

(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
2013 年 10 月 24 日(24.10.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/157372 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/109 (2006.01) H01S 5/14 (2006.01)
G02F 1/37 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/059254
- (22) 国際出願日: 2013 年 3 月 28 日(28.03.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-095426 2012 年 4 月 19 日(19.04.2012) JP
- (71) 出願人: ウシオ電機株式会社(USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008150 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 杉原 伸彦(SUGIHARA Nobuhiko); 〒6710224 兵庫県姫路市別所町佐土 1 1 9 4 番地 ウシオ電機株式会社内 Hyogo (JP). 吉田 和弘(YOSHIDA Kazuhiro); 〒6710224 兵庫県姫路市別所町佐土 1 1 9 4 番地 ウシオ電機株式会社内 Hyogo (JP). 藤田 堅太郎(FUJITA Kentaro); 〒6710224 兵庫県姫路市別所町佐土 1 1 9 4 番地

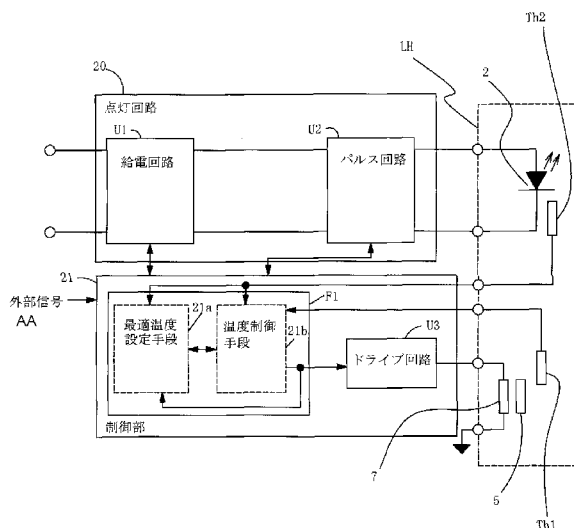
ウシオ電機株式会社内 Hyogo (JP). 鮫島 貴紀(SAMEJIMA Takanori); 〒6710224 兵庫県姫路市別所町佐土 1 1 9 4 番地 ウシオ電機株式会社内 Hyogo (JP).

- (74) 代理人: 長澤俊一郎(NAGASAWA Shunichirou); 〒1160013 東京都荒川区西日暮里四丁目 2 3 番 3 号 すなビル 4 階 4 A Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ

[続葉有]

(54) Title: LASER LIGHT SOURCE APPARATUS, AND METHOD FOR CONTROLLING TEMPERATURE OF WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT IN LASER LIGHT SOURCE APPARATUS

(54) 発明の名称: レーザ光源装置、及び、レーザ光源装置における波長変換素子の温度制御方法



- 20 Lighting circuit
21 Control unit
21a Optimum temperature setting means
21b Temperature control means
U1 Power supply circuit
U2 Pulse circuit
U3 Drive circuit
AA External signal

(57) Abstract: This laser light source apparatus optimizes wavelength conversion efficiency of a wavelength conversion element without using optical detection devices, such as photodiodes, and makes it possible to stably output light. Fundamental wave light outputted from a semiconductor laser (2) has the wavelength thereof converted by means of a wavelength conversion element (5), and the wavelength-converted light is outputted. A lighting circuit (20) supplies power to the semiconductor laser (2), and lights the semiconductor laser (2). A control unit (21) controls the power supply quantity of a heating means (7), and performs control such that wavelength conversion element (5) is at a temperature at which the wavelength conversion element has an optimum wavelength conversion efficiency. Temperatures detected by means of an element temperature detecting means (Th1) and a light source unit temperature detecting means (Th2) are inputted to the control unit (21), and the control unit (21) sets a wavelength conversion element (5) temperature, at which a temperature detected by means of the light source unit temperature detecting means (Th2) is extremely low, as a set temperature at which the wavelength conversion efficiency is optimum, and feedback-controls the temperature of the wavelength conversion element (5) such that the temperature of the wavelength conversion element (5) is at the set temperature by controlling the heating quantity of the heating means (7).

(57) 要約:

[続葉有]



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, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

レーザ光源装置において、フォトダイオード等の光検知装置を用いることなく、波長変換素子の波長変換効率の最適化を図り、安定した光出力を可能にすること。半導体レーザ 2 から出射した基本波光は、波長変換素子 5 で波長変換され出射する。点灯回路 20 は上記半導体レーザ 2 に電力を供給し半導体レーザ 2 を点灯させる。制御部 21 は、加熱手段 7 の給電量を制御して、波長変換素子 5 が最適な波長変換効率となる温度になるように制御する。制御部 21 には素子温度検出手段 Th1 と光源部温度検出手段 Th2 により検出された温度が入力され、制御部 21 は、光源部温度検出手段 Th2 により検出された温度が極小となるときの波長変換素子 5 の温度を、最適な波長変換効率となる設定温度とし、加熱手段 7 による加熱量を制御して波長変換素子 5 の温度が上記設定温度になるように、波長変換素子 5 の温度をフィードバック制御する。

明 細 書

発明の名称：

レーザ光源装置、及び、レーザ光源装置における波長変換素子の温度制御方法

技術分野

[0001] 非線形光学結晶を用いた波長変換型のレーザ光源装置に関する。更に詳しくは、非線形光学結晶を用いた波長変換型のレーザ光源装置、および、該レーザ光源装置において該非線形光学結晶の変換効率が最大となるように温度制御するレーザ光源装置における波長変換素子の温度制御方法に関する。

背景技術

[0002] 映画やホームシアター用等に利用される投射型プロジェクタの光源としてレーザ光を用いた装置の開発が進められている。これらの光源となるレーザ光源には、半導体レーザ素子から直接放射される光を用いる場合と、該半導体レーザ素子から放射された光を非線形光学結晶により他の波長に変換して用いる場合とが知られている。

最近では、青色や緑色のレーザ光源として該非線形光学結晶に、周期的分極反転型ニオブ酸リチウム（PPLN: Periodically Poled Lithium Niobate）や周期的分極反転型タンタル酸リチウム（PPLT: Periodically Poled Lithium Tantalate）等を用いたレーザ光源が開発されている。

このような技術としては、例えば特許文献1に記載のものが知られている。該特許文献1によれば、半導体レーザからなる光源と、該光源から放射されたレーザ光を入射し第2高調波に変換する波長変換素子（非線形光学結晶であり例えばPPLN）と、該波長変換素子から放出された所定の波長の光を選択して前記光源に向かって反射させる外部共振器（例えば体積ブラッググレーティング: VBG: Volume Bragg Grating）とを具備したレーザ光源装置が記載されている

。また、該波長変換素子を取り付けるサブベースとの間には温度調節ユニットが設けられていることが記載されている。更に、該温度調節ユニットを用いて該波長変換素子の温度を調節することにより、波長変換素子の分極反転周期のピッチを調整することができるため、光の変換効率を向上させることが可能となることが記載されている。

[0003] 図18は従来のレーザ光源装置の一形態を示すブロック図であり、同図により、波長変換素子の温度を最適温度に設定する従来例について説明する。

レーザ光源ユニットLH上に実装された波長変換素子（例えばPPLN）5は、レーザ光源素子（例えば半導体レーザ、以下半導体レーザとして説明する）2から放出される光の波長を入射光よりも短波長化する波長変換を行う機能を有しており、例えば、赤外線を緑色の光に変換することができる。

なお、波長変換素子5（例えばPPLN）は、光変換効率を最大とすることができる最適な温度が存在する。またこの最適な温度は各個体によりばらつきが存在しており、その最適点より0.5°Cもずれると、変換効率が数10%以上も悪化する。変換されない光はそのまま、熱となって消費される。

そこで、波長変換素子の最適な温度条件を求め、最適な温度条件がみつければ、温度検出手段Th1により波長変換素子5の温度を検出し、温度調節ユニットにより、波長変換素子5を外部より暖める加熱手段、例えばヒータ7を制御して、波長変換素子5の温度が、上記最適な温度になるように制御することが一般的である。

[0004] 上記波長変換素子5の最適な制御温度を見つけるために、従来においては、例えば以下の方法が用いられていた。

前記レーザ光源ユニットLHをレーザ光源点灯装置100で駆動し、波長変換素子5の制御温度を、その想定する温度範囲内で掃引しながら、例えば図18に示すように、フォトセルやオプティカルパワーメータ等の光出力測定装置110を用いて、レーザ光源ユニットから射出される光出力を測定する。そして、掃引測定が完了した時点で光出力が最大であった制御温度を記

憶し、この値を最適な制御温度として採用して、上記最適な制御温度になるように波長変換素子の温度を制御する。

しかしながら、この方法では、光出力を測定する手段が必要となり不要なコストが掛かるといった問題があった。

[0005] 図19に、従来のレーザ光源装置の他の構成例のブロック図を示す。この例は、レーザを直列接続した場合の構成例である。

図19に示すように、レーザ光源装置のコストダウンを目的として、1つのレーザ光源点灯装置100において複数の半導体レーザ2を直列に接続する方法が広く知られている。

この形態では、レーザ光源点灯装置100内のスイッチ素子や制御回路などを共通化することができ、安価に点灯電源を供給できるからである。また、各レーザ光源ユニットLH1～LH3から出力される光はプリズム等の光素子PZを用いて3つの光を集光し、光を射出する構造としている。

上記のように複数のレーザ素子を用いた場合、個々に波長変換素子5の最適温度の調整が必要となり、調整に多大な時間を要する、といった問題があった。

すなわち、前記図18に示したフォトセルを用いての測定は、一つのレーザ光源ユニットLHだけの測定を行い、その対象となるレーザ光源ユニットの最適温度を調整することになるが、同図に示すようにレーザ光源ユニットLH1～LH3が直列に接続した場合は、3つのレーザに同一電流が流れるために、一つだけのレーザを停止することができず、波長変換素子5の最適温度の調整が困難であった。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2009-54446号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記のように、温度調整ユニットによって、該波長変換素子の温度を調整する場合、図18に示したように、光出力をモニターするためにフォトダイオード等の光検知装置を用いる必要があり、光検出装置自身の寿命や劣化に伴う校正や交換が必要といった問題があった。更には、該光検知装置を該レーザ光源装置に組み込めば装置全体として複雑で大型化してしまう、といった問題があった。

また、複数のレーザ素子を用いた場合、個々に波長変換素子の最適温度の調整が必要となり、調整に多大な時間を要する、といった問題もあった。更には、図19に示したように、複数のレーザ素子を直列に配列し、それらを同時に点灯した場合に、隣接するレーザ素子からの光が外乱光となって、正確に光量を測定できず波長変換素子の光の変換効率が最適となる温度を検出できない、といった問題もあった。

また、該波長変換素子は、周囲環境により動作温度が変化するため、該波長変換素子の変換効率が変わり、更には、周囲環境の変化により該波長変換素子で波長変換される半導体レーザ光源の波長が変化するため、該波長変換素子の変換効率が変わり、安定した光出力が得られない、といった問題があった。

本発明は上記問題点を解決するものであって、本発明の課題は、フォトダイオード等の光検知装置を用いることなく、波長変換素子の波長変換効率の最適化を図り、安定した光出力を可能にしたレーザ光源装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するため、本発明においては、半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、該波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、該波長変換素子を加熱する加熱手段と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段と、上記点灯回路と該加熱手段を

制御する制御部とを備え、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御するレーザ光源装置において、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、制御する目標温度を含む範囲で上記設定温度を掃引して、上記光源部の温度を検出し、該光源部温度が極小に成るときの上記波長変換素子の設定温度を波長変換素子の最適設定温度として、該設定温度を保持するように波長変換素子を加熱する加熱手段への給電量を制御する。

また、前記最適設定温度を、所定の条件（冷却条件やレーザ素子の温度等）をパラメータとして定期的に更新するようにしてもよい。

さらに、レーザへの入力電力の変化や室温等の周囲温度の変化などに合わせて、予め設定したテーブルあるいは数式にしたがって、前記設定温度を更新するようにしてもよい。

すなわち、本発明においては、次のようにして前記課題を解決する。

（１）半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、該半導体レーザを点灯させる点灯回路と、上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、上記該波長変換素子を加熱する加熱手段と、上記点灯回路と上記加熱手段を制御する制御部と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段とを備えたレーザ光源装置において、上記制御部に、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御する温度制御手段と、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させながら、上記光源部温度検出手段により各設定温度における光源部の温度を計測し、該光源部温度が極小となる温度を求め、該温度を上記波長変換素子の最適設定温度として、上記設定温度を該最適設定温度に設定する最適温度設定手段とを設ける。

(2) 上記構成のレーザ光源装置において、上記制御部に、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への出力を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御する温度制御手段と、ある光源部温度において、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させ、各設定温度における上記光源部温度を計測し、該光源部温度が極小となるときの温度を求め、該温度を上記光源部温度における上記波長変換素子の最初の最適設定温度として設定し、該最適設定温度に対して、光源部温度及び／またはレーザに加える電力条件をパラメータとして設定温度補正量を算出し、この補正量に基づき、上記設定温度を該最適設定温度に順次定期的に補正する最適温度順次設定手段とを設ける。

(3) 半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、該半導体レーザを点灯させる点灯回路と、上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段と、該波長変換素子を加熱する加熱手段とを備え、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御するレーザ光源装置における上記波長変換手段の温度を制御する方法であって、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させながら、上記光源部温度検出手段により各設定温度における光源部の温度を計測し、該光源部温度が極小となる温度を求め、該温度を上記波長変換素子の最適設定温度として決定する第1の工程と、上記設定温度を、上記最適設定温度に設定する第2の工程と、上記波長変換素子の温度が上記最適設定温度になるように上記ヒータへの給電量を制御する第3の工程を備える。

(4) 半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を

選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、該半導体レーザを点灯させる点灯回路と、上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段と、該波長変換素子を加熱する加熱手段とを備え、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御するレーザ光源装置における上記波長変換手段の温度を制御する方法であって、上記光源部温度を検出し、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させ、上記光源部温度検出手段により各設定温度における光源部の温度を計測し、該光源部温度が極小となる温度を求め、該温度を上記光源部温度における上記波長変換素子の最初の最適設定温度として設定し、異なった光源部温度において光源部温度あるいはレーザに加える電力条件をパラメータとして設定温度補正量を算出する第1の工程と、上記設定温度補正量に基づき上記設定温度を該最適設定温度に順次定期的に補正する第2の工程と、上記波長変換素子の温度が上記最適設定温度になるように上記ヒータへの給電量を制御する第3の工程とを備える。

発明の効果

[0009] 本発明においては、以下の効果を得ることができる。

(1) フォトダイオード等の光検知装置を使用しなくても、光源部温度が極小となる温度を検出することで、最適な波長変換効率となる波長変換素子の温度を求めることが可能となり、波長変換素子を最適な波長変換効率となる温度に制御することで、安定した光出力を得ることができる。

また、フォトダイオード等の光検知装置を用いる必要が無いので、校正等の作業が必要ない、といった効果も得ることができる。

また、複数のレーザ光源ユニットに対しても、最適な波長変換効率となる波長変換素子の最適温度の設定を同時に行うことが可能であり、作業時間の大幅な低減ができる。

(2) 光源部の温度や、半導体レーザへの電力条件に対する、波長変換素子

の最適温度を求め、これら装置温度及び／またはレーザに加える電力条件をパラメータとして設定温度補正量を算出し、上記設定温度を該最適設定温度に順次定期的に更新し、波長変換素子の温度が、この設定温度になるようにフィードバック制御することにより、装置の稼働中等においても、常時、且つ簡単に波長変換素子の温度を最適な温度に維持することができる。このため、安定的に高い光変換作用を得ることができ、全体として低コストで効率の高い装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施例のレーザ光源装置の構成を示す図である。

[図2]本発明の第1の実施例のレーザ光源装置における制御部および点灯回路の構成を示すブロック図である。

[図3]本発明の給電回路の具体化された一構成例を示す図である。

[図4]本発明のパルス回路の簡略化された一構成例を示す図である。

[図5]ドライブ回路、制御ユニット、ヒータ等の接続関係を示す図である。

[図6]ドライブ回路よりヒータに給電される電流波形の一例を示すタイミングチャートである。

[図7]制御ユニットの温度制御手段における制御処理の一例を示すフローチャートである。

[図8]波長変換素子の設定温度に対するレーザ光源からの可視光出力及び、光源部の温度を示す図である。

[図9]図8の特性のデータ得るために使用した実験装置の構成例を示す図である。

[図10]波長変換素子の最適設定温度を検出する処理（例1）を示すフローチャートである。

[図11]波長変換素子の最適設定温度を検出する他の処理（例2）を示すフローチャートである。

[図12]波長変換素子の設定温度に対する可視光出力の関係を例示した図である。

[図13]光源部温度、レーザ点灯時の入力電力と、波長変換素子の最適設定温度との関係を示す図である。

[図14]3次元グラフで示した光源部温度、レーザ点灯時の入力電力と、波長変換素子の最適設定温度との関係を示す特性図である。

[図15]本発明の第2の実施例のレーザ光源装置における制御部および点灯回路の構成を示すブロック図である。

[図16]本発明の第2の実施例において、最適温度順次設定手段における制御処理の一例を示すフローチャートである。

[図17]環境状態等が変化した場合に光源部温度と最適設定温度が実際にどのように遷移するかを説明する図である。

[図18]従来のレーザ光源装置の一形態を示すブロック図である。

[図19]レーザを直列接続した従来のレーザ光源装置の他の構成例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0011] 図1は本発明の実施例のレーザ光源装置の構成を示す図である。

図1に示すようにレーザ光源装置は、レーザ光源ユニットLHと、半導体レーザを点灯させるための点灯回路20と制御部21とを有する。

レーザ光源ユニットLHにおいて、熱伝導性の高い材質、例えば銅(Cu)で形成されるベースプレート(ヒートシンク)となる基板1には、レーザ光の漏れを防ぎ、また内部に収納された部材を外気や埃から遮断するとともに断熱する遮断容器(例えばアルミニウム製)3が取り付けられている。

遮断容器3内の上記基板1上には、基本波光として赤外光を放射する半導体レーザ2が設けられている。半導体レーザ2は例えば、1064nmを放射する外部共振器型面発光レーザアレイである。

[0012] 該半導体レーザ2に対向する位置には、上記基本波光の特定の狭帯波長域の光を高い反射率(例えば99.5%)で反射する基本波光反射素子4(例えば、前記VBG)が配置され、上記半導体レーザ2に対し外部共振器を構成する。なお、基本波光反射素子4は、変換光は透過させる。

また、半導体レーザ２と基本波光反射素子４との間には、基本波光の波長の内の一部の光（位相整合した波長の光、位相整合温度は例えば８０℃～１００℃）を変換して波長変換光（第二次高調波：ＳＨＧ）とする波長変換素子（例えば前記ＰＰＬＮ）５が配置される。該波長変換素子５は、上記半導体レーザ２が出力する基本波光である赤外光を可視光または紫外光に変換する。

波長変換素子５には、伝熱板６が熱的に接触して配置され、伝熱板６上には、波長変換素子５を加熱する手段である加熱手段（例えばヒータ）７と、波長変換素子５の温度を検出する温度検出手段Ｔｈ１（例えばサーミスタ）とが設けられる。

[0013] 上記半導体レーザ２、波長変換素子５、基本波反射素子４により、外部共振器型垂直面発光レーザを構成しており、ここでは、上記半導体レーザ２、波長変換素子５、基本波反射素子４から構成される部分を光源部１２と呼ぶ。

上記半導体レーザ２の近傍の基板１上には、上記光源部１２の温度を検出する光源部温度検出手段（例えばサーミスタ）Ｔｈ２が設けられる。

なお、上記光源部温度検出手段Ｔｈ２は、上記光源部１２付近の温度（波長変換素子自体の温度を除く）を検出できる位置に設置すればよく、上記基板１以外に、半導体レーザ２、基本波反射素子４の近傍等に設けてもよい。

[0014] 上記遮断容器３の基板１に対向する面には、ダイクロイック出力ミラー１０が設けられ、前記基本波光反射素子４を透過して出力される波長変換光は、該ダイクロイック出力ミラー１０から出射する。

ダイクロイック出力ミラー１０は、前記基本波光反射素子４で反射されずに透過した基本波光を透過させずに反射する。ダイクロイック出力ミラー１０で反射した基本波光は、ビームダンプ１１（例えば黒アルマイト処理アルミプレート）に入射し吸収される。ビームダンプ１１は上記遮断容器３と熱的に接触している。

また、半導体レーザ２と上記波長変換素子５との間には、基本波光を透過

し、波長変換光を反射させて、横方向に取り出すダイクロイックミラー 8 が設けられ、該ダイクロイックミラー 8 により反射された波長変換光は、反射ミラー 9 で、前記基本波光反射素子 4 を透過した波長変換光と同じ方向に反射され、上記ダイクロイック出力ミラー 10 を透過して出射する。

すなわち、本発明が対象とするレーザ光源装置の光源部 12 は、半導体レーザ 2 から放射された基本波光を波長変換する波長変換素子 5 と、該波長変換素子 5 の出射側に配置され、該波長変換素子 5 から出射した光の内、基本波光の特定の狭帯波長域の光を高い反射率で反射する上記半導体レーザ 2 に対し外部共振器を構成する基本波光反射素子 4（例えば、VBG）を備えている。

なお、その他、各部材を保持する保持部材等が設けられているが、同図には図示していない。

[0015] 図 1 において、半導体レーザ 2 から出射した基本波光は、同図の矢印に示すように、ダイクロイックミラー 8 を介して波長変換素子 5 に入射する。

波長変換素子 5 に入射した光の内の一部の光は波長変換され、この波長変換された光は基本波光反射素子 4 を透過し、ダイクロイック出力ミラー 10 を介して出射する。また、波長変換素子 5 で波長変換されなかった基本波光は、基本波光反射素子 4 で反射されて波長変換素子 5 に入射して、波長変換素子 5 で波長変換される。この波長変換された光はダイクロイックミラー 8 で反射して、反射ミラー 9、ダイクロイック出力ミラー 10 を介して出射する。

また、波長変換素子 5 で波長変換されずにダイクロイックミラー 8 に入射する基本波光は、ダイクロイックミラー 8 を透過し半導体レーザ 2 に入射する。

一方、基本波光反射素子 4 で反射せずに該素子を透過した基本波光、及び、上記ダイクロイックミラー 8 を透過せずに反射し、反射ミラー 9 で反射した基本波光は、同図の矢印に示すようにダイクロイック出力ミラー 10 で反射して、ビームダンプ 11 に入射して吸収される。

[0016] 上記波長変換素子5としては、周期的分極反転構造を持つニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、マグネシウムがドーピングされたニオブ酸リチウム ($\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$)、タンタルニオブ酸リチウム (LiTaNbO_3)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3)、あるいはチタン酸リン酸カリウム (KTiOPo_4)等を用いることができ、一般的には、周期的分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN)、周期分極反転Mgドーピングニオブ酸リチウム (PPMgLN)、周期的分極反転タンタル酸リチウム (PPLT)、周期的分極反転チタン酸リン酸カリウム (PPKTP) と呼ばれる擬似位相整合型波長変換素子を用いることができる。

[0017] 本実施例の光源装置には図1に示すように、制御部21、点灯回路20が設けられる。

上記点灯回路20は上記半導体レーザ2にパルス状の電力を供給し、半導体レーザ2を点灯させる。上記制御部21は、上記点灯回路20を制御するなど、レーザ光源装置の動作を制御するとともに、波長変換素子5の温度を制御して、波長変換素子5が最適な波長変換効率となる温度になるように制御する。

すなわち、制御部21には温度検出手段Th1により検出された波長変換素子5の温度が入力され、制御部21は、後述するように、光源部温度検出手段Th2により検出される光源部12の温度が極小となるときの波長変換素子の温度を、波長変換素子の最適設定温度とし、加熱手段7による加熱量を制御して波長変換素子5の温度が上記最適設定温度になるように、波長変換素子5の温度をフィードバック制御する（後述する第1の実施例）。

また、後述するように制御部21が、光源部温度検出手段Th2により検出された光源部12の温度や、半導体レーザ2に加えられる電力条件等に基づき、波長変換素子5の最適な設定温度を求めて、波長変換素子5の温度を制御するようにしてもよい（後述する第2の実施例）。

[0018] 図2は、本発明の第1の実施例のレーザ光源装置における制御部および点灯回路の構成を示すブロック図である。

点灯回路 20 は、同図に示すよう、例えば降圧チョッパや昇圧チョッパに代表されるあるいはその他の方式のスイッチング回路などから構成される給電回路 U1 と、パルス状の電力を供給するパルス回路 U2 から構成され、半導体レーザ 2 の状態あるいは点灯シーケンスに応じて、適合する電圧・電流を半導体レーザ 2 に出力する。

レーザ種によっては、略数百 kHz の矩形波状のパルス電圧をレーザに印加する方式がよく知られている。本実施例では、パルス回路 U2 が給電回路 U1 の出力段に配置され、所望の周波数にてパルスを生成して、前記半導体レーザ 2 に出力する。

なお、前記と異なるレーザ種によっては、その限りでなく、パルス回路 U2 を省き、前記給電回路 U1 からの出力電圧を直接的に上記半導体レーザ 2 に相当するレーザ光源に印加してもかまわない。

[0019] 本実施例で示される半導体レーザ 2 は赤外線を発光するものであり、可視光に変換するために波長を変換する素子である波長変換素子 5（例えば PPLN）を有している。

この波長変換素子 5 は、所定の温度まで上昇させることで、擬似位相整合され光変換の効率を上昇させる特徴を持ち、非常に精度の良い温度制御が必要となる。そのため、レーザ光源ユニット LH においても、波長変換素子 5 とそれを昇温するための加熱手段 7（以下、ヒータ 7 として説明する）を備え、ヒータ 7 の温度（すなわち波長変換素子 5 の温度）を検出する素子温度検出手段 Th1、例えばサーミスタを配置している。

[0020] また、制御部 21 は、制御ユニット F1 とヒータ 7 を駆動するドライブ回路 U3 から構成される。

上記給電回路 U1 は、演算処理装置（CPU あるいはマイクロプロセッサ）で構成される制御ユニット F1 によって、半導体レーザ 2 に印加する電圧や流す電流が、予め設定された値、あるいは外部から設定された値になるように制御される。また、その給電の開始、停止などの制御がなされる。

また、パルス回路 U2 は制御ユニット F1 によって制御される。制御ユニ

ットF 1は、高い光出力効率を得るための最適なパルス周波数とデューティサイクル比を決定し、その値に従って、パルス回路U 2のスイッチング素子をオン・オフし、半導体レーザ2を駆動するパルス出力を発生する。

制御ユニットF 1は、最適温度設定手段2 1 aと、温度制御手段2 1 bを備える。

温度制御手段2 1 bは素子温度検出手段T h 1により検出された温度と、最適温度設定手段2 1 aにより設定される設定温度との差に基づき上記ヒータ7への給電量を制御し、波長変換素子5の温度が上記設定温度になるように制御する。

最適温度設定手段2 1 aは、上記波長変換素子5に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させ、各設定温度における光源部温度検出手段T h 2により検出される光源部1 2の温度を観測し、該光源部温度が極小となる設定温度を求め、該温度を最適設定温度として、上記設定温度を該最適設定温度に設定する。

すなわち、制御ユニットF 1の温度制御手段2 1 bは、ドライブ回路U 3を駆動してヒータ7への給電量を制御し、素子温度検出手段T h 1により検出された波長変換素子5の温度が上記最適設定温度になるようにフィードバック制御する。

具体的には、制御ユニットF 1は、ヒータ7への給電量を制御するための給電量を示す信号をドライブ回路U 3へ送出し、ドライブ回路U 3がヒータ7を駆動して、波長変換素子5の温度が上記最適設定温度になるようにフィードバック制御する。

ドライブ回路U 3の出力形態は、電圧レベルを出力するものでもよく、PWM方式を用いて給電量を制御するものでも良い。

[0021] 図3は、本発明のレーザ光源装置における点灯回路20で使用するここのできる前記給電回路U 1の具体化された一構成例を示す図である。

降圧チョッパ回路を基本とした前記給電回路U 1は、DC電源M 1より電圧の供給を受けて動作し、前記半導体レーザ2への給電量調整を行う。

給電回路U 1においては、前記制御ユニットF 1により、F E T等のスイッチング素子Q 1を駆動して、前記D C電源M 1からの電流をオン・オフし、チョークコイルL 1を介して平滑コンデンサC 1を充電し、前記半導体レーザ2に電流を供給するように構成されている。なお、前記スイッチング素子Q 1がオン状態の期間は、前記スイッチング素子Q 1を通じた電流により、直接的に前記平滑コンデンサC 1への充電と負荷である前記半導体レーザ2への電流供給が行われるとともに、チョークコイルL 1に磁束の形でエネルギーを蓄え、前記スイッチング素子Q 1がオフ状態の期間には、前記チョークコイルL 1に磁束の形で蓄えられたエネルギーによってフライホイールダイオードD 1を介して前記平滑コンデンサC 1への充電と前記半導体レーザ2への電流供給が行われる。

なお、先に図2に関連して説明した、前記給電回路U 1の停止状態とは、前記スイッチング素子Q 1がオフ状態で停止している状態を指す。

[0022] 前記降圧チョップパ型の前記給電回路U 1においては、前記スイッチング素子Q 1の動作周期に対する、前記スイッチング素子Q 1がオン状態の期間、すなわちデューティサイクル比により、前記半導体レーザ2への給電量を調整することができる。ここでは、あるデューティサイクルを有するゲート駆動信号が前記制御ユニットF 1によって生成され、ゲート駆動回路G 1を介して、前記スイッチング素子Q 1のゲート端子を制御することにより、前記D C電源からの電流のオン・オフが制御される。

前記半導体レーザ2への電流と電圧とは、給電電流検出手段I 1と給電電圧検出手段V 1とによって、検出できるように構成されている。なお、前記給電電流検出手段I 1については、シャント抵抗を用いて、また、前記給電電圧検出手段V 1については、分圧抵抗を用いて簡単に実現することができる。

[0023] 前記給電電流検出手段I 1からの給電電流検出信号、および、前記給電電圧検出手段V 1からの給電電圧検出信号は、前記制御ユニットF 1に入力され、制御ユニットF 1は、前記ゲート駆動信号を出力して、スイッチング素

子Q 1 をオン・オフ制御し、目標電流が出力されるようにフィードバック制御する。これにより適切な電力あるいは電流をレーザへ供給することが可能となる。

[0024] 図4は、本発明のレーザ光源装置における点灯回路20で使用するこのできるパルス回路U 2の簡略化された一構成例を示す図である。

パルス回路U 2は、FET等のスイッチング素子Q 2を用いた回路により構成されている。

スイッチング素子Q 2は、ゲート駆動回路G 2を介して制御ユニットF 1より生成される信号に従って駆動される。スイッチング素子Q 2は、オン・オフの動作を高速に繰り返し、オンとなる度に、前記給電回路U 1の出力により充電されるコンデンサ群C 2から該スイッチング素子Q 2を介して、半導体レーザ2に給電が行われる。

[0025] 例えば、略数百kHzの矩形波状のパルス電圧をレーザに印加する方式においては、パルス駆動方式のほうが、単純なDC駆動よりも、半導体素子、例えばレーザダイオード内の接合部温度（ジャンクション温度）を低減することができ、その結果、光出力の効率を上昇させる効果がある。一般的に言って、レーザダイオードをDC駆動すると順方向電圧がパルス駆動に比して低下するため、同程度の電力をレーザダイオードに給電することになると、供給電流を増加させる必要があり、結果として電流増大による損失が増加し、ジャンクションの温度が増加するからである。

いずれにしても、制御ユニットF 1は、より高い光出力効率を得るための最適なパルス周波数とデューティサイクル比を決定し、その値に従って、半導体レーザ2を駆動することができる。ただし、コスト上の兼ね合いから、多少の光出力効率の悪化を前提としてパルス回路U 2を削除して、半導体レーザ2等を直接的にDCで駆動する形態としても構わない。

[0026] 図5は、本発明のレーザ光源装置におけるドライブ回路U 3と前記制御ユニットF 1、波長変換素子等の接続関係を示す簡略化された一構成例を示す図である。

前記レーザ光源ユニットL Hは、波長変換素子5を搭載し、光出力を最大とする、即ち光波長変換の効率が最大となる条件が存在する。その条件とは、前記波長変換素子5の温度であり、適切な温度条件を与えることにより高い変換効率を得ることができる。したがって、波長変換素子5の温度を外部から昇温することにより、波長変換素子5を最適な温度に調整する機構が必要となる。そのために、該波長変換素子5近傍にヒータ7を設け、波長変換素子5の温度が最適な温度となるようにヒータ7を制御することが肝要となる。

[0027] ここでの波長変換素子5の適切な温度条件について補足すると、製造上の要因あるいは波長変換素子5の構成や製造上の理由により、個体ごとにその最適値は異なり、例えば、略80°C〜100°C程度の温度であって、同範囲程度の「ばらつき」が存在する。

制御ユニットF1を構成する演算処理装置（CPUあるいはマイクロプロセッサ）は、前述したように波長変換素子5の最適な温度条件になるように、制御を行う必要がある。

波長変換素子5の温度を所望の温度に一定に保つために、間接的にはヒータ7の温度を制御することで、これを実現する。したがって、温度検出手段Th1をヒータ7の近傍の伝熱板6（図1参照）に配置している。

[0028] 制御ユニットF1は前記したように最適温度設定手段21aと、温度制御手段21bを有し、制御ユニットF1の温度制御手段21bは、温度検出手段Th1により波長変換素子5の温度情報を取得する。そして、上記最適温度設定手段21aにより設定される設定温度と、上記温度検出手段Th1により検出された温度とを比較して、ヒータ7への給電量をフィードバック制御する。

ここでのヒータ7への給電方法の形態としては、制御ユニットF1からのPWM信号のパルス信号を、ドライブ回路U3のゲート駆動回路G3を介して前記スイッチング素子Q3のゲート端子に送出し、該スイッチング素子Q3をオン・オフ制御する。

その結果、前記ヒータ 7 には、例えば DC 24 V の DC 電源から所定の周
期で、所定のパルス電圧が給電される。このように、制御ユニット F 1 は、
ヒータ 7 の給電量を制御し、その結果、前記波長変換素子 5 が最適な温度に
なるよう安定的に制御する。

尚、点灯回路は、予め、波長変換素子 5 の最適な設定温度を求めておく必
要がある。そのため、ヒータ 7 を制御する目標温度をシリアル通信などで外
部信号 S c から点灯電源装置に設定する方法もあるが、本実施例では、後述
するように、波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、制御する
目標温度を含む範囲で上記設定温度を掃引して、前記光源部 1 2 の温度を計
測し、該光源部温度が極小となる温度を求めて、この温度を最適設定温度と
する。この目標温度情報は制御ユニット F 1 内に配置された記憶素子、例え
ば E E P ロムや F L A S H ロムに書き込み保存される。

[0029] 図 6 は、本発明の実施例のレーザ光源装置の点灯回路における、ドライブ
回路 U 3 より前記ヒータ 7 に給電される電流波形を簡略化したタイミングチ
ャートである。

ヒータ 7 への給電量をフィードバック制御するために、制御ユニット F 1
の温度制御手段 2 1 b は、同図に示す PWM 1 周期と PWM オン幅を決定し
て、PWM 信号を生成する。

なお、上記 PWM 信号の代わりに、周波数変調信号等の PWM 信号と同様
のアナログ量を表す信号を生成するようにしてもよい。

このオン幅の増減によりヒータ 7 への給電量が調整され、波長変換素子 5
の温度が制御される。

上記フィードバック制御方式としては、一般的に「オン・オフ P I D 制
御」として知られている制御方式を用いることができる。P I D 制御は、比
例要素と積分要素と微分要素を組み合わせ、目標の温度となるように制御
する方式である。なお、本実施例で使用した PWM 出力の周波数は例えば、
略数 k H z 程度の値が適用される。

[0030] 図 7 は、上記制御ユニット F 1 の温度制御手段 2 1 b における制御処理の

一例を示すフローチャートである。図7のフローチャートは、前述した制御ユニットF1内に実装されたマイクロコンピュータにおけるソフトウェア処理により実現することができ、制御ユニットF1の温度制御手段21bは、例えば以下のフローチャートに示される処理を実行し、波長変換素子5の温度を最適温度設定手段21aにより設定される最適の目標温度に制御する。

制御ユニットF1の温度制御手段21bは、波長変換素子5の温度を目標温度に制御するために、波長変換素子5の温度（図1においてはヒータ7により加熱される伝熱板6の温度）を温度検出手段Th1で検出し、検出した温度と目標温度となる上記最適設定温度とを比較することで、ヒータ7への出力操作量を周期的に実行し制御する。

これについて、その代表的手法である比例要素と積分要素とを組み合わせたPI制御を例として説明する。

[0031] 図7において、ステップ(B01)でヒータ制御を開始し、まず、ステップ(B02)において波長変換素子5の温度と相関があるヒータ7により加熱される伝熱板6の現在の温度、即ち波長変換素子5の温度実測値(PPLN温度実測値)を温度検出手段Th1により測定し、温度実測値(Tm_PPLN)を得る。

次に、ステップ(B03)にて波長変換素子5の目標温度、即ち、前記制御ユニットF1の最適温度設定手段21aにより設定される波長変換素子5の最適温度設定値(PPLN温度設定値)を読み込み、最適温度設定値(Ts_PPLN)を得る。

そして、ステップ(B04)にて上記最適温度設定値(Ts_PPLN)と、温度検出手段Th1より測定された温度実測値(Tm_PPLN)とを比較して、その差分(en)を求める。この差分(en)を用いて、ステップ(B05)において、PI演算を行う。このPI演算において、ヒータ7への給電量、即ち、ヒータ7への操作量を数式(1)より求める。

$$MV_n = MV_{n-1} + K_p \times e_n + K_i \times e_{n-1} \cdots (1)$$

ここで、MV_nは今回の操作量、MV_{n-1}は前周期の操作量、e_nは今

回算出した温度の差分値、 e_{n-1} は前周期での温度差分値、 K_p 、 K_i は定数である。

[0032] PI 演算により算出された操作量 (MV_n) は制御ユニット F_1 より送出する PWM 信号のオン幅として更新することになるが、ステップ ($B06$)、ステップ ($B07$) にて、操作量 (MV_n) が最大値 (MV_n 上限値) を上回っている場合にはその最大値を、最小値 (MV_n 下限値) を下回っている場合には最小値を操作量 (MV_n) として上下制限を行う (ステップ ($B08$)、ステップ ($B09$))。

そしてステップ ($B06 \sim B9$) にて、最終的に決定した操作量を、制御ユニット F_1 より送出する PWM 信号のオン幅 ($Duty(n)$) として更新し、その周期のヒータ制御を終了する (ステップ ($B10$))。

このステップ ($B01$) からステップ ($B11$) までの一連の動作を所定の周期で繰り返す。本フローチャートを周期的に実行しフィードバック制御を行うことで、前記波長変換素子 5 が最適な温度になるよう安定的に制御される。

ここで説明している制御アルゴリズムは、比例制御と積分要素からなる PI 制御方式を用いているが、例えば PID 制御のように $Differential$ (微分) 要素を加えた制御を含め他のフィードバック制御方式を用いても構わない。

[0033] 次に、本発明において、波長変換素子の波長変換効率が最大となる最適な目標温度を得る方法について説明する。

まず、光源部温度 (T_{lsr}) に影響を与える熱について説明する。

半導体レーザ 2 もしくはその近傍等に設置した光源部温度検出手段 Th_2 で検出する光源部温度 (T_{lsr}) は、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input})、冷却条件、波長変換素子に付属しているヒータ温度 (すなわち、波長変換素子 5 の温度 (T_{ppln})) 等、さまざまなパラメータの影響を受ける。

また、複数のレーザ光源ユニットを高密度に実装する場合、直近の半導体

レーザの発熱が当該半導体レーザ装置の光源部 12 の温度 (T_{lsr}) に影響を与えることが考えられる。これら光源部 12 の温度 (T_{lsr}) に影響を及ぼすことが考えられるパラメータを全て列挙することは無理があるため、以下では、「冷却条件 (T_{cool})」という語句を用いて、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) と上記波長変換素子の温度やヒータ温度 (T_{ppln}) 以外の、熱的外部環境条件を総称することにする。(ここで、外部とはレーザ光源ユニットのパッケージの外を意味する)。

[0034] 例えば、冷却条件 (T_{cool}) (例えば設置場所の室温やレーザ光源ユニットが設置されている筐体内部温度や、レーザ冷却チラーの設定水温等の全て) が一定で、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) のみ変化させた場合、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が増加するに従って光源部温度 (T_{lsr}) は上昇する。これは、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) の増加に伴い、レーザ素子の発熱が増えるためである。

また、別の例として、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が一定で、冷却条件 (T_{cool}) のみ変化させた場合 (例えば気温の変化)、冷却条件 (T_{cool}) (例えば季節の変化による気温) の上昇に伴い、冷却効率が低下し、排熱量が減少するため光源部温度 (T_{lsr}) は上昇する。

すなわち、以上をまとめると、光源部温度 (T_{lsr}) は以下の式 (1) で表わすことができる。

$$T_{lsr} = F1(T_{cool}, P_{input}, T_{ppln}) \cdots (1)$$

と表現することができる。

[0035] 図 8 は、波長変換素子 5 の設定温度 (T_{ppln}) に対するレーザ光源からの光出力 (W_{opt})、及び、光源部 12 の温度 (T_{lsr}) を示す図であり、横軸は、波長変換素子の設定温度 (T_{ppln})、上の図の縦軸は光出力 (W_{opt})、下の図の縦軸は光源部温度 (T_{lsr}) を示す。

図 8 の曲線 (a) は、ある一定冷却条件 ($T_{cool} = \text{一定}$) 及び、ある一定のレーザ点灯時の入力電力 ($P_{input} = \text{一定}$) での波長変換素子の設定温度 (T_{ppln}) に対する可視光出力 W_{opt} を示す。

図8の直線(b)は、ある一定冷却条件($T_{cool} = \text{一定}$)及び、ある一定のレーザ点灯時の入力電力($P_{input} = \text{一定}$)における波長変換素子5の設定温度(T_{ppin})に対して予測される光源部温度(T_{lsr})を示す(単純に波長変換素子5の温度の影響のみを考慮した場合)。

図8(c)の曲線はある一定冷却条件($T_{cool} = \text{一定}$)及び、ある一定のレーザ点灯時の入力電力($P_{input} = \text{一定}$)における波長変換素子5の設定温度(T_{ppin})に対する実際の光源部温度(T_{lsr})を示す。

[0036] 可視光出力(W_{opt})が最大となる波長変換素子5の設定温度(T_{ppin})における光源部温度(T_{lsr})は図8に示すように極小となる。

これについて、以下説明する。

波長変換素子5の設定温度(T_{ppin})を特定の温度($T_{ppin} = T_c$)に設定することで、図8(a)に示すように、光源部12において半導体レーザ2から出力される赤外光を最大の変換効率で可視光に変換することができる。

レーザ点灯時の入力電力(P_{input})と冷却条件(T_{cool})が一定の場合、上記式(1)は、以下の式(2)に示すように、波長変換素子の設定温度(T_{ppin})の関数と表現できる。

$$T_{lsr} = F1(T_{ppin}) \cdots (2)$$

[0037] 波長変換素子5の設定温度(T_{ppin})を高温に設定するに伴って、ヒータ7への給電量は増加するため、光源部温度(T_{lsr})も、給電量増加に伴うヒータ発熱量増加(=ヒータ温度上昇)の影響を受けて、右肩上がりに上昇する傾向になると予測される。つまり光源部温度(T_{lsr})は波長変換素子設定温度(T_{ppin})の単調増加関数(図8の破線(b))のような振る舞いであることが予想される。

しかし、実際には図8の破線(b)のようにはならず、図8の実線(c)のように、レーザ光源の可視光出力(W_{opt})が最大となる波長変換素子の設定温度($T_{ppin} = T_c$)で極小となる下に凸な振る舞いを示す。

[0038] この現象は、以下のように説明することができる。上記レーザ点灯時の入力電力（ P_{input} ）と冷却条件（ T_{cool} ）が一定の場合、赤外線が波長変換素子 5 によって可視光に変換されない温度領域では、ある一定の赤外線が共振器内に閉じ込められ、半導体レーザ 2 には共振器内赤外エネルギーによる入熱がある。

一方、赤外線が可視光に変換される波長変換素子 5 の設定温度領域（ $T_{ppin} = T_c$ ）周辺では、半導体レーザ 2 から出力される赤外線の大半が波長変換素子 5 によって可視光に変換され、レーザ光源ユニット LH のパッケージの外に放出されるので、共振器内赤外エネルギーによる半導体レーザ 2 への入熱は減少する。この共振器内赤外エネルギーによる半導体レーザ 2 への入熱の減少量とパッケージの外に放出される可視光の量が比例するので、光源部温度（ T_{lsr} ）が極小となる点（ $T_{lsr} = T_l$ ）が波長変換素子の変換効率が最も高い波長変換素子 5 の設定温度（ $T_{ppin} = T_c$ ）と一致するものと考えられる。つまり、式（2）において、波長変換素子 5 の設定温度（ $T_{ppin} = T_c$ ）では以下の（3）式のようになる。

[0039] [数1]

$$\left(\frac{\partial T_{lsr}}{\partial T_{ppin}} \right) = 0 \quad \text{かつ} \quad \left(\frac{\partial^2 T_{lsr}}{\partial^2 T_{ppin}} \right) > 0 \quad \dots \dots (3)$$

[0040] 半導体レーザ 2 もしくはその近傍に設置した光源部温度検出手段 Th_2 で光源部温度（ T_{lsr} ）を観測することで、可視光出力（ W_{opt} ）をオプティカルパワーメータ等の光出力測定装置 110（図 18 等参照）で測定することなく、可視光への変換効率が最も高い波長変換素子 5 の設定温度（ $T_{ppin} = T_c$ ）に設定することが可能となり、部品点数の削減及び可視光出力を測定する手段が不要となりコスト削減ができる。

[0041] 次に、波長変換素子 5 の設定温度に対する可視光出力（ W_{opt} ）およびそのときの光源部温度の測定し、図 8 に示すデータを得る方法について、図 9 により説明する。

図9において、LHはレーザ光源ユニット、20は点灯回路、21は波長変換素子5の設定温度(T_{ppln})の制御部、該制御部21は素子温度検出手段Th1により検出された波長変換素子5（ここではPPLN）の温度が、設定温度更新手段31から与えられる波長変換素子の設定温度となるように、ヒータ7の加熱量を制御して波長変換素子5の設定温度をフィードバック制御する。

また、32はレーザ光源ユニットの可視光出力を測定するオプティカルパワーメータ、34は、オプティカルパワーメータ32で測定される可視光出力、温度検出手段Th2により検出された光源部温度(T_{lsr})を記録する記憶手段であり、オプティカルパワーメータ32で測定される光出力、光源部温度検出手段Th2で検出される光源部温度は上記記憶手段34等に記録される。また、35は半導体レーザ2等を冷却する半導体レーザ冷却装置である。

[0042] 図8に示すデータを得るための実験条件および実験方法は以下の通りである。

(1) 冷却条件（例えば測定時の室温）(T_{cool})を例えば25.0°C一定にする

(2) 波長変換素子5の設定温度(T_{ppln})を、例えば80.0°Cに設定する（制御部21は素子温度検出手段Th1により検出された波長変換素子5の温度が、上記設定温度（例えば80.0°C）となるように、フィードバック制御している）

(3) 測定中は、例えば測定サンプルの近傍で別のレーザを点灯させるなど周囲環境が変化することは行わず、冷却条件(T_{cool})を一定にする

(4) 半導体レーザ2へのレーザ点灯時の入力電力(P_{input})を、例えば50W一定で点灯させる。

(5) レーザ光源ユニットLHから出力される波長変換素子5により可視光変換された可視光出力(W_{opt})を、オプティカルパワーメータ32を使用してその出力値を測定する。

(6) 光源部温度検出手段 T_{h2} により検出された光源部温度 (T_{lsr}) も測定する

(7) 可視光出力 (W_{opt}) と温度検出手段 T_{h2} により検出された光源部温度 (T_{lsr}) の測定が終わった後、設定温度更新手段 31 により、波長変換素子の設定温度 (T_{ppln}) を 0.1°C 上昇させる (例えば、 80.1°C に更新する。レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) は 50W 一定のまま変化させない)

(8) 波長変換素子 5 の温度が設定温度で安定したら、半導体レーザ (L_D) の可視光出力をオプティカルパワーメータ 32 で測定し、光源部温度検出手段 T_{h2} で検出された光源部温度 (T_{lsr}) を測定する

[0043] 以下、同様に波長変換素子の設定温度を 0.1°C ずつ上昇させていき、波長変換素子 5 の温度が設定温度で安定したときの際の可視光出力と、温度検出手段 T_{h2} で検出された光源部温度 (T_{lsr}) を測定していく。この一連の作業は、所定の波長変換素子 5 の設定温度最大値、例えば 100.0°C まで続ける。

これを繰り返すことにより、波長変換素子 5 の温度が $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ の範囲において、温度検出手段 T_{h2} で検出された光源部温度 (T_{lsr}) とオプティカルパワーメータ 32 で測定された可視光出力 (W_{opt}) のデータを集めることができる。

そして、波長変換素子 5 の温度 (T_{ppln}) と得られたレーザ光源ユニット LH からの可視光出力 (W_{opt})、さらには光源部温度検出手段 T_{h2} で検出された光源部温度 (T_{lsr}) の関係性をプロットすることで図 8 の特性図を求めることができる。

[0044] 本発明によれば、別に光を測定する手段を用いることなく、つまり、不要なコストを発生させることなく、最適な温度 (T_c) を求めることができ、本発明の利点を享受できる。

さらに、複数あるいは大量の前記レーザ光源ユニット LH を使って製品を構成する、例えば大型のプロジェクションシステムの場合は 1 個体ずつ測定

すると非常に長い調整時間を要するが、本発明によれば、複数のレーザ光源ユニットであっても、最適温度の検索を同時に行うことが可能であり、作業時間の大幅な低減が可能となり、本発明の利点を享受できる。

さらに、本発明によれば、半導体レーザ2のレーザダイオードを直列に接続した回路構成（例えば前記図19の構成）であったとしても、射出する光出力を測定する必要がないので、簡単に最適温度を見つけることが可能となり、本発明の利点を享受できる。

[0045] 図10は、前記図2に示した制御部21の制御ユニットF1の最適温度設定手段21aにおいて行われる波長変換素子5の最適設定温度を検出する処理（例1）を示すフローチャートである。図10のフローチャートは制御ユニットF1内に実装されたマイクロコンピュータにおける処理により実現することができ、最適温度設定手段21aはこのフローチャートを実行し、波長変換素子5の最適設定温度を設定する。図10のフローチャートでは、波長変換素子5の設定温度（ T_{ppln} ）を少しずつ変えながら、光源部温度検出手段Th2により光源部温度（ T_{lsr} ）を検出し、光源部温度（ T_{lsr} ）が最も小さくなるときの波長変換素子5の温度を最適設定温度（ T_{ppln_opt} ）に設定する。

[0046] 波長変換素子5の最適設定温度は次のように設定される。

ステップB21において、波長変換素子の温度自動設定作業を開始する信号が入力され、温度自動設定処理が開始される。

ステップB22において、前回測定している波長変換素子5の温度測定値（PPLN温度設定値： T_{ppln} ）に対して“1”加算する。すなわち、1段階次のステップの温度（ $T_s(n)$ ）に設定する。例えば、前回の温度測定値が90.0°Cで温度上昇の各ステップの幅が0.1°Cであれば、90.1°Cに設定値を定める。

ステップB23において、波長変換素子5の温度を実測し安定するか否かを判定する。

ステップB24において、波長変換素子5の温度（PPLN温度実測値）

が設定温度に安定した状態での光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) を一時保存する。

ステップB25において、今回の波長変換素子5の設定温度での該光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) を1段階前の波長変換素子5の設定温度で安定した時の光源部温度 ($T_{lsr}(n-1)$) と大きさを比較する。前回よりも今回の光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) が大きい場合には、ステップB28へジャンプする。

[0047] ステップB26において、前回よりも今回の光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) が小さい場合は、今回の光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) が光源部温度の最小値 (T_{lsr} 最小値) (T_{lsr} 最小値は、光源部温度の実際の最小値より大きな値になるように予め初期設定されている)、よりも小さいか否かを判断する。最小値より大きい場合は、ステップB28へジャンプする。

ステップB27において、光源部温度が最小値よりも小さい場合は、この今回の光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) を最小値 (T_{lsr} 最小値) として新しく登録する。

ステップB28において、予め設定していた波長変換素子5の温度掃引範囲 (例えば $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$) の上限値 (PPLN温度上限値) と、今回設定した波長変換素子の温度測定値に対する1段階次のステップの温度 $T_s(n)$ とその大きさを比較する。

設定する温度 $T_s(n)$ が掃引する温度の上限値に満たない場合は、ステップB22にもどり同じステップを繰り返す。

ステップB29において、 $T_s(n)$ が掃引する温度の上限値に達した場合は、その時点での光源部温度の最小値 (T_{lsr} 最小値) を記録し、同最小値の場合の波長変換素子5の温度 (PPLN温度) を波長変換素子5の最適温度として設定する。

ステップB30において、波長変換素子の最適温度が決定すれば、波長変換素子温度の自動設定を終了する。

上記フローチャートに従って処理することにより、図8に示した曲線 (c

）が最小値となりうる、つまり温度 T_c 時における可視光出力をモニターすることなく、波長変換素子 5 の最適温度を検出し設定することができる。

[0048] 図 11 は、制御ユニット F1 の最適温度設定手段 21a において行われる波長変換素子 5 の最適設定温度を検出する他の処理（例 2）を示すフローチャートである。

ステップ B31 において、波長変換素子 5 の温度自動設定作業を開始する信号が入力され、温度自動設定作業を開始する。

ステップ B32 において、前回測定している波長変換素子 5 の温度測定値（PPLN 温度設定値）に対して“1”加算する。すなわち、1 段階次のステップの温度（ $T_s(n)$ ）に設定する。例えば、前回の温度測定値が 90.0°C で温度上昇の各ステップの幅が 0.1°C であれば、 90.1°C に設定値を定める。

ステップ B33 において、波長変換素子 5 の温度を実測し安定するか否かを判定する

ステップ B34 において、温度が安定した場合、光源部温度（ $T_{lsr}(n)$ ）と波長変換素子の設定温度（ $T_s(n)$ ）とをマイクロコンピュータなどのメモリ領域に一時的に記憶させる。

ステップ B35 において、設定温度（ $T_s(n)$ ）が予め設定していた波長変換素子 5 の温度掃引範囲（例えば $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ）の上限値（PPLN 温度掃引上限値）になるまで、設定温度を 1 step ずつ加算していき、前記動作を繰り返し（ステップ B35 → ステップ B32 ~ B34）、データを前記メモリ領域に蓄積していく。これら全てのデータをメモリ領域に記憶させる。

ステップ B36 において、光源部温度の最小値をメモリ領域に記憶させた全てのデータから読み出す。

ステップ B37 において、そのときの光源部温度が最小値となる波長変換素子温度を、最適な波長変換素子の温度（PPLN 温度）として設定する。

[0049] 上記図 7 に示した温度制御手段 21b による制御処理と、図 10 または図

11に示した最適温度設定手段21aによる波長変換素子の最適設定温度の検出は、以下のようなタイミングで実行される。

例えば、レーザ光源装置を出荷する前に、図10、もしくは、図11のフローチャートに示される手順で波長変換素子5の温度の最適な設定値を求めて記憶しておく。そして、装置の稼働時には、環境状態に変化がない状態では、この設定値により、図7のフローチャートに示す制御処理を実行して、波長変換素子5の温度を制御する。

また、次に述べるように半導体レーザ2等の周囲温度が変わる等、環境状態が変化すると、波長変換素子の最適温度は変化するので、環境状態の変化に応じて、適宜、上記図10、図11の処理を実行して、最適な設定値を更新する。

なお、上記最適設定温度を求める処理は、その日の最初の作業の開始時に、季節の変わり目に、あるいは、月に一度、あるいは週に一度などに実施し、いわゆる定期校正や定期保守を行うようにしてもよい。また、半導体レーザを交換する際に実施しても構わない。

[0050] ところで、前述したようにレーザ光源装置における光出力は、その性質から、波長変換素子5の温度に大きく依存する。この波長変換素子から高い変換効率を得るためには、その温度の極めて高い精度での制御が要求される。しかしながら、この高い変換効率を得る最適な温度は、半導体レーザ2の周囲の温度や外部共振器を持つ場合には外部共振器の温度、更には、その他の点灯状態等の使用環境によって、レーザ光源装置の点灯中にも次第に変化する場合がある。

例えば、レーザ光源装置の設置場所を移動した場合や季節的な周囲温度の変化等にもともなって、最適温度は変化し、その都度、波長変換素子の最適温度を設定するため最適な設定温度を求める必要が発生する。

[0051] 次に、冷却条件（ T_{cool} ）やレーザ入力条件（ P_{input} ）が変化したときに、波長変換素子の最適温度（ T_{ppln_opt} ）が変化することについて説明する。

レーザ光源装置における可視光出力 (W_{opt}) は、波長変換素子の温度および半導体レーザの活性層の温度に大きく依存する。さらに所定の波長の赤外光を選択して前記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器（例えば体積ブラッググレーティング：VBG：Volume Bragg Grating）を持つ場合には、外部共振器の温度に大きく依存する。

この波長変換素子の温度が変化することにより、位相整合波長が変化するため、ある特定の波長の赤外光に対する可視光への変換効率が大きく変化する。

半導体レーザの活性層の温度が変化する場合、構成材料の屈折率の温度依存性や熱膨張等により、発振波長が変化する。通常、高温になるにしたがって、発振波長が長波長側にシフトする。

[0052] 外部共振器の温度が変化する場合、同様に屈折率の温度依存性や熱膨張等により選択的に反射する赤外光の波長が変化する。この場合も通常、高温になるにしたがって、選択反射波長、すなわち外部共振器をもつレーザの発振波長は長波長側にシフトする。

すなわち、半導体レーザおよび外部共振器の温度に対応した発振波長で高い変換効率が得られるように、波長変換素子の温度を制御する必要があり、極めて高い精度での制御が要求される。

上記発振波長の温度依存性があることにより、可視光への高い変換効率を得る波長変換素子の最適温度 (T_{ppln_opt}) は、レーザ光源装置の点等条件の変化によって、レーザ光源装置の点灯中にも次第に変化する場合がある。

例として、冷却条件 (T_{cool}) が一定かつ、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) のみ変化する場合について述べる。

[0053] 図12は、波長変換素子の設定温度 (T_{ppln}) に対する可視光出力 (W_{opt}) の関係を例示した図である。

図12の実線 (a) は、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が P_{i1} の状態で、前記図8で説明したように、波長変換素子5の設定温度 (T_p

p l n)を変えたときの可視光出力 ($W o p t$) をプロットしたものであり、また、図12の(b)は、レーザ点灯時の入力電力 ($P i n p u t$) を $P i 2$ の状態で、波長変換素子5の設定温度 ($T p p l n$) を変えたときの可視光出力 ($W o p t$) をプロットしたものである。

いま、レーザ点灯時の入力電力 ($P i n p u t$) を $P i 1 \rightarrow P i 2$ に変化させたとき、可視光出力が最大となる波長変換素子の最適温度 ($T p p l n _ o p t$) は $T p 1$ (◇) $\rightarrow T p 2$ (●) に変化する(波長変換素子の設定温度を $T p 1$ のままにしておくと、光出力は $W o 2$ に低下する)。

したがって、波長変換素子の設定温度 ($T p p l n$) を $T p 2$ に設定することで、最適な波長変換特性を得ることができる。

[0054] 次に、波長変換素子の最適設定温度 ($T p p l n _ o p t$) と光源部温度 ($T l s r$) とレーザ点灯時の入力電力 ($P i n p u t$) の関係について説明する。図13に上記最適設定温度 ($T p p l n _ o p t$) と光源部温度 ($T l s r$)、レーザ点灯時の入力電力 ($P i n p u t$) の関係を示す。

上記関係を得るため、前記図9の装置を用いて、以下の手順で実験を行った。

例1) 半導体レーザ2へのレーザ点灯時の入力電力 ($P i n p u t$) を一定、例えば入力電力を55Wの一定とし、冷却条件 ($T c o o l$) を変化、例えば半導体レーザ冷却装置35の設定値のみ $10^{\circ}C \sim 40^{\circ}C$ の範囲において、 $1^{\circ}C$ 刻みで変化させる。半導体レーザ冷却装置35の各設定値において、波長変換素子5の設定温度 ($T p p l n$) を $0.1^{\circ}C$ ずつ変更し、その時の光源部温度 ($T l s r$) の測定を行う。光源部温度 ($T l s r$) が極小となる点が波長変換素子の可視光変換効率が最も高い波長変換素子の設定温度 ($T p p l n _ o p t$) と一致することが分かっているので、半導体レーザ冷却装置35の各設定値における光源部温度 ($T l s r$) が極小になるときの波長変換素子の設定温度 ($T p p l n _ o p t$) を求める。

上記のようにして得られた結果をもとに、光源部温度 ($T l s r$) と波長変換素子の最適温度 ($T p p l n _ o p t$) の関係性をプロットすることで

図13 (a) の特性図を求めることができる。同図に示すように、光源部温度 (T_{lsr}) を増加させると、波長変換素子の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) も上昇する (同図矢印)。

[0055] 例2) 冷却条件 (T_{cool}) が一定、例えば半導体レーザ冷却装置35の設定値が 20°C 一定で、半導体レーザ2へのレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) を、例えば $40\text{W}\sim 70\text{W}$ の範囲において、 5W 刻みで変化させ、各レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) において、波長変換素子5の設定温度 (T_{ppln}) を 0.1°C ずつ変更し、その時の光源部温度 (T_{lsr}) の測定を行う。光源部温度 (T_{lsr}) が極小となる点が波長変換素子5の可視光変換効率が最も高い波長変換素子5の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) と一致するので、各レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) における光源部温度 (T_{lsr}) が極小になるときの波長変換素子5の設定温度 (T_{ppln_opt}) を求める。そして得られた結果をもとに、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) と波長変換素子5の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) の関係性をプロットすることで図13 (b) の特性図を求めることができる。同図に示すように、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) を増加させると、波長変換素子の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) も上昇する (同図矢印)。

[0056] さらに、半導体レーザ2への入力電力を上記例1) とは異なる設定値に一定に保った状態や、冷却条件を上記例2) とは異なる設定値に一定に保った状態で、光源部温度 (T_{lsr}) とレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) と波長変換素子の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) を測定し、その関係をプロットすることで、所望の範囲の光源部温度 (T_{lsr}) とレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) に対する最適設定温度 (T_{ppln_opt}) の関係を求めることができる。

表1は上記のようにして求めた光源部温度 (T_{lsr}) とレーザ点灯への供給電力 (W) (P_{input}) と最適設定温度 (T_{ppln_opt}) との関係を示す表である。

[0057] [表1]

		レーザ点灯への供給電力(W)			
		40	40	40	40
光源部温度(℃)	25.0	79.4	79.9	80.4	80.9
	30.0	79.9	80.4	80.9	81.4
	35.0	80.4	80.9	81.4	81.9
	40.0	80.9	81.4	81.9	82.4
	45.0	81.4	81.9	82.4	82.9

[0058] 図14はこのようにして求めたXYZ軸を有する3次元グラフで示した特性図であり、同図のX軸は光源部温度 (T_{lsr})、Y軸はレーザ点灯時の入力電力 (P_{input})、Z軸は最適設定温度 (T_{ppln_opt}) である。同図において、例えば $F(T_{lsr}, P_{input})_{55W}$ は、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が55Wのときの最適設定温度 (T_{ppln_opt}) を示す。

また、このようにして求められた関係を以下の式(4)と表すことにする。

$$T_{ppln_opt} = F2(T_{lsr}, P_{input}) \cdots (4)$$

[0059] 以上のように、周辺環境等の変化に応じて、波長変換素子の光変換特性はシフトする。

本発明においては、周辺環境等の変化に応じて上記式(4)により、最適設定温度を求め、波長変換素子の温度を制御する。

なお、式(4)の関数により最適設定温度をその都度計算する以外に、各データをメモリに記憶させ、データ表から対応したヒータ設定温度を制御しても良い。

[0060] 図15は、上記のように周辺環境の変化に応じて波長変換素子の設定温度を制御するようにした本発明の第2の実施例のレーザ光源装置における制御

部および点灯回路の構成を示すブロック図である。

前記図 2 に示した構成との相違点は、制御ユニット F 1 に、前記最適温度設定手段 2 1 a に代えて最適温度順次設定手段 2 1 c が設けられ、最適設定温度を検出する手順が前記第 1 の実施例で説明したものと相違する点であり、その他の構成及び動作は前記第 1 の実施例で説明したものと同一である。

[0061] すなわち、点灯回路 2 0 は、前記したように給電回路 U 1 と、パルス状の電力を供給するパルス回路 U 2 から構成され、半導体レーザ 2 の状態あるいは点灯シーケンスに応じて、適合する電圧・電流を半導体レーザ 2 に出力する。

また、半導体レーザ 2 が発光する赤外線を可視光に変換するために波長を変換する波長変換素子 5（例えば P P L N）が設けられ、それを昇温するためのヒータ 7、温度検出手段 T h 1 が設けられる。

制御部 2 1 は、制御ユニット F 1 とヒータ 7 を駆動するドライブ回路 U 3 から構成され、給電回路 U 1、パルス回路 U 2 は、制御ユニット F 1 によって制御される。

制御ユニット F 1 は、最適温度順次設定手段 2 1 c と、温度制御手段 2 1 b を備える。

温度制御手段 2 1 b は前記図 7 のフローチャートに示したように、温度検出手段 T h 1 により検出された温度と、最適温度設定手段 2 1 c により設定される設定温度との差に基づき上記ヒータ 7 への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるようにフィードバック制御をする。

[0062] 最適温度順次設定手段 2 1 c は、半導体レーザの周辺温度である装置温度が検出されると、この温度に対応した波長変換素子の設定温度（もしくはその補正值）を、関数あるいは表等を用いて定期的に求めて最適な設定温度を設定し、この最適な設定温度を前記温度制御手段 2 1 b に送る。温度制御手段 2 1 b は、波長変換素子 5 の温度が上記設定温度になるように、波長変換素子 5 の温度を制御する。

すなわち、最適温度順次設定手段 2 1 c は、ある光源部温度において、上

記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させ、各設定温度における上記光源部温度を計測し、該光源部温度が極小となるときの温度を求め、該温度を上記光源部温度における上記波長変換素子の最初の最適設定温度として設定し、該最適設定温度に対して、光源部温度及びレーザに加える電力条件をパラメータとして設定温度補正量を算出し、この補正量に基づき、上記設定温度を該最適設定温度に順次定期的に更新する。

[0063] 図16は、本発明の第2の実施例において、制御ユニットF1の最適温度順次設定手段における制御処理の一例を示すフローチャートである。

以下、図16により、光源部温度、レーザに加える電力条件の変化に応じて最適設定温度を更新する処理例について説明する。

ステップB40で波長変換素子の設定温度更新処理を開始し、ステップB41において、光源部温度検出手段Th2により得られた光源部温度($T_{lsr}(n)$)とレーザ点灯時の入力電力($P_{input}(n)$)と素子温度検出手段Th1により得られた波長変換素子の温度($T_{ppln}(n)$)を測定する。

ステップB42において、ステップB41で測定した光源部温度($T_{lsr}(n)$)とレーザ点灯時の入力電力($P_{input}(n)$)と波長変換素子の温度($T_{ppln}(n)$)をマイコンなどのメモリ領域に一時的に記憶させる。

[0064] ステップB43において、ステップB42で保存した光源部温度($T_{lsr}(n)$)とレーザ点灯時の入力電力($P_{input}(n)$)を、制御ユニットF1内の記憶装置にあらかじめ記憶させておいた関数 $F2(T_{lsr}, P_{input})$ (前記式(4))に代入し演算を行い、半導体レーザからの可視光出力を最大とすることができる波長変換素子の最適な温度($Y(n+1)$)を算出する。

ステップB44において、ステップB42で保存した波長変換素子の温度($T_{ppln}(n)$)と、ステップB43で算出した波長変換素子の最適な

温度 ($Y(n+1)$) の差をあるしきい値 ε と比較する。 ε より小さい場合は B 4 9 へジャンプする。大きい場合はステップ B 4 5 へ進む。

[0065] ステップ B 4 5 において、ステップ B 4 3 で得られた波長変換素子の最適な温度 ($Y(n+1)$) を波長変換素子の目標値 (設定温度) に設定する。

ステップ B 4 6 において、新たに光源部温度検出手段 T_{h2} により得られた光源部温度 ($T_{lsr}(n+1)$) とレーザ点灯時の入力電力 ($P_{input}(n+1)$) と光源部温度検出手段 T_{h2} により得られた波長変換素子の温度 ($T_{ppln}(n+1)$) を測定する。

ステップ B 4 7 において、ステップ B 4 6 で測定した光源部温度 ($T_{lsr}(n+1)$) とレーザ点灯時の入力電力 ($P_{input}(n+1)$) と波長変換素子の温度 ($T_{ppln}(n+1)$) をマイコンなどのメモリ領域に一時的に記憶させる。

ステップ B 4 8 において、ステップ B 4 2 で記憶した光源部温度 ($T_{lsr}(n)$) とステップ B 4 6 で測定した光源部温度 ($T_{lsr}(n+1)$) の差があるしきい値 C より大きいか否かを比較する。 C より小さい場合はステップ B 4 9 へ進む。大きい場合は B 4 2 へジャンプする。ステップ B 4 9 で設定温度の更新処理を終了する。

[0066] 本実施例は、点灯をはじめてから、冷却条件 (T_{cool}) とレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が次第に変化していく場合や、冷却条件 (T_{cool}) とレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が比較的早く変化する場合等に適用するのが望ましく、この一連の処理は、レーザを点灯している最中において、定期的に行われ、好ましくは 1 秒～1 分に一度の頻度で行う。

[0067] ところで、上記図 1 5 に示す装置においては、冷却条件 (T_{cool}) やレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が変化すると、これに応じて波長変換素子の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) が自動的に更新されるが、例えばレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が変化すれば光源部温度 (T_{lsr}) も変化し、これに応じて最適設定温度 (T_{ppln_opt}) も

変化するというように、光源部温度 (T_{lsr}) と最適設定温度 (T_{ppln_opt}) の状態は順次遷移し、ある時間経過後に最適設定温度 (T_{ppln_opt}) に落ち着くものと考えられる。

以下、環境状態等が変化した場合に、光源部温度 (T_{lsr}) と最適設定温度 (T_{ppln_opt}) が実際にどのように遷移するのかについて、図 17 の動作例により説明する。なお、図 17 の X 軸は光源部温度 (T_{lsr})、Y 軸はレーザ点灯時の入力電力 (P_{input})、Z 軸は最適設定温度 (T_{ppln_opt}) を示し、同図中の実線で示した曲線は、光源部温度 (T_{lsr}) とレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) をパラメータとした波長変換素子の設定温度 (T_{ppln}) である。

[0068] (1) 波長変換素子 5 の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) が T_{p1} 、光源部温度 (T_{lsr}) が T_{l4} であることを光源部温度検出手段 $Th2$ で検知する。半導体レーザ 2 は、レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が P_{i1} で点灯している (図 17 の点 A)。

(2) 人為的にレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) を P_{i2} に変化させた (図 17 の点 B)。

(3) 制御部 21 はレーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) が P_{i2} であることを検知する。

(4) レーザ点灯時の入力電力 (P_{input}) の増加に伴い、レーザ素子の発熱が増えるため半導体レーザ 2 の近傍の温度は上昇する。

(5) 光源部温度 (T_{lsr}) が T_{l5} に上昇したことを光源部温度検出手段 $Th2$ で検知する。

[0069] (6) 制御部 21 のマイコン等の処理装置は記憶している式 (4) を用いて、 $(T_{lsr}, P_{input}) = (T_{l5}, P_{i2})$ のときの波長変換素子 5 の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) T_{p2} を得て、波長変換素子 5 の制御温度の目標値を T_{p2} に変更する。

目標値変更に従い、制御部はヒータの給電量を増やして、PID 制御して波長変換素子 5 の実測温度を T_{p2} に近づけるように制御する (図 17 の点

B→点C)。

(7) 波長変換素子5の実測温度が T_{p2} に近づくにつれて、半導体レーザ2から出力される赤外線の大半が波長変換素子5によって可視光に変換され、レーザ光源ユニットLHのパッケージの外に放出されるので、共振器内赤外エネルギーによる半導体レーザ2への入熱は減少する。したがって、光源部温度(T_{lsr})は、低くなる。

(8) 制御部21は光源部温度(T_{lsr})が T_{l6} に低下したことを光源部温度検出手段 T_{h2} で検知する(図17の点D)

[0070] (9) 制御部21のマイコン等の処理装置は記憶している式(4)を用いて、 $(T_{lsr}, P_{input}) = (T_{l6}, P_{i2})$ のときの波長変換素子の最適温度(T_{ppln_opt}) T_{p3} を新たに得て、波長変換素子5の制御温度の目標値を T_{p3} に変更する。

(10) 目標値変更に従い、制御部21はヒータ7の給電量を変えて、PID制御して波長変換素子5の実測温度を T_{p3} に近づけるように制御する。

(11) 波長変換素子5の実測温度が T_{p3} に近づくにつれて、半導体レーザ2から出力される赤外線の大半が波長変換素子5によって可視光に変換され、レーザ光源ユニットLHのパッケージの外に放出されるので、共振器内赤外エネルギーによる半導体レーザ2への入熱は減少する。したがって、光源部温度(T_{lsr})は、低くなる

[0071] (12) 制御部21は光源部温度(T_{lsr})が T_{l7} に低下したことを光源部温度検出手段 T_{h2} で検知する(図17の点F)

(13) 制御部21のマイコン等の処理装置は記憶している式(4)を用いて、 $(T_{lsr}, P_{input}) = (T_{l7}, P_{i2})$ のときの波長変換素子の最適設定温度(T_{ppln_opt}) T_{p4} を得る(図17の点G)。

上記操作を光源部温度(T_{lsr})が変化しなくなるまで行うことにより、最適設定温度(T_{ppln_opt})はある状態に落ち着く。

上記例では、最適設定温度について式(4)を用いてマイコン等の処理装置により、リアルタイムに計算する場合について説明した。しかし、処理装

置の演算処理速度の都合上、半導体レーザの点灯が開始される前に、前述した関係式等を用いて予め演算を行い、前記表 1 に示したようなテーブルを作成し、記憶装置に記憶させておいてもよい。そして、作成したテーブルを参照しながら波長変換素子 5 の最適設定温度 (T_{ppln_opt}) を更新するようにしてもよい。

符号の説明

[0072]	1	基板
	2	半導体レーザ
	3	遮断容器
	4	基本波光反射素子 (VBG)
	5	波長変換素子 (PPLN)
	6	伝熱板
	7	加熱手段 (ヒータ)
	8	ダイクロイックミラー
	9	反射ミラー
	10	ダイクロイック出力ミラー
	11	ビームダンプ
	12	光源部
	20	点灯回路
	21	制御部
	21a	最適温度設定手段
	21b	温度制御手段
	21c	最適温度順次設定手段
	31	設定温度更新手段
	32	オプティカルパワーメータ
	34	記憶手段
	35	半導体レーザ冷却装置
	Th1	素子温度検出手段

T h 2	光源部温度検出手段
L H	レーザ光源ユニット
U 1	給電回路
U 2	パルス回路
U 3	ドライブ回路
F 1	制御ユニット
M 1	D C 電源
Q 1, Q 2, Q 3	スイッチング素子
L 1	チョークコイル
C 1	平滑コンデンサ
C 2	コンデンサ群
D 1	フライホイールダイオード
G 1, G 2, G 3	ゲート駆動回路
I 1	給電電流検出手段
V 1	給電電圧検出手段

請求の範囲

[請求項1]

半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、

上記半導体レーザを点灯させる点灯回路と、

上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、

上記波長変換素子を加熱する加熱手段と、上記点灯回路と上記加熱手段を制御する制御部と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段とを備えたレーザ光源装置であって、

上記制御部は、

上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御する温度制御手段と、

上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させながら、上記光源部温度検出手段により各設定温度における光源部の温度を計測し、該光源部温度が極小となる温度を求め、該温度を上記波長変換素子の最適設定温度として、上記設定温度を該最適設定温度に設定する最適温度設定手段とを備えることを特徴とするレーザ光源装置。

[請求項2]

半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、

上記半導体レーザを点灯させる点灯回路と、

上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、

上記波長変換素子を加熱する加熱手段と、

上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段と、上記点灯回路

と該加熱手段を制御する制御部とを備えたレーザ光源装置であって、

上記制御部は、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への出力を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御する温度制御手段と、

ある光源部温度において、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させ、各設定温度における上記光源部温度を計測し、該光源部温度が極小となるときの温度を求め、該温度を上記光源部温度における上記波長変換素子の最初の最適設定温度として設定し、該最適設定温度に対して、光源部温度及び／またはレーザに加える電力条件をパラメータとして設定温度補正量を算出し、この補正量に基づき、上記設定温度を該最適設定温度に順次定期的に補正する最適温度順次設定手段とを備えていることを特徴とするレーザ光源装置。

[請求項3]

半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、該半導体レーザを点灯させる点灯回路と、上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段と、該波長変換素子を加熱する加熱手段とを備え、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御するレーザ光源装置における上記波長変換手段の温度を制御する方法であって、

上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させながら、上記光源部温度検出手段により各設定温度における光源部の温度を計測し、該光源部温度が極小となる温度を求め、該温度を上記波長変換素子の最適設定温度として決定する第1の工程と、

上記設定温度を、上記最適設定温度に設定する第2の工程と、
上記波長変換素子の温度が上記最適設定温度になるように上記ヒータへの給電量を制御する第3の工程を備える
ことを特徴とするレーザ光源装置における波長変換素子の温度制御方法。

[請求項4]

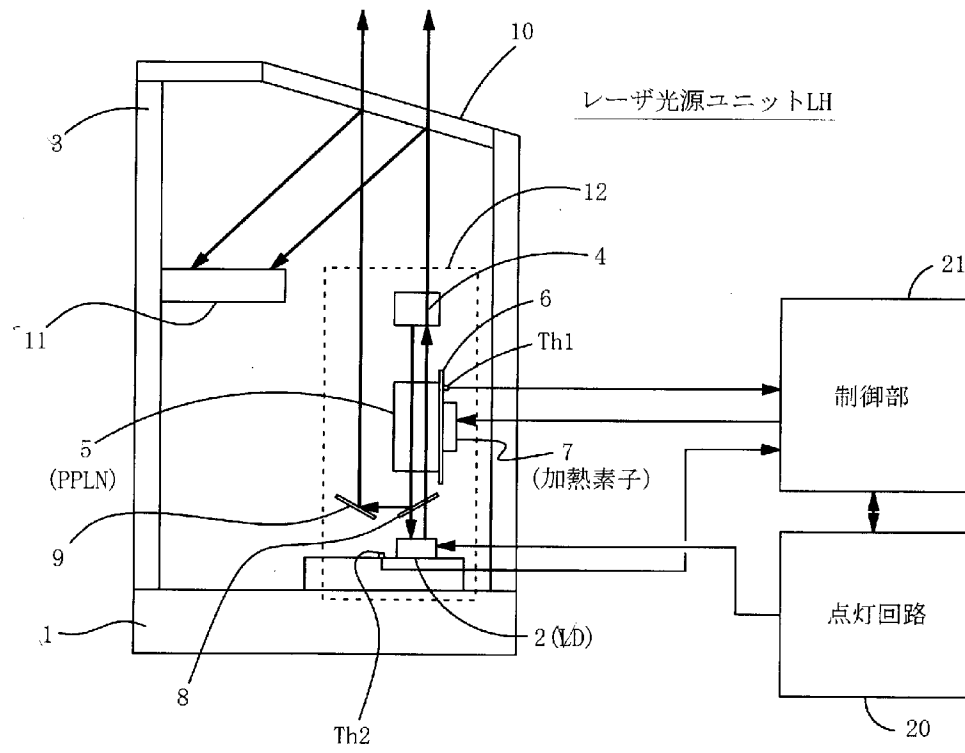
半導体レーザと、該半導体レーザから放射されたレーザ光を波長変換する波長変換素子と、該波長変換素子から放出される所定波長のレーザ光を選択して上記半導体レーザに向かって反射させる外部共振器とを備えた光源部と、該半導体レーザを点灯させる点灯回路と、上記波長変換素子の温度を検出する素子温度検出手段と、上記光源部の温度を検出する光源部温度検出手段と、該波長変換素子を加熱する加熱手段とを備え、上記素子温度検出手段により検出された温度と、設定温度との差に基づき上記加熱手段への給電量を制御し、波長変換素子の温度が上記設定温度になるように制御するレーザ光源装置における上記波長変換手段の温度を制御する方法であって、

上記光源部温度を検出し、上記波長変換素子に上記レーザ光が照射されているとき、上記設定温度を変化させ、上記光源部温度検出手段により各設定温度における光源部の温度を計測し、該光源部温度が極小となる温度を求め、該温度を上記光源部温度における上記波長変換素子の最初の最適設定温度として設定し、異なった光源部温度において光源部温度あるいはレーザに加える電力条件をパラメータとして設定温度補正量を算出する第1の工程と、

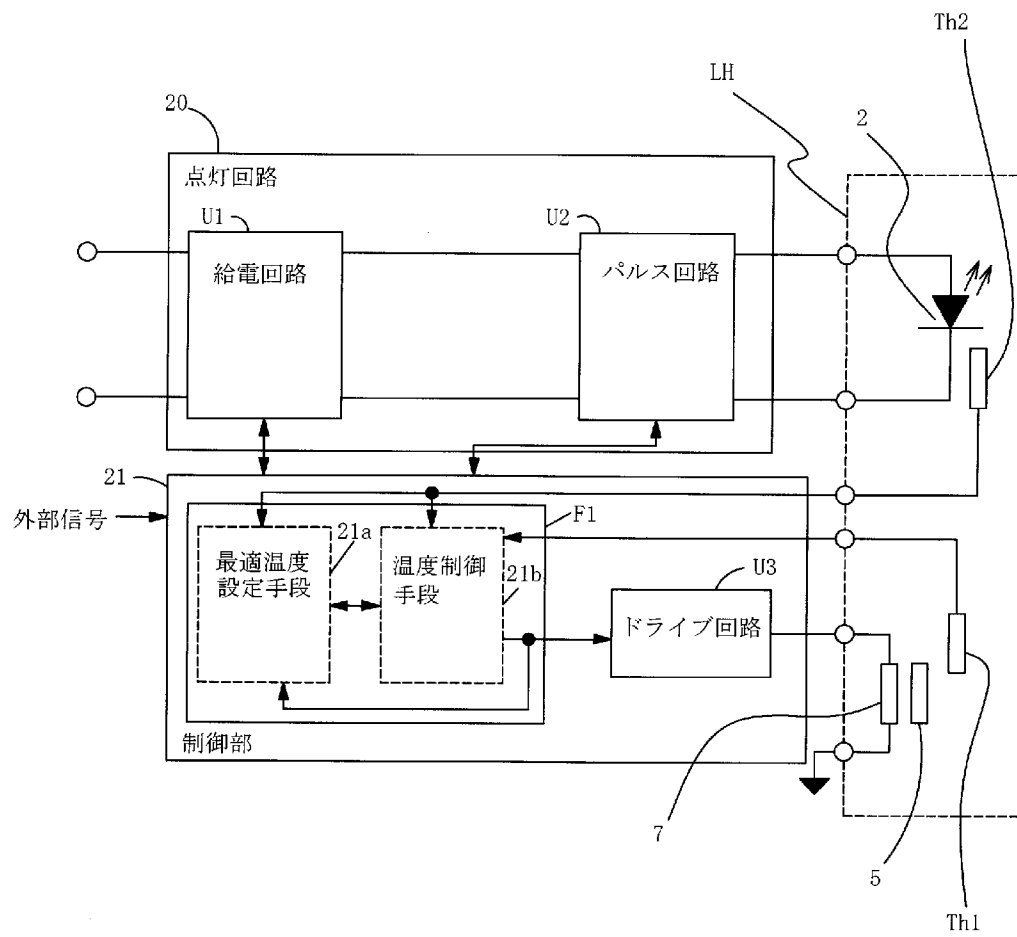
上記設定温度補正量に基づき上記設定温度を該最適設定温度に順次定期的に補正する第2の工程と、

上記波長変換素子の温度が上記最適設定温度になるように上記ヒータへの給電量を制御する第3の工程と
を備えることを特徴とするレーザ光源装置における波長変換素子の温度制御方法。

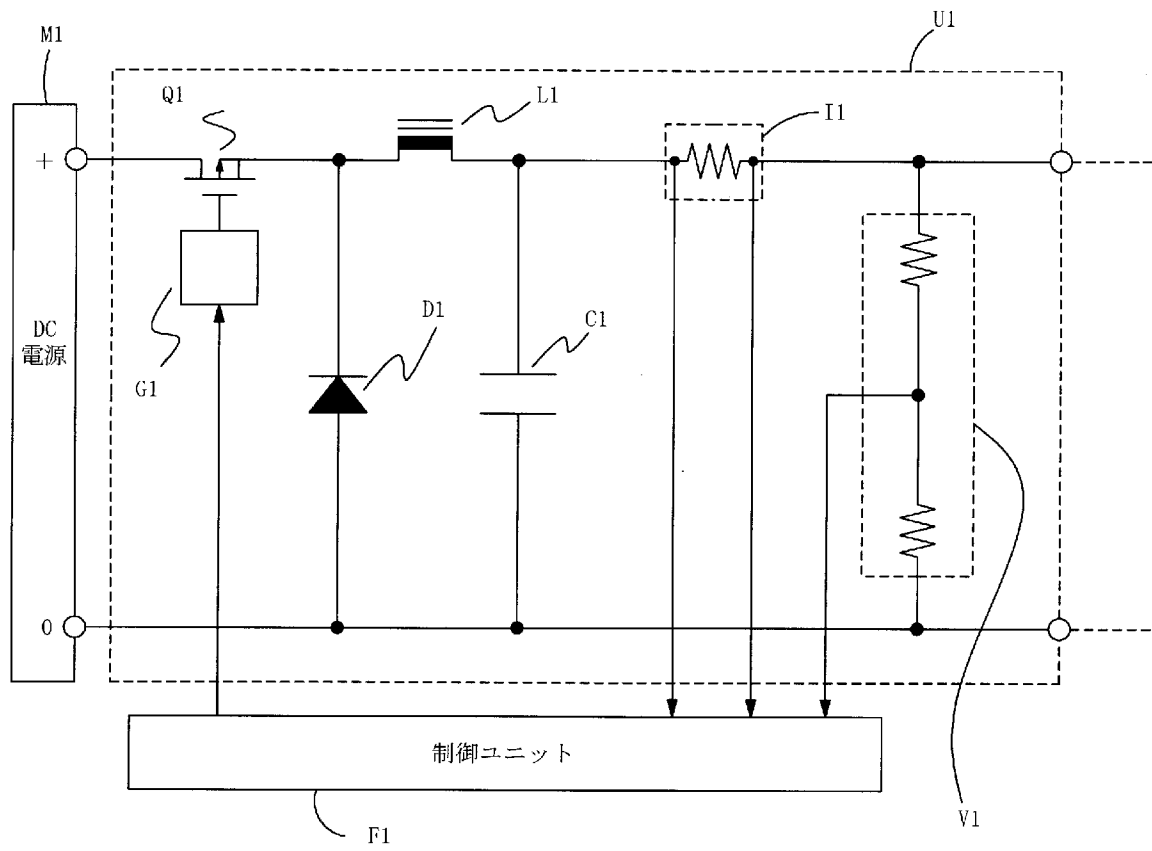
[図1]

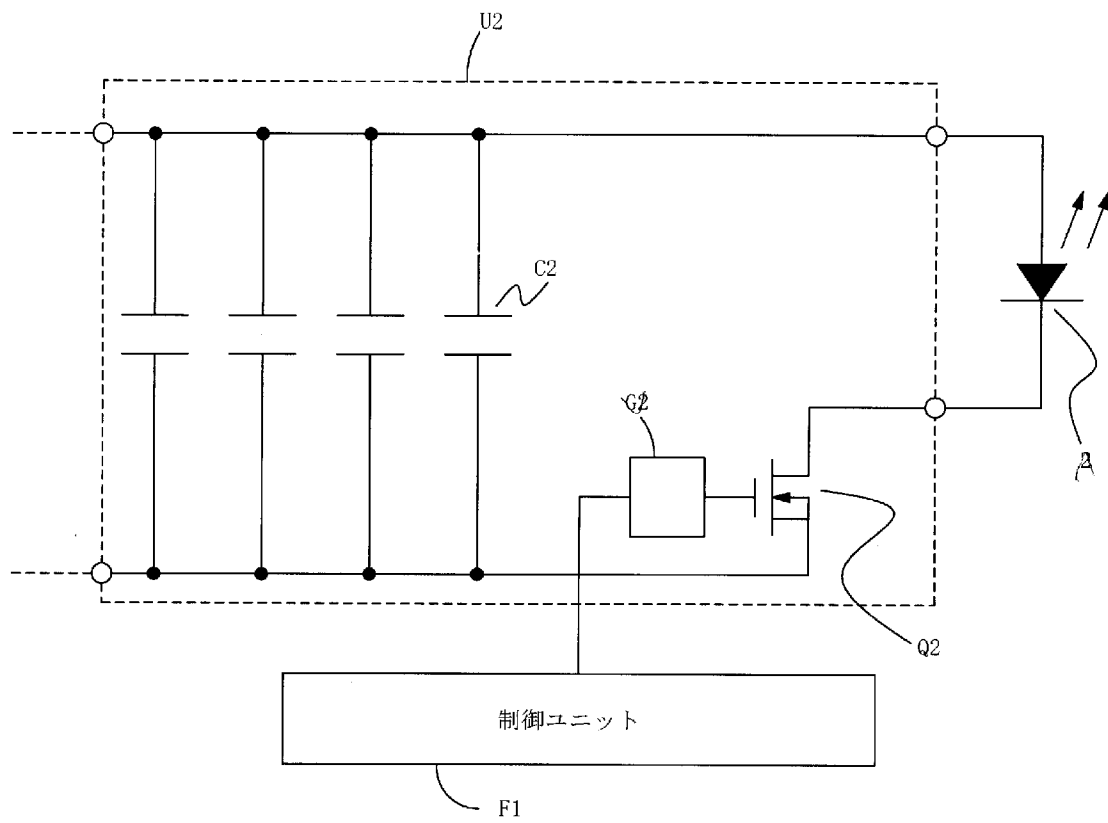


[図2]

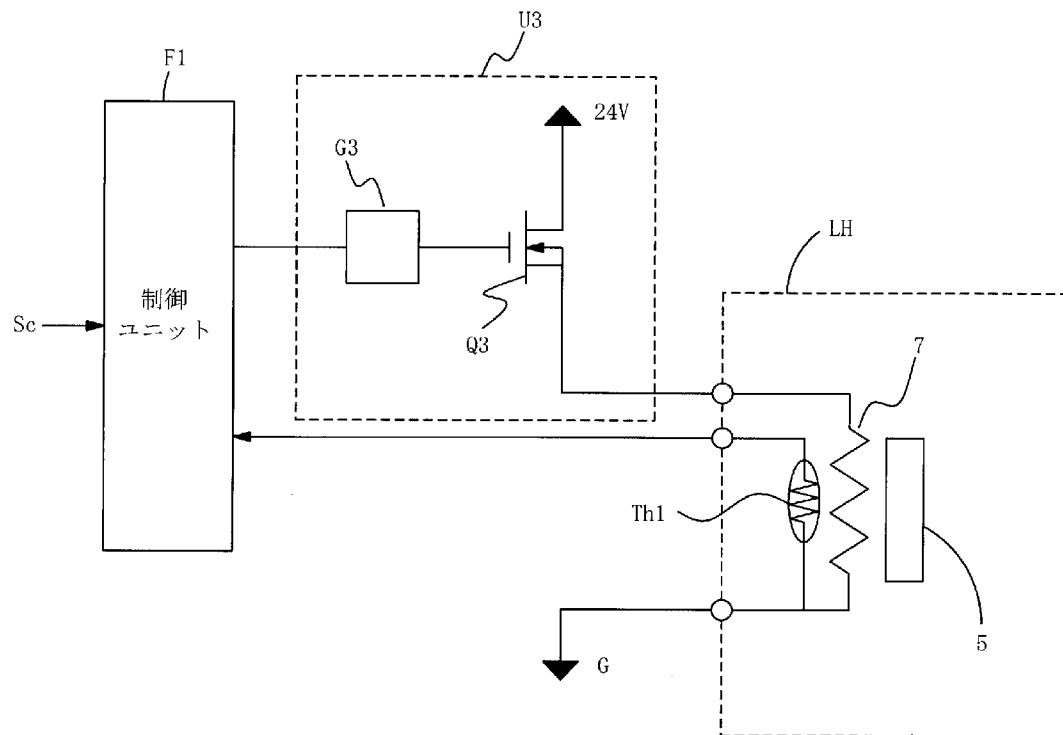


[図3]

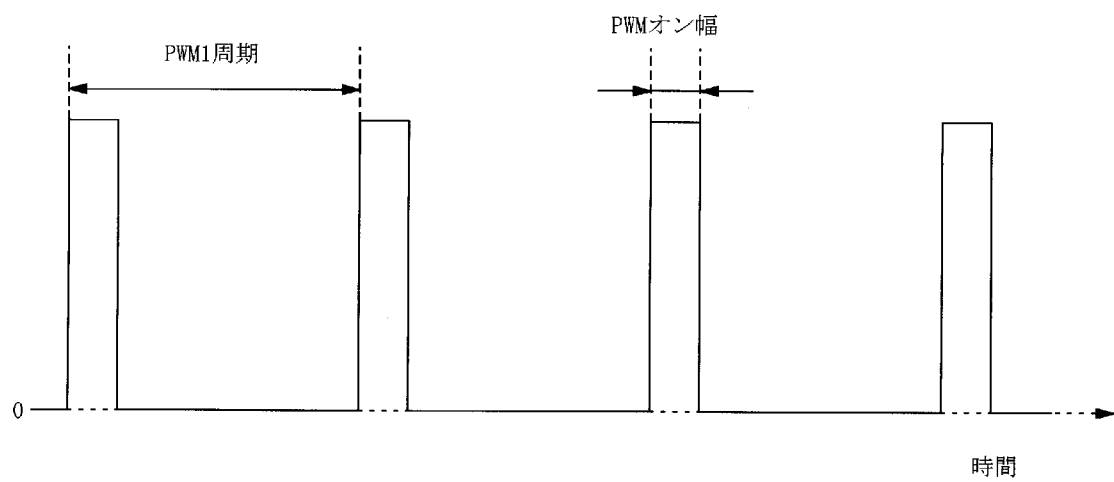




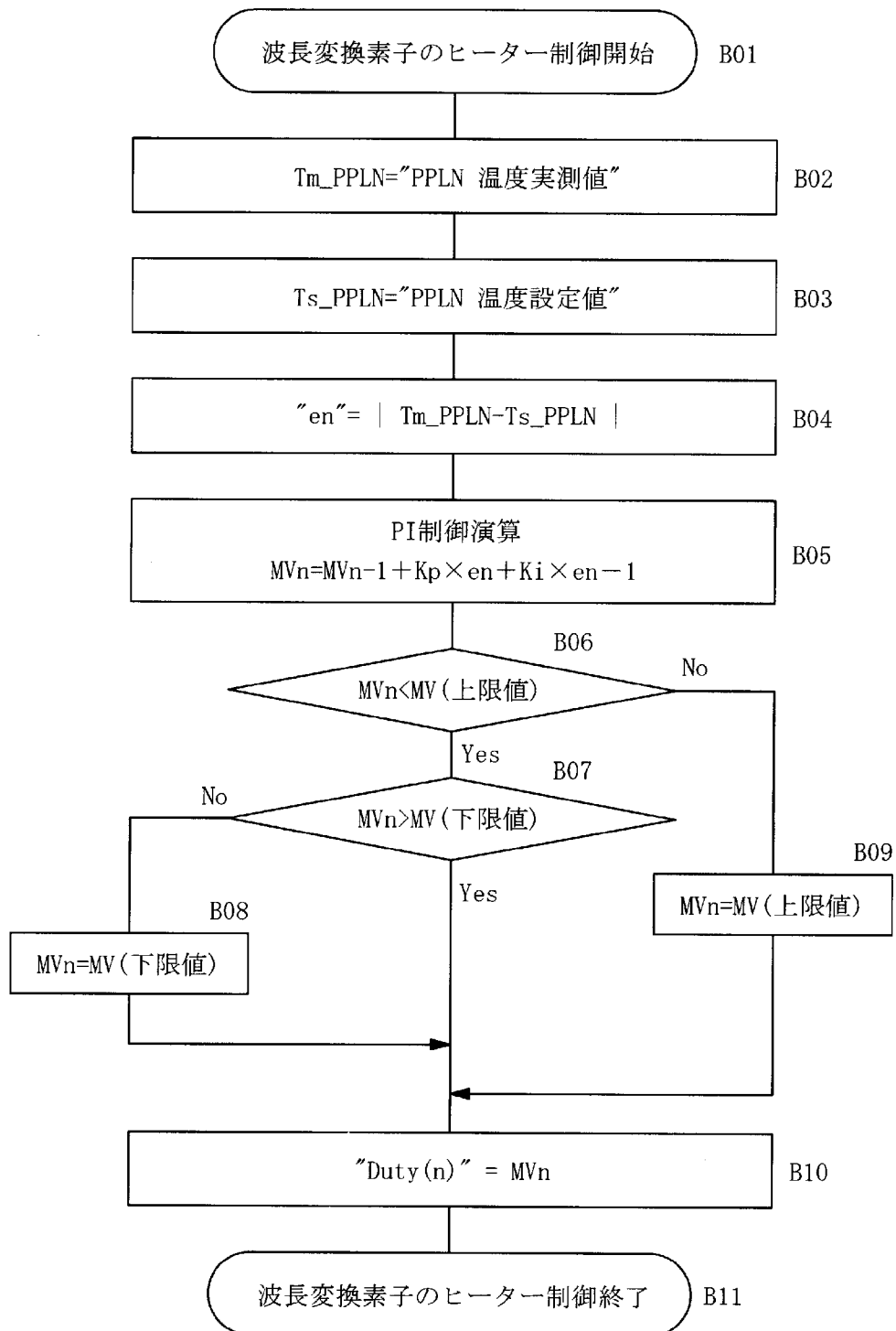
[図5]



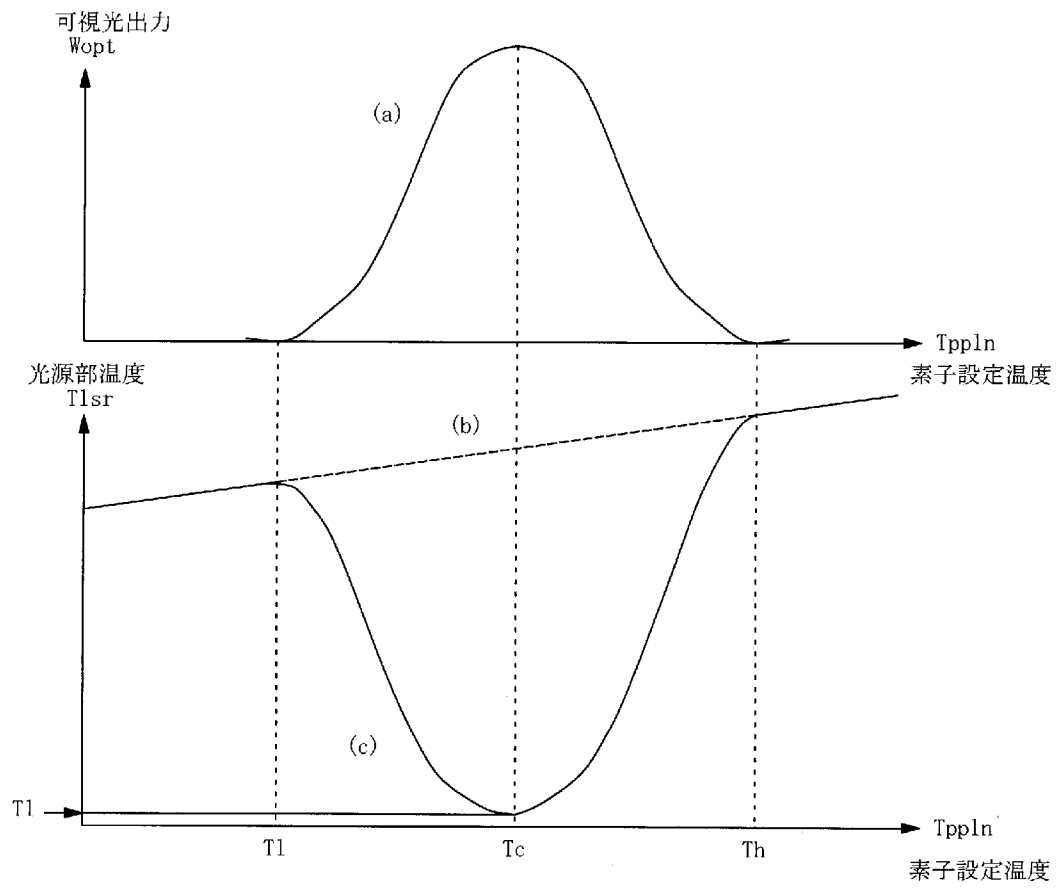
[図6]



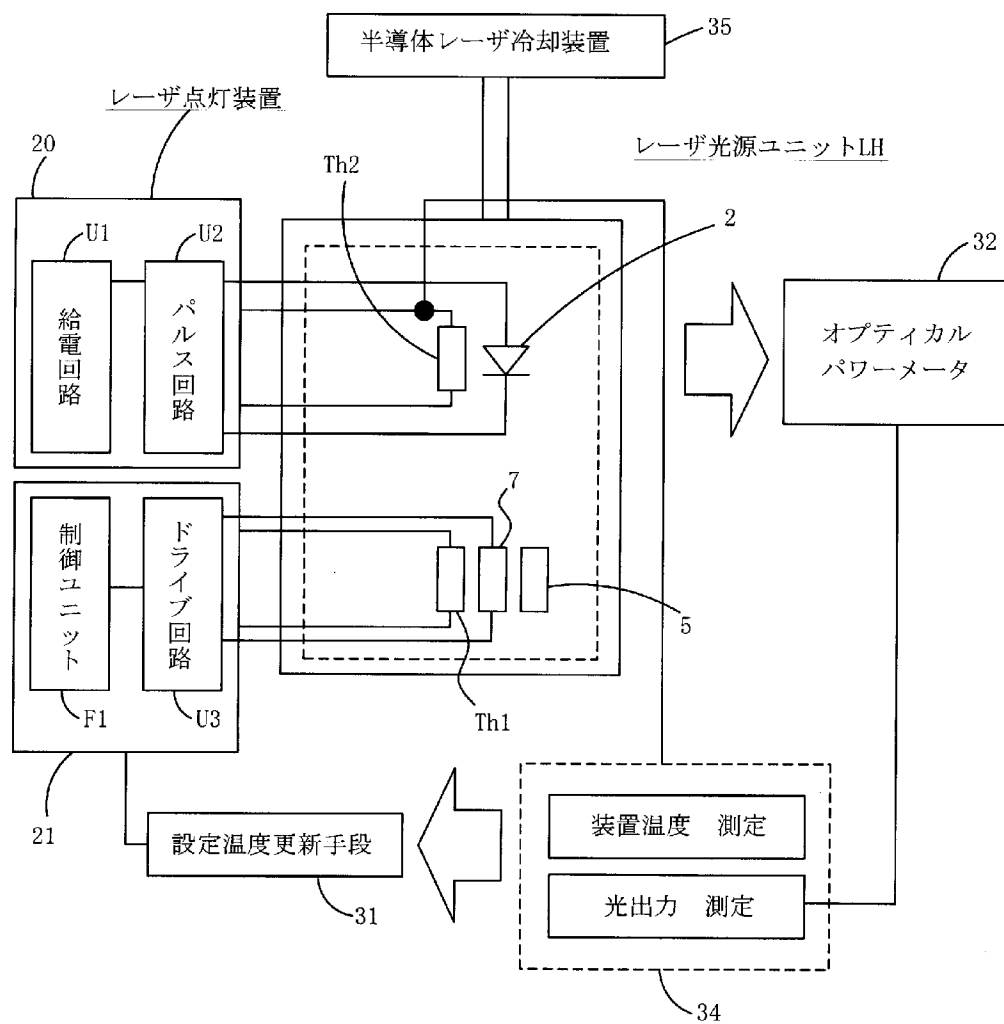
[図7]



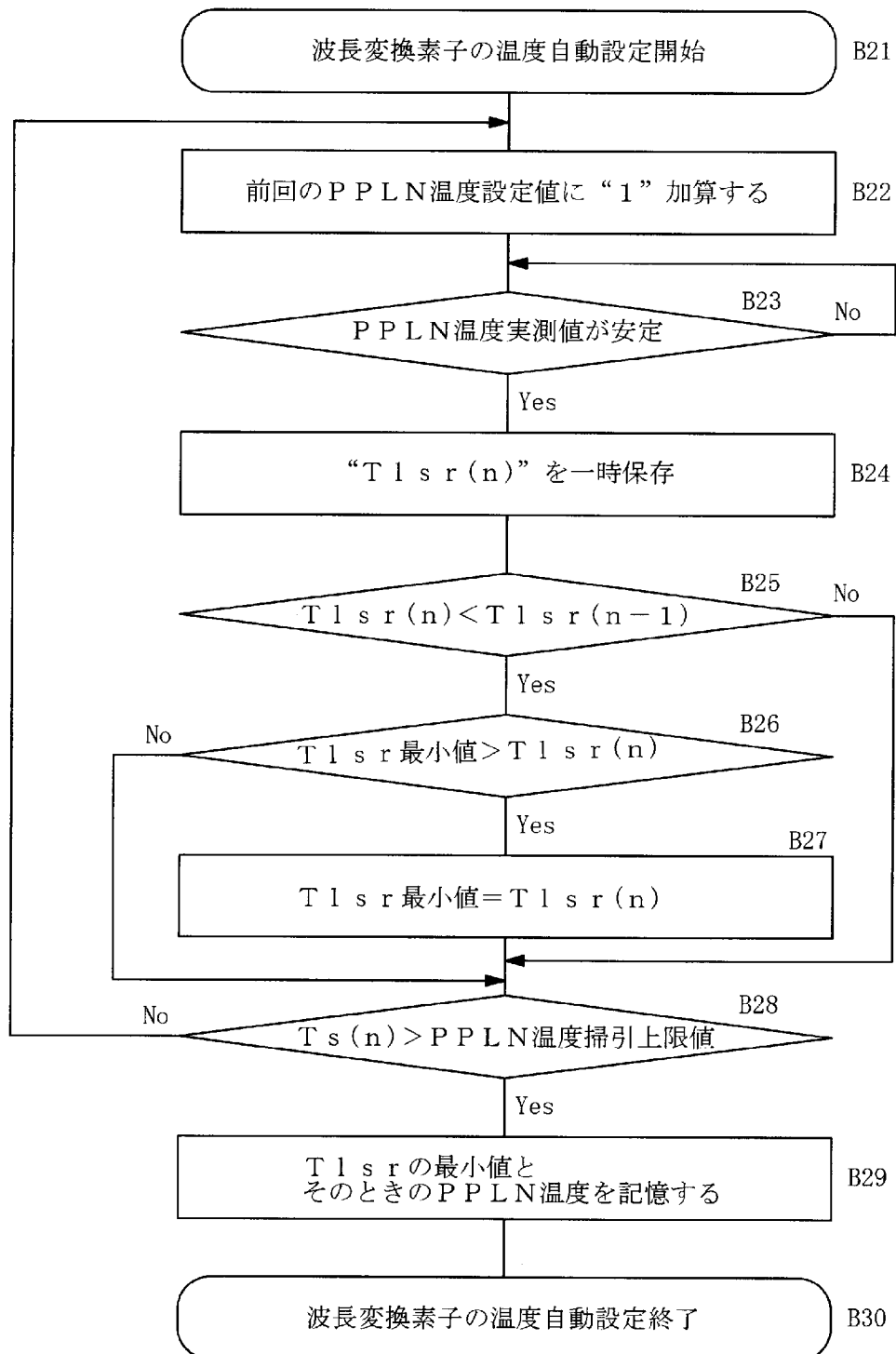
[図8]



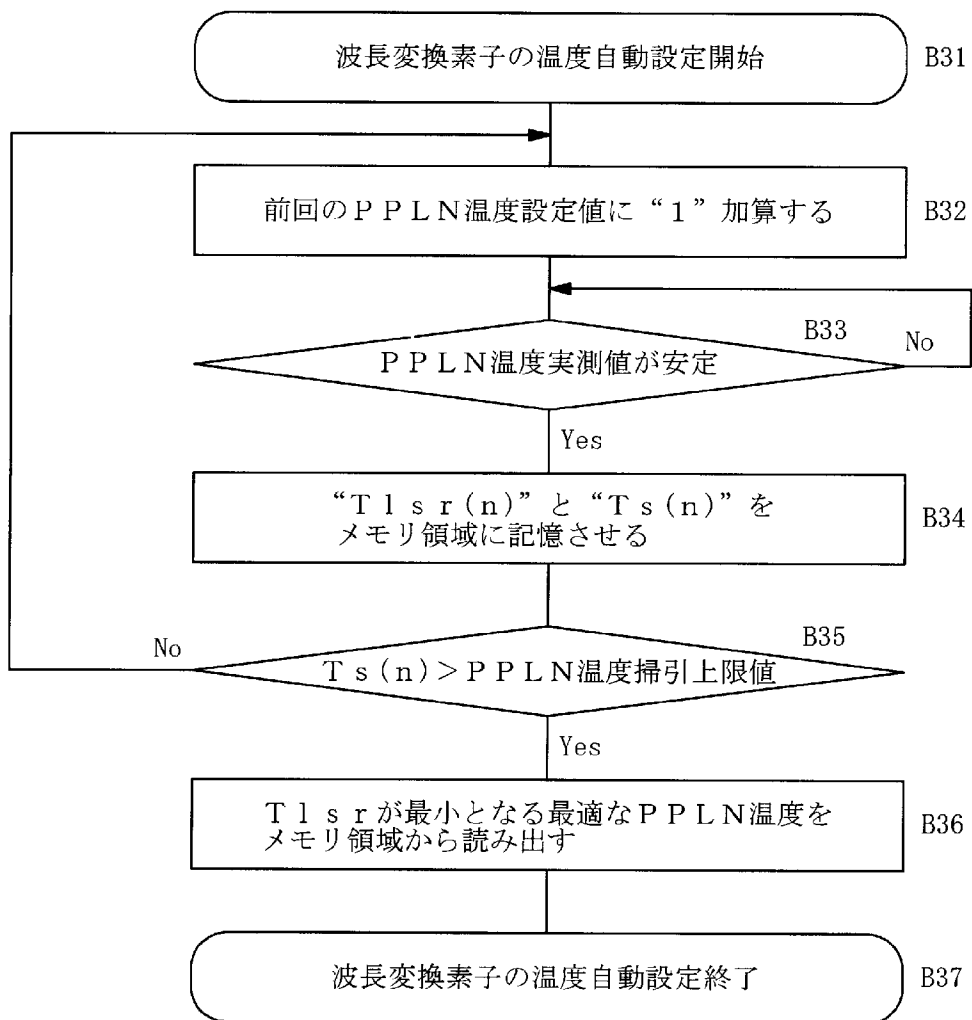
[図9]



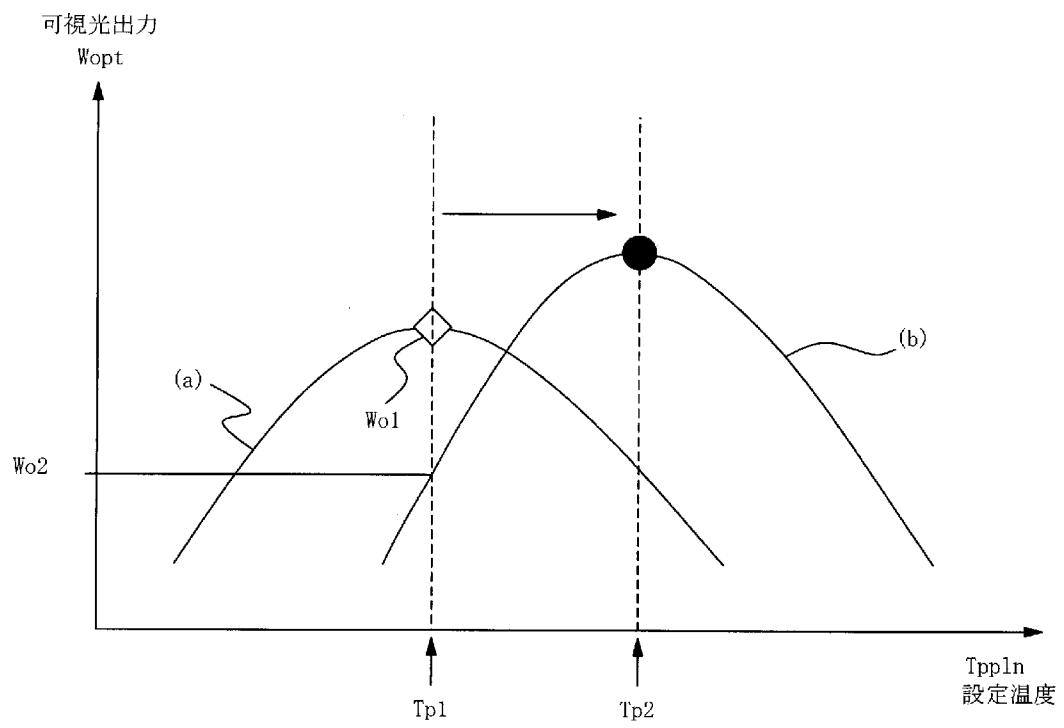
[図10]



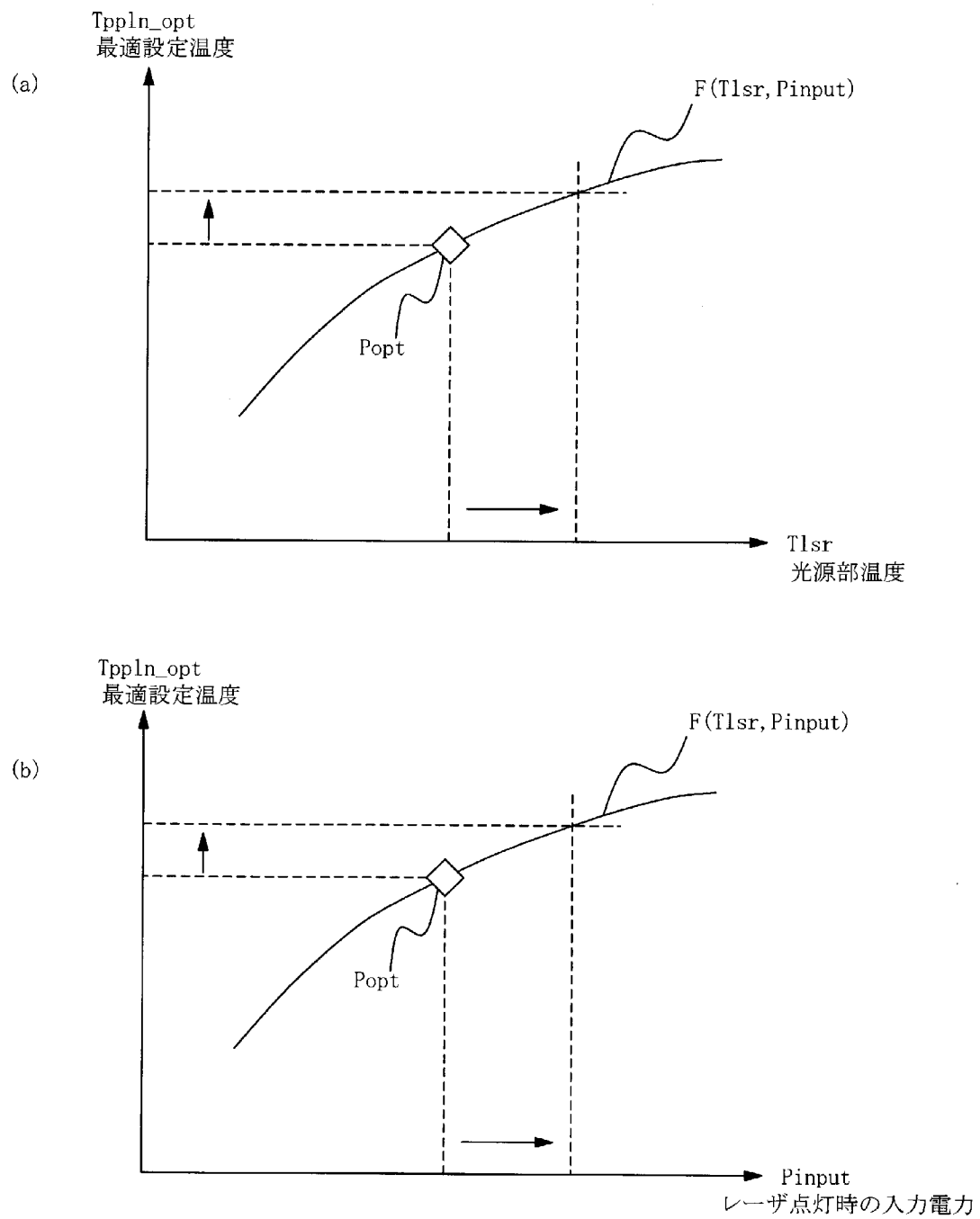
[図11]



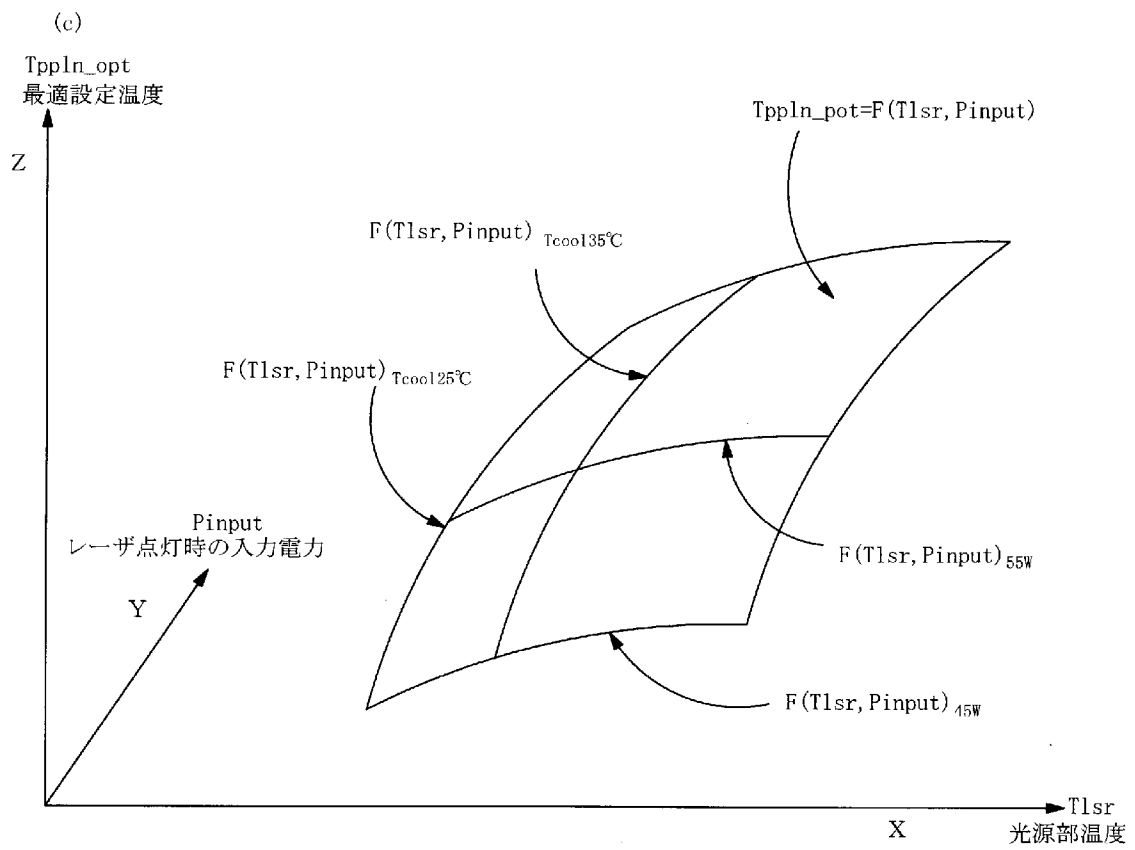
[図12]



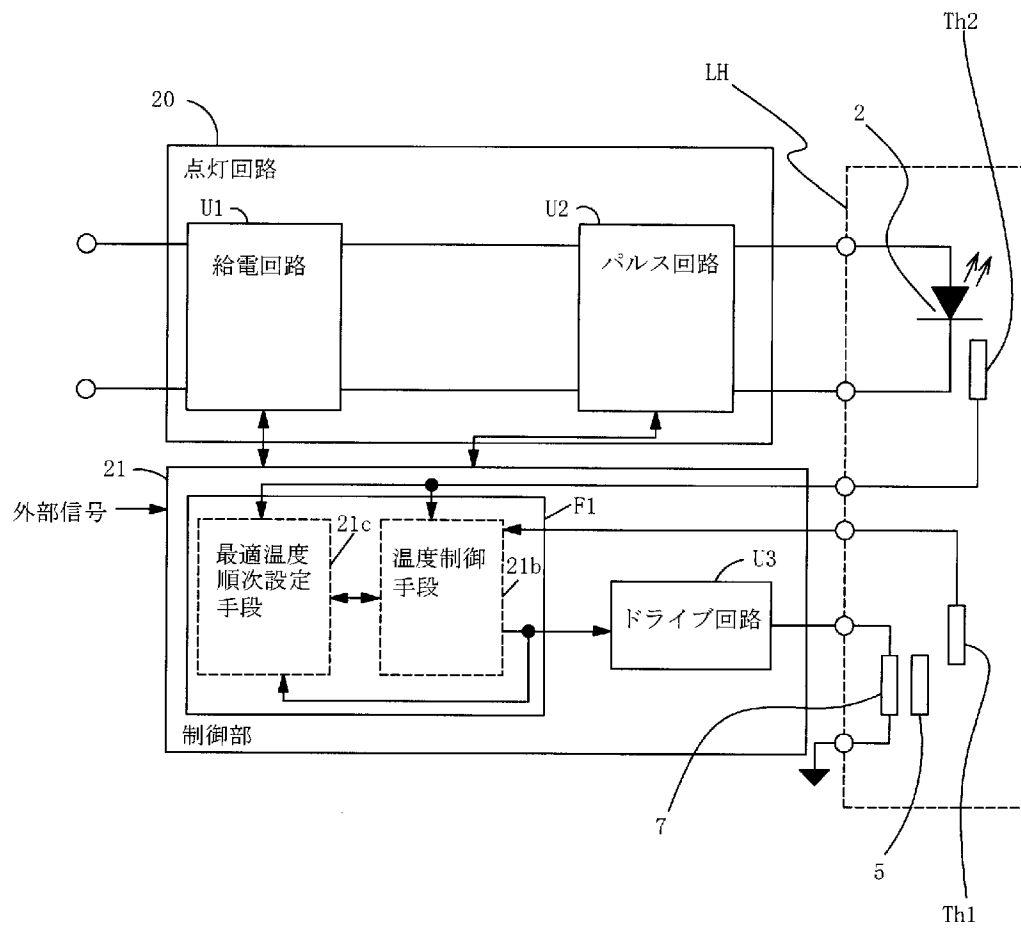
[図13]



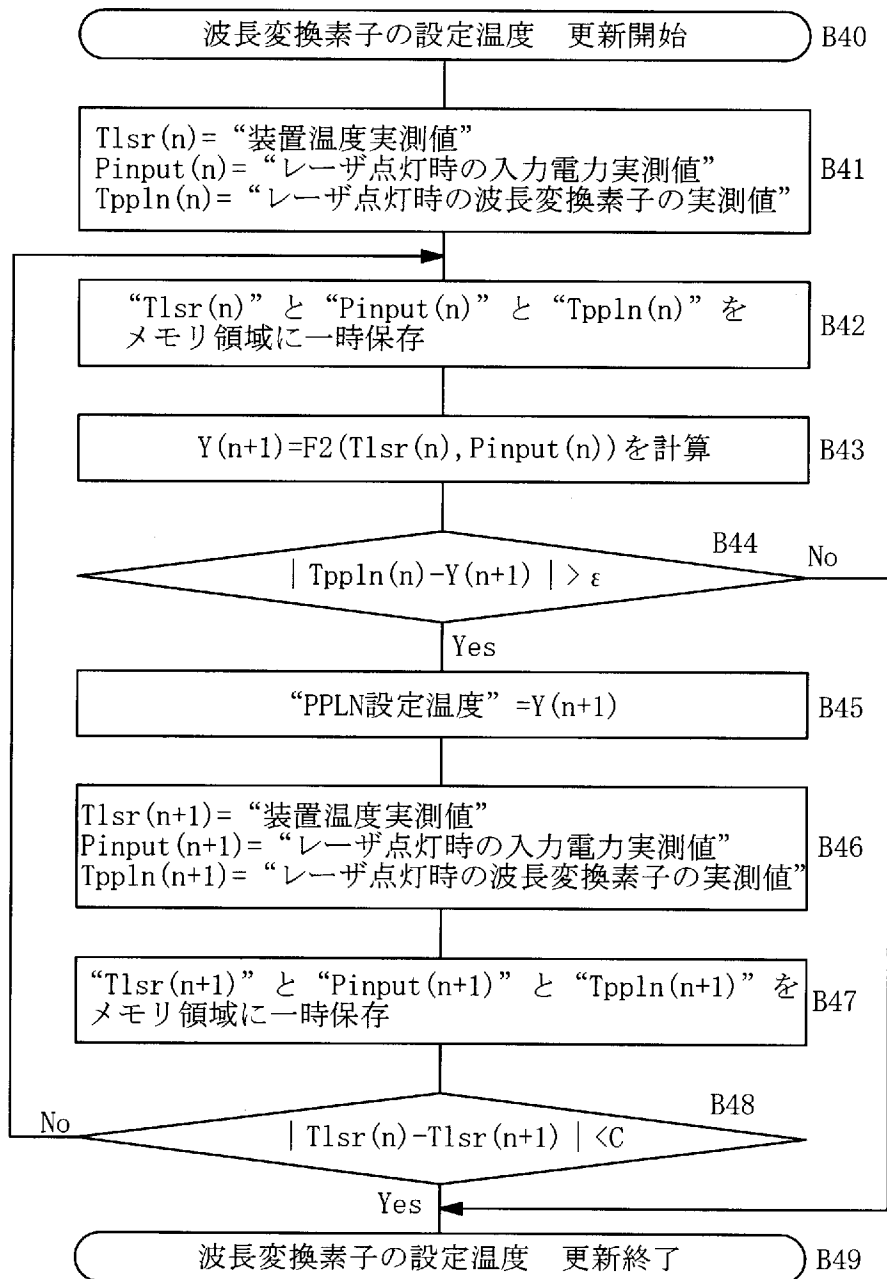
[図14]



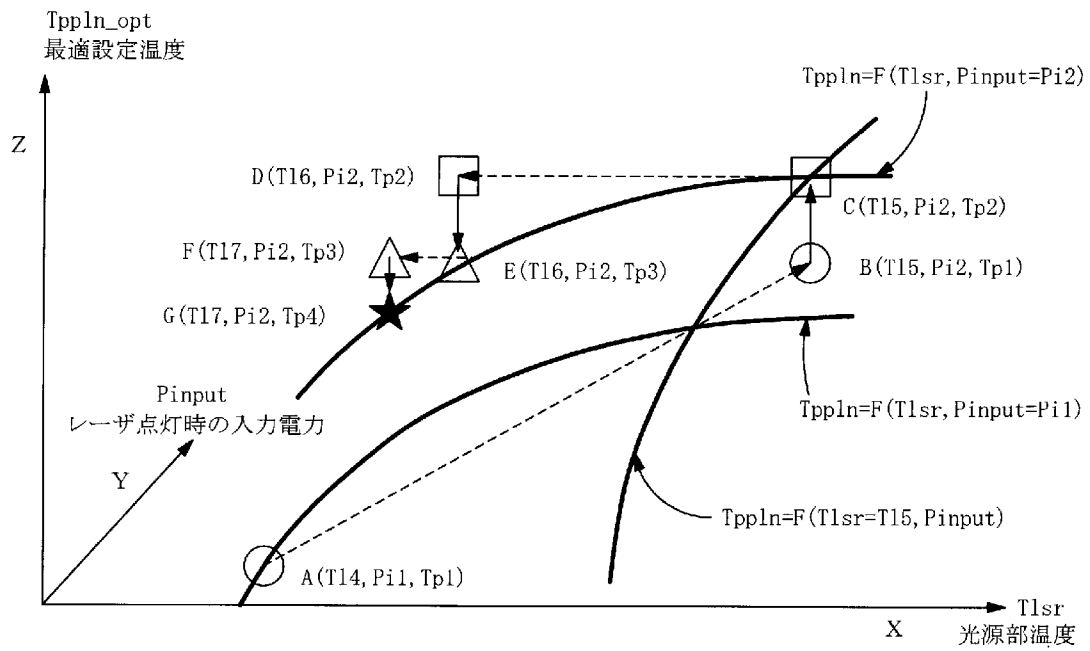
[図15]



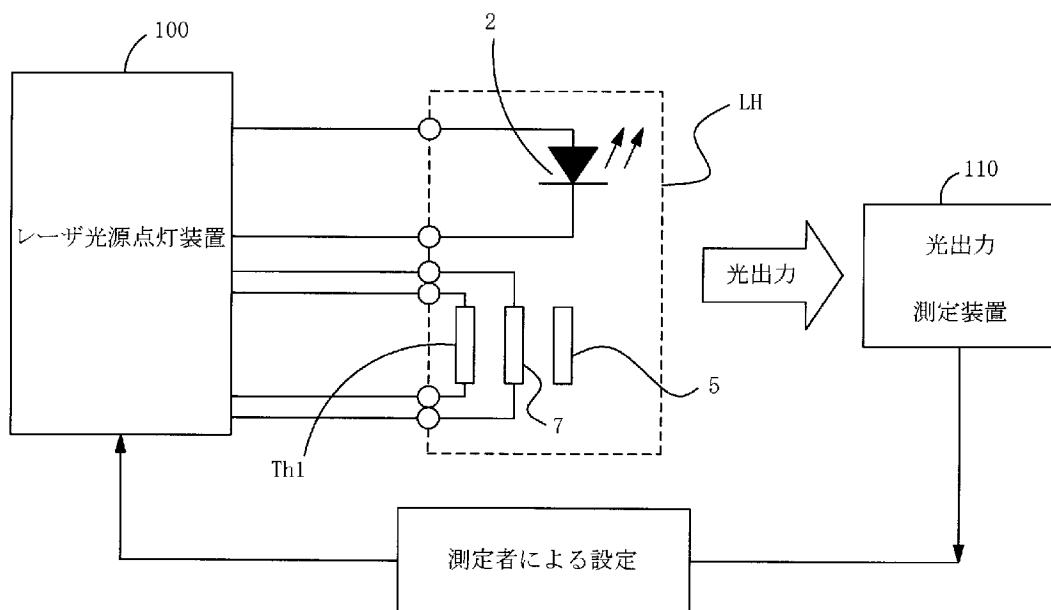
[図16]



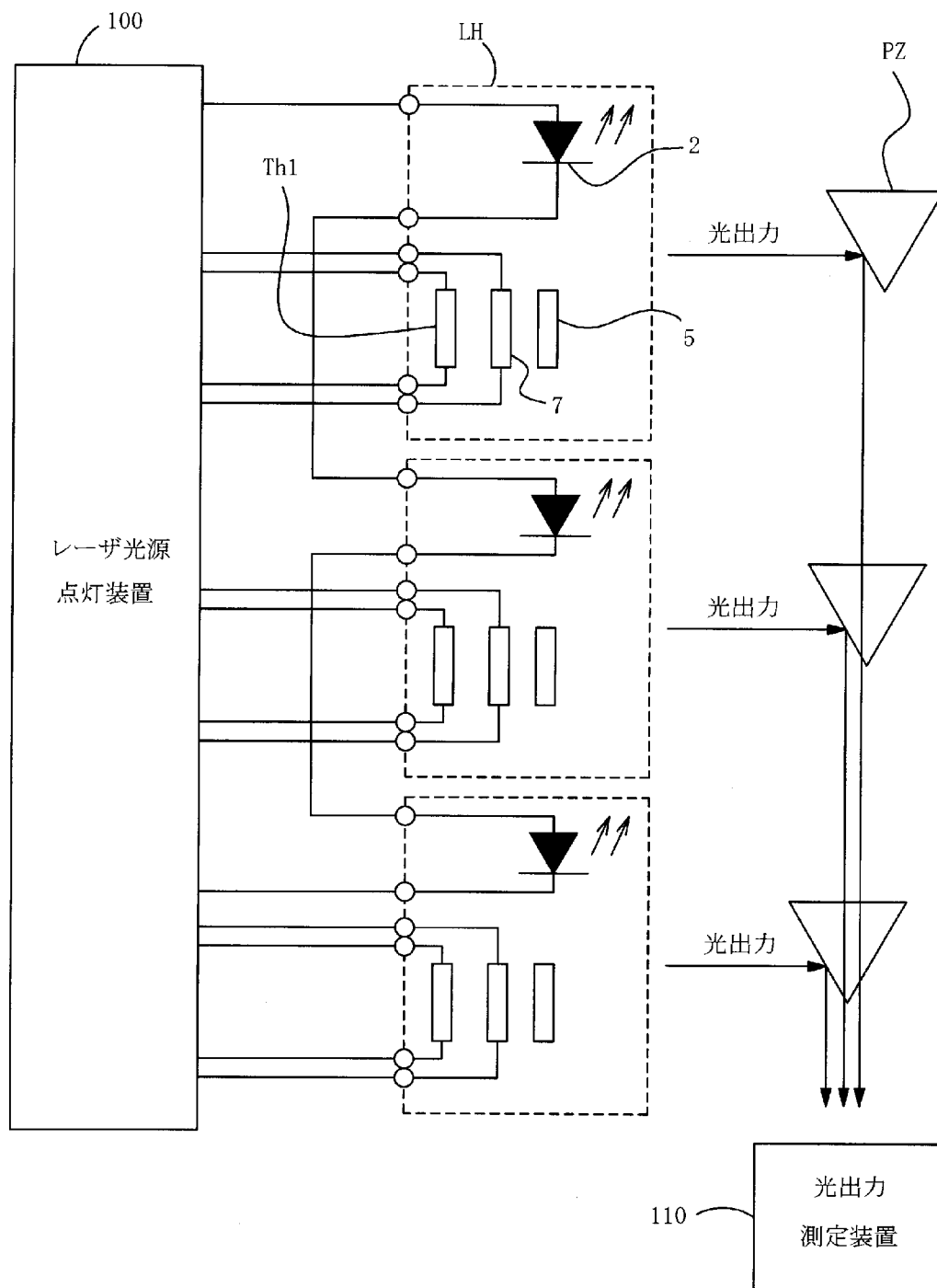
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/059254

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/109(2006.01)i, G02F1/37(2006.01)i, H01S5/14(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)

H01S3/108-3/109, G02F1/37-1/383, H01S5/00-5/50

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-22559 A (Asahi Glass Co., Ltd.), 23 January 1998 (23.01.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2007-234759 A (Shimadzu Corp.), 13 September 2007 (13.09.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	US 5185752 A (WELCH et al.), 09 February 1993 (09.02.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-4

☐ 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
23 May, 2013 (23.05.13)Date of mailing of the international search report
04 June, 2013 (04.06.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/109(2006.01)i, G02F1/37(2006.01)i, H01S5/14(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（I P C））

Int.Cl. H01S3/108-3/109, G02F1/37-1/383, H01S5/00-5/50

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
A	JP 10-22559 A（旭硝子株式会社） 1998.01.23, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-4
A	JP 2007-234759 A（株式会社島津製作所） 2007.09.13, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-4
A	US 5185752 A（WELCH et al.） 1993.02.09, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-4

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

2 3 . 0 5 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 4 . 0 6 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

日夏 貴史

2 X

9 4 1 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4