(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
2016 年 12 月 15 日(15.12.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/199903 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/068 (2006.01)　*H01S 5/022* (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01)　*H01S 5/026* (2006.01)
H01S 3/067 (2006.01)　*H01S 5/50* (2006.01)
H01S 3/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/067402

(22) 国際出願日: 2016 年 6 月 10 日(10.06.2016)

(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 2015-117792 2015 年 6 月 10 日(10.06.2015) JP
特願 2015-177273 2015 年 9 月 9 日(09.09.2015) JP

(71) 出願人: 古河電気工業株式会社 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目２番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 大谷　栄介 (OTANI, Eisuke); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目２番３号　古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関３丁目８番１号 虎の門三井ビルディング 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

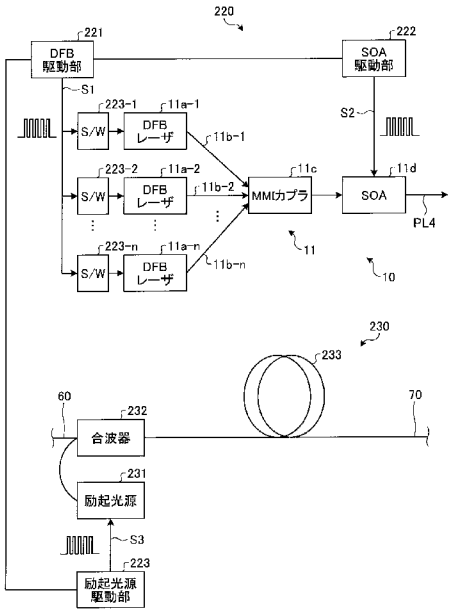
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) **Title**: PULSE LASER DEVICE

(54) 発明の名称 : パルスレーザ装置

[図12]



11a-1, 11a-2, 11a-n... DFB LASER
11c... MMI COUPLER
221... DFB DRIVE UNIT
222... SOA DRIVE UNIT
223... EXCITATION LIGHT SOURCE DRIVE UNIT
231... EXCITATION LIGHT SOURCE
232... MULTIPLEXER

(57) **Abstract**: This pulse laser device is provided with: a semiconductor laser element that outputs a single-wavelength laser beam; a semiconductor optical amplifier, which receives the laser beam outputted from the semiconductor laser element, and amplifies and outputs the laser beam; and a semiconductor optical amplifier drive unit that supplies the semiconductor optical amplifier with a pulse-modulated drive current. Preferably, the pulse laser device is provided with a control unit, which has a semiconductor laser element drive unit that supplies the semiconductor laser element with a pulse-modulated semiconductor laser element drive current, and which also has the semiconductor optical amplifier drive unit, said control unit synchronizing pulse modulation of the semiconductor laser element drive current and pulse modulation of the semiconductor optical amplifier drive current with each other.

(57) 要約: パルスレーザ装置は、単一波長のレーザ光を出力する半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する半導体光増幅器と、前記半導体光増幅器にパルス変調された駆動電流を供給する半導体光増幅器駆動部と、を備える。好ましくは、前記半導体レーザ素子にパルス変調された半導体レーザ素子駆動電流を供給する半導体レーザ素子駆動部と、前記半導体光増幅器駆動部と、を有する制御部を備え、前記制御部は、前記半導体レーザ素子駆動電流のパルス変調と前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調とを同期させる。

WO 2016/199903 A1

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)）

明　細　書

発明の名称 ： パルスレーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は、パルスレーザ装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、シード光としてパルスレーザ光を出力するシード光源を光ファイバ増幅器等の光増幅器で増幅して高強度のパルスレーザ光を出力する、いわゆるＭＯＰＡ（Master Oscillator Power Amplifier）型のパルスレーザ装置が開示されている（特許文献１参照）。この種のパルスレーザ装置はレーザ加工等に使用される。

[0003] 一方、パルスレーザ装置において、消光比を高める技術が開示されている。ここで、消光比とは、パルス光の出力がオフ状態において出力される光の強度に対する、パルス光の出力がオン状態において出力される光の強度の比である。たとえば、特許文献２では、ＤＦＢ半導体レーザの電流制御によって、１０～２０ｎｓ程度のパルス幅を有するパルス光を発振させるとともに、音響光学光変調素子（ＡＯＭ）などの光変調素子によってそのパルス光からその一部のみを時間的に切り出し、パルス幅が１ｎｓのパルス光に変調し、消光比の高いパルス光を容易に得られるとされている。また、特許文献３では、光変調器として電気光学変調器（ＥＯＭ）を用い、２×２光スイッチで構成したリングパスと組み合わせることにより、光をＥＯＭに２回通過させることにより、消光比を高められるとされている。また、特許文献４では、ＣＷレーザ光源にＡＯＭとＥＯＭとを組み合わせることでパルス光を生成することにより、消光比を高められるとされている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００２－１１８３１５号公報

特許文献2：特許第４２３２１３０号公報

特許文献3：特開２０１０－１９２６５１号公報

特許文献4：特開２０１３－２０５５５６号公報

特許文献5：特許第５２５０５６４号公報

特許文献6：米国特許第７６７２５５２号明細書

特許文献7：米国特許第６５９０９２４号明細書

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Thomas Sosnowski, et al. Proc. SPIE 8601, Fiber Lasers X: Technology, Systems, and Applications, 86011M (March 22, 2013); doi:10.1117/12.2008306

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、シード光源としてＤＦＢレーザ等の半導体レーザ素子を用いた場合、パルス幅がナノ秒オーダーのパルスレーザ光を出力すると、パルス波形にサージ（プリパルスとも呼ばれる）が発生し、プリパルスの無い良好なパルス波形のパルスレーザ光を出力できない場合があるなどの問題がある。プリパルスが発生すると、パルスレーザ光のピークパワーが所定の値よりも大きくなるので、光学部品の破損、レーザ加工に適用した場合の加工対象の破損、良好な加工状態を得られない、非線形現象により所望の出力が得られなくなる等の様々な問題を引き起こす可能性が生じる。

[0007] また、ＡＯＭは、その変調速度は数ｎｓのパルス幅を得る程度のものが一般的である。実際に１ｎｓ程度のパルス幅を得るのは困難である。また、ＥＯＭでは十分な消光比を得ることができず、十分な消光比を得るには特許文献３、４のような複雑な構造が必要となる。さらに、ＡＯＭ、ＥＯＭのいずれを使用しても光挿入損失がある程度発生する。このように、たとえば１～２ｎｓ程度の短パルス光を高い消光比で得ることは従来困難であった。そのため、消光比の高い良好なパルス波形のパルスレーザ光を出力できない場合があった。

[0008] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、良好なパルス波形のパル

スレーザ光を出力することができるパルスレーザ装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、単一波長のレーザ光を出力する半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する半導体光増幅器と、前記半導体光増幅器にパルス変調された半導体光増幅器駆動電流を供給する半導体光増幅器駆動部と、を備えることを特徴とする。

[0010] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体レーザ素子にパルス変調された半導体レーザ素子駆動電流を供給する半導体レーザ素子駆動部と、前記半導体光増幅器駆動部と、を有する制御部を備え、前記制御部は、前記半導体レーザ素子駆動電流のパルス変調と前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする。

[0011] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体レーザ素子駆動電流の変調パルス幅が、前記半導体光増幅器駆動電流の変調パルス幅よりも大きいことを特徴とする。

[0012] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する光ファイバ増幅器をさらに備え、前記光ファイバ増幅器は、誘導放出による光増幅作用を有する光増幅ファイバと、前記光増幅ファイバに供給する励起光を出力する励起光源とを備え、前記制御部は、前記励起光源にパルス変調された励起光源駆動電流を供給する励起光源駆動部をさらに備え、前記半導体レーザ素子駆動電流のパルス変調と前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調と前記励起光源駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする。

[0013] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記励起光源駆動電流の変調パルス幅が、前記半導体レーザ素子駆動電流の変調パルス幅及び前記半導体光増幅器駆動電流の変調パルス幅よりも大きいことを特徴とする。

[0014] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体光増幅器から出力されたパルスレーザ光が、前記光ファイバ増幅器における光励起状態の期間の後半に該光ファイバ増幅器に入力されるように、前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調と前記励起光源駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする。

[0015] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体光増幅器から出力されたパルスレーザ光がオフ状態となると略同時に、前記光ファイバ増幅器における光励起状態がオフ状態になるように、前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調と前記励起光源駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする。

[0016] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記励起光源駆動電流の変調パルス幅が、前記光ファイバ増幅器の緩和時間よりも長いことを特徴とする。

[0017] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記励起光源駆動電流の変調パルス幅が短い程、前記励起光源駆動電流が大きいことを特徴とする。

[0018] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記励起光源駆動電流のパルスのオフ状態の期間よりも前記光ファイバ増幅器の緩和時間が長い場合、前記励起光源駆動部は前記励起光源に所定の値の直流の励起光源駆動電流を供給することを特徴とする。

[0019] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記光ファイバ増幅器の後段に設けられ、前記半導体レーザ素子から出力されるレーザ光の波長の光を選択的に透過する光バンドパスフィルタをさらに備えることを特徴とする。

[0020] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する光ファイバ増幅器をさらに備えることを特徴とする。

[0021] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記光ファイバ増幅器の後段に設けられ、該光ファイバ増幅器から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力するブースター光ファイバ増幅器をさらに備えること

を特徴とする。

[0022] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記ブースター光ファイバ増幅器は、前記受け付けたレーザ光の有効モード断面積を拡大する有効モード断面積拡大部と、前記有効モード断面積が拡大されたレーザ光を、該有効モード断面積が拡大された状態でシングルモードで伝搬しながら増幅する有効モード断面積拡大光増幅ファイバと、を備えることを特徴とする。

[0023] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記有効モード断面積拡大部は、前記受け付けた、基底モードで伝搬するレーザ光の伝搬モードを高次モードに変換し、前記有効モード断面積拡大光増幅ファイバは、前記高次モードのレーザ光をシングルモードで伝搬しながら増幅することを特徴とする。

[0024] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記ブースター光ファイバ増幅器は、前記有効モード断面積拡大光増幅ファイバが増幅した、高次モードのレーザ光の伝搬モードを基底モードに変換する有効モード断面積縮小部をさらに備えることを特徴とする。

[0025] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記有効モード断面積拡大部は、前記受け付けた、光ファイバの基底モードで伝搬するレーザ光の伝搬モードをマルチモードに変換し、前記有効モード断面積拡大光増幅ファイバは、前記マルチモードのレーザ光のうち高次モードの成分を漏洩し、基底モードの成分をシングルモードで伝搬しながら増幅することを特徴とする。

[0026] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記出力するレーザ光の波長が互いに異なる複数の前記半導体レーザ素子と、前記複数の半導体レーザ素子が出力するレーザ光を合波して前記半導体光増幅器に出力する光合波器とを備えることを特徴とする。

[0027] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記出力するレーザ光の波長が互いに異なる複数の前記半導体レーザ素子と、前記複数の半導体レーザ素子が出力するレーザ光を合波して前記半導体光増幅器に出力する光合波器とを備えることを特徴とする。

[0028] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記複数の半導体レーザ素子

、前記光合波器、及び前記半導体光増幅器がモノリシックに集積され、集積型半導体レーザ素子を構成していることを特徴とする。

[0029] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記複数の半導体レーザ素子に駆動電流を供給できるように構成された半導体レーザ素子駆動部と、前記半導体レーザ素子駆動部から前記複数の半導体レーザ素子への駆動電流の供給と停止とを切り替える複数のスイッチ部とを備えることを特徴とする。

[0030] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記複数の半導体レーザ素子に駆動電流を供給できるように構成された複数の半導体レーザ素子駆動部を備えることを特徴とする。

[0031] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体レーザ素子は波長可変型半導体レーザ素子であることを特徴とする。

[0032] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体レーザ素子が出力するレーザ光の波長は、前記半導体レーザ素子に供給される駆動電流の大きさで調整されることを特徴とする。

[0033] 本発明の一態様に係るパルスレーザ装置は、前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光の一部の強度をモニタするモニタ部と、前記モニタ部のモニタ結果に基づき、前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光の強度が一定になるように前記半導体光増幅器駆動部を制御する出力一定制御部と、をさらに備えることを特徴とする。

発明の効果

[0034] 本発明によれば、良好なパルス波形のパルスレーザ光を出力することができるパルスレーザ装置を実現できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]図１は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の模式的な構成図である。

[図2]図２は、集積型半導体レーザ素子の模式的な構成図である。

[図3]図３は、図２のＡ－Ａ線断面図である。

[図4]図４は、集積型半導体レーザ素子及び制御部に関連する部分の模式的な

構成図である。

[図5]図５は、ブースターアンプの構成例１を示す模式的な構成図である。

[図6]図６は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の変形例１を説明する図である。

[図7]図７は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の変形例２を説明する図である。

[図8]図８は、ブースターアンプの構成例２を示す模式的な構成図である。

[図9]図９は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の変形例３を説明する図である。

[図10A]図１０Ａは、比較例を説明する図である。

[図10B]図１０Ｂは、実施例を説明する図である。

[図11]図１１は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の模式的な構成図である。

[図12]図１２は、集積型半導体レーザ素子、プリアンプ及び制御部に関連する部分の模式的な構成図である。

[図13]図１３は、半導体光増幅器から出力される光の時間波形を示す図である。

[図14]図１４は、プリアンプから出力される光の時間波形を示す図である。

[図15]図１５は、プリアンプから出力される光の時間波形と反転分布の時間波形との関係を示す図である。

[図16]図１６は、プリアンプから出力される光の時間波形と反転分布の時間波形との関係を示す図である。

[図17]図１７は、プリアンプから出力される光の時間波形と反転分布の時間波形との関係を示す図である。

[図18]図１８は、プリアンプから出力される光の時間波形と反転分布の時間波形との関係を示す図である。

[図19]図１９は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の変形例１を説明する図である。

[図20]図２０は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の変形例２を説明する図である。

[図21]図２１は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の変形例３を説明する図である。

[図22A]図２２Ａは、比較例を説明する図である。

[図22B]図２２Ｂは、実施例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0036] 以下に、図面を参照して本発明に係るパルスレーザ装置の実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、各図面において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。

[0037] （実施の形態１）

図１は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の模式的な構成図である。図１に示すように、パルスレーザ装置１００は、シード光源部１０と、制御部２０と、プリアンプ３０と、ブースターアンプ４０と、出力部５０と、シード光源部１０とプリアンプ３０とブースターアンプ４０と出力部５０とをそれぞれ接続するシングルモード光ファイバ６０、７０、８０とを備えている。パルスレーザ装置１００は出力部５０からパルスレーザ光ＰＬ１を出力する。

[0038] シード光源部１０は、レーザ光を出力する集積型半導体レーザ素子１１と、集積型半導体レーザ素子１１が出力したレーザ光をシングルモード光ファイバ６０に結合させる結合レンズ系１２とを備えている。

[0039] 図２は、集積型半導体レーザ素子１１の模式的な構成図である。集積型半導体レーザ素子１１は、それぞれが単一波長のレーザ光を出力する半導体レーザ素子である複数のＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎ（ｎは２以上の整数、たとえば１２である）と、複数の光導波路１１ｂ－１～１１ｂ－ｎと、光合波器であるＭＭＩ光合波器１１ｃと、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎから出力されるレーザ光を受け付けてこれを増

幅する半導体光増幅器（ＳＯＡ）１１ｄとを一つの半導体基板上にモノリシックに集積し、これらの周囲に埋め込み部１１ｅを形成した構造を有する。また、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎ間には各ＤＦＢレーザストライプを電気的に分離するためのトレンチ溝１１ｆ－１～１１ｆ－ｍ（ｍ＝ｎ－１）が設けられている。また、ここでは複数のＤＦＢレーザストライプを有する形態について説明するが、ＤＦＢレーザストライプは１つでもよく、この場合、トレンチ溝は不要である。ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎを区別しない場合はＤＦＢレーザストライプ１１ａと表記する場合がある。

[0040] ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎは、各々が幅１．３～２．５μｍ、長さ１２００μｍのストライプ状の埋め込み構造を有する端面発光型レーザであり、集積型半導体レーザ素子１１の光出力側の出力端１１ｄａとは反対側の一端において、幅方向に２５μｍピッチで形成されている。ＤＦＢレーザストライプのピッチは、トレンチ溝や電極の作製精度の範囲内で小さく設計する。

ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎは、各ＤＦＢレーザストライプに備えられた回折格子の間隔を互いに異ならせることにより、出力レーザ光の波長が１５５０ｎｍ帯（たとえば１５３０ｎｍ～１５７０ｎｍ）の範囲でたとえば３．５～４ｎｍの間隔で相違するように構成されている。

[0041] 光導波路１１ｂ－１～１１ｂ－ｎは、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎと、ＭＭＩ光合波器１１ｃとの間に形成されており、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎとＭＭＩ光合波器１１ｃとを光学的に接続する。

[0042] 半導体光増幅器１１ｄは、ＭＭＩ光合波器１１ｃの出力ポート１１ｃａに接続されている。半導体光増幅器１１ｄは、幅１．３μｍ～４．０μｍ、長さ１５００μｍ（５００μｍ～２０００μｍ）のストライプ状の埋め込み構造を有する。また、半導体光増幅器１１ｄは、出力端１１ｄａに近づくほどストライプ幅が広くなるフレア構造を有していてもよい。

[0043] 図３は、図２のＡ－Ａ線断面図である。図３に示すように、ＤＦＢレーザストライプ１１ａは、ｎ型ＩｎＰ基板１１ｇ上に、下部クラッド層を兼ねるｎ型ＩｎＰバッファ層１１ｈと、下部ＩｎＧａＡｓＰ－ＳＣＨ層１１ｉと、ＩｎＧａＡｓＰからなる多重量子井戸活性層を有する活性層１１ｊと、上部ＩｎＧａＡｓＰ－ＳＣＨ層１１ｋと、ＩｎＰスペーサ層１１ｌと、回折格子Ｇが形成されたＩｎＧａＡｓＰグレーティング層１１ｍと、ｐ型ＩｎＰクラッド層１１ｎと、が順次積層した構造を有する。ｐ型ＩｎＰクラッド層１１ｎからｎ型ＩｎＰバッファ層１１ｈの途中に到る深さまでは、ＤＦＢレーザストライプ１１ａを構成するメサ構造となっている。メサ構造の幅方向両側は、埋め込み部１１ｅを構成するｐ型ＩｎＰ電流ブロッキング層とｎ型電流ブロッキング層との積層構造により埋め込まれている。

[0044] さらに、ＤＦＢレーザストライプ１１ａは、ｐ型ＩｎＰクラッド層１１ｎおよびｎ型電流ブロッキング層の上に順次形成された、ｐ型ＩｎＰクラッド層１１ｑ、ＩｎＧａＡｓコンタクト層１１ｒを備えている。ＳｉＮ保護膜１１ｓは、ＩｎＧａＡｓコンタクト層１１ｒの表面およびトレンチ溝の内表面を覆うように形成されている。なお、ＩｎＧａＡｓコンタクト層１１ｒの上面のＤＦＢレーザストライプ１１ａに対応する位置には、ＳｉＮ保護膜１１ｓで覆われていない開口部が形成されている。ｐ側電極１１ｔは、この開口部においてＩｎＧａＡｓコンタクト層１１ｒと接触するように形成されている。集積型半導体レーザ素子１１は、さらに、ｎ型ＩｎＰ基板１１ｇの裏面に形成されたｎ側電極１１ｕを備えている。

[0045] ＭＭＩ光合波器１１ｃは、ｎ型ＩｎＰ基板１１ｇ上に、ｎ型ＩｎＰバッファ層１１ｈと、ＩｎＧａＡｓＰコア層１１ｏと、ｉ型ＩｎＰ層１１ｐとが順次積層した構造を有する。ＩｎＧａＡｓＰコア層１１ｏを構成するＩｎＧａＡｓＰの組成は、そのバンドギャップ波長が、ＤＦＢレーザストライプ１１ａのレーザ発振波長より短い波長となるように設定されている。また、ＭＭＩ光合波器１１ｃもＤＦＢレーザストライプ１１ａと同様の埋込メサ構造を有する。

[0046] さらに、ＭＭＩ光合波器１１ｃは、ｉ型ＩｎＰ層１１ｐおよびｎ型電流ブロッキング層の上に順次形成された、ｐ型ＩｎＰクラッド層１１ｑ、ＩｎＧａＡｓコンタクト層１１ｒ、ＳｉＮ保護膜１１ｓを備えている。ＳｉＮ保護膜１１ｓは、ＭＭＩ光合波器１１ｃのＩｎＧａＡｓコンタクト層１１ｒの上面を全て覆うように形成されている。

[0047] なお、光導波路１１ｂ－１～１１ｂ－ｎも、いずれもＭＭＩ光合波器１１ｃと同様の構造を有する。ただし、ＭＭＩ光合波器１１ｃでは、ＩｎＧａＡｓＰコア層１１ｏのコア幅（メサ幅）は、ＭＭＩ光合波器１１ｃとして機能するように設定されている。これに対して、光導波路１１ｂ－１～１１ｂ－ｎでは、対応するＩｎＧａＡｓＰコア層１１ｏのコア幅（メサ幅）は、ＤＦＢレーザストライプ１１ａが出力するレーザ光をシングルモード伝搬するように設定されている。

[0048] 半導体光増幅器１１ｄは、ＤＦＢレーザストライプ１１ａと同様に積層構造及び埋込メサ構造を有する。ただし、半導体光増幅器１１ｄではＩｎＧａＡｓＰグレーティング層１１ｍは積層されていない点が異なる。

[0049] 図４は、集積型半導体レーザ素子１１及び制御部２０に関連する部分の模式的な構成図である。制御部２０は、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎに駆動電流を供給できるように構成された半導体レーザ素子駆動部としてのＤＦＢ駆動部２１と、半導体光増幅器１１ｄにパルス変調された半導体光増幅器駆動電流としての駆動電流Ｓを供給する、半導体光増幅器駆動部としてのＳＯＡ駆動部２２とを備えている。さらに、制御部２０は、ＤＦＢ駆動部２１からＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎへの駆動電流の供給と停止とを切り替える複数のスイッチ部（Ｓ／Ｗ）２３－１～２３－ｎを備えている。スイッチ部２３－１～２３－ｎは、ＤＦＢ駆動部２１からＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎへの駆動電流の供給路の途中にそれぞれ設けられている。スイッチ部２３－１～２３－ｎは、例えばアナログのスイッチング回路で構成されていてもよいし、駆動電流を供給するＤＦＢレーザストライプに接続されたスイッチ部にはゼロオーム抵抗

を設け、駆動電流を供給しないＤＦＢレーザストライプに接続されたスイッチ部は、供給路を開放する、または開放したと同じ効果を発揮する程度の高抵抗値の抵抗を設けることにより構成してもよい。

[0050] ＤＦＢ駆動部２１がスイッチ部２３－１～２３－ｎのうちの１又は複数を介してＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎの１又は複数に駆動電流としてＤＣ電流を供給すると、駆動電流を供給されたＤＦＢレーザストライプはレーザ発振し、ＣＷのレーザ光を出力する。なお、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎが出力するレーザ光の波長は、それぞれに供給される駆動電流の大きさで調整することができる。例えば、駆動電流を大きくすると、ＤＦＢレーザストライプの温度が高くなり、レーザ光の波長は長波長側にシフトする。

[0051] つぎに、ＭＭＩ光合波器１１ｃは、光導波路１１ｂ－１～１１ｂ－ｎのうちの１又は複数を介して入力された複数のレーザ光を合波（レーザ光が１の場合は単に透過）して半導体光増幅器１１ｄに出力する。半導体光増幅器１１ｄはレーザ光を受け付けてこれを増幅して出力する。

[0052] ここで、半導体光増幅器１１ｄは、ＳＯＡ駆動部２２からパルス変調された駆動電流Ｓを供給されて直接変調駆動されているので、受け付けたＣＷのレーザ光をパルスレーザ光ＰＬ２として出力する。なお、パルスレーザ光ＰＬ２のパルス幅やデューティー比は、駆動電流Ｓのパルス幅やデューティー比の調整により調整することができる。パルスレーザ光ＰＬ２がナノ秒オーダーのパルス幅の場合、半導体光増幅器１１ｄをパルス変調された駆動電流で駆動しても、パルスレーザ光ＰＬ２は良好なパルス波形を有するものとなる。

[0053] 以下、図１を参照して説明する。シード光源部１０において、結合レンズ系１２は、集積型半導体レーザ素子１１の半導体光増幅器１１ｄから出力されたパルスレーザ光ＰＬ２をシングルモード光ファイバ６０に結合させる。シングルモード光ファイバ６０はパルスレーザ光ＰＬ２を基底モードであるシングルモードで伝搬してプリアンプ３０に入力させる。

[0054] 光ファイバ増幅器としてのプリアンプ３０は、パルスレーザ光ＰＬ２の波長の光に対して光増幅作用を有する例えばエルビウムを添加した希土類添加光ファイバ増幅器等の公知の光ファイバ増幅器である。プリアンプ３０は、パルスレーザ光ＰＬ２を受け付けてこれを増幅してシングルモード光ファイバ７０に出力する。シングルモード光ファイバ７０は増幅されたパルスレーザ光ＰＬ２を基底モードであるシングルモードで伝搬してブースターアンプ４０に入力させる。

[0055] ブースター光ファイバ増幅器としてのブースターアンプ４０は、好ましくはプリアンプ３０よりも最高出力が高い光ファイバ増幅器であり、増幅されたパルスレーザ光ＰＬ２を受け付けてこれをさらに増幅してシングルモード光ファイバ８０に出力する。シングルモード光ファイバ８０はさらに増幅されたパルスレーザ光ＰＬ２を基底モードであるシングルモードで伝搬する。出力部５０は、集光レンズまたはコリメートレンズ等のレンズを備えた公知のレーザヘッドで構成されており、シングルモード光ファイバ８０が伝搬した更に増幅されたパルスレーザ光ＰＬ２をパルスレーザ光ＰＬ１として出力する。パルスレーザ装置１００をレーザ加工に用いる場合は、パルスレーザ光ＰＬ１は、出力部５０の集光レンズによって加工対象に集光され、所望の加工処理に使用される。

[0056] 以上説明したように、パルスレーザ装置１００は、良好なパルス波形を有するパルスレーザ光ＰＬ２をシード光として用いているので、良好なパルス波形を有するパルスレーザ光ＰＬ１を出力することができる。これにより、光学部品の破損や加工対象の破損を抑制できるし、良好な加工状態も得ることができる。

[0057] また、駆動させるＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎを変更することで、パルスレーザ光ＰＬ１の波長を容易に変更できる。

[0058] また、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎのうち複数からレーザ光を出力させる場合、１つのレーザ光当たりの光強度が低下するので、シード光源部１０以降の光ファイバ、特に、ブースターアンプ４０やシング

ルモード光ファイバ８０内での非線形光学効果の発生を抑制することができる。さらには、波長の異なる複数のレーザ光が同期した状態のパルスレーザ光ＰＬ２を同期ずれなく容易に得ることができる。

[0059] また、レンズは、一般的に光の波長により焦点距離が異なる。したがって、パルスレーザ装置１００をレーザ加工に使用する場合、加工対象に対してレーザ光ＰＬ１の位置合わせをした後に、駆動させるＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎを変更することでパルスレーザ光ＰＬ１の波長を変更すれば、出力部５０の集光レンズによるパルスレーザ光ＰＬ１の焦点位置を自由に切り替えることが可能である。例えば、集光レンズによる焦点距離の最も短い波長のパルスレーザ光ＰＬ１で加工対象に焦点を合わせた後、加工の深度に合わせてより焦点距離の長い波長のパルスレーザ光ＰＬ１に順次切り替えて加工することで、効率のよい加工や良好な加工形状を得ることが可能である。あるいは、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎから波長の異なる複数のレーザ光を同時に出力させることで、パルスレーザ光ＰＬ１には同時に複数の焦点位置のレーザ光成分が含まれることとなるので、効率のよい加工や良好な加工形状を得ることが可能である。パルスレーザ装置１００で得られる、レーザ光成分の焦点位置の差は、例えば１００～数百ｎｍ程度である。さらに、出力部５０でより色収差の大きな集光レンズを用いることで、より大きな焦点位置の差を得ることが可能である。

[0060] 図５は、ブースターアンプの構成例１を示す模式的な構成図である。ブースターアンプ４０は、励起光源４１と、光合波器４２と、有効モード断面積拡大部としてのモード変換部４３と、有効モード断面積拡大光増幅ファイバとしての光増幅ファイバ４４と、有効モード断面積縮小部としてのモード変換部４５と、を備えている。

[0061] 励起光源４１は、光増幅ファイバ４４に供給する励起光を出力するものである。励起光源４１は、たとえば励起光として、数十Ｗクラスのパワーを有し、エルビウムを励起できる波長である１．４８μｍ波長帯（例えば１．４５～１．４９μｍ）のレーザ光を出力するカスケードラマンレーザで構成さ

れる。

[0062] 光合波器４２は、シングルモード光ファイバ７０が基底モードで伝搬したパルスレーザ光ＰＬ２と励起光とを合波してモード変換部４３に出力するものであり、例えばＷＤＭカプラやＴＦＢ（Tapered Fiber Bundle）で構成される。

[0063] モード変換部４３は、例えば特許文献５に開示される長周期グレーティングであり、入力を受け付けたパルスレーザ光ＰＬ２及び励起光の伝搬モードを基底モード（ＬＰ０１モード）から高次モード（Higher Order Mode：ＨＯＭ）に変換することにより、パルスレーザ光ＰＬ２及び励起光の有効モード断面積を拡大する。

[0064] 光増幅ファイバ４４は、例えば特許文献５に開示される光ファイバであり、パルスレーザ光ＰＬ２の波長の光に対して光増幅作用を有する例えばエルビウムを添加した希土類添加光ファイバである。光増幅ファイバ４４は、励起光によって光励起された希土類元素の光増幅作用により、高次モードのパルスレーザ光ＰＬ２をシングルモードで伝搬しながら増幅してモード変換部４５に出力する。このように、光増幅ファイバ４４内では、パルスレーザ光ＰＬ２は、有効モード断面積が拡大された状態で増幅されながら伝搬するので、パルスレーザ光ＰＬ２による光増幅ファイバ４４内での非線形光学現象の発生が抑制される。なお、光増幅ファイバ４４内を伝搬するパルスレーザ光ＰＬ２の有効モード断面積は、高次モードがＬＰ０１０モードの場合、例えば１６７７μm^2であり、光ファイバ通信で使用される標準的なシングルモード光ファイバの場合の有効モード断面積である例えば５５μm^2より格段に大きい。

[0065] モード変換部４５は、例えば特許文献５に開示される長周期グレーティングであり、光増幅ファイバ４４内を高次モードで伝搬してきたパルスレーザ光ＰＬ２を受け付け、その伝搬モードを基底モードに変換し、シングルモード光ファイバ８０に出力する。これにより、パルスレーザ光ＰＬ２は高い結合効率でシングルモード光ファイバ８０に結合される。

[0066] なお、モード変換部４３、４５は、長周期グレーティングに限らず、例えば特許文献６に開示されるバイナリ位相板で構成してもよい。バイナリ位相板は、例えば同心円状の溝を有する石英ガラス板であり、高次モードのパルスレーザ光ＰＬ２のビーム内での位相の飛びを補正することにより、入力された高次モードの光をガウシアン形状の基底モードの光に変換でき、逆に入力された基底モードの光を高次モードの光に変換したりすることができる。

[0067] バイナリ位相板は、パルスレーザ光ＰＬ２が出力される側の光ファイバに直接取り付けてもよいし、光ファイバとの間にレンズ等の拡大光学系を介在させてもよい。また、高次モードを入力する場合、バイナリ位相板を透過したパルスレーザ光ＰＬ２を入力させる４ｆレンズ系を設けるとともに、ビームの外周側に同心円状に存在するペデスタル成分を遮断する絞りを設けて、ガウシアン形状の基底モードに変換するようにしてもよい。

[0068] （変形例１）

図６は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の変形例１を説明する図である。本変形例１に係るパルスレーザ装置は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置１００におけるシード光源部１０、制御部２０をそれぞれシード光源部１０Ａ、制御部２０Ａに置き換えたものである。

[0069] シード光源部１０Ａは、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎを載置する、ペルチェ素子等の電子冷却素子（ＴＥＣ）１３を備えている。また、制御部２０Ａは、電子冷却素子１３に駆動電流を供給するＴＥＣ制御部２４を備えている。さらに、制御部２０Ａは、ＤＦＢ駆動部２１に代えて、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎのそれぞれに駆動電流を供給できるように構成された複数のＤＦＢ駆動部２１Ａ－１～２１Ａ－ｎを備えている。

[0070] 本変形例１に係るパルスレーザ装置では、電子冷却素子１３により一括してＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎの温度を調整することにより、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎから出力されるレーザ光の波長を一括して調整することができる。また、ＤＦＢレーザストライ

プ１１ａ－１～１１ａ－ｎは対応するＤＦＢ駆動部２１Ａ－１～２１Ａ－ｎにより個別に電流を供給されることができる。

[0071] （変形例２）

図７は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の変形例２を説明する図である。本変形例２に係るパルスレーザ装置は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置１００におけるシード光源部１０、制御部２０をそれぞれシード光源部１０Ｂ、制御部２０Ｂに置き換えたものである。

[0072] シード光源部１０Ｂは、シード光源部１０の構成に加えて、集積型半導体レーザ素子１１から出力されたパルスレーザ光ＰＬ２の一部を分岐して出力する分岐手段としての反射ミラー１４と、分岐した部のレーザ光の強度をモニタするモニタ部１５としてのＰＤ（Photo Detector）とを備えている。また、制御部２０Ｂは、制御部２０の構成に加え、出力一定制御部２５を備えている。

[0073] 本変形例２に係るパルスレーザ装置では、モニタ部１５は、モニタした光の強度に応じた電流信号を、モニタ結果として出力一定制御部２５に出力する。出力一定制御部２５は、入力された電流信号に基づき、集積型半導体レーザ素子１１から出力されるパルスレーザ光ＰＬ２の強度が一定になるようにＳＯＡ駆動部２２を制御する。具体的には、出力一定制御部２５は、集積型半導体レーザ素子１１から出力されるパルスレーザ光ＰＬ２の強度が一定になるように、ＳＯＡ駆動部２２に対して、半導体光増幅器１１ｄに供給する電流値を指示する指示値を出力する。なお、このような出力一定制御は、パワーフィードバック制御とも呼ばれるが、出力一定制御部２５が公知のＰＩ制御やＰＩＤ制御を行う回路を備えることにより実現できる。これにより、シード光源部１０Ｂから出力されるシード光としてのパルスレーザ光ＰＬ２の強度が安定する。

[0074] （ブースターアンプの構成例２）

図８は、ブースターアンプの構成例２を示す模式的な構成図である。図８に示すブースターアンプ４０Ａは、図５に示すブースターアンプ４０におい

て、モード変換部４３をモード変換部４３Ａに置き換え、光増幅ファイバ４４を光増幅ファイバ４４Ａに置き換え、モード変換部４５を削除した構成を有する。また、本構成例２では、出力部５０は光増幅ファイバ４４Ａに接続されている。

[0075] 有効モード断面積拡大部としてのモード変換部４３Ａは、シングルモード光ファイバ７０から入力を受け付けたパルスレーザ光ＰＬ２及び励起光源４１から出力された励起光の伝搬モードを、基底モード（ＬＰ０１モード）から、高次モードを含むマルチモードに変換することにより、パルスレーザ光ＰＬ２及び励起光の有効モード断面積を拡大する。なお、モード変換部４３Ａは、光合波器４２の出力側のシングルモード光ファイバと光増幅ファイバ４４Ａとの融着接続部で構成することができる。

[0076] 光増幅ファイバ４４Ａは、例えば非特許文献１に開示される光ファイバであり、基底モードにおいて、少なくとも光ファイバ通信で使用される標準的なシングルモード光ファイバよりも大きい、拡大された有効モード断面積を有する中心コアと、高次モードの成分を漏洩するサテライトコアとを有する。また、光増幅ファイバ４４Ａは、パルスレーザ光ＰＬ２の波長の光に対して光増幅作用を有する例えばエルビウムを中心コアに添加した希土類添加光ファイバである。光増幅ファイバ４４Ａは、入力されたマルチモードのパルスレーザ光ＰＬ２のうち高次モードの成分をサイドコアから漏洩しつつ、励起光によって光励起された希土類元素の光増幅作用により、基底モードの成分を中心コアにてシングルモードで伝搬しながら増幅し、出力部５０から外部へ出力する。このように、光増幅ファイバ４４Ａ内では、パルスレーザ光ＰＬ２は、有効モード断面積が拡大された状態で増幅されながら伝搬するので、パルスレーザ光ＰＬ２による光増幅ファイバ４４Ａ内での非線形光学現象の発生が抑制される。

[0077]（変形例３）

図９は、実施の形態１に係るパルスレーザ装置の変形例３を説明する図である。本変形例３に係るパルスレーザ装置では、実施の形態１に係るパルス

レーザ装置１００における集積型半導体レーザ素子１１を半導体レーザ素子ユニット１１Ａに置き換えたものである。

[0078] 半導体レーザ素子ユニット１１Ａは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎ（ｎは２以上の整数）と、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１～１１Ａｃ－ｎとを備えている。ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎは、互いに異なる波長を有する１μｍ帯（例えば１．０～１．１μｍ）のレーザ光を出力するように構成されている。なお、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎは、出力するレーザ光の波長が短い順または長い順に並んでいることが好ましい。また、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎはスイッチ部２３－１～２３－ｎを介してＤＦＢ駆動部２１から駆動電流を供給される。

[0079] ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１～１１Ａｃ－ｎは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を合波できるように構成されている。例えば、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１は、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１から出力されるレーザ光を反射し、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－２～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を透過するような波長特性を有する。ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－２は、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－２から出力されるレーザ光を反射し、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－３～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を透過するような波長特性を有する。以降、同様にして、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－ｎは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を反射するような波長特性を有する。これにより、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１～１１Ａｃ－ｎは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を合波し、半導体光増幅器１１ｄに入力する。なお、本変形例３では、半導体光増幅器１１ｄは１μｍ帯のレーザ光を増幅できるように構成されている。半導体光増幅器１１ｄに入力されたレーザ光は、半導体光増幅器１１ｄからパルス変調及び増幅を受け、シード光としてのパルスレーザ光ＰＬ２として出力される。

[0080] なお、本変形例３に係るパルスレーザ装置では、プリアンプ３０及びブー

スターアンプ４０も、１μｍ帯のレーザ光を増幅できるように構成されている。そのため、各アンプ３０、４０に添加される希土類元素は例えばイッテルビウムである。また、プリアンプ３０及びブースターアンプ４０で使用される励起光源は、イッテルビウムを光励起できる波長の励起光を出力できるものであり、例えば波長９１５ｎｍの励起光を出力する半導体レーザで構成される。

[0081] 図１０Ａ、１０Ｂは、それぞれ、本発明の比較例、実施例を説明する図である。図１０Ａは、比較例として、図１、図４に示す構成のパルスレーザ装置において、ＤＦＢ駆動部によりＤＦＢレーザストライプの１つにパルス変調された駆動電流を供給して直接変調した場合のシード光のパルス波形を示している。図１０Ｂは、実施例として、図１、図４に示す構成のパルスレーザ装置において、ＳＯＡ駆動部により半導体光増幅器にパルス変調された駆動電流を供給して直接変調した場合のシード光のパルス波形を示している。なお、横軸は時間であり、縦軸は測定したパルス波形の光強度を電圧で示したものである。

[0082] 図１０Ａ、１０Ｂに示すように、比較例ではパルス変調によるパルス波形の他にプリパルスが発生しているが、実施例ではプリパルスの無い良好なパルス波形が得られた。

[0083] （実施の形態２）

図１１は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の模式的な構成図である。図１１に示すように、パルスレーザ装置２００は、シード光源部１０と、制御部２２０と、プリアンプ２３０と、ブースターアンプ４０と、出力部５０と、シード光源部１０とプリアンプ２３０とブースターアンプ４０と出力部５０とをそれぞれ接続するシングルモード光ファイバ６０、７０、８０と、プリアンプ２３０の後段であって、シングルモード光ファイバ７０の途中に設けられた光バンドパスフィルタ９０と、を備えている。パルスレーザ装置２００は出力部５０からパルスレーザ光ＰＬ３を出力する。

[0084] シード光源部１０は実施の形態１に係るパルスレーザ装置１００が備える

ものと同じなので説明を省略する。

[0085] 図１２は、集積型半導体レーザ素子１１、制御部２２０及びプリアンプ２３０に関連する部分の模式的な構成図である。以下、まずプリアンプ２３０の構成について説明し、つぎに制御部２２０の構成について説明する。

[0086] プリアンプ２３０は、後に詳述する、集積型半導体レーザ素子１１が出力するシード光としてのパルスレーザ光ＰＬ４の波長の光に対して、誘導放出による光増幅作用を有する光ファイバ増幅器である。プリアンプ２３０は、励起光源２３１と、光合波器２３２と、光増幅ファイバ２３３と、を備えている。

[0087] 励起光源２３１は、光増幅ファイバ２３３に供給する励起光を出力するものである。励起光源２３１は、たとえば励起光として、エルビウムを励起できる波長である１．４８μｍ波長帯や０．９８μｍ波長帯のレーザ光を出力する半導体レーザ素子で構成される。

[0088] 光合波器２３２は、集積型半導体レーザ素子１１が出力しシングルモード光ファイバ６０が伝搬したパルスレーザ光ＰＬ４と励起光とを合波して光増幅ファイバ２３３に出力するものであり、例えばＷＤＭカプラやＴＦＢで構成される。

[0089] 光増幅ファイバ２３３は、パルスレーザ光ＰＬ４の波長の光に対して誘導放出による光増幅作用を有するエルビウムを添加することにより、光増幅作用を付与された希土類添加光ファイバである。光増幅ファイバ２３３は、励起光によって光励起された希土類元素（エルビウム）の誘導放出による光増幅作用により、パルスレーザ光ＰＬ４を伝搬しながら増幅してシングルモード光ファイバ７０に出力する。

[0090] 制御部２２０は、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎに、パルス変調された半導体レーザ素子駆動電流としてのＤＦＢ駆動電流Ｓ１を供給できるように構成された、半導体レーザ素子駆動部としてのＤＦＢ駆動部２２１と、半導体光増幅器１１ｄに、パルス変調された半導体光増幅器駆動電流としてのＳＯＡ駆動電流Ｓ２を供給する半導体光増幅器駆動部としての

ＳＯＡ駆動２２２と、プリアンプ２３０の励起光源２３１にパルス変調された励起光源駆動電流Ｓ３を供給する励起光源駆動部２２３とを備えている。これらの駆動部は公知のレーザ駆動回路等を用いて構成することができる。また、制御部２２０は、これらの駆動部の制御のための各種演算処理を行う演算処理部と、演算処理部が演算処理を行うために使用する各種プログラムやデータ等が格納されるＲＯＭなどの記憶部と、演算処理部が演算処理を行う際の作業スペースや演算処理部の演算処理の結果等を記憶する等のために使用されるＲＡＭなどの記憶部とを備えている。

[0091] さらに、制御部２２０は、ＤＦＢ駆動部２２１からＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎへの駆動電流の供給と停止とを切り替える複数のスイッチ部２２３－１～２２３－ｎを備えている。スイッチ部２２３－１～２２３－ｎは、ＤＦＢ駆動部２２１からＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎへのＤＦＢ駆動電流Ｓ１の供給路の途中にそれぞれ設けられている。スイッチ部２２３－１～２２３－ｎは、例えばアナログのスイッチング回路で構成されていてもよいし、駆動電流を供給するＤＦＢレーザストライプに接続されたスイッチ部にはゼロオーム抵抗を設け、駆動電流を供給しないＤＦＢレーザストライプに接続されたスイッチ部は、供給路を開放する、または開放したと同じ効果を発揮する程度の高抵抗値の抵抗を設けることにより構成してもよい。

[0092] ＤＦＢ駆動部２２１がスイッチ部２２３－１～２２３－ｎのうちの１又は複数を介してＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎの１又は複数にＤＦＢ駆動電流Ｓ１を供給すると、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１を供給されたＤＦＢレーザストライプは直接変調駆動されてレーザ発振し、オン状態とオフ状態とを繰り返すパルスレーザ光を出力する。なお、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎが出力するレーザ光の波長は、それぞれに供給される駆動電流の大きさで調整することができる。例えば、駆動電流を大きくすると、ＤＦＢレーザストライプの温度が高くなり、レーザ光の波長は長波長側にシフトする。

[0093] つぎに、ＭＭＩ光合波器１１ｃは、光導波路１１ｂ－１～１１ｂ－ｎのうちの１又は複数を介して入力された複数のレーザ光を合波（レーザ光の数が１の場合は単に透過）して半導体光増幅器１１ｄに出力する。半導体光増幅器１１ｄはレーザ光を受け付ける。

[0094] ここで、半導体光増幅器１１ｄは、ＳＯＡ駆動部２２２からＳＯＡ駆動電流Ｓ２を供給されて直接変調駆動されている。さらに、制御部２２０は、ＤＦＢ駆動部２２１とＳＯＡ駆動部２２２とを協調制御して、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス変調とＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調とを同期させている。具体的には、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のオン状態とオフ状態の周期と、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２のオン状態とオフ状態の周期とは同じとされている。また、パルス変調の位相は、ＤＦＢレーザストライプが出力したパルスレーザ光が半導体光増幅器１１ｄに入力されたときには、オン状態のＳＯＡ駆動電流Ｓ２が半導体光増幅器１１ｄに供給されて半導体光増幅器１１ｄが光増幅可能な状態になっているように調整されている。これにより、パルス変調されたＳＯＡ駆動電流Ｓ２により駆動された半導体光増幅器１１ｄはＤＦＢレーザストライプが出力したパルスレーザ光を増幅してパルスレーザ光ＰＬ４として出力することができる。なお、パルスレーザ光ＰＬ４のパルス幅やデューティー比は、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス幅やデューティー比の調整により調整することができる。

[0095] 図１１に戻る。シード光源部１０において、結合レンズ系１２は、集積型半導体レーザ素子１１の半導体光増幅器１１ｄから出力されたパルスレーザ光ＰＬ４をシングルモード光ファイバ６０に結合させる。シングルモード光ファイバ６０はパルスレーザ光ＰＬ４を基底モードであるシングルモードで伝搬してプリアンプ２３０に入力させる。

[0096] ここで、プリアンプ２３０の励起光源２３１は、励起光源駆動部２２３から励起光源駆動電流Ｓ３を供給されて直接変調駆動されている。さらに、制御部２２０は、上述したＤＦＢ駆動部２２１とＳＯＡ駆動部２２２とに加えて、励起光源駆動部２２３も協調制御して、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス変

調とＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調と励起光源駆動電流Ｓ３のパルス変調とを同期させている。具体的には、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のオン状態とオフ状態の周期と、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２のオン状態とオフ状態の周期と、励起光源駆動電流Ｓ３のオン状態とオフ状態の周期とは同じとされている。また、パルス変調の位相は、半導体光増幅器１１ｄが出力したパルスレーザ光ＰＬ４がプリアンプ２３０の光増幅ファイバ２３３に入力されたときには、オン状態の励起光源駆動電流Ｓ３が励起光源２３１に供給されることで励起光が光増幅ファイバ２３３に供給され、光増幅ファイバ２３３が光励起されて光励起状態（光増幅が可能な状態）になっているように調整されている。これにより、パルス変調された励起光源駆動電流Ｓ３により駆動された励起光源２３１により光励起された光増幅ファイバ２３３がパルスレーザ光ＰＬ４を増幅して出力することができる。

[0097] シングルモード光ファイバ７０はプリアンプ２３０により増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４を基底モードであるシングルモードで伝搬してブースターアンプ４０に入力させる。ここで、シングルモード光ファイバ７０の途中に設けられた光バンドパスフィルタ９０は、ＤＦＢレーザストライプから出力されるレーザ光の波長の光を選択的に透過するようにその透過帯域幅が設定されている。特に、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎのうち複数からレーザ光を出力させる場合、この複数のレーザ光の全てを選択的に透過するようにその透過帯域幅が設定される。なお、このような光バンドパスフィルタ９０は、パルスレーザ装置１００のプリアンプ３０の後段であって、シングルモード光ファイバ７０の途中に設けてもよい。

[0098] ブースターアンプ４０は、好ましくはプリアンプ２３０よりも最高出力が高い光ファイバ増幅器であり、増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４を受け付けてこれをさらに増幅してシングルモード光ファイバ８０に出力する。シングルモード光ファイバ８０はさらに増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４を基底モードであるシングルモードで伝搬する。出力部５０は、シングルモード光ファイバ８０が伝搬した更に増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４をパルスレーザ

光ＰＬ３として出力する。

[0099] つぎに、パルスレーザ装置２００において半導体光増幅器１１ｄから出力されるパルスレーザ光ＰＬ４およびプリアンプ２３０から出力される増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４の時間波形について説明する。

図１３は、半導体光増幅器１１ｄから出力されるパルスレーザ光ＰＬ４の時間波形を示す図である。符号ＲＴはＤＦＢ駆動電流Ｓ１およびＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調の繰り返し時間である。繰り返し時間ＲＴは１ｓから１μｓオーダーであり、０．１μｓ以上程度である。すなわち、繰り返し周波数としては１Ｈｚから１ＭＨｚオーダーであり、１０ＭＨｚ以下程度である。符号ＰＷ１はＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス幅であり、パルス幅ＰＷ１はたとえば１０ｎｓ～１００ｎｓである。符号ＰＷ２はＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス幅であり、パルス幅ＰＷ２はたとえば０．１ｎｓ～２ｎｓである。したがって、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１の変調パルス幅が、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２の変調パルス幅よりも大きく設定されている。なお、パルスレーザ光ＰＬ４のパルス幅はＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス幅と略同じであるので、以下ではパルス幅ＰＷ２で表す。また、符号ＰＰはＤＦＢレーザストライプの緩和振動によるサージ状のプリパルスである。

[0100] ＤＦＢレーザストライプがＤＦＢ駆動電流Ｓ１により直接変調駆動されると、パルス幅ＰＷ１の期間だけ駆動してレーザ発振する。なお、ＤＦＢレーザストライプが出力するパルスレーザ光のパルス幅はＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス幅と略同じであるので、以下ではパルス幅ＰＷ１で表す。また、半導体光増幅器１１ｄがＳＯＡ駆動電流Ｓ２により直接変調駆動されると、パルス幅ＰＷ２の期間だけ駆動して光増幅作用を発揮する。半導体光増幅器１１ｄが駆動してないとき（オフ状態のとき）にはＤＦＢレーザストライプから出力されるパルスレーザ光は半導体光増幅器１１ｄにほとんど吸収される。その結果、半導体光増幅器１１ｄからは吸収されなかった分の光が出力され、線Ｌ１で示すレベルの光強度となる。一方、半導体光増幅器１１ｄが駆動されている（オン状態のとき）にはＤＦＢレーザストライプから出力される

パルスレーザ光は半導体光増幅器１１ｄにより増幅される。その結果、半導体光増幅器１１ｄからは、線Ｌ１で示すレベルよりも強度Ｄ１だけ高いレベルの光強度のパルスレーザ光ＰＬ４が出力される。

[0101] 上述したように、制御部２２０は、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス変調とＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調とを同期させている。これにより、パルスレーザ装置２００は、所定の繰り返し時間ＲＴで増幅された高いレベルのパルスレーザ光ＰＬ４を出力できる。

[0102] また、パルスレーザ装置２００では、ＤＦＢレーザストライプを直流で駆動し、ＣＷレーザ発振させる場合よりも高い消光比が得られる。具体的には、ＤＦＢレーザストライプをＣＷレーザ発振させると、半導体光増幅器１１ｄからは常に線Ｌ１で示すレベルの光強度のレーザ光が出力される。このようなＣＷレーザ光の時間積分値は繰り返し時間ＲＴに対するパルス幅ＰＷ２の比（デューティー比）が大きくなるほど、半導体光増幅器１１ｄから出力される増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４のＳＮＲを低下させる。これに対して、パルスレーザ装置２００では、ＤＦＢレーザストライプをパルス変調駆動しているので、レーザ光の時間的蓄積が抑制されるため、高いＳＮＲが得られる。

[0103] たとえば、パルス幅ＰＷ２が２ｎｓであり、繰り返し時間ＲＴが２０μｓであり、これらのデューティー比が１００００であるとする。この場合、半導体光増幅器１１ｄのパルス変調によるパルスレーザ光の光強度と、ＣＷレーザ光の光強度の強度比が６０ｄＢであったとしても、ＣＷレーザ光の時間的蓄積により、時間積分するとそのエネルギー比は２０ｄＢとなる。このことは、パルスレーザ光の出力をオフ状態としている時間帯にも、パルスレーザ光の光強度の１％相当の光強度のレーザ光が出力されていることに相当し、ＳＮＲが低い状態であり好ましくない。たとえば、パルスレーザ装置をレーザ加工に用いる場合、加工のためのパルスレーザ光をオフ状態にしている時間帯にも、パルスレーザ光以外の成分が加工対象のワークに照射されてしまうこととなり、好ましくない。

[0104] これに対して、パルスレーザ装置２００では、パルス幅ＰＷ１を２０ｎｓとすると、半導体光増幅器１１ｄにより増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４と、線Ｌ１で示すレベルのパルス幅ＰＷ１のパルスレーザ光とのエネルギー比は、時間積分しても５０ｄＢとなり、ＳＮＲが高い状態となる。また、パルスレーザ光の出力がオフ状態における線Ｌ１で示すレベルが低下するので、消光比は６０ｄＢ以上となる。

[0105] また、ＤＦＢレーザストライプや半導体光増幅器１１ｄは変調速度をサブｎｓ程度のパルス幅を得るまで高速化できるので、パルスレーザ装置２００は短パルス光を高い消光比で出力することができる。特に、半導体光増幅器１１ｄはパルス変調された駆動電流で駆動しても緩和振動が発生しないので、サブｎｓ～ナノ秒オーダーのパルス幅ＰＷ２であっても、パルスレーザ光ＰＬ４は良好なパルス波形を有するものとなる。

[0106] また、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス変調とＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調と励起光源駆動電流Ｓ３のパルス変調とを同期させる際には、図１３に示すようにプリパルスＰＰと増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４とが時間的に重畳しないように同期させることが好ましい。これにより、増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４はプリパルスＰＰによるサージを含まない良好な波形となる。

[0107] つぎに、図１４は、プリアンプ２３０から出力される光の時間波形を示す図である。なお、図１４では、パルス幅ＰＷ２の部分の図示を省略している。符号ＰＷ３は励起光源駆動電流Ｓ３のパルス幅であり、パルス幅ＰＷ３はたとえば数μｓである。したがって、励起光源駆動電流Ｓ３の変調パルス幅が、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２の変調パルス幅およびＤＦＢ駆動電流Ｓ１の変調パルス幅よりも大きく設定されている。

[0108] 励起光源２３１が励起光源駆動電流Ｓ３により直接変調駆動されると、パルス幅ＰＷ３の期間だけ駆動してパルス状の励起光を光増幅ファイバ２３３に供給し、光増幅ファイバ２３３は光増幅作用を発揮する。なお、励起光のパルス幅は励起光源駆動電流Ｓ３のパルス幅と略同じであるので、以下では

励起光のパルス幅もパルス幅ＰＷ３で表す。光増幅ファイバ２３３は光増幅作用を発揮している期間は、後述する光増幅ファイバ２３３内のエルビウムの反転部分の大きさに応じた強度のＡＳＥ（Amplified Spontaneous Emission）光を出力する。その結果、プリアンプ２３０から出力される光は、線Ｌ２で示すレベルに到達するＡＳＥ光と、プリアンプ２３０により増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４とが重畳したものとなる。

[0109] 上述したように、制御部２２０は、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１のパルス変調とＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調と励起光源駆動電流Ｓ３のパルス変調とを同期させている。これにより、パルスレーザ装置２００は、所定の繰り返し時間ＲＴで、さらに増幅された高いレベルのパルスレーザ光ＰＬ４を出力できる。

[0110] また、パルスレーザ装置２００では、励起光源２３１を直流で駆動し、励起光源２３１をＣＷレーザ光とし、プリアンプ２３０を常に光励起状態としておく場合よりも高い消光比が得られる。具体的には、プリアンプ２３０を常に光励起状態としておくと、プリアンプ２３０からは、常にＡＳＥ光が出力される。このようなＡＳＥ光の時間積分値は繰り返し時間ＲＴに対するパルス幅ＰＷ２の比（デューティー比）が大きくなるほど、プリアンプ２３０から出力される増幅されたパルスレーザ光ＰＬ４のＳＮＲを悪化させる。これに対して、パルスレーザ装置２００では、励起光源２３１をパルス変調駆動しているので、ＡＳＥ光の時間的蓄積が抑制されるため、高いＳＮＲが得られる。

[0111] つぎに、プリアンプ２３０から出力されるＡＳＥ光の強度と光増幅ファイバ２３３内でのエルビウムの反転分布との関係について説明する。図１５は、プリアンプ２３０から出力される光の光強度の時間波形と、光増幅ファイバ２３３内でのエルビウムのレーザ準位における反転分布の時間波形（線Ｌ３で示す）を示す図である。ここで、反転分布は、反転分布係数を意味する。なお、図１５では、パルスレーザ光ＰＬ４は線状に記載しているが、実際には図１３に示すようにパルス幅ＰＷ１を有している。また、繰り返し時間

は２０μｓとする。

[0112] 図１５に示すように、反転分布は、励起光が光増幅ファイバ２３３に入力されると徐々に高くなり、励起光が入力されてから時間ｔ１で反転分布は略飽和し、線Ｌ４で示すレベルまで到達する。なお、時間ｔ１を緩和時間とする。緩和時間ｔ１は例えばμｓのオーダーである。図１５に示す例では、光増幅ファイバ２３３において反転分布が略飽和してからパルスレーザ光ＰＬ４が入力されるので、パルスレーザ光ＰＬ４は誘導放出により十分に光増幅される。パルスレーザ光ＰＬ４が増幅された直後は励起状態にあったエルビウムが一気に基底状態に戻るので反転分布は一気にゼロになる。その後続けて入力される励起光により反転分布は再び徐々に上昇し、励起光の入力が停止する（オフ状態になる）と反転分布は徐々にゼロまで減少する。

[0113] つぎに、図１６は、プリアンプ２３０から出力される光の光強度の時間波形と、光増幅ファイバ２３３内でのエルビウムのレーザ準位における反転分布の時間波形（線Ｌ５で示す）を示す図である。ただし、繰り返し時間は図１５の場合の２０μｓとは異なり、１０μｓと短くされ、高速変調にされている。

[0114] 繰り返し時間を１０μｓと短くした場合、２０μｓの場合と同様のＳＮＲを維持するためには、励起光源駆動電流Ｓ３の変調パルス幅をパルス幅ＰＷ３の１／２程度のパルス幅のパルス幅ＰＷ４にすることが好ましい。しかし、この場合、図１６に示すように、光増幅ファイバ２３３に励起光が入力されてからパルスレーザ光ＰＬ４が入力されるまでの時間が緩和時間ｔ１より短いため、反転分布が線Ｌ４で示すレベルに到達する前にパルスレーザ光ＰＬ４が入力される。この場合、反転分布が図１５の場合よりも小さいため、パルスレーザ光ＰＬ４の光増幅の程度も図１５の場合よりも小さくなり、その光強度も小さくなる。

[0115] この場合、励起光源駆動電流Ｓ３を大きくすることが好ましい。図１７は、プリアンプ２３０から出力される光の光強度の時間波形を示しているが、励起光源駆動電流Ｓ３を大きくしているため、ＡＳＥ光のレベルが図１５、

図１６に示す線Ｌ２のレベルより高い線Ｌ６のレベルとなっている。このように励起光源駆動電流Ｓ３を大きくすると、図１７に線Ｌ７で示す反転分布の時間的な増加率が、図１６に線Ｌ５で示す反転分布の時間的な増加率よりも高くなる。なお、比較のため線Ｌ５は図１７にも破線で示している。そのため、反転分布は光増幅ファイバ２３３にパルスレーザ光ＰＬ４が入力されるまでに線Ｌ４で示すレベルまで到達するため、パルスレーザ光ＰＬ４の光増幅の程度やその光強度も図１５の場合と同程度に維持される。このように、制御部２２０の制御により、励起光源駆動電流Ｓ３の変調パルス幅が短い程、励起光源駆動電流Ｓ３を大きくすることが、プリアンプ２３０において十分な光増幅の程度やその光強度を実現するためには好ましい。

[0116] また、励起光源駆動電流Ｓ３の変調パルス幅を短くした場合に、図１７のように励起光源駆動電流Ｓ３を大きくする代わりに、パルスレーザ光ＰＬ４が、プリアンプ２３０における光励起状態の期間の後半にプリアンプ２３０に入力されるように、制御部２２０がＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調と励起光源駆動電流Ｓ３のパルス変調とを同期させるように制御してもよい。

[0117] 以下、図１８を用いて説明する。図１８に示すように、本制御では、ＡＳＥ光のレベルが図１６に示す場合と同様に線Ｌ２のレベルであり、励起光源駆動電流Ｓ３は大きくしていない。しかし、本制御では、パルスレーザ光ＰＬ４がプリアンプ２３０における光励起状態の期間（パルス幅ＰＷ４の期間）の後半にプリアンプ２３０に入力されるタイミングになっている。なお、図１８では比較のため、図１６に示す場合においてパルスレーザ光ＰＬ４が入力されるタイミングを線Ｌ８にて示している。このようにパルスレーザ光ＰＬ４がプリアンプ２３０における光励起状態の期間の後半にプリアンプ２３０に入力されるようにすると、図１８に線Ｌ９で示すように、励起光源駆動電流Ｓ３が光増幅ファイバ２３３に入力されてから、反転分布が線Ｌ４のレベルに到達する緩和時間ｔ１経過後に、パルスレーザ光ＰＬ４が入力されることとなる。そのため、消光比とともに、パルスレーザ光ＰＬ４の光増幅の程度やその光強度も図１５の場合と同程度に維持される。

[0118] なお、図１５、図１８のような状態を実現するには、励起光源駆動電流Ｓ３の変調パルス幅ＰＷ３を、プリアンプ２３０におけるエルビウムの緩和時間ｔ１よりも長くなるように設定することが好ましい。

[0119] 上記制御例では、励起光源駆動電流Ｓ３が光増幅ファイバ２３３に入力されてから反転分布が線Ｌ４のレベルに到達する緩和時間ｔ１経過後にパルスレーザ光ＰＬ４が入力されるようにしているが、パルスレーザ光ＰＬ４が入力されるタイミングは緩和時間ｔ１経過後でなくてもよい。たとえば、所望の光増幅が得られる反転分布となったタイミング、またはそれ以降のタイミングでパルスレーザ光ＰＬ４が入力されるようにしてもよい。

[0120] また、パルスレーザ光ＰＬ４を光増幅した後に光増幅ファイバ２３３に入力された励起光は光増幅に使用されず、ＳＮＲを低下させる原因となる。そこで、制御部２２０の制御により、パルスレーザ光ＰＬ４がオフ状態となると略同時に、プリアンプ２３０における光励起状態がオフ状態になるように、励起光源駆動電流Ｓ３のパルス幅を調整しつつＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス変調と励起光源駆動電流Ｓ３のパルス変調とを同期させれば、ＳＮＲをさらに高めることができる。

[0121] また、励起光源駆動電流Ｓ３のパルスのオフ状態の期間よりもプリアンプ２３０の緩和時間が長い場合、光増幅ファイバ２３３にパルスレーザ光ＰＬ４が入力されたときに、光増幅ファイバ２３３が十分な反転分布状態を有していない場合がある。この場合、制御部２２０の制御により、励起光源駆動部２２３が励起光源２３１に所定の値の直流の励起光源駆動電流を供給するように切り替えてもよい。これにより、励起光源２３１は常時励起光を出力するので、光増幅ファイバ２３３にパルスレーザ光ＰＬ４が入力されたときに、光増幅ファイバ２３３が十分な反転分布状態を有するようにできるので、十分な光増幅と光強度とを得ることができる。

[0122] 以上説明したように、パルスレーザ装置２００は、サブナノ秒～数ナノ秒のパルス幅のパルスレーザ光ＰＬ４を高い消光比で出力することができ、良好なパルス波形のパルスレーザ光ＰＬ３を出力することができる。

[0123] （実施の形態２の変形例１）

図１９は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の変形例１を説明する図である。本変形例１に係るパルスレーザ装置は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置２００におけるシード光源部１０、制御部２２０をそれぞれシード光源部１０Ａ、制御部２２０Ａに置き換えたものである。

[0124] シード光源部１０Ａは、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎを載置する、ペルチェ素子等の電子冷却素子（ＴＥＣ）１３を備えている。また、制御部２２０Ａは、電子冷却素子１３に駆動電流を供給するＴＥＣ制御部２２４を備えている。さらに、制御部２２０Ａは、ＤＦＢ駆動部２２１に代えて、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎのそれぞれに駆動電流を供給できるように構成された複数のＤＦＢ駆動部２２１Ａ－１～２２１Ａ－ｎを備えている。

[0125] 本変形例１に係るパルスレーザ装置では、電子冷却素子１３により一括してＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎの温度を調整することにより、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎから出力されるレーザ光の波長を一括して調整することができる。また、ＤＦＢレーザストライプ１１ａ－１～１１ａ－ｎは対応するＤＦＢ駆動部２２１Ａ－１～２２１Ａ－ｎにより個別に電流を供給されることができる。

[0126] （実施の形態２の変形例２）

図２０は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の変形例２を説明する図である。本変形例２に係るパルスレーザ装置は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置２００におけるシード光源部１０、制御部２２０をそれぞれシード光源部１０Ｂ、制御部２２０Ｂに置き換えたものである。

[0127] シード光源部１０Ｂは、シード光源部１０の構成に加えて、集積型半導体レーザ素子１１から出力されたパルスレーザ光ＰＬ４の一部を分岐して出力する分岐手段としての反射ミラー１４と、分岐した一部のレーザ光の強度をモニタするモニタ部１５としてのＰＤ（Photo Detector）とを備えている。また、制御部２２０Ｂは、制御部２２０の構成に加え、出力一定制御部２２

５を備えている。

[0128] 本変形例２に係るパルスレーザ装置では、モニタ部１５は、モニタした光の強度に応じた電流信号を、モニタ結果として出力一定制御部２２５に出力する。出力一定制御部２２５は、入力された電流信号に基づき、集積型半導体レーザ素子１１から出力されるパルスレーザ光ＰＬ４の強度が一定になるようにＳＯＡ駆動部２２２を制御する。具体的には、出力一定制御部２２５は、集積型半導体レーザ素子１１から出力されるパルスレーザ光ＰＬ４の強度が一定になるように、ＳＯＡ駆動部２２２に対して、半導体光増幅器１１ｄに供給する電流値を指示する指示値を出力する。なお、このような出力一定制御は、パワーフィードバック制御とも呼ばれるが、出力一定制御部２２５が公知のＰＩ制御やＰＩＤ制御を行う回路を備えることにより実現できる。これにより、シード光源部１０Ｂから出力されるシード光としてのパルスレーザ光ＰＬ４の強度が安定する。

[0129] （実施の形態２の変形例３）

図２１は、実施の形態２に係るパルスレーザ装置の変形例３を説明する図である。本変形例３に係るパルスレーザ装置では、実施の形態２に係るパルスレーザ装置２００における集積型半導体レーザ素子１１を半導体レーザ素子ユニット１１Ａに置き換えたものである。

[0130] 半導体レーザ素子ユニット１１Ａは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎ（ｎは２以上の整数）と、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１～１１Ａｃ－ｎとを備えている。ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎは、互いに異なる波長を有する１μｍ帯（例えば１．０～１．１μｍ）のレーザ光を出力するように構成されている。なお、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎは、出力するレーザ光の波長が短い順または長い順に並んでいることが好ましい。また、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎはスイッチ部２２３－１～２２３－ｎを介してＤＦＢ駆動部２２１からＤＦＢ駆動電流Ｓ１を供給される。

[0131] ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１～１１Ａｃ－ｎは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａ

ａ－１～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を合波できるように構成されている。例えば、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１は、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１から出力されるレーザ光を反射し、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－２～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を透過するような波長特性を有する。ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－２は、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－２から出力されるレーザ光を反射し、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－３～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を透過するような波長特性を有する。以降、同様にして、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－ｎは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を反射するような波長特性を有する。これにより、ＷＤＭフィルタ１１Ａｃ－１～１１Ａｃ－ｎは、ＤＦＢレーザ素子１１Ａａ－１～１１Ａａ－ｎから出力されるレーザ光を合波し、半導体光増幅器１１ｄに入力する。なお、本変形例３では、半導体光増幅器１１ｄは１μｍ帯のレーザ光を増幅できるように構成されている。半導体光増幅器１１ｄに入力されたレーザ光は、半導体光増幅器１１ｄによりパルス変調及び増幅を受け、シード光としてのパルスレーザ光ＰＬ４として出力される。

[0132] なお、本変形例３に係るパルスレーザ装置では、プリアンプ２３０及びブースターアンプ４０も、１μｍ帯のレーザ光を増幅できるように構成されている。そのため、各アンプ２３０、４０に添加される希土類元素は例えばイッテルビウムである。また、プリアンプ２３０及びブースターアンプ４０で使用される励起光源は、イッテルビウムを光励起できる波長の励起光を出力できるものであり、例えば波長９１５ｎｍの励起光を出力する半導体レーザで構成される。

[0133] 図２２Ａ、２２Ｂは、本発明の比較例および実施例をそれぞれ説明する図である。図２２Ａは、比較例として、図１１に示す構成のパルスレーザ装置において、ＤＦＢレーザストライプを直流で駆動し、ＣＷレーザ発振させるとともに、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス幅ＰＷ２を１．６ｎｓとした場合のシード光（パルスレーザ光）のスペクトル波形を示している。図２２Ｂは、実施例として、図１１に示す構成のパルスレーザ装置において、ＤＦＢ駆動

電流Ｓ１のパルス幅ＰＷ１を１００ｎｓとし、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２のパルス幅ＰＷ２を１．６ｎｓとした場合のシード光（パルスレーザ光）のスペクトル波形を示している。なお、図２２Ｂの場合は、図１３に示すようにパルス幅ＰＷ１の時間的な中心とパルス幅ＰＷ２の時間的な中心とを略一致させるようにしている。また、図２２Ａ、２２Ｂのいずれの図でも、破線はＳＯＡ駆動電流Ｓ２がオン状態のとき、実線はＳＯＡ駆動電流Ｓ２がオフ状態のときを示している。さらに、横軸は波長であり、縦軸は光強度である。

[0134] 図２２Ａ、２２Ｂに示すように、比較例ではＳＯＡ駆動電流Ｓ２がオフ状態のときも実線で示すように光出力が有る。これに対して、実施例では、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２がオフ状態のときにはほとんど光出力が無く、消光比が高くなった。

[0135] なお、上記実施の形態では、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１の変調パルス幅が、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２の変調パルス幅よりも大きく設定されている。しかし、本発明に係るパルスレーザ装置ではこれに限定されず、ＳＯＡ駆動電流Ｓ２の変調パルス幅が、ＤＦＢ駆動電流Ｓ１の変調パルス幅よりも大きく設定されていてもよい。この場合、図１３に示すようなサージ状のプリパルスがパルスレーザ装置から出力されることがあるが、このようなサージ状のプリパルスがパルスレーザ光に含まれる方が好ましい加工対象に対して好適に適用できる。

[0136] また、上記実施の形態では、単一波長のレーザ光を出力する半導体レーザ素子として、ＤＦＢレーザ素子を用いているが、ＦＢＧ等の波長選択性素子を用いてレーザ発振波長幅を狭めた外部共振器構造のファブリーペローレーザ素子、ＤＢＲレーザ素子やＤＲレーザ素子を用いてもよい。また、上記実施の形態では、複数の半導体レーザ素子を備えているが、単一の半導体レーザ素子を備えていてもよい。また、半導体レーザ素子として、バーニア効果を利用した波長可変型半導体レーザ素子（たとえば、特許文献７参照）を用いてもよいし、その他の方式の波長可変型半導体レーザ素子を用いてもよい。また、パルスレーザ装置が複数の半導体レーザ素子を備えている場合は、

その中の少なくとも一つが波長可変型半導体レーザ素子であってもよい。

[0137] また、上記実施の形態では、複数の半導体レーザ素子、光合波器、及び半導体光増幅器が全てモノリシックに集積された集積型半導体レーザ素子を用いている。しかし、本発明を構成する半導体レーザ素子はこのような構成に限られない。たとえば複数の半導体レーザ素子及び光合波器がモノリシックに集積されて１つのチップを構成し、半導体光増幅器は別のチップを構成し、これらの２つのチップが接合されて１つの集積型半導体レーザ素子を構成している、いわゆるハイブリッド集積型半導体レーザ素子を用いてもよい。

[0138] また、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせて構成したものも本発明に含まれる。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0139] 以上のように、本発明に係るパルスレーザ装置は、たとえばレーザ加工に適用して好適なものである。

符号の説明

[0140] １１ａ－１～１１ａ－ｎ　ＤＦＢレーザストライプ

１１ｃ　ＭＭＩ光合波器

１１ｄ　半導体光増幅器

２１、２１Ａ－１～２１Ａ－ｎ、２２１、２２１Ａ－１～２２１Ａ－ｎ　ＤＦＢ駆動部

２２、２２２　ＳＯＡ駆動部

２３－１～２３－ｎ、２２３－１～２２３－ｎ　スイッチ部

２５、２２５　出力一定制御部

３０、２３０　プリアンプ

４０、４０Ａ　ブースターアンプ

４３、４３Ａ、４５　モード変換部

４４、４４Ａ、２３３　光増幅ファイバ

１００、２００　パルスレーザ装置

２２０　制御部

２２３　励起光源駆動部

ＰＬ１、ＰＬ２、ＰＬ３、ＰＬ４　パルスレーザ光

Ｓ　駆動電流

Ｓ１　ＤＦＢ駆動電流

Ｓ２　ＳＯＡ駆動電流

Ｓ３　励起光源駆動電流

請求の範囲

[請求項1] 単一波長のレーザ光を出力する半導体レーザ素子と、

前記半導体レーザ素子から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する半導体光増幅器と、

前記半導体光増幅器にパルス変調された半導体光増幅器駆動電流を供給する半導体光増幅器駆動部と、

を備えることを特徴とするパルスレーザ装置。

[請求項2] 前記半導体レーザ素子にパルス変調された半導体レーザ素子駆動電流を供給する半導体レーザ素子駆動部と、前記半導体光増幅器駆動部と、を有する制御部を備え、

前記制御部は、前記半導体レーザ素子駆動電流のパルス変調と前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする請求項１に記載のパルスレーザ装置。

[請求項3] 前記半導体レーザ素子駆動電流の変調パルス幅が、前記半導体光増幅器駆動電流の変調パルス幅よりも大きいことを特徴とする請求項２に記載のパルスレーザ装置。

[請求項4] 前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する光ファイバ増幅器をさらに備え、

前記光ファイバ増幅器は、誘導放出による光増幅作用を有する光増幅ファイバと、前記光増幅ファイバに供給する励起光を出力する励起光源とを備え、

前記制御部は、前記励起光源にパルス変調された励起光源駆動電流を供給する励起光源駆動部をさらに備え、前記半導体レーザ素子駆動電流のパルス変調と前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調と前記励起光源駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする請求項２または３に記載のパルスレーザ装置。

[請求項5] 前記励起光源駆動電流の変調パルス幅が、前記半導体レーザ素子駆動電流の変調パルス幅及び前記半導体光増幅器駆動電流の変調パルス

幅よりも大きいことを特徴とする請求項４に記載のパルスレーザ装置。

[請求項6] 前記半導体光増幅器から出力されたパルスレーザ光が、前記光ファイバ増幅器における光励起状態の期間の後半に該光ファイバ増幅器に入力されるように、前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調と前記励起光源駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする請求項４または５に記載のパルスレーザ装置。

[請求項7] 前記半導体光増幅器から出力されたパルスレーザ光がオフ状態となると略同時に、前記光ファイバ増幅器における光励起状態がオフ状態になるように、前記半導体光増幅器駆動電流のパルス変調と前記励起光源駆動電流のパルス変調とを同期させることを特徴とする請求項４～６のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項8] 前記励起光源駆動電流の変調パルス幅が、前記光ファイバ増幅器の緩和時間よりも長いことを特徴とする請求項４～７のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項9] 前記励起光源駆動電流の変調パルス幅が短い程、前記励起光源駆動電流が大きいことを特徴とする請求項４～８のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項10] 前記励起光源駆動電流のパルスのオフ状態の期間よりも前記光ファイバ増幅器の緩和時間が長い場合、前記励起光源駆動部は前記励起光源に所定の値の直流の励起光源駆動電流を供給することを特徴とする請求項４～９のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項11] 前記光ファイバ増幅器の後段に設けられ、前記半導体レーザ素子から出力されるレーザ光の波長の光を選択的に透過する光バンドパスフィルタをさらに備えることを特徴とする請求項４～１０のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項12] 前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力する光ファイバ増幅器をさらに備えることを特徴と

する請求項１に記載のパルスレーザ装置。

[請求項13] 前記光ファイバ増幅器の後段に設けられ、該光ファイバ増幅器から出力されたレーザ光を受け付けて該レーザ光を増幅して出力するブースター光ファイバ増幅器をさらに備えることを特徴とする請求項４～１２のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項14] 前記ブースター光ファイバ増幅器は、前記受け付けたレーザ光の有効モード断面積を拡大する有効モード断面積拡大部と、前記有効モード断面積が拡大されたレーザ光を、該有効モード断面積が拡大された状態でシングルモードで伝搬しながら増幅する有効モード断面積拡大光増幅ファイバと、を備えることを特徴とする請求項１３に記載のパルスレーザ装置。

[請求項15] 前記有効モード断面積拡大部は、前記受け付けた、基底モードで伝搬するレーザ光の伝搬モードを高次モードに変換し、前記有効モード断面積拡大光増幅ファイバは、前記高次モードのレーザ光をシングルモードで伝搬しながら増幅することを特徴とする請求項１４に記載のパルスレーザ装置。

[請求項16] 前記ブースター光ファイバ増幅器は、前記有効モード断面積拡大光増幅ファイバが増幅した、高次モードのレーザ光の伝搬モードを基底モードに変換する有効モード断面積縮小部をさらに備えることを特徴とする請求項１５に記載のパルスレーザ装置。

[請求項17] 前記有効モード断面積拡大部は、前記受け付けた、光ファイバの基底モードで伝搬するレーザ光の伝搬モードをマルチモードに変換し、前記有効モード断面積拡大光増幅ファイバは、前記マルチモードのレーザ光のうち高次モードの成分を漏洩し、基底モードの成分をシングルモードで伝搬しながら増幅することを特徴とする請求項１４に記載のパルスレーザ装置。

[請求項18] 前記出力するレーザ光の波長が互いに異なる複数の前記半導体レーザ素子と、前記複数の半導体レーザ素子が出力するレーザ光を合波し

て前記半導体光増幅器に出力する光合波器とを備えることを特徴とする請求項１または１２に記載のパルスレーザ装置。

[請求項19] 前記出力するレーザ光の波長が互いに異なる複数の前記半導体レーザ素子と、前記複数の半導体レーザ素子が出力するレーザ光を合波して前記半導体光増幅器に出力する光合波器とを備えることを特徴とする請求項２～１１のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項20] 前記複数の半導体レーザ素子、前記光合波器、及び前記半導体光増幅器がモノリシックに集積され、集積型半導体レーザ素子を構成していることを特徴とする請求項１８に記載のパルスレーザ装置。

[請求項21] 前記複数の半導体レーザ素子に駆動電流を供給できるように構成された半導体レーザ素子駆動部と、前記半導体レーザ素子駆動部から前記複数の半導体レーザ素子への駆動電流の供給と停止とを切り替える複数のスイッチ部とを備えることを特徴とする請求項１８または２０に記載のパルスレーザ装置。

[請求項22] 前記複数の半導体レーザ素子に駆動電流を供給できるように構成された複数の半導体レーザ素子駆動部を備えることを特徴とする請求項１８または２０に記載のパルスレーザ装置。

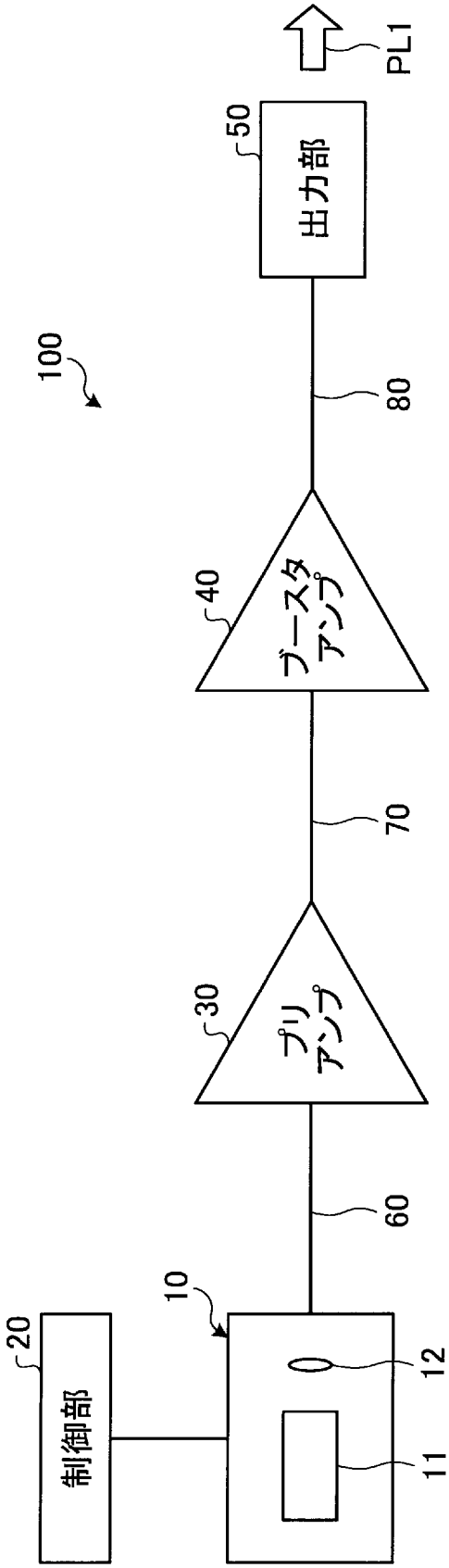
[請求項23] 前記半導体レーザ素子は波長可変型半導体レーザ素子であることを特徴とする請求項１～２２のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

[請求項24] 前記半導体レーザ素子が出力するレーザ光の波長は、前記半導体レーザ素子に供給される駆動電流の大きさで調整されることを特徴とする請求項１～２３のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置。

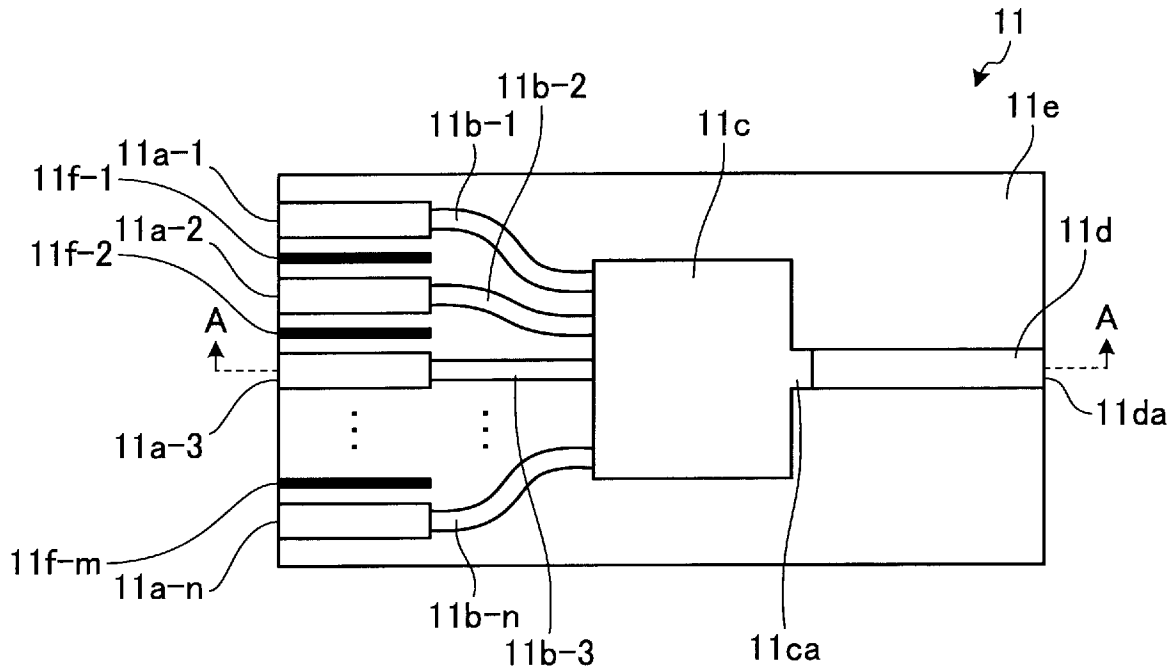
[請求項25] 前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光の一部の強度をモニタするモニタ部と、前記モニタ部のモニタ結果に基づき、前記半導体光増幅器から出力されたレーザ光の強度が一定になるように前記半導体光増幅器駆動部を制御する出力一定制御部と、をさらに備えることを特徴とする請求項１～２４のいずれか一つに記載のパルスレーザ装置

°

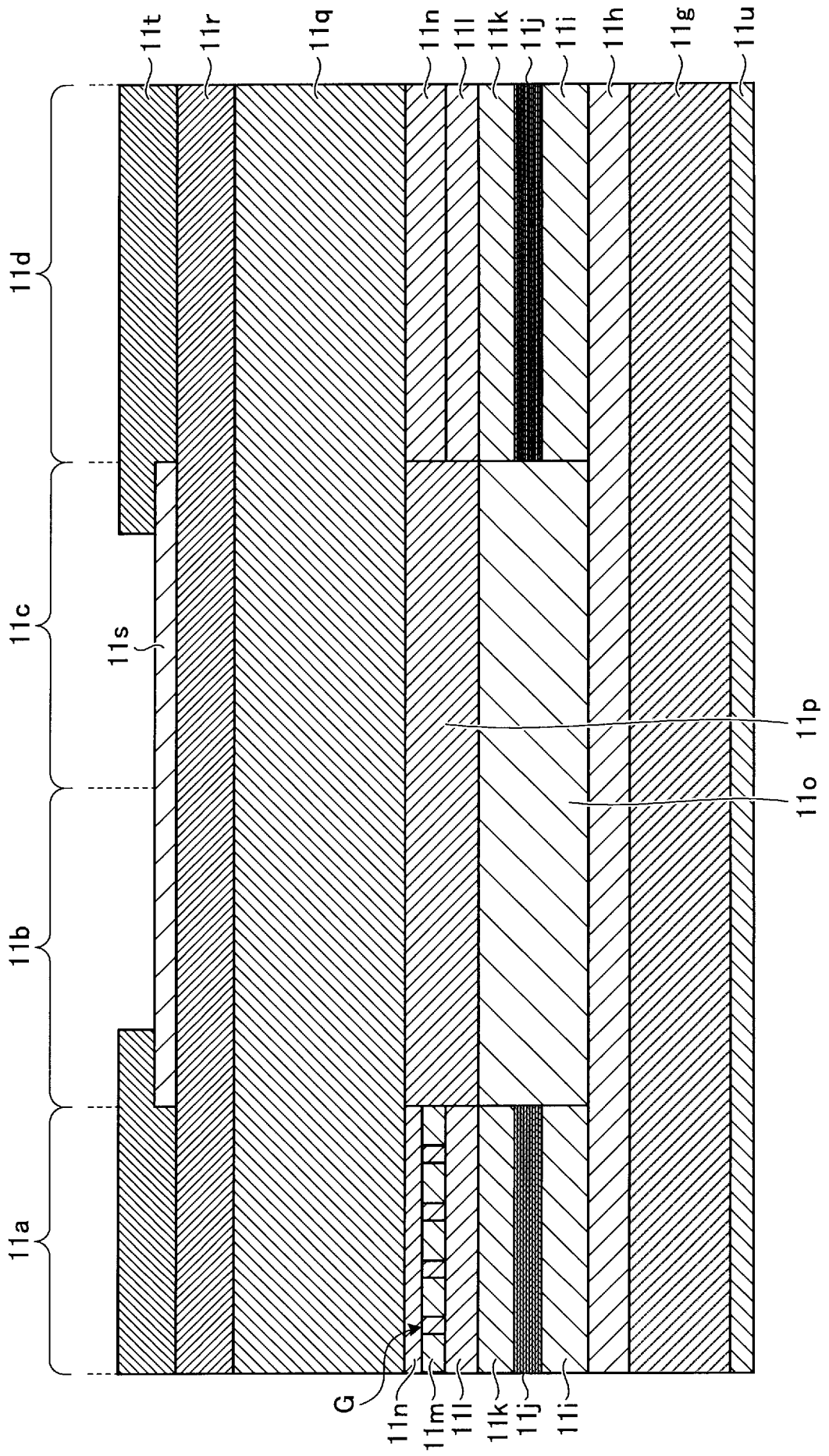
[図1]



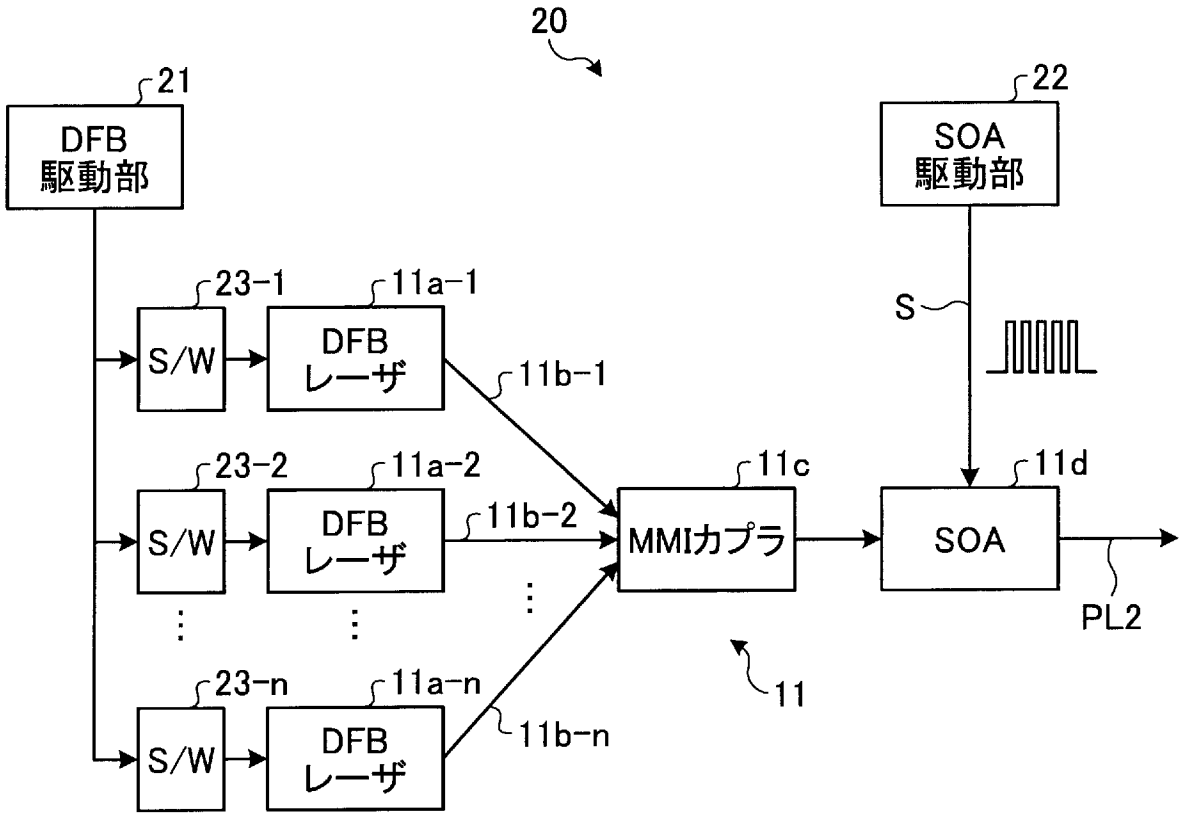
[図2]


11
11b-2
11b-1
11c
11e
11a-1
11f-1
11a-2
11f-2
11d
A
A
11a-3
11da
11f-m
11a-n
11b-n
11b-3
11ca

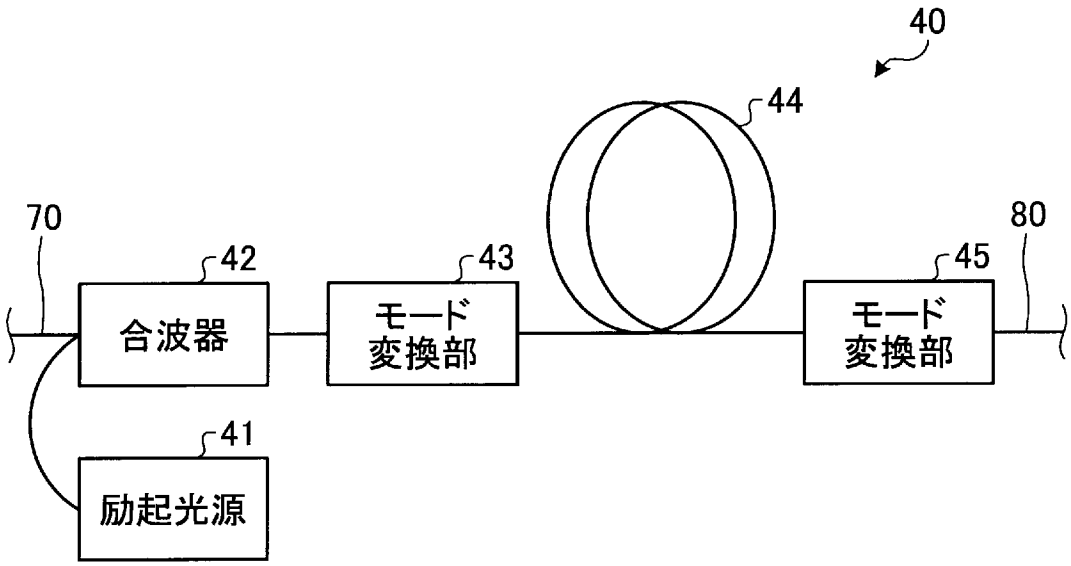
[図3]


11t
11r
11q
11n
11l
11k
11j
11i
11h
11g
11u
11d
11c
11b
11a
11s
11p
11o
G
11n
11m
11l
11k
11j
11i

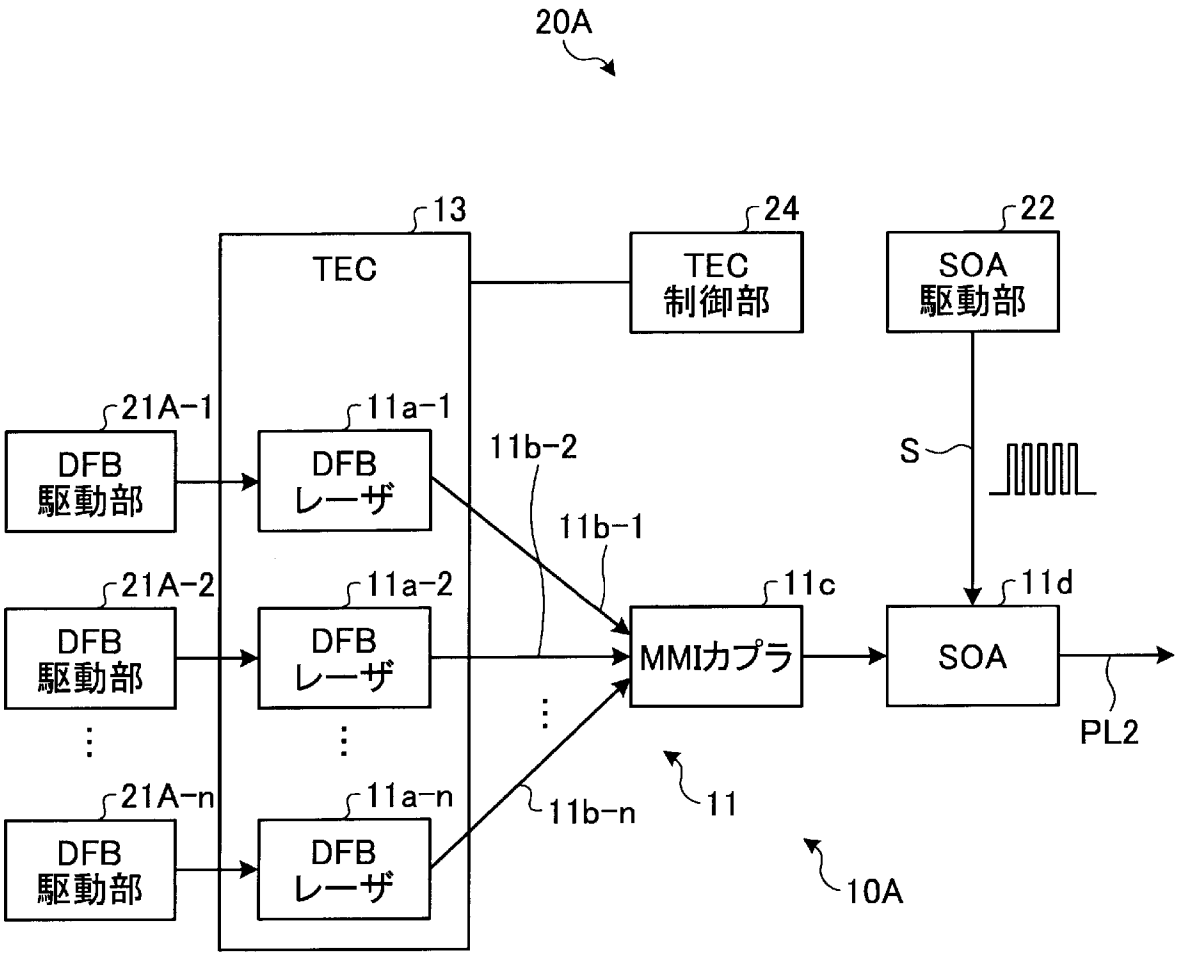
[図4]


20
21
DFB
駆動部
22
SOA
駆動部
23-1
11a-1
S/W
DFB
レーザ
11b-1
S
23-2
11a-2
S/W
DFB
レーザ
11b-2
11c
MMIカプラ
11d
SOA
PL2
11
23-n
11a-n
S/W
DFB
レーザ
11b-n

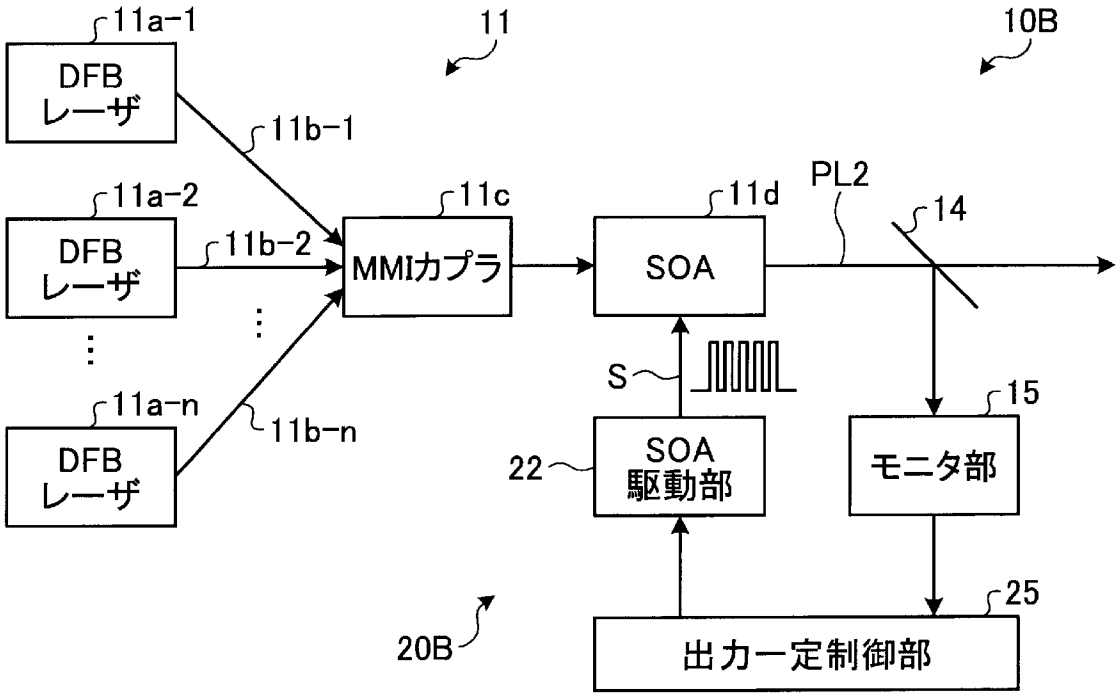
[図5]


40
44
70
80
42
43
45
合波器
モード
変換部
モード
変換部
41
励起光源

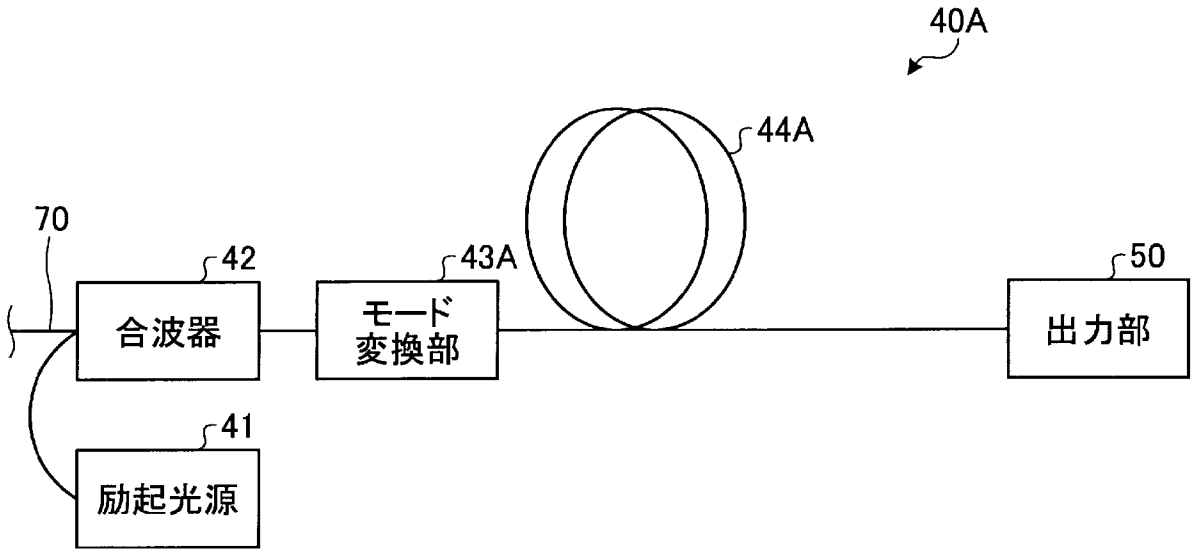
[図6]


20A
13
TEC
24
TEC
制御部
22
SOA
駆動部
21A-1
DFB
駆動部
11a-1
DFB
レーザ
11b-2
11b-1
S
21A-2
DFB
駆動部
11a-2
DFB
レーザ
11c
MMIカプラ
11d
SOA
PL2
21A-n
DFB
駆動部
11a-n
DFB
レーザ
11b-n
11
10A

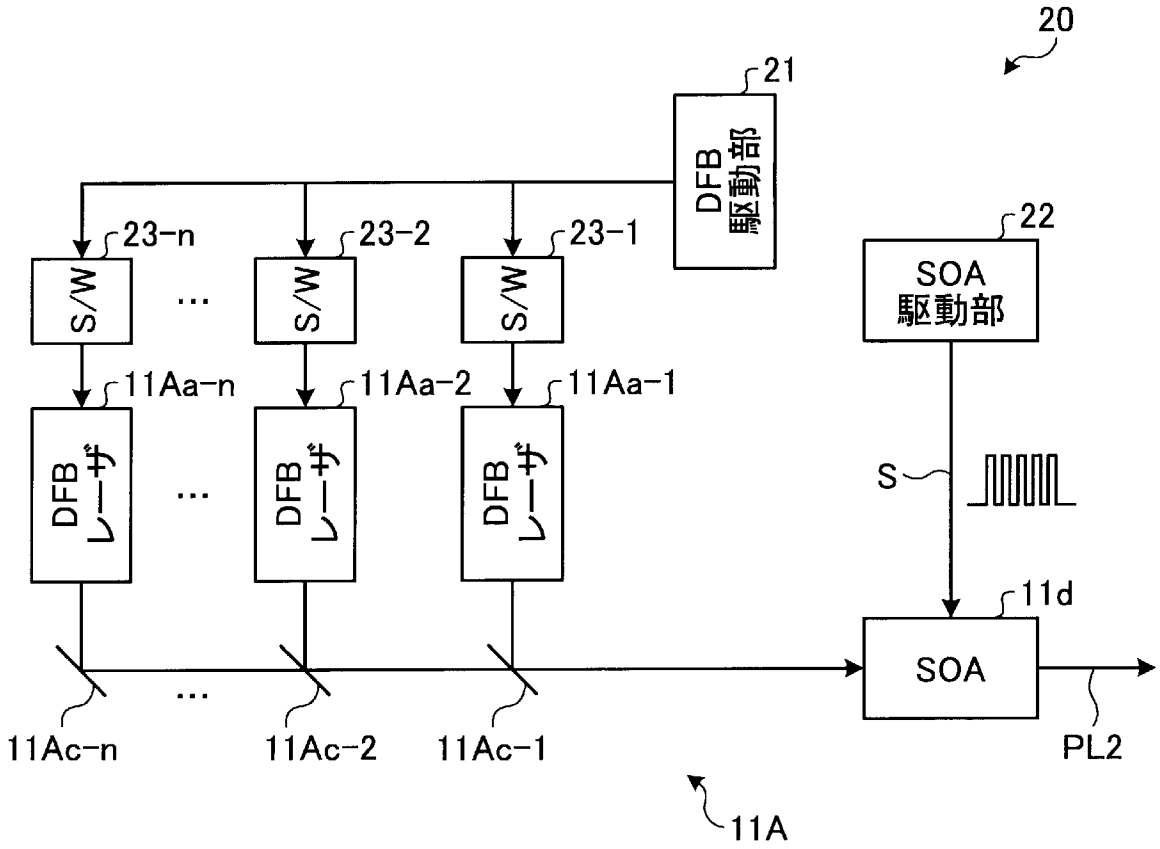
[図7]


11a-1
DFB
レーザ
11
10B
11b-1
11a-2
DFB
レーザ
11b-2
11c
MMIカプラ
11d
SOA
PL2
14
11a-n
DFB
レーザ
11b-n
S
15
22
SOA
駆動部
モニタ部
25
20B
出力一定制御部

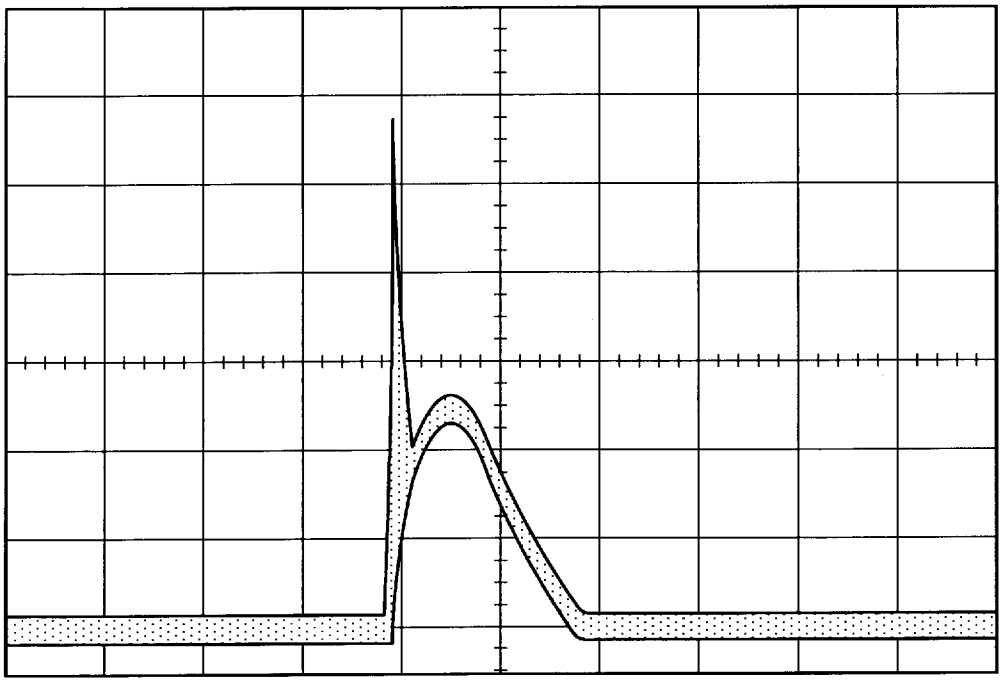
[図8]


40A
44A
70
42
43A
50
合波器
モード
変換部
出力部
41
励起光源

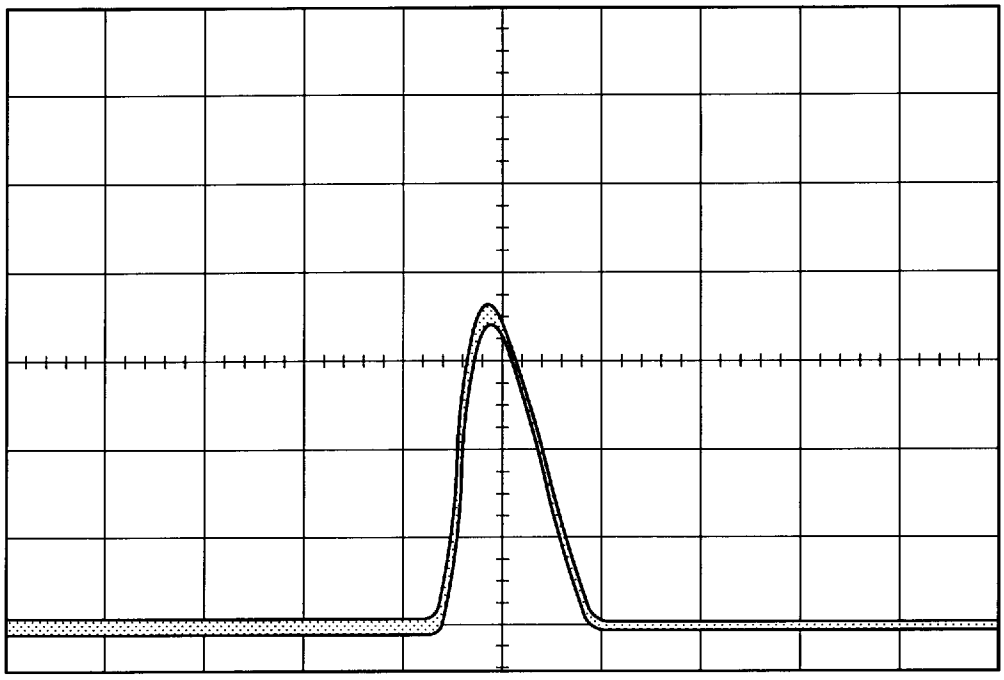
[図9]


20
21
DFB
駆動部
23-n
23-2
23-1
S/W
S/W
S/W
22
SOA
駆動部
11Aa-n
11Aa-2
11Aa-1
DFB
レーザ
DFB
レーザ
DFB
レーザ
S
11d
SOA
11Ac-n
11Ac-2
11Ac-1
PL2
11A

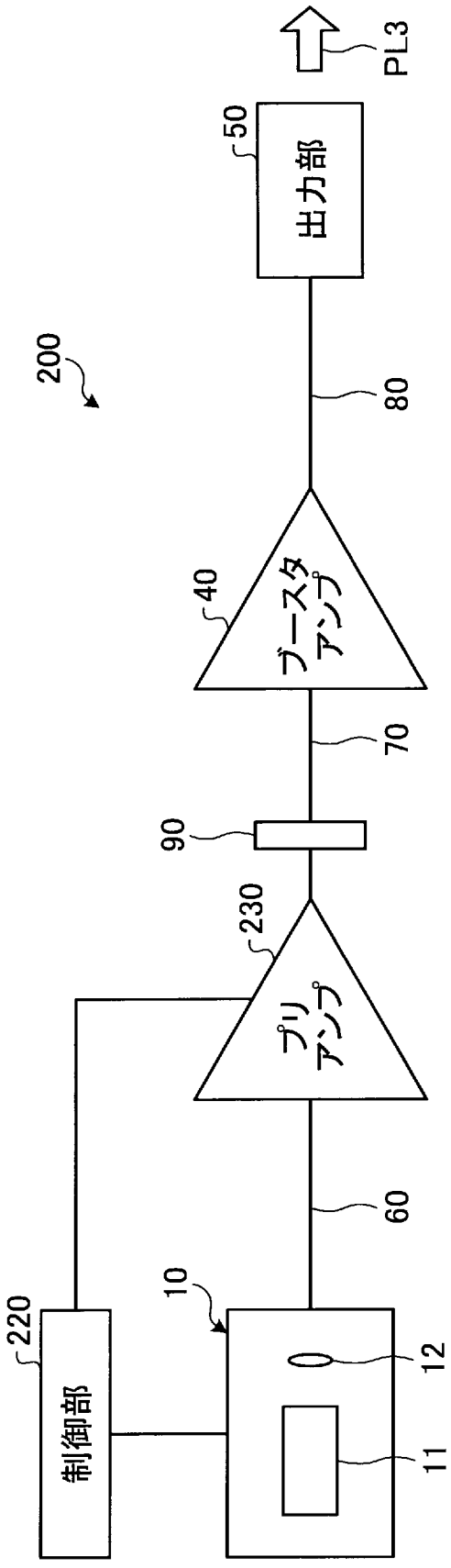
[図10A]



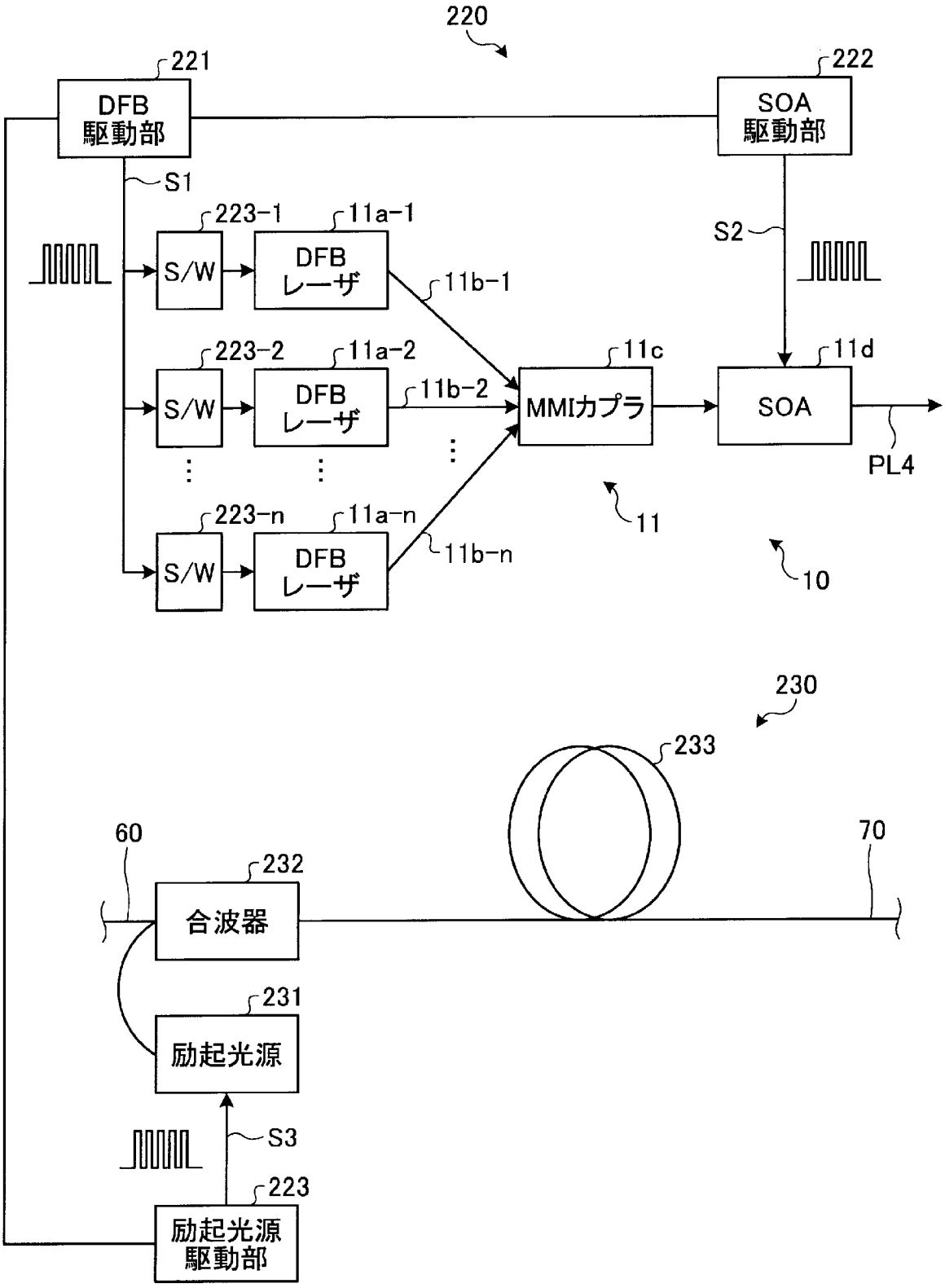
[図10B]



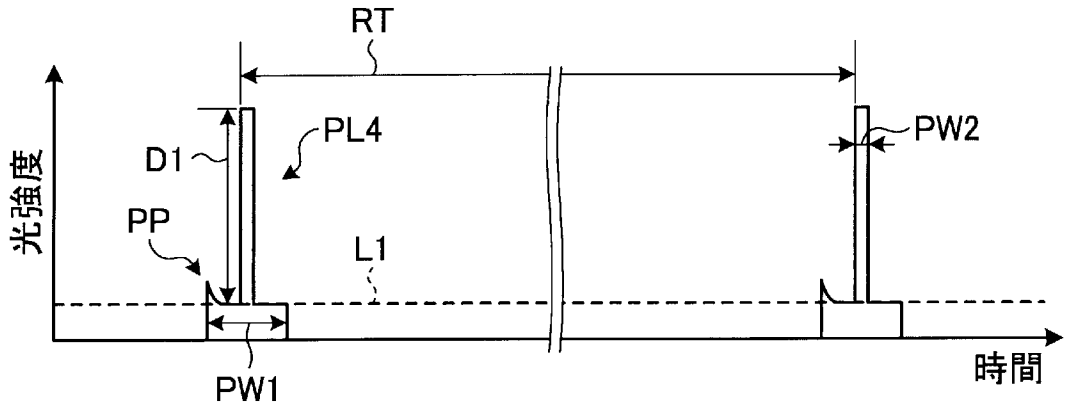
[図11]



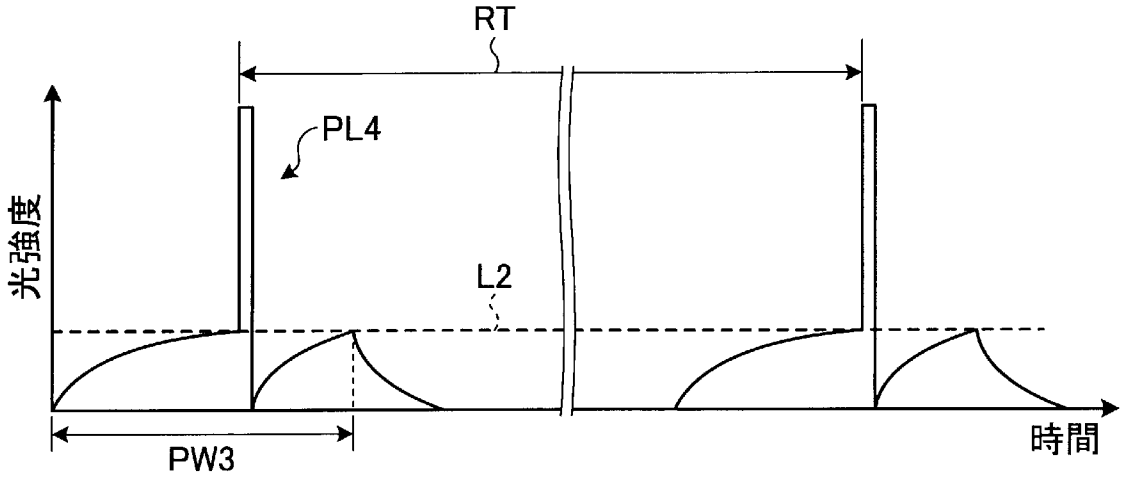
[図12]


220
221
DFB
駆動部
222
SOA
駆動部
S1
S2
223-1
11a-1
S/W
DFB
レーザ
11b-1
223-2
11a-2
S/W
DFB
レーザ
11b-2
11c
MMIカプラ
11d
SOA
PL4
223-n
11a-n
S/W
DFB
レーザ
11b-n
11
10
230
233
60
70
232
合波器
231
励起光源
S3
223
励起光源
駆動部

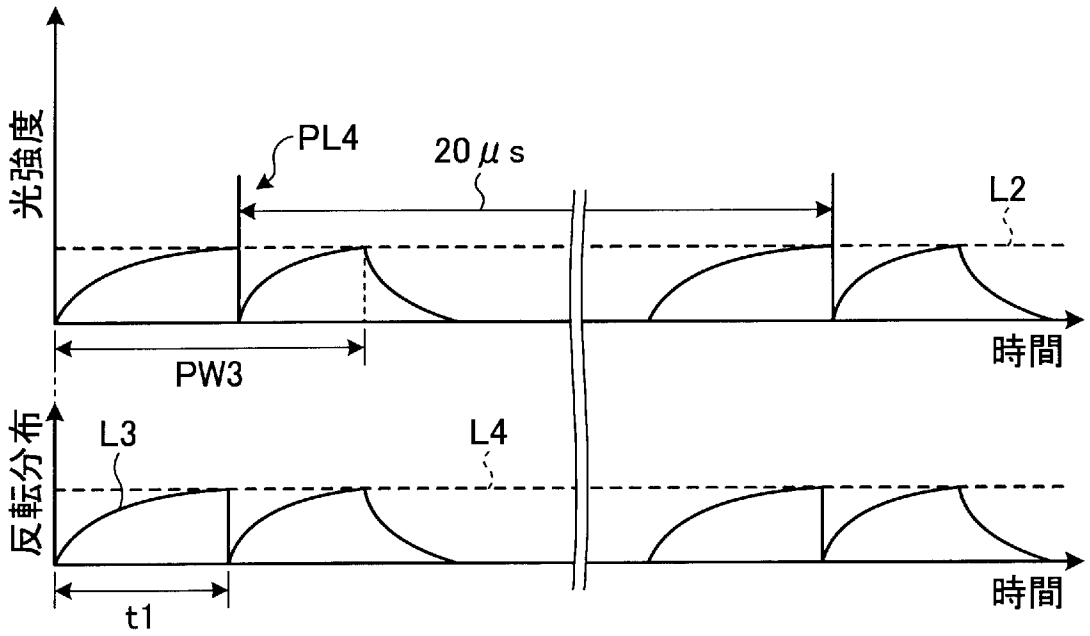
[図13]



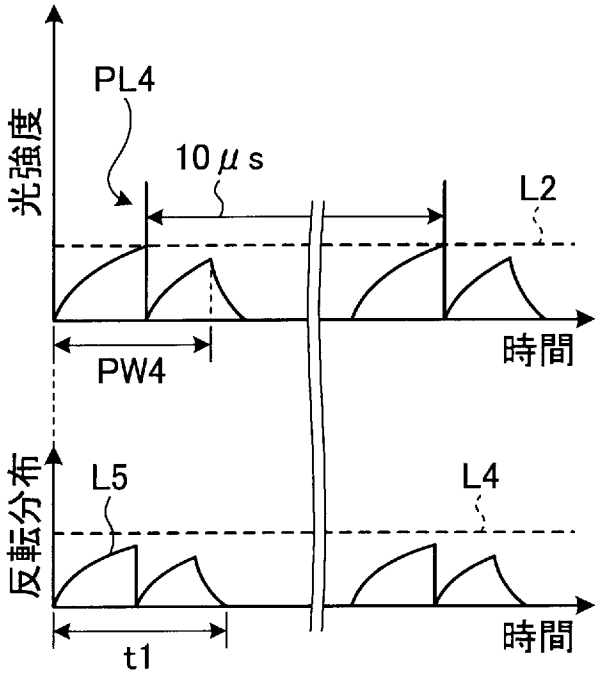
[図14]



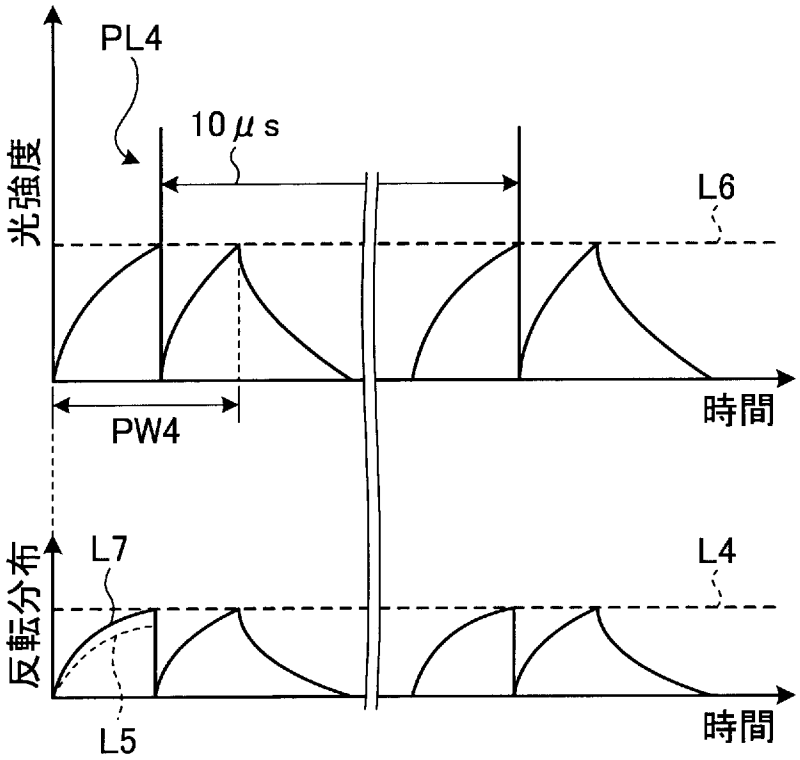
[図15]


光強度
PL4
20 μ s
L2
時間
PW3
反転分布
L3
L4
時間
t1

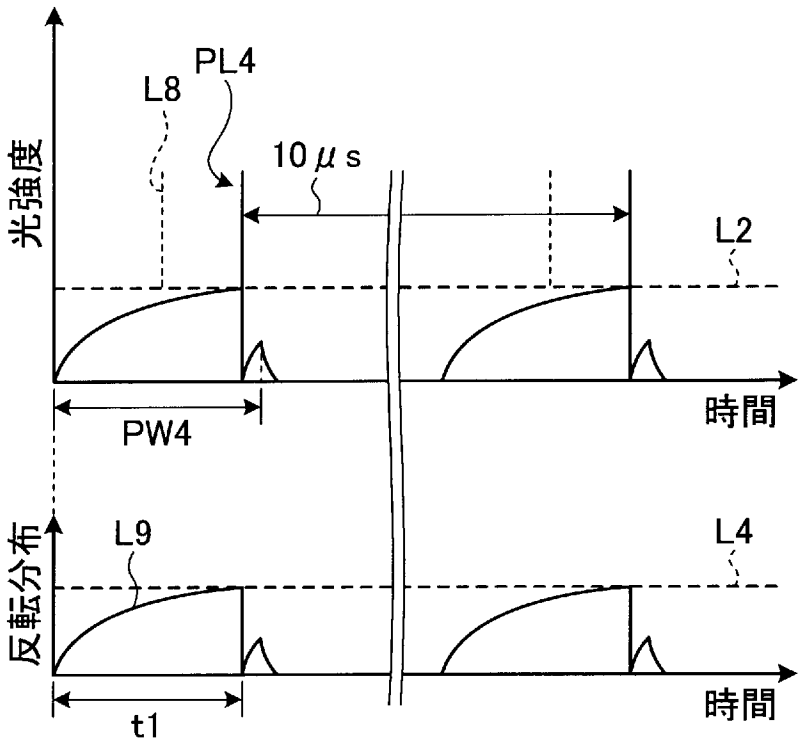
[図16]


光強度
PL4
10 μ s
L2
時間
PW4
反転分布
L5
L4
時間
t1

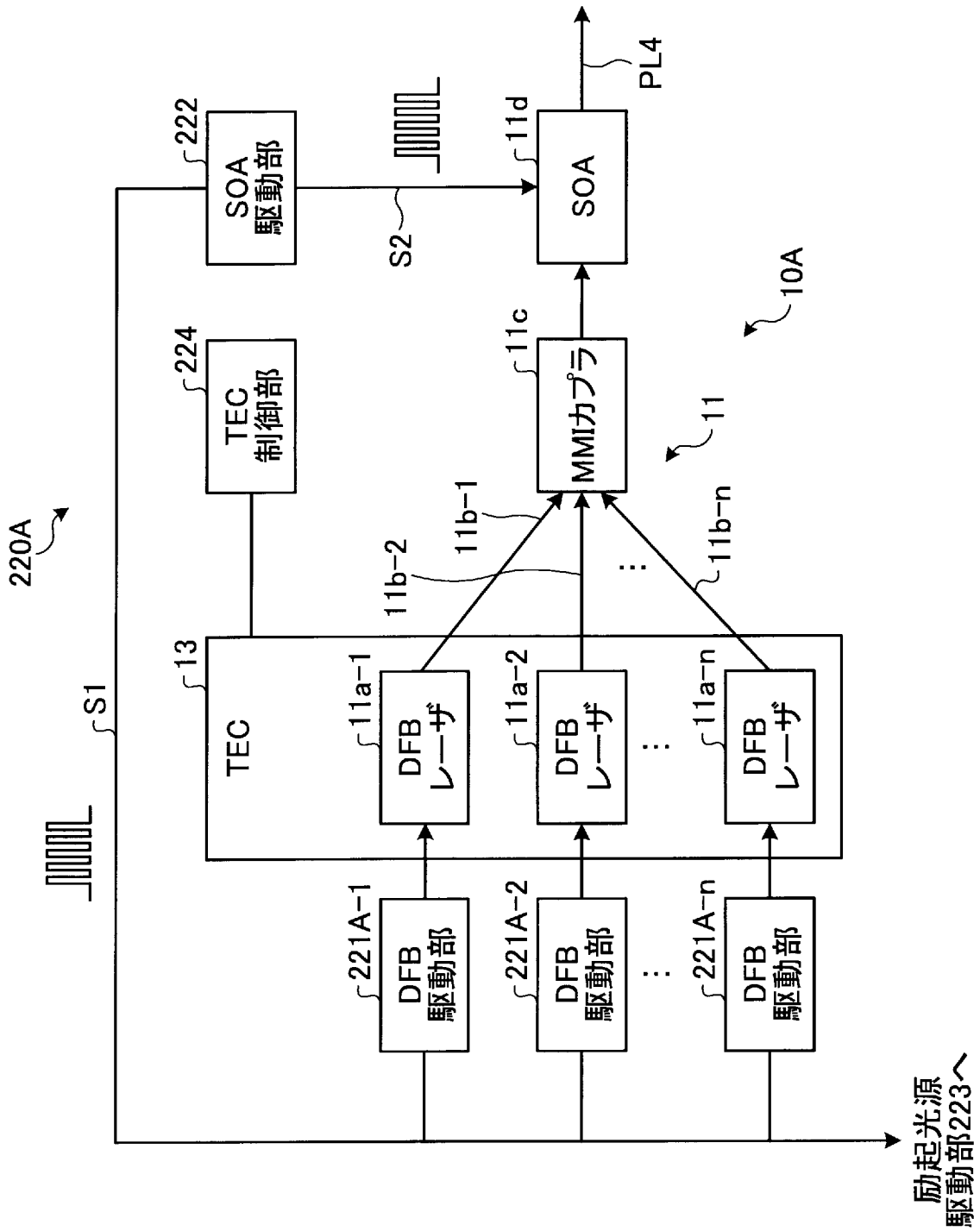
[図17]


PL4
10μs
光強度
L6
時間
PW4
反転分布
L7
L4
L5
時間

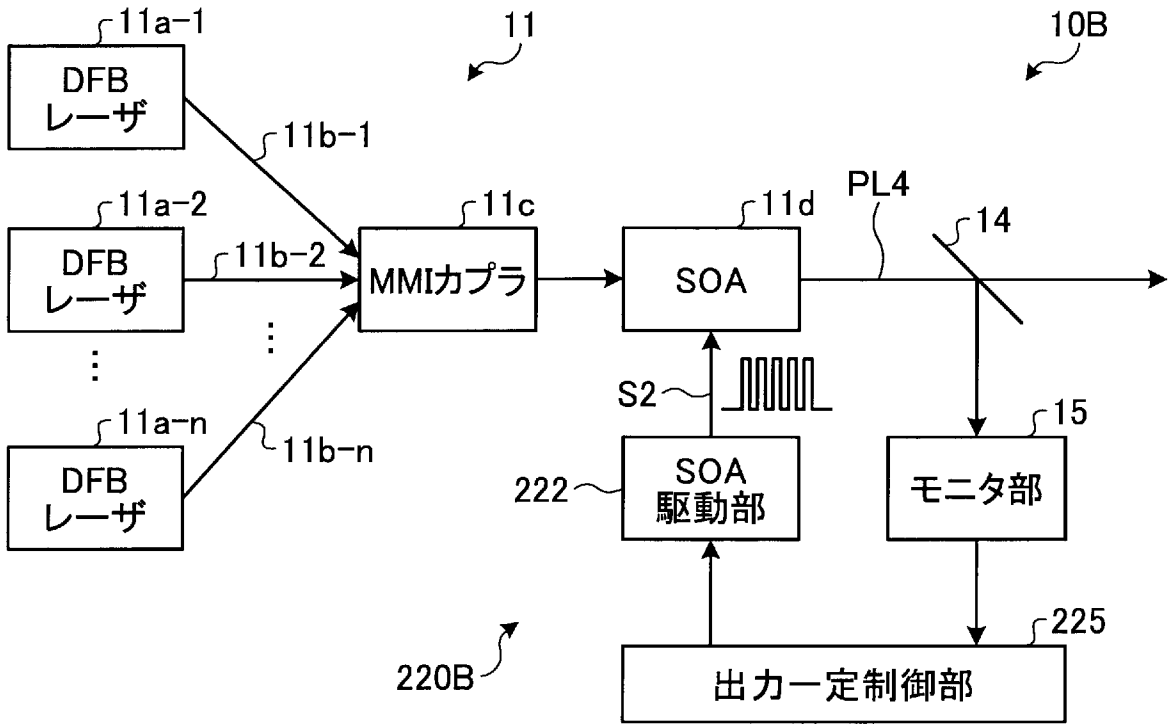
[図18]


PL4
L8
10μs
光強度
L2
時間
PW4
反転分布
L9
L4
時間
t1

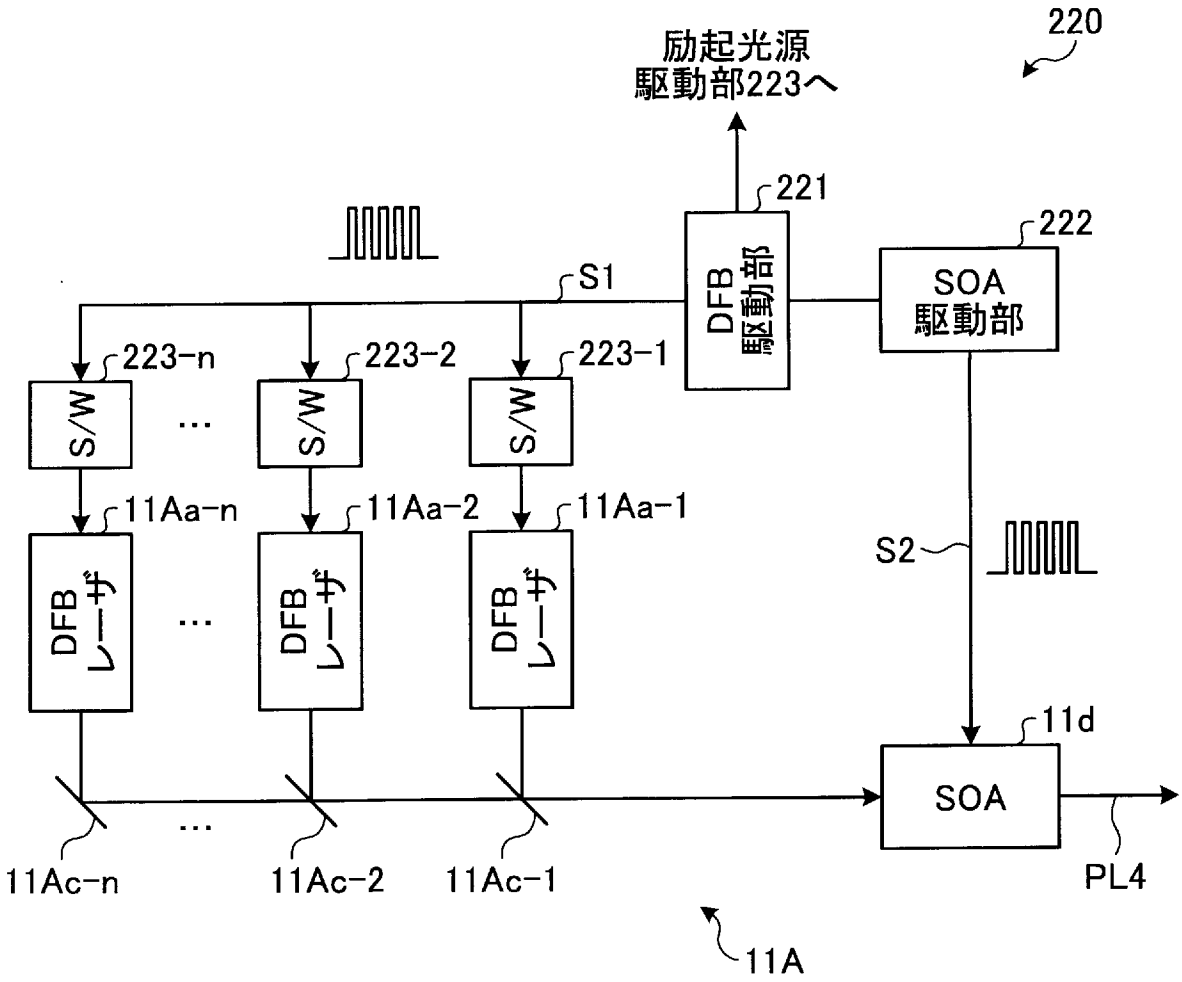
[図19]


220A
S1
222
SOA
駆動部
224
TEC
制御部
S2
11d
SOA
PL4
10A
11
11c
MMIカプラ
11b-1
11b-2
11b-n
13
TEC
11a-1
11a-2
11a-n
DFB
レーザ
221A-1
221A-2
221A-n
DFB
駆動部
励起光源
駆動部223へ

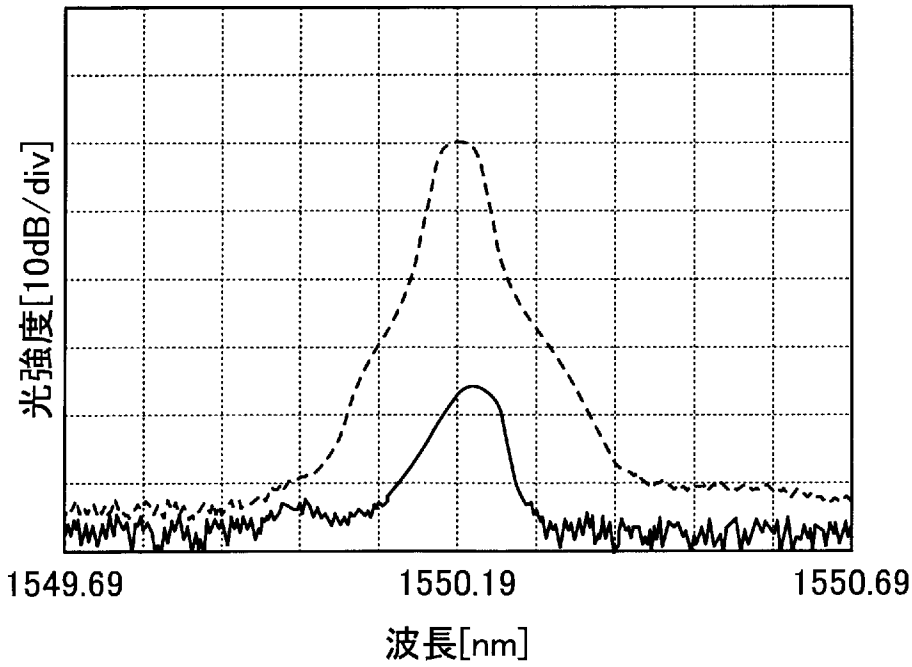
[図20]


11a-1
DFB
レーザ
11
10B
11b-1
11a-2
DFB
レーザ
11b-2
11c
MMIカプラ
11d
SOA
PL4
14
11a-n
DFB
レーザ
11b-n
S2
15
222
SOA
駆動部
モニタ部
225
220B
出力一定制御部

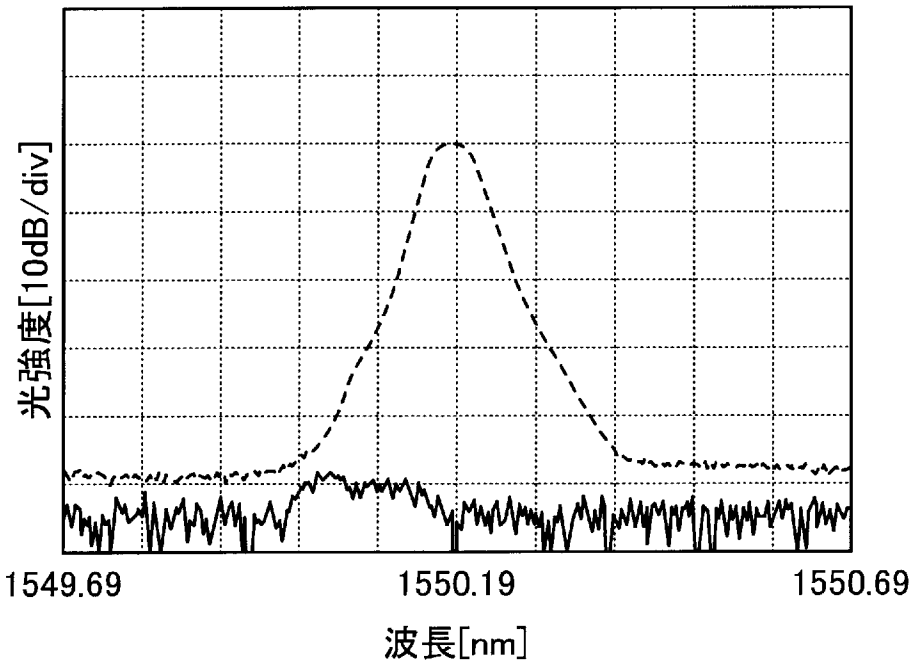
[図21]


220
励起光源
駆動部223へ
221
222
S1
DFB
駆動部
SOA
駆動部
223-n
223-2
223-1
S/W
S/W
S/W
11Aa-n
11Aa-2
11Aa-1
DFB
レーザ
DFB
レーザ
DFB
レーザ
S2
11d
SOA
11Ac-n
11Ac-2
11Ac-1
PL4
11A

[図22A]


光強度[10dB/div]
1549.69
1550.19
1550.69
波長[nm]

[図22B]


光強度[10dB/div]
1549.69
1550.19
1550.69
波長[nm]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/067402

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S5/068(2006.01)i, *G02B6/02*(2006.01)i, *H01S3/067*(2006.01)i, *H01S3/10*(2006.01)i, *H01S5/022*(2006.01)i, *H01S5/026*(2006.01)i, *H01S5/50*(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)
H01S5/00-5/50, G02B6/02, H01S3/00-3/30, B23K26/00-26/70

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 1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

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	JP 7-183621 A (NEC Corp.), 21 July 1995 (21.07.1995), paragraphs [0015] to [0029]; fig. 1 to 6 & EP 0665446 A2 column 3, line 22 to column 7, line 11; fig. 1 to 6	1-2
Y	JP 2011-181761 A (Omron Corp.), 15 September 2011 (15.09.2011), paragraphs [0028] to [0084]; fig. 1 to 5 & EP 2363927 A2 paragraphs [0029] to [0085]; fig. 1 to 5 & CN 102189330 A	1-25

☒ 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
25 August 2016 (25.08.16)	06 September 2016 (06.09.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/067402

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-194416 A (Canon Inc.), 02 August 2007 (02.08.2007), paragraphs [0002], [0016]; fig. 1 (Family: none)	1-25
Y	JP 2006-49491 A (Photo-Physics Laboratory Inc., Cyber Laser Inc.), 16 February 2006 (16.02.2006), paragraphs [0001] to [0004] (Family: none)	1-25
Y	JP 3-242627 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 29 October 1991 (29.10.1991), specification, page 2, upper left column, line 10 to page 4, upper right column, line 11; fig. 1 to 2, 5 to 6 (Family: none)	1-25
Y	JP 58-48513 A (NEC Corp.), 22 March 1983 (22.03.1983), specification, page 2, upper left column, line 17 to lower right column, line 3; fig. 1 (Family: none)	3-25
Y	JP 3-221927 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 30 September 1991 (30.09.1991), specification, page 3, upper right column, line 12 to lower right column, line 7; fig. 4 to 5 (Family: none)	3-25
Y	JP 2007-5704 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 11 January 2007 (11.01.2007), paragraphs [0003] to [0004] (Family: none)	8-25
Y	JP 5250564 B2 (Furukawa Electric North America, Inc.), 19 April 2013 (19.04.2013), paragraphs [0019] to [0043]; fig. 1 to 5 & US 2010/0002992 A1 paragraphs [0036] to [0072]; fig. 1 to 5 & WO 2008/097958 A1	14-25
Y	SOSNOWSKI et al., 3C Yb-doped Fiber Based High Energy and Power Pulsed Fiber Lasers, Proc. SPIE 8601, Fiber Lasers X: Technology, Systems, and Applications, 2013.03, p.1-p.11	14-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/067402

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-541091 A (Eastman Kodak Co.), 26 November 2009 (26.11.2009), paragraphs [0015] to [0021], [0034], [0037]; fig. 2 to 8 & US 2008/0018943 A1 paragraphs [0036] to [0042], [0055], [0058] to [0061]; fig. 2 to 8 & WO 2007/149208 A2 & CN 101472742 A	18-25
Y	JP 2014-135351 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 24 July 2014 (24.07.2014), paragraphs [0022] to [0027]; fig. 1 to 3 (Family: none)	18-25
Y	JP 2005-217235 A (Hitachi, Ltd., Ricoh Printing Systems, Ltd.), 11 August 2005 (11.08.2005), paragraph [0038]; fig. 11 & US 2005/0169329 A1 paragraph [0049]; fig. 11	21-25
Y	JP 2005-175021 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 30 June 2005 (30.06.2005), paragraphs [0030] to [0033]; fig. 4 (Family: none)	25

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６７４０２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S5/068(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, H01S3/067(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i, H01S5/022(2006.01)i, H01S5/026(2006.01)i, H01S5/50(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.　H01S5/00-5/50, G02B6/02, H01S3/00-3/30, B23K26/00-26/70

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	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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	JP 7-183621 A (日本電気株式会社) 1995.07.21, 段落[0015]-[0029], 図 1-6 & EP 0665446 A2 第 3 欄第 22 行-第 7 欄第 11 行, Fig. 1-6	1-2
Y	JP 2011-181761 A (オムロン株式会社) 2011.09.15, 段落[0028]-[0084], 図 1-5 & EP 2363927 A2 段落[0029]-[0085], FIG. 1-5 & CN 102189330 A	1-25

☑　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
２５．０８．２０１６	０６．０９．２０１６

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）　２Ｋ　４０８４
百瀬　正之
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2007-194416 A (キヤノン株式会社) 2007.08.02, 段落[0002],[0016],図 1 (ファミリーなし)	1-25
Y	JP 2006-49491 A (株式会社フィジクス研究所,サイバーレーザー株式会社) 2006.02.16, 段落[0001]-[0004] (ファミリーなし)	1-25
Y	JP 3-242627 A (日本電信電話株式会社) 1991.10.29, 明細書第 2 ページ左上欄第 10 行-第 4 ページ右上欄第 11 行, 第 1 図-第 2 図,第 5 図-第 6 図 (ファミリーなし)	1-25
Y	JP 58-48513 A (日本電気株式会社) 1983.03.22, 明細書第 2 ページ左上欄第 17 行-右下欄第 3 行,第 1 図 (ファミリーなし)	3-25
Y	JP 3-221927 A (日本電信電話株式会社) 1991.09.30, 明細書第 3 ページ右上欄第 12 行-右下欄第 7 行, 第 4 図-第 5 図 (ファミリーなし)	3-25
Y	JP 2007-5704 A (古河電気工業株式会社) 2007.01.11, 段落[0003]-[0004] (ファミリーなし)	8-25
Y	JP 5250564 B2 (フルカワ　エレクトリック　ノース　アメリカ　インコーポレーテッド) 2013.04.19, 段落[0019]-[0043],図 1-5 & US 2010/0002992 A1 段落[0036]-[0072],FIG.1-5 & WO 2008/097958 A1	14-25
Y	SOSNOWSKI et al., 3C Yb-doped Fiber Based High Energy and Power Pulsed Fiber Lasers, Proc. SPIE 8601, Fiber Lasers X: Technology, Systems, and Applications, 2013.03, p.1-p.11	14-25
Y	JP 2009-541091 A (イーストマン　コダック　カンパニー) 2009.11.26, 段落[0015]-[0021],[0034],[0037],図 2-8 & US 2008/0018943 A1 段落[0036]-[0042],[0055],[0058]-[0061],FIG.2-8 & WO 2007/149208 A2 & CN 101472742 A	18-25

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2014-135351 A (古河電気工業株式会社) 2014.07.24, 段落[0022]-[0027}, 図 1-3 (ファミリーなし)	18-25
Y	JP 2005-217235 A (株式会社日立製作所, リコープリンティングシステムズ株式会社) 2005.08.11, 段落[0038], 図 11 & US 2005/0169329 A1 段落[0049], FIG. 11	21-25
Y	JP 2005-175021 A (日本電信電話株式会社) 2005.06.30, 段落[0030]-[0033], 図 4 (ファミリーなし)	25