

(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2005-294675

(P2005-294675A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 3/06	H O 1 S 3/06	5 F 1 7 2
H O 1 S 3/00	H O 1 S 3/00	
H O 1 S 3/10	H O 1 S 3/10	

審査請求 未請求 請求項の数 26 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2004-109791 (P2004-109791)	(71) 出願人	000005821
(22) 出願日	平成16年4月2日(2004.4.2)		松下電器産業株式会社
			大阪府門真市大字門真1006番地
		(74) 代理人	100097445
			弁理士 岩橋 文雄
		(74) 代理人	100103355
			弁理士 坂口 智康
		(74) 代理人	100109667
			弁理士 内藤 浩樹
		(72) 発明者	長安 同慶
			大阪府豊中市稲津町3丁目1番1号 松下
			溶接システム株式会社内
		Fターム(参考)	5F172 AE12 AF02 AF06 AM01 AM04
			AM05 AM06 AM08 DD03 EE13
			NN01 ZZ01

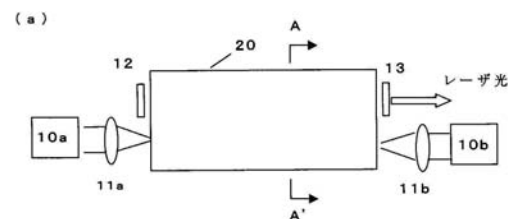
(54) 【発明の名称】 光増幅ファイバと光増幅方法とレーザ発振方法とレーザ増幅装置とレーザ発振装置とレーザ装置とレーザ加工機

(57) 【要約】

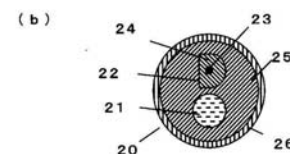
【課題】 従来のレーザ発振装置においては、高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られないという課題を有していた。本発明は、高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られる、小型、高効率レーザ発振装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 励起光を伝送する第1導波路21(屈折率= n_1)と、レーザ光を発生するコア23(屈折率= n_3)と励起光を伝送するクラッド24(屈折率= n_2)から成る第2導波路22と、第1導波路21と第2導波路22を包含する第3導波路25(屈折率= n_4)とから成り、各屈折率の関係が $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ である光増幅ファイバ20を用い、これを半導体レーザ10a、10bで励起することで小型、高効率のレーザ装置などを得ることができる。

【選択図】 図1



10a、10b 半導体レーザ 11a、11b レンズ
12 終段鏡 13 出力鏡
20 光増幅ファイバ



21 第1導波路 22 第2導波路
23 コア 24 クラッド
25 第3導波路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

励起光を伝送する第 1 導波路と、レーザ媒質が添加されレーザ光を発生するコアと前記励起光を伝送するクラッドから成る第 2 導波路と、前記第 1 導波路と前記第 2 導波路を包含する第 3 導波路とから成り、前記第 1 導波路の屈折率を n_1 、前記第 2 導波路クラッドの屈折率を n_2 、前記第 2 導波路コアの屈折率を n_3 、前記第 3 導波路の屈折率を n_4 とすると、 $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ である光増幅ファイバ。

【請求項 2】

第 1 導波路は、長手方向に直角な方向の断面積が長手方向に関して漸減する形状である請求項 1 記載の光増幅ファイバ。

10

【請求項 3】

第 1 導波路と第 2 導波路の間隔は、前記第 1 導波路の長手方向に関して一定である請求項 2 記載の光増幅ファイバ。

【請求項 4】

長手方向に少なくとも 1 つの励起光を伝送する空走領域と、少なくとも 1 つの前記励起光をレーザ媒質を含む導波路に注入する注入領域とを有し、前記空走領域は前記励起光を伝送する第 1 導波路と、レーザ光を発生するコアと前記励起光を伝送するクラッドから成る第 2 導波路と、前記第 1 導波路と前記第 2 導波路を包含する第 3 導波路とから成り、前記第 1 導波路の屈折率を n_1 、前記第 2 導波路クラッドの屈折率を n_2 、前記第 2 導波路コアの屈折率を n_3 、前記第 3 導波路の屈折率を n_4 とする場合、 $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ であり、前記注入領域は前記第 2 導波路と前記第 3 導波路より成る光増幅ファイバ。

20

【請求項 5】

第 3 導波路中に励起光が存在しないように空走領域を定めた請求項 4 に記載の光増幅ファイバ。

【請求項 6】

空走領域と注入領域は重複しない請求項 4 に記載の光増幅ファイバ。

【請求項 7】

第 3 導波路の外周は、励起光を前記第 3 導波路に閉じ込める外層が設けられ、前記外層の屈折率を n_5 とすると、 $n_5 < n_4$ である請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

30

【請求項 8】

外層はガラスで構成された請求項 7 に記載の光増幅ファイバ。

【請求項 9】

外層はフッ素樹脂で構成された請求項 7 に記載の光増幅ファイバ。

【請求項 10】

第 1 導波路を複数有した請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

【請求項 11】

第 3 導波路が紫外線硬化樹脂で構成された請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

【請求項 12】

40

屈折率マッチング液もしくは屈折率マッチングジェルである請求項 1 から請求項 11 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

【請求項 13】

第 2 導波路と第 3 導波路の断面形状のうち少なくとも一部が直線で形成された請求項 1 から請求項 12 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

【請求項 14】

コア径は、シングルモードを伝送する径である請求項 1 から請求項 13 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

【請求項 15】

レーザ媒質は、稀土類で構成された請求項 1 から請求項 14 のいずれかに記載の光増幅フ

50

ファイバ。

【請求項 16】

光増幅ファイバは、前記光増幅ファイバから照射される光を帰還する手段を有した請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載の光増幅ファイバ。

【請求項 17】

帰還手段が F B G (ファイバブラッググレーティング)である請求項 16 記載の光増幅ファイバ。

【請求項 18】

励起光を出射する励起源と、請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載の光増幅ファイバとを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第 1 導波路に入射して光を増幅する光増幅方法。 10

【請求項 19】

励起光を出射する励起源と、請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載の光増幅ファイバと、前記光増幅ファイバにて発生する光を帰還する手段とを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第 1 導波路に入射してレーザ光を発振するレーザ発振方法。

【請求項 20】

励起光を出射する励起源と、請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載の光増幅ファイバとを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第 1 導波路に入射するレーザ増幅装置。 20

【請求項 21】

励起光を出射する励起源と、請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載の光増幅ファイバと、前記光増幅ファイバにて発生する光を帰還する手段とを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第 1 導波路に入射してレーザ光を発振するレーザ発振装置。 30

【請求項 22】

請求項 21 記載のレーザ発振装置の出射光を、請求項 20 記載のレーザ増幅装置に導光する手段を有したレーザ装置。

【請求項 23】

導光する手段がファイバであり、前記ファイバの一端を請求項 21 記載のレーザ発振装置に、他端を請求項 20 記載のレーザ増幅装置に融着したレーザ装置。

【請求項 24】

励起源が半導体レーザである請求項 22 または請求項 23 記載のレーザ装置。 30

【請求項 25】

半導体レーザの励起光をファイバで伝送し、前記ファイバが第 1 導波路に接続された請求項 22 から請求項 24 のいずれかに記載のレーザ装置。

【請求項 26】

請求項 22 から請求項 25 のいずれかに記載のレーザ装置を用いたレーザ加工機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はレーザ媒質を添加した光増幅ファイバを用いた光増幅方法と光発振方法とレーザ装置とレーザ加工機に関するものである。 40

【背景技術】

【0002】

近年、材料加工分野においてレーザ加工が加工工法の一つとして一般に広まってきている。例えば、レーザ溶接やレーザ切断は、他工法に比較して加工品質が高いことが認知されてきた。市場は更なる高品質、高速加工を求めており、高出力、高効率で、なお且つ、より集光性のよい、すなわちビーム品質のよい(=高ビーム品質)シングルモードレーザ光を発生し、出射するレーザ発振装置やレーザ増幅装置を求めている。

【0003】

従来のレーザ発振装置は、高出力を実現するためにレーザ媒質を添加したファイバと励 50

起光を伝送するファイバを近接して配し、その間を所定の屈折率を持つ物質で充填している（例えば特許文献１、特許文献２参照）。

【０００４】

図８（ａ）は上記従来のレーザ発振装置を示しており、１０１は励起光を伝送する励起光増幅ファイバ、１０２はレーザ媒質を添加したレーザ光増幅ファイバであり、励起光増幅ファイバ１０１とレーザ光増幅ファイバ１０２は近接して設置されている。１０３は結合チャンバで、励起光増幅ファイバ１０１とレーザ光増幅ファイバ１０２を包含し、所定の屈折率を持つ物質で満たされている。

【０００５】

図８（ｂ）は図８（ａ）のＡ－Ａ'矢視断面図である。

10

【０００６】

レーザ光増幅ファイバの両端には、レーザ光を反射する図示しない終段鏡、レーザ光の一部を取り出し、残りを反射する図示しない出力鏡が配されており、これらによりレーザ光が多重帰還増幅される。

【０００７】

以上のように構成されたレーザ発振装置について、その動作を説明する。励起光増幅ファイバ１０１を伝播する励起光は、結合チャンバ１０３においてレーザ光増幅ファイバ１０２に入射し、レーザ媒質を励起する。その励起と多重帰還増幅によりレーザ光が発生、出射する。

【特許文献１】特開昭５９－１１４８８３号公報（第１図）

20

【特許文献２】米国特許第４９３８５６１号公報（第１図）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

しかしながら、従来のレーザ発振装置において、高出力を得ようとする、励起源は高出力半導体レーザとなり、その励起光増幅ファイバ１０１の径は大径化し、約１００マイクロメータとなる。従って、高出力化のために、効率よく励起光をレーザ媒質に入射させるためには、レーザ光増幅ファイバ１０２の径は、励起光増幅ファイバ１０１の径と同等か、もしくはそれより大きい方が望ましくなる。その場合、ビーム品質が悪くなる。一方、ビーム品質のよい（＝高ビーム品質）レーザ光を得ようとする場合、レーザ光増幅ファイバ１０２の径を小さくしなければならない。一般的にレーザ加工に用いられる近赤外レーザ光の場合、ビーム品質のよいシングルモードのレーザ光を得ようすると、レーザ光増幅ファイバの径は６マイクロメータから１０マイクロメータ程度となる。従って、従来のレーザ発振装置においては、高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られないという課題を有していた。

30

【０００９】

本発明は、高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られる、小型、高効率レーザ発振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】

【００１０】

40

本発明のレーザ発振装置は、上記課題を解決するために、励起光を伝送する第１導波路と、レーザ光を発生、伝送する第２導波路と、励起光を第２導波路に導光する第３導波路備える光増幅ファイバ構造を備えている。そして、この光増幅ファイバと、励起源と帰還手段との組み合わせにより、励起光が効率よく小径の励起媒質に入射し、効率のよい、高出力・高ビーム品質レーザ光を出射するレーザ装置を提供することができる。

【発明の効果】

【００１１】

以上のように、本発明は、励起光を伝送する第１導波路と、レーザ媒質を添加されレーザ光を発生するコアと前記励起光を伝送するクラッドから成る第２導波路と、前記第１導波路と前記第２導波路を包含する第３導波路とから成り、前記第１導波路の屈折率を n_1

50

、前記第2導波路クラッドの屈折率を n_2 、前記第2導波路コアの屈折率を n_3 、前記第3導波路の屈折率を n_4 とすると、 $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ である光増幅ファイバであり、加えて励起源と帰還手段を用いることにより、高出力、高ビーム品質なレーザ光を出射するレーザ装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

(実施の形態1)

図1(a)は本実施の形態1における光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図で、図1(b)は図1(a)のA-A'矢視断面図である。

【0013】

10

図1において、10a, 10bはそれぞれ励起光を発生する励起源である半導体レーザ、11a, 11bはそれぞれ励起光を励起光導波路に導光する光学素子であるレンズである。20は、その一部にレーザ媒質を含む光増幅ファイバであり、その断面形状は、レーザ光出射方向、すなわち光軸方向に関して同一である。

【0014】

光増幅ファイバ20の構成は、励起光を伝送するガラスで、直径125マイクロメートルの励起光導波路である第1導波路21と励起光を吸収してレーザ光を発生するD型をした第2導波路22と、励起光を閉じ込めるシリコンを主成分とする屈折率マッチングジェルの第3導波路25と、前記屈折率マッチングジェルを封入して励起光の閉じ込め効率を高めるガラスの外層26とから成る。

20

【0015】

光増幅ファイバ20の長さは、コア23に添加したレーザ媒質濃度等により定まる前記レーザ光の吸収係数や第2導波路22の断面形状等に依存し、通常約20メートルである。

【0016】

また、第2導波路22は、その内部にレーザ媒質であるネオジウムを添加され、シングルモードを伝送する直径6マイクロメートルのコア23と、励起により発生したレーザ光を閉じ込める、ガラス母材である直径125マイクロメートルのクラッド24とから成る。

【0017】

30

第1導波路21の屈折率を n_1 、第2導波路22のクラッド24の屈折率を n_2 、コア23の屈折率を n_3 、第3導波路25の屈折率を n_4 、外層26の屈折率を n_5 とすると、 $n_5 < n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ である。

【0018】

第1導波路21の両端にレンズ11a, 11bと半導体レーザ10a, 10bをそれぞれ配し、励起光をそれぞれ第1導波路21に入射する。

【0019】

一方、コア23の両端には、コア23で発生するレーザ光を帰還させる終段鏡12と一部のレーザ光を透過する出力鏡13を相対向させて設ける。

【0020】

40

以上のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。励起源である半導体レーザ10は、図示しない電源、冷却装置、制御装置によりネオジウムの励起光である808ナノメートルのレーザ光を出射する。この励起光は光学素子であるレンズ11a, 11bによりそれぞれ所定の開口数(NA)に集光し、励起光を伝送する励起光導波路である第1導波路21の両端から入射され、伝播する。

【0021】

第1導波路21の屈折率 n_1 と、第1導波路21を取り囲む第3導波路25の屈折率 n_4 を比較すると、 $n_1 < n_4$ であるため、励起光は第1導波路21を伝播するに従い、第3導波路25に入射する。

【0022】

50

第3導波路25に入射した励起光は、外層26の屈折率 n_5 と第3導波路25の屈折率 n_4 を比較すると、 $n_5 < n_4$ であるため、第3導波路25に閉じ込められ、第3導波路25中で多重反射しながら伝播する。

【0023】

第3導波路25中を伝播する励起光の一部は、第2導波路22のクラッド24の屈折率 n_2 と第3導波路25の屈折率 n_4 を比較すると、 $n_2 > n_4$ であるため、クラッド24に入射し、第2導波路22に閉じ込められ、第2導波路22中を多重反射しながら伝播する。

【0024】

第2導波路中を伝播する励起光の一部はコア23の屈折率 n_3 と第2導波路22のクラッド24の屈折率 n_2 を比較すると、 $n_3 > n_2$ であるので、コア23に入射する。その際、第2導波路22のクラッド24の断面はD型形状であるので、クラッド24内で多重反射を繰り返すうちに全てコア23に吸収され、レーザ媒質であるネオジウムを励起する。

【0025】

すなわち、第1導波路21の両端から入射した励起光は、この吸収過程により第2導波路22中を減衰しながら伝播し、やがてコア23中のネオジウムに吸収され、ネオジウムを励起する。励起により発生する光は、コア23の両端に設けた終段鏡12と出力鏡13とシングルモードを伝送するコア23により多重増幅帰還とモード選択が行われ、波長1064ナノメートルのシングルモードレーザ光となり出力鏡13より出射する。

【0026】

なお、本実施の形態1においては、レーザ光を帰還させる終段鏡12と出力鏡13は、当該波長において反射率を選択できるFBG（ファイバブラッググレーティング）やファイバ端面のフレネル反射としてもよい。

【0027】

また、本実施の形態1においては、屈折率マッチングジェルのかわりにグリセリンを主成分とする屈折率マッチング液であってもよい。

【0028】

また、本実施の形態1においては、第1導波路21の両端から励起光を入射したが、一端からのみ励起光を入射してもよい。

【0029】

また、本実施の形態1においては、光増幅ファイバ20を構成し、励起光を伝送する第1導波路は1本であるが、これを複数本としてもよい。

【0030】

以上のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路22と励起光を伝送する第1導波路21を、励起光がコア23に入射できるように包含する光増幅ファイバ20を用いることにより高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ発振装置を提供することができる。

【0031】

（実施の形態2）

本実施の形態2において実施の形態1と同様の構成については同一の番号を付して詳細な説明を省略する。

【0032】

図2（a）は本実施の形態2である光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図で、図2（b）は図2（a）のA-A'矢視断面図である。

【0033】

実施の形態1と異なるのは、外層29の形状が馬蹄形のフッ素樹脂である点、励起源である半導体レーザ15が、ファイバ16によって一端を半導体レーザに接続され、他端は励起光を伝送する第1導波路に接続された点、それに伴ってレンズ11a、11bが不要となる点、光増幅ファイバ28の第3導波路27

10

20

30

40

50

の光軸に直角な方向の断面形状がD型紫外線硬化樹脂であり、その一部分は外層29から突出しており、加えて、第2導波路22の曲率部と向き合う第3導波路27は直線状に形成される点である。

【0034】

以上のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。図2において、ファイバ付きの半導体レーザ15で出射する波長808ナノメートルの励起光はファイバ16を伝播し、第1導波路21に入射する。第1導波路21を伝播するに従い、第3導波路27に入射する。第3導波路27の曲線部分が接する第3導波路27の屈折率 n_4 はフッ素樹脂の外層29の屈折率より大きく、かつ、第3導波路27の直線部分で外層29より突出している部分が接する周囲環境の屈折率より大きい。

10

【0035】

従って、励起光は第3導波路27に閉じ込められ、伝播する。その際、第3導波路27の断面はD型形状であるので第3導波路27内で多重反射を繰り返すうちに全て第2導波路22に吸収されネオジウムを励起する。

【0036】

励起により発生する光は、コア23の両端に設けた終段鏡12と出力鏡13とシングルモードを伝送するコア23により多重増幅帰還とモード選択が行われ、シングルモードレーザ光となり出力鏡13より出射する。

【0037】

なお、本実施の形態2では、第2導波路22の曲線部分と向き合った第3導波路27の部分直線部分としたが、これらの配置を変えてもよい。

20

【0038】

また、本実施の形態2では、第2導波路22の両端に終段鏡12と出力鏡13を設けてレーザ発振装置としたが、終段鏡12と出力鏡13を除し、レーザ増幅の種となる種光を第2導波路22の端面から入射し、上記励起により増幅して、第2導波路32の他端から出射するレーザ増幅装置としてもよい。

【0039】

以上のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路22と励起光を伝送する第1導波路21を、励起光がコアに入射できるように包含する光増幅ファイバ28を用いることにより効率よく、高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ発振装置を提供することができる。

30

【0040】

(実施の形態3)

図3(a)は本実施の形態3である光増幅ファイバを用いた光増幅方法とレーザ増幅装置の説明図で、図3(b)は図3(a)のA-A'矢視断面図で、図3(c)は図2(a)のB-B'矢視断面図である。

【0041】

図3において、14は、出射するレーザ光波長が915ナノメートルである励起源の半導体レーザ、11は励起光を励起光導波路に導光する光学素子であるレンズである。30は、その一部にレーザ媒質を含む光増幅ファイバであり、励起光を伝送するガラスで、直径125マイクロメートルの励起光導波路である第1導波路31、励起光を吸収してレーザ光を発生する光軸に直角な方向の断面形状がD型をした第2導波路32、励起光を閉じ込める、屈折率マッチングジェルの第3導波路35、前記屈折率マッチングジェルの第3導波路35を封入し励起光の閉じ込め効率を高めるガラスの外層36から成る。

40

【0042】

また、第1導波路31は光軸方向に従って断面積が漸減するテーパ形状である。第2導波路32は、その内部にレーザ媒質であるイットリビウムを添加し、シングルモードを伝送する直径6マイクロメートルのコア33と、励起により発生したレーザ光を閉じ込める、ガラス母材である直径125マイクロメートルのクラッド34から成る。

【0043】

50

第1導波路31の屈折率を n_{31} 、第2導波路32のクラッド34の屈折率を n_{32} 、コア33の屈折率を n_{33} 、第3導波路35の屈折率を n_{34} 、外層36の屈折率を n_{35} とすると、 $n_{35} < n_{31} < n_{34} < n_{32} < n_{33}$ である。

【0044】

以上のように構成されたレーザ増幅装置について動作を説明する。励起源である半導体レーザ14は、図示しない電源、冷却装置、制御装置によりイットリビウム³の励起光である915ナノメートルのレーザ光を出射する。この励起光は光学素子であるレンズ11により所定の開口数(NA)に集光し、励起光を伝送する励起光導波路である第1導波路31の両端から入射され、伝播する。

【0045】

この時、第1導波路31は光軸に直角方向の断面積が光軸方向に漸減するテーパ形状であるため、レーザ光軸に関して同一断面をもつ円柱状導波路に比較して、大きな開口数(NA)を見込める。

【0046】

第1導波路31の屈折率を n_{31} とし、第1導波路31を取り囲む第3導波路35の屈折率 n_{34} とを比較すると、 $n_{31} < n_{34}$ であるため、励起光は第1導波路31を伝播するに従い、第3導波路35に入射する。その際励起光は、第1導波路31が漸減テーパ形状であるため、第1導波路31を伝播するに従い、徐々に第3導波路35への入射角を増していく。

【0047】

これにより励起光は、レーザ光軸方向に関して、レーザ光軸に関して同一断面をもつ円柱状導波路に比較して短い距離で第3導波路35に入射し、そして、外層36の屈折率 n_{35} と第3導波路35の屈折率 n_{34} とを比較すると、 $n_{35} < n_{34}$ であるため第3導波路35中に閉じ込められ、第3導波路中で多重反射しながら伝播する。

【0048】

第3導波路35中を伝播する励起光の一部は、第2導波路32のクラッド34の屈折率 n_{32} と第3導波路35の屈折率 n_{34} とを比較すると、 $n_{32} > n_{34}$ であるので、クラッド34に入射し、第2導波路32に閉じ込められ、第2導波路32中を多重反射しながら伝播する。

【0049】

第2導波路32中を伝播する励起光の一部はコア33の屈折率 n_{33} と第2導波路32のクラッド34の屈折率 n_{32} とを比較すると、 $n_{33} > n_{32}$ であるので、コア33に入射する。その際、第2導波路32のクラッド34内で多重反射を繰り返すうちに全てコア33に吸収され、レーザ媒質であるイットリビウム³を励起する。すなわち、第1導波路31に入射した励起光は、この吸収過程により第2導波路32中を減衰しながら伝播し、やがてコア33中のイットリビウム³に吸収され、イットリビウム³を励起する。一方、レーザ増幅の種となる種光は、第2導波路32の端面から入射する。入射した種光は、上記励起により増幅され、第2導波路32の他端から出射する。

【0050】

なお、本実施の形態3においては、第2導波路の断面形状をD型としたが、長方形にしてもよい。

【0051】

また、本実施の形態1と同様に、屈折率マッチングジェルのかわりに屈折率マッチング液であってもよい。

【0052】

以上のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路32と励起光を伝送する光軸方向における漸減テーパ形状の第1導波路31を、励起光がコアに入射できるように包含する光増幅ファイバ30を用いるにより高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ増幅装置を提供することができる。

【0053】

10

20

30

40

50

(実施の形態 4)

本実施の形態 4 において、実施の形態 3 と同様の構成については同一の番号を付して詳細な説明を省略する。

【0054】

図 4 (a) は本実施の形態 4 である光増幅ファイバを用いた光増幅方法とレーザ増幅装置の説明図で、図 4 (b) は図 4 (a) の A - A' 矢視断面図で、図 4 (c) は図 4 (a) の B - B' 矢視断面図である。

【0055】

実施の形態 3 と異なるのは、第 1 導波路 31 をレーザ光軸方向に傾ける点と、それに付随して第 3 導波路 45 の形状が変化する点と、同様に、半導体レーザ 14、及びレンズ 11 を、励起光が第 1 導波路 31 の正面から入射するように、レーザ光軸方向に関して傾ける点である。

【0056】

図 4 において、第 1 導波路 31 と第 2 導波路 32 の最小間隔 h が、レーザ光軸方向に光増幅ファイバ 40 中で一定となるように第 1 導波路 31 をレーザ光軸方向に傾け配する。同様に、半導体レーザ 14、及びレンズ 11 を、励起光が第 1 導波路 31 の正面から入射するように、レーザ光軸方向に傾ける。

【0057】

以上のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。励起源である半導体レーザ 14 から出射した励起光は第 1 導波路 31 を伝播するに従い、第 3 導波路 45 に入射する。その際励起光は、第 1 導波路 31 の光軸に直角な方向の断面積が光軸方向に漸減テーパ形状であり、第 2 導波路 32 との最小間隔が固定されているので、第 1 導波路 31 から第 2 導波路 32 を見込む角度が、励起光の第 1 導波路 31 伝播につれて小さくならず、効率よく第 2 導波路 32 に閉じ込められ、イットリビウムを励起する。一方、レーザ増幅の種となる種光は、第 2 導波路 32 の端面から入射する。入射した種光は、上記励起により増幅され、第 2 導波路 32 の他端から出射する。

【0058】

なお、本実施の形態では、外層 36 の周囲の環境、すなわち空気、としたが、さらに外層 36 の屈折率 n_{35} より小さい屈折率をもつ層、望ましくは樹脂層を設けてもよい。

【0059】

以上のように、シングルモードを伝送するコアを備える導波路と励起光を伝送する漸減テーパ形状導波路を、励起光がコアに入射できるように包含するファイバにより高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ増幅装置を提供することができる。

【0060】

(実施の形態 5)

本実施の形態 5 において、実施の形態 2 と同様の構成については同一の番号を付して詳細な説明を省略する。

【0061】

図 5 は本実施の形態 5 である光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法および光増幅方法とレーザ装置の説明図である。

【0062】

実施の形態 2 と異なるのは、実施の形態 2 のレーザ発振装置 51 と、レーザ発振装置 51 から終段鏡 12 と出力鏡 13 を除したレーザ増幅装置 52、53 を直列に多段化している点である。

【0063】

以上のように構成されたレーザ発振装置について、図 5 を用いて、動作を説明する。励起源である半導体レーザ 15 から出射する波長 808 ナノメートルの励起光は、ファイバ 16 により、光増幅ファイバ 28 に入射され、帰還手段である終段鏡 12 と出力鏡 13 と共に、波長 1064 ナノメートルのレーザ光を出射する。次にこのレーザ光は、次段の光増幅ファイバ 28b 中の図示しない第 2 導波路に入射する。この入射したレーザ光は半導

10

20

30

40

50

体レーザ 15b により増幅され、次段の光増幅ファイバ 28c 中の図示しない第 2 導波路に入射する。この入射したレーザ光は半導体レーザ 15c により増幅され出射する。

【0064】

なお、本実施の形態 5 では、レーザ発振装置 51 より出射したレーザ光を次段のレーザ増幅装置 52 の光増幅ファイバ 28b の第 2 導波路に入射する方法や、さらに次段のレーザ増幅装置 53 の光増幅ファイバ 28c の第 2 導波路に入射する方法について言及していないが、レンズを用いた空間伝送やファイバ伝送を用いてもよい。そのとき、ファイバ 16b の一端をレーザ発振装置 51 と、他端をレーザ増幅装置 52 に接続、望ましくは融着し、ファイバ 16c の一端をレーザ増幅装置 52 と、他端をレーザ増幅装置 53 に接続してもよい。

10

【0065】

また、レーザ発振装置 51 とレーザ増幅器 52, 53 を構成する第 2 導波管を共通としてレーザ発振装置を構成してもよい。加えて、本実施の形態 5 のレーザ装置をレーザ加工装置に搭載して出射光を集光すれば、溶接や切断などの加工ができ、加工装置となり、生産設備として生産に用いることもできる。

【0066】

以上のように、シングルモードを伝送するコアを備える第 2 導波路と励起光を伝送する第 1 導波路を、励起光がコアに入射できるように包含するファイバ 16, 16b, 16c を用いるレーザ発振装置 51 とレーザ増幅装置 52, 53 とを直列に結合することにより高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ装置を提供することができる。

20

【0067】

(実施の形態 6)

本実施の形態 6 において実施の形態 1、実施の形態 2 と同様の構成については同一の番号を付して詳細な説明を省略する。

【0068】

図 6(a) は本実施の形態 6 である光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図で、図 6(b) は図 6(a) の A-A' 矢視断面図である。

【0069】

実施の形態 1, 実施の形態 2 と異なるのは、光増幅ファイバ 60 が、励起光を伝送する第 1 導波路 21 を 4 本備え、それらを、第 2 導波路 62 を取り囲むように配する点、レーザ光を発生するレーザ媒質であるネオジウムを添加したコア 63 の一端には、レーザ光を反射する FBG (ファイバブラッググレーティング) と、他端には、一部のレーザ光を透過する FBG (ファイバブラッググレーティング) を設けている点である。

30

【0070】

以上のように構成されたレーザ発振装置について動を説明する。図 6 において、ファイバつき半導体レーザ 15 で出射する各励起光はファイバ 16 を伝播し、第 1 導波路 21 に入射する。第 1 導波路 21 を伝播するに従い、第 3 導波路 65 に入射する。入射光は第 3 導波路 65 内で多重反射を繰り返すうちに第 2 導波路 62 に吸収されネオジウムを励起する。励起により発生する光は、コア 63 の両端に設けた FBG とシングルモードを伝送するコア 63 により多重増幅帰還とモード選択が行われ、シングルモードレーザ光となり光増幅ファイバ 60 の端面より出射する。

40

【0071】

なお、本実施の形態 6 では、4 本の第 1 導波路 21 の形状、屈折率を同一としたが、互いに異なってもよい。ただし、いずれの 4 本の第 1 導波路 21 の屈折率も、第 3 導波路 65 の屈折率 n_4 より小さくなくてはならない。また、その配置も、コア 63 に対して等距離でなくてもよい。

【0072】

以上のように、シングルモードを伝送するコア 63 を備える第 2 導波路 62 と励起光を伝送する複数の第 1 導波路 21 を、各々の励起光が同時にコア 63 に入射できるように包含する光増幅ファイバ 60 により効率よく、高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射する

50

レーザ発振装置を提供することができる。

【0073】

(実施の形態7)

図7(a)は本実施の形態7である光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図で、図7(b)は図7(a)のA-A'矢視断面図で、図7(c)は図7(a)のB-B'矢視断面図である。

【0074】

図7において、95a、95b、95cは各々波長808ナノメートルの励起光を発生する励起源である半導体レーザ77a、77b、77cは励起光を伝送する励起光伝送ファイバ77d、77e、77fは励起光伝送ファイバコアである。

10

【0075】

70はその一部にレーザ媒質であるネオジウムを含む本実施の形態7の光増幅ファイバであり、長手方向に関して励起光を伝送する空走領域81a、81b、81cと、励起光を、レーザ媒質を含む導波路に注入する注入領域82a、82bで構成される。

【0076】

空走領域81a、81b、81cは、励起光を伝送する励起光導波路で、石英ガラスの励起光伝送ファイバコア71からなる第1導波路、励起光を吸収してレーザ光を発生するガラス母材の第2導波路72、励起光を閉じ込める紫外線硬化樹脂の第3導波路75、そして、その周囲には励起光の閉じ込め効率を高めるガラスの外層76から成る。

【0077】

注入領域82a、82bは励起光を吸収してレーザ光を発生する第2導波路72、励起光を閉じ込める第3導波路75、その閉じ込め効率を高める外層76から成る。

20

【0078】

また、第2導波路72は、その内部にレーザ媒質であるネオジウムを添加し、シングルモードを伝送するコア73と、励起により発生したレーザ光を閉じ込めるガラス母材のクラッド74から成る。

【0079】

第1導波路71の屈折率を n_{71} 、第2導波路72のクラッド74の屈折率を n_{72} 、コア73の屈折率を n_{73} 、第3導波路75の屈折率を n_{74} 、外層76の屈折率を n_{75} とすると、 $n_{75} < n_{71} < n_{74} < n_{72} < n_{73}$ である。

30

【0080】

一方、コア73の両端には、コア73で発生するレーザ光を帰還させる高反射FBG78と一部のレーザ光を透過FBG79を有する。

【0081】

励起光伝送ファイバ77a、77b、77cは、外層76を貫通し、励起光伝送ファイバコア77d、77e、77fが第3導波路75に接続している。

【0082】

さらに、励起光伝送ファイバコア77d、77e、77fは所定の間隔をおいて配されており、そのうち、励起光伝送ファイバコア77eと励起光伝送ファイバコア77fは相対向している。

40

【0083】

以上のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。半導体レーザ95aから出射した波長808ナノメートルのレーザ光は、励起光伝送ファイバコア77aおよび励起光伝送ファイバコア77dを伝送し、光増幅ファイバ70の空走領域81aにおいて第3導波路75に入射する。

【0084】

第3導波路75に入射した励起光は、光増幅ファイバ70の注入領域82aに入射し、そこで外層76の屈折率 n_{75} と第3導波路75の屈折率 n_{74} とを比較すると、 $n_{75} < n_{74}$ であるので、第3導波路75に閉じ込められ、第3導波路75中で多重反射しながら伝播する。

50

【 0 0 8 5 】

第 3 導波路 7 5 中を伝播する励起光の一部は、第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率 n_{72} と第 3 導波路 7 5 の屈折率 n_{74} とを比較すると、 $n_{72} > n_{74}$ であるので、クラッド 7 4 に入射し、第 2 導波路 7 2 に閉じ込められ、第 2 導波路 7 2 中を多重反射しながら伝播する。

【 0 0 8 6 】

第 2 導波路 7 2 中を伝播する励起光の一部はコア 7 3 の屈折率 n_{73} と第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率を n_{72} とを比較すると、 $n_{73} > n_{72}$ であるので、コア 7 3 に入射する。

【 0 0 8 7 】

すなわち、励起光は、空走領域 8 1 a においては、全て第 3 導波路 7 5 に存在し、一方、注入領域 8 2 a においては、第 3 導波路 7 5 と第 2 導波路 7 2 に存在する。

【 0 0 8 8 】

同様に、半導体レーザ 9 5 b から出射した波長 9 1 5 ナノメートルのレーザ光は、励起光伝送ファイバコア 7 7 b および励起光伝送ファイバコア 7 7 e を伝送し、光増幅ファイバ 7 0 の空走領域 8 1 b において第 3 導波路 7 5 に入射する。

【 0 0 8 9 】

第 3 導波路 7 5 に入射した励起光は、光増幅ファイバ 7 0 の注入領域 8 2 b に入射し、そこで外層 7 6 の屈折率 n_{75} と第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率を n_{72} とを比較すると、 $n_{75} < n_{74}$ であるので第 3 導波路 7 5 に閉じ込められ、第 3 導波路 7 5 中で多重反射しながら伝播する。

【 0 0 9 0 】

第 3 導波路 7 5 中を伝播する励起光の一部は、第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率 n_{72} と第 3 導波路 7 5 の屈折率 n_{74} とを比較すると、 $n_{72} > n_{74}$ であるので、クラッド 7 4 に入射し、第 2 導波路 7 2 に閉じ込められ、第 2 導波路 7 2 中を多重反射しながら伝播する。

【 0 0 9 1 】

第 2 導波路 7 2 中を伝播する励起光の一部はコア 7 3 の屈折率 n_{73} と第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率を n_{72} とを比較すると、 $n_{73} > n_{72}$ であるので、コア 7 3 に入射する。

【 0 0 9 2 】

すなわち、励起光は、空走領域 8 1 b においては、全て第 3 導波路 7 5 に存在し、一方、注入領域 8 2 b においては、第 3 導波路 7 5 と第 2 導波路 7 2 に存在する。

【 0 0 9 3 】

また、半導体レーザ 9 5 c から出射した波長 8 0 8 ナノメートルのレーザ光は、励起光伝送ファイバコア 7 7 c および励起光伝送ファイバコア 7 7 f を伝送し、光増幅ファイバ 7 0 の空走領域 8 1 c において第 3 導波路 7 5 に入射する。

【 0 0 9 4 】

第 3 導波路 7 5 に入射した励起光は、光増幅ファイバ 7 0 の注入領域 8 2 b に入射し、そこで外層 7 6 の屈折率 n_{75} と第 3 導波路 7 5 の屈折率 n_{74} とを比較すると、 $n_{75} < n_{74}$ であるので第 3 導波路 7 5 に閉じ込められ、第 3 導波路 7 5 中で多重反射しながら伝播する。

【 0 0 9 5 】

第 3 導波路 7 5 中を伝播する励起光の一部は、第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率 n_{72} と第 3 導波路 7 5 の屈折率 n_{74} とを比較すると、 $n_{72} > n_{74}$ であるので、クラッド 7 4 に入射し、第 2 導波路 7 2 に閉じ込められ、第 2 導波路 7 2 中を多重反射しながら伝播する。

【 0 0 9 6 】

第 2 導波路 7 2 中を伝播する励起光の一部はコア 7 3 の屈折率 n_{73} と第 2 導波路 7 2 のクラッド 7 4 の屈折率を n_{72} とを比較すると、 $n_{73} > n_{72}$ であるので、コア 7 3

10

20

30

40

50

に入射する。

【0097】

すなわち、励起光は、空走領域 81c においては、全て第 3 導波路 75 に存在し、一方、注入領域 82b においては、第 3 導波路 75 と第 2 導波路 72 に存在する。

【0098】

以上より、半導体レーザ 95a、95b、95c より出射した各励起光は、コア 73 に入射し、コア 73 に添加したイットリビウムを励起する。励起により発生する光は、コア 73 の両端に設けた、レーザ光を帰還させる高反射 FBG 78 と一部のレーザ光を透過 FBG 79 とシングルモードを伝送するコア 73 により多重増幅帰還とモード選択が行われ、波長 1064 ナノメートルのシングルモードレーザ光となり光増幅ファイバ 70 より出射する。 10

【0099】

なお、本実施の形態 7 においては、光増幅ファイバ 70 の一端からレーザ光が出射するとしたが、高反射 FBG 78 を一部透過型とする事で、両端からレーザ光が出射する方式とし、一端の出力を出力や波長モニタとして用いてもよい。

【0100】

なお、本実施の形態 7 では、FBG を光増幅ファイバの端部に設けたが、FBG を注入領域中に設け、その注入領域を新たに注入領域、空走領域、注入領域の 3 領域に分けて、対となる高反射 FBG と透過 FBG で構成するレーザ発振領域と、その他のレーザ増幅領域で形成するレーザ装置としてもよい。 20

【0101】

以上のように、シングルモードを伝送するコアを備える第 2 導波路 72 と励起光を伝送する第 1 導波路 71 を、空走領域と注入領域を設けて励起光をコアに入射できるように包含する光増幅ファイバ 70 により高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ発振装置を提供することができる。

【産業上の利用可能性】

【0102】

本発明の光増幅ファイバと光増幅方法と光発振方法とレーザ装置とレーザ加工機は、高出力、高ビーム品質なレーザ光を出射するレーザ装置などとして産業上有用である。

【図面の簡単な説明】 30

【0103】

【図 1】(a) 本発明の実施の形態 1 における光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図 (b) 図 1 (a) の A - A' 矢視断面図

【図 2】(a) 同実施の形態 2 における光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図 (b) 図 2 (a) の A - A' 矢視断面図

【図 3】(a) 同実施の形態 3 における光増幅ファイバを用いた光増幅方法とレーザ増幅装置の説明図 (b) 図 3 (a) の A - A' 矢視断面図 (c) 図 3 (a) の B - B' 矢視断面図

【図 4】(a) 同実施の形態 4 である光増幅ファイバを用いた光増幅方法とレーザ増幅装置の説明図 (b) 図 4 (a) の A - A' 矢視断面図 (c) 図 4 (a) の B - B' 矢視断面図 40

【図 5】同実施の形態 5 における光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法および光増幅方法とレーザ装置の説明図

【図 6】(a) 同実施の形態 6 における光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図 (b) 図 4 (a) の A - A' 矢視断面図

【図 7】(a) 同実施の形態における光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法とレーザ発振装置の説明図 (b) 図 7 (a) の A - A' 矢視断面図 (c) 図 7 (a) の B - B' 矢視断面図

【図 8】(a) 従来におけるレーザ装置の説明図 (b) 図 8 (a) の A - A' 矢視断面図

【符号の説明】

【 0 1 0 4 】

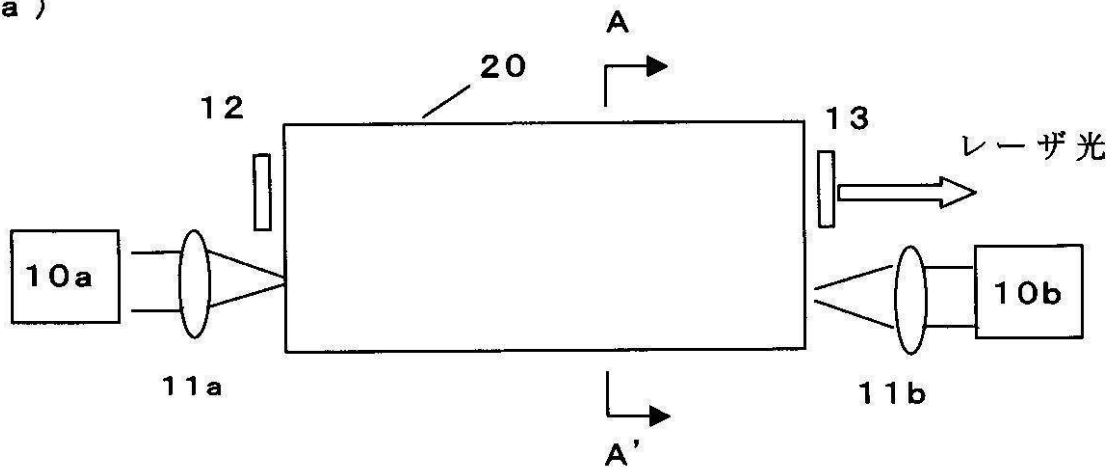
1 0 a、1 0 b 半 導 体 レーザ
1 1、1 1 a、1 1 b レンズ
1 2 終 段 鏡
1 3 出 力 鏡
1 4、1 5、1 5 b、1 5 c 半 導 体 レーザ
1 6、1 6 b、1 6 c ファイバ
2 1、3 1、7 1 第 1 導 波 路
2 2、3 2、6 2、7 2 第 2 導 波 路
2 3、3 3、6 3、7 3 コア
2 4、3 4、6 4、7 4 クラッド
2 5、2 7、3 5、4 5、6 5、7 5 第 3 導 波 路
2 8、2 8 b、2 8 c、3 0、4 0、6 0、7 0 光 増 幅 ファイバ
5 1 レーザ発振装置
5 2、5 3 レーザ増幅装置
7 7 a、7 7 b、7 7 c 励起光伝送ファイバ
7 7 d、7 7 e、7 7 f 励起光伝送ファイバコア
7 8 高反射 F B G
7 9 透過 F B G
8 1 a、8 1 b、8 1 c 空送領域
8 2 a、8 2 b 注入領域

10

20

【図 1】

(a)



10a、10b 半導体レーザー

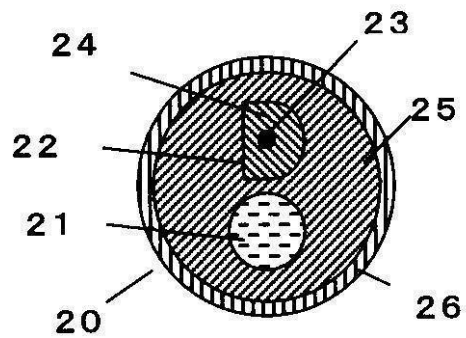
11a、11b レンズ

12 終段鏡

13 出力鏡

20 光増幅ファイバ

(b)



21 第1導波路

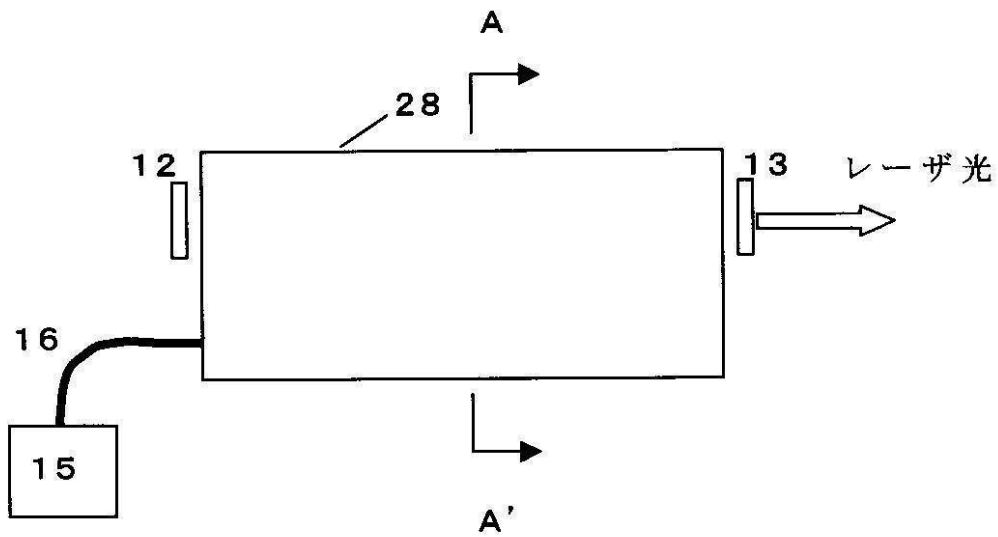
22 第2導波路

23 コア

24 クラッド

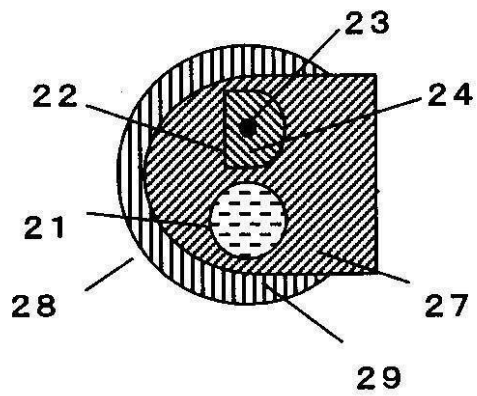
25 第3導波路

【図 2】
(a)



15 半導体レーザ 16 ファイバ
28 光増幅ファイバ

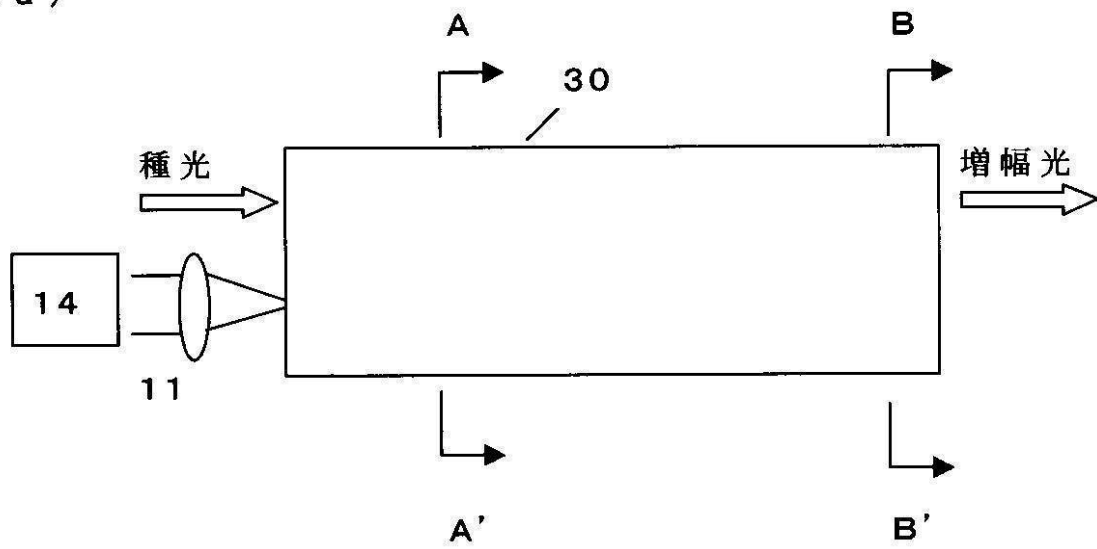
(b)



27 第3導波路

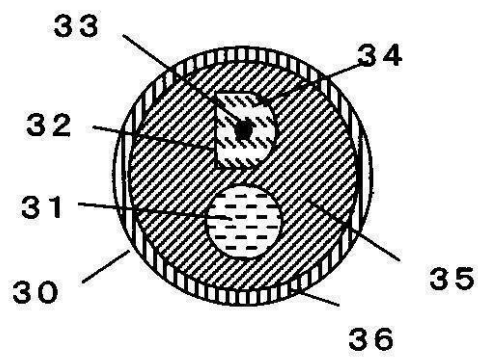
【図 3】

(a)

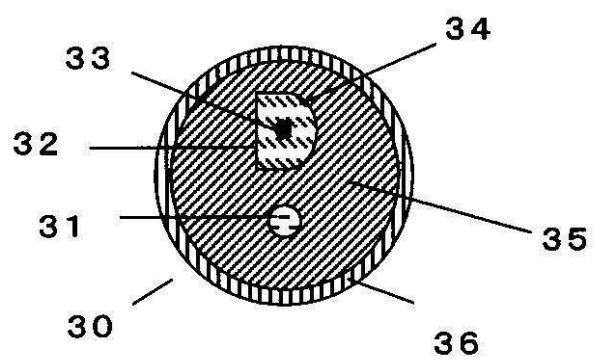


- 1 1 レンズ
 1 4 半導体レーザー
 3 0 光増幅ファイバ

(b)



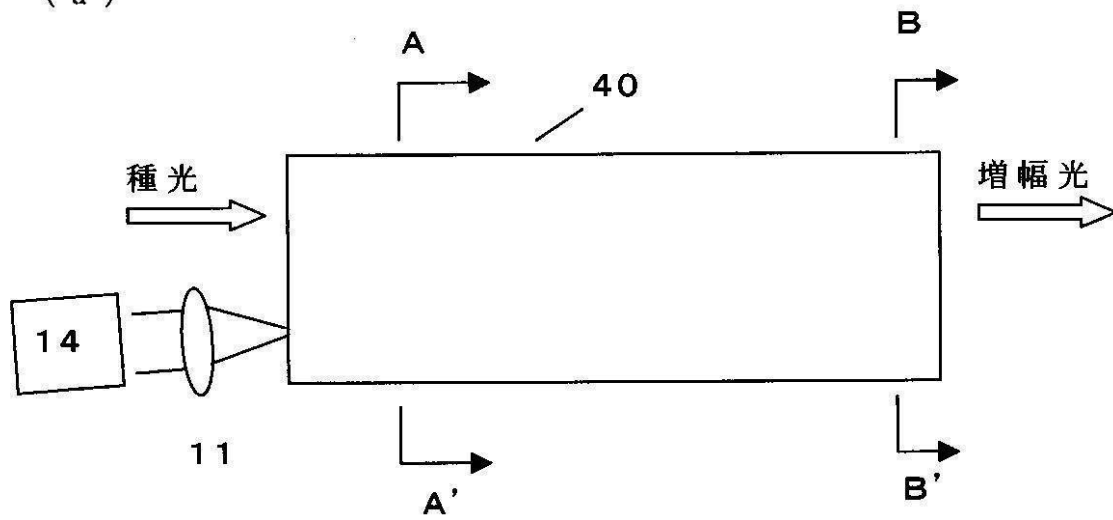
(c)



- | | |
|-------------|-------------|
| 3 1 第 1 導波路 | 3 2 第 2 導波路 |
| 3 3 コア | 3 4 クラッド |
| 3 5 第 3 導波路 | |

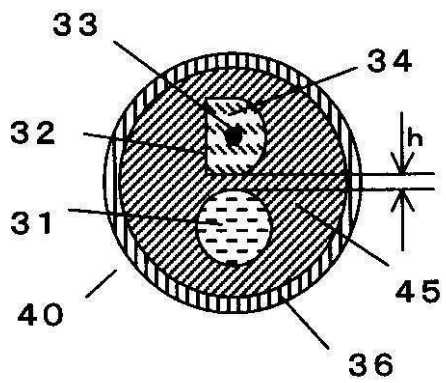
【図 4】

(a)

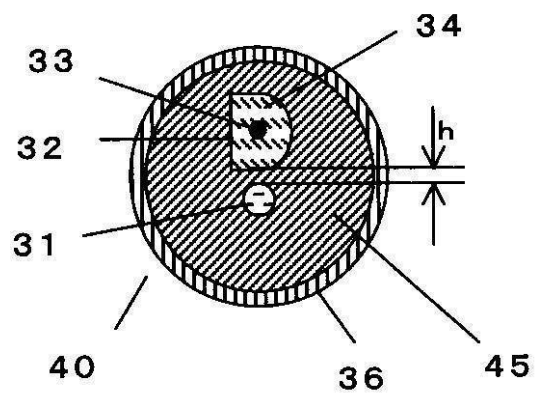


40 光増幅ファイバ

(b)

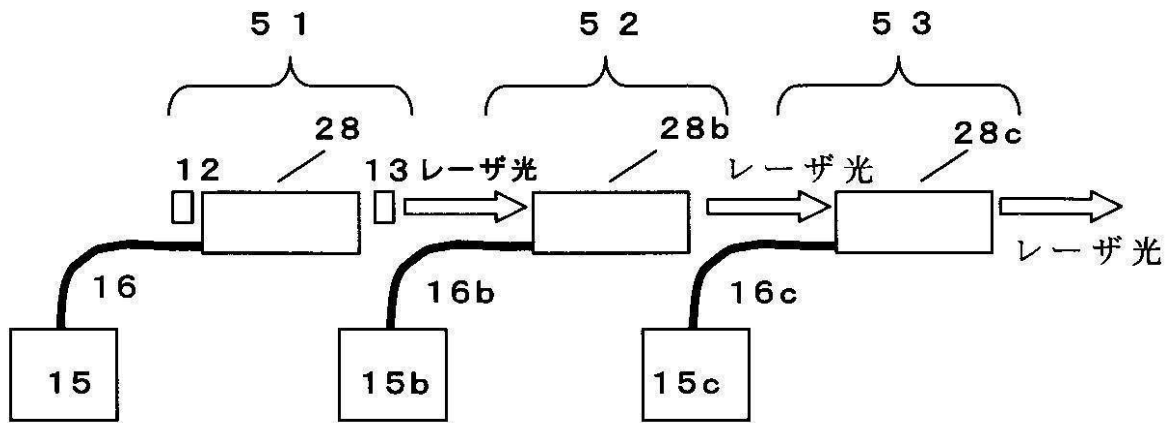


(c)



45 第3導波路

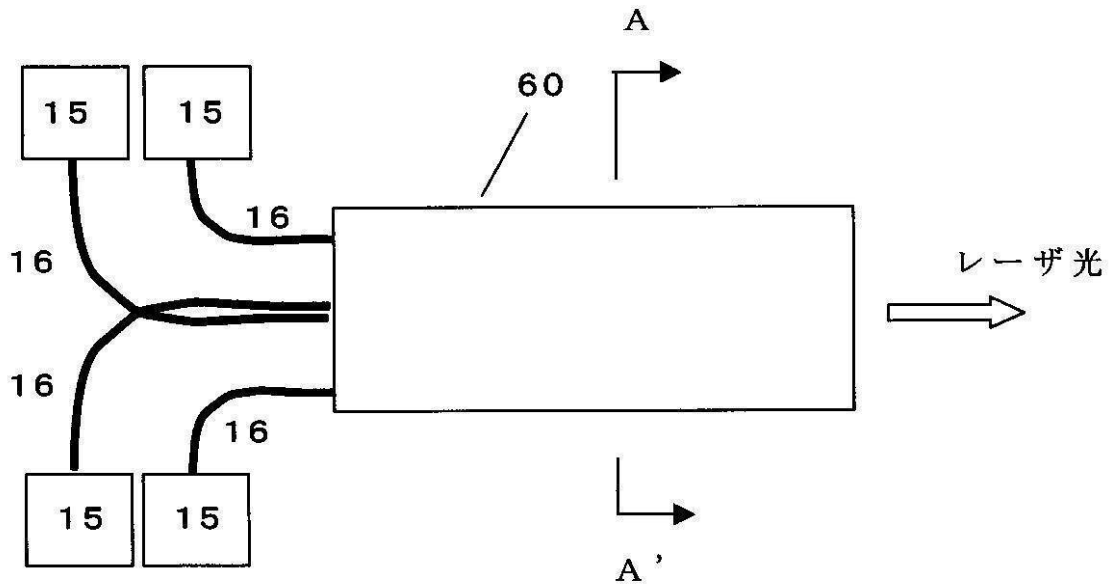
【図 5】



- 15b、15c 半導体レーザ
- 16b、16c ファイバ
- 28b、28c 光増幅ファイバ
- 51 レーザ発振装置
- 52、53 レーザ増幅装置

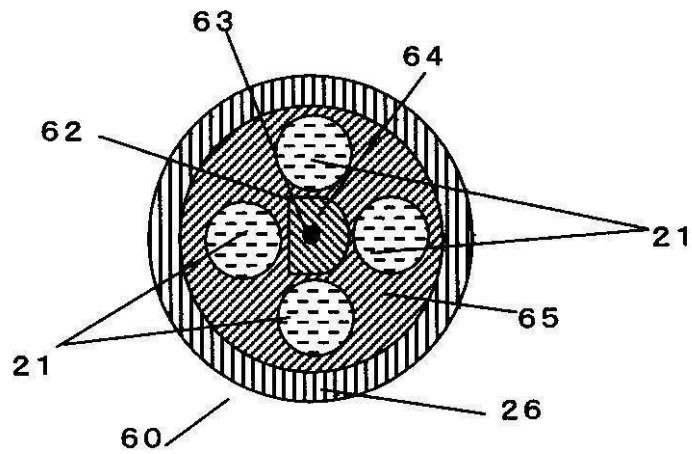
【図 6】

(a)



60 光増幅ファイバ

(b)



62 第2導波路

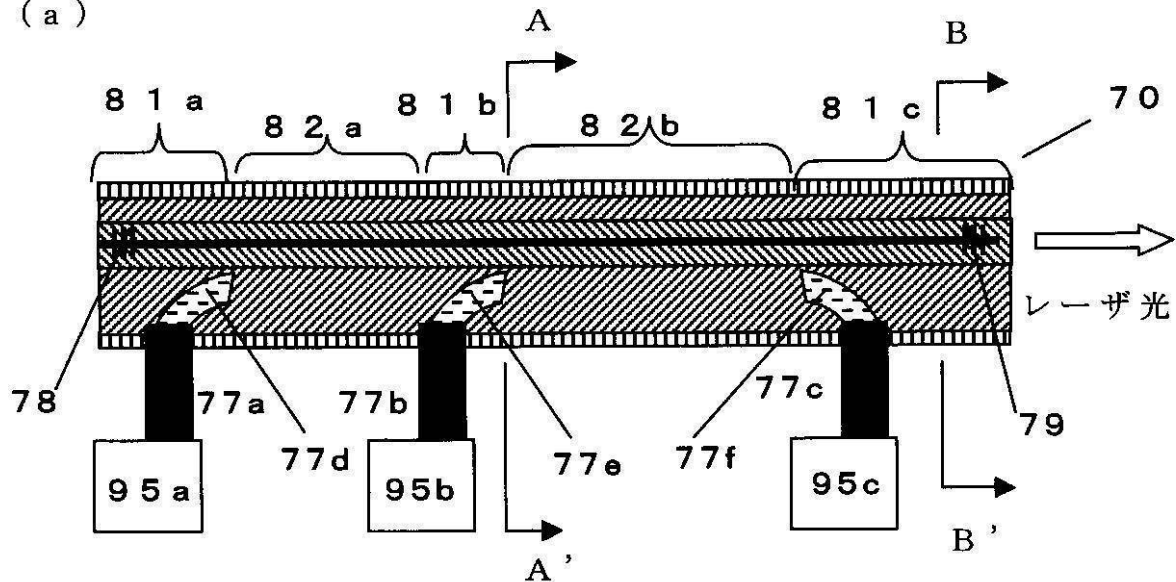
64 クラッド

63 コア

65 第3導波路

【図 7】

(a)



70 光増幅ファイバ

77a、77b、77c 励起光伝送ファイバ

77d、77e、77f 励起光伝送ファイバコア

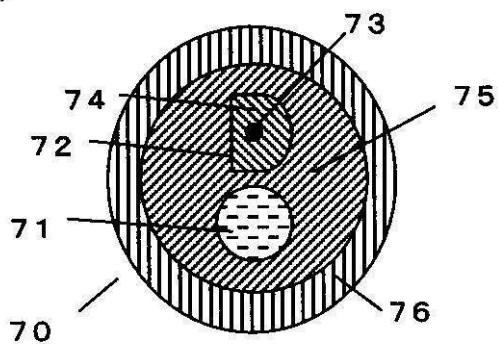
78 高反射FBG

79 透過FBG

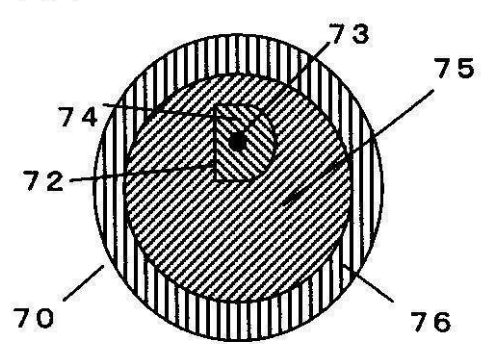
81a、81b、81c 空送領域

82a、82b 注入領域

(b)



(c)



71 第1導波路

72 第2導波路

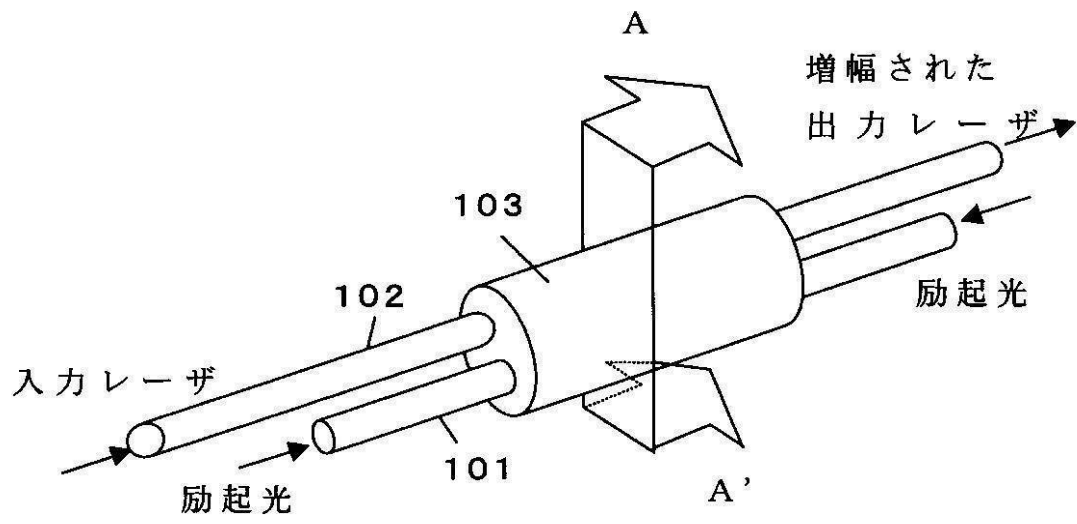
73 コア

74 クラッド

75 第3導波路

【 図 8 】

(a)



(b)

