

(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2017-16002

(P2017-16002A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 2 B 6/024 (2006.01)	G 0 2 B 6/024	2 H 1 5 O
G 0 2 B 6/02 (2006.01)	G 0 2 B 6/02 4 6 1	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2015-133964 (P2015-133964)	(71) 出願人	000005186
(22) 出願日	平成27年7月2日 (2015.7.2)		株式会社フジクラ
			東京都江東区木場1丁目5番1号
		(74) 代理人	100143764
			弁理士 森村 靖男
		(74) 代理人	100129296
			弁理士 青木 博昭
		(72) 発明者	林 和幸
			千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
			フジクラ 佐倉事業所内
		(72) 発明者	井添 克昭
			千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
			フジクラ 佐倉事業所内

最終頁に続く

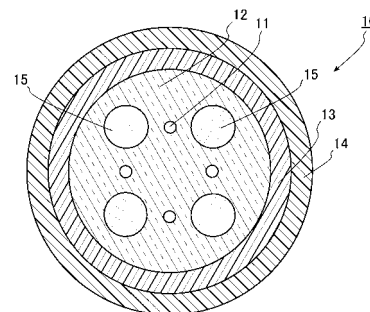
(54) 【発明の名称】 マルチコア偏波保持ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 外形の歪みが抑制されたマルチコア偏波保持ファイバを提供する。

【解決手段】 マルチコア偏波保持ファイバ10は、複数のコア11と、複数のコア11を囲むクラッド12と、クラッド12の外周で囲まれる領域内において複数のコア11のそれぞれを挟むように設けられた複数の応力付与部15と、を備え、応力付与部15の断面積はコア11の断面積より大きく、複数の応力付与部15は、一方向に沿って複数配置されるとともに当該一方向とは異なる他の方向に沿って複数配置される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数のコアと、
前記複数のコアを囲むクラッドと、
前記クラッドの外周で囲まれる領域内において前記複数のコアのそれぞれを挟むように
設けられる複数の応力付与部と、
を備え、

前記応力付与部の断面積は前記コアの断面積より大きく、
前記応力付与部は、前記クラッドの長手方向に垂直な断面において一方向に沿って複
数配置されるとともに前記一方向とは異なる他の方向に沿って複数配置される
ことを特徴とするマルチコア偏波保持ファイバ。

10

【請求項 2】

前記一方向と前記他の方向とが直交している
ことを特徴とする請求項 1 に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

【請求項 3】

前記複数の応力付与部が、互いに平行な複数の列に沿って複数配置される
ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

【請求項 4】

前記複数の応力付与部が前記クラッドの中心を基準とした 90° 回転対称となる位置に
配置される
ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

20

【請求項 5】

前記複数の応力付与部のうち一つの前記応力付与部が、前記クラッドの中心に配置され
る
ことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

【請求項 6】

互いに隣り合う前記応力付与部間の全てに前記コアが配置されている
ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

【請求項 7】

前記応力付与部によって挟まれる方向が互いに 90° 異なる前記コアを含む
ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

30

【請求項 8】

互いに異なるカットオフ波長をもつ前記コアを含む
ことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

【請求項 9】

互いに異なるカットオフ波長をもつ前記コアが互いに異なる複屈折率をもつ
ことを特徴とする請求項 8 に記載のマルチコア偏波保持ファイバ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、複数のコアを有する偏波保持ファイバに関する。

40

【背景技術】**【0002】**

現在、一般に普及している光ファイバ通信システムに用いられる光ファイバは、1本の
コアの外周がクラッドにより囲まれた構造をしており、このコアを光信号が伝搬すること
で情報が伝送される。そして、近年、光ファイバ通信システムの普及に伴い、伝送される
情報量が飛躍的に増大している。こうした光ファイバ通信システムの伝送容量増大を実現
するために、複数のコアの外周が1つのクラッドにより囲まれたマルチコアファイバを用
いて、それぞれのコアを伝搬する光により複数の信号を伝送させることが知られている。

【0003】

50

また、伝送容量増大を実現するためのコヒーレント光通信用線路として、偏波保持ファイバが知られている。偏波保持ファイバとは、互いに直交する偏波間の伝搬定数に差を与えることで、光の偏波状態を保持したまま伝搬させることができる光ファイバである。このような偏波保持ファイバとしては、例えば、断面形状が楕円形のコアを備える楕円コア型の偏波保持ファイバ（下記特許文献 1 参照）や、一对の応力付与部でコアを挟むことでコアに応力を付与し、実効屈折率が互いに異なる直交軸を有するコアを形成する応力付与型（以下、「PANDA 型」という。）の偏波保持ファイバ（下記特許文献 2 参照）等がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0004】

【特許文献 1】特開 2013 - 80126 号公報

【特許文献 2】特開昭 62 - 178909 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、上記特許文献 1 に記載されているような楕円コア型の偏波保持ファイバは、一般的に PANDA 型に比べて偏波保持力が小さい。また、一般にシングルコアの PANDA 型偏波保持ファイバでは偏波保持ファイバの外形が歪みやすくなる傾向がある。これは、応力付与部がコアだけでなくクラッドにも応力を与えるためだと考えられる。すなわち、応力付与部が一つの方向にのみ沿って配置された偏波保持ファイバでは、応力付与部からクラッドに加えられる応力が一方向に集中しやすくなり、偏波保持ファイバの外形が歪みやすくなると考えられる。上記特許文献 2 の第 1 図及び第 2 図に記載されているような 3 つ以上の応力付与部が一つの方向にのみ沿って配置された場合、上記のようにして偏波保持ファイバの外形が歪む傾向はより顕著になる。このように外形が歪んだ光ファイバでは、コネクタ加工するときにフェルールの穴に入れ難くなる場合や、フェルールに入れて隙間に接着剤を充填した際に固まった接着剤のヒケによってコアに加えられる応力が変化し、コアの偏波保持力が変化する場合があった。

20

【0006】

本発明者らは、マルチコア偏波保持ファイバにおいて応力付与部の配置を最適化することによって、PANDA 型の偏波保持ファイバの外形の歪みを抑制できることを見出した。

30

【0007】

そこで、本発明は、外形の歪みが抑制されたマルチコア偏波保持ファイバを提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、本発明のマルチコア偏波保持ファイバは、複数のコアと、前記複数のコアを囲むクラッドと、前記クラッドの外周で囲まれる領域内において前記複数のコアのそれぞれを挟むように設けられる複数の応力付与部と、を備え、前記応力付与部の断面積は前記コアの断面積より大きく、前記応力付与部は、前記クラッドの長手方向に垂直な断面において一方向に沿って複数配置されるとともに前記一方向とは異なる他の方向に沿って複数配置されることを特徴とするものである。

40

【0009】

複数の応力付与部を一方向ではなく複数の方向に沿って配置することによって、応力付与部からクラッドに加えられる応力が一方向に集中することを抑制できる。すなわち、応力付与部からクラッドに加えられる応力の方向を多方向に分散することができるため、マルチコア偏波保持ファイバの外形が歪むことを抑制できる。

【0010】

また、前記一方向と前記他の方向とが直交していることが好ましい。複数の応力付与

50

部を直交した方向のそれぞれに沿って配置することによって、応力付与部からクラッドにかかる応力も直交した方向にそれぞれ働くこととなり、マルチコア偏波保持ファイバの外形が歪むことを抑制し易くなる。

【 0 0 1 1 】

また、前記複数の応力付与部が、平行な複数の列のそれぞれに沿って複数配置されることが好ましい。複数の応力付与部を複数列に配置することによっても、応力付与部からクラッドにかかる応力の方向を分散させ易くなるので、マルチコア偏波保持ファイバの外形が歪むことを抑制し易くなる。

【 0 0 1 2 】

また、前記複数の応力付与部が前記クラッドの中心を基準とした 90° 回転対称となる位置に配置されることが好ましい。このように複数の応力付与部を配置することによっても、応力付与部からクラッドにかかる応力の方向を分散させ易くなるので、マルチコア偏波保持ファイバの外形が歪むことを抑制し易くなる。

10

【 0 0 1 3 】

また、前記複数の応力付与部のうち一つの前記応力付与部が、前記クラッドの中心に配置されることが好ましい。このような形態とすることによって、クラッドの中心に配置される応力付与部と、クラッドの外周側に配置される応力付与部とが対になってコアを挟むように配置することが容易になる。そして、このようにコア及び応力付与部が配置されることによって、隣り合うコアの間に、クラッドの中心に配置される応力付与部が介在することになる。その結果、隣り合うコア間でのクロストークを抑制することができる。

20

【 0 0 1 4 】

また、互いに隣り合う前記応力付与部間の全てに前記コアが配置されていることが好ましい。このようにコアを配置することによって、一つのマルチコア偏波保持ファイバ内において効率良く多くのコアを配置することができるので、情報の伝送容量を増大させやすくなる。

【 0 0 1 5 】

また、前記応力付与部によって挟まれる方向が互いに 90° 異なる前記コアを含むことが好ましい。応力付与部によって挟まれる方向が互いに 90° 異なるコアは、ファスト軸及びスロー軸の方向がそれぞれ互いに 90° 異なる。このようにファスト軸及びスロー軸の方向が異なるコアのそれぞれのファスト軸及びスロー軸に信号を伝送させると伝搬定数が変わるので、コア間のクロストークを少なくすることができる。

30

【 0 0 1 6 】

また、互いに異なるカットオフ波長をもつ前記コアを含むことが好ましい。カットオフ波長が異なるコアを含むことによって、曲げや外乱に強くなり、曲げや外部応力が加わった状態でも幅広い波長でシングルモード光ファイバとして使用することができる。すなわち、各コアに異なる波長の光を通すことができるので、実質的にマルチコア偏波保持ファイバ1本当たりの帯域を広げることができる。また、コア間のクロストークを少なくすることができる。

【 0 0 1 7 】

また、互いに異なるカットオフ波長をもつ前記コアが互いに異なる複屈折率をもつ形態としても良い。コアへ応力を与える一対の応力付与部の間隔、その応力付与部の大きさ、及び、その応力付与部の熱膨張係数のうち少なくともいずれか一つを変えれば、コアの複屈折率を変えることができる。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

以上のように、本発明によれば、外形の歪みが抑制されたマルチコア偏波保持ファイバが提供される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバの長手方向に垂直な断

50

面の様子を示す図である。

【図2】本発明の第2実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバの長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。

【図3】本発明の第3実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバの長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。

【図4】本発明の第4実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバの長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。

【図5】本発明の第5実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバの長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0020】

以下、本発明に係るマルチコア偏波保持ファイバの好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、理解の容易のため、それぞれの図のスケールと、以下の説明に記載のスケールとが異なる場合がある。

【0021】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバ10の長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。

【0022】

図1に示すように、マルチコア偏波保持ファイバ10は、複数のコア11と、コア11の外周面を隙間なく囲むクラッド12と、クラッド12の外周で囲まれる領域内においてコア11を挟むように設けられる複数の応力付与部15と、クラッド12の外周面を被覆する内側保護層13と、内側保護層13の外周面を被覆する外側保護層14とを備える。なお、図1ではコア11及び応力付与部15がそれぞれ4つ備えられる形態を例示している。

20

【0023】

本実施形態のマルチコア偏波保持ファイバ10が備える4つのコア11は、クラッド12の中心を中心とする正方形の各頂点となる位置に配置される。また、全てのコア11の屈折率はそれぞれクラッド12の屈折率よりも高くされる。例えば、コア11が屈折率を高くするゲルマニウム等のドーパントが添加された石英から成る場合、クラッド12は純粋な石英で構成される。また、例えば、コア11が純粋な石英から成る場合、クラッド12は屈折率を低くするフッ素等のドーパントが添加された石英で構成される。

30

【0024】

4つのコア11には、互いに異なるカットオフ波長をもつ少なくとも2つのコア11が含まれることが好ましい。1つのマルチコア偏波保持ファイバ10にカットオフ波長が異なるコア11が含まれることによって、曲げや外乱に強くなり、曲げや外部応力が加わった状態でも幅広い波長でシングルモード光ファイバとして使用することができる。すなわち、各コア11に異なる波長の光を伝搬させることができるので、マルチコア偏波保持ファイバ10の1本当たりの帯域を実質的に広げることができる。

【0025】

40

上記のようにマルチコア偏波保持ファイバ10に備えられるコア11が互いに異なるカットオフ波長をもつ場合、例えば、カットオフ波長が $1.44\mu\text{m}$ である波長 $1.55\mu\text{m}$ でシングルモードになるコア11と、カットオフ波長が $1.28\mu\text{m}$ である波長 $1.31\mu\text{m}$ でシングルモードになるコア11と、カットオフ波長が $0.94\mu\text{m}$ である波長 $0.98\mu\text{m}$ でシングルモードになるコア11と、カットオフ波長が $0.8\mu\text{m}$ である波長 $0.85\mu\text{m}$ でシングルモードになるコア11と、を備える形態とすることができる。例えば、コア11とクラッド12との比屈折率差を 0.4% とし、コア11の直径を互いに変えて上記のような互いに異なるカットオフ波長をもつコア11を備える形態とすることができる。この場合、マルチコア偏波保持ファイバ10は、曲げ径が小さくなっても損失が増加し難く、 $\phi 30\text{mm}$ で10回巻いたときの損失増加は 0.1dB 以下となる。

50

【 0 0 2 6 】

一つのマルチコア偏波保持ファイバ 1 0 にカットオフ波長が異なるコア 1 1 を備えさせるためには、上記のようにコア 1 1 の直径をコア 1 1 毎に変える他に、コア 1 1 毎にクラッド 1 2 との比屈折率差を変えることが挙げられる。コア 1 1 とクラッド 1 2 との比屈折率差をコア 1 1 毎に変えるためには、例えば、コア 1 1 に添加するゲルマニウム等のドーパントの量をコア 1 1 毎に変えればよい。

【 0 0 2 7 】

次に、応力付与部 1 5 について説明する。本実施形態のマルチコア偏波保持ファイバ 1 0 が備える 4 つの応力付与部 1 5 は、4 つのコア 1 1 のそれぞれを挟むように、クラッド 1 2 の中心を中心とする正方形の頂点となる位置に配置される。このため、それぞれのコア 1 1 はそれぞれの応力付与部 1 5 の中心を結ぶことで得られる当該正方形の各辺上に配置される。このように応力付与部 1 5 及びコア 1 1 が配置されることによって、後述するように一对の応力付与部 1 5 からコア 1 1 に応力が付与される。

【 0 0 2 8 】

応力付与部 1 5 は、例えば、クラッド 1 2 より熱膨張係数が大きい材料で構成される。すなわち、コア 1 1、クラッド 1 2、及び、応力付与部 1 5 を構成する材料を含むプリフォームを線引きする際に、上記のように応力付与部 1 5 をクラッド 1 2 よりも熱膨張係数が大きい材料で構成することによって、各材料が冷えて固まる過程において応力付与部 1 5 がクラッド 1 2 よりも大きく縮むので、コア 1 1 を挟むように配置する一对の応力付与部 1 5 からコア 1 1 に応力が付与される。より具体的には、一对の応力付与部 1 5 は、間に配置されたコア 1 1 に対して、その一对の応力付与部 1 5 が並ぶ方向には引っ張り応力を加えるとともに、この方向に垂直な方向には圧縮応力を加える。また、上記のように各コア 1 1 及び各応力付与部 1 5 が配置されることにより、それぞれの応力付与部 1 5 は、当該応力付与部 1 5 の中心を基準として、互いに異なる方向に位置する 2 つのコアに対して応力を加える。

【 0 0 2 9 】

一对の応力付与部 1 5 から引張応力及び圧縮応力を加えられたコア 1 1 は、光弾性効果により複屈折率が誘起され、これらの互いに垂直な 2 つの方向の偏波モードで異なる伝搬定数を有する。このため、コア 1 1 を伝搬する光は、応力付与部 1 5 が並ぶ方向がスロー軸とされ、当該方向に垂直な方向がファスト軸とされる。このようなマルチコア偏波保持ファイバ 1 0 の偏波保持力を示すモード複屈折率は、例えば、それぞれのコア 1 1 で 4×10^{-4} 以上とすることができる。

【 0 0 3 0 】

このような応力付与部 1 5 を構成する材料の例としては、ホウ素等のドーパントが添加された石英ガラスを挙げることができる。石英ガラスに添加されるホウ素等の量を調整することによって、石英ガラスの熱膨張係数を調整することができる。このようにして応力付与部 1 5 とクラッド 1 2 との熱膨張係数差を適宜調整したり、コア 1 1 を挟んで配置される一对の応力付与部 1 5 の設置間隔（一对の応力付与部 1 5 のうち一方の応力付与部 1 5 とクラッド 1 2 との界面から他方の応力付与部 1 5 とクラッド 1 2 との界面までの最短距離。以下、同じ。）やその応力付与部 1 5 の大きさ等を適宜調整したりすることによって、一对の応力付与部 1 5 からコア 1 1 に付与される応力の強さを調整でき、所望の偏波保持力を持ったコア 1 1 を形成することができる。

【 0 0 3 1 】

上記のようにして一对の応力付与部 1 5 によって所定の応力をコア 1 1 に加えやすくする観点からは、一对の応力付与部 1 5 の形状、大きさ、及び熱膨張係数は互いに同じであることが好ましく、コア 1 1 は一对の応力付与部 1 5 間の中心に配置されることが好ましい。一方、応力付与部 1 5 の形状、大きさ、及び熱膨張係数やコア 1 1 と応力付与部 1 5 との間隔の少なくともいずれか 1 つを変えることによって、互いに異なる複屈折率をもつコア 1 1 が 1 つのマルチコア偏波保持ファイバ 1 0 に備えられる形態としても良い。

【 0 0 3 2 】

なお、内側保護層 13 及び外側保護層 14 はそれぞれ紫外線硬化樹脂等の樹脂から成り、内側保護層 13 及び外側保護層 14 は互いに異なる樹脂から成る。

【0033】

以上説明したように、本実施形態のマルチコア偏波保持ファイバ 10 では、上記のように配置される応力付与部 15 が一方向に沿って複数配置されるとともに当該一方向とは異なる他の方向に沿っても複数配置されることとなる。複数の応力付与部 15 が一方向だけではなく複数の方向に沿って配置されることによって、応力付与部 15 からクラッド 12 に加えられる応力が一方向に集中することが抑制される。応力付与部 15 が上述したようにして形成される際、応力付与部 15 はコア 11 だけでなくクラッド 12 にも応力を加える。このとき、本実施形態のマルチコア偏波保持ファイバ 10 のように複数の方向に沿って応力付与部 15 が配置されることにより、応力付与部 15 からクラッド 12 に加えられる応力の方向は多方向に分散されやすくなるので、マルチコア偏波保持ファイバ 10 の外形が歪むことが抑制される。

10

【0034】

上記のように応力付与部 15 からクラッド 12 に加えられる応力の方向を多方向に分散させやすくするという観点から、複数の応力付与部 15 の配置として好ましいと考えられる条件は以下の通りである。すなわち、複数の応力付与部 15 は一方向と当該一方向に直交している方向に沿って複数配置されることが好ましい。複数の応力付与部 15 を直交した方向のそれぞれに沿って配置することによって、応力付与部 15 からクラッド 12 にかかる応力も直交した方向にそれぞれ働くこととなり、マルチコア偏波保持ファイバ 10 の外形が歪むことを抑制し易くなる。

20

【0035】

また、複数の応力付与部 15 が、平行な複数の列のそれぞれに沿って複数配置されることも好ましい。複数の応力付与部 15 を複数列に配置することによっても、応力付与部 15 からクラッド 12 にかかる応力の方向を分散させ易くなるので、マルチコア偏波保持ファイバ 10 の外形が歪むことを抑制し易くなる。

【0036】

さらに、複数の応力付与部 15 がクラッド 12 の中心を基準とした 90° 回転対称となる位置に配置されることも好ましい。このように複数の応力付与部 15 を配置することによっても、応力付与部 15 からクラッド 12 にかかる応力の方向を分散させ易くなるので、マルチコア偏波保持ファイバ 10 の外形が歪むことを抑制し易くなる。

30

【0037】

本実施形態のマルチコア偏波保持ファイバ 10 は、上述した複数の応力付与部 15 の好ましい配置の条件を全て満たしている。ただし、本発明は上記条件の全てを満たした形態に限定されない。他の本発明の実施形態については後述する。

【0038】

また、本実施形態のマルチコア偏波保持ファイバ 10 では、1つの応力付与部 15 はそれぞれ 2つのコア 11 に必要な応力を加えられるように配置されている。すなわち、4つの応力付与部 15 が 4対とみなされるように配置されることによって、これら 4つの応力付与部 15 が 4つのコア 11 に応力を付与できる。このように応力付与部 15 が配置されることによって、同数のコア 11 を配置する場合に必要とされる応力付与部 15 の数を少なくすることができるので、クラッド 12 の直径が太くなることを抑制できる。クラッド 12 の直径が太くなることを抑制できることによって、マルチコア偏波保持ファイバ 10 を狭い空間で配線する際に小さな曲げ径とされても破断確率が高くなることを抑えることができる。

40

【0039】

なお、クラッド 12 の熱膨張係数と応力付与部 15 の熱膨張係数との差から応力付与部 15 の大きさや隣り合う応力付与部 15 の設置間隔を適宜調整することによっても、クラッド 12 の直径を調整することができる。

【0040】

50

上記のようにクラッド１２の直径が調整されることによって、例えば、クラッド１２の直径が従来の偏波保持ファイバと同じ１２５μm又はそれ未満の大きさ（例えば、８０μm程度）にされるとしても、複数のコア１１に適切な応力を付与できるように応力付与部１５を配置できるので、所望の偏波保持力を持ったコア１１を複数含むマルチコア偏波保持ファイバ１０を得られる。

【００４１】

応力付与部１５の大きさはクラッド１２の熱膨張係数と応力付与部１５の熱膨張係数との差等に応じて適宜変更可能であるが、例えばクラッド１２の直径を１２５μmとした場合、応力付与部１５の直径は２０μm以上とすることができ、好ましくは３０μm以上である。応力付与部１５を大きくすることによって、コア１１に必要な応力を加え易くなる。かかる観点から、応力付与部１５の断面積はコア１１の断面積よりも大きい。また、コア１１を挟む一对の応力付与部１５の設置間隔は、コア１１を配置可能な限り、１０μm以下とすることができ、好ましくは８μm以下である。応力付与部１５の設置間隔を狭くすることによって、クラッド１２の直径を小さくし易くなるという利点や、コア１１に必要な応力を加え易くなる等の利点がある。

【００４２】

なお、本明細書では、互いに隣り合う応力付与部１５間の全てにコア１１が配置されている。「互いに隣り合う応力付与部１５」とは、コア１１に必要な応力を付与できるように配置された一对の応力付与部１５を意味する。このようにコア１１が配置されることによって、一つのマルチコア偏波保持ファイバ１０に効率良く多くのコア１１が配置されるので、情報の伝送容量が増大される。

【００４３】

コア１１は上述したように対になった応力付与部１５から圧縮応力及び引張応力を受けて複屈折率をもち、圧縮応力が加えられる方向にスロー軸をもち、引張応力を加えられる方向にファスト軸をもつ。また、１つの応力付与部１５を基準として当該応力付与部１５に対して９０°異なる方向に配置される２つのコア１１では、一对の応力付与部１５によって挟まれる方向が互いに９０°異なる。このため、当該２つのコア１１は圧縮応力及び引張応力が加えられる方向が互いに９０°異なる。つまり、マルチコア偏波保持ファイバ１０は、ファスト軸及びスロー軸の方向がそれぞれ互いに９０°異なるコア１１を備えている。このようにファスト軸及びスロー軸の方向が異なるコア１１のそれぞれのファスト軸及びスロー軸に信号を伝送させると伝搬定数が変わるので、コア１１間のクロストークを少なくすることができる。

【００４４】

また、上述したように複数のコア１１はそれぞれ互いに異なるカットオフ波長をもつことが好ましいが、互いに異なるカットオフ波長をもつコア１１であっても、それぞれのコア１１へ応力を与える一对の応力付与部１５の設置間隔、その応力付与部１５の大きさ、及び、その応力付与部１５の熱膨張係数が同等であれば、同等の複屈折率を持つ。一方、それぞれのコア１１で複屈折率を変える場合には、応力付与部１５からコア１１に加えられる応力の強さを上記のように調整すればよい。

【００４５】

（第２実施形態）

次に、本発明の第２実施形態について図２を参照して詳細に説明する。なお、これまでに説明した実施形態と同一または同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

【００４６】

図２は、本発明の第２実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバ３０の長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。マルチコア偏波保持ファイバ３０は、コア１１及び応力付与部１５の数及び配置以外はマルチコア偏波保持ファイバ１０と同様の構成を有している。

【００４７】

マルチコア偏波保持ファイバ30は、4つのコア11と5つの応力付与部15とを備える。5つの応力付与部15において、1つの応力付与部15がクラッド12の中心に配置され、他の4つの応力付与部15がクラッド12の中心を中心とする正方形の各頂点上に配置される。したがって、応力付与部15は一つの方角（図2の紙面上下方向）に沿って配置されるとともに、この方向に垂直な方向（図2の紙面左右方向）に沿って配置される。また、複数の応力付与部15はクラッド12の中心を基準とした90°回転対称となる位置に配置される。このように複数の応力付与部15が配置されることによって、上述したようにマルチコア偏波保持ファイバ30の外形の歪みが抑制される。

【0048】

また、マルチコア偏波保持ファイバ30では応力付与部15がクラッド12の中心に配置されている。このような形態とすることによって、クラッド12の中心に配置される応力付与部15と、クラッド12の外周側に配置される応力付与部15とが対になってコア11を挟むように配置することが容易になる。そして、このようにコア11及び応力付与部15が配置されることによって、隣り合うコア11の間に、クラッド12の中心に配置される応力付与部15が介在することになる。その結果、隣り合うコア11間でのクロストークを抑制することができる。

10

【0049】

マルチコア偏波保持ファイバ30に備えられる4つのコア11は、クラッド12の中心に配置される1つの応力付与部15と、その応力付与部15を囲むように配置されるそれぞれの他の4つの応力付与部15との間に配置される。すなわち、5つの応力付与部15が4対とみなされるように配置されることによって、これら5つの応力付与部15から4つのコア11に適切な応力が付与される。

20

【0050】

このようなマルチコア偏波保持ファイバ30によれば、それぞれのコア11が一对の応力付与部15に挟まれるように配置されており、マルチコア偏波保持ファイバ10と同様に所望の偏波保持力を有するコア11が得られる。また、本実施形態では、互いに隣り合う応力付与部15間の全てにコア11が配置されている。このようにコア11が配置されることによって、一つのマルチコア偏波保持ファイバ30に効率良く多くのコア11が配置されるので、情報の伝送容量が増大される。

30

【0051】

また、マルチコア偏波保持ファイバ30もマルチコア偏波保持ファイバ10と同様に、各コア11のカットオフ波長をそれぞれ変更することができる。このようなマルチコア偏波保持ファイバ30のモード複屈折率は、例えばそれぞれのコア11で 4×10^{-4} 以上とすることができる。また、各コア11のカットオフ波長より長い波長でシングルモードとなる波長では、 $\phi 30\text{ mm}$ で10回巻いた状態でも損失が0.1 dB以下である。

30

【0052】

（第3実施形態）

次に、本発明の第3実施形態について図3を参照して詳細に説明する。なお、これまでに説明した実施形態と同一または同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

40

【0053】

図3は、本発明の第3実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバ40の長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。マルチコア偏波保持ファイバ40は、コア11及び応力付与部15の数及び配置以外はマルチコア偏波保持ファイバ10と同様の構成を有している。

【0054】

マルチコア偏波保持ファイバ40は、12個のコア11と9つの応力付与部15とを備える。9つの応力付与部15は、縦3つ×横3つの格子状に等間隔に配置される。したがって、応力付与部15は一つの方角（図3の紙面上下方向）に沿って配置されるとともに、この方向に垂直な方向（図3の紙面左右方向）に沿って配置される。また、9つの応力

50

付与部 15 のうち中心に配置される応力付与部 15 は、クラッド 12 の中心に配置される。このように配置された複数の応力付与部 15 は、互いに平行な複数列（図 3 の紙面上下方向、又は、左右方向）のそれぞれに沿って複数配置されとも考えられ、クラッド 12 の中心を基準とした 90° 回転対称となる位置に配置されとも考えられる。このように複数の応力付与部 15 が配置されることによって、上述したようにマルチコア偏波保持ファイバ 40 の外形の歪みが抑制される。

【0055】

マルチコア偏波保持ファイバ 40 に備えられる 12 個のコア 11 は、隣り合う応力付与部 15 の間に配置される。このようにそれぞれのコア 11 が一對の応力付与部 15 に挟まれるように配置されることによって、マルチコア偏波保持ファイバ 10 と同様に所望の偏波保持力を有するコア 11 を得られる。また、マルチコア偏波保持ファイバ 40 によれば、互いに隣り合う応力付与部 15 間の全てにコア 11 が配置されるので、一つのマルチコア偏波保持ファイバ 40 に効率良く多くのコア 11 が配置され、情報の伝送容量が増大される。また、このように応力付与部 15 を配置することによって、同数のコア 11 を配置する場合に必要とされる応力付与部 15 の数を少なくすることができるので、クラッド 12 の直径が太くなることを抑制できる。

【0056】

また、マルチコア偏波保持ファイバ 40 もマルチコア偏波保持ファイバ 10 と同様に、各コア 11 のカットオフ波長をそれぞれ変更することができる。このようなマルチコア偏波保持ファイバ 40 のモード複屈折率は、例えばそれぞれのコア 11 で 3×10^{-4} 以上とすることができる。また、各コア 11 のカットオフ波長に近い波長でシングルモードとなる波長では、 $\phi 30 \text{ mm}$ で 10 回巻いた状態でも損失が 0.1 dB 以下である。

【0057】

（第 4 実施形態）

次に、本発明の第 4 実施形態について図 4 を参照して詳細に説明する。なお、これまでに説明した実施形態と同一または同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

【0058】

図 4 は、本発明の第 4 実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバ 50 の長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。マルチコア偏波保持ファイバ 50 は、コア 11 及び応力付与部 15 の数及び配置以外はマルチコア偏波保持ファイバ 10 と同様の構成を有している。

【0059】

マルチコア偏波保持ファイバ 50 は、17 個のコア 11 と 12 個の応力付与部 15 とを備える。12 個の応力付与部 15 は、縦 3 つ × 横 4 つの格子状に等間隔に配置される。したがって、応力付与部 15 は一つの方向（図 4 の紙面上下方向）に沿って配置されるとともに、この方向に垂直な方向（図 4 の紙面左右方向）に沿って配置される。また、このように配置される複数の応力付与部 15 は、平行な複数列（図 4 の紙面上下方向、又は、左右方向）のそれぞれに沿って複数配置されとも考えられる。このように複数の応力付与部 15 が配置されることによって、上述したようにマルチコア偏波保持ファイバ 50 の外形の歪みが抑制される。

【0060】

マルチコア偏波保持ファイバ 50 に備えられる 17 個のコア 11 は、隣り合う応力付与部 15 の間に配置される。このようにそれぞれのコア 11 が一對の応力付与部 15 に挟まれるように配置されることによって、マルチコア偏波保持ファイバ 10 と同様に所望の偏波保持力を有するコア 11 を得られる。また、マルチコア偏波保持ファイバ 50 によれば、互いに隣り合う応力付与部 15 間の全てにコア 11 が配置されているので、一つのマルチコア偏波保持ファイバ 50 に効率良く多くのコア 11 が配置され、情報の伝送容量が増大される。また、このように応力付与部 15 を配置することによって、同数のコア 11 を配置する場合に必要とされる応力付与部 15 の数を少なくすることができるので、クラッ

ド 1 2 の直径が太くなることを抑制できる。

【 0 0 6 1 】

マルチコア偏波保持ファイバ 5 0 はこれまでに説明した形態のマルチコア偏波保持ファイバよりも多くの応力付与部 1 5 及びコア 1 1 を備えているので、クラッド 1 2 の直径をこれまでに説明したマルチコア偏波保持ファイバよりも大きくすることが好ましい。クラッド 1 2 の直径を大きくすることによって、所望の偏波保持力を持ったコア 1 1 を多く配置することが容易になる。また、クラッド 1 2 の直径を大きくすることによって、大きな応力付与部 1 5 を配置しやすくなるので、より高いモード複屈折率を有するコア 1 1 を形成しやすくなる。

【 0 0 6 2 】

マルチコア偏波保持ファイバ 5 0 に備えられるクラッド 1 2 の直径は、例えば 1 5 0 μ m とすることができる。また、応力付与部 1 5 の直径は、例えば 2 0 μ m 以上にすることができ、隣り合う応力付与部 1 5 の設置間隔は、例えば 1 0 μ m 以下にすることができる。

【 0 0 6 3 】

また、マルチコア偏波保持ファイバ 5 0 もマルチコア偏波保持ファイバ 1 0 と同様に、各コア 1 1 のカットオフ波長をそれぞれ変更することができる。このようなマルチコア偏波保持ファイバ 5 0 のモード複屈折率は、例えばそれぞれのコア 1 1 で 3×10^{-4} 以上とすることができる。また、各コア 1 1 のカットオフ波長より長い波長でシングルモードとなる波長では、 ϕ 3 0 mm で 1 0 回巻いた状態でも損失が 0 . 1 d B 以下である。

【 0 0 6 4 】

(第 5 実施形態)

次に、本発明の第 5 実施形態について図 5 を参照して詳細に説明する。なお、これまでに説明した実施形態と同一または同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

【 0 0 6 5 】

図 5 は、本発明の第 5 実施形態に係るマルチコア偏波保持ファイバ 6 0 の長手方向に垂直な断面の様子を示す図である。マルチコア偏波保持ファイバ 6 0 は、コア 1 1 及び応力付与部 1 5 の数及び配置以外はマルチコア偏波保持ファイバ 1 0 と同様の構成を有している。

【 0 0 6 6 】

マルチコア偏波保持ファイバ 6 0 は、3 つのコア 1 1 と 3 つの応力付与部 1 5 とを備える。3 つの応力付与部 1 5 は三角形の各頂点の位置に配置され、3 つのコア 1 1 は当該三角形の各辺上に配置される。このように応力付与部 1 5 が一つの方向 (図 5 の紙面左右方向) に沿って配置されるとともに、他の方向に沿っても配置されることによって、上述したようにマルチコア偏波保持ファイバ 6 0 の外形の歪みが抑制される。

【 0 0 6 7 】

マルチコア偏波保持ファイバ 6 0 に備えられる 3 つのコア 1 1 は、隣り合う応力付与部 1 5 の間に配置される。このようにそれぞれのコア 1 1 が一對の応力付与部 1 5 に挟まれるように配置されることによって、マルチコア偏波保持ファイバ 1 0 と同様に所望の偏波保持力を有するコア 1 1 を得られる。また、マルチコア偏波保持ファイバ 6 0 によれば、互いに隣り合う応力付与部 1 5 間の全てにコア 1 1 が配置されているので、一つのマルチコア偏波保持ファイバ 6 0 に効率良く多くのコア 1 1 が配置され、情報の伝送容量が増大される。また、このように応力付与部 1 5 を配置することによって、同数のコア 1 1 を配置する場合に必要な応力付与部 1 5 の数を少なくすることができるので、クラッド 1 2 の直径が太くなることを抑制できる。

【 0 0 6 8 】

以上本発明について第 1 実施形態から第 5 実施形態を例に説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されない。例えば、本発明においてコア 1 1 及び応力付与部 1 5 の数及び設置位置は、これまでに説明した実施形態に限定されず、1 つのマルチコア偏波保持フ

10

20

30

40

50

ファイバに備えられる複数のコア 1 1 のそれぞれが一对の応力付与部 1 5 に挟まれる位置に配置され、且つ、複数の応力付与部が一方向に沿って複数配置されるとともに当該一方向とは異なる他の方向に沿っても複数配置されていれば良い。

【0069】

また、例えば、第 1 実施形態等では正方形の各頂点に対応する位置に応力付与部が配置される例を挙げたが、本発明は、応力付与部が長方形や平行四辺形や他の多角形等の各頂点に対応する位置に配置される形態であってもよい。ただし、応力付与部を正方形や長方形の各頂点に対応する位置に応力付与部を配置することによって、コア 1 1 を多く配置しやすくなるとともに、コア 1 1 に適切な応力を加えやすくなる。

【0070】

また、これまでに説明した実施形態では互いに隣り合う応力付与部 1 5 間の全てにコア 1 1 が配置されている形態を例示したが、本発明はかかる形態に限定されず、隣り合う応力付与部 1 5 間のうちコア 1 1 が配置されていない部分があっても良い。ただし、情報の伝送容量の増大やクラッド 1 2 の直径の増大抑制等の観点からは、互いに隣り合う応力付与部 1 5 間の全てにコア 1 1 が配置されることが好ましい。

【0071】

(製造方法)

これまでに説明したマルチコア偏波保持ファイバは、例えば、以下に説明するようにして製造することができる。

まず、以下に例示する材料を準備してプリフォームを作製する。

クラッド 1 2 を構成する材料として、例えば、純粋石英ロッドやフッ素が添加された石英ロッドを準備する。また、コア 1 1 を構成する材料として、例えば、クラッド 1 2 が純粋石英の場合はゲルマニウムを添加した石英ロッド、クラッド 1 2 がフッ素を添加した石英から成る場合は純粋石英ロッド、を準備する。

次に、線引きしたときにコア 1 1 が所望の位置に配置されるように、クラッド 1 2 の材料である石英ロッドに孔を開けてコア 1 1 を構成する材料である石英ロッドを挿入し、これらを加熱して一体化させる。

次に、上記のようにして作製したクラッド 1 2 及びコア 1 1 を構成する材料を含んだロッドに、応力付与部 1 5 を構成する材料を挿入するための孔を開ける。応力付与部 1 5 にはクラッド 1 2 より熱膨張係数が大きな材料を用いる。応力付与部 1 5 を構成する材料としては、例えば、ホウ素が添加された石英ロッドを用いる。

上記のようにしてコア 1 1、クラッド 1 2、及び応力付与部 1 5 を構成する材料を備えたプリフォームを作製し、これを線引き炉で一体化しながらファイバ化することにより、本発明のマルチコア偏波ファイバを得ることができる。内側保護層 1 3 および外側保護層 1 4 を形成する方法は特に限定されない。

なお、異なるカットオフ波長をもつコア 1 1 を配置する場合は、直径が同じで屈折率が異なる石英ロッドを用いてコア 1 1 を形成するか、予めコア 1 1 の直径とクラッド 1 2 の直径がコア 1 1 毎に変わるように直径が異なる石英ロッドでコア 1 1 を形成すればよい。

【産業上の利用可能性】

【0072】

以上説明したように、本発明によれば、外形の歪みが抑制されたマルチコア偏波保持ファイバが提供され、加工用のファイバレーザ装置等の技術分野においての利用が期待される。

【符号の説明】

【0073】

1 0、3 0、4 0、5 0、6 0・・・マルチコア偏波保持ファイバ

1 1・・・コア

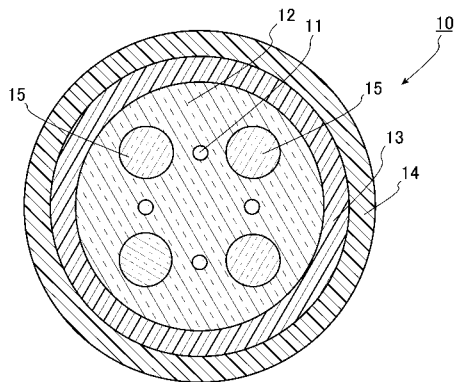
1 2・・・クラッド

1 3・・・内側保護層

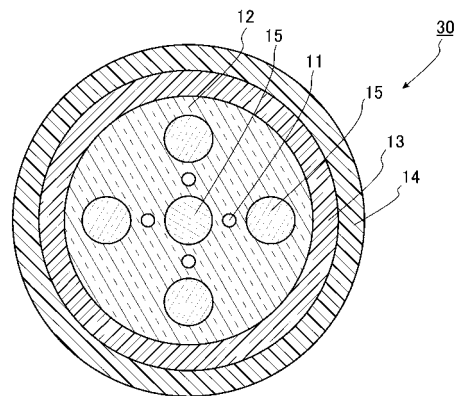
1 4・・・外側保護層

1 5 . . . 応力付与部

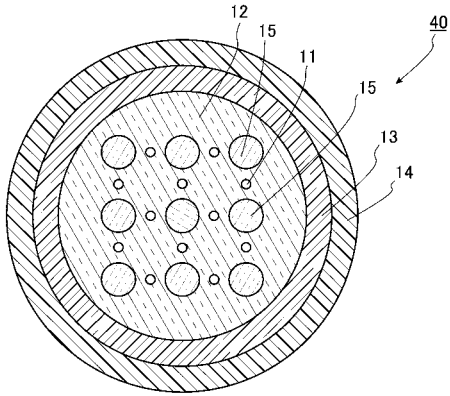
【 図 1 】



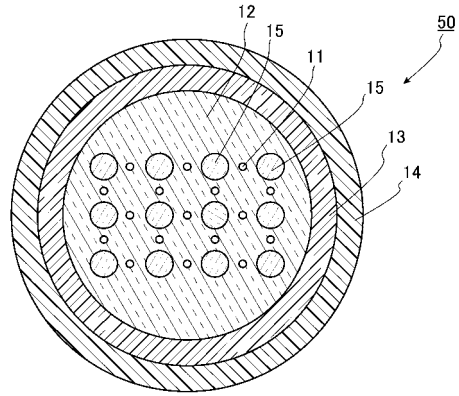
【 図 2 】



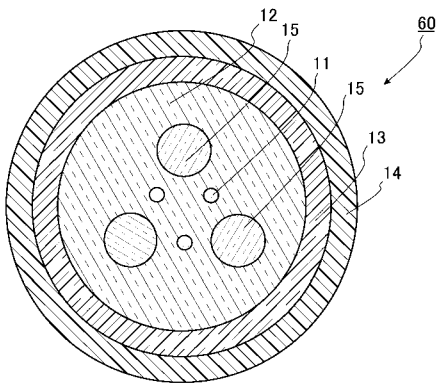
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 愛川 和彦

千葉県佐倉市六崎1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

Fターム(参考) 2H150 AB04 AB05 AB10 AB63 AC43 AC57 AD26 AE11 AE12 AE15
AE28 AE29 AH01 AH22 AH23 AH27 AH50 BC02