

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年9月21日 (21.09.2006)

PCT

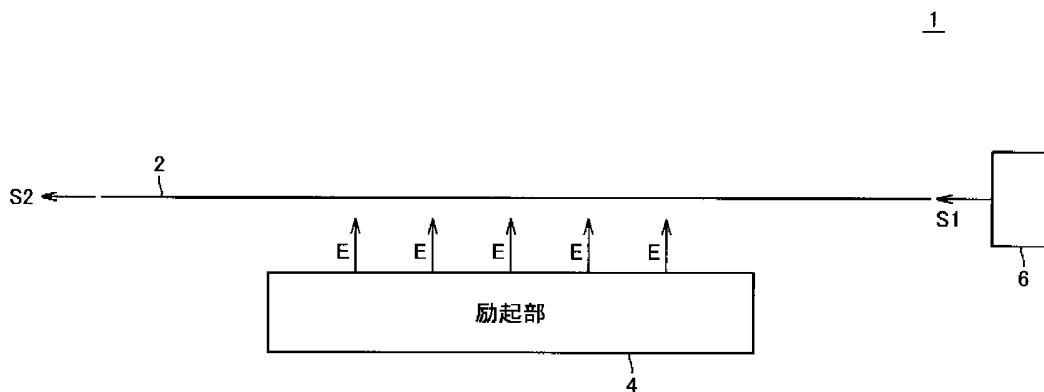
(10) 国際公開番号
WO 2006/098313 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/06 (2006.01) H01S 3/094 (2006.01)
H01S 3/042 (2006.01) 6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
動堂町 8 0 1 番地 Kyoto (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/305001 (72) 発明者; および
- (22) 国際出願日: 2006年3月14日 (14.03.2006) (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 和田 竹彦 (WADA,
Takehiko) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 8 0 1 番地 オムロン株式会
社内 Kyoto (JP). 児島 栄作 (KOJIMA, Eisaku) [JP/JP];
〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南
不動堂町 8 0 1 番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 深見 久郎, 外(FUKAMI, Hisao et al.); 〒
5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目 2 番 7 号 中
之島セントラルタワー 2 2 階 深見特許事務所 Osaka
(JP).
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
- (30) 優先権データ:
特願2005-073562 2005年3月15日 (15.03.2005) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): オム
ロン株式会社 (OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL AMPLIFIER AND LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 光増幅器およびレーザ装置



4 EXCITING SECTION

(57) Abstract: In the optical amplifier and fiber laser using the conventional optical fiber, the diameter of the core must be equivalent to the wavelength (approximately 1 to several μm) to propagate single mode light in the optical fiber. Therefore, even when an excitation light is applied from a side plane, since the core diameter is too small, a small quantity of excitation light is absorbed in the core. As an optical fiber (2) is a photonic crystal fiber, single mode light can be propagated even when the diameter of a light propagating region is, for instance, approximately $100\ \mu\text{m}$. Therefore, excitation light (E) applied from the side plane of the optical fiber (2) is efficiently absorbed by the light propagating region. An optical amplifier and a laser having the small and simple constitution for emitting high power light are provided.

(57) 要約: 従来の光ファイバを用いた光増幅器やファイバレーザの場合、光ファイバ内でシングルモードの光を伝播するためにはコアの直径を波長と同程度(1~数 μm 程度)にする必要がある。よって、仮に側面から励起光を照射したとしてもコアの径が小さすぎるため、コアに吸収される励起光が少なくなる。光ファイバ(2)はフォトリソニック結晶ファイバであるため、光伝播領域の径がたとえば $100\ \mu\text{m}$ 程度であってもシングルモードの光を伝播することができる。よって、光ファイバ(2)の側面から受ける励起光(E)が光伝播領域に効率よく吸収される。よって、小型かつ簡単な構成で、高出力の光を発することが可能な光増幅器およびレーザ装置

[続葉有]

WO 2006/098313 A1



BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光増幅器およびレーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は光増幅器およびレーザ装置に関し、特にフォトニック結晶光ファイバを含む光増幅器およびレーザ装置に関する。

背景技術

[0002] レーザ光は様々な産業用途に利用できる。たとえばレーザ光は部品の表面に品質に関する情報をマーキングするための加工に用いられる。また、レーザ光は半導体チップの実装や液晶画素の欠陥の修復等に用いられる。

[0003] 特に微小な領域に製造年月日など多くの情報が記録される場合には、精度よい加工ができなければならない。微細加工に用いられるレーザ光のモードは多モード(マルチモード)よりも単一モード(シングルモード)のほうが適している。

[0004] レーザ装置は、小型であることや衝撃に対して強いこと、あるいは低コストであることなど、様々な要求に対応しなければならない。このような要望を満たすため、従来はレーザ光の出力やレーザ光の波長、ビーム光のモードなどに応じ、個別にレーザ共振器が設計されていた。また、レーザ共振器の調整は長年にわたり蓄積されたノウハウ等に基づいて行なわれていた。

[0005] 従来微細加工用レーザ装置の構成について、LD(Laser Diode)励起固体レーザおよびファイバレーザを例に説明する。

[0006] 図14は、従来のLD励起固体レーザの共振器の構成を示す図である。図14を参照して、レーザ装置100は共振器102を備える。共振器102は、YAG(Yttrium Aluminum Garnet)やYVO4などの結晶104、および結晶104を介して対向する反射鏡106、108、パルス発振を起してレーザ光を出力するためのQスイッチ110を含む。Qスイッチ110はたとえば音響光学素子や電気光学素子などのシャッタである。

[0007] 結晶104を励起するための励起光はLDアレイ112からレンズ114を介して結晶104の一端面に入力される。励起状態においてQスイッチ110がオンする(シャッタが開く)とレーザ発振が行なわれて反射鏡108からレーザ光LAが出射する。

- [0008] LDアレイ112には複数のLD素子(図示せず)が設けられる。複数のLD素子の各々から出た励起光をレンズ114に導くため、複数のLD素子の各々に対応した複数の光ファイバ116が設けられる。複数の光ファイバ116はファイバカップリング118で束ねられる。複数の光ファイバ116の各々を伝達した励起光Eはファイバカップリング118の一端面から放出される。
- [0009] なお、結晶104がYAGであれば、シングルモードのレーザ光を出力するため反射鏡108と結晶104との間にはアパーチャ(図示せず)が設けられる。また、結晶104がYVO4である場合、シングルモードのレーザ光を出力するためにa軸～c軸の結晶軸のうちのc軸方向に沿ってカットした結晶が用いられる。c軸に沿ってカットされた結晶は光路とc軸が同一方向になるようにレーザ装置100に取り付けられる。
- [0010] 図15は、従来のファイバレーザの構成を示す図である。図15を参照して、レーザ装置200は、共振器202を備える。共振器202は、光ファイバにより構成されるリング共振器である。光ファイバの両端にはファイバブラッググレーティング(FBG:Fiber Bragg Gratings;以下、FBGと称す)206、208が形成される。FBGは光ファイバのコア中に形成された回折格子であり、光フィルタとしての機能を有する。
- [0011] 共振器202に用いられる光ファイバは、コアに希土類元素が添加された光増幅ファイバである。励起光がコアに入射すると、希土類元素が励起される。さらに、信号光(図示せず)がコアに入射すると、励起状態の希土類元素において誘導放出が生じるので信号光が増幅される。なお、希土類元素の種類に応じて励起光の波長および信号光の波長は異なる。
- [0012] 図14のレーザ装置100と同様に、励起光はLDアレイ112から光ファイバ116を介して共振器202に入る。ただし、光ファイバ116と共振器202(光ファイバ)とは直接接続される。
- [0013] 図16は、図15の光ファイバ116と共振器202との接続を示す図である。図16を参照して、光ファイバ210は共振器202を構成する。図16では光ファイバ210の断面が示される。光ファイバ210にはコア218が設けられ、コア218を囲むように第1クラッド220が設けられる。さらに第1クラッド220を囲むように第2クラッド222が設けられる。
- [0014] 光ファイバ116の端面は第2クラッド222の端面に接続される。第1クラッド220を通

る励起光は第1クラッド220と第2クラッド222との境界で第1クラッド220のほうに反射する。第1クラッド220からコア218に入射する励起光はコア218に吸収される。

[0015] 図17は、従来の光ファイバアンプの構成を示す図である。図17を参照して、光ファイバアンプ300は、光増幅ファイバ301と、信号光を発する光源302と、励起光を発する複数の光源304とを備える。複数の光源304の各々から発せられる励起光はファイバ支線306およびファイバカップラ308を介して光増幅ファイバ301のコアに入る。光源302から光増幅ファイバ301の一端面に入射した信号光は光増幅ファイバ301により増幅される。光増幅ファイバ301の他端部からは増幅後の信号光として信号光S100が発せられる。

[0016] 従来の固体レーザーの例として、たとえば特許第2893862号公報(特許文献1)では、レーザー媒質において発生した基本波レーザー光を共振器内に設けた非線形光学結晶素子を通過するように共振動作させることにより、第2高調波レーザー光を発生させると共に、上記基本波レーザー光の2つの偏光モード間の和周波発生によるカップリングを抑制する光学手段を上記共振器内に設けた固体レーザー発振器を開示する。この固体レーザー発振器は、上記基本波レーザー光の2つの偏光モードを、夫々単一の縦モードで発振させる光学手段と、上記基本波レーザー光の2つの偏光モードの発振強度が同一に成るように上記共振器の実効共振器長を制御する制御手段とを設けたことを特徴とする。

[0017] また、レーザーの光軸を調整するための従来技術として、たとえば特開2004-47650号公報(特許文献2)では、複数のレーザーダイオードと、これらのレーザーダイオードを、それぞれの発光点が一方方向に並ぶ状態に固定保持したブロックと、レーザーダイオードから発せられたレーザービームを各々平行光化するコリメータレンズが複数、一方方向に並ぶ状態に一体化されてなるコリメータレンズアレイとを備えるレーザー装置を開示する。このレーザー装置では、ブロックの複数のレーザーダイオードを固定した部分よりも前方側に、レーザーダイオードの発光点から所定距離離れて、レーザーダイオードの発光軸に垂直とされた平滑なレンズ規定面が形成され、このレンズ規定面にコリメータレンズアレイの一端面を合わせた状態で、該コリメータレンズアレイがブロックに固定されていることを特徴とする。

[0018] また、光ファイバアンプの従来例として、たとえば特開2004-297101号公報(特許文献3)では、複数の増幅性光ファイバに励起光を供給して信号光を光増幅する光ファイバ増幅器を開示する。この光ファイバ増幅器において、複数の増幅性光ファイバは、信号光入力端側に第1の増幅性ファイバ、信号光出力端側に第2の増幅性ファイバとを有する。また、この光ファイバ増幅器は、第1の増幅性ファイバから第2の増幅性光ファイバにおける信号光増幅利得を算出する第1の利得検出手段と、第1の増幅性光ファイバに励起光を供給する第1の励起光供給手段と、第2の増幅性光ファイバに励起光を供給する第2の励起光供給手段と、第1の励起光供給手段により供給される励起光の強度を一定に制御する第1の制御手段と、第1の利得検出手段により検出された利得に基づいて、第2の励起光供給手段により供給される励起光の強度を利得一定となるように制御する第2の制御手段と、第1の増幅性光ファイバと第2の増幅性光ファイバの間に配置されたアイソレータとを備える。

特許文献1:特許第2893862号公報

特許文献2:特開2004-47650号公報

特許文献3:特開2004-297101号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0019] 図14に示すLD励起固体レーザにおいては、2枚の反射鏡106, 108が設けられているため、振動や温度変化により反射鏡の相対的な位置がずれやすい。よって、レーザ装置を設置した際にはレーザ光を出力するための調整が必要となる。

[0020] また、LDアレイ112に含まれる複数のLD素子から発せられる励起光が光ファイバ116のコアに入るようにLD素子の光軸を調整しなければならない。調整作業は人手により行なわれるので、LD励起固体レーザ装置のコストが高くなる。

[0021] 一方、図15に示すファイバレーザの場合には、光ファイバそのものが共振器であり、LD励起固体レーザのように反射鏡が設けられていないため、LD固体励起レーザよりは振動衝撃に対して強い。しかし、光ファイバ116を光ファイバ210の第1クラッド220に接続するための作業が人手により行なわれる。この作業がファイバレーザ装置のコストを高くする要因となっている。つまり従来のレーザ装置では、LD素子から発

せられる励起光をコアに入れるための調整作業に多くの労力が必要であるため、レーザ装置のコストが高くなっていた。

[0022] また、光ファイバを用いた光増幅器において高出力の光を放出する(増幅率を高くする)ためには、光増幅ファイバの長さを長くする必要があるが、光ファイバが長くなると光ファイバが占有する面積が大きくなるため、装置全体が大型化する。仮に光ファイバの占有面積を小さくするために光ファイバを曲げたとしても曲げられた部分から外に光が逃げてしまうので、光ファイバを曲げた場合には増幅率が下がるという問題がある。

[0023] 本発明の目的は、小型かつ簡単な構成で、高出力の光を発することが可能な光増幅器およびレーザ装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0024] 本発明は要約すれば、光増幅器であって、所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播するフォトニック結晶ファイバを備える。フォトニック結晶ファイバは、信号光を伝播する信号光伝播領域を含み、信号光伝播領域の中心部を囲むように、所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造が設けられ、かつ、信号光伝播領域に、励起状態において信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドーピングされている。光増幅器は、フォトニック結晶ファイバの側面から信号光伝播領域に向けて信号光と波長が異なる励起光を照射し、光物質を励起する励起部をさらに備え、それにより、周期構造により選択される所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播し、励起光の照射により信号光を増幅する。

[0025] 本発明の他の局面に従うと、光増幅器であって、所定の波長の光を主波長とする信号光を発する信号光源と、信号光を一端面に受け、信号光をシングルモードで伝播して他端面から放出するフォトニック結晶ファイバとを備える。フォトニック結晶ファイバは、信号光を伝播する信号光伝播領域を含み、信号光伝播領域の中心部を囲むように、所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造が設けられ、かつ、信号光伝播領域に、励起状態において信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドーピングされている。光増

幅器はフォトニック結晶ファイバの側面から信号光伝播領域に向けて信号光と波長が異なる励起光を照射し、光物質を励起する励起部をさらに備える。光増幅器はフォトニック結晶ファイバを伝播する信号光を増幅する。

- [0026] 好ましくは、周期構造は、フォトニック結晶ファイバの断面において、フォトニック結晶ファイバを構成する固体媒質に、空孔が周期的に設けられることにより形成される。
- [0027] 空孔は、固体媒質がなく、空気が存在する。断面において周期構造を構成する個々の空孔は、フォトニック結晶ファイバの一方の端面から他方の端面まで同じ断面形状が連続して繋がった空孔となる。
- [0028] 本発明のさらに他の局面に従うと、レーザ装置であって、光増幅器を備える。光増幅器は、所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播するフォトニック結晶ファイバを含む。フォトニック結晶ファイバは、信号光を伝播する信号光伝播領域を有し、信号光伝播領域の中心部を囲むように、所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造が設けられ、かつ、信号光伝播領域に、励起状態において信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドーピングされている。光増幅器は、フォトニック結晶ファイバの側面から信号光伝播領域に向けて信号光と波長が異なる励起光を照射し、光物質を励起する励起部をさらに含み、それにより、周期構造により選択される所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播し、励起光の照射により信号光を増幅する。レーザ装置は、フォトニック結晶ファイバのそれぞれの端面に信号光を反射する反射部をさらに備える。
- [0029] 本発明のさらに他の局面に従うと、レーザ装置であって、光増幅器を備える。光増幅器は、所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播するフォトニック結晶ファイバを含む。フォトニック結晶ファイバは、信号光を伝播する信号光伝播領域を有し、信号光伝播領域の中心部を囲むように、所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造が設けられ、かつ、信号光伝播領域に、励起状態において信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドーピングされている。光増幅器は、フォトニック結晶ファイバの側面

から信号光伝播領域に向けて信号光と波長が異なる励起光を照射し、光物質を励起する励起部をさらに含み、それにより、周期構造により選択される所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播し、励起光の照射により信号光を増幅する。レーザ装置は、フォトニック結晶ファイバの一端面に到達した信号光を、フォトニック結晶ファイバの他端面に戻すための戻り部をさらに備える。

[0030] さらに好ましくは、フォトニック結晶ファイバは、一端面と他端面とが近接して設置され、戻り部は、他端面から出射する信号光のうちの一部を反射して一端面に入射するとともに、他端面から出射する信号光の一部を透過する反射鏡である。

[0031] さらに好ましくは、レーザ装置は、フォトニック結晶ファイバに対して励起部と反対側に設けられ、フォトニック結晶ファイバに向けて励起光を反射する第1の反射部をさらに備える。

[0032] さらに好ましくは、レーザ装置は、フォトニック結晶ファイバと励起部との間に設けられる第2の反射部をさらに備え、第2の反射部は、励起部から発せられる励起光を透過し、第1の反射部によって反射された励起光をフォトニック結晶ファイバに向けて反射する。

[0033] さらに好ましくは、第1の反射部の外形は、楕円の少なくとも一部であり、フォトニック結晶ファイバは、光伝播領域の位置が楕円の焦点の位置になるように配置される。

[0034] さらに好ましくは、フォトニック結晶ファイバは、信号光の伝播方向に垂直な断面が、楕円の少なくとも一部となる形状を有し、光伝播領域は、楕円の焦点の位置に配置される。

[0035] さらに好ましくは、フォトニック結晶ファイバは、複数の励起光源のうちの一つの励起光源から発せられる励起光に応じて光増幅物質に生じた自然放出により信号光を自ら生成し、生成した信号光により、光増幅物質に誘導放出を起こさせる。

[0036] さらに好ましくは、励起部は、入射角がブルースター角になるようにフォトニック結晶ファイバに対して励起光を照射する。

[0037] さらに好ましくは、励起部は、励起光を連続して発する複数の励起光源を含む。

さらに好ましくは、戻り部は、一端面に光学的に結合され、一端面に到達した信号光を他端面に向けて戻す第1のファイバグレーティング構造と、他端面に光学的に結

合され、他端面に到達した信号光を一端面に向けて戻す第2のファイバグレーティング構造とを含む。

[0038] さらに好ましくは、レーザ装置は、励起部とフォトニック結晶ファイバとの間に設けられて励起光をフォトニック結晶ファイバの側面に導く光導波部をさらに備え、光導波部は、励起光を面状に放出するための発光面を含み、フォトニック結晶ファイバは、発光面に沿って設けられる。

[0039] さらに好ましくは、光導波部は、折り曲げ自在な素材により構成される。

さらに好ましくは、レーザ装置は、フォトニック結晶ファイバに対して発光面と反対側に設けられ、励起光を、フォトニック結晶ファイバに向けて反射する反射部と、発光面とフォトニック結晶ファイバとの間に設けられ、励起光を透過する透過部とをさらに備える。

[0040] さらに好ましくは、透過部は、励起光のうち、光増幅物質を励起する波長の光を透過するダイクロミックミラーである。

[0041] さらに好ましくは、透過部は、励起光を集光する複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイである。

さらに好ましくは、フォトニック結晶ファイバは、信号光の伝播方向に垂直な断面が放物線となる形状を有し、放物線の焦点の位置に光伝播領域が配置される。

[0042] さらに好ましくは、光伝播領域の内部は、断面において、光伝播領域内に、周期構造を構成する空孔とは異なる他の空孔が設けられている。

[0043] さらに好ましくは、レーザ装置は、フォトニック結晶ファイバを浸漬して冷却する冷却水を循環させる冷却部をさらに備える。

[0044] 好ましくは、光増幅器は、励起部とフォトニック結晶ファイバとの間に設けられて励起光をフォトニック結晶ファイバの側面に導く光導波部をさらに備える。光導波部は、励起光を面状に放出するための発光面を含む。フォトニック結晶ファイバは、発光面に沿って設けられる。

発明の効果

[0045] 本発明の光増幅器によれば、シングルモードの光を伝播し、かつ、光増幅を行なうフォトニック結晶ファイバの側面に励起光を照射することにより、励起光をコアに入力

するための調整を簡単にすることができるとともに、小型でありながら高い出力の光を出すことができる。

図面の簡単な説明

- [0046] [図1]本発明の光増幅器の構成を示す概念図である。
- [図2]図1の光ファイバ2の断面を模式的に示す図である。
- [図3]実施の形態2のレーザ装置の構成を示す概略図である。
- [図4]図3の光増幅器1の構成を示す概略図である。
- [図5]実施の形態2における光増幅器1の別の構成例を示す図である。
- [図6]実施の形態2における光増幅器1のさらに別の構成例を示す図である。
- [図7]実施の形態3のレーザ装置の構成を示す概略図である。
- [図8]実施の形態4のレーザ装置の構成を示す概略図である。
- [図9]図8のレーザ装置31を上方から見た図である。
- [図10]図8の線分X-X部の断面図である。
- [図11]実施の形態4における光ファイバ2の一例を示す図である。
- [図12]実施の形態4における光ファイバ2の別の例を示す図である。
- [図13]透過部45の別の構成例を示す図である。
- [図14]従来のLD励起固体レーザの共振器の構成を示す図である。
- [図15]従来のファイバレーザの構成を示す図である。
- [図16]図15の光ファイバ116と共振器202との接続を示す図である。
- [図17]従来の光ファイバアンプの構成を示す図である。
- [図18]図1の光ファイバ2の断面を具体的に示す図である。

符号の説明

- [0047] 1 光増幅器、2, 2A, 116, 210 光ファイバ、2D 空孔、4A 励起光源、4 励起部、6 光源、8 信号光伝播領域、9 周期構造領域、8A, 9A 空孔、11, 21, 31, 100, 200 レーザ装置、12 パルス発振LD、13 反射鏡、14A, 14B コリメータレンズ、15 巻き枠、16, 16A, 16B, 16C 反射部、18 ヒートシンク、19 LD素子、19A 電極、22 反射鏡、32 制御部、34 ライトガイド、35 発光面、36A, 36B 波長選択部、36C 放射面、38 指示部、40 ドライバ 42 冷却部、43 アイソレ

ータ、44 放熱板、45 透過部、46A, 46B シール、50 シリンドリカルレンズ、52 冷却水、60 マイクロレンズ、91~94 境界線、102, 202 共振器、104 結晶、106, 108 反射鏡、110 Qスイッチ、112 LDアレイ、114 レンズ、118 ファイバカップリング、218 コア、220 第1クラッド、222 第2クラッド、300 光ファイバアンプ、301 光増幅ファイバ、302, 304 光源、306 ファイバ支線、308 ファイバカップラ、D1 距離、E 励起光、L1, L2, S1, S2, S100 信号光、L3 透過光、L4 反射光、LA レーザ光、P1 位置。

発明を実施するための最良の形態

[0048] 以下において、本発明の実施の形態について図面を参照して詳しく説明する。なお、図中同一符号は同一または相当部分を示す。

[0049] [実施の形態1]

図1は、本発明の光増幅器の構成を示す概念図である。図1を参照して、光増幅器1は光ファイバ2、光ファイバ2の側面から光ファイバの光伝播領域に向けて励起光Eを照射する励起部4および光ファイバの一端面に、信号光S1を入射する光源6とを備える。信号光S1は光ファイバ2において増幅され、光ファイバ2の他端面から信号光S2として出力される。

[0050] 光ファイバ2はフォトニック結晶ファイバである。フォトニック結晶とは屈折率の異なる2種類の物質を光の波長程度のサイズおよび間隔で周期的に配列させた人工結晶である。フォトニック結晶は波長選択性を有し、結晶の周期に応じた波長の光のみ、界面で反射する性質を持つ。その理由として、周期構造によるエネルギーバンド構造(フォトニックバンド)により、結晶の周期に応じた波長はフォトニック結晶中での存在が許されないためである。

[0051] 周期構造により選択された波長の光はフォトニック結晶中に侵入できない。よって光はフォトニック結晶に囲まれた光伝播領域を伝播する。フォトニック結晶ファイバは従来の光導波路が有していた様々な制限を受けなくなる。たとえば曲げ半径を小さくしても光ファイバの外部に漏れ出す光を少なくすることができる。

[0052] 本発明では信号光S1がフォトニックバンドギャップの波長の光に相当する。励起光Eの波長はフォトニックバンドの透過領域にある波長である。よって信号光S1の波長

と励起光Eの波長とは異なる。

- [0053] 図2は、図1の光ファイバ2の断面を模式的に示す図である。図2を参照して、光ファイバ2は、信号光伝播領域8および周期構造領域9を含む。周期構造領域9は、信号光伝播領域8の中心部を囲み、信号光の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たすように、ガラスやプラスチックなどの透明な物質に空孔9Aが周期的に設けられた構造を持つ領域である。空孔には空気が存在することになる。
- [0054] 屈折率が周期的に変化するような回折格子では、入射する光の方向における回折格子の周期と光の波長との関係から、特定の波長の光を強く反射し、その他の波長の光を透過する。このような反射をブラッグ反射と呼ぶ。光ファイバ内に設ける空孔9Aの周期が信号光の波長程度の間隔およびサイズで透明な物質に設け、周期構造の配置を適切に行なうことによって、ファイバ内を伝播する信号光に対してはブラッグ反射が生じるようにすることができ、信号光が信号光伝播領域8内に閉じ込められた状態で伝播することができる。なお、周期構造が有限であれば特定波長を中心に一定の広がりを持つ波長も、ブラッグ反射条件を満たすがそのような場合も含まれるものとする。
- [0055] 周期構造領域9において、励起光は信号光とは波長が異なり、ブラッグ反射条件を満たさないように周期構造を設計することにより、高い透過率でファイバ側面からの励起光は信号光伝播領域8に到達できる。
- [0056] 信号光伝播領域8には光増幅物質として希土類元素がドーピングされる。図1の励起光Eが信号光伝播領域8に入射すると信号光伝播領域8にドーピングされた希土類元素が励起光Eにより励起される。さらに信号光伝播領域8に信号光S1が入射すると励起状態の希土類元素において誘導放出が生じ、信号光S1が増幅される。
- [0057] 希土類元素の種類に応じて励起光および誘導放出光の波長は異なる。希土類元素の具体例としてはネオジウム(Nd)、イッテリビウム(Yb)、エルビウム(Er)などである。希土類元素に対応する励起光の波長および信号光の波長の例を示すと、たとえばネオジウムの場合、励起光の波長は808nmであり、誘導放出光の波長は1064nmである。イッテリビウムの場合、励起光の波長は 940 ± 10 nmおよび970nmであり、誘導放出光の波長は1030nmである。エルビウムの場合、励起光の波長は980nm

mおよび1480nmであり、誘導放出光の波長は1550nmである。よって、光増幅器1は必要となる信号光S2の波長に応じて光ファイバ2を交換することで、異なる波長の光を出力することができる。

[0058] さらに、光ファイバ2全体(実際には希土類元素が添加された領域)の面積に、均一に励起光を照射することによって、過剰な照射によって生じる励起光の吸収確率(吸収断面積)の減少の影響を回避し、高い吸収確率を維持することによって信号光の増幅率を高くして、光ファイバから光を放出することが可能になる。

[0059] 従来の光ファイバを用いた光増幅器やファイバレーザの場合、シングルモードの光を伝播するためには光伝播領域の直径が波長と同程度(1~数 μ m程度)でなければならない。よって仮に従来の光増幅器においてファイバの側面から励起光を照射したとしても光伝播領域の径が小さすぎるため、光伝播領域に吸収される励起光が少なくなる。光ファイバ2はフォトニック結晶ファイバであるため光伝播領域の径がその10倍程度であってもシングルモードの光を伝播することができる。よって光ファイバ2の側面から信号光伝播領域8に向けて励起部4が励起光Eを照射しても信号光伝播領域8は効率よく励起光Eを吸収できる。よって光増幅器1では従来の光増幅器に比べ、光ファイバ2に対する励起部の位置を調整することが容易になる。

[0060] 続いて、図18を参照しながら本発明の実施の形態におけるフォトニック結晶ファイバの構成例を具体的に説明する。

[0061] 図18は、図1の光ファイバ2の断面を具体的に示す図である。

図18を参照して、信号光伝播領域8内には、周期構造領域9を構成する空孔9Aとは異なる他の空孔8A(コア)が設けられる。複数の空孔9Aは信号光伝播領域8の空孔8Aを多重に囲み、かつ、周期的に配置される。いわば周期構造領域9は空孔8Aの周りにガラスやプラスチックなどの透明な物質および空孔が層状に重ねられた構成を有する。なお境界線91~94は、各層の境界として便宜的に示した線である。

[0062] 空孔8Aの径は約15 μ m程度である。また空孔の屈折率はほぼ1に等しくなる。信号光伝播領域8には光増幅物質としてイットリビウム(Yb)が添加される。イットリビウムは第1層目(空孔8Aと境界線91との間の領域)に添加される。

[0063] 光ファイバ2の構造がフォトニックバンドギャップ構造となるためには上述した層が1

層～6層程度必要となるが、光ファイバ2がシングルモードで光を伝播するためには4層程度必要となる(図18では4層の例を示す)。

[0064] なおレーザ発振波長が1064nmの場合には、2つの空孔9A間のピッチ Λ は約2～3 μm となり、空孔9Aの径 d は約2～3 μm となり、構造パラメータ d/Λ は約1となる。

[0065] また、図18に示す構造において、第1層にイッテリビウム(Yb)が添加され、第1層および第2層にエルビウム(Er)等のレーザドーパントが添加されてもよい。エルビウムはファイバ外部(ファイバ側面)からの励起光を受けてイッテリビウムの励起光に近い波長の光を発光する。エルビウムが発した光はファイバ中心部のイッテリビウムを励起する。また、エルビウムは第1層から第6層(あるいはそれ以上の層)に添加されてもよい。

[0066] 以上のように、実施の形態1によれば、希土類元素が添加された信号光伝播領域を有し、かつ、信号光伝播領域の中心部を囲むように、所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす、互いに屈折率が異なる透明な物質と空孔とからなる周期構造を有するフォトニック結晶ファイバと、このフォトニック結晶ファイバの側面から光伝播領域に向けて励起光を照射する励起部とを備えることによって、光ファイバに対する励起部の配置を容易に設定することが可能になるとともに、小型で高出力の光増幅器を実現することができる。

[0067] [実施の形態2]

図3は、実施の形態2のレーザ装置の構成を示す概略図である。図3を参照して、レーザ装置11は、光増幅器1と、反射鏡13と、コリメータレンズ14A, 14Bとを備える。反射鏡13は、光ファイバ2の一端面から出射する信号光L2のうちの一部を反射して光ファイバ2の他端面に入射するとともに、信号光L2の一部を透過する。光増幅器1による信号光L2の増幅と反射鏡による信号光L2の損失やファイバ内の損失やドーパント濃度による消光、ファイバ長さに依存して起こる消光とが釣り合うとレーザ発振が生じ、反射鏡13からレーザ光LAが外部に発せられる。消光とは発振波長の光を吸収して再度蓄光するために、一般的にはフォノン放出などによって熱として光エネルギーが失われる現象を指す。

[0068] 光増幅器1は、光ファイバ2、複数の励起光源4A、パルス発振LD12、円筒形の巻

き枠15、反射部16およびヒートシンク18により構成される。光ファイバ2は巻き枠15の側面に沿って巻かれることによりリング状に設置される。光ファイバ2はフォトニック結晶ファイバであるので巻き枠15に沿って巻かれていても曲げに対して耐性が極めて強く、曲げられた部分から殆ど光が漏れない。よって光ファイバ2を長くしても光増幅器1が大型化することを防げるのでレーザ装置11は小型であるとともに高出力のレーザ光を発することができる。

- [0069] 複数の励起光源4Aは図1の励起部4を構成する。光ファイバ2が巻き枠15の周囲に沿って巻かれているため励起光源4Aは巻き枠15の径方向に励起光を発する。励起光源4Aには連続発振を行なうLD素子(図示せず)が含まれる。LD素子の発振波長は希土類元素の励起波長であるとともにフォトニックバンドの透過領域にある波長である。光ファイバ2の光伝播領域に添加される希土類元素およびフォトニックバンドの透過領域に応じて発振波長は適切に定められる。
- [0070] 励起光源4Aは8個設けられているが、励起光源4Aの数は異なってもよい。励起光源4Aを複数設けることによって、いずれかの励起光源4Aが故障等の理由により励起光を発しなくなっても他の励起光源4Aが励起光を発するのでレーザ装置11はレーザ光LAを発することができる。また、レーザ装置11に含まれる励起光源4Aの数が多いほどレーザ光の出力を高くすることができる。
- [0071] 光増幅器1は光ファイバ2をはさむように設けられる反射部16を含む。反射部16は励起光源4Aから出た励起光が効率よく光ファイバ2の光伝播領域に吸収されるために設けられる。
- [0072] 反射部16は反射部16A, 16Bを含む。反射部16Aは光ファイバ2に対して励起光源4Aと反対側に設けられ、励起光を、光ファイバ2の光伝播領域に向けて反射する。反射部16Bは光ファイバに沿って励起光源4Aから励起光が照射される領域を除いて設けられる。反射部16Bは反射部16Aとともに、反射された励起光を光ファイバ2に向けて反射する。このように、反射部16A, 16Bによって繰り返し励起光が反射されるので、光伝播領域に効率よく励起光が吸収される。なお、反射部16A, 16Bは、たとえばプリズムシート(回折格子シート)や金属蒸着シート、多層誘電体コート付きシートなどによって構成される。

- [0073] 複数の励起光源4Aの各々の間にはヒートシンク18が設けられる。ヒートシンク18によって励起光源に含まれるLD素子から出る熱を放出することができるので、LD素子の温度上昇を抑えることができる。よって、励起光の波長が安定する。
- [0074] なお図3において、励起光源4Aは光ファイバ2に対して巻き枠15の内側に設けられているが光ファイバ2に対して巻き枠15の外側に設けられていてもよい。
- [0075] 反射鏡13は、たとえば石英ガラスにより構成される。石英ガラスは温度による体積膨張が小さいという利点を有する。信号光L2を反射するため、反射鏡13の反射面には、たとえば誘電体多層膜が積層される。反射面での信号光L2の反射率は、反射面に誘電体多層膜を用いた場合99%以上を確保できる。なお、光ファイバ2と反射鏡13との距離を変えることで、レーザ光の発振波長を微調整することが可能になる。
- [0076] このように実施の形態2のレーザ装置では光ファイバ2に対して1つの反射鏡のみが設けられる。よって、従来のLD励起固体レーザと比較して反射鏡の数が少ないので、振動衝撃によって光増幅器1と反射鏡13との位置がずれたとしても容易に位置を調整することができる。
- [0077] コリメータレンズ14A, 14Bは、光ファイバ2に入る信号光L2および光ファイバ2から出る信号光L2のそれぞれを平行な光線にするために設けられる。
- [0078] 図4は、図3の光増幅器1の構成を示す概略図である。図4を参照して、励起光源4Aには連続発振を行なうLD素子19が複数設けられる。LD素子19の数は光伝播領域を励起するために必要な励起光のパワーに応じて適切に定められる。なお、図4では図が煩雑になるのを避けるため、ヒートシンク18が示されていない。また、同様に図が煩雑になるのを避けるため、励起光源4Aは2つのみ示される。
- [0079] 光ファイバ2に対する励起光Eの入射角Aは、ブルースター角を中心として入射させるようにすることが特に好ましい。ブルースター角とは入射面に対して平行な電界成分のみを持つ直線偏光(P偏光)が入射する際に反射が0となる入射角をいう。励起光に用いるLDの偏光方向および入射角の中心値がブルースター角であれば励起光Eが効率よく光ファイバ2に入ることになるので励起光は光伝播領域に効率よく吸収される。なお実施の形態2におけるブルースター角は約34°になる。
- [0080] 図5は、実施の形態2における光増幅器1の別の構成例を示す図である。図5を参

照して、光ファイバ2、反射部16C、LD素子19および電極19Aが示される。電極19AはLD素子19に対して駆動電圧の印加や動作の制御を行なうための電極である。なお図5は光増幅器1の主要部分について、信号光の伝播方向から見た断面を示す。

- [0081] 反射部16Cの外形は楕円の少なくとも一部である。楕円は2つの焦点を有する。よってLD素子19を点光源とみなせば、光伝播領域の位置が楕円の第1の焦点になるように光ファイバ2を設け、第2の焦点の位置にLD素子19の発光面を設けることで、LD素子19から発せられる励起光Eを光ファイバ2に集めることができる。なお、図5に示す光増幅器1の場合、反射部16Cは光ファイバ2に沿って設けられるので、反射部16Cの長さは光ファイバ2の長さだけ必要になる。
- [0082] 図6は、実施の形態2における光増幅器1のさらに別の構成例を示す図である。図6を参照して、光ファイバ2A、LD素子19および電極19Aが示される。図5と同様に、図6は光増幅器1の主要部分について、信号光の伝播方向から見た断面を示す。
- [0083] 図6に示す光増幅器1では、光ファイバ2Aの形状が楕円の一部になっている。楕円の第1の焦点の位置に信号光伝播領域8が設けられ、第2の焦点の位置にLD素子19の発光面が設けられる。図5に示す光増幅器1と同様に、LD素子19から発せられる励起光Eは信号光伝播領域8に集まるので、光伝播領域では励起光Eを効率よく吸収することができる。図6に示す光増幅器の場合には光ファイバの外側に反射部を設ける必要がないのでレーザ装置のコストを下げることができる。
- [0084] なお、LD素子19と光ファイバとの間にコリメータレンズが設けられる場合には光ファイバに入射する励起光が平行光線になる。励起光が平行光線であれば図5に示す光増幅器1では反射部16Cの外形が放物線になり、放物線の焦点に光ファイバ2が設けられる。同様に図6に示す光増幅器1では光ファイバ2Aの外形が放物線になり、放物線の焦点に信号光伝播領域8が設けられる。
- [0085] 以上のように実施の形態2によれば、1枚の反射鏡によってフォトニック結晶ファイバを含む光増幅器から出た光を光増幅器に帰還させることによって、反射鏡と光増幅器との相対的な位置の調整を容易に行なうことができ、かつ、レーザ光の波長や出力を容易に変える事が可能なレーザ装置が実現可能になる。

[0086] [実施の形態3]

図7は、実施の形態3のレーザ装置の構成を示す概略図である。図7を参照して、レーザ装置21はパルス発振LD12が含まれていない点および反射鏡22が含まれる点において図2のレーザ装置11と異なる。レーザ装置21の他の部分の構成についてはレーザ装置11の対応する部分の構成と同様であるので以後の説明は繰り返さない。

[0087] レーザ装置21は連続発振が可能なレーザである。複数の励起光源4Aの各々の出力を徐々に高くしていくと、光ファイバ2の光伝播領域では自然放出による光が生じる。この光が信号光となり、光ファイバ2を伝播するうちに増幅される。光ファイバ2の一端面から出た信号光L2の一部は反射鏡13により反射して光ファイバ2の他端面に入り、一部は反射鏡13を透過して放出される。光増幅器1による信号光L2の増幅と反射鏡13による信号光L2の放出とが釣り合うとレーザ発振が生じる。

[0088] 実施の形態2では光ファイバ2の一端面から信号光L1が入ることにより、増幅後の信号光L2は一方向(時計方向)のみに進む。実施の形態3では信号光L2の進行方向は特に限定されないため、時計方向や反時計方向、あるいは時計方向および反時計方向が進行方向として考えられる。特に進行方向が時計方向と反時計方向との両方向である場合、光ファイバ2の両端面から信号光L2が出力される。よって、反射鏡13を透過する光としてレーザ光以外に透過光L3が発生する。

[0089] 実施の形態3では透過光L3を反射する反射鏡22を備える。反射鏡22で透過光L3が反射され、反射光L4とレーザ光LAとが反射鏡13上の位置P1において合成される。よって、実施の形態3ではレーザ光LAの出力が下がることを防ぐことができる。また、実施の形態3では、レーザ光LA以外に外部に放出される光がなくなるので、レーザ装置を用いて作業者が製品の加工を行なう場合において、作業者は容易にレーザ装置を取り扱うことができる。

[0090] なお、反射光L4とレーザ光LAとを合成した場合にレーザ光LAの出力が下がらないためには、位置P1においてレーザ光LAの位相と光L4の位相とが同じでなくてはならない。このため、位置P1から反射鏡22までの距離D1は、発振波長の半分の長さ(半波長)の整数倍の長さになるように設定されなければならない。

- [0091] 実施の形態3においても実施の形態2と同様に、反射部16に代えて図5に示す反射部16Cが用いられてもよい。また、実施の形態3において、光ファイバ2に代えて光ファイバ2Aが用いられてもよい。
- [0092] 以上のように実施の形態3によれば、励起光源から出力される励起光の出力を、光増幅ファイバの光伝播領域で自然放出が生じるほど高くすることによって、連続発振を行なうレーザ装置を実現することができる。
- [0093] [実施の形態4]
- 図8は、実施の形態4のレーザ装置の構成を示す概略図である。図8を参照してレーザ装置31は、光増幅器1と、ヒートシンク18と、制御部32と、ライトガイド34と、波長選択部36A、36Bとを備える。
- [0094] 光ファイバ2の両端部には波長選択部36A、36Bが設けられる。波長選択部36A、36Bは従来のFBGに相当する機能を有し、特定の波長に対してのみ選択的に反射率が高く設定されている。なお、波長選択部36A、36Bに代え、端面で信号光を反射し、光ファイバ2の内部に信号光を戻すための反射膜が光ファイバ2の両端面にコーティングされていてもよい。
- [0095] 波長選択部36A、36Bの各々では信号光の一部が光ファイバ2に戻されるとともに信号光の一部が外部に放出される。光ファイバ2による信号光の増幅と波長選択部36A、36Bの各々による信号光の放出とが釣り合うとレーザ光LAがレーザ装置31から発せられる。なお、レーザ光が外部に発せられる放射面36Cにはミラーコーティングが施され、大部分の光を反射するとともに一部の光を透過させている。
- [0096] 励起部4は光源である複数のLD素子19を含む。実施の形態2、3と同様に複数のLD素子19が励起部4に含まれることにより、いずれか1つのLD素子が故障により励起光を発しなくなったとしても他のLD素子によって光ファイバ2を励起することができる。なお、励起部4に含まれる光源としてはLD素子19以外にもLED (Light Emitting Diode; LEDバックライトを含む) やランプであってもよい。
- [0097] ライトガイド34は励起部4と光ファイバ2との間に設けられ、励起光Eを光ファイバ2の側面に導くための光導波部である。LD素子19から出た励起光Eはライトガイド34により反射され、光ファイバ2の側面から光ファイバ2に入る。ライトガイド34は励起光

Eを面状に放出するための発光面を有する。光ファイバ2はライトガイド34から励起光Eが放出される発光面上に設けられる。光ファイバ2に対して局所的に励起光を照射するのではなく、均一に励起光を照射するので吸収飽和が発生しにくくなり、損失を多くすることなく、効率的に希土類元素を励起することができる。

[0098] 制御部32は、たとえば任意の波形を生成するパルスジェネレータである。制御部32はレーザ光の出力や温度を制御するための指示を出力する指示部38と、指示部38から送られる指示に基づいてパルス発振LD12に注入する電流を制御する処理を行なうドライバ40とを含む。

[0099] レーザ装置31は、さらに、光ファイバ2を冷却する冷却部42を備える。光ファイバ2は冷却水に浸漬される。冷却部42は冷却水を循環させて光ファイバ2を冷却する。

[0100] 実施の形態2および実施の形態3では光ファイバはリング状に曲げられているが実施の形態4では光ファイバ2は面に沿って曲げられる。光ファイバ2はフォトニック結晶ファイバであるので、発光面上に所定の曲げ半径以下で自由に設けることができる。なお、多くの励起光を吸収できるよう、発光面全体を覆うように光ファイバが設けられることが好ましい。

[0101] 図9は、図8のレーザ装置31を上方から見た図である。図9を参照してライトガイド34は発光面35を有する。発光面35に沿って光ファイバ2が設けられる。なお、パルス発振LD12と波長選択部36Aとの間にはアイソレータ43が設けられる。アイソレータ43は、パルス発振LD12から出た信号光L1を光ファイバ2に通すが、光ファイバ2からパルス発振LD12に戻る光を遮断する。アイソレータ43によってパルス発振LD12には戻り光が入らない。よって、パルス発振LD12が保護される。なお、アイソレータ43はレーザ装置31に含まれていなくてもよい。

[0102] 図10は、図8の線分X-X部の断面図である。図10を参照して、光ファイバ2は反射部16Aおよび透過部45に挟まれる。反射部16Aは放熱板44の表面に積層された金属膜である。反射部16Aは光ファイバ2に対して発光面35と反対側に設けられ、励起光Eを光ファイバ2に向けて反射する。透過部45は励起部4から発せられた励起光Eのうち、光伝播領域にドープされた光増幅物質を励起する波長の光を透過する。透過部45は、たとえばダイクロイックミラーである。

- [0103] なお、ヒートシンク18上面(ライトガイド34の反射面)の角度および放熱板44の下面の角度は、反射部16Aで反射された励起光がLD素子に戻らないような角度に設定されることが好ましい。
- [0104] 励起光源から出た励起光Eはシリンダリカルレンズ50によって平行光線となる。ライトガイド34には傾斜が設けられる。励起光Eはライトガイド34の傾斜面により反射され、透過部45を介して光ファイバ2に入射する。
- [0105] ライトガイド34は励起光Eを透過する透明な物質である。ライトガイド34はたとえばガラスや樹脂であるが、特にレーザ装置31を小型化するために折り曲げ自在な素材で構成されることが好ましい。ライトガイド34の素材の具体例としては、たとえばPET(polyethylene terephthalate)である。
- [0106] シール46A, 46Bは光ファイバ2間の冷却水52を封じるために用いられる。冷却水52の熱を外部に放出するため、シール46A, 46Bの素材は高い熱導電性を有することが好ましい。さらにシール46A, 46Bの各々の光ファイバ2に対向する面には、励起光Eを反射する反射膜(図示せず)がコーティングされる。
- [0107] なお実施の形態2および実施の形態3と同様に、実施の形態4においても光増幅器1での増幅率を高めるために、光ファイバの光伝播領域に効率よく励起光Eを集めることが好ましい。以下、光伝播領域に効率よく励起光を集めることが可能なフォトニック結晶ファイバの形状や構成について説明する。
- [0108] 図11は、実施の形態4における光ファイバ2の一例を示す図である。図11を参照して、光ファイバ2の断面が示される。図11に示す断面は信号光の伝播方向に垂直である。断面の形状は放物線になる。ライトガイド34から光ファイバ2に送られる励起光Eは平行光線であるので、信号光伝播領域8を放物線の焦点の位置に設けることによって励起光Eを効率よく信号光伝播領域8に集めることが可能になる。
- [0109] 図12は、実施の形態4における光ファイバ2の別の例を示す図である。図12を参照して、光ファイバ2の形状は放物線である。ただし、断面において信号光伝播領域8には空孔2Dが設けられる。特に高出力のレーザ光を出力する場合にはこのような空孔が信号光伝播領域8に設けられることで光が高密度で存在することによる吸収係数の増加現象を避け、出力の損失を抑えることが可能になる。

- [0110] 図13は、透過部45の別の構成例を示す図である。図13を参照して発光面35には透過部45としてマイクロレンズ60を含むマイクロレンズアレイが形成される。光ファイバ2はマイクロレンズアレイ上に設けられる。マイクロレンズ60によって励起光が集光されて光ファイバ2に入射するので、光伝播領域に効率よく光を集めることが可能になる。
- [0111] 以上のように実施の形態4によれば、発光面からフォトニック結晶ファイバの側面に励起光を入射することによって、小型でありながら、かつ、シングルモードのレーザー光を出力することが可能になる。
- [0112] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

請求の範囲

- [1] 所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播するフォトニック結晶ファイバ(2)を備え、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、
前記信号光を伝播する信号光伝播領域(8)を含み、
前記信号光伝播領域(8)の中心部を囲むように、前記所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造(9)が設けられ、かつ、
前記信号光伝播領域(8)に、励起状態において前記信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドープされており、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)の側面から前記信号光伝播領域(8)に向けて前記信号光と波長が異なる励起光を照射し、前記光物質を励起する励起部(4)をさらに備え、
それにより、前記周期構造(9)により選択される前記所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播し、前記励起光の照射により前記信号光を増幅する光増幅器。
- [2] 所定の波長の光を主波長とする信号光を発する信号光源(6)と、
前記信号光を一端面に受け、前記信号光をシングルモードで伝播して他端面から放出するフォトニック結晶ファイバ(2)とを備え、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、
前記信号光を伝播する信号光伝播領域(8)を含み、
前記信号光伝播領域(8)の中心部を囲むように、前記所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造(9)が設けられ、かつ、
前記信号光伝播領域(8)に、励起状態において前記信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドープされており、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)の側面から前記信号光伝播領域(8)に向けて前記信号光と波長が異なる励起光を照射し、前記光物質を励起する励起部(4)をさら

- に備える、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)を伝播する前記信号光を増幅する光増幅器。
- [3] 前記周期構造(9)は、前記フォトニック結晶ファイバ(2)の断面において、前記フォトニック結晶ファイバを構成する固体媒質に、空孔が周期的に設けられることにより形成される、請求項1または2に記載の光増幅器。
- [4] レーザ装置(31)であって、
光増幅器(1)を備え、
前記光増幅器(1)は、
所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播するフォトニック結晶ファイバ(2)を含み、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、
前記信号光を伝播する信号光伝播領域(8)を有し、
前記信号光伝播領域(8)の中心部を囲むように、前記所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造(9)が設けられ、かつ、
前記信号光伝播領域(8)に、励起状態において前記信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドーピングされており、
前記光増幅器(1)は、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)の側面から前記信号光伝播領域(8)に向けて前記信号光と波長が異なる励起光を照射し、前記光物質を励起する励起部(4)をさらに含み、
それにより、前記周期構造(9)により選択される前記所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播し、前記励起光の照射により前記信号光を増幅し、
前記レーザ装置(31)は、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)のそれぞれの端面に前記信号光を反射する反射部をさらに備える、レーザ装置。
- [5] レーザ装置(11)であって、
光増幅器(1)を備え、

前記光増幅器(1)は、
所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播するフォトニック結晶ファイバ(2)を含み、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、
前記信号光を伝播する信号光伝播領域(8)を有し、
前記信号光伝播領域(8)の中心部を囲むように、前記所定の波長の光に対してブラッグ反射条件を満たす互いに屈折率が異なる複数の媒質からなる周期構造(9)が設けられ、かつ、
前記信号光伝播領域(8)に、励起状態において前記信号光が入射すると誘導放出を起こす光増幅物質がドープされており、
前記光増幅器(1)は、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)の側面から前記信号光伝播領域(8)に向けて前記信号光と波長が異なる励起光を照射し、前記光物質を励起する励起部(4)をさらに含み、
それにより、前記周期構造(9)により選択される前記所定の波長の光を主波長とする信号光をシングルモードで伝播し、前記励起光の照射により前記信号光を増幅し、
前記レーザ装置(11)は、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)の一端面に到達した前記信号光を、前記フォトニック結晶ファイバの他端面に戻すための戻り部をさらに備える、レーザ装置。

[6] 前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、前記一端面と前記他端面とが近接して設置され、

前記戻り部は、前記他端面から出射する前記信号光のうちの一部を反射して前記一端面に入射するとともに、前記他端面から出射する前記信号光の一部を透過する反射鏡(13)である、請求項5に記載のレーザ装置。

[7] 前記フォトニック結晶ファイバ(2)に対して前記励起部(4A)と反対側に設けられ、前記フォトニック結晶ファイバ(2)に向けて前記励起光を反射する第1の反射部(16A)をさらに備える、請求項6に記載のレーザ装置。

[8] 前記レーザ装置(11)は、前記フォトニック結晶ファイバ(2)と前記励起部(4A)との

間に設けられる第2の反射部(16B)をさらに備え、

前記第2の反射部(16B)は、前記励起部(4A)から発せられる前記励起光を透過し、前記第1の反射部(16A)によって反射された前記励起光を前記フォトニック結晶ファイバ(2)に向けて反射する、請求項7に記載のレーザ装置。

- [9] 前記第1の反射部(16C)の外形は、楕円の少なくとも一部であり、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、前記光伝播領域(8)の位置が前記楕円の焦点の位置になるように配置される、請求項7に記載のレーザ装置。

- [10] 前記フォトニック結晶ファイバ(2A)は、前記信号光の伝播方向に垂直な断面が、楕円の少なくとも一部となる形状を有し、
前記光伝播領域(8)は、前記楕円の焦点の位置に配置される、請求項6に記載のレーザ装置。

- [11] 前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、前記複数の励起光源(19)のうちのいずれかの励起光源から発せられる励起光に応じて前記光増幅物質に生じた自然放出により前記信号光を自ら生成し、生成した前記信号光により、前記光増幅物質に誘導放出を起こさせる、請求項6に記載のレーザ装置。

- [12] 前記励起部(4A)は、入射角がブルースター角になるように前記フォトニック結晶ファイバに対して前記励起光を照射する、請求項6に記載のレーザ装置。

- [13] 前記励起部(4A)は、前記励起光を連続して発する複数の励起光源(19)を含む、請求項12に記載のレーザ装置。

- [14] 前記戻り部は、
前記一端面に光学的に結合され、前記一端面に到達した前記信号光を前記他端面に向けて戻す第1のファイバグレーティング構造(36A)と、
前記他端面に光学的に結合され、前記他端面に到達した前記信号光を前記一端面に向けて戻す第2のファイバグレーティング構造(36B)とを含む、請求項5に記載のレーザ装置。

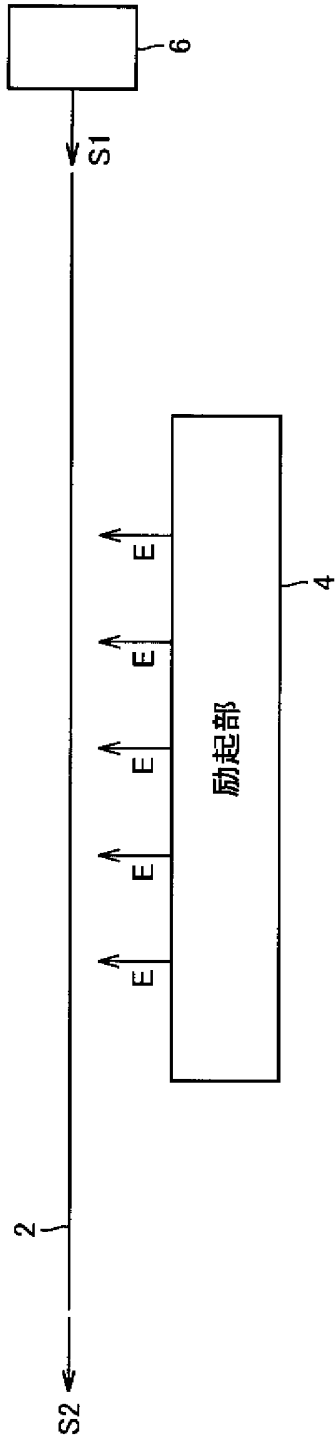
- [15] 前記レーザ装置(31)は、前記励起部(4)と前記フォトニック結晶ファイバ(2)との間に設けられて前記励起光を前記フォトニック結晶ファイバ(2)の側面に導く光導波部(34)をさらに備え、

- 前記光導波部(34)は、前記励起光を面状に放出するための発光面(35)を含み、前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、前記発光面(35)に沿って設けられる、請求項14に記載のレーザ装置。
- [16] 前記光導波部(34)は、折り曲げ自在な素材により構成される、請求項15に記載のレーザ装置。
- [17] 前記レーザ装置(31)は、
前記フォトニック結晶ファイバ(2)に対して前記発光面(35)と反対側に設けられ、前記励起光を、前記フォトニック結晶ファイバ(2)に向けて反射する反射部(16A)と、
前記発光面(35)と前記フォトニック結晶ファイバ(2)との間に設けられ、前記励起光を透過する透過部(45)とをさらに備える、請求項15に記載のレーザ装置。
- [18] 前記透過部(45)は、前記励起光のうち、前記光増幅物質を励起する波長の光を透過するダイクロミックミラーである、請求項17に記載のレーザ装置。
- [19] 前記透過部(45)は、前記励起光を集光する複数のマイクロレンズ(60)を含むマイクロレンズアレイである、請求項17に記載のレーザ装置。
- [20] 前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、前記信号光の伝播方向に垂直な断面が放物線となる形状を有し、前記放物線の焦点の位置に前記光伝播領域が配置される、請求項15に記載のレーザ装置。
- [21] 前記光伝播領域の内部は、断面において、前記光伝播領域内に、前記周期構造を構成する空孔(9A)とは異なる他の空孔(8A)が設けられている、請求項20に記載のレーザ装置。
- [22] 前記レーザ装置(31)は、前記フォトニック結晶ファイバ(2)を浸漬して冷却する冷却水(52)を循環させる冷却部(42)をさらに備える、請求項14に記載のレーザ装置。
- [23] 前記励起部(4)と前記フォトニック結晶ファイバ(2)との間に設けられて前記励起光を前記フォトニック結晶ファイバ(2)の側面に導く光導波部(34)をさらに備え、前記光導波部(34)は、前記励起光を面状に放出するための発光面(35)を含み、前記フォトニック結晶ファイバ(2)は、前記発光面(35)に沿って設けられる、請求項

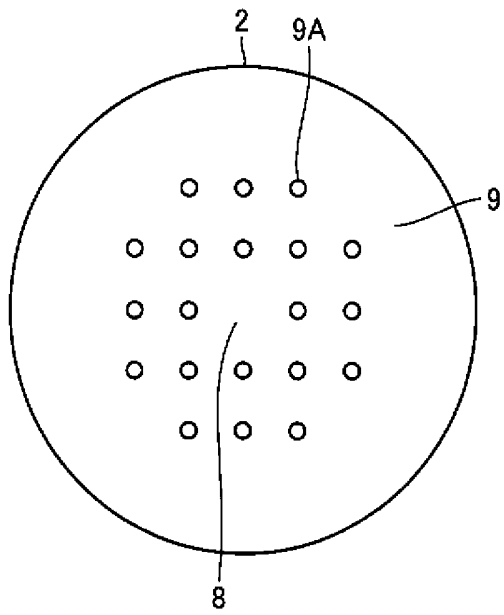
1に記載の光増幅器。

[図1]

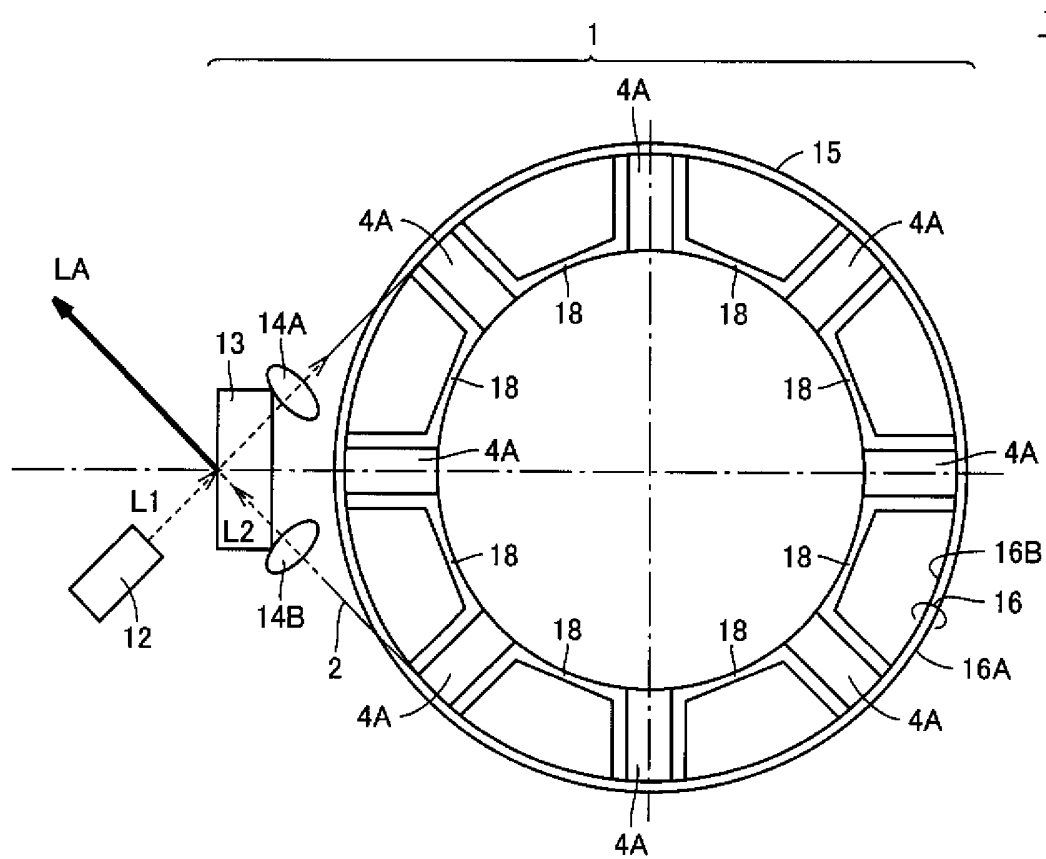
1



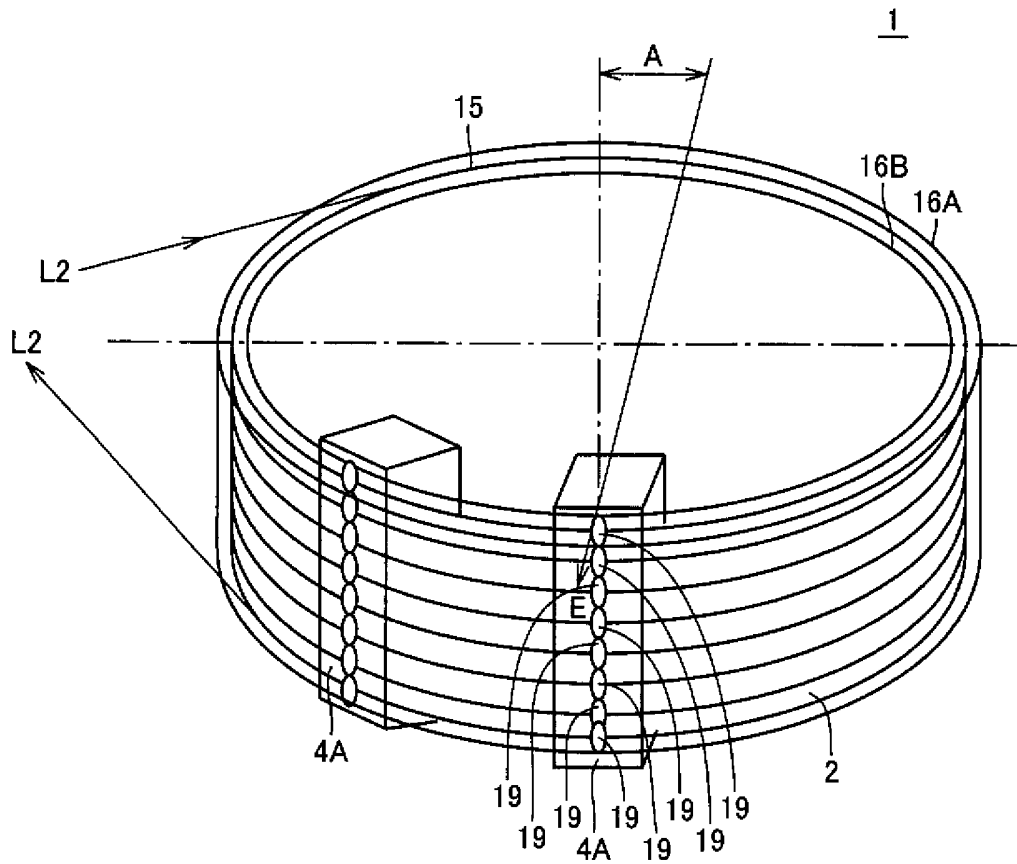
[図2]



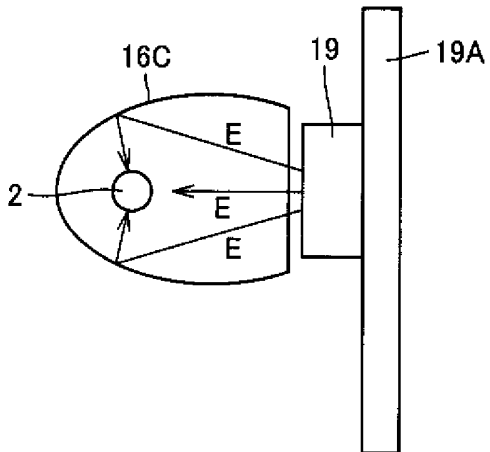
[図3]



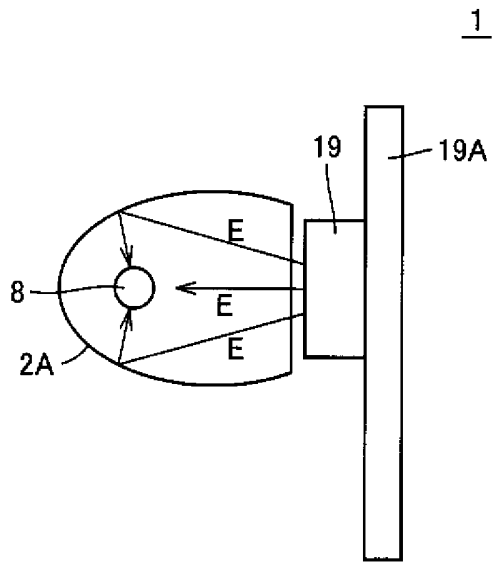
[図4]



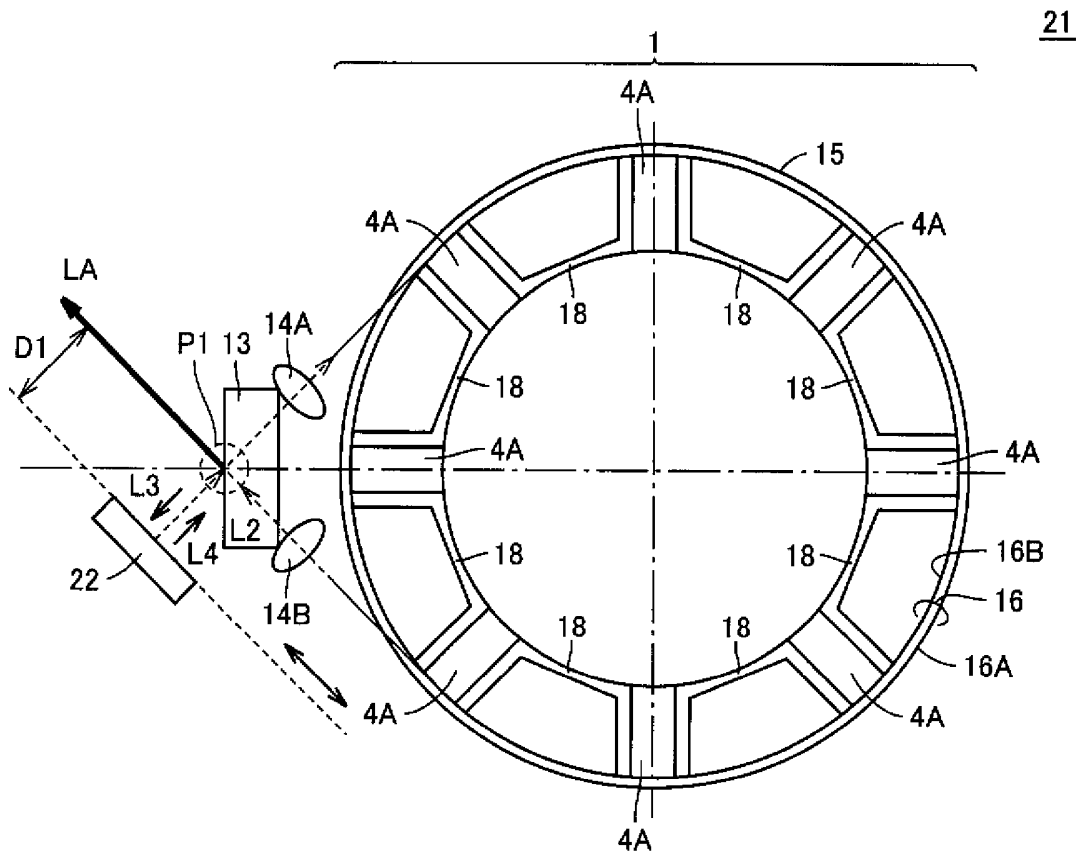
[図5]



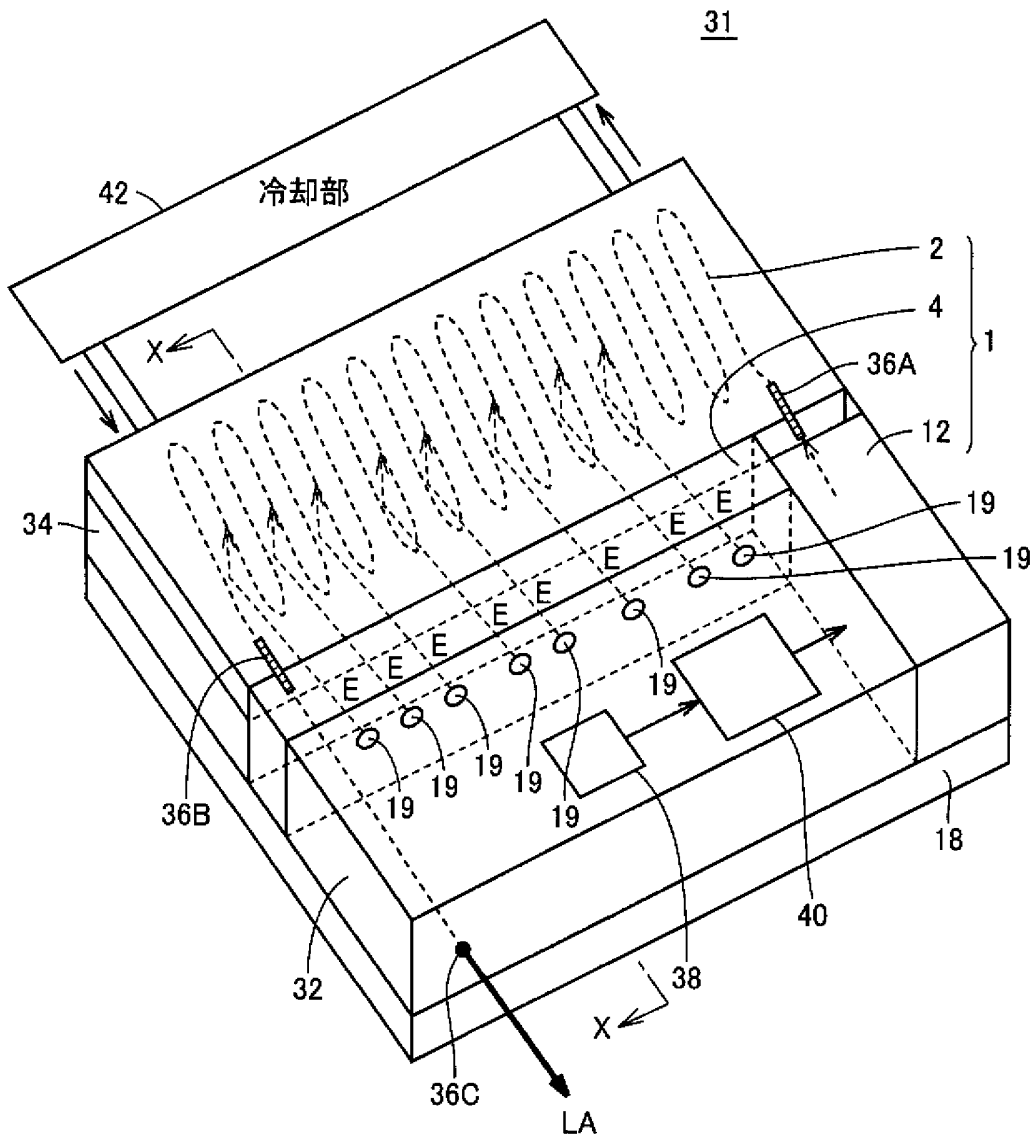
[図6]



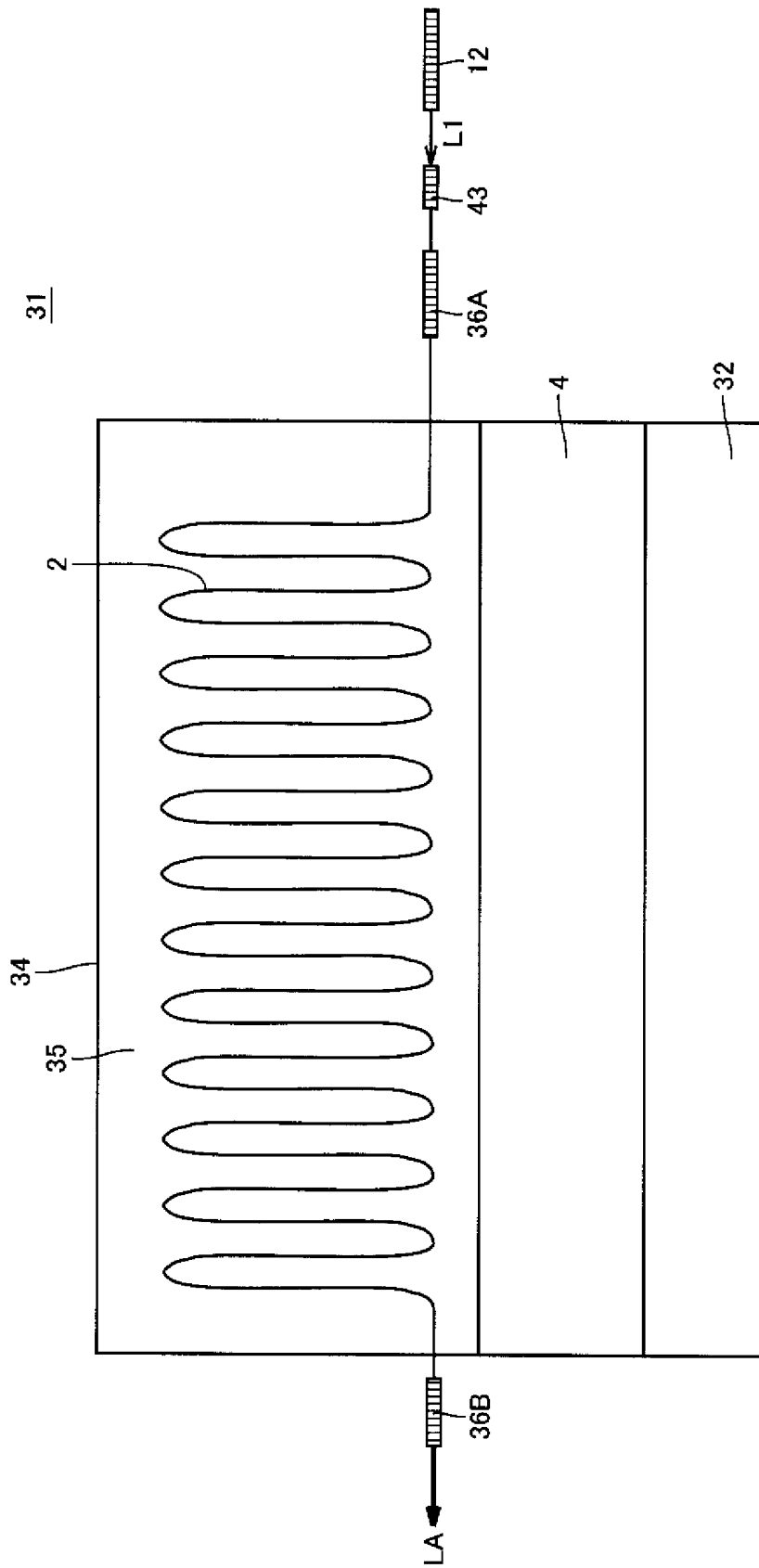
[図7]



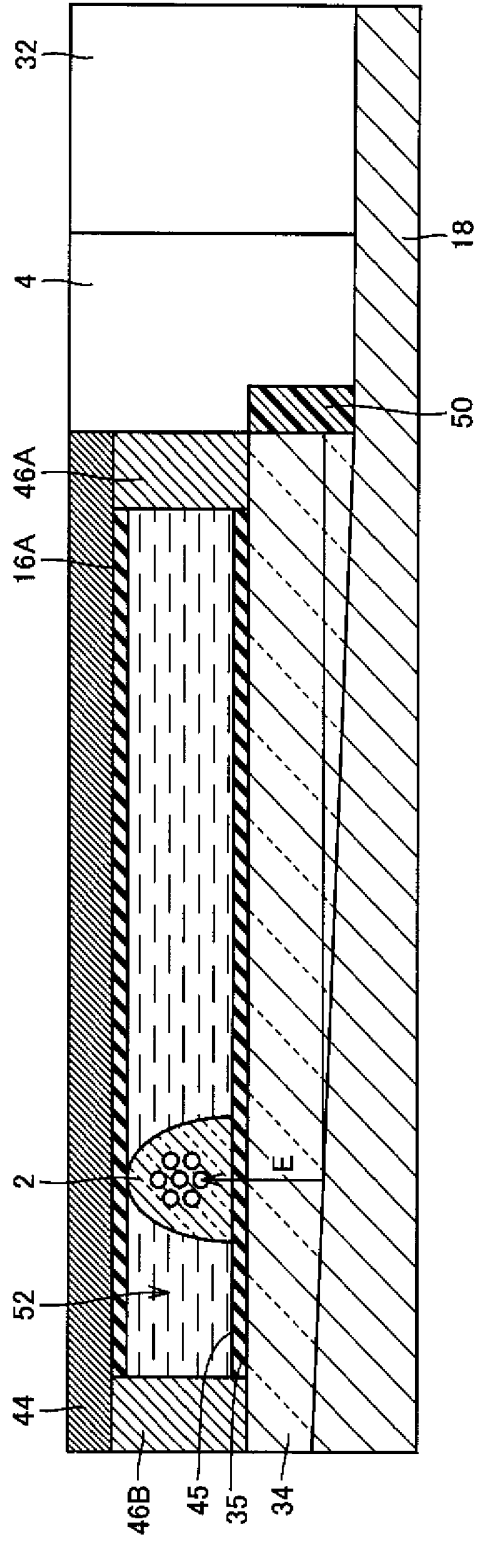
[図8]



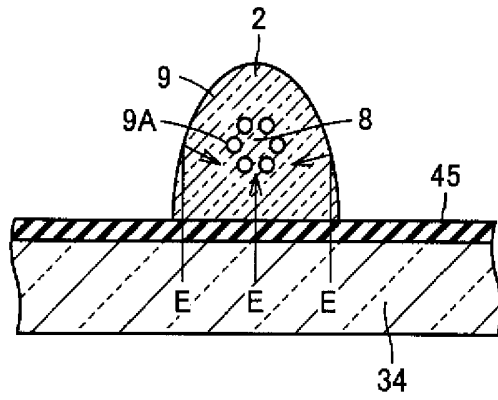
[図9]



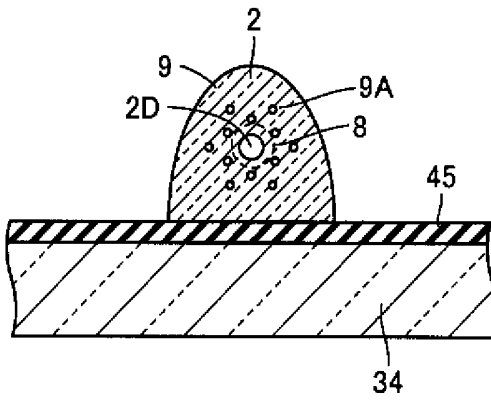
[図10]



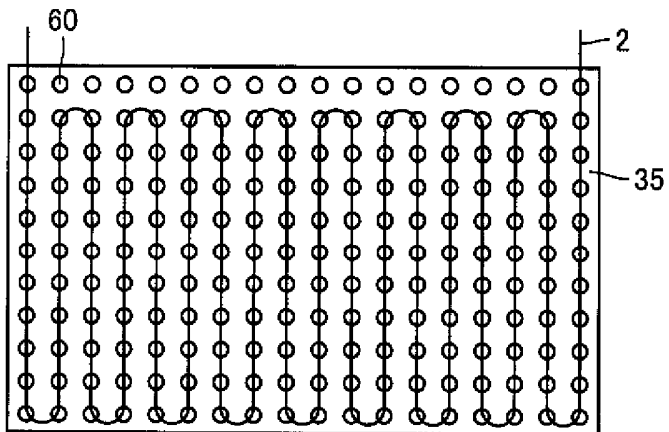
[図11]



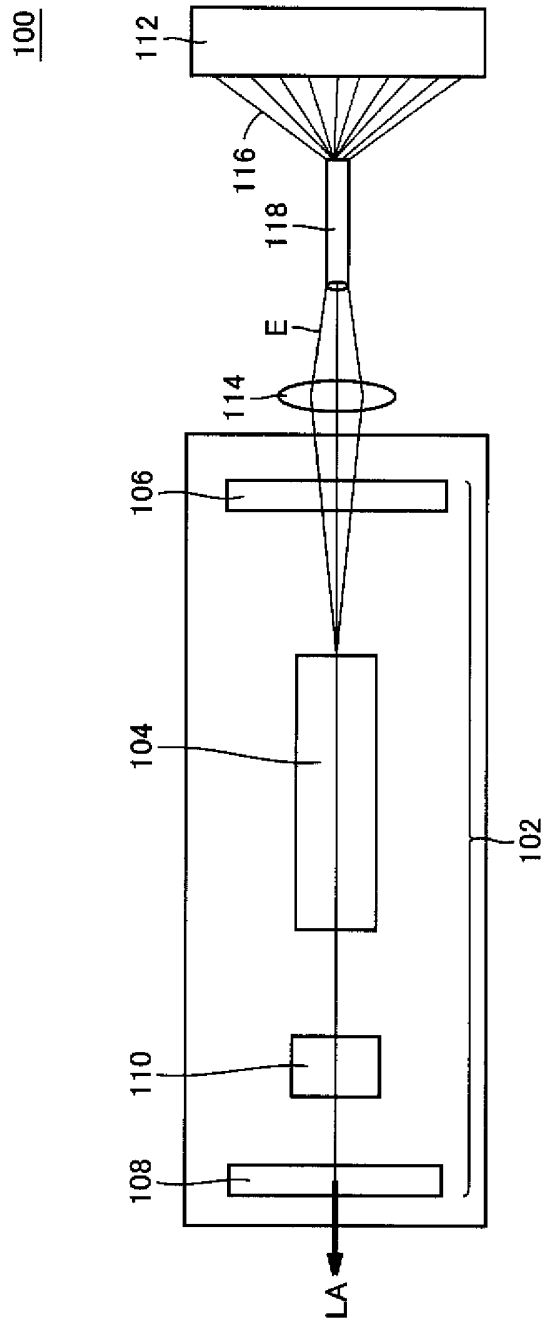
[図12]



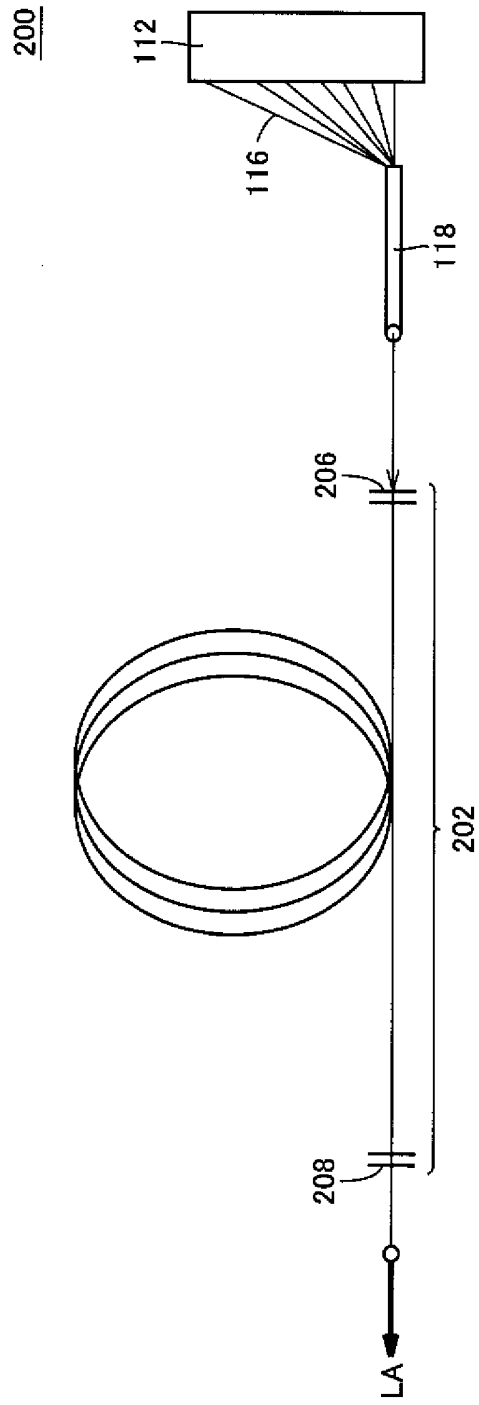
[図13]



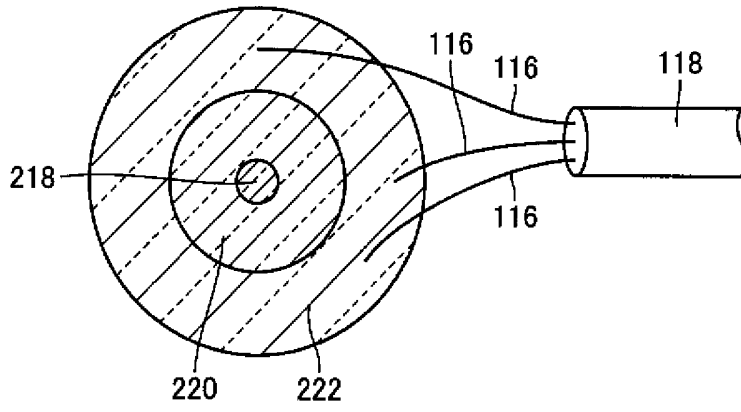
[図14]



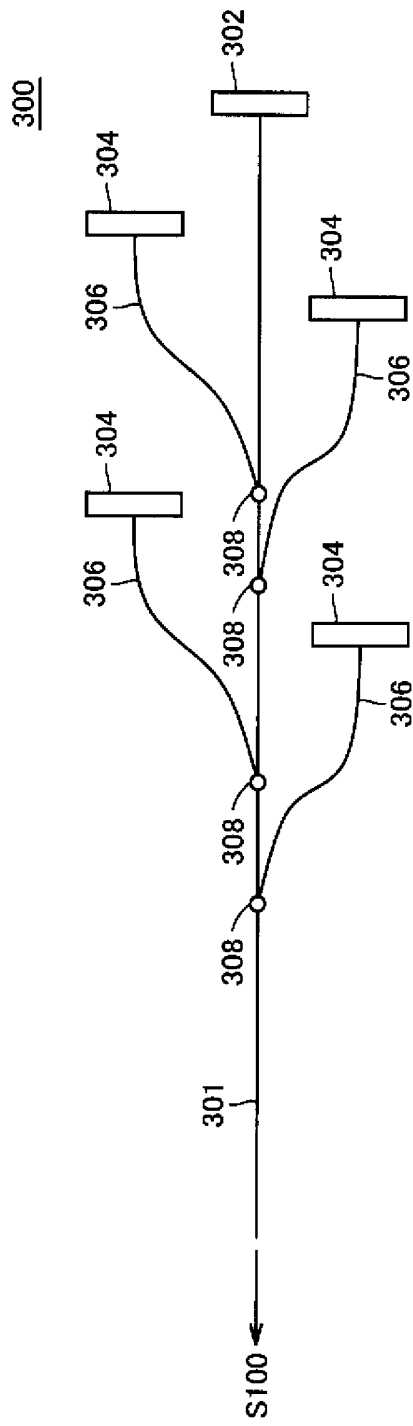
[図15]



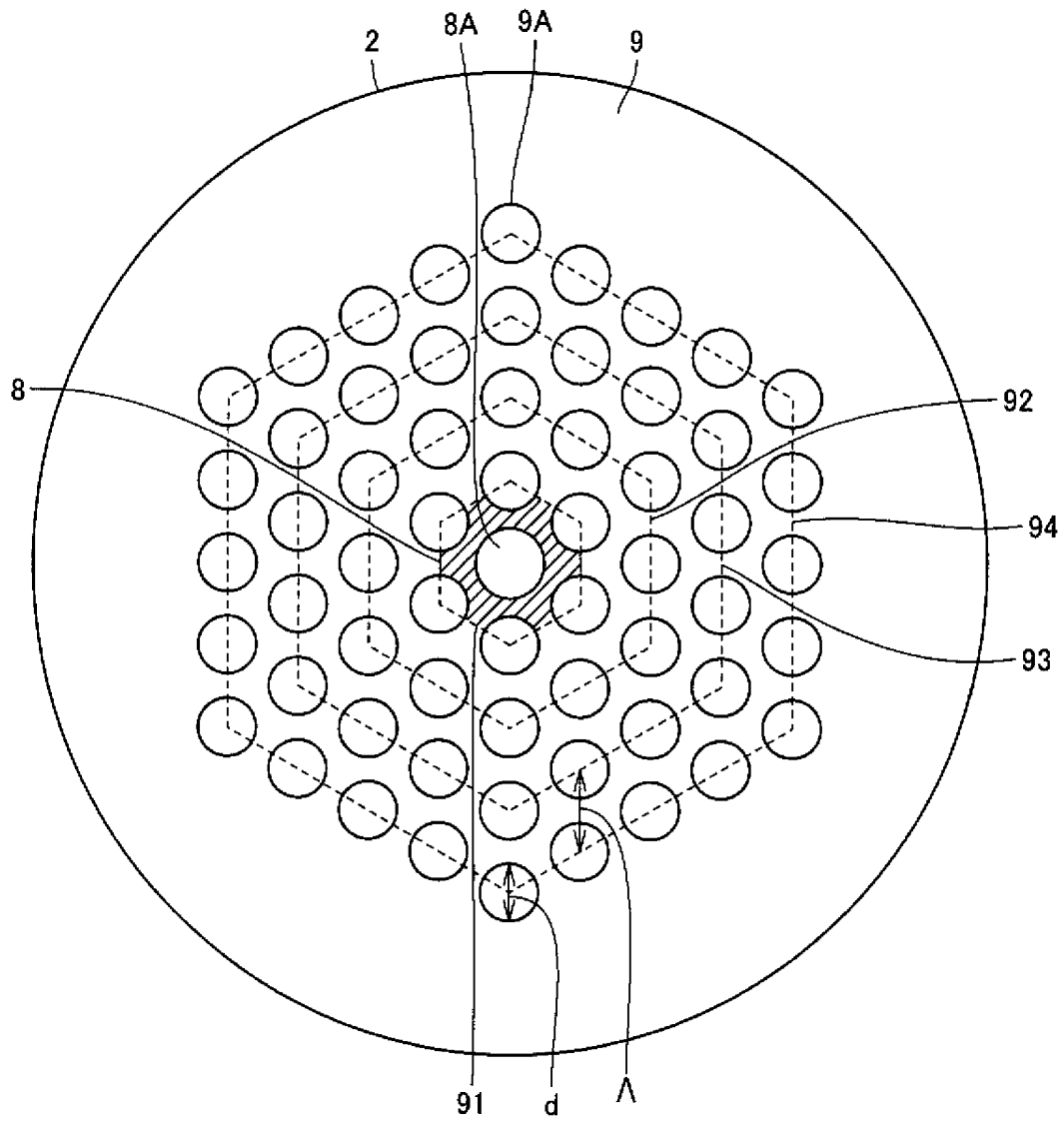
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/305001

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/06(2006.01) , **H01S3/042**(2006.01) , **H01S3/094**(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S3/00-H01S4/00, G02B6/00-6/036

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2004-077891 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 11 March, 2004 (11.03.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2004-335772 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 25 November, 2004 (25.11.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2002-055239 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 20 February, 2002 (20.02.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-5, 14, 6-13, 15-23

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 June, 2006 (13.06.06)	Date of mailing of the international search report 27 June, 2006 (27.06.06)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/305001

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2002-359420 A (Alcatel), 13 December, 2002 (13.12.02), Full text; all drawings & US 2002-131742 A1 & EP 1241491 A1	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2001-168425 A (Hoya Corp.), 22 June, 2001 (22.06.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2000-269571 A (Hoya Corp.), 29 September, 2000 (29.09.00), Full text; all drawings & EP 1037334 A2	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2001-044540 A (Hoya Corp.), 16 February, 2001 (16.02.01), Full text; all drawings & EP 1037334 A2	1-5, 14, 6-13, 15-23
A	JP 2000-124524 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 28 April, 2000 (28.04.00), Full text; all drawings (Family: none)	9-10, 20
A	JP 2001-119084 A (Hoya Corp.), 27 April, 2001 (27.04.01), Full text; all drawings (Family: none)	22
A	JP 2003-202422 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 18 July, 2003 (18.07.03), Full text; all drawings & US 2002-149837 A1	22

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01S3/06(2006.01), H01S3/042(2006.01), H01S3/094(2006.01)

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01S3/00 - H01S4/00, G02B6/00 - 6/036

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2004-077891 A (三菱電線工業株式会社) 2004.03.11, 全文、全 図 (ファミリーなし)	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2004-335772 A (三菱電線工業株式会社) 2004.11.25, 全文、全 図 (ファミリーなし)	1-5, 14, 6-13, 15-23

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 13.06.2006	国際調査報告の発送日 27.06.2006
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 岡田 吉美 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	2K 9315
--	--	---------

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2002-055239 A (三菱電線工業株式会社) 2002.02.20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2002-359420 A (アルカテル) 2002.12.13, 全文、全図 & US 2002-131742 A1 & EP 1241491 A1	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2001-168425 A (ホーヤ株式会社) 2001.06.22, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2000-269571 A (ホーヤ株式会社) 2000.09.29, 全文、全図 & EP 1037334 A2	1-5, 14, 6-13, 15-23
Y A	JP 2001-044540 A (ホーヤ株式会社) 2001.02.16, 全文、全図 & EP 1037334 A2	1-5, 14, 6-13, 15-23
A	JP 2000-124524 A (古河電気工業株式会社) 2000.04.28, 全文、全図 (ファミリーなし)	9-10, 20
A	JP 2001-119084 A (ホーヤ株式会社) 2001.04.27, 全文、全図 (ファミリーなし)	22
A	JP 2003-202422 A (古河電気工業株式会社) 2003.07.18, 全文、全図 & US 2002-149837 A1	22