generates a differential signal between the first electrical signal converted by the first light-receiving unit and the second electrical signal converted by the second light-receiving unit; and a control unit that adjusts a wavelength of the light source so that, in a state in which light is emitted from the light source and an electric



WO 2020/153322 A1

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, 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 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

field is applied to the electro-optic crystal, an output value of a direct-current component of the differential amplification unit falls in a prescribed value range.

(57) 要約 : 電界センサは、光源と、光源が出射した光に基づく所定の偏光状態の光が入射され、被対象物が発する電界を受ける電気光学結晶と、電気光学結晶から出射される光をP波とS波とに分離する第1分離部と、第1分離部の前段で、光の位相を変化させる第1波長板と、P波の光を受光し、受光した光を第1電気信号に変換する第1受光部と、S波の光を受光し、受光した光を第2電気信号に変換する第2受光部と、第1受光部が変換した第1電気信号と、第2受光部が変換した第2電気信号との差動信号を生成する差動増幅部と、光源から光が出射され電気光学結晶に電界を印加した状態の差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、光源の波長を調整する制御部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：電界センサ

技術分野

[0001] 本発明は、電界センサに関する。

本願は、2019年1月22日に、日本に出願された特願2019-008252号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 電界を測定する電界センサとしては、センサエレメントが一般的なダイポールアンテナのような金属製のものが一般的である。

これに対して、電気光学効果を用いた電界測定は、センサエレメントが金属製ではないため測定対象の電界を乱さずに測ることができ、さらに高空間分解の測定が可能である。このため、電気光学効果を用いた電界測定は、色々な用途で使われ始めている。なお、電気光学効果とは、電気光学結晶に電界が印加されると、電界強度に応じて電気光学結晶を透過する光の屈折率が変化する効果である。また、屈折率の変化は、光学結晶を通過する光波の位相変化を与える。電気光学効果を用いた電界測定では、位相の変化を測定することで、電気光学結晶に印加されている電界を測定することができる（例えば、特許文献1、2参照）。

[0003] ここで、電気光学効果を利用した電界センサの構成例と動作例を説明する。

図7は、従来技術に係る電気光学効果を利用した電界センサ900の構成例と動作例を示す図である。図7に示すように、電界センサ900は、レーザー光源901と、検光子902と、 $\lambda/4$ 波長板903と、電界発生源904と、電気光学結晶905と、 $\lambda/2$ 波長板906と、偏光ビームスプリッタ907と、フォトディテクタ908と、フォトディテクタ909と、差動増幅器910を有している。

[0004] レーザ光源901は、例えば半導体レーザーである。検光子902は、レー

ザ光源901から入射した光線のうち直線偏光を出射する。 $\lambda/4$ 波長板903は、検光子902から入射した光線を円偏光に偏光して出射する。

[0005] 電界発生源904は、電気光学結晶905に対して電界を発生させる。電気光学結晶905は、電界発生源904によって印加される電界強度に応じた複屈折の変化により偏光状態を変化させる。電気光学結晶905は、楕円軸の方位が45度に傾いた楕円偏光の光線を出射する。なお、楕円偏光の楕円率は、電界の強度によって変化する。 $\lambda/2$ 波長板906は、電気光学結晶905が出射した光線を楕円偏光の楕円率を保ったまま、楕円偏光の方位が0度となる楕円偏光に変える。

[0006] 偏光ビームスプリッタ907は、 $\lambda/2$ 波長板906が出射した楕円偏光の方位が0度である楕円偏光の光線をP波とS波に分離する。フォトディテクタ908は、偏光ビームスプリッタ907から入射したP波を電気信号に変換し、変換したP波成分の電気信号を差動増幅器910の一方の入力端に出力する。フォトディテクタ909は、偏光ビームスプリッタ907から入射したS波を電気信号に変換し、変換したS波成分の電気信号を差動増幅器910の他方の入力端に出力する。

[0007] 差動増幅器910は、P波成分とS波成分の電気信号の差動成分を増幅して、増幅した電気信号を不図示の信号処理装置に出力する。なお、P波とS波の強度の時間変化は逆位相となるため、電界強度信号は、差動増幅器910によって2倍となる。

[0008] ここで、検光子902を透過後の光強度を I_o とし、P波の光強度を I_p とし、S波の光強度を I_s とすると、P波の透過率 T_p は位相差 Γ を用いて次式(1)で表される。また、S波の透過率 T_s は位相差 Γ を用いて次式(2)で表される。

[0009] [数1]

$$T_p = \frac{I_p}{I_o} = \frac{1}{2} [1 + \sin \Gamma] \quad \dots (1)$$

[0010]

[数2]

$$T_s = \frac{I_s}{I_o} = \frac{1}{2} [1 - \sin \Gamma] \quad \dots (2)$$

[0011] ここで、電気光学結晶 905 に印加される電圧が正弦波であり、位相差 $\Gamma(t) = a \cdot \sin(2\pi f t)$ が時間的に変動する場合、P波の透過率 $T_p(t)$ は次式 (3) のように表される。また、S波の透過率 $T_s(t)$ は次式 (4) のように表される。

[0012] [数3]

$$T_p(t) = \frac{I_p}{I_o} = \frac{1}{2} [1 + \sin \Gamma(t)] \quad \dots (3)$$

[0013] [数4]

$$T_s(t) = \frac{I_s}{I_o} = \frac{1}{2} [1 - \sin \Gamma(t)] \quad \dots (4)$$

[0014] ここで、P波の透過率 $T_p(t)$ とS波の透過率 $T_s(t)$ の差動バランスがあっている場合は、P波の平均光パワー T_{p0} とS波の平均光パワー T_{s0} が等しいため、図8のように動作する。図8は、P波の透過率 $T_p(t)$ とS波の透過率 $T_s(t)$ の差動バランスがあっている場合の動作を説明するための図である。図8の符号 g 9 2 1 が示すグラフにおいて、横軸は位相差 Γ であり、縦軸は透過率 T である。また、符号 g 9 2 2 はP波による変化を表している。また、符号 g 9 2 3 はS波による変化を表している。符号 g 9 2 4 のグラフは、平均位相差 0 におけるP波とS波の光強度の変化を表している。符号 g 9 2 5 は、平均位相差 0 における位相差の変化を表している。

[0015] これに対して、レーザ光に強度揺らぎ（雑音）がある場合、理想的にはP波の透過率 $T_p(t)$ とS波の透過率 $T_s(t)$ の波形に同相で重畳するため、その雑音の大きさはP波の平均光パワー T_{p0} とS波の平均光パワー T_{s0} に比例する。差動バランスがあっている場合は、 $T_{p0} = T_{s0}$ となるため、差動増幅器 910 によって雑音成分をキャンセルすることができる。

しかしながら、現実的には電気光学結晶 905 を含む光学部品の旋光性や偏差や波長板の角度偏差等により、図 9 のように位相がずれてくる。図 9 は、P 波の透過率 $T_p(t)$ と S 波の透過率 $T_s(t)$ の差動バランスがずれている場合の動作を説明するための図である。図 9 の符号 g 9 3 1 が示すグラフにおいて、横軸は位相差 Γ であり、縦軸は透過率 T である。また、符号 g 9 3 2 は P 波による変化を表している。また、符号 g 9 3 3 は S 波による変化を表している。符号 g 9 3 4 のグラフは、位相差にオフセット Γ_0 が加わった P 波と S 波の光強度の変化を表している。符号 g 9 3 5 は、位相差にオフセット Γ_0 が加わった位相差の変化を表している。

[0016] 差動バランスがずれている場合は、次式 (5) と次式 (6) のように、位相差にオフセット Γ_0 が生じ、差動バランスがずれる。

[0017] [数5]

$$T_p(t) = \frac{I_p}{I_o} = \frac{1}{2} [1 + \sin \Gamma(t) + \Gamma_0] \quad \dots (5)$$

[0018] [数6]

$$T_s(t) = \frac{I_s}{I_o} = \frac{1}{2} [1 - \sin \Gamma(t) + \Gamma_0] \quad \dots (6)$$

[0019] レーザ光に強度揺らぎ（雑音）がある場合、P 波の透過率 $T_p(t)$ と S 波の透過率 $T_s(t)$ の波形に同相で重畳するため、上述したように雑音の大きさは平均パワー T_{p0} と T_{s0} に比例する。ここで、差動バランスがずれている場合は、 T_{p0} と T_{s0} が等しくならず、雑音の大きさが異なる。このため、差動増幅器 910 によってキャンセルできない。また、図 9 の符号 g 9 3 4 のグラフに示したように、バランス点からずれると変調効率が小さい点にバイアスされるので、信号成分が減少する。このように、P 波と S 波のバランスが崩れた場合は、S/N が劣化する。

[0020] このため、従来、組み立て調整で、図 10 に示すように、波長板を回転させることでバランスを調整することが行われている。図 10 は、波長板を回

転させて差動バランスを調整する構成例を示す図である。図10において、図7と同じ機能の部品には同じ符号を用いて説明を省略する。

[0021] 図10に示したように、電界センサ900aは、レーザ光源901と、検光子902と、 $\lambda/4$ 波長板903aと、電界発生源904と、電気光学結晶905と、 $\lambda/2$ 波長板906bと、偏光ビームスプリッタ907と、フォトディテクタ908と、フォトディテクタ909と、差動増幅器910を有している。

電気光学結晶905に電界が印加されていないときにおいても、光学的なバランス点のずれにより、フォトディテクタ908とフォトディテクタ909の両方の出力に差が生じて、差動増幅器910の出力が0にならない。このため、電界センサ900aでは、 $\lambda/4$ 波長板903aと $\lambda/2$ 波長板906bを回転させてP波とS波のバランスを光学的に調整する。

先行技術文献

特許文献

[0022] 特許文献1：特開2002-122622号公報

特許文献2：特開2007-101384号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0023] しかしながら、図10に示したように $\lambda/4$ 波長板903aと $\lambda/2$ 波長板906bを回転させてP波とS波のバランスを光学的に調整した場合は、レーザ光の揺らぎを除去できるが、構成が複雑になり装置も大型になる場合がある。

[0024] 本発明の一態様は、上記事情に鑑みてなされたものであって、電気光学効果を利用した電界センサにおいて、従来の電界センサより構成を簡素化してレーザ光の揺らぎを除去することができる電界センサ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

[0025] 上記目的を達成するため、本発明の一態様に係る電界センサ（電界センサ100、100A、100B、100C）は、光源（半導体レーザ102）と、前記光源が出射した光に基づく所定の偏光状態の光が入射され、前記被対象物が発する電界を受ける電気光学結晶（電気光学結晶107）と、前記電気光学結晶から出射される光をP波とS波とに分離する第1分離部（偏光ビームスプリッタ109）と、前記第1分離部の前段で、光の位相を変化させる第1波長板（ $\lambda/4$ 波長板105）と、前記P波の光を受光し、受光した光を第1電気信号に変換する第1受光部（受光回路110）と、前記S波の光を受光し、受光した光を第2電気信号に変換する第2受光部（受光回路111）と、前記第1受光部が変換した前記第1電気信号と、前記第2受光部が変換した前記第2電気信号との差動信号を生成する差動増幅部（差動増幅器112）と、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界を印加した状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記光源の波長を調整する制御部（DCレベル測定部113、温度制御部114、温度調節器103）と、を備える。

[0026] 上記の構成により、電界センサは、差動増幅部の出力が所定の範囲になるように光源の温度を調整することでレーザの波長を変更する。これにより、上記構成によれば、レーザにより光強度の揺らぎ（雑音）をキャンセルすることができる。この結果、バランスずれが減少し、バランス点が適切な位置となる。そのため、上記構成によれば、バランスがずれている場合と比較して信号強度が上がり、S/Nの劣化が少なく安定した電界測定を行うことができる。また、上記構成では、波長板を回転させないため、装置を従来の電界センサより簡素化でき小型化することができる。これにより、上記構成によれば、測定安定度を損なうことなく、従来の電界センサより構成を簡素化してレーザ光の揺らぎを除去することができる。

[0027] また、本発明の一態様に係る測定装置において、前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界を印加した状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を前記所定の値の範囲になるように、前記光源の温度を

調整することで前記光源の波長を調整するようにしてもよい。

[0028] 上記の構成により、電界センサは、電気光学結晶に電界が印加されている状態の光学部品によるばらつきを制御部で調整するようにした。これにより、上記構成によれば、レーザにより光強度の揺らぎ（雑音）をよりキャンセルすることができる。この結果、バランスずれが減少し、バランス点が適切な位置となるため、上記構成によれば、バランスがずれている場合と比較して信号強度が上がり、S/Nの劣化が少なく安定した電界測定を行うことができる。

[0029] また、本発明の一態様に係る測定装置は、透明電極（ITO116）と、ミラー（ミラー117）と、をさらに備え、前記電気光学結晶は、一方の面に前記透明電極が対向して配置され、他方の面に前記ミラーが配置され、前記光源が出射した光に基づく所定の偏光状態の光が前記透明電極から入射され、前記透明電極から入射した光を前記ミラーによって反射し、反射した光を前記透明電極から出射し、前記透明電極から出射された光が前記分離部に入射するようにしてもよい。

[0030] 上記の構成により、電界センサは、構造が縦型であっても、レーザにより光強度の揺らぎ（雑音）をよりキャンセルすることができる。この結果、バランスずれが減少し、バランス点が適切な位置となるため、上記構成によれば、バランスがずれている場合と比較して信号強度が上がり、S/Nの劣化が少なく安定した電界測定を行うことができる。

[0031] また、本発明の一態様に係る測定装置は、前記第1受光部の前記第1電気信号の第1利得を変更する第1利得可変部（利得可変増幅器121）と、前記第2受光部の前記第2電気信号の第2利得を変更する第2利得可変部（利得可変増幅器122）と、をさらに備え、前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界が印加されていない状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記第1利得可変部の前記第1利得と前記第2利得可変部の前記第2利得を調整するようにしてもよい。

- [0032] 上記の構成により、電界センサは、電気光学結晶に電界が印加されていない状態の光学部品によるばらつきを第1利得可変部と第2利得可変部で調整し、電気光学結晶に電界が印加されている状態の光学部品によるばらつきを制御部で調整するようにした。これにより、上記構成によれば、レーザにより光強度の揺らぎ（雑音）をよりキャンセルすることができる。この結果、バランスずれが減少し、バランス点が適切な位置となるため、上記構成によれば、バランスがずれている場合と比較して信号強度が上がり、S/Nの劣化が少なく安定した電界測定を行うことができる。
- [0033] また、本発明の一態様に係る電界センサ（電界センサ100、100A、100B、100C）は、電気光学効果を利用して、前記被対象物が発する電界を測定するようにしてもよい。
- [0034] また、本発明の一態様に係る前記第1波長板（ $\lambda/4$ 波長板105）は、前記第1波長板の光軸の方位が、所定の軸に対して、第1角度傾けて配置されてもよい。
- [0035] また、本発明の一態様に係る前記第1波長板（ $\lambda/4$ 波長板105）は、前記電気光学結晶（電気光学結晶107）の前段に配置され、前記電界センサ（電界センサ100、100B）は、前記電気光学結晶の後段に配置され、前記第1分離部の後段で、光の位相を変化させる第2波長板（ $\lambda/2$ 波長板108）をさらに備えてもよい。
- [0036] また、本発明の一態様に係る前記第2波長板（ $\lambda/2$ 波長板108）は、前記第2波長板の光軸の方位が、前記所定の軸に対して、第2角度傾けて配置されてもよい。
- [0037] また、本発明の一態様に係る前記光源（レーザ光源101）は、発光するレーザダイオードチップ（LDチップ102c）と、前記レーザダイオードチップが発光した光の光強度を測定するフォトディテクタ（PD102b）と、前記レーザダイオードチップと前記フォトディテクタが取り付けられる基板の温度を測定するサーミスタ（サーミスタ102a）と、前記レーザダイオードチップが出射する光線を集光するレンズ（レンズ102d）と、を

備えてもよい。

[0038] また、本発明の一態様に係る電界センサ（電界センサ100A, 100C）は、前記光源（レーザ光源101）と、前記透明電極（ITO116）の前記一方の面との間に配置される第2分離部（偏光ビームスプリッタ115）を更に備えてもよい。

[0039] また、本発明の一態様に係る前記制御部（DCレベル測定部113、温度制御部114、温度調節器103）は、前記第1利得可変部の利得と前記第2利得可変部の利得を、リアルタイムで調整してもよい。

[0040] また、本発明の一態様に係る前記制御部（DCレベル測定部113、温度制御部114、温度調節器103）は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶（電気光学結晶107）に電界を印加した状態の前記差動増幅部（差動増幅器112）の直流成分の出力値と、前記サーミスタ（サーミスタ102a）が出力する情報と、を用いて、前記光源（レーザ光源101）の温度を調整することで前記光源の波長を調整してもよい。

[0041] また、本発明の一態様に係る前記光源（レーザ光源101）は、外部共振型レーザを備えてもよい。

[0042] また、本発明の一態様に係る電界センサ（100B, 100C）は、前記第1分離部と前記第1受光部との間に設けられる第1光アッテネータと、前記第1分離部と前記第2受光部との間に設けられる第2光アッテネータと、をさらに備え、前記制御部（DCレベル測定部113、温度制御部114、温度調節器103）は、前記光源を発光させ被対象物によって電界を発生させていない状態で、前記差動増幅部の出力が所定の範囲になるように、前記第1の光アッテネータと前記第2の光アッテネータそれぞれの減衰率を調整してもよい。

発明の効果

[0043] 本発明の一態様によれば、従来の電界センサより構成を簡素化してレーザ光の揺らぎを除去することができる。

図面の簡単な説明

- [0044] [図1]第1実施形態に係る電界センサの構成例を示す図である。
- [図2]レーザの周囲温度と発振波長の関係を示す図である。
- [図3]第1実施形態に係るレーザ光源の構成例を示す図である。
- [図4]第2実施形態に係る電界センサの構成例を示す図である。
- [図5]第3実施形態に係る電界センサの構成例を示す図である。
- [図6]第4実施形態に係る電界センサの構成例を示す図である。
- [図7]従来技術に係る電気光学効果を利用した電界センサの構成例と動作例を示す図である。
- [図8]P波の透過率 $T_p(t)$ とS波の透過率 $T_s(t)$ の差動バランスが揃っている場合の動作を説明するための図である。
- [図9]P波の透過率 $T_p(t)$ とS波の透過率 $T_s(t)$ の差動バランスがずれている場合の動作を説明するための図である。
- [図10]波長板を回転させて差動バランスを調整する構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0045] 以下、本発明の第1～第4実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、以下の説明に用いる図面では、各部材を認識可能な大きさとするため、各部材の縮尺を適宜変更している。

[0046] <第1実施形態>

図1は、第1実施形態に係る電界センサ100の構成例を示す図である。図1に示すように、電界センサ100は、レーザ光源101（光源）と、検光子104と、 $\lambda/4$ 波長板105（第1波長板）と、電界発生源106と、電気光学結晶107と、 $\lambda/2$ 波長板108（第2波長板）と、偏光ビームスプリッタ109（第1分離部）と、受光回路110（第1受光部）と、受光回路111（第2受光部）と、差動増幅器112（差動増幅部）と、DCレベル測定部113（制御部）と、温度制御部114（制御部）を備えている。また、レーザ光源101は、半導体レーザ102（光源）と、温度調節器103（制御部）を備えている。なお、符号g111に示すように、図1において、レーザ光源101から出射された光は進行方向に振動成分を持

たない横波であり、進行方向に対し磁界振動方向をx軸とし、電界振動方向をy軸とする。

[0047] まず、電界センサ100の光学的な構成要素の配置を説明する。

検光子104は、レーザ光源101と $\lambda/4$ 波長板105との間に配置される。 $\lambda/4$ 波長板105は、検光子104と電気光学結晶107との間に配置される。電気光学結晶107は、 $\lambda/4$ 波長板105と $\lambda/2$ 波長板108との間に配置される。 $\lambda/2$ 波長板108は、電気光学結晶107と偏光ビームスプリッタ109との間に配置される。偏光ビームスプリッタ109は、 $\lambda/2$ 波長板108と受光回路110との間、かつ $\lambda/2$ 波長板108と受光回路111との間に配置される。

[0048] 次に、電界センサ100の電氣的な構成要素の接続関係を説明する。

受光回路110の出力端は、差動増幅器112の第1入力端子に接続されている。受光回路111の出力端は、差動増幅器112の第2入力端子に接続されている。差動増幅器112の出力端は、不図示の信号処理装置に処理した信号を出力する。

[0049] 次に、電界センサ100の動作について説明する。

電界センサ100は、センサ内に実装している電気光学結晶107に印加される電界強度に誘起される位相変化量を光学的手段で得ている。なお、電界センサ100は、被測定対象が発生する電界を電気光学結晶107に与えることで、差動増幅器112の出力値を不図示の信号処理装置によって測定することで、被測定対象が発生する電界の大きさを測定する。

[0050] 半導体レーザ102は、例えば半導体レーザである。半導体レーザ102は、不図示のレーザ駆動部によって駆動され発光する。

温度調節器103は、半導体レーザ102に取り付けられている。温度調節器103は、例えばペルチェ素子である。温度調節器103は、温度制御部114の制御に応じて半導体レーザ102の温度を調整する。

[0051] 検光子104は、レーザ光源101から入射した光線のうち直線偏光（符号g101、g111）を出射する。

$\lambda/4$ 波長板105は、光軸の方位をx軸に対して45度傾けて配置されている。 $\lambda/4$ 波長板105は、検光子104から入射した光線を円偏光（符号g102、g112）に偏光して出射する。換言すると、 $\lambda/4$ 波長板105は、電気光学結晶107に入射する光に対して光学的にバイアスをかけている。

[0052] 電界発生源106は、電気光学結晶107に対して電界を発生させる。

電気光学結晶107は、電界発生源106によって印加される電界強度に応じた複屈折の変化により偏光状態を変化させる。電気光学結晶107は、楕円軸の方位が45度に傾いた楕円偏光（符号g103、g113）の光線を出射する。なお、楕円偏光の楕円率は、電界の強度によって変化する。電気光学結晶107は、例えばLiNbO₃、LiTaO₃、Bi₁₂SiO₂₀（BSO）、Bi₁₂GeO₂₀（BGO）、ADP、KDP等である。

[0053] $\lambda/2$ 波長板108は、光軸の方位をx軸に対して22.5度傾けて配置されている。 $\lambda/2$ 波長板108は、電気光学結晶107が出射した光線を楕円偏光の楕円率を保ったまま、楕円偏光の方位が0度となる楕円偏光（符号g104、g114）に変える。

[0054] 偏光ビームスプリッタ109は、 $\lambda/2$ 波長板108が出射した楕円偏光の方位が0度である楕円偏光の光線をP波（符号g105、g115）とS波（符号g106、g116）に分離する。

[0055] 受光回路110は、フォトディテクタを有する。受光回路110は、偏光ビームスプリッタ109から入射したP波を電気信号に変換し、変換したP波成分の電気信号を差動増幅器112の第1入力端子に出力する。

[0056] 受光回路111は、フォトディテクタを有する。受光回路111は、偏光ビームスプリッタ109から入射したS波を電気信号に変換し、変換したS波成分電気信号を差動増幅器112の第2入力端に出力する。

[0057] 差動増幅器112は、P波成分とS波成分の電気信号の差動成分を増幅して、増幅した電気信号を不図示の信号処理装置に出力する。

[0058] DCレベル測定部113は、差動増幅器112が出力するDC（直流）のレベルを測定し、測定したDCレベルを示す値または情報を温度制御部114に出力する。

温度制御部114は、DCレベル測定部113が出力するDCレベルを示す値または情報を取得する。温度制御部114は、DCレベルを示す値が0Vを含む所定の値の範囲に入るように温度調節器103を制御する。

[0059] 第1実施形態では、差動増幅器112の出力からDCレベル測定部113によって直流成分を取り出し、取り出した直流成分が0Vを含む所定の範囲に入るように半導体レーザ102の温度を温度制御部114と温度調節器103によって制御する。なお、温度制御部114と温度調節器103は、半導体レーザ102の温度の調整をリアルタイムで行う。

[0060] ここで、レーザの周囲温度と発振波長の関係を説明する。

図2は、レーザの周囲温度と発振波長の関係を示す図である。図2の横軸は温度（度）であり、縦軸は発振波長（ μm ）である。図2に示したように、レーザの周囲温度が変化すると、発振波長も変化する。例えば、レーザの周囲温度が上昇すると、発振波長は大きくなる。

[0061] 次に、レーザ光源101の構成例を説明する。

図3は、第1実施形態に係るレーザ光源101の構成例を示す図である。図3に示すレーザ光源101は、サーミスタ102aと、PD（フォトディテクタ）102bと、LD（レーザダイオード）チップ102cと、レンズ102dと、ペルチェ素子103aを含んでいる。

[0062] サーミスタ102aは、例えばPD102bとLDチップ102cが取り付けられている基板の温度を測定する。

PD102bは、LDチップ102cによって発光された光強度を測定し、測定した測定値を不図示のレーザ駆動部に出力する。不図示のレーザ駆動部は、PD102bが出力する測定値に基づいてLDチップ102cが出射する光強度を所定値に制御する。

[0063] LDチップ102cは、不図示のレーザ駆動部の制御に応じて発光する。

レンズ102dは、LDチップ102cが出射した光線を集光する。レンズ102dは、集光された光線を光ファイバ120に入射する。

[0064] 図3に示す構造では、ペルチェ素子103a上にLDチップ102cが設けられている。この構成により、LDチップ102cの温度を調整することで、半導体レーザ102の波長を調整することができる。

[0065] ここで、レーザの波長を変更することで、複屈折を有する電気光学結晶中を伝搬する光の位相差を変更することができる原理について説明する。

複屈折を持つ電気光学結晶の通過後の光学的位相差 $\Gamma(\lambda)$ は、次式(7)のように表される。

[0066] [数7]

$$\begin{aligned}\Gamma(\lambda) &= \phi_f - \phi_s = \left(\frac{d}{\lambda_f} - \frac{d}{\lambda_s} \right) \\ &= \left(\frac{f}{c_f} - \frac{f}{c_s} \right) \times d \times 360 \\ &= \left(\frac{1}{c_f} \times \frac{c}{\lambda} - \frac{1}{c_s} \times \frac{c}{\lambda} \right) \times d \times 360 \\ &= \left(\frac{c}{c_f} - \frac{c}{c_s} \right) \times \frac{d}{\lambda} \times 360 \\ &= \frac{\Delta n \times d \times 360}{\lambda} \quad \dots (7)\end{aligned}$$

[0067] 式(7)において、 ϕ_f はfast軸の位相である。また、 ϕ_s はslow軸の位相である。また、 λ_f はfast軸の波長である。また、 λ_s はslow軸の波長である。cは真空中の光速である。また、 c_f はfast軸の位相速度である。また、 c_s はslow軸の位相速度である。 λ は真空中での波長である。また、fは真空中での周波数である。dは電気光学結晶の厚さである。 Δn はfast軸とslow軸の屈折率差である。なお、fast軸とは複屈折を有する結晶中を光が速く伝搬する振動方向である。また、slow軸とは複屈折を有する結晶中を光が遅く伝搬する振動方向である。

[0068] 式(7)に示したように、真空中で波長が λ であり周波数がfである光が

、厚さ d の複屈折を持つ電気光学結晶中を伝搬するとき、 $f a s t$ 軸の振動方向の光と $s l o w$ 軸の振動方向の光との位相差 Γ (λ) は、波長 λ に対して反比例の関係である。

ここで、屈折率 n は、次式 (8) で表される。

[0069] [数8]

$$n = \frac{c}{c'} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \mu}{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad \dots (8)$$

[0070] 式 (8) にいて、 c' は電気光学結晶中の光速である。また、 ε は真空中の誘電率である。また、 ε_0 は電気光学結晶中の誘電率である。また、 μ は真空中の透磁率である。また、 μ_0 は電気光学結晶中の透磁率である。

[0071] 式 (7) より、 $f a s t$ 軸と $s l o w$ 軸の屈折率差 Δn は、次式 (9) のようになる。

[0072] [数9]

$$\Delta n = \left(\frac{c}{c_f} - \frac{c}{c_s} \right) \quad \dots (9)$$

[0073] 式 (9) 示したように、レーザの波長を変更することで、複屈折を有する電気光学結晶中を伝搬する $f a s t$ 軸の振動方向の光と $s l o w$ 軸の振動方向の光の位相差を変更することができる。これにより、図 10 を用いて説明した従来技術における波長板を回転させて光学的なバランスを調整することと同等の効果を得ることができる。

[0074] 上述したように、光学的なバランス点のずれによって、受光回路 110 と受光回路 111 の両出力に差が生じて差動増幅器 112 の出力に偏差電圧が生じる。第 1 実施形態では、このような場合であっても、差動増幅器 112 の出力が 0 V を含む所定の範囲になるように半導体レーザ 102 の温度を調整することでレーザの波長を変更する。これにより、第 1 実施形態によれば、レーザにより光強度の揺らぎ (雑音) をキャンセルすることができる。この結果、バランスずれが減少し、バランス点が適切な位置となるため、図 8

、図9を用いて説明したように、第1実施形態によれば、バランスがずれている場合と比較して信号強度が上がり、S/Nの劣化が少なく安定した電界測定を行うことができる。また、第1実施形態では、波長板を回転させないため、装置を従来の電界センサより簡素化でき小型化することができる。これにより、第1実施形態によれば、測定安定度を損なうことなく、従来の電界センサより構成を簡素化してレーザ光の揺らぎを除去することができる。

[0075] なお、レーザの波長を変更する手段は、上述した手段に限らない。温度制御部114は、図3に示したサーミスタ102aが出力する情報も用いて、半導体レーザ102の波長を変更してもよい。または、外部共振型レーザを用いてもよい。この場合は、差動増幅器112から取り出した直流成分が所定の範囲になるように、外部共振型レーザの波長と光路長を変更するように制御してもよい。

[0076] <第2実施形態>

第2実施形態では、電界センサが縦型構造の例を説明する。

図4は、第2実施形態に係る電界センサ100Aの構成例を示す図である。図4に示すように、電界センサ100Aは、レーザ光源101と、電界発生源106と、電気光学結晶107と、偏光ビームスプリッタ109と、受光回路110と、受光回路111と、差動増幅器112と、DCレベル測定部113と、温度制御部114と、偏光ビームスプリッタ115（第2分離部）と、ITO（Indium Tin Oxide）116と、ミラー117と、 $\lambda/4$ 波長板118を備えている。また、レーザ光源101は、半導体レーザ102と、温度調節器103を備えている。なお、第1実施形態の電界センサ100と同様の機能を有する構成要素には、同じ符号を用いて説明を省略する。

[0077] まず、電界センサ100Aの光学的な構成要素の配置を説明する。

偏光ビームスプリッタ115は、レーザ光源101とITO116の第1面との間に配置される。 $\lambda/4$ 波長板118は、偏光ビームスプリッタ115と偏光ビームスプリッタ109との間に配置される。電気光学結晶107

は、ITO116の第2面と、ミラー117の第1面に接する。偏光ビームスプリッタ109は、 $\lambda/4$ 波長板118と受光回路110との間、かつ $\lambda/4$ 波長板118と受光回路111との間に配置される。

[0078] 次に、電界センサ100Aの動作について説明する。

電界センサ100Aは、センサ内に実装している電気光学結晶107に印加される電界強度に誘起される位相変化量を光学的手段で得ている。なお、電界センサ100Aは、被測定対象が発生する電界を、ミラー117側から電気光学結晶107に与えることで、差動増幅器112の出力値を不図示の信号処理装置によって測定することで、被測定対象が発生する電界の大きさを測定する。

[0079] レーザ光源101が出射した光線は、偏光ビームスプリッタ115を通過して直線偏光でITO116に入射した後、電気光学結晶107を透過してミラー117によって反射する。反射した光線は、電気光学結晶107とITO116を透過して測定電界により楕円偏光の光線となり、再び偏光ビームスプリッタ115に入射する。入射した光線は偏光ビームスプリッタ115で反射され、 $\lambda/4$ 波長板118へ入射され、光学的にバイアスがかかり、偏光ビームスプリッタ109に入射される。偏光ビームスプリッタ109は、楕円偏光の光線をP波とS波に分離する。

[0080] ITO116は、透明電極であり接地されている。

ミラー117は、第1面が鏡面である。

[0081] 図4に示した構成を縦型構造の電界センサという。このような縦型構造の電界センサにおいても、レーザにより光強度の揺らぎ（雑音）がある場合、その雑音の大きさは光の平均パワーに比例する。このため、構成している光学部品の偏差や波長板の角度偏差などによって位相がずれた場合、差動バランスがずれてS/Nが劣化する。

[0082] 第2実施形態では、第1実施形態と同様に差動増幅器112の出力を0Vを含む所定の範囲になるように制御することで、差動バランスをリアルタイムで合わせる。これにより、第2実施形態においても、レーザによる光強度

の揺らぎ（雑音）をキャンセルすることができ、信号強度が雑音がある場合より大きくなり、雑音がある場合と比較してS/Nの劣化を低減することができる。

[0083] なお、レーザの波長を変更する手段は、上述した手段に限らない。第2実施形態においても、温度制御部114は、図3に示したサーミスタ102aが出力する情報も用いて、半導体レーザ102の波長を変更してもよい。または、外部共振型レーザを用いてもよい。この場合は、差動増幅器112から取り出した直流成分が所定の範囲になるように、外部共振型レーザの波長と光路長を変更するように制御してもよい。

[0084] <第3実施形態>

偏光ビームスプリッタで分離されるP波の成分とS波の成分それぞれの光は、受光回路が有するフォトディテクタで電気信号に変換されるが、偏光ビームスプリッタの分岐比のばらつきや、2個の受光回路それぞれが有するフォトディテクタの受光感度にもばらつきがある場合がある。このような場合も、P波による雑音成分の大きさとS波による雑音成分の大きさが異なるため、差動増幅器112によって雑音をキャンセルできない。

[0085] このような雑音に対して、第3実施形態では、光学バイアスを波長板で調整した状態で、受光回路の後段に設けた利得可変増幅器を用いて差動バランスを電氣的に0Vを含む第2の所定の範囲に調整した後、さらにレーザの波長を変化させることでリアルタイムに差動バランスを調整する。

[0086] 図5は、第3実施形態に係る電界センサ100Bの構成例を示す図である。

図5に示すように、電界センサ100Bは、レーザ光源101と、検光子104と、 $\lambda/4$ 波長板105と、電界発生源106と、電気光学結晶107と、 $\lambda/2$ 波長板108と、偏光ビームスプリッタ109と、受光回路110と、受光回路111と、差動増幅器112と、DCレベル測定部113と、温度制御部114Bと、利得可変増幅器121と、利得可変増幅器122を備えている。また、レーザ光源101は、半導体レーザ102と、温度

調節器 103 を備えている。なお、第 1 実施形態の電界センサ 100 と同様の機能を有する構成要素には、同じ符号を用いて説明を省略する。

この構成においても、第 1 実施形態と同様に $\lambda/4$ 波長板 105 は、電気光学結晶 107 に入射する光に対して光学的にバイアスをかけている。

[0087] 電界センサ 100B の光学的な構成要素の配置は、電界センサ 100 と同じである。電界センサ 100B は、電界センサ 100 と同様に、被測定対象が発生する電界を電気光学結晶 107 に与えることで、差動増幅器 112 の出力値を不図示の信号処理装置によって測定することで、被測定対象が発生する電界の大きさを測定する。

[0088] 次に、電界センサ 100B の電氣的な構成要素の接続関係を説明する。

受光回路 110 の出力端は、利得可変増幅器 121 の入力端子に接続されている。利得可変増幅器 121 の出力端子は、差動増幅器 112 の第 1 入力端子に接続されている。利得可変増幅器 121 の制御端子は、温度制御部 114B に接続されている。

受光回路 111 の出力端は、利得可変増幅器 122 の入力端子に接続されている。利得可変増幅器 122 の出力端子は、差動増幅器 112 の第 2 入力端子に接続されている。利得可変増幅器 122 の制御端子は、温度制御部 114B に接続されている。

差動増幅器 112 の出力端は、不図示の信号処理装置に処理した信号を出力する。

[0089] 温度制御部 114B は、レーザ光源 101 を発光させ電界発生源 106 によって電界を発生させていない状態で、差動増幅器 112 の出力が 0V を含む第 2 の所定の範囲になるように、利得可変増幅器 121 と利得可変増幅器 122 それぞれの利得を調整することで電氣的に調整する。その後、温度制御部 114B は、第 1 実施形態等と同様に、レーザ光源 101 を発光させ電界発生源 106 によって電界を発生させた状態で、差動増幅器 112 の出力が 0V を含む所定の範囲になるように、温度調節器 103 を制御することで光学的に調整する。

[0090] 以上のように、第3実施形態によれば、2個の受光回路それぞれが有するフォトディテクタの受光感度にもばらつきがあっても差動バランスを調整することができる。これにより、第3実施形態によれば、レーザによる光強度の揺らぎ（雑音）をキャンセルすることができ、信号強度が雑音がある場合より大きくなり、雑音がある場合と比較してS/Nの劣化を低減することができる。

[0091] なお、受光回路で生じる差動バランスの調整は、上述した利得可変増幅器に限らない。偏光ビームスプリッタ109と受光回路110の間に第1の光アッテネータ（不図示）を設け、偏光ビームスプリッタ109と受光回路111の間に第2の光アッテネータ（不図示）を設けるようにしてもよい。

この場合、温度制御部114Bは、レーザ光源101を発光させ電界発生源106によって電界を発生させていない状態で、差動増幅器112の出力が0Vを含む第2の所定の範囲になるように、第1の光アッテネータと第2の光アッテネータそれぞれの減衰率を調整することで光学的に調整するようにしてもよい。

[0092] なお、レーザの波長を変更する手段は、上述した手段に限らない。第3実施形態においても、温度制御部114Bは、図3に示したサーミスタ102aが出力する情報も用いて、半導体レーザ102の波長を変更してもよい。または、外部共振型レーザを用いてもよい。この場合は、差動増幅器112から取り出した直流成分が所定の範囲になるように、外部共振型レーザの波長と光路長を変更するように制御してもよい。

[0093] <第4実施形態>

第3実施形態で説明した利得可変増幅器を、第2実施形態で説明した縦型構造の電界センサに適用することもできる。

図6は、第4実施形態に係る電界センサ100Cの構成例を示す図である。図6に示すように、電界センサ100Cは、レーザ光源101と、電界発生源106と、電気光学結晶107と、偏光ビームスプリッタ109と、受光回路110と、受光回路111と、差動増幅器112と、DCレベル測定

部 113 と、温度制御部 114 B と、偏光ビームスプリッタ 115 と、ITO 116 と、ミラー 117 と、 $\lambda/4$ 波長板 118 と、利得可変増幅器 121 と、利得可変増幅器 122 を備えている。また、レーザ光源 101 は、半導体レーザ 102 と、温度調節器 103 を備えている。なお、第 1 実施形態の電界センサ 100、第 2 実施形態の電界センサ 100 A、および第 3 実施形態の電界センサ 100 B と同様の機能を有する構成要素には、同じ符号を用いて説明を省略する。

[0094] 第 4 実施形態においても、第 2 実施形態と同様に、 $\lambda/4$ 波長板 118 は、偏光ビームスプリッタ 115 に入射する光に対して光学的にバイアスをかけている。

なお、電界センサ 100 C は、電界センサ 100 A と同様に、被測定対象が発生する電界を、ミラー 117 側から電気光学結晶 107 に与えることで、差動増幅器 112 の出力値を不図示の信号処理装置によって測定することで、被測定対象が発生する電界の大きさを測定する。

[0095] 第 4 実施形態においても、第 3 実施形態と同様に、温度制御部 114 B は、レーザ光源 101 を発光させ電界発生源 106 によって電界を発生させていない状態で、差動増幅器 112 の出力が 0 V を含む第 2 の所定の範囲になるように、利得可変増幅器 121 と利得可変増幅器 122 それぞれの利得を調整することで電氣的に調整する。その後、温度制御部 114 B は、レーザ光源 101 を発光させ電界発生源 106 によって電界を発生させた状態で、差動増幅器 112 の出力が 0 V を含む所定の範囲になるように、温度調節器 103 を制御することで光学的に調整する。

[0096] 以上のように、第 4 実施形態によれば、2 個の受光回路それぞれが有するフォトディテクタの受光感度にもばらつきがあっても差動バランスを調整することができる。これにより、第 4 実施形態によれば、レーザによる光強度の揺らぎ（雑音）をキャンセルすることができ、信号強度が雑音がある場合より大きくなり、雑音がある場合と比較して S/N の劣化を低減することができる。

[0097] なお、第4実施形態においても、受光回路で生じる差動バランスの調整は、上述した利得可変増幅器に限らない。偏光ビームスプリッタ109と受光回路110の間に第1の光アッテネータ（不図示）を設け、偏光ビームスプリッタ109と受光回路111の間に第2の光アッテネータ（不図示）を設けるようにしてもよい。

この場合、温度制御部114Bは、レーザ光源101を発光させ電界発生源106によって電界を発生させていない状態で、差動増幅器112の出力が0Vを含む第2の所定の範囲になるように、第1の光アッテネータと第2の光アッテネータそれぞれの減衰率を調整することで光学的に調整するようにしてもよい。

[0098] なお、レーザの波長を変更する手段は、上述した手段に限らない。第4実施形態においても、温度制御部114Bは、図3に示したサーミスタ102aが出力する情報も用いて、半導体レーザ102の波長を変更してもよい。または、外部共振型レーザを用いてもよい。この場合は、差動増幅器112から取り出した直流成分が所定の範囲になるように、外部共振型レーザの波長と光路長を変更するように制御してもよい。

[0099] 以上、本発明を実施するための形態について第1～第4実施形態を用いて説明したが、本発明はこうした実施形態に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の変形および置換を加えることができる。

符号の説明

[0100] 100, 100A, 100B, 100C…電界センサ、101…レーザ光源、102…半導体レーザ、103…温度調節器、104…検光子、105… $\lambda/4$ 波長板、106…電界発生源、107…電気光学結晶、108… $\lambda/2$ 波長板、109…偏光ビームスプリッタ、110…受光回路、111…受光回路、112…差動増幅器、113…DCレベル測定部、114, 114B…温度制御部、115…偏光ビームスプリッタ、116…ITO、117…ミラー、118… $\lambda/4$ 波長板、121…利得可変増幅器、122…利得

可変増幅器

請求の範囲

- [請求項1] 光源と、
前記光源が出射した光に基づく所定の偏光状態の光が入射され、被対象物が発する電界を受ける電気光学結晶と、
前記電気光学結晶から出射される光をP波とS波とに分離する第1分離部と、
前記第1分離部の前段で、光の位相を変化させる第1波長板と、
前記P波の光を受光し、受光した光を第1電気信号に変換する第1受光部と、
前記S波の光を受光し、受光した光を第2電気信号に変換する第2受光部と、
前記第1受光部が変換した前記第1電気信号と、前記第2受光部が変換した前記第2電気信号との差動信号を生成する差動増幅部と、
前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界を印加した状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記光源の波長を調整する制御部と、
を備える電界センサ。
- [請求項2] 前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界を印加した状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を前記所定の値の範囲になるように、前記光源の温度を調整することで前記光源の波長を調整する、請求項1に記載の電界センサ。
- [請求項3] 透明電極と、ミラーと、をさらに備え、
前記電気光学結晶は、一方の面に前記透明電極が対向して配置され、他方の面に前記ミラーが配置され、
前記光源が出射した光に基づく所定の偏光状態の光が前記透明電極から入射され、前記透明電極から入射した光を前記ミラーによって反射し、反射した光を前記透明電極から出射し、前記透明電極から出射された光が前記分離部に入射する、請求項1に記載の電界センサ。

- [請求項4] 透明電極と、ミラーと、をさらに備え、
前記電気光学結晶は、一方の面に前記透明電極が対向して配置され、
他方の面に前記ミラーが配置され、
前記光源が出射した光に基づく所定の偏光状態の光が前記透明電極から入射され、前記透明電極から入射した光を前記ミラーによって反射し、反射した光を前記透明電極から出射し、前記透明電極から出射された光が前記分離部に入射する、請求項2に記載の電界センサ。
- [請求項5] 前記第1受光部の前記第1電気信号の第1利得を変更する第1利得可変部と、
前記第2受光部の前記第2電気信号の第2利得を変更する第2利得可変部と、
をさらに備え、
前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界が印加されていない状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記第1利得可変部の前記第1利得と前記第2利得可変部の前記第2利得を調整する、請求項1に記載の電界センサ。
- [請求項6] 前記第1受光部の前記第1電気信号の第1利得を変更する第1利得可変部と、
前記第2受光部の前記第2電気信号の第2利得を変更する第2利得可変部と、
をさらに備え、
前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界が印加されていない状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記第1利得可変部の前記第1利得と前記第2利得可変部の前記第2利得を調整する、請求項2に記載の電界センサ。
- [請求項7] 前記第1受光部の前記第1電気信号の第1利得を変更する第1利得

可変部と、

前記第2受光部の前記第2電気信号の第2利得を変更する第2利得可変部と、

をさらに備え、

前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界が印加されていない状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記第1利得可変部の前記第1利得と前記第2利得可変部の前記第2利得を調整する、請求項3に記載の電界センサ。

[請求項8] 前記第1受光部の前記第1電気信号の第1利得を変更する第1利得可変部と、

前記第2受光部の前記第2電気信号の第2利得を変更する第2利得可変部と、

をさらに備え、

前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界が印加されていない状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値を所定の値の範囲になるように、前記第1利得可変部の前記第1利得と前記第2利得可変部の前記第2利得を調整する、請求項4に記載の電界センサ。

[請求項9] 前記電界センサは、電気光学効果を利用して、前記被対象物が発する電界を測定する請求項1に記載の電界センサ。

[請求項10] 前記第1波長板は、前記第1波長板の光軸の方位が、所定の軸に対して、第1角度傾けて配置される
請求項1に記載の電界センサ。

[請求項11] 前記第1波長板は、前記電気光学結晶の前段に配置され、
前記電界センサは、
前記電気光学結晶の後段に配置され、前記第1分離部の後段で、光の位相を変化させる第2波長板をさらに備える

- 請求項 1 に記載の電界センサ。
- [請求項12] 前記第 2 波長板は、前記第 2 波長板の光軸の方位が、前記所定の軸に対して、第 2 角度傾けて配置される
請求項 1 1 に記載の電界センサ。
- [請求項13] 前記光源は、
発光するレーザダイオードチップと、
前記レーザダイオードチップが発光した光の光強度を測定するフォトディテクタと、
前記レーザダイオードチップと前記フォトディテクタが取り付けられる基板の温度を測定するサーミスタと、
前記レーザダイオードチップが出射する光線を集光するレンズと、
を備える
請求項 1 に記載の電界センサ。
- [請求項14] 前記光源と、前記透明電極の前記一方の面との間に配置される第 2 分離部を更に備える請求項 3 に記載の電界センサ。
- [請求項15] 前記光源と、前記透明電極の前記一方の面との間に配置される第 2 分離部を更に備える請求項 7 に記載の電界センサ。
- [請求項16] 前記制御部は、前記第 1 利得可変部の利得と前記第 2 利得可変部の利得を、リアルタイムで調整する
請求項 1 に記載の電界センサ。
- [請求項17] 前記制御部は、前記光源から光が出射され前記電気光学結晶に電界を印加した状態の前記差動増幅部の直流成分の出力値と、前記サーミスタが出力する情報と、を用いて、前記光源の温度を調整することで前記光源の波長を調整する、請求項 1 に記載の電界センサ。
- [請求項18] 前記光源は、外部共振型レーザを備える請求項 1 に記載の電界センサ。
- [請求項19] 前記第 1 分離部と前記第 1 受光部との間に設けられる第 1 光アッテネータと、

前記第1分離部と前記第2受光部との間に設けられる第2光アッテネータと、

をさらに備え、

前記制御部は、前記光源を発光させ被対象物によって電界を発生させていない状態で、前記差動増幅部の出力が所定の範囲になるように、前記第1の光アッテネータと前記第2の光アッテネータそれぞれの減衰率を調整する

請求項3に記載の電界センサ。

[請求項20]

前記分離部と前記第1受光部との間に設けられる第1光アッテネータと、

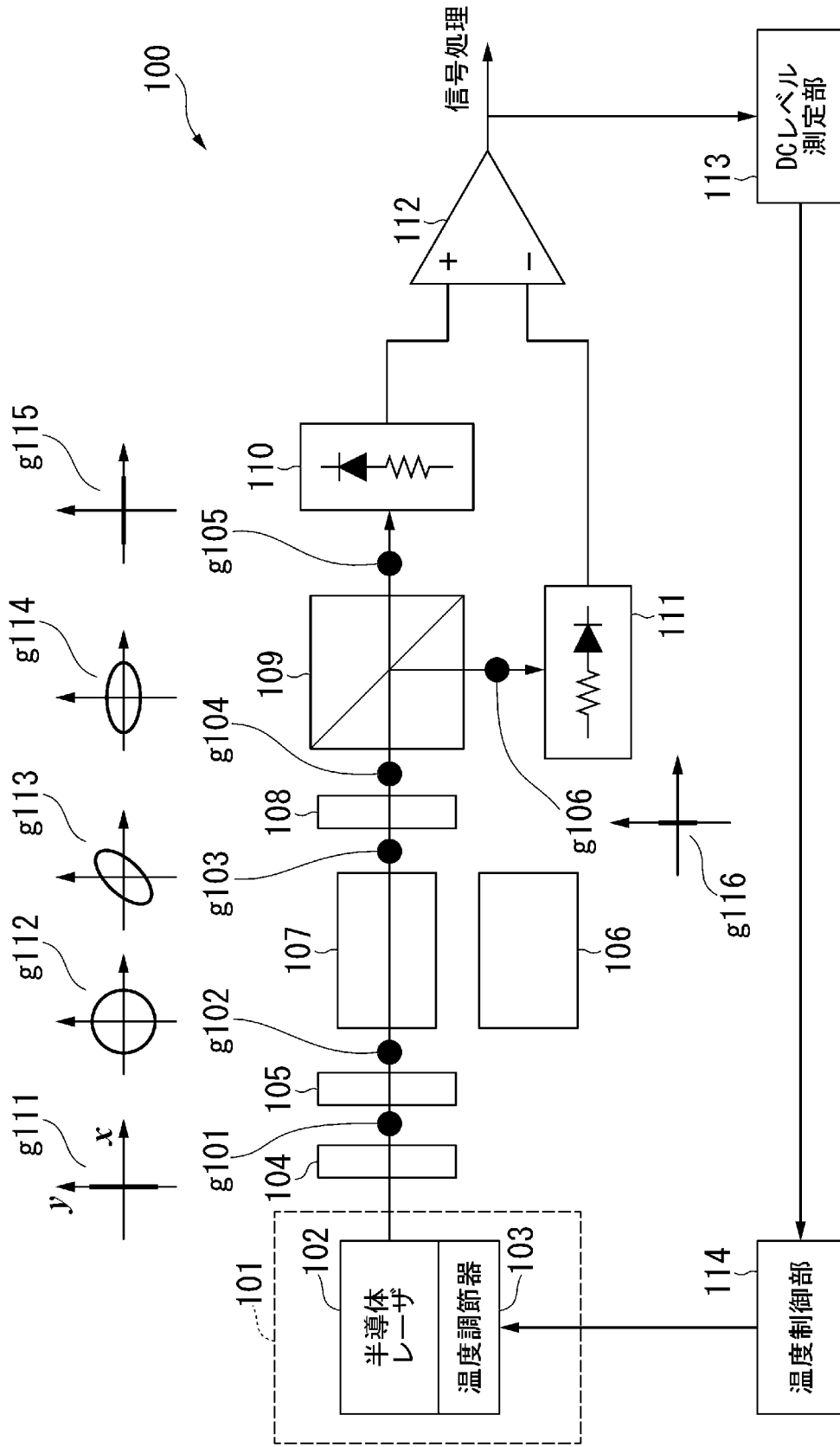
前記分離部と前記第2受光部との間に設けられる第2光アッテネータと、

をさらに備え、

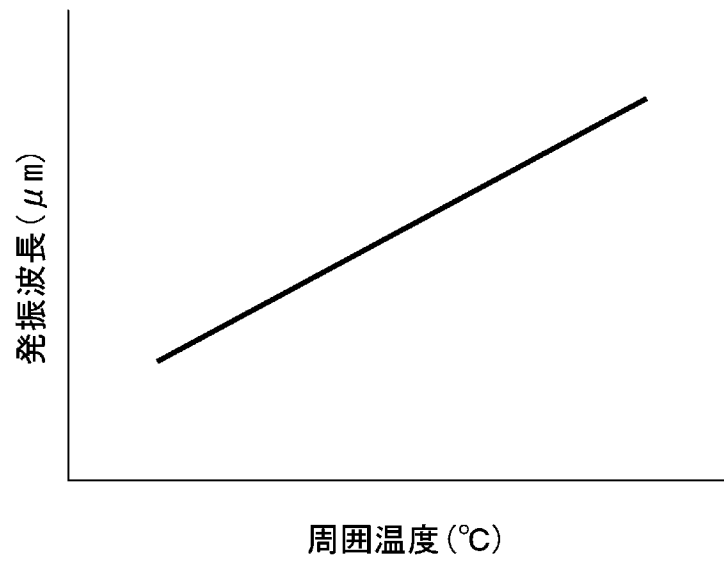
前記制御部は、前記光源を発光させ被対象物によって電界を発生させていない状態で、前記差動増幅部の出力が所定の範囲になるように、前記第1の光アッテネータと前記第2の光アッテネータそれぞれの減衰率を調整する

請求項7に記載の電界センサ。

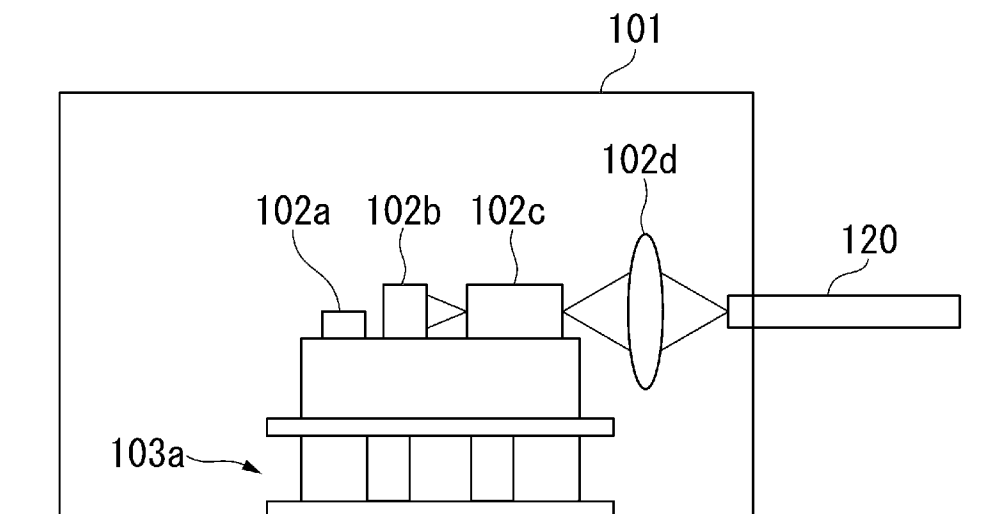
[図1]



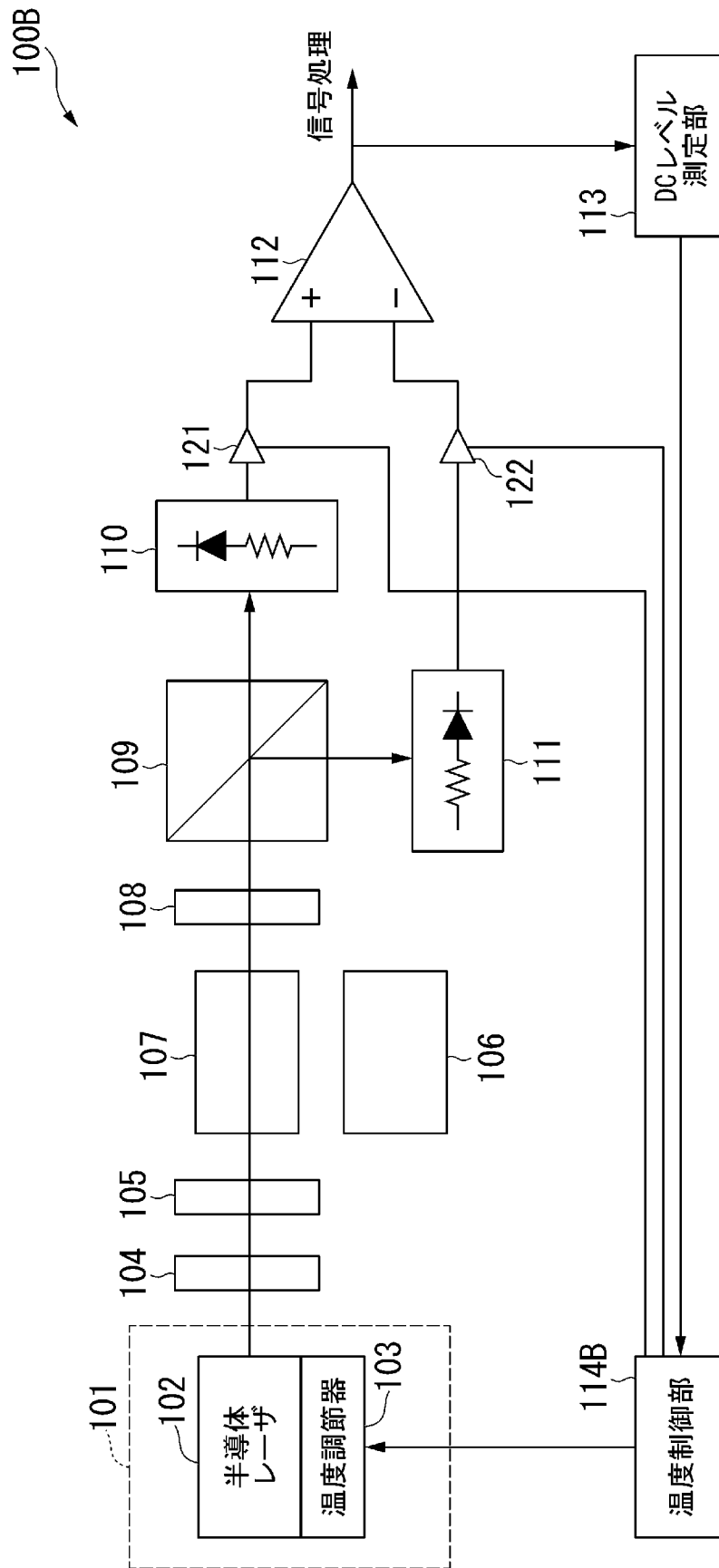
[図2]



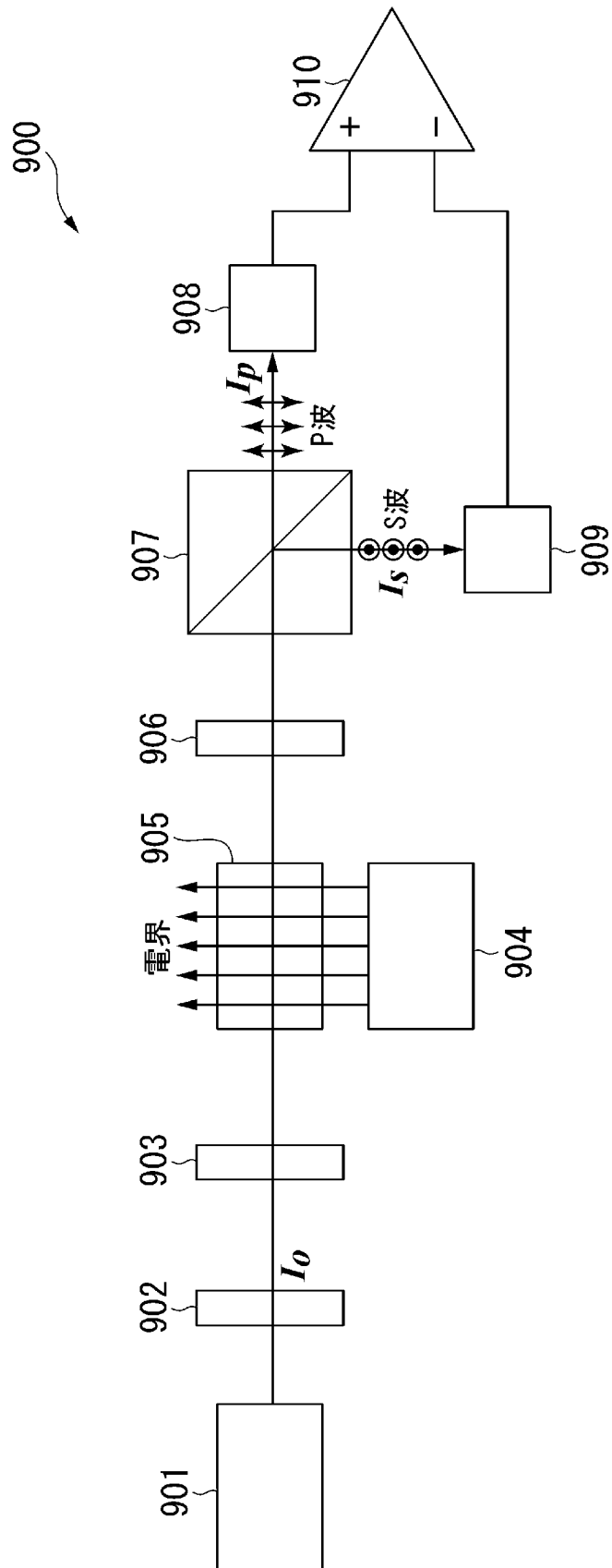
[図3]



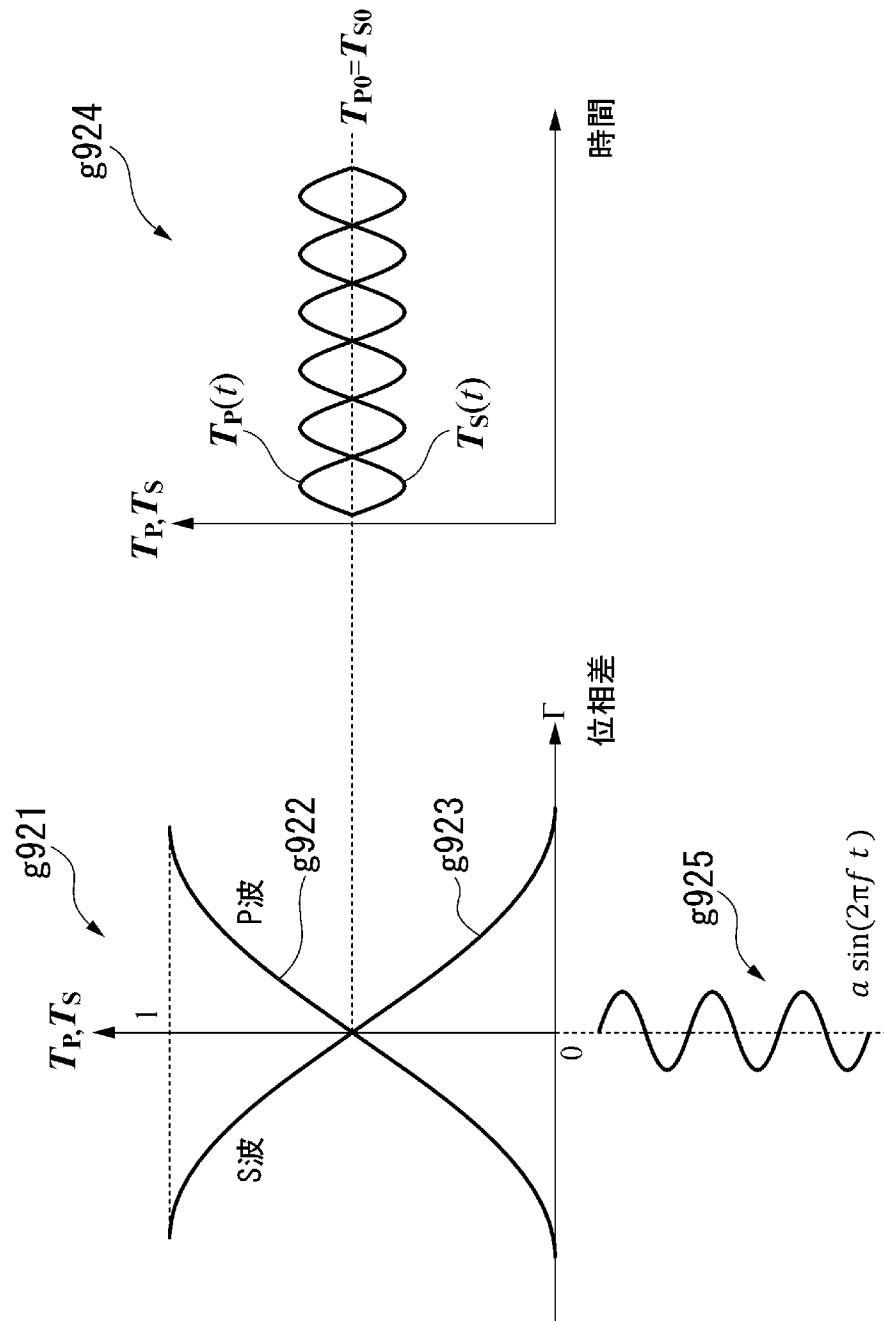
[図5]



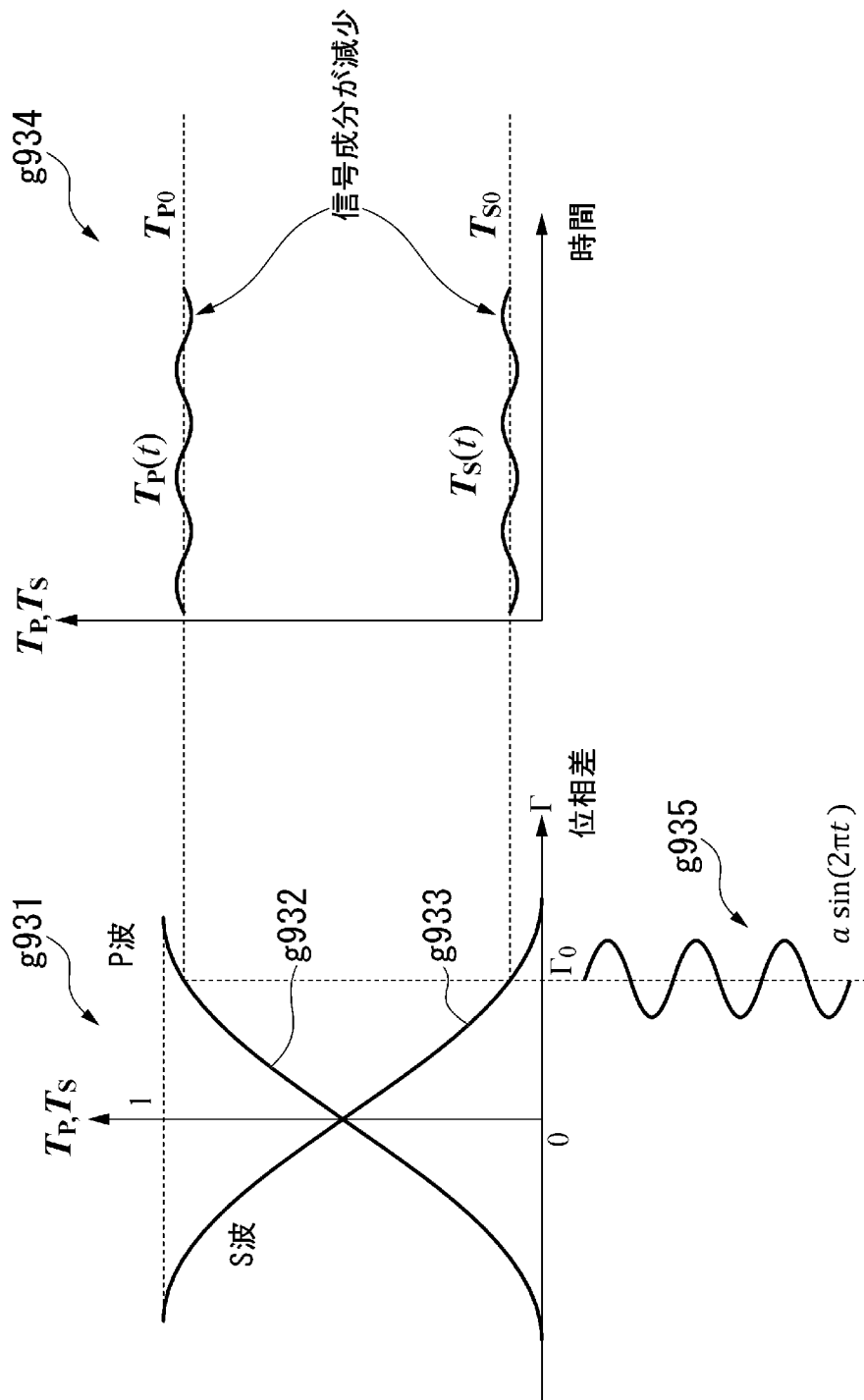
[図7]



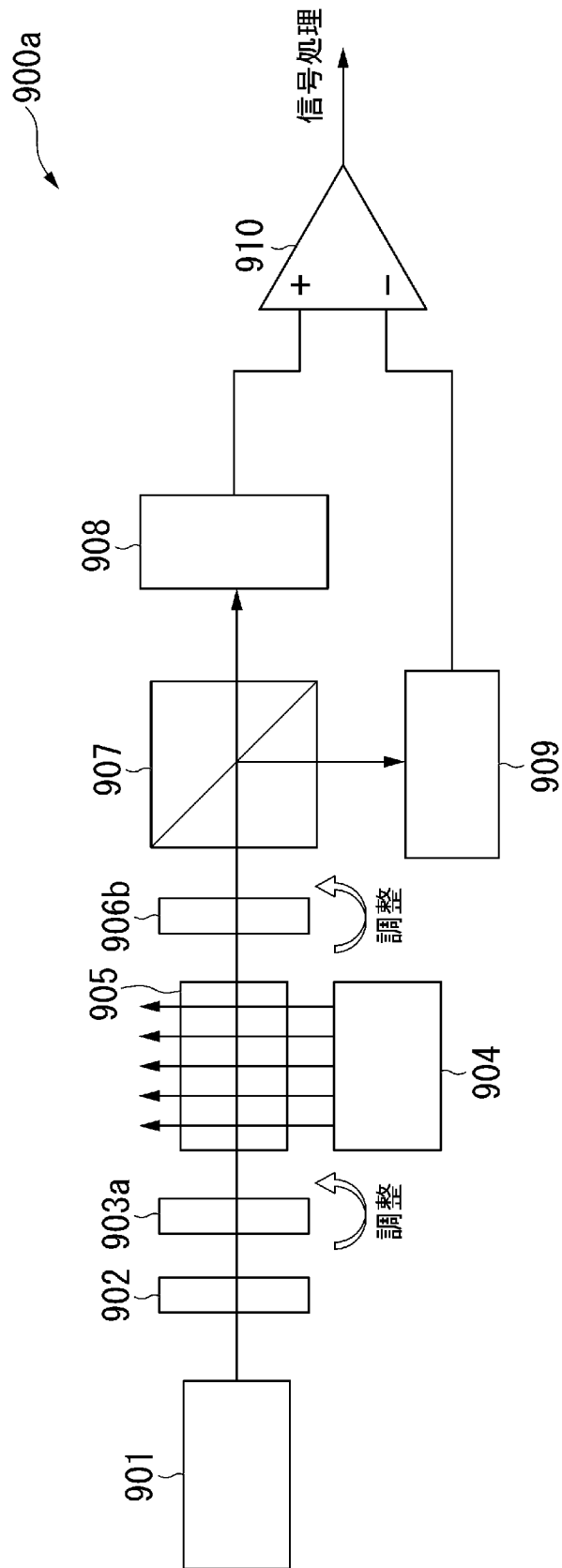
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/001833

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 29/08 (2006.01) i; G01R 29/12 (2006.01) i
FI: G01R29/12 F; G01R29/08 F

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)

G01R29/08; G01R29/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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 2005-164555 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 23.06.2005 (2005-06-23) paragraphs [0001]-[0136], fig. 1-32	1-20
Y	JP 6-230052 A (NIHON DEMPA KOGYO CO., LTD.) 19.08.1994 (1994-08-19) paragraphs [0001]-[0019], fig. 1-8	1-20
Y	JP 2-30046 A (VICTOR COMPANY OF JAPAN, LTD.) 31.01.1990 (1990-01-31) page 1, right column, line 7 to page 5, lower right column, line 12, fig. 1-2	3-4, 7-8, 14-15
Y	JP 5-34378 A (TOSHIBA CORP.) 09.02.1993 (1993-02-09) paragraphs [0020]-[0053], fig. 1-7	5-8, 15
Y	JP 63-144263 A (TOSHIBA CORP.) 16.06.1988 (1988-06-16) page 2, upper right column, lines 2-6	10, 12

 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

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"I" 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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 March 2020 (17.03.2020)Date of mailing of the international search report
07 April 2020 (07.04.2020)Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, JapanAuthorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/001833

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 7-55891 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 03.03.1995 (1995-03-03) fig. 1	11-12
Y	JP 59-147272 A (YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC CORP.) 23.08.1984 (1984-08-23) page 2, upper right column, line 9 to page 3, right column, line 12, fig. 2-3	13
Y	JP 2003-204103 A (FUJITSU LTD.) 18.07.2003 (2003-07-18) paragraphs [0001]-[0004], etc.	18
Y	JP 59-147273 A (YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC CORP.) 23.08.1984 (1984-08-23) page 3, lines 3-6, fig. 3	19-20
A	US 5113131 A (SOUTHERN CALIFORNIA EDISON COMPANY) 12.05.1992 (1992-05-12)	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/001833

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2005-164555 A	23 Jun. 2005	(Family: none)	
JP 6-230052 A	19 Aug. 1994	(Family: none)	
JP 2-30046 A	31 Jan. 1990	(Family: none)	
JP 5-34378 A	09 Feb. 1993	(Family: none)	
JP 63-144263 A	16 Jun. 1988	(Family: none)	
JP 7-55891 A	03 Mar. 1995	(Family: none)	
JP 59-147272 A	23 Aug. 1984	(Family: none)	
JP 2003-204103 A	18 Jul. 2003	(Family: none)	
JP 59-147273 A	23 Aug. 1984	(Family: none)	
US 5113131 A	12 May 1992	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01R 29/08(2006.01)i; G01R 29/12(2006.01)i FI: G01R29/12 F; G01R29/08 F		
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）） G01R29/08; G01R29/12 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 - 2020年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2020年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2020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 2005-164555 A（日本電信電話株式会社）23.06.2005（2005 - 06 - 23） 第0001-0136段落, 第1-32図	1-20
Y	JP 6-230052 A（日本電波工業株式会社）19.08.1994（1994 - 08 - 19） 第0001-0019段落, 第1-8図	1-20
Y	JP 2-30046 A（日本ビクター株式会社）31.01.1990（1990 - 01 - 31） 第1頁右欄第7行目-第5頁右下欄第12行目, 第1-2図	3-4, 7-8, 14-15
Y	JP 5-34378 A（株式会社東芝）09.02.1993（1993 - 02 - 09） 第0020-0053段落, 第1-7図	5-8, 15
Y	JP 63-144263 A（株式会社東芝）16.06.1988（1988 - 06 - 16） 第2頁右上欄第2-6行目	10, 12
Y	JP 7-55891 A（日本電信電話株式会社）03.03.1995（1995 - 03 - 03） 第1図	11-12
Y	JP 59-147272 A（横河北辰電機株式会社）23.08.1984（1984 - 08 - 23） 第2頁右上欄第9行目-第3頁右欄第12行目, 第2-3図	13
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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” 国際出願日前で、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抵触するものではなく、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 17.03.2020	国際調査報告の発送日 07.04.2020	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 青木 洋平 2S 3104 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

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 2003-204103 A (富士通株式会社) 18.07.2003 (2003 - 07 - 18) 第0001-0004段落等	18
Y	JP 59-147273 A (横河北辰電機株式会社) 23.08.1984 (1984 - 08 - 23) 第3頁右欄第3-6行目, 第3図	19-20
A	US 5113131 A (SOUTHERN CALIFORNIA EDISON COMPANY) 12.05.1992 (1992 - 05 - 12)	1-20

国際調査報告
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/001833

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 2005-164555 A	23.06.2005	(ファミリーなし)	
JP 6-230052 A	19.08.1994	(ファミリーなし)	
JP 2-30046 A	31.01.1990	(ファミリーなし)	
JP 5-34378 A	09.02.1993	(ファミリーなし)	
JP 63-144263 A	16.06.1988	(ファミリーなし)	
JP 7-55891 A	03.03.1995	(ファミリーなし)	
JP 59-147272 A	23.08.1984	(ファミリーなし)	
JP 2003-204103 A	18.07.2003	(ファミリーなし)	
JP 59-147273 A	23.08.1984	(ファミリーなし)	
US 5113131 A	12.05.1992	(ファミリーなし)	