

(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
2010 年 7 月 29 日(29.07.2010)

PCT

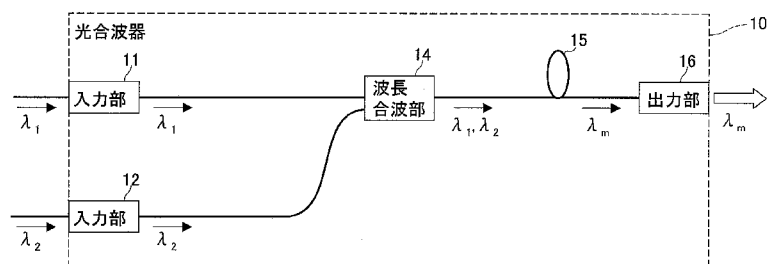
(10) 国際公開番号
WO 2010/084796 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/35 (2006.01) H01S 3/06 (2006.01)
G02F 1/365 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/050185
- (22) 国際出願日: 2010 年 1 月 8 日(08.01.2010)
- (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 2009-012564 2009 年 1 月 23 日(23.01.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場 1 丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 北林 和大 (KITABAYASHI, Tomoharu) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 岡田賢治, 外 (OKADA, Kenji et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋二丁目 1 2 番 5 号瀬戸ロビル 3 階アイル知財事務所 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, 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, JP, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, 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))

(54) Title: OPTICAL MULTIPLEXER AND FIBER LASER

(54) 発明の名称: 光合波器及びファイバレーザ

[図1]



- 10 OPTICAL MULTIPLEXER
11 INPUT PORTION
12 INPUT PORTION
14 WAVELENGTH MULTIPLEXING PORTION
16 OUTPUT PORTION

(57) Abstract: Disclosed are an optical multiplexer to obtain high output light having a single wavelength and a fiber laser. An optical multiplexer is comprised of input portions (11, 12), a wavelength multiplexing portion (14), a multiplexed light converter (15), and an output portion (16). A plurality of lights having wavelengths λ_1 and λ_2 are input to the input portions (11, 12). The wavelength multiplexing portion (14) combines the different wavelengths λ_1 and λ_2 which have been input to the respective input portions (11, 12) to produce a single multiplexed light. Multiplexing the wavelengths ensures that the wavelengths are multiplexed without the loss. The multiplexed light converter (15) produces Raman light with at least one of the wavelengths λ_1 and λ_2 the multiplexed light output from the wavelength multiplexing portion (14) has, and converts the multiplexed light of wavelengths λ_1 and λ_2 from the wavelength multiplexing portion (14) into light of a single wavelength λ_m contained in the wavelength band of the Raman light.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/084796 A1



本発明は、単一波長の高出力光を得るための光合波器及びファイバレーザの提供を目的とする。本発明に係る光合波器は、入力部 11、12 と、波長合波部 14 と、合波光変換部 15 と、出力部 16 と、を備える。入力部 11 及び 12 には、複数波長 λ_1 、 λ_2 の光が入力される。波長合波部 14 は、波長ごとに異なる入力部 11、12 から入力された複数波長 λ_1 、 λ_2 の光を 1 つの合波光に波長合波する。波長合波することで、損失なく合波することができる。合波光変換部 15 は、波長合波部 14 からの合波光に含まれる波長 λ_1 及び λ_2 のうちの少なくとも 1 波長でラマン光を発生し、波長合波部 14 からの波長 λ_1 及び λ_2 の合波光を、当該ラマン光の波長帯域に含まれる単一波長 λ_m の光に変換する。

明 細 書

発明の名称： 光合波器及びファイバレーザ

技術分野

[0001] 本発明は、光合波器及びファイバレーザに関連し、特に高出力且つビーム品質のよいファイバレーザを提供するための光合波器及びファイバレーザに関する。

背景技術

[0002] 近年、ファイバレーザの出力は高出力化が続いており、10 kWを超える出力のファイバレーザが市販されている。そのような高出力ファイバレーザは、産業上は加工機や医療機器、測定器など様々な分野で利用されるようになってきており、特に材料加工の分野においては、ファイバレーザは他のレーザに比べて集光性に優れ、パワー密度が高くかつ小さなビームスポットが得られるため精密加工が可能なこと、また、非接触加工であり、且つレーザ光の吸収可能な硬い物質の加工も可能であることなどから、急速に用途が拡大している。

[0003] このような10 kWを超えるファイバレーザは通常、数10 W～数kWの出力をもった複数のファイバレーザの出力光を合波することにより達成されている。出力光の合波には、コヒレントビーム方式や波長ビーム方式が用いられている（例えば、特許文献1から3参照。）。

[0004] コヒレントビーム方式では、同一波長で発振する複数のレーザ出力光の位相をそろえることで、位相结合を生じさせて合波させる（例えば、特許文献1参照。）。これにより、同一波長の高出力光を得る。

[0005] ここで、位相制御を行うことなく位相结合を生じさせる方法が提案されている（例えば、特許文献2参照。）。この方法では、共振器内の一部で2つの光ファイバのコアを近接させ、一方の光ファイバのコア内から染み出た光を他方の光ファイバのコアに光学的に結合させて注入同期を行う。これにより、自動的に2つのファイバレーザが同位相で発振し、個別に位相制御する

ことなくレーザ出力光の合波を行うことができる。

- [0006] 一方、波長ビーム方式では、発振波長の異なる複数のレーザ出力を回折格子に入射し、波長によって回折角が異なることを利用して、回折後の光を空間的に重ね合わせる（例えば、特許文献3参照。）。これにより、高出力光を得る。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：米国特許公報20080085128号
特許文献2：特開平10-118038号公報
特許文献3：米国特許公報20070127123号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] コヒレントビーム方式では、個別に発振しているレーザ光の位相が合うように精密に制御しなければならない。レーザ光の位相は外乱で簡単に変化するため制御が困難であり、制御系が非常に複雑になるという問題があった。
- [0009] また、位相制御を行うことなく位相結合を生じさせる方法では、結合部が必ず共振器内に存在するので、高出力ファイバレーザで用いられているクラッドポンプ方式のファイバレーザの場合には、結合部に使用できるような光カプラの作製が困難である。
- [0010] 波長ビーム方式では、回折格子が非常に高価であり、合波するファイバレーザ同士の波長は通常1nm程度は離す必要がある。このため、多数のファイバレーザを合波する場合には合波後のレーザの波長スペクトル幅が非常に広くなり、実際の加工応用、特に微細加工などでは色収差をなくすために高価な光学部品を使用しなければならなくなるといった問題があった。
- [0011] そこで、本発明は、単一波長の高出力光を得るための光合波器及びファイバレーザの提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 上記課題を解決するために、本発明に係る光合波器は、波長ごとに異なる入力部から入力された複数波長の光を 1 つの合波光に波長合波する波長合波部と、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの少なくとも 1 波長でラマン光を発生し、前記波長合波部からの合波光を、当該ラマン光の波長帯域に含まれる単一波長の光に変換する合波光変換部と、を備えることを特徴とする。

[0013] 波長合波部が異なる波長の光を合波することで、複数波長が含まれる高出力の合波光を生成する。ここで、波長合波することから、結合損失なく合波することができる。そして、ラマン散乱が発生する光ファイバが波長合波部の後段に接続されているため、当該合波光に含まれる複数波長を単一波長に変換することができる。これによって、単一波長の高出力光を発生させることができる。また、この構成によれば、位相制御が不要であり、かつ、簡単な構造で単一波長の光を発生させることができる。

[0014] 本発明に係る光合波器では、前記単一波長は、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの最長波長と同一波長であることが好ましい。

この光合波器は、入力部に入力された最長波長の光はそのまま出力する。そのため、高出力の単一波長光を出力することができる。

[0015] 本発明に係る光合波器では、前記単一波長は、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの最長波長よりも長い波長であることが好ましい。

合波光変換部から出力された光が反射され、入力部に接続されているレーザ光源に入射する場合がある。前記単一波長がレーザ光源の利得波長帯域外であるため、この単一波長の光がレーザ光源に入射した場合であっても、レーザ光源の損傷を防ぐことができる。

[0016] 本発明に係る光合波器では、前記合波光変換部は、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの最短波長以上前記単一波長以下の波長を透過し、前記単一波長より長い波長を阻止することが好ましい。

合波光変換部では、合波光が長波長の光に変換されていく。このとき、合波光変換部が単一波長より長い波長を阻止するので、単一波長の光を効率よ

く発生させることができる。

[0017] 本発明に係る光合波器では、前記合波光変換部は、前記ラマン光のN次のうち、N次のラマン光に対して導波方向に連続的に損失を与え、前記N次の誘導ラマン散乱光の発生を抑制するファイバであることが好ましい。

ファイバの透過波長帯域及び阻止波長帯域は、その構造により設定することができる。これにより、単一波長の光を効率よく発生させることができる。

[0018] 本発明に係る光合波器では、前記ファイバは、 $(N-1)$ 次波長をバンドギャップ波長帯域内とし、前記N次のラマン光波長をバンドギャップ波長帯域外としたPBGF (Photonic Bandgap Fiber) であることが好ましい。

PBGFを用いることで、ファイバの透過波長帯域及び阻止波長帯域を設定することができる。

[0019] 本発明に係るファイバレーザは、本発明に係る光合波器と、出力波長の異なる複数のレーザ光源と、を備え、前記複数のレーザ光源は、それぞれ、前記出力波長の光を前記光合波器の異なる前記入力部に供給することを特徴とする。

このファイバレーザによれば、レーザ光源からの複数波長の光を単一波長の光に変換するので、単一波長の高出力光を発生させることができる。光合波器は、波長合波するので、複数のレーザ光源からの出力光を合波する際の結合損失の発生を防ぐことができる。

[0020] 本発明に係るファイバレーザでは、前記複数のレーザ光源の少なくとも1つは、入射された光でラマン光を発生し、前記光合波器に供給する前記出力波長の光に変換する出力光変換部を備えることが好ましい。

複数のレーザ光源の光発生部がそれぞれ同じ波長の光を発生するものであっても、入力部へ異なる波長の光を入力することができる。これにより、各レーザ光源で発生した光を、波長合波部にて損失なく波長合波することができる。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、単一波長の高出力光を得るための光合波器及びファイバレーザを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]実施形態1に係る光合波器の構成概略図である。

[図2]合波光変換部15の各部における伝搬光のスペクトラムの一例であり、(a)は合波光変換部への入力光スペクトル、(b)は合波光変換部からの出力光スペクトルを示す。

[図3]PBGFの一例を示し、(a)は横断面図、(b)は直線A上での径方向の屈折率プロファイルを示す。

[図4]実施形態2に係るファイバレーザの構成概略図である。

[図5]実施形態3に係るファイバレーザの構成概略図である。

[図6]実施形態4に係るファイバレーザの構成概略図である。

[図7]実施形態5に係るファイバレーザの構成概略図である。

[図8]実施形態6に係るファイバレーザの構成概略図である。

発明を実施するための形態

[0023] 添付の図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。以下に説明する実施の形態は本発明の構成の例であり、本発明は、以下の実施の形態に制限されるものではない。

[0024] (実施形態1)

図1は、本実施形態に係る光合波器の構成概略図である。本実施形態に係る光合波器10は、入力部11、12と、波長合波部14と、合波光変換部15と、出力部16と、を備える。波長合波部14の入力ポートはそれぞれ光合波器10の入力部11、12と接続される。合波光変換部15の出力ポートは、光合波器10の出力部16と接続される。

[0025] 入力部11及び12には、波長 λ_1 、 λ_2 の光がそれぞれ入力される。波長 λ_1 と波長 λ_2 は異なる波長である。

[0026] 波長合波部14は、波長ごとに異なる入力部11、12から入力された複

数波長 λ_1 、 λ_2 の光を1つの合波光に波長合波する。波長合波することで、複数の入力光を損失なく合波することができる。波長合波部14には、WDM (Wavelength Division Multiplexer) を用いることができる。

[0027] 波長合波部14からの合波光は、合波光変換部15に入力される。合波光変換部15は、波長合波部14からの波長 λ_1 及び λ_2 の合波光を単一波長 λ_m の光に変換する。例えば、合波光変換部15は、波長合波部14からの合波光に含まれる波長 λ_1 及び λ_2 のうちの少なくとも1波長の光でラマン光を発生するファイバである。そして、光合波器10の出力部16から単一波長 λ_m の光を出力する。例えば、波長 λ_1 及び λ_2 は、1040nm、1090nm又は1140nmとする。

[0028] 図2は、合波光変換部15の各部における伝搬光のスペクトラムの一例であり、(a)は合波光変換部への入力光スペクトル、(b)は合波光変換部からの出力光スペクトルを示す。波長 λ_1 の光及び波長 λ_2 の光のそれぞれが単一波長 λ_m に変換されるため、単一波長 λ_m の光強度は、波長 λ_1 の光強度と λ_2 の光強度との和に近い値となる。このように、図1に示す光合波器10は、波長合波部14及び合波光変換部15を備えることで、大きな光強度の単一波長 λ_m の光を出力することができる。本実施形態では、入力部が2個の場合について示したが、入力部の数を3個、4個、5個・・・と増やすことで、出力部16からの単一波長 λ_m の光強度をさらに高めることができる。

[0029] 合波光変換部15がラマン散乱を用いて波長変換を行う場合、単一波長 λ_m は、合波光変換部15の発生するラマン光の波長帯域に含まれる。そのため、単一波長 λ_m は、波長合波部14からの合波光に含まれる波長 λ_1 及び λ_2 のうちの最長波長 λ_2 と同一波長又は当該最長波長 λ_2 よりも長い波長となる。

[0030] ここで、単一波長 λ_m は、波長合波部14からの合波光に含まれる波長 λ_1 及び λ_2 のうちの最長波長 λ_2 と同一波長であることが好ましい。この場合、合波光変換部15では、入力された波長の異なる2つの光のうち、波長が短い光(波長 λ_1)が、他方の光の波長 λ_2 の光に変換されて出力される。波長

λ_2 の光については合波光変換部 15 での光強度の低下がないので、単一波長 λ_m の光強度を向上することができる。

[0031] また、単一波長 λ_m は、波長合波部 14 からの合波光に含まれる波長 λ_1 及び λ_2 のうちの最長波長 λ_2 よりも長い波長であることが好ましい。出力部 16 から外部に出力された光が反射され、入力部 11、12 に接続されているレーザ光源に入射する場合がある。例えば、レーザ光源がファイバレーザである場合、単一波長 λ_m をそのファイバレーザの増幅用ファイバの利得波長帯域外とすることで、単一波長 λ_m の光がレーザ光源に入射した場合であっても、その単一波長 λ_m の波長の光は増幅されることはない。このため、レーザ光源に大きなパワーの光が発生してしまうことがないので、レーザ光源の損傷を防ぐことができる。

[0032] 図 1 に示す合波光変換部 15 から単一波長 λ_m の光を出力するために、合波光変換部 15 は、波長合波部 14 からの合波光に含まれる波長 λ_1 及び λ_2 のうちの最短波長 λ_1 以上単一波長 λ_m 以下の波長を透過し、単一波長 λ_m より長い波長を阻止することが好ましい。たとえば、合波光変換部 15 は、発生するラマン光のうちの N 次のラマン光に対して導波方向に連続的に損失を与え、 N 次の誘導ラマン散乱光の発生を抑制するファイバであることが好ましい。特に、合波光変換部 15 は、高次のラマン光に対して導波方向に分布する損失を与え、高次の誘導ラマン光の発生を抑制する PBGF であることが好ましい。すなわち、この PBGF のバンドギャップ波長帯域が、最短波長 λ_1 と単一波長 λ_m とを含み、かつ、最短波長 λ_1 の所望の次数、例えば 2 次のラマン光波長を含まないようにした PBGF であることが好ましい。これにより、所望の次数（例えば 2 次）のラマン光に対して導波方向への連続的な損失が発生し、所望の次数（例えば 2 次）のラマン散乱光の発生を抑制することができる。さらに、PBGF をコイル状に巻くことにより、バンドギャップ波長帯域を微調整することができる。

[0033] ここで、抑制する誘導ラマン光の次数は任意である。例えば、単一波長 λ_m を波長 λ_2 と等しくかつ波長 λ_1 の 1 次のラマン散乱の波長と等しい波長とす

る場合、波長 λ_1 の2次のラマン光の波長を抑制する。また、単一波長 λ_m を波長 λ_1 の2次のラマン散乱の波長と等しく、かつ、波長 λ_2 が波長 λ_1 の1次のラマン散乱の波長と等しい波長とする場合、波長 λ_1 の3次のラマン光の波長を抑制する。このように、抑制する誘導ラマン光の次数は、入力部のポート数以上とすることが好ましい。

[0034] 図3は、PBGFの構造の一例を示し、(a)は横断面図、(b)は直線A上での径方向の屈折率プロファイルを示す。図3(a)に示すように、PBGF500は、中心に添加物を含まない石英で形成された低屈折率領域501を持っており、その周囲にGeなどを添加した高屈折率領域502が形成されている。この高屈折率領域502が三角格子状の周期構造に配列されている。図3(b)に示すような低屈折率領域501及び高屈折率領域502の屈折率分布を形成することによって、特定波長に対するバンドギャップが形成される。高屈折率領域502の直径や間隔を調整することでバンドギャップを所望波長に形成することができる。

[0035] バンドギャップが形成されている波長域の光をPBGF500に入射すると、当該波長域の光は低屈折率領域501内に閉じ込められながらPBGF500を導波する。一方、バンドギャップの外の波長域の光をPBGF500に入射すると、当該波長域の光は低屈折率領域501内にとどまることができないので、PBGF500全面に広がり放射されてしまう。すなわち、PBGF500では、バンドギャップが形成されている波長域の光に対してのみ、低屈折率領域501がコア、高屈折率領域502がクラッドとして機能する。

[0036] 本実施形態においては、PBGF500中で発生するラマン散乱を利用して波長変換を行う。通常、低屈折率領域501中を伝搬する光は、ラマン散乱によって元の光の波長よりも長波長側に自然ラマン散乱光を発生する。低屈折率領域501中を伝搬する光からは、自然ラマン散乱光が更なるラマン散乱を誘発する誘導ラマン散乱を生じ、ラマン光が大量に発生する。光通信などではこの現象を利用し、光ファイバ中に1450nm付近の光を入射し

、この光の誘導ラマン散乱による増幅効果で通信信号波長である 1550 nm の光を増幅するラマン増幅器に関する提案が行われている。

[0037] 光通信で使用する信号は数 100 mW であり、上記ラマン増幅器では、ファイバレーザで出力される数 10 W を超えるような光は想定されていない。仮に数 10 W のレーザが光通信で利用されるような光ファイバに入射されれば、わずかに数 m でラマン散乱によってラマン光が発生し、さらに当該ラマン光から 2 次ラマン光が発生し、次々に長波長の光が発生する。

[0038] PBGF500 は、高屈折率領域 502 の周期構造等により透過帯域と阻止帯域を任意に設定することができる。透過帯域とは、低屈折率領域 501 に閉じ込めて伝搬できる波長の帯域をいう。本実施形態に係る光合波器の透過帯域の波長のレーザ光を入射した場合、自然ラマン光が発生する波長帯域が PBGF500 のバンドギャップ波長帯域内にあれば、誘導ラマン散乱による波長変換が起こる。PBGF500 は、 λ_1 の 2 次のラマン光波長が、そのバンドギャップ波長帯域外となるような構造としている。このため、 λ_1 の 1 次の誘導ラマン光は発生するが、 λ_1 の 2 次以上の誘導ラマン光が伝搬することはない。すなわち、PBGF500 では、通常の光ファイバで生じるような、次々と長波長の高次のラマン光が発生して伝搬することがないため、変換波長光（波長 λ_1 ）のパワーの損失を抑制でき、高い変換効率を実現することができる。

[0039] （実施形態 2）

図 4 は、本実施形態に係るファイバレーザの構成概略図である。本実施形態に係るファイバレーザ 100 は、実施形態 1 に係る光合波器 10 と、出力波長の異なる複数のレーザ光源 101 及び 102 と、レーザ出力端 17 と、を備える。

[0040] 複数のレーザ光源 101 及び 102 は、それぞれ、異なる出力波長の光を、光合波器 10 の異なる入力部 11、12 に供給する。例えば、レーザ光源 101 は入力部 11 に波長 λ_1 の光を供給する。レーザ光源 102 は入力部 12 に波長 λ_1 と異なる波長 λ_2 の光を供給する。光合波器 10 は、入力部 11

、12に入力された複数波長 λ_1 及び λ_2 の光を単一波長 λ_m の光に変換して、出力部16から出力する。レーザ出力端17は、単一波長 λ_m の光を出力する。光合波器10については、実施形態1で説明したとおりである。

[0041] ファイバレーザ100の具体例について説明する。

レーザ光源101として、発振波長 λ_1 が1040nm、出力50WであるYb添加光ファイバレーザを用いる。レーザ光源102として、発振波長 λ_2 が1090nm、出力50WであるYb添加光ファイバレーザを用いる。レーザ光源102の波長は、レーザ光源101のレーザ光が合波光変換部15であるファイバ中を伝搬することでラマン光が発生する波長帯域に発振波長があるように選択している。このような組み合わせとすることで、合波光変換部15において、波長1040nmのレーザ光の誘導ラマン散乱を起り易くすることができる。

[0042] 合波光変換部15として、波長1030nm以上1100nm以下のバンドギャップを有し、モードフィールド径が10 μ mのPBGFを50m使用する。波長1040nmのレーザ光は、このPBGFを伝搬する際、ラマン散乱により1090nm付近にラマン光が発生する。このとき、PBGFにはちょうど1090nmのレーザ光が同時に入射されているため、1090nmのレーザ光が1040nmのレーザ光の誘導ラマン散乱を誘発し、波長1040nmのレーザ光は高い効率で波長1090nmのレーザ光に変換される。一方、1090nmのレーザ光のラマン光が発生する帯域は1140nm付近となるが、1140nm付近はバンドギャップ波長帯域外となり低屈折率領域（図3に示す符号501）にはこの波長の光が導波できないため、これ以上の波長の変換は起こらない。その結果、レーザ出力端17からは、図2に示すように、単一波長 λ_m として波長1090nmのレーザ光が出力される。出力されたレーザ光の出力は84Wで、高効率で2つの波長の異なるレーザ光を合波し、単一波長のレーザ光として出力されていることが確認できている。

[0043] また、ファイバレーザ100を実際に加工等に使用した際には、レ

ーザ出力端 17 外で反射したレーザ光が再びファイバレーザ 100 に入射する場合がある。この反射光は、光合波器 10 内を逆戻りしてレーザ光源 101 及び 102 に到達する。このときレーザ出力の波長が光合波器 10 の入力部 11、12 に接続されているレーザ光源 101 及び 102 に使用されている利得媒体の利得波長帯域内にある場合には、この反射光が利得媒体により増幅されてレーザ光源 101 及び 102 を故障させてしまう場合がある。これを防止するためには、レーザ出力端 17 から出力する単一波長の λ_m がレーザ光源 101 及び 102 に使用されている利得媒体の利得波長帯域外になるようにすればよい。

[0044] 本実施形態では、Yb 添加光ファイバレーザをレーザ光源 101 及び 102 として入力部 11 及び 12 に接続しており、この Yb 添加光ファイバは波長 1020 nm から波長 1100 nm 程度までの波長帯域で大きな利得を有する。したがって、合波光変換部 15 に用いた PBGF のバンドギャップ波長帯域を 1150 nm 程度まで広げることで、実施形態 1 では抑制されていた波長 1140 nm への波長変換まで起きるようになる。このようにすることで、レーザ出力端 17 からの出力を Yb 添加光ファイバの利得波長帯域外にすることができ、仮に反射光がレーザ光源 101 及び 102 に入射しても、これらレーザ光源 101 及び 102 の故障を防止することができる。

[0045] (実施形態 3)

図 5 は、本実施形態に係るファイバレーザの構成概略図である。本実施形態に係るファイバレーザ 200 は、3 つのレーザ光源 101、102 及び 103 と、3 つの入力部 11、12 及び 13 と、2 つの波長合波部 14a 及び 14b と、を備える。

[0046] 前述の実施形態 2 と比較して、合波光変換部 15 に入力される合波光に含まれる波長の数が 2 から 3 へと増加しているので、合波光変換部 15 に入力される合波光の光強度が高くなっている。これにより、出力部 16 から出力される単一波長 λ_m の光強度を増加することができる。

[0047] 入力部 11、12 及び 13 は、それぞれ複数のレーザ光源 101、102

及び103が接続されている。波長合波部14a及び14bは、波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 ごとに異なる入力部11、12及び13から入力された複数波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光を1つの合波光に波長合波する。ここで、異なる波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 は、例えば、波長1040nm、1次ラマン光波長1090nm、2次ラマン光波長1140nmである。

[0048] 波長合波部14a及び14bは2×1のWDMであり、波長合波部14aと波長合波部14bが多段接続されている。この場合、波長合波部14aは、入力部11、12から入力された複数波長 λ_1 、 λ_2 の光を1つの合波光に波長合波する。波長合波部14bは、入力部11及び12から入力された波長 λ_1 、 λ_2 の光と、入力部13から入力された波長 λ_3 の光を波長合波する。波長合波部14a及び14bによって、複数波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の合波光を生成する。

[0049] また、波長合波部14a及び14bは、共通の波長合波部としてもよい。この場合、入力部11、12及び13から入力された複数波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光は、1つの波長合波部で波長合波される。これによって、複数波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の合波光を生成する。複数波長の光を1つの波長合波部で波長合波することで、部品点数を削減することができる。

[0050] 合波光変換部15は、波長合波部14からの複数波長の合波光を単一波長 λ_m の光に変換する。単一波長 λ_m が、波長合波部14からの合波光に含まれる波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 のうちの最長波長 λ_3 と同一波長である場合、合波光変換部15は最長波長 λ_3 と同一波長の1140nmに変換する。単一波長 λ_m が当該最長波長 λ_2 よりも長い波長である場合、合波光変換部15は単一波長 λ_m として3次ラマン光波長1200nmに変換する。そして、出力部16及びレーザ出力端17は、単一波長 λ_m の光を出力する。

[0051] (実施形態4)

図6は、本実施形態に係るファイバレーザの構成概略図である。本実施形態に係るファイバレーザ300は、光合波器10a及び10bを備え、実施形態1で説明した光合波器10が多段接続された構成となっている。

- [0052] 光合波器 10a の入力部 11 及び 12 に、それぞれ複数のレーザ光源 102 及び 101 が接続され、それぞれ波長 λ_2 及び λ_1 の光が入力される。そして、光合波器 10a の出力部 16 から、単一波長 λ_m として最長波長 λ_2 と同一波長の光が出力される。例えば、波長 λ_1 が 1040 nm、波長 λ_2 が 1090 nm であれば、光合波器 10b の出力部 16 から最長波長 λ_2 と同一波長の 1090 nm の光が出力される。
- [0053] 光合波器 10b の入力部 11 には、光合波器 10a の出力部 16 が接続され、波長 λ_2 の光が入力される。一方、光合波器 10b の入力部 12 には、レーザ光源 101 が接続され、波長 λ_1 の光が入力される。そして、光合波器 10a の出力部 16 から、単一波長 λ_m として最長波長 λ_2 と同一波長の光が出力される。例えば、光合波器 10b の出力部 16 から最長波長 λ_2 と同一波長の 1090 nm の光が出力される。
- [0054] このように、光合波器 10a 及び 10b を多段接続し、光合波器 10a 及び 10b の入力部 12 に波長 λ_1 のレーザ光源 101 を接続すれば、最長波長 λ_2 の光強度を、多段接続されている光合波器 10a 及び 10b の数に応じて大きくすることができる。
- [0055] 本実施形態では、光合波器が 2 段の多段接続の場合について示したが、3 段以上となる 3 段、4 段、5 段・・・と増やすことで、出力部 16 からの最長波長 λ_2 と同一波長の光強度をさらに大きくことができる。
- [0056] (実施形態 5)
- 図 7 は、本実施形態に係るファイバレーザの構成概略図である。本実施形態に係るファイバレーザ 400 は、実施形態 2 で説明したレーザ光源 102 が光発生部 111 と、出力光変換部 112 と、を備える。
- [0057] 実施形態 2 から実施形態 4 では、異なる波長のレーザ光源を合波した。波長合波を用いているので、同じ波長のレーザ光を合波することができない。しかし、複数のレーザ光源 101 及び 102 の少なくとも 1 つのレーザ光源 102 が光発生部 111 及び出力光変換部 112 を備えることで、レーザ光源 101 の出力光波長と光発生部 111 の出力光波長とを同一にすることが

できる。すなわち、レーザ光源 101 と光発生部 111 とが同一の構成であっても、波長合波により、高い強度の単一波長光を得ることができる。

[0058] 例えば、レーザ光源 101 及び光発生部 111 に、波長 λ_1 で発振するレーザ光源を用いる。入力部 11 より入力された波長 λ_1 のレーザ光はそのまま波長合波部 14 へと入力される。

[0059] 一方、光発生部 111 から出力された波長 λ_1 のレーザ光は、出力光変換部 112 に入力され、ラマン散乱により波長 λ_2 の光に変換されて出力される。出力光変換部 112 には、合波光変換部 15 と同じ PBGF を用いることができる。そして、レーザ光源 102 は、光合波器 10 に供給する出力波長 λ_2 の光を入力部 12 に入力する。

[0060] なお、本実施形態では、出力光変換部 112 がレーザ光源 102 に備わる構成としたが、出力光変換部 112 は、入力部 12 と波長合波部 14 との間に設けられていてもよい。図 8 に、実施形態 6 に係るファイバレーザの構成概略図を示す。図 8 に示すファイバレーザ 600 の場合も、波長合波部 14 の入力ポートにはそれぞれ波長の異なる波長 λ_1 及び λ_2 のレーザ光が入力される。そのため、波長合波部 14 で損失なく合波することができる。そして、波長合波部 14 で合波された光は、実施形態 1 と同様の過程を経て、波長 λ_m の光として出力部 16 から出力される。出力されたレーザ光の出力は 82 W であり、実施形態 2 とほぼ同等の効率で、同じ波長の 2 つのファイバレーザ出力を合波し単一波長成分のレーザ光として出力されていることが確認できている。

[0061] 本実施形態に係る構成とすることで、同一波長 λ_1 の光を入力部 11 及び 12 に入力した場合であっても、波長合波部 14 に入力する前に、入力部 12 から入力された波長 λ_1 の光を波長 λ_2 に変換することができる。これにより、損失なく波長合波部 14 にて波長合波することができる。

[0062] 以上、説明した各実施形態において、合波光変換部 15 の所望の次数のラマン光に対して導波方向への連続的な損失を発生させる構成として PBGF を例に説明したが、変換光の波長を透過させ、所望の次数のラマン光に対し

て導波方向への連続的な損失を発生させる構成であれば、合波光変換部 15 は、P B G Fに限らない。P B G Fの他に、合波光変換部 15として、所望の波長から曲げ損失を発生させるコイル状に巻いたファイバを用いることもできる。また、合波光変換部 15として、発生を抑制させたい波長帯域の光を吸収するドーパントを含むファイバを用いることによっても、所望の次数のラマン光に対して導波方向に連続的な損失を発生させるという効果を奏することができる。

産業上の利用可能性

[0063] 本発明は、ファイバレーザの高出力化により、加工用ファイバレーザに利用できることから、電気機器産業や一般機械産業などの幅広い産業に利用することができる。

符号の説明

[0064] 10、10a、10b：光合波器
11、12、13：入力部
14、14a、14b：波長合波部
15：合波光変換部
16：出力部
17：レーザ出力端
100、200、300、400、600：ファイバレーザ
101、102、103：レーザ光源
111：光発生部
112：出力光変換部
500：P B G F
501：低屈折率領域
502：高屈折率領域

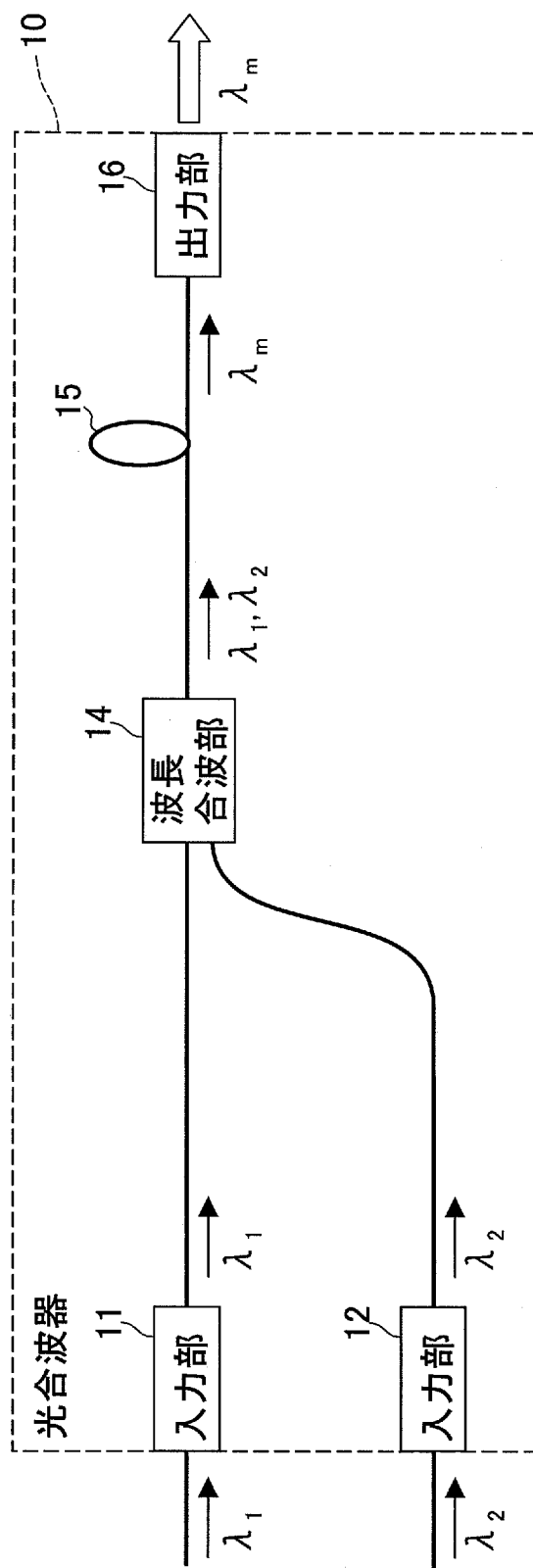
請求の範囲

- [請求項1] 波長ごとに異なる入力部から入力された複数波長の光を1つの合波光に波長合波する波長合波部と、
- 前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの少なくとも1波長でラマン光を発生し、前記波長合波部からの合波光を、当該ラマン光の波長帯域に含まれる単一波長の光に変換する合波光変換部と、を備えることを特徴とする光合波器。
- [請求項2] 前記単一波長は、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの最長波長と同一波長であることを特徴とする請求項1に記載の光合波器。
- [請求項3] 前記単一波長は、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの最長波長よりも長い波長であることを特徴とする請求項1に記載の光合波器。
- [請求項4] 前記合波光変換部は、前記波長合波部からの合波光に含まれる波長のうちの最短波長以上前記単一波長以下の波長を透過し、前記単一波長より長い波長を阻止することを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の光合波器。
- [請求項5] 前記合波光変換部は、前記ラマン光のN次のうち、N次のラマン光に対して導波方向に連続的に損失を与え、前記N次の誘導ラマン散乱光の発生を抑制するファイバであることを特徴とする請求項4に記載の光合波器。
- [請求項6] 前記ファイバは、(N-1)次波長をバンドギャップ波長帯域内とし、前記N次のラマン光波長をバンドギャップ波長帯域外としたPBG (Photonic Band gap Fiber) であることを特徴とする請求項5に記載の光合波器。
- [請求項7] 請求項1から6のいずれかに記載の光合波器と、
- 出力波長の異なる複数のレーザ光源と、を備え、
- 前記複数のレーザ光源は、それぞれ、前記出力波長の光を前記光合

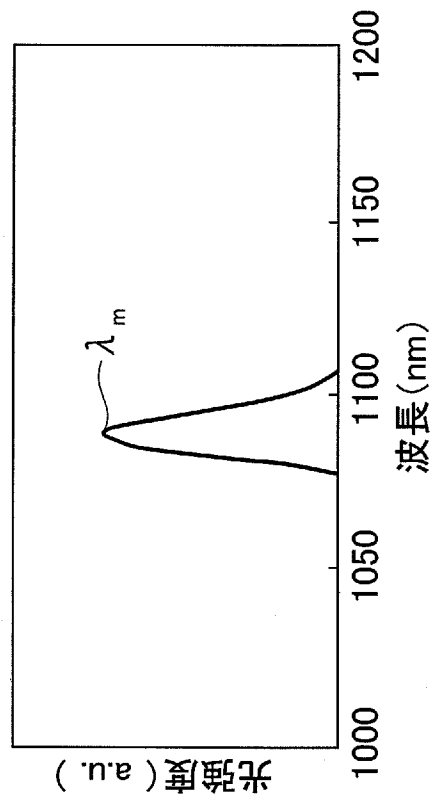
波器の異なる前記入力部に供給することを特徴とするファイバレーザ。
。

[請求項8] 前記複数のレーザ光源の少なくとも1つは、入射された光でラマン光を発生し、前記光合波器に供給する前記出力波長の光に変換する出力光変換部を備えることを特徴とする請求項7に記載のファイバレーザ。

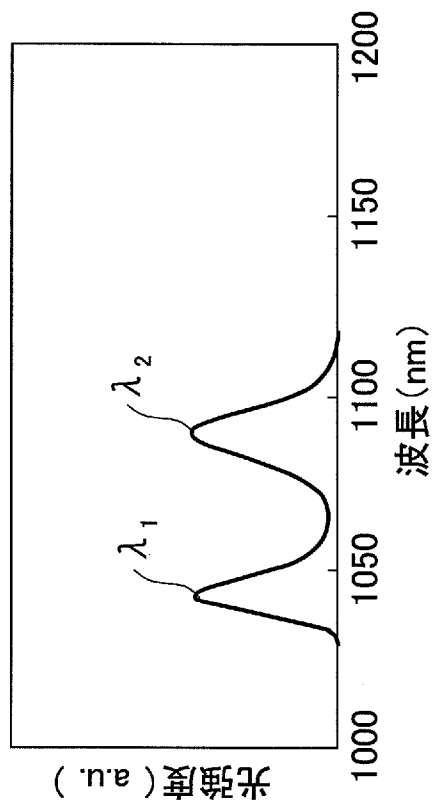
[図1]



[図2]

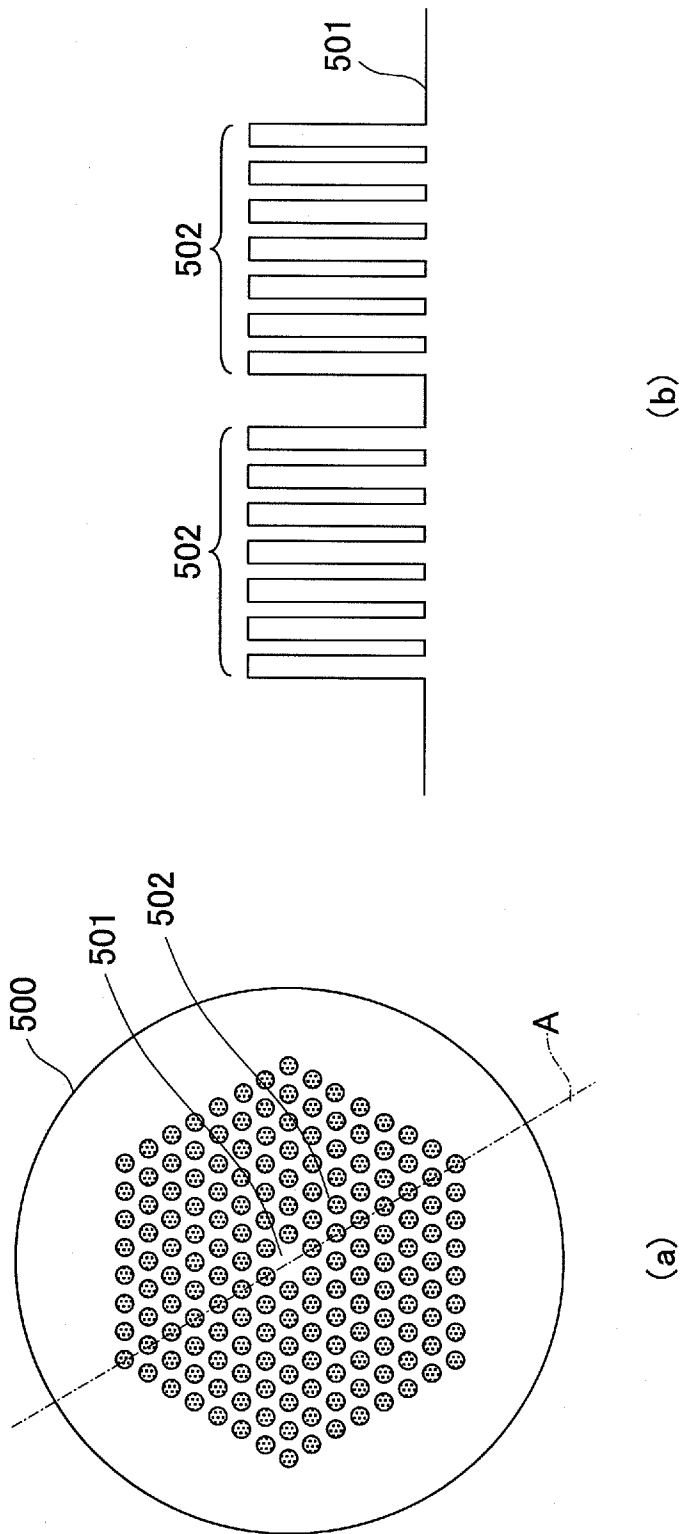


(b)合波光変換部からの出力スペクトル

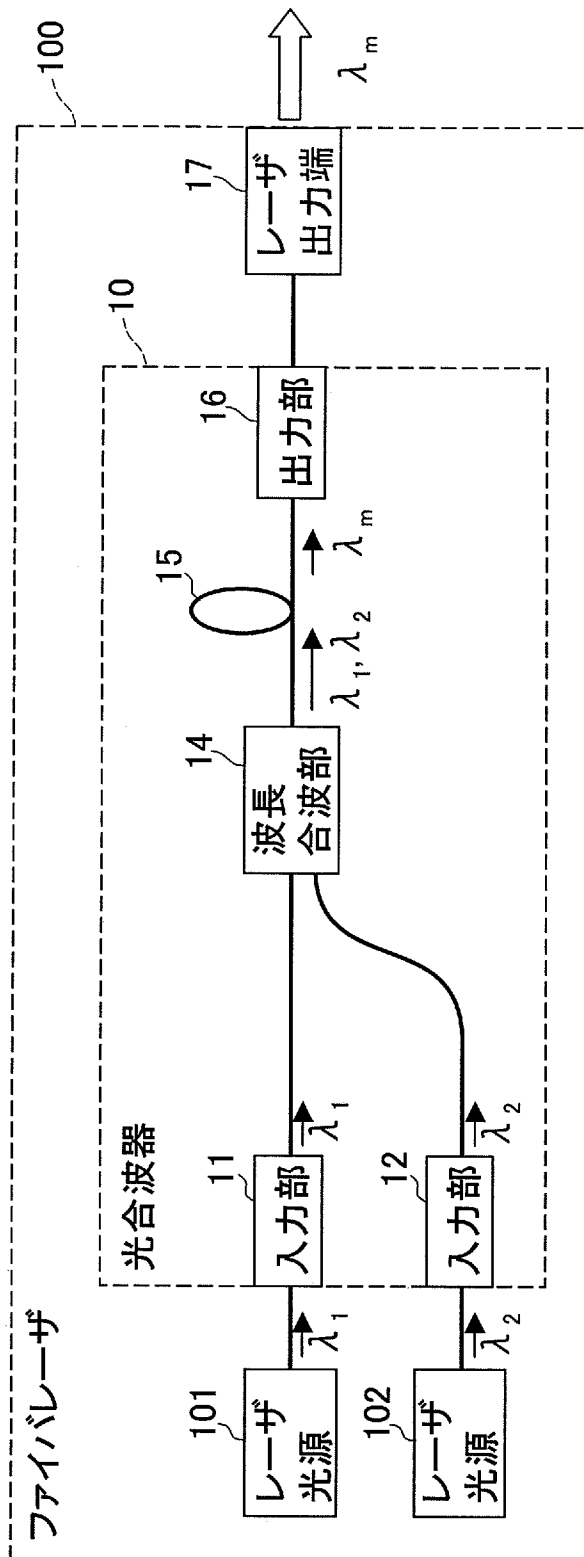


(a)合波光変換部への入力スペクトル

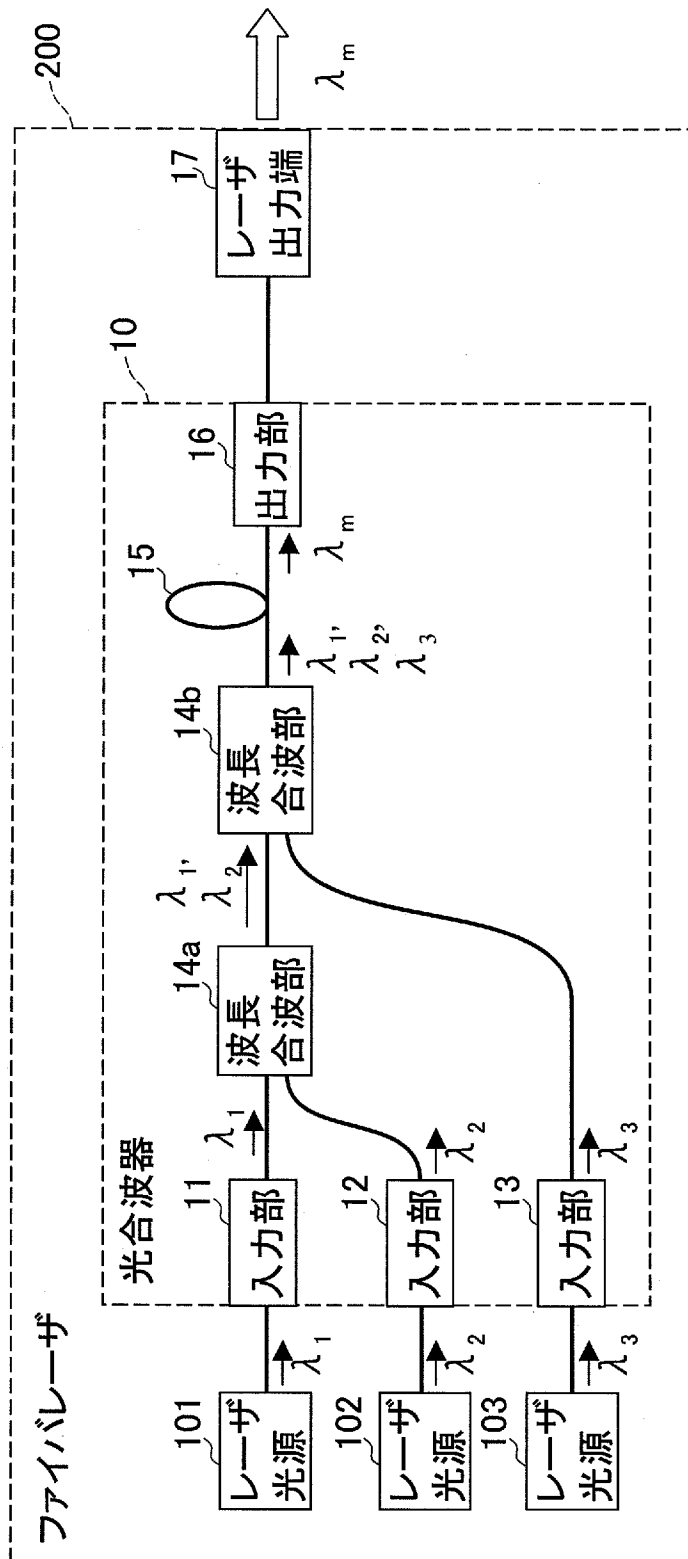
[図3]



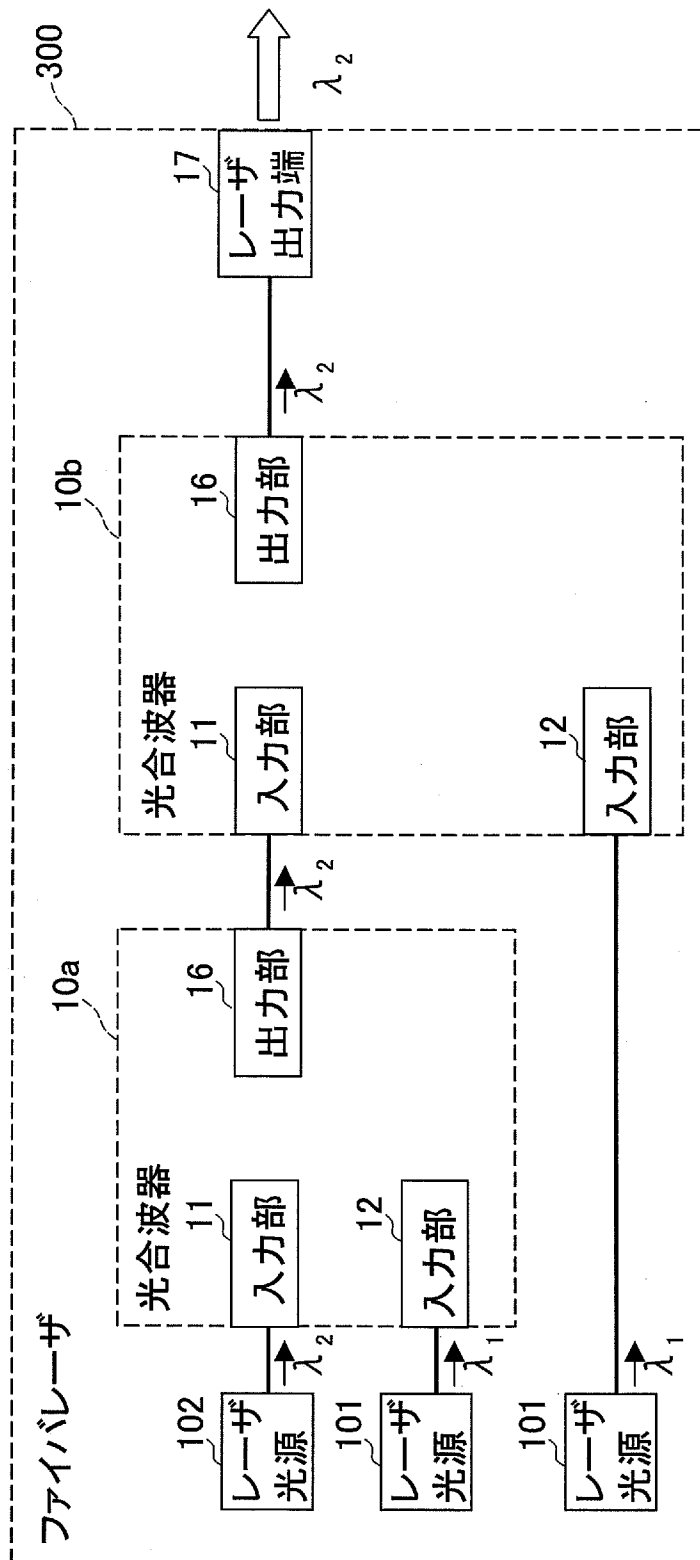
[図4]



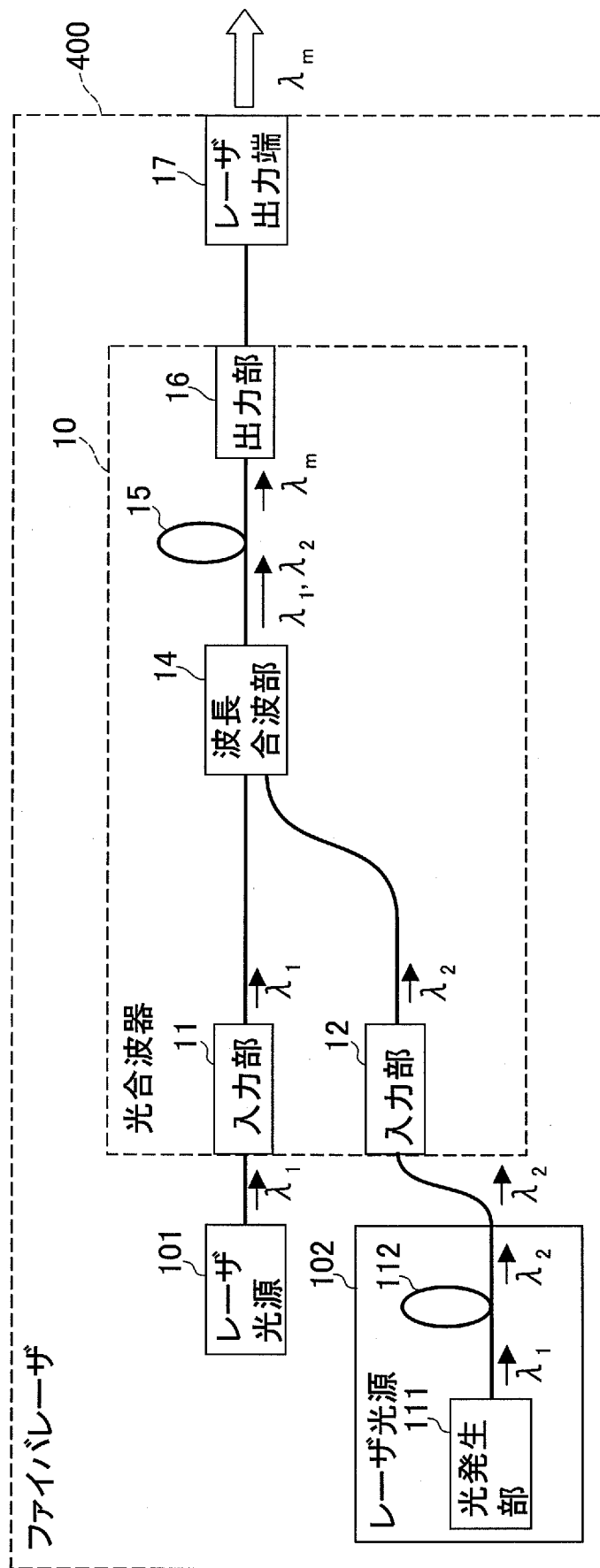
[図5]



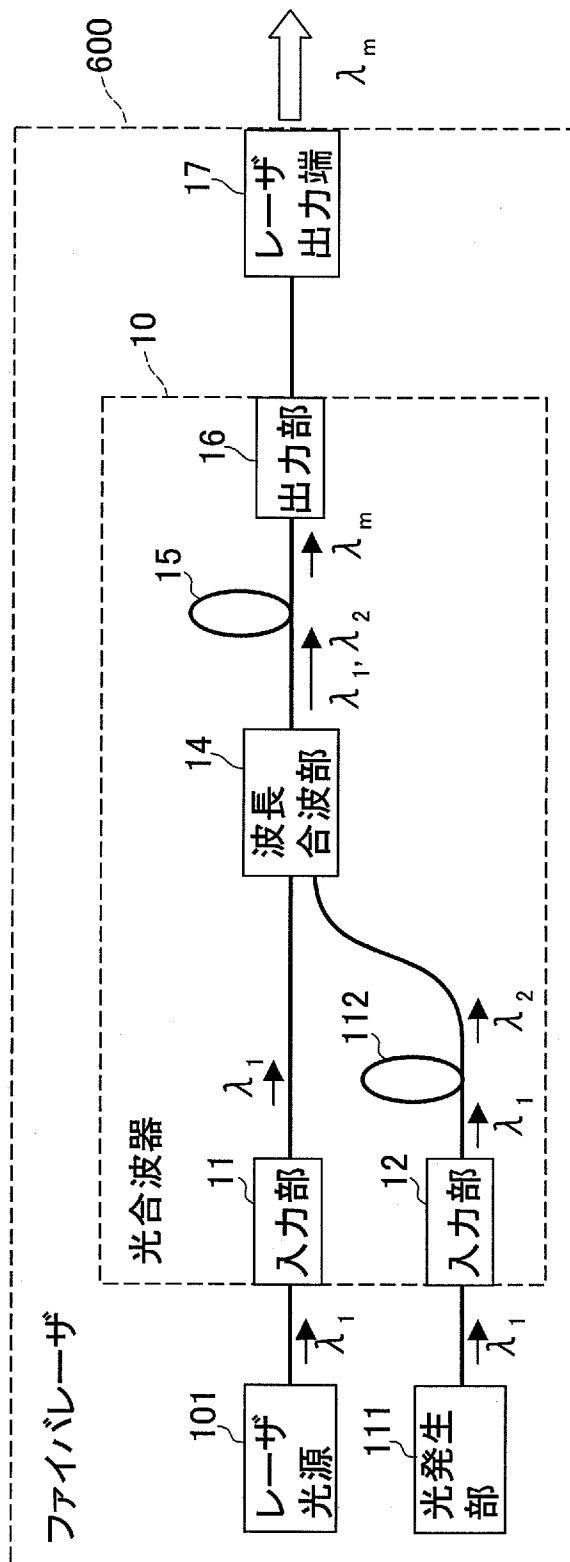
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050185

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/35(2006.01)i, G02F1/365(2006.01)i, H01S3/06(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)

G02F1/29-1/39, H01S3/00-3/02, H01S3/06-3/067, H01S3/10, H01S3/30, H04B9/00

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2007/127356 A1 (Corning Inc.), 08 November 2007 (08.11.2007), claims 1, 2, 5; paragraphs [00033] to [00035], [00038], [00042]; fig. 1 & JP 2009-535666 A & EP 2013951 A	1-3, 7 4-6, 8
Y	WO 2009/001852 A1 (Fujikura Ltd.), 31 December 2008 (31.12.2008), claims 1, 3 to 5; paragraphs [0021], [0022], [0039]; fig. 2 (Family: none)	4-6, 8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

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

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 January, 2010 (26.01.10)

Date of mailing of the international search report
09 February, 2010 (09.02.10)

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. G02F1/35(2006.01)i, G02F1/365(2006.01)i, H01S3/06(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. G02F1/29-1/39, H01S3/00-3/02, H01S3/06-3/067, H01S3/10, H01S3/30, H04B9/00

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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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)

JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)

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	WO 2007/127356 A1 (C o r n i n g I n c o r p o r a t e d) 2007.11.08,	1-3, 7
Y	請求項 1, 2, 5, 段落[00033]-[00035], [00038], [00042], Fig.1 & JP 2009-535666 A & EP 2013951 A	4-6, 8
Y	WO 2009/001852 A1 (株式会社フジクラ) 2008.12.31, 請求項 1, 3-5, 段落[0021], [0022], [0039], 図 2 (ファミリーなし)	4-6, 8

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 6 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

0 9 . 0 2 . 2 0 1 0

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)

林 祥恵

2 X

4 0 8 5

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