(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4024349号
(P4024349)
(45)発行日　平成19年12月19日(2007.12.19)　(24)登録日　平成19年10月12日(2007.10.12)

(51)Int.Cl.		F I		
G02B 6/32	(2006.01)	G02B	6/32	
G02B 3/00	(2006.01)	G02B	3/00	Z
G02B 6/02	(2006.01)	G02B	6/10	D
G02B 6/42	(2006.01)	G02B	6/42	
G02B 13/08	(2006.01)	G02B	13/08	

請求項の数 23　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願平9-191688
(22)出願日　平成9年7月17日(1997.7.17)
(65)公開番号　特開平10-78531
(43)公開日　平成10年3月24日(1998.3.24)
審査請求日　平成13年1月29日(2001.1.29)
審判番号　不服2004-9636(P2004-9636/J1)
審判請求日　平成16年5月7日(2004.5.7)
(31)優先権主張番号　96305605.6
(32)優先日　平成8年7月30日(1996.7.30)
(33)優先権主張国　英国(GB)

(73)特許権者　506098789
アバゴ・テクノロジーズ・ファイバー・アイピー（シンガポール）プライベート・リミテッド
シンガポール国シンガポール７６８９２３，イーシュン・アベニュー・７・ナンバー１
(74)代理人　100087642
弁理士　古谷　聡
(74)代理人　100076680
弁理士　溝部　孝彦
(74)代理人　100121061
弁理士　西山　清春

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光ファイバ超小型レンズ及びその形成方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

光ファイバ超小型レンズ(4)であって、

光ファイバ(1)の端部に一体的に形成されたアナモルフィック集束手段からなり、該集束手段の、光を集束する方向の軸に対して垂直な長軸が前記光ファイバ(1)の縦軸(3)に対して垂直でない、光ファイバ超小型レンズ(4)。

【請求項２】

前記アナモルフィック集束手段が略円柱状であり、前記集束手段の長軸が円柱の軸をなす、請求項１に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。

【請求項３】

前記アナモルフィック集束手段が、互いに傾斜してウェッジを形成する少なくとも２つの略平坦な表面(5,6)からなり、該ウェッジの先端における前記２つの平坦な表面(5,6)の交差線(7)が、前記集束手段の長軸をなす、請求項１に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。

【請求項４】

前記集束手段の長軸と光ファイバ(1)の縦軸(3)との間の角度(θ)が、８９°よりも小さくて７５°よりも大きい、請求項１ないし請求項３の何れか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。

【請求項５】

前記集束手段の長軸と光ファイバ(1)の縦軸(3)との間の角度(θ)が、略８３°である、

請求項４に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項６】
前記ウェッジの先端の輪郭(11,12)が、前記２つの平坦な表面(5,6)の交差線(7)に対して垂直な平面において湾曲している、請求項３ないし請求項５の何れか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項７】
前記ウェッジの先端の輪郭(11,12)の漸近線が、前記２つの平坦な表面(5,6)内に位置する、請求項６に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項８】
前記輪郭が略双曲線状である、請求項６または請求項７に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項９】
前記輪郭が略円形である、請求項６または請求項７に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項１０】
前記２つの平坦な表面間の角度(φ)が、９５°と１２５°の間である、請求項３ないし請求項９の何れか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項１１】
前記ウェッジの先端が、光ファイバ(1)の縦軸(3)の付近で切断されている、請求項３ないし請求項１０の何れか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項１２】
前記ウェッジの先端が、前記少なくとも２つの平坦な表面(5,6)の各々に対して略等しい角度で傾斜した第３の略平坦な表面(14)によって切断されている、請求項１１に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項１３】
ｉ）前記光ファイバ(1)をホルダ(15)内に、該ホルダ(15)の回転軸に対して一定の角度(９０－θ)で取り付け、
ii）前記光ファイバ(1)の前記一端に第１の表面を研削し、
iii）前記ホルダ(15)をその回転軸のまわりで１８０°回転させ、
iv）前記光ファイバ(1)の前記一端に第２の表面を研削する、
という各ステップによって、光ファイバ(1)の一端に光ファイバ超小型レンズ(4)を形成することを含む、請求項１に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項１４】
v）光ファイバ超小型レンズ(4)に光放射線を通すことにより該光ファイバ超小型レンズ(4)の品質をチェックし、
vi）所望の品質が得られるまで前記ステップii）～v）を繰り返す、
という各ステップを更に含む、請求項１３に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)。
【請求項１５】
光放射源であって、
出力切開面(10)を有する半導体レーザ・ダイオード(8)と、該出力切開面(10)を介して前記レーザ・ダイオード(8)の活性領域(9)から出力される光放射線を受けるべく位置合わせされた、請求項１ないし請求項１４の何れか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ(4)とからなり、これにより、レーザ・ダイオード(8)から出力されて、超小型レンズ(4)から前記レーザ・ダイオード(8)の前記活性領域(9)へと後方反射される光放射線のレベルが大幅に低減される、光放射源。
【請求項１６】
光ファイバ(1)の縦軸(3)が、前記半導体レーザ・ダイオード(8)の前記出力切開面(10)に対して垂直でない、請求項１５に記載の光放射源。
【請求項１７】
前記光ファイバ(1)の前記縦軸(3)が、前記半導体レーザ・ダイオード(8)の前記出力切

開面(10)に対して、８９°と８３°の間の角度(９０－ψ)をなす、請求項１６に記載の光放射源。

【請求項１８】

前記光ファイバ(1)の前記縦軸(3)が、前記半導体レーザ・ダイオード(8)の前記出力切開面(10)と略８７°の角度(９０－ψ)をなす、請求項１６に記載の光放射源。

【請求項１９】

前記超小型レンズ(4)の２つの平坦な表面(5,6)の交差線(7)と前記レーザ・ダイオード(8)の前記出力切開面(10)との間の角度(ω)が、５°と１５°の間にある、請求項１５ないし請求項１８の何れか一項に記載の光放射源。

【請求項２０】

前記超小型レンズ(4)の前記２つの平坦な表面(5,6)の前記交差線(7)と前記レーザ・ダイオード(8)の前記出力切開面(10)との間の角度(ω)が約１０°である、請求項１９に記載の光放射源。

【請求項２１】

前記レーザ・ダイオード(8)から出力される光放射線の波長が、希土類ドーピング光ファイバ(1)増幅器またはレーザの励起に適している、請求項１５ないし請求項２０の何れか一項に記載の光放射源。

【請求項２２】

前記レーザ・ダイオード(8)から出力される光放射線の波長が、エルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器またはレーザの励起に適している、請求項１５ないし請求項２０の何れか一項に記載の光放射源。

【請求項２３】

前記レーザ・ダイオード(8)から出力される光放射線の波長が略９８０ｎｍである、請求項１５ないし請求項２０の何れか一項に記載の光放射源。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバへの光放射線の結合に関し、とりわけ、光ファイバ超小型レンズ、及びそれを用いた光放射源に関する。

【０００２】

【従来の技術】

半導体レーザ・ダイオードから光ファイバへの光放射線の結合における２つの重要な点は、結合の効率と、光ファイバからレーザ・ダイオードへの放射の後方反射レベルである。後方反射レベルを低下させるための、あるいは、結合効率を高めるためのさまざまな技法が知られている。後方反射レベルを低下させるための既知の技法は、レーザ・ダイオードに対して光ファイバを傾斜させるか、あるいは、光ファイバの端面を斜めに研磨することによって、光放射線が、光ファイバの端面に９０°以外の角度で当たるように構成することである。他の既知の技法には、ファイバの端面に反射防止コーティングを施すことや、あるいは、ファイバの端面に荒削りを施して、米国特許第5,479,549 号に教示のように、フレネル反射を最小限に抑えることが含まれる。これらの技法では、光の集束が得られず、従って、後方反射レベルはある程度低下するかもしれないが、レーザ・ダイオードと光ファイバの間の結合効率が低くなる。

【０００３】

既知のように、光ファイバの先端に形成された超小型レンズを用いることによって、結合の効率が改善される。この技法は特に有効である。というのは、超小型レンズと光ファイバが、永久的に位置合わせされて、レーザ・ダイオードとの位置合わせ状態に容易に位置決め及び保持可能である、単一アセンブリを形成するためである。対称性の光ファイバに対して、非対称の出力放射パターンを有する半導体レーザを結合する場合、特定の問題に直面する。例えば、エルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器（ＥＤＦＡ）の励起に用いられる９８０ｎｍの半導体レーザは、アスペクト比が４：１以上の極度に楕円形の出力放

射パターンを有する。こうした非対称性光源からの放射線を有効に結合するため、アナモルフィック光ファイバ超小型レンズが開発された。１９９０年９月のJournal of Lightwave Technology,Volume 8, No.9の「Efficient power coupling from a 980nm, broad area laser to a single mode fibre using a wedge-shaped fibre end face（ウェッジ形状のファイバ端面を用いた９８０ｎｍ広域レーザから単一モードファイバへの効率的なパワー結合）」には、Shah他によって、単純なウェッジ形状の光ファイバ超小型レンズが提案されており、また、米国特許第5,455,870 号には、ダブル・ウェッジ超小型レンズ設計が開示されている。

【０００４】

非対称性の出力放射パターンを有するこれらの半導体レーザは又、特に後方反射に耐えられず、その出力スペクトルを大幅に変化させる可能性がある。ＥＤＦＡの励起に利用される高パワー９８０ｎｍ半導体レーザの場合、後方反射によって生じる出力スペクトルの変化によって、通常は９８０ｎｍの励起放出が、エルビウムの吸収帯域外へと追いやられ、このためＥＤＦＡが、激しい利得変動の影響を受けやすくなる可能性がある。これらの問題については、Giles 他が、１９９４年８月のIEEE Photonics Technology Letters, volume 6, No. 8の「Reflection-induced changes in the optical spectra of 980nm QW lasers（９８０ｎｍＱＷレーザの光スペクトルにおける反射誘導変化）」において論じている。Giles 他は、バルク格子またはファイバ格子反射器を利用して、制御された狭帯域反射を生じさせることによって、これらのレーザの疑似反射に対する耐性を改善することを提案している。この提案は、Ventrudo他（１９９４年１２月８日のElectronic Letters, volume 13, No. 25の「Wavelength and Intensity Stabilisation of 980nm diode lasers coupled to fibre Bragg gratings(ファイバ・ブラッグこうしに結合された９８０ｎｍダイオード・レーザの波長及び強度安定性）」、及び米国特許第5,485,481 号）によって取り上げられ、彼らは、ファイバ・ブラッグ格子からの光学フィードバックを利用して、市販の９８０ｎｍ励起ダイオード・レーザのスペクトル特性を改良している。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、光ファイバと非対称性出力を有するレーザ・ダイオードとの間の結合効率を高め、超小型レンズからレーザ・ダイオードへの後方反射レベルを低減すること、及びそのための簡単で有効な技法を提供することにある。

【０００６】

本出願人の計算によれば、その先端が光ファイバの軸に対して９０°をなす（Shah他による解説のように）、単純なウェッジ形状の光ファイバ超小型レンズによって、－３０ｄＢの後方反射が生じる。この後方反射レベルは、９８０ｎｍのレーザ・ダイオードの出力スペクトルを乱すのに十分である。とにかく、ウェッジの先端が丸められていたら、後方反射レベルはもっと高くなる。本発明は、アナモルフィック超小型レンズから反射される如何なる光放射線も、レーザ・ダイオードの活性領域から離して向け、同時に、レーザ・ダイオードと光ファイバとの間における高い結合効率も維持することを保証しようとするものである。

【０００７】

充分設計されたＥＤＦＡの場合、超小型レンズからの後方反射が、後方反射の唯一の重要な発生源になる見込みが高く、従って、本発明による超小型レンズを利用したＥＤＦＡの性能は向上する。

【０００８】

さらに、本発明によれば、ファブリ－ペロ空洞効果を排除することによって、半導体レーザ・ダイオードへの超小型レンズの正確且つ安定な位置合わせが容易となる。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

本発明の第１の態様によれば、集束手段の長軸が光ファイバの縦軸に対して垂直ではない、アナモルフィック集束手段からなる光ファイバ超小型レンズが提供される。

【００１０】
アナモルフィック集束手段は、円柱状とすることができ、本質的に、円柱の軸が光ファイバの縦軸に対して垂直にならないように、光ファイバの端部に形成された円柱レンズからなる。しかし、アナモルフィック集束手段は、互いに傾斜して、ウェッジを形成する、少なくとも２つの平坦な表面からなることが望ましい。この場合、ウェッジの先端における２つの平坦な表面の交差線が、集束手段の長軸をなして、光ファイバの縦軸に対して９０°未満の角度で位置合わせされる。
【００１１】
本発明の実施例によれば、光ファイバ超小型レンズにおいて、２つの平坦な表面の交差線と光ファイバの軸との間の角度が、８９°未満で、７５°より大きい方が望ましく、この角度は、８３°であるのが最も望ましい。
【００１２】
２つの平坦な表面の交差線に対して垂直な平面内におけるウェッジの先端の輪郭は、三角形とすることができる。代替案として、ウェッジの先端における輪郭は、湾曲させることも可能である。こうして輪郭を湾曲させることによって、光ファイバに対する光放射線の結合効率が高くなる。
【００１３】
ウェッジの先端における輪郭が湾曲している場合、湾曲の漸近線が２つの平坦な表面内に位置するのが有利である。この湾曲は、双曲線であることが最も望ましい。
【００１４】
最適な結合を確保するために、ウェッジの開先角度が、９５°と１２５°の間にあることが望ましい。
【００１５】
有利には、ウェッジの先端は、ウェッジを形成する平坦な表面の各々と等しい角度で傾斜した第３の平坦な表面により好適に、光ファイバの縦軸の付近で切断される。ウェッジのこうした先端切断によって、光ファイバのコアに近い超小型レンズの活性領域を、レーザ・ダイオードの切開面にさらに近くなるように接近させることが可能になり、この結果、結合効率が向上する。
【００１６】
本発明の第２の態様によれば、出力切開面を備えた半導体レーザ・ダイオードと、出力切開面を介してレーザ・ダイオードの活性領域から出力される光放射線を受けるべく位置合わせされた、本発明の第１の態様による光ファイバ超小型レンズとからなる光放射源が提供される。この場合、レーザ・ダイオードから出力され、超小型レンズからレーザ・ダイオードの活性領域へと反射される、光放射線のレベルが大幅に低減される。
【００１７】
本発明の第１の態様によれば、光ファイバ超小型レンズの２つの平坦な表面の交差線は、光ファイバの縦軸に対して垂直ではないので、光ファイバの縦軸に平行な方向に光ファイバに入射する光が、スネルの法則によって屈折されることになる。従って、本発明の第２の態様の実施例の場合、光ファイバの縦軸は、半導体レーザ・ダイオードの出力切開面に対して垂直でないことが望ましく、それにより、レーザ・ダイオードからの光放射線は、光ファイバの縦軸に平行な方向において、光ファイバ超小型レンズに確実に当たらない。これにより、レーザ・ダイオードから光ファイバへの光放射線の結合効率が高くなる。
【００１８】
光ファイバの縦軸は、半導体レーザ・ダイオードの出力切開面と、８９°と８３°の間の角度をなすことが望ましく、８７°の角度をなすのが最も望ましい。
【００１９】
従って、本発明の実施例の場合、超小型レンズのウェッジの先端は、光ファイバの縦軸に対する垂線から離して位置合わせされ、光ファイバ自体の縦軸は、レーザ・ダイオードの切開面に対する垂線から離して位置合わせされる。
【００２０】

本発明の第３の態様によれば、光ファイバ超小型レンズを形成する方法が提供される。

【００２１】

【発明の実施の形態】

図１には、本発明の実施例による光ファイバ超小型レンズ４の概略図が示されている。光ファイバ１は、その縦軸３に中心がくるコア２を備えている。光ファイバ１の一方の端部において、光ファイバは、ウェッジ形状をしている。ウェッジ形状は、交差線７で接する２つの平坦な表面５及び６によって形成される。交差線７は、光ファイバ１の縦軸３と角度θをなす。

【００２２】

次に、図２を参照して、角度θの選択に影響する要因について説明する。図２は、本発明の実施例に従って、光ファイバ超小型レンズ４と位置合わせされた、活性領域９を備える半導体レーザ・ダイオード８の概略図である。半導体レーザ・ダイオード８の出力放射パターンは、楕円形であり、その近視野モードは、長半径Ｗと短半径ｗを有する。超小型レンズ４は、その交差線が、レーザ・ダイオード８の近視野モードの短軸と同じ平面内（すなわち、図２の紙面内）に納まるように、半導体レーザ・ダイオード８と位置合わせされている。光ファイバ超小型レンズ４の角度θの選定は、半導体レーザ・ダイオード８から光ファイバ超小型レンズ４までの最適結合距離Ｄにおいて、超小型レンズ４から後方反射される光放射線が、半導体レーザ・ダイオード８の動作を乱さないように、活性領域９から十分遠くで切開面１０に達するようになされる。

【００２３】

図２に示す構成によって、レーザ・ダイオード８が被るファイバ超小型レンズ４からの後方反射が除去されるが、レーザ・ダイオード８から光ファイバ１への光放射線の結合効率は最適ではない。従って、図３を参照すると、レーザ・ダイオード８の切開面１０に対する垂線に対して角度ψをなすように、光ファイバ１の縦軸３を傾斜させるのが望ましい。角度ψの選定は、ウェッジの先端７に当たるレーザ・ダイオード８からの光放射線が、ファイバの縦軸３に平行な方向に光ファイバ１へと屈折するようになされる。角度ψは、従って、下記の式によって与えられる。

【００２４】

ｎ・ｃｏｓ（θ）＝ｃｏｓ（θ－ψ）　　［１］

ここで、ｎは、光ファイバ１の屈折率である。

【００２５】

超小型レンズ４によって後方反射される光放射線から、半導体レーザ・ダイオード８の近視野モードへと結合されて戻る光の減衰度は、下記の式から推定可能である。

【００２６】

【数１】

$$I(D,\omega)=\sqrt{\frac{\pi w^2}{2\lambda D}}\exp\left[-\left(\frac{\pi^2 W^2\sin^2(\omega)}{2\lambda^2}\right)\right] \qquad [2]$$

【００２７】

ここで、ωは、図３に示すように、交差線７とレーザ切開面１０間の角度であり、下記によって与えられる。

【００２８】

ω＝９０－θ＋ψ　　［３］

式［２］は、９８０ｎｍの歪みＭＱＷレーザ・ダイオードに関する典型的な値、すなわちω＝０．７μｍ、Ｗ＝３．０μｍ、及びＤ＝１０μｍについて、図１５にωの関数としてグラフ化されている。

【００２９】
図１５から明らかなように、切開面に対して垂直に位置合わせされたウェッジ・レンズからのゼロ減衰（ω＝０）は、３０ｄＢであるが、これは、レーザ・ダイオードにおけるスペクトル不安定性をなくすには不十分である。角度ωが１０°まで増大すると、減衰は約４２ｄＢまで増大する。本出願人は、この減衰レベルが、９８０ｎｍレーザ・ダイオードにおけるスペクトル不安定性を満足がゆく程度にまでなくすのに十分である、ということを見出した。
【００３０】
ｎが約１．５のシリカ光ファイバ超小型レンズを用いる場合、θ及びψの最適値は、それぞれ、約８３°及び約３°であることが分かっている。
【００３１】
当業者には明らかなように、特性（例えば、放射パターンのアスペクト比、波長等）が異なるレーザ・ダイオードに対して、異なる最適値が存在することになり、これらは、式［１］、［２］、及び［３］を用いて求めることができる。
【００３２】
図３に示す構成を用いると、従来技術によるウェッジ形状の超小型レンズを利用して実現可能な値に等しい結合効率を実現することが可能であり、同時に、超小型レンズからレーザ・ダイオードへの後方反射の影響を排除することもできる。図４を参照すると、ウェッジの先端に対して、ダブル・ウェッジ輪郭１１、双曲線輪郭１２、または、円形輪郭（不図示）を用いることによって、結合効率をさらに高めることも可能である。平坦な表面５と６間の角度φは、ウェッジ開先角度として知られるが、これを、当業者には周知の手段によって最適化することもできる。
【００３３】
図５には、本発明のさらにもう１つの実施例の概略が示されている。本出願人は、状況によって、光ファイバ４とレーザ・ダイオード８の切開面１０との間の最適距離Ｄが、位置合わせ時に、これら２つの間の衝突の危険があるほど十分に短い場合がある（例えば、距離Ｄは、わずか８μｍの場合もある）。従って、光ファイバ１のコア２に近接したウェッジの先端１３を切断するのが有利である。これは、平坦な表面５及び６と等しい角度で、第３の平面１４を設けることによって実現可能である。
【００３４】
次に、図６から図９を参照して、本発明の実施例に基づいて光ファイバ超小型レンズを形成する方法について説明する。図６に示すように、磁気ホルダ１５を利用して、光ファイバ１が保持される。磁気ホルダ１５は、２つの部分１５ａ及び１５ｂからなり、その間に光ファイバが保持される。磁気ホルダ１５の各部分は、光ファイバ１をしっかりと把持するよう寸法決めされた溝１６を有する。図７には、磁気ホルダの一部１５ａの内面の正面図が示されている。磁気ホルダ１５ａの内部表面の溝１６は、磁気ホルダ１５ａの内面内に位置し、縦回転軸１７に対して（９０－θ）の角度をなしている。磁気ホルダのもう一方の部分１５ｂは、回転軸１７に対して同じ角度をなす整合溝１６を有する。光ファイバ１は、磁気ホルダの第１の部分１５ａの溝１６内に配置される。ホルダの第２の部分１５ｂを第１の部分１５ａの上に配置すると、光ファイバ１は、ホルダの２つの部分１５ａ及び１５ｂの溝１６内にしっかり保持されることになる。図８及び９を参照すると、磁気ホルダ１５は、光ファイバ１を平坦な回転研削ディスク１８に対して保持するように位置決めされるので、ファイバ軸３と研削ディスク１８の平面間の角度が、所望のウェッジ開先角度φの１／２になる。ウェッジの一方の平坦な表面５が研削されると、磁気ホルダ１５は、回転縦軸１７まわりを１８０°（図９の位置Ａから位置Ｂまで）回転させられて、再び、ファイバ軸３が、研削ディスク１８に対して同じ角度φ／２をなすように位置決めされ、ウェッジのもう一方の平坦な表面６が形成される。磁気ホルダ１５の溝１６と回転軸１７の間の角度に起因して、ウェッジの平坦な表面５及び６の交差線７と光ファイバ１の縦軸３との間の所望の角度θが確保される。
【００３５】

２つの平坦な表面５及び６の交差線７が光ファイバ１のコア２の中心を通ることを保証するため、研削工程が、研削表面６と５の間で交互に繰り返され、交差線７の位置に関する光学的チェックが、各研削ステップ間において実施される。光学的チェックには、９８０ｎｍレーザから光ファイバ１の遠隔端部へと光放射線を発射するステップと、ＣＣＤカメラ及びモニタによって、超小型レンズから放出される遠視野パターンを環視するステップが含まれる。図１０には、非対称性の遠視野パターンが示されており、これは、交差線７が光ファイバ１のコア２を横切って中心に位置しないことを表す。図１１は、対称性の遠視野パターンであり、今度は、交差線７がコア２を横切って中心に位置することを表す。

【００３６】

レーザ・ダイオードの出力スペクトルに対する、本発明の実施例による光ファイバ超小型レンズの効果を実証するため、従来技術の単純なウェッジ・レンズに結合された場合と、本発明による超小型レンズに結合された場合の、同じ９８０ｎｍレーザ・ダイオードの光学スペクトルを測定した。図１２には、１分間にわたって光学スペクトル・アナライザから得られた、従来技術のウェッジ・レンズについてのパワー対波長曲線Ａと、本発明による超小型レンズについてのパワー対波長曲線Ｂが示されている。光学スペクトル・アナライザは、１分間以内にレーザ・ダイオードの波長帯域を２００回掃引して、各波長毎に測定される最大パワーを保有するように設定した。曲線Ａから明らかなように、レーザ・ダイオードは、従来技術のウェッジ・レンズに結合された場合、測定期間中に、約２ｎｍの範囲にわたって、１０個の特異な縦モード間をモード・ホッピングした。一方曲線Ｂは、レーザ・ダイオードが本発明による超小型レンズに結合された場合の出力スペクトルを示すが、曲線Ｂから明らかなように、出力は、測定期間全体にわたって同じ縦モード内に留まった。従来技術のウェッジ・レンズに結合した場合に呈示されるようなモード・ホッピングが特に問題となるのは、レーザ・ダイオードが、エルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器のような希土類の増幅器の励起に利用される場合である。レーザ・ダイオードのパワー出力が全モードにおいて同じであったとしても、エルビウムの吸収係数が波長に応じて変動する（ピーク波長から５ｎｍ離れると、約１０％降下する）ので、ＥＤＦＡの利得または出力パワーの変動は、レーザ・ダイオードの励起波長の変動に伴うことになる。ＥＤＦＡにおけるこの利得変動によって、ＥＤＦＡが増幅しようとする信号に望ましくない変調が生じることになる。

【００３７】

本発明の実施例による光ファイバ超小型レンズによって得られるもう１つの利点は、超小型レンズをレーザ・ダイオードに位置合わせする場合に、ファブリ－ペロ空洞効果が排除される点にある。図１３及１４には、それぞれ、従来技術のウェッジ・レンズと、本発明による超小型レンズについて、光ファイバに結合される光学パワーの変動が、超小型レンズとレーザ・ダイオードとの間の距離の関数として示されている。従来技術のウェッジ・レンズの先端からレーザ・ダイオードへの後方反射によって、結合パワーの変動が生じるが、これは、レンズの先端とレーザ・ダイオードの前部切開面の間に形成される弱いファブリ－ペロ空洞に起因する。この弱いファブリ－ペロ空洞によって、この場合、レンズと切開面の距離に対する結合パワーの曲線に、振幅が約５％のリップルが重畳される。このリップルによって、光ファイバ超小型レンズを初期に位置合わせして、最適な結合を達成することが困難になる。というのは、多くの局部的な擬似最大値が存在するためである。さらに、完全にパッケージ化された光源の場合、例えば温度変化に起因して、光ファイバ超小型レンズとレーザ・ダイオードとの間の距離がわずかに変動すると、これらリップルのために、光ファイバに結合されるパワーにはるかに大きい揺動が生じることになる。図１４から明らかなように、本発明による超小型レンズを用いた場合、超小型レンズとレーザ・ダイオード間の距離に応じた結合パワーの変動は滑らかであり、ファブリ－ペロ空洞リップルの徴候は見られない。これによって、最適な結合距離を信頼性良くまた正確に実現することが可能になり、しかも、サービス時における結合パワーの変動を最小限に抑えることが保証される。

【００３８】

以下に、本発明の実施態様を列挙する。

【００３９】

１．光ファイバ超小型レンズにおいて、

アナモルフィック集束手段からなり、該集束手段の長軸が、光ファイバの縦軸に対して垂直でないことを特徴とする、光ファイバ超小型レンズ。

【００４０】

２．前記アナモルフィック集束手段は略円柱状であり、前記集束手段の長軸は、円柱の軸をなすことを特徴とする、前項１に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４１】

３．前記アナモルフィック集束手段は、互いに傾斜して、ウェッジを形成する少なくとも２つの平坦な表面からなり、該ウェッジの先端における２つの平坦な表面の交差線が、前記集束手段の長軸をなすことを特徴とする、前項１に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４２】

４．前記集束手段の長軸と光ファイバの縦軸との間の角度が、８９°より小さく７５°より大きいことを特徴とする、前項１、２、または３に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４３】

５．前記集束手段の長軸と光ファイバの縦軸との間の角度が、８３°であることを特徴とする、前項４に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４４】

６．前記ウェッジの先端の輪郭が、前記２つの平坦な表面の交差線に対して垂直な平面において湾曲することを特徴とする、前項３から５のいずれか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４５】

７．前記ウェッジの先端の輪郭の漸近線が、前記２つの平坦な表面内に位置することを特徴とする、前項６に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４６】

８．前記輪郭は略双曲線状であることを特徴とする、前項６または７に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４７】

９．前記輪郭は略円形であることを特徴とする、前項６または７に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４８】

10．前記２つの平坦な表面間の角度が、９５°と１２５°の間であることを特徴とする、前項３から９のいずれか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００４９】

11．前記ウェッジの先端は、光ファイバの縦軸の付近で切断されることを特徴とする、前項３から１０のいずれか一項に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００５０】

12．前記ウェッジの先端は、前記少なくとも２つの平坦な表面の各々と等しい角度で傾斜した第３の平坦な表面によって切断されることを特徴とする、前項１１に記載の光ファイバ超小型レンズ。

【００５１】

13．光放射源において、

出力切開面を有する半導体レーザ・ダイオードと、該出力切開面を介してレーザ・ダイオードの活性領域から出力される光放射線を受けるべく位置合わせされた、前項１から１２のいずれか一項に記載の光ファイバ超小型レンズとからなり、それによって、レーザ・ダイオードから出力されて、超小型レンズからレーザ・ダイオードの活性領域へと後方反射される光放射線のレベルが大幅に低減されることを特徴とする、光放射源。

【００５２】

14．光ファイバの縦軸が、前記半導体レーザ・ダイオードの前記出力切開面に対して垂直

ではないことを特徴とする、前項１３に記載の光放射源。
【００５３】
15．光ファイバの縦軸が、前記半導体レーザ・ダイオードの前記出力切開面と、８９°と８３°の間の角度をなすことを特徴とする、前項１４に記載の光放射源。
【００５４】
16．光ファイバの縦軸が、前記半導体レーザ・ダイオードの前記出力切開面と８７°の角度をなすことを特徴とする、前項１４に記載の光放射源。
【００５５】
17．前記超小型レンズの２つの平坦な表面の交差線と前記レーザ・ダイオードの前記出力切開面との間の角度が、5°と１５°の間にあることを特徴とする、前項１３から１６のいずれか一項に記載の光放射源。
【００５６】
18．前記超小型レンズの２つの平坦な表面の交差線と前記レーザ・ダイオードの前記出力切開面との間の角度が、約１０°であることを特徴とする、前項１７に記載の光放射源。
【００５７】
19．前記レーザ・ダイオードから出力される光放射線の波長が、希土類ドーピング光ファイバ増幅器またはレーザの励起に適していることを特徴とする、前項１３から１８のいずれか一項に記載の光放射源。
【００５８】
20．前記レーザ・ダイオードから出力される光放射線の波長が、エルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器またはレーザの励起に適していることを特徴とする、前項１３から１８のいずれか一項に記載の光放射源。
【００５９】
21．前記レーザ・ダイオードから出力される光放射線の波長が、９８０ｎｍであることを特徴とする、前項１３から１８のいずれか一項に記載の光放射源。
【００６０】
22．光ファイバの一端に光ファイバ超小型レンズを形成する方法において、
ｉ）光ファイバをホルダ内に、該ホルダの回転軸に対してある角度で実装するステップと、
ii）光ファイバの上記一端に第１の表面を研削するステップと、
iii)上記ホルダを上記回転軸のまわりで１８０°回転させるステップと、
iv）光ファイバの上記一端に第２の表面を研削するステップと、
を含む方法。
【００６１】
23．ｖ）光ファイバ超小型レンズの品質を、そこに光を通すことによりチェックするステップと、
vi）所望の品質が得られるまで、前記ステップii）からｖ）を繰り返すステップを更に含むことを特徴とする、前項２２に記載の方法。
【００６２】
【発明の効果】
本発明は上述のように、光ファイバのウェッジ先端における２つの平坦な表面の交差線が、超小型レンズの長軸をなして、その交差線を光ファイバの縦軸に対して９０°未満の角度（θ）で位置合わせし、更に、レーザ・ダイオードの出力切開面の垂線に対して角度（ψ）をもたせて、光ファイバの縦軸を傾斜させることによって、超小型レンズからレーザ・ダイオードの活性領域への後方反射レベルを、従来技術の－３０ｄＢから－４２ｄＢ以下へと低減することができ、レーザ・ダイオード出力スペクトルを安定化することが可能になると共に、光ファイバの屈折率を利用してレーザ・ダイオードと光ファイバ間の結合効率を向上させることが可能になる。
【００６３】
また、ウェッジ先端を、上記２つの平坦な表面の各々と等しい角度で傾斜した第３の平坦

な表面により、光ファイバの縦軸の付近で切断することによって、光ファイバのコアに近い超小型レンズの活性領域を、レーザ・ダイオードの切開面にさらに近く接近させることができ、結合効率を更に向上させることが可能になる。

【００６４】

また本発明によれば、レーザ・ダイオードの出力スペクトルにモード・ホッピングが生じないので、レーザ・ダイオードをエルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器（ＥＤＦＡ）の励起に用いた場合、励起波長が変動してもＥＤＦＡの利得又は出力パワーは変動せず、ＥＤＦＡによる増幅信号の変調が防止される。

【００６５】

更に本発明によれば、超小型レンズをレーザ・ダイオードに位置合わせする際に、ファブリーペロ空洞効果が排除されるので、超小型レンズとレーザ・ダイオード間の距離に応じた結合パワーの変動は滑らかとなり、最適な結合距離を信頼性良くまた正確に実現することが可能になり、しかも、サービス時における結合パワーの変動を最小限に抑えることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施例による光ファイバ超小型レンズの概略図である。

【図２】レーザ・ダイオードに対して位置合わせされた図１の超小型レンズを示す図である。

【図３】本発明の第２の態様の実施例による光放射源を示す図である。

【図４】本発明の第１の態様の第２と第３の実施例による超小型レンズの輪郭を示す、超小型レンズの先端の略断面図である。

【図５】本発明の第１の態様の第４の実施例を示す概略図である。

【図６】本発明の実施例による超小型レンズの製造に利用される磁気ホルダの側面図である。

【図７】図６の磁気ホルダを半分にした内部表面の正面図である。

【図８】本発明の実施例による超小型レンズの製造に利用される装置を示す略側面図である。

【図９】本発明の実施例による超小型レンズの製造に利用される装置を示す略正面図である。

【図１０】超小型レンズが正しく形成されていない場合の、本発明による超小型レンズを介して出力される遠視野パターンを示す等高線図である。

【図１１】超小型レンズが正しく形成されている場合の、本発明による超小型レンズを介して出力される遠視野パターンを示す等高線図である。

【図１２】９８０ｎｍのレーザ・ダイオードが、従来技術の単純なウェッジ・レンズに結合された場合と（曲線Ａ）、本発明の第１の実施例による超小型レンズに結合された場合（曲線Ｂ）の波長曲線に対して実験的に得られたパワーを示す図である。

【図１３】従来技術の単純なウェッジ・レンズの場合の、超小型レンズとレーザ・ダイオード間の距離が変化するにつれて生じる、９８０ｎｍのレーザ・ダイオードから光ファイバに結合される光パワーの変動を示す図である。

【図１４】本発明の第１の実施例による超小型レンズの場合の、超小型レンズとレーザ・ダイオード間の距離が変化するにつれて生じる、９８０ｎｍのレーザ・ダイオードから光ファイバに結合される光パワーの変動を示す図である。

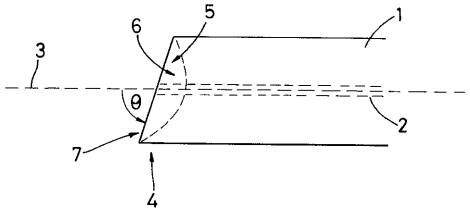
【図１５】ウェッジの先端とレーザ・ダイオードの切開面との間の角度ωの関数として理論的に計算された、ウェッジ・レンズから９８０ｎｍのレーザ・ダイオードに結合して戻される光パワーの減衰のグラフである。

【符号の説明】

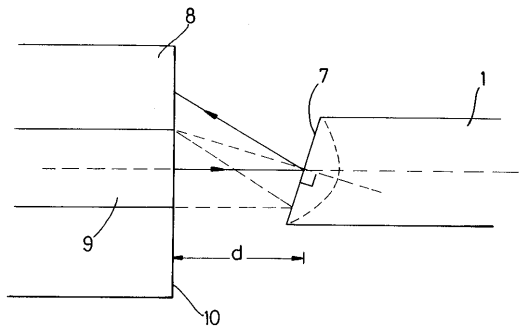
１　光ファイバ
３　光ファイバの縦軸
４　光ファイバ超小型レンズ
５　第１の平坦な表面

６　　第２の平坦な表面
７　　第１と第２の平坦な表面の交差線
８　　半導体レーザ・ダイオード
１０　出力切開面
１４　第３の平坦な表面
１５　磁気ホルダ

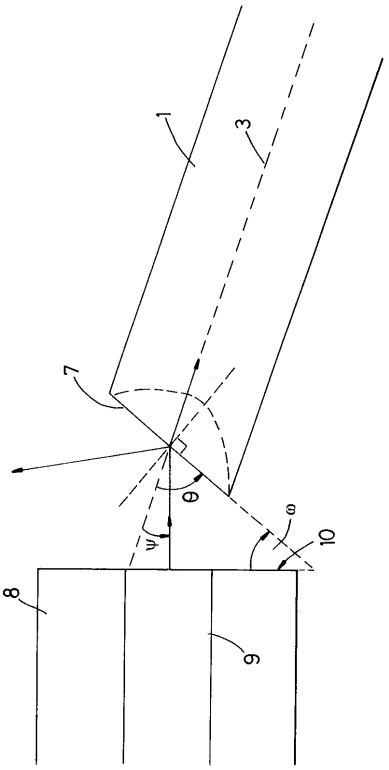
【図１】



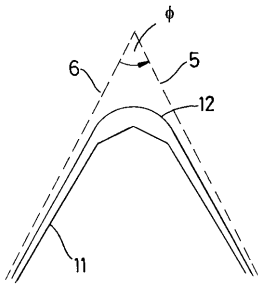
【図２】



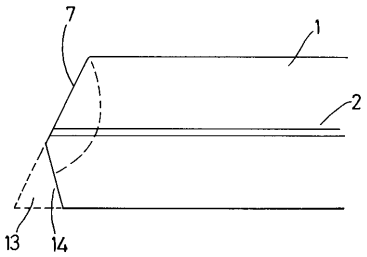
【図３】



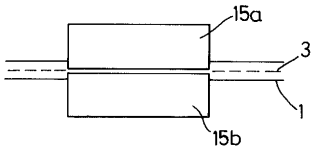
【図４】



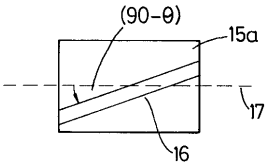
【図５】



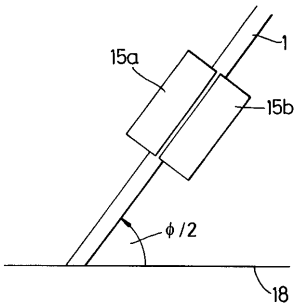
【図６】



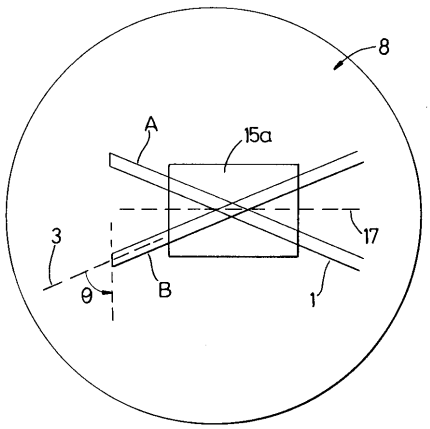
【図７】



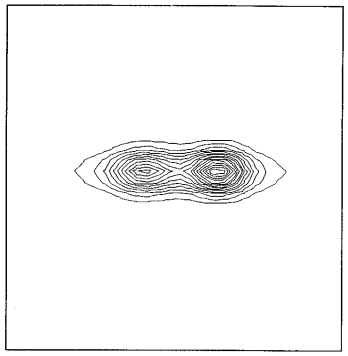
【図８】



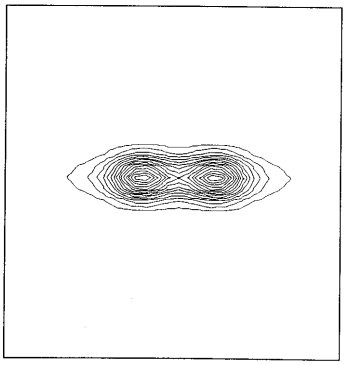
【図９】



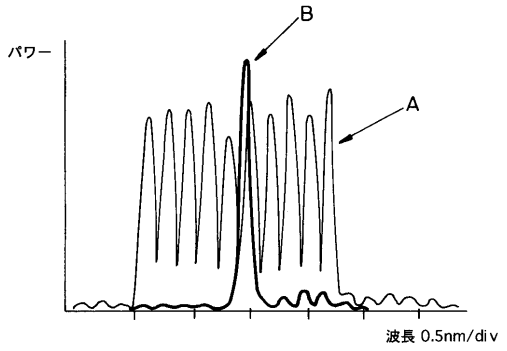
【図１０】



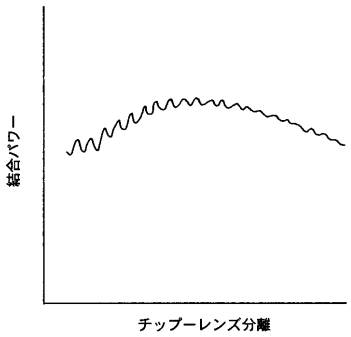
【図１１】



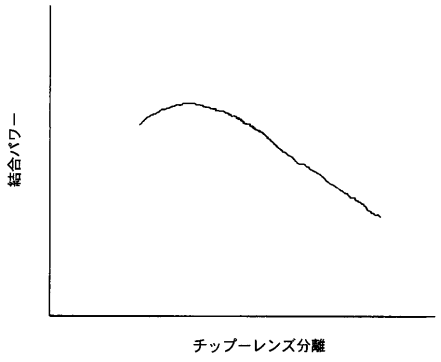
【図１２】



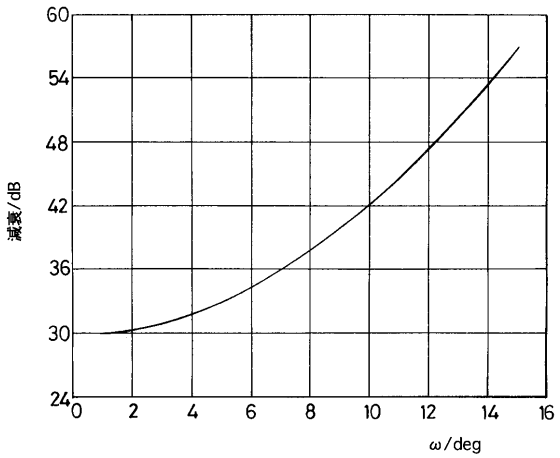
【図１３】



【図１４】



【図１５】



フロントページの続き

(72)発明者　アンドリュー・トーマス・ハーカー
イギリス国イングランド・アイピー１・２ジェイエヌ，スフォーク，アイスウィッチ，クラークソン・ストリート，４３

合議体
審判長　向後　晋一
審判官　吉野　公夫
審判官　山村　浩

(56)参考文献　特開昭６３－２２８１０７（ＪＰ，Ａ）
特開昭５７－５３８０（ＪＰ，Ａ）
特開昭６０－１５３０１０（ＪＰ，Ａ）
特開平８－５８６５（ＪＰ，Ａ）
米国特許第４７６６７０５（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５４５５８７９（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５５００９１１（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G02B6/26-6/34,6/42-6/43