

(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
2025年1月16日(16.01.2025)



(10) 国際公開番号
WO 2025/013169 A1

(51) 国際特許分類:
G01M 11/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/025450

(22) 国際出願日: 2023年7月10日(10.07.2023)

(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: 風間 拓志 (**KAZAMA Takushi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1

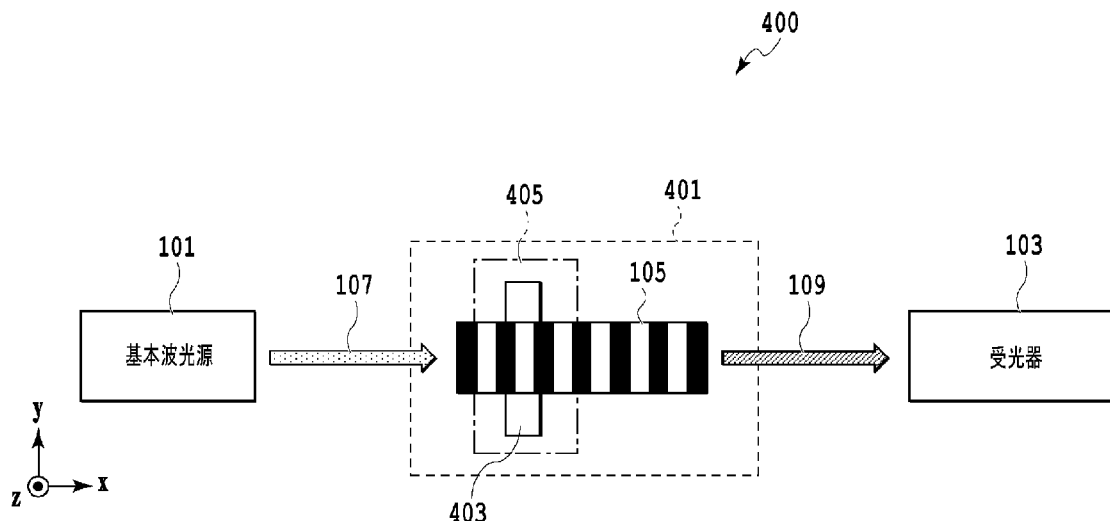
1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 阿部真志(**ABE Masashi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 梅木 毅伺(**UMEKI Takeshi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人谷・阿部特許事務所 (**TANI & ABE, P.C.**); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6番20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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT

(54) 発明の名称: 波長変換素子の特性測定デバイス及び方法



101 Fundamental wave light source

103 Light receiver

(57) **Abstract:** The present disclosure provides a device and a measurement method for acquiring and evaluating optical characteristics of a portion of an optical waveguide and a waveguide loss of second harmonic light. Specifically, the optical characteristic measuring device comprises a fundamental wave light source that outputs light serving as a fundamental wave of a second-order nonlinear optical process in a nonlinear optical waveguide, a light receiver that receives light in a band of a second harmonic output from the nonlinear optical waveguide, and a pedestal on which the nonlinear optical waveguide is installed, the pedestal including a temperature adjustment mechanism having one or a plurality of

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

temperature adjustment elements that adjust the temperature of a portion of the nonlinear optical waveguide, and a position adjustment mechanism that changes the position of the nonlinear optical waveguide of which the temperature is adjusted by the temperature adjustment mechanism.

(57) 要約: 本開示は、光導波路の一部の光学特性及び第2高調波光の導波損失を取得し、評価するためのデバイス及び測定方法を提供する。具体的に光学特性測定デバイスは、非線形光学導波路内における二次非線形光学過程の基本波となる光を出力する基本波光源と、非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、非線形光学導波路を設置する台座であって、台座は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する1つまたは複数の温度調節素子を有する温度調節機構と、温度調節機構により温度を調節する非線形光学導波路の位置を変更する位置調整機構を備える。

明 細 書

発明の名称：波長変換素子の特性測定デバイス及び方法

技術分野

[0001] 本開示は、非線形光学効果を用いた光学システムに関し、具体的には、光導波路型波長変換素子の基本特性を測定するためのデバイス及び測定方法に関する。

背景技術

[0002] 光通信における光信号波長変換や光変調、光計測、光加工、医療、生物学などの応用のための紫外域－可視域－赤外域－テラヘルツ域にわたるコヒーレント光の発生と変調のために、多くの非線形光学素子及び電気光学素子の開発が進められている。このような素子に用いられる非線形光学媒質および電気光学媒質としては種々の材料が研究開発されており、ニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）などの酸化物系化合物基板は二次非線形光学定数・電気光学定数が非常に高く有望な材料として知られている。このニオブ酸リチウムの高い非線形性を用いた光デバイスの一例として、周期的に分極反転されたニオブ酸リチウム（PPLN）が知られており、このPPLNによる第2高調波発生（SHG）・差周波発生（DFG）・和周波発生（SFG）を利用した波長変換素子が知られている。

[0003] 例えば、2から5 μm の中赤外の波長域には様々な環境ガスの基準振動などの強い吸収線が存在するため、小型の中赤外光源の開発が望まれている。このような中赤外域の光源には、技術的に成熟された1 μm 付近の励起光源と通信波長帯の信号光を用いることのできるDFGが有望だと考えられている。また、0.5 μm 付近の可視光の波長域には、半導体レーザでは実現の難しい波長域が存在することから、1 μm 付近の励起光源を用いて、SHGやSFGにより、緑色光などの可視光の発生を行うことのできる波長変換技術が有望視されている。さらに、DFGを用いた波長変換技術を用いると、光ファイバ通信で主に用いられている波長1.55 μm 帯の光を一括で別の

波長帯に変換できることから、波長分割多重方式における光のルーティングや、光ルーティングにおける波長の衝突回避などへ適用が可能であり、波長変換装置は大容量通信光ネットワークを構築するキーデバイスの一つとして考えられている。

[0004] P P L Nにおいて高効率を得るためには、光導波路型の素子が有効である。これは波長変換効率が非線形媒質を伝搬する光のパワー密度に比例するためであり、導波路構造を形成することで限られた範囲に光を閉じ込めることができるからである。このため非線形媒質を用いた種々の導波路が研究開発されており、導波路構造としては例えば、T i 拡散導波路や、プロトン交換導波路と呼ばれる、拡散型の導波路や、リッジ型の光導波路などがある。

[0005] いずれの導波路構造においても高い波長変換効率を実現するためには、単純に導波する光の伝搬損失が低いことに加え、作製する導波路構造の高い均一性が重要になる(非特許文献1)。これは例えば、非線形光学導波路(以下、P P L N導波路として記載)内においてS H Gを起こす場合には、基本波光信号と第2高調波光信号との間の疑似位相整合条件は、基本波光信号、第2高調波光信号の波長、実効屈折率をそれぞれ、 n_F 、 λ_F 、 n_{SH} 、 λ_{SH} 、分極反転周期を Δ とした場合に、以下の式1を満たす必要がある。

$$\frac{n_{SH}}{\lambda_{SH}} - 2 \frac{n_F}{\lambda_F} = \frac{1}{\Delta} \quad (\text{式1})$$

このとき、それぞれの実効屈折率は導波路の幅や厚みによって変化するため、導波路の長手方向に渡って導波路幅や厚みに分布がある場合、式1の条件を満たす波長が導波路の各地点で異なってしまうため、波長変換効率が劣化してしまう。このため、高い波長変換効率を実現するためには、導波路の幅や厚みの均一性が重要であり、高精度な導波路加工技術が必要になることを意味している。

[0006] 高い波長変換効率のP P L N導波路実現に向けて重要になるのは導波路加工技術ではあるものの、重要となるのはその良し悪しを判断するための導波路性能の評価技術である。P P L N導波路の基本性能指標として位相整合波

長と波長変換効率がある。例えば、この2つは、図1に示すように、基本波光源101からPPLN導波路105に基本波光信号107が入力した際に、光信号の波長を掃引しながら出力される第2高調波光信号109を第2高調波帯用の受光器103を用いてプロットすることで得られる位相整合曲線から測定することができる。図2に示すように、シングルピッチの分極反転周期を持つPPLNの場合、理想的には単一波長のピークを持つSinc関数上の位相整合曲線が得られる。位相整合波長は、第2高調波光の強度が最大となる波長であり、波長変換効率はSHG過程の下記の式2を用いて算出することができる。

$$P_{SH} = \eta P_F^2 \quad (\text{式2})$$

ここで、 P_{SH} は第2高調波光の出力強度、 η は波長変換効率、 P_F は入力基本波光の強度である。このように位相整合波長と、波長変換効率は、簡易な測定系で評価することが可能である。

[0007] しかしながら、図1の測定系で評価できる位相整合波長と波長変換効率は、PPLN導波路トータルでの性能しか見ていない。上述したように、PPLN導波路は導波路の長手方向に渡る各地点で位相整合条件を満足することが重要であり、均一な加工が必要になる。このため、作製した導波路の性能を評価する上では導波路各地点での位相整合曲線を得ることが望ましく、それが評価できればどこでどの程度位相整合条件がずれているかを把握することができるため、導波路加工の工程等にフィードバックしていくことが可能になる。

[0008] また、PPLN導波路においても一つ重要となるのが光の導波損失である。光の導波損失がそもそも大きい場合、二次非線形光学過程で発生し、導波路から出力される光強度が弱くなってしまうため、高い波長変換効率の実現できなくなってしまう。このため、光の導波損失を定量化し、導波損失の小さい加工工程を確立していくことが重要となる。

[0009] ここで、光の導波損失にも基本波光波長の導波損失と、第2高調波光の導波損失がある。基本波光波長に関しては、通常は光源や周辺光学部品が数多

く流通している波長帯を選択するため、導波損失の評価自体は難しくなく、例えば導波路の長さを変更しながら損失を測定してカットバック法や、単純にPPLN導波路の挿入損失からカップリング損失を差し引いて評価する方法、反射率の分布測定器を用いた導波損失測定法などを用いることで導波損失の評価が可能である。一方で、第2高調波帯の波長については、光源等の光学機器が入手しにくいことに加えて、導波路自体が第2高調波光からするとマルチモード導波路となっているため、損失測定自体が難しい。一般にPPLN導波路はコアサイズを小さくし、パワー密度を高くすることで効率が向上するため、基本波波長に対してシングルモード導波路となるコアサイズで設計する。このとき、第2高調波は、基本波波長の半分であるのに対して、導波路のコアサイズは同じであることから、必然的にマルチモード導波路となってしまう。マルチモード導波路に外部から光を入射した場合、複数の高次モードが励起され、それぞれ伝搬してしまうために、どのモードでどの程度の導波損失となっているのか切り分けができず、導波損失の評価が困難となってしまう。このような理由から導波損失の中でも第2高調波光の導波損失の評価は困難であった。

先行技術文献

非特許文献

- [0010] 非特許文献1: T. Umeki et al., “Highly Efficient Wavelength Converter Using Direct-Bonded PPZnLN Ridge Waveguide”, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, 46, 8, 2010

発明の概要

- [0011] 以上のように、PPLN導波路の出来栄を評価する上で重要となる、位相整合の分布特性に加え第2高調波光信号の導波損失を定量化することが困難であることを鑑み、本発明ではこれらの特性を簡易な測定系で評価することのできるデバイス及び測定方法を提供する。
- [0012] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する光学特性測定デバイスは、非線形光学導波路内における二次非線形光学過

程の基本波となる光を出力する基本波光源と、非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、非線形光学導波路を設置する台座であって、台座は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する1つまたは複数の温度調節素子を有する温度調節機構と、温度調節機構により温度を調節する非線形光学導波路の位置を変更する位置調整機構を備える。

[0013] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する光学特性測定デバイスは、非線形光学導波路内における二次非線形光学過程の基本波となる光を出力する基本波光源と、非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、非線形光学導波路を設置する台座であって、台座は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する1つまたは複数の温度調節素子と、1つまたは複数の温度調節素子のオン／オフを選択的に切り替える一つ又は複数のスイッチである温度調節機構を備えた光学特性測定デバイス。

[0014] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する光学特性測定デバイスは、非線形光学導波路内における二次非線形光学過程の基本波となる光を出力する基本波光源と、非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、非線形光学導波路を設置する台座であって、台座は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する温度調節機構であって、温度調節機構は、非線形光学導波路の上面から温度を調節するように構成され、温度調節機構の位置を調節する位置調整機構を備える。

[0015] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する光学特性測定デバイスは、非線形光学導波路内における二次非線形光学過程の基本波となる光を出力する基本波光源と、非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、非線形光学導波路を設置する台座であって、台座は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する温度調節機構であって、温度調節機構は、ペルチェ素子、またはヒーターのいずれかであり、温度調節機構の位置を調節する位置調整機構を備える。

- [0016] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する光学特性測定デバイスは、非線形光学導波路内における二次非線形光学過程の基本波となる光を出力する基本波光源と、非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、非線形光学導波路を設置する台座であって、台座は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する温度調節機構と、温度調節機構の位置を調節する位置調整機構を備え、非線形光学導波路は、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、又は $\text{LiNb}(x)\text{Ta}(1-x)\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$) 若しくは、それらにMg、Zn、Sc、Inからなる群から選ばれた少なくとも一種を添加物として含有する。
- [0017] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する方法は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する第1のステップと、非線形光学導波路に入射される基本波光の波長を掃引する第2のステップと、非線形光学導波路から出力される第2高調波光信号を受光する第3のステップと、受光した第2高調波光信号の位相整合特性を分析する第4のステップを備える。
- [0018] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する方法は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する第1のステップと、非線形光学導波路に入射される基本波光の波長を掃引する第2のステップと、非線形光学導波路から出力される第2高調波光信号を受光する第3のステップと、受光した第2高調波光信号の位相整合特性を分析する第4のステップに加えて、非線形光学導波路の一部の温度を調節する位置が所定の位置になるまで、非線形光学導波路の一部の温度を調節する位置の移動するステップ、並びに、第1のステップ、第2のステップ、及び第3のステップを繰り返すことをさらに備える。
- [0019] 例示的な実施形態の態様によれば、非線形光学導波路の光学特性を測定する方法は、非線形光学導波路の一部の温度を調節する第1のステップと、非線形光学導波路に入射される基本波光の波長を掃引する第2のステップと、非線形光学導波路から出力される第2高調波光信号を受光する第3のステッ

プと、受光した第2高調波光信号の位相整合特性を分析する第4のステップに加えて、第3のステップの後に、非線形光学導波路の基本波光信号を入射する面と第2高調波光信号出力される面の位置関係を逆にするステップ、並びに、第2のステップ及び第3ステップを繰り返すステップをさらに備える。

[0020] 上述した本開示の構成と手法により、通常は評価が困難であった位相整合の分布特性と第2高調波光の導波損失を簡易な構成で評価することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0021] 本開示のさらなる特徴および利点は、添付の図を参照して、以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

[0022] [図1]従来における非線形光学素子の特性測定系を示す概略図である。

[図2]図1に示す特性測定系を用いて得られた位相整合波長曲線を示す図である。

[図3]位相整合波長曲線の温度依存性を示す図である。

[図4]本開示にかかるPPLN導波路の位相整合の温度依存性を用いた光学特性測定デバイスを示す図である。

[図5]本開示にかかる光学特性測定デバイスを用いて、局所的にPPLN導波路を加熱した時に計測した位相整合波長曲線を示す図である。

[図6]本開示にかかる光学特性測定デバイスを用いてPPLN導波路の全領域を局所的に加熱しながら特性測定をする方法及びその結果を示す図である。(

I)は、温度調節機構がPPLN導波路の左端($x = 0\text{ mm}$)に位置する時の様子とその位相整合特性であり、(II)は $x = 5\text{ mm}$ 、(III)は $x = 10\text{ mm}$ 、(IV)は $x = 40\text{ mm}$ に位置する時のものである。

[図7]本開示にかかるPPLN導波路と温度調節機構との相対的な位置関係を変更できる別の光学特性測定デバイスを示す図である。

[図8]本開示にかかる光学特性測定デバイスに基づいて第2高調波光の導波損失を取得するためのデバイス構成を示す図であり、(a)は第1の受光過程

における第2高調波光信号の強度 P_{SH1} を取得する構成を示し、(b)は第2の受光過程における第2高調波光信号の強度 P_{SH2} を取得する構成を示す。

[図9]本開示にかかる光学特性測定デバイスを用いて局所的にPPLN導波路の一部を評価する測定方法を示すフローチャートである。

[図10]本開示にかかる光学特性測定デバイスを用いて第2高調波光の導波損失を取得するための測定方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面を参照しながら、本開示の実施形態について説明する。なお、図は模式的なものであり、機能又は構造を概念的に説明するものである。また、以下に示す実施の形態により本発明が限定されるものではない。図面において、同一の参照符号は、可能な限り同一又は類似の構成要素に用いる。

[0024] (実施形態1)

本開示では、PPLN導波路の位相整合特性の温度依存性を活用することで、PPLN導波路の光信号伝搬方向に沿った各地点で位相整合条件を局所的に評価できるデバイスを提供する。まず初めに位相整合の温度特性について説明する。

[0025] 位相整合の条件は、上記の式1の通りではあるが、導波路の材料であるニオブ酸リチウムの屈折率は、温度に依存するためにPPLNの導波路の温度が異なる場合には位相整合条件を満たす波長が変わる。図3に位相整合の温度依存性の一例を示す。横軸は第2高調波光信号の波長であり、縦軸は規格化した波長変換効率である。温度を上げると位相整合波長が長波側に移動し、温度を下げた場合には短波側に移動する挙動を示し、位相整合波長の温度依存性は、 $0.14\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ 程度である。

[0026] 本開示にかかるPPLN導波路の位相整合の温度依存性を用いた光学特性測定デバイス400を図4に示している。光学特性測定デバイス400は、基本波光信号107を発生させてPPLN導波路105に入力する基本波光源101と、第2高調波光信号109を受光するために受光器103を用いる点は図1の場合と同様であるが、PPLN導波路105の一部の温度を局

所的に調節するための機構403（すなわち、温度調節機構）を設けている点が異なる。以下に、光学特性測定デバイス400の構成についてさらに詳しく説明する。

[0027] 光学特性測定デバイス400は、PPLN導波路105内で二次非線形光学過程の種となる基本波光信号107を発生させてPPLN導波路105に向けて入力する基本波光源101、PPLN導波路105を介して出力される第2高調波光信号109の受光する受光器103、PPLN導波路105一部の温度を調節するために形成された温度調節機構403、及びPPLN導波路105に対して温度調節機構403の位置を移動するために設置された位置調節機構405を有する。また、PPLN導波路105並びに温度調節機構403及び位置調節機構405は、台座401上に設置される。

[0028] 基本波光源101は、図4に示すように、PPLN導波路105の入射面に対抗するように形成されており、PPLN導波路105内における二次非線形光学過程の基本波なる光を出力する。基本波光源101の種類は、応用分野に応じて任意に選択され得る。いくつかの実施形態では、基本波光源101として、限定はせずに、ダイオードポンプ固体レーザ、バルクレーザ、ファイバレーザ、ファイバ増幅バルクレーザ、ファイバ増幅器、ディスクレーザ、および赤外レーザデバイスを含めた任意の多様なレーザデバイスを使用され得る。また、一実施形態では、基本波光源101は、低電力又は低エネルギーのファイバベースレーザ（fiber-based laser）、ガスレーザ、二酸化炭素（CO₂）レーザネオジムドーパされたイットリウムアルミニウムガーネット（Nd:YAG）レーザデバイスを使用され得る。

[0029] また、基本波光源101の波長及び／又は出力強度は、PPLN導波路105の特性に応じて任意に選択され得る。いくつかの実施形態では、基本波光源101は、光源のみである場合もあるが、ユーザーが波長及び／又は出力強度を任意に制御できる制御部品又は機構を含む場合もある。

[0030] 受光器103は、PPLN導波路105の出射面に対抗するように形成さ

れ、第2高調波光信号109を受光する。受光器103は、PPLN導波路105から出力される第2高調波の光を受光し得る受光帯域を有している。いくつかの実施形態では、限定はせずに、光電効果を用いた光電管又は光電子増倍管、若しくは半導体の内部光電効果を利用したフォトランジスタ、フォトダイオード、アバランシェフォトダイオードなどを使用され得る。

[0031] 温度調節機構403は、PPLN導波路105の一部の温度を調節するためにPPLN導波路105の近傍に設置され得る。また、温度調節機構403は、PPLN導波路105と直接接触されていてもよく、一定距離に離れた場所に設置され、間接的に温度調節してもよい。さらに、図4では、PPLN導波路105の底面側に温度調節機構403が設置されているように図示したが、必ずしも底面側である必要はなく、PPLN導波路105の側面又は上面側に設置されても、若しくはリング状でPPLN導波路105を囲んでもよい。

[0032] 温度調節機構403は、加熱機能と冷却機能のうちのいずれかの1つを有する温度調節素子404（図7を参照）でもよく、又は両機能を有する温度調節素子404でもよい。いくつかの実施形態では、温度調節素子404には、例えば、小型のペルチェ素子やヒーターなどが使用され得る。

[0033] 一実施形態として、位置調節機構405は、温度調節機構403及び／又は温度調節素子404と結合され、温度調節機構403及び／又は温度調節素子404を基本波光信号107の伝搬方向（図4におけるx方向）に沿って移動させるように設置される。いくつかの実施形態では、位置調節機構405と温度調節機構403は、それぞれ単体の部品として結合されてもよく、統合された一体部品として提供されてもよい。

[0034] 別の実施形態として、位置調節機構405は、PPLN導波路105と結合され、PPLN導波路を移動させることにより温度調節機構403との相対的な位置関係を変更することで、温度調節機構403により温度を調節するPPLN導波路105の位置を変更できる。

[0035] さらに別の実施形態として、台座401自体が位置調節機構405の機能

を有し、台座401上に設置された温度調節機構403又はPPLN導波路105を移動させることにより相対的な位置関係を変更して、温度調節機構403により温度を調節するPPLN導波路105の位置を変更できる。

[0036] 位置調節機構405は、例えば、マイクロメーター付きの微動台であり、ユーザーにより手動で操作されてもよく、電動モーターなどと結合され自動的に操作されてもよい。上記のPPLN導波路105、温度調節機構403、及び位置調節機構405は、台座401上に配置され得る。

[0037] いくつかの実施形態では、PPLN導波路105は、非線形光学素子であり、例示的にLiNbO₃、LiTaO₃、又はLiNb(x)Ta(1-x)O₃ ($0 \leq x \leq 1$) 若しくは、それらにMg、Zn、Sc、Inからなる群から選ばれた少なくとも一種を添加物として含有する。

[0038] PPLN導波路105の位相整合特性の温度依存性を活用する本開示の光学特性測定デバイス400を用いて導波路一部を加熱することで局所的な位相整合波長のみをシフトさせ、言い換えると残りの導波路トータルでの位相整合波長から分離することで、その地点における局所的な位相整合特性をすることができる。一例として、図4のx方向に延伸している長さ45mmのPPLN導波路105に対し、同じくx方向に5mmの幅を有する温度調節機構を用いて局所的に温度を50℃に上げ、残りの導波路部分は、室温として位相整合特性の評価を行った。温度調節機構403により加熱されるPPLN導波路105の部分と加熱されないPPLN導波路105の残りの部分とで大幅に導波路長が異なるため、波長変換効率に差はあるものの、位相整合波長は分離でき、50℃の場合の局所的な位相整合特性が評価できる。ただし、本実施形態において、局所加熱機構を行わない残りの導波路部分については室温としたが、ペルチェ素子、又はヒーターを用いて一定温度に保持してもよい。

[0039] 上記評価の結果を図5に示す。横軸は、第2高調波光信号109の波長であり、縦軸はその相対強度である。図5を参照すれば、50℃で加熱されたPPLN導波路105の局所部に対する位相整合波長（すなわち、グラフの

右峰)は、加熱されないPPLN導波路105の残りの部分に対する位相整合波長(すなわち、グラフの中央峰)に比べて長波側に移動され、明確に分離されていることが確認できる。これは、PPLN導波路105のトータルの位相整合特性から所望の部分のみの位相整合特性を取り出して評価することができることを意味する。

[0040] さらに拡張された実施形態では、図6(a)に示すように、温度調節機構403を基本波光信号107の進行方向(図4を参照すれば、PPLN導波路105の延伸(x)方向)に沿って(例えば、(I)から(IV)の位置へ)位置を移動していくことで、PPLN導波路105全体に対する各地点における50℃での位相整合特性を評価することができる。図6(I)は、温度調節機構403がPPLN導波路105の左端($x=0\text{ mm}$)に位置する時の様子とその位相整合特性であり、(II)は $x=5\text{ mm}$ 、(III)は $x=10\text{ mm}$ 、(IV)は $x=40\text{ mm}$ に位置する時のものである。加熱によって分離されたPPLN導波路105内の各部分における位相整合特性は、図6(b)に示すように計測され、比較され、評価される。したがって、本開示における光学特性測定デバイス400は、PPLN導波路105の局所的な一部の評価を可能にする。

[0041] (実施形態2)

本実施形態では、上述の第1の実施形態に基づいて、温度調節機構403を変形した光学特性測定デバイス400をさらに提供する。第1の実施形態と共通する部分については適宜に説明を省略する。

[0042] 温度調節機構403は、基本波光信号107の伝搬方向(図7におけるx方向)に配列された複数の温度調節素子404_1~404_Nを備えることができる。それぞれの温度調節素子404_1~404_Nは、これらのオン/オフを選択的に切り替えすることができる一つ又は複数のスイッチ407に繋がる。この変形形態では、一つ又は複数のスイッチ407が、PPLN導波路105と温度調節機構403との相対的な位置関係を変更することにより、温度調節機構403により温度を調節するPPLN導波路105の位

置を変更する位置調節機構405を構成する。温度調節素子(404)には、例えば、小型のペルチェ素子やヒーターなどが使用され得る。

[0043] (実施形態3)

本実施形態では、上述の光学特性測定デバイス400に基づいて、第2高調波光の導波損失を取得する更なる方法を提供する。

[0044] 図8は、本開示における光学特性測定デバイス400の上面図である。図8(a)に示している光学特性測定デバイス400は、図4に示したデバイス400と同一構成であるが、図8(b)に示している光学特性測定デバイス400は、基本波光源101と受光器103の位置関係を逆にしたものである。また、上述した通り基本波光信号107の伝搬損失評価は数多くあり、容易に評価できることから、ここでは前提としてPPLN導波路105内の基本波光信号107の導波損失は、既知であるものとしている。

[0045] 図8では例えば、局所温度調節機構403を40mm地点($x=40\text{mm}$)とした場合を想定している。図8(a)の測定の場合に、PPLN導波路105に基本波光信号107が入力された地点(P)での基本波光信号107の強度を P_F 、基本波光信号107の40mm伝搬時の導波損失を α 、温度調節機構403を導波路長40mm地点としたときの局所的な波長変換効率を η 、受光器103によって受光される第2高調波光信号109の強度を P_{SH1} とすると上記の式2から以下の式3のようになる。

$$P_{SH1} = \eta \alpha^2 P_F^2 \quad (\text{式3})$$

[0046] 一方で、図8(a)に示した構成から基本波光信号107の入射面と第2高調波光信号109の出射面逆にした図8(b)の測定の場合は、PPLN導波路105に基本波光信号107が入力された地点(P)での基本波光信号107の強度を P_F 、第2高調波光信号109の40mm伝搬時の損失を β 、温度調節機構403を導波路長40mm地点としたときの局所的な波長変換効率を η 、受光器103によって受光される第2高調波光信号109の強度を P_{SH2} とすると上記の式2から以下の式4のようになる。ただし、PPLN導波路105の左右の両端からの入射時におけるカップリングロスは同じである

と仮定する。

$$P_{SH2} = \eta P_F^2 \beta \quad (\text{式4})$$

[0047] 基本波光信号107の導波損失 α は、既知という前提のもと、 P_{SH1} 及び P_{SH2} は、測定値として得られることから、式3及び式4を用いて第2高調波光信号109の伝搬損失 β の値を求めることが可能となる。本測定方法のポイントとなるのは、SHG過程で発生した第2高調波光信号109を用いた測定をしている点であり、第2高調波信号109は、基本波光信号107の基本モードと位相整合する基本モードでのみ励振されるため、上述したようなマルチモード導波路起因の高次モードの励振といった問題が生じないことを利用している点である。

[0048] 以上のように、本開示における光学特性測定デバイス400を用いることで、従来は評価が困難であった位相整合の分布特性及び／又は第2高調波光信号109の導波損失を簡易な構成で評価することが可能になる。

[0049] (実施形態4)

以下に上記の実施形態に示した光学特性測定デバイス400を用いてPPLN導波路105の位相整合の分布特性を測定方法について図9を参照しながら説明する。図9は、光学特性測定するための手順を示すフローチャートである。

[0050] 本測定前に光学特性測定デバイス400に設けられた台座401に評価対象のPPLN導波路105をセットし、評価を開始する901。PPLN導波路105の一部にかかる位相整合波長のみをシフトさせ、トータルでの位相整合波長から分離するために、温度調節機構403を用いてPPLN導波路105の一部を所望温度に調節する903。温度が所望温度に到達して一定になった際に、PPLN導波路105の入射面に対応するように設置された基本波光源101からPPLN導波路105の入射面に対して基本波光信号107を入力し、基本波光信号107の波長を掃引する905。基本波光信号107は、PPLN導波路105内を伝搬し、それに対する第2高調波光信号109がPPLN導波路105の出射面から出力され、出射面に対抗

するように設置された受光器 103 によって受光される 907。

[0051] 次に、評価対象の P P L N 導波路 105 の長さに従って事前に指定された位置に温度調節機構 403 が達したがいなかったかを判断する 909。達していない場合、位置調節機構 405 は温度調節機構 403 を移動させ 811、上記の 905 及び 907 過程を再度実施する。その後、温度調節機構 403 が指定位置に到達した時に、受光された第 2 高調波光信号 109 の位相整合波長は、分析され 913、プロセスは終了する 915。ただし、P P L N 導波路 105 の各部分に対する上記位相整合波長の分析 913 は、それぞれの受光過程 907 の後に毎回実施せれてもよく、温度調節機構 403 の位置移動による繰り返し計測の終了後、一括で実施されてもよい。

[0052] (実施形態 5)

以下に上記の実施形態 3 に示した光学特性測定デバイス 400 を用いて P P L N 導波路 105 の第 2 高調波光信号 109 の導波損失を評価方法について図 10 を参照しながら説明する。図 10 は、光学特性測定するための手順を示すフローチャートである。

[0053] 本測定前に光学特性測定デバイス 400 に設けられた台座 401 に評価対象の P P L N 導波路 105 をセットし、評価を開始する 901。P P L N 導波路 105 の一部にかかる位相整合波長のみをシフトさせ、トータルでの位相整合波長から分離するために、温度調節機構 403 を用いて P P L N 導波路 105 の一部を所望温度に調節する 903。温度が所望温度に到達して一定になった際に、P P L N 導波路 105 の入射面に対応するように設置された基本波光源 101 から P P L N 導波路 105 の入射面に対して基本波光信号 107 を入力し、基本波光信号 107 の波長を掃引する 905。基本波光信号 107 は、P P L N 導波路 105 内を伝搬し、それに対する第 2 高調波光信号 109 が P P L N 導波路 105 の出力面から出力され、出力面に対抗するように設置された受光器 103 によって受光される 907 (第 1 の受光過程)。

[0054] 次に、第 2 高調波光信号 109 の損失 β を評価するために、基本波光信号

107の入射面と第2高調波光信号109の出射面の位置関係を逆にする1001。基本波光源101からPPLN導波路105の入射面に対して基本波光信号107を入力し、基本波光信号107の波長を再び掃引する1003。基本波光信号107は、PPLN導波路105内を伝搬し、第2高調波光信号109がPPLN導波路105の出射面から出力され、出射面に対抗するように設置された受光器103によって再び受光される1005（第2の受光過程）。

[0055] その後、第1の受光過程907で取得した第2高調波光信号109の強度（ P_{SH1} ）と第2の受光過程1005で取得した第2高調波光信号109の強度（ P_{SH2} ）を上述の式3及び式4に代入し、第2高調波光信号109の損失 β を計算する1007。その後、評価は終了する915。

[0056] 上記の計算式は、光学特性測定デバイス400と一体される又は別の部品として外付けされるメモリなどに格納され得、光学特性測定デバイス400と一体されたまたは別の部品として外付けされたマイコンなどのプロセッサで計算され得る。

[0057] したがって、本開示による光学特性測定デバイス400は、以上のように、PPLN導波路105製造品質を局所的に評価し、位相整合の分布特性に加え第2高調波光信号109の導波損失を定量化する簡易な測定系を提供できる。

[0058] （追加的な考慮事項）

本発明の実施形態の前述の説明は、例示の目的で提示されており、網羅的であること、または開示された正確な形態に限定することは、意図されていない。当業者は、上記の開示に照らして多くの修正および変更が可能であることを理解することができる。

[0059] 最後に、本明細書で使用される文言は、主に可読性および指示目的のために選択されたものであり、発明の主題を描写または制限するために選択されたものではない場合がある。したがって、発明の範囲は、この詳細な説明によって制限されるのではなく、添付の特許請求の範囲によって制限されるこ

とを意図する。したがって、本発明の実施形態の開示は、特許請求の範囲に記載される本発明の範囲を例示することを意図するものであり、限定するものではない。

産業上の利用可能性

[0060] このように、本開示の光導波路型波長変換素子の基本特性を測定するためのデバイス及び測定方法では、素子内の温度を局所的に調節することや入射面と出射面の位置関係を逆にして計測を行うことにより素子内の位相整合の分布特性と第2高調波光の導波損失を簡易な構成で評価することが可能となる。

符号の説明

[0061]	1 0 1	基本波光源
	1 0 3	受光器
	1 0 5	P P L N導波路
	1 0 7	基本波光信号
	1 0 9	第2高調波光信号
	4 0 0	光学特性測定デバイス
	4 0 1	台座
	4 0 3	温度調節機構
	4 0 4	温度調節素子
	4 0 4 __ 1	第1の温度調節素子
	4 0 4 __ N	第Nの温度調節素子
	4 0 5	位置調節機構
	4 0 7	スイッチ
	9 0 1	開始
	9 0 3	導波路の一部の温度を調節する
	9 0 5	基本波光信号の波長を掃引する
	9 0 7	第2高調波光信号を受光する
	9 0 9	指定位置に達したか判断する

- 9 1 1 温度調節機構の位置を移動する
- 9 1 3 取得結果を分析する
- 9 1 5 終了
- 1 0 0 1 基本波光信号の入射面と第 2 高調波信号の出射面の位置関係を逆にする
- 1 0 0 3 基本波光信号の波長を掃引する
- 1 0 0 5 第 2 高調波光信号を受光する
- 1 0 0 7 取得した第 2 高調波光信号から第 2 高調波光信号の損失を計算する

請求の範囲

- [請求項1] 非線形光学導波路の光学特性を測定する光学特性測定デバイスであって、
前記非線形光学導波路内における二次非線形光学過程の基本波となる光を出力する基本波光源と、
前記非線形光学導波路から出力される第2高調波の帯域内の光を受光する受光器と、
前記非線形光学導波路を設置する台座であって、前記台座は、
前記非線形光学導波路の一部の温度を調節する1つまたは複数の温度調節素子を有する温度調節機構と、
前記温度調節機構により温度を調節する前記非線形光学導波路の位置を変更する位置調整機構と
を備えた光学特性測定デバイス。
- [請求項2] 前記1つまたは複数の温度調節素子は複数の温度調節素子であり、
前記温度調節機構は、前記複数の温度調節素子のオン／オフを選択的に切り替える一つ又は複数のスイッチである、請求項1に記載の光学特性測定デバイス。
- [請求項3] 前記温度調節素子は、前記非線形光学導波路の上面から温度を調節するように構成されている、請求項1又は2に記載の光学特性測定デバイス。
- [請求項4] 前記温度調節素子は、ペルチェ素子、又はヒーターである、請求項1又は2に記載の光学特性測定デバイス。
- [請求項5] 前記非線形光学導波路が、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、又は $\text{LiNb}(\text{x})\text{Ta}(1-\text{x})\text{O}_3$ ($0 \leq \text{x} \leq 1$) 若しくは、それらにMg、Zn、Sc、Inからなる群から選ばれた少なくとも一種を添加物として含有している請求項1又は2に記載の光学特性測定デバイス。
- [請求項6] 非線形光学導波路の光学特性を測定する方法であって、
前記非線形光学導波路の一部の温度を調節する第1のステップと、

前記非線形光学導波路に入射される基本波光信号の波長を掃引する第2のステップと、

前記非線形光学導波路から出力される第2高調波光信号を受光する第3のステップと、

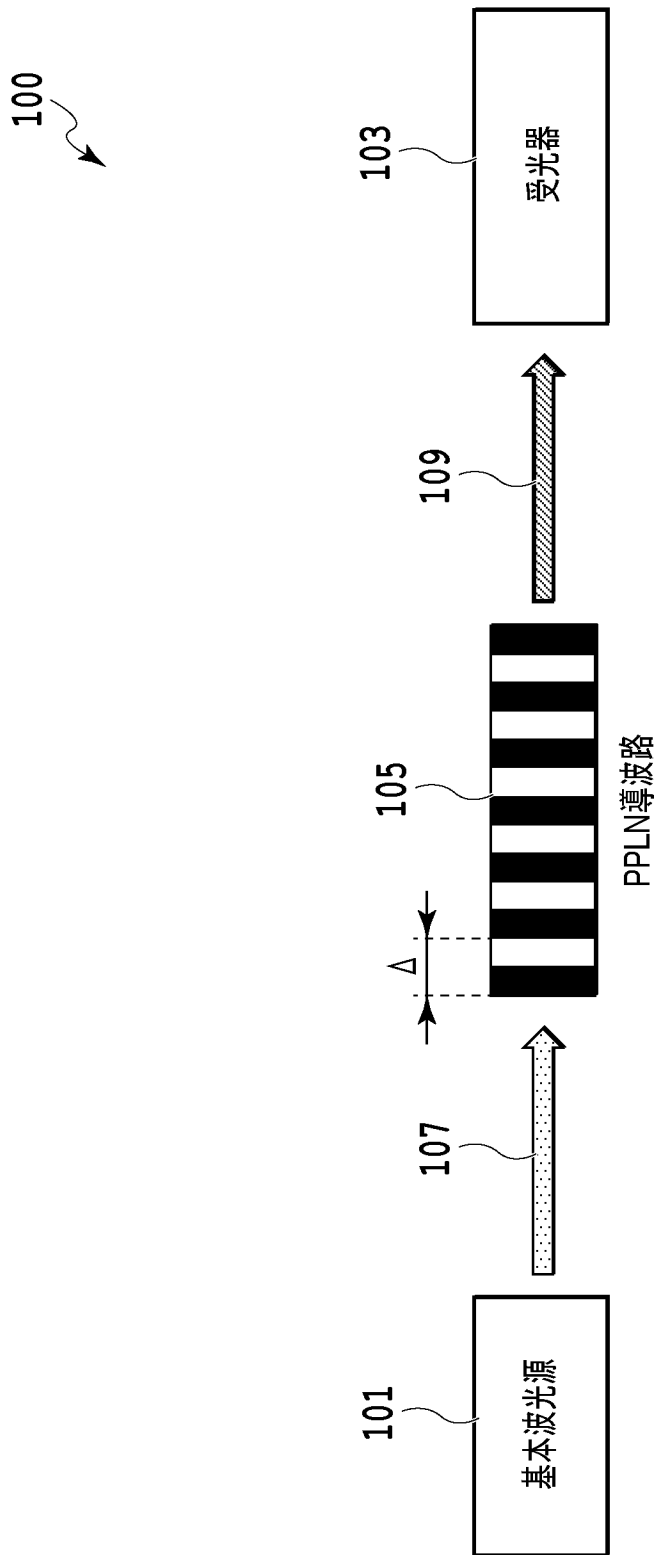
前記受光した前記第2高調波光信号の位相整合特性を分析する第4のステップと、

を備えた光学特性測定方法。

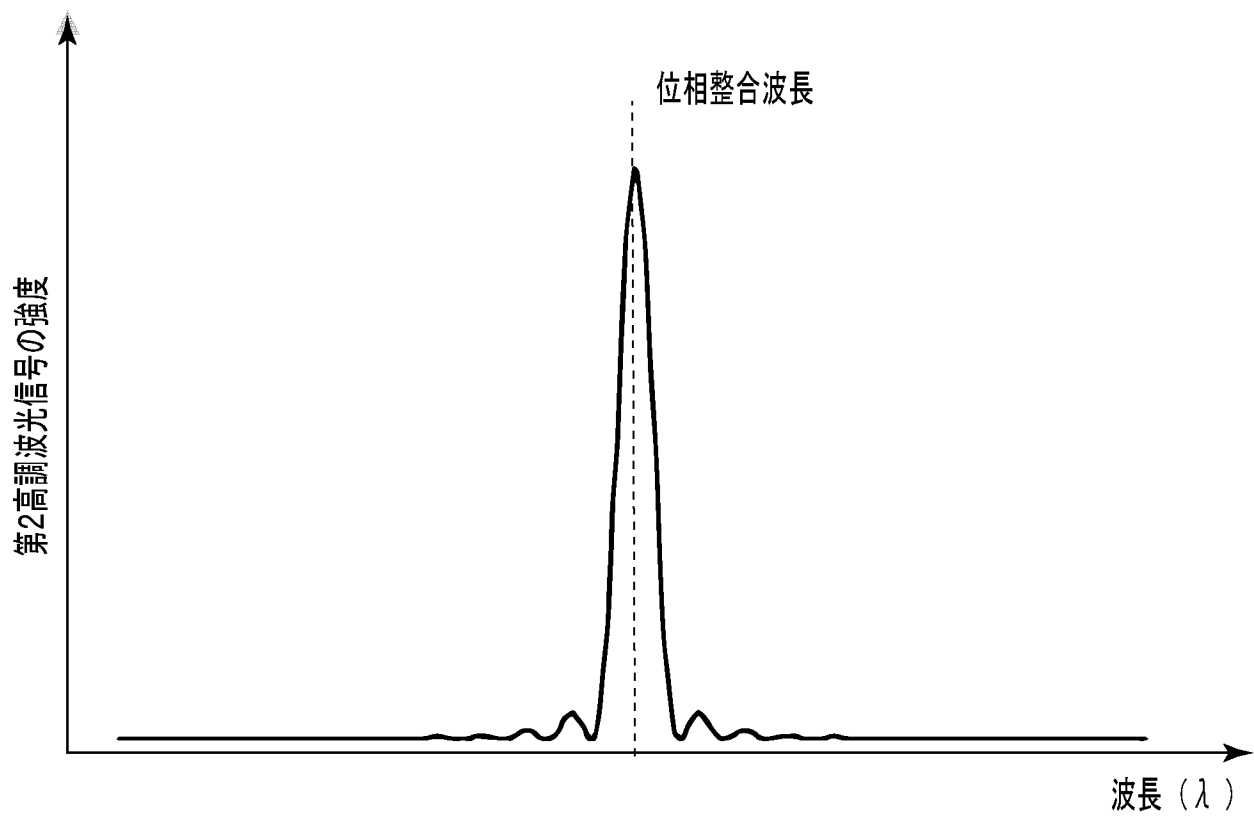
[請求項7] 前記非線形光学導波路の前記一部の温度を調節する位置が所定の位置になるまで、前記非線形光学導波路の前記一部の温度を調節する位置を移動するステップ、並びに、前記第1のステップ、前記第2のステップ、及び前記第3のステップを繰り返すことをさらに備える請求項6に記載の光学特性測定方法。

[請求項8] 前記第3のステップの後に、前記非線形光学導波路の前記基本波光信号を入射する面と前記第2高調波光信号が出力される面の位置関係を逆にするステップ、前記第2のステップ及び前記第3のステップを繰り返すステップ、並びに、前記第2高調波光信号の損失を計算するステップをさらに備える請求項6又は7に記載の光学特性測定方法。

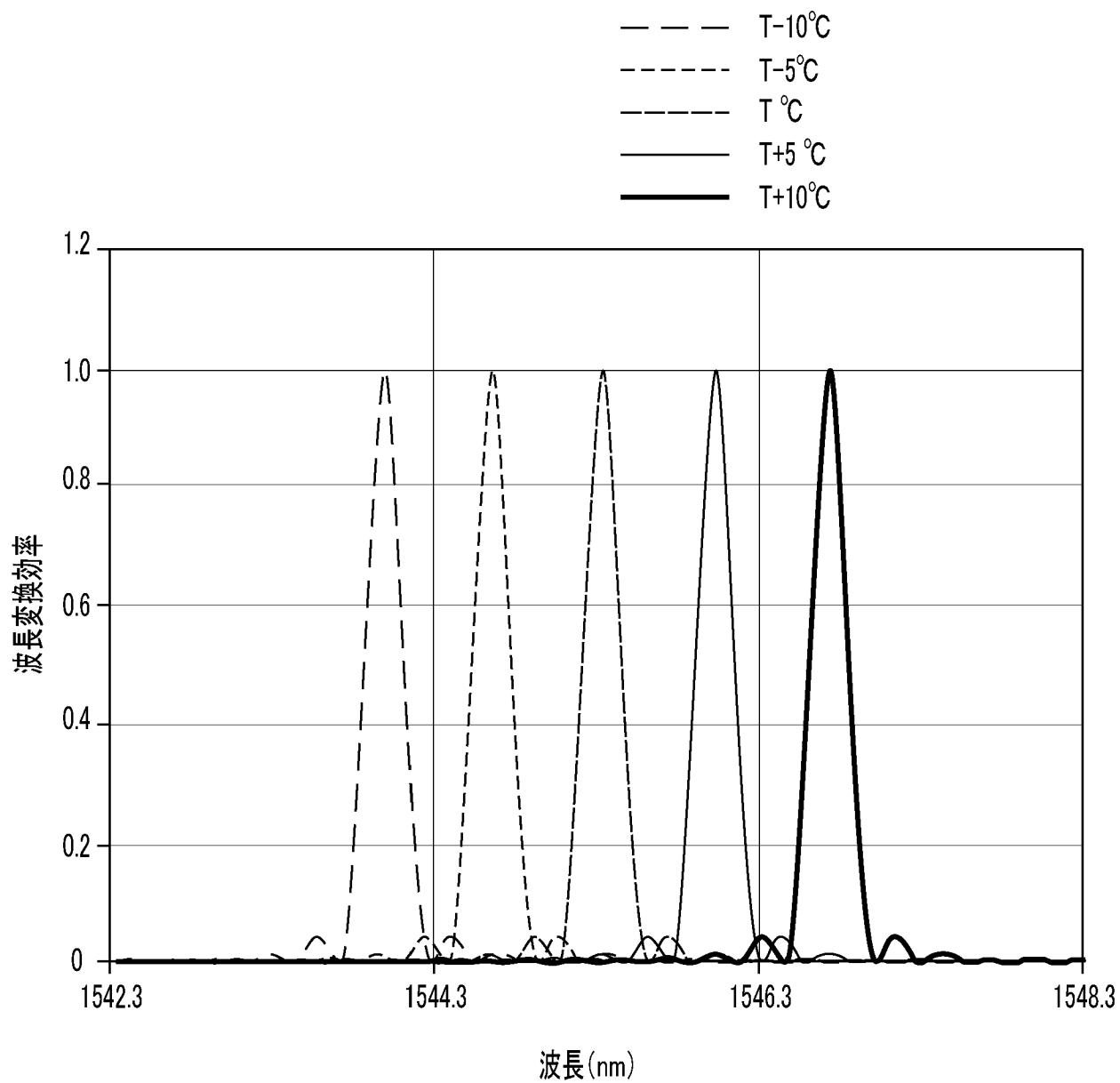
[図1]



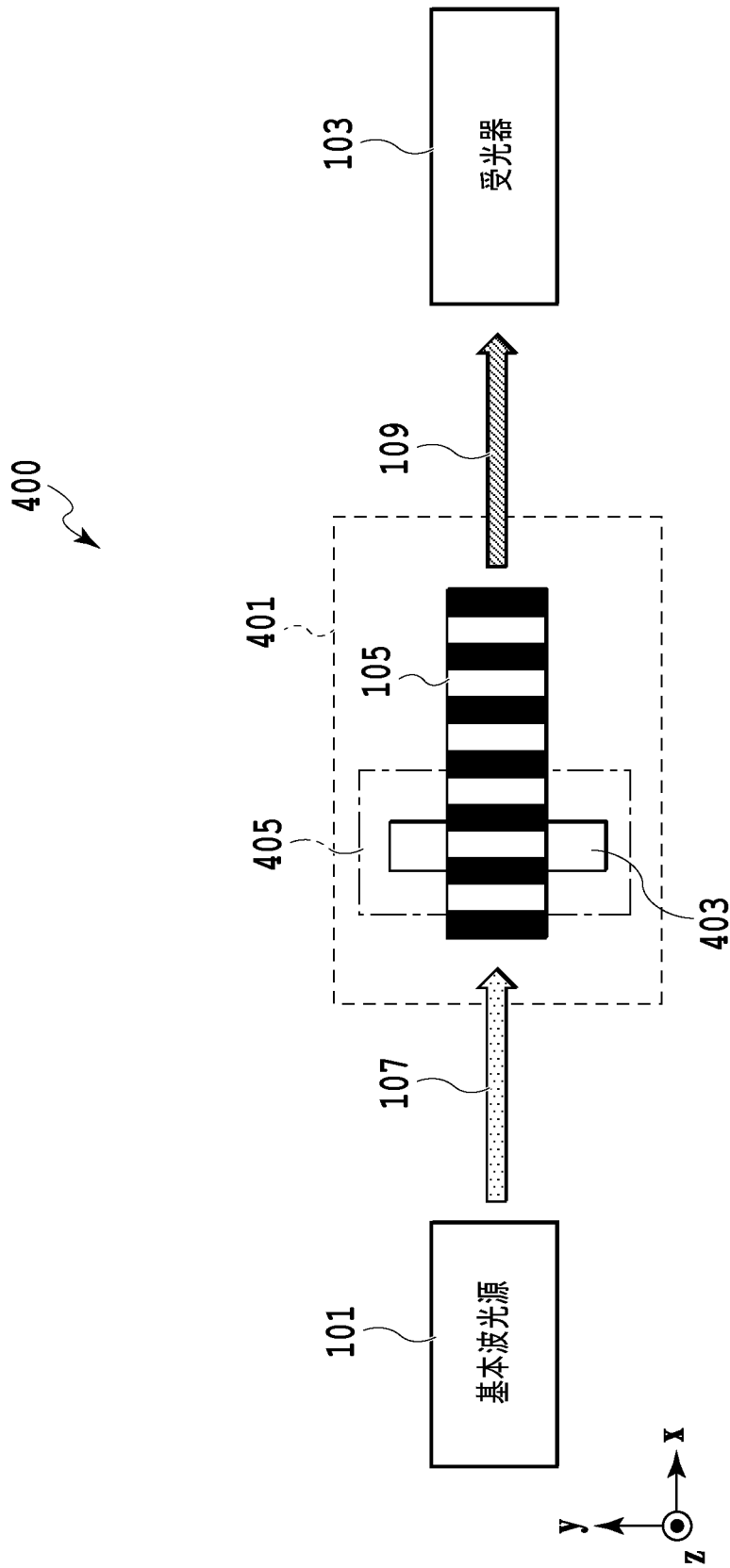
[図2]



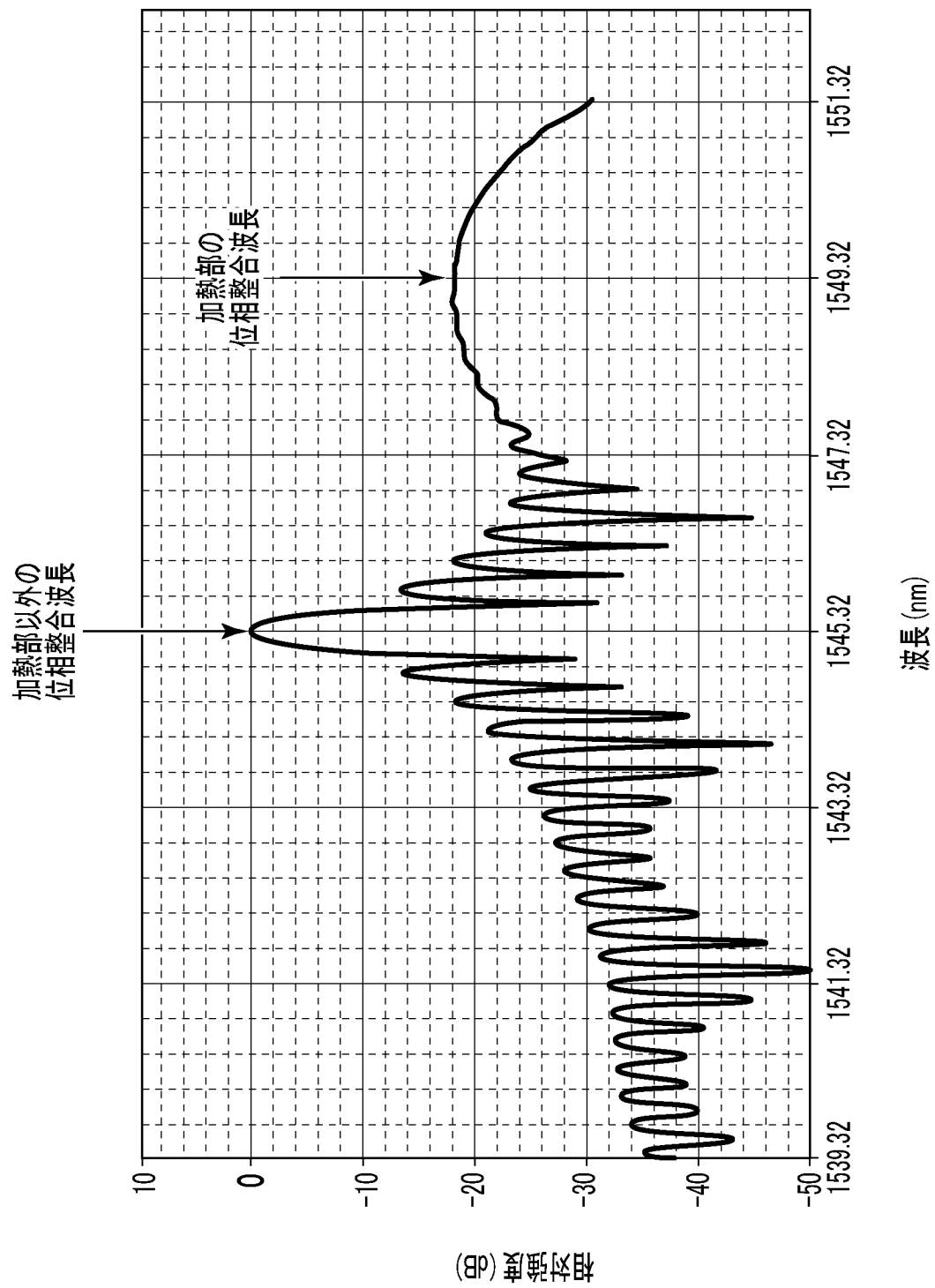
[図3]



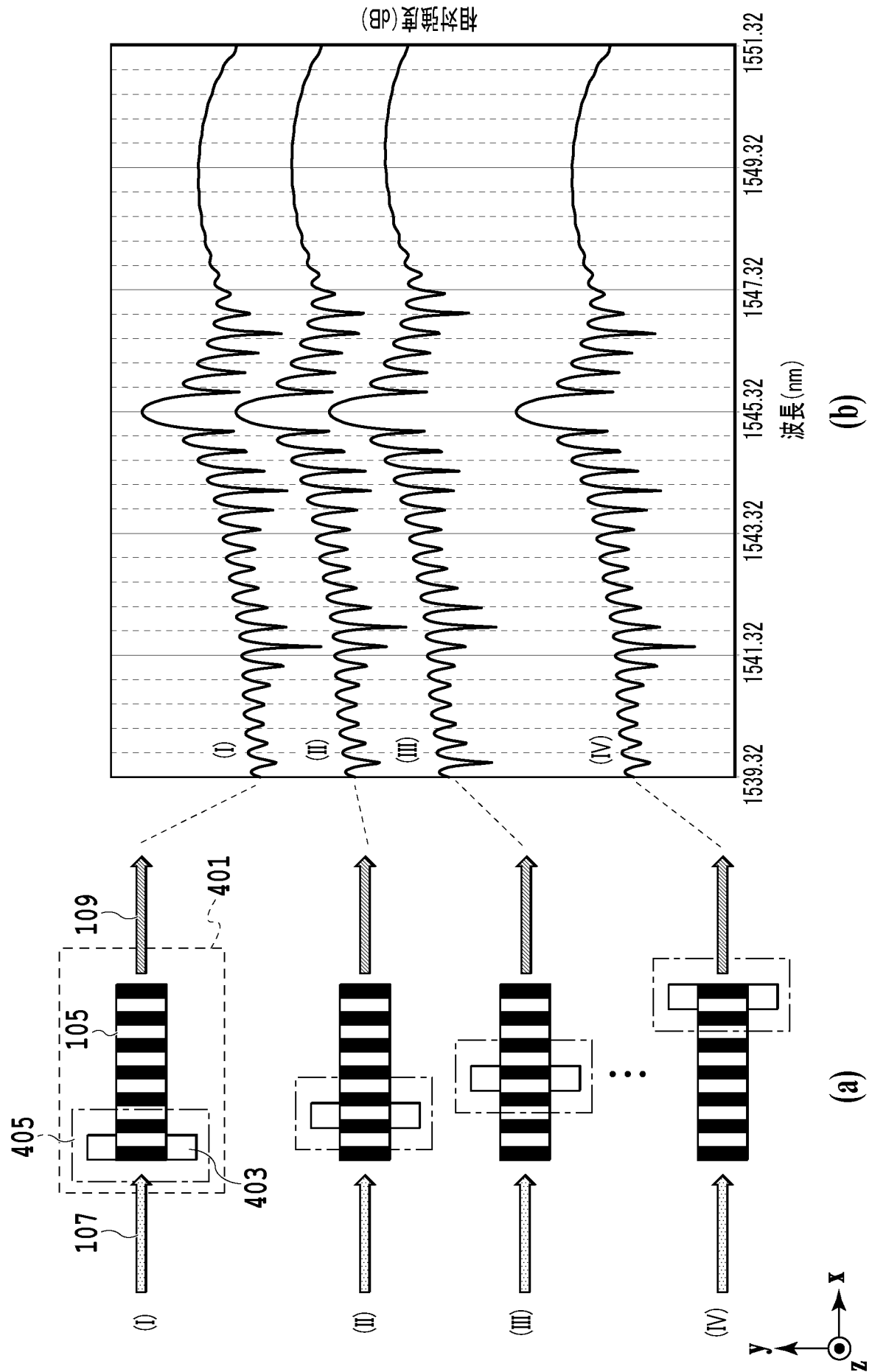
[図4]



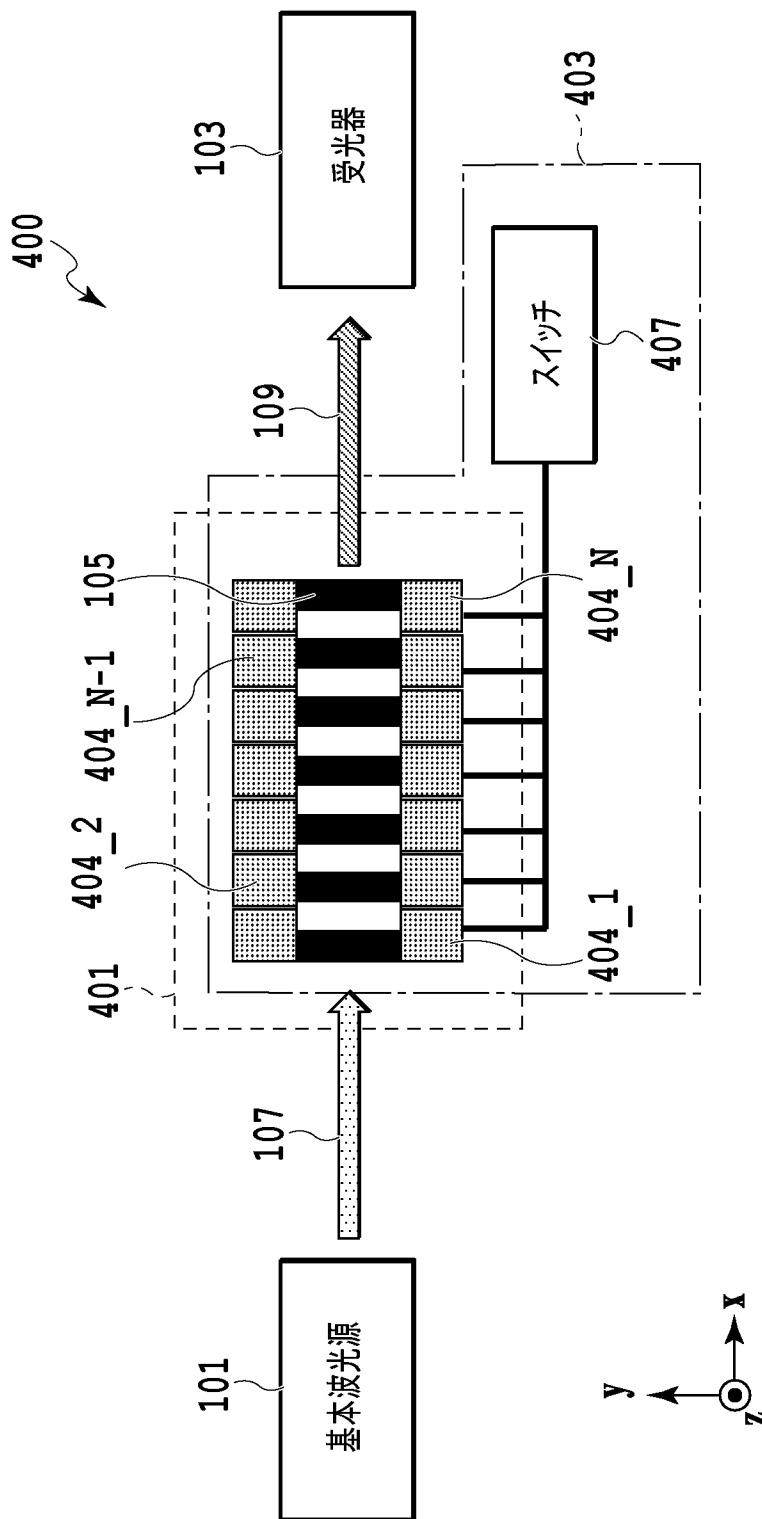
[図5]



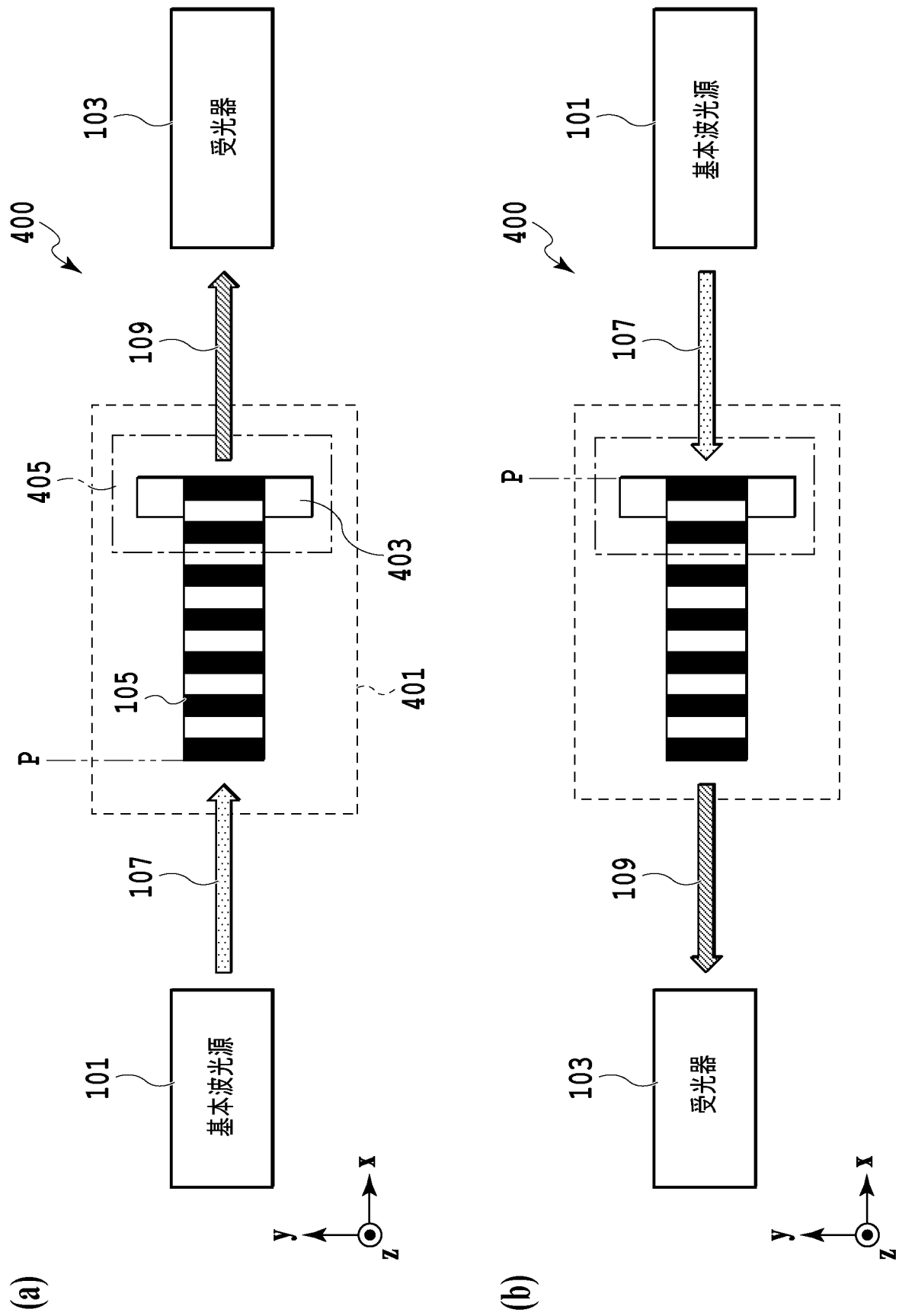
[図6]



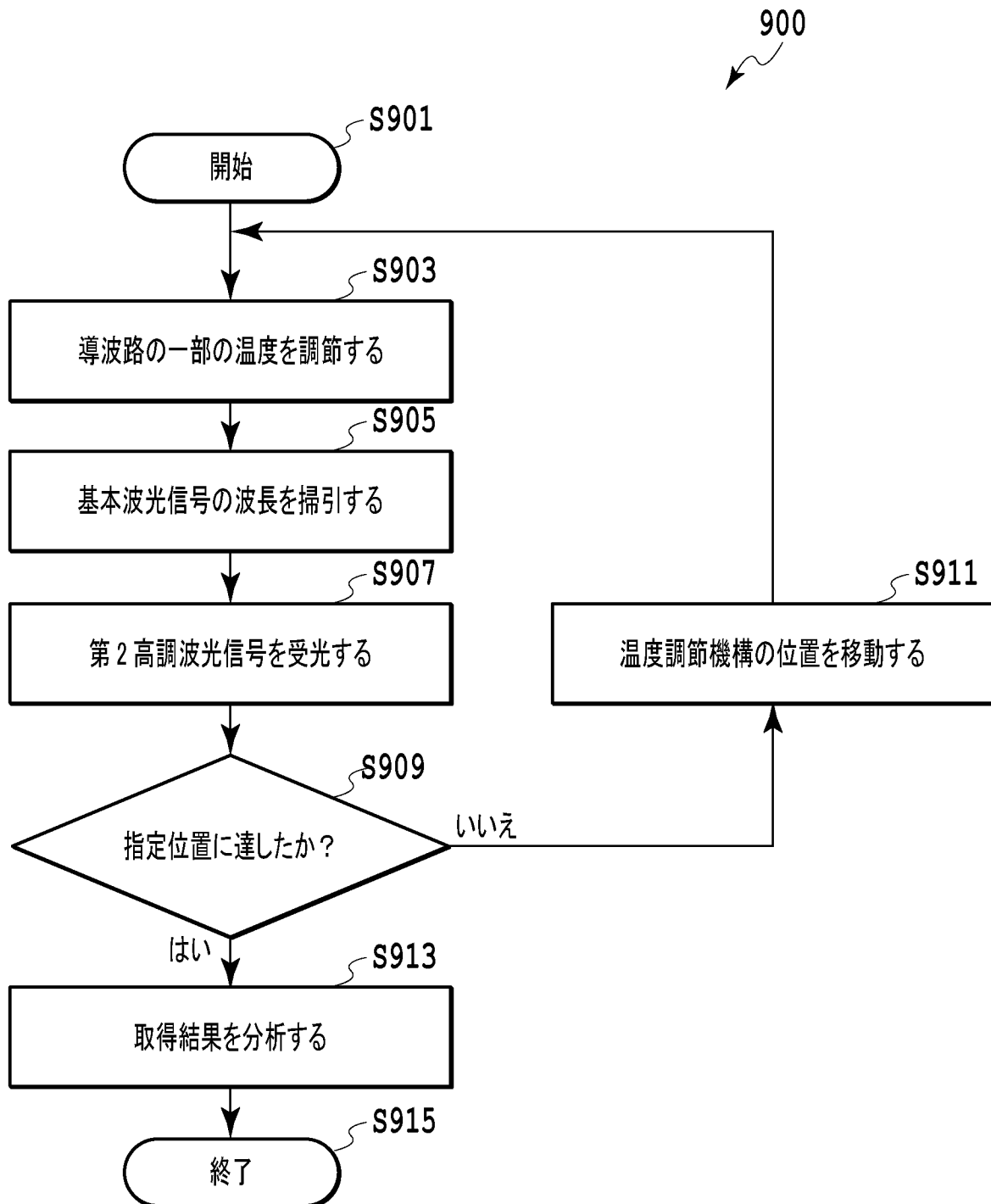
[図7]



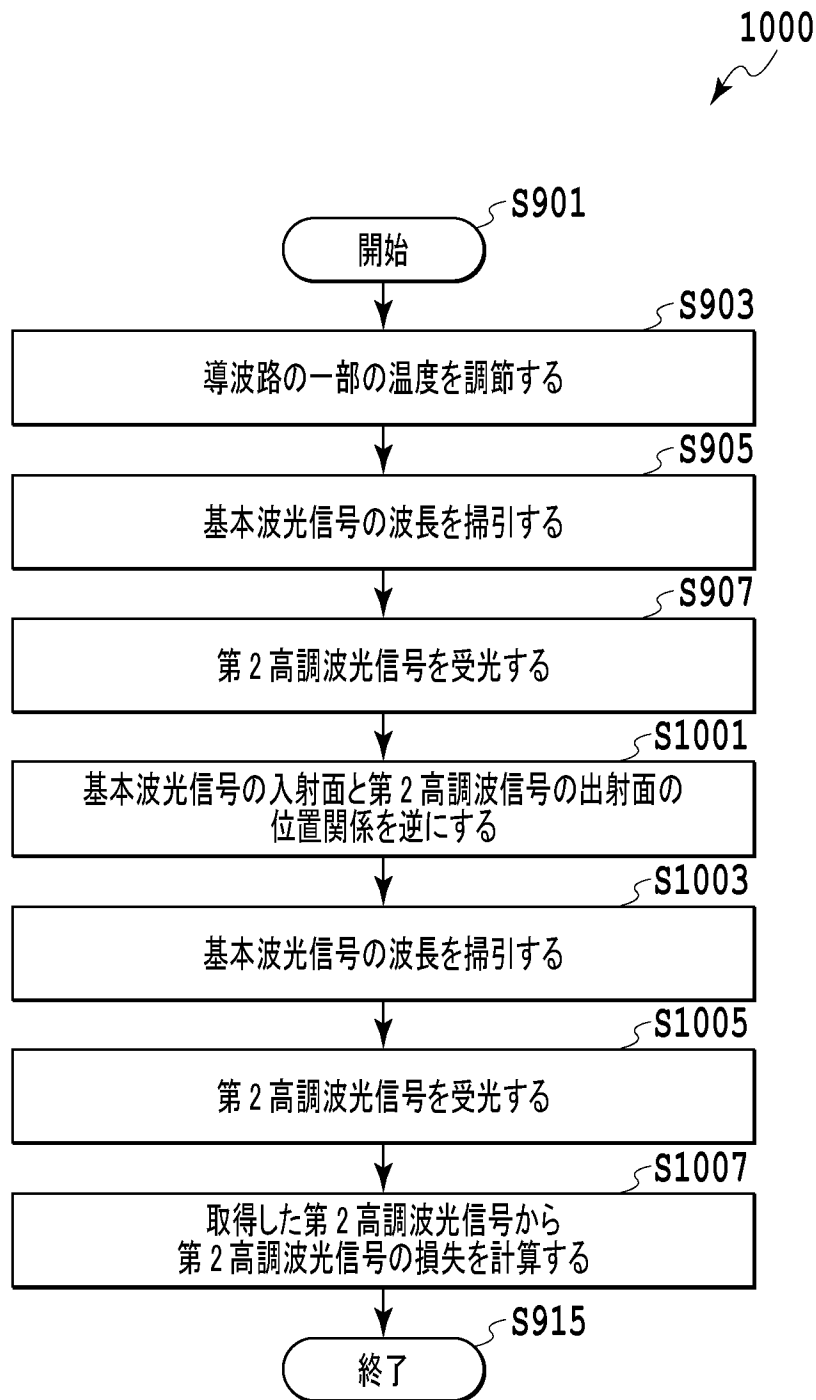
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01M 11/00**(2006.01)i

FI: G01M11/00 T

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)

G01M11/00-11/08; G02F1/37-1/383

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
X	US 5898718 A (ALTOS INC.) 27 April 1999 (1999-04-27) paragraph [0047], fig. 2	1-5
Y		6-8
Y	WO 2022/157858 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 28 July 2022 (2022-07-28) paragraph [0034], fig. 3	6-8
Y	Takeshi Umeki et al., Highly Efficient Wavelength Converter Using Direct-Bonded PPZnLN Ridge Waveguide, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, 2010, vol. 46, no. 8, pp. 1206-1213 fig. 1, 4	6-8
A	JP 2014-211538 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 13 November 2014 (2014-11-13) entire text, all drawings	1-8
A	JP 2011-242436 A (CITIZEN HOLDINGS CO., LTD.) 01 December 2011 (2011-12-01) entire text, all drawings	1-8

☒ 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

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “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

05 September 2023

Date of mailing of the international search report

12 September 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025450

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	C.Q.Xu et al., Temperature and polarization dependence of LiNbO3 quasiphase-matched wavelength converters, APPLIED PHYSICS LETTERS, 1999, vol. 74 no. 14, pp. 1933-1935 entire text, all drawings	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/025450

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	5898718	A	27 April 1999	(Family: none)	
WO	2022/157858	A1	28 July 2022	(Family: none)	
JP	2014-211538	A	13 November 2014	(Family: none)	
JP	2011-242436	A	01 December 2011	US	2011/0280512 A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01M 11/00(2006.01)i FI: G01M11/00 T		
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）） G01M11/00-11/08; G02F1/37-1/383		
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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
X	US 5898718 A (ALTOS INC.) 27.04.1999 (1999 - 04 - 27) par.[0047], fig.2	1-5
Y		6-8
Y	WO 2022/157858 A1 (日本電信電話株式会社) 28.07.2022 (2022 - 07 - 28) 段落 [0034]、図3	6-8
Y	Takeshi Umeki et al., Highly Efficient Wavelength Converter Using Direct-Bonded PPZnLN Ridge Waveguide, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, 2010, Vol. 46 No.8, pp.1206-1213 figs.1,4	6-8
A	JP 2014-211538 A (日本電信電話株式会社) 13.11.2014 (2014 - 11 - 13) 全文、全図	1-8
A	JP 2011-242436 A (シチズンホールディングス株式会社) 01.12.2011 (2011 - 12 - 01) 全文、全図	1-8
☒ 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、一般的な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 05.09.2023		国際調査報告の発送日 12.09.2023
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） 田中 洋介 2W 3009 電話番号 03-3581-1101 内線 3258

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
A	C.Q.Xu et al., Temperature and polarization dependence of LiNbO ₃ quasiphasematched wavelength converters, APPLIED PHYSICS LETTERS, 1999, Vol.74 No.14, pp.1933-1935 全文、全図	1-8

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/025450

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
US	5898718	A	27.04.1999	(ファミリーなし)	
WO	2022/157858	A1	28.07.2022	(ファミリーなし)	
JP	2014-211538	A	13.11.2014	(ファミリーなし)	
JP	2011-242436	A	01.12.2011	US	2011/0280512 A1