

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3860237号  
(P3860237)

(45) 発行日 平成18年12月20日(2006.12.20)

(24) 登録日 平成18年9月29日(2006.9.29)

(51) Int. Cl.	F I
<b>GO2B 6/02 (2006.01)</b>	GO2B 6/16
	GO2B 6/10 C

請求項の数 14 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平7-190536  (22) 出願日 平成7年7月26日(1995.7.26)  (65) 公開番号 特開平9-43443  (43) 公開日 平成9年2月14日(1997.2.14)  審査請求日 平成13年8月20日(2001.8.20)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000005223  富士通株式会社  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号</p> <p>(74) 代理人 100074099  弁理士 大菅 義之</p> <p>(74) 代理人 100067987  弁理士 久木元 彰</p> <p>(72) 発明者 白▼崎▲ 正孝  神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内</p> <p>審査官 後藤 昌夫</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波分散の抑圧特性を持つ光ファイバ及びその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

光を伝搬させる芯線と該芯線の外側に形成される被覆とからなる光ファイバにおいて、一定間隔毎に所定の範囲内で、前記芯線に、ねじりの向きが1回毎に逆となるようにねじりを加えるとともに、前記被覆によって該芯線のねじり状態を維持し、

前記所定の範囲は該光ファイバが持つ残留複屈折により決まる光のビート長に比べて十分に短く、かつ、該光ファイバを破壊しない程度に長く、

前記一定間隔は、光ファイバの残留複屈折の特性が変化せずに持続する長さに対して十分に短く、かつ、10～50mの範囲で設定された長さであることを特徴とする光ファイバ。

## 【請求項2】

前記芯線を実効的に90度の角度分ねじることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

## 【請求項3】

ねじり部分において前記被覆の強度を増してあることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

## 【請求項4】

前記ねじり部分の被覆は、被覆の厚さを厚くすることによって形成されることを特徴とする請求項3記載の光ファイバ。

## 【請求項5】

10

20

前記ねじり部分の被覆は、被覆の材質を硬化させることによって形成されることを特徴とする請求項3記載の光ファイバ。

【請求項6】

前記ねじり部分の被覆は、被覆の材質を変えることによって形成されることを特徴とする請求項3記載の光ファイバ。

【請求項7】

光を伝搬させる芯線と該芯線の外側に形成される被覆とからなる光ファイバの製造方法において、

コアとクラッドからなる母材を加熱し、

前記母材を引き延ばして前記芯線を形成し、

光ファイバの残留複屈折の特性が変化せずに持続する長さ比べて十分に短く、かつ、10～50mの範囲で設定された長さで一定の間隔をおいて、該光ファイバが持つ残留複屈折により決まる光のビート長に比べて十分に短く、かつ、該光ファイバを破壊しない程度に長い所定の範囲内で前記芯線にねじりを加え、

前記芯線の周囲に前記被覆を形成する、ことからなることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項8】

前記芯線に前記被覆を形成する際に、前記被覆の形成装置は回転させずに前記芯線の支持装置のみを回転させることを特徴とする請求項7記載の光ファイバの製造方法。

【請求項9】

前記芯線を実効的に90度の角度分ねじることを特徴とする請求項7または8記載の光ファイバの製造方法。

【請求項10】

ねじりの向きが1回毎に逆となることを特徴とする請求項7～9のいずれか1つに記載の光ファイバの製造方法。

【請求項11】

ねじり部分において前記被覆の強度を増してあることを特徴とする請求項7～10のいずれか1つに記載の光ファイバの製造方法。

【請求項12】

前記ねじり部分の被覆は、被覆の厚さを厚くすることによって形成されることを特徴とする請求項11記載の光ファイバの製造方法。

【請求項13】

前記ねじり部分の被覆は、被覆の材質を硬化させることによって形成されることを特徴とする請求項11記載の光ファイバの製造方法。

【請求項14】

前記ねじり部分の被覆は、被覆の材質を変えることによって形成されることを特徴とする請求項11記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、光伝送路に使用される光ファイバに係り、特に、残留複屈折にともなう偏波分散を抑圧し、実効的に小さくすることのできる光ファイバに関する。更には、そのような光ファイバの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

最近、光ファイバを使った光通信の研究開発が盛んに行われている。このような光通信において、長距離離れた送信機と受信機とを接続するのに長距離光ファイバは欠かせないものとなっている。

【0003】

また、光通信においては従来の電気通信に比べ高速に大量の情報を送受信できることが望

10

20

30

40

50

まれており、光ファイバの光信号伝達特性の向上が望まれている。

光ファイバはコアとクラッド及びこれらを保護する被覆とからなっているのが一般的である。コアは主に光信号を伝達する部分であり、クラッドはコアを外傷等から保護すると共に、光信号をコアに閉じ込める作用を持っている。すなわち、クラッドはコアよりも屈折率が低い材質で作られており、コア内の光信号が、クラッドとコアとの境界で全反射しながら伝搬できるよう構成されている。

#### 【0004】

このようにコアとクラッドからなる繊維状のファイバをナイロン等で被覆することにより、光ファイバケーブルを構成している。

通常、光ファイバの設計段階では、光ファイバの断面から見た場合、コアが真円となるようにしている。真円とすることで、コア内の屈折率分布や応力分布を等方的にして複屈折が生じないようにしている。

10

#### 【0005】

しかし、実際に光ファイバを製造する段階においては、コアの真円からのずれが生じたり、光ファイバ製造時に加わる応力などが光ファイバを製造した後にも残留しており、これらが原因となって微小な複屈折が生じる。これを残留複屈折という。

#### 【0006】

この残留複屈折の大きさは $10^{-7}$ 程度と考えられ、その複屈折はファイバ内で1～5 km 持続する可能性がある。すなわち、製造中にランダムに加わる、複屈折を生じる要因はある一定時間同じように光ファイバに加わると考えられるが、この間に光ファイバはこの一定時間に見合うだけの長さ製造される。次に、この要因の加わり方が変化し、また一定時間継続する。このように、光ファイバの製造中にランダムに一定時間加わる何らかの要因により、光ファイバには上記したような複屈折を生じる原因を、上記要因が加わった時間に見合う長さに渡って内包するようになる。従って、複屈折を生じる原因は、光ファイバのある長さ(持続距離)毎に変化すると考えられる。

20

#### 【0007】

図7は、光ファイバの断面を示しており、複屈折を説明するための図である。なお、ここでは、複屈折を生じる様々な要因のうちコアの形状のみを取り上げて説明する。

#### 【0008】

図7(a)、(b)に示されるように、光ファイバはコア63とクラッド64とからなっており、クラッド64の外側に設けられる被覆は省略してある。

30

もし、図7(a)に示されるように、コアが完全に真円であったとすると、コア63内部を伝搬する光にとってコア63は等方的である。従って、コア63内部を伝搬する光の、直交する2つの偏光状態(第1の偏光状態と第2の偏光状態)は互いに区別されることなく、それぞれの偏光状態をもつ光信号は光ファイバ内を同じ速度で伝搬する。従って、複屈折は存在しない。

#### 【0009】

一方、図7(b)に示されているように、コアが楕円形をしていた場合には、コア66内部を伝搬する光にとってコア66は等方的ではなく、第1の偏光状態の光と第2の偏光状態の光とは互いに異なった条件で、すなわち異なった速度でコア66内部を伝搬していく。すなわち、第1の偏光状態の偏光方向あるいは第2の偏光状態の偏光方向を2つの主軸とする複屈折が生じている。

40

#### 【0010】

例えば、図7(b)に示されるような光ファイバへの入力光の偏光状態が同図68に示されるものであった場合、入力光はコア66に入ると第1の偏光状態の光と第2の偏光状態の光に分かれてコア66内部を伝搬していく。

#### 【0011】

ところが、第1の偏光状態の光と第2の偏光状態の光の伝搬速度が異なるため、始め1つのパルス状であった光は、光ファイバから出力する時には到達時間の異なる2つの光のパルスとなってしまふ。これを偏波分散という。

50

## 【0012】

図8は、図7(b)のような複屈折を有する光ファイバに光パルスが入力された場合、どのような出力光が得られるかを示す図である。同図の3つのグラフ((a)、(b)、(c))はいずれも縦軸を光の強度とし、横軸を時間としてとっている。

## 【0013】

図8(a)はパルス幅 $W_1$ の入力光信号を示している。このような光信号が図7(b)のような残留複屈折を有する光ファイバに入力されると、第1の偏光状態の光と第2の偏光状態の光とに分かれて異なる速度で伝搬するため、図8(b)に示されるように、それぞれの光の到達時間に差が出来る。このような光を受信側で検出すると、図8(c)のようにパルス幅 $W_2$ が広がった光信号として検出される。このように、入力時パルス幅 $W_1$ の鋭いパルスであったものが、残留複屈折を有する光ファイバを通ることにより、パルス幅が $W_2$ のような鈍いパルスになってしまう。

10

## 【0014】

## 【発明が解決しようとする課題】

例えば、複屈折が $10^{-7}$ でその持続距離が3kmの光ファイバを光が伝搬すると考えると、光がその距離(3km)伝搬することにより生じる偏波間の到達時間差は1ps程度となる。

## 【0015】

このようなファイバを光がLkm伝搬する場合には、複屈折の持続距離毎に複屈折の2つの主軸が独立である(ランダムに変化する)と考えると、統計的な考察によりファイバの総分散は $(L/3)$ psとなることが知られている。ここで、総分散が光の伝搬する距離の平方根に比例していることから、ファイバの偏波分散を現す係数は総分散を距離の平方根で割った値を採用するのが一般的である。すなわち、このファイバは $0.58$ ps/kmの分散があるといえる。

20

## 【0016】

ファイバの全長を1000kmとすると、ファイバによる信号の総分散は $18.3$ psとなる。従って、例えば10Gb/sの信号を伝送する場合には1ビットあたり100psの信号幅であるので、分散が信号の約2割に達してしまい、信号を正確に読み取れなくなるなどの大きな悪影響がある。

## 【0017】

このように、偏波による分散は光通信において大きな悪影響を与えうるものであるが、現在のところ、これを解決する手段は提供されていない。

30

従って、本発明は光ファイバを使って光伝送を行う際に、光ファイバの残留複屈折によって生じる光の偏波分散が信号を劣化させることを防ぐため、光ファイバの偏波分散を実効的に小さくすること、及び上記効果を有する光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。

## 【0018】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は上記課題を解決するものであり、第1の発明による光ファイバは、光を伝搬させる芯線と該芯線の外側に形成される被覆とからなる光ファイバにおいて、一定間隔毎に所定の範囲内で、前記芯線に、ねじりの向きが1回毎に逆となるようにねじりを加えるとともに、前記被覆によって該芯線のねじり状態を維持し、前記所定の範囲は該光ファイバが持つ残留複屈折により決まる光のビート長に比べて十分に短く、かつ、該光ファイバを破壊しない程度に長いことを特徴とする光ファイバ。

40

第2の発明による光ファイバは、第1の発明による光ファイバであって、前記芯線を実効的に90度の角度分ねじることを特徴とする。

## 【0019】

## 【実施例】

図1は、本発明の原理を説明する図である。

図1(a)は光通信システムの概略を示す図である。

50

同図には、光ファイバ10によって接続された送信機12と受信機14が図示されている。

一般には、このような光通信システムにおいては、光ファイバ10の途中に中継器等が設けられているが、本発明の原理を説明する上で必要がないので特に図示していない。

また、その他、光ファイバ10に設けられるであろう装置も全て省略している。

前記したように、光ファイバ10は残留複屈折を有しており、複屈折の状態、例えば複屈折の2つの主軸の方向は、ある持続距離毎に変化していると考えられる。

図1(a)は、これをモデル化して描いたものであって、光ファイバ10の有する複屈折はいずれも等しい持続距離 $l$ を持っており、光ファイバ10全体はそれぞれ長さ $l$ を持った部分に分割できるとしている。

ここで、光ファイバ10の全長を $L$ とし、 $n$ 個の部分に分割されているとする。

#### 【0020】

分割された光ファイバ10の1つの部分16に着目すると、この中では複屈折の2つの主軸は一定で、光信号はこの部分16を通過する間は、同じ影響を受け続ける。従って、送信機12から1つのパルスとして出力された光信号は、この部分16を通り過ぎる時には、持続距離 $l$ に比例した偏波分散を受けることになる。

#### 【0021】

このことは、分割された光ファイバ10のいずれの部分にも言えることである。

分割された光ファイバ10のそれぞれの部分の複屈折の2つの主軸の向きが互いに独立で、ランダムに変化すると考えると、光ファイバ10の全長 $L$ を伝搬した光の偏波分散は、ゆらぎの分散として知られているように  $n$ に比例すると考えられる。

#### 【0022】

以上より、送信機12から出射され、光ファイバ10全体を通過して受信機14に入射する光信号の受ける偏波分散を $t$ とすると  $t = l \cdot n$ と表すことが出来る。ここで、 $n = L / l$ であるから、

$$t = (l \cdot L) \cdot \dots \cdot (1)$$

となる。この式より、光ファイバ10の全長が長くなるにつれて偏波分散は大きくなるものの、複屈折の持続距離を小さくすることによって偏波分散を抑圧することができることが分かる。

#### 【0023】

さらに、分割された光ファイバ10の部分のうち、隣合う16と17で複屈折の2つの主軸を入れ換えるようにすれば、部分16内での偏波分散と部分17内での偏波分散を打ち消すことができるので、光ファイバ10全体の偏波分散をより抑圧することができる。

#### 【0024】

そこで、本発明では一定間隔毎に所定の範囲内で、少なくとも芯線にねじりを加えた構成としてある。より好ましくは、図1(b)に図示されているように、光ファイバ10の製造過程において、コア及びクラッドからなるファイバを複屈折の持続距離 $l$ よりも短い所定の長さ $l_1$ 毎に90度づつ左右にねじり、この上から被覆を設けるようにする。同図のR、Lは、それぞれ矢印で示される部分で光ファイバが右あるいは左にねじられていることを示す。また、90度づつねじるとは、ねじられている部分の前の部分と後ろの部分とが互いに90度ねじれているということを意味する。左右にねじるとは、光ファイバの軸方向から見て左回り、あるいは右回りにねじるという意味である。

#### 【0025】

同図に示されるように、ねじりを入れることによって、偏波の持続距離を実効的に $l_1$ とすることができる。従って式(1)は、 $t = (l_1 \cdot L)$ となり、 $l > l_1$ であることから偏波分散を抑圧することができる。この式(1)より導かれる結果は、ファイバを左右に90度づつねじる場合に限らず、一般に複屈折の持続距離を短くするのみで偏波分散を抑圧することができることを示している。本発明においては、この複屈折の持続距離の短縮をファイバをねじることのみにより行っているため、同じ偏波分散の抑圧効果を得るための他のファイバに比べてファイバの製造が容易となる。このような製造方法は、特に、

10

20

30

40

50

長距離用の光ファイバを製造する場合に有力である。

【0026】

また、ファイバを左右に90度づつねじっていることにより、ねじった前の部分のファイバの複屈折の2つの主軸とねじった後の部分のファイバの複屈折の2つの主軸とが互いに入れ代わってお互いの偏波分散を打ち消し合うので、偏波分散の抑圧作用をより強めることが出来る。このような作用は、ファイバが90度ねじられていることにより得られるものであるが、ねじれの角度が必ずしも90度でなくても上記に近い作用が得られる。

【0027】

すなわち、複屈折の持続距離を実効的に短くするだけで偏波分散の抑圧作用を得られるからである。これは、式(1)に支持されており、ねじりの角度が90度でないばあいも本発明の要旨に含まれるべきものである。

10

【0028】

図2は、本発明の偏波分散抑圧光ファイバの一実施例の斜視図である。

図2の光ファイバは、コア20と、これを取り囲むクラッド22とを芯線28とし、この周囲に被覆24が形成される構成となっている。

なお、同図では、芯線28の構造を明確に示すために、被覆24の一部を切り開いて芯線28を露出させた状態を示しているが実際には芯線28の全体が被覆24によって覆われている。

【0029】

ファイバの芯線28に被覆24を形成する際に、所定の長さ、例えば30m毎に芯線を90度回転する(ねじる)。このねじりの角度は正確に90度でなくても実用的には45度~135度の範囲の角度でよい。ここで、この所定の長さは図1(b)の $l_1$ に対応し、10~50mの範囲で適切に設定されるべきものである。これにより、芯線28にはねじり部分26を生じており、芯線28内部には、ねじりによる応力が働いている。

20

【0030】

90度の回転によって生じるねじり部分26の長さは1m以下、望ましくは数mm~数十cmのファイバ長の範囲に入るように、比較的急峻とする。そして、この周囲に被覆24を形成する。ねじりあるいは回転によって生じるファイバの回転方向の応力が被覆24によって保持されるように構成することによって、外観や取扱いの上では通常のファイバと全く同様である。

30

【0031】

なお、ねじり部分26は芯線28がねじられて既に応力が働いているところであるので、外部から更なる応力が加わってファイバが破損しないように、保護するのもよい。例えば、ねじり部分26の被覆24を他の部分より厚くするか、被覆24の材質によっては焼き入れ等を行うことによって硬化させる、あるいはねじり部分26の被覆24のみ材質を変える等を行うのもよい。

【0032】

回転が上記した範囲内で急峻に行われるとその間での偏光状態の変化はなく、光ファイバの複屈折の2つの主軸は交換することになる。

複屈折の主軸には、光の伝搬速度が相対的に速いファースト軸 $f$ と光の伝搬速度が相対的に遅いスロー軸 $s$ とがある。後部分21では、ファースト軸 $f$ は横向き、スロー軸 $s$ は縦向きとなっている。しかし、芯線28がねじり部分で矢印の方向に90度ねじられていたとすると、前部分23内における複屈折の主軸は、ファースト軸 $f$ が縦方向で、スロー軸 $s$ が横方向となっている。従って、後部分21をファースト軸 $f$ に沿って偏光していた光は、ねじり部分26を通り過ぎるとスロー軸 $s$ に平行に進むことになる。同様に、後部分21をスロー軸 $s$ に沿って偏光していた光は、ねじり部分26を通り過ぎるとファースト軸 $f$ に平行に進むことになる。このように、後部分21で速く伝搬していた光は前部分23で遅く、後部分21で遅く伝搬していた光は前部分23で速く伝搬することになり、2つの偏光の間の伝搬速度の差が打ち消され、偏波分散が抑圧されることになる。

40

【0033】

50

ファイバのねじり方が理想的であった場合は、ねじりにより生じる応力はファイバの中心軸に関し等方的であるので、偏光への影響はないが、一般に光の偏波状態は、芯線28内の応力やひずみの変化が十分に緩やかに行われるならば、これらの変化を追従して変化していく。

【0034】

従って、ねじり部分26の長さが長いと、偏光状態は変化してしまう。すなわち、後部分21でファースト軸fに沿って偏光していた光は、ねじり部分26で偏光状態を変化させ、前部分23においても、ファースト軸fに平行な偏光として伝搬していく。

【0035】

従って、ねじり部分26の長さは、光の偏光状態が変わらない程度に短くしなければならない。すなわち、普通の光ファイバの場合は、ビート長が1～数m程度であるので、ねじり部分26の長さとしては、このビート長よりも短いことが好ましい。従って、このようなねじり部分26の長さとしては1m以下であれば十分であり、より好ましくは数mm～数十cm程度である。

10

【0036】

このようにねじり部分26の長さを十分短くすることにより、コア20内を伝搬する光にとっては、複屈折の2つの主軸の入れかえは急峻に行われるので、この主軸の入れかえに偏光状態が追従することが出来ない。したがって、光の偏光状態は前部分23と後部分21とで同じに保たれ、ファイバの複屈折の主軸だけが変化することになる。

【0037】

20

ここで、ビート長とは、光ファイバ内での偏光の変化の長さ方向の周期である。つまり、ファイバ内を伝搬する光は2つの主軸に沿った偏光に分かれて伝搬すると考えることができるが、実際の光は2つの偏光の合成したものである。ファースト軸fに沿った偏光は位相が進み、スロー軸sに沿った偏光は位相が遅れることになる。従って、これらを合成した光の偏光は、例えば後部分21の内部においても直線偏光から円偏光へ、円偏光から直線偏光へというように変化している。この直線偏光から次の直線偏光になるまでに光の進む距離がビート長である。

【0038】

実際の光ファイバの場合、ねじり部分26の長さは1m以下であればどんなに短くても良いというわけではない。すなわち、あまり短くするとファイバが破損してしまうので、ファイバが破損しない程度に長く設定する必要がある。

30

【0039】

ねじり部分26を長めに設定した場合には、比較的ビート長の長い、すなわちより均質性のよいファイバを使用する必要がある。逆に、均質性の良くないファイバを使用する場合には、それだけビート長が短くなるので、ねじり部分26の長さを短く設定する必要がある。

【0040】

本発明のようにねじりをいれたファイバと入れないファイバとの比較を式(1)を用いて行ってみる。

もし、ねじらない状態でのファイバの複屈折の持続距離が3kmで、これに30m毎にねじりを入れたとすると、ファイバの複屈折の持続距離が実質的に30mになったと考えることができる。従って式(1)を用いると、分散の値はねじりを入れない場合の1/10となり、 $0.06 \text{ ps/km}$ であるため、長距離伝送での影響は無視できる。この値は30m毎に複屈折の主軸方向が独立であることを仮定したものである。従って、本実施例においては、上記のようにファイバを左右に90度づつねじるという方法を取らなくても、任意の角度でねじるだけで偏波分散の抑圧効果を得ることができる。

40

【0041】

これに加え、本実施例ではファイバを左右に90度づつねじることにより、実際には複屈折の主軸が交換すると考えれば複屈折が相殺されることになるので分散はさらに小さくなると期待できる。

50

## 【 0 0 4 2 】

ただし、実際のファイバにおいては、たとえ芯線 28 を 90 度に回転させて（ねじって）この上に被覆を形成して固定したとしても、芯線 28 のねじりすぎや、ねじりもどり等が生ずるため、完全に複屈折の主軸が交換するとは言えない。よって、このようなねじりすぎやねじりもどり等を考慮して、最終的に芯線 28 のねじりの角度がなるべく正確に 90 度に落ち着くようにするのが望ましい。もっともねじりの角度が 90 度からある程度ずれていても、90 度の場合に近い効果が得られるので、このようなファイバも本発明の範囲内である。

## 【 0 0 4 3 】

図 2 に示した構成からなるファイバを製造するには、芯線に被覆を形成する際に被覆の形成装置を固定して、ねじりを与える所定の範囲において芯線の支持装置を + 度と - 度に交互に回転する。このねじりは芯線の支持部とその後距離  $d$  の位置にあるケーブル支持部との間で与えられる。このようにして被覆が形成されたファイバでは、芯線が  $\theta/d$  の割合で長さ方向にねじれる。従って、このねじりの割合とねじりを与える範囲（長さ）の積がねじりの総量であり、これが 90 度となるようにねじりの範囲（長さ）から  $\theta$  を定める。実際には被覆形成後に芯線に 90 度の回転が得られるように、被覆の回転力保持強度に応じて回転角  $\theta$  を決める。

## 【 0 0 4 4 】

図 3 は、偏波分散が、複屈折の主軸を入れ換えることによって抑圧されることを模式的に説明する図である。

図 3 ( a ) はねじり部分を通過する前の状態、図 3 ( b ) はねじり部分を通過した後の状態を示している。

## 【 0 0 4 5 】

図 3 ( a ) の状態の場合には、偏光 1 が複屈折のファースト軸  $f$  に平行に偏光しており、偏光 2 はスロー軸  $s$  に平行に偏光している。従って、偏光 1 はコア 20 内をより速い速度で、偏光 2 はコア 20 内をより遅い速度で伝搬することになる。従って、偏光 2 は偏光 1 よりも遅れるようになり、偏光 1 と偏光 2 との間の分散は開く一方である。

## 【 0 0 4 6 】

次に、光がねじり部分を通過したとすると、ねじり部分は十分短く形成されているので、急峻にファースト軸  $f$  とスロー軸  $s$  の入れ換えが起こる。このとき、光の偏光状態は急峻な主軸の入れ換えに追従できずにねじり部分を通過する前と同じ状態である。すなわち、偏光 1 は図 3 の図面に対して横方向のままであり、偏光 2 は図 3 の図面に対して縦方向のままである。

## 【 0 0 4 7 】

光がねじり部分を通過すると、ファイバの複屈折の主軸が回転して、入れ替わる。すなわち、図 3 ( b ) に示されるように、スロー軸  $s$  が横方向に、ファースト軸  $f$  が縦方向になっている。一方、偏光 1 と偏光 2 は図 3 ( a ) と同じである。

## 【 0 0 4 8 】

従って、今度は偏光 1 がスロー軸  $s$  に平行に、偏光 2 がファースト軸  $f$  に平行になっており、偏光 1 はより遅く、偏光 2 はより速く伝搬することになる。これにより、図 3 ( a ) で偏光 1 より遅れていく一方だった偏光 2 は、今度は偏光 1 を追い上げるようになり、偏光 1 に追いつくあるいは偏光 1 を追い抜いてしまう。

## 【 0 0 4 9 】

以上述べたようにねじられたファイバ内を伝搬する光は、ファイバの複屈折の 2 つの主軸に平行な成分に分割され、それぞれの成分が追いつ追われつしながら伝搬していく。従って、偏波分散はファイバを伝搬する間に蓄積され続けず、適度に打ち消し合わせられて、抑圧されることになる。

## 【 0 0 5 0 】

図 4 は、このような本発明のファイバを製造するための装置の外観を示す図である。

図 4 に図示されている製造装置は、光ファイバ 36 を線引きという方法で製造するための

10

20

30

40

50

ものであり、ファイバ36の芯線40の材料となる母材30、母材30を精度よく位置設定する精密マウント31、ファイバ36を伸延できるように母材30を加熱する線引き炉38、芯線40を被覆するための被覆材取り付け部41、母材30からファイバ36を引っ張って伸延させる送りドラム33、完成したファイバ36を巻き取る巻取りドラム34、芯線40の直径を測定するファイバ径測定器35、芯線40の直径の測定結果に基づいてファイバ36を引っ張る速度を調節するファイバ径制御装置32、芯線40を固定し、ねじりを加えるねじり治具39、及びねじり治具39のねじり具合を制御するねじり制御部37からなっている。

**【0051】**

母材30は、芯線40のもとになる材料であって、既に内部のコアと外部のクラッドが形成されたものである。これを線引き炉38で加熱し、柔らかくなったところを引き延ばして細い芯線40にする。

**【0052】**

引き延ばされてできた芯線40はねじり治具39に支持されており、ねじり制御部37の制御によって、一定時間間隔で芯線40を回転させ、ねじる前と後とでは芯線40が互いに90度ねじられるようにする。この一定時間間隔は、ファイバ36の引っ張り速度との関係を考慮しつつ、前述したような複屈折の持続距離よりも小さい長さとなるように調整する。なお、ねじり治具39と被覆材取り付け部41のケーブル支持部42との間で芯線40はねじられるが、同様に母材30とねじり治具40の間でもねじられることになる。このために、ねじり治具40と同期して母材30を回転させるようにしてもよいが、母材30とねじり治具39との間は比較的長い距離がとられているので、芯線40が、この長さに渡って受けるねじりの応力は平均されて小さくなり、ねじり治具39と被覆材取り付け部41のケーブル支持部42との間のねじり作用に影響を及ぼすことはない。

**【0053】**

被覆材取り付け部41では、芯線40の外側に被覆となる物質が付着される。被覆材としては、ナイロンやUV硬化樹脂等が一般的である。UV硬化樹脂は芯線に付着させたあと、紫外線をあてることにより硬化するものである。このようにして、コア、クラッド、被覆から構成されるファイバ36は、送りドラム33によって引っ張られ、送り出される。送り出されたファイバ36は、完成品として巻取りドラム34に巻き付けられる。

**【0054】**

図4の装置には、ファイバ径制御装置32が設けられている。ファイバ径制御装置32はファイバ径測定器35に接続されており、芯線40の直径を測定して、結果をファイバ径制御装置32に出力する。ファイバ径測定器35は、例えばレーザマイクロメータ等であり、芯線40の直径を測定することが出来るものであれば装置は特別なものを用いる必要はない。

**【0055】**

ファイバ径制御装置32は、ファイバ径測定器35の測定値から芯線40の直径の変化を読み取り、送りドラム33の回転数を制御して、芯線40の直径が一定となるように制御する。例えば、送りドラム33の回転数を多くするとファイバ36の引っ張り速度が速くなり、母材30から引き出される芯線40は細くなる。また、送りドラム33の回転数を少なくすると、ファイバ36の引っ張り速度が遅くなり、母材30から引き出される芯線40は太くなる。

**【0056】**

このように、ファイバ径制御装置32の制御により、出来るだけ均一なファイバ36を製造することができる。しかしながら、それでもなお僅かな不均一性が残る。これは、前述したように偏波分散を生じさせる原因となるので、本発明においてはねじり制御部37及びねじり治具39を設けて、所定の間隔で芯線40をねじるように構成されている。

**【0057】**

図5は、芯線40をねじるための構成を拡大した図である。

図5(a)に示されるように、母材30から引き出されてきた芯線40は、ねじり治具3

10

20

30

40

50

9で支持されるとともに、所定の間隔で左右に一定角度にねじられる。ねじり制御部37は、ねじり治具39の回転するタイミングや角度を制御する。

【0058】

ねじり治具39の内部にある不図示の芯線支持部で芯線40を支持しており、ねじり治具39の芯線支持部と被覆材取り付け部41の後方にあるケーブル支持部42との間で芯線40がねじられるようになっている。ケーブル支持部42の直前では、芯線40に被覆が形成され、ねじられた状態をすばやく固定する。

【0059】

ねじり治具39の芯線支持部とケーブル支持部42との間は、図2のねじり部分26に対応する。従って、ねじり治具39の芯線支持部とケーブル支持部42との間の距離は多くとも1m以内で、好ましくは数mm～数十cmである。

10

【0060】

図5(b)は、ねじり治具の一構成例の概略図である。ねじり治具39は同図に示すような構成には限られず、芯線40を支持すると共に芯線40をねじることができる構成であればどのようなものでもよい。

【0061】

図5(b)のねじり治具は芯線40を、回転可能な芯線支持輪48、50で上下から挟むように支持している。芯線支持輪48、50は、芯線40が滑らないように支持しており、芯線40の送り方向(芯線40を引っ張る方向)には、それぞれの輪の回転によって送り出す構成となっている。

20

【0062】

芯線支持輪48、50は収納部46に収納され、芯線40は収納部46に開けられた穴を通して延びている。収納部46は回転可能なように治具支持体44に取り付けられており、ねじり制御部37からの信号によって制御される不図示の駆動部によって、芯線40が延びている方向と垂直に設けられたレール52上を滑るように回転させられる。従って、芯線支持輪48、50は収納部46とともに回転する。

【0063】

芯線支持輪48、50は、芯線40を滑らないように支持しているため、上記回転により芯線40は芯線支持輪48、50の回転方向にねじられる。

回転の角度は左右に一定の角度で回転させ、ねじりの総量が90度かあるいは90度よりやや大きい角度となるようにする。ねじりの総量を90度よりやや大きくするのは、ねじり治具でねじられた後、被覆が固着されるまでの間により戻しが起こりうるからである。

30

【0064】

図6は、ねじり治具の別の構成例の概略図である。

図6(a)に示されるように、本構成例のねじり治具は、芯線40を支持する芯線支持輪56、芯線支持輪56を収納する収納部54、収納部54を支持する収納部支持体58、及び収納部54と収納部支持体58とをつなぎとめる支持具60よりなっている。

【0065】

本構成例のねじり治具は、図6(b)に示されるように、芯線40を芯線支持輪56に巻き付けるように支持する。芯線40が線引きの方法により矢印方向に引っ張られるときは、芯線支持輪56が回転軸62の回りに、矢印の方向に回転することによって、芯線40を送り出す。

40

【0066】

図6(a)から分かるように、収納部54は収納部支持体58に支持具60で取り付けられており、収納部54が支持具60を支点にして回転できるようになっている。そして、図5(a)のねじり制御部37によって出力される信号によって制御される不図示の駆動部により所定の回転の角度、タイミング、方向で駆動される。

【0067】

なお、以上の実施例ではファイバの芯線を左右交互に90度ずつねじった構成についてだけ示しており、この構成は確かに好ましい一例ではあるが、本発明はこのような構成に限

50

定されるものではない。すなわち、ねじりの角度は必ずしも90度である必要はなく、様々な角度に設定可能である。また、ねじりの方向も左右交互であることが好ましくはあるが、常に左か右のいずれが一方向にのみねじるようにすることも可能である。

【0068】

また、単に芯線だけをねじるのではなく、芯線と被覆とを一緒にねじり、何らかの外力によりそのねじりの状態を維持するようにしたのも、本発明の範囲内であり、このような構成であっても同様な偏波分散の抑圧効果が得られる。

【0069】

【発明の効果】

光ファイバの芯線に所定の間隔でねじりを加えることにより、偏波の持続距離を実効的に短くすることができるので、長距離に渡る光ファイバの全体を光信号が伝搬することにより生じる偏波分散を抑圧することができる。

【0070】

また、回転角あるいはねじる角度をほぼ90度とすることにより、ねじられた部分の前部と後部のファイバの複屈折の2つの主軸がほぼ入れ代わったようにすることができる。そして、ねじられた部分の長さを十分短くすることにより、光信号が通過する時に感じる複屈折の2つの主軸の入れ代わりを急峻にすることができるので、光の偏光状態には変化が生じず、従って、ねじられた部分の前後のファイバで偏波分散を打ち消す作用を得ることが出来る。このことにより、光ファイバ全体の偏波分散を、更に抑圧することが出来る。

【0071】

また、光ファイバの製造にあたっては、ファイバの芯線にねじりを加えながら、この上から被覆を形成することにより簡単に製造することが出来るので、製造コストを抑え、偏波分散を抑圧した長距離用の伝送特性の良い光ファイバを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を説明する図である。

【図2】本発明の光ファイバの一実施例を示す図である。

【図3】複屈折の2つの主軸が入れ替わることによる偏波分散の抑圧作用を説明する図である。

【図4】本発明の光ファイバを製造する装置及びその工程を説明する図である。

【図5】光ファイバの芯線をねじるための構成とねじり治具の一構成例を示す図である。

【図6】ねじり治具の他の構成例を示す図である。

【図7】偏波分散を説明するための図(その1)である。

【図8】偏波分散を説明するための図(その2)である。

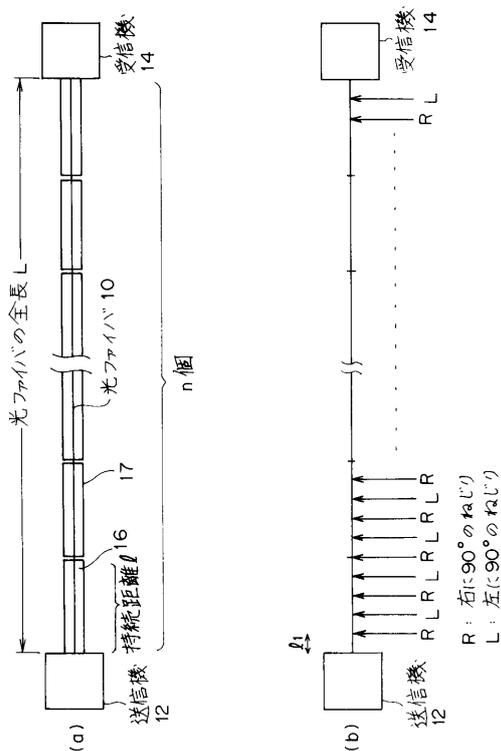
【符号の説明】

10	光ファイバ	
12	送信機	
14	受信機	
20	コア	
21	後部分	
22	クラッド	40
23	前部分	
24	被覆	
26	ねじり部分	
28	芯線	
30	母材	
31	精密マウント	
32	ファイバ径制御装置	
33	送りドラム	
34	巻き取りドラム	
35	ファイバ径測定器	50

- 3 6           ファイバ
- 3 7           ねじり制御部
- 3 8           線引き炉
- 3 9           ねじり治具
- 4 0           芯線
- 4 1           被覆材取り付け部
- 4 2           ケーブル支持部
- 4 4           治具支持体
- 4 6           収納部
- 4 8、5 0     芯線支持輪
- 5 2           レール
- 5 4           収納部
- 5 6           芯線支持輪
- 5 8           収納部支持体
- 6 0           支持具
- 6 2           回転軸
- 6 3、6 6     コア
- 6 4           クラッド

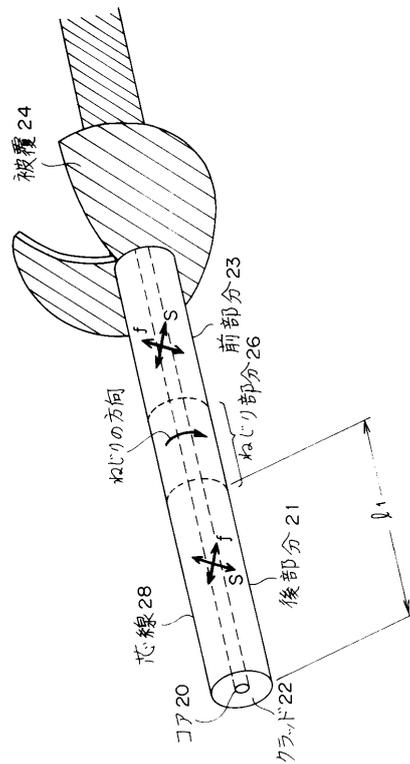
【図1】

本発明の原理を説明する図



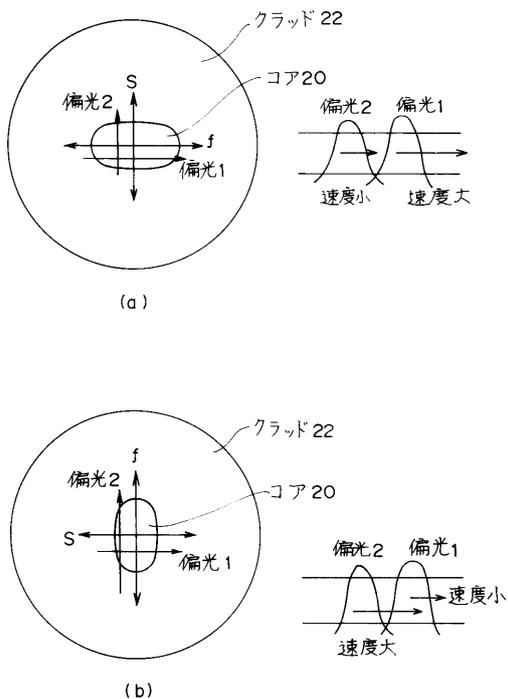
【図2】

本発明の光ファイバの一実施例を示す図



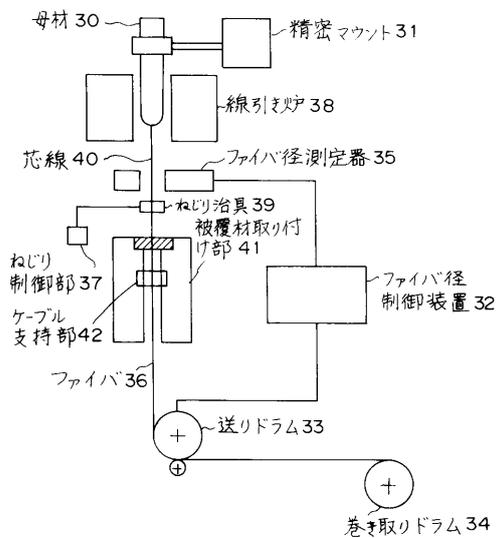
【 図 3 】

複屈折の2つの主軸が入れ替わることによる偏波分散の抑圧作用を説明する図



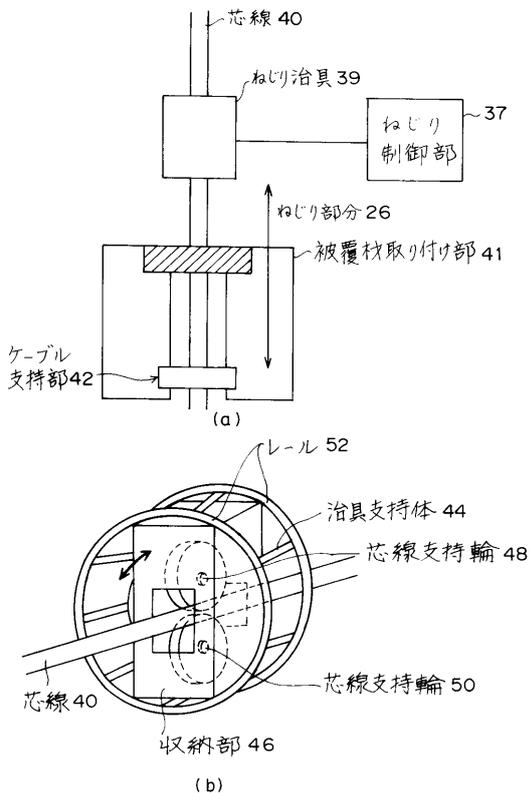
【 図 4 】

本発明の光ファイバを製造する装置及びその工程を説明する図



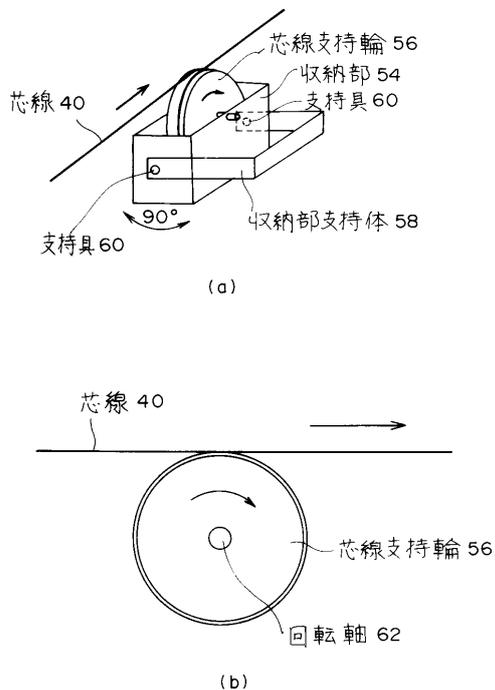
【 図 5 】

光ファイバの芯線をねじるための構成とねじり治具の一構成例を示す図



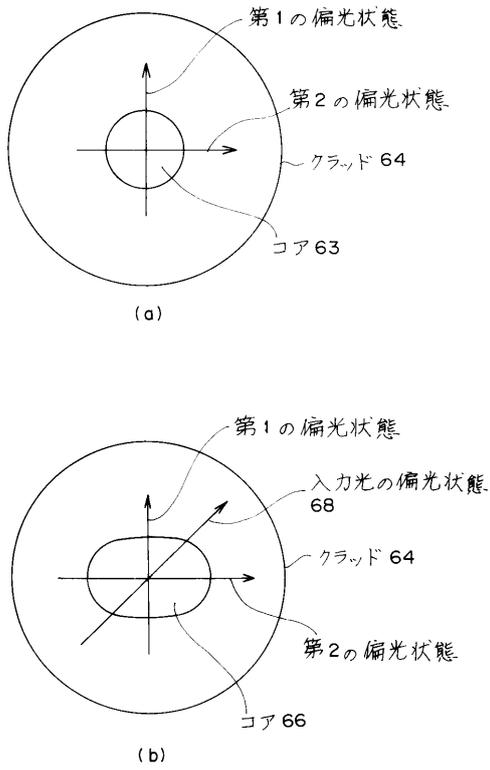
【 図 6 】

ねじり治具の他の構成例を示す図



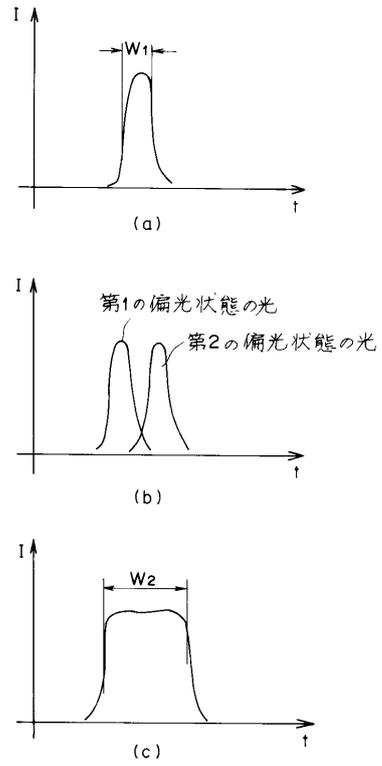
【 図 7 】

偏波分散を説明する図(その1)



【 図 8 】

偏波分散を説明するための図(その2)



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平06 - 171970 (JP, A)  
特開平07 - 168067 (JP, A)  
特開昭58 - 162908 (JP, A)  
特開平06 - 337321 (JP, A)  
特開昭61 - 015108 (JP, A)  
特開昭59 - 057211 (JP, A)  
特開昭59 - 057210 (JP, A)  
特開平07 - 097233 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/00 - 6/54