

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5831403号
(P5831403)

(45) 発行日 平成27年12月9日(2015.12.9)

(24) 登録日 平成27年11月6日(2015.11.6)

(51) Int. Cl.		F I	
G02B 6/32	(2006.01)	G02B 6/32	
G02B 6/42	(2006.01)	G02B 6/42	

請求項の数 7 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2012-188471 (P2012-188471)	(73) 特許権者	000001270 コニカミノルタ株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
(22) 出願日	平成24年8月29日(2012.8.29)	(74) 代理人	110000866 特許業務法人三澤特許事務所
(65) 公開番号	特開2013-65002 (P2013-65002A)	(72) 発明者	楠村 淳司 東京都八王子市石川町2970番地 コニ カミノルタオプティクス株式会社内
(43) 公開日	平成25年4月11日(2013.4.11)	(72) 発明者	長井 史生 東京都八王子市石川町2970番地 コニ カミノルタテクノロジーセンター株式会社 内
審査請求日	平成26年9月9日(2014.9.9)		
(31) 優先権主張番号	特願2011-190787 (P2011-190787)		
(32) 優先日	平成23年9月1日(2011.9.1)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結合光学系及び結合方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の光源、複数の受光素子、及び複数のシングルコアファイバを束ねたファイバ束のうちいずれかの光学素子と、複数のコアがクラッドで覆われたマルチコアファイバとの間に配置され、前記光学素子と前記マルチコアファイバとを光学的に結合する結合光学系であって、前記光学素子及び前記マルチコアファイバの一方からなる入射側素子から入射する複数の光それぞれの開口数と、他方からなる出射側素子に向けて出射する複数の光それぞれの開口数とが等しくなるよう構成されており、

前記結合光学系は、

前記複数の光それぞれを収束させる第1光学系と、

前記複数の光の間隔を変更する第2光学系と、

を含み、

前記第1光学系は、複数のレンズがアレイ状に配置された構成であり、

前記第2光学系は、両側テレセントリック光学系であることを特徴とする結合光学系。

【請求項2】

前記第1光学系は、前記第2光学系よりも前記光学素子側に配置されていることを特徴とする請求項1記載の結合光学系。

【請求項3】

前記第1光学系の倍率及び前記第2光学系の倍率は、以下の式を満たす値であることを特徴とする請求項1又は2記載の結合光学系。

10

20

$$m \times r = 1$$

但し、

m：第1光学系の倍率

r：第2光学系の倍率

【請求項4】

前記複数のレンズ間のピッチが、前記複数の光源間のピッチ、前記複数の受光素子間のピッチ及び前記複数のシングルコアファイバ間のピッチのいずれかと等しいことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の結合光学系。

【請求項5】

前記第2光学系の倍率は、前記複数の光源間のピッチ、前記複数の受光素子間のピッチ及び前記複数のシングルコアファイバ間のピッチのいずれかと、前記マルチコアファイバのコア間のピッチとの比に等しいことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の結合光学系。

10

【請求項6】

前記入射側素子と、前記結合光学系と、前記出射側素子とは、前記入射側素子からの光の主光線それぞれが前記結合光学系の入射面に対して垂直に入射し、前記結合光学系の出射面から出射された前記光の主光線それぞれが前記出射側素子の受光面に対して垂直に入射する配置となっていることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の結合光学系。

【請求項7】

前記請求項1～6のいずれかに記載の結合光学系を用いて、前記入射側素子から入射する複数の光それぞれの開口数と、前記出射側素子に向けて出射する複数の光それぞれの開口数とが等しくなるよう、前記光学素子と前記マルチコアファイバとを結合させることを特徴とする結合方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、光通信等に用いられる光学素子を結合させる結合光学系及び結合方法に関する。

【背景技術】

【0002】

スマートフォンやタブレット端末等の普及により、莫大な情報量を有するデータの通信が要求されている。それに伴い、光通信の更なる大容量化が望まれている。

30

【0003】

従来の光通信は、クラッド内に一つのコアが設けられたシングルコアファイバを用いて行われている。しかし、一つのシングルコアファイバで通信を行う場合には容量の限界があるため、それを超える容量のデータ通信を行うための手段が要求されている。

【0004】

これに関し、たとえば、一つのクラッド内に複数のコアが設けられた光ファイバであるマルチコアファイバを用いることができる（特許文献1、2参照）。マルチコアファイバは複数のコアを有するため、シングルコアファイバに比べ、大容量のデータ通信を行うことが可能となる。

40

【0005】

光通信においては、このようなマルチコアファイバを、たとえば、シングルコアファイバを複数本束ねたファイバ束や、レーザーダイオード等の発光素子、フォトダイオード等の受光素子と光学的に結合させて使用する場合がある。以下、マルチコアファイバ、ファイバ束、発光素子及び受光素子の全て或いは一部を「光学素子」という場合がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平10-104443号公報

50

【特許文献2】特開平8 - 119656号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ここで、マルチコアファイバと他の光学素子とを光学的に結合する際には、結合効率の確保が問題となる。

【0008】

同じコア数のマルチコアファイバ同士を結合する場合、マルチコアファイバ同士の位置合わせを行うことで、コア同士を確実に結合することができる。従って、結合損失を生じ難く、高い結合効率を達成することができる。

10

【0009】

一方、マルチコアファイバと他の光学素子とを結合する場合には、結合効率が低下するという問題がある。たとえば、一般的に、マルチコアファイバの各コアは、ファイバ束の各シングルコアファイバの径より狭い間隔で配列されている。従って、ファイバ束とマルチコアファイバとを結合する場合にそのコア同士を確実に結合することが困難となる。よって、マルチコアファイバとファイバ束との間の結合効率が低下する。

【0010】

この発明は上記の問題点を解決するものであり、マルチコアファイバと他の光学素子とを結合する際に、結合効率の低下を抑制可能な結合光学系及びそれを用いた結合方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、請求項1記載の結合光学系は、複数の光源、複数の受光素子、及び複数のシングルコアファイバを束ねたファイバ束のうちのいずれかの光学素子と、複数のコアがクラッドで覆われたマルチコアファイバとの間に配置され、光学素子とマルチコアファイバとを光学的に結合する。結合光学系は、光学素子及びマルチコアファイバの一方からなる入射側素子から入射する複数の光それぞれの開口数と、他方からなる出射側素子に向けて出射する複数の光それぞれの開口数とが等しくなるよう構成されている。結合光学系は、第1光学系と、第2光学系とを含む。第1光学系は、複数の光それぞれを収束させる。第2光学系は、複数の光の間隔を変更する。第1光学系は、複数のレンズがアレイ状に配置された構成である。第2光学系は、両側テレセントリック光学系である。

30

また、上記課題を解決するために、請求項2記載の結合光学系は、請求項1記載の結合光学系であって、第1光学系は、第2光学系よりも光学素子側に配置されている。

また、上記課題を解決するために、請求項3記載の結合光学系は、請求項1又は2記載の結合光学系であって、第1光学系の倍率及び第2光学系の倍率は、以下の式を満たす値である。

$$m \times r = 1$$

但し、

m：第1光学系の倍率

r：第2光学系の倍率

40

また、上記課題を解決するために、請求項4記載の結合光学系は、請求項1～3のいずれかに記載の結合光学系であって、複数のレンズ間のピッチが、複数の光源間のピッチ、複数の受光素子間のピッチ及び複数のシングルコアファイバ間のピッチのいずれかと等しい。

また、上記課題を解決するために、請求項5記載の結合光学系は、請求項1～4のいずれかに記載の結合光学系であって、第2光学系の倍率は、複数の光源間のピッチ、複数の受光素子間のピッチ及び複数のシングルコアファイバ間のピッチのいずれかと、マルチコアファイバのコア間のピッチとの比に等しい。

また、上記課題を解決するために、請求項6記載の結合光学系は、請求項1～5のい

50

れかに記載の結合光学系であって、入射側素子と、結合光学系と、出射側素子とは、入射側素子からの光の主光線それぞれが結合光学系の入射面に対して垂直に入射し、結合光学系の出射面から出射された光の主光線それぞれが出射側素子の受光面に対して垂直に入射する配置となっている。

また、上記課題を解決するために、請求項7記載の結合方法は、請求項1～6のいずれかに記載の結合光学系を用いて、入射側素子から入射する複数の光それぞれの開口数と、出射側素子に向けて出射する複数の光それぞれの開口数とが等しくなるよう、光学素子とマルチコアファイバとを結合させる。

【発明の効果】

【0012】

光学素子とマルチコアファイバとを光学的に結合する結合光学系は、入射側素子から入射する複数の光それぞれの開口数と、出射側素子に向けて出射する複数の光それぞれの開口数とが等しくなるよう設計されている。従って、マルチコアファイバと他の光学素子とを結合する際に、結合効率の低下を抑制可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施形態に共通のマルチコアファイバを示す図である。

【図2】第1実施形態に係る結合光学系を示す図である。

【図3】第2実施形態に係る結合光学系を示す図である。

【図4A】第2実施形態に係る偏向光学系を示す図である。

【図4B】第2実施形態に係る偏向光学系の別例を示す図である。

【図5】第2実施形態に係る偏向光学系の別例を示す図である。

【図6】第3実施形態に係る結合光学系を示す図である。

【図7】第3実施形態に係る偏向光学系を示す図である。

【図8】第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2に係る結合部材を示す図である。

【図9】第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例3に係る結合部材を示す図である。

【図10】第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例4に係る結合部材を示す図である。

【図11A】第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2～4に係る結合部材を示す図である。

【図11B】第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2～4に係るマルチコアファイバを示す図である。

【図11C】第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2～4に係るマルチコアファイバ及び結合部材を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

[マルチコアファイバの構成]

図1を参照して、マルチコアファイバ1の構成について説明する。マルチコアファイバ1は、一般に可撓性を有する長尺の円柱部材である。図1は、マルチコアファイバ1の斜視図である。図1では、マルチコアファイバ1の先端部分のみを示している。

【0015】

マルチコアファイバ1は、たとえば石英ガラスやプラスチック等、光の透過性が高い素材により形成されている。マルチコアファイバ1は、複数のコア C_k ($k = 1 \sim n$)と、クラッド2を含んで構成されている。

【0016】

コア C_k は、光源(図示なし)からの光を伝送する伝送路である。コア C_k はそれぞれ端面 E_k ($k = 1 \sim n$)を有する。端面 E_k からは、光源(図示なし)で発せられた光が出射される。クラッド2よりも屈折率を高めるために、コア C_k は、たとえば石英ガラス

10

20

30

40

50

に酸化ゲルマニウム (GeO_2) が添加された素材により形成されている。なお、図 1 では 7 つのコア $C_1 \sim C_7$ を有する構成を示したが、コア C_k の数は少なくとも 2 つ以上であればよい。

【0017】

クラッド 2 は、複数のコア C_k を覆う部材である。クラッド 2 は、光源 (図示なし) からの光をコア C_k 内に閉じ込める役割を有する。クラッド 2 は端面 2 a を有する。コア C_k の端面 E_k 及びクラッド 2 の端面 2 a は同一面 (マルチコアファイバ 1 の端面 1 b) を形成している。クラッド 2 の素材としては、コア C_k の素材よりも屈折率が低い素材が用いられる。たとえば、コア C_k の素材が石英ガラスと酸化ゲルマニウムからなる場合には、クラッド 2 の素材としては石英ガラスを用いる。このように、コア C_k の屈折率をクラッド 2 の屈折率よりも高くすることで、光源 (図示なし) からの光をコア C_k とクラッド 2 の境界面で全反射させる。よって、コア C_k 内に光を伝送させることができる。

10

【0018】

< 第 1 実施形態 >

次に、図 2 を参照して、第 1 実施形態に係る結合光学系 2 0 の構成例を説明する。本実施形態では、ファイバ束 1 0 と、マルチコアファイバ 1 とを結合する場合について述べる。図 2 は、結合光学系 2 0、ファイバ束 1 0 及びマルチコアファイバ 1 の軸方向の断面図である。

【0019】

[ファイバ束の構成]

ファイバ束 1 0 は、複数のシングルコアファイバ 1 0 0 を含んで構成されている。ファイバ束 1 0 は、結合するマルチコアファイバ 1 のコア数 (本実施形態では 7 つ) と等しい数のシングルコアファイバ 1 0 0 (本実施形態では 7 本) が束ねられている。図 2 では 3 本のシングルコアファイバ 1 0 0 のみを示している。シングルコアファイバ 1 0 0 は、クラッド 1 0 1 の内部にコア C を含んで構成されている。コア C は、光源 (図示なし) からの光を伝送する伝送路である。コア C の端面 C a から出射された光は、所定の開口数 NA で結合光学系 2 0 の入射面 (後述) に入射する。なお、開口数 NA は、 $N \sin$ で定義される ($NA = N \sin$)。N は屈折率である。は、端面 C a から出射された光 (光束) が結合光学系 2 0 に入射する際の主光線 P r 及びマージナル光線 M r がなす角度である。

20

30

【0020】

[結合光学系の構成]

本実施形態に係る結合光学系 2 0 は、第 1 光学系 2 1 と、第 2 光学系 2 2 とを含んで構成されている。第 1 光学系 2 1 は、複数の光それぞれを収束させる機能を有している。第 2 光学系 2 2 は、複数の光の間隔を変更する機能を有している。

【0021】

本実施形態における第 1 光学系 2 1 は、ファイバ束 1 0 からの複数の光それぞれを収束させる機能を有している。第 1 光学系 2 1 は、アレイ状に配置された複数の凸レンズ 2 1 a を含んで構成されている。複数の凸レンズ 2 1 a は、ファイバ束 1 0 に含まれるシングルコアファイバ 1 0 0 と等しい数だけ設けられている。第 1 光学系 2 1 (凸レンズ 2 1 a) は、ファイバ束 1 0 の各端面 C a から出射された光 (主光線 P r) それぞれが、対応する凸レンズ 2 1 a の面に対して垂直に入射する位置に配置されている (なお、この場合には端面 C a が絞りとして機能している)。複数の凸レンズ 2 1 a は、そのピッチ P_m (隣り合う凸レンズ 2 1 a の光軸間距離) が複数のシングルコアファイバ 1 0 0 間のピッチ P_{out} (隣り合うシングルコアファイバ 1 0 0 の光軸間距離。たとえば、ファイバ束 1 0 の中心に配置されたファイバのコア C の光軸と、その周辺に配置されたファイバのコア C の光軸との間隔) と等しくなるよう配置されている。なお、第 1 光学系 2 1 は、第 2 光学系 2 2 よりもファイバ束 1 0 側に配置されている。本実施形態において、ファイバ束 1 0 からの光が入射する凸レンズ 2 1 a の面は、「入射面」の一例である。また、本実施形態における複数の凸レンズ 2 1 a は、「複数のレンズ」の一例である。

40

50

【0022】

第1光学系21(各凸レンズ21a)の倍率は、所定の倍率 m となるよう設計されている。また、第1光学系21(各凸レンズ21a)は、出射した光の開口数 NA' ($= N \sin \theta'$) が入射した光の開口数 NA よりも小さくなるよう設計されている。 θ' は、第1光学系21から出射した光(光束)が結像点 IP に到達する際の主光線 Pr 及びマージナル光線 Mr がなす角度である。

【0023】

本実施形態における第2光学系22は、第1光学系21からの複数の光の間隔を狭める機能を有している。第2光学系22は、2枚の凸レンズ22a、22bを含む両側テレセントリック光学系により構成されている。第2光学系22は、第1光学系21からの複数の光(主光線 Pr)それぞれが、対応するマルチコアファイバ1の各コア C_k の端面 E_k に対して垂直に入射する位置に配置されている。第2光学系22は、第2光学系22から出射した光(光束)が所定の開口数 NA'' ($= N \sin \theta''$) となるよう設計されている。 θ'' は、第2光学系22から出射された光(光束)がマルチコアファイバ1(各コア C_k の端面 E_k)に入射する際の主光線 Pr 及びマージナル光線 Mr がなす角度である。本実施形態において、第1光学系21からの光が出射される凸レンズ22bの面は、「出射面」の一例である。また、本実施形態において、端面 E_k は、「受光面」の一例である。

10

【0024】

また、本実施形態において、第2光学系22は、その倍率 r が複数のシングルコアファイバ100間のピッチ P_{out} とマルチコアファイバ1のコア C_k 間のピッチ P_{in} (マルチコアファイバ1における隣り合うコア C_k の光軸間距離。たとえば、マルチコアファイバ1の中心のコア C_1 の光軸と周辺のコア C_2 の光軸との間隔)との比と等しくなるよう設計されている。なお、倍率 r と、ピッチ P_{out} とピッチ P_{in} との比は、用いる光学素子の公差や設計上のバラツキにより、必ずしも等しくなる必要はない。少なくとも光伝送に必要な結合効率を確保できる値、たとえば、以下の式(1)を満たす値であればよい。

20

【0025】

$$0.9 \cdot r < P_{in} / P_{out} < 1.1 \cdot r \cdots (1)$$

【0026】

また、第1光学系21に入射する光の開口数 NA と第2光学系22から出射される光の開口数 NA'' が異なると結合効率の低下を招く。従って、本実施形態では、開口数 NA と開口数 NA'' が等しくなるよう結合光学系20が設計されている。

30

【0027】

更に、本実施形態においては、以下の式(2)を満たすように、第1光学系21の倍率 m 及び第2光学系22の倍率 r が設計されている。

【0028】

$$m \times r = 1 \cdots (2)$$

【0029】

なお、倍率 m と倍率 r との関係は、用いる光学素子の公差や設計上のバラツキにより、必ずしも式(2)の条件を満たす必要はない。少なくとも光伝送に必要な結合効率を確保できる値、たとえば、以下の式(3)を満たす値であればよい。

40

【0030】

$$0.9 < m \times r < 1.1 \cdots (3)$$

【0031】

また、上記説明では、第1光学系21から出射された光が第2光学系22に入射するように配置された結合光学系20の構成について述べたが、第1光学系21と第2光学系22の配置を逆にしてもよい。この場合も、第1光学系21の倍率 m 及び第2光学系22の倍率 r は式(2)または式(3)の関係を満たせばよい。

【0032】

50

[光の進み方について]

次に、図2を参照して、本実施形態に係る光の進み方について説明する。本実施形態では、ファイバ束10から光が出射する構成について説明する。すなわち、本実施形態におけるファイバ束10は、「入射側素子」の一例である。一方、本実施形態におけるマルチコアファイバ1は、「出射側素子」の一例である。

【0033】

まず、複数のシングルコアファイバ100内それぞれに設けられたコアCの端面Caから光が出射される。各端面Caから出射された光は、それぞれ拡散しながら、所定の開口数NAで第1光学系21(凸レンズ21a)に入射する。上述の通り、本実施形態では、端面Caから出射されたそれぞれの光(主光線Pr)は、第1光学系21(凸レンズ21aの面)に対して垂直に入射される。

10

【0034】

第1光学系21に入射した複数の光(主光線Pr)それぞれは、結像点IPを二次光源として第2光学系22(凸レンズ22aの面)に垂直に入射する。複数の光それぞれが第2光学系22に入射する場合の開口数(NA'に等しい)は、開口数NAよりも小さくなっている。従って、第2光学系22の構成を簡素化することが可能となる。

【0035】

また、第2光学系22は両側テレセントリックな光学系で形成されている。従って、第2光学系22に垂直に入射した複数の光(主光線Pr)は、互いの間隔が狭められた状態で第2光学系22(凸レンズ22bの面)から垂直に出射される。

20

【0036】

このとき、本実施形態では、第1光学系21の倍率m及び第2光学系22の倍率rが式(2)の関係を満たしている。従って、各端面Caから出射された光それぞれの開口数NAを変えことなく($NA = NA'$)マルチコアファイバ1の複数のコアC_k(端面E_k)に対し、対応する光(主光線Pr)を垂直に入射させることが可能となる。従って、光学素子間の結合効率が高い状態を維持したまま光の伝送が可能となる。

【0037】

具体例として、複数のシングルコアファイバ100間のピッチP_{out}が120μmのファイバ束10と、コアC_k間のピッチP_{in}が40μmのマルチコアファイバ1とを結合する場合について説明する。この場合、ピッチが1/3に縮小されるため、第1光学系21の倍率mを3とし、第2光学系22の倍率rを1/3とすれば、開口数NAを変えことなく($NA = NA'$)マルチコアファイバ1の複数のコアC_kに対し、対応する光(主光線Pr)を垂直入射させることが可能となる。

30

【0038】

ピッチP_{in}及びピッチP_{out}は、マルチコアファイバ1やファイバ束10の光学設計時に任意に設定することができる。たとえば、ピッチP_{out}は、100~150μm程度の間で設定できる。また、ピッチP_{in}は、たとえば、30~50μm程度の間で任意に設定できる。

【0039】

[変形例1]

本実施形態では、ファイバ束10から出射された複数の光を、結合光学系20を介してマルチコアファイバ1に導く例について説明したが、光を出射する対象はこれに限られない。たとえば、ファイバ束10の代わりに複数の光源を用いることも可能である。この場合、光源が「入射側素子」の一例である。また、この場合、上述の「P_{out}」は、隣り合う光源間のピッチ(たとえば、中心に配置される光源の出射面の中心と、その周辺に配置される光源の出射面の中心との距離)となる。

40

【0040】

[変形例2]

或いは、上述の結合光学系20を用い、マルチコアファイバ1(複数のコアC_k)から出射される複数の光それぞれを、ファイバ束10又は受光素子(図示なし)に導くことも

50

可能である。この場合、マルチコアファイバ1が、「入射側素子」の一例である。また、ファイバ束10又は受光素子が「出射側素子」の一例である。以下、マルチコアファイバ1から出射される光それぞれを、ファイバ束10に導く例について述べる。

【0041】

本変形例における第2光学系22は、マルチコアファイバ1から出射される複数の光の間隔を広げる機能を有している。本変形例において、マルチコアファイバ1からの光が入射する凸レンズ22bの面は、「入射面」の一例である。

【0042】

本変形例における第1光学系21は、第2光学系22からの複数の光それぞれを収束させる機能を有している。収束された光(主光線Pr)それぞれは、対応するコアCの端面Caに垂直に入射する。本変形例において、第2光学系22からの光が出射される第1光学系21(凸レンズ21a)の面は、「出射面」の一例である。また、本実施形態において、端面Caは、「受光面」の一例である。

10

【0043】

本変形例におけるは、第1光学系21から出射された光(光束)がファイバ束10(各シングルコアファイバ100)に入射する際の主光線Pr及びマージナル光線Mrがなす角度である。は、第2光学系22から出射された光(光束)が結像点IPに到達する際の主光線Pr及びマージナル光線Mrがなす角度である。は、マルチコアファイバ1から出射された光(光束)が第2光学系22に入射する際の主光線Pr及びマージナル光線Mrがなす角度である。

20

【0044】

なお、受光素子が「出射側素子」に当たる場合、上述の「P_{out}」は、隣り合う受光素子間のピッチ(たとえば、中心に配置される受光素子の受光面の中心と、その周辺に配置される受光素子の受光面の中心との距離)となる。

【0045】

[作用・効果]

本実施形態(変形例を含む)の作用及び効果について説明する。

【0046】

本実施形態に係る結合光学系20は、複数の光源、複数の受光素子、及び複数のシングルコアファイバ100を束ねたファイバ束10のいずれかを含む光学素子と、複数のコアC_kがクラッド2で覆われたマルチコアファイバ1との間に配置され、光学素子とマルチコアファイバ1とを光学的に結合する。結合光学系20は、光学素子及びマルチコアファイバ1の一方からなる入射側素子から入射する複数の光それぞれの開口数と、他方からなる出射側素子に向けて出射する複数の光それぞれの開口数とが等しくなるよう設計されている。

30

【0047】

より具体的には、本実施形態に係る結合光学系20は、第1光学系21と、第2光学系22とを含む。第1光学系21は、複数の光それぞれを収束させる。第2光学系22は、複数の光の間隔を変更(狭める・広げる)する。

【0048】

また、第1光学系21の倍率 m 及び第2光学系22の倍率 r は、以下の式(2)を満たす値に設計される。

40

$$m \times r = 1 \cdots \cdots (2)$$

【0049】

このように、結合光学系20に入射する光の開口数と結合光学系20から出射する光の開口数とが変わらないよう第1光学系21と第2光学系22を組み合わせることにより、結合効率を落とすことなく光を伝送することが出来る。すなわち、本実施形態における結合光学系20によれば、結合効率の低下を抑制しつつ、光学素子とマルチコアファイバ1とを光学的に結合することができる。

【0050】

50

また、本実施形態に係る結合光学系 20 は、第 1 光学系 21 は、第 2 光学系 22 よりも光学素子側に配置されている。

【0051】

光学系をこのように配置することで、第 1 光学系 21 から第 2 光学系 22 に入射する光の開口数 NA' (又は第 2 光学系 22 から第 1 光学系 21 に入射する光の開口数 NA') を小さく抑えることができるため、光学系の構成を簡素化することが可能となる。

【0052】

また、本実施形態に係る第 1 光学系 21 は、複数のレンズ 21a がアレイ状に配置された構成である。

【0053】

この場合、第 1 光学系 21 を同形状の単玉レンズを用いた簡素な構成で設計できる。

【0054】

また、本実施形態に係る結合光学系 20 は、複数のレンズ 21a 間のピッチ P_m が、複数の光源間のピッチ、複数の受光素子間のピッチ及び複数のシングルコアファイバ 100 間のピッチ P_{out} のいずれかと等しくなるよう設計されている。

【0055】

この場合、たとえば、複数のシングルコアファイバ 100 からの光 (主光線 Pr) それぞれを、対応する複数のレンズ 21a の面に垂直に入射させることができる (すなわち、シングルコアファイバ 100 からの光束を軸上光束として扱うことができる)。或いは、複数のレンズ 21a から出射された複数の光 (主光線 Pr) それぞれを複数のシングルコアファイバ 100 の端面 Ca や複数の受光素子の面に垂直に入射させることができる。従って、結合効率の低下を抑制することが可能となる。

【0056】

また、本実施形態に係る第 2 光学系 22 は、両側テレセントリック光学系である。

【0057】

また、本実施形態に係る第 2 光学系 22 の倍率 r は、複数の光源間のピッチ、複数の受光素子間のピッチ及び複数のシングルコアファイバ 100 間のピッチ P_{out} のいずれかと、マルチコアファイバ 1 のコア C_k 間のピッチ P_{in} との比に等しくなるよう設計されている。

【0058】

この場合、結合光学系 20 からの複数の光 (主光線 Pr) それぞれを、対応するマルチコアファイバ 1 のコア C_k (或いは、対応する複数の受光素子、ファイバ束 10) に垂直に入射させることが可能となる。従って、結合効率の低下を抑制することが可能となる。

【0059】

< 第 2 実施形態 >

次に、図 3 ~ 図 6 を参照して、第 2 実施形態に係る結合光学系 30 の構成例を説明する。本実施形態では、ファイバ束 10 と、マルチコアファイバ 1 とを結合する場合について述べる。図 3 は、結合光学系 30、ファイバ束 10 及びマルチコアファイバ 1 の軸方向の断面図である。なお、ファイバ束 10 の構成等、第 1 実施形態と同様の構成等については詳細な説明を省略する場合がある。

【0060】

[結合光学系の構成]

本実施形態に係る結合光学系 30 は、コリメート光学系 31 と、偏向光学系 32 と、結像光学系 33 とを含んで構成されている。

【0061】

コリメート光学系 31 は、ファイバ束 10 からの複数の光それぞれをコリメートさせる機能を有している。コリメート光学系 31 は、アレイ状に配置された複数のコリメートレンズ 31a を含んで構成されている。複数のコリメートレンズ 31a は、ファイバ束 10 に含まれるシングルコアファイバ 100 と等しい数だけ設けられている。コリメート光学系 31 (コリメートレンズ 31a) は、各端面 Ca から出射された光 (主光線 Pr) が、

10

20

30

40

50

対応するコリメートレンズ 3 1 a の面に対して垂直に入射する位置に配置されている（なお、この場合には端面 C a が絞りとして機能している）。複数のコリメートレンズ 3 1 a は、そのピッチ P_{c1} （隣り合うコリメートレンズ 3 1 a の光軸間距離。たとえば、中心に配置されたコリメートレンズ 3 1 a のレンズ中心と、その周辺に配置されたコリメートレンズ 3 1 a のレンズ中心との間隔）が複数のシングルコアファイバ 1 0 0 間のピッチ P_{out} （隣り合うシングルコアファイバ 1 0 0 の光軸間距離）と等しくなるよう配置されている。なお、コリメート光学系 3 1 は、偏向光学系 3 2 よりもファイバ束 1 0 側に配置されている。本実施形態において、ファイバ束 1 0 からの光が入射するコリメートレンズ 3 1 a の面は、「入射面」の一例である。

【 0 0 6 2 】

偏向光学系 3 2 は、入射する複数の光（本実施形態では、ファイバ束 1 0 からの光）を個別に偏向する機能を有している。本実施形態における偏向光学系 3 2 は、第 1 偏向プリズム 3 2 a 及び第 2 偏向プリズム 3 2 b を含んで構成されている。本実施形態における第 1 偏向プリズム 3 2 a は、「第 1 偏向光学系」の一例である。本実施形態における第 2 偏向プリズム 3 2 b は、「第 2 偏向光学系」の一例である。

【 0 0 6 3 】

本実施形態における第 1 偏向プリズム 3 2 a は、コリメート光学系 3 1（コリメートレンズ 3 1 a）でコリメートされた複数の光それぞれをコリメートされたまま所定の方向に偏向させる機能を有している。なお、図 3 に示すように、第 1 偏向プリズム 3 2 a は、その中央を通過する光は偏向されないよう設計されている。第 1 偏向プリズム 3 2 a は、入射する光の数に対応した入射面 3 2 1 a 及び出射面 3 2 2 a を有している。また、本実施形態における第 1 偏向プリズム 3 2 a は、コリメート光学系 3 1 からの複数の光（主光線 P_r ）それぞれが、対応する入射面 3 2 1 a に対して垂直に入射されるよう設計されている。

【 0 0 6 4 】

本実施形態において、入射面 3 2 1 a は平面で形成されている。出射面 3 2 2 a は、複数の光の数に対応した凸面に形成されている。ここで、出射面 3 2 2 a は、所定の角度だけ傾斜するよう設計されている。

【 0 0 6 5 】

この傾斜角度は、たとえば以下のようにして決定される。図 4 A は、第 1 偏向プリズム 3 2 a の断面の一部を拡大した図である。ここでは、第 1 偏向プリズム 3 2 a の出射面 3 2 2 a に入射する光（図では主光線 P_r のみ示す）の入射角度を i_n 、第 1 偏向プリズム 3 2 a により偏向されて出射する光（図では主光線 P_r のみ示す）の出射角度を θ_{out} 、複数のシングルコアファイバ 1 0 0 間のピッチを P_{out} 、マルチコアファイバ 1 のコア C_k 間のピッチを P_{in} 、第 1 偏向プリズム 3 2 a と第 2 偏向プリズム 3 2 b との間隔を t とする。なお、入射角度 i_n は、傾斜角度 θ と等しい。

【 0 0 6 6 】

このとき、出射角度 θ_{out} は、以下の式（4）により決定される。

【 0 0 6 7 】

$$\tan[\theta_{out}] = (P_{out} - P_{in}) / t \cdots (4)$$

【 0 0 6 8 】

また、第 1 偏向プリズム 3 2 a の母材屈折率を N 、出射側の媒質の屈折率を N' とした場合、入射角度 i_n は、以下の式（5）の関係が成り立つ。

【 0 0 6 9 】

$$N \sin[i_n] = N' \sin[\theta_{out}] \cdots (5)$$

【 0 0 7 0 】

たとえば、 P_{out} が $120 \mu\text{m}$ 、 P_{in} が $40 \mu\text{m}$ 、 t が 0.3mm で設計される場合、出射角度 θ_{out} は、約 14.9° となる。また、ここでは出射側の媒質は空気（ $N' = 1$ ）であるとする。この出射角度 θ_{out} に対し、第 1 偏向プリズム 3 2 a を母材屈折率が 1.6 の材料で形成するときには、入射角度 i_n は、約 9.25° となる。従っ

10

20

30

40

50

て、傾斜角度 θ が約 9.25° となるよう、第1偏向プリズム32aの出射面322aを設計することができる。

【0071】

なお、入射面321aを凸面とすることも可能である。この場合、傾斜角度 θ は、たとえば以下のようにして決定される。図4Bは、第1偏向プリズム32aの断面の一部を拡大した図である。ここでは、第1偏向プリズム32aの入射面321aに入射する光（図では主光線Prのみ示す）の入射角度を θ_{in} 、入射した光の偏向角度を θ_1 、入射面321aの垂線に対する入射した光の角度を θ_2 、第1偏向プリズム32aにより偏向されて出射する光（図では主光線Prのみ示す）の出射角度を θ_{out} 、複数のシングルコアファイバ100間のピッチを P_{out} 、マルチコアファイバ1のコア C_k 間の

10

ピッチを P_{in} 、第1偏向プリズム32aと第2偏向プリズム32bとの間隔を t とする。なお、入射角度 θ_{in} は、傾斜角度 θ と等しい。

【0072】

このとき、出射角度 θ_{out} は、上記式(4)により決定される。

【0073】

また、入射角度 θ_{in} 、偏向角度 θ_1 、角度 θ_2 は、以下の式(6)の関係となっている。

【0074】

$$\theta_2 = \theta_{in} - \theta_1 \cdots (6)$$

【0075】

また、第1偏向プリズム32aの母材屈折率を N 、出射側の媒質の屈折率を N' とした場合、以下の式(7)が成り立つ。

20

【0076】

$$N \sin[\theta_1] = N' \sin[\theta_{out}] \cdots (7)$$

【0077】

更に、入射角度 θ_{in} と角度 θ_2 は、スネルの法則により以下の式(8)の関係が成り立つ。

【0078】

$$N' \sin[\theta_{in}] = N \sin[\theta_2] \cdots (8)$$

【0079】

たとえば、 P_{out} が $120 \mu\text{m}$ 、 P_{in} が $40 \mu\text{m}$ 、 t が 0.3mm で設計される場合、出射角度 θ_{out} は、約 14.9° となる。また、ここでは出射側の媒質は空気 ($N' = 1$) であるとする。この出射角度 θ_{out} に対し、第1偏向プリズム32aを母材屈折率が1.6の材料で形成するときには、入射角度 θ_{in} は、約 24° となる。従って、傾斜角度 θ が約 24° となるよう、第1偏向プリズム32aの入射面321aを設計することができる。

30

【0080】

本実施形態における第2偏向プリズム32bは、第1偏向プリズム32aにより偏向された光それぞれを更に偏向させる機能を有している。本実施形態では、第2偏向プリズム32bからの複数の光（主光線Pr）それぞれが、結像光学系33に対して垂直に入射する方向に偏向させる。第2偏向プリズム32bで偏向された場合でも、複数の光それぞれがコリメートされた状態は変わらない。なお、図3に示すように、第2偏向プリズム32bは、その中央を通過する光は偏向されないよう設計されている。第2偏向プリズム32bは、入射する光の数に対応した入射面321b及び出射面322bを有している。本実施形態において、入射面321bは複数の光の数に対応した凹面で形成されている。出射面322bは、平面に形成されている。また、出射面322bを凹面とすることもできる。なお、第2偏向プリズム32bの凹面の傾斜角度は、上述の第1偏向プリズム32aの傾斜角度を求める方法と同様の手法により求めることができる。

40

【0081】

なお、本実施形態では、第1偏向プリズム32aと第2偏向プリズム32bが別体の構

50

成について説明したが、偏向光学系 3 2 は、1つの偏向プリズム 3 2' で構成されていてもよい。図 5 にその一例を示す。図 5 は、偏向プリズム 3 2' の側面図である。偏向プリズム 3 2' は、コリメート光学系 3 1 から光が入射する入射面 3 2' a 及び結像光学系 3 3 に対して光を出射する出射面 3 2' b が形成されている。入射面 3 2' a は、たとえば上述の第 1 偏向プリズム 3 2 a の出射面 3 2 2 a と同様に形成されている。出射面 3 2' b は、たとえば上述の第 2 偏向プリズム 3 2 b の入射面 3 2 1 b と同様に形成されている。

【 0 0 8 2 】

また、偏向光学系 3 2 は、所定の偏向度 R を有している。偏向度 R とは、偏向光学系 3 2 に入射する主光線 P r の角度と偏向光学系 3 2 から出射した主光線 P r の角度の変化量である。偏向度は、偏向光学系 3 2 に入射する光の光束高さ（中心の光束から他の光束までの距離）と偏向光学系 3 2 から出射する光の光束高さの比で表すこともできる。

10

【 0 0 8 3 】

偏向光学系 3 2 が第 1 偏向プリズム 3 2 a 及び第 2 偏向プリズム 3 2 b からなる場合、偏向度 R は、第 1 偏向プリズム 3 2 a に入射する主光線 P r の角度と第 2 偏向プリズム 3 2 b から出射した主光線 P r の角度の変化量である。なお、この場合、偏向度 R は、第 1 偏向プリズム 3 2 a の偏向度 R 1 及び第 2 偏向プリズム 3 2 b の偏向度 R 2 を合成したものともしえる。

【 0 0 8 4 】

本実施形態においては、第 1 偏向プリズム 3 2 a の偏向度 R 1 と第 2 偏向プリズム 3 2 b の偏向度 R 2 とが等しくなるよう設計されている。また、本実施形態においては、偏向度 R (R 1 + R 2) が、複数のシングルコアファイバ 1 0 0 間のピッチ P o u t とマルチコアファイバ 1 のコア C k 間のピッチ P i n との比に等しくなるよう設計されている。

20

【 0 0 8 5 】

結像光学系 3 3 は、偏向光学系 3 2 により偏向された複数の光（光束）それぞれを、マルチコアファイバ 1 の各コア C k に結像させる機能を有している。結像光学系 3 3 は、アレイ状に配置された複数の結像光学レンズ 3 3 a を含んで構成されている。複数の結像光学レンズ 3 3 a は、マルチコアファイバ 1 の各コア C k と等しい数だけ設けられている。結像光学系 3 3（結像光学レンズ 3 3 a）は、偏向光学系 3 2 から出射された光（主光線 P r）が、対応する各コア C k の端面 E k に対して垂直に入射する位置に配置されている。複数の結像光学レンズ 3 3 a は、そのピッチ P i m（隣り合う結像光学レンズ 3 3 a の光軸間距離。たとえば、中心に配置された結像光学レンズ 3 3 a のレンズ中心と、その周辺に配置された結像光学レンズ 3 3 a のレンズ中心との間隔）が各コア C k 間のピッチ P i n と等しくなるよう配置されている。結像光学系 3 3 は、出射した光（光束）が所定の開口数 N A' (= N s i n') となるよう設計されている。' は、結像光学系 3 3 から出射された光（光束）がマルチコアファイバ 1（各コア C k の端面 E k）に入射する際の主光線 P r 及びマージナル光線 M r がなす角度である。本実施形態において、偏向光学系 3 2 から光が出射される結像光学レンズ 3 3 a の面は、「出射面」の一例である。また、本実施形態において、端面 E k は、「受光面」の一例である。

30

【 0 0 8 6 】

また、コリメート光学系 3 1 に入射する光の開口数 N A と結像光学系 3 3 から出射される光の開口数 N A' が異なると結合効率の低下を招く。従って、本実施形態では、開口数 N A と開口数 N A' とが等しくなるよう結合光学系 3 0 が設計されている。

40

【 0 0 8 7 】

また、本実施形態では、開口数 N A と開口数 N A' とを等しくするため、コリメート光学系 3 1（コリメートレンズ 3 1 a）の焦点距離 f c 1 と結像光学系 3 3（結像光学レンズ 3 3 a）の焦点距離 f i m とが等しくなるよう結合光学系 3 0 が設計されている。

【 0 0 8 8 】

なお、焦点距離 f c 1 と焦点距離 f i m との関係は、用いる光学素子の公差や設計上のバラツキにより、必ずしも等しくする必要はない。少なくとも光伝送に必要な結合効率を

50

確保できる値、たとえば、以下の式(9)を満たす値であればよい。

【0089】

$$0.9 < f_{im} / f_{c1} < 1.1 \dots (9)$$

【0090】

[光の進み方について]

次に、図3を参照して、本実施形態に係る光の進み方について説明する。本実施形態では、ファイバ束10から光が出射する構成について説明する。すなわち、本実施形態におけるファイバ束10は、「入射側素子」の一例である。一方、本実施形態におけるマルチコアファイバ1は、「出射側素子」の一例である。

【0091】

まず、複数のシングルコアファイバ100内それぞれに設けられたコアCの端面Caから光が出射される。各端面Caから出射された光は、それぞれ拡散しながら、所定の開口数NAでコリメート光学系31(コリメートレンズ31a)に入射する。本実施形態では、端面Caから出射されたそれぞれの光(主光線Pr)は、コリメート光学系31(コリメートレンズ31aの面)に対して垂直に入射される。

【0092】

コリメート光学系31に入射した複数の光それぞれは、コリメートされ、第1偏向プリズム32aに入射する。第1偏向プリズム32aは、所定の偏向度R1で複数の光それぞれを個別に偏向させる。偏向された光それぞれは、第2偏向プリズム32bに入射する。

【0093】

第2偏向プリズム32bは、所定の偏向度R2で複数の光を個別に偏向させる。第2偏向プリズム32bで偏向された光それぞれは、結像光学系33に入射する。結像光学系33に入射した光それぞれは、対応するマルチコアファイバ1のコアC_kに入射する。

【0094】

このとき、本実施形態では、焦点距離f_{c1}と焦点距離f_{im}とが等しくなっている。従って、各端面Caから出射された光それぞれの開口数NAを変えることなく(NA=NA')マルチコアファイバ1の複数のコアC_k(端面E_k)に対し、対応する光(主光線Pr)を垂直に入射させることが可能となる。従って、光学素子間の結合効率が高い状態を維持したまま光の伝送が可能となる。

【0095】

具体例として、複数のシングルコアファイバ100間のピッチP_{out}が120μmのファイバ束10と、コアC_k間のピッチP_{in}が40μmのマルチコアファイバ1とを結合する場合について説明する。この場合、ピッチが1/3に縮小されるため、第1偏向プリズム32aの偏向度R1と第2偏向プリズム32bの偏向度R2を合成した値が3となるように設計すれば、開口数NAを変えることなく(NA=NA')マルチコアファイバ1の複数のコアC_kに対し、対応する光(主光線Pr)を垂直入射させることが可能となる。この場合、ピッチP_{c1}は120μm、ピッチP_{im}は40μmであることが望ましい。

【0096】

なお、ピッチP_{in}及びピッチP_{out}は、マルチコアファイバ1やファイバ束10の光学設計時に任意に設定することができる。たとえば、ピッチP_{out}は、100~150μm程度の間で設定できる。また、ピッチP_{in}は、たとえば、30~50μm程度の間で任意に設定できる。

【0097】

[変形例3]

本実施形態では、ファイバ束10から出射された複数の光を、結合光学系30を介してマルチコアファイバ1に導く例について説明したが、光を出射する対象はこれに限られない。たとえば、ファイバ束10の代わりに複数の光源を用いることも可能である。この場合、光源が「入射側素子」の一例である。また、この場合、上述の「P_{out}」は、隣り合う光源間のピッチとなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

[変形例 4]

或いは、上述の結合光学系 3 0 を用い、マルチコアファイバ 1 (複数のコア C_k) から出射される複数の光それぞれを、ファイバ束 1 0 又は受光素子 (図示なし) に導くことも可能である。この場合、マルチコアファイバ 1 が、「入射側素子」の一例である。また、ファイバ束 1 0 又は受光素子が「出射側素子」の一例である。以下、マルチコアファイバ 1 から出射される光それぞれを、ファイバ束 1 0 に導く例について述べる。

【 0 0 9 9 】

本変形例における結像光学系 3 3 は、マルチコアファイバ 1 から出射される複数の光それぞれをコリメートする機能を有している。すなわち、本変形例においては、結像光学系 3 3 が「コリメート光学系」に当たる。本変形例において、マルチコアファイバ 1 からの光が入射する結像光学レンズ 3 3 a の面は、「入射面」の一例である。また、本変形例における結像光学レンズ 3 3 a 間のピッチは、マルチコアファイバ 1 のコア C_k 間のピッチと等しくなっている。

10

【 0 1 0 0 】

本変形例における偏向光学系 3 2 は、結像光学系 3 3 からの複数の光それぞれを偏向させる機能を有している。偏向された光 (主光線 P_r) それぞれは、コリメート光学系 3 1 に垂直に入射する。

【 0 1 0 1 】

本変形例におけるコリメート光学系 3 1 は、偏向光学系 3 2 から出射される複数の光それぞれを、対応するシングルコアファイバ 1 0 0 のコア C に結像する機能を有している。すなわち、本変形例においては、コリメート光学系 3 1 が「結像光学系」に当たる。本変形例において、偏向光学系 3 2 からの光が出射されるコリメート光学系 3 1 (コリメートレンズ 3 1 a) の面は、「出射面」の一例である。また、本変形例において、端面 C_a は、「受光面」の一例である。また、本変形例において、コリメートレンズ 3 1 a 間のピッチは、シングルコアファイバ 1 0 0 のコア C 間のピッチと等しくなっている。

20

【 0 1 0 2 】

本変形例において、偏向光学系 3 2 として実施形態と同様、複数の偏向光学系 (第 1 偏向プリズム 3 2 a、第 2 偏向プリズム 3 2 b) を用いる場合、第 1 偏向プリズム 3 2 a が「第 2 偏向光学系」の一例となる。また、第 2 偏向プリズム 3 2 b が「第 1 偏向光学系」の一例となる。

30

【 0 1 0 3 】

本変形例における は、コリメート光学系 3 1 から出射された光 (光束) がファイバ束 1 0 (各シングルコアファイバ 1 0 0) に入射する際の主光線 P_r 及びマージナル光線 M_r がなす角度である。 は、マルチコアファイバ 1 から出射された光 (光束) が結像光学系 3 3 に入射する際の主光線 P_r 及びマージナル光線 M_r がなす角度である。

【 0 1 0 4 】

また、「出射側素子」として受光素子を用いる場合、本変形例における偏向度 R は、複数の受光素子間のピッチと、マルチコアファイバ 1 のコア C_k 間のピッチとの比に等しい。また、この場合、コリメートレンズ 3 1 a 間のピッチは、受光素子間のピッチと等しくなっている。

40

【 0 1 0 5 】

[作用・効果]

本実施形態 (変形例を含む) の作用及び効果について説明する。

【 0 1 0 6 】

本実施形態に係る結合光学系 3 0 は、入射する複数の光を個別に偏向する偏向光学系 3 2 を含む。

【 0 1 0 7 】

このように、結合光学系 3 0 に偏向光学系 3 2 を用いた場合にも結合効率を落とすことなく光を伝送することが出来る。すなわち、本実施形態における結合光学系 3 0 によれば

50

、結合効率の低下を抑制しつつ、光学素子とマルチコアファイバ1とを光学的に結合することができる。

【0108】

また、本実施形態に係る結合光学系30は、コリメート光学系31を有する。コリメート光学系31（コリメートレンズ31a）は、入射側素子のいずれかからの光をコリメートする。偏向光学系32は、コリメート光学系31でコリメートされた光を偏向する。

【0109】

コリメート光学系31をこのように配置することで、結合光学系30の構成を簡素化することが可能となる。

【0110】

また、本実施形態に係るコリメート光学系31は、複数のコリメートレンズ31aがアレイ状に配置された構成である。

【0111】

この場合、コリメート光学系31を同形状の単玉レンズを用いた簡素な構成で設計できる。

【0112】

また、本実施形態に係る複数のコリメートレンズ31a間のピッチ P_{c1} は、複数の光源間のピッチ、複数のシングルコアファイバ間のピッチ P_{out} 及びマルチコアファイバのコア間のピッチ P_{in} のいずれかと等しくなるよう設計されている。

【0113】

この場合、たとえば、複数のシングルコアファイバ100からの光（主光線 P_r ）それぞれをコリメートレンズ31aの面に垂直に入射させることができる（すなわち、シングルコアファイバ100からの光束を軸上光束として扱うことができる）。或いは、コリメートレンズ31aから出射された複数の光（主光線 P_r ）それぞれを複数のシングルコアファイバ100の端面Caや複数の受光素子の面に垂直に入射させることができる。従って、結合効率の低下を抑制することが可能となる。

【0114】

また、本実施形態に係る偏向光学系32は、第1偏向光学系（第1偏向プリズム32a）及び第2偏向光学系（第2偏向プリズム32b）を含んで構成されている。第1偏向光学系は、入射する複数の光を偏向する。第2偏向光学系は、第1偏向光学系により偏向された複数の光を更に偏向する。

【0115】

このように、複数の偏向光学系を用いる場合にも結合効率を落とすことなく光を伝送することが出来る。すなわち、本実施形態における結合光学系30によれば、結合効率の低下を抑制しつつ、光学素子とマルチコアファイバ1とを光学的に結合することができる。

【0116】

また、本実施形態に係る第1偏向光学系及び第2偏向光学系は、一方の片面が凸形状に形成されており、他方の片面が凹形状に形成されている。

【0117】

また、本実施形態に係る偏向光学系32は、第1偏向光学系の偏向度 R_1 と第2偏向光学系の偏向度 R_2 が等しくなるよう設計されている。

【0118】

また、本実施形態に係る偏向光学系32の偏向度 R は、複数の光源間のピッチ、複数の受光素子間のピッチ及び複数のシングルコアファイバ間のピッチ P_{out} のいずれかと、マルチコアファイバ1のコア C_k 間のピッチ P_{in} との比に等しくなるよう設計されている。

【0119】

偏向光学系32をこのように構成することにより、入射側素子から入射した光（主光線 P_r ）それぞれを出射側素子の面に対して垂直に入射させることができる。すなわち、結合効率の低下を抑制することが可能となる。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 0 】

また、本実施形態に係る結合光学系 3 0 は、結像光学系 3 3 (結像光学レンズ 3 3 a) を含む。結像光学系 3 3 は、偏向光学系 3 2 により偏向された光を、出射側素子のいずれかに結像させる。

【 0 1 2 1 】

また、本実施形態に係る結像光学レンズ 3 3 a は、複数のレンズがアレイ状に配置された構成である。

【 0 1 2 2 】

また、本実施形態に係る結像光学レンズ 3 3 a 間のピッチ P_{im} は、複数のシングルコアファイバ 1 0 0 間のピッチ P_{out} 、受光素子間のピッチ及びマルチコアファイバ 1 のコア C_k 間のピッチ P_{in} のいずれかと等しくなるよう設計されている。

10

【 0 1 2 3 】

このように、結像光学系 3 3 を構成することにより、結像光学系 3 3 から出射する光 (主光線 P_r) それぞれを出射側素子の面に対して垂直に入射させることができる。すなわち、結合効率の低下を抑制することが可能となる。

【 0 1 2 4 】

また、本実施形態において、コリメートレンズ 3 1 a の焦点距離 f_{c1} と結像光学レンズ 3 3 a の焦点距離 f_{im} とが等しくなるよう設計されている。

【 0 1 2 5 】

このような構成により、結合光学系 3 0 に入射する光の開口数と結合光学系 3 0 から出射する光の開口数とが変わらないようにできるため、結合効率を落とすことなく光を伝送することが出来る。すなわち、本実施形態における結合光学系 3 0 によれば、結合効率の低下を抑制しつつ、光学素子とマルチコアファイバ 1 とを光学的に結合することができる。

20

【 0 1 2 6 】

< 第 3 実施形態 >

次に、図 6 及び図 7 を参照して、第 3 実施形態に係る結合光学系 3 0 ' の構成例を説明する。本実施形態では、ファイバ束 1 0 と、マルチコアファイバ 1 とを結合する場合について述べる。図 6 は、結合光学系 3 0 '、ファイバ束 1 0 及びマルチコアファイバ 1 の軸方向の断面図である。なお、ファイバ束 1 0 の構成等、第 1 及び第 2 実施形態と同様の構成等については詳細な説明を省略する場合がある。

30

【 0 1 2 7 】

[結合光学系の構成]

本実施形態に係る結合光学系 3 0 ' は、コリメート光学系 3 1 と、偏向光学系 3 4 と、結像光学系 3 3 とを含んで構成されている。コリメート光学系 3 1 及び結像光学系 3 3 は第 2 実施形態と同様の構成である。

【 0 1 2 8 】

本実施形態における偏向光学系 3 4 は、第 1 回折光学系 3 4 a 及び第 2 回折光学系 3 4 b を含んで構成されている。本実施形態における第 1 回折光学系 3 4 a は、「第 1 偏向光学系」の一例である。本実施形態における第 2 回折光学系 3 4 b は、「第 2 偏向光学系」の一例である。

40

【 0 1 2 9 】

本実施形態における第 1 回折光学系 3 4 a は、コリメート光学系 3 1 (コリメートレンズ 3 1 a) でコリメートされた複数の光それぞれをコリメートされたまま回折により所定の方向に偏向させる機能を有している。なお、図 6 に示すように、第 1 回折光学系 3 4 a は、その中央を通過する光は偏向されないよう設計されている。第 1 回折光学系 3 4 a は、入射する光の数に対応した入射面 3 4 1 a 及び出射面 3 4 2 a・3 4 3 a を有している。また、本実施形態における第 1 回折光学系 3 4 a は、コリメート光学系 3 1 からの複数の光 (主光線 P_r) それぞれが、対応する入射面 3 4 1 a に対して垂直に入射されるよう設計されている。

50

【 0 1 3 0 】

入射面 3 4 1 a は平面に形成されている。入射面 3 4 1 a には、コリメート光学系 3 1 からの光が入射する。

【 0 1 3 1 】

出射面 3 4 2 a は、鋸歯状の突起部からなる回折格子として形成されている。一方、出射面 3 4 3 a には、回折格子が形成されていない。従って、出射面 3 4 3 a を通過する光は、回折により偏向されることはない。

【 0 1 3 2 】

図 7 は、出射面 3 4 2 a 及び出射面 3 4 3 a を図 6 の矢印 A 方向から見た図である。図 7 に示すように、本実施形態における出射面 3 4 2 a 及び出射面 3 4 3 a は、7 本のシングルコアファイバ 1 0 0 からの光それぞれを出射させる 7 つの面 F_k ($F_1 \sim F_7$) を有する。このうち、面 F_1 (出射面 3 4 3 a) は、シングルコアファイバ 1 0 0 からの光を偏向させずに透過させる。面 $F_2 \sim F_7$ (出射面 3 4 2 a) には、ピッチ d (突起部の間隔) で回折格子が形成されている。本実施形態において、回折格子のピッチ d は全て等しいものとする。

10

【 0 1 3 3 】

このピッチ d は、たとえば以下のようにして決定される。ここでは、出射面 3 4 2 a に入射する光の入射角度を i_n 、出射面 3 4 2 a により偏向されて出射する光の出射角度を θ_{out} 、第 1 回折光学系 3 4 a の母材屈折率を N 、出射側の媒質の屈折率を N' 、回折次数を m 、入射する光の波長を λ とする。

20

【 0 1 3 4 】

このとき、ピッチ d は、以下の式 (1 0) により決定される。

【 0 1 3 5 】

$$N \sin [i_n] - N' \sin [\theta_{out}] = m \lambda / d \cdots (1 0)$$

【 0 1 3 6 】

ここで、図 6 に示すように、光が出射面 3 4 2 a に対して垂直に入射する。このとき、使用する回折次数を 1 とすれば、ピッチ d は、以下の式 (1 1) により決定される。なお、出射側の媒質は空気 ($N' = 1$) であるとする。

【 0 1 3 7 】

$$N - \sin [\theta_{out}] = \lambda / d \cdots (1 1)$$

30

【 0 1 3 8 】

本実施形態における第 2 回折光学系 3 4 b は、第 1 回折光学系 3 4 a により偏向された光それぞれを更に偏向させる機能を有している。本実施形態では、第 2 回折光学系 3 4 b からの複数の光 (主光線 P_r) それぞれが、結像光学系 3 3 に対して垂直に入射する方向に偏向させる。第 2 回折光学系 3 4 b で偏向された場合でも、複数の光それぞれがコリメートされた状態は変わらない。なお、図 6 に示すように、第 2 回折光学系 3 4 b は、その中央を通過する光は偏向されないよう設計されている。第 2 回折光学系 3 4 b は、入射する光の数に対応した入射面 3 4 1 b ・ 3 4 2 b 及び出射面 3 4 3 b を有している。

【 0 1 3 9 】

入射面 3 4 1 b は、鋸歯状の突起部からなる回折格子として形成されている。一方、入射面 3 4 2 b には、回折格子が形成されていない。従って、入射面 3 4 2 b を通過する光は、回折により偏向されることはない。入射面 3 4 1 b ・ 3 4 2 b には、第 1 回折光学系 3 4 a からの光が入射する。

40

【 0 1 4 0 】

出射面 3 4 3 b は平面に形成されている。出射面 3 4 3 b から出射された複数の光 (主光線 P_r) それぞれは、結像光学系 3 3 (結像光学レンズ 3 3 a) に対して垂直に入射する。なお、第 2 回折光学系 3 4 b におけるピッチは、上述の第 1 回折光学系 3 4 a においてピッチ d を求める方法と同様の手法により求めることができる。

【 0 1 4 1 】

[光の進み方について]

50

次に、図6を参照して、本実施形態に係る光の進み方について説明する。本実施形態では、ファイバ束10から光が出射する構成について説明する。すなわち、本実施形態におけるファイバ束10は、「入射側素子」の一例である。一方、本実施形態におけるマルチコアファイバ1は、「出射側素子」の一例である。

【0142】

まず、複数のシングルコアファイバ100内それぞれに設けられたコアCの端面Caから光が出射される。各端面Caから出射された光は、それぞれ拡散しながら、所定の開口数NAでコリメート光学系31(コリメートレンズ31a)に入射する。本実施形態では、端面Caから出射されたそれぞれの光(主光線Pr)は、コリメート光学系31(コリメートレンズ31aの面)に対して垂直に入射される。

10

【0143】

コリメート光学系31に入射した複数の光それぞれは、コリメートされ、第1回折光学系34aに入射する。第1回折光学系34aは、入射した複数の光を回折格子により個別に偏向させる。偏向された光それぞれは、第2回折光学系34bに入射する。

【0144】

第2回折光学系34bは、入射した複数の光を個別に偏向させる。第2回折光学系34bで偏向された光それぞれは、結像光学系33に入射する。結像光学系33に入射した光それぞれは、対応するマルチコアファイバ1のコアC_kに入射する。

【0145】

このとき、本実施形態では、焦点距離 f_{c1} と焦点距離 f_{im} とが等しくなっている。従って、各端面Caから出射された光それぞれの開口数NAを変えなく($NA = NA'$)マルチコアファイバ1の複数のコアC_k(端面E_k)に対し、対応する光(主光線Pr)を垂直に入射させることが可能となる。従って、光学素子間の結合効率が高い状態を維持したまま光の伝送が可能となる。

20

【0146】

[変形例5]

本実施形態では、ファイバ束10から出射された複数の光を、結合光学系30'を介してマルチコアファイバ1に導く例について説明したが、光を出射する対象はこれに限られない。たとえば、ファイバ束10の代わりに複数の光源を用いることも可能である。この場合、光源が「入射側素子」の一例である。また、この場合、上述の「P_{out}」は、隣り合う光源間のピッチとなる。

30

【0147】

[変形例6]

或いは、上述の結合光学系30'を用い、マルチコアファイバ1(複数のコアC_k)から出射される複数の光それぞれを、ファイバ束10又は受光素子(図示なし)に導くことも可能である。この場合、マルチコアファイバ1が、「入射側素子」の一例である。また、ファイバ束10又は受光素子が「出射側素子」の一例である。以下、マルチコアファイバ1から出射される光それぞれを、ファイバ束10に導く例について述べる。

【0148】

本変形例における結像光学系33は、マルチコアファイバ1から出射される複数の光それぞれをコリメートする機能を有している。すなわち、本変形例においては、結像光学系33が「コリメート光学系」に当たる。本変形例において、マルチコアファイバ1からの光が入射する結像光学レンズ33aの面は、「入射面」の一例である。また、本変形例における結像光学レンズ33a間のピッチは、マルチコアファイバ1のコアC_k間のピッチと等しくなっている。

40

【0149】

本変形例における偏向光学系34は、結像光学系33からの複数の光それぞれを回折格子により偏向させる機能を有している。偏向された光(主光線Pr)それぞれは、コリメート光学系31に垂直に入射する。

【0150】

50

本変形例におけるコリメート光学系 3 1 は、偏向光学系 3 4 から出射される複数の光それぞれを、対応するシングルコアファイバ 1 0 0 のコア C に結像する機能を有している。すなわち、本変形例においては、コリメート光学系 3 1 が「結像光学系」に当たる。本変形例において、偏向光学系 3 4 からの光が出射されるコリメート光学系 3 1 (コリメートレンズ 3 1 a) の面は、「出射面」の一例である。また、本変形例において、端面 C a は、「受光面」の一例である。また、本変形例において、コリメートレンズ 3 1 a 間のピッチは、シングルコアファイバ 1 0 0 のコア C 間のピッチと等しくなっている。

【 0 1 5 1 】

本変形例において、偏向光学系 3 4 として実施形態と同様、複数の偏向光学系 (第 1 回折光学系 3 4 a、第 2 回折光学系 3 4 b) を用いる場合、第 1 回折光学系 3 4 a が「第 2 偏向光学系」の一例となる。また、第 2 回折光学系 3 4 b が「第 1 偏向光学系」の一例となる。

10

【 0 1 5 2 】

本変形例における は、コリメート光学系 3 1 から出射された光 (光束) がファイバ束 1 0 (各シングルコアファイバ 1 0 0) に入射する際の主光線 P r 及びマージナル光線 M r がなす角度である。 ' は、マルチコアファイバ 1 から出射された光 (光束) が結像光学系 3 3 に入射する際の主光線 P r 及びマージナル光線 M r がなす角度である。

【 0 1 5 3 】

また、「出射側素子」として受光素子を用いる場合、本変形例における偏向度 R は、複数の受光素子間のピッチと、マルチコアファイバ 1 のコア C_k 間のピッチとの比に等しい。また、この場合、コリメートレンズ 3 1 a 間のピッチは、受光素子間のピッチと等しくなっている。

20

【 0 1 5 4 】

[作用・効果]

本実施形態 (変形例を含む) の作用及び効果について説明する。

【 0 1 5 5 】

本実施形態に係る第 1 偏向光学系 (第 1 回折光学系 3 4 a) 及び第 2 偏向光学系 (第 2 回折光学系 3 4 b) は、それぞれの片面の少なくとも一部が回折格子として形成されている。

【 0 1 5 6 】

このように、偏向光学系として回折光学系 (第 1 回折光学系 3 4 a 及び第 2 回折光学系 3 4 b) を用いた場合にも結合効率を落とすことなく光を伝送することが出来る。すなわち、本実施形態における結合光学系 3 0 ' によれば、結合効率の低下を抑制しつつ、光学素子とマルチコアファイバ 1 とを光学的に結合することができる。

30

【 0 1 5 7 】

[第 1 実施形態から第 3 実施形態に共通の変形例 1]

上記実施形態では、マルチコアファイバ 1 のコア C_k の間隔が等しい場合について説明したが、コア C_k の間隔が各々異なっている場合や、コア C_k の内幾つかの間隔が等しく他は間隔が異なるといった、コア C_k の間隔について複数の間隔設定がある場合にも上記構成は応用可能である。この場合、それぞれのコア C_k の位置に応じて結合光学系 2 0 の設計を行えばよい。たとえば、第 1 実施形態においては、コア C_k の位置に応じて第 1 光学系 2 1 及び第 2 光学系 2 2 の倍率設定を行えばよい。この場合、それぞれのコア C_k の位置に応じて、式 (2) または式 (3) にある倍率関係で、それぞれのコア C_k に対する光学系を設計する。このとき、たとえば図 2 に示す第 2 光学系 2 2 をアレイ状に構成する等すれば、所望の要件を満たすことが可能となる。光学系第 2 実施形態においては、コア C_k の位置に応じて偏向度の設定を行えばよい。この場合、それぞれのコア C_k の位置に応じて、偏向プリズム 3 2 a、3 2 b、または 3 2 ' の複数の入射面、出射面の角度について、それぞれの面において、第 2 実施形態の説明と同様の方法で偏向度設定すればよい。第 3 実施形態においては、コア C_k の位置に応じ、第 1 回折光学系 3 4 a 及び第 2 回折光学系 3 4 b それぞれの面 F_k における回折格子のピッチ d を変更すればよい。

40

50

【 0 1 5 8 】

[第 1 実施形態から第 3 実施形態に共通の変形例 2]

ファイバ束 1 0 とマルチコアファイバ 1 との間を媒体で充填することも可能である。

【 0 1 5 9 】

[結合部材の構成]

図 8 は、結合部材 2 0、ファイバ束 1 0 及びマルチコアファイバ 1 の軸方向の断面を示す概念図である。本変形例に係る結合部材 2 0 は、一端がファイバ束 1 0 と接し、他端がマルチコアファイバ 1 と接する。結合部材 2 0 は、所定の媒体で充填されている。所定の媒体は、空気以外の媒体であり、たとえば、石英ガラスや B K 7 が用いられる。結合部材 2 0 とファイバ束 1 0 (マルチコアファイバ 1) とは、対向する端面同士が接着剤等により固定される。接着剤は、コア C (コア C a) の屈折率と同程度の屈折率を有する。

10

【 0 1 6 0 】

また、結合部材 2 0 は、ファイバ束 1 0 の各光路 (シングルコアファイバ 1 0 0) からの光それぞれのモードフィールド径を変更し、且つモードフィールド径が変更された光の間隔を変更してマルチコアファイバ 1 の各コア (コア C_k) へ導く。なお、モードフィールド径とは、ある対象から実際に出射される光の直径をいう。たとえば、シングルコアファイバ 1 0 0 のコア C 内を通過する光は、コア C 周辺のクラッド 1 0 1 側にもわずかに漏れている。よって、シングルコアファイバ 1 0 0 から出射される光は、コア C からだけでなく、コア C 周辺のクラッド 1 0 1 から出射する。すなわち、シングルコアファイバ 1 0 0 から出射する光の径は、コア C の径よりも大きくなる。この「シングルコアファイバ 1 0 0 から出射する光の径」は、モードフィールド径の一例である。

20

【 0 1 6 1 】

本変形例における結合部材 2 0 は、第 1 光学系 2 1 と、第 2 光学系 2 2 とを含んで構成されている。第 1 光学系 2 1 は、シングルコアファイバ 1 0 0 から入射される光それぞれのモードフィールド径を変更して第 2 光学系 2 2 へ入射させる。第 2 光学系 2 2 は、第 1 光学系 2 1 から入射される光の間隔を変更し、マルチコアファイバ 1 のコア C_k の間隔に合わせる。なお、第 1 光学系 2 1 及び第 2 光学系 2 2 のレンズ部分を構成する媒体 A 2 とそれ以外の部分を構成する媒体 A 1 とは屈折率が異なる。媒体 A 1 は、「第 1 媒体」の一例である。媒体 A 2 は、「第 2 媒体」の一例である。また、本変形例における第 1 光学系 2 1 及び第 2 光学系 2 2 は、媒体 A 1 を介して一体に形成されている (第 1 光学系 2 1 及び第 2 光学系 2 2 は連続的に形成されている)。

30

【 0 1 6 2 】

媒体 A 1 の屈折率は、シングルコアファイバ 1 0 0 のコア C の屈折率またはマルチコアファイバ 1 のコア C_k の屈折率と等しい材料であることが望ましい。たとえば、マルチコアファイバ 1 のコア C_k が石英ガラスに酸化ゲルマニウム (GeO₂) が添加された素材により形成されている場合、媒体 A 1 としても同じ石英ガラスに酸化ゲルマニウムが添加された材料が用いられる (或いは、コア C_k と屈折率が同程度になる別の材料を使用してもよい)。

【 0 1 6 3 】

本変形例における第 1 光学系 2 1 は、ファイバ束 1 0 の各シングルコアファイバ 1 0 0 からの光それぞれのモードフィールド径を拡大する拡大光学系である。第 1 光学系 2 1 は、アレイ状に配置された複数の凸レンズ部 2 1 a を含んで構成されている。複数の凸レンズ部 2 1 a は、媒体 A 2 からなり、媒体 A 1 中に配置されている。複数の凸レンズ部 2 1 a は、ファイバ束 1 0 からの光それぞれのモードフィールド径を変更する必要があるため、ファイバ束 1 0 に含まれるシングルコアファイバ 1 0 0 と等しい数だけ設けられている。第 1 光学系 2 1 (凸レンズ部 2 1 a) は、ファイバ束 1 0 の各端面 C a から出射された光の主光線 P r それぞれが、対応する凸レンズ部 2 1 a の面に対して垂直に入射する位置に配置されている (凸レンズ部 2 1 a は、各コア C と同じ光軸上に配置されている)。凸レンズ部 2 1 a は、コア C のモードフィールド径より大きな径を有し、コア C からの光を集光する。本変形例における複数の凸レンズ部 2 1 a は、「複数のレンズ」の一例である

40

50

【 0 1 6 4 】

本変形例における第2光学系22は、第1光学系21からの光（モードフィールド径が拡大された複数の光）の間隔を狭めてマルチコアファイバ1のコア C_1 ～コア C_7 に導く縮小光学系である。第2光学系22は、2枚の凸レンズ部（凸レンズ部22a、凸レンズ部22b）を含む両側テレセントリック光学系により構成されている。凸レンズ部22a及び凸レンズ部22bは、媒体A2からなり、媒体A1中に配置されている。凸レンズ部22a及び凸レンズ部22bが一組だけ設けられているのは、複数の凸レンズ部21aからの光の間隔を変更するためである。第2光学系22は、第1光学系21からの光の主光線Prそれぞれが、対応するマルチコアファイバ1の各コア C_k の端面 E_k に対して垂直に入射する位置に配置されている。

10

【 0 1 6 5 】

[光の進み方について]

次に、図8を参照して、本実施形態に係る光の進み方について説明する。本変形例では、ファイバ束10から光が出射する構成について説明する。

【 0 1 6 6 】

まず、複数のシングルコアファイバ100内それぞれに設けられたコアCの端面Caから光が出射される。各端面Caから出射された光それぞれは、媒体A1内を拡散しながら、所定のモードフィールド径で凸レンズ部21aに入射する。上述の通り、本実施形態では、端面Caから出射されたそれぞれの光の主光線Prは、凸レンズ部21aに対して垂直に入射される。凸レンズ部21aを透過した光それぞれは、モードフィールド径が拡大された状態で結像点IPにおいて結像する。

20

【 0 1 6 7 】

凸レンズ部21aを透過した光それぞれは、結像点IPを二次光源として媒体A1内を拡散しながら凸レンズ部22aに入射する。

【 0 1 6 8 】

凸レンズ部22a及び凸レンズ部22bは両側テレセントリックな光学系として形成されている。従って、凸レンズ部22aに垂直に入射した光の主光線Prそれぞれは、コリメートされた状態で媒体A1内を通過し、凸レンズ部22bに入射する。光の主光線Prそれぞれは、互いの間隔が狭められた状態で凸レンズ部22bから垂直に出射され、媒体A1内を通過してマルチコアファイバ1の複数のコア C_k に対し垂直に入射する。

30

【 0 1 6 9 】

また、第1光学系21と第2光学系22とを別体で作成し、それらを組み合わせることで結合部材20を構成することも可能である。具体的には、第1光学系21及び第2光学系22それぞれを媒体A1及び媒体A2により作成する。そして、第1光学系21の端面及び第2光学系22の端面を接着剤で固定することにより、一体の結合部材20を形成する。接着剤は、媒体A1の屈折率と同程度の屈折率を有する。

【 0 1 7 0 】

[第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例3]

図9は、結合部材20、ファイバ束10及びマルチコアファイバ1の軸方向の断面を示す概念図である。本変形例では、第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2で示した結合部材20を構成する第1光学系21及び第2光学系22としてGRINレンズを使用する例を述べる。

40

【 0 1 7 1 】

[結合部材の構成]

本変形例における結合部材20は、GRINレンズを有する。GRINレンズとは、レンズを構成する媒体をイオン交換処理することにより、レンズ内の屈折率分布を調整し、拡散する光を曲げて光を集める屈折率分布型のレンズである。イオン交換の処理方法により屈折率分布を調整することができる。GRINレンズとしては、たとえば、セルフオックレンズ（「セルフオック」は登録商標）を用いることができる。

50

【 0 1 7 2 】

第1光学系21はGRINレンズSL1を有する。GRINレンズSL1は、ファイバ束10（シングルコアファイバ100）からの光のモードフィールド径を変更するよう屈折率が調整された媒体から形成されている。本実施形態において、GRINレンズSL1は、ファイバ束10を形成するシングルコアファイバ100の数に対応し、複数設けられている。GRINレンズSL1は、「第1GRINレンズ」の一例である。

【 0 1 7 3 】

また、本変形例における複数のGRINレンズSL1それぞれは、第1光学部材SL1a及び第2光学部材SL1bを有する。第1光学部材SL1aは、一端がファイバ束10と接し、シングルコアファイバ100から入射して拡散する光をコリメートするよう屈折率分布が調整されている。第2光学部材SL1bは、一端が第1光学部材SL1aの他端と接し、第1光学部材SL1aでコリメートされた光を収束するよう屈折率分布が調整されている。第2光学部材SL1bで収束された光（結像点IPにおける光）のモードフィールド径は、シングルコアファイバ100からの光のモードフィールド径に比べ拡大されている。第1光学部材SL1a及び第2光学部材SL1bは、接着剤等により固定されることで一体のGRINレンズSL1を構成する。接着剤は、媒体の屈折率と同程度の屈折率を有する。

【 0 1 7 4 】

第2光学系22はGRINレンズSL2を有する。GRINレンズSL2は、モードフィールド径が変更された光の間隔を変更するよう屈折率が調整された媒体から形成されている。本変形例において、GRINレンズSL2は、複数のGRINレンズSL1からの光が入射するよう一つだけ設けられている。GRINレンズSL2は、「第2GRINレンズ」の一例である。

【 0 1 7 5 】

また、本変形例におけるGRINレンズSL2は、第3光学部材SL2a及び第4光学部材SL2bを有する。第3光学部材SL2aは、一端が第2光学部材SL1bの他端と接し、複数の第2光学部材SL1bからの光それぞれをコリメートするよう屈折率分布が調整されている。第4光学部材SL2bは、一端が第3光学部材SL2aの他端と接し、他端がマルチコアファイバ1と接する。第4光学部材SL2bは、第3光学部材SL2aからの光を収束するよう屈折率分布が調整されている。第4光学部材SL2bで収束された光は、対応するマルチコアファイバ1の各コア C_k に入射する。第3光学部材SL2a及び第4光学部材SL2bは、接着剤等により固定されることで一体のGRINレンズSL2を構成する。そして、第2光学部材SL1b及び第3光学部材SL2aが接着剤等により固定されることで、結合部材20は一体に形成される。

【 0 1 7 6 】

なお、GRINレンズSL1及びGRINレンズSL2は、複数の光学部材により形成されている必要はない。GRINレンズSL1及びGRINレンズSL2は、それぞれの機能を達成できるように屈折率が調整された媒体から形成されていけばよい。すなわち、GRINレンズSL1及びGRINレンズSL2は、それぞれ一の光学部材で形成されていてもよい。或いは、GRINレンズSL1及びGRINレンズSL2を一の光学部材で形成することも可能である。

【 0 1 7 7 】

[光の進み方について]

次に、図9を参照して、本変形例に係る光の進み方について説明する。本変形例では、ファイバ束10から光が出射する構成について説明する。

【 0 1 7 8 】

まず、複数のシングルコアファイバ100内それぞれに設けられたコアCの端面Caから光が出射される。各端面Caから出射された光それぞれは、第1光学部材SL1aでコリメートされ、第2光学部材SL1bに入射する。第2光学部材SL1bに入射した光は、第2光学部材SL1bを構成する媒体の屈折率分布により収束される。第2光学部材S

10

20

30

40

50

L 1 bを透過した光それぞれは、モードフィールド径が拡大された状態で結像点 I Pにおいて結像する。

【 0 1 7 9 】

第 2 光学部材 S L 1 bを透過した光それぞれは、結像点 I Pを二次光源として第 3 光学部材 S L 2 aに入射する（本実施形態では、結像点 I Pが、G R I Nレンズ S L 1と G R I Nレンズ S L 2との境界に位置するよう、各 G R I Nレンズの屈折率が調整されている）。

【 0 1 8 0 】

第 3 光学部材 S L 2 aに入射した光それぞれは、第 3 光学部材 S L 2 aを構成する媒体の屈折率分布に基づいてコリメートされた状態で第 3 光学部材 S L 2 aを通過し、第 4 光学部材 S L 2 bに入射する。そして、第 4 光学部材 S L 2 bに入射した光は、第 4 光学部材 S L 2 bを構成する媒体の屈折率分布に基づいて収束され、且つ互いの間隔が狭められた状態でマルチコアファイバ 1 の複数のコア C_k に対し入射する。

10

【 0 1 8 1 】

[第 1 実施形態から第 3 実施形態に共通の変形例 4]

図 1 0 は、結合部材 2 0、ファイバ束 1 0 及びマルチコアファイバ 1 の軸方向の断面を示す概念図である。本変形例では、結合部材 2 0 を構成する第 1 光学系 2 1 として複数のファイバ F_k を使用し、第 2 光学系 2 2 として G R I Nレンズ S L 2 を使用する例を述べる。

【 0 1 8 2 】

20

[結合部材の構成]

本変形例における結合部材 2 0 は、第 1 光学系 2 1 及び第 2 光学系 2 2 を有する。

【 0 1 8 3 】

第 1 光学系 2 1 は、媒体として、複数のファイバ F_k (k = 1 ~ n) を有する。ファイバ F_k は、一端がファイバ束 1 0 を構成するシングルコアファイバ 1 0 0 と接し、シングルコアファイバ 1 0 0 からの光それぞれのモードフィールド径を変更する。ファイバ F_k は、光を伝送するコア C_f 及びコア C_f を覆うクラッド 3 を含んで構成されている。シングルコアファイバ 1 0 0 と接する入射端におけるコア C_f の径は、シングルコアファイバ 1 0 0 のコア C の径とほぼ同じである。ファイバ F_k は、ファイバ束 1 0 を構成するシングルコアファイバ 1 0 0 の数と等しい数だけ設けられる。

30

【 0 1 8 4 】

また、ファイバ F_k は、入射端と出射端でコア径が異なる。具体的に、ファイバ F_k は、シングルコアファイバ 1 0 0 と接する入射端におけるコア C_f の径よりも G R I Nレンズ S L 2 と接する出射端におけるコア C_f の径のほうが大きくなるよう形成されている。ファイバ F_k のコア C_f を通過する光は、出射端に近づくにつれてモードフィールド径が大きくなる。

【 0 1 8 5 】

ファイバ F_k は、たとえば以下の方法により製造される。まず、一本のファイバの一部に対して熱を加え、ファイバを切断する。切断したファイバの端面に対して更に熱処理を行うことにより、一端のコア径が他端のコア径より大きいファイバ F_k を得ることができる。

40

【 0 1 8 6 】

なお、本変形例では、第 1 光学系 2 1 を構成するファイバ F_k とシングルコアファイバ 1 0 0 とが別体である例について述べたが、上記製造方法でシングルコアファイバ 1 0 0 を製造することにより、シングルコアファイバ 1 0 0 とファイバ F_k とを一体で製造することも可能である。このように、シングルコアファイバ 1 0 0 とファイバ F_k とを一体で製造することにより、シングルコアファイバ 1 0 0 とファイバ F_k とのアライメント調整が不要となる。

【 0 1 8 7 】

本変形例における第 2 光学系 2 2 は、第 1 実施形態から第 3 実施形態に共通の変形例 3

50

で示したGRINレンズSL2が用いられる。GRINレンズSL2は、一端がファイバF_kの他端と接し、複数のファイバF_kそれぞれでモードフィールド径が変更された光の間隔を変更するよう屈折率が調整された媒体から形成されている。

【0188】

[光の進み方について]

次に、図10を参照して、本変形例に係る光の進み方について説明する。本変形例では、ファイバ束10から光が出射する構成について説明する。

【0189】

まず、複数のシングルコアファイバ100内それぞれに設けられたコアCの端面Caから光が出射される。各端面Caから出射された光それぞれは、ファイバF_kでモードフィールド径が拡大され、GRINレンズSL2に入射する。

10

【0190】

GRINレンズSL2に入射した光それぞれは、第2光学系22を構成する媒体の屈折率分布に基づいて収束され、且つ互いの間隔が狭められた状態でマルチコアファイバ1の複数のコアC_kに対し入射する。

【0191】

なお、第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2~4において、結合部材20を介してマルチコアファイバ1とファイバ束10とを接続する場合、それぞれの接続部分で回転方向のアライメント調整が必要になる。本変形例では、アライメント調整が不要となる構成について説明する。以下、マルチコアファイバ1と結合部材20との接続に関して述べるが、結合部材20とファイバ束10との接続でも同様の構成を用いることが可能である。

20

【0192】

図11Aは、結合部材20の端面を示す図である。図11Bは、マルチコアファイバ1の端面を示す図である。図11Cは、図11A及び図11BにおけるA-A断面を示す図である。

【0193】

図11A及び図11Cに示すように、結合部材20の端面(マルチコアファイバ1と接続される側の端面)には、被嵌合部M1が設けられている。被嵌合部M1としては、たとえば、結合部材20の端面に少なくとも2つの穴部H_k(k=1~n)が設けられる。本変形例では、穴部H₁~穴部H₃の3つが設けられている。

30

【0194】

図11B及び図11Cに示すように、マルチコアファイバ1のクラッド2の端面2a(結合部材20と接続される側の端面)には、嵌合部M2が設けられている。嵌合部M2としては、たとえば、端面2aに少なくとも2つの突起部P_k(k=1~n)が設けられる。本変形例では、穴部H₁~穴部H₃に対応する突起部P₁~突起部P₃の3つが設けられている。突起部P_kのサイズは、穴部H_kのサイズとほぼ同じ大きさに形成されている。

【0195】

図11Cに示すように、結合部材20とマルチコアファイバ1とを接続する際、突起部P_kと穴部H_kとが嵌合するように接続することで、結合部材20の端面に対するマルチコアファイバ1の端面1bの位置は一意に決まる。すなわち、回転方向のアライメント調整が不要となる。なお、結合部材20の端面に嵌合部M2を設け、クラッド2の端面2aに被嵌合部M1を設けることも可能である。

40

【0196】

また、第1実施形態から第3実施形態に共通の変形例2~4における第1光学系21と第2光学系22とは任意の組み合わせが可能である。たとえば、結合部材20は、第1光学系21として第2実施形態におけるGRINレンズSL1を有し、第2光学系22として第1実施形態における両側テレセントリック光学系(凸レンズ部22a、凸レンズ部22b)を有することも可能である。

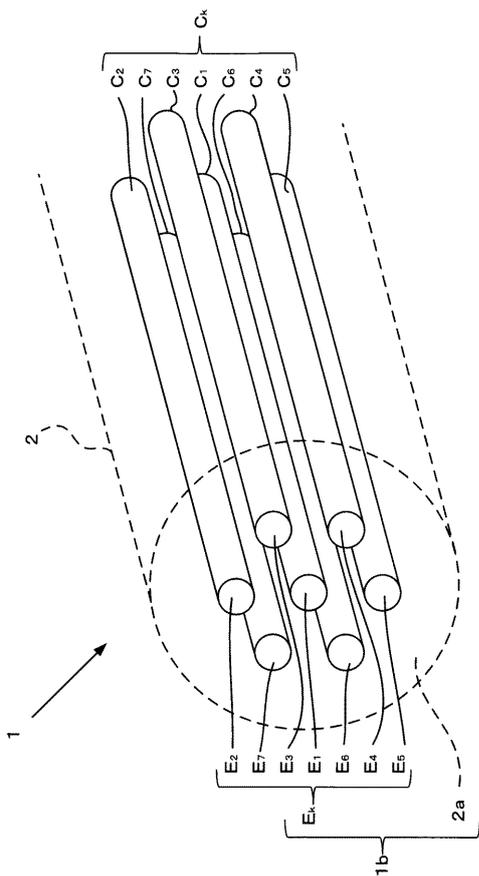
50

【符号の説明】

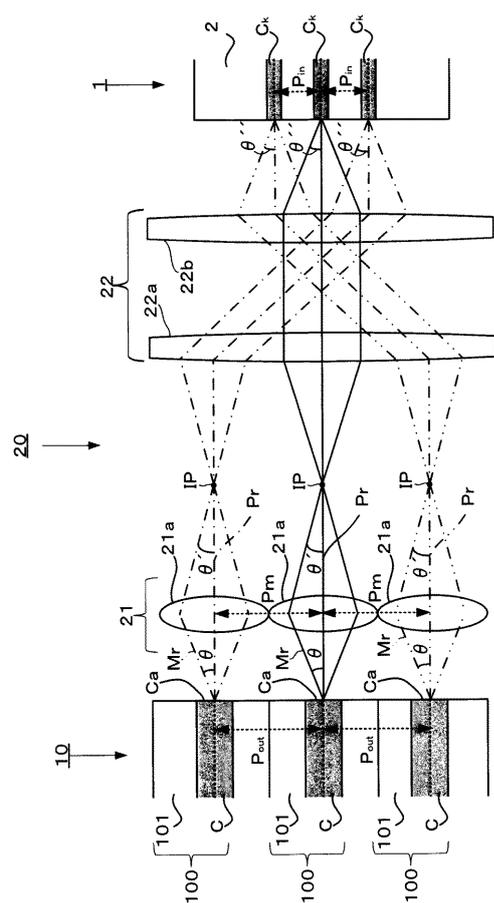
【0197】

- 1 マルチコアファイバ
- 1 b 端面
- 2 クラッド
- 2 a 端面
- 10 ファイバ束
- 20 結合光学系
- 21 第1光学系
- 21 a 凸レンズ
- 22 第2光学系
- 22 a、22 b 凸レンズ
- 100 シングルコアファイバ
- 101 クラッド
- C、C_k コア
- Ca、E_k 端面

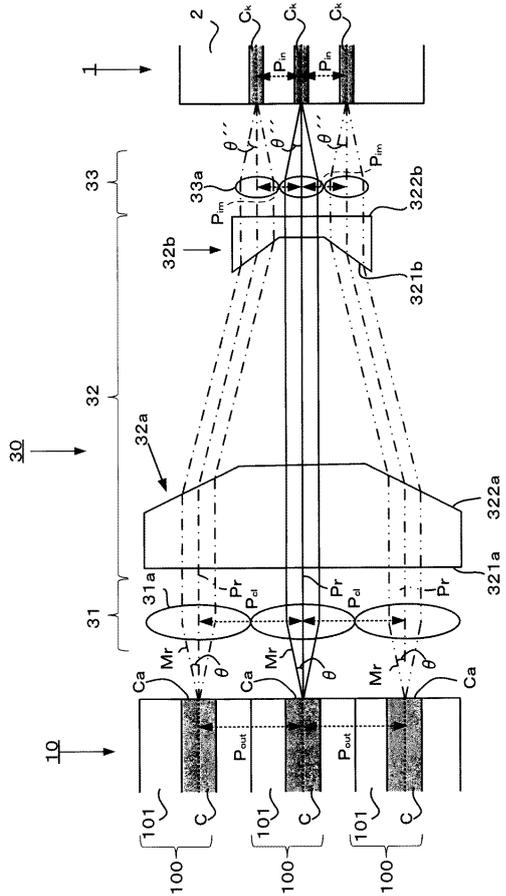
【図1】



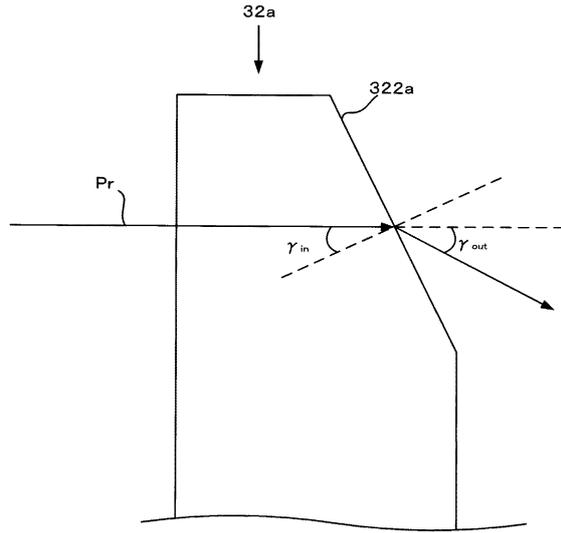
【図2】



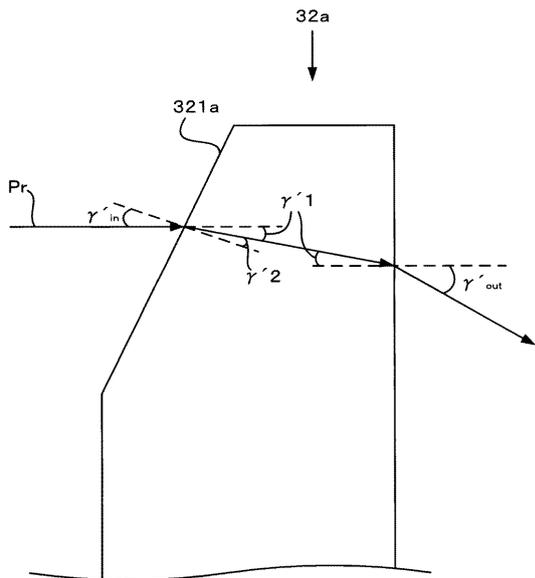
【 図 3 】



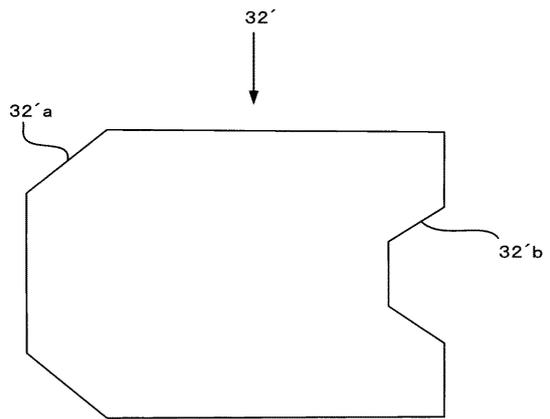
【 図 4 A 】



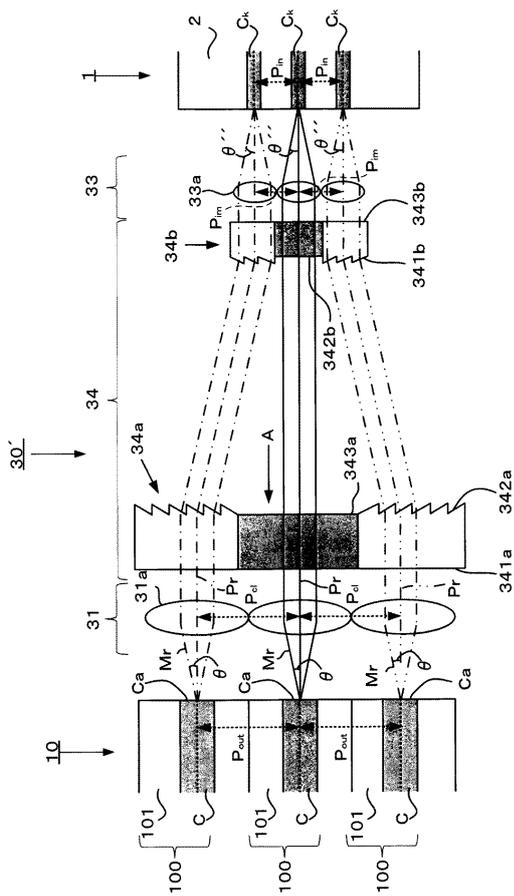
【 図 4 B 】



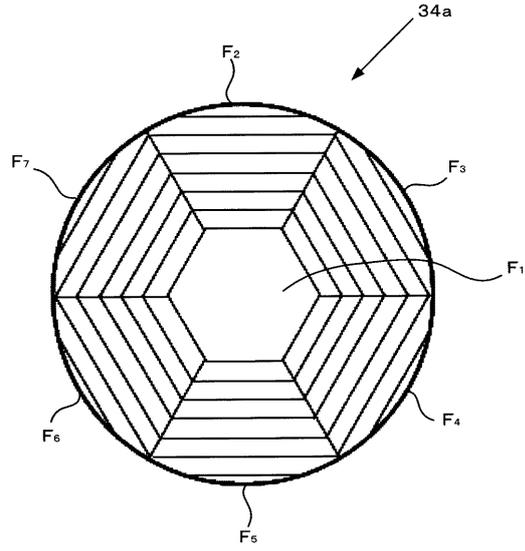
【 図 5 】



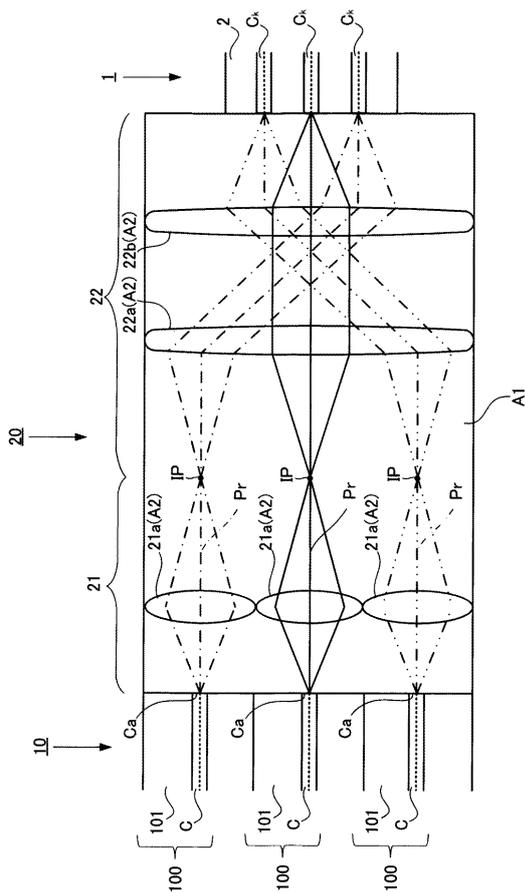
【 図 6 】



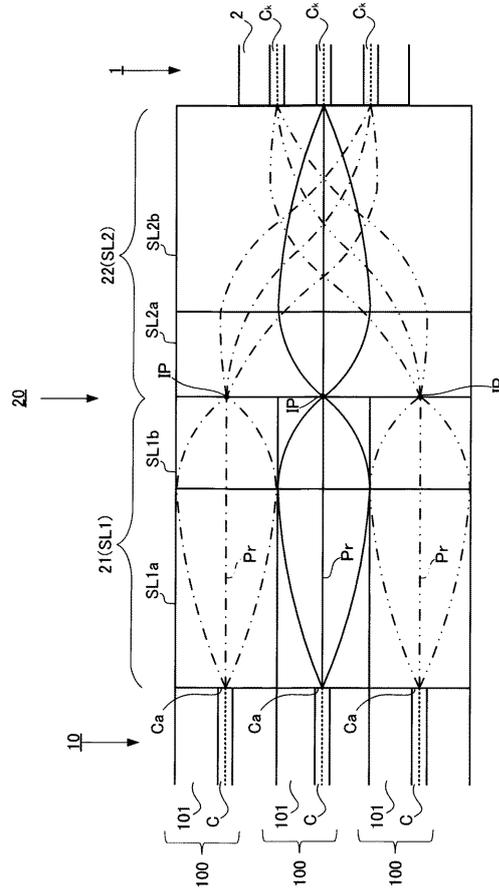
【 図 7 】



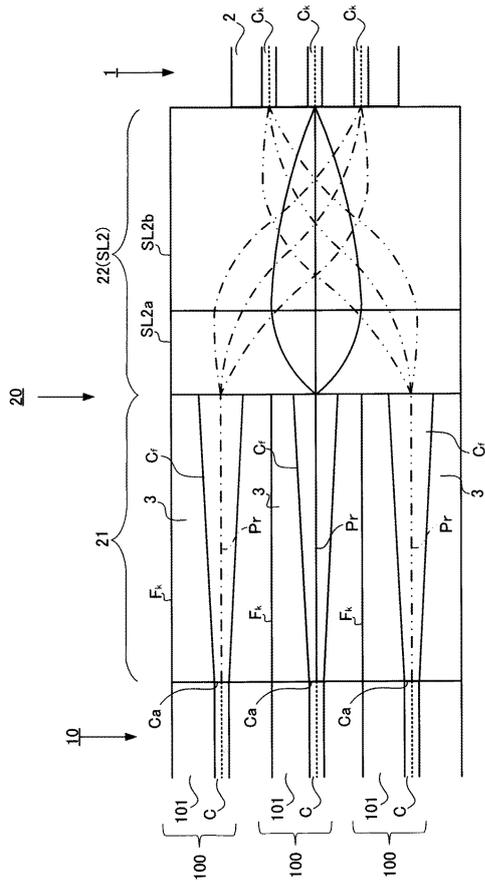
【 図 8 】



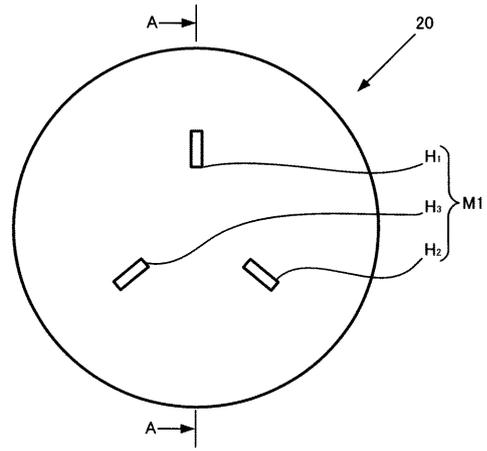
【 図 9 】



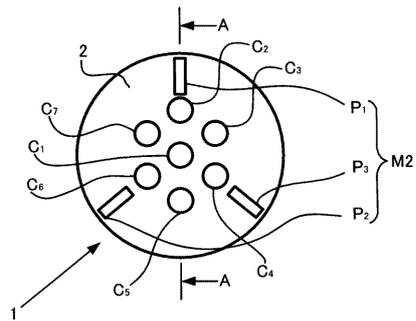
【図10】



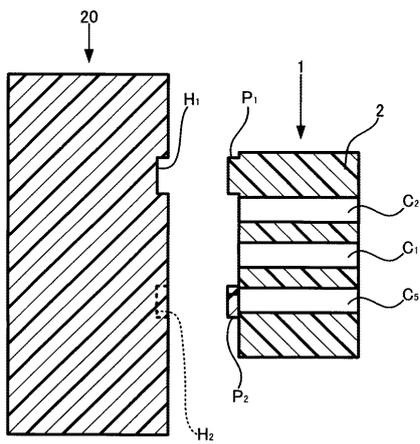
【図11A】



【図11B】



【図11C】



フロントページの続き

(72)発明者 尾関 幸宏

東京都八王子市石川町2970番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内

審査官 吉田 英一

(56)参考文献 特開2010-286697(JP,A)

特開2008-197241(JP,A)

特開昭57-210313(JP,A)

特開2008-176314(JP,A)

特開2006-337594(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/32

G02B 6/42

G02B 6/34