

(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12月24日(24.12.2020)



(10) 国際公開番号

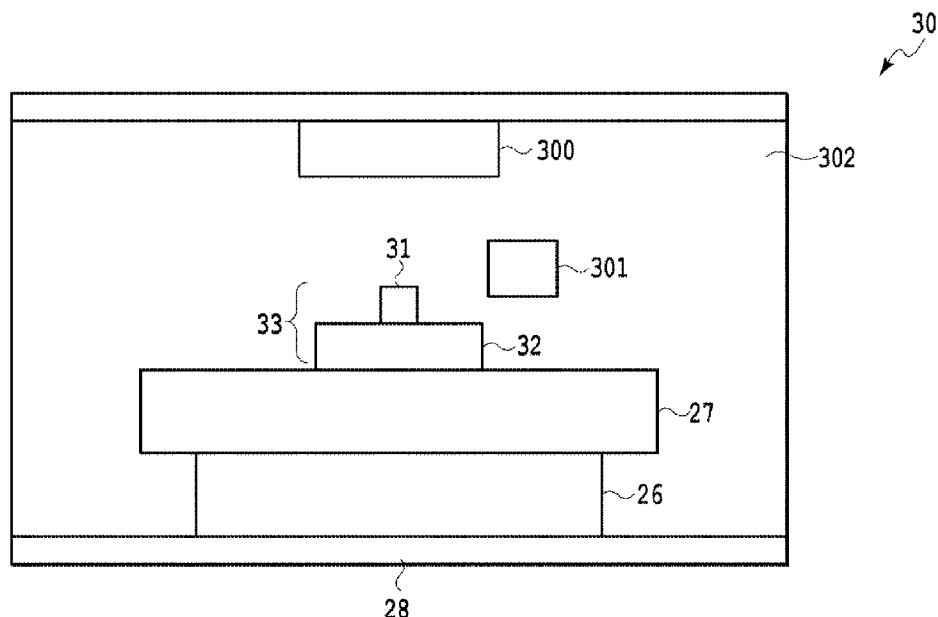
WO 2020/255341 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/377 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/024534
- (22) 国際出願日: 2019年6月20日(20.06.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 圓佛 晃次(**EMBUTSU Koji**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小勝負 信建

(**KOSHOBU Nobutatsu**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 笠原 亮一(**KASAHARA Ryoichi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 梅木 毅伺(**UMEKI Takeshi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 忠永 修(**TADANAGA Osamu**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 風間 拓志(**KAZAMA Takushi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 柏崎 貴大(**KASHIWAZAKI Takahiro**); 〒1808585

(54) **Title:** WAVELENGTH CONVERSION APPARATUS

(54) 発明の名称: 波長変換装置



(57) **Abstract:** Provided is a wavelength conversion apparatus capable of suppressing a decrease in the output power of light the wavelength of which has been converted by the pyroelectric effect when the temperature of a wavelength conversion element including a ferroelectric substrate is changed. The wavelength conversion apparatus is provided with, inside the housing, a wavelength conversion element, a temperature control element for controlling the temperature of the wavelength conversion element, and a neutralization mechanism and a surface potential measurement mechanism. When the surface potential measurement mechanism detects a change in the surface potential of the wavelength conversion

東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T
T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 谷・阿部特許事務所
(TANI & ABE, P.C.); 〒1070052 東京都港区赤
坂 2 丁目 6 番 2 0 号 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, 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, JP, 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,
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): 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))

element, the neutralization mechanism is driven to perform charge neutralization.

(57) 要約: 強誘電体基板を含む波長変換素子の温度を変化させたときに、焦電効果で波長変換された光の出力パワーが低下するのを抑制する波長変換装置であって、筐体内に波長変換素子と、波長変換素子の温度を制御する温度制御素子と、除電機構および表面電位測定機構を備え、表面電位測定機構が波長変換素子の表面電位の変化を検出すると除電機構を駆動して除電する波長変換装置とした。

明 細 書

発明の名称：波長変換装置

技術分野

[0001] 本発明は、入力光の波長を変換出力する波長変換装置、詳しくは信号光が入力されたときに信号光の波長と異なる波長の光を発生させる波長変換装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、波長変換装置に用いられる周期分極反転ニオブ酸リチウム（Periodically Poled Lithium Niobate、以下、PPLNという）を利用した光導波路は、光導波路とすることによる光強度の増大化および疑似位相整合技術の利用により高い光波長変換効率を実現可能な波長変換素子である。そのため、PPLNを利用した光導波路は、次世代光ファイバ通信分野や量子コンピューティングの分野で重要な役割を担うデバイスとして注目されている。

[0003] このPPLNを利用した光導波路は、低雑音な光増幅が可能な位相感応増幅器（PSA）を構成するパラメトリック増幅素子および励起光発生素子として使用されており、高利得・低雑音な光増幅特性が実現されている。また量子コンピューティングの分野においては、PPLNを利用した光導波路をファイバリング共振器内に挿入しパラメトリック発振素子として使用することで、従来の計算機に比べて極めて高速に大容量の計算を実証した報告がされている。これらの技術の更なる高性能化のためには、より高い波長変換効率を有する波長変換装置を実現することが重要となっている。

[0004] 図1は、従来の波長変換装置10の基本構成を示す図である。図1の波長変換装置10では、疑似位相整合（Quasi-Phase-Matched、以下、QPMという）技術により、信号光と制御光の差周波を発生させ波長変換を行う（特許文献1）。

[0005] 図1に示すように、従来の波長変換装置10では、光強度が低い信号光1

aと光強度の高い制御光1bが、合波器14に入射し合波される。

[0006] 制御光1bと合波した信号光1aは、波長変換素子13に向かって進行し、基板12の上に配置された周期分極反転構造を有する光導波路コア11の一方の端に入射する。

[0007] 信号光1aは、光導波路コア11の中を通過する時に非線形光学効果によって信号光1aと異なる波長の差周波光1cへと変換され、制御光1bと共に光導波路コア11の他方の端から出射される。光導波路コア11から出射した差周波光1cと制御光1bとは、分波器15に入射し互いに分離される。

[0008] また、擬似位相整合技術を利用して波長変換を行う光学素子（以下、波長変換素子という）を作製する方法もいくつか知られている。例えば、非線形光学効果を発現させる結晶（以下、非線形光学結晶という）基板を周期分極反転構造とした後に、その周期分極反転構造を用いてプロトン交換導波路を作製する方法である。また例えば、同様に、非線形光学結晶基板を周期分極反転構造とした後に、フォトリソグラフィプロセスおよびドライエッチングプロセスを利用してリッジ型光導波路を作製する方法である。

[0009] 特許文献1には、これらのうちリッジ型光導波路を作製する例が開示されている。特許文献1には、リッジ型光導波路において、光の閉じ込め効果を向上させるため、周期分極反転構造を有する非線形光学結晶の第1の基板とその第1の基板の屈折率より小さい屈折率を有する第2の基板とを貼り合わせて波長変換素子を作製することが記載されている。また、特許文献1には、接着剤の劣化や温度変化によるクラックを回避するために、第1の基板と同種の非線形光学結晶を第2の基板として使用し、第1の基板と第2の基板とに熱を加えて拡散接合させることが記載されている。

[0010] 波長変換素子を備えた波長変換装置は、実用にあたって使用環境の変化により特性が劣化しない様に、光の入出力が可能な入出力ポートを備えた金属筐体内に合波器および分波器と共に波長変換素子を収納し使用することが行われている。特に波長変換素子の波長変換効率は温度依存性を有しており、

その波長変換効率を最大化するためには波長変換素子の温度を制御することが必要である。そのため波長変換装置は、金属筐体の内部にさらに温度制御素子を収納している。

[0011] 図2は、図1の波長変換装置10の構成にさらに金属筐体29および温度制御素子26を備える波長変換装置20の構成例を示す斜視図である。図2に示す波長変換装置の構成は図1に示す構成に加えて、金属筐体29、温度制御素子26、支持部材27、および金属筐体底面部材28を備えている。金属筐体29は、光の入出力および温度制御のための電気信号の入出力をすための入力ポート200および出力ポート201を側面に備えている。

[0012] 支持部材27は、光導波路コア11および基板12を含む波長変換素子13の全体の温度を均一に制御するための金属部材である。温度制御素子26は、支持部材27と金属筐体底面部材28との間に介挿されている。なお、光導波路コア11、基板12、波長変換素子13、合波器14、分波器15、信号光1a、差周波光1cは、図1の説明におけるものと同じであるため説明を省略する。

[0013] また、強誘電体結晶材料を用いた波長変換素子を波長変換装置に用いた場合、短い波長を有する光の照射により波長変換素子の屈折率が変化して特性が低下する光損傷と呼ばれる現象が生じる。この光損傷による影響を抑制する方法として、波長変換素子を高温で使用することが提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0014] 特許文献1：特許第3753236号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0015] 波長変換素子を高温で動作させるためには、ヒーター等の熱源を用いて波長変換素子を加熱する方法が考えられる。例えば、図2に示す波長変換装置20では波長変換素子13の温度制御を高精度で高速に行うことが必要なた

め、温度制御素子 26 としてペルチェ素子を用いる。ペルチェ素子を用いて波長変換素子 13 の温度を高温に設定する場合、以下に説明する事象が問題となる。

[0016] ここで、ペルチェ素子とは、2種類の金属の接合部に電流を流すと、片方の金属からもう片方へ熱が移動するという、いわゆるペルティエ効果を利用した熱電素子である。このためペルチェ素子に電流を流すと接合面を挟んだ一方の面で吸熱が生じ、同時に他方の面で発熱が生じる。

[0017] そのため、波長変換素子 13 の温度を周囲の温度よりも高温に設定する場合、大気環境下では吸熱側において結露が生じることが想定される。結露により生じた水がペルチェ素子の内部やリード線電極付近に滞ると、ペルチェ素子とリード線電極とを接合する半田が水により腐食し、ペルチェ素子とリード線電極とが電氣的に断線して破損することになりかねない。

[0018] また結露により生じた水が複数の電極と接触する場合、電極間の電位差により半田の成分が水を介してアノード溶出およびカソード析出を繰り返す結果、複数の電極がショートして波長変換素子 13 が故障することも想定される。そのため、信頼性の高い波長変換装置 20 を実現するためには、水を含まない乾燥ガス雰囲気中で波長変換装置 20 を気密封止することが必要となる。

[0019] しかしながら、乾燥ガス雰囲気中で波長変換装置 20 を気密封止すると、また別の問題が生じる。すなわち、乾燥ガス雰囲気中で気密封止すると、波長変換装置 20 の中に大気イオンが存在しないため、波長変換素子 13 の温度を変化させた際に焦電効果に起因して強誘電体である基板 12 の表面に生じる、基板 12 上の表面電荷を中和することができない。

[0020] つまり、基板 12 に使用される非線形光学結晶は強誘電体であり分極を生じている。単一分極の強誘電体の基板は大きな焦電効果を有しており、温度変化で表面電荷の密度が変化する。この電荷が結晶内を拡散し、電界分布の形成し、ポッケルス効果による屈折率変化をもたらす。結果として波長変換素子 13 の位相整合波長は変化し、SHG 光などの波長変換光の出力パワー

が低下するという問題をは生じる。大気環境下であれば大気イオンが表面電荷を中和するが、前述のように結露の問題が発生する。

- [0021] このように表面電荷があると、基板 1 2 の屈折率分布に変化が発生する。さらに、焦電効果による基板 1 2 の表面電荷の変化は、光導波路コア 1 1 の内部にも影響を与え、光導波路コア 1 1 の内部の電荷密度に不均一な分布を生じさせる。そのため、光導波路コア 1 1 の内部にも不均一な屈折率分布が生じ、その結果、光導波路コア 1 1 において位相整合条件を満たす波長が変化し、波長変換された差周波光 1 c の出力パワーが低下するという課題があった。

課題を解決するための手段

- [0022] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものである。
- [0023] 本発明の一実施形態は、信号光が入力されたときに信号光の波長と異なる光を発生させる波長変換装置であって、信号光の波長を変換する波長変換素子と、波長変換素子の温度を制御するための温度制御素子とを備える。
- [0024] ここで、波長変換素子および温度制御素子は、金属筐体の内部に密閉され、金属筐体の内部は窒素、酸素、アルゴン、またはヘリウムから選ばれる一種以上を含む乾燥ガスで充填されており、波長変換素子は、光導波路コアと光導波路コアよりも信号光に対して低い屈折率を有する基板とを含み、光導波路コアおよび基板は強誘電体である。
- [0025] 本発明においては、金属筐体の内部に波長変換素子の表面電位を測定する表面電位測定機構と、表面電位の変化を低減する除電機構を具備し、さらに定期的に表面電位を測定し変化量が指定した許容値を超えたら、表面電位の抑制機構を自動的に機能させる制御機構を具備することにより、波長変換素子の表面電荷密度を一定の範囲内に保持することにより波長変換素子の屈折率変化を抑制可能とし、位相整合曲線の変動なく安定動作させることができる波長変換装置を実現する。
- [0026] 本発明の一実施形態は、以下のような構成を備える。
(構成 1)

信号光が入力されたときに前記信号光の波長と異なる光を発生させる波長変換装置であって、

前記信号光の波長を変換する波長変換素子と、

前記波長変換素子の温度を制御するための温度制御素子と、を備え、

前記波長変換素子および前記温度制御素子は、金属筐体の内部に密閉され、前記金属筐体の内部は窒素、酸素、アルゴン、またはヘリウムから選ばれる1つ以上を含む乾燥ガスで充填されており、

前記波長変換素子は、光導波路コアと前記光導波路コアよりも前記信号光に対して低い屈折率を有する基板とを含み、

前記金属筐体の内部に除電機構を具備することを特徴とする波長変換装置。

(構成2)

前記金属筐体の内部に前記波長変換素子の表面電位を測定する表面電位測定機構を具備することを特徴とする構成1に記載の波長変換装置。

(構成3)

前記表面電位測定機構により測定した波長変換素子の表面電位の変化量に基づき前記除電機構を動作させる制御機構を備えることを特徴とする構成2に記載の波長変換装置。

(構成4)

前記信号光と制御光とを合波する合波器と、

前記波長変換素子により波長変換された前記信号光と前記制御光とを分波する分波器とをさらに備える

ことを特徴とする構成1乃至3のいずれか一項に記載の波長変換装置。

(構成5)

前記温度制御素子は、ペルチェ素子であって、

前記ペルチェ素子は、支持部材の第1の面と前記金属筐体の底面に配置されている金属筐体底面部材との間に介挿されており、前記支持部材の前記第

1の面に対向する前記支持部材の第2の面に前記波長変換素子が載置されることを特徴とする構成1乃至4のいずれか一項に記載の波長変換装置。

(構成6)

前記基板は、 LiNbO_3 (ニオブ酸リチウム)、 KNbO_3 (ニオブ酸カリウム)、 LiTaO_3 (タンタル酸リチウム)、 $\text{LiNb}(\text{x})\text{Ta}(1-\text{x})\text{O}_3$ ($0 \leq \text{x} \leq 1$) (不定比組成のタンタル酸リチウム)、または KTiOPO_4 (チタン酸リン酸カリウム)、さらに、それらに Mg (マグネシウム)、 Zn (亜鉛)、 Sc (スカンジウム)、または In (インジウム)から選ばれる少なくとも1つを添加物として含有している、ことを特徴とする構成1乃至5のいずれか一項に記載の波長変換装置。

(構成7)

前記除電機構は、高電圧を印加された電極針または紫外光を前記波長変換素子に照射するUV-LEDである

ことを特徴とする構成1乃至6のいずれか一項に記載の波長変換装置。

(構成8)

前記表面電位測定機構は、水晶振動子に接続された振動電極と、対向配置された検知電極との間に発生する電圧を検出して、前記波長変換素子の表面電位を測定する

ことを特徴とする構成2または3に記載の波長変換装置。

発明の効果

[0027] 本発明により、波長変換素子の温度を変化させたときに強誘電体基板の焦電効果により生じる、波長変換光の出力パワーの低下を抑制可能な波長変換装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]擬似位相整合技術により差周波を発生させる従来の波長変換装置10の基本構成例を示す図である。

[図2]従来の波長変換装置の構成例を示す斜視図である。

[図3]本発明の波長変換装置の構成を示す断面図である。

[図4]従来の波長変換装置の位相整合特性を示すグラフである。

[図5]本発明の第一の実施形態の一例を示す図である。

[図6]本発明の第一の実施形態における位相整合特性を示すグラフである。

[図7]本発明の第二の実施形態を示す図である。

発明を実施するための形態

[0029] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

本発明の一実施形態の波長変換装置の動作原理について説明する。本発明の一実施形態の波長変換装置は、波長変換素子のリッジ型光導波路の下部である基板として強誘電体結晶を用いる。

(実施形態1)

[0030] 図3は、本発明の一実施形態である波長変換装置30の断面構成を示す図である。波長変換装置30は、例えば図の手前側から信号光として波長1550nmの基本波が入力されると、その第二高調波である波長(775nm)を有する波長変換された信号光が図の裏面側に向かって出力される波長変換装置である。

[0031] 図3の実施形態1の波長変換装置30は、従来と同様に信号光と制御光とを合波する合波器(図示せず)と、光導波路コア31と基板32とを含む波長変換素子33と、波長変換された信号光と制御光とを分波する分波器(図示せず)を備えている。それらの要素を密封するように金属筐体が備えられ、金属筐体の内部には、さらに温度制御素子26、支持部材27を備えており、温度制御素子26の上面は支持部材27に、下面は金属筐体の底面部材28に接続されており、支持部材27の上に光導波路コア31と基板32とを含む波長変換素子33が載置されている。

[0032] 図示はないが金属筐体はまた、光の入出力のための入力ポートおよび出力ポートを側面(図3の断面図では図の手前側および図の裏面側)に備え、また電気信号の入出力のための端子を光の入出力のための側面とは別の側面(図3の断面図では図の左右の側面)に備えている。

[0033] 光導波路コア31は、信号光の強度を損失させることなく、選択的にその

内部を透過させる光導波路である。光導波路コア 31 の構造は、信号光が入力された時に信号光と異なる波長を有する波長変換された信号光を出力する機能を有するものであれば特に限定はされない。二次の非線形定数が光の進行方向に沿って周期的にまたは所定の変調が付与された周期で変化し、単一の波長または複数の波長について疑似位相整合を実現する構造であって、例えば、マルチ QPM 素子を採用することも可能である。

[0034] 基板 32 は強誘電体であり、信号光に対して透明、すなわち光吸収を生じない基板である。基板 32 は、リッジ型光導波路を構成する際に、光導波路コア 31 に対するアンダークラッドとして機能させるものであり、光導波路コア 31 よりも信号光、制御光、および波長変換された信号光に対して屈折率が低いことが必要である。

[0035] 基板 32 に採用する強誘電体材料として、 LiNbO_3 、 KNbO_3 （ニオブ酸カリウム）、 LiTaO_3 （タンタル酸リチウム）、 $\text{LiNb}_{(x)}\text{Ta}_{(1-x)}\text{O}_3$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）（不定比組成のタンタル酸リチウム）、または KTiOPO_4 （チタン酸リン酸カリウム）、さらに、それらに Mg （マグネシウム）、 Zn （亜鉛）、 Sc （スカンジウム）、 In （インジウム）から選ばれる少なくとも 1 つを添加物として含有しているものが好ましい。

金属筐体は、上面部材と底面部材を側面部材で接合して、内部の気密を保つように密閉する金属筐体である。

[0036] 支持部材 27 は、機械的な支持部材であるだけでなく、光導波路コア 31 および基板 32 を含む波長変換素子 33 の全体の温度を均一に保つ熱伝導のための、例えば金属部材である。

[0037] 温度制御素子 26 は、支持部材 27 と金属筐体底面部材 28 との間に介挿されている。温度制御素子 26 は、例えばペルチェ素子のような熱電素子である。さらに、温度制御素子 26 は、支持部材 27 と金属筐体底面部材 28 との間で発熱および吸熱効果を効率的に発揮するために、接合方法として熱伝導性の高い半田接合、導電性接着剤による接合その他の公知の接合方法を採用することが可能である。

- [0038] 乾燥ガス302は、金属筐体の内部を充填し水を含まないガスである。すなわち、乾燥ガス302は、図3に示すように、金属筐体に密閉されている波長変換素子33、温度制御素子26、支持部材27、および金属筐体底面部材28の周囲の雰囲気である。
- [0039] 乾燥ガス302は、窒素、酸素、アルゴン、またはヘリウムから選ばれる一種以上を含むことが好ましい。本実施形態では、乾燥ガス302として乾燥窒素ガスを使用した。
- [0040] 本実施形態1の波長変換装置30においては、波長変換素子33の基板32の焦電効果による特性不安定化を回避するため、金属筐体内において強誘電体の基板32をリッジ型光導波路の下部として使用し、基板32の上に5 μ m角のPPLNによる光導波路コア31をドライエッチングにより形成した。
- [0041] 以上のように作製した波長変換素子33を支持部材27の上に固定し、上面が開口している状態で金属筐体の内側に、支持部材27、金属筐体底面部材28、およびそれらの間に温度制御素子26を介挿し、固定し収納した。
- [0042] 図3の、本発明の実施形態1の波長変換装置30では、除電機構301を波長変換素子33の近傍に、また表面電位測定機構300を波長変換素子33の直上に設置した。例えば除電機構301は金属筐体の側面の内側に、また表面電位測定機構300は金属筐体の天井部材の内側に固定してもよい。表面電位測定機構300が波長変換素子33の表面電位の変化を検出すると、除電機構301を駆動して波長変換素子33の表面電荷を除去して、波長変換素子33の特性変化を抑制することができる。
- [0043] 図5の実施形態1の一例の波長変換装置30にあるように、除電機構301としては、例えば高電圧を印加された、針状の電極針511を筐体内に設置することができる。金属筐体に接続された高圧電源510により電極針511に高電圧を印加して、電極針511の先端部分で乾燥ガスをイオン化して波長変換素子33の表面電荷を中和し、波長変換素子33の表面電位の変化を低減して、特性の劣化と不安定性を抑制することができる。

- [0044] また、表面電位測定機構 300 としては、例えば図 5 の検知電極 500、水晶振動子 501、振動電極 502 で構成することができる。発振器で駆動される水晶振動子 501 に接続された振動電極 502 と、対向配置された検知電極 500 との間に発生する電圧を、検出抵抗 504 の両端において検出電圧 503 として検出して、波長変換素子 33 の表面電位を測定することができる。
- [0045] 波長変換素子 33 と検知電極 500 の間に、発振器で駆動される水晶振動子 501 に取り付けられた振動電極 502 を設置して、検知電極 500 の前面で振動させ、波長変換素子 33 から検知電極 500 までを通過する電気力線の本数を変化させることにより、電極に誘導される電荷の変化を検出抵抗 504 (R) の両端において検出電圧 503 (V) として検出して測定するものである。
- [0046] 図 3 に戻って、表面電位測定機構 300 が波長変換素子 33 の表面電位の変化を検出すると、図示しない制御機構により、除電機構 301 を駆動して波長変換素子 33 の表面電荷を除去して除電することにより、波長変換素子 33 の特性変化が大幅に抑制される。
- [0047] 定期的に表面電位を測定し、変化量が指定した許容値を超えたら、表面電位の抑制機構として除電機構 301 を自動的に機能させる制御機構により、波長変換素子の表面電荷密度を長期間、一定の範囲内に保持することも可能である。
- [0048] 波長変換装置の作製工程としては、金属筐体の内部で底面部材 28 の上に、温度制御素子 26、支持部材 27、光導波路コア 31 と基板 32 とを含む波長変換素子 33 をこの順で載置し、除電機構 301 と表面電位測定機構 300 を筐体内に設置後、乾燥窒素ガス 302 の雰囲気中で金属筐体の上面（天井）および底面と四方の側面の間をシーム溶接することにより、金属筐体の気密封止を行った。
- 作製した波長変換装置 30 において、波長変換素子を動作温度である 45℃ に設定し位相整合曲線を調査した。

[0049] 図4および図6は、それぞれ、従来技術の除電機構を動作させない場合（図4）と、本発明実施形態1の電極針511に±3kVの高電圧を印加し除電機構を動作させた場合（図6）の、位相整合特性を対比するために示すグラフである。

[0050] 図4および図6のグラフにおいて、横軸は波長変換装置から出力された波長変換された信号光の波長（Wavelength（nm））を、縦軸はそれらの光出力パワー（OutputPower（W））を示している。

[0051] 従来技術の図4のグラフにおいては、波長変換素子の基板の焦電性に起因する屈折率変化により、波長変換素子において位相整合条件が局所的に満足されず、理論上の位相整合曲線であるSinc関数（ $\sin(x)/x$ ）で表される特性から大幅にずれて、波長変換効率が低下していることが分かる。

[0052] これに対して、図3または5の本発明実施形態の波長変換素子30において除電機構301を機能させた場合は、電極針511に±3kVの高電圧を印加したことで電極針511の先端部分でコロナ放電が発生して、窒素ガスがイオン化され波長変換素子33の表面電荷を中和しており、焦電効果による屈折率変化の影響が大きく低減されている。このため、図6に示すように焦電効果の影響がより良く抑制されており、その位相整合曲線の形状は理想的なSinc関数に近づいており、高い波長変換効率を得ることができていることが分かる。

[0053] 図3および5の、本実施形態の表面電位測定機構300では、波長変換素子33で生じる焦電効果により検知電極500に誘導される電荷量を測定している。これは、水晶振動子501に取り付けられた振動電極502の金属板を検知電極500の前面で振動させ、波長変換素子33から検知電極500まで通過する電気力線の本数を変化させる。これにより、検知電極500に誘導される電荷の変化を、検知抵抗504（R）の両端に現れる検出電圧503（V）として測定することができ、表面電位の変化量として把握することを可能となる。

[0054] さらに、測定した電位変化量が $\pm 10\%$ 以上となった場合に、除電機構 301 を駆動する制御を制御機構により行い、約半年間に渡って波長変換装置の位相整合曲線が変化することなく、高い波長変換効率を保持することができた。

(実施形態 2)

[0055] 図 7 に本発明の第 2 の実施形態における波長変換装置 70 を示す。本実施形態 2 において、除電機構 701 および光導波路コア 31 以外は、図 3 および 5 の実施形態 1 と同じである。

[0056] 実施形態 2 が実施形態 1 と異なる点は、実施形態 1 の除電機構 301 では、電極針 511 先端に発生させるコロナ放電により、窒素ガスをイオン化して除電する構造であったのに対して、図 7 の本実施形態 2 では、UV-LED (紫外線 LED) を使用して紫外光を波長変換素子に直接照射することにより波長変換素子 33 の表面電荷を中和し、焦電効果による屈折率変化の影響を低減させている点である。UV-LED (紫外線 LED) を使用すると、高圧電源を用いる必要がないのが利点である。本実施形態 2 では紫外線の照射による光損傷を低減するため、光導波路コア 31 には ZnO を添加し光損傷耐性を高めた LiNbO₃ を使用した。

[0057] 図 7 の本実施形態 2 では、紫外光の光源として小型の UV-LED を筐体内に設置した。本実施形態により実施形態 1 の場合と同様に焦電効果の影響をより良く抑制し、その位相整合曲線の形状は理想的な Sinc 関数に近づき高い波長変換効率を得ることが可能であることを確認した。

産業上の利用可能性

[0058] 以上のように、本発明の波長変換装置では、金属筐体の内部に波長変換素子の表面電位を測定する表面電位測定機構と、表面電位の変化を低減する除電機構を備え、表面電位の測定値に応じて除電機構を駆動する制御機構を具備することにより、波長変換素子の表面電荷密度を一定の範囲内に保持して波長変換素子の屈折率変化を抑制可能とし、位相整合曲線の変動なく安定動作させることが可能となった。

符号の説明

- [0059] 1 a 信号光
1 b 制御光
1 c 差周波光
1 0、2 0、3 0、7 0 波長変換装置
1 1、3 1 光導波路コア
1 2、3 2 基板
1 3、3 3 波長変換素子
1 4 合波器
1 5 分波器
2 6 温度制御素子
2 7 支持部材
2 8 金属筐体底面部材
2 9 金属筐体
2 0 0 入力ポート
2 0 1 出力ポート
3 0 0 表面電位測定機構
3 0 1 除電機構
3 0 2 乾燥ガス
5 0 0 検知電極
5 0 1 水晶振動子
5 0 2 振動電極
5 0 3 検出電圧
5 0 4 負荷抵抗
5 1 0 高圧電源
5 1 1 電極針
7 0 1 紫外線LED (UV-LED)

請求の範囲

- [請求項1] 信号光が入力されたときに前記信号光の波長と異なる光を発生させる波長変換装置であって、
- 前記信号光の波長を変換する波長変換素子と、
- 前記波長変換素子の温度を制御するための温度制御素子と、を備え、
- 前記波長変換素子および前記温度制御素子は、金属筐体の内部に密閉され、前記金属筐体の内部は窒素、酸素、アルゴン、またはヘリウムから選ばれる1つ以上を含む乾燥ガスで充填されており、
- 前記波長変換素子は、光導波路コアと前記光導波路コアよりも前記信号光に対して低い屈折率を有する基板とを含み、
- 前記金属筐体の内部に除電機構を具備することを特徴とする波長変換装置。
- [請求項2] 前記金属筐体の内部に前記波長変換素子の表面電位を測定する表面電位測定機構を具備することを特徴とする請求項1に記載の波長変換装置。
- [請求項3] 前記表面電位測定機構により測定した波長変換素子の表面電位の変化量に基づき前記除電機構を動作させる制御機構を備えることを特徴とする請求項2に記載の波長変換装置。
- [請求項4] 前記信号光と制御光とを合波する合波器と、
- 前記波長変換素子により波長変換された前記信号光と前記制御光とを分波する分波器とをさらに備えることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の波長変換装置。
- [請求項5] 前記温度制御素子は、ペルチェ素子であって、
- 前記ペルチェ素子は、支持部材の第1の面と前記金属筐体の底面に配置されている金属筐体底面部材との間に介挿されており、前記支持部材の前記第1の面に対向する前記支持部材の第2の面に前記波長変

換素子が載置される

ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の波長変換装置。

[請求項6] 前記基板は、 LiNbO_3 （ニオブ酸リチウム）、 KNbO_3 （ニオブ酸カリウム）、 LiTaO_3 （タンタル酸リチウム）、 $\text{LiNb}(\text{x})\text{Ta}(1-\text{x})\text{O}_3$ ($0 \leq \text{x} \leq 1$)（不定比組成のタンタル酸リチウム）、または KTiOPO_4 （チタン酸リン酸カリウム）、さらに、それらに Mg （マグネシウム）、 Zn （亜鉛）、 Sc （スカンジウム）、または In （インジウム）から選ばれる少なくとも1つを添加物として含有している、

ことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の波長変換装置。

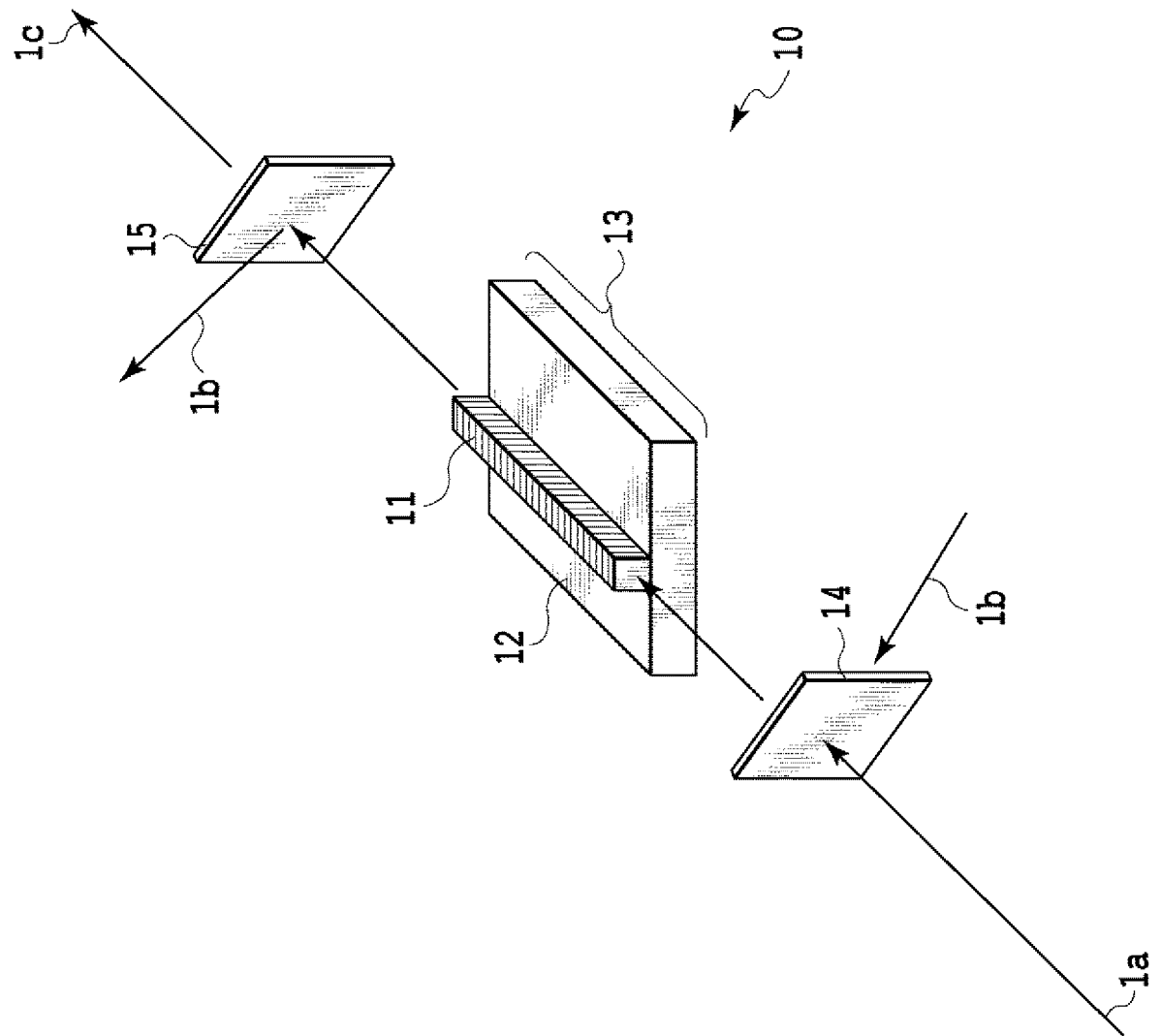
[請求項7] 前記除電機構は、高電圧を印加された電極針または紫外光を前記波長変換素子に照射するUV-LEDである

ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか一項に記載の波長変換装置。

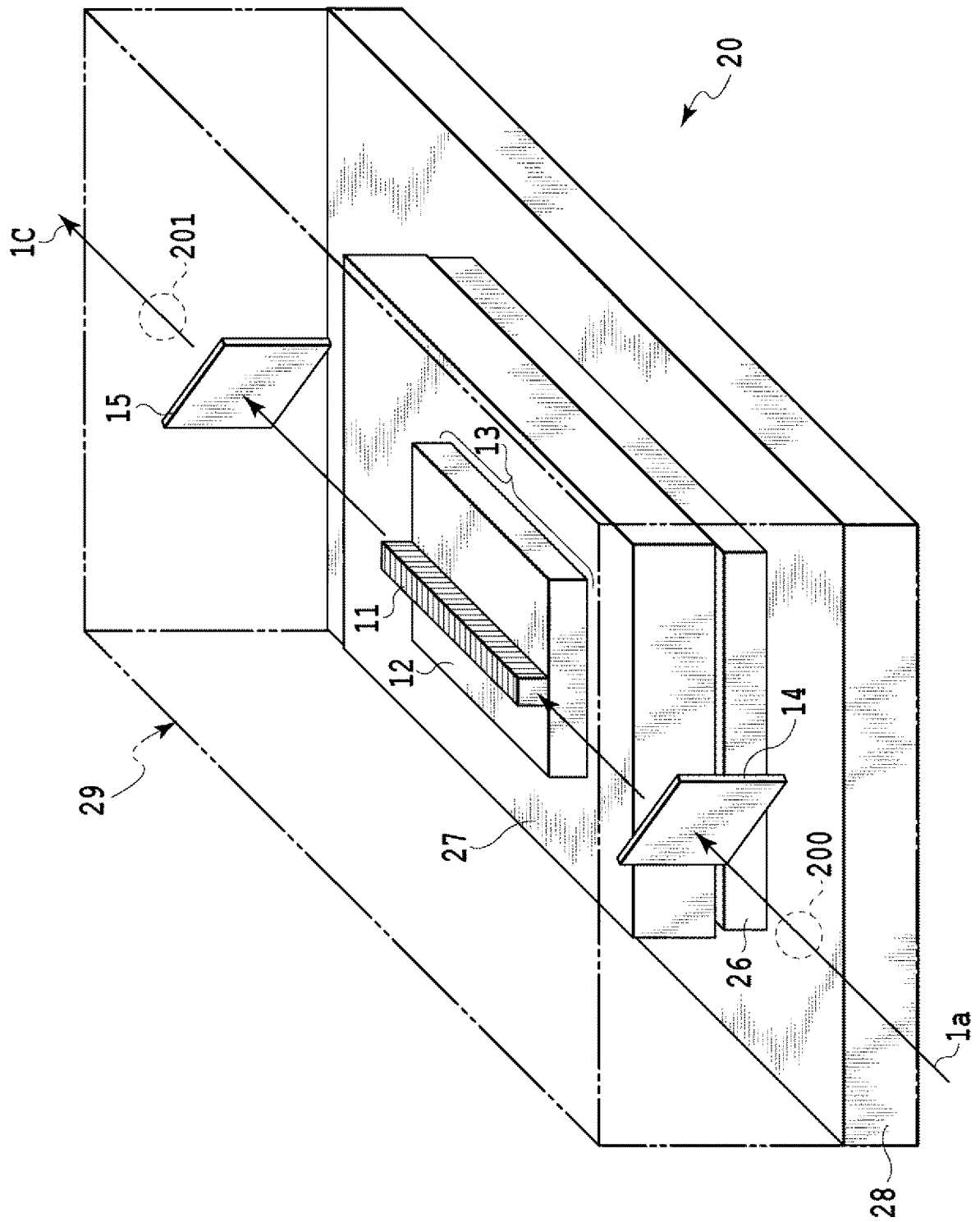
[請求項8] 前記表面電位測定機構は、水晶振動子に接続された振動電極と、対向配置された検知電極との間に発生する電圧を検出して、前記波長変換素子の表面電位を測定する

ことを特徴とする請求項2または3に記載の波長変換装置。

[図1]

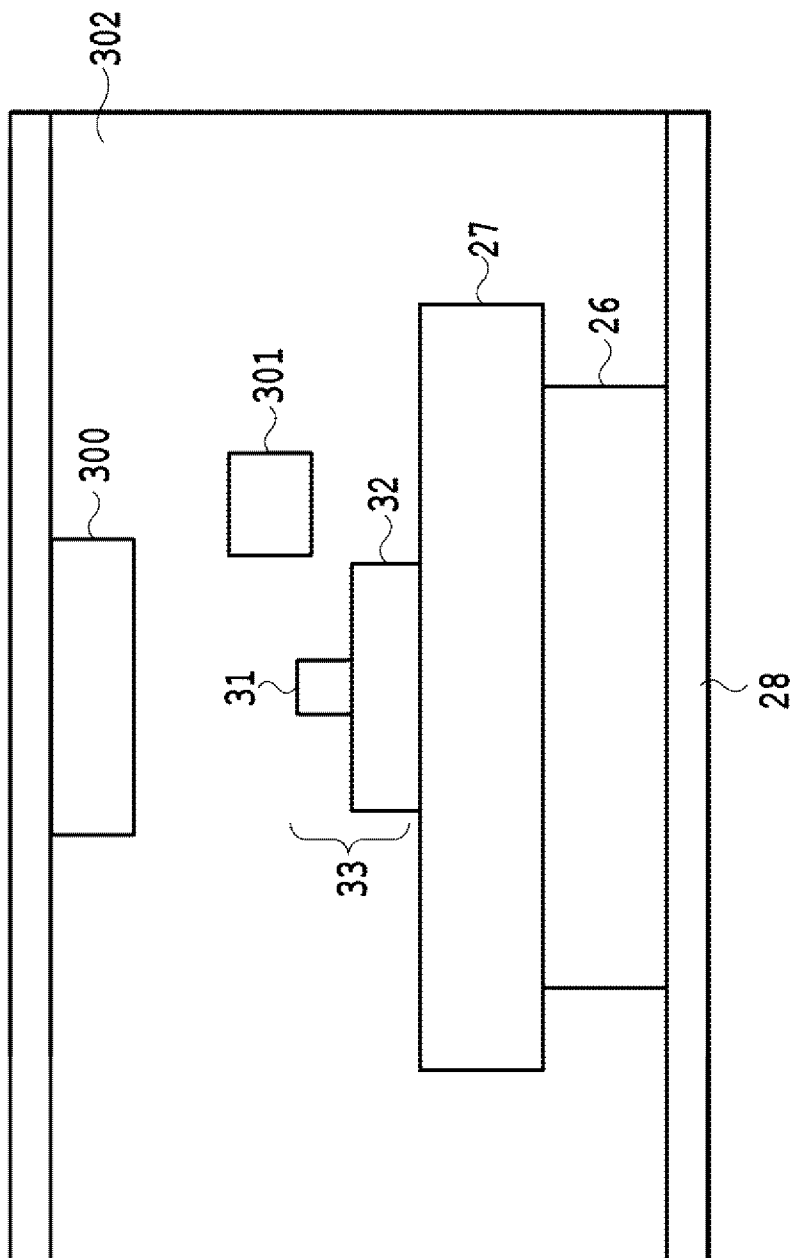


[図2]

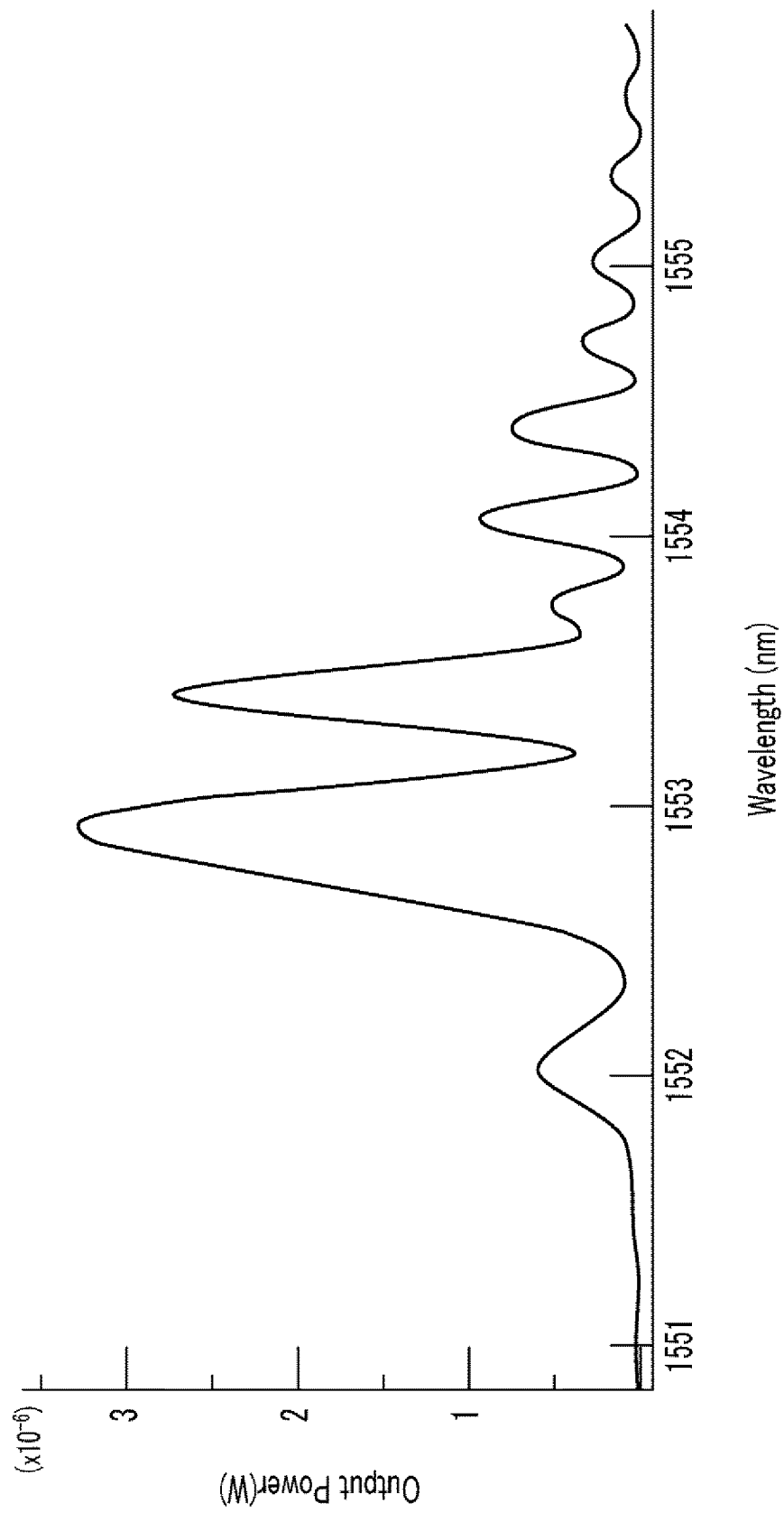


[図3]

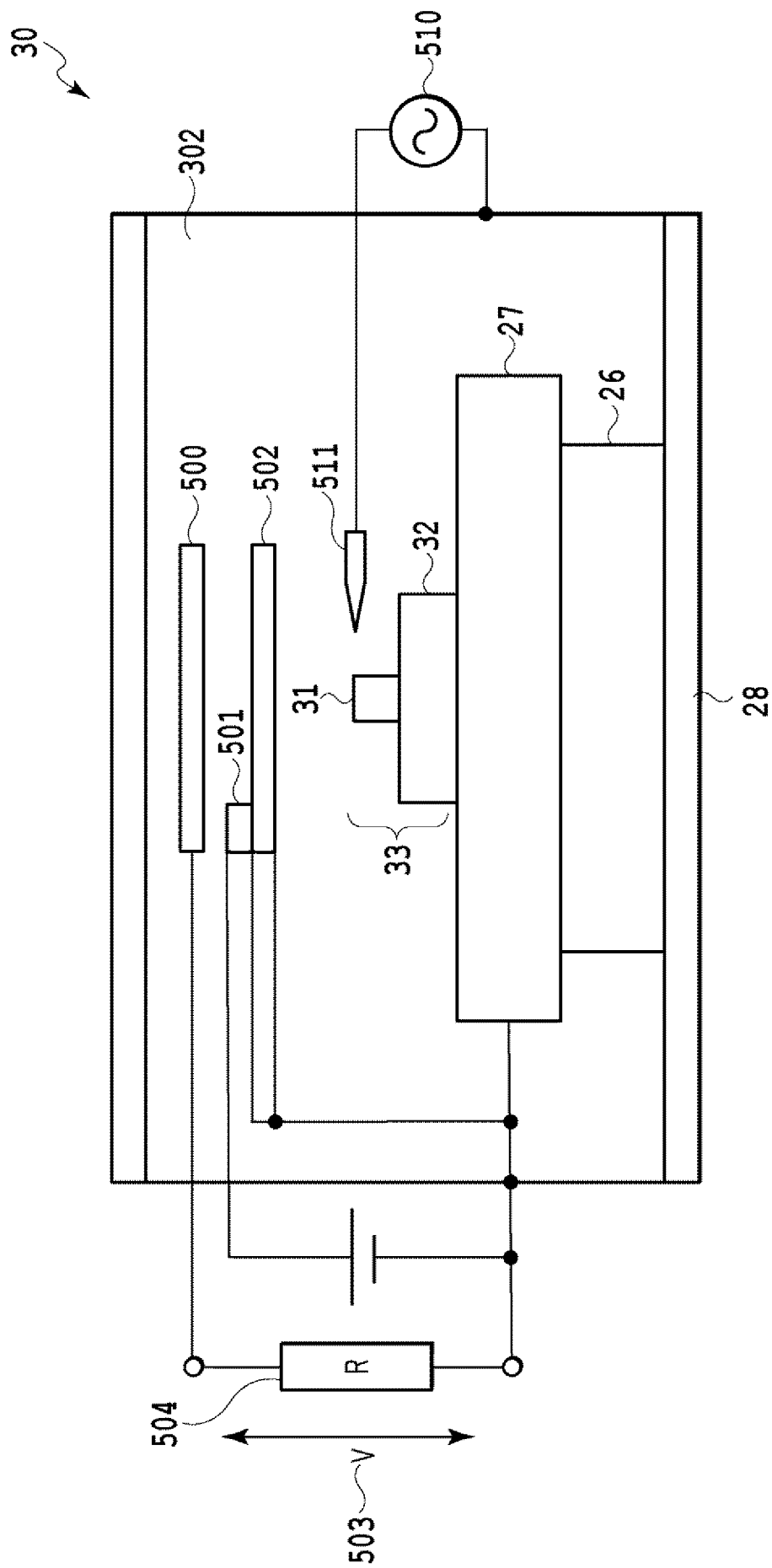
30



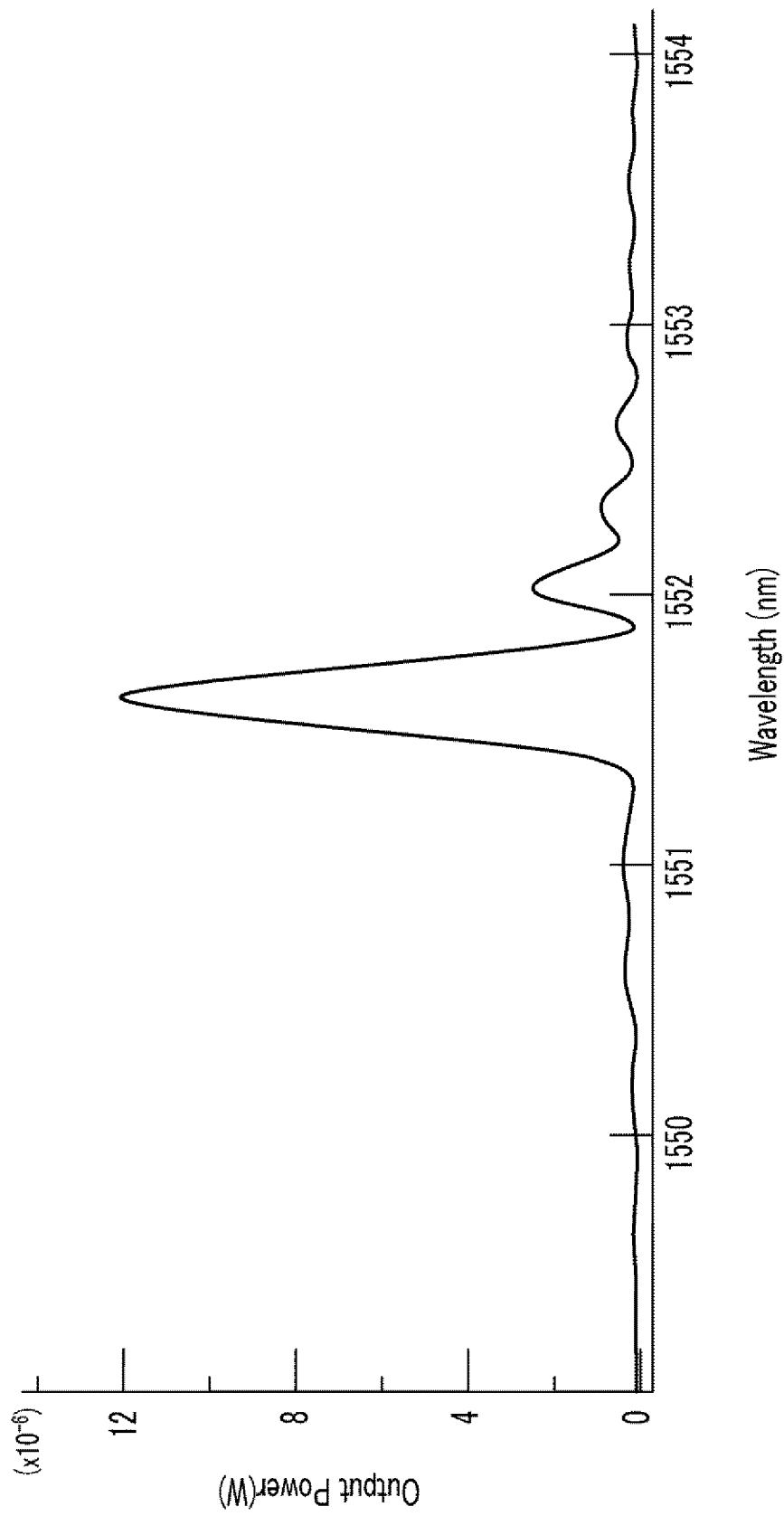
[図4]



[図5]

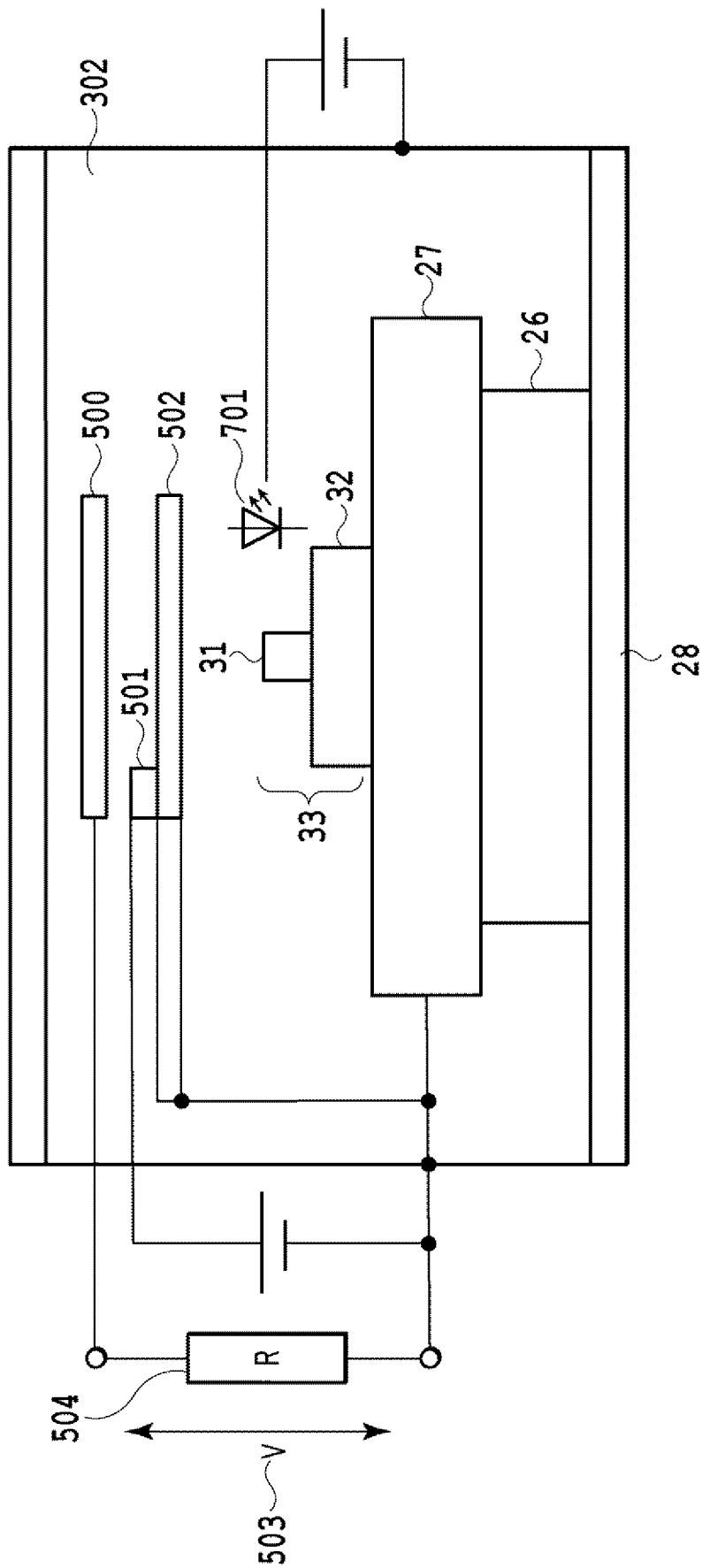


[図6]



[図7]

70



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/024534

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02F1/377 (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)

Int.Cl. G02F1/377, H01S3/109

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 A	JP 2015-219421 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 07 December 2015, paragraphs [0022]-[0050], fig. 1, 3, 13 (Family: none)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 2001-119090 A (FUJI PHOTO FILM CO., LTD.) 27 April 2001, paragraphs [0002]-[0003] (Family: none)	1, 4-6 2-3, 7-8



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

06 August 2019 (06.08.2019)

Date of mailing of the international search report

20 August 2019 (20.08.2019)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/024534

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-129547 A (SHIMADZU CORPORATION) 10 June 2010, paragraph [0012] (Family: none)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 2008-102228 A (SHIMADZU CORPORATION) 01 May 2008, paragraph [0006] (Family: none)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 08-297264 A (TOKIMEC CO., LTD.) 12 November 1996, paragraphs [0007]-[0008], [0017]-[0025], fig. 1-2 (Family: none)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 2008-009065 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 17 January 2008, paragraphs [0003]-[0008], fig. 1 (Family: none)	4-6 1-3, 7-8
Y A	JP 2014-062960 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 10 April 2014, fig. 5-7 & WO 2014/045658 A1 & TW 201413359 A, fig. 5-7	5-6 1-4, 7-8
A	JP 2000-137228 A (CANON INC.) 16 May 2000, entire text, all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2003-282296 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 03 October 2003, entire text, all drawings (Family: none)	1-8
A	US 2012/0044960 A1 (GOLDBERG et al.) 23 February 2012, entire text, all drawings (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/377(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. G02F1/377, H01S3/109

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 A	JP 2015-219421 A（日本電信電話株式会社） 2015.12.07, 段落【0022】 - 【0050】, 図1, 3, 13 (ファミリーなし)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 2001-119090 A（富士写真フイルム株式会社） 2001.04.27, 段落【0002】 - 【0003】 (ファミリーなし)	1, 4-6 2-3, 7-8

☒ 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

06.08.2019

国際調査報告の発送日

20.08.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

山本 貴一

2 L

4086

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C (続き) . 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 A	JP 2010-129547 A (株式会社島津製作所) 2010.06.10, 段落【0012】 (ファミリーなし)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 2008-102228 A (株式会社島津製作所) 2008.05.01, 段落【0006】 (ファミリーなし)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 08-297264 A (株式会社トキメック) 1996.11.12, 段落【0007】 - 【0008】, 【0017】 - 【0025】, 図 1-2 (ファミリーなし)	1, 4-6 2-3, 7-8
Y A	JP 2008-009065 A (日本電信電話株式会社) 2008.01.17, 段落【0003】 - 【0008】, 図 1 (ファミリーなし)	4-6 1-3, 7-8
Y A	JP 2014-062960 A (富士電機株式会社) 2014.04.10, 図 5-7 & WO 2014/045658 A1 & TW 201413359 A, 図 5-7	5-6 1-4, 7-8
A	JP 2000-137228 A (キヤノン株式会社) 2000.05.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2003-282296 A (株式会社安川電機) 2003.10.03, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	US 2012/0044960 A1 (GOLDBERG et al.) 2012.02.23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8