

(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
2022年1月27日(27.01.2022)



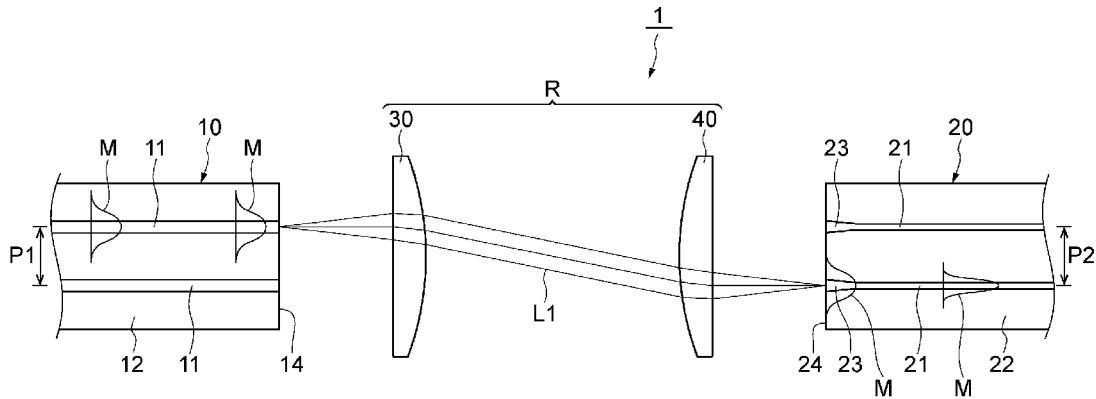
(10) 国際公開番号

WO 2022/019019 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/32 (2006.01) *H01S 3/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/023217
- (22) 国際出願日: 2021年6月18日(18.06.2021)
- (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 2020-125668 2020年7月22日(22.07.2020) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社
(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)
[JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜
四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 大塚 節文 (OHTSUKA Takafumi);
〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番
33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki
et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二
丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A
(明治安田生命ビル) 9階 創英国際特
許法律事務所 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, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,

(54) Title: MULTI-CORE FIBER MODULE AND MULTI-CORE FIBER AMPLIFIER

(54) 発明の名称: マルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器



(57) Abstract: A multi-core fiber module (1) according to an embodiment comprises: a transmission MCF (10) used as a transmission path of an optical signal; a connection MCF (20) having a core arrangement similar to the core arrangement of cores of the transmission MCF (10); and a relay lens system (R) interposed between the transmission MCF (10) and the connection MCF (20). The relay magnification of the relay lens system (R) is equal to the ratio of a core interval (P2) of the connection MCF (20) to a core interval (P1) of the transmission MCF (10). Cores (23) at the leading end surface of

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

the connection MCF (20) are enlarged such that the ratio between the core interval (P2) and the MFD of the connection MCF (20) becomes equal to the ratio between the core interval (P1) and the MFD of the transmission MCF (10).

(57) 要約：一実施形態に係るマルチコアファイバモジュール（1）は、光信号の伝送路として用いられる伝送用MCF（10）と、伝送用MCF（10）のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用MCF（20）と、伝送用MCF（10）及び接続用MCF（20）の間に介在するリレーレンズ系（R）と、を備える。リレーレンズ系（R）のリレー倍率は、伝送用MCF（10）のコア間隔（P1）に対する接続用MCF（20）のコア間隔（P2）の比に等しい。接続用MCF（20）の先端面のコア（23）は、接続用MCF（20）のコア間隔（P2）とMFDとの比が、伝送用MCF（10）のコア間隔（P1）とMFDとの比と等しくなるように、拡大されている。

明 細 書

発明の名称：

マルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器

技術分野

[0001] 本開示は、マルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器に関する。

本出願は、2020年7月22日の日本出願第2020-125668号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] 特許文献1には、伝送区間に配置された伝送用マルチコアファイバ（MCF：Multi-Core optical Fiber）とマルチコア光アンプとを通る光がファンイン・ファンアウトによって複数のシングルコアファイバ（SCF：Single Core optical Fiber）に分解される構成が記載されている。

[0003] 特許文献2には、モードフィールド径（MFD：Mode Field Diameter）が互いに異なる一対の光ファイバ間の接続損失を、熱拡大コア（TEC：Thermal Expanded Core）によって低減する技術が記載されている。特許文献2に記載された技術ではクラッド励起方式が採用されている。

[0004] 特許文献3には、マルチコア・エルビウム添加光ファイバ（MC-EDF：Multi-Core Erbium Doped optical Fiber）のコア径を拡大し、伝送用MCFとのMFDの不整合を低減させる技術が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：K. Takeshima, et al, “51.1-Tbit/s MCF Transmission Over 25 20 km Using Cladding-Pumped Seven-Core EDFAs,” Journal of Light. Technol. 34 (2016), 761

特許文献2：特開2003-98378号公報

特許文献3: M. Wada, et al "Full C-band Low Mode Dependent and Flat Gain Amplifier using Cladding Pumped Randomly Coupled 12-core EDF," ECOC 2017, -Th. PDP. A. 5

発明の概要

- [0006] 一実施形態に係るマルチコアファイバモジュールは、光信号の伝送路として用いられる伝送用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の間に介在するリレーレンズ系と、を備える。リレーレンズ系のリレー倍率は、伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しい。接続用光導波路集合体の先端面のコアは、接続用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径との比が、伝送用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径の比と等しくなるように拡大されている。伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバである。
- [0007] 別の形態に係るマルチコアファイバモジュールは、光信号の伝送路として用いられる伝送用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の間に介在するリレーレンズ系と、を備える。リレーレンズ系のリレー倍率は、伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しい。リレーレンズ系の出力側のコマ収差が非負であり、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバである。
- [0008] 一実施形態に係るマルチコアファイバ増幅器は、前述したマルチコアファイバモジュールと、接続用光導波路集合体に希土類元素が添加された希土類元素添加マルチコアファイバと、を備えたマルチコアファイバ増幅器である。マルチコアファイバ増幅器は、信号入力側の第1の伝送用光導波路集合体と、信号出力側の第2の伝送用光導波路集合体と、第1のマルチコアファイバモジュールと、第2のマルチコアファイバモジュールと、を備える。希土

類元素添加マルチコアファイバは、第1のマルチコアファイバモジュールの接続用光導波路集合体、及び第2のマルチコアファイバモジュールの接続用光導波路集合体に接続される。第1の伝送用光導波路集合体に、第1のマルチコアファイバモジュールの伝送用光導波路集合体が接続され、第2の伝送用光導波路集合体に、第2のマルチコアファイバモジュールの伝送用光導波路集合体が接続されている。

図面の簡単な説明

[0009] [図1] 図1は、一実施形態に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図2] 図2は、外向性コマが生じているマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図3] 図3は、内向性コマが生じているマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図4] 図4は、別の形態に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図5] 図5は、別の形態に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図6] 図6は、別の形態に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図7] 図7は、一実施形態に係るマルチコアファイバ増幅器を示す図である。

[図8] 図8は、別の形態に係るマルチコアファイバ増幅器を示す図である。

[図9] 図9は、変形例に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図10] 図10は、変形例に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図11] 図11は、変形例に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図12] 図12は、変形例に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図13]図13は、変形例に係るマルチコアファイバモジュールを示す図である。

[図14]図14は、マルチコアファイバの加熱時間とMFDとの関係の例を示すグラフである。

[図15]図15は、平面から平行光を射出する場合における平凸レンズの屈折率とコマ係数との関係を示すグラフである。

[図16]図16は、平面に平行光を入射する場合における平凸レンズの屈折率とコマ係数との関係を示すグラフである。

[図17]図17は、コマ収差が生じる場合の光線の種々の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 信号伝送用の伝送用MCFは、損失又は非線形性を抑制するため、モードフィールド径（以下では、MFDと称することがある）が比較的大きい（ $9 \sim 11 \mu\text{m}$ ）。これに対し、MC-EDFでは、励起効率と増幅効率を高くするため、MFDが比較的小さい（ $6 \mu\text{m}$ 以下）。このように、伝送用MCFとMC-EDFとでは、MFDが互いに異なる。従って、伝送用MCFと、MC-EDF、又はMC-EDFとMFD及びコア配置を合わせたMCF（以下では接続用MCFと称することもある）とを直結すると、MFDの不整合によって光の接続損失が生じうる。

[0011] ところで、前述した特許文献2のようにTEC処理を行う場合であっても、伝送用MCFの屈折率分布と、MC-EDF又は接続用MCFの屈折率分布との相違によって、伝送用MCFとMC-EDF又は接続用MCFとのMFDが整合しない場合がある。更に、MFDの整合のためには、コア間隔の整合も必要となりうるので、TEC処理を行う場合であっても接続損失の低減の効果を得られにくいことがある。光増幅器の内部で使用するMC-EDF又は接続用MCFのMFDは小さいので、光アイソレータ等、レンズ系による空間結合を行う光モジュールでは端面反射を生じさせることもある。更に、前述した特許文献2のようにクラッド励起方式を採用する場合には励起光の利用効率が低いことがあるので、励起光の利用効率の点において改善

の余地がある。

[0012] 本開示は、光の接続損失を低減させることができるマルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器を提供することを目的とする。

[0013] 本開示によれば、光の接続損失を低減させることができる。

[0014] [本開示の実施形態の説明]

以下では、本開示の実施形態を列記する。一実施形態に係るマルチコアファイバモジュールは、光信号の伝送路として用いられる伝送用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の間に介在するリレーレンズ系と、を備える。リレーレンズ系のリレー倍率は、伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しい。接続用光導波路集合体の先端面のコアは、接続用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径との比が、伝送用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径の比と等しくなるように拡大されている。伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバである。

[0015] このマルチコアファイバモジュールでは、伝送用光導波路集合体のコア配置と、伝送用光導波路集合体にリレーレンズ系を介して接続される接続用光導波路集合体のコア配置とが相似とされている。リレーレンズ系のリレー倍率は伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しい。また、接続用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径の比が伝送用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径の比と等しくなるように、接続用光導波路集合体の先端面のコアが拡大されている。よって、伝送用光導波路集合体と接続用光導波路集合体との間でコア間隔とモードフィールド径の比が整合されており、更に、伝送用光導波路集合体のコア間隔と接続用光導波路集合体のコア間隔との比がリレー倍率と等しい。従って、リレーレンズ系を介して伝送用光導波路集合体と接続用光導波路集合体とを低損失で接続することができる。

- [0016] 伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の両方がマルチコアファイバであってもよい。
- [0017] リレー倍率が0.5倍以上且つ2.0倍以下であってもよい。この場合、リレー倍率が0.5倍以上且つ2.0倍以下であることにより、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の間におけるリレーレンズ系の収差の発生を抑制することができる。
- [0018] 接続用光導波路集合体の先端面におけるモードフィールド径が $7\mu\text{m}$ 以上であってもよい。この場合、接続用光導波路集合体の先端面におけるモードフィールド径が $7\mu\text{m}$ 以上であることにより、先端面における光の反射による接続損失をより確実に抑制することができる。
- [0019] リレーレンズ系の出力側のコマ収差が非負であってもよい。この場合、リレーレンズ系の出力側でコマ収差が生じたとしても、コマ収差を外向きにすることができる。従って、隣接するコアへの光結合を回避して過剰なクロストークの発生を抑制できる。
- [0020] リレーレンズ系は入力側レンズ及び出力側レンズを含んでいてもよい。入力側レンズの屈折率は1.68以上、入力側レンズの入射面の曲率半径が入力側レンズの射出面の曲率半径の10倍以上であってもよい。伝送用光導波路集合体と接続用光導波路集合体のうちの一方が入力側光導波路集合体であり、他方が出力用光導波路集合体であり、入力側光導波路集合体の光射出端と入力側レンズの主点との距離が入力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されてもよい。出力側レンズの屈折率は1.70以下、出力側レンズの射出面の曲率半径が出力側レンズの入射面の曲率半径の10倍以上であってもよい。出力用光導波路集合体の光入射端と出力側レンズの主点との距離が出力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されていてもよい。この場合、平凸レンズを含むリレーレンズ系においてコマ収差を外向きにすることができる。
- [0021] リレーレンズ系は入力側レンズ及び出力側レンズを含んでおり、入力側レンズの屈折率は1.62以上、入力側レンズの入射面の曲率半径が入力側レ

レンズの射出面の曲率半径の10倍以上であってもよい。伝送用光導波路集合体と接続用光導波路集合体のうちの一方が入力側光導波路集合体であり、他方が出力用光導波路集合体であり、入力側光導波路集合体の光射出端と入力側レンズの主点との距離が入力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されてもよい。出力側レンズの屈折率は1.51以下、出力側レンズの射出面の曲率半径が出力側レンズの入射面の曲率半径の10倍以上であってもよい。出力用光導波路集合体の光入射端と出力側レンズの主点との距離が出力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されていてもよい。この場合、平凸レンズを含むリレーレンズ系においてコマ収差を外向きにすることができる。

[0022] 別の形態に係るマルチコアファイバモジュールは、光信号の伝送路として用いられる伝送用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用光導波路集合体と、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の間に介在するリレーレンズ系と、を備える。リレーレンズ系のリレー倍率は、伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しい。リレーレンズ系の出力側のコマ収差が非負であり、伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバである。この場合、リレーレンズ系の出力側でコマ収差が生じたとしても、コマ収差を外向きにすることができる。従って、隣接するコアへの光結合を回避して過剰なクロストークの発生を抑制できる。

[0023] 伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の少なくとも一方の光導波路の先端面におけるコアが拡大されていてもよい。この場合、モードフィールド径の不整合を抑制できる。

[0024] 伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体は、互いに同種のマルチコアファイバであってもよい。伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体は、互いに異なる種類のマルチコアファイバであってもよい。伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の一方がシングルコアファイバの集

合体であってもよい。伝送用光導波路集合体及び接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバの集合体であってもよい。

[0025] 一実施形態に係るマルチコアファイバ増幅器は、前述したマルチコアファイバモジュールと、接続用光導波路集合体に希土類元素が添加された希土類元素添加マルチコアファイバと、を備えたマルチコアファイバ増幅器である。マルチコアファイバ増幅器は、信号入力側の第1の伝送用光導波路集合体と、信号出力側の第2の伝送用光導波路集合体と、第1のマルチコアファイバモジュールと、第2のマルチコアファイバモジュールと、を備える。希土類元素添加マルチコアファイバは、第1のマルチコアファイバモジュールの接続用光導波路集合体、及び第2のマルチコアファイバモジュールの接続用光導波路集合体に接続される。第1の伝送用光導波路集合体に、第1のマルチコアファイバモジュールの伝送用光導波路集合体が接続され、第2の伝送用光導波路集合体に、第2のマルチコアファイバモジュールの伝送用光導波路集合体が接続されている。

[0026] このマルチコアファイバ増幅器は、前述した第1及び第2のマルチコアファイバモジュールと、希土類元素添加マルチコアファイバとを備える。希土類元素添加マルチコアファイバは、第1のマルチコアファイバモジュールの接続用光導波路集合体、及び第2のマルチコアファイバモジュールの接続用光導波路集合体に接続される。そして、第1のマルチコアファイバモジュールの伝送用光導波路集合体に信号入力側の第1の伝送用光導波路集合体が接続され、第2のマルチコアファイバモジュールの伝送用光導波路集合体に信号出力側の第2の伝送用光導波路集合体が接続される。各伝送用光導波路集合体と各接続用光導波路集合体との間ではコア間隔及びモードフィールド径が整合されており、各伝送用光導波路集合体と各接続用光導波路集合体とにおけるコア間隔の比がリレー倍率に一致している。従って、伝送用光導波路集合体と希土類元素添加マルチコアファイバとのモードフィールド径を整合することができる。

[0027] 第1のマルチコアファイバモジュールが励起光合流器を含んでおり、第2

のマルチコアファイバモジュールが光アイソレータを含んでいてもよい。この場合、各マルチコアファイバのコア間隔及びモードフィールド径が整合されていることにより、モードフィールド径が小さい希土類元素添加マルチコアファイバ又は接続用光導波路集合体を介した光接続における端面反射を低減させることができる。そして、励起光の利用効率を高めることができる。

[0028] [本開示の実施形態の詳細]

本開示の実施形態に係るマルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器の具体例について説明する。図面の説明において、同一又は相当する要素には同一の符号を付し、重複する説明を適宜省略する。また、図面は、理解の容易のため、一部を簡略化又は誇張して描いている場合があり、寸法比率等は図面に記載のものに限定されない。

[0029] 図1は、実施形態に係るマルチコアファイバモジュール1を示す図である。なお、以下の説明では、マルチコアファイバをMCF、モードフィールド径をMFDと称することがある。マルチコアファイバモジュール1は、伝送用光導波路集合体の一例である伝送用MCF10と、接続用光導波路集合体の一例である接続用MCF20とを有する。本実施形態において、マルチコアファイバモジュール1は、伝送用MCF10と、接続用MCF20と、伝送用MCF10及び接続用MCF20の間に介在するリレーレンズ系Rとを備える。伝送用MCF10は、光信号である光L1の伝送路として用いられる。伝送用MCF10は、複数（一例として7つ）のコア11と、クラッド12とを備える。接続用MCF20は、複数（一例として7つ）のコア21と、クラッド22とを備える。接続用MCF20は、伝送用MCF10のコア11と相似のコア配置を有する。

[0030] 一例として、マルチコアファイバモジュール1は、伝送用MCF10、リレーレンズ系R及び接続用MCF20を介して光L1を光増幅器に入力する。この場合、伝送用MCF10が入力側光導波路集合体であり、接続用MCF20が出力用光導波路集合体である。リレーレンズ系Rは、例えば、伝送用MCF10の先端面14に対向する入力側レンズである第1レンズ30、

及び接続用MCF20の先端面24に対向する出力側レンズである第2レンズ40を含む。

[0031] 先端面14及び先端面24のそれぞれには、例えば、反射防止膜が設けられる。先端面14及び先端面24のそれぞれの法線は、伝送用MCF10及び接続用MCF20が延びる方向に対して（例えば8°程度）傾斜していてもよい。この場合、先端面14及び先端面24のそれぞれにおける光L1の反射を抑制することが可能となる。例えば、マルチコアファイバモジュール1では、伝送用MCF10、第1レンズ30、第2レンズ40及び接続用MCF20が、この順で並ぶように配置されている。伝送用MCF10及び接続用MCF20は、空間を介して光結合（空間結合）されている。

[0032] 伝送用MCF10の複数のコア11の配置形状と、接続用MCF20の複数のコア21の配置形状とは互いに相似形状とされている。例えば、伝送用MCF10のコア11のコア間隔を $P1$ （ μm ）、接続用MCF20のコア21のコア間隔を $P2$ （ μm ）とすると、 $P1$ は $P2$ に等しい。

[0033] 例えば、接続用MCF20は、先端面24にコア拡大部23を有する。コア拡大部23はコア21が拡大された部位を示している。コア21の拡大は、例えば、コア21の加熱によって行われる。図14に例示されるように、コア21を加熱すると、接続用MCF20のMFDが拡大される。

[0034] 例えば、伝送用MCF10のコア11の出射端における特定波長のMFDを $MFD1$ （ μm ）、接続用MCF20のコア21の出射端における当該特定波長のMFDを $MFD2$ （ μm ）とする。このとき、接続用MCF20の先端面24のコア21は、接続用MCF20のコア間隔 $P2$ と $MFD2$ との比が伝送用MCF10のコア間隔 $P1$ と $MFD1$ の比と等しくなるように拡大されている。

[0035] なお、本開示において「等しい」とは、値が完全に一致する場合に限られず、機能上差異が生じない程度に実質同一である場合（例えば±10%以下である場合）も含まれる。また、コア21が拡大されている接続用MCF20の $MFD2$ は、例えば7 μm 以上且つ30 μm 以下である。

[0036] リレーレンズ系Rでは、例えば、第1レンズ30が伝送用MCF10の複数のコア11のそれぞれから出射した光L1をコリメート光に変換し、第2レンズ40が光L1を接続用MCF20のコア21に集光する。リレーレンズ系R（一例として第1レンズ30及び第2レンズ40）のリレー倍率を r とすると、 r の値は $(P2/P1)$ の値、すなわち、伝送用MCF10のコア間隔 $P1$ に対する接続用MCF20のコア間隔 $P2$ の比、と等しい。

[0037] 図1では、MFD1がMFD2に等しい場合の例を示している。すなわち、マルチコアファイバモジュール1では、コア間隔が互いに同一である伝送用MCF10及び接続用MCF20が等倍リレーレンズ系を介して接続されている。伝送用MCF10のコア11、及び接続用MCF20のコア21における光電場を、図1の釣り鐘状の印Mとして示している。この印Mに示されるように、例えば、接続用MCF20のコア21における先端面24の光電場は、伝送用MCF10のコア11の光電場と一致している。接続用MCF20の先端面24におけるMFDの拡大率は、例えば、コア拡大していないコア21のMFDに対する伝送用MCF10のMFDの比と等しく、一例として $\pm 10\%$ 程度である。

[0038] ところで、リレーレンズ系Rの出力側にはコマ収差が生じる場合がある。図2は光軸に対して外向きにコマ収差（外向性のコマ収差）が生じた例を示しており、図3は光軸に対して内向きにコマ収差（内向性のコマ収差）が生じた例を示している。当該光軸に直交する接続用MCF20の断面において複数のコア21が環状となるように配置された構成では、内向性のコマ収差による光電場の広がりや過剰なコア21の間のクロストークの原因となりうる。リレーレンズ系Rとして、ダブルットレンズ又はトリプレットレンズが用いられる場合にはコマ収差の抑制が可能となる。しかしながら、コストを抑える観点では、リレーレンズ系Rとしてシングレットレンズを用いることが好ましい。本実施形態に係る第1レンズ30及び第2レンズ40は、シングレットレンズである。

[0039] 本実施形態では、コマ収差が外向きとなるようにリレーレンズ系Rのシン

グレットレンズが設計される。外向性のコマ収差によって広がった光電場は、隣接するコア21の導波モードとは結合しないので、過剰なクロストークの原因とはならない。リレーレンズ系Rの出力側のコマ収差を非負とすることによって、コマ収差が外向きとなりコア21間の過剰なクロストークの抑制が実現される。接続用MCF20の先端面24においてコマ収差が外向性になるように、第1レンズ30及び第2レンズ40の屈折率、形状及び位置が定められる。以下では、その屈折率、形状及び位置の例について説明する。

[0040] 一例として、第1レンズ30及び第2レンズ40は平凸レンズである。例えば、第1レンズ30の屈折率は1.68以上（一例として1.69程度）、第1レンズ30の入射面の曲率半径は第1レンズ30の射出面の曲率半径の10倍以上である。本実施形態において、屈折率の値は、光ファイバの通信波長帯である1520nm以上且つ1570nm以下（Cバンド）、又は、1520nm以上且つ1630nm以下（C+Lバンド）の波長帯域における値を示している。第1レンズ30の入射面は実質平面である。伝送用MCF10の光Lの射出端と第1レンズ30の主点との距離は、第1レンズ30の焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下である。第2レンズ40の屈折率は1.70以下、第2レンズ40の射出面の曲率半径は、第2レンズ40の入射面の曲率半径の10倍以上である。第2レンズ40の射出面は実質平面である。接続用MCF20の光入射端と第2レンズ40の主点との距離は、第2レンズ40の焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されている。

[0041] 図4は、別の形態に係るマルチコアファイバモジュール1Aを示す図である。以降では、前述したマルチコアファイバモジュール1と共通する説明を適宜省略する。マルチコアファイバモジュール1Aでは、コア間隔P1が狭い伝送用MCF10Aとコア間隔P2が相対的に広い接続用MCF20Aとがリレーレンズ系Rを介して接続されている。伝送用MCF10Aはコア11A、クラッド12A及び先端面14Aを備え、接続用MCF20Aはコア

21A、クラッド22A及び先端面24Aを備える。

[0042] マルチコアファイバモジュール1Aでは、伝送用MCF10Aのコア11Aのコア間隔P1は、接続用MCF20Aのコア21Aのコア間隔P2より小さい。接続用MCF20Aは、先端面24Aにコア拡大部23Aを有する。接続用MCF20Aの先端面24Aのコア21Aは、接続用MCF20Aのコア間隔P2とMFD2との比が伝送用MCF10Aのコア間隔P1とMFD1の比と等しくなるように拡大されている。

[0043] 例えば、伝送用MCF10のコア11Aから出射した光L2はリレーレンズ系Rを介して接続用MCF20Aのコア21Aに集光される。この場合、伝送用MCF10が入力側光導波路集合体であり、接続用MCF20Aが出力側光導波路集合体である。リレーレンズ系Rのリレー倍率rについては、前述したマルチコアファイバモジュール1の場合と同様、伝送用MCF10のコア間隔P1に対する接続用MCF20のコア間隔P2の比と等しい。なお、マルチコアファイバモジュール1Aでは、上記の比がマルチコアファイバモジュール1の場合よりも大きくなっている。

[0044] 図5は、別の形態に係るマルチコアファイバモジュール1Bを示す図である。マルチコアファイバモジュール1Bでは、リレーレンズ系Rの共焦点を含む領域に光機能素子50（又は光機能素子群）が配置される。例えば、光機能素子50は、リレーレンズ系Rの共焦点部に配置された複屈折結晶51、ファラデー回転子52、及び半波長板53を含む。

[0045] ファラデー回転子52及び半波長板53は、例えば、一对の複屈折結晶51の間に挟み込まれている。また、光機能素子50は、光アイソレータであってもよい。図3の光L3は、マルチコアファイバモジュール1Bにおける主光線を示しており、図3の破線は例示的な異常光線を示している。なお、マルチコアファイバモジュール1Bは、例えば、後に詳述する光増幅器（MC-E D F）の出力側に配置される。

[0046] 図6は、リレーレンズ系Rの共焦点部にダイクロイックミラー71が配置されており、ダイクロイックミラー71を介して接続用MCF20に励起用

マルチコアファイバ（励起用MCF）60が接続されたマルチコアファイバモジュール1Cを示している。励起用MCF60は、先端面64にコア拡大部63を有するコア61とクラッド62とを備える。励起用MCF60は、例えば、接続用MCF20と同種のMCFである。

[0047] 励起用MCF60は、接続用MCF20と相似のコア配置を有する。また、励起用MCF60と接続用MCF20との間に位置するレンズ70、ダイクロミックミラー71及び第2レンズ40を含むリレーレンズ系のリレー倍率、及び、コア拡大部63におけるコア61の拡大率は、前述と同様、励起用MCF60のコア61のコア間隔P3、及び、コア61のMFDであるMFD3との関係から定められる。従って、当該リレーレンズ系のリレー倍率は、接続用MCF20のコア間隔P2に対する励起用MCF60のコア間隔P3の比に等しい。そして、励起用MCF60のコア間隔P3とMFD3との比は接続用MCF20のコア間隔P2とMFD2との比と等しい。

[0048] 図7は、実施形態に係るマルチコアファイバ増幅器80を示している。マルチコアファイバ増幅器80は、前述した伝送用MCF10及び接続用MCF20と、光アイソレータ81と、励起光合流器82と、希土類元素添加MCF85と、光アイソレータ86と、利得平坦化フィルタ87とを備える。

[0049] マルチコアファイバ増幅器80は、複数の伝送用MCF10、複数の接続用MCF20、複数の励起用MCF60、及び複数のスプライシングポイントSを含む。スプライシングポイントSは、一对の伝送用MCF10の境界部、一对の励起用MCF60の境界部、及び接続用MCF20と希土類元素添加MCF85との境界部のそれぞれに設けられる。

[0050] マルチコアファイバ増幅器80は、例えば、伝送用MCF10、接続用MCF20及び励起用MCF60を含むマルチコアファイバモジュール1C（第1のマルチコアファイバモジュール）と、マルチコアファイバモジュール1B（第2のマルチコアファイバモジュール）と、希土類元素添加MCF85とを備える。

[0051] 希土類元素添加MCF85は、マルチコアファイバモジュール1Cの接続

用MCF20、及びマルチコアファイバモジュール1Bの接続用MCF20に接続されている。そして、マルチコアファイバモジュール1Cの伝送用MCF10には信号入力側の伝送用MCF10が接続され、マルチコアファイバモジュール1Bの伝送用MCF10には信号出力側の伝送用MCF10が接続されている。

[0052] 例えば、マルチコアファイバモジュール1Cは励起光合流器82を含んでおり、マルチコアファイバモジュール1Bは光アイソレータ86を含んでもよい。光アイソレータ81は信号入力側の伝送用MCF10に接続されており、伝送用MCF10を介して励起光合流器82に接続されている。光アイソレータ81の信号入力側及び信号出力側の双方に伝送用MCF10が接続されている。また、光アイソレータ86の信号入力側には接続用MCF20が接続されており、光アイソレータ86の信号出力側には伝送用MCF10が接続されている。

[0053] 例えば、励起光合流器82は、励起用MCF60を介して、励起光出力部83及びドライバ84に接続されている。励起光合流器82から接続用MCF20を介して出力された信号光及び励起光は希土類元素添加MCF85に入力する。希土類元素添加MCF85の複数のコアは、伝送用MCF10、接続用MCF20、及び励起用MCF60と相似なコア配置を有する。

[0054] 希土類元素添加MCF85は、例えば、複数のコアを通る信号光を一括して励起し、信号光を一括して増幅してもよい。希土類元素添加MCF85は、例えば、エルビウム(Er)が添加されたマルチコアエルビウム添加光ファイバアンプ(結合型アンプ)を構成してもよい。この場合、希土類元素添加MCF85は、Erが添加された複数のコアと、複数のコアを囲むクラッドとを有する。希土類元素添加MCF85に励起光及び信号光が入力すると、例えば、希土類元素添加MCF85のコアに添加されたEr元素が励起されると共に信号光が増幅される。

[0055] 図8は、別の形態に係るマルチコアファイバ増幅器80Aを示している。マルチコアファイバ増幅器80Aが前述したマルチコアファイバ増幅器80

と異なる点は、光アイソレータ 81 の信号入力側に伝送用 MCF 10 が接続されると共に、光アイソレータ 81 の信号出力側に接続用 MCF 20 が接続されている点である。また、光アイソレータ 86 の信号入力側及び信号出力側の双方に接続用 MCF 20 が接続されている点もマルチコアファイバ増幅器 80 とは異なっている。

[0056] 次に、実施形態に係るマルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器から得られる作用効果について説明する。マルチコアファイバモジュール 1 では、伝送用 MCF 10 のコア配置と、伝送用 MCF 10 にリレーレンズ系 R を介して接続される接続用 MCF 20 のコア配置とが相似とされている。リレーレンズ系 R のリレー倍率 r は伝送用 MCF 10 のコア間隔 P_1 に対する接続用 MCF 20 のコア間隔 P_2 の比に等しい。また、接続用 MCF 20 のコア間隔 P_2 と MFD 2 の比が伝送用 MCF 10 のコア間隔 P_1 と MFD 1 の比と等しくなるように、接続用 MCF 20 の先端面 24 のコア 21 が拡大されている。よって、伝送用 MCF 10 と接続用 MCF 20 との間でコア間隔 P_1 、 P_2 と MFD 1、MFD 2 の比が整合されており、更に、伝送用 MCF 10 のコア間隔 P_1 と接続用 MCF 20 のコア間隔 P_2 との比がリレー倍率 r と等しい。従って、リレーレンズ系 R を介して伝送用 MCF 10 と接続用 MCF 20 とを低損失で接続することができる。

[0057] リレー倍率 r が 0.5 倍以上且つ 2.0 倍以下であってもよい。この場合、リレー倍率 r が 0.5 倍以上且つ 2.0 倍以下であることにより、伝送用 MCF 10 及び接続用 MCF 20 の間におけるリレーレンズ系 R の収差の発生を抑制することができる。

[0058] 接続用 MCF 20 の先端面 24 における MFD 2 が $7\ \mu\text{m}$ 以上であってもよい。この場合、接続用 MCF 20 の先端面 24 における MFD 2 が $7\ \mu\text{m}$ 以上であることにより、先端面 24 における光の反射による接続損失をより確実に抑制することができる。

[0059] マルチコアファイバ増幅器 80 は、マルチコアファイバモジュール 1C 及びマルチコアファイバモジュール 1B と、希土類元素添加 MCF 85 とを備

える。希土類元素添加MCF85は、マルチコアファイバモジュール1Cの接続用MCF20、及びマルチコアファイバモジュール1Bの接続用MCF20に接続される。そして、マルチコアファイバモジュール1Cの伝送用MCF10に信号入力側の伝送用MCF10が接続され、マルチコアファイバモジュール1Bの伝送用MCF10に信号出力用の伝送用MCF10が接続される。各伝送用MCF10と各接続用MCF20の間ではコア間隔P1, P2及びMFD1, MFD2が整合されており、各伝送用MCF10と各接続用MCF20におけるコア間隔P1, P2の比がリレー倍率rに一致している。従って、伝送用MCF10と希土類元素添加MCF85とのMFDを整合することができる。

[0060] マルチコアファイバモジュール1Cが励起光合流器82を含んでおり、マルチコアファイバモジュール1Bが光アイソレータ86を含んでいてもよい。この場合、伝送用MCF10及び接続用MCF20のそれぞれのコア間隔P1, P2及びMFD1, MFD2が整合されていることにより、MFDが小さい希土類元素添加MCF85又は接続用MCF20を介した光接続における端面反射を抑制することができる。そして、励起用MCF60から出力した励起光の利用効率を高めることができる。

[0061] 以上、本開示に係るマルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器の実施形態について説明した。しかしながら、本開示に係るマルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器は、前述した実施形態に限られず適宜変更可能である。以下では、マルチコアファイバモジュールの更なる変形例について説明する。

[0062] 図9に示されるように、変形例に係るマルチコアファイバモジュール1Eは、図6のマルチコアファイバモジュール1Cと比較して、励起用MCF60に代えて、複数の励起用シングルコアファイバ（励起用SCF）90を備える点で異なっている。各励起用SCF90は、励起用MCF60のコア61、クラッド62、コア拡大部63及び先端面64と同様、コア91、クラッド92、コア拡大部93及び先端面94を備える。このように、励起光を

出力する励起光合流器の構成については適宜変更可能である。

[0063] 図10に示されるように、別の変形例に係るマルチコアファイバモジュール1Fは、リレーレンズ系Rとしてのレンズ70及びレンズ101とダイクロイックミラー102とを含む。ダイクロイックミラー102は、レンズ101を介して伝送用MCF10のコア11から入力した光を反射すると共に、レンズ70を介して励起用MCF60のコア61から入力した励起光を透過する。そして、ダイクロイックミラー102は、伝送用MCF10からの信号光と励起用MCF60からの励起光とをレンズ101を介して接続用MCF20に入力する。

[0064] 図11に示されるように、更なる変形例に係るマルチコアファイバモジュール1Gは、リレーレンズ系Rとしての第1レンズ30及びレンズ111とダイクロイックミラー112とを含む。ダイクロイックミラー112は、第1レンズ30を介して伝送用MCF10のコア11から入力した光を透過すると共に、レンズ111を介して励起用MCF60のコア61から入力した励起光を反射する。そして、ダイクロイックミラー112は、励起用MCF60からの励起光と共に第1レンズ30からの信号光をレンズ111を介して接続用MCF20に入力する。

[0065] 図12に示されるように、変形例に係るマルチコアファイバモジュール1Hは、リレーレンズ系Rの入力側レンズである第1レンズ30と、リレーレンズ系Rの出力側レンズであるレンズ111とを有する。更に、マルチコアファイバモジュール1Hは、レンズ111の出力側に、バンドル化された複数のマルチコアファイバ120を有する。この場合、伝送用MCF10が入力側光導波路集合体であり、バンドル化された複数のマルチコアファイバ120が出力用光導波路集合体である。マルチコアファイバ120は、前述した各マルチコアファイバと同様、コア121及びクラッド122を有する。例えば、各コア21のレンズ111側の端面にはコア拡大部123が形成されている。複数のマルチコアファイバ120は、光軸に直交する方向にスライド可能とされている。マルチコアファイバモジュール1Hは、バンドル化

されたマルチコアファイバ120をスライドさせることによって接続を切り替える光スイッチとしての光学系を有する。

[0066] 図13に示されるように、変形例に係るマルチコアファイバモジュール1Jは、ファンイン・ファンアウトの光学系を有する。マルチコアファイバモジュール1Jは、前述した伝送用MCF10と、リレーレンズ系Rの入力側レンズである第1レンズ30と、リレーレンズ系Rの出力側レンズであるレンズ70と、複数のシングルコアファイバ130とを有する。例えば、バンドル化された複数のシングルコアファイバ130がレンズ70の出力側に設けられる。シングルコアファイバ130はコア131とクラッド132とを有し、コア131のレンズ70側の端面にコア拡大部133が形成されている。この場合、伝送用MCF10が入力側光導波路集合体であり、バンドル化された複数のシングルコアファイバ130が出力用光導波路集合体である。

[0067] 以上、マルチコアファイバモジュールの種々の例について説明した。前述した各例では、コアのレンズ側の端面にコア拡大部が形成されうる。図14は、光ファイバのコアの加熱時間と光ファイバのモードフィールド径との関係を示すグラフである。図14に示されるように、光ファイバのコアの加熱時間が長いほど光ファイバのモードフィールド径を大きくすることができる。

[0068] 前述したように、本実施形態に係るマルチコアファイバモジュールでは、リレーレンズ系Rの出力側のコマ収差が非負である。よって、リレーレンズ系Rの出力側でコマ収差が生じたとしても、コア収差を外向きにすることができる。従って、隣接するコアへの光結合を回避して過剰なクロストークの発生を抑制できる。

[0069] コマ収差について、詳細に説明する。まず、コマ収差によって形成される円の半径を R_c とすると、 R_c は式(1)によって表される。

[数1]

$$R_c = \frac{H\rho^2}{f^3} C \quad \dots (1)$$

ここで、 H は像面における光軸から光線までの距離、 ρ は瞳面における光軸から光線までの距離、 f はレンズの焦点距離を示している。 C は式(2)で表されるコマ係数であり、 C の値が正であるときに外向性のコマ収差が生じ、 C の値が負であるときに内向性のコマ収差が生じる。

[数2]

$$C = \frac{3(2n+1)}{4n} \frac{S_1 - S_0}{S_1 + S_0} + \frac{3(n+1)}{4n(n-1)} \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \quad \dots (2)$$

[0070] ここで、 n はレンズの硝材の屈折率、 S_1 は像面と瞳面との距離、 S_0 は物体面と瞳面との距離、 r_1 はレンズの物体側面の曲率半径、 r_2 はレンズの像側面の曲率半径を示している。式(2)において、平凸レンズのように r_1 及び r_2 の一方の絶対値が非常に大きい場合、凸面、凹面及び平面の区別が困難となる。マルチコアファイバ用の空間光学モジュールのスケールでは、曲率半径が100mmを超えると、凸面又は凹面であっても平面と区別できない。

[0071] 図15は、平凸レンズにおいて平面から平行光が出射する場合におけるコマ係数と屈折率との関係を示すグラフである。図16は、平凸レンズにおいて平面に平行光が入射する場合におけるコマ係数と屈折率との関係を示すグラフである。図17は、コマ収差が生じる場合の光線の種々の例を示す。図17の最上段では単位共役系及び外向性のコマ収差が生じている場合、図17の上から2段目では単位共役系及び内向性のコマ収差が生じている場合、図17の上から3段目ではリレー系及び外向性のコマ収差が生じている場合、図17の下から1段目ではリレー系及び内向性のコマ収差が生じている場合、をそれぞれ示している。本実施形態では、発生するコマ収差が外向性となるようにレンズが調整されることによって過剰なクロストークの発生を抑制できる。

[0072] 以上、マルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器の種々の例について説明した。しかしながら、本開示に係るマルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器は、前述した各例に限られない。

すなわち、本発明が請求の範囲に記載した要旨の範囲内において種々の変形及び変更が可能であることは、当業者によって容易に認識される。例えば、マルチコアファイバモジュール及びマルチコアファイバ増幅器の各部の構成、機能、材料及び配置態様は上記の要旨の範囲内において適宜変更可能である。

符号の説明

- [0073] 1, 1 A…マルチコアファイバモジュール
1 B…マルチコアファイバモジュール（第2のマルチコアファイバモジュール）
1 C…マルチコアファイバモジュール（第1のマルチコアファイバモジュール）
1 E, 1 F, 1 G…マルチコアファイバモジュール
1 O, 1 O A…伝送用MCF
1 1, 1 1 A, 2 1, 2 1 A…コア
1 2, 1 2 A, 2 2, 2 2 A…クラッド
1 4, 1 4 A…先端面
2 O, 2 O A…接続用MCF
2 3, 2 3 A…コア拡大部
2 4, 2 4 A…先端面
3 O…第1レンズ
4 O…第2レンズ
5 O…光機能素子
5 1…複屈折結晶
5 2…ファラデー回転子
5 3…半波長板
6 O, 9 O…励起用マルチコアファイバ（励起用MCF）
6 1, 9 1…コア
6 2, 9 2…クラッド

6 3, 9 3 …コア拡大部
6 4 …先端面
7 0 …レンズ
7 1 …ダイクロイックミラー
8 0, 8 0 A …マルチコアファイバ増幅器
8 1 …光アイソレータ
8 2 …励起光合流器
8 3 …励起光出力部
8 4 …ドライバ
8 5 …希土類元素添加M C F
8 6 …光アイソレータ
8 7 …利得平坦化フィルタ
1 0 1, 1 1 1 …レンズ
1 0 2, 1 1 2 …ダイクロイックミラー
1 2 0 …マルチコアファイバ
1 2 1, 1 3 1 …コア
1 2 2, 1 3 2 …クラッド
1 2 3, 1 3 3 …コア拡大部
1 3 0 …シングルコアファイバ
L 1, L 2, L 3 …光
P 1, P 2, P 3 …コア間隔
R …リレーレンズ系
r …リレー倍率
S …スプライシングポイント

請求の範囲

- [請求項1] 光信号の伝送路として用いられる伝送用光導波路集合体と、
前記伝送用光導波路集合体のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用光導波路集合体と、
前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の間に介在するリレーレンズ系と、
を備え、
前記リレーレンズ系のリレー倍率は、前記伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する前記接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しく、
前記接続用光導波路集合体の先端面のコアは、前記接続用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径との比が、前記伝送用光導波路集合体のコア間隔とモードフィールド径の比と等しくなるように拡大されており、
前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバである、
マルチコアファイバモジュール。
- [請求項2] 前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の両方がマルチコアファイバである、
請求項1に記載のマルチコアファイバモジュール。
- [請求項3] 前記リレー倍率が0.5倍以上且つ2.0倍以下である、
請求項1又は2に記載のマルチコアファイバモジュール。
- [請求項4] 前記接続用光導波路集合体の先端面におけるモードフィールド径が $7\mu\text{m}$ 以上である、
請求項1～3のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。
- [請求項5] 前記リレーレンズ系の出力側のコマ収差が非負である、
請求項1～4のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

。

[請求項6] 前記伝送用光導波路集合体と前記接続用光導波路集合体のうちの一方が入力側光導波路集合体であり、他方が出力用光導波路集合体であり、

前記リレーレンズ系は入力側レンズ及び出力側レンズを含んでおり、

前記入力側レンズの屈折率は1.68以上、前記入力側レンズの入射面の曲率半径が前記入力側レンズの射出面の曲率半径の10倍以上であり、

前記入力側光導波路集合体の光射出端と前記入力側レンズの主点との距離が前記入力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置され、

前記出力側レンズの屈折率は1.70以下、前記出力側レンズの射出面の曲率半径が前記出力側レンズの入射面の曲率半径の10倍以上であり、

前記出力用光導波路集合体の光入射端と前記出力側レンズの主点との距離が前記出力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されている、

請求項1～5のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール

。

[請求項7] 前記伝送用光導波路集合体と前記接続用光導波路集合体のうちの一方が入力側光導波路集合体であり、他方が出力用光導波路集合体であり、

前記リレーレンズ系は入力側レンズ及び出力側レンズを含んでおり、

前記入力側レンズの屈折率は1.62以上、前記入力側レンズの入射面の曲率半径が前記入力側レンズの射出面の曲率半径の10倍以上であり、

前記入力側光導波路集合体の光射出端と前記入力側レンズの主点との距離が前記入力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置され、

前記出力側レンズの屈折率は1.51以下、前記出力側レンズの射出面の曲率半径が前記出力側レンズの入射面の曲率半径の10倍以上であり、

前記出力用光導波路集合体の光入射端と前記出力側レンズの主点との距離が前記出力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されている、

請求項1～5のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項8]

光信号の伝送路として用いられる伝送用光導波路集合体と、

前記伝送用光導波路集合体のコアのコア配置と相似のコア配置を有する接続用光導波路集合体と、

前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の間に介在するリレーレンズ系と、
を備え、

前記リレーレンズ系のリレー倍率は、前記伝送用光導波路集合体のコア間隔に対する前記接続用光導波路集合体のコア間隔の比に等しく、

前記リレーレンズ系の出力側のコマ収差が非負であり、

前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバである、
マルチコアファイバモジュール。

[請求項9]

前記伝送用光導波路集合体と前記接続用光導波路集合体のうちの一方が入力側光導波路集合体であり、他方が出力用光導波路集合体であり、

前記リレーレンズ系は入力側レンズ及び出力側レンズを含んでおり

、

前記入力側レンズの屈折率は 1.68 以上、前記入力側レンズの入射面の曲率半径が前記入力側レンズの射出面の曲率半径の 10 倍以上であり、

前記入力側光導波路集合体の光射出端と前記入力側レンズの主点との距離が前記入力側レンズの焦点距離の 0.99 倍以上且つ 1.01 倍以下となるように配置され、

前記出力側レンズの屈折率は 1.70 以下、前記出力側レンズの射出面の曲率半径が前記出力側レンズの入射面の曲率半径の 10 倍以上であり、

前記出力用光導波路集合体の光入射端と前記出力側レンズの主点との距離が前記出力側レンズの焦点距離の 0.99 倍以上且つ 1.01 倍以下となるように配置されている、

請求項8に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項10]

前記伝送用光導波路集合体と前記接続用光導波路集合体のうちの一方が入力側光導波路集合体であり、他方が出力用光導波路集合体であり、

前記リレーレンズ系は入力側レンズ及び出力側レンズを含んでおり、

前記入力側レンズの屈折率は 1.62 以上、前記入力側レンズの入射面の曲率半径が前記入力側レンズの射出面の曲率半径の 10 倍以上であり、

前記入力側光導波路集合体の光射出端と前記入力側レンズの主点との距離が前記入力側レンズの焦点距離の 0.99 倍以上且つ 1.01 倍以下となるように配置され、

前記出力側レンズの屈折率は 1.51 以下、前記出力側レンズの射出面の曲率半径が前記出力側レンズの入射面の曲率半径の 10 倍以上であり、

前記出力用光導波路集合体の光入射端と前記出力側レンズの主点との距離が前記出力側レンズの焦点距離の0.99倍以上且つ1.01倍以下となるように配置されている、

請求項8に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項11] 前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の少なくとも一方の光導波路の先端面におけるコアが拡大されている、
請求項8～10のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項12] 前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体は、互いに同種のマルチコアファイバである、
請求項1～11のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項13] 前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体は、互いに異なる種類のマルチコアファイバである、
請求項1～11のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項14] 前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の一方がシングルコアファイバの集合体である、
請求項1～11のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項15] 前記伝送用光導波路集合体及び前記接続用光導波路集合体の少なくとも一方がマルチコアファイバの集合体である、
請求項1～14のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュール。

[請求項16] 請求項1から請求項15のいずれか一項に記載のマルチコアファイバモジュールと、前記接続用光導波路集合体に希土類元素が添加された希土類元素添加マルチコアファイバと、を備えたマルチコアファイバ増幅器であって、

信号入力側の第 1 の前記伝送用光導波路集合体と、
信号出力側の第 2 の前記伝送用光導波路集合体と、
第 1 の前記マルチコアファイバモジュールと、
第 2 の前記マルチコアファイバモジュールと、
を備え、

前記希土類元素添加マルチコアファイバは、第 1 の前記マルチコアファイバモジュールの前記接続用光導波路集合体、及び第 2 の前記マルチコアファイバモジュールの前記接続用光導波路集合体に接続され、

第 1 の前記伝送用光導波路集合体に、第 1 の前記マルチコアファイバモジュールの前記伝送用光導波路集合体が接続され、

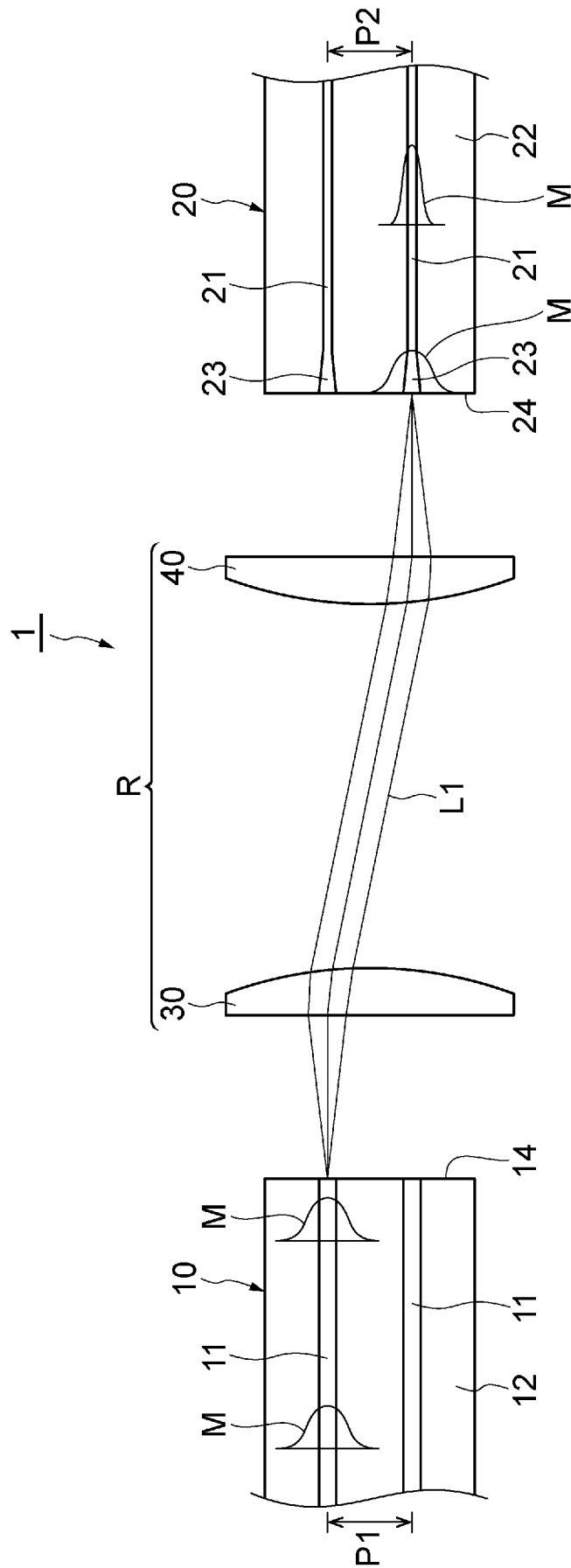
第 2 の前記伝送用光導波路集合体に、第 2 の前記マルチコアファイバモジュールの前記伝送用光導波路集合体が接続されている、
マルチコアファイバ増幅器。

[請求項 17] 第 1 の前記マルチコアファイバモジュールが励起光合流器を含んでおり、

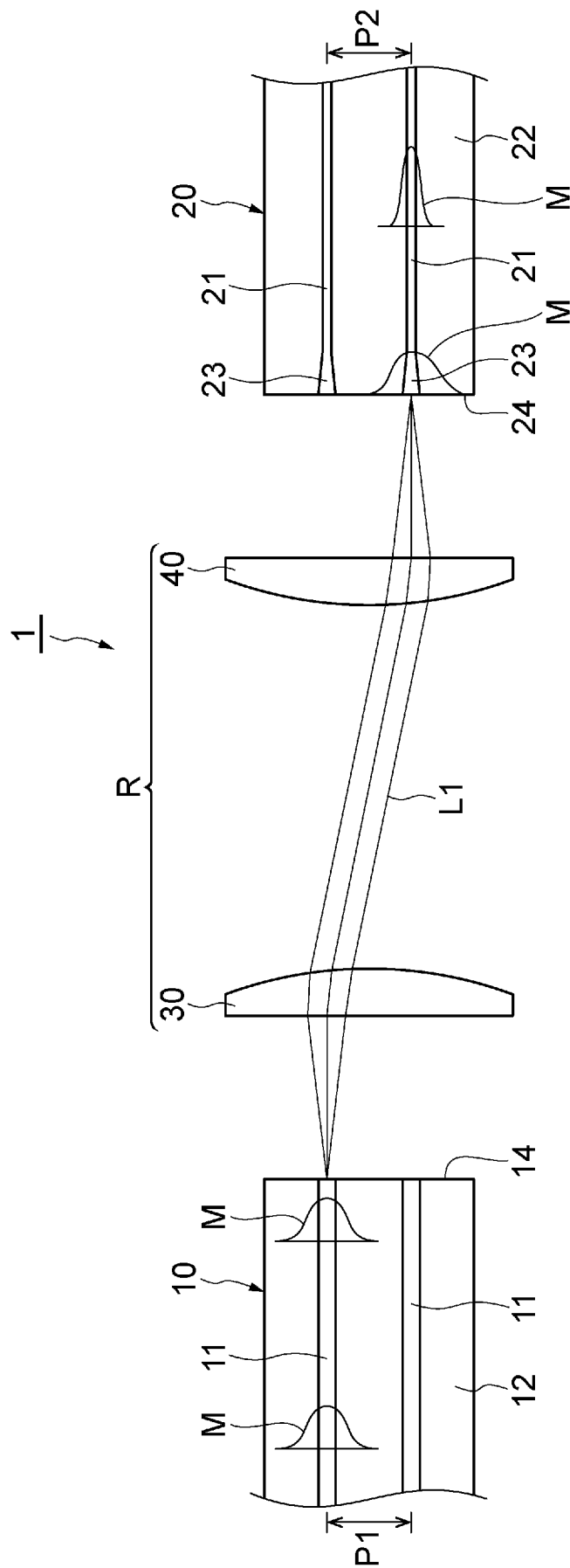
第 2 の前記マルチコアファイバモジュールが光アイソレータを含んでいる、

請求項 16 に記載のマルチコアファイバ増幅器。

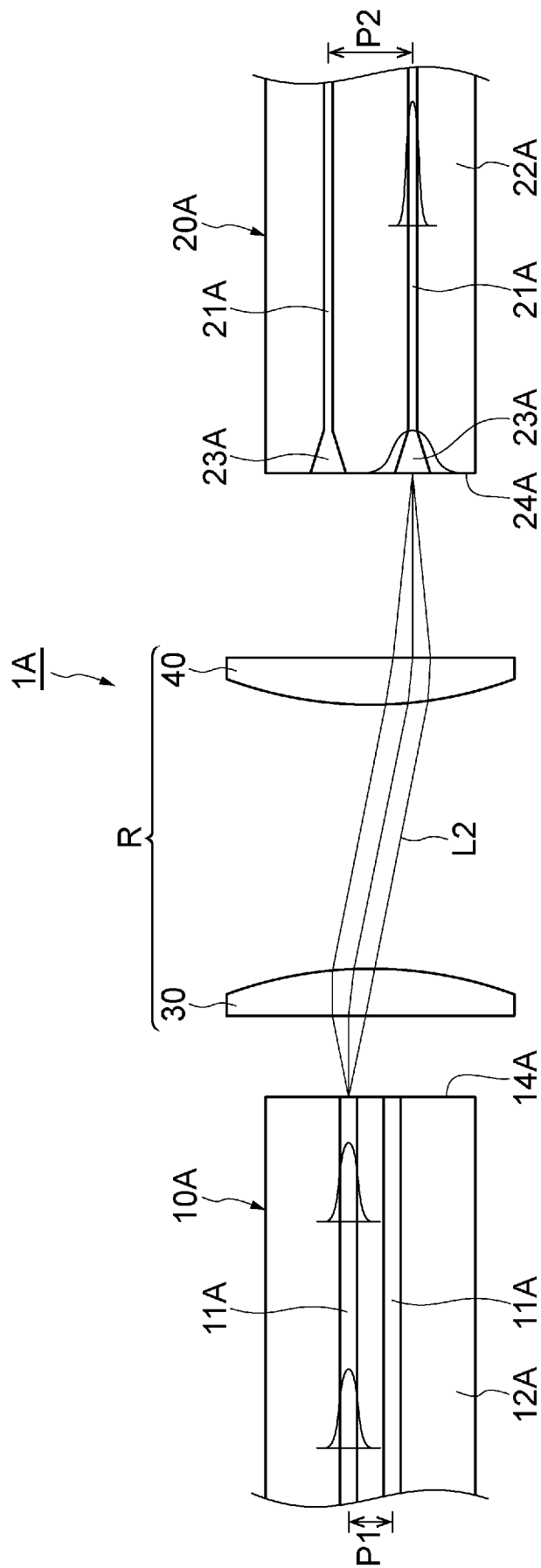
[図1]



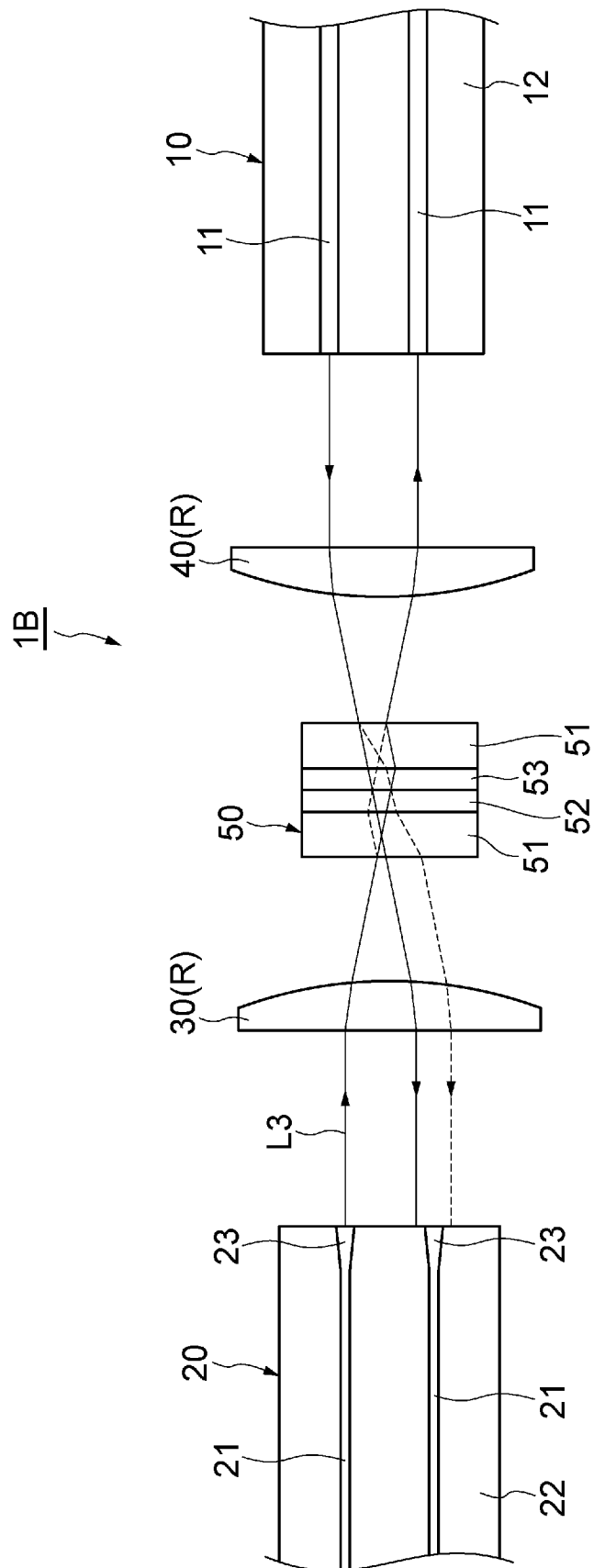
[図2]



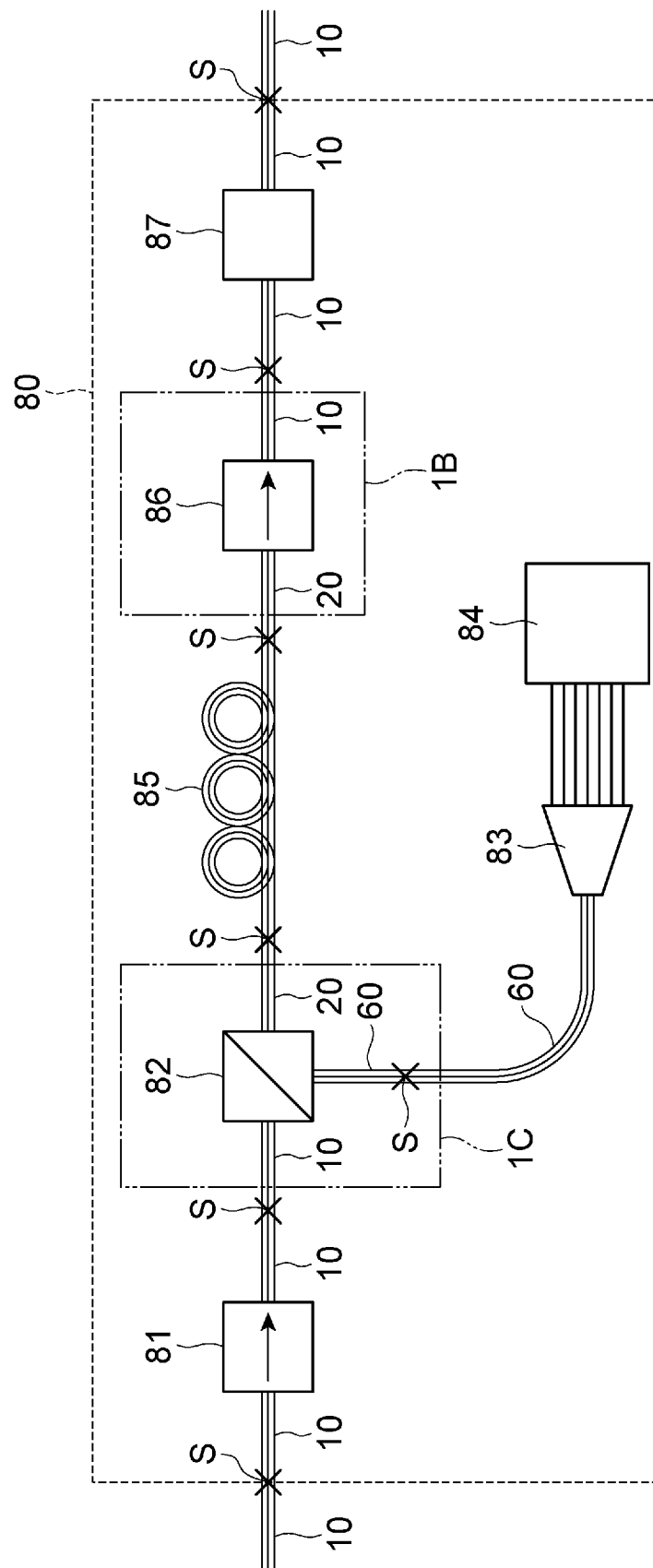
[図4]



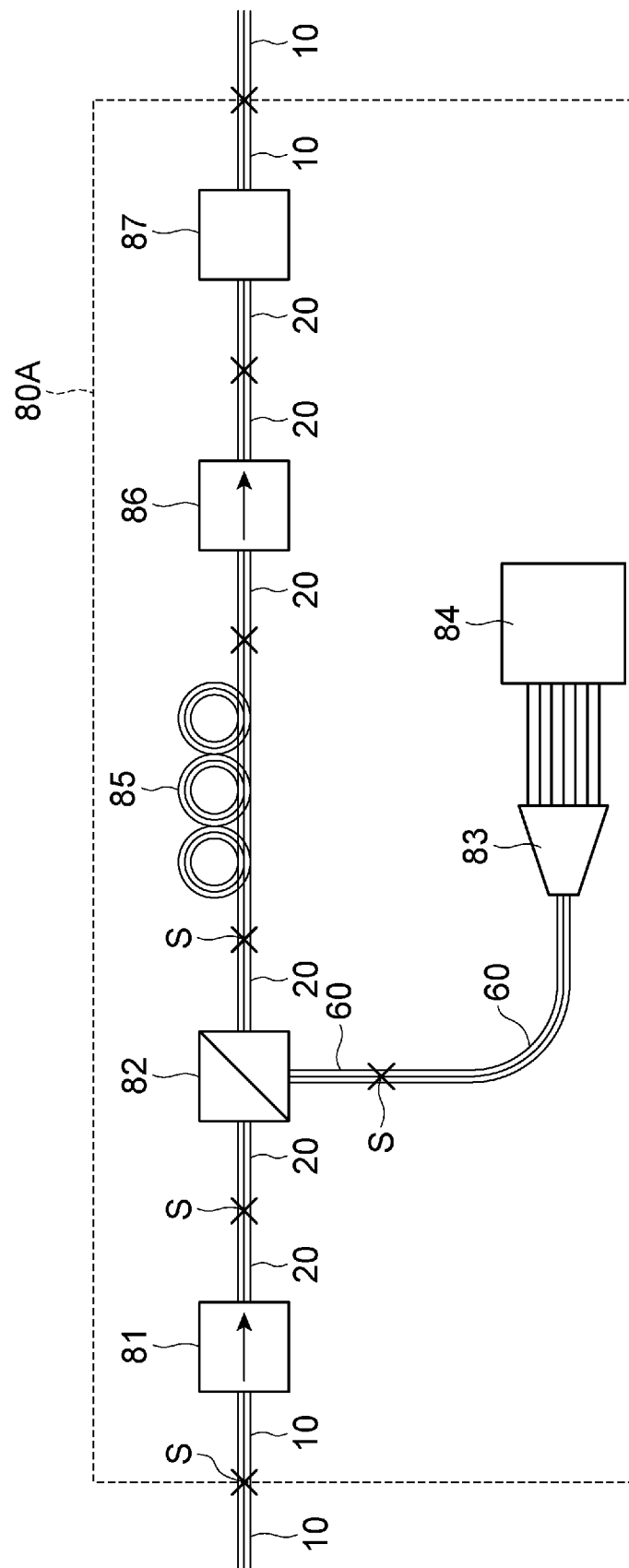
[図5]



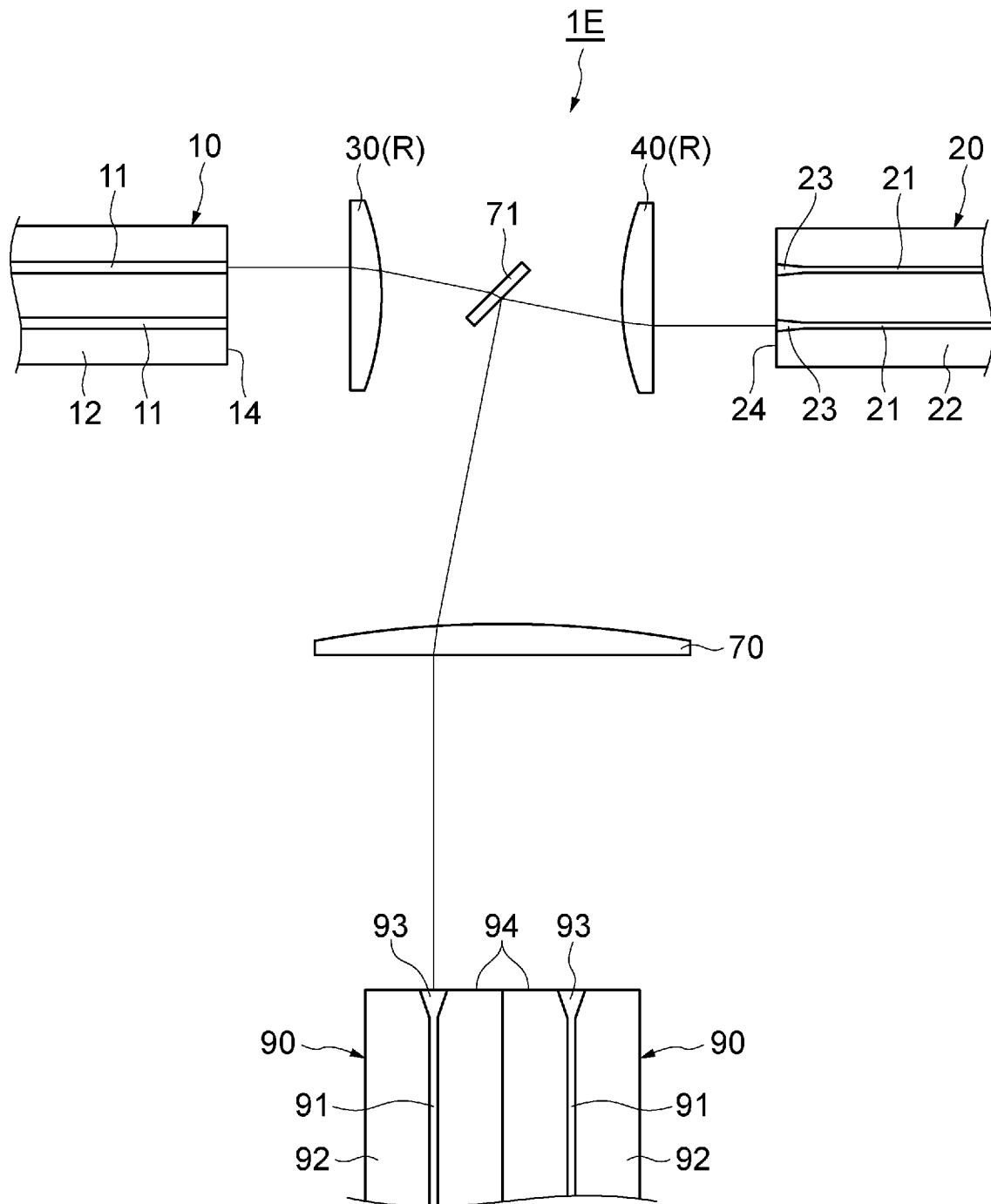
[図7]



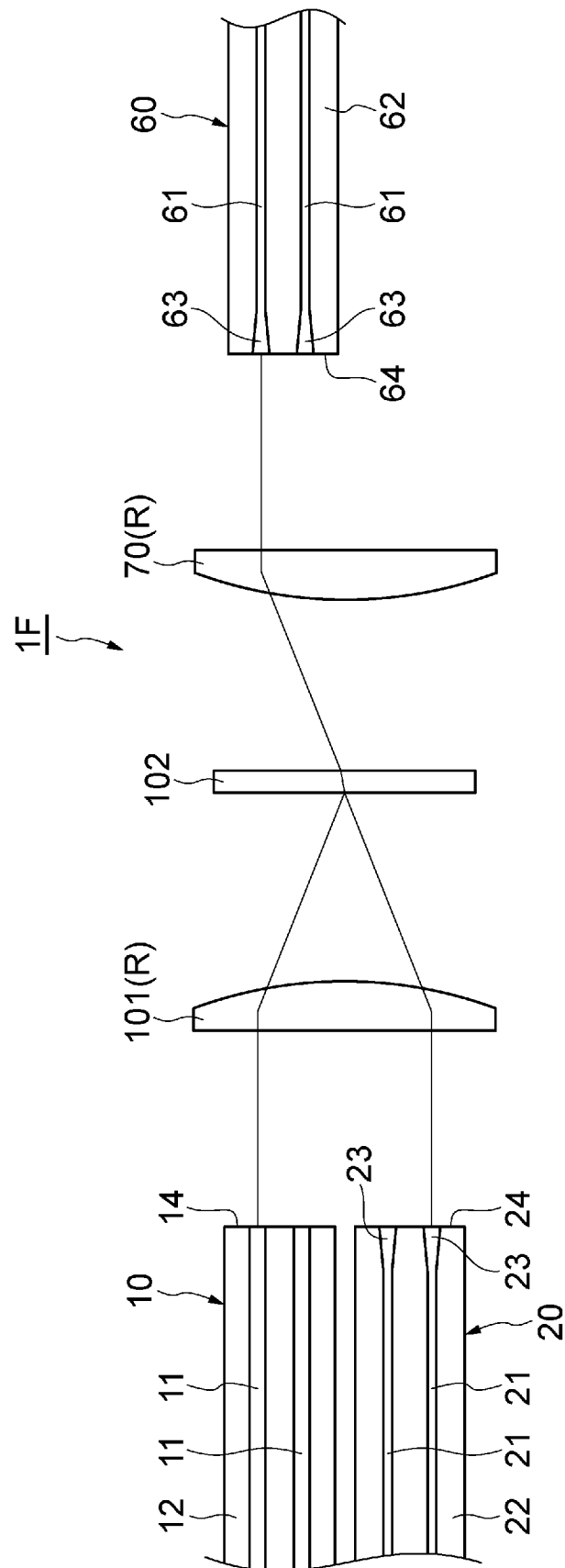
[図8]



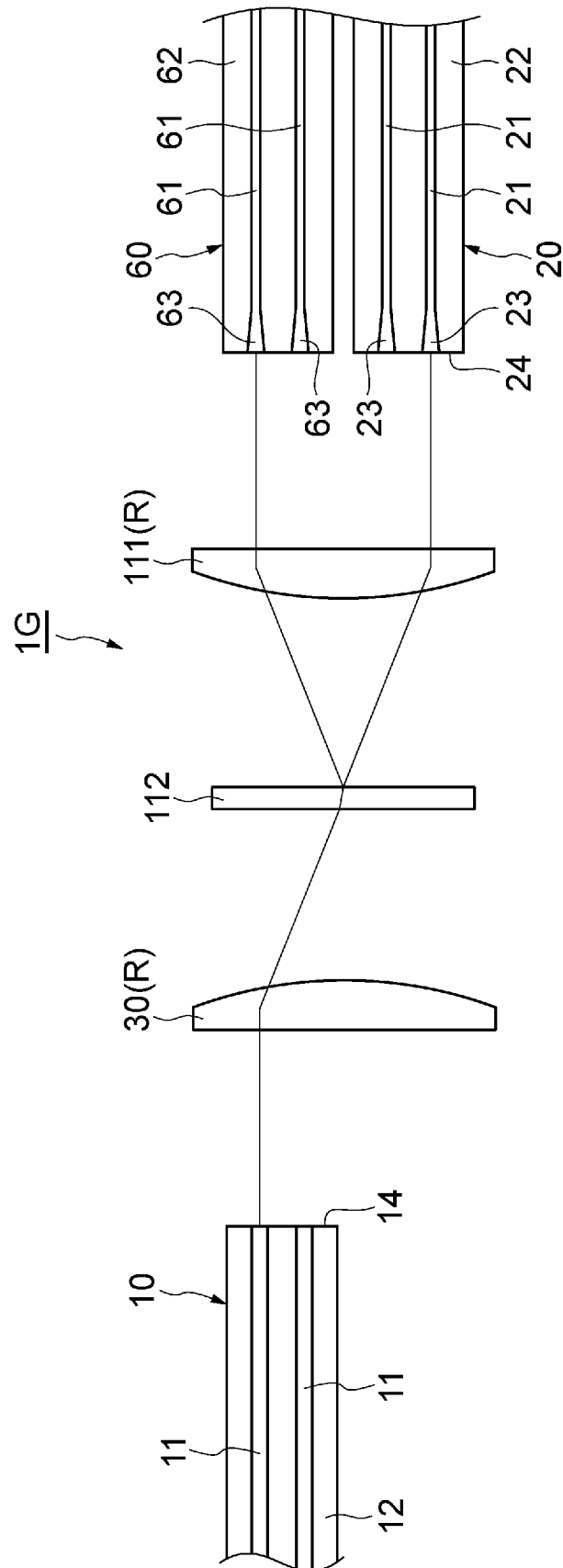
[図9]



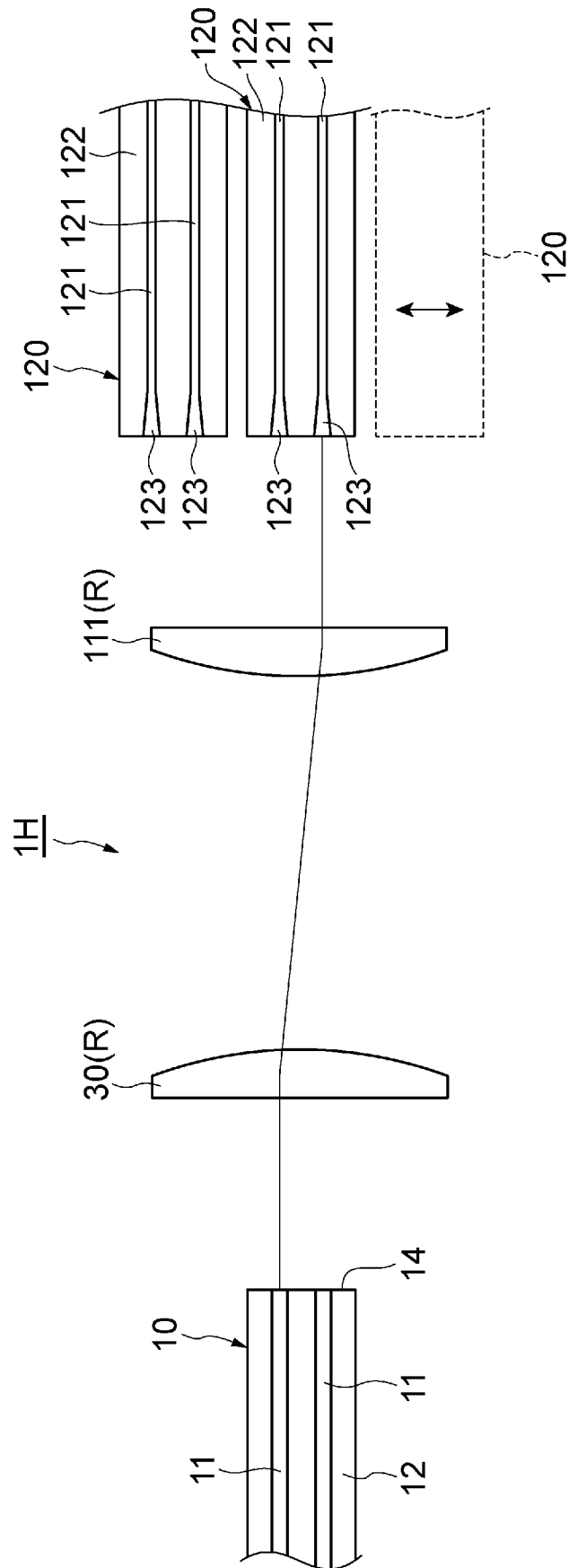
[図10]



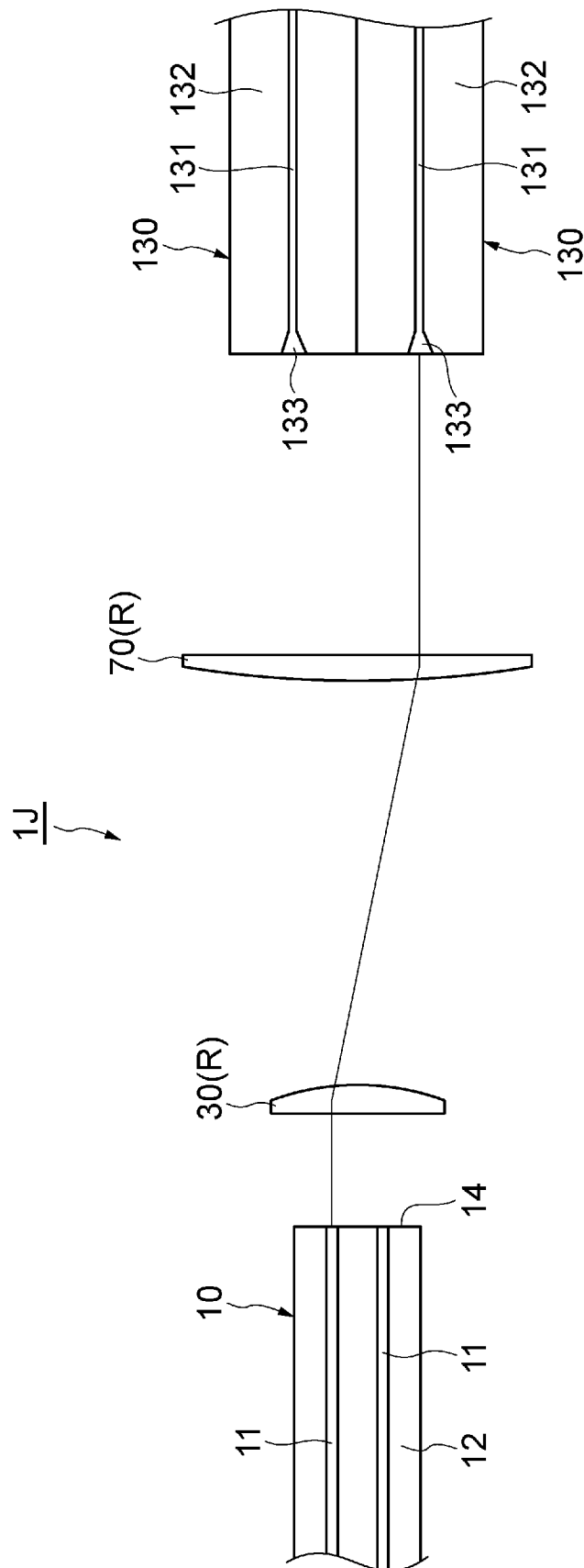
[図11]



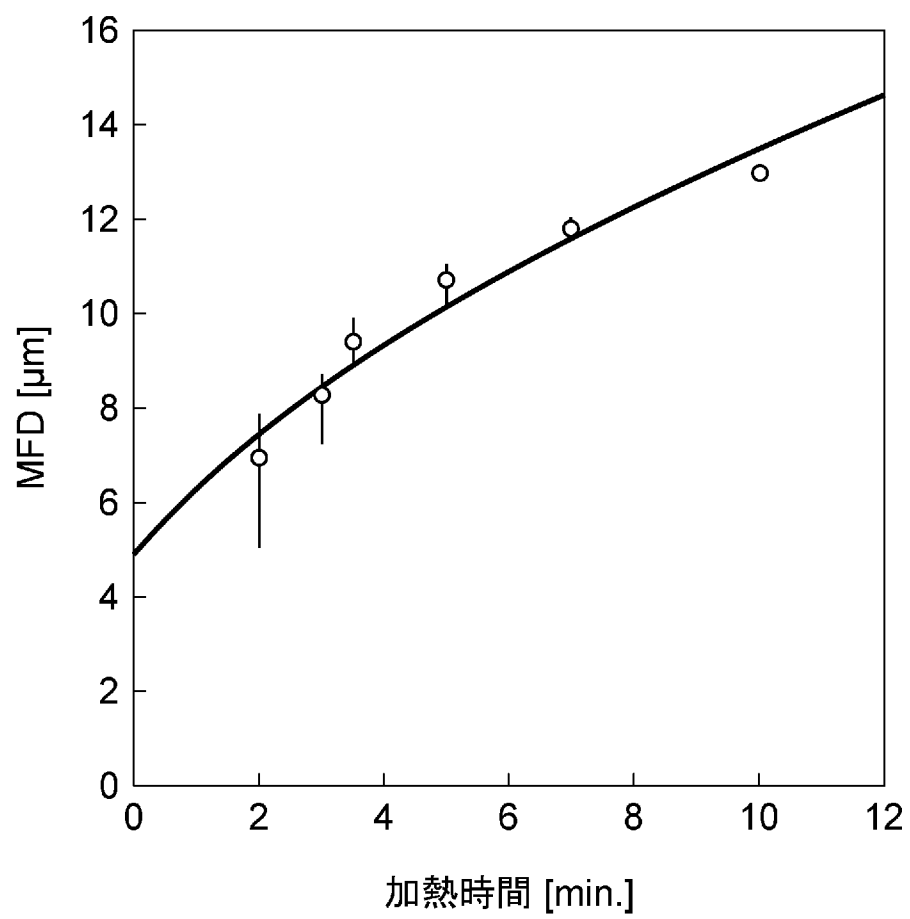
[図12]



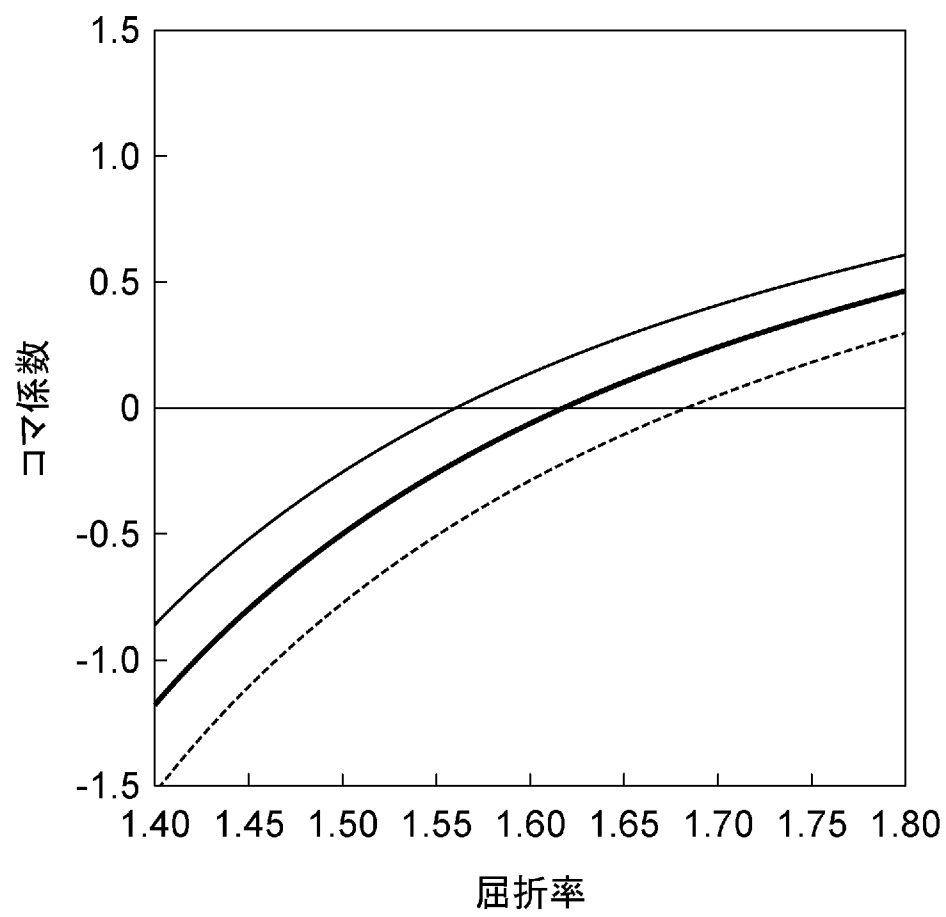
[図13]



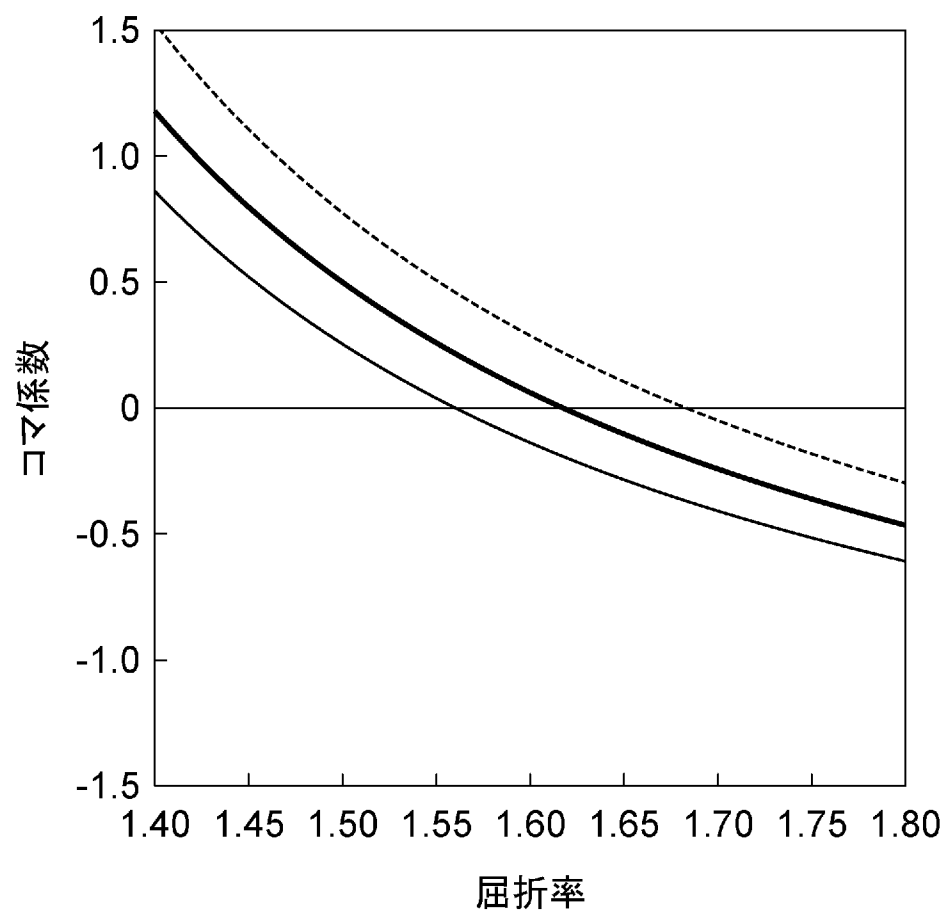
[図14]



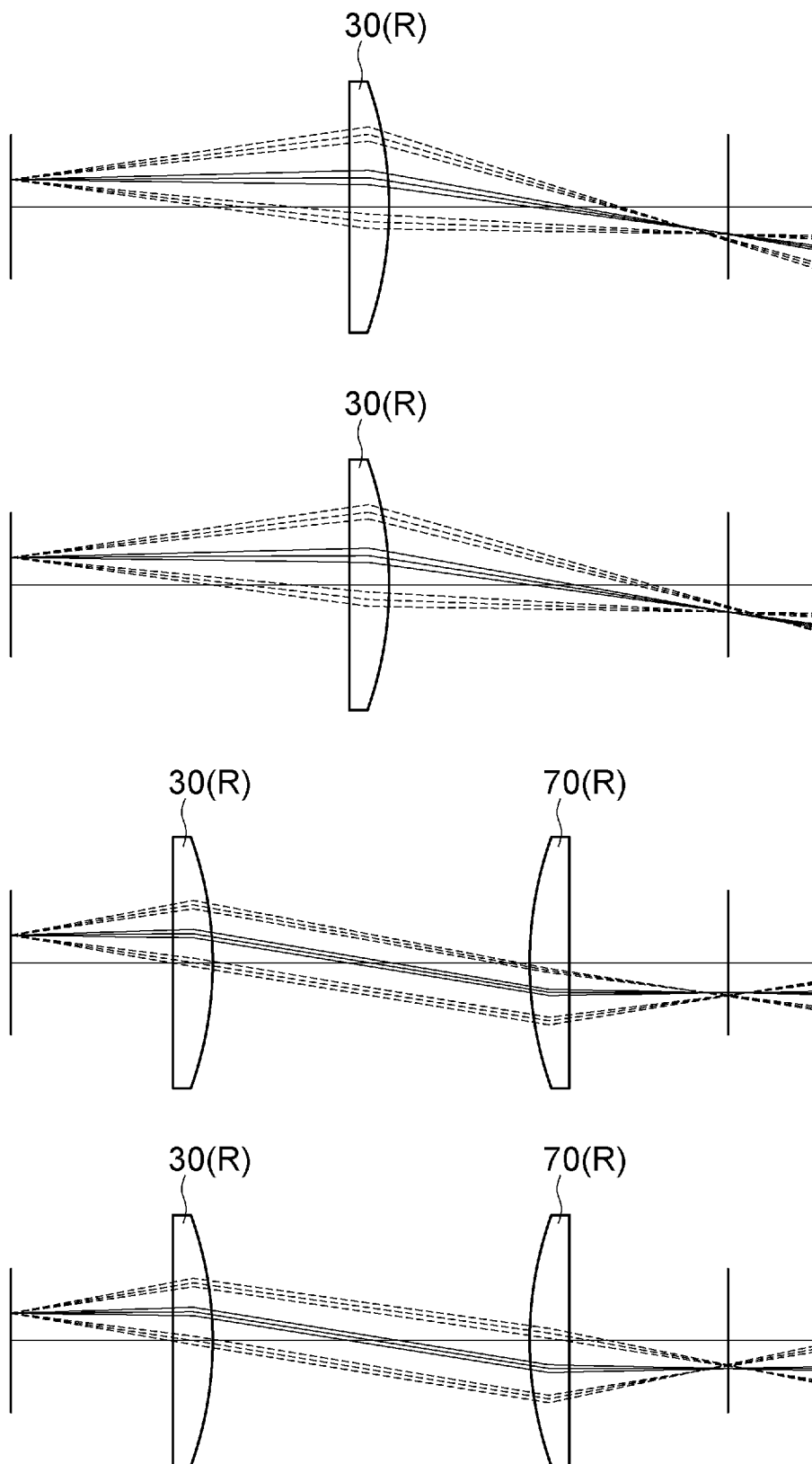
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/023217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02B6/32(2006.01) i, H01S3/10(2006.01) i
FI: G02B6/32, H01S3/10D

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)

Int.Cl. G02B6/26-6/35, H01S3/10

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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 A	WO 2020/080254 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 23 April 2020 (2020-04-23), paragraphs [0026]-[0041], fig. 1, 2	1-5, 8, 11-17 6-7, 9-10
Y	JP 2019-216162 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 19 December 2019 (2019-12-19), paragraph [0031], fig. 1	1-5, 8, 11-15
Y A	paragraphs [0017]-[0044], fig. 1	16-17 6-7, 9-10
Y	JP 2004-70311 A (NIPPON SHEET GLASS CO., LTD.) 04 March 2004 (2004-03-04), paragraph [0010]	5, 8, 11-17
Y	US 2016/0246015 A1 (COMMScope, INC. OF NORTH CAROLINA) 25 August 2016 (2016-08-25), fig. 6	14-17
Y	WO 2018/047867 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 15 March 2018 (2018-03-15), paragraph [0036], fig. 3	17



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

"I" 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 August 2021

Date of mailing of the international search report
31 August 2021

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/JP2021/023217

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2019-91061 A (OLYMPUS CORPORATION) 13 June 2019 (2019-06-13), paragraph [0029], fig. 3	6-7, 9-10
A	WO 2014/034726 A1 (KONICA MINOLTA, INC.) 06 March 2014 (2014-03-06), entire text, all drawings	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/023217

WO 2020/080254 A1	23 April 2020	CN 112840256 A
JP 2019-216162 A	19 December 2019	US 2019/0379175 A1 paragraph [0040], fig. 1, paragraphs [0026]-[0058], fig. 1-4B CN 110600976 A
JP 2004-70311 A	04 March 2004	US 2006/0165351 A1 paragraph [0021] WO 2003/107055 A1
US 2016/0246015 A1	25 August 2016	(Family: none)
WO 2018/047867 A1	15 March 2018	US 2019/0207358 A1 paragraph [0041], fig. 3 EP 3525300 A1 CN 109690886 A
JP 2019-91061 A	13 June 2019	(Family: none)
WO 2014/034726 A1	06 March 2014	US 2015/0260917 A1 entire text, all drawings CN 104603655 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/32(2006.01)i; H01S 3/10(2006.01)i FI: G02B6/32; H01S3/10 D		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B6/26-6/35; H01S3/10		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	WO 2020/080254 A1（住友電気工業株式会社）23.04.2020（2020-04-23） 段落[0026]-[0041], 図1-2	1-5, 8, 11-17 6-7, 9-10
Y Y A	JP 2019-216162 A（住友電気工業株式会社）19.12.2019（2019-12-19） 段落[0031], 図1 段落[0017]-[0044], 図1	1-5, 8, 11-15 16-17 6-7, 9-10
Y	JP 2004-70311 A（日本板硝子株式会社）04.03.2004（2004-03-04） 段落[0010]	5, 8, 11-17
Y	US 2016/0246015 A1（COMMScope, INC. OF NORTH CAROLINA）25.08.2016（2016-08-25） 図6	14-17
Y	WO 2018/047867 A1（住友電気工業株式会社）15.03.2018（2018-03-15） 段落[0036], 図3	17
☒ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 17.08.2021		国際調査報告の発送日 31.08.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 堀部 修平 2L 9215 電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2019-91061 A (オリンパス株式会社) 13.06.2019 (2019 - 06 - 13) 段落[0029], 図3	6-7, 9-10
A	WO 2014/034726 A1 (コニカミノルタ株式会社) 06.03.2014 (2014 - 03 - 06) 全文, 全図	1-17

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/023217

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2020/080254	A1	23.04.2020	CN	112840256	A	
JP	2019-216162	A	19.12.2019	US	2019/0379175	A1	
				段落[0040], 図1, 段落 [0026]-[0058], 図1-4B			
				CN	110600976	A	
JP	2004-70311	A	04.03.2004	US	2006/0165351	A1	
				段落[0021]			
				WO	2003/107055	A1	
US	2016/0246015	A1	25.08.2016	(ファミリーなし)			
WO	2018/047867	A1	15.03.2018	US	2019/0207358	A1	
				段落[0041], 図3			
				EP	3525300	A1	
				CN	109690886	A	
JP	2019-91061	A	13.06.2019	(ファミリーなし)			
WO	2014/034726	A1	06.03.2014	US	2015/0260917	A1	
				全文, 全図			
				CN	104603655	A	