

(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 1 月 7 日(07.01.2016)



(10) 国際公開番号  
**WO 2016/002947 A1**

- (51) 国際特許分類:  
H01S 3/067 (2006.01) G02B 6/02 (2006.01)  
H01S 3/00 (2006.01) G02B 6/26 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/069342
- (22) 国際出願日: 2015 年 7 月 3 日(03.07.2015)
- (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 2014-139047 2014 年 7 月 4 日(04.07.2014) JP  
特願 2015-096100 2015 年 5 月 8 日(08.05.2015) 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: 梶原 康嗣(KAJIWARA, Koji); 〒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). 高木 武史(TAKAGI, Takeshi); 〒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). 柏木 孝介(KASHIWAGI, Kousuke); 〒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). 日向 和昭

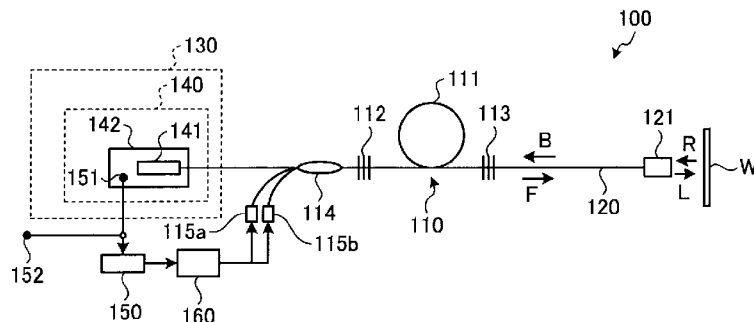
(HYUGA, Kazuaki); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 江森 芳博(EMORI, Yoshihiro); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒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 特許業務法人酒井国際特許事務所 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, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 光ファイバレーザ装置



(57) Abstract: A fiber laser device for generating a laser beam using an amplifying optical fiber for the amplification medium in a laser oscillator, wherein the optical fiber laser device is provided with: an outputting optical fiber for emitting the laser beam to the exterior; a returning-light-attenuating unit for attenuating returning light that propagates through at least the outputting optical fiber in a direction opposite to the direction of the laser beam; a heat conversion means for converting the returning light into heat, the heat conversion means being provided on the returning-light-attenuating unit; a temperature-monitoring means for measuring the increase in temperature in the returning-light-attenuating unit as caused by the heat emitted by the heat conversion means; and a control unit for lowering or stopping the output of the laser beam when the temperature measured by the temperature-monitoring means reaches at least a predetermined threshold.

(57) 要約: レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザ光を発生させるファイバレーザ装置において、前記レーザ光を外部へ射出する出力用光ファイバと、少なくとも前記出力用光ファイバを前記レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光を減衰処理する戻り光減衰部と、前記戻り光減衰部に設けられ、前記戻り光を熱に変換する熱変換手段と、前記熱変換手段の発熱に起因する前記戻り光減衰部の温度上昇を測定する温度監視手段と、前記温度監視手段が測定した温度が所定の閾値以上に達した場合に、前記レーザ光の出力を低下または停止する制御部とを備える光ファイバレーザ装置である。



WO 2016/002947 A1



ロツパ (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：光ファイバレーザ装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバレーザ装置に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、レーザ発振器または光増幅器の光増幅部に光ファイバを用いる光ファイバレーザ装置の利用がレーザ加工等の各分野で広がっている。

[0003] このような光ファイバレーザ装置では、レーザ光が反射して光ファイバレーザ装置内の光ファイバのコアに再結合してしまうという、いわゆる戻り光の問題が発生する場合がある（例えば特許文献1または2参照）。この戻り光は、例えば光ファイバレーザ装置をレーザ加工装置として用いる場合には、加工対象に照射したレーザ光が加工対象によって反射されることで発生する。また、光ファイバレーザ装置で使用される光ファイバ内のクラックや、装置内各所の光接続部分での不具合等、様々な場所での反射によっても発生すると考えられる。

[0004] この戻り光は、光ファイバレーザ装置内の光ファイバをレーザ発振器が出力するレーザ光とは逆方向に伝搬し、光ファイバレーザ装置の構成部品を破損することがある。戻り光の影響によって破損する光ファイバレーザ装置の構成部品としては、例えば、加工用レーザ光が照射される位置を指し示すガイド光の発光素子が挙げられる。また、戻り光が到達する端部に構成部品が備えられていなくても、端部から強力な戻り光が放出されては安全性確保の観点で問題がある。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2014／014068号

特許文献2：国際公開第2012／073952号

### 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、上述の戻り光は、質的にも量的にも想定を超えてしまうことがある。例えば、戻り光が光ファイバレーザ装置内の発振器または増幅器を通過することで増幅されてしまうことがある。また、光ファイバレーザ装置内の光ファイバを伝搬する過程で、レーザ発振器が発振させたレーザ光よりも長い波長の誘導ラマン散乱光が発生してしまうこともある。したがって、特定波長の特定強度の戻り光を想定した戻り光対策を採用した場合、戻り光を適切に減衰することができず、光ファイバレーザ装置の構成部品を破損してしまうことがあった。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、その目的は、高耐久性および高出力性を有する光ファイバレーザ装置を提供することにある。

## 課題を解決するための手段

[0008] 上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光ファイバレーザ装置は、レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ装置において、前記レーザ光を外部へ射出する出力用光ファイバと、少なくとも前記出力用光ファイバを前記レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光を減衰処理する戻り光減衰部と、前記戻り光減衰部に設けられ、前記戻り光を熱に変換する熱変換手段と、前記熱変換手段の発熱に起因する前記戻り光減衰部の温度上昇を測定する温度監視手段と、前記温度監視手段が測定した温度が所定の閾値以上に達した場合に、前記レーザ光の出力を低下または停止する制御部とを備えることを特徴とする。

[0009] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記温度監視手段は、前記熱変換手段が発する熱を熱伝導体を介して測定する第1の温度測定点と、前記光ファイバレーザ装置における温度上の基準とみなし得る第2の温度測定点と、の温度差を測定することを特徴とする。

[0010] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部における光ファイバを軸ずれ融着することによって構成

されていることを特徴とする。

[0011] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた高損失光ファイバで構成されていることを特徴とする。

[0012] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた光ファイバを意図的に曲げることによって構成されていることを特徴とする。

[0013] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた光ファイバの末端を封止する樹脂で構成されていることを特徴とする。

[0014] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた光ファイバの末端から射出された前記戻り光が照射される熱伝導体の照射面で構成されていることを特徴とする。

[0015] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記レーザ光の伝搬方向を前方向として、前記レーザ発振器の前段に配置されていることを特徴とする。

[0016] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、出力側シグナルポートと入力側シグナルポートと複数の励起光用ポートとを有し、前記励起光用ポートから入力された励起光を前記レーザ発振器に接続されている前記出力側シグナルポートから出力するよう構成した励起光合波器の前記入力側シグナルポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする。

[0017] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、出力側シグナルポートと入力側シグナルポートと複数の励起光用ポートとを有し、前記励起光用ポートから入力された励起光を前記レーザ発振器に接続されている前記出力側シグナルポートから出力するよう構成した励起光合波器の前記励起光用ポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする。

- [0018] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記励起光を出力する光源が接続されていない前記励起光用ポートのうち、前記戻り光の強度が最大となるポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする。
- [0019] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器を構成する2つの光反射器のうち前記レーザ光に対する反射率が高い方の光反射器に接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする。
- [0020] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記レーザ発振器と前記出力用光ファイバとの間に設けられ、増幅媒質に増幅用光ファイバを用いた光増幅器と、出力側シグナルポートと入力側シグナルポートと複数の励起光用ポートとを有し、前記励起光用ポートから入力された励起光を前記光増幅器に接続されている前記出力側シグナルポートから出力し、前記光増幅器用の光ファイバへ導入するよう構成した第2の励起光合波器とをさらに備え、前記戻り光減衰部は、前記第2の励起光合波器の励起光用ポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする。
- [0021] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ装置において、前記レーザ光を順方向に外部へ導出する出力用光ファイバと、前記出力用光ファイバを前記レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰部と、を備えることを特徴とする。
- [0022] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器の高反射率の反射器よりも前段側の光ファイバに接続されていることを特徴とする。
- [0023] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器のレーザ発振に用いる励起光を前記増幅用光ファイバに導入するための励起光合波器のシグナルポート光ファイバを介して、前記

反射器よりも逆方向側の光ファイバに接続されていることを特徴とする。

[0024] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器のレーザ発振に用いる励起光を前記増幅用光ファイバに導入するための励起光合波器の励起光ポートを介して、前記反射器よりも逆方向側の光ファイバに接続されていることを特徴とする。

[0025] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部は、前記出力用光ファイバの途中に設けられた光合分波器から分岐された光ファイバに接続されていることを特徴とする。

[0026] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部を介して前記可視光を前記出力用光ファイバへ導入する可視光発光部をさらに備えることを特徴とする。

[0027] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記減衰用光ファイバのバンドエッジ波長は、前記戻り光の波長よりも短いことを特徴とする。

[0028] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記減衰用光ファイバは、前記可視光を実質的にシングルモードで伝搬するよう構成されていることを特徴とする。

[0029] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記減衰用光ファイバは、赤色光を実質的にシングルモードで伝搬するよう構成されていることを特徴とする。

[0030] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部の終端は、樹脂で封止されていることを特徴とする。

[0031] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部の終端に、光電変換を行う光検出器が接続されていることを特徴とする。

[0032] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ装置において、前記レーザ光を順方向に外部へ導出する出力用光ファイバと、前記出力用光ファイバのコアを逆方向に伝搬する、赤外光からなる

戻り光の光強度を減衰させて、前記出力用光ファイバとは反対側の端部から減衰した戻り光を出射する戻り光減衰部を備え、前記戻り光減衰部は、前記戻り光の伝搬方向において連続的に該戻り光に損失を与える媒質からなる戻り光伝搬損失部と、該損失によって生じた光を熱に変換する熱変換部を備え、前記戻り光の大部分が前記戻り光伝搬損失部において減衰し熱変換され、減衰後に残留した微小強度の光のみが前記戻り光伝搬損失部の端部から出力されることを特徴とする。

[0033] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光伝搬損失部は、前記光ファイバレーザ装置の発振器を構成する光ファイバのコアに接続されるコアを有する光ファイバであって、該コアにおいて前記戻り光の大部分が減衰されることを特徴とする。

[0034] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光伝搬損失部を構成する光ファイバのコアは、前記出力用光ファイバから出力される赤外レーザ光の波長における損失が可視波長域における損失よりも大きいことを特徴とする。

[0035] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光伝搬損失部を構成する光ファイバのコアは、前記可視波長域においてシングルモード伝搬特性を有することを特徴とする。

[0036] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部を介して前記可視光を前記出力用光ファイバへ導入する可視光発光部をさらに備えることを特徴とする。

[0037] また、本発明の一態様に係る光ファイバレーザ装置は、前記戻り光減衰部の終端に、光電変換を行う光検出器が接続されていることを特徴とする。

## 発明の効果

[0038] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、その目的は、高耐久性および高出力性を有する光ファイバレーザ装置を提供することにある。

## 図面の簡単な説明

[0039] [図1]図1は、本発明の第1実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成

を示す図である。

[図2]図2は、制御部にて行われる温度に関する閾値を用いた判定の例を示すグラフである。

[図3]図3は、制御部にて行われる温度に関する閾値を用いた判定の例を示すグラフである。

[図4]図4は、第1構成例に係る戻り光減衰モジュールの構成を概略的に示す図である。

[図5]図5は、第1構成例で用いる光ファイバの軸ずれ融着を示す図である。

[図6]図6は、第2構成例に係る戻り光減衰モジュールの構成を概略的に示す図である。

[図7]図7は、第2構成例で用いる高損失光ファイバを示す図である。

[図8]図8は、第3構成例に係る戻り光減衰モジュールの構成を概略的に示す図である。

[図9]図9は、第4構成例に係る戻り光減衰モジュールの構成を概略的に示す図である。

[図10]図10は、第4構成例で用いる光ファイバの末端の構成を概略的に示す断面図である。

[図11]図11は、第5構成例に係る戻り光減衰モジュールの構成を概略的に示す図である。

[図12]図12は、構成例1に係る終端部の概略構成を示す図である。

[図13]図13は、構成例2に係る終端部の概略構成を示す図である。

[図14]図14は、構成例3に係る終端部の概略構成を示す図である。

[図15]図15は、本発明の第2実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図16]図16は、本発明の第3実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図17]図17は、本発明の第4実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図18]図 1 8 は、本発明の第 5 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図19]図 1 9 は、本発明の第 6 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図20]図 2 0 は、本発明の第 7 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図21]図 2 1 は、本発明の第 8 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図22]図 2 2 は、本発明の第 9 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図23]図 2 3 は、本発明の第 1 0 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図24]図 2 4 は、本発明の第 1 1 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図25]図 2 5 は、本発明の第 1 2 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図26]図 2 6 は、第 1 3 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図27]図 2 7 は、戻り光減衰モジュールおよびその周辺の構成を示す図である。

[図28]図 2 8 は、戻り光減衰モジュールの側視図である。

[図29]図 2 9 は、戻り光減衰モジュールへの入力強度に対する光ファイバの温度を示すグラフである。

[図30]図 3 0 は、戻り光減衰モジュールへの入力強度に対する出力強度を示すグラフである。

[図31]図 3 1 は、第 1 4 実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図32]図 3 2 は、終端処理部における光ファイバの終端の樹脂封止の例を示

す図である。

[図33]図33は、第15実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図34]図34は、第16実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図35]図35は、第17実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図36]図36は、第18実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図37]図37は、第19実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図38]図38は、第20実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図39]図39は、第21実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図40]図40は、第22実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

[図41]図41は、第23実施形態に係る光ファイバレーザ装置の概略構成を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0040] 以下、本発明に係る光ファイバレーザ装置の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態により本発明が限定されるものではない。なお、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。また、図面は模式的なものであり、各構成の寸法の比率などは現実のものとは異なる場合があることに留意すべきである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている。また、本明細書においては、カットオフ波長とは、ITU-T（国際電気通信連合）G. 650.1で定義する22m法によるカットオフ

波長をいう。また、その他、本明細書で特に定義しない用語については I T U-T G. 650. 1 における定義、測定方法に適宜従うものとする。

[0041] (第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係る光ファイバレーザ装置100の概略構成を示す図である。図1に示すように、第1実施形態に係る光ファイバレーザ装置100は、レーザ発振器110における増幅媒質に増幅用光ファイバ111を用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0042] 光ファイバレーザ装置100は、出力レーザ光Lを順方向(図中矢印F)に外部へ射出する出力用光ファイバ120と、少なくとも出力用光ファイバ120を逆方向(図中矢印B)に伝搬する戻り光Rを減衰処理する戻り光減衰部(減衰モジュール140)と、戻り光減衰モジュール140に設けられ、戻り光を熱に変換する熱変換手段141と、熱変換手段141の発熱に起因する戻り光減衰モジュール140の温度上昇を測定する温度監視手段150と、温度監視手段150が測定した温度が所定の閾値以上に達した場合に、出力レーザ光Lの出力を低下または停止する制御部160とを備えている。なお、以下で説明する実施形態の構成においても、図1に示すように、順方向Fと逆方向Bとを定める。

[0043] 図1に示すように、レーザ発振器110は、増幅用光ファイバ111と、増幅用光ファイバ111の逆方向側に設けられた第1の光反射器112と、増幅用光ファイバ111の順方向側に設けられた第2の光反射器113と、を備えている。少なくともレーザ発振器110、および、好ましくはその前後を含む出力用光ファイバ120から励起光合波器114のシグナルポート光ファイバまでの各光ファイバは、波長1000nm~1200nmの光を実質的にシングルモード(シングルモード、または、光ファイバのコア中の電界強度分布において大部分が基本モードから構成され、その他数%程度が数次程度の高次モード(a few modes)から構成されるような、モード界分布を有する光)で伝搬する特性のコアを有する光ファイバによって構成されている。以下、実質的にシングルモードとは上記定義された光の伝搬モード

のことをいう。また、これらの各光ファイバは、出力レーザ光の波長におけるモードフィールド径が略同一となるように構成されていることが好ましく、少なくともレーザ発振器 110 を構成する第 1 の光反射器 112 から第 2 の光反射器 113 を構成する光ファイバにかけてのコアについては、出力レーザ光の波長におけるモードフィールド径が略同一となるように構成され、モード伝搬特性が略同一に構成されているとよい。

[0044] 増幅用光ファイバ 111 は、石英系ガラスからなるコア部に増幅物質であるイッテルビウム (Yb) イオンが添加され、コア部の外周には石英系ガラスからなる内側クラッド層と樹脂等からなる外側クラッド層とが順次形成されたダブルクラッド型の光ファイバである。なお、増幅用光ファイバ 111 のコア部は開口数 NA (Numerical Aperture) が例えば 0.08 であり、波長 1000 nm ~ 1200 nm の光をシングルモードで伝搬するように構成されている。増幅用光ファイバ 111 の長さは例えば 25 m である。増幅用光ファイバ 111 のコア部の吸収係数は、例えば波長 1070 nm において 200 dB/m である。また、コア部に入力された励起光から発振するレーザ光へのパワー変換効率は例えば 70% である。

[0045] 第 1 の光反射器 112 および第 2 の光反射器 113 は、波長特性の異なる例えばファイバブラッググレーティング (Fiber Bragg Grating: FBG) で構成されている。第 1 の光反射器 112 および第 2 の光反射器 113 は、光ファイバのコアに回折格子を設けることによって構成されている。また、第 1 の光反射器 112 および第 2 の光反射器 113 は、内側クラッドを有するダブルクラッド型の光ファイバとして構成し、その内側クラッドにて励起光波長の光をマルチモードで伝搬するように構成することが好ましい。

[0046] 第 1 の光反射器 112 は、中心波長が例えば 1070 nm であり、中心波長およびその周辺の約 2 nm の幅の波長帯域における反射率が約 100% であり、波長 915 nm の光はほとんど透過する特性を有する。一方、第 2 の光反射器 113 は、中心波長が第 1 の光反射器 112 と略同じである例えば 1070 nm であり、中心波長における反射率が 10% ~ 30% 程度であり

、反射波長帯域の半値全幅が約1 nmであり、波長915 nmの光はほとんど透過する特性を有する。なお、波長915 nmの励起光ではなく、例えば波長975 nmの励起光を用いる場合、第1の光反射器112および第2の光反射器113は、波長975 nmの光はほとんど透過する特性とすることが好ましい。

[0047] 上記構成により、レーザ発振器110は、波長915 nmの励起光が導入された場合に波長1070 nmのレーザ光を発振し、当該レーザ光を第2の光反射器113から出力用光ファイバ120へ出力する構成となる。

[0048] 上記構成により、レーザ発振器110は、波長915 nmの励起光が増幅用光ファイバ111に導入された場合に波長1070 nmの出力レーザ光を発振し、当該出力レーザ光を第2の光反射器113から出力用光ファイバ120へ出力する構成となる。

[0049] 光ファイバレーザ装置100をレーザ加工に用いる場合、出力用光ファイバ120へ出力された出力レーザ光Lは、照射ヘッド121を介して加工対象物Wへ照射される。加工対象物Wへ照射された出力レーザ光Lは、加工対象物Wの表面にて反射光を生じ、この反射光の一部が照射ヘッド121を介して出力用光ファイバ120へ導入されることがある。出力用光ファイバ120へ導入された反射光は、出力用光ファイバ120のコアを逆方向に伝搬し、第1の光反射器112を透過することもある。また、反射光によって発生したラマン散乱光や誘導ブリュアン散乱光なども、同様に第1の光反射器112を透過して、終端部130にまで達することがある。したがって、第1の光反射器112を透過する光には複数の成分が含まれることになるが、本明細書では、少なくとも出力用光ファイバ120のコアを出力レーザ光Lとは逆方向に伝搬する光のことを戻り光Rと呼ぶことにする。

[0050] 図1に示すように、第1実施形態に係る光ファイバレーザ装置100は、いわゆる前方励起型の構成を採用している。光ファイバレーザ装置100には、第1の光反射器112へ励起光を出力するための励起光合波器114が、第1の光反射器112の前段に設けられている。これにより、光ファイバ

レーザ装置 100 は、第 1 の光反射器 112 の前段から、増幅用光ファイバ 111 へ向かって励起光を導入する。

[0051] 励起光合波器 114 は、例えば TFB (Tapered Fiber Bundle) によって構成されている。励起光合波器 114 は、両端部を構成する順方向側シグナルポート光ファイバと逆方向側シグナルポート光ファイバと複数の励起光用ポート光ファイバとを備えている。順方向側シグナルポート光ファイバおよび逆方向側シグナルポート光ファイバの間にはコアが延伸しており、該コアはレーザ発振波長においてシングルモード伝搬特性を有することが好ましいが、実質的にシングルモードであってもよい。一方、励起光用ポートは、励起光波長においてマルチモード伝搬特性を有する（マルチモード）コアを備えた光ファイバで構成されている。各励起光用ポートを構成するマルチモード光ファイバは、そのマルチモードコアが順方向側シグナルポートを構成する光ファイバのコアの周りを囲むように構成されている。

[0052] 励起光合波器 114 の順方向側シグナルポートは、逆方向側シグナルポートから延伸しているコアがシングルモードコアに、各励起光用ポートから延伸しているコアが内側クラッドに結合するように、ダブルクラッド型の光ファイバに接続されている。さらに、このダブルクラッド型の光ファイバは、第 1 の光反射器 112 を介して増幅用光ファイバ 111 に接続されている。これにより、逆方向側シグナルポートに入力されたレーザ発振波長の光は、実質的にシングルモードで増幅用光ファイバ 111 のコアに伝搬する。一方、各励起光用ポートに入力された励起波長の光は、マルチモードで増幅用光ファイバ 111 の内側クラッドに伝搬する。

[0053] 光ファイバレーザ装置 100 では、励起光合波器 114 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 115a, 115b に接続されている。

[0054] 励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートは、終端部 130 に接続されている。順方向側シグナルポートと逆方向側シグナルポートとは、両端をコアが延伸しているので、戻り光の強度が大きく、終端部 130 を接続するポートとして励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートは好適である。

しかしながら、終端部 130 は、励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートに接続されるものに限定されない。例えば、励起光合波器 114 は、複数の励起光用ポートを備えており、すべての励起光用ポートに励起用レーザダイオードが接続されとは限らない。したがって、励起用レーザダイオードが接続されない、いわゆる余りポートが存在していることもある。このような場合、余りポートの接続先も本実施形態の終端部 130 となり得る。また、余りポートが複数存在した場合は、それら余りポートの中で戻り光の強度が最大となるものを選択して終端部 130 の構成を接続することが好ましい。励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートに他の機器を接続する用途もあり、そのような場合に余りポートの中で戻り光の強度が最大となる励起光用ポートは、終端部 130 を接続するポートとして好適である。図 1 には、終端部 130 は 1 つのみ記載されているが、光ファイバレーザ装置 100 に複数の終端部 130 が存在する可能性もあり、その場合、複数の終端部 130 のうち少なくとも一つの終端部 130 にて本発明を適用すればよい。もちろん、複数の終端部 130 にて同時に本発明を適用することを排除するものではない。

[0055] 図 1 に示すように、光ファイバレーザ装置 100 の終端部 130 は、戻り光減衰モジュール 140 を備えている。図 1 に示される例では、終端部 130 が戻り光減衰モジュール 140 のみを備えているが、後に詳述するように、終端部 130 に他の構成要素を含む構成としてもよい。

[0056] 図 1 に示すように、戻り光減衰モジュール 140 は、励起光合波器 114 から出力された戻り光を熱に変換する熱変換手段 141 と、熱変換手段 141 と接触するように配置され、熱変換手段 141 が発する熱を伝導する熱伝導体 142 と、熱伝導体 142 上に設けられた第 1 の温度測定点 151 と、を備えている。第 1 の温度測定点 151 は、サーミスタや熱電対等の温度センサを配置する位置である。

[0057] 熱変換手段 141 は、後に具体例を挙げて説明するが、戻り光の光エネルギーを熱エネルギーに変換するための手段である。熱伝導体 142 は、例え

ば金属プレートで構成されており、熱変換手段 141 が熱伝導体 142 上に樹脂等によって固定されている。したがって、熱伝導体 142 上に設けられた第 1 の温度測定点 151 における測定温度は、熱変換手段 141 が発する熱を適切に反映している。また、熱変換手段 141 が発する熱は、終端部 130 における光ファイバが受ける熱的負荷を反映している。結果、熱伝導体 142 上に設けられた第 1 の温度測定点 151 における測定温度は、終端部 130 における光ファイバが受ける熱的負荷を反映することになる。

[0058] 温度監視手段 150 は、第 1 の温度測定点 151 に設けられたサーミスタや熱電対等の温度センサから取得した電圧等の電気信号を第 1 の温度測定点 151 における温度の情報へ変換する。

[0059] 光ファイバレーザ装置 100 では、光ファイバレーザ装置 100 における温度上の基準とみなし得る第 2 の温度測定点 152 に、サーミスタや熱電対等の温度センサを配置することが好ましい。熱伝導体 142 上に設けられた第 1 の温度測定点 151 における測定温度は、終端部 130 における光ファイバが受ける熱的負荷を反映しているというものの、終端部 130 における光ファイバの発熱以外の熱的外乱によって影響を受けることがある。したがって、終端部 130 における光ファイバの発熱以外の熱的な外乱によって、第 1 の温度測定点 151 における測定温度が終端部 130 における光ファイバが受ける熱的負荷を正しく反映できないという状況が発生し得る。

[0060] そこで、光ファイバレーザ装置 100 における温度上の基準とみなし得る第 2 の温度測定点 152 に、サーミスタや熱電対等の温度センサを配置し、第 1 の温度測定点 151 における温度と第 2 の温度測定点 152 における温度との温度差を温度監視手段 150 にて測定するよう構成する。例えば、第 2 の温度測定点 152 として、励起用レーザダイオード 115a, 115b や増幅用光ファイバ 111 など他の発熱部品を冷却するためのヒートシンクの所定点とすることが考えられる。また、当該ヒートシンクには、熱変換手段 141 の熱を伝熱させる熱伝導体 142 を接触させることも可能である。

[0061] 以上のような構成によれば、励起用レーザダイオード 115a, 115b

や増幅用光ファイバ111など他の発熱部品による外乱を、第1の温度測定点151における温度から第2の温度測定点152における温度を減じることにより抑制し、終端部130における光ファイバが受ける熱的負荷をより精度高く測定することが可能となる。

[0062] 温度監視手段150が取得した第1の温度測定点151における温度または第1の温度測定点151における温度と第2の温度測定点152における温度との温度差の情報は、制御部160へ送られる。なお、温度監視手段150は制御部160の1機能として構成してもよい。また、制御部160は、本発明の実施のための特別な制御装置である必要はなく、一般的な汎用制御装置を用いることができる。

[0063] 例えば、制御部160は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、I/F (Interface)、および、これらを相互に接続するバスを有している。CPUは、ROMに格納されているプログラムおよびデータに基づいて各部を制御する。ROMは、不揮発性の半導体記憶装置であり、プログラムおよびデータを記憶する。RAMは、揮発性の半導体記憶装置であり、CPUがプログラムを実行する際のワークエリアとして動作する。I/Fは、例えば、DAC (Digital Analog Converter) およびADC (Analog Digital Converter) 等によって構成されている。I/Fは、CPUから供給されたデジタルデータをアナログ信号に変換して励起用レーザダイオード115a, 115b等の各制御部位に供給し、かつ、サーミスタや熱電対等からのアナログ電流信号をデジタル信号に変換する。バスは、CPU、ROM、RAM、および、I/Fを相互に接続し、これらの間でデータの授受を可能にするための信号線群である。なお、制御部160としては、CPU等を用いるものに限られず、例えば、DSP (Digital Signal Processor) を用いたり、あるいはデジタル制御方式ではなく、アナログ制御方式を用いたりしたものでもよい。

[0064] 制御部160は、温度監視手段150が取得した第1の温度測定点151

における温度と所定の閾値とを比較して、第1の温度測定点151における温度が所定の閾値以上になった場合に、励起用レーザダイオード115a, 115bに出力を低下または停止するための制御信号を供給する。ここで、閾値は、例えば実験的に求めたファイバヒューズなどの光ファイバの熱的損傷が発生すると考えられる温度に対して、所定のマージンを持たせた値を設定することが好ましい。なお、制御部160は、先述のように、第1の温度測定点151における温度と第2の温度測定点152における温度との温度差と所定の閾値とを比較する方が、終端部130における光ファイバが受ける熱的負荷をより精度高く測定することが可能となるので好ましい。

[0065] 制御部160から出力を低下または停止するための制御信号を受けた励起用レーザダイオード115a, 115bは、レーザ発振器110へ導入する励起光の出力を低下または停止する。すると、光ファイバレーザ装置100が出力する出力レーザ光Lが低下または停止され、照射ヘッド121を介して出力用光ファイバ120へ導入される戻り光Rも低下または停止される。結果、終端部130における光ファイバが受ける負荷が抑制され、光ファイバレーザ装置100の高耐久性および高出力性が実現される。

[0066] 図2および図3は、制御部160にて行われる温度に関する閾値を用いた判定の例を示すグラフである。図2および図3には、比較のため、戻り光の強度に関する閾値を用いた判定の例を示すグラフを併記している。なお、戻り光の強度に関する閾値を用いた判定とは、例えば戻り光の強度を受光素子等で検出し、受光した光強度に対する閾値を用いた判定方法である。図2および図3の上段グラフ(a)は、戻り光の強度に関する閾値を用いた判定の例を示し、下段グラフ(b)は、温度に関する閾値を用いた判定の例を示している。各図において、上段グラフ(a)および下段グラフ(b)は時間軸: t (横軸)を共有し、同一の戻り光の時間変化に関するグラフとなっている。各図において、上段グラフ(a)の縦軸: Iは戻り光の強度を示し、下段グラフ(b)の縦軸: Tは測定温度を示している。

[0067] 図2に示すように、戻り光の強度は時間進行に関して急峻に変化するが、

一方、測定温度は時間進行に関して比較的緩やかに変化する。なお、戻り光の強度は、測定温度の上昇の度合い、および飽和時の温度に対応している。したがって、時刻  $t_0$  から時刻  $t_1$  までのように、戻り光の強度が値  $I_0$  以上に達していても、その時間が短い場合、測定温度の上昇度合いが高くても、測定温度は閾値  $T_0$  に至らない。このような場合、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷は、時間履歴の観点からみると光ファイバに損傷が発生する程には大きくないので、光ファイバレーザ装置 100 が出力する出力レーザ光  $L$  を抑制する必要はない。

[0068] 一方、時刻  $t_2$  から時刻  $t_3$  までのように、戻り光の強度が高い状態の時間が長い場合、測定温度が閾値  $T_0$  以上に至ることになる。この場合、制御部 160 は、時刻  $t_3$  にて、光ファイバレーザ装置 100 が出力する出力レーザ光  $L$  を抑制する制御行動を起こすことになる。

[0069] 図 3 に示されるもう一つの例では、戻り光の強度が値  $I_0$  以上に達している時間が、時刻  $t_{10}$  から時刻  $t_{11}$ 、時刻  $t_{12}$  から時刻  $t_{13}$ 、および時刻  $t_{14}$  から時刻  $t_{15}$  であり、戻り光の強度が高い状況が断続的に繰り返されている。このような場合、時刻  $t_{11}$  から時刻  $t_{12}$ 、および時刻  $t_{13}$  から時刻  $t_{14}$  など、戻り光の強度が低い時間に測定温度が十分に低減する。このような場合、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷は大きくないので、光ファイバレーザ装置 100 が出力する出力レーザ光  $L$  を抑制する必要はない。

[0070] 以上の例からも解るように、光ファイバレーザ装置 100 は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷の量を判定している。これにより、光ファイバレーザ装置 100 が出力する出力レーザ光  $L$  を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光  $L$  の抑制、つまり不必要な出力レーザ光  $L$  の出力低下または停止動作が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 100 の高耐久性および高出力性が実現されている。

[0071] 次に、戻り光減衰モジュール 140 の構成例について説明する。本発明の実施形態では、戻り光減衰モジュール 140 の構成において様々な構成例が

想定され得る。以下に説明する構成例は、戻り光減衰モジュール１４０の例示列挙であり、各構成例が光ファイバレーザ装置１００における戻り光減衰モジュール１４０と置換され得る。したがって、以下で説明する構成例では戻り光減衰モジュール１４０に相当する部分のみを開示するが、その他の構成は光ファイバレーザ装置１００と同一であるとみなし得る。

[0072] （戻り光減衰モジュールの第１構成例）

図４は、第１構成例に係る戻り光減衰モジュール１４０ａの構成を概略的に示す図であり、図５は、第１構成例で用いる光ファイバの軸ずれ融着１４１ａを示す図である。図４に示すように、第１構成例に係る戻り光減衰モジュール１４０ａは、軸ずれ融着１４１ａが施された光ファイバ１４４ａと、軸ずれ融着１４１ａ部が発する熱を伝導する熱伝導体１４２ａと、を備えている。

[0073] 第１構成例に係る戻り光減衰モジュール１４０ａは、終端部の光ファイバ１４４ａにまで伝搬してきた戻り光Ｒを熱に変換する熱変換手段として、光ファイバ１４４ａの軸ずれ融着１４１ａを利用したものである。戻り光減衰モジュール１４０ａでは、光ファイバ１４４ａの軸ずれ融着１４１ａを熱伝導体１４２ａに配置し、例えばシリコン系の樹脂等の固定材によって光ファイバ１４４ａを熱伝導体１４２ａ上に固定する。なお、熱伝導体１４２ａの表面に溝が形成されており、光ファイバ１４４ａが当該溝内に収容されていることが好ましい。

[0074] 第１の温度測定点１５１ａは、光ファイバ１４４ａの軸ずれ融着１４１ａが発する熱を、熱伝導体１４２ａを介して測定するのに適切な位置に設定されている。すなわち、例えば第１の温度測定点１５１ａは、軸ずれ融着１４１ａ部分の近くに配置されることが好ましい。また、第１の温度測定点１５１ａは、サーミスタや熱電対等の温度センサが配置され、第１の温度測定点１５１ａにおける温度を測定し得るよう構成されている。

[0075] なお、光ファイバ１４４ａの端部に設けられた封止部１４３ａは、光ファイバ１４４ａの末端を封止するための構成部品である。

[0076] 図5は、図4にて「×」で示された軸ずれ融着141aの周辺を拡大した光ファイバ144aの断面図である。図5に示すように、光ファイバ144aは、軸ずれ融着141a部分にて、コア145aの中心軸同士が径方向にずれて融着されている。したがって、光ファイバ144aを伝搬して来る戻り光Rは、軸ずれ融着141a部分にて、大きな損失を受ける。すなわち、戻り光Rは、軸ずれ融着141a部分にてエネルギーを失い、その失われたエネルギーは、漏れ光や熱に変換される。熱は固定材を介して熱伝導体142aに伝導し、漏れ光は固定材を介して熱伝導体142aに到達してそこで熱に変換される。なお、軸ずれ融着141aにおける損失量は、軸ずれ融着141aを施す箇所数や軸ずれ量によって調整することができる。なお、図5に示される光ファイバ144aでは、軸ずれ融着141aから離れた部分のクラッド146aの周りに被覆147aが設けられているが、必ずしも被覆147aは必要とされない。発熱による影響を考慮して光ファイバ144aの軸ずれ融着141aの周囲または全部にて被覆147aを剥いだ状態とすることも可能である。

[0077] 以上のように構成した戻り光減衰モジュール140aは、光ファイバレーザ装置100における戻り光減衰モジュール140と置換され得る構成例となっている。

[0078] (戻り光減衰モジュールの第2構成例)

図6は、第2構成例に係る戻り光減衰モジュール140bの構成を概略的に示す図であり、図7は、第2構成例で用いる高損失光ファイバ141bを示す図である。図6に示すように、第2構成例に係る戻り光減衰モジュール140bは、高損失光ファイバ141bが設けられた光ファイバ144bと、高損失光ファイバ141bが発する熱を伝導する熱伝導体142bと、を備えている。

[0079] 第2構成例に係る戻り光減衰モジュール140bは、終端部の光ファイバ144bにまで伝搬してきた戻り光Rを熱に変換する熱変換手段として、高損失光ファイバ141bを利用したものである。戻り光減衰モジュール14

0 bでは、光ファイバ144 bに融着させた高損失光ファイバ141 bを熱伝導体142 bに配置し、例えばシリコン系の樹脂等によって光ファイバ144 bおよび高損失光ファイバ141 bを熱伝導体142 b上に固定する。

[0080] 第1の温度測定点151 bは、高損失光ファイバ141 bが発する熱を、熱伝導体142 bを介して測定するのに適切な位置に設定されている。すなわち、例えば第1の温度測定点151 bは、高損失光ファイバ141 b部分の近くに配置されることが好ましい。また、第1の温度測定点151 bは、サーミスタや熱電対等の温度センサが配置され、第1の温度測定点151 bにおける温度を測定し得るよう構成されている。

[0081] なお、高損失光ファイバ141 bの端部に設けられた封止部143 bは、高損失光ファイバ141 bの末端を封止するための構成部品である。

[0082] 図7は、図6にて「×」で示された光ファイバ144 bと高損失光ファイバ141 bとの融着部分を拡大した断面図である。図7に示すように、高損失光ファイバ141 bのコア145 bは、光ファイバ144 bのコアとは異なる材質で構成されている。例えば、高損失光ファイバ141 bのコア145 bは、コバルト等の金属不純物が添加されている。なお、高損失光ファイバ141 bのクラッド146 bは、光ファイバ144 bのクラッドと同じである構成としてもよい。

[0083] このように構成することによって、高損失光ファイバ141 bを伝搬する戻り光Rは、大きな損失を受ける。すなわち、戻り光Rは、高損失光ファイバ141 bにてエネルギーを失い、その失われたエネルギーは、主に熱に変換される。なお、高損失光ファイバ141 bにおける損失量は高損失光ファイバ141 bの長さや金属不純物の濃度によって調整することができる。なお、図7に示される高損失光ファイバ141 bでは、クラッド146 bの周りに被覆147 bが設けられているが、必ずしも被覆147 bは必要とされない。発熱による影響を考慮して高損失光ファイバ141 bの一部または全部にて被覆147 bを剥いだ状態とすることも可能である。

[0084] 以上のように構成した戻り光減衰モジュール 140b は、光ファイバレーザ装置 100 における戻り光減衰モジュール 140 と置換され得る構成例となっている。なお、上記説明した戻り光減衰モジュール 140b は、高損失光ファイバ 141b に、第 1 構成例の軸ずれ融着 141a を施す構成とすることも可能である。

[0085] (戻り光減衰モジュールの第 3 構成例)

図 8 は、第 3 構成例に係る戻り光減衰モジュール 140c の構成を概略的に示す図である。図 8 に示すように、第 3 構成例に係る戻り光減衰モジュール 140c は、意図的に曲げ部 141c を設けた光ファイバ 144c と、光ファイバ 144c の曲げ部 141c が発する熱を伝導する熱伝導体 142c と、を備えている。

[0086] 第 3 構成例に係る戻り光減衰モジュール 140c は、終端部の光ファイバ 144c にまで伝搬してきた戻り光 R を熱に変換する熱変換手段として、光ファイバ 144c の曲げ損失を利用したものである。曲げ損失とは、曲げられた光ファイバ 144c を伝搬する戻り光 R が受ける損失が、直線状の光ファイバ 144c を伝搬する戻り光 R が受ける損失よりも高くなる現象である。したがって、意図的に曲げ部 141c を設けられた光ファイバ 144c を伝搬する戻り光 R は、大きな損失を受けることになる。なお、損失量は曲げ部 141c の曲率半径や長さによって調整することができる。

[0087] 戻り光減衰モジュール 140c では、曲げ部 141c を熱伝導体 142c に配置し、例えばシリコン系の樹脂等によって曲げ部 141c を設けた光ファイバ 144c を熱伝導体 142c 上に固定する。

[0088] 第 1 の温度測定点 151c は、光ファイバ 144c の曲げ部 141c が発する熱を、熱伝導体 142c を介して測定するのに適切な位置に設定されている。すなわち、例えば第 1 の温度測定点 151c は、光ファイバ 144c の曲げ部 141c の近くに配置されることが好ましい。また、第 1 の温度測定点 151c は、サーミスタや熱電対等の温度センサが配置され、第 1 の温度測定点 151c における温度を測定し得るよう構成されている。

[0089] なお、光ファイバ144cの端部に設けられた封止部143cは、光ファイバ144cの末端を封止するための構成部品である。

[0090] 以上のように構成した戻り光減衰モジュール140cは、光ファイバレーザ装置100における戻り光減衰モジュール140と置換され得る構成例となっている。なお、上記説明した戻り光減衰モジュール140cは、第2構成例の高損失光ファイバ141bに曲げ部141cを施すことや、第1構成例の軸ずれ融着141aを曲げ部141cに施す構成とすることも可能である。

[0091] (戻り光減衰モジュールの第4構成例)

図9は、第4構成例に係る戻り光減衰モジュール140dの構成を概略的に示す図であり、図10は、第4構成例で用いる光ファイバ144dの末端の構成を概略的に示す断面図である。図9に示すように、第4構成例に係る戻り光減衰モジュール140dは、光ファイバ144dの末端を封止する封止部材141dと、封止部材141dが発する熱を伝導する熱伝導体142dと、を備えている。

[0092] 第4構成例に係る戻り光減衰モジュール140dは、終端部の光ファイバ144dにまで伝搬してきた戻り光Rを熱に変換する熱変換手段として、光ファイバ144dの末端を封止する封止部材141dを利用したものである。封止部材141dは、例えば樹脂等であり、光ファイバ144dの最端部から射出される戻り光Rを散乱または吸収する性質を有するものである。封止部材141dに散乱または吸収された戻り光Rは、封止部材141dにて直接的に発熱または熱伝導体142dに到達して間接的に発熱する。

[0093] 戻り光減衰モジュール140dでは、光ファイバ144dの末端を封止する封止部材141dを熱伝導体142dに配置し、例えばシリコン系の樹脂等によって光ファイバ144dを熱伝導体142d上に固定する。

[0094] 第1の温度測定点151dは、封止部材141dが発する熱を、熱伝導体142dを介して測定するのに適切な位置に設定されている。すなわち、例えば第1の温度測定点151dは、封止部材141dの近くに配置されるこ

とが好ましい。また、第1の温度測定点151dは、サーミスタや熱電対等の温度センサが配置され、第1の温度測定点151dにおける温度を測定し得るよう構成されている。

[0095] 図10は、封止部材141dによって封止された光ファイバ144dの末端を拡大して示している。図10に示すように、光ファイバ144dの末端におけるコア145dおよびクラッド146dは、光ファイバ144dの光軸に対して斜めに切断されている。これにより、戻り光Rのうち光ファイバ144dの末端で反射してコアに戻る光の量が少なくなるので好ましい。なお、戻り光Rの強度が低い場合は、光ファイバ144dの末端におけるコア145dおよびクラッド146dは、光ファイバ144dの光軸に対して垂直に切断した状態としてもよい。

[0096] なお、図10に示される光ファイバ144dでは、クラッド146dの周りに被覆147dが設けられているが、必ずしも被覆147dは必要とされない。発熱による影響を考慮して光ファイバ144dの末端部または全部にて被覆147dを剥いだ状態とすることも可能である。

[0097] 以上のように構成した戻り光減衰モジュール140dは、光ファイバレーザ装置100における戻り光減衰モジュール140と置換され得る構成例となっている。なお、戻り光減衰モジュール140dにおける光ファイバ144dの末端を封止部材141dで封止する構成は、上記説明した第1～3構成例における封止部143a, 143b, 143cに対して適用することも可能である。

[0098] (戻り光減衰モジュールの第5構成例)

図11は、第5構成例に係る戻り光減衰モジュール140eの構成を概略的に示す図である。図11に示すように、第5構成例に係る戻り光減衰モジュール140eは、光ファイバ144eと、光ファイバ144eの末端から射出される戻り光Rが照射される熱伝導体142e上の照射面141eと、を備えている。

[0099] 第5構成例に係る戻り光減衰モジュール140eは、終端部の光ファイバ

144eにまで伝搬してきた戻り光Rを熱に変換する熱変換手段として、熱伝導体142e上の照射面141eを利用したものである。熱伝導体142e上の照射面141eは、照射された光線を吸収して発熱するように表面加工が施された金属面であり、光ファイバ144eにまで伝搬してきた戻り光Rを熱に変換する機能を有する。つまり、照射面141eが発する熱は戻り光Rの強度を時間履歴的影響も含めて反映したものとなっている。

[0100] 第1の温度測定点151eは、照射面141eが発する熱を、熱伝導体142eを介して測定するのに適切な位置に設定されている。すなわち、例えば第1の温度測定点151eは、照射面141eの近くに配置されることが好ましい。また、第1の温度測定点151eは、サーミスタや熱電対等の温度センサが配置され、第1の温度測定点151eにおける温度を測定し得るよう構成されている。

[0101] 図11に示すように、光ファイバ144eの末端におけるコア145eおよびクラッド146eは、光ファイバ144eの光軸に対して斜めに切断されている。これにより、戻り光Rが光ファイバ144eの末端で反射する量が少なくなるので好ましい。なお、戻り光Rの強度が低い場合は、光ファイバ144eの末端におけるコア145eおよびクラッド146eは、光ファイバ144eの光軸に対して垂直に切断することでもよい。

[0102] なお、図11に示される光ファイバ144eでは、クラッド146eの周りに被覆147eが設けられているが、必ずしも被覆147eは必要とされない。発熱による影響を考慮して光ファイバ144eの末端部または全部にて被覆147eを剥いだ状態とすることも可能である。

[0103] 以上のように構成した戻り光減衰モジュール140eは、光ファイバレーザ装置100における戻り光減衰モジュール140と置換され得る構成例となっている。

[0104] (終端部の構成例)

前述のように、図1に示された光ファイバレーザ装置100の終端部130は、戻り光減衰モジュール140のみを備えているが、他の構成要素を含

む構成としてもよい。ここでは、戻り光減衰モジュール 140 以外の構成を含む終端部 130 の構成例について説明する。以下に説明する構成例は、終端部 130 の例示列挙であり、各構成例が光ファイバレーザ装置 100 における終端部 130 と置換され得る。したがって、以下で説明する構成例では終端部 130 に相当する部分のみを開示するが、その他の構成は光ファイバレーザ装置 100 と同一であるとみなし得る。

[0105] また、以下に説明する終端部の構成例にも、戻り光減衰モジュール 140 が含まれている。この戻り光減衰モジュール 140 は、上記説明したように、第 1 ～ 5 構成例に係る戻り光減衰モジュール 140 a, 140 b, 140 c, 140 d, 140 e に置換することができる。以下では、戻り光減衰モジュール 140 の構成について説明を省略するが、上記説明した第 1 ～ 5 構成例に係る戻り光減衰モジュール 140 a, 140 b, 140 c, 140 d, 140 e と同様の構成であるものとみなし得る。

[0106] (終端部の構成例 1)

図 12 は、構成例 1 に係る終端部 131 の概略構成を示す図である。図 12 に示すように、構成例 1 に係る終端部 131 は、波長分割多重光合分波器 132 と可視光発光部 133 と戻り光減衰モジュール 140 とを備える構成である。

[0107] 可視光発光部 133 は、例えば赤色のレーザ光を発光するレーザダイオードである。光ファイバレーザ装置 100 が出力するレーザ光は、先述のように、例えば波長 1070 nm であり、可視光領域のレーザ光ではない。したがって、出力するレーザ光が照射されている位置を確認することが困難である。可視光発光部 133 は、出力するレーザ光が照射されている位置を確認するためのガイド光 G を出力するための光源である。

[0108] 波長分割多重光合分波器 132 は、戻り光 R が伝搬してくる光ファイバと、可視光発光部 133 が接続されている光ファイバと、戻り光減衰モジュール 140 が接続されている光ファイバとの間で波長選択的に光合分波するための機器である。波長分割多重光合分波器 132 は、可視光発光部 133 が

出力するガイド光Gを、戻り光Rが伝搬してくる光ファイバへ低損失で通過させる波長特性を有する。一方、波長分割多重光合分波器132は、戻り光Rを戻り光減衰モジュール140が接続されている光ファイバへ低損失で通過させる波長特性を有する。また、波長分割多重光合分波器132は、戻り光Rを可視光発光部133が接続されている光ファイバへ通過させる際には大きく減衰させる波長特性を有する。

[0109] 上記構成により、構成例1に係る終端部131は、少なくとも出力用光ファイバ120を出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光Rを減衰処理する戻り光減衰モジュール140と、出力レーザ光が照射されている位置を確認するためのガイド光Gを出力するための可視光発光部133と、を備える構成となる。

[0110] (終端部の構成例2)

図13は、構成例2に係る終端部134の概略構成を示す図である。図13に示すように、構成例2に係る終端部134は、光合分波器135と光検出器136と戻り光減衰モジュール140とを備える構成である。

[0111] 光合分波器135は、いわゆるTapカプラと呼ばれる機器であり、戻り光Rが伝搬してくる光ファイバと、光検出器136が接続されている光ファイバと、戻り光減衰モジュール140が接続されている光ファイバとの間で光強度比を調節しながら光合分波するための機器である。光合分波器135は、入力された戻り光Rを、戻り光減衰モジュール140へ出力する戻り光 $R_1$ と光検出器136へ出力する戻り光 $R_2$ とに分岐する。この際、戻り光 $R_1$ と戻り光 $R_2$ との間における光強度の分岐比は、例えば1:100~1:10000となる。なお、この光強度の分岐比に基づいて、光合分波器135は、20dB~50dBカプラとも呼ばれる。

[0112] 光検出器136は、例えばフォトダイオードで構成されている。フォトダイオードで構成された光検出器136は、入力された光の光強度を光電効果によって電気信号へ変換することによって、光検出器136に入力された戻り光 $R_2$ の光強度を監視することが可能である。上述のように光検出器136

に入力される戻り光  $R_2$  の強度は、光合分波器 135 によって所定の分岐比で戻り光  $R$  が分岐されたものである。したがって、光検出器 136 は、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光  $R$  の光強度を監視することが可能である。

[0113] 光検出器 136 の監視結果は、戻り光減衰モジュール 140 での測定温度の監視と併用して用いることができる。例えば、戻り光減衰モジュール 140 で測定された温度の履歴と光検出器 136 が監視する戻り光  $R$  の光強度の履歴とを蓄積し、光ファイバレーザ装置の出力部における加工状態をモニタリングすることに用いることができる。なお、戻り光減衰モジュール 140 での測定温度監視と光検出器 136 での戻り光  $R$  の監視は、それぞれ、光ファイバレーザ装置の外部に出力端子を導出して、外部に接続した機器によって行っても良い。また、光検出器 136 が監視する戻り光  $R$  の光強度が所定値以下になった場合、励起光の出力を低下または停止する制御をすることに用いることができる。ファイバヒューズが実際に発生してしまった場合、戻り光  $R$  の光強度が低下する現象を利用し、戻り光減衰モジュール 140 における測定温度の監視により、ファイバヒューズの発生を防止すると共に、万一ファイバヒューズが発生した場合には、光検出器 136 が監視する戻り光  $R$  の光強度により、ファイバヒューズの進行を止めることができる。

[0114] 上記構成により、構成例 2 に係る終端部 134 は、少なくとも出力用光ファイバ 120 を出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光  $R$  を減衰処理する戻り光減衰モジュール 140 と、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光  $R$  の光強度を監視する光検出器 136 と、を備える構成となる。

[0115] (終端部の構成例 3)

図 14 は、構成例 3 に係る終端部 137 の概略構成を示す図である。図 14 に示すように、構成例 3 に係る終端部 137 は、波長分割多重光合分波器 132a と可視光発光部 133a と光合分波器 135a と光検出器 136a と戻り光減衰モジュール 140 とを備える構成である。すなわち、構成例 3

に係る終端部 1 3 7 は、上記説明した構成例 1 に係る終端部 1 3 1 と構成例 2 に係る終端部 1 3 4 の構成を組み合わせたものである。したがって、本構成例では、重複した説明の多くを省略するものとし、省略した説明箇所は、構成例 1 および構成例 2 と同様であるものとみなし得る。

[0116] 可視光発光部 1 3 3 a は、出力するレーザ光が照射されている位置を確認するためのガイド光 G を出力するための光源である。波長分割多重光合分波器 1 3 2 a は、戻り光 R が伝搬してくる光ファイバと、可視光発光部 1 3 3 a が接続されている光ファイバと、光合分波器 1 3 5 a が接続されている光ファイバとの間で波長選択的に光合分波するための機器である。

[0117] 波長分割多重光合分波器 1 3 2 a は、可視光発光部 1 3 3 a が出力するガイド光 G を、戻り光 R が伝搬してくる光ファイバへ低損失で通過させる波長特性を有する。一方、波長分割多重光合分波器 1 3 2 a は、戻り光 R を光合分波器 1 3 5 a が接続されている光ファイバへ低損失で通過させる波長特性を有する。また、波長分割多重光合分波器 1 3 2 a は、戻り光 R を可視光発光部 1 3 3 a が接続されている光ファイバへ通過させる際には大きく減衰させる波長特性を有する。

[0118] 光合分波器 1 3 5 a は、いわゆる T a p カプラと呼ばれる機器であり、戻り光 R が伝搬してくる光ファイバと、光検出器 1 3 6 a が接続されている光ファイバと、戻り光減衰モジュール 1 4 0 が接続されている光ファイバとの間で光強度比を調節しながら光合分波するための機器である。光検出器 1 3 6 a は、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光 R の光強度を監視することが可能である。

[0119] 上記構成により、構成例 3 に係る終端部 1 3 7 は、少なくとも出力用光ファイバ 1 2 0 を出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光 R を減衰処理する戻り光減衰モジュール 1 4 0 と、出力レーザ光が照射されている位置を確認するためのガイド光 G を出力するための可視光発光部 1 3 3 a と、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光 R の光強度を監視する光検出器 1 3 6 a と、を備える構成となる。

## [0120] (実施形態の変形例)

以下、本発明の実施形態に係る光ファイバレーザ装置の変形例について説明する。以下に説明する変形例は、本発明を適用し得る光ファイバレーザ装置の例示列挙である。また、以下に説明する変形例にも、終端部 130、戻り光減衰モジュール 140 など第 1 実施形態の光ファイバレーザ装置 100 と共通の構成が含まれている。これら光ファイバレーザ装置 100 と共通の構成は、第 1 実施形態と同一の符号を付すことにより、その説明を省略するものとする。

## [0121] (第 2 実施形態)

図 15 は、本発明の第 2 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 200 の概略構成を示す図である。図 15 に示すように、本発明の第 2 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 200 は、レーザ発振器 110 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 111 を用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0122] 図 15 に示すように、第 2 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 200 は、いわゆる後方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置 200 では、レーザ発振器 110 に対して、後方に励起光を導入している。そのため、光ファイバレーザ装置 200 は、第 2 の光反射器 113 の後段に、励起用レーザダイオード 215 a, 215 b が出力する励起光を合波し、第 2 の光反射器 113 へ励起光を出力するための励起光合波器 214 を備えている。

[0123] 励起光合波器 214 は、第 1 実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。光ファイバレーザ装置 200 では、励起光合波器 214 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 215 a, 215 b に接続され、励起光合波器 214 の逆方向側シグナルポートは、第 2 の光反射器 113 に接続されている。なお、励起光合波器 214 の順方向側シグナルポートは、出力用光ファイバ 120 に接続されている。また、光ファイバレーザ装置 200 では、第 1 の光反射器 112 に終端部 130 が接続されている。なお、

励起光合波器 2 1 4 の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部 1 3 0 が接続されてもよい。

[0124] 以上の構成による第 2 実施形態の光ファイバレーザ装置 2 0 0 は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部 1 3 0 における光ファイバが受ける負荷の量を判定することができる。そして、制御部 1 6 0 は、終端部 1 3 0 における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 2 1 5 a, 2 1 5 b の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 2 0 0 が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 2 0 0 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0125] (第 3 実施形態)

図 1 6 は、本発明の第 3 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 3 0 0 の概略構成を示す図である。図 1 6 に示すように、本発明の第 3 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 3 0 0 は、レーザ発振器 1 1 0 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 1 1 1 を用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0126] 図 1 6 に示すように、第 3 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 3 0 0 は、いわゆる双方向励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置 3 0 0 では、レーザ発振器 1 1 0 に対して、前方に励起光を導入すると共に、後方に励起光を導入している。そのため、光ファイバレーザ装置 3 0 0 は、第 1 の光反射器 1 1 2 の前段に、励起用レーザダイオード 3 1 5 c, 3 1 5 d が出力する励起光を合波し、第 1 の光反射器 1 1 2 へ励起光を出力するための励起光合波器 3 1 4 a を備え、第 2 の光反射器 1 1 3 の後段に、励起用レーザダイオード 3 1 5 a, 3 1 5 b が出力する励起光を合波し、第 2 の光反射器 1 1 3 へ励起光を出力するための励起光合波器 3 1 4 b を備えている。

[0127] 励起光合波器 3 1 4 a, 3 1 4 b は、第 1 実施形態と同様に、例えば T F

Bによって構成されている。光ファイバレーザ装置300では、励起光合波器314aの励起光用ポートは、励起用レーザダイオード315a, 315bに接続され、励起光合波器314aの順方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。また、励起光合波器314bの励起光用ポートは、励起用レーザダイオード315c, 315dに接続され、励起光合波器314bの逆方向側シグナルポートは、第2の光反射器113に接続されている。なお、励起光合波器314bの順方向側シグナルポートは、出力用光ファイバ120に接続されている。

[0128] 励起光合波器314aの逆方向側シグナルポートは、終端部130に接続されている。しかしながら、第1実施形態と同様に、終端部130は、励起光合波器314aの逆方向側シグナルポートに接続されるものに限定されない。励起光合波器314a, 314bのいわゆる余りポートに終端部130が接続される構成とすることも可能である。

[0129] 以上の構成による第3実施形態の光ファイバレーザ装置300は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部130における光ファイバが受ける負荷の量を判定することができる。そして、制御部160は、終端部130における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード315a, 315b, 315c, 315dの出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置300が出力する出力レーザを抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置300の高耐久性および高出力性が実現される。

[0130] (第4実施形態)

図17は、本発明の第4実施形態に係る光ファイバレーザ装置400の概略構成を示す図である。図17に示すように、本発明の第4実施形態に係る光ファイバレーザ装置400は、レーザ発振器110における増幅媒質に増幅用光ファイバ111を用いてレーザを発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0131] 図17に示すように、第4実施形態に係る光ファイバレーザ装置400は、いわゆる前方励起型の構成を採用している。しかしながら、第1実施形態とは異なり、光ファイバレーザ装置400は、第1の光反射器112の後段から、増幅用光ファイバ111へ向かって前方に励起光を導入している。第1の光反射器112と増幅用光ファイバ111の間には、励起用レーザダイオード415a、415bが出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ111方向へ励起光を出力するための励起光合波器414が設けられている。

[0132] 励起光合波器414は、第1実施形態と同様に、例えばTFBによって構成されている。光ファイバレーザ装置400では、励起光合波器414の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード415a、415bに接続され、励起光合波器414の順方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ111に接続されている。また、励起光合波器414の逆方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。また、光ファイバレーザ装置400では、第1の光反射器112に終端部130が接続されている。なお、励起光合波器414の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部130が接続されてもよい。

[0133] 以上の構成による第4実施形態の光ファイバレーザ装置400は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部130における光ファイバが受ける負荷の量を判定することができる。そして、制御部160は、終端部130における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード415a、415bの出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置400が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置400の高耐久性および高出力性が実現される。

[0134] (第5実施形態)

図18は、本発明の第5実施形態に係る光ファイバレーザ装置500の概

略構成を示す図である。図 18 に示すように、本発明の第 5 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 500 は、レーザ発振器 110 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 111 を用いてレーザを発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0135] 図 18 に示すように、第 5 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 500 は、いわゆる後方励起型の構成を採用している。しかしながら、第 2 実施形態とは異なり、光ファイバレーザ装置 500 は、第 2 の光反射器 113 の前段から、増幅用光ファイバ 111 へ向かって後方に励起光を導入している。第 2 の光反射器 113 と増幅用光ファイバ 111 との間には、励起用レーザダイオード 515 a, 515 b が出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ 111 方向へ励起光を出力するための励起光合波器 514 が設けられている。

[0136] 励起光合波器 514 は、第 1 実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。光ファイバレーザ装置 500 では、励起光合波器 514 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 515 a, 515 b に接続され、励起光合波器 514 の逆方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ 111 に接続されている。なお、励起光合波器 514 の順方向側シグナルポートは、第 2 の光反射器 113 を介して出力用光ファイバ 120 に接続されている。また、光ファイバレーザ装置 500 では、第 1 の光反射器 112 に終端部 130 が接続されている。なお、励起光合波器 514 の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部 130 が接続されてもよい。

[0137] 以上の構成による第 5 実施形態の光ファイバレーザ装置 500 は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷の量を判定することができる。そして、制御部 160 は、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 515 a, 515 b の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 500 が出力する出力レーザを抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザの抑制が少

なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 500 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0138] (第 6 実施形態)

図 19 は、本発明の第 6 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 600 の概略構成を示す図である。図 19 に示すように、本発明の第 6 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 600 は、レーザ発振器 110 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 111 を用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0139] 図 19 に示すように、第 6 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 600 は、いわゆる双方向励起型の構成を採用している。しかしながら、第 3 実施形態とは異なり、光ファイバレーザ装置 600 は、第 1 の光反射器 112 の後段から、増幅用光ファイバ 111 へ向かって前方に励起光を導入すると共に、第 2 の光反射器 113 の前段から、増幅用光ファイバ 111 へ向かって後方に励起光を導入している。第 1 の光反射器 112 と増幅用光ファイバ 111 との間には、励起用レーザダイオード 615 a, 615 b が出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ 111 方向へ励起光を出力するための励起光合波器 614 a が設けられている。また、第 2 の光反射器 113 と増幅用光ファイバ 111 との間には、励起用レーザダイオード 615 c, 615 d が出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ 111 方向へ励起光を出力するための励起光合波器 614 b が設けられている。

[0140] 励起光合波器 614 a, 614 b は、第 1 実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。光ファイバレーザ装置 600 では、励起光合波器 614 a の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 615 a, 615 b に接続され、励起光合波器 614 a の順方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ 111 に接続されている。また、励起光合波器 614 a の逆方向側シグナルポートは、第 1 の光反射器 112 に接続されている。また、光ファイバレーザ装置 600 では、励起光合波器 614 b の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 615 c, 615 d に接続され、励起光合波器 61

4 b の逆方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ 1 1 1 に接続されている。また、励起光合波器 6 1 4 b の順方向側シグナルポートは、出力用光ファイバ 1 2 0 に接続されている。また、光ファイバレーザ装置 6 0 0 では、第 1 の光反射器 1 1 2 に終端部 1 3 0 が接続されている。なお、励起光合波器 6 1 4 a、6 1 4 b の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部 1 3 0 が接続されてもよい。

[0141] 以上の構成による第 6 実施形態の光ファイバレーザ装置 6 0 0 は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部 1 3 0 における光ファイバが受ける負荷の量を判定することができる。そして、制御部 1 6 0 は、終端部 1 3 0 における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 6 1 5 a、6 1 5 b、6 1 5 c、6 1 5 d の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 6 0 0 が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 6 0 0 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0142] (第 7 実施形態)

図 2 0 は、本発明の第 7 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 7 0 0 の概略構成を示す図である。図 2 0 に示すように、本発明の第 7 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 7 0 0 は、レーザ発振器 1 1 0 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 1 1 1 を用いてレーザ光を発生させ、光増幅器における増幅媒質に増幅用光ファイバ 7 1 6 を用いてレーザ光を増幅させる、M O P A (Master Oscillator Power-Amplifier) 構造を有する。

[0143] 図 2 0 に示すように、本発明の第 7 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 7 0 0 は、第 1 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1 0 0 の構成に新たな構成要素が追加された構成である。したがって、ここでは、新たに追加された構成要素の説明のみ行う。

[0144] 図 2 0 に示すように、本発明の第 7 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 7 0 0 は、レーザ発振器 1 1 0 と照射ヘッド 1 2 1 との間に光増幅器の増幅

媒質として機能する増幅用光ファイバ716を備えている。また、増幅用光ファイバ716と第2の光反射器113との間には、励起用レーザダイオード718a, 718bが出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ716方向へ励起光を出力するための励起光合波器717が設けられている。

[0145] 励起光合波器717は、励起光合波器114と同様に、例えばTFBによって構成されている。光ファイバレーザ装置700では、励起光合波器717の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード718a, 718bに接続され、励起光合波器717の順方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ716に接続されている。また、励起光合波器717の逆方向側シグナルポートは、第2の光反射器113に接続されている。励起光合波器717の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部130が接続されてもよい。

[0146] 増幅用光ファイバ716は、増幅用光ファイバ111と同様に、石英系ガラスからなるコア部に増幅物質であるYbイオンが添加され、コア部の外周には石英系ガラスからなる内側クラッド層と樹脂等からなる外側クラッド層とが順次形成されたダブルクラッド型の光ファイバである。

[0147] 上記構成によって、光ファイバレーザ装置700は、レーザ発振器110で発振したレーザ光を、増幅用光ファイバ716によって増幅し、出力用光ファイバ120へ出力することができる。

[0148] 以上の構成による第7実施形態の光ファイバレーザ装置700は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部130における光ファイバが受ける負荷の量を制御部160が判定することができる。そして、制御部160は、終端部130における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード115a, 115bおよび／または励起用レーザダイオード718a, 718bの出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置700が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置700の高耐久性および高出力

性が実現される。

[0149] なお、上記説明した第7実施形態の光ファイバレーザ装置700は、第1実施形態の光ファイバレーザ装置100に増幅用光ファイバ716および励起光合波器717を追加する構成であるが、第2～6実施形態の光ファイバレーザ装置200, 300, 400, 500, 600に対して増幅用光ファイバ716および励起光合波器717を追加する構成とすることも可能である。

[0150] (第8実施形態)

図21は、本発明の第8実施形態に係る光ファイバレーザ装置800の概略構成を示す図である。図21に示すように、本発明の第8実施形態に係る光ファイバレーザ装置800は、レーザ発振器110における増幅媒質に増幅用光ファイバ111を用いてレーザ光を発生させ、光増幅器における増幅媒質に増幅用光ファイバ816を用いてレーザ光を増幅させる、MOPA構造を有する。

[0151] 図21に示すように、本発明の第8実施形態に係る光ファイバレーザ装置800は、第1実施形態に係る光ファイバレーザ装置100の構成に新たな構成要素が追加された構成である。したがって、ここでは、新たに追加された構成要素の説明のみ行う。

[0152] 図21に示すように、本発明の第8実施形態に係る光ファイバレーザ装置800は、レーザ発振器110と照射ヘッド121との間に光増幅器の増幅媒質として機能する増幅用光ファイバ816を備えている。また、増幅用光ファイバ816と出力用光ファイバ120の間には、励起用レーザダイオード818a, 818bが出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ816方向へ励起光を出力するための励起光合波器817が設けられている。

[0153] 励起光合波器817は、励起光合波器114と同様に、例えばTFBによって構成されている。光ファイバレーザ装置800では、励起光合波器817の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード818a, 818bに接続され、励起光合波器817の逆方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ

８１６に接続されている。また、励起光合波器８１７の順方向側シグナルポートは、出力用光ファイバ１２０に接続されている。励起光合波器８１７の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部１３０が接続されてもよい。

[0154] 増幅用光ファイバ８１６は、増幅用光ファイバ１１１と同様に、石英系ガラスからなるコア部に増幅物質であるＹｂイオンが添加され、コア部の外周には石英系ガラスからなる内側クラッド層と樹脂等からなる外側クラッド層とが順次形成されたダブルクラッド型の光ファイバである。

[0155] 上記構成によって、光ファイバレーザ装置８００は、レーザ発振器１１０で発振したレーザ光を、増幅用光ファイバ８１６によって増幅し、出力用光ファイバ１２０へ出力することができる。

[0156] 以上の構成による第８実施形態の光ファイバレーザ装置８００は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部１３０における光ファイバが受ける負荷の量を制御部１６０が判定することができる。そして、制御部１６０は、終端部１３０における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード１１５ａ，１１５ｂおよび／または励起用レーザダイオード８１８ａ，８１８ｂの出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置８００が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置８００の高耐久性および高出力性が実現される。

[0157] なお、上記説明した第８実施形態の光ファイバレーザ装置８００は、第１実施形態の光ファイバレーザ装置１００に増幅用光ファイバ８１６および励起光合波器８１７を追加する構成であるが、第２～６実施形態の光ファイバレーザ装置２００，３００，４００，５００，６００に対して増幅用光ファイバ８１６および励起光合波器８１７を追加する構成とすることも可能である。

[0158] （第９実施形態）

図 2 2 は、本発明の第 9 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 9 0 0 の概略構成を示す図である。図 2 2 に示すように、本発明の第 9 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 9 0 0 は、レーザ発振器 1 1 0 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 1 1 1 を用いてレーザ光を発生させ、光増幅器における増幅媒質に増幅用光ファイバ 9 1 6 を用いてレーザ光を増幅させる、M O P A 構造を有する。

[0159] 図 2 2 に示すように、本発明の第 9 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 9 0 0 は、第 1 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1 0 0 の構成に新たな構成要素が追加された構成である。したがって、ここでは、新たに追加された構成要素の説明のみ行う。

[0160] 図 2 2 に示すように、本発明の第 9 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 9 0 0 は、レーザ発振器 1 1 0 と照射ヘッド 1 2 1 との間に光増幅器の増幅媒質として機能する増幅用光ファイバ 9 1 6 を備えている。また、増幅用光ファイバ 9 1 6 と第 2 の光反射器 1 1 3 との間には、励起用レーザダイオード 9 1 8 a, 9 1 8 b が出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ 9 1 6 方向へ励起光を出力するための励起光合波器 9 1 7 a が設けられている。さらに、増幅用光ファイバ 9 1 6 と出力用光ファイバ 1 2 0 との間には、励起用レーザダイオード 9 1 8 c, 9 1 8 d が出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ 9 1 6 方向へ励起光を出力するための励起光合波器 9 1 7 b が設けられている。

[0161] 励起光合波器 9 1 7 a, 9 1 7 b は、励起光合波器 1 1 4 と同様に、例えば T F B によって構成されている。光ファイバレーザ装置 9 0 0 では、励起光合波器 9 1 7 a の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 9 1 8 a, 9 1 8 b に接続され、励起光合波器 9 1 7 a の順方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ 9 1 6 に接続されている。また、励起光合波器 9 1 7 a の逆方向側シグナルポートは、第 2 の光反射器 1 1 3 に接続されている。さらに、光ファイバレーザ装置 9 0 0 では、励起光合波器 9 1 7 b の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 9 1 8 c, 9 1 8 d に接続され、励起光合

波器 917b の逆方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ 916 に接続されている。また、励起光合波器 917b の順方向側シグナルポートは、出力用光ファイバ 120 に接続されている。励起光合波器 917a, 917b の励起光用ポートに余りポートが存在した場合、余りポートに終端部 130 が接続されてもよい。

[0162] 増幅用光ファイバ 916 は、増幅用光ファイバ 111 と同様に、石英系ガラスからなるコア部に増幅物質である Yb イオンが添加され、コア部の外周には石英系ガラスからなる内側クラッド層と樹脂等からなる外側クラッド層とが順次形成されたダブルクラッド型の光ファイバである。

[0163] 上記構成によって、光ファイバレーザ装置 900 は、レーザ発振器 110 で発振したレーザ光を、増幅用光ファイバ 916 によって増幅し、出力用光ファイバ 120 へ出力することができる。

[0164] 以上の構成による第 9 実施形態の光ファイバレーザ装置 900 は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷の量を制御部 160 が判定することができる。そして、制御部 160 は、終端部 130 における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 115a, 115b および／または励起用レーザダイオード 918a, 918b, 918c, 918d の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 900 が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 900 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0165] なお、上記説明した第 9 実施形態の光ファイバレーザ装置 900 は、第 1 実施形態の光ファイバレーザ装置 100 に増幅用光ファイバ 916 および励起光合波器 917a, 917b を追加する構成であるが、第 2～6 実施形態の光ファイバレーザ装置 200, 300, 400, 500, 600 に対して増幅用光ファイバ 916 および励起光合波器 917a, 917b を追加する構成とすることも可能である。

[0166] (第10実施形態)

図23は、本発明の第10実施形態に係る光ファイバレーザ装置1000の概略構成を示す図である。図23に示すように、本発明の第10実施形態に係る光ファイバレーザ装置1000は、レーザ発振器110における増幅媒質に増幅用光ファイバ111を用いてレーザ光を発生させ、光増幅器における増幅媒質に増幅用光ファイバ716を用いてレーザ光を増幅させる、MOPA構造を有する。

[0167] 図23に示すように、本発明の第10実施形態に係る光ファイバレーザ装置1000は、第7実施形態に係る光ファイバレーザ装置700の構成に新たな構成要素が追加された構成である。したがって、ここでは、新たに追加された構成要素の説明のみ行う。

[0168] 図23に示すように、光ファイバレーザ装置1000では、増幅用光ファイバ716と照射ヘッド121との間に、波長分割多重光合分波器1031が挿入され、増幅用光ファイバ716と照射ヘッド121との間の光ファイバが分岐されている。そして、分岐された光ファイバは、終端部1030に接続されている。

[0169] 終端部1030は、波長分割多重光合分波器1032と可視光発光部1033と戻り光減衰モジュール140とを備えている。すなわち、終端部1030の構成は、先述した構成例1に係る終端部131と同様である。よって、ここでは終端部1030の各構成の説明を省略するが、説明を省略した終端部1030の各構成は、構成例1に係る終端部131の各構成と同様であるものとみなし得る。

[0170] 終端部1030は、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光Rを減衰処理する戻り光減衰モジュール140と、出力レーザ光が照射されている位置を確認するためのガイド光を出力するための可視光発光部1033と、を備える構成である。

[0171] 第10実施形態の光ファイバレーザ装置1000は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部1030

における光ファイバが受ける負荷の量を制御部 160 が判定することができる。そして、制御部 160 は、終端部 1030 における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 115a, 115b および／または励起用レーザダイオード 718a, 718b の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 1000 が出力する出力レーザを抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 1000 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0172] なお、上記説明した第 10 実施形態の光ファイバレーザ装置 1000 は、第 7 実施形態の光ファイバレーザ装置 700 に終端部 1030 を追加する構成であるが、他の実施形態のファイバレーザ装置に対して終端部 1030 を同様に追加する構成とすることも可能である。

[0173] (第 11 実施形態)

図 24 は、本発明の第 11 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1100 の概略構成を示す図である。図 24 に示すように、本発明の第 11 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1100 は、レーザ発振器 110 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 111 を用いてレーザ光を発生させ、光増幅器における増幅媒質に増幅用光ファイバ 716 を用いてレーザ光を増幅させる、MOPA 構造を有する。

[0174] 図 24 に示すように、本発明の第 11 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1100 は、第 7 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 700 の構成に新たな構成要素が追加された構成である。したがって、ここでは、新たに追加された構成要素の説明のみ行う。

[0175] 図 24 に示すように、光ファイバレーザ装置 1100 では、増幅用光ファイバ 716 と照射ヘッド 121 との間に、光合分波器 1131 が挿入され、増幅用光ファイバ 716 と照射ヘッド 121 との間の光ファイバが分岐されている。そして、分岐された光ファイバは、終端部 1130 に接続されている。

[0176] 終端部 1130 は、光合分波器 1132 と光検出器 1133 と戻り光減衰モジュール 140 とを備えている。すなわち、終端部 1130 の構成は、先述した構成例 2 に係る終端部 134 と同様である。よって、ここでは終端部 1130 の各構成の説明を省略するが、説明を省略した終端部 1130 の各構成は、構成例 2 に係る終端部 134 の各構成と同様であるものとみなし得る。

[0177] 終端部 1130 は、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光 R を減衰処理する戻り光減衰モジュール 140 と、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光 R の光強度を監視する光検出器 1133 と、を備える構成である。

[0178] 第 11 実施形態の光ファイバレーザ装置 1100 は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部 1130 における光ファイバが受ける負荷の量を制御部 160 が判定することができる。そして、制御部 160 は、終端部 1130 における光ファイバが受ける負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 115a, 115b および／または励起用レーザダイオード 718a, 718b の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 1100 が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 1100 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0179] なお、上記説明した第 11 実施形態の光ファイバレーザ装置 1100 は、第 7 実施形態の光ファイバレーザ装置 700 に終端部 1130 を追加する構成であるが、他の実施形態の光ファイバレーザ装置に対して終端部 1130 を同様に追加する構成とすることも可能である。

[0180] (第 12 実施形態)

図 25 は、本発明の第 12 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1200 の概略構成を示す図である。図 25 に示すように、本発明の第 12 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1200 は、レーザ発振器 110 における増幅

媒質に増幅用光ファイバ１１１を用いてレーザ光を発生させ、光増幅器における増幅媒質に増幅用光ファイバ７１６を用いてレーザ光を増幅させる、ＭＯＰＡ構造を有する。

[0181] 図２５に示すように、本発明の第１２実施形態に係る光ファイバレーザ装置１２００は、第７実施形態に係る光ファイバレーザ装置７００の構成に新たな構成要素が追加された構成である。したがって、ここでは、新たに追加された構成要素の説明のみ行う。

[0182] 図２５に示すように、光ファイバレーザ装置１２００では、増幅用光ファイバ７１６と照射ヘッド１２１との間に、光合分波器１２３１が挿入され、増幅用光ファイバ７１６と照射ヘッド１２１との間の光ファイバが分岐されている。そして、分岐された光ファイバは、終端部１２３０に接続されている。なお、第１２実施形態に係る光ファイバレーザ装置１２００では、光合分波器１２３１の代わりに波長分割光合分波器を用いてもよい。

[0183] 終端部１２３０は、波長分割多重光合分波器１２３２と可視光発光部１２３３と光合分波器１２３４と光検出器１２３５と戻り光減衰モジュール１４０とを備えている。すなわち、終端部１２３０の構成は、先述した構成例３に係る終端部１３７と同様である。よって、ここでは終端部１２３０の各構成の説明を省略するが、説明を省略した終端部１２３０の各構成は、構成例３に係る終端部１３７の各構成と同様であるものとみなし得る。

[0184] 終端部１２３０は、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光Ｒを減衰処理する戻り光減衰モジュール１４０と、出力レーザ光が照射されている位置を確認するためのガイド光を出力するための可視光発光部１２３３と、出力用光ファイバを出力レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光Ｒの光強度を監視する光検出器１２３５と、を備える構成である。

[0185] 第１２実施形態の光ファイバレーザ装置１２００は、戻り光の強度のみならず、戻り光の強度が高い状況が継続する時間も考慮して、終端部１２３０における光ファイバが受ける負荷の量を制御部１６０が判定することができる。そして、制御部１６０は、終端部１２３０における光ファイバが受ける

負荷の量に基づき、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b および／または励起用レーザダイオード 718 a, 718 b の出力を制御することができる。これにより、光ファイバレーザ装置 1200 が出力する出力レーザ光を抑制するか否かの判断が適正化され、不必要な出力レーザ光の抑制が少なくなる。結果、光ファイバレーザ装置 1200 の高耐久性および高出力性が実現される。

[0186] なお、上記説明した第 12 実施形態の光ファイバレーザ装置 1200 は、第 7 実施形態の光ファイバレーザ装置 700 に終端部 1230 を追加する構成であるが、他の実施形態の光ファイバレーザ装置に対して終端部 1230 を同様に追加する構成とすることも可能である。

[0187] (第 13 実施形態)

図 26 は、第 13 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1300 の概略構成を示す図である。図 26 に示すように、第 13 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1300 は、レーザ発振器 110 における増幅媒質に増幅用光ファイバ 111 を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。

[0188] 図 26 に示すように、第 13 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1300 は、いわゆる前方励起型の構成を採用している。光ファイバレーザ装置 1300 は、第 1 の光反射器 112 の前段に、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b が出力する励起光を合波し、増幅用光ファイバ 111 へ励起光を出力するための励起光合波器 114 が設けられている。これにより、第 1 の光反射器 112 の前段から、増幅用光ファイバ 111 へ向かって励起光を導入する。

[0189] 励起光合波器 114 は、例えば TFB (Tapered Fiber Bundle) によって構成されている。励起光合波器 114 は、両端部を構成する順方向側シグナルポート光ファイバと逆方向側シグナルポート光ファイバと複数の励起光用ポート光ファイバとを備えている。光ファイバレーザ装置 1300 では、励起光合波器 114 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 115 a

， 115b に接続されている。

[0190] 励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートは、戻り光減衰モジュール 170 に接続されている。順方向側シグナルポートと逆方向側シグナルポートとは、両端をコアが延伸しているので、戻り光の強度が大きく、戻り光減衰モジュール 170 を接続するポートとして励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートは好適である。また、戻り光減衰モジュール 170 には、図 26 に示されるように、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 が接続されている。戻り光減衰モジュール 170 は、出力用光ファイバ 120 とは反対側の端部から減衰した戻り光を出射し、可視光発光部 180 は、当該端部に接続されている。

[0191] 図 27 は、戻り光減衰モジュール 170 およびその周辺の構成を示す図である。図 27 に示されるように、戻り光減衰モジュール 170 は、励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートから可視光発光部 180 までを繋ぐ光ファイバを主要な構成として備えている。また、戻り光減衰モジュール 170 は、戻り光減衰モジュール 170 が備える受け用光ファイバ 171 および減衰用光ファイバ 172 を固定し、受け用光ファイバ 171 や減衰用光ファイバ 172 からの漏洩光が熱に変換されて生じる発熱を放熱するための熱変換部を構成する金属プレート 173 を備える。すなわち、金属プレート 173 は熱伝導率が高い金属で構成されており、金属プレート 173 自体も光ファイバレーザ装置 1300 におけるヒートシンク等に接続されており、受け用光ファイバ 171 や減衰用光ファイバ 172 から発生する熱を効率よく排熱するよう構成されている。

[0192] 図 27 に示されるように、受け用光ファイバ 171 および減衰用光ファイバ 172 は、それぞれ励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートから延伸するシグナルポート光ファイバ 114a および可視光発光部 180 から延伸するピグテール光ファイバ 181 と接続している。シグナルポート光ファイバ 114a と受け用光ファイバ 171 とは、第 1 の融着接続点 174a にて融着接続されており、受け用光ファイバ 171 と減衰用光ファイバ 172

とは、第2の融着接続点174bにて融着接続されており、減衰用光ファイバ172とピグテール光ファイバ181とは第3の融着接続点174cにて融着接続されている。減衰用光ファイバ172のコアは、受け用光ファイバ171およびシグナルポート光ファイバ114a等を介してレーザ発振器110を構成する増幅用光ファイバ111等の光ファイバのコアに接続されている。

[0193] 第1の融着接続点174aは、接続損失が小さく、例えば第2の融着接続点174bの接続損失と同程度か、第2の融着接続点174bの接続損失より小さくなるように構成することが好ましい。第1の融着接続点174aでは発熱を抑制し、金属プレート173上で発熱要因を集中させた方が熱管理の点で好適である。シグナルポート光ファイバ114aと受け用光ファイバ171とは、コア径およびNAが略同一であることが好ましい。また、受け用光ファイバ171のクラッド径は、シグナルポート光ファイバ114aのクラッド径以上であることが好ましい。

[0194] また、シグナルポート光ファイバ114aおよび受け用光ファイバ171は、いわゆるローインデックス光ファイバであることが好ましい。ローインデックス光ファイバは、被覆の屈折率がクラッドの屈折率よりも低く、第1の融着接続点174aでの漏れ光を低く抑制することができるため、金属プレート173上に発熱要因を集中させることに寄与する。

[0195] 上記の観点から、受け用光ファイバ171は、戻り光減衰モジュール170を接続する光ファイバ、例えば本実施形態ではシグナルポート光ファイバ114aに応じて選択することが好ましい。例えば、受け用光ファイバ171は、戻り光減衰モジュール170を接続する光ファイバと同一の光ファイバとすることも可能である。その場合、第1の融着接続点174aを設けない構成とすることも可能である。

[0196] ここで、光ファイバの組み合わせの一例を示す。例えば、シグナルポート光ファイバ114aがコア径14 $\mu$ mかつクラッド径125 $\mu$ mであるペダスタル光ファイバであるとき、受け用光ファイバ171をコア径14 $\mu$ mか

つクラッド径 $125\mu\text{m}$ であるダブルクラッド光ファイバとする。なお、ペデスタル光ファイバとは、コアの周囲に屈折率がコアとクラッドの間となる領域を設けた構造の光ファイバである。この場合、これらペデスタル光ファイバおよびダブルクラッド光ファイバにおけるコアの伝搬特性は、レーザ発振器110を構成する光ファイバと同様、実質的にシングルモードとなっている。

[0197] 第2の融着接続点174bは、第1の融着接続点174aよりも接続損失が小さくなるように構成する必要は必ずしもない。第2の融着接続点174bは、金属プレート173上に配置されており、接続損失に起因する発熱を放熱することが可能だからである。しかしながら、第2の融着接続点174bにおける発熱がある程度大きなものとなる場合、当該発熱によって光ファイバの被覆が溶けることがある。したがって、第2の融着接続点174bの付近の光ファイバの被覆を除去しておくことが好ましい。なお、減衰用光ファイバ172の方が発熱が大きいので、第2の融着接続点174bから一定の長さの減衰用光ファイバ172の被覆を除去する方がより好ましい。

[0198] 第2の融着接続点174bは、接続損失が小さくなるように構成する必要はないので、減衰用光ファイバ172の選択肢は広い。減衰用光ファイバ172は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きいものを自由に選択し、この減衰用光ファイバ172を複数周回曲げて金属プレート173に固定すれば、戻り光の伝搬方向において連続的に該戻り光に損失を与える媒質からなる戻り光伝搬損失部として機能し得る。特に問題となる戻り光の成分はコアモードで伝搬するものであるので、減衰用光ファイバ172のコアは、コアモードで伝搬する戻り光に対して、戻り光の波長における損失が可視光波長域における損失よりも大きいことが好ましい。

[0199] 可視光発光部180は、可視光として、たとえば赤色や緑色等の可視レーザ光を出力し、可視レーザ光は、戻り光減衰モジュール170、増幅用光ファイバ111、および出力用光ファイバ120を経て光ファイバレーザ装置1300から出力される。このとき、戻り光減衰モジュール170を構成す

る減衰用光ファイバ172は、光ファイバレーザ装置1300から出力される可視レーザ光が目視で視認可能な程度の光強度を有し、かつ、戻り光減衰モジュール170に入力した赤外光からなる戻り光を減衰して可視光発光部180側に出力するように、その長さおよび曲げ径が設定されている。ここで、目視で視認可能な程度としては、例えば、JIS C6802クラス2～3R程度となる。また、該抑制とは、例えば、可視光発光部180に入力する戻り光パワーが300W程度以上、または出力と同程度以上の場合でも、可視光発光部180を破損しない程度まで減衰されるとよい。

[0200] 可視光とは、波長がおよそ400nm～800nmであり、加工用途に用いられる加工用の出力レーザ光Lの波長は赤外光であり、1000nm以上であることが多い。したがって、減衰用光ファイバ172は、波長1000nm以上の光に対する曲げ損失が、波長800nm以下の光に対する曲げ損失よりも大きいものを選択することが好ましい。例えば、ガイド光として用いられる可視光の波長が660nmであり、加工用の出力レーザ光Lの波長は1070nmである場合、減衰用光ファイバ172は、波長1070nmの光に対する曲げ損失が、波長660nmの光に対する曲げ損失よりも大きいものを選択することがより好ましい。また、例えば、光ファイバレーザ装置1300から出力される可視光が目視で視認可能で、かつ可視光発光部180への戻り光を抑制するように、戻り光に対する曲げ損失と可視光に対する曲げ損失との差は、50dB以上であることが好ましい。例えば、戻り光に対する曲げ損失と可視光に対する曲げ損失との差が50dB以上であれば、戻り光の大部分が減衰用光ファイバ172において減衰し熱変換される。このように戻り光の大部分が減衰用光ファイバ172において減衰された戻り光は、例えば500Wであっても10mW以下まで減衰され、減衰用光ファイバ172からは残留した微小強度の光のみが出力されることになる。

[0201] 減衰用光ファイバ172のベンドエッジ波長は、戻り光の波長よりも短いことが好ましい。ベンドエッジ波長とは、それ以上長い波長では曲げていない状態の光ファイバが基本モードを伝播しなくなる波長（または、基本モー

ドを低損失で伝搬可能な最長波長) のことである。つまり、曲げた状態の減衰用光ファイバ172にベンドエッジ波長よりも長い波長の戻り光を伝搬させようとする、戻り光は強い損失を受けることになる。一方、ガイド光として用いられる可視光の波長は、減衰用光ファイバ172のベンドエッジ波長よりも短くし、好ましくは100nm以上短くする。

[0202] また、減衰用光ファイバ172のコアは、可視光のうち少なくともガイド光に用いる光を実質的にシングルモードで伝搬するように構成されていることが好ましい。ガイド光に対する損失を小さくし得るからである。したがって、減衰用光ファイバ172のベンドエッジ波長は、660nmよりも長いことが好ましく、800nmよりも長いことがより好ましい。

[0203] 減衰用光ファイバ172の曲げ半径は、ガイド光に用いる光に対する曲げ損失が、上述のように光ファイバレーザ装置から出力した可視光が目視視認可能となる範囲の大きさに設定することが好ましい。例えば、減衰用光ファイバ172の曲げ半径は、半径150mmから30mmの範囲で一周ごとに半径を変える構成とすることが好ましい。なお、図27に示されるように、曲げ半径が大きい側の減衰用光ファイバ172の端点を受け用光ファイバ171に接続する方が好ましい。曲げ半径が大きい方が曲げ損失が小さいので、戻り光が入射する側から徐々に曲げ損失が大きくなる配置となり、曲げ損失に起因する発熱を分散させることができるからである。減衰用光ファイバ172を曲げる区間の長さは、戻り光を減衰すべき量に応じて適宜選択することができるが、例えば1m～5mとすることができる。

[0204] 減衰用光ファイバ172の曲げ半径の小さい方の一端（出力用光ファイバ120とは反対側の端部）は、第3の融着接続点にてピグテール光ファイバ181に融着接続されている。ピグテール光ファイバ181と減衰用光ファイバ172とは、同一の光ファイバとすることができる。したがって、第3の融着接続点174cを設けない構成とすることも可能である。

[0205] 金属プレート173における受け用光ファイバ171および減衰用光ファイバ172の配置箇所に溝を設け、受け用光ファイバ171および減衰用光

ファイバ１７２を当該溝に收容し、樹脂等で固定することが好ましい。受信用光ファイバ１７１および減衰用光ファイバ１７２を確実に固定するというだけでなく、減衰用光ファイバ１７２から漏洩する戻り光の漏洩光を効率よく熱変換し排熱する効果を高めることができるからである。金属プレート１７３は、減衰用光ファイバ１７２の損失によって生じた光を熱に変換する熱変換部として機能する。

[0206] また、金属プレート１７３上で、戻り光の漏洩光を受光可能な位置に受光素子などを配置して、戻り光の強度を監視するようにしても良い。例えば、第２の融着接続点１７４ｂもしくは戻り光が曲げ部に入射する部分の近傍Ａに受光素子を配置することにより、安定した戻り光強度測定を行うことが可能である。さらに、例えば、第１の融着接続点１７４ａの近傍Ｂに受光素子を配置してもよく、減衰用光ファイバ１７２の周辺または戻り光減衰モジュール１７０の周囲の近傍Ｃに受光素子を配置してもよい。

[0207] また、金属プレート１７３にはサーミスタ等の温度センサを設けることが好ましい。金属プレート１７３の温度は戻り光の強度に相関があり、戻り光の強度を監視しながら出力レーザ光Ｌの出力を制御する等に利用し得るからである。

[0208] また、図２８に示されるように戻り光減衰モジュール１７０を遮光板１７５によって覆うことが好ましい。なお、図２８は戻り光減衰モジュール１７０の側視図である。図２８に示されるように、遮光板１７５は、スペーサによって金属プレート１７３に略平行に設けられている。遮光板１７５は金属プレート１７３と同一の材料や、樹脂などによって構成すればよい。また、金属プレート１７３と遮光板１７５との間隔は、例えば６ｍｍであり、減衰用光ファイバ１７２が金属プレート１７３と遮光板１７５との間に收容されている。

[0209] 上記のような構成により、減衰用光ファイバ１７２から漏洩する戻り光が戻り光減衰モジュール１７０の周囲に放出されることを抑制することができる。また、減衰用光ファイバ１７２から漏洩する戻り光が戻り光減衰モジュ

ール170の内部に閉じ込められるので、戻り光減衰モジュール170の内部に受光素子を配置した際の、戻り光の検出精度が向上する。また、当該構成により、戻り光減衰モジュール170の内部に温度センサを配置した際に、入力パワーに対する温度の勾配が増加して、温度センサの感度が向上するといった効果がある。

[0210] ここで、図29および図30を参照しながら戻り光減衰モジュール170の単体評価について説明する。図29は、戻り光減衰モジュール170への入力強度に対する光ファイバ172の温度を示すグラフであり、図30は、戻り光減衰モジュール170への入力強度に対する出力強度を示すグラフである。

[0211] 図29に示されるグラフは、縦軸を温度[°C]とし、横軸を入力強度[W]とし、第1の融着接続点174a相当箇所に波長1070nmのレーザ光を入力した際の第2の融着接続点174b (Point X)、減衰用光ファイバ172 (Point Y)、金属プレート173 (Point Z) の温度をプロットしたものである。なお、第1の融着接続点174a相当箇所に入力したレーザ光には、ペDESTALモードおよびクラッドモードのレーザ光も含まれており、コアモードの比率が70%となっている。また、金属プレート173の温度は、第2の融着接続点174bや減衰用光ファイバ172の温度に追従して変化するため、金属プレート173に温度センサを付けることで、第2の融着接続点174bや減衰用光ファイバ172の温度を測定している。

[0212] 図29に示されるように、戻り光減衰モジュール170への入力強度に対し、第2の融着接続点174b、減衰用光ファイバ172、および金属プレート173の温度は略線形の特性を示している。例えば600Wの入力強度に対しても、第2の融着接続点174bは70°C以下であり、金属プレート173の温度は60°C以下に抑えられている。

[0213] 図30に示されるグラフは、左縦軸を出力強度[μW]とし、横軸を入力強度[W]とし、右縦軸を減衰量のデシベル表示[dB]とし、第1の融着接続点

174a相当箇所には波長1070nmのレーザ光を入力した際の第3の融着接続点174c相当箇所での出力強度をプロットしたものである。なお、同様に、第1の融着接続点174a相当箇所に入力したレーザ光には、ペDESTALモードおよびクラッドモードのレーザ光も含まれており、コアモードの比率が70%となっている。

[0214] 図30に示されるように、戻り光減衰モジュール170は、0W~600Wの入力強度に対し58dB程度の減衰効果を示し、例えば600Wの入力強度に対しても出力強度が1mWより小さく抑えられている。

[0215] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置1300は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバ172を複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール170を、たとえば、励起光合波器114のシグナルポート光ファイバを介して、第1の光反射器112に接続し、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置1300は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0216] (第14実施形態)

図31は、第14実施形態に係る光ファイバレーザ装置1400の概略構成を示す図である。図31に示されるように、第14実施形態に係る光ファイバレーザ装置1400は、レーザ発振器110を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器110は、増幅用光ファイバ111を備え、第1の光反射器112と第2の光反射器113との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器110が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ120および照射ヘッド121を介して出力レーザ光Lとして加工対象物Wに照射される。

[0217] 図31に示されるように、第14実施形態に係る光ファイバレーザ装置1400は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置1400では、レーザ発振器110に対して、前方向に励起光が導入さ

れている。そのために、光ファイバレーザ装置 1400 は、第 1 の光反射器 112 の前段に、レーザ発振器 110 へ励起光を導入するための励起光合波器 114 を備えている。

[0218] 励起光合波器 114 は、第 1 実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。励起光合波器 114 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b に接続され、励起光合波器 114 の順方向側シグナルポートは、第 1 の光反射器 112 に接続されている。当該構成により、励起光合波器 114 は、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b が出力する励起光を合波し、レーザ発振器 110 へ励起光を出力する。戻り光減衰モジュール 170 は、励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートから延伸しているシグナルポート光ファイバに接続されている。戻り光減衰モジュール 170 の内部構成は、第 1 実施形態と同様とし得る。また、光ファイバレーザ装置 1400 は、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b、および、その他制御部位を制御するための制御部 160 を備えている。

[0219] 第 1 4 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1400 では、戻り光減衰モジュール 170 における逆方向側の端点に終端処理部 190 が設けられている。終端処理部 190 は、例えば戻り光減衰モジュール 170 を構成する光ファイバの終端に樹脂封止を施すことで実現される。なお、図 31 では終端処理部 190 が戻り光減衰モジュール 170 と独立して記載されているが、戻り光減衰モジュール 170 の内部で光ファイバの終端に樹脂封止を施すことも可能である。

[0220] 図 32 は、終端処理部 190 における光ファイバの終端の樹脂封止の例を示す図である。図 32 に示されるように、終端処理部 190 は、光ファイバの末端を封止する封止部材 191 を備えている。封止部材 191 は、樹脂等で構成されており、光ファイバの末端から射出される戻り光を散乱または吸収する性質を有するものである。

[0221] 光ファイバの末端におけるコア 192 およびクラッド 193 は、光ファイバの光軸に対して斜めに切断されている。このように光ファイバの末端を斜

めに切断すると、戻り光のうち光ファイバの末端で反射してコアに戻る光の量が少なくなるので好ましい。なお、戻り光の強度が低い場合は、光ファイバの末端におけるコア 192 およびクラッド 193 は、光ファイバの光軸に対して垂直に切断した状態としてもよい。

[0222] なお、図 32 に示される光ファイバでは、クラッド 193 の周りに被覆 194 が設けられているが、必ずしも被覆 194 は必要とされない。発熱による影響を考慮して光ファイバの末端部または全部にて被覆 194 を剥いだ状態とすることも可能である。

[0223] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置 1400 は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール 170 を、励起光合波器 114 のシグナルポート光ファイバを介して、第 1 の光反射器 112 に接続し、戻り光減衰モジュール 170 の終端を樹脂で封止している。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置 1400 は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0224] (第 15 実施形態)

図 33 は、第 15 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1500 の概略構成を示す図である。図 33 に示されるように、第 3 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1500 は、レーザ発振器 110 を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器 110 は、増幅用光ファイバ 111 を備え、第 1 の光反射器 112 と第 2 の光反射器 113 との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器 110 が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ 120 および照射ヘッド 121 を介して出力レーザ光 L として加工対象物 W に照射される。

[0225] 図 33 に示されるように、第 15 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1500 は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置 1500 では、レーザ発振器 110 に対して、前方向に励起光が導入されている。しかしながら、第 1 実施形態とは異なり、光ファイバレーザ装置

1500は、第1の光反射器112と増幅用光ファイバ111との間に、レーザ発振器110へ励起光を導入するための励起光合波器114を備えている。

[0226] 励起光合波器114は、第1実施形態と同様に、例えばTFBによって構成されている。励起光合波器114の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード115a, 115bに接続され、励起光合波器114の順方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。当該構成により、励起光合波器114は、励起用レーザダイオード115a, 115bが出力する励起光を合波し、レーザ発振器110へ励起光を出力する。当該構成により、励起光合波器114は、励起用レーザダイオード115a, 115bが出力する励起光を合波し、レーザ発振器110へ励起光を出力する。励起光合波器114の逆方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。また、光ファイバレーザ装置1500は、励起用レーザダイオード115a, 115b、および、その他制御部位を制御するための制御部160を備えている。

[0227] 戻り光減衰モジュール170は、第1の光反射器112から延伸している光ファイバに接続されている。第15実施形態に係る光ファイバレーザ装置1500は、第1実施形態とは異なり、励起光合波器114を介さずに、戻り光減衰モジュール170がレーザ発振器110に接続されている。しかしながら、第15実施形態においても、戻り光減衰モジュール170は、第1実施形態と同様に機能することになる。戻り光減衰モジュール170には、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180が接続されている。

[0228] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置1500は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール170を、第1の光反射器112に接続し、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレ

ーザ装置１５００は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0229] (第１６実施形態)

図３４は、第１６実施形態に係る光ファイバレーザ装置１６００の概略構成を示す図である。図３４に示されるように、第１６実施形態に係る光ファイバレーザ装置１６００は、レーザ発振器１１０を用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器１１０は、増幅用光ファイバ１１１を備え、第１の光反射器１１２と第２の光反射器１１３との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器１１０が発生させたレーザ光は、出力用光ファイバ１２０および照射ヘッド１２１を介して出力レーザ光Ｌとして加工対象物Ｗに照射される。

[0230] 図３４に示されるように、第１６実施形態に係る光ファイバレーザ装置１６００は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置１６００では、レーザ発振器１１０に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置１６００は、第１の光反射器１１２の前段に、レーザ発振器１１０へ励起光を導入するための励起光合波器１１４を備えている。

[0231] 励起光合波器１１４は、第１実施形態と同様に、例えばＴＦＢによって構成されている。励起光合波器１１４の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード１１５ａ、１１５ｂに接続され、励起光合波器１１４の順方向側シグナルポートは、第１の光反射器１１２に接続されている。当該構成により、励起光合波器１１４は、励起用レーザダイオード１１５ａ、１１５ｂが出力する励起光を合波し、レーザ発振器１１０へ励起光を出力する。戻り光減衰モジュール１７０は、励起光合波器１１４の逆方向側シグナルポートから延伸しているシグナルポート光ファイバに接続されている。光ファイバレーザ装置１６００は、励起用レーザダイオード１１５ａ、１１５ｂ、および、その他制御部位を制御するための制御部１６０を備えている。

[0232] 第１６実施形態に係る光ファイバレーザ装置１６００では、戻り光減衰モ

ジュール 170 における逆方向側の端点に光検出器 136 が接続されている。光検出器 136 は、戻り光減衰モジュール 170 を介して入力された光を光電変換し、レーザ発振器 110 の第 1 の光反射器 112 を透過してくる戻り光の強度を測定する。光検出器 136 によって測定された戻り光の強度は、制御部 160 に送信される。戻り光の強度は、光ファイバレーザ装置 1600 が正常に機能しているか否かを判断する指標とし得る。一方で、戻り光の強度は非常に強力となることがあり、直接入力させると光検出器 136 を損傷する虞がある。そこで、光ファイバレーザ装置 1600 は、戻り光減衰モジュール 170 によって適切に減衰された戻り光の強度を測定する構成としている。

[0233] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置 1600 は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール 170 を、励起光合波器 114 のシグナルポート光ファイバを介して、第 1 の光反射器 112 に接続し、戻り光減衰モジュール 170 の終端に、光電変換を行う光検出器 136 を接続している。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置 1600 は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0234] (第 17 実施形態)

図 35 は、第 17 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1700 の概略構成を示す図である。図 35 に示されるように、第 17 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1700 は、レーザ発振器 110 を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器 110 は、増幅用光ファイバ 111 を備え、第 1 の光反射器 112 と第 2 の光反射器 113 との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器 110 が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ 120 および照射ヘッド 121 を介して出力レーザ光 L として加工対象物 W に照射される。

[0235] 図 35 に示されるように、第 17 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1

700は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置1700では、レーザ発振器110に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置1700は、第1の光反射器112の前段に、レーザ発振器110へ励起光を導入するための励起光合波器114を備えている。

[0236] 励起光合波器114は、第1実施形態と同様に、例えばTFBによって構成されている。励起光合波器114の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード115a, 115bに接続され、励起光合波器114の順方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。当該構成により、励起光合波器114は、励起用レーザダイオード115a, 115bが出力する励起光を合波し、レーザ発振器110へ励起光を出力する。また、光ファイバレーザ装置1700は、励起用レーザダイオード115a, 115b、および、その他制御部位を制御するための制御部160を備えている。

[0237] 第17実施形態に係る光ファイバレーザ装置1700では、戻り光減衰モジュール170は、励起光合波器114の逆方向側シグナルポートから延伸しているシグナルポート光ファイバを光合分波器1706にて分岐した先に接続されている。光合分波器1706は、例えばTapカプラと呼ばれるものの、または、波長分割多重光合分波器などを利用することができる。Tapカプラは波長依存性なく入力光を所定強度比で分波し、波長分割多重光合分波器は波長依存性を有しながら入力光を所定強度比で分波することができる。したがって、戻り光減衰モジュール170は、光合分波器1706にて減衰された後の戻り光が入力されることになる。戻り光減衰モジュール170には、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180が接続されている。

[0238] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置1700は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール170を、励起光合波器114のシグナルポート光ファイバを介して、第1の光反射器112に接続し、戻り

光減衰モジュール１７０を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部１８０を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置１７０は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0239] （第１８実施形態）

図３６は、第１８実施形態に係る光ファイバレーザ装置１８００の概略構成を示す図である。図３６に示されるように、第１８実施形態に係る光ファイバレーザ装置１８００は、レーザ発振器１１０を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器１１０は、増幅用光ファイバ１１１を備え、第１の光反射器１１２と第２の光反射器１１３との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器１１０が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ１２０および照射ヘッド１２１を介して出力レーザ光Ｌとして加工対象物Ｗに照射される。

[0240] 図３６に示されるように、第１８実施形態に係る光ファイバレーザ装置１８００は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置１８００では、レーザ発振器１１０に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置１８００は、第１の光反射器１１２の前段に、レーザ発振器１１０へ励起光を導入するための励起光合波器１１４を備えている。

[0241] 励起光合波器１１４は、第１実施形態と同様に、例えばＴＦＢによって構成されている。励起光合波器１１４の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード１１５ａ，１１５ｂに接続され、励起光合波器１１４の順方向側シグナルポートは、第１の光反射器１１２に接続されている。当該構成により、励起光合波器１１４は、励起用レーザダイオード１１５ａ，１１５ｂが出力する励起光を合波し、レーザ発振器１１０へ励起光を出力する。また、光ファイバレーザ装置１８００は、励起用レーザダイオード１１５ａ，１１５ｂ、および、その他制御部位を制御するための制御部１６０を備えている。

[0242] 第１８実施形態に係る光ファイバレーザ装置１８００では、戻り光減衰モ

ジュール 170 は、励起光合波器 114 の励起光用ポートのうち励起用レーザダイオード 115 a, 115 b が接続されていないポート（いわゆる余りポート）に接続されて、出力用光ファイバ 120 とは反対側の端部（戻り光が出射する端部）から減衰した戻り光を出射するように構成されている。励起光合波器 114 の励起光用ポートには、マルチモード光ファイバが延伸している。例えば、このマルチモード光ファイバは、NA が 0.22 であり、コア径が  $110\ \mu\text{m}$  でありクラッド径が  $125\ \mu\text{m}$  である。したがって、戻り光減衰モジュール 170 の受け用光ファイバは、このマルチモード光ファイバと接続した際に接続損失が小さくなるように同種のマルチモード光ファイバを選択することが好ましい。なお、戻り光減衰モジュール 170 の内部構成は、第 1 実施形態と同様とし得るが、減衰用光ファイバ 172 をマルチモード光ファイバとしても良い。また、戻り光減衰モジュール 170 には、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 が接続されている。

[0243] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置 1800 は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール 170 を、励起光合波器 114 の励起光用ポートを介して、第 1 の光反射器 112 に接続し、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置 1800 は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0244] （第 19 実施形態）

図 37 は、第 19 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1900 の概略構成を示す図である。図 37 に示されるように、第 19 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1900 は、レーザ発振器 110 を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器 110 は、増幅用光ファイバ 111 を備え、第 1 の光反射器 112 と第 2 の光反射器 113 と

の間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器 110 が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ 120 および照射ヘッド 121 を介して出力レーザ光 L として加工対象物 W に照射される。

[0245] 図 37 に示されるように、第 19 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1900 は、いわゆる後方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置 1900 では、レーザ発振器 110 に対して、後方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置 1900 は、第 2 の光反射器 113 の後段に、レーザ発振器 110 へ励起光を導入するための励起光合波器 114 を備えている。

[0246] 励起光合波器 114 は、第 1 実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。励起光合波器 114 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 115a, 115b に接続され、励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートは、第 2 の光反射器 113 に接続されている。当該構成により、励起光合波器 114 は、励起用レーザダイオード 115a, 115b が出力する励起光を合波し、レーザ発振器 110 へ励起光を出力する。また、光ファイバレーザ装置 1900 は、励起用レーザダイオード 115a, 115b、および、その他制御部位を制御するための制御部 160 を備えている。

[0247] 第 19 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 1900 では、戻り光減衰モジュール 170 は、励起光合波器 114 の励起光用ポートのうち励起用レーザダイオード 115a, 115b が接続されていないポート（いわゆる余りポート）に接続されて、出力用光ファイバ 120 とは反対側の端部（戻り光が出射する端部）から減衰した戻り光を出射するように構成されている。励起光合波器 114 の励起光用ポートには、マルチモード光ファイバが延伸しており、戻り光減衰モジュール 170 の受け用光ファイバは、このマルチモード光ファイバと接続した際に接続損失が小さくなるように選択されることが好ましい。また、戻り光減衰モジュール 170 には、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 が接続されている。

[0248] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置 1900 は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール 170 を、励起光合波器 114 の励起光用ポートを介して、第 2 の光反射器 113 に接続し、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置 1900 は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0249] (第 20 実施形態)

図 38 は、第 20 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 2000 の概略構成を示す図である。図 38 に示されるように、第 20 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 2000 は、レーザ発振器 110 を用いて出力レーザ光を発生させ、レーザ発振器 110 が発生した出力レーザ光を増幅器 110a で増幅させる、いわゆる MOPA (Master Oscillator Power-Amplifier) 構造の光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器 110 は、増幅用光ファイバ 111 を備え、第 1 の光反射器 112 と第 2 の光反射器 113 との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器 110 が発生させた出力レーザ光は、増幅器 110a の増幅用光ファイバ 716 を通過することにより増幅され、出力用光ファイバ 120 および照射ヘッド 121 を介して出力レーザ光 L として加工対象物 W に照射される。

[0250] 図 38 に示されるように、第 20 実施形態に係る光ファイバレーザ装置 2000 は、レーザ発振器 110 および増幅器 110a のいずれにおいても、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置 2000 では、レーザ発振器 110 および増幅器 110a に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置 2000 は、第 1 の光反射器 112 の前段に、レーザ発振器 110 へ励起光を導入するための第 1 の励起光合波器 114 を備え、さらに、第 2 の光反射器 113 と増幅用光ファイバ 716 との間に、増幅器 110a へ励起光を導入するための第 2

の励起光合波器 717 を備えている。

[0251] 第1の励起光合波器 114 および第2の励起光合波器 717 は、第1実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。第1の励起光合波器 114 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b に接続され、第1の励起光合波器 114 の順方向側シグナルポートは、第1の光反射器 112 に接続されている。当該構成により、第1の励起光合波器 114 は、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b が出力する励起光を合波し、レーザ発振器 110 へ励起光を出力する。一方、第2の励起光合波器 717 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 718 a, 718 b に接続され、第2の励起光合波器 717 の逆方向側シグナルポートは、第2の光反射器 113 に接続され、第2の励起光合波器 717 の逆方向側シグナルポートは、増幅用光ファイバ 716 に接続されている。当該構成により、第2の励起光合波器 717 は、励起用レーザダイオード 118 a, 118 b が出力する励起光を合波し、増幅器 110 a へ励起光を出力する。

[0252] 戻り光減衰モジュール 170 は、第1の励起光合波器 114 の逆方向側シグナルポートから延伸しているシグナルポート光ファイバに接続されている。戻り光減衰モジュール 170 の内部構成は、第1実施形態と同様とし得る。戻り光減衰モジュール 170 には、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 が接続されている。また、光ファイバレーザ装置 2000 は、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b, 718 a, 718 b、可視光発光部 180、および、その他制御部位を制御するための制御部 160 を備えている。

[0253] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置 2000 は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール 170 を、第1の励起光合波器 114 の励起光用ポートを介して、第2の光反射器 113 に接続し、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置 2000 は

、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0254] (第21実施形態)

図39は、第21実施形態に係る光ファイバレーザ装置2100の概略構成を示す図である。図39に示されるように、第21実施形態に係る光ファイバレーザ装置2100は、レーザ発振器110を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器110は、増幅用光ファイバ111を備え、第1の光反射器112と第2の光反射器113との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器110が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ120および照射ヘッド121を介して出力レーザ光Lとして加工対象物Wに照射される。

[0255] 図39に示されるように、第21実施形態に係る光ファイバレーザ装置2100は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置2100では、レーザ発振器110に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置2100は、第1の光反射器112の前段に、レーザ発振器110へ励起光を導入するための励起光合波器114を備えている。

[0256] 励起光合波器114は、第1実施形態と同様に、例えばTFBによって構成されている。励起光合波器114の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード115a, 115bに接続され、励起光合波器114の順方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。当該構成により、励起光合波器114は、励起用レーザダイオード115a, 115bが出力する励起光を合波し、レーザ発振器110へ励起光を出力する。また、光ファイバレーザ装置2100は、励起用レーザダイオード115a, 115b、および、その他制御部位を制御するための制御部160を備えている。

[0257] 第21実施形態に係る光ファイバレーザ装置2100では、出力用光ファイバ120の途中に光合分波器2101を設け、光合分波器2101で分岐された光ファイバのうち、逆方向側の光ファイバに戻り光減衰モジュール1

70が接続されて、出力用光ファイバ120とは反対側の端部（戻り光が出射する端部）から減衰した戻り光を出射するように構成されている。なお、光合分波器2101は、例えばT a pカプラと呼ばれるもの、または、波長分割多重光合分波器などを利用することができ、いずれも、光合分波器2101から分岐して戻り光減衰モジュール170に入力される戻り光は減衰され、可視光発光部180から出力された可視光は、目視で視認可能な強度で光ファイバレーザ装置2100から出力されるような光分岐特性を有する。戻り光減衰モジュール170の内部構成は、第1実施形態と同様とし得る。戻り光減衰モジュール170には、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180が接続されている。以上のような構成によっても可視光発光部180が発光する可視光をガイド光として利用することができる。

[0258] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置2100は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール170と、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置2100は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0259] （第22実施形態）

図40は、第22実施形態に係る光ファイバレーザ装置2200の概略構成を示す図である。図40に示されるように、第22実施形態に係る光ファイバレーザ装置2200は、レーザ発振器110を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器110は、増幅用光ファイバ111を備え、第1の光反射器112と第2の光反射器113との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。レーザ発振器110が発生させた出力レーザ光は、出力用光ファイバ120および照射ヘッド121を介して出力レーザ光Lとして加工対象物Wに照射される。

[0260] 図40に示されるように、第22実施形態に係る光ファイバレーザ装置2200は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ装置2200では、レーザ発振器110に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ装置2200は、第1の光反射器112の前段に、レーザ発振器110へ励起光を導入するための励起光合波器114を備えている。

[0261] 励起光合波器114は、第1実施形態と同様に、例えばTFBによって構成されている。励起光合波器114の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード115a, 115bに接続され、励起光合波器114の順方向側シグナルポートは、第1の光反射器112に接続されている。当該構成により、励起光合波器114は、励起用レーザダイオード115a, 115bが出力する励起光を合波し、レーザ発振器110へ励起光を出力する。光ファイバレーザ装置2200は、励起用レーザダイオード115a, 115b、および、その他制御部位を制御するための制御部160を備えている。

[0262] 第22実施形態に係る光ファイバレーザ装置2200では、出力用光ファイバ120の途中に光合分波器2201を設け、光合分波器2201で分岐された光ファイバのうち、順方向側の光ファイバに戻り光減衰モジュール170が接続されている。なお、光合分波器2201は、例えばTapカプラと呼ばれるもの、または、波長分割多重光合分波器などを利用することができる。戻り光減衰モジュール170の内部構成は、第1実施形態と同様とし得る。戻り光減衰モジュール170には、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180が接続されている。

[0263] 以上のような構成によれば、可視光発光部180が発光する可視光を故障解析に利用することができる。すなわち、光ファイバレーザ装置2200における出力レーザ光の光路である、例えば出力用光ファイバ120および増幅用光ファイバ111などに断線などの故障が発生したと考えられる場合に、制御部160は、励起用レーザダイオード115a, 115bの動作を停止した状態で、可視光発光部180を発光させる。可視光発光部180から

発光した可視光は、出力用光ファイバ120および増幅用光ファイバ111などを順次伝搬する。仮にこの光路に断線があった場合には、その断線箇所でも可視光が外部に漏洩するので、断線箇所を目視により特定することができる。

[0264] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置2200は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール170と、戻り光減衰モジュール170を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部180を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置2200は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0265] (第23実施形態)

図41は、第23実施形態に係る光ファイバレーザ装置2300の概略構成を示す図である。図41に示されるように、第23実施形態に係る光ファイバレーザ装置2300は、複数の光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>, ..., 2300<sub>n-1</sub>, 2300<sub>n</sub>を備え、各光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>, ..., 2300<sub>n-1</sub>, 2300<sub>n</sub>が出力する出力レーザ光をコンバイナ2301にて結合し、出力用光ファイバ120および照射ヘッド121を介して出力レーザ光として加工対象物Wに照射される。

[0266] 各光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>, ..., 2300<sub>n-1</sub>, 2300<sub>n</sub>は、それぞれが独立した事実上の光ファイバレーザ装置である。したがって、以下では代表として、光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>の構成のみ説明する。

[0267] 光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>は、レーザ発振器110を用いて出力レーザ光を発生させる光ファイバレーザ型の装置である。レーザ発振器110は、増幅用光ファイバ111を備え、第1の光反射器112と第2の光反射器113との間でレーザ共振を発生させるよう構成されている。

[0268] 図41に示されるように、光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>は、前方励起型の構成を採用している。すなわち、光ファイバレーザ部2300<sub>1</sub>では、レーザ

発振器 110 に対して、前方向に励起光が導入されている。そのために、光ファイバレーザ部 2300<sub>1</sub>は、第1の光反射器 112 の前段に、レーザ発振器 110 へ励起光を導入するための励起光合波器 114 を備えている。

[0269] 励起光合波器 114 は、第1実施形態と同様に、例えば TFB によって構成されている。励起光合波器 114 の励起光用ポートは、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b に接続され、励起光合波器 114 の順方向側シグナルポートは、第1の光反射器 112 に接続されている。当該構成により、励起光合波器 114 は、励起用レーザダイオード 115 a, 115 b が出力する励起光を合波し、レーザ発振器 110 へ励起光を出力する。

[0270] 第23実施形態に係る光ファイバレーザ装置 2300 では、戻り光減衰モジュール 170 は、コンバイナ 2301 のポートのうち光ファイバレーザ部 1100<sub>1</sub>, ..., 1100<sub>n-1</sub>, 1100<sub>n</sub> が接続されていないポートに接続されて、出力用光ファイバ 120 とは反対側の端部（戻り光が出射する端部）から減衰した戻り光を出射するように構成されている。さらに、戻り光減衰モジュール 170 には、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 が接続されている。以上のような構成によっても可視光発光部 180 が発光する可視光をガイド光として利用することができる。

[0271] 以上に説明したように、光ファイバレーザ装置 2300 は、戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰モジュール 170 と、戻り光減衰モジュール 170 を介して順方向に可視光を導入する可視光発光部 180 を備えている。したがって、上記説明した光ファイバレーザ装置 2300 は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっており、高耐久性および高出力性を実現している。

[0272] 以上、本発明を実施形態に基づいて説明したが、上記説明した実施形態により本発明が限定されるものではない。上記各実施形態の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、上記実施形態に基づ

いて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例及び運用技術等は全て本発明に含まれる。

[0273] 例えば、上記説明した実施形態では、前方励起型のレーザ発振器および増幅器の構成例を基調として実施形態を説明したが、後方励起型のレーザ発振器および増幅器、および、前方と後方との双方向から励起する双方向励起型のレーザ発振器および増幅器であっても、本発明を適切に実施することができる。また、上記説明した実施形態では、増幅器を備えた構成の実施形態を1つのみ説明したが、各実施形態において増幅器を追加する構成とすることもできる。

[0274] また、上記説明した実施形態では、各実施形態につき1か所に戻り光減衰モジュールを備えているが、1つの光ファイバレーザ装置に複数の戻り光減衰モジュールを備えてもよいことは言うまでもない。1つのポートに複数の戻り光減衰モジュールを連装する構成も本発明の範疇に含まれる。さらに、1つの戻り光減衰モジュールに接続する構成部品も一つに限らず、光合分波器によって光ファイバを分岐して、例えば可視光発光部および検出器などを複数接続することも可能である。

[0275] また、可視光発光部が発光する可視光は、赤色（波長660nm）に限定されず、より視認性が高い緑色の可視光を用いるようにしてもよい。可視光発光部の内部に波長依存性素子（フィルタやレンズ等）を備え、戻り光の波長を制限する構成としてもよい。さらに、可視光発光部に空間結合タイプのシャッターを導入し、出力レーザ光の発振時には、シャッターを閉じる構成としてもよい。

### 産業上の利用可能性

[0276] 以上のように、本発明に係る光ファイバレーザ装置は、戻り光に対する耐久性が高い構成となっているので、高耐久性および高出力性を実現する光ファイバレーザ装置として有用である。

### 符号の説明

[0277] 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 9

00, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300 光ファイバレーザ装置

110 レーザ発振器

110a 増幅器

111, 716, 816, 916 増幅用光ファイバ

112 第1の光反射器

113 第2の光反射器

114, 214, 314a, 314b, 414, 514, 614a, 614b, 717, 817, 917a, 917b 励起光合波器

115a, 115b, 215a, 215b, 315a, 315b, 315c, 315d, 415a, 415b, 515a, 515b, 615a, 615b, 615c, 615d, 718a, 718b, 818a, 818b, 918a, 918b, 918c, 915d 励起用レーザダイオード

114a シグナルポート光ファイバ

120 出力用光ファイバ

121 照射ヘッド

130, 131, 134, 137, 1030, 1130, 1230 終端部

132, 132a, 1031, 1032, 1232 波長分割多重光合分波器

133, 133a, 1033, 1233, 180 可視光発光部

135, 135a, 1131, 1132, 1231, 1234, 1706, 2101, 2201 光合分波器

136, 136a, 1133, 1235 光検出器

140, 140a, 140b, 140c, 140d, 140e, 170 戻り光減衰モジュール

141 熱変換手段

- 1 4 1 a 軸ずれ融着
- 1 4 1 b 損失光ファイバ
- 1 4 1 c 曲げ部
- 1 4 1 d 封止部材
- 1 4 1 e 照射面
- 1 4 2, 1 4 2 a, 1 4 2 b, 1 4 2 c, 1 4 2 d, 1 4 2 e 熱伝導体
- 1 4 3 a, 1 4 3 b, 1 4 3 c 封止部
- 1 4 4 a, 1 4 4 b, 1 4 4 c, 1 4 4 d, 1 4 4 e 光ファイバ
- 1 4 5 a, 1 4 5 b, 1 4 5 d, 1 4 5 e コア
- 1 4 6 a, 1 4 6 b, 1 4 6 d, 1 4 6 e クラッド
- 1 4 7 a, 1 4 7 b, 1 4 7 d, 1 4 7 e, 1 9 4 被覆
- 1 5 0 温度監視手段
- 1 5 1, 1 5 1 a, 1 5 1 b, 1 5 1 c, 1 5 1 d, 1 5 1 e 第1の温度測定点
- 1 5 2 第2の温度測定点
- 1 6 0 制御部
- 1 9 0 終端処理部
- 1 9 1 封止部材
- 1 9 2 コア
- 1 9 3 クラッド
- 1 7 1 受け用光ファイバ
- 1 7 2 減衰用光ファイバ
- 1 7 3 金属プレート
- 1 7 4 a 第1の融着接続点
- 1 7 4 b 第2の融着接続点
- 1 7 4 c 第3の融着接続点
- 1 8 1 ピグテール光ファイバ
- 2 3 0 0<sub>1</sub>, . . . , 2 3 0 0<sub>n-1</sub>, 2 3 0 0<sub>n</sub> 光ファイバレーザ部

2301 コンバイナ

## 請求の範囲

- [請求項1] レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ装置において、  
前記レーザ光を外部へ射出する出力用光ファイバと、  
少なくとも前記出力用光ファイバを前記レーザ光とは逆方向に伝搬する戻り光を減衰処理する戻り光減衰部と、  
前記戻り光減衰部に設けられ、前記戻り光を熱に変換する熱変換手段と、  
前記熱変換手段の発熱に起因する前記戻り光減衰部の温度上昇を測定する温度監視手段と、  
前記温度監視手段が測定した温度が所定の閾値以上に達した場合に、前記レーザ光の出力を低下または停止する制御部と、  
を備えることを特徴とする光ファイバレーザ装置。
- [請求項2] 前記温度監視手段は、前記熱変換手段が発する熱を熱伝導体を介して測定する第1の温度測定点と、前記光ファイバレーザ装置における温度上の基準とみなし得る第2の温度測定点と、の温度差を測定することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項3] 前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部における光ファイバを軸ずれ融着することによって構成されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項4] 前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた高損失光ファイバで構成されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項5] 前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた光ファイバを意図的に曲げることによって構成されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項6] 前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた光ファイバの末端を封止する樹脂で構成されていることを特徴とする請求項1または

請求項 2 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項7] 前記熱変換手段は、前記戻り光減衰部に設けられた光ファイバの末端から射出された前記戻り光が照射される熱伝導体の照射面で構成されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項8] 前記戻り光減衰部は、前記レーザ光の伝搬方向を前方向として、前記レーザ発振器の前段に配置されていることを特徴とする請求項 1 ～ 7 の何れか 1 項に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項9] 前記戻り光減衰部は、出力側シグナルポートと入力側シグナルポートと複数の励起光用ポートとを有し、前記励起光用ポートから入力された励起光を前記レーザ発振器に接続されている前記出力側シグナルポートから出力するよう構成した励起光合波器の前記入力側シグナルポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする請求項 8 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項10] 前記戻り光減衰部は、出力側シグナルポートと入力側シグナルポートと複数の励起光用ポートとを有し、前記励起光用ポートから入力された励起光を前記レーザ発振器に接続されている前記出力側シグナルポートから出力するよう構成した励起光合波器の前記励起光用ポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする請求項 8 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項11] 前記戻り光減衰部は、前記励起光を出力する光源が接続されていない前記励起光用ポートのうち、前記戻り光の強度が最大となるポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする請求項 10 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項12] 前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器を構成する 2 つの光反射器のうち前記レーザ光に対する反射率が高い方の光反射器に接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする請求項 8 に記載の光ファイバレーザ装置。

- [請求項13] 前記レーザ発振器と前記出力用光ファイバとの間に設けられ、増幅媒質に増幅用光ファイバを用いた光増幅器と、
- 出力側シグナルポートと入力側シグナルポートと複数の励起光用ポートとを有し、前記励起光用ポートから入力された励起光を前記光増幅器に接続されている前記出力側シグナルポートから出力し、前記光増幅器用の光ファイバに導入するよう構成した第2の励起光合波器と、
- をさらに備え、
- 前記戻り光減衰部は、前記第2の励起光合波器の励起光用ポートに接続された光ファイバの終端部に設けられていることを特徴とする請求項1～7の何れか1項に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項14] レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザ光を発生させる光ファイバレーザ装置において、
- 前記レーザ光を順方向に外部へ導出する出力用光ファイバと、
- 前記出力用光ファイバを前記レーザ光とは逆方向に伝搬する赤外光である戻り光に対する曲げ損失が可視光に対する曲げ損失よりも大きい減衰用光ファイバを複数周回曲げて構成した戻り光減衰部と、
- を備えることを特徴とする光ファイバレーザ装置。
- [請求項15] 前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器の高反射率の反射器よりも前段側の光ファイバに接続されていることを特徴とする請求項14に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項16] 前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器のレーザ発振に用いる励起光を前記増幅用光ファイバに導入するための励起光合波器のシグナルポート光ファイバを介して、前記反射器よりも逆方向側の光ファイバに接続されていることを特徴とする請求項15に記載の光ファイバレーザ装置。
- [請求項17] 前記戻り光減衰部は、前記レーザ発振器のレーザ発振に用いる励起光を前記増幅用光ファイバに導入するための励起光合波器の励起光ポ

ートを介して、前記反射器よりも逆方向側の光ファイバに接続されていることを特徴とする請求項 15 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項18] 前記戻り光減衰部は、前記出力用光ファイバの途中に設けられた光合分波器から分岐された光ファイバに接続されていることを特徴とする請求項 14 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項19] 前記戻り光減衰部を介して前記可視光を前記出力用光ファイバへ導入する可視光発光部をさらに備えることを特徴とする請求項 14 ～ 18 の何れか 1 項に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項20] 前記減衰用光ファイバのベンドエッジ波長は、前記戻り光の波長よりも短いことを特徴とする請求項 19 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項21] 前記減衰用光ファイバは、前記可視光を実質的にシングルモードで伝搬するよう構成されていることを特徴とする請求項 19 または請求項 20 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項22] 前記減衰用光ファイバは、赤色光を実質的にシングルモードで伝搬するよう構成されていることを特徴とする請求項 21 に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項23] 前記戻り光減衰部の終端は、樹脂で封止されていることを特徴とする請求項 14 ～ 18 の何れか 1 項に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項24] 前記戻り光減衰部の終端に、光電変換を行う光検出器が接続されていることを特徴とする請求項 14 ～ 18 の何れか 1 項に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項25] レーザ発振器における増幅媒質に増幅用光ファイバを用いてレーザー光を発生させる光ファイバレーザ装置において、

前記レーザー光を順方向に外部へ導出する出力用光ファイバと、

前記出力用光ファイバのコアを逆方向に伝搬する、赤外光からなる戻り光の光強度を減衰させて、前記出力用光ファイバとは反対側の端部から減衰した戻り光を出射する戻り光減衰部を備え、

前記戻り光減衰部は、前記戻り光の伝搬方向において連続的に該戻り光に損失を与える媒質からなる戻り光伝搬損失部と、

該損失によって生じた光を熱に変換する熱変換部を備え、

前記戻り光の大部分が前記戻り光伝搬損失部において減衰し熱変換され、

減衰後に残留した微小強度の光のみが前記戻り光伝搬損失部の端部から出力されることを特徴とする光ファイバレーザ装置。

[請求項26] 前記戻り光伝搬損失部は、前記光ファイバレーザ装置の発振器を構成する光ファイバのコアに接続されるコアを有する光ファイバであって、

該コアにおいて前記戻り光の大部分が減衰されることを特徴とする請求項25に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項27] 前記戻り光伝搬損失部を構成する光ファイバのコアは、  
前記出力用光ファイバから出力される赤外レーザ光の波長における損失が可視波長域における損失よりも大きいことを特徴とする請求項26に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項28] 前記戻り光伝搬損失部を構成する光ファイバのコアは、前記可視波長域においてシングルモード伝搬特性を有することを特徴とする請求項27に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項29] 前記戻り光減衰部を介して前記可視光を前記出力用光ファイバへ導入する可視光発光部をさらに備えることを特徴とする請求項25に記載の光ファイバレーザ装置。

[請求項30] 前記戻り光減衰部の終端に、光電変換を行う光検出器が接続されていることを特徴とする請求項25に記載の光ファイバレーザ装置。

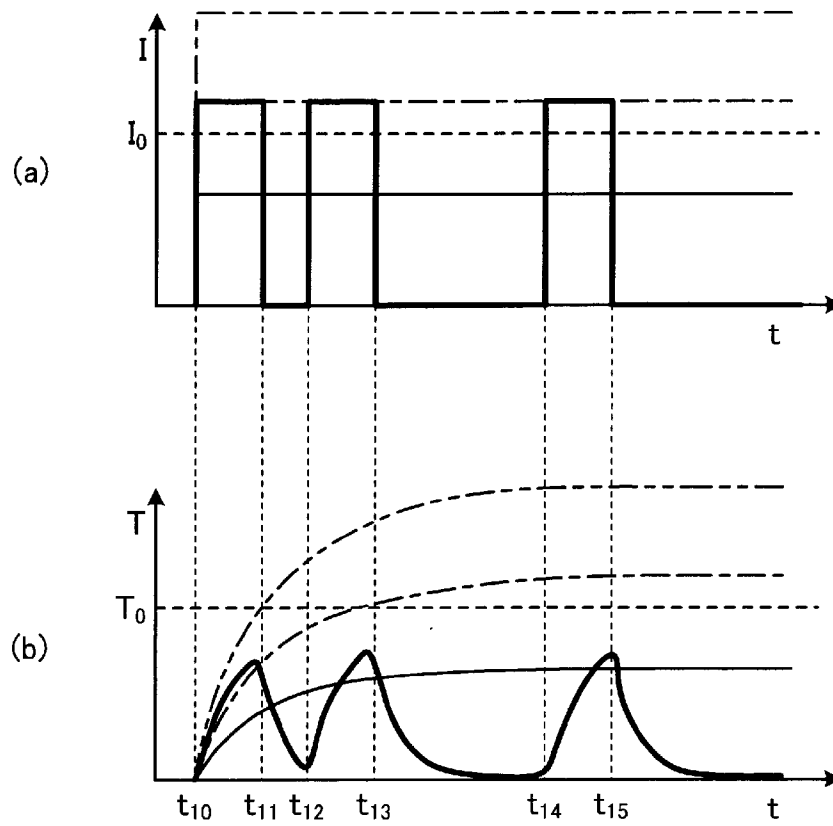
[illegible]

Figure 1 consists of two vertically aligned graphs sharing a common time axis  $t$ .

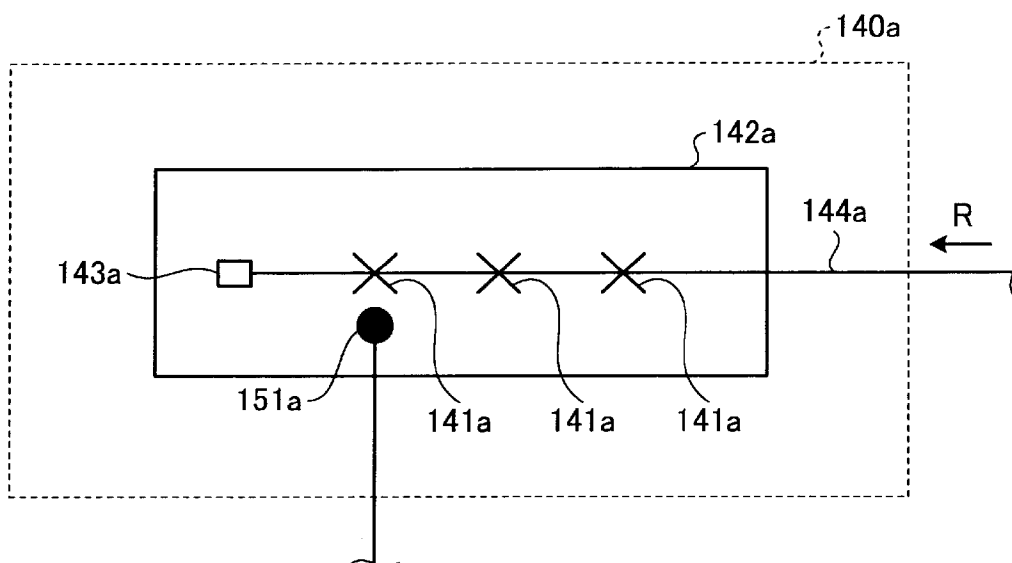
(a) The top graph plots Current  $I$  versus time  $t$ . The current is zero until  $t_0$ , where it jumps to a constant value  $I_0$ . It remains at  $I_0$  until  $t_1$ , where it drops to zero. It remains at zero until  $t_2$ , where it jumps back to  $I_0$  and remains constant until  $t_3$ . Vertical dashed lines mark the times  $t_0, t_1, t_2, t_3$ . Horizontal dashed lines are drawn at  $I_0$  and a higher level.

(b) The bottom graph plots Temperature  $T$  versus time  $t$ . The temperature starts at  $T_0$  at  $t_0$ . When the current is applied at  $t_0$ , the temperature rises. At  $t_1$ , when the current drops to zero, the temperature begins to decrease. At  $t_2$ , when the current is reapplied, the temperature begins to rise again. At  $t_3$ , the current is removed, and the temperature begins to decrease. The graph shows three curves: a solid line representing the temperature response, and two dashed lines representing the temperature response for different thermal time constants. The solid line shows a peak at  $t_1$  and a minimum at  $t_2$ . Vertical dashed lines mark the times  $t_0, t_1, t_2, t_3$ . Horizontal dashed lines are drawn at  $T_0$  and two higher levels.

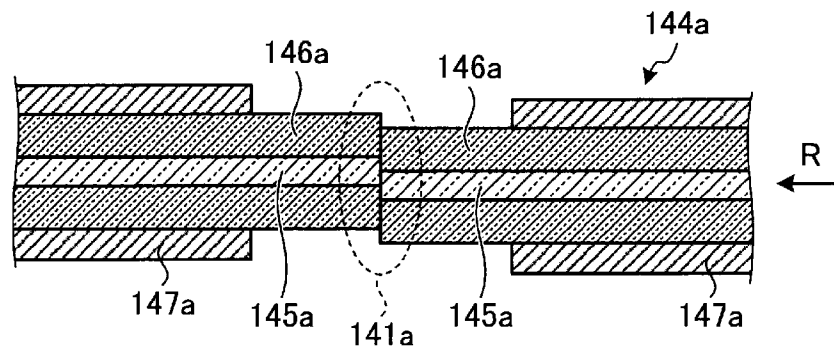
[図3]



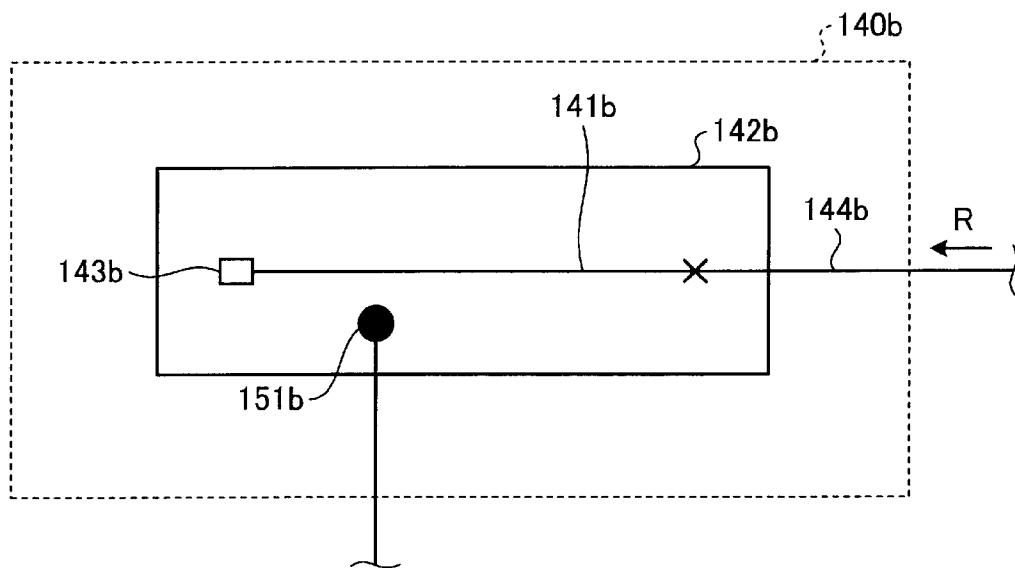
[図4]



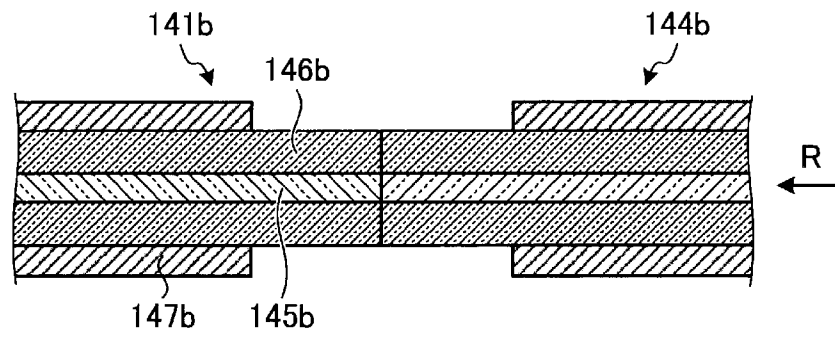
[図5]



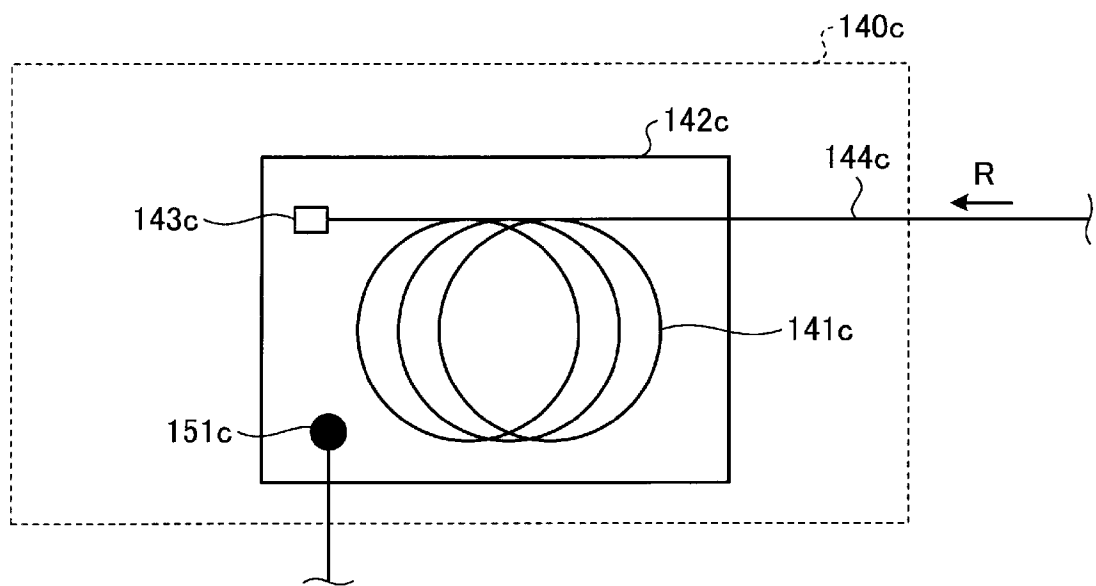
[図6]



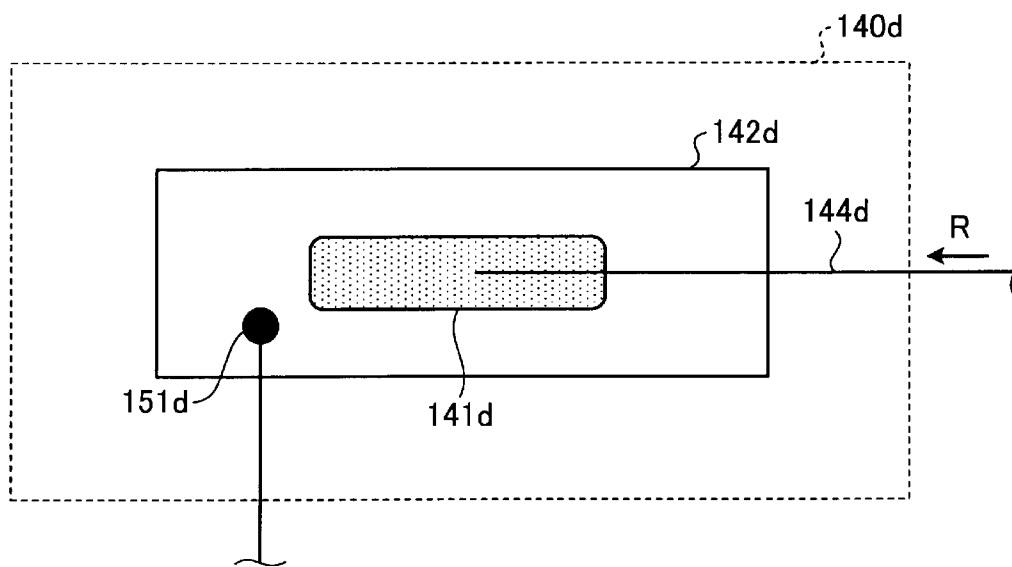
[図7]



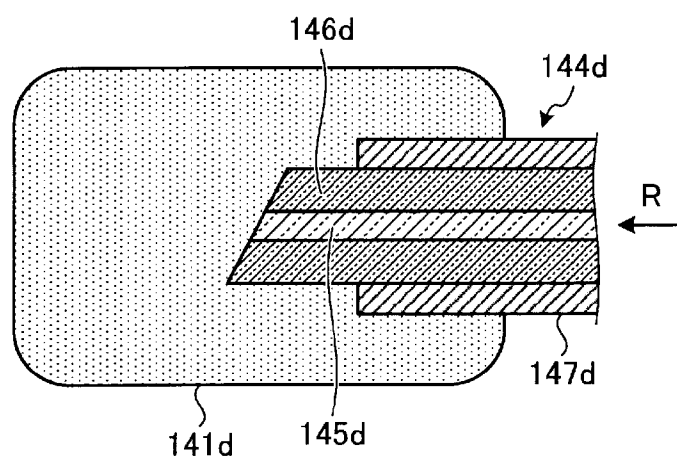
[図8]



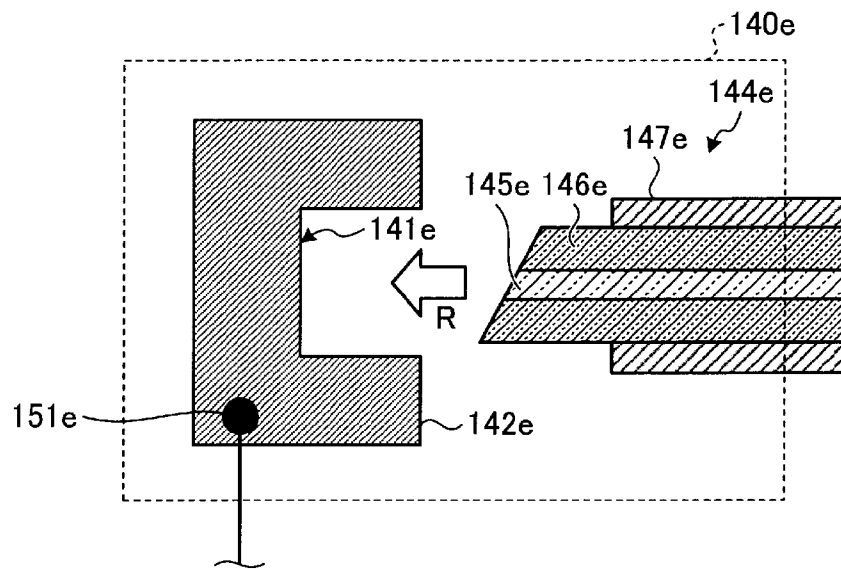
[図9]



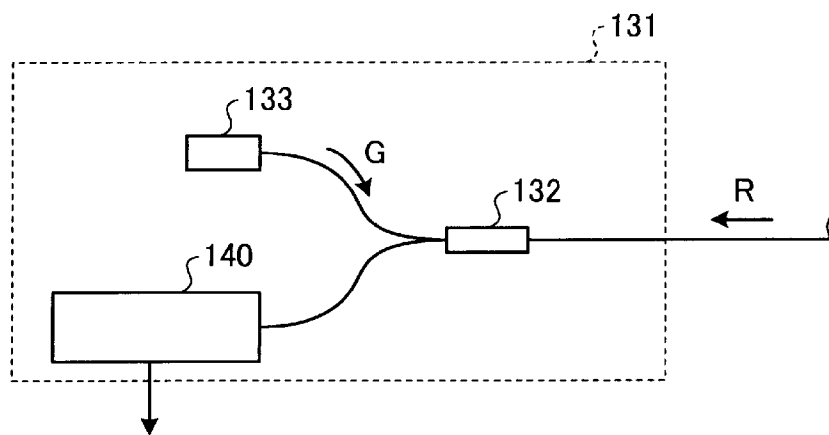
[図10]



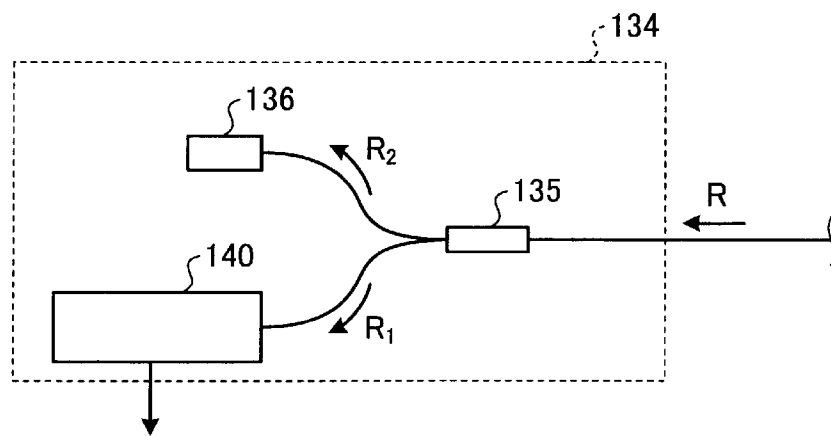
[図11]



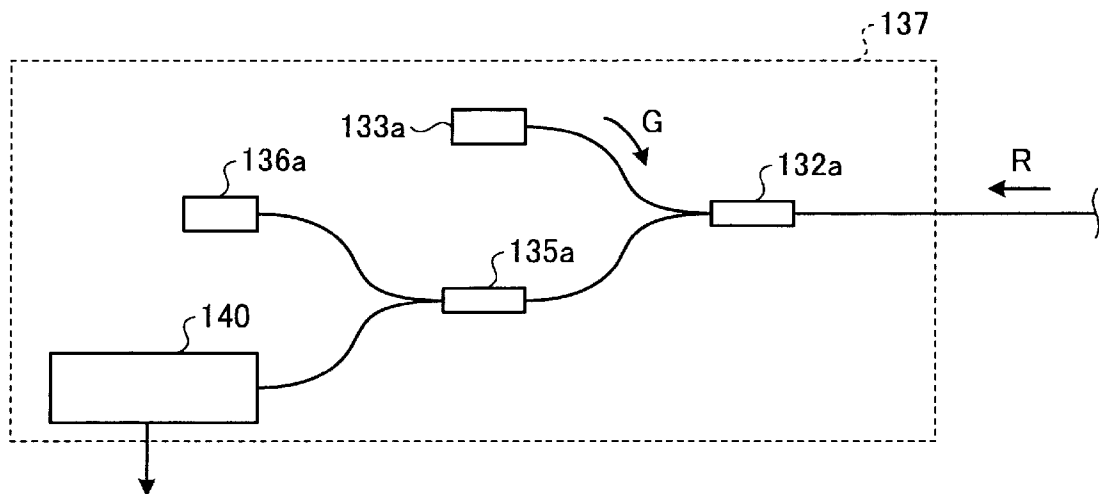
[図12]



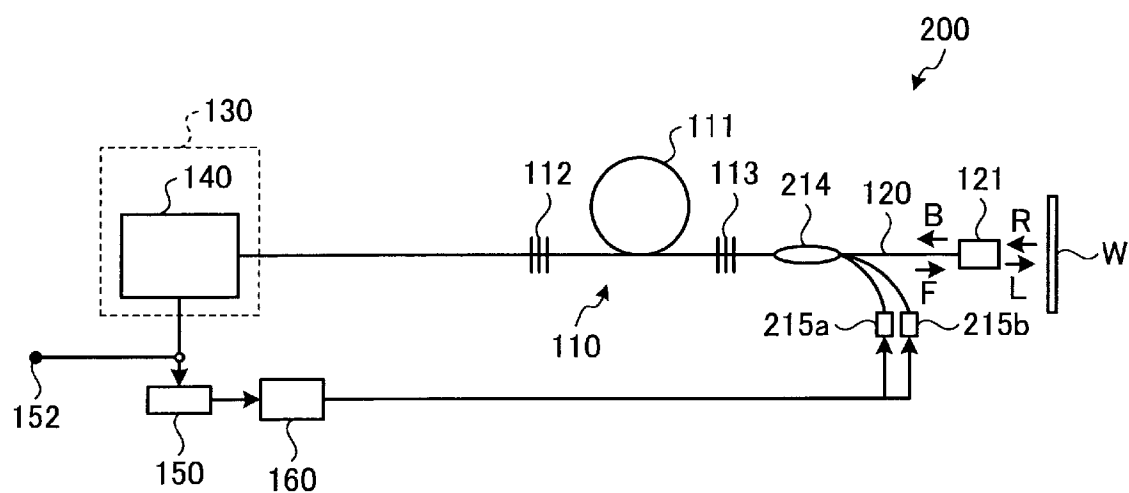
[図13]



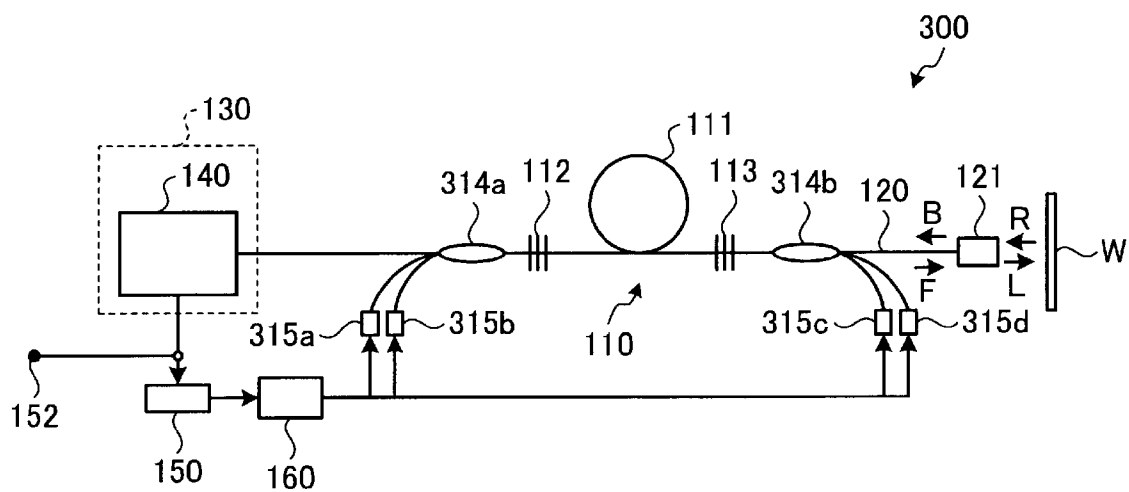
[図14]



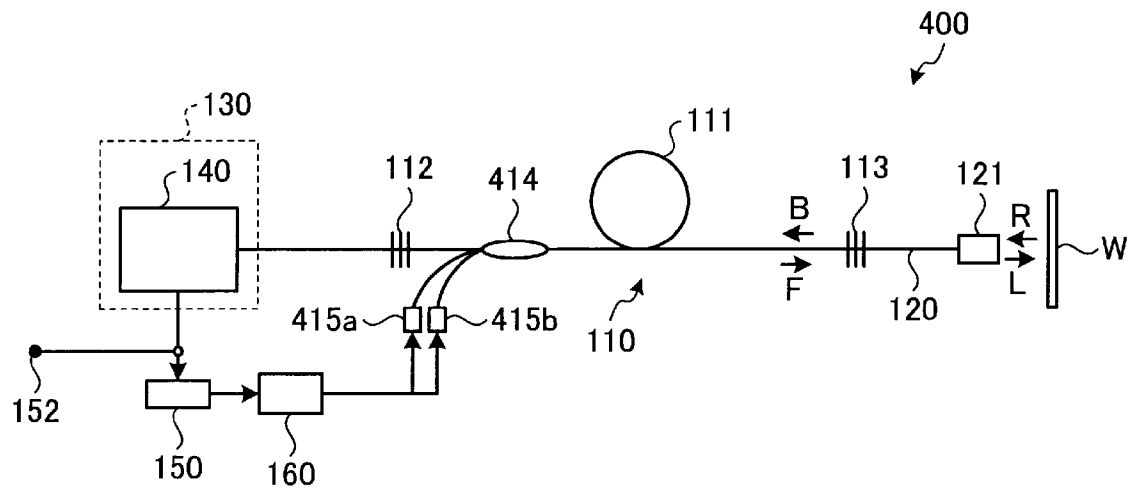
[図15]



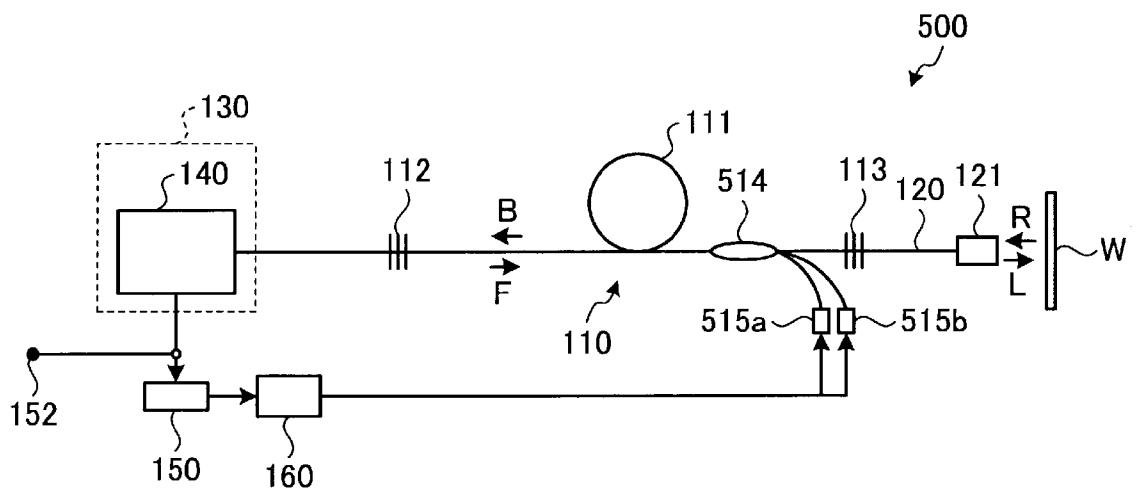
[図16]



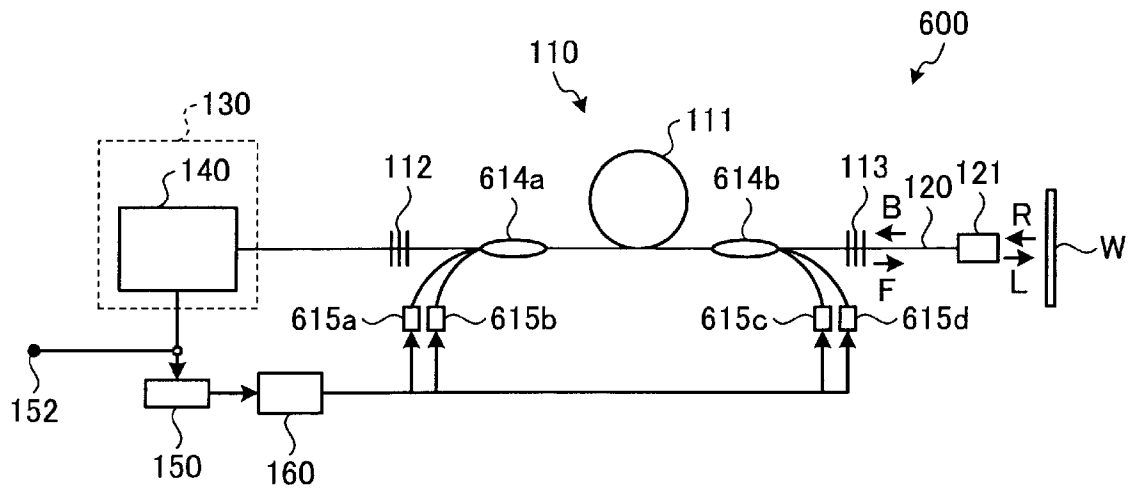
[図17]



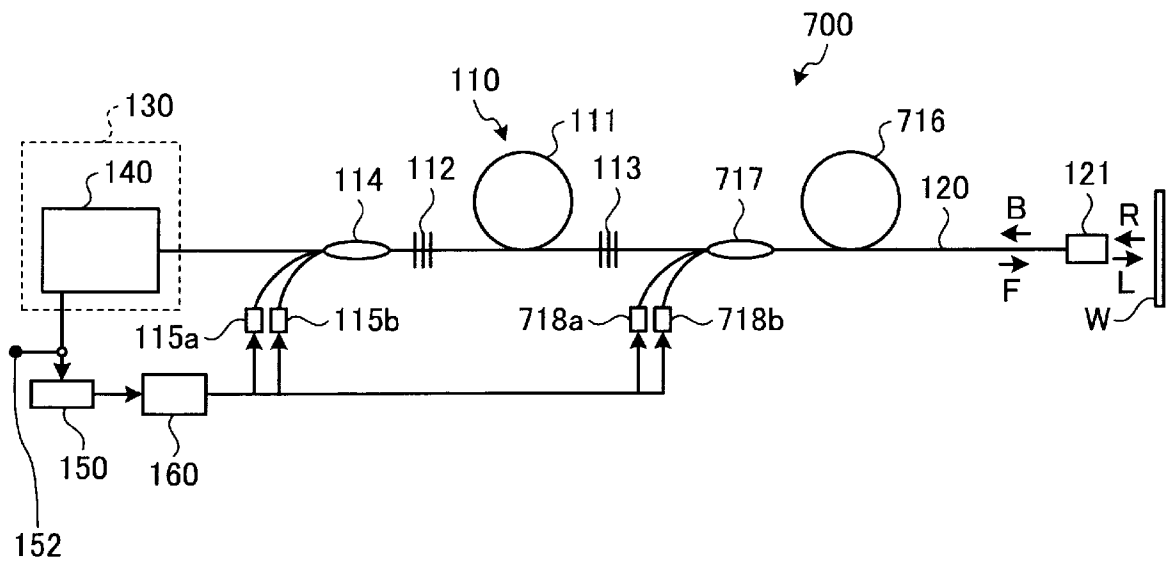
[図18]



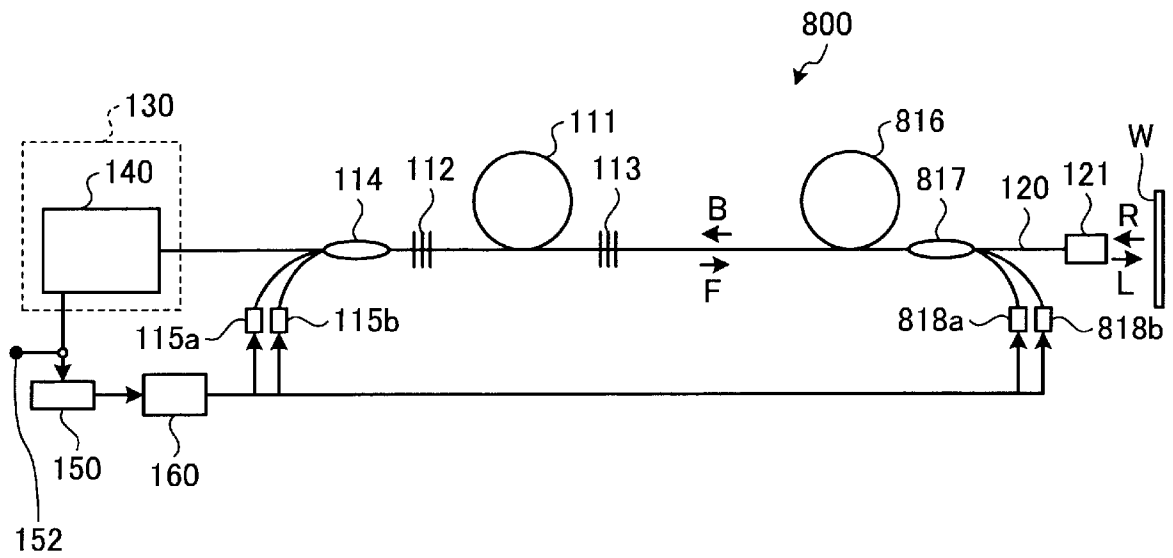
[図19]



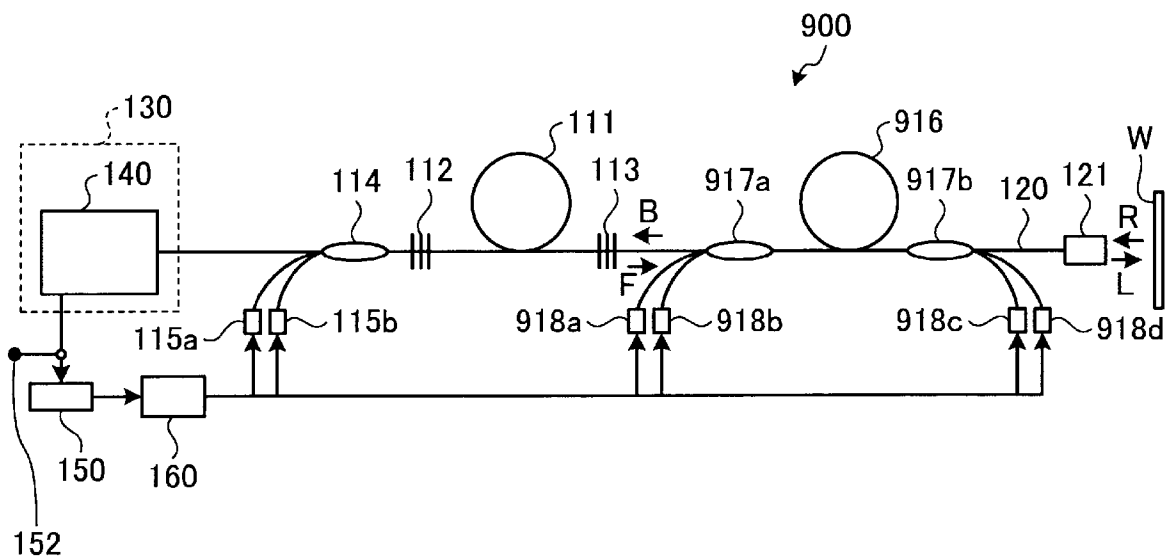
[図20]



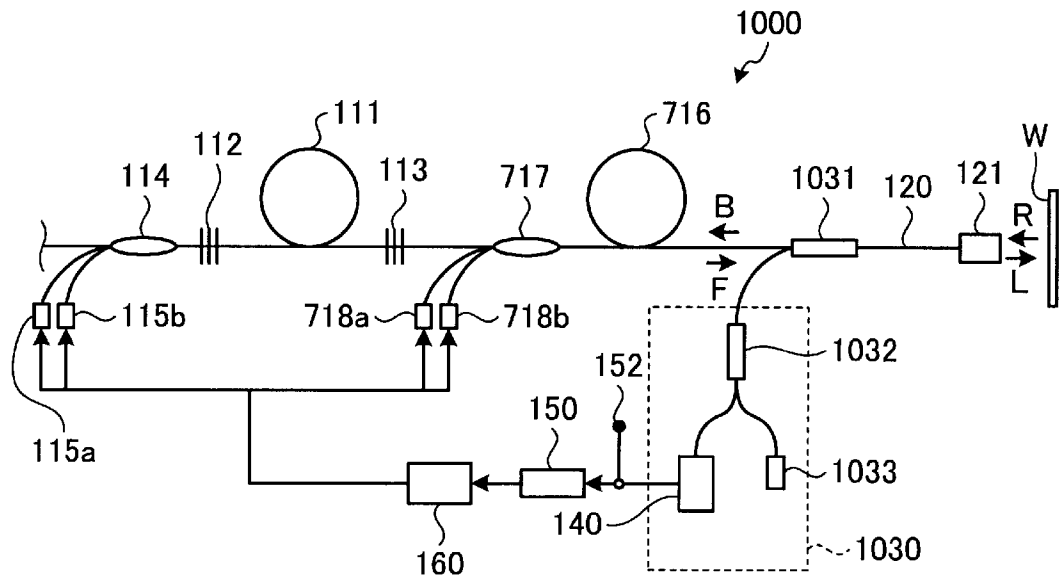
[図21]



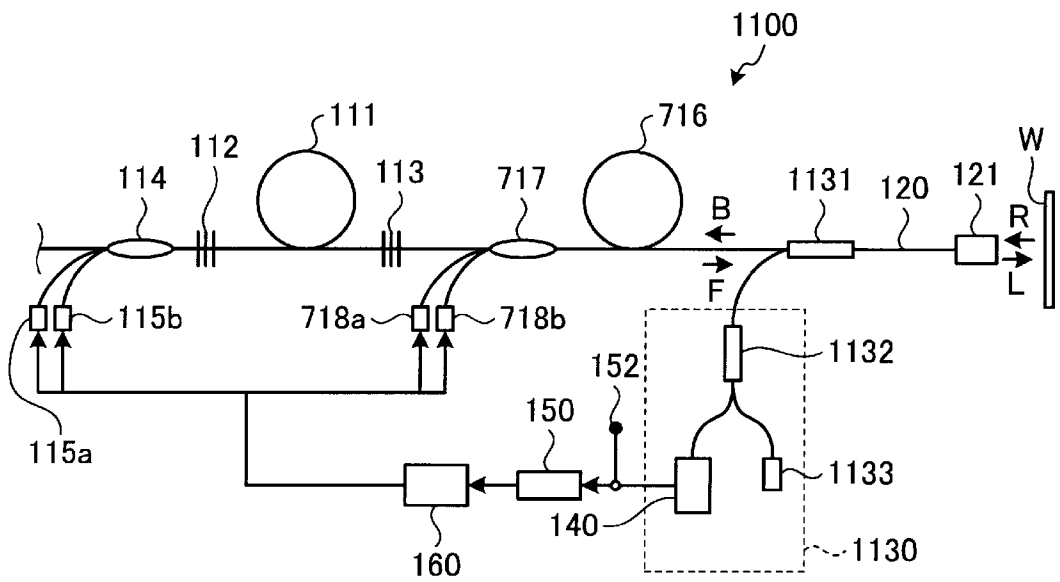
[図22]



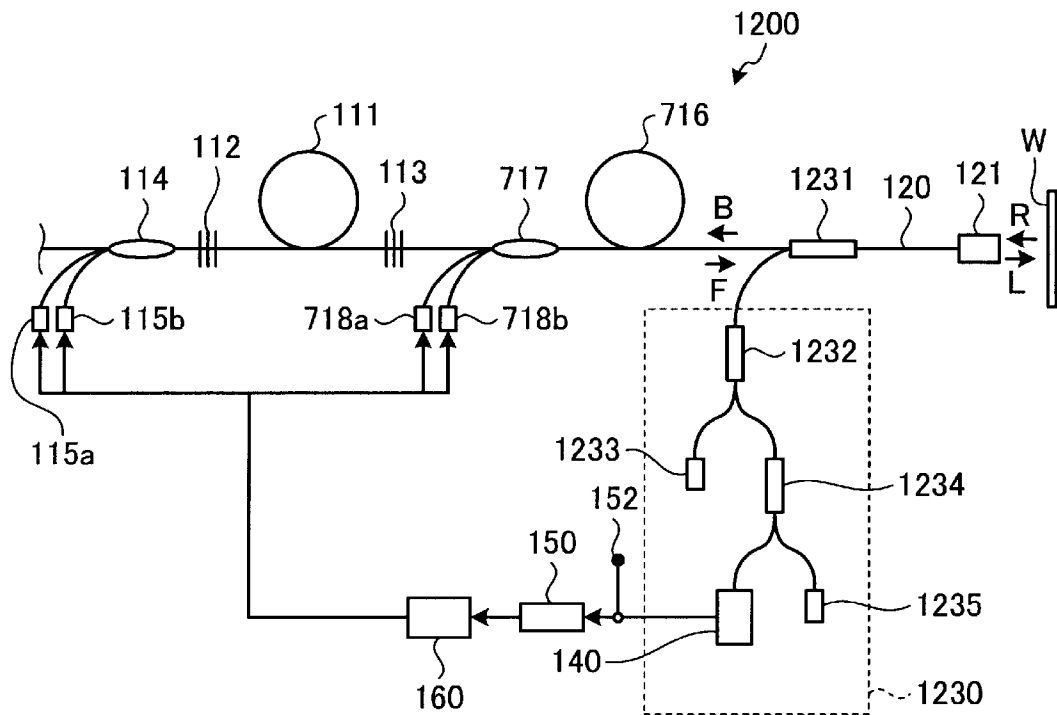
[図23]



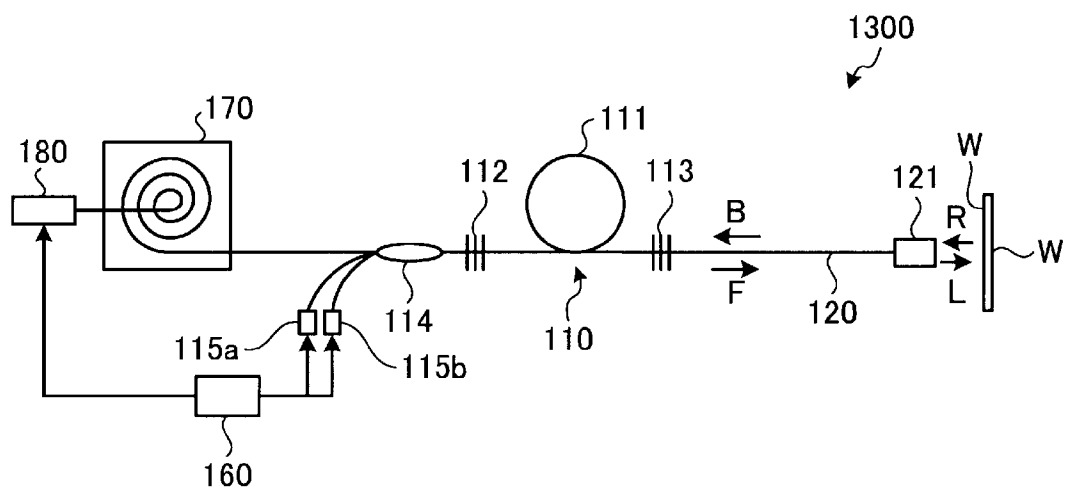
[図24]

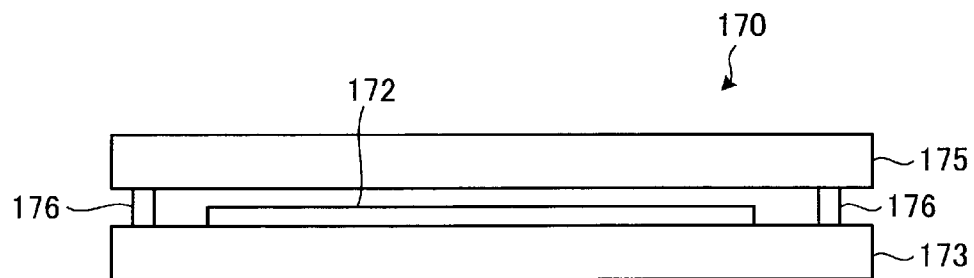
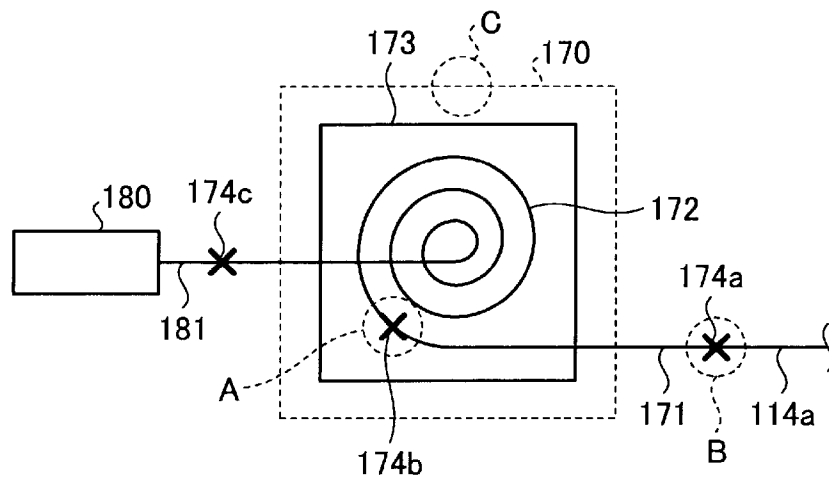


[図25]

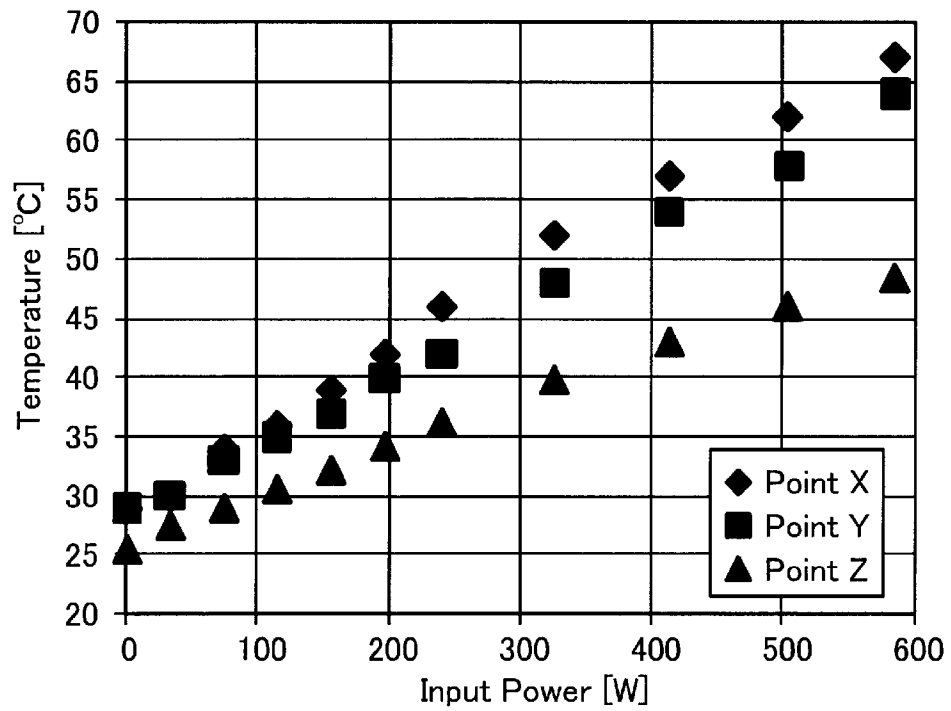


[図26]

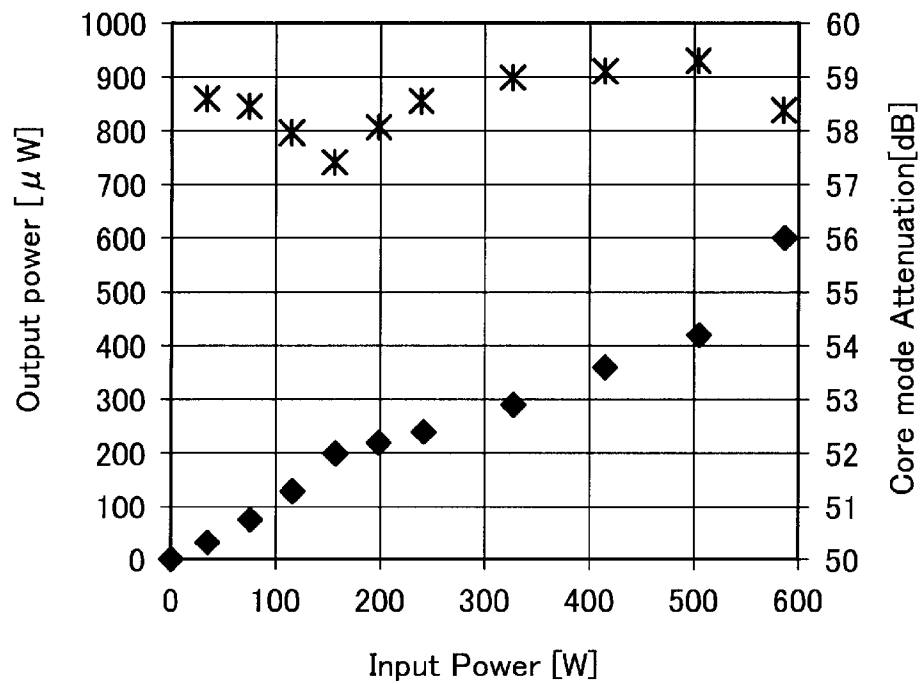




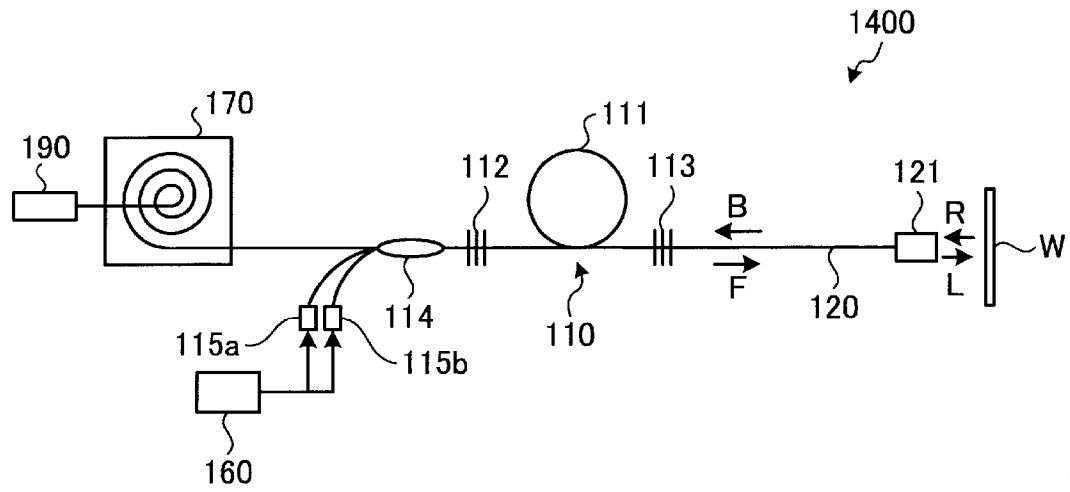
[図29]



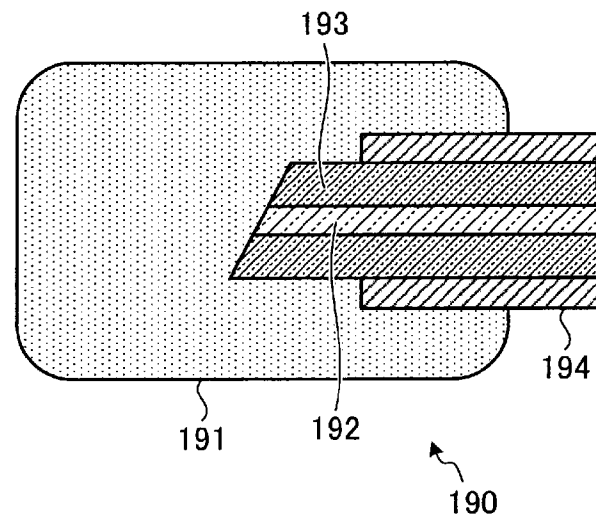
[図30]



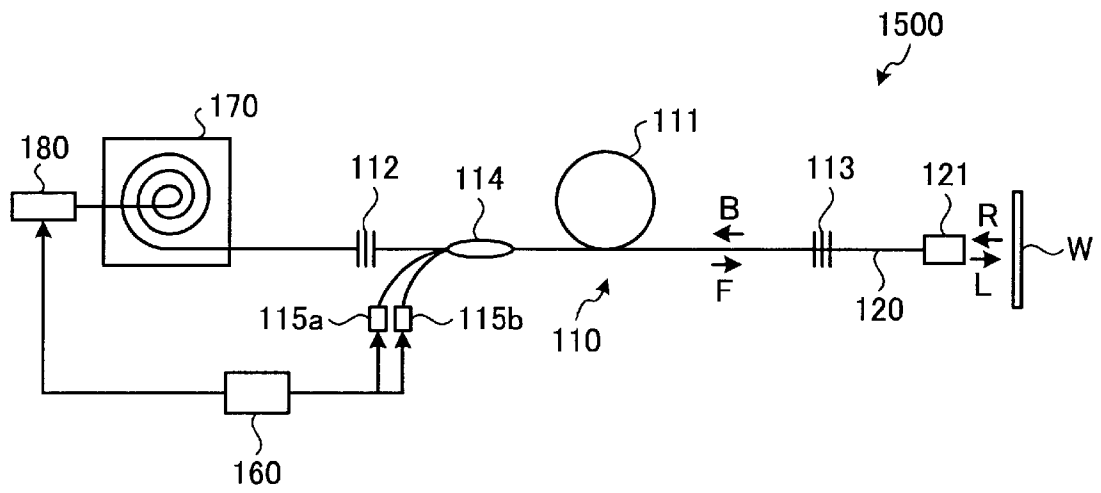
[図31]



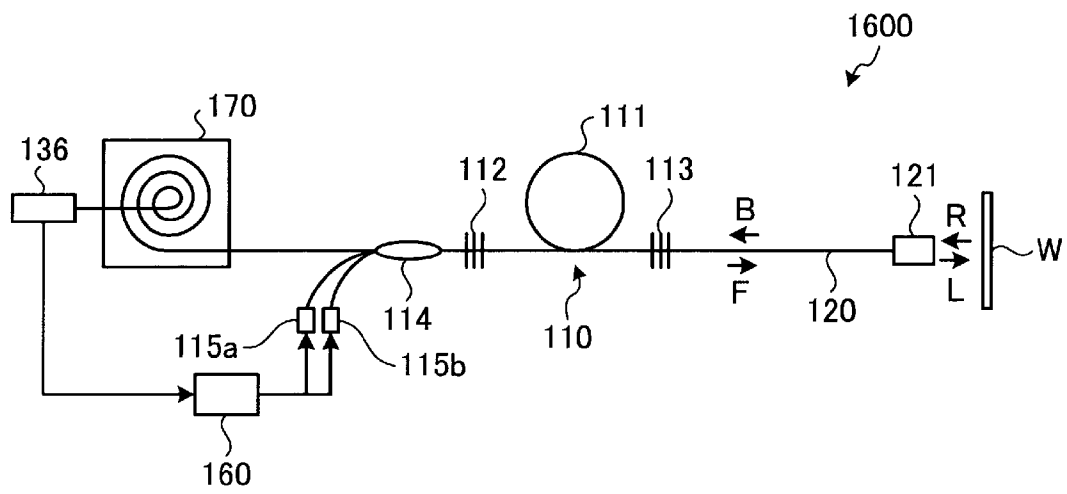
[図32]



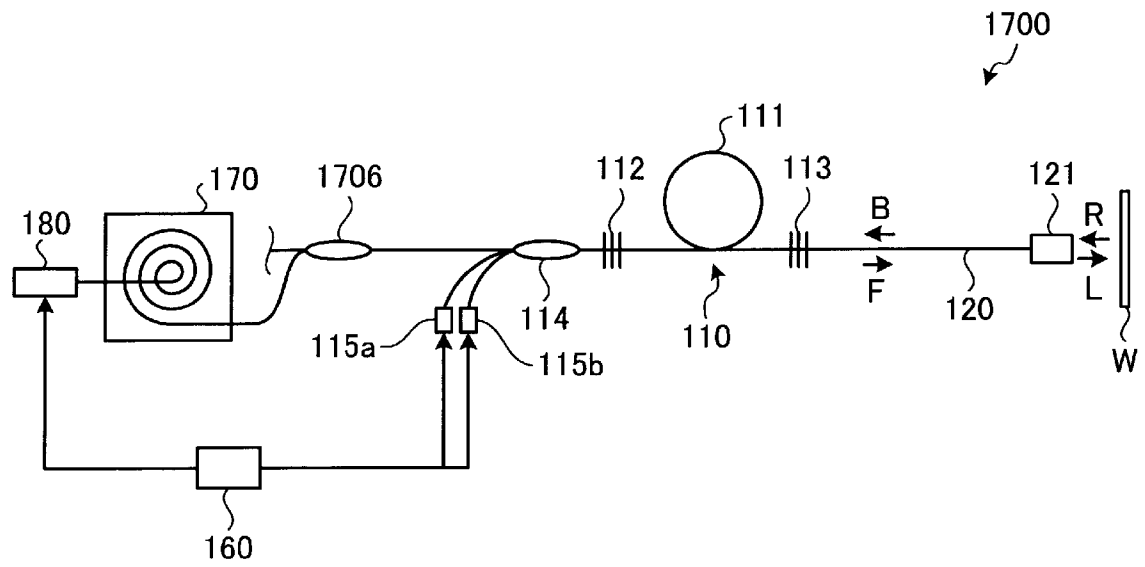
[図33]



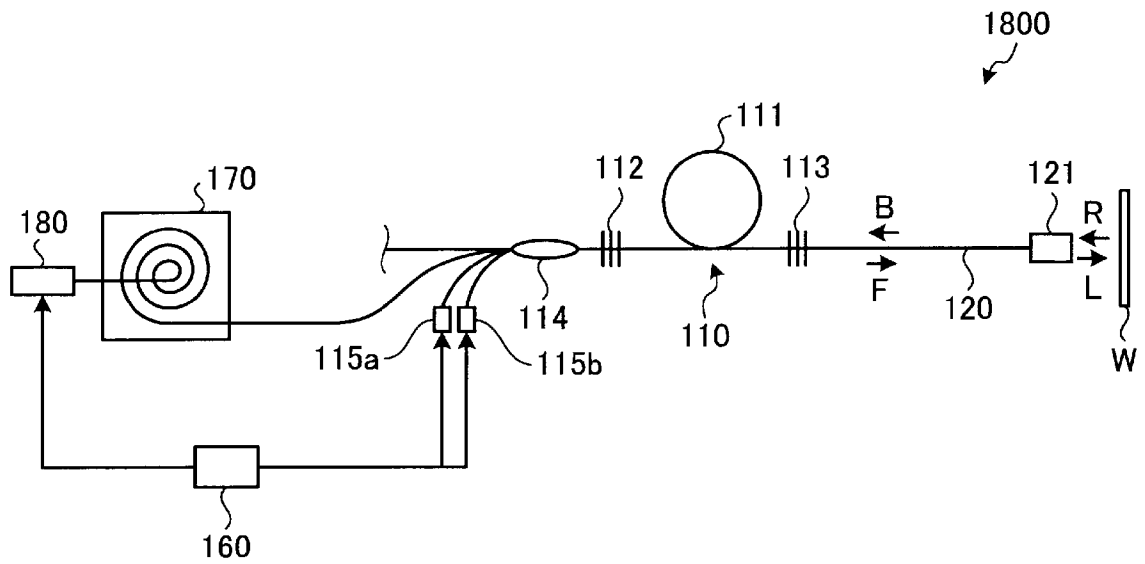
[図34]

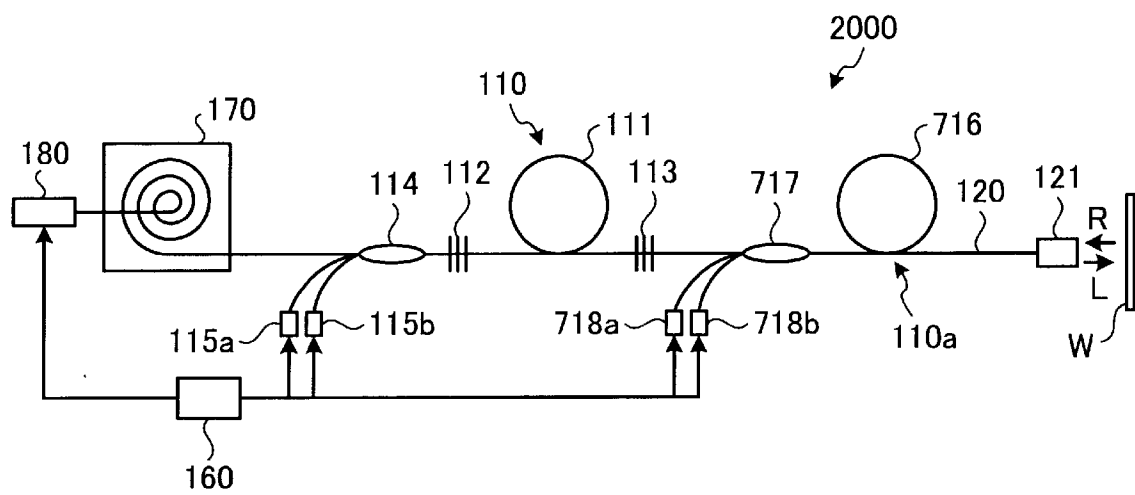
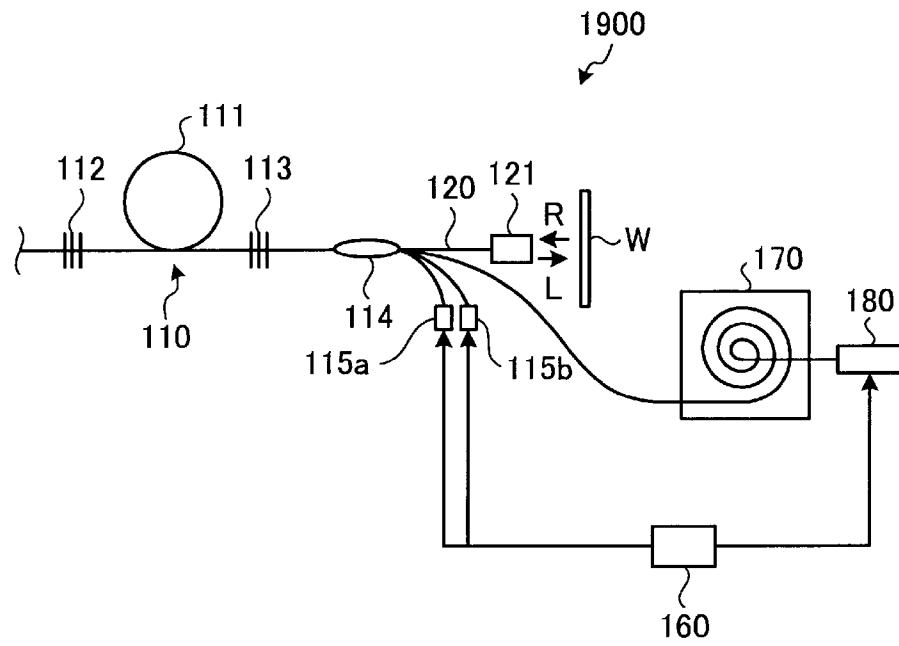


[図35]

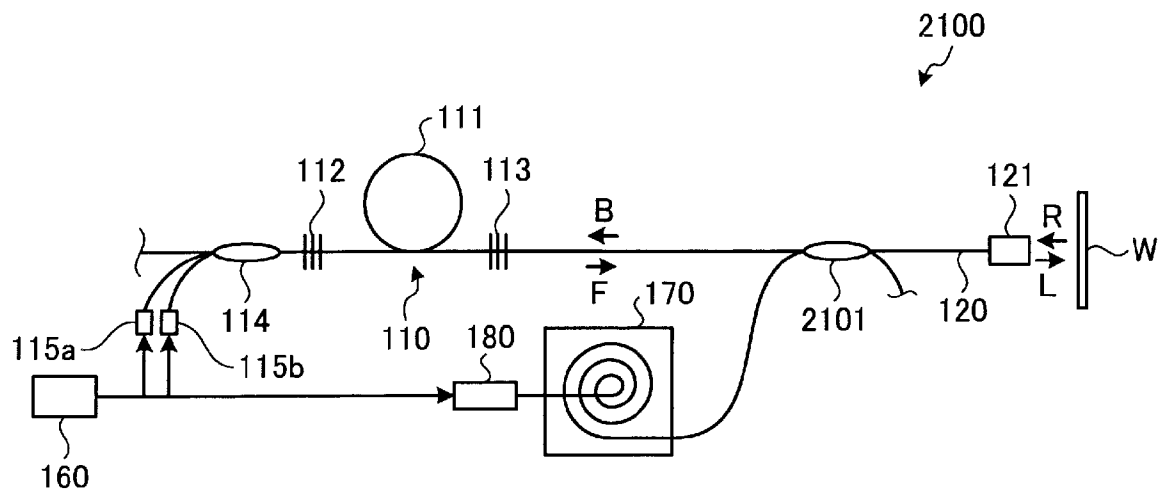


[図36]

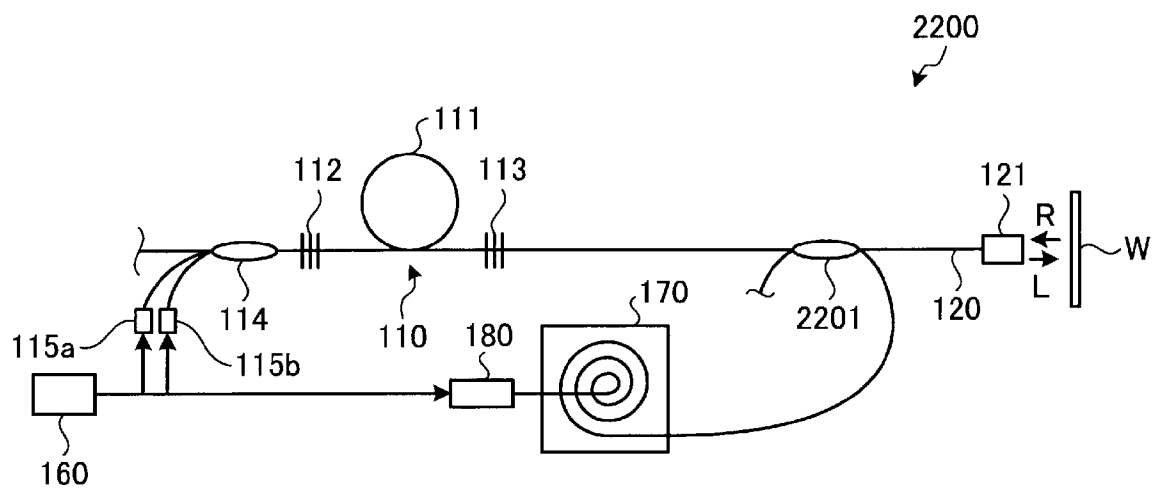




[図39]



[図40]





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/069342

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/067(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, G02B6/26(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-3/30, G02B6/00-6/54

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 | 1996-2015 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2015 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2015 |

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. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | WO 2014/014068 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.),<br>23 January 2014 (23.01.2014),<br>entire text; all drawings<br>& US 2015/0214692 A1                                   | 1-30                  |
| Y         | JP 53-100879 A (Sadao NAKAJIMA),<br>02 September 1978 (02.09.1978),<br>page 2, upper right column, line 6 to page 3,<br>upper left column, line 17; fig. 1<br>(Family: none) | 1-3, 5-13             |
| Y         | JP 2000-131139 A (Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.),<br>12 May 2000 (12.05.2000),<br>paragraphs [0010] to [0024]; fig. 1 to 4<br>(Family: none)                         | 4-6, 8-13             |

☒ 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  
17 September 2015 (17.09.15)

Date of mailing of the international search report  
06 October 2015 (06.10.15)

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/JP2015/069342

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                             | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | WO 2012/099116 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.),<br>26 July 2012 (26.07.2012),<br>paragraph [0055]; fig. 4<br>& US 2013/0299474 A1 & WO 2012/099116 A1<br>& EP 2666578 A1 & CN 103328148 A | 5-6, 8-13             |
| Y         | JP 2001-27719 A (Sumitomo Wiring Systems, Ltd.),<br>30 January 2001 (30.01.2001),<br>paragraphs [0014] to [0029]; fig. 1 to 2<br>(Family: none)                                                | 5-6, 8-13, 23, 25     |
| Y         | JP 8-191286 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.),<br>23 July 1996 (23.07.1996),<br>paragraphs [0011] to [0019]; fig. 1 to 4<br>(Family: none)                                              | 14-25                 |
| Y         | JP 1-302205 A (Fujikura Electric Wire Corp.),<br>06 December 1989 (06.12.1989),<br>page 2, lower right column, line 17 to page 3,<br>upper left column, line 6<br>(Family: none)               | 14-25                 |
| A         | JP 2007-42981 A (Fujikura Ltd.),<br>15 February 2007 (15.02.2007),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)                                                                              | 1-30                  |
| P, A      | JP 5680170 B1 (Fujikura Ltd.),<br>04 March 2015 (04.03.2015),<br>paragraphs [0085] to [0093]; fig. 11<br>& JP 2015-95641 A & WO 2015/072198 A1                                                 | 1-30                  |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/067(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, G02B6/26(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/00-3/30, G02B6/00-6/54

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 5 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 5 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 5 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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | WO 2014/014068 A1（古河電気工業株式会社）2014. 01. 23,<br>全文, 全図<br>& US 2015/0214692 A1 | 1-30           |
| Y               | JP 53-100879 A（中島貞夫）1978. 09. 02,<br>第2頁右上欄第6行－第3頁左上欄第17行, 図1<br>(ファミリーなし)   | 1-3, 5-13      |

☒ 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

1 7 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 0 . 2 0 1 5

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）

河原 正

2 X

9 0 1 7

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

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                            |                      |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号       |
| Y                     | JP 2000-131139 A (昭和電線電纜株式会社) 2000.05.12,<br>段落【0010】－【0024】, 図1－4<br>(ファミリーなし)                                                            | 4-6, 8-13            |
| Y                     | WO 2012/099116 A1 (古河電気工業株式会社) 2012.07.26,<br>段落[0055], 図4<br>& US 2013/0299474 A1 & WO 2012/099116 A1 & EP 2666578 A1<br>& CN 103328148 A | 5-6, 8-13            |
| Y                     | JP 2001-27719 A (住友電装株式会社) 2001.01.30,<br>段落【0014】－【0029】, 図1－2<br>(ファミリーなし)                                                               | 5-6, 8-13, 23,<br>25 |
| Y                     | JP 8-191286 A (日本電信電話株式会社) 1996.07.23,<br>段落【0011】－【0019】, 図1－4<br>(ファミリーなし)                                                               | 14-25                |
| Y                     | JP 1-302205 A (藤倉電線株式会社) 1989.12.06,<br>第2頁右下欄17行－第3頁左上欄第6行<br>(ファミリーなし)                                                                   | 14-25                |
| A                     | JP 2007-42981 A (株式会社フジクラ) 2007.02.15,<br>全文, 全図<br>(ファミリーなし)                                                                              | 1-30                 |
| P, A                  | JP 5680170 B1 (株式会社フジクラ) 2015.03.04,<br>段落【0085】－【0093】, 図11<br>& JP 2015-95641 A & WO 2015/072198 A1                                      | 1-30                 |