

(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2004-233686  
(P2004-233686A)

(43) 公開日 平成16年8月19日(2004.8.19)

|                            |                |             |
|----------------------------|----------------|-------------|
| (51) Int. Cl. <sup>7</sup> | F I            | テーマコード (参考) |
| GO2B 6/00                  | GO2B 6/00 376Z | 2H050       |
| GO2B 6/20                  | GO2B 6/20 Z    |             |

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

|           |                            |          |  |
|-----------|----------------------------|----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2003-22565 (P2003-22565) | (71) 出願人 | 000003263<br>三菱電線工業株式会社<br>兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地    |
| (22) 出願日  | 平成15年1月30日(2003.1.30)      | (71) 出願人 | 000004226<br>日本電信電話株式会社<br>東京都千代田区大手町二丁目3番1号 |
|           |                            | (74) 代理人 | 100077931<br>弁理士 前田 弘                        |
|           |                            | (74) 代理人 | 100094134<br>弁理士 小山 廣毅                       |
|           |                            | (74) 代理人 | 100110939<br>弁理士 竹内 宏                        |
|           |                            | (74) 代理人 | 100110940<br>弁理士 嶋田 高久                       |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光の伝送方法

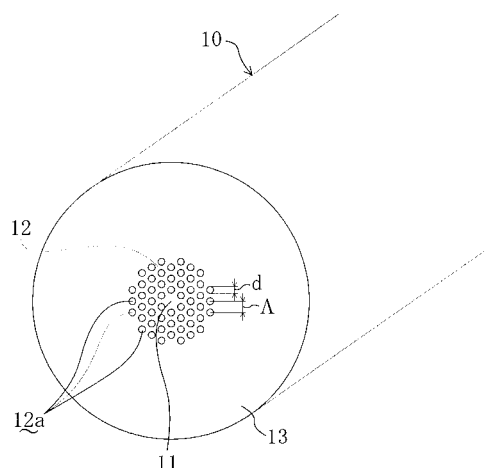
(57) 【要約】

【課題】 フォトニッククリスタルファイバに光をシングルモードで伝送させる。

【解決手段】 長手方向に伸びる中実のコア11と、コア11を覆うように設けられコア11に沿って伸びる複数の細孔12aによりファイバ横断面において所定格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成されたクラッド12と、を備えたフォトニッククリスタルファイバ10の細孔12aの孔ピッチを及び孔径をd、並びに、コア11に伝送させる光の波長をとして下記関係式で定義される規格化周波数Veffが4.1~12.0となるようにコア11に光を伝送させる。

【数A】

$$V_{eff} = 2\pi \times \frac{\Lambda}{\lambda} \times \sqrt{(n_{コア}の屈折率)^2 - (n_{クラッド}の屈折率)^2}$$



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

長手方向に延びる中実のコアと、該コアを覆うように設けられ該コアに沿って延びる複数の細孔によりファイバ横断面において所定格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成されたクラッドと、を備えたフォトニッククリスタルファイバの該細孔の孔ピッチを  $p$  及び孔径を  $d$ 、並びに、該コアに伝送させる光の波長を  $\lambda$  として下記関係式で定義される規格化周波数  $V_{eff}$  が  $4.1 \sim 12.0$  となるように該コアに光を伝送させることを特徴とする光の伝送方法。

## 【数 1】

$$V_{eff} = 2\pi \times \frac{\Lambda}{\lambda} \times \sqrt{(\text{コアの屈折率})^2 - (\text{実効クラッド屈折率})^2}$$

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載された光の伝送方法において、上記フォトニッククリスタルファイバは、細孔の孔ピッチに対する孔径の比 ( $d/p$ ) が  $0.45$  よりも大きいことを特徴とする光の伝送方法。

20

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載された光の伝送方法において、上記フォトニッククリスタルファイバの細孔の孔ピッチ ( $p$ ) が光の波長 ( $\lambda$ ) よりも大きいことを特徴とする光の伝送方法。

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載された光の伝送方法において、上記フォトニッククリスタルファイバは、偏波保持手段が構成されていることを特徴とする光の伝送方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

30

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、フォトニッククリスタルファイバ（以下「PCF」という）を用いた光の伝送方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

PCFとして、長手方向に延びる中実のコアと、そのコアを覆うように設けられコアに沿って延びる複数の細孔によりファイバ横断面において所定格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成されたクラッドと、を備えたものがある。かかるPCFをシングルモード動作させるためには、規格化周波数  $V_{eff}$  が  $2.405$  よりも小さくしなければならず、細孔の孔ピッチに対する孔径の比 ( $d/p$ ) が  $0.45$  よりも大きいものの場合、細孔の孔ピッチ ( $p$ ) を伝送光の波長 ( $\lambda$ ) よりも十分小さくする必要のあることを示唆する報告がなされている（非特許文献1参照）。

40

## 【0003】

一方、PCFを一般の光ファイバに接続することを考慮すれば、PCFのコア径は大きいことが好ましい。細孔の孔ピッチ ( $p$ ) とコア径とが略等しいPCFでは、コア径を大きくするとそれに伴って細孔の孔ピッチ ( $p$ ) も必然的に大きくなる。従って、従来からの知見によれば、細孔の孔ピッチに対する孔径の比 ( $d/p$ ) が  $0.45$  よりも大きいPCFに、細孔の孔ピッチ ( $p$ ) よりも小さい波長 ( $\lambda$ ) の光をシングルモードで伝送させることは不可能であると考えられていた。

## 【0004】

50

また、下記非特許文献2には、規格化周波数  $V_{eff}$  が 4.1 より小さければ、光をシングルモードで伝送させることができるということが開示されている。

【0005】

【非特許文献1】

バークスら (T. Birks et al.), オプティカルレター (Opt. Lett.), 第22巻 (vol. 22), p. 961, 1997年

【非特許文献2】

バークスら (T. Birks et al.), OFC 1999, pp. 114 - 116  
"The analogy between photonic crystal fibers and step index fibers"

10

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本出願は、PCFに光をシングルモードで伝送させることを課題とするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、規格化周波数  $V_{eff}$  が 4.1 ~ 12.0 の範囲においてもPCFがシングルモード動作することを見出して本発明に想到したものである。

【0008】

本発明は、長手方向に延びる中実のコアと、該コアを覆うように設けられ該コアに沿って延びる複数の細孔によりファイバ横断面において所定格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成されたクラッドと、を備えたフォトニッククリスタルファイバの該細孔の孔ピッチを  $\Lambda$  及び孔径を  $d$ 、並びに、該コアに伝送させる光の波長を  $\lambda$  として下記関係式で定義される規格化周波数  $V_{eff}$  が 4.1 ~ 12.0 となるように該コアに光を伝送させることを特徴とする光の伝送方法である。

20

【0009】

【数2】

$$V_{eff} = 2\pi \times \frac{\Lambda}{\lambda} \times \sqrt{(\text{コアの屈折率})^2 - (\text{実効クラッド屈折率})^2}$$

30

【0010】

規格化周波数  $V_{eff}$  が 4.1 ~ 12.0 のように大きいと、光の閉じ込め作用が強いので、光の損失を極めて少なくすることができる。

【0011】

ここで、実効クラッド屈折率とは、クラッドの格子空孔配列が無限に広がった空間に存在する基本モードFSM (Fundamental Space-filling Mode) の実効屈折率である。

40

【0012】

本発明の光の伝送方法は、上記PCFが、細孔の孔ピッチに対する孔径の比 ( $d/\Lambda$ ) が 0.45 よりも大きいものであってもよい。

【0013】

細孔の孔ピッチに対する孔径の比 ( $d/\Lambda$ ) が 0.45 よりも大きいほどにコア-クラッド間の屈折率差が大きいと、ファイバの曲げによる損失を少なくすることができると共に、開口数 (NA) が大きいことから、光の入射角に対する許容範囲を広くとることができる。

【0014】

本発明の光の伝送方法は、上記PCFの細孔の孔ピッチ ( $\Lambda$ ) が光の波長 ( $\lambda$ ) よりも大

50

きいものであってもよい。

【0015】

細孔の孔ピッチ( )が光の波長( )よりも大きく、コア径が通常の光ファイバのもの程度まで大きければ、通常の光ファイバと接続したときの接続損失を小さくすることができることに加え、光入射位置とPCF受光位置とのずれに対する許容範囲を広くとることができる。

【0016】

本発明の光の伝送方法は、上記PCFに偏波保持手段が構成されている場合に特に有用である。

【0017】

つまり、上記の構成によれば、計測器・センサ用途や光伝送路用途として光信号を安定して伝送することができ、また、光軸を合わせることによってレーザ光源からのレーザ光を適正に伝送することができる。

【0018】

ここで、偏波保持手段としては、コアの断面形状を楕円とすることやコアに隣接した細孔のうちの一部の孔径を大きくすること等が挙げられる。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0020】

(実施形態1)

図1は、本発明の実施形態1で用いるPCF10を示す。

【0021】

このPCF10は、全体が純石英製のものであり、ファイバ中心をなすコア11と、コア11を被覆するように設けられたクラッド12と、クラッド12を被覆するように設けられた被覆部13と、を備えている。

【0022】

コア11は、光の伝送路としての機能を果たす。

【0023】

クラッド12は、コア11に沿って延びる複数の細孔12aによりファイバ横断面において三角格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成されて実効クラッド屈折率が純石英よりも低いものとなっており、これによってクラッド12で囲われたコア11に光を閉じ込める機能を果たす。クラッド12の三角格子パターンは、細孔12aの孔ピッチに対する孔径の比( $d/\lambda$ )が0.45よりも大きくなるように孔径( $d$ )及び孔ピッチ( )が設定されている。

【0024】

被覆部13は、コア11及びクラッド12を被覆保護する機能を果たす。

【0025】

そして、以上のPCF10に下記関係式で定義される規格化周波数 $V_{eff}$ が4.1~12.0となるようにコア11に光を伝送させると、その光の伝送がシングルモード動作で行われる。なお、このとき、伝送される光の波長( )は、PCF10の細孔12aの孔ピッチ( )よりも短い。

【0026】

【数3】

10

20

30

40

$$V_{\text{eff}} = 2\pi \times \frac{\Lambda}{\lambda} \times \sqrt{(\text{コアの屈折率})^2 - (\text{実効クラッド屈折率})^2}$$

## 【0027】

以上のようなPCF10に波長( )の光を伝送させれば、規格化周波数 $V_{\text{eff}}$ が4.1~12.0のように大きいことから光の閉じ込め作用が強いので、光の損失を極めて少なくすることができる。 10

## 【0028】

また、細孔12aの孔ピッチに対する孔径の比( $d/\Lambda$ )が0.45よりも大きいほどにコア11-クラッド12間の屈折率差が大きいので、ファイバの曲げによる損失を少なくすることができると共に、開口数(NA)が大きいことから、光の入射角に対する許容範囲を広くとることができる。

## 【0029】

さらに、細孔12aの孔ピッチ( )を光の波長( )よりも大きく、コア径が通常の光ファイバのもの程度まで大きければ、通常の光ファイバと接続したときの接続損失を小さくすることができることに加え、光入射位置とPCF受光位置とのずれに対する許容範囲を広くとることができる。 20

## 【0030】

次に具体的に行った実験について説明する。

## 【0031】

## &lt;実験1&gt;

実験1に用いたPCFは、本実施形態1のものと同様の構成で、細孔の孔径( $d$ )が2.6 $\mu\text{m}$ 及び孔ピッチ( )が2.8 $\mu\text{m}$ で、孔ピッチに対する孔径の比( $d/\Lambda$ )が0.9のものであった。このPCF3mに波長( )0.85 $\mu\text{m}$ の光、すなわち、細孔の孔ピッチ( )よりも小さい波長( )の光を伝送させた。規格化周波数( $V_{\text{eff}}$ )は11.9である。 30

## 【0032】

このとき、出射端面において図2に示すようなニアフィールドパターンが観測された。図2に示すニアフィールドパターンは基本モードのものであり、すなわち、それはシングルモード動作していることを意味するものである。従って、規格化周波数( $V_{\text{eff}}$ )が11.9という条件においてシングルモード動作するということが確認された。

## 【0033】

なお、このPCFを曲率半径5mmに曲げてても伝送損失の増加は確認されなかった。

## 【0034】

## &lt;実験2&gt;

実験1で用いたPCFと、細孔の孔ピッチに対する孔径の比( $d/\Lambda$ )を変量した複数種のPCFについて、それぞれにある波長( )の光を伝送させ、実験1と同様に射出端面のニアフィールドパターンの観測を行った。 40

## 【0035】

このとき、全ての場合で射出端面においてシングルモード動作を示すニアフィールドパターンが観測された。

## 【0036】

図3は、伝送光の波長に対する細孔の孔ピッチの比( $d/\Lambda$ )と規格化周波数( $V_{\text{eff}}$ )との関係を示したものであるが、全ての場合で規格化周波数( $V_{\text{eff}}$ )が4.1~12.0であることが分かる。

## 【0037】

(実施形態 2)

図 4 は、本発明の実施形態 2 で用いる P C F 1 0 を示す。なお実施形態 1 と同一部分は同一符号で示す。

【0038】

この P C F 1 0 は、コア 1 1 に隣接した 6 つの細孔 1 2 a のうち一对の対向した細孔 1 2 a の孔径が他のものよりも大きく形成されており、これによって偏波保持機能を有するようにされている。その他の構成は実施形態 1 と同一である。なお、この P C F 1 0 の細孔の孔径 ( d ) は、その一对の細孔を除いた細孔の孔径で規定される。

【0039】

そして、以上の P C F 1 0 に下記関係式で定義される規格化周波数  $V_{eff}$  が 4 . 1 ~ 1 2 . 0 となるようにコア 1 1 に光を伝送させると、図 5 に出射端面のニアフィールドパターンを示すように、その光の伝送がシングルモード動作で行われる。なお、このとき、伝送される光の波長は、P C F 1 0 の細孔 1 2 a の孔ピッチ ( ) よりも短い。

【0040】

【数 4】

$$V_{eff} = 2\pi \times \frac{\Lambda}{\lambda} \times \sqrt{(\text{コアの屈折率})^2 - (\text{実効クラッド屈折率})^2}$$

20

【0041】

この光の伝送方法を計測器・センサ用途や光伝送路用途として用いれば、光信号を安定して伝送することができ、また、光軸を合わせてレーザ光源からのレーザ光の伝送用途に用いれば、レーザ光を適正に伝送することができる。

【0042】

(その他の実施形態)

上記実施形態 2 では、コア 1 1 に隣接した細孔 1 2 a のうち一对の細孔 1 2 a の孔径を大きくすることにより P C F 1 0 に偏波保持機能を持たせたが、特にこれに限定されるものではなく、コアの断面形状を楕円に形成する等としてもよい。

【0043】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、規格化周波数  $V_{eff}$  が 4 . 1 ~ 1 2 . 0 となるように P C F に光を伝送させているので、その光をシングルモードで伝送することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態 1 で用いる P C F の斜視図である。

【図 2】実験 1 の光の伝送における P C F の出射端面のニアフィールドパターンを示す図である。

【図 3】伝送光の波長に対する細孔の孔ピッチの比 ( / ) と細孔の孔ピッチに対する孔径の比 ( d / ) との関係における実験 2 の結果を示す図である。

【図 4】本発明の実施形態 2 で用いる P C F の斜視図である。

【図 5】実施形態 2 の光の伝送における P C F の出射端面のニアフィールドパターンを示す図である。

【符号の説明】

1 0 P C F

1 1 コア

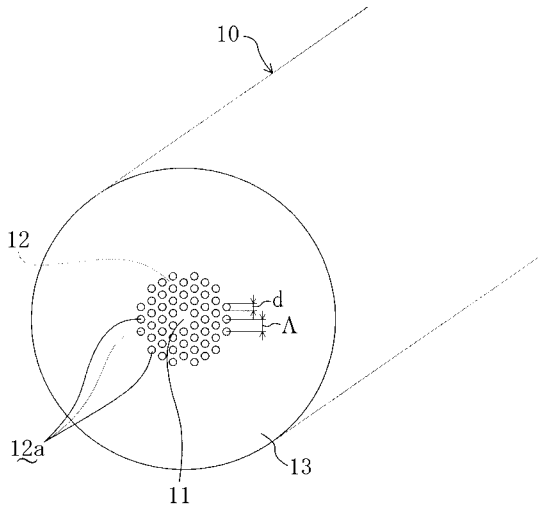
1 2 クラッド

1 2 a 細孔

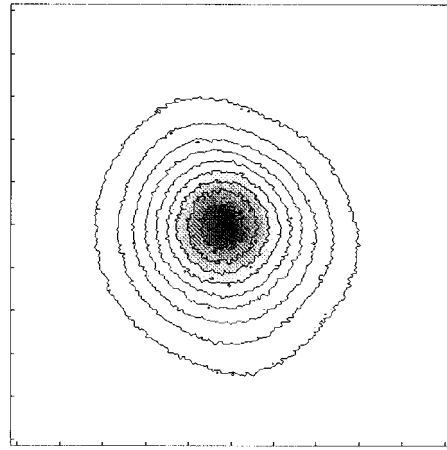
1 3 被覆部

50

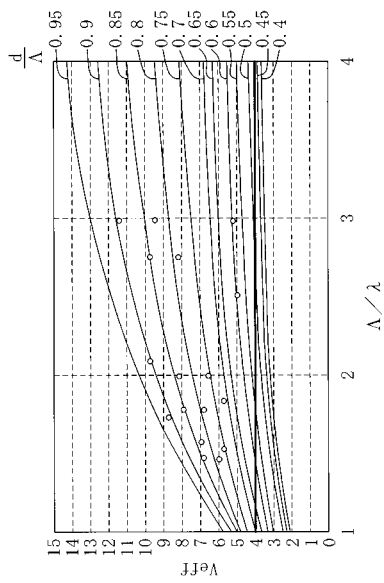
【 図 1 】



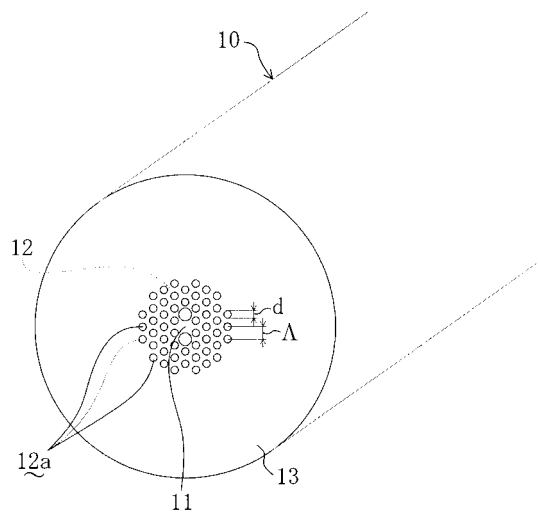
【 図 2 】



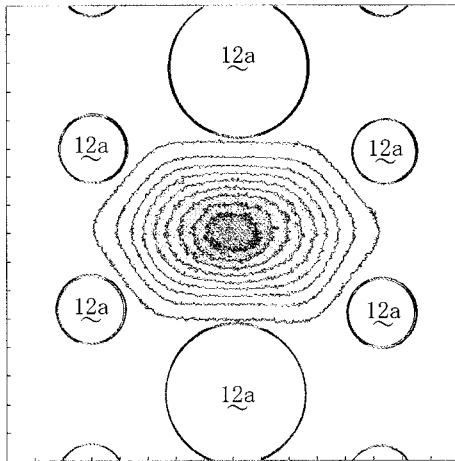
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100113262  
弁理士 竹内 祐二
- (74)代理人 100115059  
弁理士 今江 克実
- (74)代理人 100115691  
弁理士 藤田 篤史
- (74)代理人 100117581  
弁理士 二宮 克也
- (74)代理人 100117710  
弁理士 原田 智雄
- (74)代理人 100121500  
弁理士 後藤 高志
- (74)代理人 100121728  
弁理士 井関 勝守
- (72)発明者 鈴木 聡人  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社伊丹製作所内
- (72)発明者 藤田 盛行  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社伊丹製作所内
- (72)発明者 田中 正俊  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社伊丹製作所内
- (72)発明者 久保田 寛和  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 鈴木 和宣  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 川西 悟基  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- Fターム(参考) 2H050 AC09 AC42 AC71 AC74

【要約の続き】

【選択図】図1