

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6252912号
(P6252912)

(45) 発行日 平成29年12月27日 (2017.12.27)

(24) 登録日 平成29年12月8日 (2017.12.8)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 R 29/08 (2006.01)	GO 1 R 29/08 F
GO 1 R 15/24 (2006.01)	GO 1 R 15/24 B

請求項の数 14 (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2014-559001 (P2014-559001)	(73) 特許権者	314012076
(86) (22) 出願日	平成26年5月15日 (2014.5.15)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/002572		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(87) 国際公開番号	W02014/188685	(74) 代理人	100067828
(87) 国際公開日	平成26年11月27日 (2014.11.27)		弁理士 小谷 悦司
審査請求日	平成28年11月24日 (2016.11.24)	(74) 代理人	100115381
(31) 優先権主張番号	特願2013-107715 (P2013-107715)		弁理士 小谷 昌崇
(32) 優先日	平成25年5月22日 (2013.5.22)	(74) 代理人	100157808
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 渡邊 耕平
		(72) 発明者	藤ノ木 紀仁
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
		審査官	續山 浩二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電界測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定対象物の電界を測定する電界測定装置であって、
 伝送光を伝送する光導波路と、
 前記光導波路の光学特性に周期的な変動を与えるように形成された電極部と、
 前記電界を前記光導波路に結合させる第1状態と、前記電界が前記光導波路から切り離された第2状態と、を設定するアンテナ部と、
 前記光導波路から出射された出射光の光強度を検出する検出部と、
 前記電極部に電圧を印加し、前記周期的な変動を与える印加部と、を備え、
 前記印加部は、前記第2状態下における前記光強度に応じて、基準電圧を設定する設定部と、前記第1状態下において前記電極部に生じた誘起電圧と前記基準電圧との差に応じた電圧を出力する出力部と、を含むことを特徴とする電界測定装置。

【請求項 2】

前記電極部は、前記光学特性の前記周期的な変動として、前記光導波路の屈折率の周期的な変動を生じさせることを特徴とする請求項1に記載の電界測定装置。

【請求項 3】

前記出射光は、前記光導波路を透過した透過光及び前記光導波路内で反射された反射光のうち少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の電界測定装置。

【請求項 4】

前記電極部は、前記アンテナ部と前記光導波路との間に配置されることを特徴とする請

10

20

求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の電界測定装置。

【請求項 5】

前記光導波路は、電気光学結晶から形成されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の電界測定装置。

【請求項 6】

前記電気光学結晶の組成は、 $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ （但し、 x は、 $0 < x < 1$ である）であることを特徴とする請求項 5 に記載の電界測定装置。

【請求項 7】

前記第 2 状態下において前記基準電圧が前記光導波路に印加されると、前記光導波路の反射率は、極大化されることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の電界測定装置。

10

【請求項 8】

前記検出部は、前記透過光の強度を第 1 電気信号に変換する第 1 光検出部と、前記反射光の強度を第 2 電気信号に変換する第 2 光検出部と、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号との差を増幅し、増幅信号を生成する増幅部と、を含み、

前記設定部は、前記増幅信号に応じて前記基準電圧を設定することを特徴とする請求項 3 に記載の電界測定装置。

【請求項 9】

前記第 2 状態下において前記基準電圧が前記光導波路に印加されると、前記光導波路の反射率の変化は、極大化されることを特徴とする請求項 8 に記載の電界測定装置。

20

【請求項 10】

前記第 2 状態下において前記基準電圧が前記光導波路に印加されると、前記光導波路の反射率と前記光導波路の透過率との間の差異は極小化されることを特徴とする請求項 8 に記載の電界測定装置。

【請求項 11】

前記電極部は、前記伝送光が伝送される伝送方向に交差する方向に延設された第 1 電極と、前記第 1 電極から前記伝送方向に離間した第 2 電極と、を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の電界測定装置。

【請求項 12】

前記電極部は、前記第 2 電極から前記伝送方向に離間した第 3 電極を含み、

30

前記第 2 電極は、前記第 1 電極と前記第 3 電極との間の中間位置に配置されることを特徴とする請求項 11 に記載の電界測定装置。

【請求項 13】

前記電極部は、前記伝送光が伝送される伝送方向に周期的に繰り返される開口パターンが形成された電極層を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の電界測定装置。

【請求項 14】

前記光導波路に入射する入射光を出射し、前記伝送光を生成する光源部を更に備え、

前記光源部は、発光ダイオード及びレーザ光源のうち少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の電界測定装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電界を測定する電界測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電界測定装置は、電界を検出し、電界の強さを表す電気信号を生成する。電界測定装置は、様々な用途に利用可能である。例えば、電界測定装置は、ウェアラブルコンピュータ間のデータ通信を行う人体通信装置として利用されることがある。電界測定装置は、人や動物といった被験体の脳活動を測定する脳波計や生体活動を検出する他の測定装置の基本

50

素子として利用されることもある。脳波計として利用される電界測定装置は、被験体の体外に設置され、脳活動に伴う電界の変動を検出することができる。これらの用途にとって、電界測定装置が高感度であること、小型であることや耐衝撃性に優れていることは重要な性能である。

【0003】

電界測定装置は、電気光学結晶を備えることもある。電界測定装置は、電気光学結晶に電界を印加し、電気光学効果（EO（Electro-Optic）効果）を引き起こす。電界測定装置は、電気光学効果を利用して、非接触式に、電界を検出することができる。

【0004】

電気光学効果の結果、電気光学結晶の屈折率といった光学特性は変化する。電界測定装置を使用する使用者は、電気光学結晶の屈折率を変化させ、光を電気光学結晶に入射させる。光の位相は、電気光学結晶内で変化される。電気光学結晶から出射した出射光の強度や位相の変化は、電氣的に検出される。

【0005】

電気光学効果を利用する電界測定装置は、検出された電界を表す検出信号を、光学的に伝送する。したがって、検出信号は、誘導や電氣的雑音の影響を受けにくい。電気光学結晶の電気光学効果が利用されるので、電界測定装置は、高速で応答することができる。加えて、電界測定装置は、検出信号を、少ない損失の下で伝送することができる。

【0006】

電気光学効果に起因する屈折率の変化は僅かである。したがって、電気光学効果を利用する従来の電界測定装置のいくつかは、電界光学効果を示す非線形光学結晶に入射した光の位相変化を利用する。他の従来の電界測定装置は、干渉計を利用し、感度を向上させることもある（特許文献1乃至3を参照）。

【0007】

従来の電界測定装置は、環境変化に影響を受けやすい。あるいは、従来の電界測定装置は、環境変化の影響を受けにくくするために、複雑な構造を組み込むことを必要とする。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2003-98205号公報

【特許文献2】特開平7-151804号公報

【特許文献3】特開平11-194146号公報

【発明の概要】

【0009】

本発明は、簡素な構造を用いて、環境変化の下においても、電界を精度良く検出することができる電界測定装置を提供することを目的とする。

【0010】

本発明の一の局面に係る電界測定装置は、測定対象物の電界を測定する。電界測定装置は、伝送光を伝送する光導波路と、前記光導波路の光学特性に周期的な変動を与えるように形成された電極部と、前記電界を前記光導波路に結合させる第1状態と、前記電界が前記光導波路から切り離された第2状態と、を設定するアンテナ部と、前記光導波路から出射された出射光の光強度を検出する検出部と、前記電極部に電圧を印加し、前記周期的な変動を与える印加部と、を備える。前記印加部は、前記第2状態下における前記光強度に応じて、基準電圧を設定する設定部と、前記第1状態下において前記電極部に生じた誘起電圧と前記基準電圧との差に応じた電圧を出力する出力部と、を含む。

【0011】

上述の電界測定装置は、簡素な構造を用いて、環境変化の下においても、電界を精度良く検出することができる。

【0012】

本発明の目的、特徴及び利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1実施形態の電界測定装置の概念図である。

【図2】第2実施形態の電界測定装置の概略的なブロック図である。

【図3】図2に示される電界測定装置の電界測定素子の概略的な斜視図である。

【図4】図3に示される電界測定素子のコア層に生ずる屈折率分布の概略図である。

【図5】図2に示される電界測定装置を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。

10

【図6】透過光の概略的なスペクトル線図である。

【図7】第3実施形態の電界測定装置の概略的なブロック図である。

【図8】図7に示される電界測定装置を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。

【図9】第4実施形態の電界測定装置の概略的なブロック図である。

【図10】図9に示される電界測定装置を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。

【図11】図9に示される電界測定装置の電界測定素子から出射された透過光の概略的なスペクトル線図である（第5実施形態）。

【図12】図9に示される電界測定装置を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである（第5実施形態）。

20

【図13】電界測定素子の概略的な斜視図である（第6実施形態）。

【図14】電界測定素子の概略的な斜視図である（第7実施形態）。

【図15】特許文献1の電界測定装置の概略図である。

【図16】特許文献2の電界測定装置の概略図である。

【図17】特許文献3の電界測定装置の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

例示的な電界測定装置の様々な実施形態が、図面を参照して説明される。以下に説明される実施形態において、同一の構成要素に対して同一の符号が付されている。説明の明瞭化のため、重複する説明は省略される。図面に示される構成、配置或いは形状並びに図面に関連する記載は、単に本実施形態の原理を容易に理解させることを目的とする。したがって、以下の実施形態の原理は、これらに何ら限定されない。「上」、「下」、「左」や「右」といった方向を表す用語は、単に、説明の明瞭化を目的とする。したがって、これらの用語は、限定的に解釈されるべきものではない。

30

【0015】

<本発明者等によって見出された従来技術の問題点>

本発明者等は、従来の電界検出技術を研究し、様々な課題を見出した。後述の様々な実施形態によって説明される電界測定装置は、これらの課題を解消すべく開発されている。

【0016】

40

（特許文献1の電界検出技術が内包する課題）

図15は、特許文献1の電界測定装置900の概略図である。図15を参照して、特許文献1の電界測定装置900が有する課題が説明される。

【0017】

光源910と、コリメートレンズ920と、電気光学結晶930と、偏向ビームスプリッタ940と、集光レンズ951、952と、光検出器961、962と、信号電極971と、グランド電極972と、を備える。測定対象物（図示せず）の電界は、信号電極971を通じて、電気光学結晶930に結合される。この結果、電気光学結晶930の光学特性は、光源910から出射されたレーザ光の伝搬経路に亘って略一様に変化する。

【0018】

50

光学特性の変化の後、光源 910 はレーザ光をコリメートレンズ 920 に向けて出射する。コリメートレンズ 920 は、レーザ光を平行光にする。その後、レーザ光は、電気光学結晶 930 へ入射する。

【0019】

電気光学結晶 930 は、レーザ光の偏光状態を変化させる。その後、レーザ光は、電気光学結晶 930 から偏向ビームスプリッタ 940 へ出射される。偏向ビームスプリッタ 940 は、レーザ光を P 波と S 波とに分離する。P 波は、集光レンズ 951 を通じて、光検出器 961 に到達する。S 波は、集光レンズ 952 を通じて、光検出器 962 に到達する。

【0020】

光検出器 961 は、P 波の光強度に応じた電気信号を出力する。光検出器 962 は、S 波の光強度に応じた電気信号を出力する。電界測定装置 900 は、これらの電気信号を解析し、測定対象物の電界を測定する。

【0021】

電気光学結晶 930 から出射されたレーザ光の強度は、電界測定装置 900 の周囲の温度の変化に影響を受けやすい。したがって、電界測定装置 900 は、電界を高感度に測定することはできない。

【0022】

電気光学結晶 930 の光学特性の変化の前後間での位相変化量は非常に小さい。したがって、光検出器 961、962 が生成する電気信号の振幅は非常に小さくなる。光検出器 961、962 が大きな振幅の電気信号を生成するためには、電気光学結晶 930 は、レーザ光の伝搬方向に長い寸法を有する必要がある。この結果、設計者は、電界測定装置 900 に大きな寸法を与えることとなる。電気光学結晶 930 として、大きく且つ高品質の結晶体が利用されるならば、電界測定装置 900 の製造コストは非常に高くなる。

【0023】

(特許文献 2 の電界検出技術が内包する課題)

図 16 は、特許文献 2 の電界測定装置 901 の概略図である。図 16 を参照して、特許文献 2 の電界測定装置 901 が有する課題が説明される。

【0024】

電界測定装置 901 は、基板 931 と、光導波路 932 と、を備える。基板 931 は、電気光学結晶から形成される。光導波路 932 は、基板 931 上に形成される。光導波路 932 は、上流導波路 933 と、分岐導波路 934、935 と、下流導波路 936 と、を含む。基板 931 及び光導波路 932 は、マッハツェンダー干渉計を形成する。

【0025】

電界測定装置 901 は、光ファイバ 921、922 と、電極 973、974 と、アンテナ 981、982 と、を備える。光は、光ファイバ 921 を通じて、上流導波路 933 へ伝搬する。その後、光は、分岐導波路 934 に沿って伝搬する光と、分岐導波路 935 に沿って伝搬する光と、に分けられる。分岐導波路 934 に沿って伝搬する光と分岐導波路 935 に沿って伝搬する光との間で光強度における差異はない。その後、分岐導波路 934 に沿って伝搬する光及び分岐導波路 935 に沿って伝搬する光は、下流導波路 936 において合流し、光ファイバ 922 を通じて光検出器 (図示せず) に向けて出射される。

【0026】

分岐導波路 934 は、電極 973、974 の間に延設される。アンテナ 981 は、電極 973 に接続される。アンテナ 982 は、電極 974 に接続される。測定対象物の電界は、アンテナ 981、982 及び電極 973、974 を通じて、分岐導波路 934 に印加される。この結果、分岐導波路 934 の屈折率は変化する。分岐導波路 934 の屈折率の変化の結果、分岐導波路 934、935 間の光路長差も変化する。光検出器は、光路長差の変化を表す電気信号を出力する。この結果、電界測定装置 901 は、測定対象物の電界を測定することができる。しかしながら、特許文献 1 の技術と同様に、電界測定装置 901 は、電界測定装置 901 の周囲の温度の変化に影響を受けやすい。したがって、電界測定

10

20

30

40

50

装置 901 は、電界を高感度に測定することはできない。

【0027】

(特許文献 3 の電界検出技術が内包する課題)

図 17 は、特許文献 3 の電界測定装置 902 の概略図である。図 17 を参照して、特許文献 3 の電界測定装置 902 が有する課題が説明される。

【0028】

電界測定装置 902 は、光ファイバ 923 と、基板 991 と、電極 975, 976 と、アンテナ 983, 984 と、を備える。電界測定装置 902 は、基板 991 上に形成された光導波路 992 を更に備える。光導波路 992 は、主導波路 993 と、分岐導波路 994, 995 と、を含む。主導波路 993 は、光ファイバ 923 に接続される。分岐導波路 994 は、主導波路 993 から分岐し、電極 975, 976 の間を延びる。分岐導波路 995 は、分岐導波路 994 と同様に、主導波路 993 から分岐する。分岐導波路 994, 995 は、拡散型の光導波路である。電界測定装置 902 は、第 1 グレーティング 996 と、第 2 グレーティング 997 と、を更に備える。第 1 グレーティング 996 は、分岐導波路 994 に沿って形成される。第 2 グレーティング 997 は、分岐導波路 995 に沿って形成される。第 1 グレーティング 996 は、波長変調に用いられる。第 2 グレーティング 997 は、温度補償に用いられる。

【0029】

広帯域のスペクトルを有する入射光は、光ファイバ 923 を通じて、主導波路 993 に入射する。入射光は、分岐導波路 994 に沿って伝搬する光と、分岐導波路 995 に沿って伝搬する光と、に分けられる。分岐導波路 994 に沿って伝搬する光は、第 1 グレーティング 996 に入射する。分岐導波路 995 に沿って伝搬する光は、第 2 グレーティング 997 に入射する。第 1 グレーティング 996 及び第 2 グレーティング 997 それぞれは、入射光をブラッグ回折する。ブラッグの回折条件を満たす波長を有する光成分は、第 1 グレーティング 996 及び第 2 グレーティング 997 によって反射される。

【0030】

測定対象物の電界は、アンテナ 983, 984 及び電極 975, 976 を通じて、第 1 グレーティング 996 に印加される。この結果、第 1 グレーティング 996 の屈折率は変化する。したがって、分岐導波路 994 に沿って主導波路 993 へ向かって戻る反射光の波長は、電界の印加に応じて変化する。

【0031】

電界測定装置 902 は、第 2 グレーティング 997 からの反射光の波長を基準として用いて、第 1 グレーティング 996 からの反射光の波長と第 2 グレーティング 997 からの反射光の波長との間の差異を検出する。この結果、電界測定装置 902 は、電界を測定することができる。

【0032】

電界測定装置 902 は、反射光の波長差を検出するための分光装置を必要とする。したがって、電界測定装置 902 は、電界検出の応答性に劣る。加えて、電界測定装置 902 は、大型且つ高価な装置になる。

【0033】

< 第 1 実施形態 >

上述の如く、従来の電界測定装置は、検出精度、小型化及び低廉化において様々な課題を有する。第 1 実施形態において、これらの課題の解消に貢献する電界測定装置が説明される。

【0034】

図 1 は、第 1 実施形態の電界測定装置 100 の概念図である。図 1 を参照して、電界測定装置 100 が説明される。

【0035】

電界測定装置 100 は、光導波路 200 と、電極部 300 と、アンテナ部 400 と、検出部 500 と、印加部 600 と、を備える。電界の検出に用いられる検出光 DL は、光導

10

20

30

40

50

波路 200 に入射する。検出光 DL は、光導波路 200 によって伝送される。その後、検出光 DL は、光導波路 200 から出射される。検出光 DL は、レーザ光であってもよい。代替的に、検出光 DL は、単一の波長を有する他の光であってもよい。本実施形態の原理は、検出光 DL の特定の種類に限定されない。光導波路 200 は、基板（図示せず）の表面に一次元状のリブ、リッジ構造や誘電体ストリップが装荷されたステップ型の光導波路であってもよい。代替的に、光導波路 200 は、光を案内することができる他の構造を有してもよい。本実施形態の原理は、光導波路 200 の特定の構造に限定されない。本実施形態において、伝送光は、光導波路 200 によって伝送される検出光 DL によって例示される。出射光は、光導波路 200 から出射された検出光 DL によって例示される。

【0036】

10

光導波路 200 から出射された検出光 DL は、検出部 500 に入射する。検出部 500 は、検出光 DL の光強度を検出する。

【0037】

電極部 300 は、検出光 DL の伝送経路に沿って、光導波路 200 の光学特性に周期的な変動を与えるように形成される。電極部 300 は、楕円形に形成されてもよい。代替的に、電極部 300 は、検出光 DL の伝送経路に沿って繰り返される開口パターンを有してもよい。更に代替的に、電極部 300 は、検出光 DL の伝搬方向において、光導波路 200 の光学特性に周期的な変動を与える他の形状を有してもよい。本実施形態の原理は、電極部 300 の特定の形状に何ら限定されない。

【0038】

20

アンテナ部 400 は、測定対象物の電界を光導波路 200 に結合させる第 1 状態と、測定対象物の電界が光導波路 200 から切り離された第 2 状態と、を設定する。電界測定装置 100 を使用する使用者は、アンテナ部 400 を測定対象物に近づけることによって、第 1 状態を設定してもよい。使用者は、アンテナ部 400 を測定対象物から離すことによって、第 2 状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部 400 と印加部 600 との電氣的な接続を変更し、電界の結合状態を第 1 状態と第 2 状態との間で切り替えてもよい。本実施形態の原理は、電界の結合状態を切り替えるための特定の技術に限定されない。アンテナ部 400 は、金属板を含んでもよい。代替的に、アンテナ部 400 は、ロッドアンテナ、折り返しアンテナや測定対象物の電界と良好に電磁界結合できる他の構造を有してもよい。本実施形態の原理は、アンテナ部 400 の特定の構造に限定されない。

30

【0039】

印加部 600 は、電極部 300 に電圧を印加する。この結果、電極部 300 の形状に起因して、光導波路 200 の光学特性は、検出光 DL の伝送方向に沿って、周期的に変動する。

【0040】

検出部 500 は、第 1 状態下において検出された検出光 DL の強度を表す第 1 信号 FS と、第 2 状態下において検出された検出光 DL の強度を表す第 2 信号 SS と、を生成する。第 1 信号 FS は、測定対象物の電界を表す検出信号として、電界測定装置 100 から出力される。第 2 信号 SS は、検出部 500 から印加部 600 へ出力される。

【0041】

40

印加部 600 は、設定部 610 と、出力部 620 と、を含む。使用者が、アンテナ部 400 を操作し、第 2 状態を設定すると、第 2 信号 SS は、検出部 500 から設定部 610 に出力される。設定部 610 は、第 2 信号 SS に応じて、基準電圧を設定する。

【0042】

出力部 620 は、電極部 300 に電圧を印加する。使用者が、アンテナ部 400 を操作し、第 2 状態を設定すると、設定部 610 は、出力部 620 を通じて電極部 300 に印加される電圧の大きさを変化させる。この間、設定部 610 は、電圧の大きさの変化に応じて変化する第 2 信号 SS から、光導波路 200 の反射率を極大化する電圧値を見出してもよい。設定部 610 は、反射率を極大化する電圧値を基準電圧として設定してもよい。尚、「反射率を極大化する電圧値」との用語は、反射率の極大値をもたらす電圧値だけでな

50

く、反射率の極大値をもたらす電圧値に近い電圧値をも意味してもよい。

【 0 0 4 3 】

代替的に、設定部 6 1 0 は、電圧の大きさの変化に応じて変化する第 2 信号 S S から、光導波路 2 0 0 の反射率の変化を極大化する電圧値を見出してもよい。設定部 6 1 0 は、反射率の変化を極大化する電圧値を基準電圧として設定してもよい。尚、「反射率の変化を極大化する電圧値」との用語は、反射率の変化の極大値をもたらす電圧値だけでなく、反射率の変化の極大値をもたらす電圧値に近い電圧値をも意味してもよい。

【 0 0 4 4 】

更に代替的に、設定部 6 1 0 は、電圧の大きさの変化に応じて変化する第 2 信号 S S から、光導波路 2 0 0 の反射率と光導波路 2 0 0 の透過率との間の差異を極小化する電圧値を見出してもよい。設定部 6 1 0 は、光導波路 2 0 0 の反射率と光導波路 2 0 0 の透過率との間の差異を極小化する電圧値を基準電圧として設定してもよい。尚、「反射率と透過率との間の差異を極小化する電圧値」との用語は、反射率と透過率との間の差異の極小値をもたらす電圧値だけでなく、反射率と透過率との間の差異の極小値をもたらす電圧値に近い電圧値をも意味してもよい。

10

【 0 0 4 5 】

上述の如く、設定部 6 1 0 は、様々な設定手法を用いて、基準電圧を設定することができる。したがって、本実施形態の原理は、基準電圧を設定するための特定の技術に限定されない。

【 0 0 4 6 】

20

使用者が、アンテナ部 4 0 0 を操作し、第 1 状態を設定すると、測定対象物の電界は、光導波路 2 0 0 及び電極部 3 0 0 に印加される。この結果、電極部 3 0 0 に誘起電圧が生ずる。この間、設定部 6 1 0 は、基準電圧を出力部 6 2 0 へ出力する。アンテナ部 4 0 0 に接続された出力部 6 2 0 は、基準電圧と測定対象物の電界の印加によって生じた誘起電圧と差に相当する差分電圧を電極部 3 0 0 に印加する。

【 0 0 4 7 】

出力部 6 2 0 が差分電圧を印加している間に検出部 5 0 0 が出力した第 1 信号 F S によって、測定対象物の電界が精度よく測定される。基準電圧が用いられるので、電界測定装置 1 0 0 は、温度変化といった環境的な変動因子に影響されにくい。

【 0 0 4 8 】

30

< 第 2 実施形態 >

設計者は、第 1 実施形態に関連して説明された設計原理に基づいて、様々な電界測定装置を設計することができる。第 2 実施形態において、例示的な電界測定装置が説明される。

【 0 0 4 9 】

図 2 は、第 2 実施形態の電界測定装置 1 0 0 A の概略的なブロック図である。図 1 及び図 2 を参照して、電界測定装置 1 0 0 A が説明される。

【 0 0 5 0 】

電界測定装置 1 0 0 A は、光源 1 1 0 と、電界測定素子 1 2 0 と、アンテナ部 4 0 0 A と、光検出器 5 0 0 A と、出力ポート 5 1 0 と、電圧印加装置 6 1 0 A と、差分回路 6 2 0 A と、を備える。光源 1 1 0 は、電界測定素子 1 2 0 へ入射する入射光 I L を生成する。入射光 I L が、レーザ光であるならば、光源 1 1 0 として、レーザ光源が用いられてもよい。入射光 I L が、単一波長を有する光であるならば、光源 1 1 0 として、発光ダイオードが用いられてもよい。本実施形態の原理は、光源 1 1 0 の特定の種類に限定されない。本実施形態において、光源部は、光源 1 1 0 によって例示される。

40

【 0 0 5 1 】

入射光 I L は、電界測定素子 1 2 0 によって伝送される伝送光となる。その後、伝送光は、電界測定素子 1 2 0 を透過した透過光 T L として光検出器 5 0 0 A に向けて出射される。光検出器 5 0 0 A は、透過光 T L の強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、出力ポート 5 1 0 を通じて、電界測定装置 1 0 0 A から出力される。加えて、検出信号は、

50

電圧印加装置 610A に出力される。光検出器 500A 及び出力ポート 510 は、図 1 を参照して説明された検出部 500 に対応する。

【0052】

光検出器 500A に接続された電圧印加装置 610A は、基準電圧の設定及び出力のために用いられる。電圧印加装置 610A は、図 1 を参照して説明された設定部 610 に対応する。差分回路 620A は、電圧印加装置 610A とアンテナ部 400A とに接続される。

【0053】

アンテナ部 400A は、第 1 状態と第 2 状態とを選択的に設定するために用いられる。アンテナ部 400A が第 1 状態を設定したとき、差分回路 620A は、電圧印加装置 610A から出力された基準電圧とアンテナ部 400A によって生じた誘起電圧との差に相当する差分電圧を電界測定素子 120 に印加する。アンテナ部 400A は、図 1 を参照して説明されたアンテナ部 400 に対応する。差分回路 620A は、図 1 を参照して説明された出力部 620 に対応する。

【0054】

図 3 は、電界測定素子 120 の概略的な斜視図である。図 1 乃至図 3 を参照して、電界測定素子 120 が説明される。

【0055】

電界測定素子 120 は、基板 130 と、光導波路 200A と、パターン電極 300A と、を含む。光導波路 200A は、基板 130 上に形成される。パターン電極 300A は、光導波路 200A 上に形成される。

【0056】

光導波路 200A は、コア層 210 と、クラッド層 221, 222 と、を含む。コア層 210 は、6 つの平坦な面を有する電気光学結晶である。コア層 210 は、クラッド層 221, 222 の間で、入射光 IL の伝搬方向に延びる。コア層 210 は、第 1 端面 211 と、第 1 端面 211 とは反対側の第 2 端面 212 と、を含む。入射光 IL は、第 1 端面 211 に入射する。透過光 TL は、第 2 端面 212 から出射される。コア層 210 によって案内される光の一部は、反射光として、第 1 端面 211 から出射される。光導波路 200A は、図 1 を参照して説明された光導波路 200 に対応する。

【0057】

光導波路 200A とアンテナ部 400A との間のパターン電極 300A は、櫛形に形成される。パターン電極 300A は、矩形状の接続領域 310 と、複数の帯状領域 321 ~ 327 と、略 T 字型の中間領域 330 と、を含む。アンテナ部 400A は、金属板 410 を含む。金属板 410 は、接続領域 310 に接続される。加えて、図 2 を参照して説明された差分回路 620A も接続領域 310 に接続される。複数の帯状領域 321 ~ 327 はそれぞれ、コア層 210 を横切って、光の伝搬方向に交差する（略直交する）方向に延びる。複数の帯状領域 321 ~ 327 は、互いに離間し、光の伝搬方向に略等間隔に整列される。パターン電極 300A は、図 1 を参照して説明された電極部 300 に対応する。本実施形態において、第 1 電極は、複数の帯状領域 321 ~ 327 のうち 1 つによって例示される。第 2 電極は、複数の帯状領域 321 ~ 327 のうち他のもう 1 つによって例示される。第 3 電極は、複数の帯状領域 321 ~ 327 のうち他のもう 1 つによって例示される。

【0058】

本実施形態において、パターン電極 300A は、7 つの帯状領域 321 ~ 327 を含む。代替的に、パターン電極は、2 以上且つ 7 未満の帯状領域を有してもよい。更に代替的に、パターン電極は、7 を超える数の帯状領域を有してもよい。パターン電極を設計する設計者は、電界測定装置に要求される測定精度に適合するように帯状領域の数を決定してもよい。本発明者等によれば、パターン電極が 5 以上の帯状電極を有するならば、電界測定装置は、測定対象物の電界を、十分に精度よく測定することができる。本実施形態の原理は、帯状領域の特定の数に限定されない。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

基板 1 3 0 は、グランドに接続される。したがって、基板 1 3 0 は、パターン電極 3 0 0 A に対するグランド電極として機能することができる。グランドとして、基板 1 3 0 よりも大きな金属が用いられてもよい。この結果、電界は、パターン電極 3 0 0 A から光導波路 2 0 0 A に良好に結合される。尚、基板 1 3 0 とグランドとの接続は、必ずしも必要とされない。本実施形態の原理は、基板 1 3 0 がグランドに接続されるか否かによっては何ら限定されない。

【 0 0 6 0 】

測定対象物の電界が金属板 4 1 0 に印加されると、パターン電極 3 0 0 A に誘起電圧が生ずる。この結果、パターン電極 3 0 0 A が形成された光導波路 2 0 0 A の面に対して略直交する電界がパターン電極 3 0 0 A と基板 1 3 0 との間で生ずる。

10

【 0 0 6 1 】

図 4 は、電界の印加下においてコア層 2 1 0 に生ずる屈折率分布の概略図である。図 3 及び図 4 を参照して、電界の印加下における屈折率分布が説明される。

【 0 0 6 2 】

測定対象物の電界が、アンテナ部 4 0 0 A を通じて、コア層 2 1 0 に結合されると、パターン電極 3 0 0 A の形状（帯状領域 3 2 1 ~ 3 2 7 の配置パターン）に対応する周期的な屈折率分布がコア層 2 1 0 に生ずる。コア層 2 1 0 の屈折率は、帯状領域 3 2 1 ~ 3 2 7 が形成された位置において低くなる。一方、コア層 2 1 0 の屈折率は、帯状領域 3 2 1 ~ 3 2 7 が存在しない位置において高くなる。屈折率の変動幅は、測定対象物の電界の大きさに依存する。

20

【 0 0 6 3 】

透過光の強度及び反射光の強度は、屈折率の変動幅に依存する。したがって、透過光及び / 又は反射光の強度が測定されるならば、測定対象物の電界は、適切に測定される。コア層 2 1 0 中の屈折率分布は、パターン電極 3 0 0 A によって得られる。したがって、本実施形態の原理は、コア層 2 1 0 に利用される電気光学結晶に対する複雑な加工及び高い加工精度を必要としない。

【 0 0 6 4 】

光導波路 2 0 0 A は、エピタキシャル技術によって形成されてもよい。この場合、基板 1 3 0 は、光導波路 2 0 0 A をエピタキシャルな薄膜として形成するのに好適な材料から形成される。したがって、基板 1 3 0 として利用される材料は、光導波路 2 0 0 A として用いられる電気光学結晶と類似の結晶構造を有してもよい。加えて、基板 1 3 0 として利用される材料の格子定数と、光導波路 2 0 0 A として用いられる電気光学結晶との格子定数と、の間の差が 1 0 % 以下となるように、基板 1 3 0 の材料が選択されてもよい。上述の条件の下で、光導波路 2 0 0 A は、エピタキシャル技術によって効率的に形成される。尚、本実施形態の原理は、光導波路 2 0 0 A の材料と基板 1 3 0 の材料との間の特定の関係に限定されない。

30

【 0 0 6 5 】

基板 1 3 0 は、グランド電極として機能する。したがって、基板 1 3 0 の材料は、導電性であってもよい。以下に示される材料は、基板 1 3 0 に好適に利用可能である。

40

- ・ Nb 等がドーブされた SrTiO_3
- ・ Al ドーブ ZnO 、 In_2O_3 、 RuO_2 、 BaPbO_2 、 SrRuO_2 、 Mg_2TiO_4 、 MgTi_2O_4 といった酸化物
- ・ Si、Ge、ダイヤモンドといった単体半導体
- ・ GaAs、GaSb、InP、InSb、AlGaAs といった III - V 系の化合物半導体
- ・ ZnS、ZnSe、ZnTe、CaSe といった II - VI 系の化合物半導体
- ・ Pt、Pd、Al、Ag といった金属
- ・ ニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3)、KTN ($\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$: 但し、 x は、 $0 < x < 1$)、KTP (KTiOPO_4) といっ

50

た電気光学効果を有する電気光学結晶

【0066】

光は、コア層210中で伝搬する。したがって、基板130は、コア層210よりも低い屈折率を有する材料から形成されてもよい。

【0067】

コア層210が酸化物から形成されるならば、基板130は、コア層210の酸化物と同一の酸化物から形成されてもよい。この場合、基板130の材料として、 SrTiO_3 -Nbドープが例示される。

【0068】

パターン電極300Aは、様々な金属（例えば、Al、Ti、Cr、Ni、Cu、Pd、Ag、Ta、W、Pt、Au）やこれらの合金から形成されてもよい。パターン電極300Aは、コア層210よりも低い屈折率を有する透明酸化物（例えば、ITO（酸化インジウムスズ）やAlドープZnO）から形成されてもよい。パターン電極300Aの材料は、光導波路200Aの材料とエピタキシャルな関係を満たしてもよいし、満たさなくてもよい。

10

【0069】

パターン電極300Aが、金属材料から形成され、且つ、光導波路200A中の光の振動数が金属材料のプラズマ振動数を超えるならば、光導波路200A内で伝搬する光の一部は、パターン電極300Aで染み出すことがある。染み出した光成分は、金属材料中のキャリアによって強く吸収されるので、光の伝搬損失は大きくなる。したがって、光の伝搬損失の観点から、透明酸化物（例えば、ITO（酸化インジウムスズ）やAlドープZnO）が、パターン電極300Aの材料として用いられてもよい。

20

【0070】

図4に示される屈折率の周期的な分布は、ブラッグ反射鏡として機能する。したがって、光導波路200A内で伝搬する光の一部は、反射光として、光導波路200Aの第1端面211から出射される。屈折率の周期的な分布によって反射される光の波長は、ブラッグ波長によって決定される。電界の印加下で生ずる屈折率の周期的な変動振幅が一定であるならば、ブラッグ波長は、グレーティング周期と呼ばれる周期（すなわち、パターン電極300Aの構造周期）に依存する。したがって、設計者は、光導波路200Aに沿って伝搬する光の波長にブラッグ波長が略等しくなるように、パターン電極300Aの周期（すなわち、帯状領域321～327の間隔）を決定すればよい。

30

【0071】

製造者は、光導波路200A上に薄膜電極を形成した後、薄膜電極にパターニング加工を施し、パターン電極300Aを作成することができる。

【0072】

コア層210は、電気光学効果を有する電気光学結晶から形成される。コア層210の形成に利用可能な電気光学結晶として、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、KTN（ $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ ；但し、 x は、 $0 < x < 1$ ）やKTPといった様々な電気光学結晶が例示される。これらの電気光学結晶のうちKTNは、大きな電気光学係数を有する。したがって、KTNは、コア層210の材料として好適に利用可能である。

40

【0073】

KTNは、周囲の温度に応じて、立方晶から正方晶に結晶系を変化させる。KTNは、他の温度において、正方晶から菱面体晶に結晶系を変化させる。KTNが、立方晶であるならば、KTNは、大きな二次の電気光学効果を有する。

【0074】

KTNは、立方晶から正方晶への相転移温度に近い温度域において、比誘電率が発散するという現象を引き起こす。二次の電気光学効果は、比誘電率の二乗に比例するので、非常に大きな二次の電気光学効果が、KTNに生ずることとなる。上述のKTNの特性は、他の結晶材料よりも低い印加電圧下で、図4に示される屈折率分布を引き起こすことを可能にする。したがって、KTNが、コア層210に用いられるならば、電界測定装置10

50

0 A は、測定対象物の電界を、高感度に検出することができる。

【0075】

光は、コア層 210 に沿って伝搬する。したがって、クラッド層 221, 222 は、コア層 210 よりも低い屈折率を有する材料から形成される。以下に示される材料は、クラッド層 221, 222 に好適に利用可能である。

・ SiO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 SnO_2 、 Al_2O_3 、 MgO といった酸化物

・ Si、Ge、ダイヤモンドといった単体半導体

・ GaAs、InP、InSb、AlGaAs といった III-V 系の化合物半導体

・ LiNbO_3 、 LiTaO_3 、KTN や KTP といった電気光学効果を有する電気光学結晶

10

【0076】

上述のコア層 210 に利用可能な様々な電気光学結晶の電気光学特性は、温度や湿度の変化に影響を受けやすい。クラッド層 221, 222 は、コア層 210 を少なくとも部分的に取り囲むので、設計者は、クラッド層 221, 222 の材料として、温度や湿度の変化に影響を受けにくい材料を選択し、クラッド層 221, 222 にコア層 210 を保護させてもよい。例えば、設計者は、クラッド層 221, 222 の材料として、温度や湿度の変化に影響されにくい SiO_2 を選択してもよい。

【0077】

図 5 は、電界測定装置 100 A を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。図 2、図 3 及び図 5 を参照して、例示的な電界測定方法が説明される。

20

【0078】

(ステップ S110)

ステップ S110 において、電界測定装置 100 A を使用する使用者は、測定対象物の電界がコア層 210 から切り離された第 2 状態を設定する。このとき、差分回路 620 A の端子は、グランドに接続されている。使用者は、アンテナ部 400 A を、差分回路 620 A から回路的に切り離し、第 2 状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部 400 A を、測定対象物から十分に離間させ、第 2 状態を設定してもよい。その後、ステップ S120 が実行される。

【0079】

30

(ステップ S120)

ステップ S120 において、電圧印加装置 610 A は、差分回路 620 A を通じて、パターン電極 300 A に電圧を印加する。光源 110 は、入射光 IL を生成する。入射光 IL は、コア層 210 に沿って伝搬する。電圧印加装置 610 A からパターン電極 300 A の電圧印加によって、コア層 210 に周期的な屈折率分布が生ずる。コア層 210 に沿って伝搬する光が、ブラッグの回折条件を満たすならば、コア層 210 に沿って伝搬する光は、反射光として第 1 端面 211 から出射される。他の場合には、コア層 210 に沿って伝搬する光は、透過光 TL として第 2 端面 212 から光検出器 500 A に向けて出射される。その後、ステップ S130 が実行される。

【0080】

40

(ステップ S130)

ステップ S130 において、光検出器 500 A は、透過光 TL の強度を測定する。光検出器 500 A は、透過光 TL の強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、光検出器 500 A から電圧印加装置 610 A に出力される。その後、ステップ S140 が実行される。

【0081】

(ステップ S140)

ステップ S140 において、電圧印加装置 610 A は、検出信号を参照し、透過光 TL の強度が最小であるか否かを判定する。電圧印加装置 610 A が、透過光 TL の強度が最小でないと判断するならば、ステップ S150 が実行される。他の場合には、ステップ S

50

160が実行される。

【0082】

(ステップS150)

ステップS150において、電圧印加装置610Aは、電圧値を変更し、パターン電極300Aに電圧を印加する。ステップS130乃至ステップS150の処理ループは、電圧印加装置610Aが、透過光TLの強度が最小であると判定するまで繰り返される。

【0083】

(ステップS160)

ステップS160において、電圧印加装置610Aは、透過光TLの最小の強度を達成することができる電圧を、基準電圧として、差分回路620Aに出力する。使用者は、測定対象物の電界をコア層210に結合させる第1状態を設定する。使用者は、アンテナ部400Aを、差分回路620Aから回路的に接続し、第1状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部400Aを、測定対象物から十分に接近させ、第1状態を設定してもよい。この結果、アンテナ部400Aを通じて誘起電圧が発生する。差分回路620Aは、基準電圧と誘起電圧との差異に相当する差分電圧をパターン電極300Aに印加する。その後、ステップS170が実行される。

【0084】

(ステップS170)

ステップS170において、光検出器500Aは、第1状態下での透過光TLの強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、出力ポート510を通じて、電界測定装置100Aから出力される。

【0085】

図6は、透過光TLの概略的なスペクトル線図である。図2、図3、図5及び図6を参照して、電界測定方法が更に説明される。

【0086】

図6に示される記号「 λ_s 」は、コア層210に沿って伝搬する光の波長を表す。図6の実線は、図5を参照して説明されたステップS130乃至ステップS150の処理ループの実行によって設定された基準電圧の印加下における透過光TLのスペクトル線図を示す。図6に示される如く、ステップS130乃至ステップS150の処理ループの実行によって、電圧印加装置610Aは、ブラッグ波長を、コア層210に沿って伝搬する光の波長に合致させることができる。

【0087】

図6に示される点線は、測定対象物の電界がコア層210に印加されたときの、透過光TLのスペクトルを示す。図6の点線によって示される如く、ブラッグ波長は、測定対象物の電界の強度に応じて変化する。したがって、測定対象物の電界の強度は、第1状態下で光検出器500Aが生成した検出信号と第2状態下で光検出器500Aが生成した検出信号との差によって表される。出力ポート510に接続された外部装置(図示せず:例えば、パーソナルコンピュータ)は、電界の強度と、第1状態下で光検出器500Aが生成した検出信号と第2状態下で光検出器500Aが生成した検出信号との差と、の間の関係を表すデータを予め格納してもよい。外部装置は、第1状態下で光検出器500Aが生成した検出信号と第2状態下で光検出器500Aが生成した検出信号との差を算出し、算出された差分値を、予め格納されたデータと比較してもよい。この結果、測定対象物の電界は、精度よく測定される。

【0088】

ステップS130乃至ステップS150の処理ループ内で電界測定素子120は、基準を得るための参照用素子として機能する。ステップS160及びステップS170において、電界測定素子120は、電界を測定するための測定用素子として機能する。したがって、参照用素子と、参照用素子とは別異の測定用素子と、を必要とする従来の電界測定装置よりも、電界測定装置100Aは、小型であり、且つ、簡素である。

【0089】

ステップS130乃至ステップS150の処理ループは、ブラッグ波長を、様々な温度条件及び様々な湿度条件の下で、コア層210に沿って伝搬する光の波長に合致させることを可能にする。したがって、電界測定装置100Aは、様々な環境条件の下で、測定対象物の電界を精度よく測定することができる。

【0090】

設計者は、分光素子を用いることなく、電界測定装置100Aを設計することができる。したがって、電界測定装置100Aは、応答性のよい電界測定を行うことができる。加えて、設計者は、電界測定装置100Aに小型且つ製造容易な構造を与えることができる。

【0091】

<第3実施形態>

第2実施形態の電界測定装置は、透過光の強度から測定対象物の電界を測定する。代替的に、電界測定装置は、反射光の強度から測定対象物の電界を測定してもよい。第3実施形態において、反射光の強度を検出し、測定対象物の電界を測定する例示的な電界測定装置が説明される。

【0092】

図7は、第3実施形態の電界測定装置100Bの概略的なブロック図である。図1及び図7を参照して、電界測定装置100Bが説明される。第2実施形態及び第3実施形態の間で共通して用いられる符号は、当該共通の符号が付された要素が、第2実施形態と同一の機能を有することを意味する。したがって、第2実施形態の説明は、これらの要素に援用される。

【0093】

第2実施形態と同様に、電界測定装置100Bは、光源110と、電界測定素子120と、アンテナ部400Aと、出力ポート510と、差分回路620Aと、を備える。第2実施形態の説明は、これらの要素に援用される。

【0094】

電界測定装置100Bは、光検出器500Bと、光サーキュレータ520と、電圧印加装置610Bと、を更に備える。光検出器500Bは、出力ポート510と電圧印加装置610Bとに接続される。光サーキュレータ520は、光源110と電界測定素子120との間に配置される。電圧印加装置610Bは、差分回路620Aに接続される。光検出器500B、出力ポート510及び光サーキュレータ520は、図1を参照して説明された検出部500に対応する。電圧印加装置610Bは、図1を参照して説明された設定部610に対応する。

【0095】

第2実施形態と同様に、光源110は、入射光ILを生成する。入射光ILは、光サーキュレータ520を通じて、電界測定素子120に入射する。

【0096】

第2実施形態と同様に、電圧印加装置610Bは、第2状態下において、差分回路620Aを通じて、電界測定素子120に電圧を印加し、ブラッグ波長を、電界測定素子120中を伝搬する光の波長に合致させる。この結果、強い反射光RLが電界測定素子120から出射される。反射光RLは、光サーキュレータ520によって、光検出器500Bへ方向付けられる。この結果、反射光RLは、光検出器500Bに入射する。光検出器500Bは、反射光RLの強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、出力ポート510を通じて、電界測定装置100Bから出力される。

【0097】

その後、使用者は、アンテナ部400Aを操作し、測定対象物の電界を電界測定素子120に結合させ、第1状態を設定する。この結果、ブラッグ波長は変化する。したがって、光検出器500Bが検出する反射光RLの強度も変化する。光検出器500Bは、反射光RLの強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、出力ポート510を通じて、電界測定装置100Bから出力される。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

第 2 実施形態と同様に、第 1 状態下において出力された検出信号と、第 2 状態下において出力された検出信号との差異は、測定対象物の電界の強さを反映する。したがって、電界測定装置 1 0 0 B は、測定対象物の電界の強さを精度よく測定することができる。

【 0 0 9 9 】

図 8 は、電界測定装置 1 0 0 B を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。図 3、図 6 乃至図 8 を参照して、例示的な電界測定方法が説明される。

【 0 1 0 0 】

(ステップ S 2 1 0)

ステップ S 2 1 0 において、電界測定装置 1 0 0 B を使用する使用者は、測定対象物の電界がコア層 2 1 0 から切り離された第 2 状態を設定する。このとき、差分回路 6 2 0 A の端子は、グランドに接続されている。使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、差分回路 6 2 0 A から回路的に切り離し、第 2 状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、測定対象物から十分に離間させ、第 2 状態を設定してもよい。その後、ステップ S 2 2 0 が実行される。

10

【 0 1 0 1 】

(ステップ S 2 2 0)

ステップ S 2 2 0 において、電圧印加装置 6 1 0 B は、差分回路 6 2 0 A を通じて、パターン電極 3 0 0 A に電圧を印加する。光源 1 1 0 は、入射光 I L を生成する。入射光 I L は、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する。電圧印加装置 6 1 0 B からパターン電極 3 0 0 A の電圧印加によって、コア層 2 1 0 に周期的な屈折率分布が生ずる。コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光が、プラグの回折条件を満たすならば、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光は、反射光 R L として第 1 端面 2 1 1 から出射される。反射光 R L は、その後、サーキュレータ 5 2 0 を通じて光検出器 5 0 0 B へ出射される。他の場合には、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光は、透過光として第 2 端面 2 1 2 から出射される。その後、ステップ S 2 3 0 が実行される。

20

【 0 1 0 2 】

(ステップ S 2 3 0)

ステップ S 2 3 0 において、光検出器 5 0 0 B は、反射光 R L の強度を測定する。光検出器 5 0 0 B は、反射光 R L の強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、光検出器 5 0 0 B から電圧印加装置 6 1 0 B に出力される。その後、ステップ S 2 4 0 が実行される。

30

【 0 1 0 3 】

(ステップ S 2 4 0)

ステップ S 2 4 0 において、電圧印加装置 6 1 0 B は、検出信号を参照し、反射光 R L の強度が最大であるか否かを判定する。電圧印加装置 6 1 0 B が、反射光 R L の強度が最大でないと判断するならば、ステップ S 2 5 0 が実行される。他の場合には、ステップ S 2 6 0 が実行される。

【 0 1 0 4 】

(ステップ S 2 5 0)

ステップ S 2 5 0 において、電圧印加装置 6 1 0 B は、電圧値を変更し、パターン電極 3 0 0 A に電圧を印加する。ステップ S 2 3 0 乃至ステップ S 2 5 0 の処理ループは、電圧印加装置 6 1 0 B が、反射光 R L の強度が最大であると判定するまで繰り返される。

40

【 0 1 0 5 】

(ステップ S 2 6 0)

ステップ S 2 6 0 において、電圧印加装置 6 1 0 B は、反射光 R L の最大の強度を達成することができる電圧を、基準電圧として、差分回路 6 2 0 A に出力する。使用者は、測定対象物の電界をコア層 2 1 0 に結合させる第 1 状態を設定する。使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、差分回路 6 2 0 A から回路的に接続し、第 1 状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、測定対象物から十分に接近させ、第 1 状態を設定

50

してもよい。この結果、アンテナ部 400A を通じて誘起電圧が発生する。差分回路 620A は、基準電圧と誘起電圧との差異に相当する差分電圧をパターン電極 300A に印加する。その後、ステップ S270 が実行される。

【0106】

(ステップ S270)

ステップ S270 において、光検出器 500B は、第 1 状態下での反射光 RL の強度を表す検出信号を生成する。検出信号は、出力ポート 510 を通じて、電界測定装置 100B から出力される。

【0107】

反射光 RL の強度は、図 6 に示される透過光の強度とは、反対の関係を有する。すなわち、コア層 210 に沿って伝搬する光の波長が「 λ_s 」であるとき、反射光 RL の強度は、第 2 状態下で、最大化される。

【0108】

電圧印加装置 610B は、ステップ S230 乃至ステップ S250 の処理ループを実行し、ブラッグ波長を、コア層 210 に沿って伝搬する光の波長に合致させる。この結果、コア層 210 に沿って伝搬する光の波長が「 λ_s 」であるとき、反射光 RL の強度は、最大化される。

【0109】

第 2 実施形態に関連して説明された如く、ブラッグ波長は、測定対象物の電界の強度に応じて変化する。したがって、測定対象物の電界の強度は、第 1 状態下で光検出器 500B が生成した検出信号と第 2 状態下で光検出器 500B が生成した検出信号との差によって表される。出力ポート 510 に接続された外部装置（図示せず：例えば、パーソナルコンピュータ）は、電界の強度と、第 1 状態下で光検出器 500B が生成した検出信号と第 2 状態下で光検出器 500B が生成した検出信号との差と、の間の関係を表すデータを予め格納してもよい。外部装置は、第 1 状態下で光検出器 500B が生成した検出信号と第 2 状態下で光検出器 500B が生成した検出信号との差を算出し、算出された差分値を、予め格納されたデータと比較してもよい。この結果、測定対象物の電界は、精度よく測定される。

【0110】

ステップ S230 乃至ステップ S250 の処理ループ内で電界測定素子 120 は、基準を得るための参照用素子として機能する。ステップ S260 及びステップ S270 において、電界測定素子 120 は、電界を測定するための測定用素子として機能する。したがって、参照用素子と、参照用素子とは別異の測定用素子と、を必要とする従来の電界測定装置よりも、電界測定装置 100B は、小型であり、且つ、簡素である。

【0111】

ステップ S230 乃至ステップ S250 の処理ループは、ブラッグ波長を、様々な温度条件及び様々な湿度条件の下で、コア層 210 に沿って伝搬する光の波長に合致させることを可能にする。したがって、電界測定装置 100B は、様々な環境条件の下で、測定対象物の電界を精度よく測定することができる。

【0112】

設計者は、分光素子を用いることなく、電界測定装置 100B を設計することができる。したがって、電界測定装置 100B は、応答性のよい電界測定を行うことができる。加えて、設計者は、電界測定装置 100B に小型且つ製造容易な構造を与えることができる。

【0113】

< 第 4 実施形態 >

第 2 実施形態の電界測定装置は、透過光の強度から測定対象物の電界を測定する。第 3 実施形態の電界測定装置は、透過光の強度から測定対象物の電界を測定する。代替的に、電界測定装置は、透過光及び反射光の強度から測定対象物の電界を測定してもよい。第 4 実施形態において、透過光及び反射光の強度を検出し、測定対象物の電界を測定する例示

10

20

30

40

50

的な電界測定装置が説明される。

【 0 1 1 4 】

図 9 は、第 4 実施形態の電界測定装置 1 0 0 C の概略的なブロック図である。図 1 及び図 9 を参照して、電界測定装置 1 0 0 C が説明される。第 2 実施形態乃至第 4 実施形態の間で共通して用いられる符号は、当該共通の符号が付された要素が、第 2 実施形態又は第 3 実施形態と同一の機能を有することを意味する。したがって、第 2 実施形態又は第 3 実施形態の説明は、これらの要素に援用される。

【 0 1 1 5 】

第 2 実施形態と同様に、電界測定装置 1 0 0 C は、光源 1 1 0 と、電界測定素子 1 2 0 と、アンテナ部 4 0 0 A と、出力ポート 5 1 0 と、差分回路 6 2 0 A と、を備える。第 2 実施形態の説明は、これらの要素に援用される。

10

【 0 1 1 6 】

第 3 実施形態と同様に、電界測定装置 1 0 0 C は、光サーキュレータ 5 2 0 を更に備える。第 3 実施形態の説明は、光サーキュレータ 5 2 0 に援用される。

【 0 1 1 7 】

電界測定装置 1 0 0 C は、第 1 光検出器 5 0 1 と、第 2 光検出器 5 0 2 と、差動増幅装置 5 3 0 と、電圧印加装置 6 1 0 C と、を更に備える。第 1 光検出器 5 0 1 及び第 2 光検出器 5 0 2 は、差動増幅装置 5 3 0 に接続される。差動増幅装置 5 3 0 は、出力ポート 5 1 0 と電圧印加装置 6 1 0 C とに接続される。第 1 光検出器 5 0 1、第 2 光検出器 5 0 2、出力ポート 5 1 0、光サーキュレータ 5 2 0 及び差動増幅装置 5 3 0 は、図 1 を参照して説明された検出部 5 0 0 に対応する。電圧印加装置 6 1 0 C は、図 1 を参照して説明された設定部 6 1 0 に対応する。

20

【 0 1 1 8 】

第 1 光検出器 5 0 1 は、電界測定素子 1 2 0 を透過した透過光 T L を受ける。第 1 光検出器 5 0 1 は、透過光 T L の強度を表す第 1 検出信号 F D S を生成する。第 1 検出信号 F D S は、第 1 光検出器 5 0 1 から差動増幅装置 5 3 0 へ出力される。本実施形態において、第 1 電気信号は、第 1 検出信号 F D S によって例示される。第 1 光検出部は、第 1 光検出器 5 0 1 によって例示される。

【 0 1 1 9 】

光サーキュレータ 5 2 0 は、電界測定素子 1 2 0 から出射された反射光 R L を、第 2 光検出器 5 0 2 へ方向付ける。したがって、第 2 光検出器 5 0 2 は、反射光 R L を受ける。第 2 光検出器 5 0 2 は、反射光 R L の強度を表す第 2 検出信号 S D S を生成する。第 2 検出信号 S D S は、第 2 光検出器 5 0 2 から差動増幅装置 5 3 0 へ出力される。本実施形態において、第 2 電気信号は、第 2 検出信号 S D S によって例示される。第 2 光検出部は、第 2 光検出器 5 0 2 によって例示される。

30

【 0 1 2 0 】

差動増幅装置 5 3 0 は、第 1 検出信号 F D S と第 2 検出信号 S D S とに対して差分演算処理を行う。差動増幅装置 5 3 0 は、第 1 検出信号 F D S と第 2 検出信号 S D S との間の差分を増幅する。本実施形態において、増幅部は、差動増幅装置 5 3 0 によって例示される。

40

【 0 1 2 1 】

図 1 0 は、電界測定装置 1 0 0 C を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。図 3、図 6、図 9 及び図 1 0 を参照して、例示的な電界測定方法が説明される。

【 0 1 2 2 】

(ステップ S 3 1 0)

ステップ S 3 1 0 において、電界測定装置 1 0 0 C を使用する使用者は、測定対象物の電界がコア層 2 1 0 から切り離された第 2 状態を設定する。このとき、差分回路 6 2 0 A の端子は、グランドに接続されている。使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、差分回路 6 2 0 A から回路的に切り離し、第 2 状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ

50

部 4 0 0 A を、測定対象物から十分に離間させ、第 2 状態を設定してもよい。その後、ステップ S 3 2 0 が実行される。

【 0 1 2 3 】

(ステップ S 3 2 0)

ステップ S 3 2 0 において、電圧印加装置 6 1 0 C は、差分回路 6 2 0 A を通じて、パターン電極 3 0 0 A に電圧を印加する。光源 1 1 0 は、入射光 I L を生成する。入射光 I L は、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する。電圧印加装置 6 1 0 C からパターン電極 3 0 0 A の電圧印加によって、コア層 2 1 0 に周期的な屈折率分布が生ずる。コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光が、プラグの回折条件を満たすならば、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光は、反射光 R L として第 1 端面 2 1 1 から光サーキュレータ 5 2 0 を通じて第 2 光検出器 5 0 2 に向けて出射される。他の場合には、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光は、透過光 T L として第 2 端面 2 1 2 から第 1 光検出器 5 0 1 に向けて出射される。その後、ステップ S 3 3 0 が実行される。

10

【 0 1 2 4 】

(ステップ S 3 3 0)

ステップ S 3 3 0 において、第 1 光検出器 5 0 1 は、透過光 T L の強度を表す第 1 検出信号 F D S を生成する。第 1 検出信号 F D S は、第 1 光検出器 5 0 1 から差動増幅装置 5 3 0 へ出力される。第 2 光検出器 5 0 2 は、反射光 R L の強度を表す第 2 検出信号 S D S を生成する。第 2 検出信号 S D S は、第 2 光検出器 5 0 2 から差動増幅装置 5 3 0 へ出力される。その後、ステップ S 3 4 0 が実行される。

20

【 0 1 2 5 】

(ステップ S 3 4 0)

ステップ S 3 4 0 において、差動増幅装置 5 3 0 は、第 1 検出信号 F D S と第 2 検出信号 S D S とに対して差分演算処理を行う。差動増幅装置 5 3 0 は、第 1 検出信号 F D S と第 2 検出信号 S D S との間の差分を増幅し、増幅信号 A S を生成する。増幅信号 A S は、差動増幅装置 5 3 0 から電圧印加装置 6 1 0 C 及び出力ポート 5 1 0 へ出力される。その後、ステップ S 3 5 0 が実行される。

【 0 1 2 6 】

(ステップ S 3 5 0)

ステップ S 3 5 0 において、電圧印加装置 6 1 0 C は、増幅信号 A S を参照し、増幅信号 A S が最大であるか否かを判定する。電圧印加装置 6 1 0 C が、増幅信号 A S が最大でないと判断するならば、ステップ S 3 6 0 が実行される。他の場合には、ステップ S 3 7 0 が実行される。

30

【 0 1 2 7 】

(ステップ S 3 6 0)

ステップ S 3 6 0 において、電圧印加装置 6 1 0 C は、電圧値を変更し、パターン電極 3 0 0 A に電圧を印加する。ステップ S 3 3 0 乃至ステップ S 3 6 0 の処理ループは、電圧印加装置 6 1 0 C が、増幅信号 A S が最大であると判定するまで繰り返される。

【 0 1 2 8 】

(ステップ S 3 7 0)

ステップ S 3 7 0 において、電圧印加装置 6 1 0 C は、増幅信号 A S が最大となる電圧を、基準電圧として、差分回路 6 2 0 A に出力する。使用者は、測定対象物の電界をコア層 2 1 0 に結合させる第 1 状態を設定する。使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、差分回路 6 2 0 A から回路的に接続し、第 1 状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部 4 0 0 A を、測定対象物から十分に接近させ、第 1 状態を設定してもよい。この結果、アンテナ部 4 0 0 A を通じて誘起電圧が発生する。差分回路 6 2 0 A は、基準電圧と誘起電圧との差異に相当する差分電圧をパターン電極 3 0 0 A に印加する。その後、ステップ S 3 8 0 が実行される。

40

【 0 1 2 9 】

(ステップ S 3 8 0)

50

ステップS380において、第1光検出器501は、第1状態下での透過光TLの強度を表す第1検出信号FDSを生成する。第1検出信号FDSは、第1光検出器501から差動増幅装置530へ出力される。第2光検出器502は、第2状態下での反射光RLの強度を表す第2検出信号SDSを生成する。第2検出信号SDSは、第2光検出器502から差動増幅装置530へ出力される。その後、ステップS390が実行される。

【0130】

(ステップS390)

ステップS390において、差動増幅装置530は、第1検出信号FDSと第2検出信号SDSとに対して差分演算処理を行う。差動増幅装置530は、第1検出信号FDSと第2検出信号SDSとの間の差分を増幅し、増幅信号ASを生成する。増幅信号ASは、10

【0131】

増幅信号ASが最大化されるとき、ブラッグ波長は、コア層210に沿って伝搬する光の波長「 λ_s 」に合致する。すなわち、第1光検出器501が検出する透過光TLの強度は最小化される一方で、第2光検出器502が検出する反射光RLの強度は最大化される。

【0132】

電圧印加装置610Cは、ステップS330乃至ステップS360の処理ループを実行し、ブラッグ波長を、コア層210に沿って伝搬する光の波長に合致させる。この結果、コア層210に沿って伝搬する光の波長が「 λ_s 」であるとき、増幅信号ASは、20

【0133】

第2実施形態に関連して説明された如く、ブラッグ波長は、測定対象物の電界の強度に応じて変化する。したがって、測定対象物の電界の強度は、第1状態下で差動増幅装置530が生成した増幅信号ASと第2状態下で差動増幅装置530が生成した増幅信号ASとの差によって表される。出力ポート510に接続された外部装置（図示せず：例えば、パーソナルコンピュータ）は、電界の強度と、第1状態下で差動増幅装置530が生成した増幅信号ASと第2状態下で差動増幅装置530が生成した増幅信号ASとの差と、間の関係を表すデータを予め格納してもよい。外部装置は、第1状態下で差動増幅装置530が生成した増幅信号ASと第2状態下で差動増幅装置530が生成した増幅信号AS30

【0134】

電界測定装置100Cは、差動増幅装置530を用いて電界を測定するので、電界測定装置100Cは、第2実施形態及び第3実施形態に関連して説明された検出技術の2倍の振幅を有する信号を用いて、電界を測定することができる。したがって、光源110から出射される光の雑音は、相対的に低減される。この結果、電界測定装置100Cは、測定対象物の電界を精度よく測定することができる。

【0135】

ステップS330乃至ステップS360の処理ループ内で電界測定素子120は、基準を得るための参照用素子として機能する。ステップS380及びステップS390において、電界測定素子120は、電界を測定するための測定用素子として機能する。したがって、参照用素子と、参照用素子とは別異の測定用素子と、を必要とする従来の電界測定装置よりも、電界測定装置100Cは、小型であり、且つ、簡素である。40

【0136】

ステップS330乃至ステップS360の処理ループは、ブラッグ波長を、様々な温度条件及び様々な湿度条件の下で、コア層210に沿って伝搬する光の波長に合致させることを可能にする。したがって、電界測定装置100Cは、様々な環境条件の下で、測定対象物の電界を精度よく測定することができる。

【0137】

設計者は、分光素子を用いることなく、電界測定装置 100C を設計することができる。したがって、電界測定装置 100C は、応答性のよい電界測定を行うことができる。加えて、設計者は、電界測定装置 100C に小型且つ製造容易な構造を与えることができる。

【0138】

< 第5実施形態 >

第4実施形態において、電界測定装置は、差動増幅装置が生成する増幅信号が最大となる電圧を基準電圧として設定する。代替的に、電界測定装置は、差動増幅装置が生成する増幅信号が最小となる電圧を基準電圧として設定してもよい。第5実施形態において、差動増幅装置が生成する増幅信号が最小となる電圧を基準電圧として設定する電界測定装置が説明される。

10

【0139】

図11は、図9を参照して説明された電界測定装置 100C の電界測定素子 120 から出射された透過光 TL の概略的なスペクトル線図である。図3、図9及び図11を参照して、電界測定装置 100C の動作が説明される。

【0140】

図11に示される記号「 λ_s 」は、コア層 210 に沿って伝搬する光の波長を表す。電圧印加装置 610C は、電界測定素子 120 から出射される透過光 TL の強度を、電界測定素子 120 から出射される反射光 RL の強度に略一致させる電圧を基準電圧として設定する。すなわち、電圧印加装置 610C は、差動増幅装置 530 が生成する増幅信号 AS を最小化する電圧を基準電圧として設定する。

20

【0141】

電圧印加装置 610C は、差分回路 620A を通じて、パターン電極 300A に基準電圧を印加する。使用者が、アンテナ部 400A を用いて、第1状態を設定すると、電界は、コア層 210 に結合する。この結果、図11の点線によって表されるように、電界測定素子 120 から出射される透過光 TL 及び反射光 RL の強度はそれぞれ変化する。透過光 TL 及び反射光 RL の強度の変化に応じて、差動増幅装置 530 から出力される増幅信号 AS も変化する。

【0142】

図12は、電界測定装置 100C を用いた例示的な電界測定方法の概略的なフローチャートである。図3、図11、図9乃至図12を参照して、例示的な電界測定方法が説明される。

30

【0143】

(ステップ S410)

ステップ S410 において、電界測定装置 100C を使用する使用者は、測定対象物の電界がコア層 210 から切り離された第2状態を設定する。このとき、差分回路 620A の端子は、グランドに接続されている。使用者は、アンテナ部 400A を、差分回路 620A から回路的に切り離し、第2状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部 400A を、測定対象物から十分に離間させ、第2状態を設定してもよい。その後、ステップ S420 が実行される。

40

【0144】

(ステップ S420)

ステップ S420 において、電圧印加装置 610C は、差分回路 620A を通じて、パターン電極 300A に電圧を印加する。光源 110 は、入射光 IL を生成する。入射光 IL は、コア層 210 に沿って伝搬する。電圧印加装置 610C からパターン電極 300A の電圧印加によって、コア層 210 に周期的な屈折率分布が生ずる。コア層 210 に沿って伝搬する光が、プラグの回折条件を満たすならば、コア層 210 に沿って伝搬する光は、反射光 RL として第1端面 211 から光サーキュレータ 520 を通じて第2光検出器 502 へ出射される。他の場合には、コア層 210 に沿って伝搬する光は、透過光 TL として第2端面 212 から第1光検出器 501 に向けて出射される。その後、ステップ S4

50

30が実行される。

【0145】

(ステップS430)

ステップS430において、第1光検出器501は、透過光TLの強度を表す第1検出信号FDSを生成する。第1検出信号FDSは、第1光検出器501から差動増幅装置530へ出力される。第2光検出器502は、反射光RLの強度を表す第2検出信号SDSを生成する。第2検出信号SDSは、第2光検出器502から差動増幅装置530へ出力される。その後、ステップS440が実行される。

【0146】

(ステップS440)

ステップS440において、差動増幅装置530は、第1検出信号FDSと第2検出信号SDSとに対して差分演算処理を行う。差動増幅装置530は、第1検出信号FDSと第2検出信号SDSとの間の差分を増幅し、増幅信号ASを生成する。増幅信号ASは、差動増幅装置530から電圧印加装置610C及び出力ポート510へ出力される。その後、ステップS450が実行される。

【0147】

(ステップS450)

ステップS450において、電圧印加装置610Cは、増幅信号ASを参照し、増幅信号ASが最小であるか否かを判定する。電圧印加装置610Cが、増幅信号ASが最小でないと判断するならば、ステップS460が実行される。他の場合には、ステップS470が実行される。

【0148】

(ステップS460)

ステップS460において、電圧印加装置610Cは、電圧値を変更し、パターン電極300Aに電圧を印加する。ステップS430乃至ステップS460の処理ループは、電圧印加装置610Cが、増幅信号ASが最小であると判定するまで繰り返される。

【0149】

(ステップS470)

ステップS470において、電圧印加装置610Cは、増幅信号ASが最小となる電圧を、基準電圧として、差分回路620Aに出力する。使用者は、測定対象物の電界をコア層210に結合させる第1状態を設定する。使用者は、アンテナ部400Aを、差分回路620Aから回路的に接続し、第1状態を設定してもよい。代替的に、使用者は、アンテナ部400Aを、測定対象物から十分に接近させ、第1状態を設定してもよい。この結果、アンテナ部400Aを通じて誘起電圧が発生する。差分回路620Aは、基準電圧と誘起電圧との差異に相当する差分電圧をパターン電極300Aに印加する。その後、ステップS480が実行される。

【0150】

(ステップS480)

ステップS480において、第1光検出器501は、第1状態下での透過光TLの強度を表す第1検出信号FDSを生成する。第1検出信号FDSは、第1光検出器501から差動増幅装置530へ出力される。第2光検出器502は、第2状態下での反射光RLの強度を表す第2検出信号SDSを生成する。第2検出信号SDSは、第2光検出器502から差動増幅装置530へ出力される。その後、ステップS490が実行される。

【0151】

(ステップS490)

ステップS490において、差動増幅装置530は、第1検出信号FDSと第2検出信号SDSとに対して差分演算処理を行う。差動増幅装置530は、第1検出信号FDSと第2検出信号SDSとの間の差分を増幅し、増幅信号ASを生成する。増幅信号ASは、差動増幅装置530から電圧印加装置610C及び出力ポート510へ出力される。

【0152】

図 1 1 を参照して説明された如く、ブラッグ波長は、測定対象物の電界の強度に応じて変化する。したがって、測定対象物の電界の強度は、第 1 状態下で差動増幅装置 5 3 0 が生成した増幅信号 A S と第 2 状態下で差動増幅装置 5 3 0 が生成した増幅信号 A S との差によって表される。出力ポート 5 1 0 に接続された外部装置（図示せず：例えば、パーソナルコンピュータ）は、電界の強度と、第 1 状態下で差動増幅装置 5 3 0 が生成した増幅信号 A S と第 2 状態下で差動増幅装置 5 3 0 が生成した増幅信号 A S との差と、の間の関係を表すデータを予め格納してもよい。外部装置は、第 1 状態下で差動増幅装置 5 3 0 が生成した増幅信号 A S と第 2 状態下で差動増幅装置 5 3 0 が生成した増幅信号 A S との差を算出し、算出された差分値を、予め格納されたデータと比較してもよい。この結果、測定対象物の電界は、精度よく測定される。

10

【 0 1 5 3 】

透過光 T L の強度が、反射光 R L の強度に合致するとき、透過光 T L 及び反射光 R S の強度の変化率は最大化される。電圧印加装置 6 1 0 C は、透過光 T L 及び反射光 R S の強度の変化率を最大化する電圧を基準電圧として設定するので、電界測定装置 1 0 0 C は、測定対象物の電界を精度よく測定することができる。

【 0 1 5 4 】

ステップ S 4 3 0 乃至ステップ S 4 6 0 の処理ループ内で電界測定素子 1 2 0 は、基準を得るための参照用素子として機能する。ステップ S 4 8 0 及びステップ S 4 9 0 において、電界測定素子 1 2 0 は、電界を測定するための測定用素子として機能する。したがって、参照用素子と、参照用素子とは別異の測定用素子と、を必要とする従来の電界測定装置よりも、電界測定装置 1 0 0 C は、小型であり、且つ、簡素である。

20

【 0 1 5 5 】

ステップ S 4 3 0 乃至ステップ S 4 6 0 の処理ループは、ブラッグ波長を、様々な温度条件及び様々な湿度条件の下で、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光の波長に合致させることを可能にする。したがって、電界測定装置 1 0 0 C は、様々な環境条件の下で、測定対象物の電界を精度よく測定することができる。

【 0 1 5 6 】

設計者は、分光素子を用いることなく、電界測定装置 1 0 0 C を設計することができる。したがって、電界測定装置 1 0 0 C は、応答性のよい電界測定を行うことができる。加えて、設計者は、電界測定装置 1 0 0 C に小型且つ製造容易な構造を与えることができる。

30

【 0 1 5 7 】

< 第 6 実施形態 >

第 2 実施形態乃至第 5 実施形態において、電界測定装置は、櫛形のパターン電極を用いて、周期的な屈折率分布を生じさせる。代替的に、電界測定装置は、周期的な屈折率分布を生じさせる他のパターン電極を有してもよい。第 6 実施形態において、周期的な屈折率分布を生じさせる開口パターンが形成されたパターン電極が説明される。第 6 実施形態のパターン電極は、第 2 実施形態乃至第 5 実施形態に関連して説明されたパターン電極に代えて利用可能である。

【 0 1 5 8 】

40

図 1 3 は、電界測定素子 1 2 0 D の概略的な斜視図である。図 1 3 を参照して、電界測定素子 1 2 0 D が説明される。第 2 実施形態及び第 6 実施形態の間で共通して用いられる符号は、当該共通の符号が付された要素が、第 2 実施形態と同一の機能を有することを意味する。したがって、第 2 実施形態の説明は、これらの要素に援用される。

【 0 1 5 9 】

第 2 実施形態と同様に、電界測定素子 1 2 0 D は、基板 1 3 0 と、光導波路 2 0 0 A と、を備える。第 2 実施形態の説明は、これらの要素に対して援用される。

【 0 1 6 0 】

電界測定素子 1 2 0 D は、パターン電極 3 0 0 D を含む。パターン電極 3 0 0 D は、光導波路 2 0 0 A 上に形成される。

50

【 0 1 6 1 】

パターン電極 3 0 0 D は、矩形形状の接続領域 3 1 0 を含む。第 2 実施形態の説明は、接続領域 3 1 0 に対して援用される。

【 0 1 6 2 】

パターン電極 3 0 0 D は、主領域 3 2 8 と中間領域 3 3 0 D とを含む。中間領域 3 3 0 D は、主領域 3 2 8 と接続領域 3 1 0 とを繋ぐ。主領域 3 2 8 には、複数の円形の開口部 3 2 9 が形成される。複数の開口部 3 2 9 は、光の伝搬経路に沿って繰り返す複数の三角形の格子パターン T L P を形成する。本実施形態において、電極層は、主領域 3 2 8 によって例示される。

【 0 1 6 3 】

測定対象物の電界が金属板 4 1 0 に印加されると、パターン電極 3 0 0 D に誘起電圧が生ずる。この結果、パターン電極 3 0 0 D が形成された光導波路 2 0 0 A の面に対して略直交する電界がパターン電極 3 0 0 D と基板 1 3 0 との間で生ずる。

【 0 1 6 4 】

この結果、光導波路 2 0 0 A のコア層 2 1 0 に、主領域 3 2 8 の形状に対応する屈折率分布が生ずる。すなわち、高い屈折率が、開口部 3 2 9 が形成された領域に生ずる一方で、低い屈折率は、他の領域に生ずる。パターン電極 3 0 0 D によって引き起こされた屈折率分布は、フォトリソグラフィによる反射鏡として機能する。したがって、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光の少なくとも一部は反射される。屈折率分布は、電界の強さに応じて変化するので、コア層 2 1 0 から出射される反射光及び透過光の割合は、電界の強さに依存する。

【 0 1 6 5 】

電界の印加下で生ずる屈折率の周期的な変動振幅が一定であるならば、屈折率分布の存在下で反射する光の波長は、開口部 3 2 9 の大きさ及び格子パターン T L P の形成周期に依存する。したがって、開口部 3 2 9 の大きさ及び格子パターン T L P の形成周期は、コア層 2 1 0 に沿って伝搬する光の波長に適合するように決定されてもよい。

【 0 1 6 6 】

上述の如く、コア層 2 1 0 の反射率及び透過率は、コア層 2 1 0 に結合される測定対象物の電界の大きさによって変化される。したがって、コア層 2 1 0 から出射される反射光及び透過光のうち少なくとも一方の強度が測定されるならば、測定対象物の電界は、精度よく測定される。したがって、本実施形態の原理は、コア層 2 1 0 に用いられる電気光学結晶に高い精度の加工を要求しない。したがって、設計者は、電界測定装置に小型且つ製造容易な構造を与えることができる。

【 0 1 6 7 】

本実施形態において、三角形の格子パターン T L P を形成する複数の開口部 3 2 9 が利用される。代替的に、コア層 2 1 0 に周期的な屈折率分布を与えることができる他の開口パターンが用いられてもよい。本実施形態の原理は、特定の開口パターンに限定されない。

【 0 1 6 8 】

第 2 実施形態乃至第 5 実施形態と同様に、電界測定素子 1 2 0 D は、基準を得るための参照用素子及び電界を測定するための測定用素子として機能することができる。したがって、電界測定素子 1 2 0 D が組み込まれた電界測定装置は、小型であり、且つ、簡素である。

【 0 1 6 9 】

第 2 実施形態乃至第 5 実施形態と同様に、設計者は、分光素子を用いることなく、電界測定素子 1 2 0 D が組み込まれた電界測定装置を設計することができる。したがって、電界測定装置は、応答性のよい電界測定を行うことができる。

【 0 1 7 0 】

< 第 7 実施形態 >

第 2 実施形態乃至第 6 実施形態において、電界測定素子の基板は、グランド電極として

10

20

30

40

50

機能する。したがって、第2実施形態乃至第6実施形態において、基板は、導電性材料を用いて形成される。しかしながら、基板は、非導電性であってもよい。第7実施形態において、非導電性の基板を用いて形成される電界測定素子が説明される。第7実施形態の電界測定素子は、第2実施形態乃至第5実施形態に関連して説明された電界測定素子に代えて利用可能である。

【0171】

図14は、電界測定素子120Eの概略的な斜視図である。図14を参照して、電界測定素子120Eが説明される。第2実施形態及び第7実施形態の間で共通して用いられる符号は、当該共通の符号が付された要素が、第2実施形態と同一の機能を有することを意味する。したがって、第2実施形態の説明は、これらの要素に援用される。

10

【0172】

第2実施形態と同様に、電界測定素子120Eは、光導波路200Aを備える。第2実施形態の説明は、光導波路200Aに対して援用される。

【0173】

電界測定素子120Eは、基板130Eと、第1パターン電極301と、第2パターン電極302と、を含む。基板130Eは、光導波路200Aを支持する。第1パターン電極301及び第2パターン電極302は、光導波路200A上に形成される。

【0174】

第2実施形態のパターン電極と同様に、第1パターン電極301は、矩形状の接続領域310と、略T字型の中間領域330と、を含む。第2実施形態のパターン電極に関する説明は、これらの要素に援用される。

20

【0175】

第1パターン電極301は、複数の帯状領域341～344を更に含む。複数の帯状領域341～344それぞれは、中間領域330から、コア層210を横切り、クラッド層221へ向けて延びる。複数の帯状領域341～344は、互いに離間し、光の伝搬方向に略等間隔に整列される。

【0176】

第2パターン電極302は、矩形状の接続領域350と、略T字型の中間領域360と、複数の帯状領域371～374と、を含む。接続領域350は、グランドに接続される。したがって、第2パターン電極302は、第1パターン電極301に対して、グランド電極として機能することができる。グランドとして、基板130Eよりも大きな金属が用いられてもよい。この結果、電界は、第1パターン電極301から光導波路200Aに良好に結合される。尚、第2パターン電極302とグランドとの接続は、必ずしも必要とされない。本実施形態の原理は、第2パターン電極302がグランドに接続されるか否かによっては何ら限定されない。

30

【0177】

中間領域360は、接続領域350と、複数の帯状領域371～374と、を接続する。複数の帯状領域371～374それぞれは、中間領域360から、コア層210を横切り、クラッド層222へ向けて延びる。複数の帯状領域371～374は、互いに離間し、光の伝搬方向に略等間隔に整列される。

40

【0178】

第2パターン電極302の帯状領域371は、第1パターン電極301の帯状領域341, 342の間に配置される。第1パターン電極301の帯状領域374は、第2パターン電極302の帯状領域373, 374の間に配置される。

【0179】

第2パターン電極302の帯状領域372は、第1パターン電極301の帯状領域342, 343の間に配置される。第2パターン電極302の帯状領域373は、第1パターン電極301の帯状領域343, 344の間に配置される。

【0180】

上述の如く、第2パターン電極302は、グランド電極として機能するので、基板13

50

0 E は、導電性でなくともよい。したがって、基板 1 3 0 E として、以下の材料が利用されてもよい。

- ・ Al_2O_3 、 MgO 、 SrTiO_3 、 Al ドープ ZnO 、 In_2O_3 、 RuO_2 、 BaPbO_2 、 SrRuO_2 、 Mg_2TiO_4 、 MgTi_2O_4 といった酸化物
- ・ Si 、 Ge 、ダイヤモンドといった単体半導体
- ・ GaAs 、 GaSb 、 InP 、 InSb 、 AlGaAs といった III - V 系の化合物半導体
- ・ ZnS 、 ZnSe 、 ZnTe 、 CaSe といった II - VI 系の化合物半導体
- ・ Pt 、 Pd 、 Al 、 Ag といった金属
- ・ ニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3)、 KTN ($\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$: 但し、 x は、 $0 < x < 1$)、 KTP (KTiOPO_4) といった電気光学効果を有する電気光学結晶

10

【0181】

使用者が、アンテナ部 4 0 0 A の金属板 4 1 0 を測定対象物に近づけると、測定対象物の電界は、金属板 4 1 0 に印加される。この結果、アンテナ部 4 0 0 A に接続された第 1 パターン電極 3 0 1 に誘起電圧が生ずる。この結果、光の伝搬方向に沿う方向の電界が、第 1 パターン電極 3 0 1 と第 2 パターン電極 3 0 2 との間に発生する。

【0182】

コア層 2 1 0 内での電界の発生の結果、第 1 パターン電極 3 0 1 及び第 2 パターン電極 3 0 2 に形状に対応する周期的な屈折率分布がコア層 2 1 0 に生ずる。すなわち、第 1 パターン電極 3 0 1 及び第 2 パターン電極 3 0 2 がともに存在しない領域において、高い屈折率が得られる一方で、第 1 パターン電極 3 0 1 又は第 2 パターン電極 3 0 2 が存在する領域において、低い屈折率が得られる。高い屈折率の領域及び低い屈折率の領域は、光の伝搬方向に沿って交互に整列する。

20

【0183】

屈折率の周期的な分布は、ブラッグ反射鏡として機能する。したがって、光導波路 2 0 0 A 内で伝搬する光の一部は、反射光として、光導波路 2 0 0 A の第 1 端面 2 1 1 から出射される。屈折率の周期的な分布によって反射される光の波長は、ブラッグ波長によって決定される。電界の印加下で生ずる屈折率の周期的な変動振幅が一定であるならば、ブラッグ波長は、グレーティング周期と呼ばれる周期 (すなわち、パターン電極 3 0 0 A の構造周期) に依存する。したがって、設計者は、光導波路 2 0 0 A に沿って伝搬する光の波長にブラッグ波長が略等しくなるように、帯状領域 3 4 1 ~ 3 4 4 , 3 7 1 ~ 3 7 4 の整列周期を決定すればよい。

30

【0184】

上述の如く、コア層 2 1 0 の反射率及び透過率は、コア層 2 1 0 に結合される測定対象物の電界の大きさによって変化される。したがって、コア層 2 1 0 から出射される反射光及び透過光のうち少なくとも一方の強度が測定されるならば、測定対象物の電界は、精度よく測定される。したがって、本実施形態の原理は、コア層 2 1 0 に用いられる電気光学結晶に高い精度の加工を要求しない。したがって、設計者は、電界測定装置に小型且つ製造容易な構造を与えることができる。

40

【0185】

本実施形態において、一对の櫛型電極 (第 1 パターン電極 3 0 1 及び第 2 パターン電極 3 0 2) が利用される。代替的に、コア層 2 1 0 に周期的な屈折率分布を与えることができる他の形状の電極が用いられてもよい。本実施形態の原理は、特定の電極形状に限定されない。

【0186】

第 2 実施形態乃至第 5 実施形態と同様に、電界測定素子 1 2 0 E は、基準を得るための参照用素子及び電界を測定するための測定用素子として機能することができる。したがって、電界測定素子 1 2 0 E が組み込まれた電界測定装置は、小型であり、且つ、簡素である。

50

【0187】

第2実施形態乃至第5実施形態と同様に、設計者は、分光素子を用いることなく、電界測定素子120Eが組み込まれた電界測定装置を設計することができる。したがって、電界測定装置は、応答性のよい電界測定を行うことができる。

【0188】

上述の様々な実施形態の原理は、電界測定装置の用途に応じて、適切に組み合わせられてもよい。

【0189】

上述の様々な実施形態に関連して説明された例示的な電界測定装置に関する技術は、以下の特徴を主に備える。

10

【0190】

上述の実施形態の一の局面に係る電界測定装置は、測定対象物の電界を測定する。電界測定装置は、伝送光を伝送する光導波路と、前記光導波路の光学特性に周期的な変動を与えるように形成された電極部と、前記電界を前記光導波路に結合させる第1状態と、前記電界が前記光導波路から切り離された第2状態と、を設定するアンテナ部と、前記光導波路から出射された出射光の光強度を検出する検出部と、前記電極部に電圧を印加し、前記周期的な変動を与える印加部と、を備える。前記印加部は、前記第2状態下における前記光強度に応じて、基準電圧を設定する設定部と、前記第1状態下において前記電極部に生じた誘起電圧と前記基準電圧との差に応じた電圧を出力する出力部と、を含む。

【0191】

20

上記構成によれば、設定部は、電界が光導波路から切り離された第2状態下における光強度に応じて、基準電圧を設定するので、基準電圧の大きさは、電界が測定される環境に対応する。出力部は、電界を光導波路に結合させる第1状態下において電極部に生じた誘起電圧と基準電圧との差に応じた電圧を出力するので、電界測定装置は、環境変化の下においても、電界を精度良く検出することができる。

【0192】

上記構成において、前記電極部は、前記光学特性の前記周期的な変動として、前記光導波路の屈折率の周期的な変動を生じさせてもよい。

【0193】

上記構成によれば、電極部は、光学特性の周期的な変動として、光導波路の屈折率の周期的な変動を生じさせるので、電界測定装置は、環境変化の下においても、電界を精度良く検出することができる。

30

【0194】

上記構成において、前記出射光は、前記光導波路を透過した透過光及び前記光導波路内で反射された反射光のうち少なくとも一方を含んでもよい。

【0195】

上記構成によれば、出射光は、光導波路を透過した透過光及び光導波路内で反射された反射光のうち少なくとも一方を含むので、電界測定装置は、透過光及び反射光のうち少なくとも一方から電界を精度良く検出することができる。

【0196】

40

上記構成において、前記電極部は、前記アンテナ部と前記光導波路との間に配置されてもよい。

【0197】

上記構成によれば、電極部は、アンテナ部と光導波路との間に配置されるので、電界測定装置は、第1状態下において、電界を、光導波路に適切に結合させることができる。したがって、電界測定装置は、電界を精度良く検出することができる。

【0198】

上記構成において、前記光導波路は、電気光学結晶から形成されてもよい。

【0199】

上記構成によれば、光導波路は、電気光学結晶から形成されるので、電界測定装置は、

50

高速で応答することができる。

【0200】

上記構成において、前記電気光学結晶の組成は、 $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ （但し、 x は、 $0 < x < 1$ である）であってもよい。

【0201】

上記構成によれば、電気光学結晶の組成は、 $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ （但し、 x は、 $0 < x < 1$ である）であるので、電界測定装置は、高感度に応答することができる。

【0202】

上記構成において、前記第2状態下において前記基準電圧が前記光導波路に印加されると、前記光導波路の反射率は、極大化されてもよい。

10

【0203】

上記構成によれば、基準電圧は、適切に設定される。

【0204】

上記構成において、前記検出部は、前記透過光の強度を第1電気信号に変換する第1光検出部と、前記反射光の強度を第2電気信号に変換する第2光検出部と、前記第1電気信号と前記第2電気信号との差を増幅し、増幅信号を生成する増幅部と、を含んでもよい。前記設定部は、前記増幅信号に応じて前記基準電圧を設定してもよい。

【0205】

上記構成によれば、基準電圧は、適切に設定される。

【0206】

20

上記構成において、前記第2状態下において前記基準電圧が前記光導波路に印加されると、前記光導波路の反射率の変化は、極大化されてもよい。

【0207】

上記構成によれば、基準電圧は、適切に設定される。

【0208】

上記構成において、前記第2状態下において前記基準電圧が前記光導波路に印加されると、前記光導波路の反射率と前記光導波路の透過率との間の差異は極小化されてもよい。

【0209】

上記構成によれば、基準電圧は、適切に設定される。

【0210】

30

上記構成において、前記電極部は、前記伝送光が伝送される伝送方向に交差する方向に延設された第1電極と、前記第1電極から前記伝送方向に離間した第2電極と、を含んでもよい。

【0211】

上記構成によれば、電極部は、伝送光が伝送される伝送方向に交差する方向に延設された第1電極と、第1電極から前記伝送方向に離間した第2電極と、を含むので、電極部は、光導波路の光学特性に周期的な変動を与えることができる。

【0212】

上記構成において、前記電極部は、前記第2電極から前記伝送方向に離間した第3電極を含んでもよい。前記第2電極は、前記第1電極と前記第3電極との間の中間位置に配置されてもよい。

40

【0213】

上記構成によれば、第2電極は、第1電極と第3電極との間の中間位置に配置されるので、電極部は、光導波路の光学特性に周期的な変動を与えることができる。

【0214】

上記構成において、前記電極部は、前記伝送光が伝送される伝送方向に周期的に繰り返される開口パターンが形成された電極層を含んでもよい。

【0215】

上記構成によれば、電極部は、伝送光が伝送される伝送方向に周期的に繰り返される開口パターンが形成された電極層を含むので、電極部は、光導波路の光学特性に周期的な変

50

動を与えることができる。

【 0 2 1 6 】

上記構成において、電界測定装置は、前記光導波路に入射する入射光を出射し、前記伝送光を生成する光源部を更に備えてもよい。前記光源部は、発光ダイオード及びレーザ光源のうち少なくとも一方を含んでもよい。

【 0 2 1 7 】

上記構成によれば、光源部は、発光ダイオード及びレーザ光源のうち少なくとも一方を含むので、電界測定装置は、環境変化の下においても、電界を精度良く検出することができる。

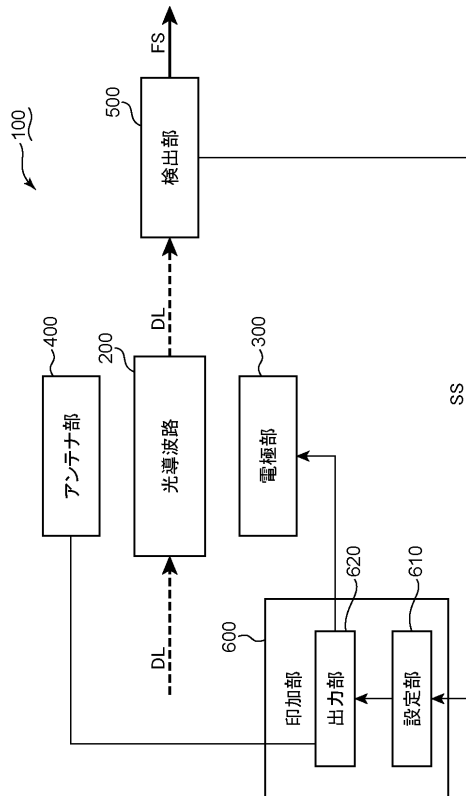
【産業上の利用可能性】

10

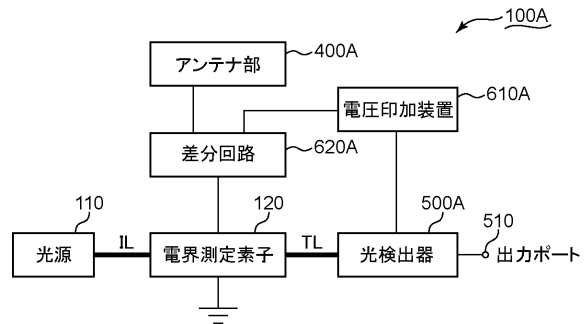
【 0 2 1 8 】

上述の実施形態の原理は、電界を測定することを必要とする様々な装置に適用可能である。例えば、設計者は、上述の実施形態の原理に基づいて、ウェアラブルコンピュータ間のデータ通信を行う人体通信装置を設計することができる。他の設計者は、上述の実施形態の原理に基づいて、電界検知型の脳波計を設計することができる。

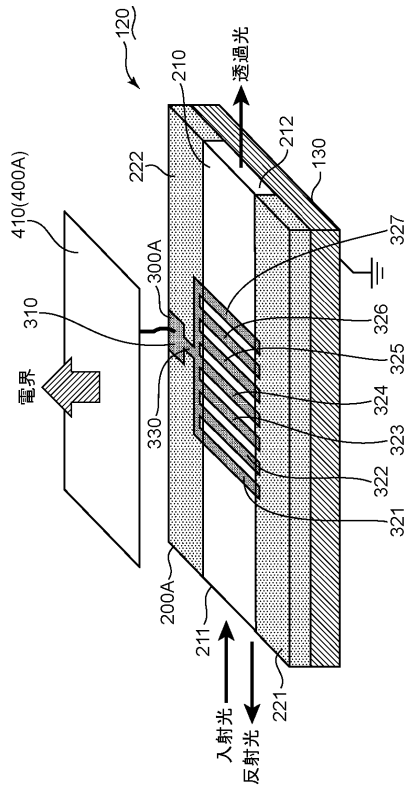
【 図 1 】



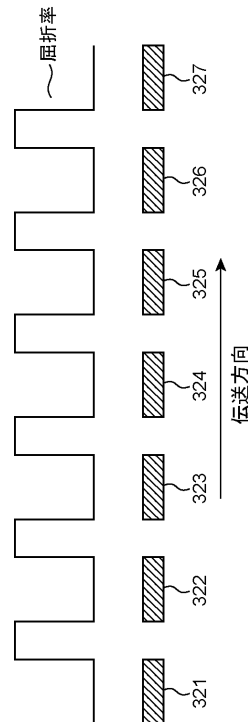
【 図 2 】



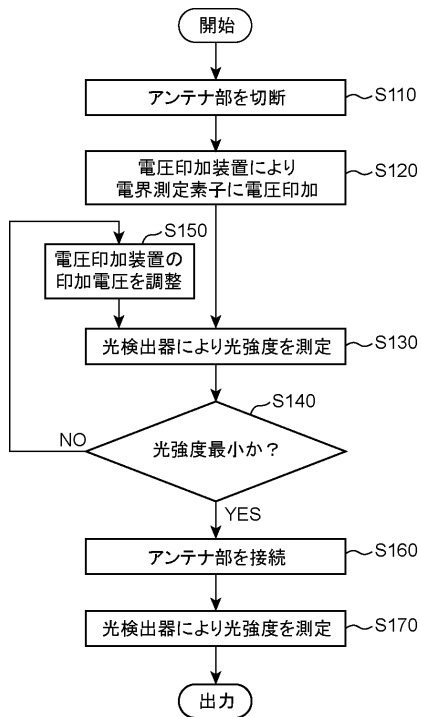
【図 3】



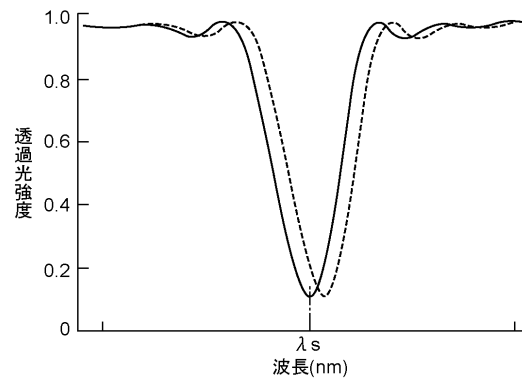
【図 4】



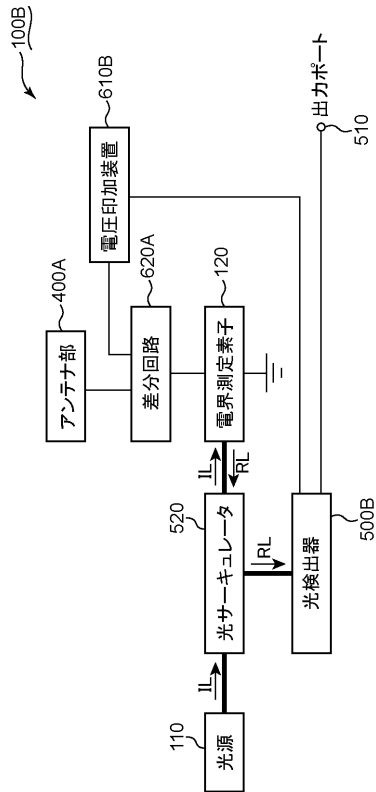
【図 5】



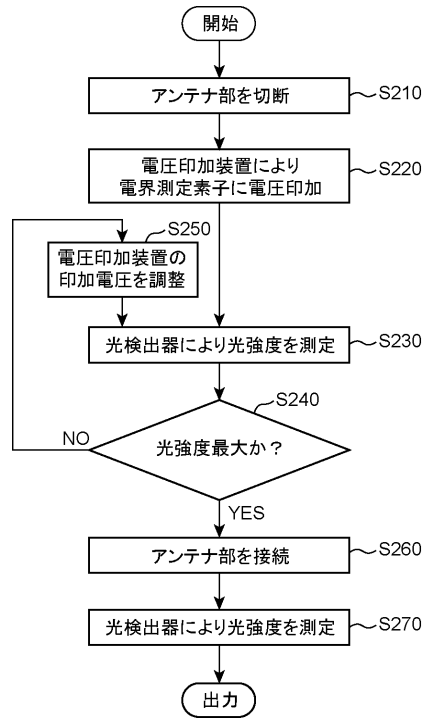
【図 6】



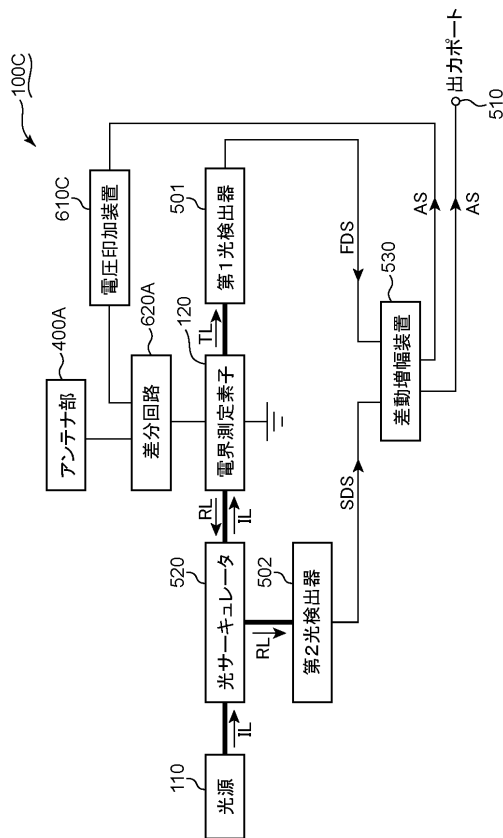
【図 7】



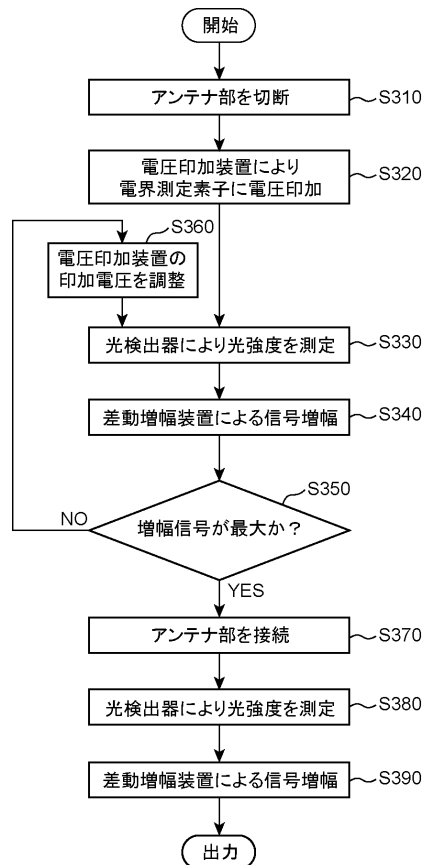
【図 8】



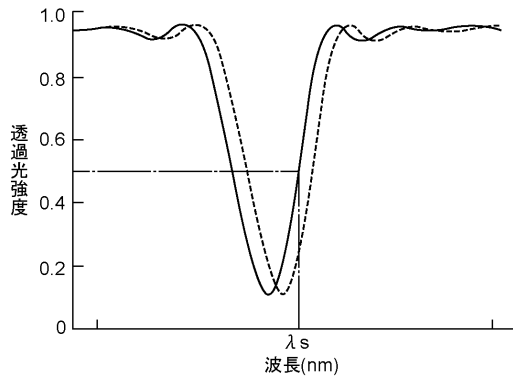
【図 9】



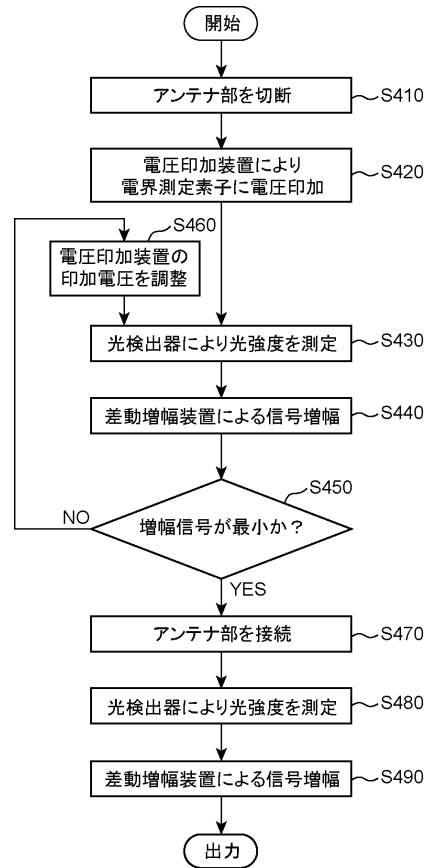
【図 10】



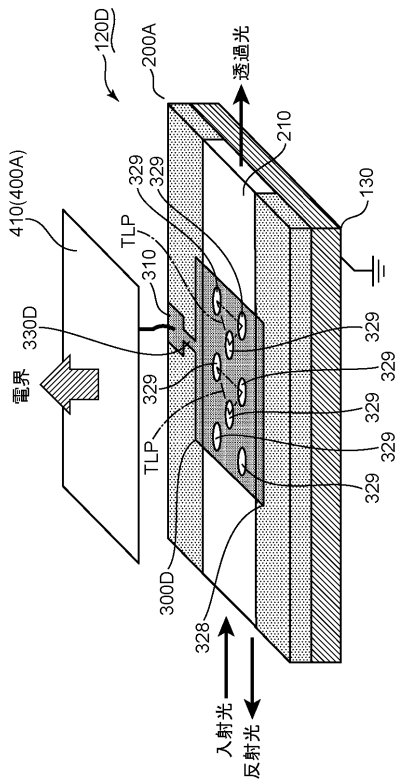
【図 1 1】



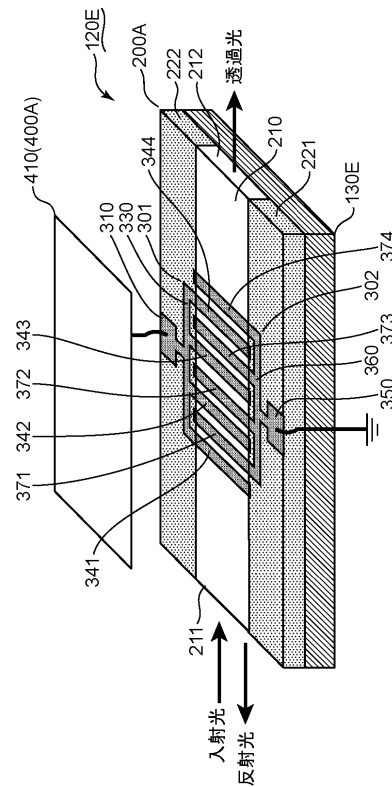
【図 1 2】

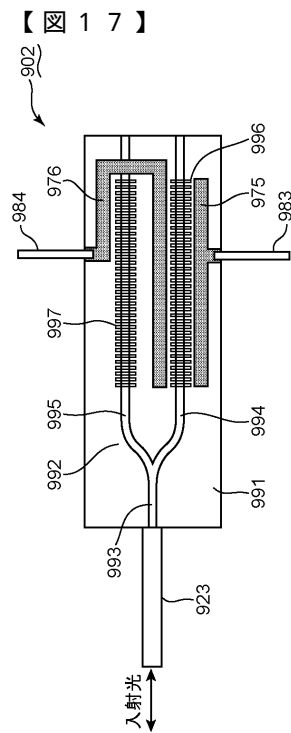
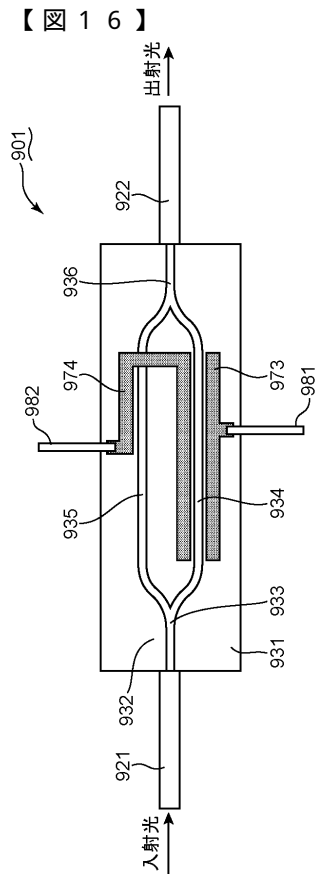
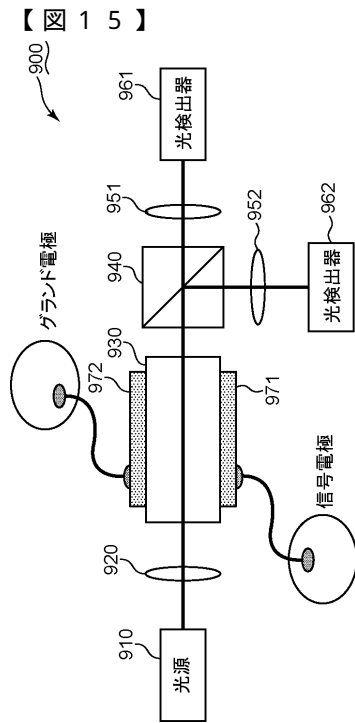


【図 1 3】



【図 1 4】





フロントページの続き

(56)参考文献 特開平09-113557(JP,A)
特開平06-109785(JP,A)
特開2002-122622(JP,A)
特開2011-136158(JP,A)
特開2008-107272(JP,A)
米国特許第5267336(US,A)
米国特許第4070621(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01R 29/08
G01R 15/24