(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2009-129940
(P2009-129940A)
(43)公開日　平成21年6月11日(2009.6.11)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H01S	3/06	(2006.01)	H01S	3/06	B	5F172
H01S	3/094	(2006.01)	H01S	3/094	S	

審査請求 未請求　請求項の数 5　ＯＬ　（全 11 頁）

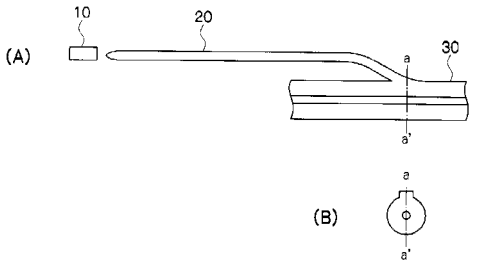
(21)出願番号　特願2007-299989 (P2007-299989)
(22)出願日　平成19年11月20日 (2007.11.20)

(71)出願人　000003609
株式会社豊田中央研究所
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１
(71)出願人　000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町１番地
(74)代理人　100079049
弁理士　中島　淳
(74)代理人　100084995
弁理士　加藤　和詳
(72)発明者　長谷川　和男
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光ファイバ装置及びその製造方法並びに光ファイバレーザ装置

(57)【要約】
【課題】励起光を高効率で利得ファイバに結合させる。
【解決手段】光ファイバ装置は、利得特性を有する光ファイバである利得ファイバ３０と、利得ファイバ３０の長手方向の側面に接合され、半導体レーザ１０から入射される励起光を利得ファイバ３０に対して供給する光ファイバである励起ファイバ２０と、を備えている。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
利得特性を有する光ファイバである利得ファイバと、
前記利得ファイバの長手方向の側面に接合され、外部から入射される励起光を前記利得ファイバに対して供給する光ファイバである励起ファイバと、
を備えた光ファイバ装置。
【請求項２】
利得特性を有する光ファイバである利得ファイバの長手方向の側面に、外部から入射される励起光を前記利得ファイバに対して供給する光ファイバである励起ファイバを接合するための光ファイバ装置の製造方法であって、
前記利得ファイバと前記励起ファイバとが接合する間にレーザ吸収材料を配置し、
前記レーザ吸収材料に対してレーザ光を照射する
光ファイバ装置の製造方法。
【請求項３】
前記レーザ吸収材料は、炭素を包含する塗膜あるいは金属の蒸着膜である
請求項２に記載の光ファイバ装置の製造方法。
【請求項４】
レーザ光透過材料で構成された保持部材で前記励起ファイバを保持し、
前記保持部材、前記励起ファイバを介して、前記レーザ吸収材料にレーザ光を照射する
請求項２または請求項３に記載の光ファイバ装置の製造方法。
【請求項５】
請求項１に記載の光ファイバ装置と、
前記光ファイバ装置の前記励起ファイバに対してレーザ光を出射する半導体レーザと、
を備えた光ファイバレーザ装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光ファイバ装置及びその製造方法並びに光ファイバレーザ装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、シリンドリカルレンズによりレーザダイオードからの光を光ファイバに結合し、その光ファイバを、利得媒体を有する光ファイバに結合させる技術が開示されている（特許文献１）。
【０００３】
特許文献１には、同文献の図４（ｆｉｇ．４）に示すように、光ファイバＦＦに供給ファイバＩＦの一端が接合していることが記載されている。図４のＣＲで示される領域は、いわゆるＹカプラーを形成している。さらに、特許文献１によると、光ファイバＦＦは活性ファイバであってもよいことが記載されている。
【特許文献１】米国特許第５９９９６３７号明細書
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかし、特許文献１の技術では、光ファイバＩＦからの励起光を光ファイバＦＦに結合しようとしても、高効率で結合できない問題がある。
【０００５】
ところで、図１４のような対称光ファイバ型光結合器は１：１で光結合を行うが、図１５のような非対称光ファイバ型光結合器は１：１で光結合を行わない。ここで、図１４及び図１５に示すように、光の入出力ポートをポート１～ポート４とし、ポート１とポート２の伝送パワーとコア断面積をそれぞれＰ１とＰ２、Ｓ１とＳ２とする。なお、以下の数値は単なる一例に過ぎず、特に限定されるものではない。

【０００６】
ここで近似的に、次式に示すように、ポート３、ポート４への出力はその断面積比に比例した結合効率が得られる。
【０００７】
Ｐ３＝（Ｐ１＋Ｐ２）Ｓ１／（Ｓ１＋Ｓ２）
Ｐ４＝（Ｐ１＋Ｐ２）Ｓ２／（Ｓ１＋Ｓ２）
ここでは、Ｐ３を大きくすることを考える。
【０００８】
数値例として、ポート１のコア径をφ６００ｕｍ、ポート２をコア径φ１００ｕｍの光ファイバであるとすると、出力特性は各々下記のようになる。
【０００９】
Ｐ３＝０．９７＊（Ｐ１＋Ｐ２）
Ｐ４＝０．０３＊（Ｐ１＋Ｐ２）
【００１０】
上記結果と、このような構造で多段接続した場合、Ｐ１が伝送されるにポート１に対して、ポート２により結合しようとしたとき、ポート１のパワーより、ポート３のパワーが大きくなるための条件は、
０．９７＊（Ｐ１＋Ｐ２）＞Ｐ１
である。すなわち、
Ｐ１＜３２．３＊Ｐ２
である。これは、３２個程度の多段接続の後は、非対称光ファイバ型結合器は有効に動作しないことを意味する。すなわち、光結合の効率が悪いので、多段接続すると寄与度が徐々に小さくなってしまい、有効に光結合することができない問題がある。
【００１１】
本発明は、上述した課題を解決するために提案されたものであり、励起光を高効率で利得ファイバに結合させる光ファイバ装置及びその製造方法並びに光ファイバレーザ装置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】
【００１２】
本発明に係る光ファイバ装置は、利得特性を有する光ファイバである利得ファイバと、前記利得ファイバの長手方向の側面に接合され、外部から入射される励起光を前記利得ファイバに対して供給する光ファイバである励起ファイバと、を備えている。なお、前記利得ファイバの長手方向と前記励起ファイバの光軸とのなす結合角が１５度以下になるように、前記利得ファイバと前記励起ファイバとが接合してもよい。
【００１３】
本発明に係る光ファイバ装置の製造方法は、利得特性を有する光ファイバである利得ファイバの長手方向の側面に、外部から入射される励起光を前記利得ファイバに対して供給する光ファイバである励起ファイバを接合するための光ファイバ装置の製造方法であって、前記利得ファイバと前記励起ファイバとが接合する間にレーザ吸収材料を配置し、前記レーザ吸収材料に対してレーザ光を照射する。ここで、前記レーザ吸収材料は、炭素を包含する塗膜を用いてもよい。
【００１４】
本発明に係る光ファイバレーザ装置は、請求項１または請求項２に記載の光ファイバ装置と、前記光ファイバ装置の前記励起ファイバに対してレーザ光を出射する半導体レーザと、を備えている。
【発明の効果】
【００１５】
本発明に係る光ファイバ装置によれば、利得ファイバに対して励起光を結合させる効率を向上させることができる。
【００１６】

本発明に係る光ファイバ装置の製造方法によれば、利得ファイバに対して励起ファイバからの励起光が高効率で結合するような光ファイバ装置を製造することができる。

【００１７】

本発明に係る光ファイバレーザ装置の製造方法によれば、高出力のレーザ光を出射することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１８】

以下、本発明の好ましい実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【００１９】

［構成］

図１（Ａ）は本発明の実施の形態に係る光ファイバレーザ装置の構成を示す図、（Ｂ）はａ－ａ’間の断面を示す図である。

【００２０】

光ファイバレーザ装置は、励起光であるレーザ光を出射する半導体レーザ１０と、励起光として半導体レーザ１０から出射されたレーザ光を伝搬する励起ファイバ２０と、励起ファイバ２０から供給される励起光を用いて光増幅する利得特性を有する利得ファイバ３０と、を備えている。

【００２１】

図２は、励起ファイバ２０と利得ファイバ３０の解析モデルを示す図である。ここで、

Ｐ１：利得ファイバ３０の伝送パワー
ｎ１：利得ファイバ３０のコアの屈折率
ｎ３：利得ファイバ３０のクラッドの屈折率
ｄ１：利得ファイバ３０のクラッドの直径
Ｐ２：励起ファイバ２０の伝送パワー
ｎ２：励起ファイバ２０のコアの屈折率
ｈ２：励起ファイバ２０の高さ
θｂ：励起ファイバ２０と利得ファイバ３０の接合点における利得ファイバ３０の長手方向（光軸方向）と励起ファイバ２０の光軸方向とのなす結合角

である。

【００２２】

図３（Ａ）は解析モデルの断面図、（Ｂ）はＮＡ＝０．１のビームが励起ファイバ２０に結合される場合についての計算結果を示す図である。ビームが融着点から利得ファイバ３０に結合するとき、その結合角θｂに依存する。

【００２３】

光ファイバレーザ装置の作製上、θｂ＝０°など小さな角度は現実的でない。励起ファイバ２０へ結合させるビームの特性によるが、図３（Ｂ）のような傾向がある。また、利得ファイバ３０に伝搬している励起光が、融着点より放射する可能性がある。

【００２４】

ここで、図２に示した解析モデルのｎ１、ｎ２、ｎ３、ｄ１、ｈ２、及びＰ２内部の角度分布により、光の結合特性η（２→１）の関数が得られる。後述する各種のデータを導くためには、数千～１０万本程度の光線を発生させて、図３（Ｂ）に示した条件の下、その光線が光ファイバに結合してパワーＰ１になるか否か（臨界角を超えるか否か）を判定し、その判定を経て結合効率を求めるというシミュレーションを行う必要がある。

【００２５】

但し、石英系の光ファイバにおける屈折率は、概ね図３（Ｂ）に示す値と同じであるが、その値が変わる毎にθｂの値も変わり、それによりシミュレーション結果も変わる。したがって、後述する各種のデータは本発明の一例に過ぎず、本発明はこれに限定されるものではない。

【００２６】

図４は、励起ファイバ２０から利得ファイバ３０への結合効率の角度依存性を示す図で

ある。ここで重要なのは、図３の結果に示すように、励起ファイバ２０から利得ファイバ３０へ結合するパワーが、利得ファイバ３０から励起ファイバ２０へ結合（して、最終的に放射）するパワーより大きくなる必要がある。

【００２７】

そこで、利得ファイバ３０から励起ファイバ２０を経てビームが放射されるときの結合効率η、励起ファイバ２０から利得ファイバ３０への結合効率η、励起ファイバ２０を伝搬するパワーＰ２、利得ファイバ３０を伝搬するパワーｐ１について議論する必要がある。

【００２８】

ここで、解析モデルにおける励起光が利得ファイバ３０に結合する効率ηの特性は、図４に示す通りである。すなわち、結合角θｂが１８度であれば結合効率は１００％近くに達するが、好ましくは結合角が１７度以下、更に好ましくは１５°以下の領域で高い結合効率が得られる。

【００２９】

図５は、利得ファイバ３０の伝搬光が外部へ放射される効率を示す図である。同図に示すように、結合角θｂが大きくなるにつれて、相互作用領域が狭くなるので、外部へ放射されるビームが減少する。

【００３０】

図６は、（Ｐ２／Ｐ０）に対する励起光が利得ファイバ３０に結合する特性を示す図である。同図では、励起ファイバ光Ｐ２が利得ファイバ３０に結合する特性と、利得ファイバ光Ｐ０が励起ファイバ２０の影響により放射する特性を、双方のパワー比（Ｐ２／Ｐ０）の状況に応じて最終的に利得ファイバに結合した強度を示している。

【００３１】

Ｐ２から結合させるパワーが、利得ファイバ３０中のパワーＰ０より小さいときには、結合するパワーと放射するパワーの比が小さくなる。但し、θｂ＝１５度の場合に、パワーＰ２がパワーＰ０より十分に大きくなると（（Ｐ２／Ｐ０）＞１％。好ましくは（Ｐ２／Ｐ０）＞５％）、結合効率９０％以上になり、有効な励起が実現できていることが分かる。

【００３２】

図７は、結合角θｂに対する励起光が利得ファイバ３０に結合する特性を示す図である。０＜θｂ≦１５°の領域では概ね特性は変わらない。結合角θｂが大きくなると励起効率が低くなる傾向があらわれることが確認できる。

【００３３】

十分な強度比（Ｐ２／Ｐ０）が得られているときは、５°から１５°程度の結合角において安定な励起が実現できる。

【００３４】

総合的に見ると、結合角１５°程度で、Ｐ２／Ｐ０＞１％が成り立つ範囲で動作するのが理想的である。

【００３５】

以上のように、本実施形態に係る光ファイバレーザ装置は、利得ファイバ３０に対して励起ファイバ２０からの励起光を高効率で結合させることができるので、高出力のレーザを出射することができる。

【００３６】

ここで、半導体レーザからの出射光を励起光用ファイバに導き、それを利得ファイバに結合する場合、伝送される励起光強度が同じ場合、断面積の大きい励起光用ファイバを、利得ファイバに結合するのは効率上不利である。

【００３７】

これに対して、上記光ファイバレーザ装置は、大口径の丸型光ファイバを結合させたものと比較して、励起光を結合させる効率が高くなり、単位長さあたりの励起光用ファイバの本数を多くすることができる。励起光量（パワー）を増やすことができる。

【００３８】
また、一般的な半導体レーザの特性上、水平方向は断面形状の大きな（ファイバの）コアに結合させる必要がある。
【００３９】
これに対して、本実施の形態に係る光ファイバレーザ装置は、垂直方向については、光学系の工夫により小さいコアに結合させることができる。つまり、円形コアでなく、矩形コアでも高効率に結合することができる。
【００４０】
なお、図１５に示したポート３の出射を増やすには、ポート２（コア径φ１００μｍ）の断面積を減らす必要がある。具体的には、１００ｕｍ×３０ｕｍにすることにより、半導体レーザと励起光用光ファイバの結合時の特性向上が図られる。また、半導体レーザの出射特性が、幅１００ｕｍ、発散角（半角）１００ｍｒａｄ、速軸１ｕｍ、発散角５００ｍｒａｄのとき、矩形ファイバに結合させた励起ファイバの場合、通常方式に比べて約３倍多くの励起光を、利得ファイバに結合させることができる。
【００４１】
［製造方法］
図８（Ａ）～（Ｃ）は、丸型ファイバである利得ファイバ３０に励起光用の矩形コアファイバである励起ファイバ２０を融着することにより得られる結合器の製造工程及びその工程における断面構造を示す図である。
【００４２】
図９は、結合器の製造工程において石英材料と吸収体と保持機構の配置を説明する図である。
【００４３】
励起ファイバ２０と利得ファイバ３０とを接合させるため、石英材料と石英材料との融着する必要がある。石英材料と石英材料の融着では、レーザ光を吸収する領域を設定する必要がある。
【００４４】
そこで、図９に示すように、石英材料１（励起ファイバ２０）を保持部品で保持する。なお、保持部品も石英材料からなる透明部材であり、石英材料２は利得ファイバ３０を構成する材料である。そして、石英材料１、２の間の吸収材料に対して、保持部品、石英材料１を介してレーザ光を照射する。
【００４５】
ここで、レーザ光は、保持部品に対して透明であり、石英材料１に対しても透明であることから、吸収材料のみに吸収される。そのため、吸収剤は発熱源となり、その熱量により石英材料１と石英材料２の吸収材料に接している領域が溶融することにより、励起ファイバ２０と利得ファイバ３０とが融着される。
【００４６】
吸収材料は、Ａｌなどの低融点の金属の蒸着膜を用いているが、Ａｌ以外の金属でも良い。また、吸収材料は、微量の炭素Ｃを含有した塗料でも良い。なお、融着後は、境界面は透明になる。
【００４７】
なお、励起ファイバ２０の利得ファイバ３０と融着させる側の形状をあらかじめ細くして（ｈ＝３０μｍの方向をもう少し薄くし、かつ励起光が励起ファイバ２０から放射しない範囲）から、利得ファイバ３０に融着することが望ましい。
【００４８】
また、融着部分に大きな張力がかからないように、また、クラッド部への異物の付着を防ぐために、低屈折率樹脂で、接合部をリコートすると更に好ましい。
【００４９】
半導体レーザ１０と矩形ファイバである励起ファイバ２０との光結合には、図示しない円筒状マイクロレンズを介して結合させても良いが、励起ファイバ２０の先端に直接円筒

状のレンズ形状を作製して、レンズとして用いても良い。

【００５０】

図１０（Ａ）及び（Ｂ）は、半導体レーザ１０と励起ファイバ２０と利得ファイバ３０の光学特性を示す図である。

【００５１】

図１０（Ａ）に示すように、半導体レーザ１０から出射されるレーザ光は、幅Ｗ＝１００μｍ、幅方向の広がり角θ＝１００ｍｒａｄ、高さｈ＝１μｍ、高さ方向の広がり角５００ｍｒａｄである。そして、励起ファイバ２０の断面が例えば矩形である場合、励起ファイバ２０から出射されるレーザ光は、幅Ｗ＝１０５μｍ、幅方向の広がり角θ＝１００ｍｒａｄ、高さｈ＝３０μｍ、高さ方向の広がり角１００ｍｒａｄである。このレーザ光が利得ファイバ３０に入射される。

【００５２】

また、図１０（Ｂ）に示すように、励起ファイバ２０の断面が例えば円形である場合、励起ファイバ２０から出射されるレーザ光は、幅Ｗ＝１０５μｍ、広がり角θ＝１００ｍｒａｄである。このレーザ光が利得ファイバ３０に入射される。

【００５３】

図１１（Ａ）及び（Ｂ）は、励起ファイバ２０と利得ファイバ３０の融着の組み合わせを示す図である。励起ファイバ２０と利得ファイバ３０の融着の組み合わせは、同図（Ａ）に示すように断面形状が矩形同士、同図（Ｂ）に示すように円型同士、あるいは円形と矩形の組み合わせでも可能である。また、小さなレーザパワーを投入して融着するためには、あらかじめ、境界面を研磨するか、溶融させて滑らかな面を確保する必要がある。

【００５４】

なお、従来、石英材料と石英材料の融着には、バーナーやアーク放電による加熱、CO_2レーザによる加熱（石英は１０μｍの波長帯域を吸収する特性がある。）によって実現されていたが、広い領域が溶融し形状が崩れやすい。局所的に加熱するのは困難である。

【００５５】

これに対して、本実施形態に係る光ファイバ装置の製造方法は、吸収物質が配置されたところのみが局所的に加熱することができるので、励起ファイバ２０と利得ファイバ３０とを容易に融着することができる。

【００５６】

石英材料に対して透明であるＮｄＹＡＧ等の１μｍ程度の波長を用い、その波長に対して吸収の大きい物質を配置することで、局所加熱して、石英材料間の融着を実現できる。なお、吸収材料は微量であるので、吸収材料と励起ファイバ２０、利得ファイバ３０との界面は透明になり、光学的特性に何ら影響を与えないという利点もある。

【００５７】

［他の態様］

図１２は、利得ファイバ３０に多段の励起ファイバ２０を接続した状態を説明する図である。同図に示すように、利得ファイバ３０が概ね励起光を（十分）吸収したところで、さらに前記と同様の励起光を結合させることにより、多段の励起が可能となる。図１２では、励起光を出射する半導体レーザは省略されているが、これを設けても良いのは勿論である。

【００５８】

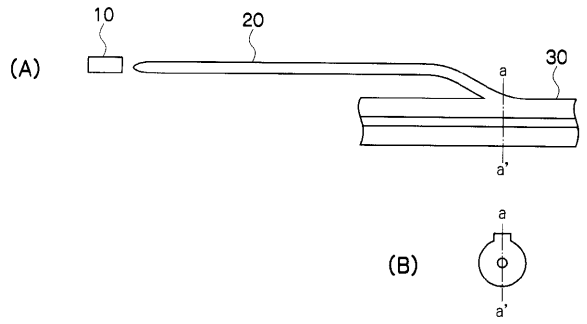
なお、励起ファイバ２０へ結合させる半導体レーザ１０としては、シングルエミッタ構造の半導体レーザ以外にも、アレイ状に配置したレーザ（ＬＤバー）である半導体レーザアレイであってもよい。

【００５９】

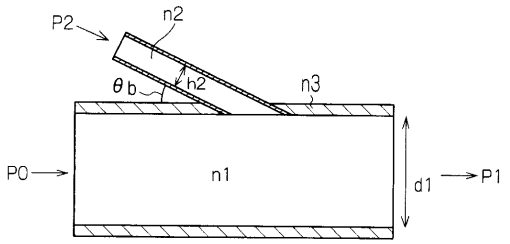
また、ＬＤバーの出射光を、マイクロレンズなどの光学部品を用いて、光ファイバに結合させたものを励起光用光ファイバとして用いても良い。また、ＬＤバーの出射光を、光回路（Planar Lightwave Circuit）を用いて、その出力を光ファイバに結合させたものを励起光用光ファイバとして用いてもよい。

【００６０】
図１３は、励起ファイバと利得ファイバとの接続の変形例を示す図である。これまでは、利得ファイバに直接、励起ファイバを結合させる方式について述べたが、次のような態様にも適用可能である。同図に示すように、利得構造を有しない光ファイバ２０Ａに励起光を結合させた後、利得構造を有する光ファイバ３０Ａにまとめて結合させても良い。
【００６１】
なお、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内で設計上の変更をされたものにも適用可能であるのは勿論である。
【図面の簡単な説明】
【００６２】
【図１】（Ａ）は本発明の実施の形態に係る光ファイバレーザ装置の構成を示す図、（Ｂ）はａ－ａ’間の断面を示す図である。
【図２】励起ファイバと利得ファイバの解析モデルを示す図である。
【図３】（Ａ）は解析モデルの断面図、（Ｂ）はＮＡ＝０．１のビームが励起ファイバ２０に結合される場合についての計算結果を示す図である。
【図４】励起ファイバから利得ファイバへの結合効率の角度依存性を示す図である。
【図５】利得ファイバの伝搬光が外部へ放射される効率を示す図である。
【図６】（Ｐ２／Ｐ０）に対する励起光が利得ファイバに結合する特性を示す図である。
【図７】結合角θｂに対する励起光が利得ファイバに結合する特性を示す図である。
【図８】（Ａ）～（Ｃ）は、丸型ファイバである利得ファイバに励起光用の矩形コアファイバである励起ファイバを融着することにより得られる結合器の製造工程及びその工程における断面構造を示す図である。
【図９】結合器の製造工程において石英材料と吸収体と保持機構の配置を説明する図である。
【図１０】（Ａ）及び（Ｂ）は、半導体レーザと励起ファイバと利得ファイバの光学特性を示す図である。
【図１１】（Ａ）及び（Ｂ）は、励起ファイバと利得ファイバの融着の組み合わせを示す図である。
【図１２】利得ファイバに多段の励起ファイバを接続した状態を説明する図である。
【図１３】励起ファイバと利得ファイバとの接続の変形例を示す図である。
【図１４】対称光ファイバ型光結合器を示す図である。
【図１５】非対称光ファイバ型光結合器を示す図である。
【符号の説明】
【００６３】
１０　半導体レーザ
２０　励起ファイバ
３０　利得ファイバ

【図１】



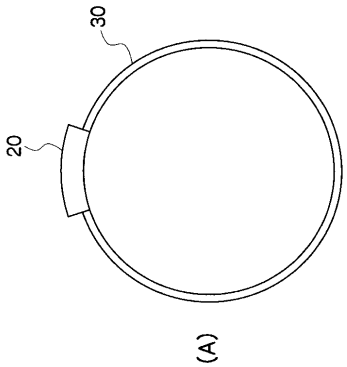
【図２】



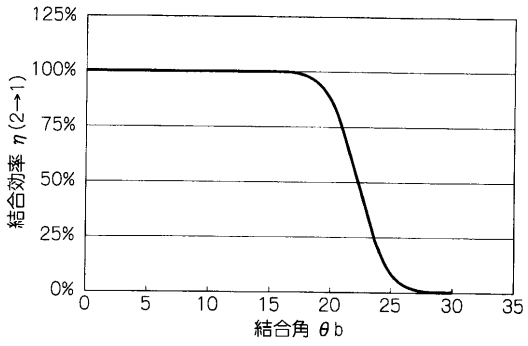
【図３】

n1	1.457
n2	1.457
n3	1.404
P0	
d1[um]	600
NA	0.39
P2	
h2[um]	30
w2[um]	105
NA	0.22

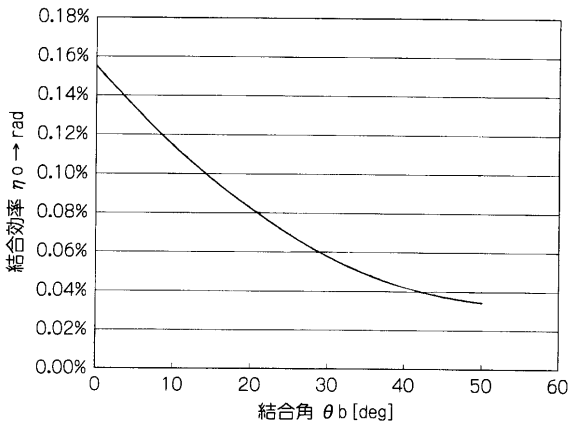
(B)



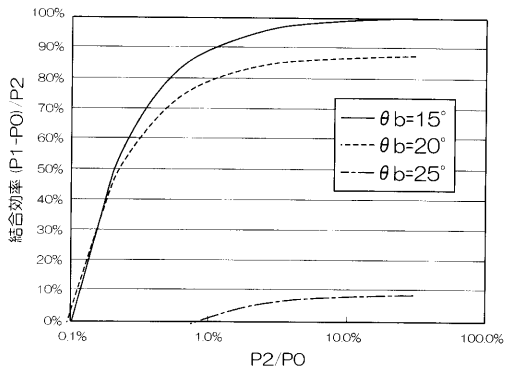
【図４】



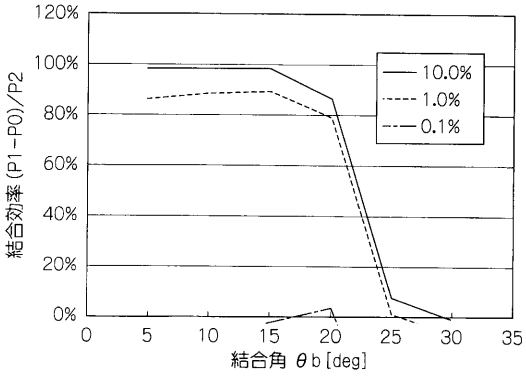
【図５】



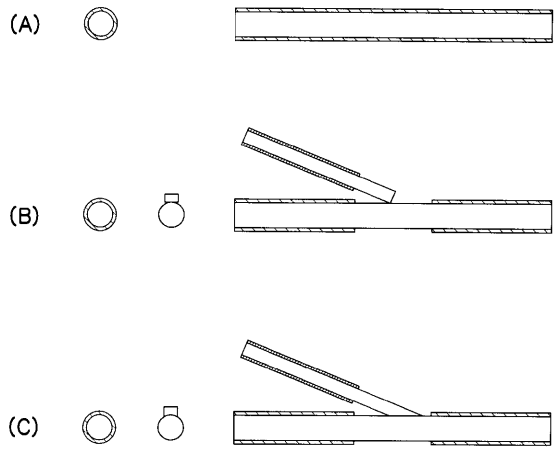
【図６】



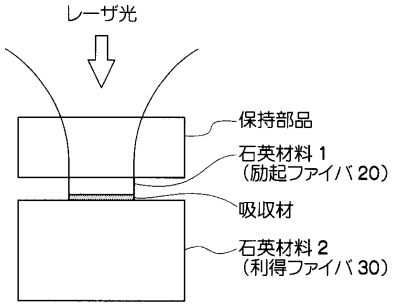
【図７】



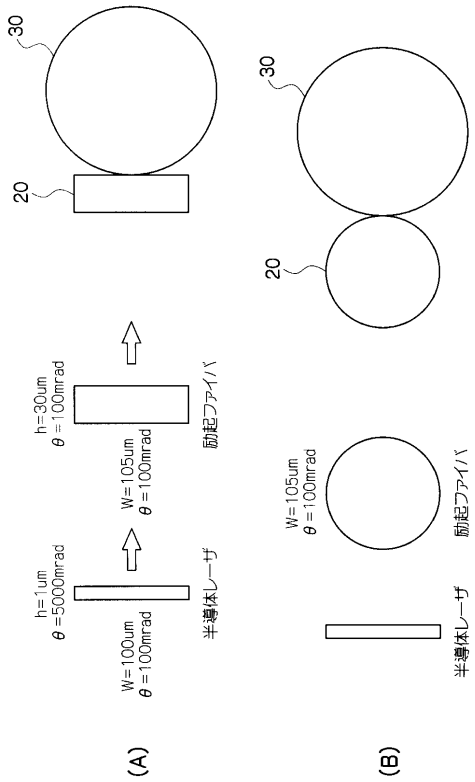
【図８】



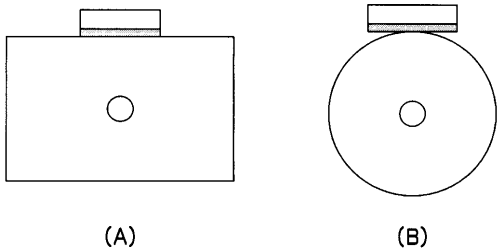
【図９】



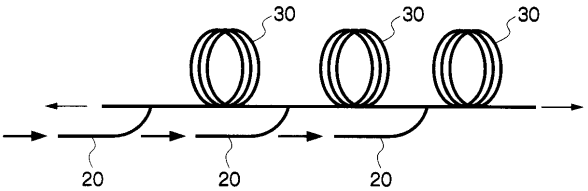
【図１０】



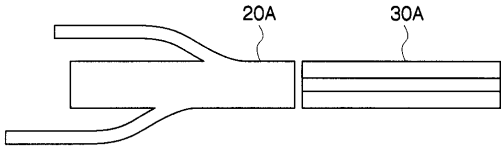
【図１１】



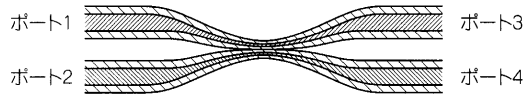
【図１２】



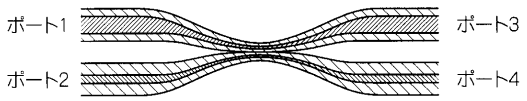
【図１３】



【図１４】



【図１５】



フロントページの続き

(72)発明者　井上　大介
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者　伊藤　博
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者　佐藤　彰生
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内
(72)発明者　谷中　耕平
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内

Ｆターム(参考) 5F172 AE13　AM05　AM06　AM08　EE13