

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7400981号
(P7400981)

(45)発行日 令和5年12月19日(2023.12.19)

(24)登録日 令和5年12月11日(2023.12.11)

(51)国際特許分類	F I
G 0 2 B 6/35 (2006.01)	G 0 2 B 6/35
G 0 2 B 26/08 (2006.01)	G 0 2 B 26/08 F
G 0 2 B 6/02 (2006.01)	G 0 2 B 6/02 4 6 1
G 0 2 B 6/26 (2006.01)	G 0 2 B 6/26

請求項の数 7 (全15頁)

(21)出願番号	特願2022-538494(P2022-538494)	(73)特許権者	000004226
(86)(22)出願日	令和2年7月20日(2020.7.20)		日本電信電話株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/028008		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(87)国際公開番号	WO2022/018783	(74)代理人	100119677
(87)国際公開日	令和4年1月27日(2022.1.27)		弁理士 岡田 賢治
審査請求日	令和4年12月9日(2022.12.9)	(74)代理人	100160495
			弁理士 畑 雅明
		(74)代理人	100115794
			弁理士 今下 勝博
		(72)発明者	深井 千里
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	戸毛 邦弘
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光スイッチ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ファイバ断面において中心から同一円周上に複数のコアを有するマルチコア光ファイバと、

前記マルチコア光ファイバの複数のコアが配置された円周と同一円周上にコアが配置された光ファイバと、

前記2つの光ファイバをそれぞれ内蔵した2つのフェルールと、

前記2つのフェルールが中空に挿入された円筒のスリーブと、

から成る光結合部のどちらか一方の光ファイバが軸方向に回転する回転機構によって光経路を切り替える光スイッチであって、

前記2つのフェルールの外径及び前記スリーブの内径の間に所定の隙間が設けられ、

前記2つのフェルールにおいて、前記スリーブに挿入される部分の長さの和が、前記スリーブの全長よりも短く、

前記光結合部において、前記2つの光ファイバの端面間に間隙が設けられている

ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項2】

前記所定の隙間は、0.7μm以下である

ことを特徴とする請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項3】

前記間隙は、20μm以下である

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光スイッチ。

【請求項 4】

前記光結合部を構成する前記 2 つの光ファイバにおいて、いずれもマルチコア光ファイバである

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の光スイッチ。

【請求項 5】

前記マルチコア光ファイバの、前記光結合部と反対側の端が、単数コアを有する光ファイバに接続するファンイン又はファンアウト用光デバイスに接続している

ことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の光スイッチ。

【請求項 6】

前記光結合部の軸回転を行う一方にベアリングを具備する

ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の光スイッチ。

【請求項 7】

前記回転機構を一定の角度ステップで回転させ任意の角度ステップで静止するアクチュエータを具備する

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主に光ファイバネットワークにおいてシングルモード光ファイバを用いた光線路の経路を切り替えるために用いる光スイッチに関する。

【背景技術】

【0002】

光を光のまま経路切替を行う全光スイッチには、例えば非特許文献 1 に示すように様々な方式が提案されている。このうち、光ファイバあるいは光コネクタ同士の突合せをロボットアームやモータ等で制御する光ファイバ型機械式光スイッチは、切替速度が遅いという点では他方式に劣るものの、低損失、低波長依存性、多ポート性、電源消失時に切替状態を保持する自己保持機能の具備などの点で他方式よりも優れている点を多く有している。この代表的な構造として、例えば光ファイバ V 溝を用いたステージを並行移動させる方式や、ミラーやプリズムを並行移動または角度変化させて入射光ファイバから複数の出射光ファイバに対して選択的に結合させる方式、ロボットアームを用いて光コネクタ付きのジャンパーケーブルを接続する方式などがある。

【0003】

また、切替を行う光経路として、マルチコアファイバを用いる方法が提案されており、例えば、マルチコアファイバに 3 次元 MEMS 光スイッチを組み合わせる（例えば、非特許文献 2 参照）ことにより、多経路を一括に切り替えることが可能となる。また、マルチコアファイバが挿入された円筒フェルルールを回転させることによって切り替えを行う（例えば、特許文献 1 参照）ことにより、レンズやプリズム等の光学部品を不要とし、構成の簡略化が可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開平 2 - 8 2 2 1 2

【非特許文献】

【0005】

【文献】M. C t e p a n o v s k y , “ A C o m p a r a t i v e R e v i e w o f M E M S - B a s e d O p t i c a l C r o s s - C o n n e c t s f o r A l l - O p t i c a l N e t w o r k s F r o m t h e P a s t t o t h e P r e s e n t D a y , ” I E E E C o m m u n i c a t i o n s S u r v e y s & T u t o r i a l s , v 1 . 2 1 , n . 3 , p p . 2 9 2 8 - 2 9 4 6 , 2 0 1 9 .

10

20

30

40

50

【文献】Kenji Hiruma, Toshiki Sugawara, Kenichi Tanaka, Etsuko Nomoto, and Yong Lee, "Proposal of High-capacity and High-reliability Optical Switch Equipment with Multi-core Fibers", OECC/PS 2013, THT1-2.

【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、前述の非特許文献1に記載の従来技術においては、さらなる低電力化および小型化、経済化が困難であるという問題がある。具体的には、前述の光ファイバV溝ステージあるいはプリズムを並行移動させる方式では、一般に駆動源にモータが用いられるが、ステージ等の重量物を直動させる機構のため、一定以上のトルクがモータに必要となり、必要トルクを維持するために相応の出力を得るための消費電力を要する。また、シングルモード光ファイバを用いた光軸調心には、 $1\mu\text{m}$ 以下程度の精度が必要であることから、モータの回転運動を直動運動に変換させる機構（一般にはボールねじが用いられる）において、サブ μm ステップの直動運動に変換させる必要がある。通常用いられる出力側の光ファイバアレイの光ファイバピッチが光ファイバのクラッド外径 $125\mu\text{m}$ あるいは光ファイバの被覆外径 $250\mu\text{m}$ 程度である。この光ファイバピッチを維持したまま設置する光ファイバの本数を多くすると、出力側の光ファイバアレイが大きくなる。その結果、直動運動の距離が延び、モータの実駆動時間は長くせざるを得ず、消費電力が増大するという課題があった。このため、一般にこのような光ファイバ型機械式光スイッチは数百mW以上の電力を要する。また、光コネクタを用いたロボットアーム方式は、光コネクタあるいはフェルールを挿抜制御するロボットアームそのものに数十W以上の大きな電力を要してしまうという課題があった。

【0007】

また、非特許文献2に記載のマルチコアファイバを用いた光経路切替では、光スイッチを製作する過程において、出力側の光ファイバアレイに結合させるためのコリメート機構や、振動等の外的要因に対して安定的な光学特性を得るための除振機構が別途必要となり、組立工程も複雑になるという課題があった。

【0008】

さらに、特許文献1に記載のマルチコアファイバが挿入された円筒フェルールを用いた光経路切替では、フェルールをスリーブに密着挿入することにより、フェールの中心軸を合わせており、フェールとスリーブ間の摩擦力により、回転の駆動に大きなエネルギーが必要であり大きな電力を要してしまうという課題があった。

【0009】

前記課題を解決するために、本発明は、低消費電力であり、かつ、複雑な組立工程を要しない機構により外的要因に対して安定的な光学特性を実現できる光スイッチを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、本開示の光スイッチは、入力側マルチコア光ファイバ又は出力側マルチコア光ファイバの一方のみを容易に軸回転させる機構と、回転に伴う損失をなくすための間隙及びクリアランスと、を設ける。

【0011】

具体的には、本開示に係る光スイッチは、ファイバ断面において中心から同一円周上に複数のコアを有するマルチコア光ファイバと、前記マルチコア光ファイバの複数のコアが配置された円周と同一円周上にコアが配置された光ファイバと、前記2つの光ファイバをそれぞれ内蔵した2つのフェルールと、前記2つのフェルールが中空に挿入された円筒のスリーブと、から成る光結合部のどちらか一方の光ファイバが軸方向に回転する回転機構によって光経路を切り替える光スイッチであって、前記2つのフェールの外径及び前記

スリーブの内径の間に所定の隙間が設けられている。

【0012】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記所定の隙間は、 $0.7\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

【0013】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記2つのフェルールにおいて、前記スリーブに挿入される部分の長さの和が、前記スリーブの全長よりも短く、前記光結合部において、前記2つの光ファイバの端面間に隙間が設けられている。

【0014】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記隙間は、 $20\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

10

【0015】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記光結合部を構成する2つの光ファイバにおいて、いずれもマルチコア光ファイバであってもよい。

【0016】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記マルチコア光ファイバの、光結合部と反対側の端が、単数コアを有する光ファイバに接続するファンイン又はファンアウト用光デバイスに接続している。

【0017】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記光結合部の軸回転を行う一方にベアリングを具備する。

20

【0018】

例えば、本開示に係る光スイッチは、前記回転機構を一定の角度ステップで回転させ任意の角度ステップで静止するアクチュエータを具備する。

【0019】

本発明は、入力側マルチコア光ファイバ又は出力側マルチコア光ファイバの一方のみを容易に軸回転させる機構と、回転に伴う損失をなくするための隙間及びクリアランスと、を設けることにより、アクチュエータで必要となるエネルギー、すなわちトルク出力を限りなく小さくでき、低消費電力化が可能である。また、出力側フェルールの軸回転以外の方向における光軸ずれ量は、光結合部においてスリーブにより制限されているために、振動等の外的要因に対して安定的な光学特性を実現できる。さらに、光結合部にはコリメート

30

【0020】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【発明の効果】

【0021】

本開示によれば、低消費電力であり、かつ、複雑な組立工程を要しない機構により外的要因に対して安定的な光学特性を実現できる光スイッチを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0022】

【図1】本発明の実施形態の一例を示す図である。

【図2】本発明の実施形態を示すブロック構成図である。

【図3】本発明の実施形態に係るマルチコア光ファイバの構造を表した模式図である。

【図4】本発明の実施形態に係る光結合部の詳細を示す模式図である。

【図5】フェルール外径とスリーブ内径のクリアランスに対する過剰損失の関係の一例を示す図である。

【図6】光ファイバの隙間に対する過剰損失の関係の一例を示す図である。

【図7】本発明の実施形態1に係る光結合部の嵌合形態を表す模式図である。

【図8】コア配置半径に対する最大の静止角度精度の関係の一例を示す図である。

50

【図 9】本発明の実施形態 2 に係る光結合部の箆合形態を表す模式図である。

【図 10】本発明の実施形態 2 に係る光結合部の出力側の断面を表した模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本開示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、本発明は、以下に示す実施形態に限定されるものではない。これらの実施の例は例示に過ぎず、本開示は当業者の知識に基づいて種々の変更、改良を施した形態で実施することができる。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

【0024】

(実施形態 1)

本実施形態に係る光スイッチの使用形態の一例を図 1 に示す。本実施形態は、光が S 0 1 から入力され、S 0 4 へ出力する形態を説明する。光スイッチであるから、光の方向は逆でもよい。本発明は、前段光スイッチ S 0 0 に接続された入力側光ファイバ S 0 1 を、前段光スイッチ S 0 0 において光スイッチ間光ファイバ S 0 2 の特定のポートに切り替えて、光スイッチ間光ファイバ S 0 2 のポートを、後段光スイッチ S 0 3 において所望の出力側光ファイバ S 0 4 に切り替えることを可能とする。本発明は、前段光スイッチ S 0 0 及び後段光スイッチ S 0 3 に該当する光スイッチである。以下、前段光スイッチ S 0 0 を光スイッチ S 0 0 と、後段光スイッチ S 0 3 を光スイッチ S 0 3 と略記する。

【0025】

本実施形態に係る光スイッチ (S 0 0、S 0 3) は、ファイバ断面において中心から同一円周上に複数のコアを有するマルチコア光ファイバ (S 4) と、マルチコア光ファイバ (S 4) の複数のコアが配置された円周と同一円周上にコアが配置された光ファイバ (S 6) と、2つの光ファイバ (S 4、S 6) をそれぞれ内蔵した2つのフェルール (S 1 6、S 1 7) と、2つのフェルール (S 1 6、1 7) が中空に挿入された円筒のスリーブ (S 1 8) と、から成る光結合部 (S 1 3) のどちらか一方の光ファイバが軸方向に回転する回転機構 (S 7) によって光経路を切り替える光スイッチ (S 0 0、S 0 3) であって、2つのフェルールの外径 (S 1 9) 及びスリーブの内径 (S 2 0) の間に所定の隙間 (S 3 0) が設けられている。

【0026】

また、光スイッチ (S 0 0、S 0 3) は、回転機構 (S 7) を一定の角度ステップで回転させ任意の角度ステップで静止するアクチュエータ (S 8) を具備する。以下、本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 について説明する。

【0027】

本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 の構成と動作の概要について図 2 で説明する。本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 のブロック構成図を図 2 に示す。図 2 (a) は、光スイッチ S 0 3 の具体的な内容に該当する。図 2 (b) は、光スイッチ S 0 0 の具体的な内容に該当する。

【0028】

図 2 (a) 及び (b) に示す光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 は、複数のコアを有するマルチコア光ファイバあるいは複数のシングルコア光ファイバを溶融延伸したバンドル光ファイバ S 4 (以下、「複数のコアを有するマルチコア光ファイバあるいは複数のシングルコア光ファイバを溶融延伸したバンドル光ファイバ S 4」を「入力側マルチコア光ファイバ S 4」と称する。) および S 6 (以下、「複数のコアを有するマルチコア光ファイバあるいは複数のシングルコア光ファイバを溶融延伸したバンドル光ファイバ S 6」を「出力側マルチコア光ファイバ S 6」と称する。) と、入力側マルチコア光ファイバ S 4 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 の端部並びにスリーブ S 1 8 で構成される光結合部 S 1 3 と、ファンイン S 2 及びファンアウト S 9 と、を備える。また、光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 は、出力側マルチコア光ファイバ S 6 のみを回転させるために、回転止め機構 S 3 と、自由回転機構 S 7 と、アクチュエータ S 8 と、制御回路 S 1 1 と、余長部 S 1 2 を備える

10

20

30

40

50

。回転止め機構 S 3 及び自由回転機構 S 7 は、光結合部 S 1 3 に含まれてもよい。

【 0 0 2 9 】

図 2 (a) 及び (b) の入力側マルチコア光ファイバ S 4 は、軸回転しないように回転止め機構 S 3 により固定される。出力側マルチコア光ファイバ S 6 は、自由回転機構 S 7 が取り付けられ、軸方向に回転することができる。任意の角度回転を行うアクチュエータ S 8 は、制御回路 S 1 1 からの信号により出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させる。また、出力側マルチコア光ファイバ S 6 には、出力側マルチコア光ファイバ S 6 のねじれを許容するための一定の余長部 S 1 2 が設けられている。また、光結合部 S 1 3 には、間隙 S 5 が設けられており、出力側マルチコア光ファイバ S 6 が回転しても、入力側マルチコア光ファイバ S 4 と干渉しない構成になっている。

10

【 0 0 3 0 】

光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 は、マルチコア光ファイバ (S 4 、 S 6) の、光結合部 S 1 3 と反対側の端が、単数コアを有する光ファイバ (S 1 、 S 1 0) に接続するファンイン又はファンアウト用光デバイス (S 2 、 S 9) に接続している。光スイッチ S 0 3 は、図 2 (a) に示すように、ファンイン S 2 に複数の入力側シングルコア光ファイバ S 1 が接続されており、ファンアウト S 9 に単数の出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 が接続されている。また、複数の入力側シングルコア光ファイバ S 1 は、それぞれ図 1 の光スイッチ間光ファイバ S 0 2 と接続しており、単数の出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 は、図 1 の出力側光ファイバ S 0 4 と接続している。光スイッチ S 0 3 は、任意の入力側シングルコア光ファイバ S 1 からファンイン S 2 を介して光を入力する。光スイッチ S 0 3 は、光結合部 S 1 3 において、入力側マルチコア光ファイバ S 4 を固定し、出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させる。出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させることで、入力された光の中から出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 へ出力する光を選択する。光スイッチ S 0 3 は、選択された光をファンアウト S 9 を介して出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 から出力する。

20

【 0 0 3 1 】

一方、光スイッチ S 0 0 は、図 2 (b) に示すように、ファンイン S 2 に単数の入力側シングルコア光ファイバ S 1 が接続されており、ファンアウト S 9 に複数の出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 が接続される。また、入力側シングルコア光ファイバ S 1 は、図 1 の入力側光ファイバ S 0 1 と接続しており、複数の出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 は、それぞれ図 1 の光スイッチ間光ファイバ S 0 2 と接続している。光スイッチ S 0 0 は、入力側シングルコア光ファイバ S 1 からファンイン S 2 を介して光を入力する。光スイッチ S 0 0 は、光結合部 S 1 3 において、入力側マルチコア光ファイバ S 4 を固定し、出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させる。出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させることで、入力された光を出力する出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 を選択する。光スイッチ S 0 0 は、入力された光を、ファンアウト S 9 を介して、選択された出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 から出力する。

30

【 0 0 3 2 】

光スイッチ S 0 0 のような光スイッチは、入力を単数とする $1 \times N$ のリレー型光スイッチとして使用できるものである。光スイッチ S 0 3 の出力側シングルコア光ファイバ S 1 0 と光スイッチ S 0 0 の入力側シングルコア光ファイバ S 1 とを接続するように光スイッチを複数組み合わせることにより、 $N \times N$ の光スイッチを構成することも可能である。ここで、入力側マルチコア光ファイバ S 4 を固定して、出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させることとしたが、入出力のいずれかを固定し、対向する側を回転させることによってファイバの切り替えを可能とする形態であればよい。以下では、入力側マルチコア光ファイバ S 4 を固定し、出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させる光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 について説明する。

40

【 0 0 3 3 】

本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 について、図 3 から図 8 を用いて具体的

50

に説明する。入力側マルチコア光ファイバ S 4 および出力側マルチコア光ファイバ S 6 の構造を図 3 に示す。図 3 (a) は、8 つのコアから成るマルチコア光ファイバを、図 3 (b) は、バンドル光ファイバを表す。入力側マルチコア光ファイバ S 4 および出力側マルチコア光ファイバ S 6 は、図 3 (a) 又は (b) のいずれの形態でもよい。例えば、光結合部 S 1 3 を構成する 2 つの光ファイバ (S 4 、 S 6) において、いずれもマルチコア光ファイバであってもよい。入力側マルチコア光ファイバ S 4 および出力側マルチコア光ファイバ S 6 は、図 3 に示すように、複数のコアのそれぞれの中心が光ファイバの中心に対してコア配置半径 S 1 4 の円の円周上に配置されていることを特徴とする。図 3 では合計 8 つのコアから成るマルチコア光ファイバあるいはバンドル光ファイバを例に挙げているが、各コアの中心がコア配置半径 S 1 4 を有する円の円周上に配置されていればよく、光ファイバのコア数及び配置は、これに限られない。

10

【 0 0 3 4 】

また、入力側マルチコア光ファイバ S 4 と出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコア数も同数としているが、同じコア配置半径である条件下において、例えば、入力側マルチコア光ファイバ S 4 のコア数を 4 、出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコア数が 8 というように、同数である必要は無い。ただし、光結合部 S 1 3 の透過損失をできるだけ小さくすることが重要であり、入力側マルチコア光ファイバ S 4 および出力側マルチコア光ファイバ S 6 の各コアは同程度のモードフィールド径を有する点で同じ光学特性である方が望ましい。また、光ファイバクラッド径 S 1 5 は、広く通信で用いられている 1 2 5 μm あるいは、多くのコア数を実現するために拡大されたクラッド径、例えば 1 9 0 μm であってもよい。

20

【 0 0 3 5 】

本発明の実施形態に係る光結合部 S 1 3 の詳細を図 4 に示す。光結合部 S 1 3 は、前記入力側のマルチコア光ファイバ S 4 の端部を内蔵する入力側フェルール S 1 6 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 の端部を内蔵する出力側フェルール S 1 7 を有する。

【 0 0 3 6 】

光結合部 S 1 3 は、入力側フェルール S 1 6 及び出力側フェルール S 1 7 並びにスリーブ S 1 8 を用いて、入力側マルチコア光ファイバ S 4 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 の軸ずれを防止する。スリーブ S 1 8 は、入力側フェルール S 1 6 および出力側フェルール S 1 7 の軸ずれを一定許容範囲に制御し、出力側フェルール S 1 7 の軸回転を妨げないようにするために、入力側フェルール S 1 6 および出力側フェルール S 1 7 の外径 S 1 9 に対して内径 S 2 0 をサブ μm 程度一回り大きくして、サブ μm 程度の僅かなクリアランス S 3 0 (所定の隙間) を設けている。ここで、サブ μm 程度とは、0 . 1 ~ 1 μm を指す。

30

【 0 0 3 7 】

フェルール外径 S 1 9 とスリーブ内径 S 2 0 とのクリアランス S 3 0 に対する過剰損失 T C の関係の一例を図 5 に示す。光ファイバ間の光結合において、ファイバコアの位置ずれは過剰損失の要因となる。過剰損失の増大は光経路の全長を制限する要因となるため、ファイバコアの位置ずれを小さくすることが必要となる。ここで、フェルール外径 S 1 9 とスリーブ内径 S 2 0 のクリアランス S 3 0 はファイバコアの位置ずれに相当するため、フェルール外径 S 1 9 とスリーブ内径 S 2 0 のクリアランス S 3 0 の大きさ C (単位 : μm) と過剰損失 T C (単位 : d B) の関係は数 1 に表すことができる。

40

【 数 1 】

$$T_C = \left(\frac{2w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)^2 \exp \left[1 \frac{2C^2}{w_1^2 + w_2^2} \right] \quad (1)$$

【 0 0 3 8 】

50

W 1 及び W 2 はそれぞれ入力側マルチコア光ファイバ S 4 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコアのモードフィールド径である。図 5 は入力側マルチコア光ファイバ S 4 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコアのモードフィールド径が、ともに 9 μ m の時の損失を示す図である。例えば、クリアランス S 3 0 が 0 . 7 μ m 以下となるように、フェルール外径 S 1 9 及びスリーブ内径 S 2 0 を加工した場合、最大過剰損失を約 0 . 1 d B 以下に抑えることができる。また、最大過剰損失を 0 . 2 d B に設定するとクリアランス S 3 0 が 1 μ m 以下になるようにフェルール外径 S 1 9 とスリーブ内径 S 2 0 を加工する必要がある。

【 0 0 3 9 】

光結合部 S 1 3 の入力側フェルール S 1 6 および出力側フェルール S 1 7 の端面は、研磨されており、図 4 に示すように、空気層とのフレネル反射を低減するための反射防止膜 S 2 1 がコーティングされている。フレネル反射を低減する別の方法として、フェルール端面がフラットでなく、一定角度をつけて研磨する斜め研磨も代替として用いることができる。ただし、この場合、出力側フェルール S 1 7 が回転した際に、出力側フェルール S 1 7 の端面が入力側フェルール S 1 6 の端面に接触しないように、後述する間隙 S 5、研磨角度及びフェルール先端形状を工夫する必要がある。

【 0 0 4 0 】

光結合部 S 1 3 は、2つのフェルール (S 1 6、S 1 7) において、スリーブ S 1 8 に挿入される部分の長さの和が、スリーブ S 1 8 の全長よりも短く、光結合部 S 1 3 において、2つの光ファイバ (S 4、S 6) 端面間に間隙 S 5 が設けられている。間隙 S 5 の最小値は、図 4 に示すように、スリーブ軸方向の長さ S 2 4 と、入力側フェルール S 1 6 に取り付けられた入力側フランジ S 2 2 と、出力側フェルール S 1 7 に取り付けられた出力側フランジ S 2 3 と、により確保されることを特徴とする。具体的には、スリーブ S 1 8 の長さは、入力側フェルール S 1 6 が入力側フランジ S 2 2 から突き出す長さと、出力側フェルール S 1 7 が出力側フランジ S 2 3 から突き出す長さとの合計よりも長く設定されており、これにより間隙 S 5 を確保できる構造となっている。

【 0 0 4 1 】

光ファイバの間隙 S 5 の大きさ G に対する過剰損失 T G の関係の一例を図 6 に示す。光ファイバ間の光結合において、ファイバ端面間に間隙 S 5 が存在すると、入力側マルチコア光ファイバ S 4 の出射光の分布が広がり、出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコアとの結合効率が減少するため、過剰損失の要因となる。前記間隙 S 5 の大きさ G (単位：μ m) と過剰損失 T G (単位：d B) の関係は数 2 に表すことができる。

【 数 2 】

$$T_G = \frac{4 \left[4G^2 + \frac{w_1^2}{w_2^2} \right]}{\left[4G^2 + \frac{w_2^2 + w_1^2}{w_2^2} \right]^2 + 4G^2 \frac{w_2^2}{w_1^2}} \quad (2)$$

【 0 0 4 2 】

W 1 及び W 2 はそれぞれ入力側マルチコア光ファイバ S 4 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコアのモードフィールド径である。図 6 は入力側マルチコア光ファイバ S 4 及び出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコアのモードフィールド径が、ともに 9 μ m の時の損失を示す図である。例えば、入力側マルチコア光ファイバ S 4 と出力側マルチコア光ファイバ S 6 の端面の間隙 S 5 が 2 0 μ m 以下となるように入力側フェルール S 1 6 と出力側フェルール S 1 7 を配置することによって、過剰損失を 0 . 1 d B 以下に抑えることができる。

【 0 0 4 3 】

なお、フェルールおよびスリーブはジルコニアが用いられるが、高い寸法精度で作製す

ることが可能であれば、これ以外の材質を用いることも可能である。通常のフィジカルコンタクト接続を行う光ファイバコネクタでは、スリーブは、フェルール外径よりも小さな内径を有している。このスリーブは、軸方向にスリットを設けた割りスリーブが用いられ、前記割りスリーブの径方向弾性力を用いて軸回転の固定を行う構造とすることが一般的であるが、この点において本発明と異なる。

【 0 0 4 4 】

本実施形態に係る光結合部 S 1 3 を図 7 で例示する。本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 は、光結合部 S 1 3 の軸回転を行う一方にベアリング S 2 6 を具備する。入力側フェルール S 1 6 は切り欠き付きの入力側フランジ S 2 2 に取り付けられる。入力側フランジ S 2 2 は、固定ネジ S 2 5 で固定治具 S 2 7 に取り付けられ、入力側フェルール S 1 6 の軸方向および軸回転を固定してもよい。この際、入力側フランジ S 2 2、固定ネジ S 2 5 及び固定治具 S 2 7 が前述した回転止め機構 S 3 となる。出力側フェルール S 1 7 は出力側フランジ S 2 3 に取り付けられる。出力側フランジ S 2 3 は、外側にベアリング S 2 6 が設けられている。ベアリング S 2 6 は、固定ネジ S 2 5 で固定治具 S 2 7 に取り付けられる。この際、出力側フランジ S 2 3、固定ネジ S 2 5 及びベアリング S 2 6 が前述した自由回転機構 S 7 となる。固定治具 S 2 7 内にスリーブ S 1 8 が内蔵されており、入力側フェルール S 1 6 及び出力側フェルール S 1 7 がスリーブ S 1 8 に挿入されることによって軸合わせが行われる。

【 0 0 4 5 】

次に、アクチュエータ S 8 と、入力側マルチコア光ファイバ S 4 および出力側マルチコア光ファイバ S 6 と、に係る要件について説明する。アクチュエータ S 8 には、制御回路 S 1 1 からのパルス信号により任意の角度ステップで回転を行い、角度ステップ毎で一定の静止トルクを有する駆動機構となっており、例えば、ステッピングモータが用いられる。なお、アクチュエータ S 8 は、制御回路 S 1 1 からのパルス信号により任意の角度ステップで回転を行い、角度ステップ毎で一定の静止トルクを有する駆動機構となっていれば、これ以外の方法を用いてもよい。回転速度や回転角度は制御回路 S 1 1 からのパルス信号の周期とパルス数で決定され、角度ステップや静止トルクは減速ギヤを介して調整されたものでもよい。なお、前述のとおり、光結合部 S 1 3 における出力側フェルール S 1 7 は自由に軸回転するように設計されているため、出力側フェルール S 1 7 の回転角度の保持に必要な静止トルクはアクチュエータ S 8 によって付与されるものであるという特徴を有する。

【 0 0 4 6 】

ここで、ステッピングモータにおいて、電源供給停止時の角度位置を示す角度ステップ数を静止角度ステップ数と定義する。ステッピングモータは、電源供給停止時に、出力側マルチコア光ファイバ S 6 を静止角度位置になるまで回転させてからその回転を終了させるために、静止角度ステップ数を出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコア数と同等とすることを特徴とする。

【 0 0 4 7 】

また、光結合部 S 1 3 における回転角度ずれによる過剰損失を T R (単位: d B)、ステッピングモータの静止角度精度を (単位: 度)、入力側マルチコア光ファイバ S 4 および出力側マルチコア光ファイバ S 6 のコア配置半径 S 1 4 の大きさを R (単位: μ m) とした場合、これらの関係は数 3 に表すことができる。

【 数 3 】

$$T_R = \left(\frac{2w_1w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)^2 \exp \left[1 - \frac{2 \left(2R \sin 2\pi \frac{\theta}{360} \right)^2}{w_1^2 + w_2^2} \right] \quad (3)$$

10

20

30

40

過剰損失 T を例えば 0.1 dB あるいは 0.2 dB とすれば、最大の前記静止角度精度は、コア配置半径 S 1 4 の大きさ R に対して図 8 のように与えられる。図 8 より、コア配置半径 S 1 4 が大きいほど厳しい静止角度精度が求められ、例えば過剰損失 0.1 dB とすれば、コア配置半径 S 1 4 が 50 μ m で約 0.8 度以下の静止角度精度が必要となる。

【0048】

本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 の動作の一例について図 2 及び図 7 を用いて説明する。アクチュエータ S 8 は、図 2 に示すように、制御回路 S 1 1 からの信号により出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させる。図 7 に示すように、出力側フランジ S 2 3 に取り付けられたベアリング S 2 6 により、出力側フランジ S 2 3、出力側フェルール S 1 7 及びマルチコア光ファイバ S 6 が回転する。マルチコア光ファイバ S 6 が回転することによって、マルチコア光ファイバ S 4 と S 6 の対向するコアが切り替わる。

10

【0049】

本発明は、入力側マルチコア光ファイバ S 4 又は出力側マルチコア光ファイバ S 6 の一方のみを容易に軸回転させる機構と、回転に伴う損失をなくするための間隙 S 5 及びクリアランス S 3 0 と、を設けることにより、アクチュエータ S 8 で必要となるエネルギー、すなわちトルク出力を限りなく小さくでき、低消費電力化が可能である。また、出力側フェルール S 1 7 の軸回転以外の方向における光軸ずれ量は、光結合部 S 1 3 においてスリーブ S 1 8 により制限されているために、振動等の外的要因に対して安定的な光学特性を実現できる。さらに、光結合部 S 1 3 にはコリメートや特別な除振機構を具備しておらず、フェルールやスリーブといった光コネクタ製品に広く用いられている一般的な材料によって、組立作業性に優れた経済的かつ小型である光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 が実現できる。

20

【0050】

従って、本発明によれば、低消費電力であり、かつ、複雑な組立工程を要しない機構により外的要因に対して安定的な光学特性を実現できる光スイッチを提供することができる。

【0051】

(実施形態 2)

以下、本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 の構成と動作について図 2、図 9 及び図 10 を用いて具体的に示す。本実施形態の光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 は、光結合部 S 1 3 の出力側マルチコア光ファイバ S 6 の回転機構のみが実施形態 1 の光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 と異なる。以下、出力側マルチコア光ファイバ S 6 の回転機構について説明する。なお、以下に説明する内容以外は、実施形態 1 と同様とする。

30

【0052】

本実施形態に係る光結合部 S 1 3 の嵌合形態を図 9 に表す。本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 は、光結合部 S 1 3 の軸回転を行う一方にベアリング S 2 8 を具備する。実施形態 1 と同様に、入力側フェルール S 1 6 は切り欠き付きの入力側フランジ S 2 2 に取り付けられ、入力側フランジ S 2 2 は固定ネジ S 2 5 で固定治具 S 2 7 に取り付けられている。出力側フェルール S 1 7 は入力側フェルール S 1 6 よりも外径を小さくする。本実施形態に係る光結合部 S 1 3 は、スリーブ S 1 8 の内径と出力側フェルール S 1 7 の外径との間にベアリング S 2 8 を設ける。出力側フェルール S 1 7 は、出力側フランジ S 2 3 に取り付けられる。出力側フランジ S 2 3 は、フランジ回転治具 S 2 9 が取り付けられる。フランジ回転治具 S 2 9 は、固定ネジ S 2 5 で固定治具 S 2 7 に取り付けられている。この際、出力側フランジ S 2 3、固定ネジ S 2 5、ベアリング S 2 8 及びフランジ回転治具 S 2 9 が自由回転機構 S 7 となる。実施形態 1 と同様に、光結合部 S 1 3 は、入力側フランジ S 2 2 及び出力側フランジ S 2 3 により、スリーブ S 1 8 内部で入力側フェルール S 1 6 と出力側フェルール S 1 7 の間隙 S 5 を確保する構造となっている。

40

【0053】

本実施形態に係る光結合部 S 1 3 の出力側の断面を図 10 に表す。出力側マルチコア光ファイバ S 6 を内蔵した出力側フェルール S 1 7 の周囲にベアリング S 2 8 が取り付けられ、出力側フェルール S 1 7 がスリーブ S 1 8 内で自由に回転できる構造となっている。

【0054】

50

なお、ベアリング S 2 8 には、例えばジルコニアが用いられるが、高い寸法精度で作製することが可能であれば、これ以外の材質を用いることも可能である。

【 0 0 5 5 】

本実施形態に係る光スイッチ S 0 0 及び S 0 3 の動作の一例について図 2 及び図 9 を用いて説明する。アクチュエータ S 8 は、図 2 に示すように、制御回路 S 1 1 からの信号により出力側マルチコア光ファイバ S 6 を回転させる。図 9 に示すように、ベアリング S 2 8 及びフランジ回転治具 S 2 9 により、出力側フランジ S 2 3、出力側フェルール S 1 7 及びマルチコア光ファイバ S 6 が回転する。マルチコア光ファイバ S 6 が回転することによって、マルチコア光ファイバ S 4 と S 6 の対向するコアが切り替わる。

【 0 0 5 6 】

以上説明したように、本発明によれば、低消費電力であり、かつ、複雑な組立工程を要しない機構により外的要因に対して安定的な光学特性を実現できる光スイッチを提供することができる。

【 0 0 5 7 】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 5 8 】

本開示に係る光スイッチは、光経路を切り替える際の駆動エネルギーを限りなく小さくすることが可能であり、低消費電力な光スイッチを提供することが可能である。また、一般的に広く用いられている光接続部品から構成されているため小型かつ経済的であり、さらに、温度や振動等の外的要因に対して安定的な光学特性を実現した光スイッチを提供することが可能である。その結果、光ファイバネットワークのシングルモード光ファイバを用いた光線路において、場所を問わず、あらゆる設備において、経路を切り替える光スイッチに利用することが可能である。

【符号の説明】

【 0 0 5 9 】

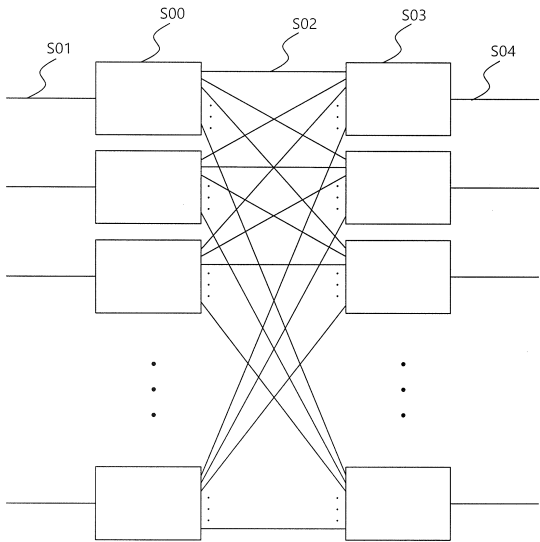
S 0 0 : 前段光スイッチ
S 0 1 : 入力側光ファイバ
S 0 2 : 光スイッチ間光ファイバ
S 0 3 : 後段光スイッチ
S 0 4 : 出力側光ファイバ
S 1 : 入力側シングルコア光ファイバ
S 2 : ファンイン
S 3 : 回転止め機構
S 4 : 複数のコアを有するマルチコア光ファイバあるいは複数のシングルコア光ファイバを溶融延伸したバンドル光ファイバ
S 5 : 間隙
S 6 : 複数のコアを有するマルチコア光ファイバあるいは複数のシングルコア光ファイバを溶融延伸したバンドル光ファイバ
S 7 : 自由回転機構
S 8 : アクチュエータ
S 9 : ファンアウト
S 1 0 : 出力側シングルコア光ファイバ
S 1 1 : 制御回路
S 1 2 : 余長部
S 1 3 : 光結合部
S 1 4 : コア配置半径
S 1 5 : 光ファイバクラッド径
S 1 6 : 入力側フェルール
S 1 7 : 出力側フェルール

- S 1 8 : スリーブ
- S 1 9 : フェルール外径
- S 2 0 : スリーブ内径
- S 2 1 : 反射防止膜
- S 2 2 : 入力側フランジ
- S 2 3 : 出力側フランジ
- S 2 4 : スリーブ軸方向の長さ
- S 2 5 : 固定ネジ
- S 2 6 : ベアリング
- S 2 7 : 固定治具
- S 2 8 : ベアリング
- S 2 9 : フランジ回転治具
- S 3 0 : クリアランス
- S 3 1 : コア
- S 3 2 : クラッド

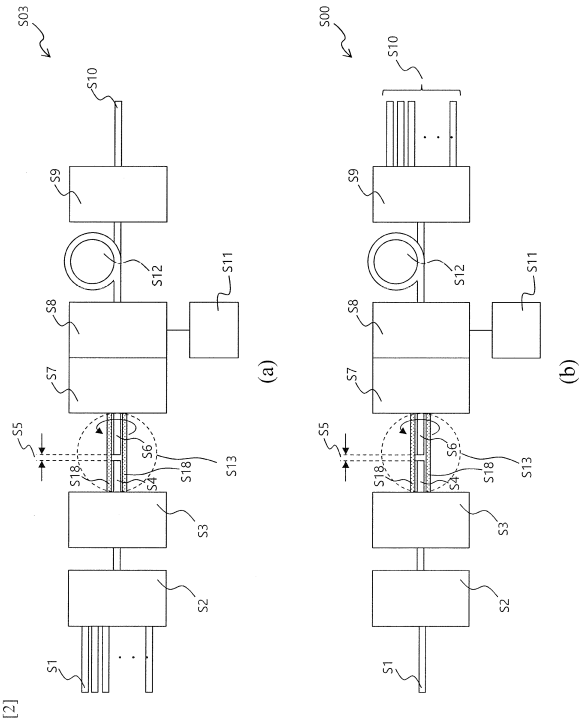
【図面】

【図 1】

[1]



【図 2】



10

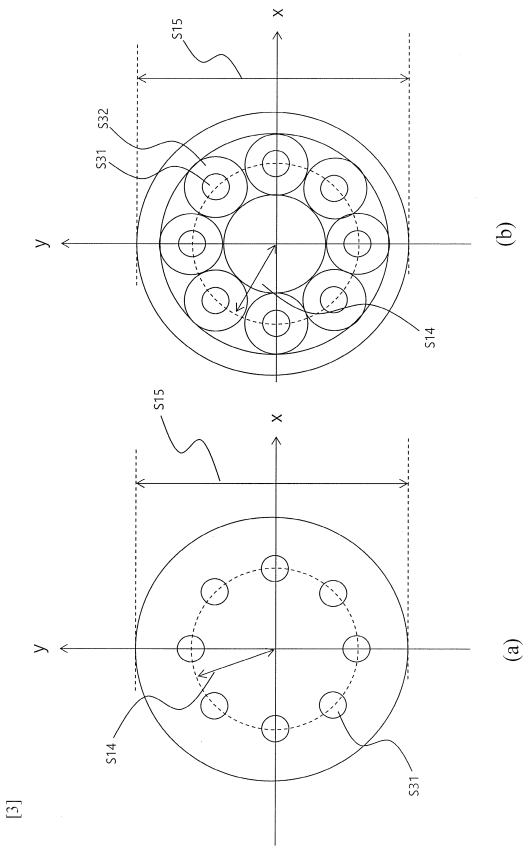
20

30

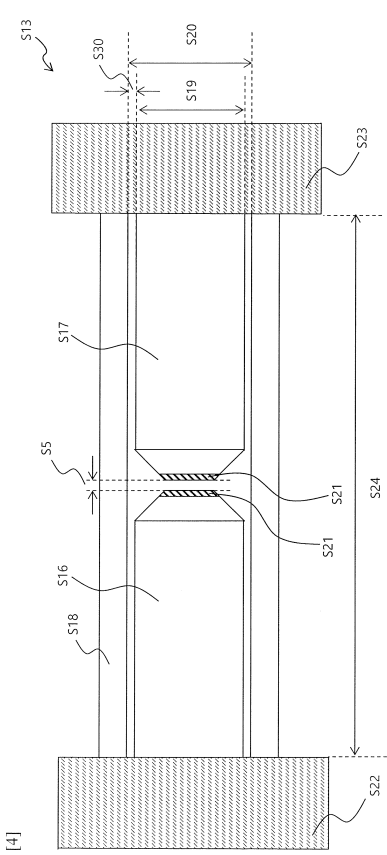
40

50

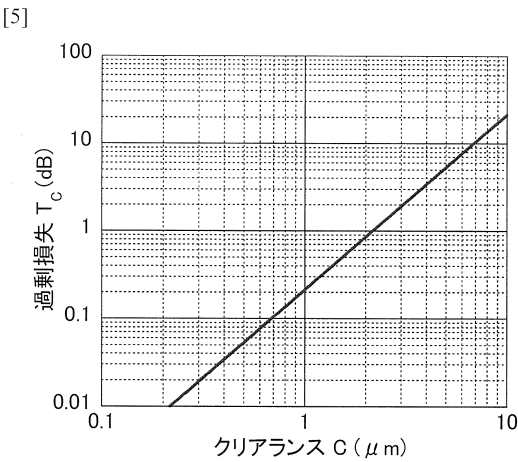
【図 3】



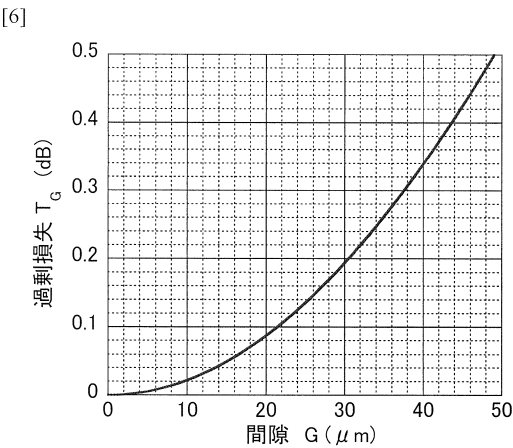
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

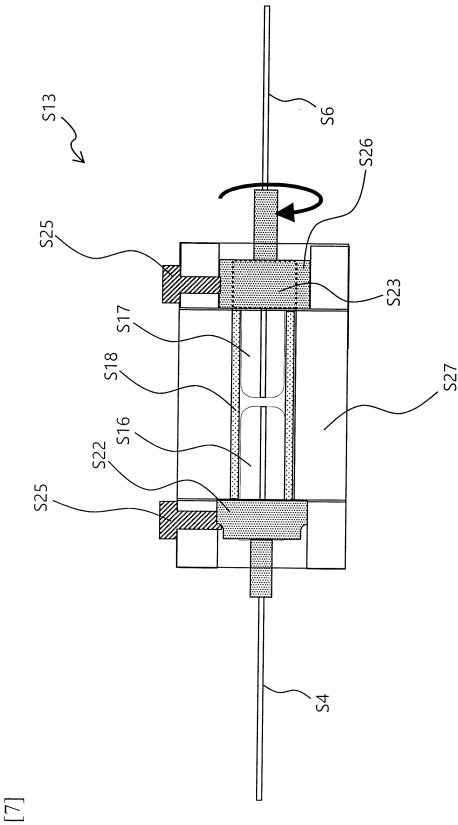
20

30

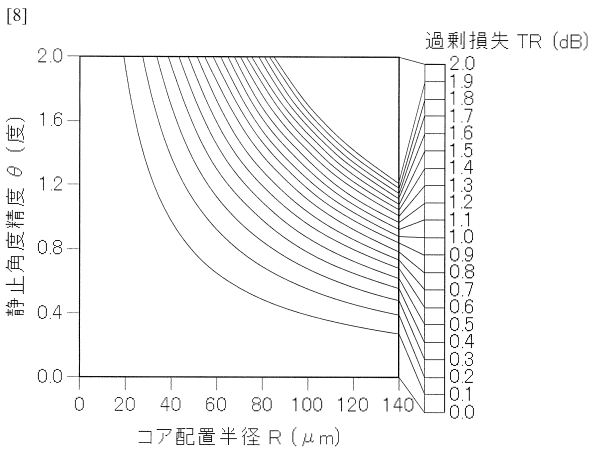
40

50

【図 7】



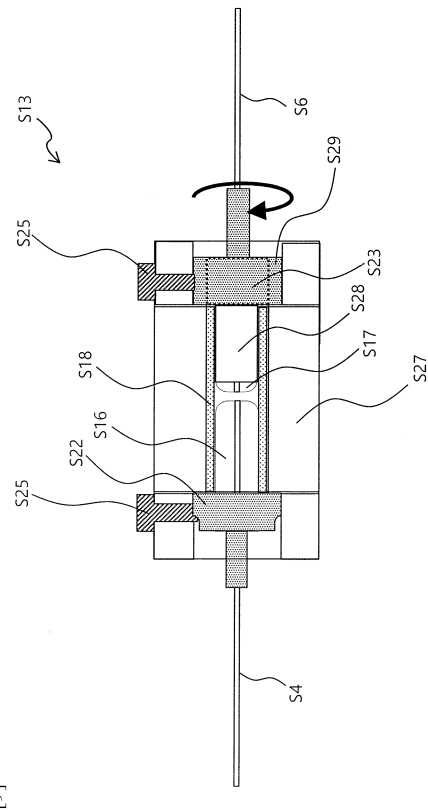
【図 8】



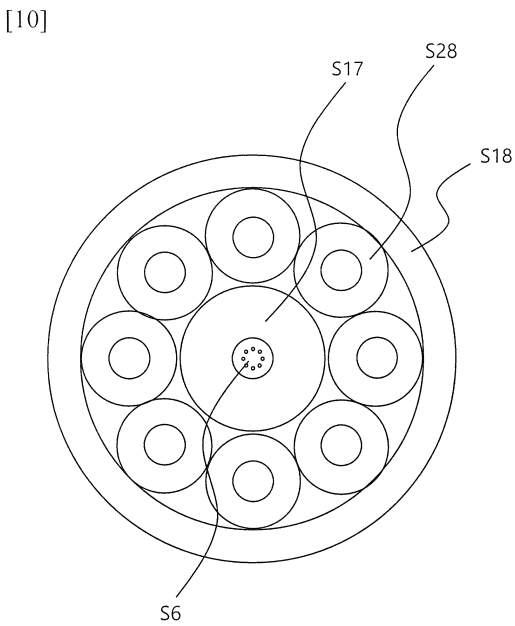
10

20

【図 9】



【図 10】



30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 川野 友裕

東京都千代田区大手町一丁目 5 番 1 号 日本電信電話株式会社内

審査官 河村 麻梨子

(56)参考文献

特開平 0 2 - 0 8 2 2 1 2 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 4 / 0 3 4 5 3 2 (W O , A 1)

特開昭 6 2 - 2 4 0 9 1 7 (J P , A)

特開平 0 2 - 0 1 3 9 1 9 (J P , A)

特開 2 0 1 9 - 1 0 1 1 5 2 (J P , A)

特開 2 0 1 8 - 0 0 6 4 7 4 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 0 3 / 0 2 0 2 7 3 7 (U S , A 1)

米国特許第 0 5 4 6 3 7 0 4 (U S , A)

特表 2 0 0 3 - 5 2 3 5 4 0 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 6 / 3 5、6 / 3 8、2 6 / 0 8