(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
2017 年 6 月 29 日(29.06.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/110282 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/313 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/083221

(22) 国際出願日: 2016 年 11 月 9 日(09.11.2016)

(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 2015-248763 2015 年 12 月 21 日(21.12.2015) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人産業技術総合研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関１丁目３番１号 Tokyo (JP).

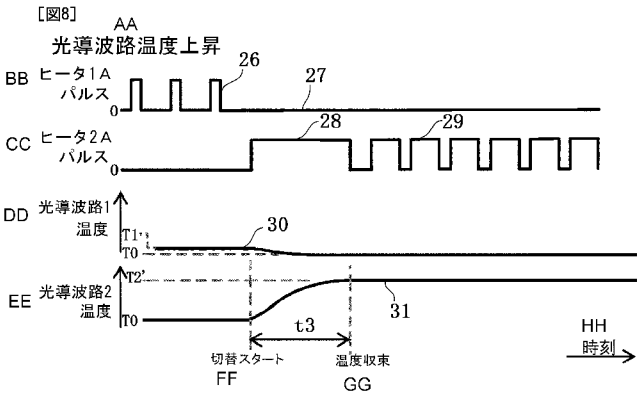
(72) 発明者: 谷澤　健(TANIZAWA Ken); 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 松浦　裕之(MATSUURA Hiroyuki); 〒3058568 茨城県つくば市梅園１－１－１　中央第２　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 須田　悟史(SUDA Satoshi); 〒3058568 茨城県つくば市梅園１－１－１　中央第２　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 鍬塚　治彦(KUWATSUKA Haruhiko); 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 鈴木　恵治郎(SUZUKI Keijiro); 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). コン　グァンウェイ(CONG Guangwei); 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 池田　和浩(IKEDA Kazuhiro); 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 河島　整(KAWASHIMA Hitoshi); 〒3058569 茨城県つくば市小野川１６－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 並木　周(NAMIKI Shu); 〒3058568 茨城県つくば市梅園１－１－１　中央第２　国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (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, JP, KE, KG, 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,

[続葉有]

(54) **Title**: DRIVING DEVICE AND DRIVING METHOD FOR PHASE CONTROLLER, AND OPTICAL SWITCH

(54) 発明の名称 : 位相制御器の駆動装置及び駆動方法、光スイッチ



AA Temperature elevation in optical waveguides
BB Pulse for heater 1A
CC Pulse for heater 2A
DD Temperature of optical waveguide 1
EE Temperature of optical waveguide 2
FF Start of switching
GG Temperature convergence
HH Time

(57) **Abstract**: Provided is a driving device for PWM control capable of, when PWM control of voltage pulses used for controlling the temperature of a heater of a phase controller is performed, increasing the response (switching of optical paths) speed of an optical element such as an optical switch. Phase controllers 5, 6 include first and second heaters for varying the temperature of first and second optical waveguides 1, 2 that extend in parallel to each other. Driving devices 7, 8 include a pulse generation circuit that generates voltage pulses to be applied to the first and second heaters. The pulse generation circuit generates, while the voltage pulse applied to the first heater is at a zero-state 27, a first voltage pulse 28 which is applied to the second heater when the temperature of the second heater has started increasing, and, following the first voltage pulse, further generates multiple consecutive second voltage pulses 29 that have a shorter pulse width than that of the first voltage pulse.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/110282 A1

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:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

位相制御器のヒータの温度制御用の電圧パルスのＰＷＭ制御において、光スイッチ等の光素子の応答（光経路の切替え）速度を速くすることができるＰＷＭ制御の駆動装置を提供する。位相制御器５、６は、並行に延びる第１及び第２の光導波路１、２の温度を変えるための第１及び第２のヒータを含む。駆動装置７、８は、第１及び第２のヒータに印加する電圧パルスを生成するパルス生成回路を含む。パルス生成回路は、第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態２７で、第２のヒータの昇温開始時に、第２のヒータに印加する、パルス幅の長い第１の電圧パルス２８と、第１の電圧パルスに続けて第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルス２９とを生成する。

明　細　書

発明の名称 ： 位相制御器の駆動装置及び駆動方法、光スイッチ

技術分野

[0001] 本発明は、位相制御器の駆動装置及び駆動方法、光スイッチに関し、より具体的には、熱光学効果により光導波路を伝播する光の位相を変化させる位相制御器のヒータの温度制御用の電圧パルスのパルス幅変調（ＰＷＭ）制御に関する。

背景技術

[0002] 光ネットワークのノードにおいて使用される、光経路を切替える光スイッチが従来からある。この光スイッチは、例えばマッハツェンダ干渉計（ＭＺＩ）型素子を用いて構成することができる。ＭＺＩ型素子では、位相制御器として例えば光導波路の近傍に設けたヒータが用いられ、ヒータに電力を与えることにより、ヒータが加熱されて光導波路の温度が変化し、熱光学効果により、光導波路の屈折率が変わり光学的光路長差（位相）を変化させることができる。

[0003] ヒータへの電力は、ヒータに直流電圧を加えることによって与えることができるが、電力を任意に変えるためパルス幅変調（ＰＷＭ）、すなわちLow/Highの２値でその電圧パルスのデューティ比を制御して所望の電力を印加する方法がある。例えば、特許文献１あるいは非特許文献１は、熱光学位相制御器のヒータのＰＷＭ制御を開示する。ＰＷＭ制御では、パルスの繰り返しがヒータの応答に比べ無視できるほど速ければ、そのオンオフが温度変化に影響を与えず、そのデューティ比で平均電力を制御でき、かつ温度を制御できる。

[0004] ＰＷＭ制御により電力を制御し温度を変える場合、何も工夫しないと図１及び図２に示すように、光経路の切替え開始後にパルス幅を変えてから、ヒータの温度が上昇することにより徐々に光導波路の温度が上昇（Ｔ１－＞Ｔ２）または下降（Ｔ２－＞Ｔ１）する。その温度変化に時間ｔが掛かるため

に、例えば、光スイッチのスイッチング（光応答）速度が遅くなるという問題がある。したがって、ヒータによる光導波路の温度変化を速くして光経路の切替え（光応答）速度を速くしたい要望がある。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１０－２２４１８９号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：G.W. Cong, et al. ”Digital driving of silicon-wire-waveguide based thermo-optic Mach-Zehnder 2 x 2 switches by pulse width modulation method”, 第74回応用物理学会秋季学術講演会　講演予稿集（2013 秋　同志社大学）20p-A8-8、2013年9月20日

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明の目的は、位相制御器のヒータの温度制御用の電圧パルスのＰＷＭ制御において、光スイッチ等の光素子の応答（光経路の切替え）速度を速くすることができるＰＷＭ制御の駆動装置及び駆動方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様では、光導波路の温度をヒータで制御することにより光導波路を伝播する光の位相を制御するための位相制御器の駆動装置を提供する。位相制御器は、並行に延びる第１及び第２の光導波路の温度を変えるための第１及び第２のヒータを含む。駆動装置は、第１及び第２のヒータに印加する電圧パルスを生成するパルス生成回路を含む。パルス生成回路は、第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態で、第２のヒータの昇温開始時に、第２のヒータに印加する、パルス幅の長い第１の電圧パルスと、第１の電圧パルスに続けて第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスとを生成する。

[0009] 本発明の位相制御器の駆動装置によれば、第２のヒータの昇温開始時に最初にパルス幅の長い第１の電圧パルスを印加するので、第２のヒータを短時間で昇温させることができ、さらに、その後に続くパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスの印加によりその昇温後の温度を安定的に維持することができる。

[0010] 本発明の一態様では、光スイッチを提供する。その光スイッチは、２つの入力ポートと、２つの出力ポートと、入力ポートと出力ポートとの間に直列に配置された第１及び第２の２つの光カプラと、２つの光カプラ間を接続しながら並行して延びる第１及び第２の２つの光導波路と、第１の光カプラと第２の光カプラとの間の第１の光導波路に設けられ、第１の光導波路の温度を第１のヒータで制御することにより伝播する光の位相を制御するための第１の位相制御器と、第１の光カプラと第２の光カプラとの間の第２の光導波路に設けられ、第２の光導波路の温度を第２のヒータで制御することにより伝播する光の位相を制御するための第２の位相制御器と、第１及び第２のヒータに印加する電圧パルスを生成するパルス生成回路と、を備える。パルス生成回路は、光スイッチにおいてクロス状態からバー状態を形成する際に、第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態で、第２のヒータの昇温開始時に、第２のヒータに印加する、パルス幅の長い第１の電圧パルスと、第１の電圧パルスに続けて第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスとを生成する。

[0011] 本発明の一態様の光スイッチによれば、第２のヒータの昇温開始時に最初にパルス幅の長い第１の電圧パルスを印加するので、第２のヒータを短時間で昇温させることができ、さらに、その後に続くパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスの印加によりその昇温後の温度を安定的に維持することができる。その結果、光スイッチにおいてクロス状態からバー状態への切替えを迅速に行うことが可能となる。

[0012] 本発明の一態様では、光導波路の温度をヒータで制御することにより光導波路を伝播する光の位相を制御するための位相制御器の駆動方法を提供する

。その位相制御器は、並行に延びる第１及び第２の光導波路の温度を変えるための第１及び第２のヒータを含む。その駆動方法は、第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態で、第２のヒータの昇温開始時に、第２のヒータにパルス幅の長い第１の電圧パルスを印加するステップと、第１の電圧パルスに続けて第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスを第２のヒータに印加するステップとを含む。

[0013] 本発明の一態様の位相制御器の駆動方法によれば、第２のヒータの昇温開始時に最初にパルス幅の長い第１の電圧パルスを印加するので、第２のヒータを短時間で昇温させることができ、さらに、その後に続くパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスの印加によりその昇温後の温度を安定的に維持することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]従来の位相制御器のヒータの昇温時の電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図2]従来の位相制御器のヒータの降温時の電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図3]本発明の一実施形態の光スイッチの構成を示す図である。

[図4]本発明の一実施形態の光スイッチの光経路の切替え動作例（光出力特性）を示す図である。

[図5]本発明の一実施形態の位相制御器のヒータの配置例を示す断面図である。

[図6]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図7]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図8]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図9]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電

圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図10]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図11]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御の例を示す図である。

[図12]本発明の一実施形態の光スイッチがクロス状態からバー状態に切り替わる場合の電圧パルスのタイムチャートを示す図である。

[図13]本発明の一実施形態の一定時間常にオンの電圧パルスのパルス幅を決めるためのｋ値を求めるための図である。

[図14]本発明の一実施形態のパルス生成回路の構成例を示す図である。

[図15]図１４の一実施形態のパルス生成回路の電圧パルスのタイムチャートを示す図である。

[図16]本発明の一実施形態のパルス生成回路の構成例を示す図である。

[図17]図１６の一実施形態のパルス生成回路の電圧パルスのタイムチャートを示す図である。

[図18]本発明の一実施形態の位相制御器の駆動方法のフローチャートを示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。なお、以下の説明では、光素子として光スイッチを例に取り説明するが、本発明は光スイッチに限定されず、他の光フィルタ等の光素子にも適用することができる。図３は、本発明の一実施形態の光スイッチの構成を示す図である。図３の光スイッチ１００は、マッハツェンダ干渉計（ＭＺＩ）型の光スイッチの一例である。図３において、光スイッチ１００は、入力ポート１と出力ポート１の間に設けられた第１の光導波路１と、入力ポート２と出力ポート２の間に設けられた第２の光導波路２を含む。

[0016] 光スイッチ１００は、２つの光カプラ（ＯＣ）３、４と、これらの間の光導波路（Ｐｈ）１、２に設けられたヒータ（抵抗Ｒ）を含む位相制御器５、

６を含む。なお、位相制御器５、６はいずれか一方だけの場合もあり得る。光スイッチ１００は、さらに位相制御器５、６の駆動装置７、８を含む。駆動装置７、８は、ヒータに印加する電圧パルスを生成するパルス生成回路を含む。パルス生成回路の詳細については後述する。なお、駆動装置７、８は１つの駆動装置（７または８の一方）を共用することもできる。

[0017] 図４は、図３の光スイッチ１００の光経路の切替え動作例（光出力特性）を示す図である。今、図３の入力ポート１に光入力（信号）が入ったとする。光スイッチ１００は、位相制御器５、６のヒータパワーを制御することにより、光出力を出力ポート１または２の間で切替える。具体的には、図３の例では、例えば位相制御器５のヒータパワーを所定値にして、２つの光導波路１、２の光学的光路長差を半波長（λ／２、位相差π）にすることにより、光スイッチ１００においてバー状態を形成して、光出力を出力ポート１から出力させることができる。また、位相制御器５のヒータパワーをゼロにして、２つの光導波路の光学的光路長差をゼロ（位相差０）にすることにより、光スイッチ１００においてクロス状態を形成して、光出力を出力ポート２から出力させることができる。

[0018] 図３に例示される本発明の一実施形態の光スイッチは、いわゆる光回路、光集積回路の一部として形成することができ、より具体的には、基板上に複数（例えばｎ）の入出力ポートを持ちアレイ状（例えばｎ×ｎ）に複数配置された構成として形成することができる。その場合、例えば、光カプラと光導波路は、いずれも基板（Ｓｉ基板等）上の半導体材料層（Ｓｉ、SiO_2等）からなる。位相制御器のヒータは光導波路の近傍に配置された薄膜抵抗からなるように形成することができる。それらの形成は、例えば従来からある半導体製造プロセスを用いて行うことができる。

[0019] 薄膜抵抗からなるヒータを形成する際に、単に光導波路の近傍に配置することもできるが、例えば、図５の断面図に示すように、コア層からなる光導波路１１が設けられたクラッド層１２に溝１３を設け、薄膜抵抗からなるヒータ１４を溝１３間のクラッド層１２上に設けた構成とすることもできる。

溝１３は、中空とするかもしくは熱伝導の悪い材料で埋めることができる。このようにすることで、ヒータ１４の熱は溝を介しては逃げないので、光導波路１１の温度上昇を速くすることができる。

[0020] しかし、このようにすると温度を下げる場合に、ヒータ１４での加熱を無くすようにするか、もしくは減らすようにしても横方向での熱を逃がす路が溝１３によって絶たれているため、温度下降が反って遅くなってしまう。すなわち溝を設けるだけでは、温度上昇時と温度下降時の両方についての温度制御を高速化することはできない。そこで、以下に述べるような、本発明の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御が必要となる。

[0021] 図６から図１１を参照しながら本発明の位相制御器の駆動装置によるヒータに印加する電圧パルスのＰＷＭ制御について説明する。ＰＷＭ制御される電圧パルスは、いずれも駆動装置のパルスの生成回路（後述）によって生成される。最初に図６と図７を参照しながらＰＷＭ制御の基本動作について説明する。図６と図７は、図３の位相制御器５、６のいずれか一方のみを用いる場合の動作例を示している。

[0022] 図６の光導波路の温度を上昇させる場合、光経路の切替え開始時点において、パルス幅の短い連続した複数の電圧パルス２１に代えて一定時間常にオンのパルス幅の長い１つの電圧パルス２２を発生する。光導波路の温度がＴ１度からＴ２度に上昇し目標に到達した時点で電圧パルス２２に続けて、電圧パルス２２よりもパルス幅が短い連続した複数の電圧パルス２３を生成する。図６の場合では、光導波路の昇温開始時に最初に一定時間常にオンのパルス幅の長い電圧パルス２２を印加するので、光導波路を短時間（ｔ１）で昇温させることができる。さらに、その後に続くパルス幅が短い複数の電圧パルス２３の印加によりその昇温後の温度Ｔ２を安定的に維持することができる。その結果、光スイッチの位相制御器による光経路の切替え動作、すなわちクロス状態からバー状態への切替え動作を高速化することができる。なお、パルス幅の長い１つの電圧パルス２２のパルス幅ｔ１の決め方について

は後述する。

[0023] 図７の光導波路の温度を下降させる場合、光経路の切替え開始時点において、上記した昇温後の連続した複数の電圧パルス２３を止めて一定時間常にオフのゼロパルス状態２４を生成する。光導波路の温度がＴ２度からＴ１度に下降し目標に到達した時点でゼロパルス状態２４に代えて上記したパルス幅の短い連続した複数の電圧パルス２１を生成する。図７の場合では、光導波路の降温開始時に最初にゼロパルス状態２４とするので、光導波路の温度を短時間（ｔ２）で下降させることができる。さらに、その後に続くパルス幅が短い連続した複数の電圧パルス２１の印加によりその降温後の温度Ｔ１を安定的に維持することができる。その結果、光スイッチの位相制御器による光経路の切替え動作、すなわちバー状態からクロス状態への切替えを高速化することができる。

[0024] 図８から図１１は、図３の位相制御器５、６の２つを用いる場合の動作例を示している。図８から図１１の各図において、ヒータ１Ａは図３の位相制御器５内のヒータを意味し、ヒータ２Ａは位相制御器６内のヒータを意味する。図８は、光導波路２の温度を上昇させる場合の動作例である。なお、光導波路１の温度を上昇させる場合も同様の動作例となる。図８において、最初にヒータ１Ａに印加している幅の狭い電圧パルス２６を止めてゼロパルス状態２７とし、光導波路１の温度をＴ１からＴ０（ゼロ）に下げる。光経路の切替え開始時に、ヒータ２Ａに印加する一定時間常にオンのパルス幅の長い１つの電圧パルス２８を発生する。光導波路２の温度がＴ０度からＴ２´度に上昇し目標に到達した時点（切替スタートからｔ３時間後）で、電圧パルス２８に続けて電圧パルス２８よりもパルス幅が短い連続した複数の電圧パルス２９を生成する。

[0025] 図８の場合では、光導波路２の昇温開始時に最初に一定時間常にオンのパルス幅の長い電圧パルス２８を印加するので、光導波路を短時間で昇温させることができる。さらに、その後に続くパルス幅が短い連続した複数の電圧パルス２９の印加によりその昇温後の温度Ｔ２´を安定的に維持することが

できる。その結果、光スイッチの位相制御器によるクロス状態からバー状態への切替え動作を高速化することができる。なお、パルス幅の長い１つの電圧パルス２８のパルス幅ｔ３の決め方については後述する。

[0026] 図９は、光導波路２の温度を下降させる場合の動作例である。なお、光導波路１の温度を下降させる場合も同様の動作例となる。図９において、光経路の切替え開始時に、ヒータ１に一定時間常にオンのパルス幅の長い１つの電圧パルス３３を印加することによりヒータ１の温度３７を急激に上げて、光導波路２の温度３８と光導波路１の温度３７を近くする（Ｔ２´とＴ２´´）。詳しく述べると、最終的に光導波路１が光導波路２よりほんの少しだけ温度を高くしたいので、常にオンの電圧パルス３３を光導波路１が光導波路２より（Ｔ１－Ｔ０）度だけ温度が高くなるまで印加する。これにより所望の温度差に到達したので光経路の切替えは終了する（図９のｔ４の期間終了時）。

[0027] その後は、その温度差（Ｔ１－Ｔ０）を保ちながら両ヒータに印加する電圧パルス３４、３６のパルス幅を徐々に短くしていくことにより徐々に温度を下げていき、両光導波路の温度が収束する最終状態にもってく。その際に、光導波路１と光導波路２の温度差（Ｔ１－Ｔ０）を維持するために、期間ｔ５の経過後にはヒータ２Ａに印加する電圧パルス３６をゼロパルス状態にし、ヒータ１Ａのみにパルス幅の短い電圧パルス３４を印加する。この場合、ｔ４の期間終了時に既に２つの光導波路の温度差を所定値にしているので光経路の切替え時間が速くなる。

[0028] 図９において、光経路の切替え前においてヒータ２Ａの電圧パルス３５はパルス幅が広く温度が高く、ヒータ１Ａの電圧パルスはゼロであり温度が低い。両光導波路の温度を低くすることが最終的な目標ではあるが、光経路を切替えるためには図３の位相制御器５、６での２つの光導波路（Ｐｈ）１、２での光位相を同一にすればよい。したがって、ヒータ１Ａに図中ｔ４の期間だけ常にオンの電圧パルス３３を加えて急激に温める。これによって２つの光導波路（Ｐｈ）１、２の温度が高温で同じになり、光位相としては同一

になって光経路を急速に切替えることができる。この状態で両ヒータに高温を与える電圧パルスを与えたまま放置することもできる。一方、図９では、ｔ５の期間でさらに両ヒータの温度を低温に戻すよう徐々に変化させている。低温に戻すことは必須ではないが、省エネルギーやヒータ温度を低温に保つことによる経年変化の軽減など、実際的な効果が期待できる。そのため、ｔ５の期間では２つのヒータ１Ａ、２Ａの電力差を制御しながら徐々に戻している。

[0029] 図１０は、図９と同様にヒータ２Ａの温度を下降させる場合の動作例である。図１０では、光経路の切替え開始から期間ｔ６後において光導波路１と光導波路２の温度差が所定値になった時から徐々に温度を下げて最終状態に戻すのではなく、一気に最終状態に戻す動作例を示している。具体的には、ヒータ１Ａに一定時間常にオンのパルス幅の長い電圧パルス４０を印加することにより光導波路１の温度を急激に上げて、光導波路２の温度４４と光導波路１の温度４５が近くなった後に（ｔ６時間経過時のＴ２´、Ｔ２´´）、ヒータ１Ａに印加する電圧パルスをパルス幅の短い連続した電圧パルス４１に切替える。その切替えと同時に、ヒータ２Ａに印加している電圧パルス４２を止めてゼロパルス状態４３にする。

[0030] この場合、光導波路１が到達すべき温度（Ｔ２´´）が図９の場合の温度（Ｔ２´´´）に比べて低くなる。その結果、２つの光導波路の温度差が所定値になるまでの時間ｔ６を短くすることができるので、光経路の切替え動作をさらに高速化することができる。加えて、２つの光導波路の温度収束までの時間ｔ７が図９の時間ｔ５よりも短くなるので、光経路の切替え動作の全体に係る時間を短くすることができる。

[0031] 図１１は図１０の動作例のさらなる変形例である。図１１では、図１０の場合と同様に一気に最終状態（温度収束）に戻すことに加えて、ヒータ２Ａの電圧パルス４９の印加を光経路の切替え開始時から止めることにより、光導波路１が到達すべき温度（Ｔ２´´´）が図１０の場合の温度（Ｔ２´´）に比べて低くなる。その結果、２つの光導波路の温度差が所定値になるま

での時間ｔ８をさらに短くすることができるので、光経路の切替え動作をさらに高速化することができる。加えて、２つの光導波路の温度収束までの時間ｔ９が図１０の時間ｔ７よりも短くなるので、光経路の切替え動作の全体に係る時間をさらに短くすることができる。

[0032] これまで記載したものはすべて、ヒータ１Ａとヒータ２Ａの両方の電力が共にゼロもしくはゼロに近い場合がクロス状態、ヒータ１Ａとヒータ２Ａの内の片方だけに一定の大きさの電力を与える場合がバー状態として説明した。変形として、光導波路１と光導波路２の導波路長を予め位相差がπだけ異なるように形成／設計しておき、ヒータ１Ａとヒータ２Ａの両方の電力が共にゼロもしくはゼロに近い場合がバー状態、ヒータ１Ａとヒータ２Ａの内の片方だけに一定の大きさの電力を与える場合がクロス状態とすることも可能である。このようにしたとき、消費電力的には不利ではあるが、光特性としては有利になることがある。いずれの場合においても、これまで説明した動作は、光経路の切替え動作の高速化を実現することに有効である。

[0033] 次に、これまで述べたパルス幅の長い１つの電圧パルス２２、２８等のパルス幅ｔ１、ｔ３等の決定方法について以下に述べる。今、図１２に示すように、電圧パルスの繰り返し周期をT_{rep}（一定）として各期間（時間幅）を設定し、一定時間常にオンのパルスT_{turbo}の長い電圧パルス５２を下記の（１）式で定義することとする。

$$T_{turbo} = k \times (T_{bar} - T_{cross}) \qquad (1)$$

すなわちクロス状態、バー状態を実現する切り替え前後のパルス幅の差に定数kを乗算したものをT_{turbo}とする。kの値は実験的に求めることもできるが、例えば下記に示すような方法により設定することもできる。

[0034] kは、PWMの電圧V_{pwm}の関数としてヒータの材料と構造により物理的に決まる値である。高温によるヒータの破壊を考慮に入れる必要がなければ、kをできるだけ大きくすることが高速化に効果的である。また、PWMの分解能を考慮しなければ、V_{pwm}もできる限り大きくするのが効果的になる。しかし、現実にはこれらのファクターを考慮に入れて適切にkおよびV_{pwm}を設定する必要がある。

V_{pwm}は、必要な分解能と駆動装置（パルス生成回路）のクロック周波数f_{clock}から設計されて決まる。本発明者らは、容易に測定可能であるヒータの破壊パワーP_{break}とスイッチパワーP_{cross}およびP_{bar}からV_{pwm}に対するkを適切に導けることを見出した。前述のパルス幅の長いパルスをターボパルスと呼称して、以下に、その導出過程を示す。

[0035] PWMの繰り返し周波数をf_{rep}とする。これは小信号のヒータの応答周波数f_{heater}より十分大きな値として設定される。このとき、繰り返し時間間隔$T_{rep} = 1 / f_{rep}$となる。MZスイッチをクロス状態からバー状態にスイッチするのに必要な電力P_{switch}は、

$$P_{switch} = P_{bar} - P_{cross} \quad (2)$$

となる．（P_{bar}とP_{cross}は測定値）。このとき、高速化のために一時的に印加するターボパルスパワーP_{TP}は、（１）式で定義したk(>1)を使って

$$P_{TP} = k \times P_{switch} = k \times (P_{bar} - P_{cross}) \quad (3)$$

と表すことができる。（スイッチパワーP_{switch}のk倍を高速化のために一時的に印加する）。

[0036] このとき、kを決める制約条件（ａ）、（ｂ）が存在する。

（ａ）ターボパルスパワーP_{TP} はヒータの破壊パワー P_{break}より小さい必要がある。

$$P_{TP} < P_{break} \quad (4)$$

（３）式より

$$k < P_{break} / (P_{bar} - P_{cross}) \quad (5)$$

となる。

（ｂ）ターボパルスを印加する時間は小信号のヒータ応答より十分小さい必要がある。（通常制御のヒータの応答時間よりも長い時間ターボパルスを印加しては高速化の意味がない）。電圧V_{pwm}でのPWM制御の場合、クロス、バー状態を実現するパワーP_{cross}およびP_{bar}は、ヒータの抵抗をRとしたときに、

$$P_{cross} = V_{pwm}^2 / R * (T_{cross} / T_{rep}) \quad (6)$$

$$P_{bar} = V_{pwm}^2 / R * (T_{bar} / T_{rep}) \quad (7)$$

と表される。ここで、T_{cross}およびT_{bar}はそれぞれクロス状態、バー状態を実現するパルス幅である。

[0037] ターボパルスが印加される時間は、その定義である（３）式より$k \times (T_{bar} - T_{cross})$となる。ここで、$k \times (T_{bar} - T_{cross})$が通常制御のヒータの応答より十分短いという条件式

$$k \times (T_{bar} - T_{cross}) \ll 1 / f_{heater} \quad （８）$$

が成り立つ必要がある。（６）、（７）式より

$$k \ll 1 / f_{heater} \times \{V_{pwm}^2 / (R \times T_{rep} \times (P_{bar} - P_{cross}))\} \quad （９）$$

となる。（９）式における≪は一般に数分の一であることが求められる。

[0038] 下記に示すシリコンフォトニクスにおけるTiN製のヒータを念頭においた条件（各パラメータ値）の下で、（５）および（９）式をプロットすると、図１３に示すようにV_{pwm}とkの関係を表すことができる。なお（９）式における≪は1/5としている。

f_{rep} ：2MHz

T_{rep} ：0.5μs

f_{heater} ：50kHz

P_{break} ：0.2W

R ：250ohm

P_{bar} ：0.035W

P_{cross} ：0W

図１３において、k>1であることから、斜線で示す領域ＡがPWM電圧V_{pwm}に対してkのとれる範囲となる。できるだけ大きなkとすることで光経路の切替えのより高速化が期待できる。

[0039] 一方で、PWM電圧V_{pwm}は、PWMの分解能N（パルス幅をN階調変化できる）と以下の関係にある。

$$P_{bar}/N = V_{pwm}^2 / R * (deltaT / T_{rep}) \quad （１０）$$

ここで、deltaTは最小のパルス幅である。deltaTとPWM制御回路のクロック周波数f_{clock}との関係は駆動装置（パルス生成回路）の構成により決まる。この関

係と（１０）式からV_{pwm}を求めることができる。例えば、駆動装置（パルス生成回路）としてシンプルなnビットのカウンタを用いる場合、$N=2^n$となり、deltaTはPWM制御回路のクロック周波数f_{clock}と$f_{clock} = 1 / deltaT$の関係にあるので、

$$V_{pwm}^2 = f_{clock} \times P_{bar} \times R \times T_{rep} / 2^n \quad （１１）$$

となる。必要分解能N=1024（n=10)で、クロック周波数が1GHzとしたとき、（１１）式より、$V_{pwm} = 2.1$ Vと求めることができる。よって、上記のヒータの条件（各パラメータ値）下では、図１３中に示す$V_{pwm} = 2.1$における黒丸の点（最適点）k = 2.85を選択してターボパルスを駆動することにより、応答速度を最速にすることができる。

[0040] 上述した各電圧パルスを生成するパルス生成回路は、その構成として任意の形態をとることができるが、例えばFPGA（Field Programmable Gate Array）を用いて、当業者は容易に実現することができる。その一例として、一定のパルス幅信号を生成するパルス生成のシンプルな実現方法を図１４のブロック図に示す。図１４の構成のタイムチャートを図１５に示す。ごく一例の数値として、実験に使っている繰り返し周波数は1MHz（t1=1μs）、クロック周波数は400MHz（t2=2.5ns）である。したがって、パルス幅の分解能は1us÷2.5 ns=400階調となる。ここで用いているカウンタは400進カウンタであり、ゼロの時のクロックの立ち上がりでカウンタの出力がハイになり、コンパレータの入力値が設定値になったらフリップフロップの出力がローになる。

[0041] 図１４に例示されるような汎用的な半導体集積回路を前提としたときに、このままだとクロック周波数の上限があるので所望の分解能を保つためには、周期t1をさらに短くすることに制限がある。また、これまで述べた追加シーケンスの効果を増大するために、ロジック電圧を上げて、通常の高温のパルス幅自体をなるべく狭くしても定常状態において所望の温度上昇が得られるようにしておく。その上で切替え時に加える常にオンの信号が急激に温度上昇させることができるように設計したい。ところが、そうすると二つの導波路の温度を同一にしたい場合のゼロに近い値の微調に関して、分解能が足

りないため最適値にもっていけない事象が生じてしまい、不都合である。

[0042] そこで、例えば図１６に示すような高分解能のパルス生成回路を提案する。図１７にそのタイムチャートを示す。図１７において、クロック信号Aとクロック信号Bはほんの少し周期が異なる。クロック信号Aの周波数が400MHz（周期2.500000ns）、クロック信号Bの周波数が399MHz(周期2.506266ns)、繰り返し周波数は図１５と同じ1MHz（t1=1us）である。クロック信号Bのある立ち上がりのタイミングで（すなわちカウンタBが所定の設定値Aになったことをコンパレータで検出した時に）、出力をSetし、クロックAのある立ち上がりのタイミングで（すなわちカウンタAが所定の設定値AになったことをコンパレータAで検出した時に）、出力をResetする。SetおよびReset信号はRSフリップフロップに入力すれば、所望の出力を得ることができる。

[0043] 出力はバーニアの効果で高分解能に設定することができる。この場合具体的な分解能は、(1us÷2.500000ns)×(1us÷2.506266ns)=400×399＝159600階調となり、非常に大きな分解能が実現できる。実際には上記数字は回路ノイズに起因するジッタ等で確度が出ないものと思われるので、数値は適宜選択する必要がある。

[0044] 最後に図１８を参照しながら本発明の一実施形態の位相制御器の駆動方法について説明する。なお、図１８のフローチャートは、主に図８～図１１を参照しながら既に説明した位相制御器の動作例をいわば総括的に一連のステップ群としてまとめたものに相当する。より詳細の動作については上述した各図の動作例を参照されたい。図１８は、第２光導波路（図８等の光導波路２）を昇温させるためのステップＳ１～Ｓ３と、降温させるためのステップＳ４～Ｓ６とを含む。なお、第２光導波路に代えて第１光導波路（図８等の光導波路１）を昇温及び降温させる場合にも、各ステップにおいて第１と第２の文言を入れ替えるだけで同様なフローが成り立つ。

[0045] ステップＳ１において、第１光導波路の第１ヒータをオフにする。具体的には、例えば図８に例示されるように、光導波路１のヒータ１Ａに印加している電圧パルス２６をオフ（ゼロ）にして電圧パルスの印加無しの状態２７

にする。ステップＳ２において、第２光導波路の第２ヒータに第１電圧パルスを印加する。具体的には、例えば図８に例示されるように、光経路の切替え開始時（切替スタート時）にヒータ２Ａに一定時間常にオンのパルス幅の長い電圧パルス２８を印加する。電圧パルス２８は、昇温開始から光導波路２の温度が収束するまで（期間ｔ３）印加する。ステップＳ３において、第２光導波路の第２ヒータに連続した複数の第２電圧パルスを印加する。具体的には、例えば図８に例示されるように、電圧パルス２８に続けてパルス幅の短い複数の電圧パルス２９を印加する。

[0046] ステップＳ４において、第１光導波路の第１ヒータに第３電圧パルスを印加する。具体的には、例えば図９に例示されるように、光経路の切替え開始時に、ヒータ１Ａに一定時間常にオンのパルス幅の長い電圧パルス３３を印加する。ステップＳ５において、第２ヒータへの第２電圧パルスのパルス幅を徐々に短くする、または第２電圧パルスをオフ（ゼロ）にする。具体的には、例えば図９に例示されるように、ヒータ２Ａへの電圧パルス３５のパルス幅を切り替え開始から期間ｔ４経過後から徐々に短くし、電圧パルス３６として印加する。期間ｔ５の経過後には電圧パルス３６をゼロパルス状態にする。

[0047] あるいは、図１０に例示されるように、第２電圧パルスのパルス幅を徐々に短くすることなく、光経路の切替え開始から期間ｔ６後にヒータ２Ａに印加している電圧パルス４２をオフ（ゼロ）にすることもできる。同様に、図１１に例示されるように、光経路の切替え開始時にヒータ２Ａに印加している電圧パルス４９をオフ（ゼロ）にすることもできる。ステップＳ６において、第１ヒータに複数の第４電圧パルスを印加する。具体的には、例えば図９、図１０、または図１１に例示されるように、電圧パルス３３、４０、または４７に続けてパルス幅の短い複数の電圧パルス３４、４１、または４８をヒータ１Ａに印加する。

[0048] 以上のように、光スイッチを例にとり各パルス動作を述べたが、本発明の方式は、光導波路の温度をヒータで制御して熱光学効果にて光の伝搬速度す

なわち位相を制御するようにした光素子で、ヒータに印加する電気信号のパルス幅（デューディー比）を制御することによって温度を変えるようにしたものに応用可能である。本発明は、例えばMZIを用いた光フィルタや光アッテネータに容易に応用することができる。これらの場合には、光スイッチのように光カプラ（ＯＣ）での２つの光導波路の光位相を同位相か逆位相かにするだけでなく、その間の所定の位相に設定することもある。この場合にも、ある中間値から別の中間値に切り替える動作の際に上記で述べた本発明の方法で温度変化を速めることが可能である。

[0049] 本発明の実施形態について、図を参照しながら説明をした。しかし、本発明はこれらの実施形態に限られるものではない。さらに、本発明はその趣旨を逸脱しない範囲で当業者の知識に基づき種々なる改良、修正、変形を加えた態様で実施できるものである。

産業上の利用可能性

[0050] 本発明は、光通信（ネットワーク）のノードにおいて使用される光スイッチ、光フィルタ、あるいは光アッテネータとして、また光回路、光集積回路の一部として利用することができる。

符号の説明

[0051] １、２、１１：光導波路

３、４：光カプラ（ＯＣ）

５、６、１４：位相制御器（ヒータ）

７、８：位相制御器の駆動装置

１２：クラッド層

１３：溝

１００：光スイッチ

請求の範囲

[請求項1] 光導波路の温度をヒータで制御することにより光導波路を伝播する光の位相を制御するための位相制御器の駆動装置であって、

前記位相制御器は、並行に延びる第１及び第２の光導波路の温度を変えるための第１及び第２のヒータを含み、

前記駆動装置は、前記第１及び第２のヒータに印加する電圧パルスを生成するパルス生成回路を含み、

前記パルス生成回路は、前記第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態で、前記第２のヒータの昇温開始時に、前記第２のヒータに印加する、パルス幅の長い第１の電圧パルスと、当該第１の電圧パルスに続けて前記第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスとを生成する、位相制御器の駆動装置。

[請求項2] 前記パルス生成回路は、加熱中の前記第２のヒータの降温開始時に、未加熱中の前記第１のヒータに印加するパルス幅の長い第３の電圧パルスと、当該第３の電圧パルスに続けて前記第３の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第４の電圧パルスを生成する、請求項１に記載の位相制御器の駆動装置。

[請求項3] 前記パルス生成回路は、前記第１のヒータに前記第３の電圧パルスを印加後に、前記第２のヒータに印加する連続した複数の第２の電圧パルスのパルス幅を所定の割合で小さくする、請求項２に記載の位相制御器の駆動装置。

[請求項4] 前記パルス生成回路は、前記第１のヒータに前記第３の電圧パルスを印加後に、前記第２のヒータに印加している連続した複数の第２の電圧パルスをゼロにする、請求項２に記載の位相制御器の駆動装置。

[請求項5] 前記パルス生成回路は、加熱中の前記第２のヒータの降温開始時に、前記第２のヒータに印加している連続した複数の前記第２の電圧パルスをゼロにする、請求項２に記載の位相制御器の駆動装置。

[請求項6] 光スイッチであって、

２つの入力ポートと、

２つの出力ポートと、

前記入力ポートと前記出力ポートとの間に直列に配置された第１及び第２の２つの光カプラと、

前記２つの光カプラ間を接続しながら並行して延びる第１及び第２の２つの光導波路と、

前記第１の光カプラと前記第２の光カプラとの間の前記第１の光導波路に設けられ、前記第１の光導波路の温度を第１のヒータで制御することにより伝播する光の位相を制御するための第１の位相制御器と、

前記第１の光カプラと前記第２の光カプラとの間の前記第２の光導波路に設けられ、前記第２の光導波路の温度を第２のヒータで制御することにより伝播する光の位相を制御するための第２の位相制御器と、

前記第１及び第２のヒータに印加する電圧パルスを生成するパルス生成回路と、を備え、

前記パルス生成回路は、光スイッチにおいて前記第２のヒータを昇温させてクロス状態からバー状態へまたはバー状態からクロス状態へ切り替える際に、前記第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態で、前記第２のヒータの昇温開始時に、前記第２のヒータに印加する、パルス幅の長い第１の電圧パルスと、前記第１の電圧パルスに続けて前記第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスとを生成する、光スイッチ。

[請求項7] 前記パルス生成回路は、光スイッチにおいて前記第２のヒータを降温させてバー状態からクロス状態へまたはクロス状態からバー状態へ切り替える際に、未加熱中の前記第１のヒータに印加するパルス幅の長い第３の電圧パルスと、当該第３の電圧パルスに続けて前記第３の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第４の電圧パルスを

生成する、請求項６に記載の光スイッチ。

[請求項8] 前記パルス生成回路は、前記第１のヒータに前記第３の電圧パルスを印加後に、前記第２のヒータに印加する連続した複数の第２の電圧パルスのパルス幅を所定の割合で小さくする、請求項７に記載の光スイッチ。

[請求項9] 前記パルス生成回路は、前記第１のヒータに前記第３の電圧パルスを印加後に、前記第２のヒータに印加している連続した複数の第２の電圧パルスをゼロにする、請求項７に記載の光スイッチ。

[請求項10] 前記パルス生成回路は、加熱中の前記第２のヒータの降温開始時に、前記第２のヒータに印加している連続した複数の第２の電圧パルスをゼロにする、請求項７に記載の光スイッチ。

[請求項11] 光導波路の温度をヒータで制御することにより光導波路を伝播する光の位相を制御するための位相制御器の駆動方法であって、

前記位相制御器は、並行に延びる第１及び第２の光導波路の温度を変えるための第１及び第２のヒータを含み、

前記第１のヒータに印加する電圧パルスがゼロの状態で、前記第２のヒータの昇温開始時に、前記第２のヒータにパルス幅の長い第１の電圧パルスを印加するステップと、

前記第１の電圧パルスに続けて前記第１の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第２の電圧パルスを前記第２のヒータに印加するステップとを含む、位相制御器の駆動方法。

[請求項12] 前記第２の電圧パルスを印加中の前記第２のヒータの降温開始時に、前記第１のヒータにパルス幅の長い第３の電圧パルスを印加するステップと、

前記第３の電圧パルスに続けて前記第３の電圧パルスよりもパルス幅が短い連続した複数の第４の電圧パルスを前記第１のヒータに印加するステップとをさらに含む、請求項１１に記載の位相制御器の駆動方法。

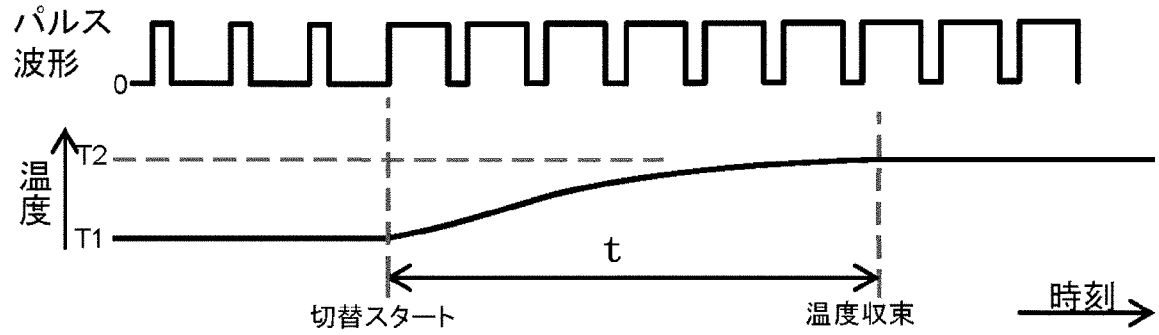
[請求項13] 前記第１のヒータに前記第３の電圧パルスを印加後に、前記第２のヒータに印加している前記第２の電圧パルスのパルス幅を所定の割合で小さくするステップをさらに含む、請求項１２に記載の位相制御器の駆動方法。

[請求項14] 前記第１のヒータに前記第３の電圧パルスを印加後に、前記第２のヒータに印加している連続した前記第２の電圧パルスをゼロにするステップをさらに含む、請求項１２に記載の位相制御器の駆動方法。

[請求項15] 前記第２のヒータの降温開始時に、前記第２のヒータに印加している前記第２の電圧パルスをゼロにするステップをさらに含む、請求項１２に記載の位相制御器の駆動方法。

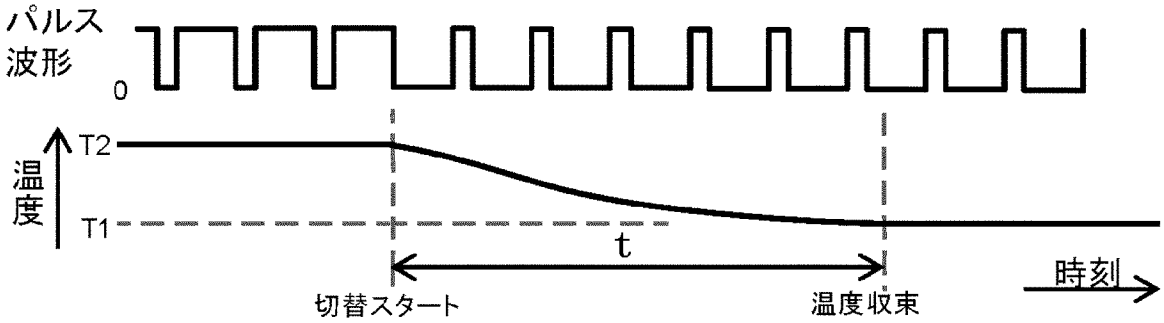
[図1]

光導波路温度上昇

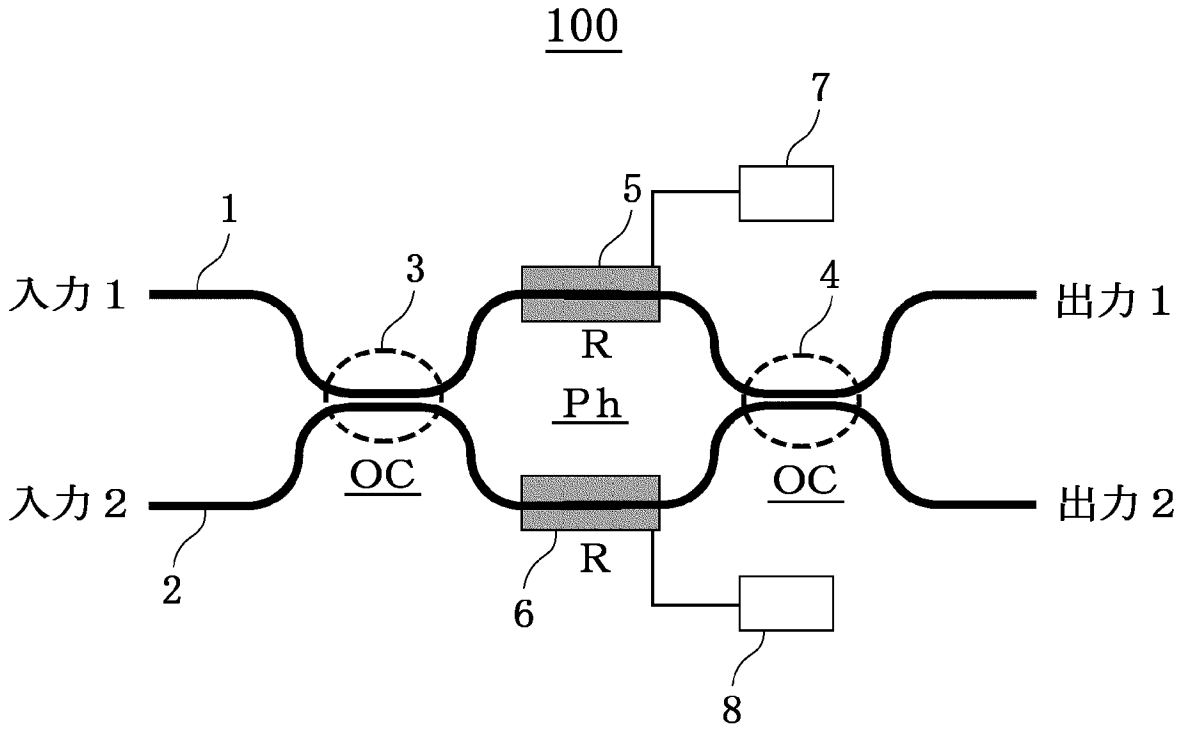


[図2]

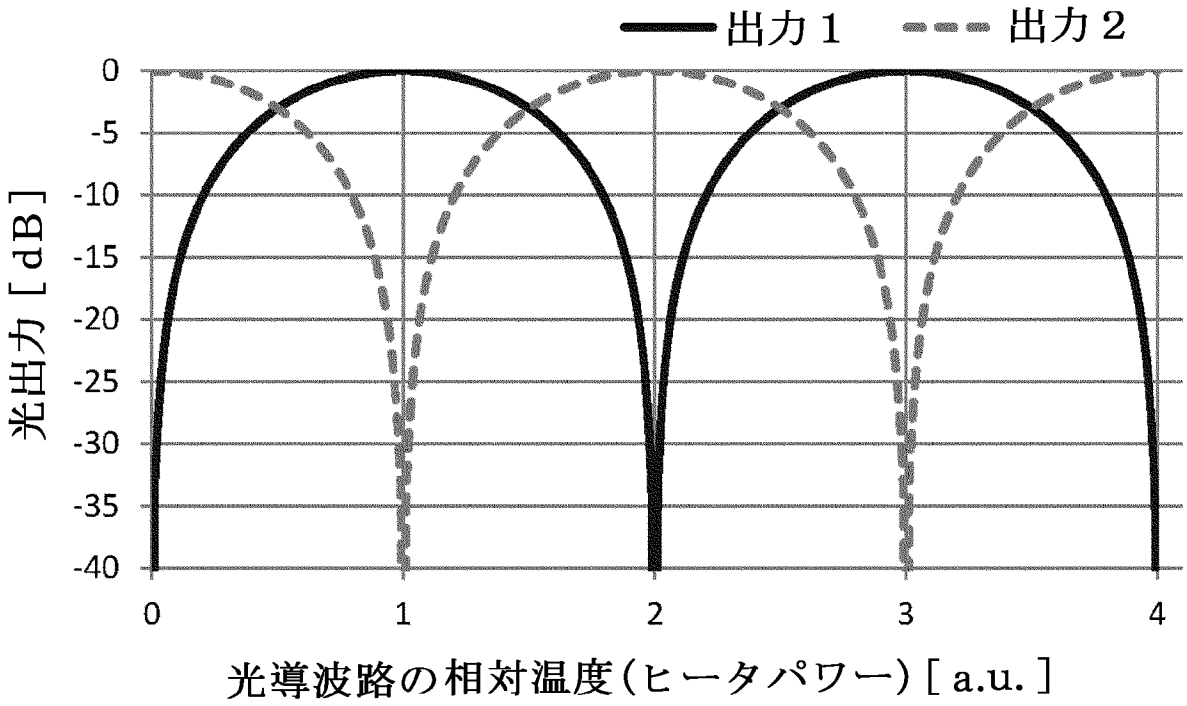
光導波路温度下降



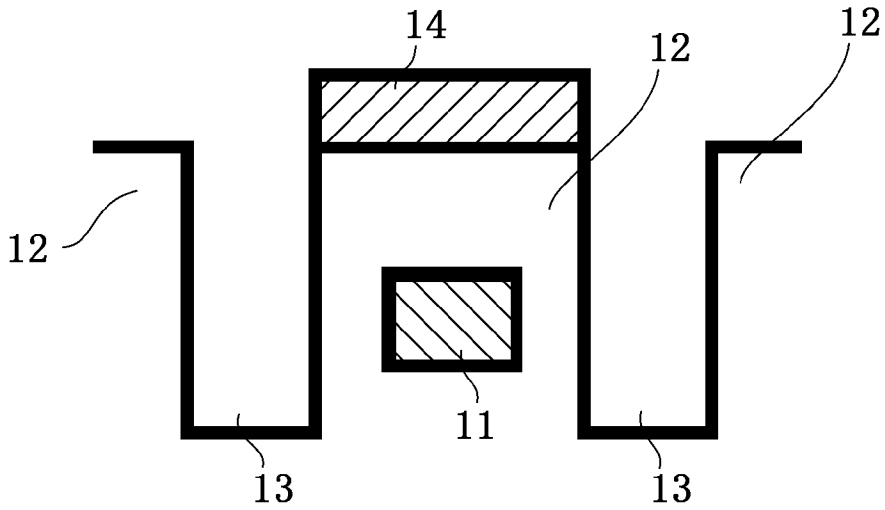
[図3]



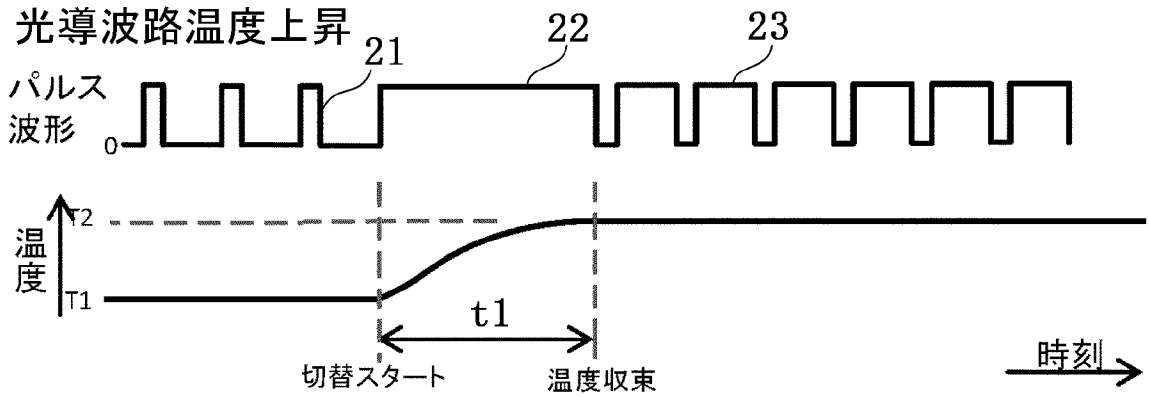
[図4]


出力１
出力２
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
光出力［dB］
0
1
2
3
4
光導波路の相対温度（ヒータパワー）［a.u.］

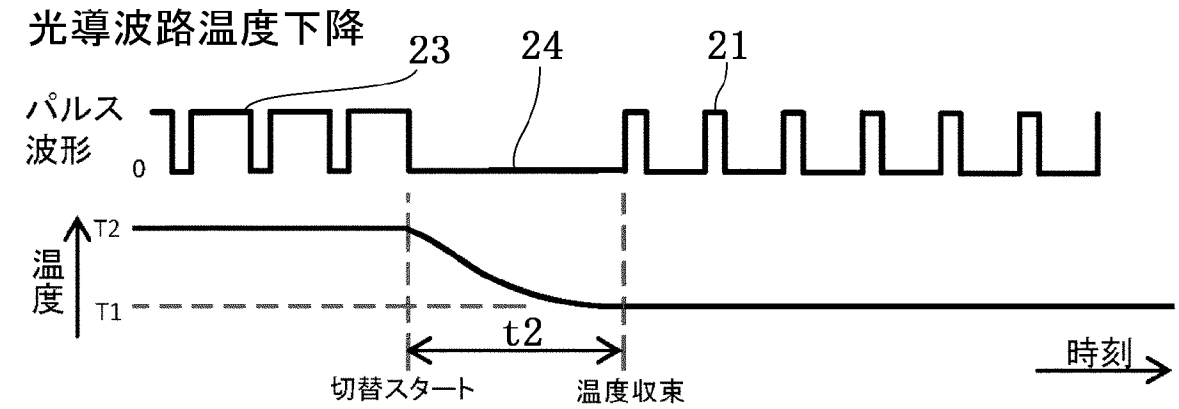
[図5]


14
12
12
12
11
13
13

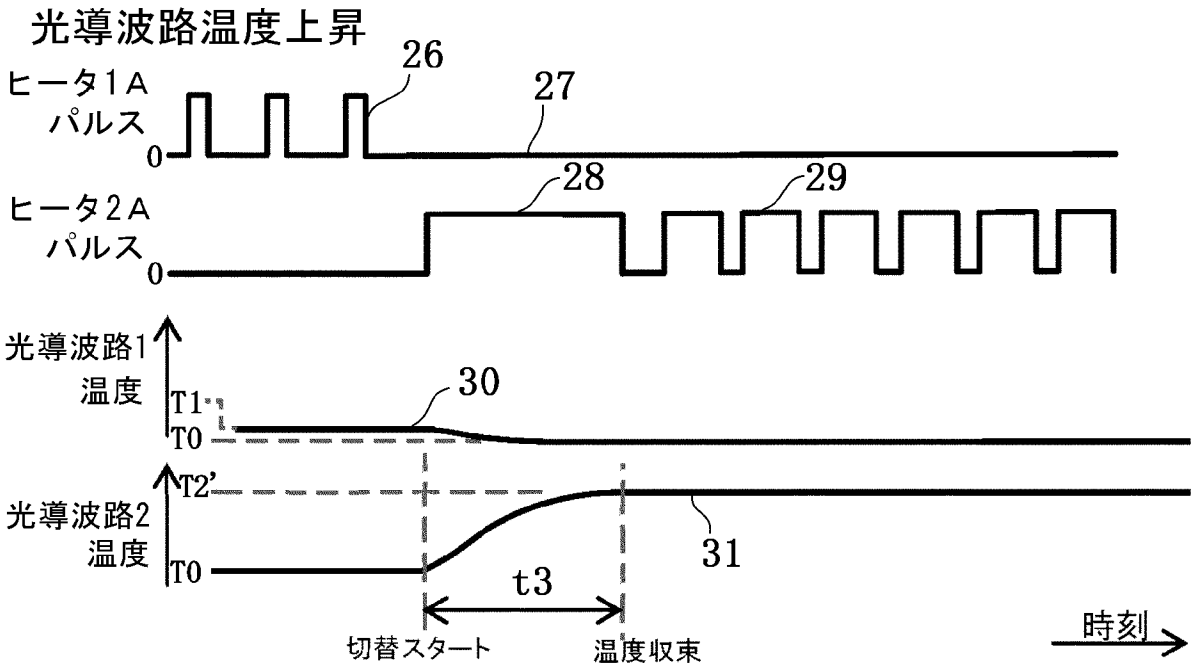
[図6]


光導波路温度上昇
21
22
23
パルス波形
0
温度
T2
T1
t1
切替スタート
温度収束
時刻

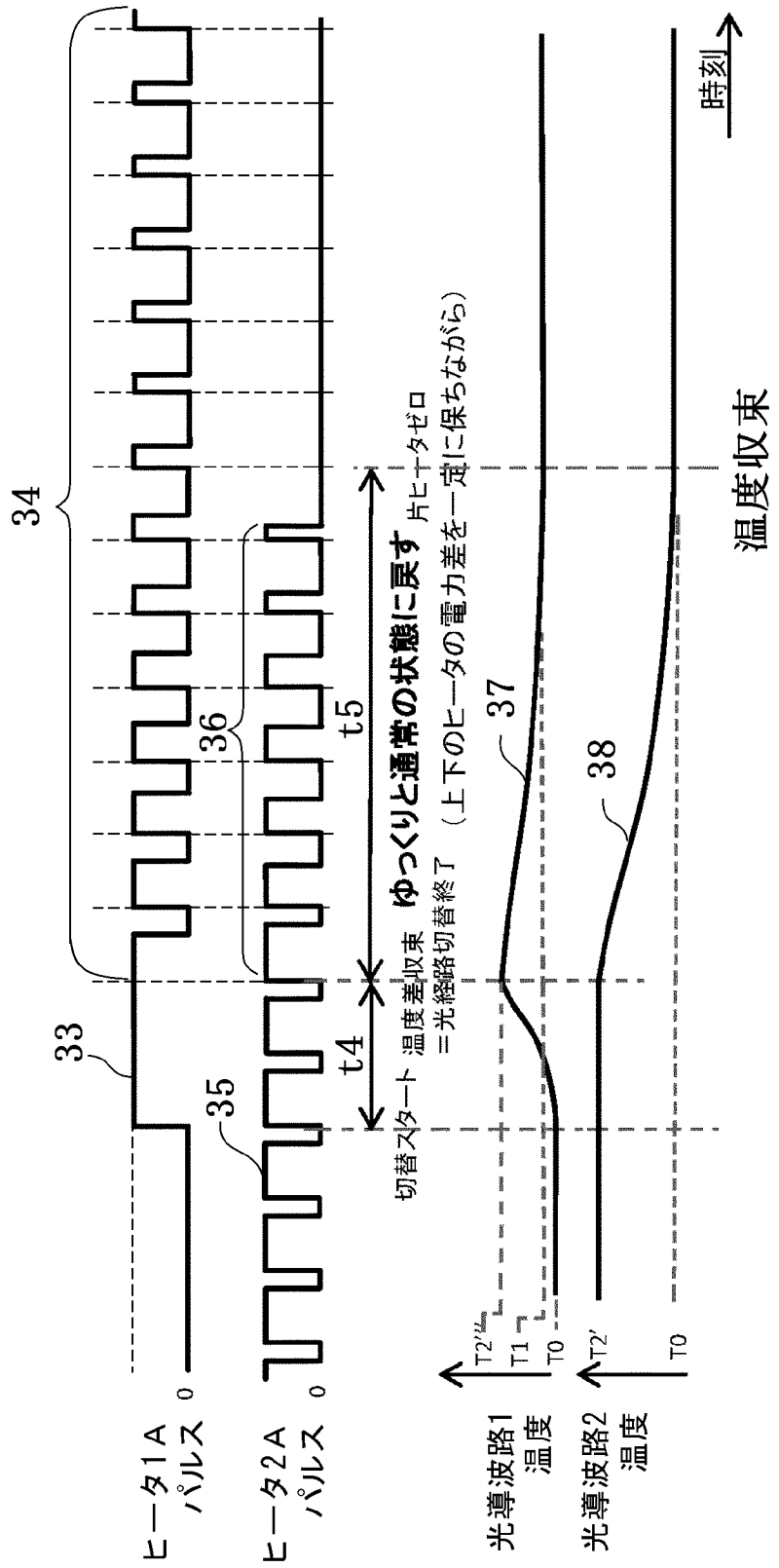
[図7]


光導波路温度下降
23
24
21
パルス
波形
0
温
度
T2
T1
t2
時刻
切替スタート
温度収束

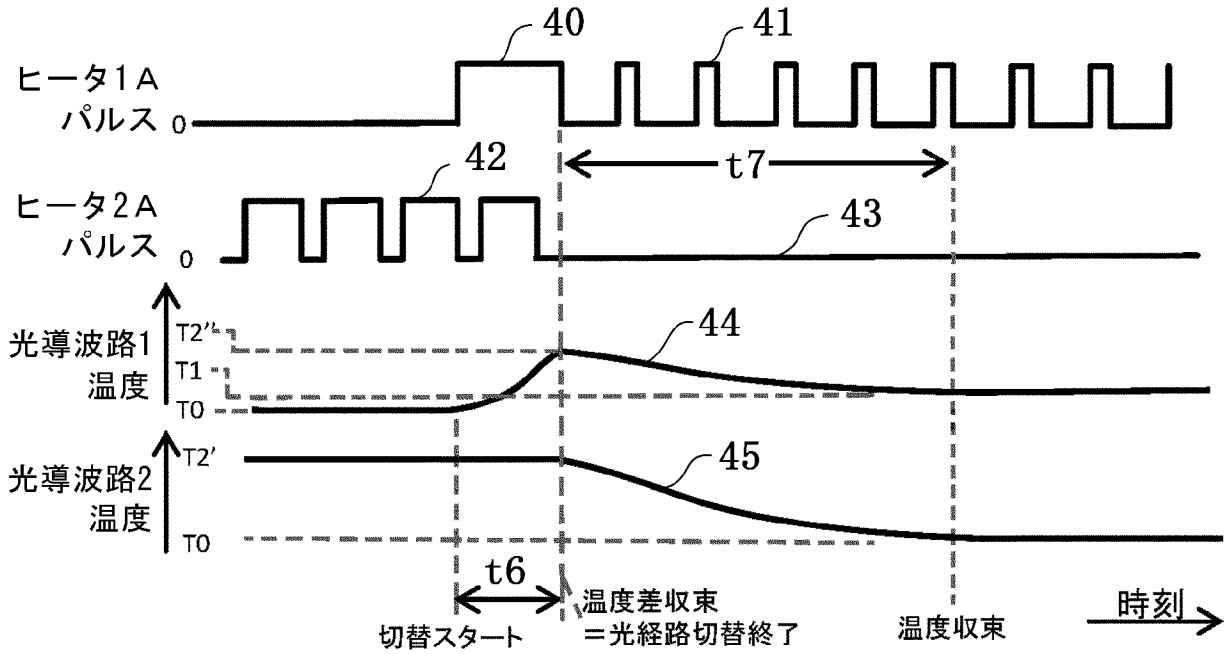
[図8]


光導波路温度上昇
26
27
ヒータ1A
パルス
0
28
29
ヒータ2A
パルス
0
光導波路1
温度
T1
T0
30
光導波路2
温度
T2'
T0
31
t3
時刻
切替スタート
温度収束

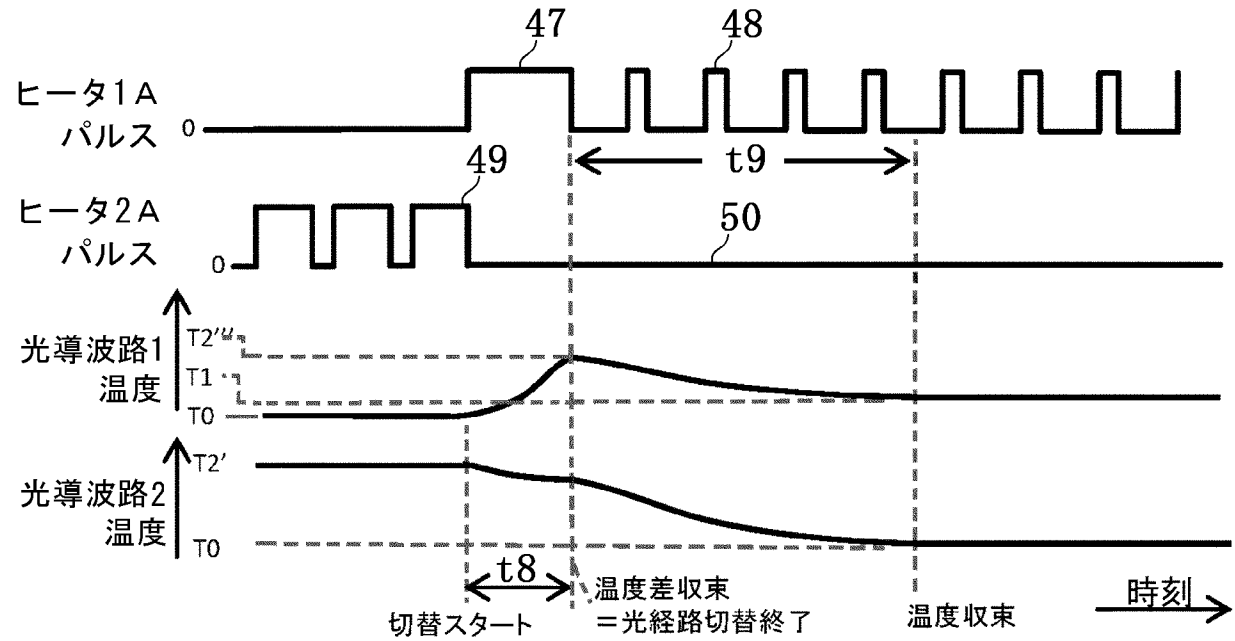
[図9]


34
33
35
36
37
38
t4
t5
切替スタート 温度差収束
ゆっくりと通常の状態に戻す 片ヒータゼロ
＝光経路切替終了 （上下のヒータの電力差を一定に保ちながら）
ヒータ1A パルス
ヒータ2A パルス
0
光導波路1 温度
光導波路2 温度
T2''
T1
T0
T2'
T0
温度収束
時刻

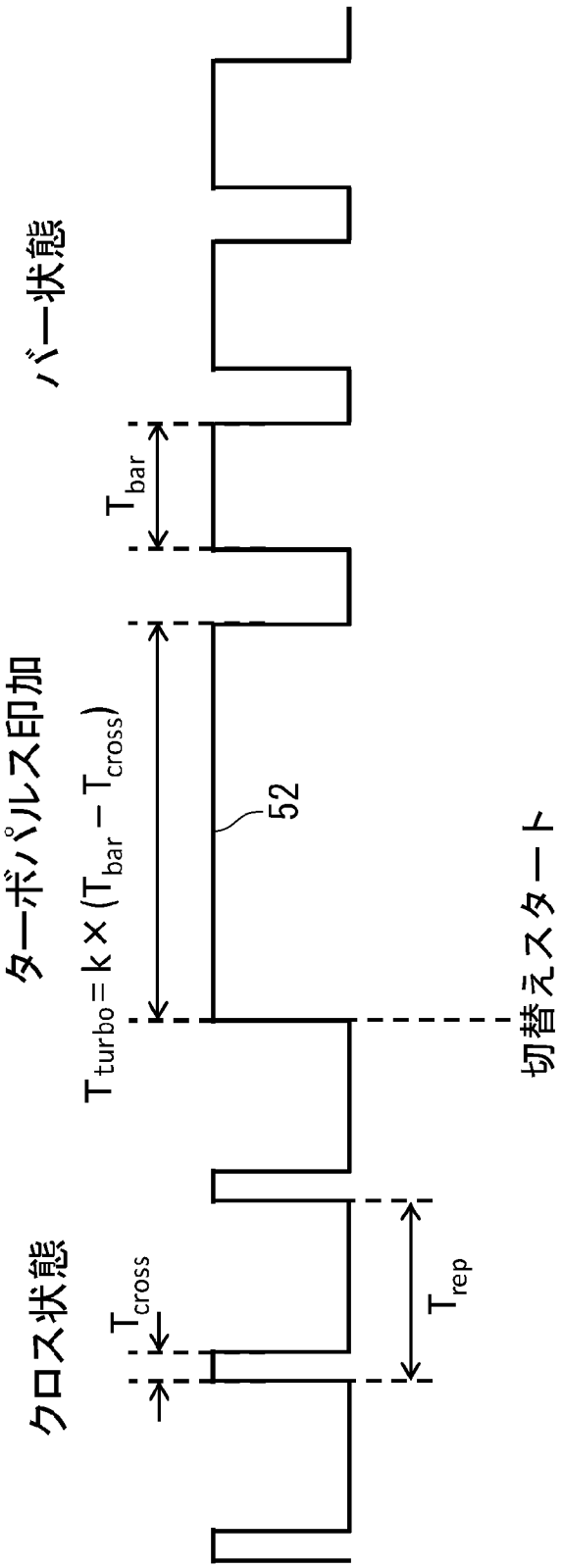
[図10]


40
41
ヒータ1A
パルス
0
42
t7
ヒータ2A
パルス
0
43
光導波路1
温度
T2''
T1
T0
44
光導波路2
温度
T2'
T0
45
t6
切替スタート
温度差収束
＝光経路切替終了
温度収束
時刻

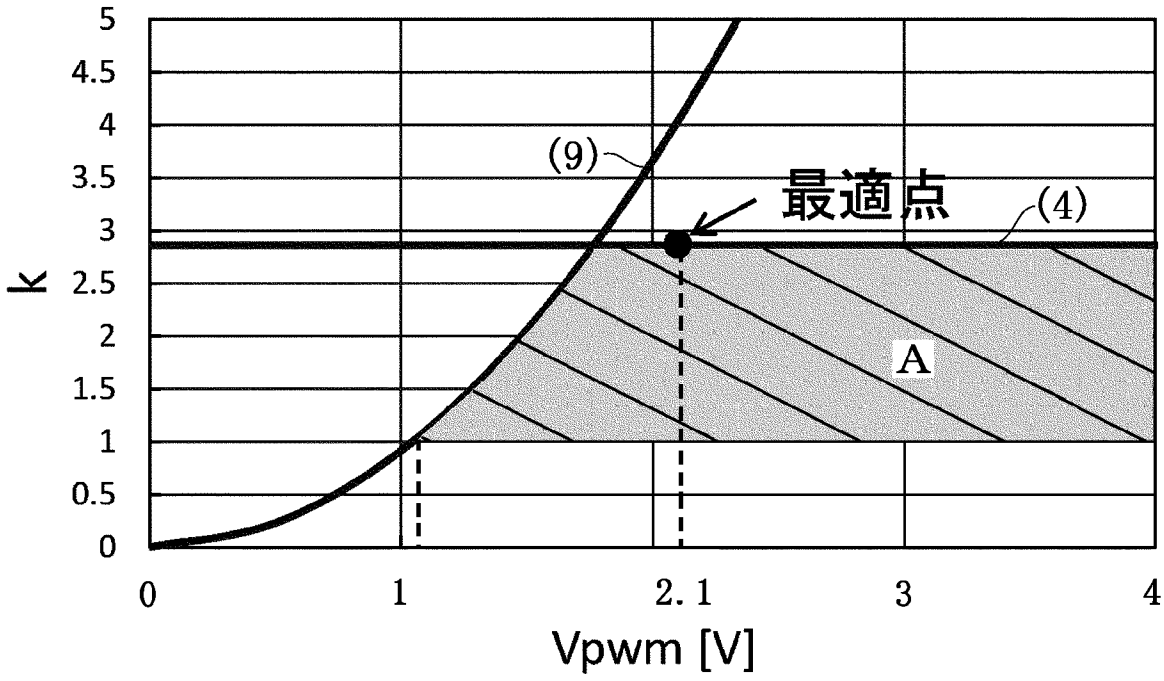
[図11]


47
48
ヒータ1A
パルス
0
49
t9
ヒータ2A
パルス
0
50
光導波路1
温度
T2''
T1
T0
光導波路2
温度
T2'
T0
t8
切替スタート
温度差収束
＝光経路切替終了
温度収束
時刻

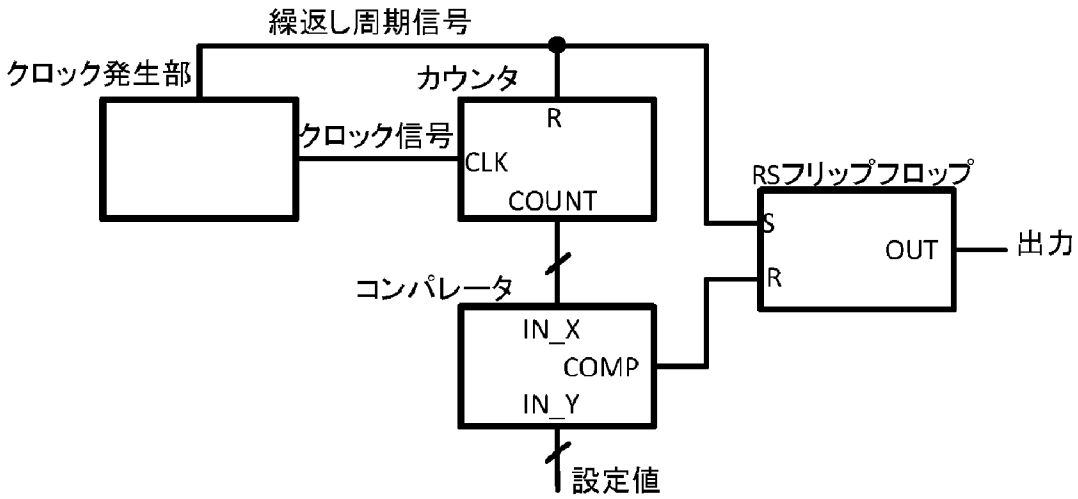
[図12]


バー状態
T_{bar}
ターボパルス印加
$T_{turbo} = k \times (T_{bar} - T_{cross})$
52
切替えスタート
クロス状態
T_{cross}
T_{rep}

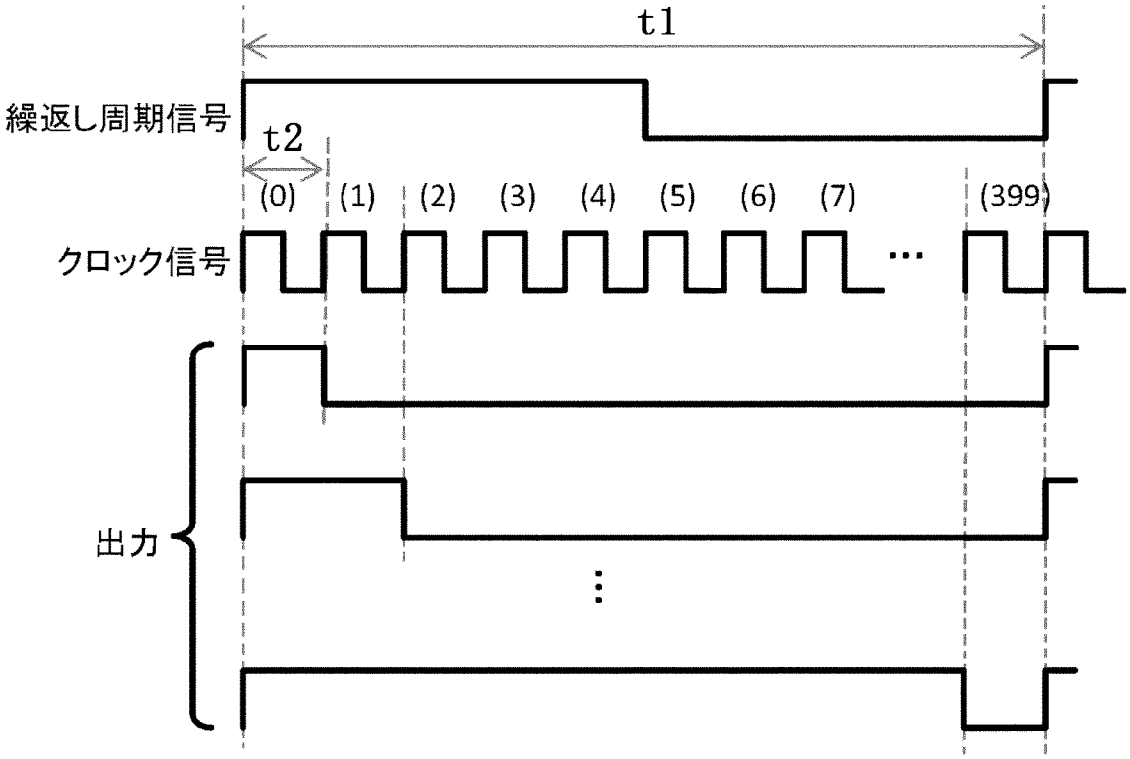
[図13]


5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
K
0
1
2.1
3
4
Vpwm [V]
(9)
最適点
(4)
A

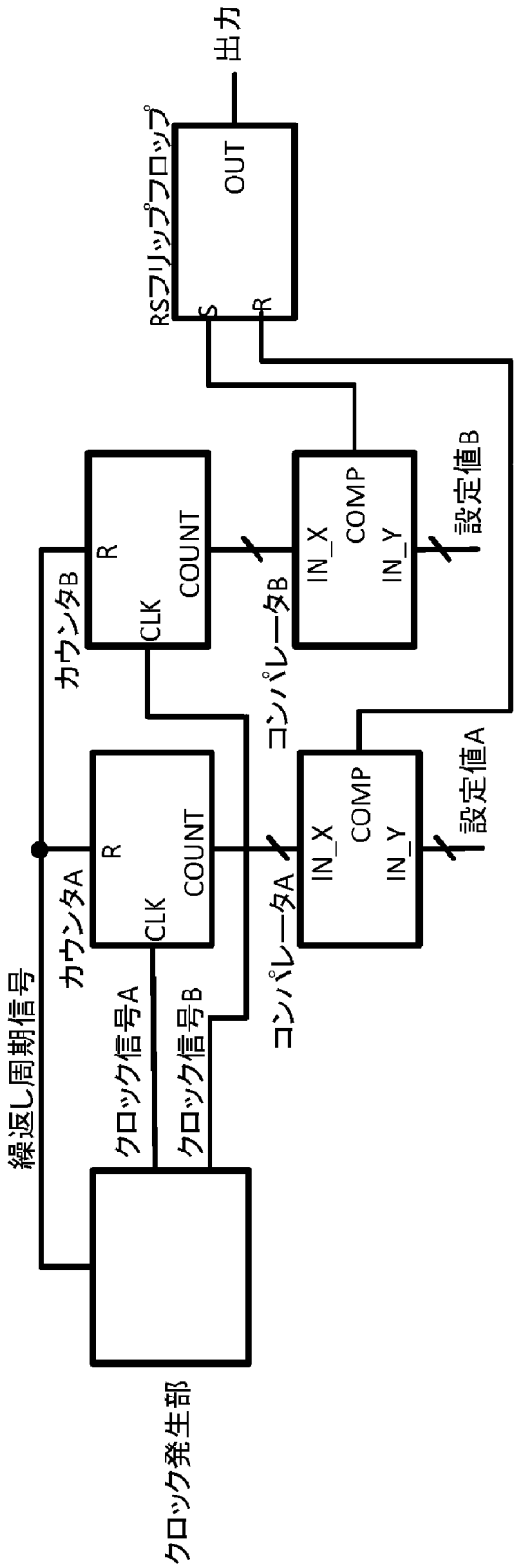
[図14]


繰返し周期信号
クロック発生部
カウンタ
R
クロック信号
CLK
COUNT
RSフリップフロップ
S
OUT
出力
R
コンパレータ
IN_X
COMP
IN_Y
設定値

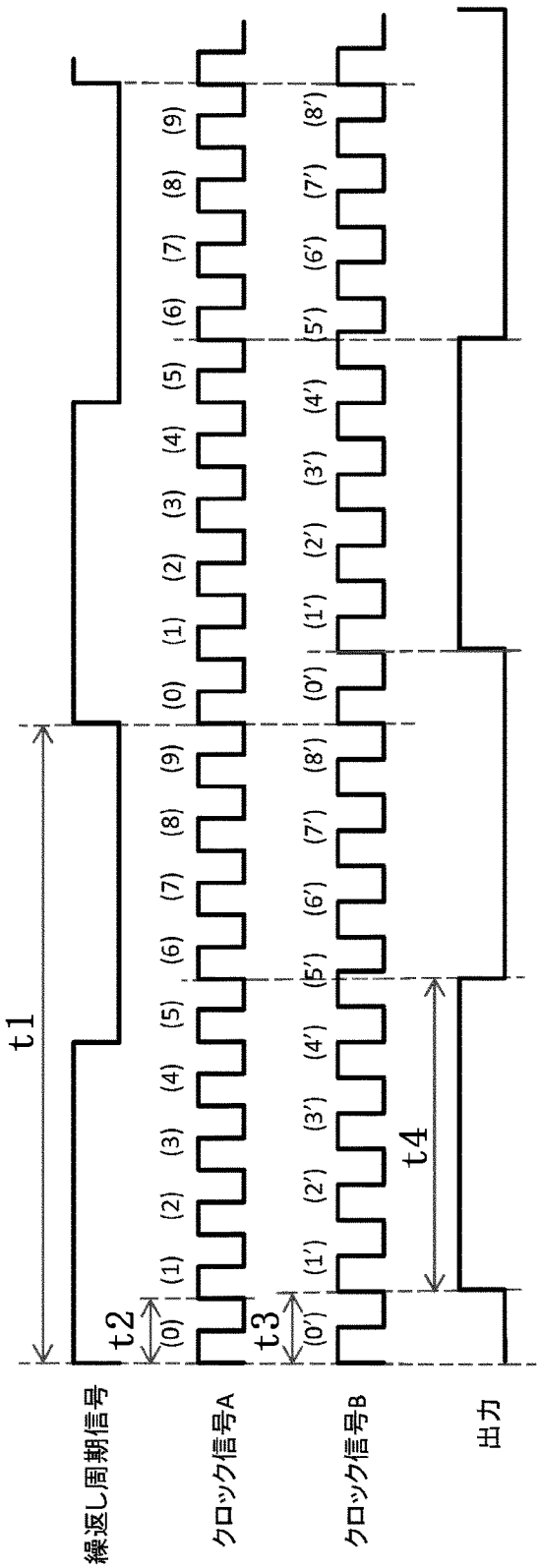
[図15]



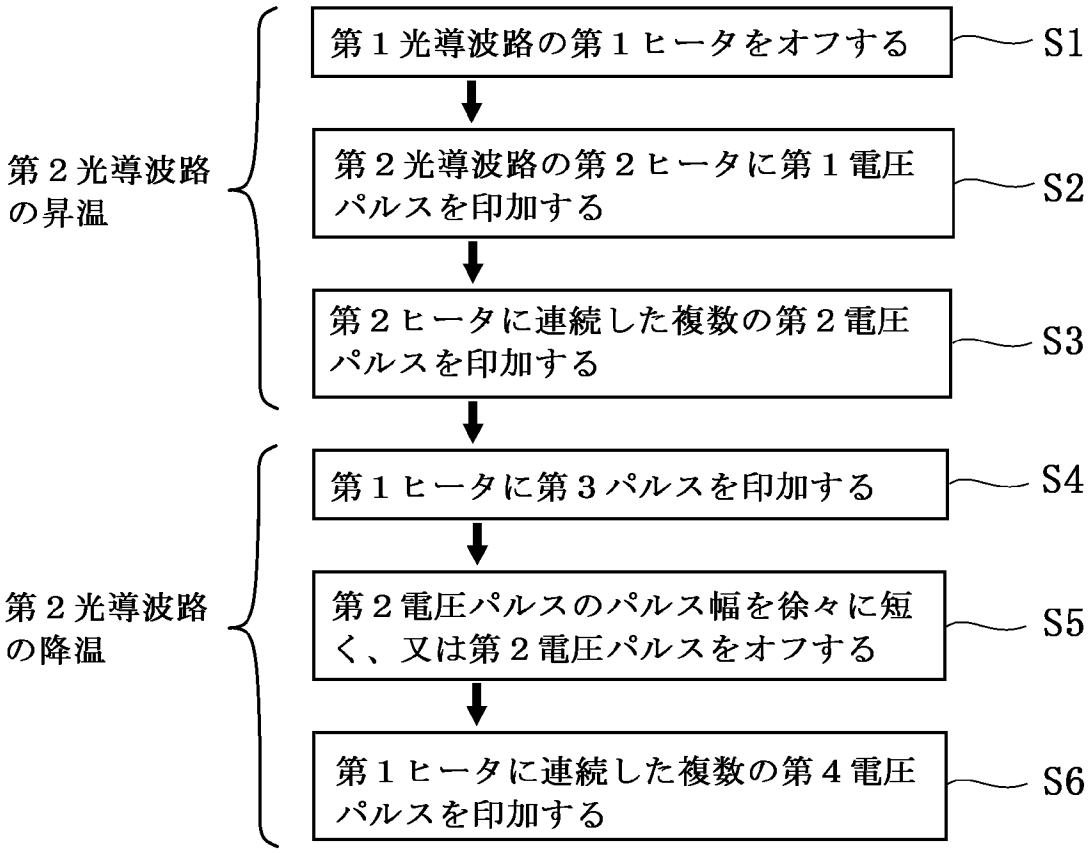
[図16]


出力
RSフリップフロップ
OUT
S
R
カウンタB
R
CLK
COUNT
コンパレータB
IN_X
COMP
IN_Y
設定値B
カウンタA
R
CLK
COUNT
コンパレータA
IN_X
COMP
IN_Y
設定値A
繰返し周期信号
クロック信号A
クロック信号B
クロック発生部

[図17]


t1
t2
t3
t4
(0)
(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)
(7)
(8)
(9)
(0')
(1')
(2')
(3')
(4')
(5')
(6')
(7')
(8')
繰返し周期信号
クロック信号A
クロック信号B
出力

[図18]


第２光導波路の昇温
第１光導波路の第１ヒータをオフする
S1
第２光導波路の第２ヒータに第１電圧パルスを印加する
S2
第２ヒータに連続した複数の第２電圧パルスを印加する
S3
第２光導波路の降温
第１ヒータに第３パルスを印加する
S4
第２電圧パルスのパルス幅を徐々に短く、又は第２電圧パルスをオフする
S5
第１ヒータに連続した複数の第４電圧パルスを印加する
S6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/083221

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/313(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)
G02F1/313

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 1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005/0146712 A1 (LYNX PHOTONICS NETWORKS INC.), 07 July 2005 (07.07.2005), entire text; all drawings & US 2006/0133721 A1 & EP 1548490 A2 & EP 1548490 A3 & CN 1645082 A	1-15
A	JP 2003-527624 A (Gemfire Corp.), 16 September 2003 (16.09.2003), entire text; all drawings & US 6351578 B1 & US 7171064 B2 & US 2002/0037129 A1 & US 2003/0206683 A1 & WO 2001/016648 A2 & EP 1226467 A2 & AU 2422101 A & CA 2380456 A1	1-15

☒ 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	Date of mailing of the international search report
31 January 2017 (31.01.17)	07 February 2017 (07.02.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/083221

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	COMG,G.W. et al., Power-efficient gray-scale control of silicon thermo-optic phase shifters by pulse width modulation using monolithically integrated MOSFET, OFC 2015, 2015.03, 1-3	1-15

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０８３２２１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/313(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.　G02F1/313

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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）

IEEE Xplore

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	US 2005/0146712 A1 (LYNX PHOTONICS NETWORKS INC.) 2005.07.07, 全文、全図 & US 2006/0133721 A1 & EP 1548490 A2 & EP 1548490 A3 & CN 1645082 A	1-15
A	JP 2003-527624 A (ジェムファイア　コーポレイション) 2003.09.16, 全文、全図 & US 6351578 B1 & US 7171064 B2 & US 2002/0037129 A1 & US 2003/0206683 A1 & WO 2001/016648 A2 & EP 1226467 A2 & AU 2422101 A & CA 2380456 A1	1-15

☑　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	国際調査報告の発送日
３１．０１．２０１７	０７．０２．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｌ　９３１６
佐藤　宙子
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
A	COMG,G.W. et al., Power-efficient gray-scale control of silicon thermo-optic phase shifters by pulse width modulation using monolithically integrated MOSFET, OFC 2015, 2015.03, 1-3	1-15