

(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2015-111180

(P2015-111180A)

(43) 公開日 平成27年6月18日(2015.6.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 6/00 (2006.01)	G02B 6/00 376A	2H150
G02B 6/032 (2006.01)	G02B 6/20	4G021
C03B 37/022 (2006.01)	C03B 37/022	4G062
C03C 13/04 (2006.01)	C03C 13/04	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2013-252716 (P2013-252716)
 (22) 出願日 平成25年12月6日 (2013.12.6)

(71) 出願人 592032636
 学校法人トヨタ学園
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1
 (71) 出願人 507407777
 古河電子株式会社
 福島県いわき市好間町上好間字小館20番地
 (74) 代理人 100110928
 弁理士 速水 進治
 (72) 発明者 大石 泰丈
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番の1 学校法人トヨタ学園 豊田工業大学内

最終頁に続く

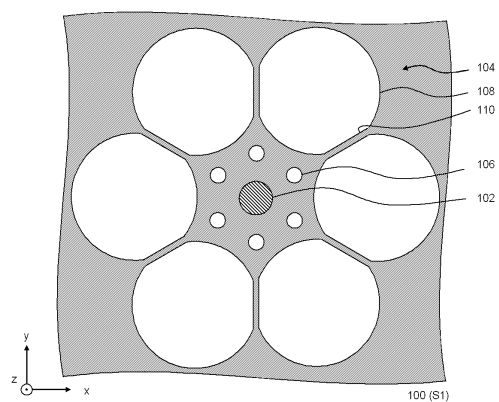
(54) 【発明の名称】 光ファイバおよび光ファイバの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 波長分散を効果的に抑制する。

【解決手段】 コア102の延在方向に対して垂直な断面において、コア102の周方向に沿って互いに隣接する第2中空部108は、外縁110を有している。外縁110は、コア102の中心から放射状に広がって当該隣接する第2中空部108の間を縫う直線に平行な外縁である。複数の第2中空部108では、外縁110がコア102の周方向に沿って互いに対向している。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

カルコゲナイドガラスにより形成されたコアと、
前記コアよりも低い屈折率を有する材料により形成され、前記コアの周方向に沿って前記コアを囲うクラッドと、
を備え、

前記クラッドは、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアの中心を中心とする同一円周上に互いに離間して設けられた複数の第 1 中空部と、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアに関して前記複数の第 1 中空部の外側で、前記コアの中心を中心とする同一円周上に互いに離間して設けられた複数の第 2 中空部と、

を含み、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアの周方向に沿って互いに隣接する前記第 2 中空部は、前記コアの中心から放射状に広がって当該隣接する第 2 中空部の間を縫う直線に平行な外縁を有し、前記外縁が前記コアの周方向に沿って互いに対向している光ファイバ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光ファイバであって、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記複数の第 1 中空部および前記複数の第 2 中空部は、前記コアの中心に関して回転対称に配置されている光ファイバ。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の光ファイバであって、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記複数の第 2 中空部は、前記コアの中心を中心として前記複数の第 1 中空部の全体を囲む円の外側に設けられている光ファイバ。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 までのいずれか一項に記載の光ファイバであって、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記複数の第 2 中空部の平均断面積は、前記複数の第 1 中空部の平均断面積よりも大きい光ファイバ。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 までのいずれか一項に記載の光ファイバであって、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアの中心から放射状に広がって前記複数の第 1 中空部の各中心を通過する直線が前記複数の第 2 中空部の間を縫うように、前記複数の第 2 中空部が配置されている光ファイバ。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の光ファイバであって、

前記クラッドのうち前記外縁によって挟まれている部分は、前記コアの中心から前記コアの径方向に見た場合、前記第 1 中空部の内側に含まれるように設けられている光ファイバ。

【請求項 7】

第 1 方向に延在した管部と、前記第 1 方向に延在するとともに前記第 1 方向に垂直な断面において前記管部から放射状に突出した複数の片部と、を含む第 1 ガラス管と、

第 2 ガラス管と、前記第 2 ガラス管の内側に位置するコアと、を含むコアロッドと、
複数の第 3 ガラス管と、

ジャケット管と、

を準備する工程と、

前記第 1 ガラス管の前記管部の内部に、前記コアロッドと、前記複数の第 3 ガラス管と、を挿入する工程と、

前記コアロッドと、前記複数の第 3 ガラス管と、を前記第 1 ガラス管の前記管部の内部

10

20

30

40

50

に挿入した後、前記ジャケット管の内部に前記第 1 ガラス管を挿入する工程と、

前記複数の第 3 ガラス管の内部と、前記管部、前記片部および前記ジャケット管によって囲まれる間隙と、を陽圧にして、前記第 1 ガラス管が挿入された前記ジャケット管を線引きする工程と、

を含む光ファイバの製造方法。

【請求項 8】

カルコゲナイドガラスにより形成されたコアと、

前記コアよりも低い屈折率を有する材料により形成され、前記コアの周方向に沿って前記コアを囲うクラッドと、

を備え、

前記クラッドは、前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、複数の中空部を含み、

前記コアは、砒素とセレンとからなるガラスまたはゲルマニウムと砒素とセレンとテルルとからなるガラスであり、

前記コアが砒素とセレンとからなるガラスである場合、前記クラッドは、砒素と硫黄とからなるガラスであり、

前記コアがゲルマニウムと砒素とセレンとテルルとからなるガラスである場合、前記クラッドは、ゲルマニウムとガリウムとアンチモンと硫黄とからなるガラスである光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバおよび光ファイバの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

クラッドの実効的な屈折率を低下させるため、コアの周りのクラッドに中空部を設けることがある。非特許文献 1 の光ファイバでは、コアが 3 つまたは 4 つの中空部によって囲まれている。さらに非特許文献 2 の光ファイバでは、同一円周上に配置された複数の中空部がコアの周りに 2 重に設けられている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】T. Kohoutek, Z. Duan, H. Kawashima, X. Yan, T. Suzuki, M. Matsumoto, T. Misumi, and Y. Ohishi, Proc. of SPIE Vol. 8257 82570D-1 (2012).

【非特許文献 2】C. Chaudhari, M. Liao, T. Suzuki, and Y. Ohishi, Journal of Lightwave Technology, Vol. 30, No. 13, 2069 (2012).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

光ファイバでは、コアとクラッドとの屈折率差が小さいと、コアを伝搬する光の一部がクラッドにしみ出る。このとき光のしみ出しの程度は光の波長によって変化する。このため、コアとクラッドとの屈折率差が小さい光ファイバでは、波長分散が生じることになる。そこで本発明者らは、コアとクラッドとの間の実効的な屈折率差を確実に大きいものにする事ができる光ファイバを検討した。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明によれば、

カルコゲナイドガラスにより形成されたコアと、

前記コアよりも低い屈折率を有する材料により形成され、前記コアの周方向に沿って前記コアを囲うクラッドと、

10

20

30

40

50

を備え、

前記クラッドは、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアの中心を中心とする同一円周上に互いに離間して設けられた複数の第 1 中空部と、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアに関して前記複数の第 1 中空部の外側で、前記コアの中心を中心とする同一円周上に互いに離間して設けられた複数の第 2 中空部と、

を含み、

前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、前記コアの周方向に沿って互いに隣接する前記第 2 中空部は、前記コアの中心から放射状に広がって当該隣接する第 2 中空部の間を縫う直線に平行な外縁を有し、前記外縁が前記コアの周方向に沿って互いに対向している光ファイバが提供される。

10

【0006】

本発明によれば、

第 1 方向に延在した管部と、前記第 1 方向に延在するとともに前記第 1 方向に垂直な断面において前記管部から放射状に延在した複数の片部と、を含む第 1 ガラス管と、

カルコゲナイドガラスにより形成されたコアと、前記コアの周方向に沿って前記コアを囲う第 2 ガラス管と、を含むコアロッドと、

複数の第 3 ガラス管と、

ジャケット管と、

20

を準備する工程と、

前記第 1 ガラス管の前記管部の内部に、前記コアロッドと、前記複数の第 3 ガラス管と、を挿入する工程と、

前記コアロッドと、前記複数の第 3 ガラス管と、を前記第 1 ガラス管の前記管部の内部に挿入した後、前記ジャケット管の内部に前記第 1 ガラス管を挿入する工程と、

前記複数の第 3 ガラス管の内部と、前記管部、前記片部および前記ジャケット管によって囲まれる間隙と、を陽圧にして、前記第 1 ガラス管が挿入された前記ジャケット管を線引きする工程と、

を含む光ファイバの製造方法が提供される。

【0007】

30

本発明によれば、

カルコゲナイドガラスにより形成されたコアと、

前記コアよりも低い屈折率を有する材料により形成され、前記コアの周方向に沿って前記コアを囲うクラッドと、

を備え、

前記クラッドは、前記コアの延在方向に対して垂直な断面において、複数の中空部を含み、

前記コアは、砒素とセレンとからなるガラスまたはゲルマニウムと砒素とセレンとテルルとからなるガラスであり、

前記コアが砒素とセレンとからなるガラスである場合、前記クラッドは、砒素と硫黄とからなるガラスであり、

40

前記コアがゲルマニウムと砒素とセレンとテルルとからなるガラスである場合、前記クラッドは、ゲルマニウムとガリウムとアンチモンと硫黄とからなるガラスである光ファイバが提供される。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、波長分散を効果的に抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】第 1 の実施形態における光ファイバを示す斜視図である。

50

【図 2】図 1 の平面 S 1 における断面図である。

【図 3】図 2 の変形例を示す図である。

【図 4】図 1 の平面 S 2 における断面図である。

【図 5】図 1 に示す光ファイバの製造方法を説明するための断面図である。

【図 6】図 1 に示す光ファイバの製造方法を説明するための断面図である。

【図 7】図 1 に示す光ファイバの製造方法を説明するための断面図である。

【図 8】第 2 の実施形態における光ファイバを示す断面図である。

【図 9】実施例 1 における波長分散特性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。尚、すべての図面において、同様な構成要素には同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0011】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態における光ファイバ 100 を示す斜視図である。図 2 は、図 1 の平面 S 1 における断面図である。なお、平面 S 1 は、光ファイバ 100 の延在方向に対して垂直な平面である。光ファイバ 100 は、コア 102 と、クラッド 104 と、を備えている。コア 102 は、カルコゲナイドガラスにより形成されている。クラッド 104 は、コア 102 よりも低い屈折率を有する材料により形成されている。またクラッド 104 は、コア 102 の周方向に沿ってコア 102 を囲っている。クラッド 104 は、複数の第 1 中空部 106 と、複数の第 2 中空部 108 と、を含んでいる。複数の第 1 中空部 106 は、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、コア 102 の中心を中心とする同一円周上に互いに離間して設けられている。第 2 中空部 108 は、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、コア 102 に関して複数の第 1 中空部 106 の外側で、コア 102 の中心を中心とする同一円周上に互いに離間して設けられている。さらに、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、コア 102 の周方向に沿って互いに隣接する第 2 中空部 108 は、外縁 110 を有している。外縁 110 は、コア 102 の中心から放射状に広がって当該隣接する第 2 中空部 108 の間を縫う直線に平行な外縁である。複数の第 2 中空部 108 では、外縁 110 がコア 102 の周方向に沿って互に対向している。以下、詳細に説明する。

20

30

【0012】

コア 102 は、カルコゲナイドガラスにより形成されている。具体的には、コア 102 は、例えば、硫化砒素化合物系、セレン化砒素化合物系、硫化ゲルマニウム化合物系またはセレン化テルル化砒素化合物系のガラスである。さらに具体的には、コア 102 は、ゲルマニウムとガリウムとアンチモンと硫黄とからなるガラス（例えば、 $\text{Ge}_{15}\text{Ga}_3\text{Sb}_{13}\text{S}_{69}$ ）としてもよい。

【0013】

クラッド 104 は、例えば、ガラスにより形成されている。クラッド 104 の材料は、コア 102 よりも屈折率が低いものであれば特に限定されない。なお、コア 102 の材料の屈折率とクラッド 104 の材料の屈折率との差は、0.1 以上であることが好ましい。具体的には、クラッド 104 は、酸化テルルと酸化ビスマスと酸化リチウムと酸化亜鉛とからなるガラス（例えば、78 モル% TeO_2 - 5 モル% Bi_2O_3 - 12 モル% Li_2O - 5 モル% ZnO ）としてもよい。

40

【0014】

なお、コア 102 とクラッド 104 との間には樹脂層（不図示）が設けられていてもよい。この場合、樹脂層としては、例えば、テトラフルオロエチレン・ヘキサフルオロプロピレン共重合体またはポリメチルメタクリレート（PMMA）を用いることができる。コア 102 とクラッド 104 との間に樹脂層が設けられることにより、コア 102 を構成する分子と、クラッド 104 を構成する分子とが混じり合うことが防止されることになる。

【0015】

50

図 1 に示す例では、クラッド 104 は、円筒状の形状を有している。そしてコア 102 は、コア 102 の中心軸とクラッド 104 の中心軸とが一致するように、クラッド 104 に設けられている。ただし、コア 102 の配置は図 1 に示す例に限定されない。例えば、コア 102 の中心軸は、クラッド 104 の中心軸からずれていてもよい。なお、図 1 は光ファイバ 100 を模式的に示したものである。このため、図 1 には、第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 は示されていない。さらに図 1 では光ファイバ 100 は直線状に形成されているが、光ファイバ 100 は折り曲げた状態でも使用することができる。

【0016】

第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 は、クラッド 104 の内部に設けられている。このためクラッド 104 は、第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 において中空となっている。結果、クラッド 104 は、第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 においてガス（例えば、不活性ガスまたは空気）を含むことになる。このため第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 における屈折率は約 1 となる。

10

【0017】

コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、複数の第 1 中空部 106 および複数の第 2 中空部 108 は、コア 102 の中心に関して回転対称に配置されている。図 2 に示す例では、第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 は、コア 102 の中心に関して 6 回回転対称に配置されている。なお、第 1 中空部 106 の数および第 2 中空部 108 の数は、図 2 に示す例では 6 となり同じであるが、これらの数は互いに異なっていてもよい。

20

【0018】

コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、複数の第 2 中空部 108 は、コア 102 の中心を中心として複数の第 1 中空部 106 の全体を囲む円の外側に設けられている。すなわち、第 1 中空部 106 と第 2 中空部 108 とがコア 102 の周方向において重なることはない。

【0019】

図 2 に示す例では、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、複数の第 2 中空部 108 の平均断面積は、複数の第 1 中空部 106 の平均断面積よりも大きい。ただし、複数の第 1 中空部 106 の平均断面積と複数の第 2 中空部 108 の平均断面積との関係は図 2 に示す例に限定されない。例えば、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、複数の第 2 中空部 108 の平均断面積は、複数の第 1 中空部 106 の平均断面積よりも小さくてもよい。

30

【0020】

図 2 に示す例では、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、コア 102 の中心から放射状に広がって複数の第 1 中空部 106 の各中心を通過する直線が複数の第 2 中空部 108 の間を縫うように、複数の第 2 中空部 108 が配置されている。さらに図 2 に示す例では、クラッド 104 のうち外縁 110 によって挟まれている部分は、コア 102 の中心からコア 102 の径方向に見た場合、第 1 中空部 106 の内側に含まれるように設けられている。

【0021】

なお、第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 は、図 3 に示すように配置されていてもよい。図 3 に示す例では、コア 102 の延在方向に対して垂直な断面において、コア 102 の中心から放射状に広がって複数の第 1 中空部 106 の各中心を通過する直線が複数の第 2 中空部 108 を通過するように、複数の第 2 中空部 108 が配置されている。具体的には、図 3 に示す例では、コア 102 の中心から放射状に広がって複数の第 1 中空部 106 の各中心を通過する直線は、複数の第 2 中空部 108 の各中心を通過している。

40

【0022】

さらに、第 1 中空部 106 および第 2 中空部 108 は、図 4 (a) および図 4 (b) にそれぞれ示すように、コア 102 の延在方向 (図 4 (a) および図 4 (b) に示す例では、z 軸方向) においてクラッド 104 の一端から他端にかけて途切れることなく連続的に形成されている。図 4 (a) および図 4 (b) は、それぞれ、図 1 の平面 S2 および平面

50

S 3における断面図である。

【0023】

次に、図1に示す光ファイバ100の製造方法について図5から図7を用いて説明する。図5から図7は、光ファイバ100の製造方法を説明するための断面図であり、図2に対応する。

【0024】

まず、ガラス管(第1ガラス管)120(図5)と、コアロッド130(図6)と、複数のガラス管(第3ガラス管)140(図6)と、ジャケット管150(図7)と、を準備する。

【0025】

ガラス管120は、管部122と、複数の片部124と、を含んでいる。図5に示す例では、管部122はz軸方向(第1方向)に延在している。一方、複数の片部124は、z軸方向に延在するとともにz軸方向に垂直な断面において管部122から放射状に突出している。なお、ガラス管120は、後の工程において、クラッド104を形成することになる。このため、ガラス管120は、クラッド104と同一の材料により形成されている。

【0026】

コアロッド130は、ガラス管(第2ガラス管)132と、コア102と、を含んでいる。コア102は、ガラス管132の内側に位置している。なお、ガラス管132は、後の工程において、クラッド104を形成することになる。このため、ガラス管132は、クラッド104と同一の材料により形成されている。

【0027】

ガラス管140およびジャケット管150は、ガラス管120およびガラス管132と同様、後の工程において、クラッド104を形成することになる。このため、ガラス管140およびジャケット管150も、クラッド104と同一の材料により形成されている。

【0028】

これらの準備が終了した後、図6に示すように、ガラス管120の管部122の内部に、コアロッド130と、複数のガラス管140と、を挿入する。図6に示す例では、ガラス管140は、コアロッド130を囲むように配置されている。この結果、コアロッド130が管部122の中心に位置している。なお、図6に示す例では、管部122の内径Rは、コアロッド130と、ガラス管140と、を管部122の内部に挿入するため、 $R > r_c + 2r_g$ を満たしている(ただし、 r_c はコアロッド130の直径であり、 r_g はガラス管140の直径である。)。

【0029】

次に、図7に示すように、ジャケット管150の内部に、ガラス管120を挿入する。結果、図7に示すように間隙152が形成される。間隙152は、管部122と、片部124と、ジャケット管150と、によって囲まれている間隙である。

【0030】

次に、複数のガラス管140の内部と、間隙152と、を陽圧にして、ガラス管120が挿入されたジャケット管150を線引きする。このようにして、図2に示す光ファイバ100が製造される。

【0031】

次に、本実施形態の作用および効果について説明する。本実施形態では、外縁110がコア102の周方向に沿って互いに対向している。このため、複数の第2中空部108を、同一円周上に狭い間隔で効率的に配置することができる。この場合、第1中空部106の周りにおいて、第2中空部108によって形成される低屈折率領域が確実に分布することになる。結果、コア102とクラッド104との間の実効的な屈折率差を確実に大きいものにすることができる。このようにして本実施形態では、波長分散を効果的に抑制することができる。

【0032】

10

20

30

40

50

特に図2に示す例では、コア102の中心から放射状に広がって複数の第1中空部106の各中心を通過する直線が複数の第2中空部108の間を縫うように、複数の第2中空部108が配置されている。この場合、コア102からしみ出した光が第1中空部106の間にしみ出てしまっても、当該光は、第2中空部108による屈折率低下を感じるようになる。すなわち、コア102とクラッド104との間の実効的な屈折率差を、より確実に大きいものにすることができる。なお、この効果は、クラッド104のうち外縁110によって挟まれている部分が、コア102の中心からコア102の径方向に見た場合、第1中空部106の内側に含まれるように設けられている場合、より良好になる。

【0033】

(第2の実施形態)

図8は、第2の実施形態における光ファイバ100を示す断面図であり、第1の実施形態の図2に対応する。光ファイバ100は、コア102と、クラッド104と、を備えている。コア102は、カルコゲナイドガラスにより形成されている。クラッド104は、コア102よりも低い屈折率を有する材料により形成されている。同時にクラッド104は、コア102の周方向に沿ってコア102を囲っている。クラッド104は、コア102の延在方向に対して垂直な断面において、複数の第1中空部106を含んでいる。

【0034】

本実施形態では、コア102は、砒素とセレンとからなるガラスである。同時に、クラッド104は、砒素と硫黄とからなるガラスである。具体的には、コア102の組成およびクラッド104の組成は、それぞれ、 $AsSe_m(1.5 \leq m \leq 2)$ および $As_2S_n(3 \leq n \leq 7)$ である。好適には、コア102の組成およびクラッド104の組成は、それぞれ、 $AsSe_2$ および As_2S_5 である。

【0035】

本実施形態では、コア102は、砒素とセレンとからなるガラスであるとともに、クラッド104は、砒素と硫黄とからなるガラスである。このため、第1中空部106による屈折率低下と相まって、コア102とクラッド104との間の実効的な屈折率差を大きいものにすることができる。このようにして、本実施形態では、波長分散を効果的に抑制することができる。

【0036】

なお、第1中空部106の配置は、図8に示す例に限定されない。第1中空部106は、例えば、図2示す例における第1中空部106および第2中空部108のように配置されていてもよい。

【0037】

(第3の実施形態)

第3の実施形態は、コア102およびクラッド104の材料を除き、第2の実施形態と同様である。本実施形態では、コア102は、ゲルマニウムと砒素とセレンとテルルとからなるガラスである。同時に、クラッド104は、ゲルマニウムとガリウムとアンチモンと硫黄とからなるガラスである。具体的には、コア102の組成およびクラッド104の組成は、それぞれ、 $Ge_3As_7Se_3Te_3$ および $GeGaSbS(1.5 \leq m \leq 2, 3 \leq n \leq 7, 10 \leq p \leq 13, 65 \leq q \leq 70)$ である。好適には、クラッド104の組成は、 $Ge_{17}Ga_4Sb_{10}S_{69}$ である。

【0038】

本実施形態でも、第2の実施形態と同様、コア102とクラッド104との間の実効的な屈折率差を大きいものにすることができる。このため、本実施形態では、波長分散を効果的に抑制することができる。

【0039】

(実施例1)

第1の実施形態と同様、図2に示す例と同様の構造を有する光ファイバを製造した。コア102の組成およびクラッド104の組成は、それぞれ、 $Ge_{15}Ga_3Sb_{13}S_69$ および78モル% TeO_2 -5モル% Bi_2O_3 -12モル% Li_2O -5モル% Zn

10

20

30

40

50

0とした。コア102、第1中空部106および第2中空部108の構造は以下のようにした。

コア102の直径： 1.0 μm
 第1中空部106の直径： 0.36 μm
 第1中空部106のピッチ： 0.68 μm
 第2中空部108の直径： 2.0 μm
 第2中空部108のピッチ： 2.2 μm

さらに、コア102とクラッド104との間には、テフロン（登録商標）FEPを設けた。コア102とクラッド104との間の屈折率差は0.2であった。

【0040】

10

本実施例における光ファイバの波長分散特性は、図9に示すようになった。図9に示すように、本実施例では、1.6 μm および3.45 μm で波長分散を零化および平坦化することができた。さらに本実施例における光ファイバに、1.6 μm および3.45 μm の励起光を入射させると、1 μm から5 μm の波長域でパラメトリック増幅および発振ならびに波長変換を確認することができた。

【0041】

本実施例における光ファイバの伝送損失は、1 dB/m以下であった。なお、本実施例における光ファイバにおいてテフロン（登録商標）FEPを設けなかった場合、伝送損失は200 dB/mとなった。このことから、テフロン（登録商標）FEPによって光ファイバの伝送損失が抑えられたといえる。

20

【0042】

さらに、本実施例における光ファイバにおいて、テフロン（登録商標）FEPに代わって、ポリメチルメタクリレート（PMMA）樹脂を、コア102とクラッド104との間に設けた。この場合においても、コア102とクラッド104との間に樹脂を設けない場合と比較して、伝送損失を低下させることができた。

【0043】

さらに、本実施例における光ファイバにおいて、第1中空部106のピッチを、0.67 μm より大きく、かつ、0.68 μm 未満とした。この場合、1 μm から8 μm の波長域において、波長分散を、-100 ps/km/nmから0 ps/km/nmまでに抑えることができた。さらに、この光ファイバを1.55 μm のパルスレーザーで励起させると、自己位相変調に起因するコヒーレンスの良いスーパーコンティニウム光を1 μm から8 μm まで発生させることができた。

30

【0044】

（実施例2）

第2の実施形態と同様、図8に示す例と同様の構造を有する光ファイバを製造した。コア102の組成およびクラッド104の組成は、それぞれ、AsSe₂およびAs₂S₅とした。コア102、第1中空部106および第2中空部108の構造は以下のようにした。

コア102の直径： 1.2 μm
 第1中空部106の直径： 2 μm
 第1中空部106のピッチ： 3 μm

40

コア102とクラッド104との間の屈折率差は0.5であった。

【0045】

この光ファイバにパルス幅100フェムト秒、繰り返し周波数40 MHz、平均出力200 mWの光パルスを入射した。このとき、1.3 μm から7 μm のスーパーコンティニウム光を観測することができた。

【0046】

さらにコア102の直径を0.8 μm から1 μm に変化させ、第1中空部106の直径を1.5 μm から3 μm に変化させ、第1中空部106のピッチを2.5 μm から5 μm に変化させた。この場合、1.4 μm から1.6 μm の波長域で波長が零分散となった。

50

同時に、この波長域で平坦化された波長分散を得ることができた。さらにこの光ファイバを $1.55 \mu\text{m}$ の連続光レーザーで励起すると、 $1 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ の波長域でパラメトリック増幅および波長変換を確認することができた。

【0047】

(実施例3)

第3の実施形態と同様、図8に示す例と同様の構造を有する光ファイバを製造した。コア102の組成およびクラッド104の組成は、それぞれ、 $\text{Ge}_{32}\text{As}_7\text{Se}_{30}\text{Te}_{30}$ および $\text{Ge}_{17}\text{Ga}_4\text{Sb}_{10}\text{S}_{69}$ とした。コア102とクラッド104との間の屈折率差は0.4であった。

【0048】

コア102の直径を $0.8 \mu\text{m}$ から $1.2 \mu\text{m}$ に変化させ、第1中空部106の直径を $1.2 \mu\text{m}$ から $3 \mu\text{m}$ に変化させ、第1中空部106のピッチを $2 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ に変化させた。この場合、 $1.4 \mu\text{m}$ から $1.6 \mu\text{m}$ の波長域で波長が零分散となった。同時に、この波長域で平坦化された波長分散を得ることができた。さらにこの光ファイバを $1.55 \mu\text{m}$ の連続光レーザーで励起すると、 $1 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ の波長域でパラメトリック増幅および発振ならびに波長変換を確認することができた。なお、本実施例における第1中空部106の数は6であるが、第1中空部106の数が3または4であっても、本実施例と同様の効果を得ることができる。

【0049】

さらに、コア102とクラッド104の間には、テフロン(登録商標)樹脂(厚さ $10 \mu\text{m}$) を設けた。本実施例においてテフロン(登録商標)樹脂が設けられていない光ファイバの伝送損失は 3 dB/m であったが、本実施例においてテフロン(登録商標)樹脂が設けられた光ファイバの伝送損失は 1 dB/m となった。同時に、増幅効率が2倍以上に改善した。

【0050】

以上、図面を参照して本発明の実施形態について述べたが、これらは本発明の例示であり、上記以外の様々な構成を採用することもできる。

【符号の説明】

【0051】

100	光ファイバ
102	コア
104	クラッド
106	第1中空部
108	第2中空部
110	外縁
120	ガラス管
122	管部
124	片部
130	コアロッド
132	ガラス管
140	ガラス管
150	ジャケット管
152	間隙

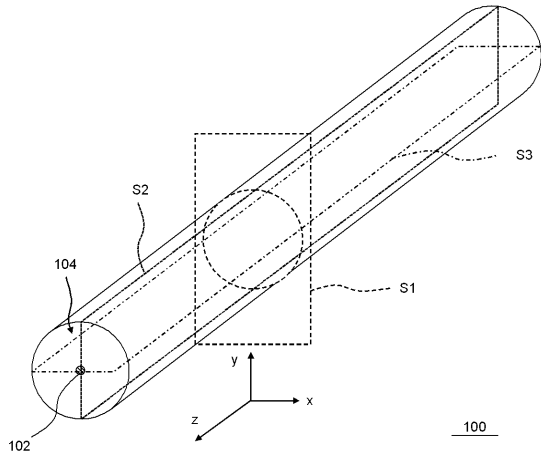
10

20

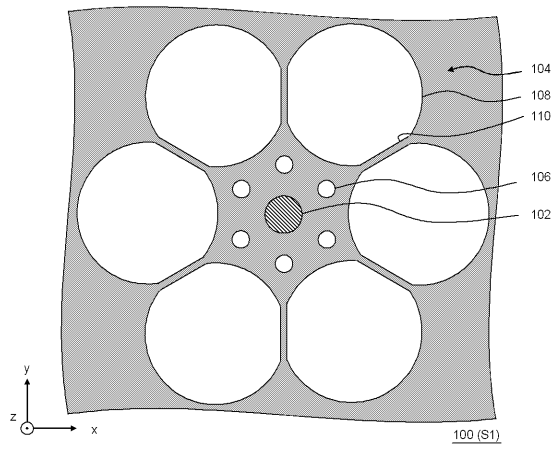
30

40

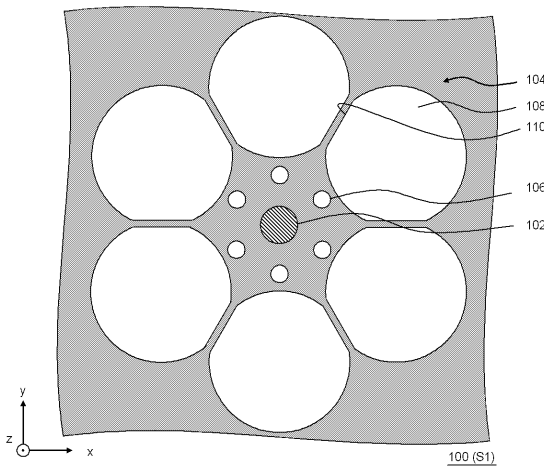
【 図 1 】



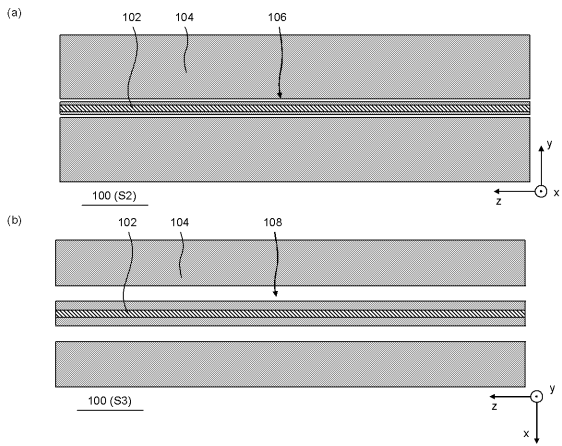
【 図 2 】



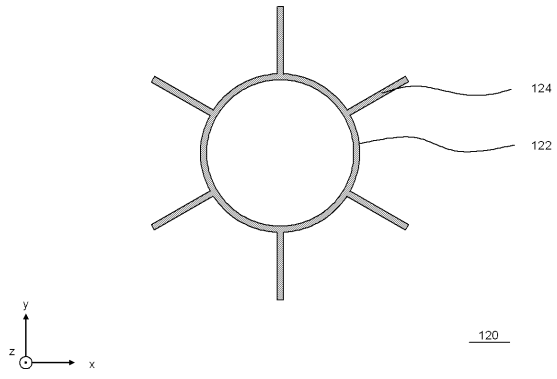
【 図 3 】



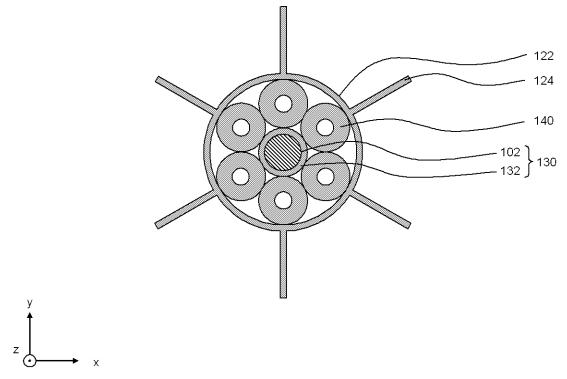
【 図 4 】



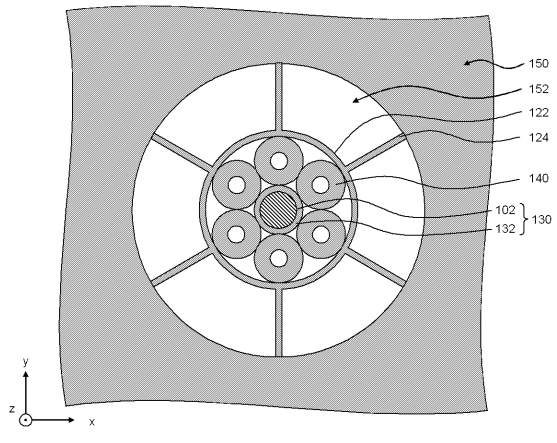
【 図 5 】



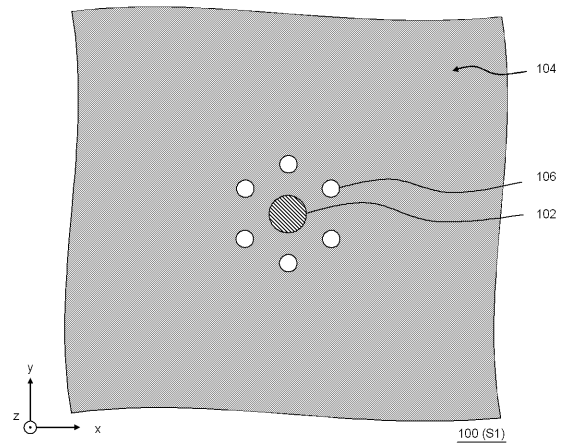
【 図 6 】



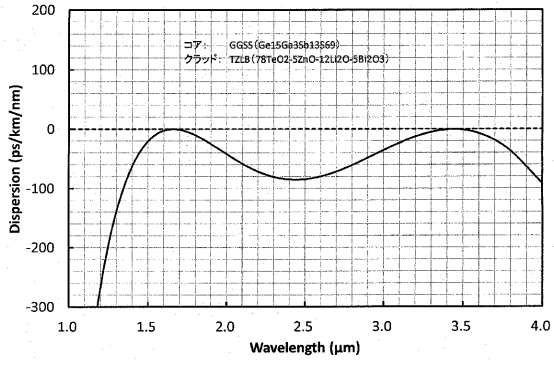
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 三角 孝

福島県いわき市好間町上好間字小館20番地 古河電子株式会社 いわき工場内

(72)発明者 松本 守男

福島県いわき市好間町上好間字小館20番地 古河電子株式会社 いわき工場内

(72)発明者 鈴木 光司

福島県いわき市好間町上好間字小館20番地 古河電子株式会社 いわき工場内

Fターム(参考) 2H150 AB29 AB33 AB38 AB43 AC51

4G021 FA00

4G062 AA06 BB18 LA01 LB01 LC01 MM40