

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-525551

(P2006-525551A)

(43) 公表日 平成18年11月9日(2006.11.9)

(51) Int. Cl.

G02B 6/036 (2006.01)

F I

G02B 6/22

テーマコード (参考)

2H150

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 72 頁)

(21) 出願番号	特願2006-509791 (P2006-509791)	(71) 出願人	501246857 コーニング・インコーポレーテッド アメリカ合衆国ニューヨーク州14831 、コーニング、リバーフロント・プラザ 1
(86) (22) 出願日	平成16年4月6日(2004.4.6)	(74) 代理人	100079119 弁理士 藤村 元彦
(85) 翻訳文提出日	平成17年12月27日(2005.12.27)	(72) 発明者	ビッカム スコット アール アメリカ合衆国 14830 ニューヨー ク州 コーニング イーストフォースト リート 69
(86) 国際出願番号	PCT/US2004/010747	(72) 発明者	チョウドリ ディパクビン キュー アメリカ合衆国 14830 ニューヨー ク州 コーニング エミリードライブ 1 4
(87) 国際公開番号	W02004/100406		
(87) 国際公開日	平成16年11月18日(2004.11.18)		
(31) 優先権主張番号	60/467, 676		
(32) 優先日	平成15年5月2日(2003.5.2)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	60/507, 313		
(32) 優先日	平成15年9月29日(2003.9.29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	60/528, 953		
(32) 優先日	平成15年12月11日(2003.12.11)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大なる有効面積の高SBS閾値光ファイバ

(57) 【要約】

【目的】 大なる有効面積を与える高SBS閾値光ファイバを提供する。

【解決手段】 コアは最大相対屈折率  $n_{1MAX}$  を有する中央領域、中央領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  を有する中間領域、及び、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  を有する外側領域を含む。ここで、 $n_{1MAX} > n_{2MIN}$ 、及び、 $n_{3MAX} > n_{2MIN}$  である。コアの屈折率は、Lをkm単位の長さ、 $\alpha$ を1550nmでのdB単位の減衰とすると、dB単位で約  $9.3 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\alpha)(L)/4.343})} \right]$  より大なる絶対SBS閾値を有するように選択されており、1550nmで減衰を有することを特徴とする。

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

所定の長さ、屈折率分布及び中心線を有するコアと、前記コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む光ファイバであって、

前記コアは、最大相対屈折率  $n_{1MAX}$  を有する中央領域、

前記中央領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  を有する中間領域、及び、

前記中間領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  を有する外側領域を含み、

$n_{1MAX} > n_{2MIN}$ 、及び、 $n_{3MAX} > n_{2MIN}$  であり、

前記コアの屈折率は、L を km 単位の長さ、 $\alpha$  を 1550 nm での dB 単位の減衰とすると、dB 単位で約  $9.3 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-\alpha(L)/4.343})} \right]$  より大なる絶対 SBS 閾値を有するように選択されており、1550 nm で減衰を有することを特徴とする光ファイバ。

10

## 【請求項 2】

前記コアの屈折率は、1550 nm で  $80 \mu\text{m}^2$  よりも大なる光有効面積を提供するように選択されてい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】

前記コアの屈折率は、1400 nm 以下のゼロ分散波長を提供するように選択されていることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

20

## 【請求項 4】

前記コアの屈折率は、1550 nm の波長で  $15 \text{ps/nm} \cdot \text{km}$  よりも大なる分散を与えるように選択されていることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

## 【請求項 5】

前記コアの屈折率は、1550 nm で  $0.07 \text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  よりも小なる分散スロープを与えるように選択されていることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

## 【請求項 6】

$n_{1MAX} > 0.4\%$  で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 7】

$n_{1MAX} > 0$ 、 $n_{3MAX} > 0$  及び  $n_{2MIN} > 0$  であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

30

## 【請求項 8】

前記クラッドに対する全コアの屈折率が 0 よりも大で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 9】

$n_{1MAX}$  が  $n_{3MAX}$  よりも大で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 10】

$n_{1MAX}$  が実質的に  $n_{3MAX}$  に等しいことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ

## 【請求項 11】

$n_{1MAX}$  が  $n_{3MAX}$  未満であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

40

## 【請求項 12】

$n_{1MAX} - n_{2MIN} > 0.25\%$  で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 13】

$n_{2MIN} < 0.4\%$  で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 14】

$n_{2MIN}$  は、0.1 から 0.4% の間に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 15】

$n_{3MAX} - n_{2MIN} > 0.10\%$  で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 16】

50

送信機、受信機、及び、前記送信機と前記受信機とを光学的に接続する光伝送線を含む光通信システムであって、

前記光伝送線は、第2の光ファイバに光学的に接続する請求項1記載の光ファイバを含み、

前記第2の光ファイバは、1550nmで-70から-150ps/nm-kmの間にある分散を有することを特徴とする光通信システム。

【請求項17】

所定の長さ、屈折率分布及び中心線を有するコアと、前記コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む光ファイバであって、

前記コアは最大相対屈折率  $n_{1MAX} > 0.4\%$  を有し、

前記コアの屈折率は、Lをkm単位の長さ、 $\alpha$ を1550nmでのdB単位の減衰とすると、dB単位で約  $9.3 + \log [1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}] / (1 - e^{-(\alpha)(L)/4.343})$  よりも大なる絶対SBS閾値を有するように選択されており、1550nmで減衰を有することを特徴とする光ファイバ。

【請求項18】

$r_{MAX}$ は、0から1 $\mu$ mの間の半径に位置することを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項19】

前記コアの屈折率は1550nmで80 $\mu$ m<sup>2</sup>よりも大なる光有効面積を与えるように選択されていることを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項20】

1380 $\mu$ mでの減衰が1380 $\mu$ mでの減衰よりも0.3dB以上大きくないことを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項21】

前記クラッドに対する前記コアの全ての屈折率は、0%よりも大であることを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項22】

実質的に前記コアの全ては、1未満のアルファのアルファ分布である相対屈折率を有することを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項23】

前記コアは、中央領域と、前記中央領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域とを含み、前記中央領域は  $n_{MAX}$  を含むことを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項24】

前記コアは、最大相対屈折率  $n_{1MAX}$  を有する中央領域と、

前記中央領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域と、

前記中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域と、を含み、前記中間領域は最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  を有し、

前記外側領域は、最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  を有し、 $n_{1MAX} > n_{2MIN}$  及び  $n_{3MAX} > n_{2MIN}$  であることを特徴とする請求項17記載の光ファイバ。

【請求項25】

$n_{1MAX} > 0$ 、 $n_{3MAX} > 0$ 、 $n_{2MIN} > 0$ であることを特徴とする請求項24記載の光ファイバ。

【請求項26】

$n_{1MAX}$  は  $n_{3MAX}$  よりも大であることを特徴とする請求項24記載の光ファイバ。

【請求項27】

$n_{1MAX}$  は実質的に  $n_{3MAX}$  に等しいことを特徴とする請求項24記載の光ファイバ。

【請求項28】

$n_{1MAX}$  は  $n_{3MAX}$  未満であることを特徴とする請求項24記載の光ファイバ。

【請求項29】

$n_{1MAX} - n_{2MIN} > 0.25\%$  であることを特徴とする請求項24記載の光ファイバ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 3 0】

$2_{MIN} < 0.4\%$ であることを特徴とする請求項 2 4 記載の光ファイバ。

## 【請求項 3 1】

$3_{MAX} - 2_{MIN} > 0.10\%$ であることを特徴とする請求項 2 4 記載の光ファイバ。

## 【請求項 3 2】

送信機、受信機、及び前記送信機と前記受信機とを光学的に接続している光伝送線とを含む光通信システムであって、

前記光伝送線は、第 2 の光ファイバに光学的に接続している請求項 1 7 記載の光ファイバを含み、

前記第 2 の光ファイバは、 $1550\text{nm}$ で  $-70$  から  $-150\text{ps/nm-km}$ の間にある分散を有することを特徴とする光通信システム。 10

## 【請求項 3 3】

屈折率分布及び中心線を有するコアと、前記コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む光ファイバであって、

$L$ を  $\text{km}$  単位の長さ、 $\alpha$ を  $1550\text{nm}$ での  $\text{dB}$  単位の減衰とすると、 $\text{dB}$  単位で絶対  $\text{SBS}$  閾値は、 $8.5 + \log [1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}] / (1 - e^{-(\alpha)(L)/4.343})$  よりも大であって、 $1380\mu\text{m}$ での減衰が  $1310\mu\text{m}$ での減衰よりも  $0.3\text{dB}$  以上大きくないことを特徴とする光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【関連出願についてのクロス・リファレンス】 20

## 【0001】

本願は、2003年5月2日出願の米国仮特許出願第60/467,676号、2003年9月29日出願の米国仮特許出願第60/507,313号、2003年12月11日出願の米国仮特許出願第60/528,953号、及び2004年2月20日出願の米国仮特許出願第60/546,490号に基づく米国特許法第119条(e)の利益を請求する。

## 【技術分野】

## 【0002】

本発明は高  $\text{SBS}$  閾値光ファイバに関する。より詳細には、本発明は大なる有効面積を有する高  $\text{SBS}$  閾値光ファイバに関する。 30

## 【背景技術】

## 【0003】

誘導ブリルアン散乱 ( $\text{SBS}$ ) は、多くの光伝送システムにおいて支配的な非線形ペナルティである。多くのシステムにおいて、高い  $\text{SNR}$  を維持するとともに光ファイバに大なるパワーを発射できることが望まれる。しかしながら、光ファイバに入射した入射信号の発射パワー若しくは信号パワーが増加するにつれて、発射パワーは一定の閾値パワーを上回ってしまい、信号パワーの一部は反射信号として  $\text{SBS}$  により反射されるのである。つまり、信号パワーの望ましからざる大なる量が  $\text{SBS}$  によって送信機へ向けて反射され得るのである。加えて、散乱プロセスは、信号波長での雑音レベルを増加させる。信号パワーの減少と及びノイズの増加との組み合わせにより、 $\text{SNR}$  がより低下して性能の低下を導く。 40

一定の温度で、結晶内のフォノンと同様に、ガラス状態でも熱励起が生じる。そして、低強度信号光での振動モードの相互作用が自然発生的なブリルアン散乱を生じるのである。高強度光学場は、圧力または音波を上昇させる高強度入射光及び自然発生的な反射光のピーティングによる電気ひずみを介して、圧力波又は音波を生成する。圧力の変化によって材料密度が変化し、これにより屈折率の変化を生じる。最終的に、光波の高強度電界成分が密度のゆらぎを生じさせる圧力波若しくは音波を生じさせるのである。音波は、屈折率を変化させて、ブラッグ回折による反射光振幅を強める。光ファイバの  $\text{SBS}$  閾値よりも高く励起された光子の数が非常に多くなると、送信光パワーを制限して  $\text{SNR}$  を減じる強い反射場を生じさせるのである。

## 【発明の開示】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0004】

誘導ブリュアン散乱に対する高閾値を有する光導波路ファイバがここに開示される。光ファイバは、好ましくは大なる光有効面積を有する。光ファイバは少なくとも1つの光モード及び $L_{01}$ 音響モード及び $L_{02}$ 音響モードを含む複数の音響モードをガイドする。光ファイバは、屈折率分布及び中心線を有するコア及びコアを包囲し直に隣接するクラッド層を含む。

## 【0005】

実施例の1つのグループにおいて、ここに開示の光ファイバは、一定長と、屈折率分布及び中心線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド領域とを含む。コアは、最大相対屈折率 $1_{MAX}$ を有する中央領域と、中央領域を包囲し且つこれに直に隣接して最小相対屈折率 $2_{MIN}$ を有する中間領域と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接して最大相対屈折率 $3_{MAX}$ を有する中間領域とを含む。ここで、 $1_{MAX} > 2_{MIN}$ 及び $3_{MAX} > 2_{MIN}$ である。また、光ファイバは $1550\text{ nm}$ で減衰を有する。コアの屈折率は、約 $9.3 + \log[(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}) / (1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})]$ よりも大なるデシベルで表される絶対SBS閾値を提供するように選択される。ここで、 $L$ は $\text{km}$ で表される長さ、 $\quad$ は $1550\text{ nm}$ での $\text{dB/km}$ で表される減衰である。好ましくは、コアの屈折率は $80\ \mu\text{m}^2$ よりも大なる $1550\text{ nm}$ での光有効面積を提供するように選択される。好ましくは、コアの屈折率は $1400\text{ nm}$ 以下でゼロ分散波長を提供するように選択される。好ましくは、コアの屈折率は $1550\text{ nm}$ の波長で $15\text{ ps/nm-km}$ をよりも大なる分散を提供するように選択される。好ましくは、コアの屈折率は $1550\text{ nm}$ で $0.07\text{ ps/nm}^2\text{-km}$ 未満の分散スロープを提供するように選択される。好適な実施例では、 $1_{MAX} > 0.4\%$ である。好ましくは、約 $9.5 + \log[(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}) / (1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})]$ よりも大なる $\text{dB}$ 単位の絶対SBS閾値である。好ましくは、 $1550\text{ nm}$ での減衰は、 $0.23\text{ dB/km}$ 未満、より好ましくは $0.22\text{ dB/km}$ 未満、さらにより好ましくは $0.21\text{ dB/km}$ 未満、さらにより好ましくは $0.2\text{ dB/km}$ 未満である。

## 【0006】

好ましくは $1_{MAX} > 0$ 、 $3_{MAX} > 0$ 及び $2_{MIN} > 0$ である。好ましくは、クラッドに対する全コアの屈折率は、0よりも大きい。

## 【0007】

実施例の1つのサブセットでは、 $1_{MAX}$ は $3_{MAX}$ よりも大である。他のサブセットでは、 $3_{MAX}$ は実質的に $1_{MAX}$ に等しい。他のサブセットでは、 $1_{MAX}$ は $3_{MAX}$ 未満である。

## 【0008】

好ましくは、 $|1_{MAX} - 2_{MIN}| > 0.25\%$ であって、より好ましくは、 $1_{MAX} - 2_{MIN} > 0.25\%$ である。好ましくは $2_{MIN} < 0.4\%$ であって、より好ましくは $2_{MIN}$ は0.1から0.4%までの間にある。ある好適な実施例において、 $2_{MIN}$ は0.1から0.3%までの間にある。ある好適な実施例において、 $2_{MIN}$ は0.2から0.3%までの間にある。

## 【0009】

好ましくは $|3_{MAX} - 2_{MIN}| > 0.10\%$ 、より好ましくは、 $3_{MAX} - 2_{MIN} > 0.10\%$ である。好適な実施例では、 $1_{MAX} > 0.4\%$ 、 $1_{MAX} - 2_{MIN} > 0.25\%$ であり、 $2_{MIN}$ は、0.1から0.4%までの間にあつて、 $3_{MAX} - 2_{MIN} > 0.10\%$ である。

## 【0010】

好適な実施例において、デシベルで表された絶対SBS閾値は、約 $9.5 + \log[(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}) / (1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})]$ よりも大である。

## 【0011】

ある好適な実施例において、 $1550\text{ nm}$ での光有効面積は、 $90\ \mu\text{m}^2$ よりも大きい

。ある好適な実施例において、1550 nmでの光有効面積は、 $100 \mu\text{m}^2$ よりも大きい。

【0012】

ある好適な実施例において、ゼロ分散波長は、1230から1400 nmまでの間にある。他の好適な実施例において、ゼロ分散波長は、1230から1340 nmまでの間にある。更に他の好適な実施例において、ゼロ分散波長は、1280から1340 nmまでの間にある。

【0013】

好ましくは、光ファイバは、 $L_{01}$ 音響モード及び $L_{02}$ 音響モードを含む少なくとも1つの光モード及び複数の音響モードをガイドする。 $L_{01}$ 音響モードは、第1の音響光学部品有効面積 $AOEA_{L_{01}}$ を有する。光ファイバのブリルアン周波数で少なくとも $170 \mu\text{m}^2$ 、 $L_{02}$ 音響モードは第2の音響光学部品有効面積 $AOEA_{L_{02}}$ を有し、光ファイバのブリルアン周波数で少なくとも $170 \mu\text{m}^2$ である。好ましくは、 $0.4 < AOEA_{L_{01}} / AOEA_{L_{02}} < 2.5$ である。

10

【0014】

好適な実施例において、1550 nmでの光有効面積は、 $80 \mu\text{m}^2$ よりも大且つ $120 \mu\text{m}^2$ 未満である。

【0015】

ここで開示される光通信システムは、送信機、受信機及び送信機及び受信機を光学的に接続する光伝送線を含む。該光伝送線は、第2の光ファイバに光学的に接続されたここに開示の光ファイバ、及び、1550 nmで $-70$ から $-150 \text{ps/nm-km}$ の間の分散を有する第2の光ファイバとを含む。

20

【0016】

実施例の他のグループにおいて、ここに開示される光ファイバは、一定の長さ、屈折率分布及び中心線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む。コアは、最大相対屈折率 $\Delta_{MAX}$ を有する。ここで、 $\Delta_{MAX} > 0.4\%$ である。この光ファイバは、1550 nmで減衰を有する。ここでコアの屈折率は、約 $9.8 + \log[(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}) / (1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})]$ よりも大なるデシベル単位での絶対SBS閾値を与えるように選択されている。ここで、Lはkm単位の長さ、 $\Delta$ は1550 nmでのdB/km単位の減衰である。好適な実施例において、 $\Delta_{MAX}$ は0から1  $\mu\text{m}$ との間の半径に位置する。好ましくは、コアの屈折率は、1550 nmで $80 \mu\text{m}^2$ よりも大なる光有効面積を与えるように選択される。好適な実施例において、デシベル単位での絶対SBS閾値は、約 $10.0 + \log[(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}) / (1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})]$ よりも大である。好ましくは、1550 nmでの減衰は $0.23 \text{dB/km}$ 、より好ましくは $0.22 \text{dB/km}$ 未満、更により好ましくは $0.21 \text{dB/km}$ 未満、更により好ましくは $0.2 \text{dB/km}$ 未満である。ある好適な実施例において、1550 nmでの減衰は、 $0.19 \text{dB/km}$ 未満である。

30

【0017】

ある好適な実施例において、光ファイバは、 $1310 \mu\text{m}$ での減衰よりも $0.3 \text{dB}$ よりも大きくない $1380 \mu\text{m}$ での減衰を有する。

40

【0018】

好ましくは、クラッドに対する全コアの屈折率は0%よりも大である。

【0019】

ある好適な実施例において、実質的にコアの全て、好ましくはコアの全ては $\alpha < 1$ を有するアルファ分布を有する相対屈折率を有する。

【0020】

他の好適な実施例において、コアは、中央領域及びこの中央領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域を含み、中央領域は $\Delta_{MAX}$ からなる。

【0021】

更に他の好適な実施例において、コアは最大相対屈折率 $\Delta_{1MAX}$ を有する中央領域と、こ

50

の中央領域を包囲し且つ直に隣接する中間領域とを含む。中間領域は、最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域と、最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  を有する外側領域とを有する。  $n_{1MAX} > n_{2MIN}$ 、且つ、  $n_{3MAX} > n_{2MIN}$  である。好ましくは、  $n_{1MAX} > 0$ 、  $n_{3MAX} > 0$  及び  $n_{2MIN} > 0$  である。

【0022】

実施例の1つのサブセットにおいて、  $n_{1MAX}$  は  $n_{3MAX}$  よりも大である。他の1つのサブセットにおいて、  $n_{1MAX}$  は実質的に  $n_{3MAX}$  に等しい。また他の1つのサブセットにおいて、  $n_{1MAX}$  は  $n_{3MAX}$  未満である。

【0023】

好ましくは、  $|n_{1MAX} - n_{2MIN}| > 0.25\%$ 、より好ましくは、  $n_{1MAX} - n_{2MIN} > 0.25\%$  である。好ましくは、  $n_{2MIN} < 0.4\%$  であり、より好ましくは、  $n_{2MIN}$  は  $0.1$  から  $0.4\%$  までの間にある。ある好適な実施例において、  $n_{2MIN}$  は  $0.1$  から  $0.3\%$  までの間にある。ある好適な実施例において、  $n_{2MIN}$  は  $0.2$  から  $0.3\%$  までの間にある。

【0024】

好ましくは、  $|n_{3MAX} - n_{2MIN}| > 0.10\%$ 、より好ましくは、  $n_{3MAX} - n_{2MIN} > 0.10\%$  である。

【0025】

ここに開示される光通信システムは、送信機、受信機、及び、送信機と受信機とを光学的に接続している光伝送線を含む。光伝送線は、ここに記載されている光ファイバを第2の光ファイバに光学的に接続する光ファイバを含む。第2の光ファイバは、  $1550\text{ nm}$  で  $-70$  から  $-150\text{ ps/nm-km}$  の分散を有する。

【0026】

好ましくは、光ファイバは、  $L01$  音響モード及び  $L02$  音響モードを含む少なくとも1つの光モード及び複数の音響モードをガイドする。  $L01$  音響モードは、第1の音響光学有効面積  $AOEA_{L01}$  を有し、光ファイバのブリルアン周波数でこれは少なくとも  $170\text{ }\mu\text{m}^2$  である。  $L02$  音響モードは、第2の音響光学有効面積  $AOEA_{L02}$  を有し、光ファイバのブリルアン周波数でこれは少なくとも  $170\text{ }\mu\text{m}^2$  である。好ましくは、  $0.4 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$  である。

【0027】

好適な実施例において、  $1550\text{ nm}$  での光有効面積は、  $80\text{ }\mu\text{m}^2$  よりも大且つ  $120\text{ }\mu\text{m}^2$  未満である。

【0028】

光ファイバは、好ましくは  $1400\text{ nm}$  未満のゼロ分散波長（または分散ゼロ若しくは  $\infty$ ）を有し、より好ましくは、  $1340\text{ nm}$  未満である。好ましくは、光ファイバは、  $1550\text{ nm}$  の波長で  $15$  から  $21\text{ ps/nm-km}$  までの間の分散を有する。

【0029】

好適な実施例において、  $1550\text{ nm}$  の光学モードの有効面積は  $80\text{ }\mu\text{m}^2$  よりも大である。  $L01$  音響モードは、第1の音響光学有効面積  $AOEA_{L01}$  を有し、光ファイバのブリルアン周波数でこれは少なくとも  $170\text{ }\mu\text{m}^2$  である。  $L02$  音響モードは、第2の音響光学有効面積  $AOEA_{L02}$  を有し、光ファイバのブリルアン周波数でこれは少なくとも  $170\text{ }\mu\text{m}^2$  である。ここで、  $0.4 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$  である。好ましくは、  $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、光ファイバのブリルアン周波数で  $180\text{ }\mu\text{m}^2$  未満である。より好ましくは、  $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、光ファイバのブリルアン周波数で、  $190\text{ }\mu\text{m}^2$  未満でない。好ましくは、  $1550\text{ nm}$  での減衰は、  $0.23\text{ dB/km}$  未満であり、より好ましくは、  $0.22\text{ dB/km}$ 、更により好ましくは、  $0.21\text{ dB/km}$  未満、更により好ましくは、  $0.2\text{ dB/km}$  未満である。ある好適な実施例において、  $1550\text{ nm}$  での減衰は、  $0.19\text{ dB/km}$  である。

【0030】

好適な実施例において、光ファイバは、  $1310$  から  $1340\text{ nm}$  までの間の範囲内の

波長でゼロ分散を有し、好ましくはこれは1320 nmから1340 nmまでの間である。他の好適な実施例において、光ファイバは、1320 nmより低い波長でゼロ分散を有し、より好ましくはこれは1290 nmから1320 nmまでの間である。

【0031】

ある好適な実施例において、光ファイバは、1550 nmの波長で15から17 ps / nm - kmまでの間の分散を有する。他の好適な実施例において、光ファイバは、1550 nmの波長で17から20 ps / nm - kmの間の分散を有する。

【0032】

ある好適な実施例において、光ファイバは、 $85 \mu\text{m}^2$ よりも大なる光有効面積を有する。他の好適な実施例において、光ファイバは、 $95 \mu\text{m}^2$ よりも大なる光有効面積を有する。更に他の好適な実施例において、光ファイバは、 $100 \mu\text{m}^2$ よりも大なる光有効面積を有する。

10

【0033】

好ましくは、光ファイバは、1550 nmで15 dB未満のピン配列曲げ損失を有し、より好ましくはこれは10 dB未満である。

【0034】

好ましくは、光ファイバは、1 dB / m未満の横方向負荷減衰を有し、より好ましくはこれは0.7 dB / m未満である。

【0035】

好適な実施例において、コアは、中心線から1  $\mu\text{m}$ の半径まで拡がる第1の部分を含み、第1の部分は、0.25%よりも大且つ0.5%未満の相対屈折率を有する。

20

【0036】

好ましくは、ここに記載及び開示される光ファイバは、約1260 nmから約1650 nmまでの間の複数の動作波長窓に好適な性能を示す。より好ましくは、ここに記載及び開示される光ファイバは、約1260 nmから約1650 nmまでの間の複数の動作波長窓に好適な性能を示す。好適な実施例において、ここに記載及び開示される光ファイバは、少なくとも1310 nm窓及び1550 nm窓で動作するように適応させることができる二重窓ファイバである。

【0037】

本発明の現時点での好適な実施例が詳細に開示される。これらの実施例は、添付の図面において図示される。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

本発明の追加の特徴及び効果は、後述する発明の詳細な説明の記載に述べられるとともに、当業者であれば、特許請求の範囲及び添付の図面とともに発明の詳細な説明に記載される本発明を実施することによって明らかになるであろう。

【0039】

「屈折率分布」は、屈折率若しくは相対屈折率と導波路ファイバの半径との関係である。

【0040】

「相対屈折率パーセント」は、

$$\% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2 n_i^2$$

として定義される。 $n_i$ は領域*i*の最大屈折率、特に明記されない限り、 $n_c$ はクラッド領域の平均屈折率である。ここで使用されるように、相対屈折率は で表され、特に明記されない限り、その値は「%」を単位にして与えられる。

40

【0041】

領域の屈折率がクラッド領域の平均屈折率未満であるとき、相対屈折率パーセントは負であって、低下領域若しくは低められた屈折率と称され、特に明記されない限り、相対屈折率が最も負である点で計算される。

【0042】

50

領域の屈折率がクラッド領域の平均屈折率よりも大である場合、相対屈折率パーセントは正であって、この領域は高められた領域若しくは正の屈折率を有する領域と称される。

【0043】

「屈折率上昇ドーパント」は、純粋な無ドーパント  $\text{SiO}_2$  に対して屈折率を上げる傾向を有するドーパントを称する。

【0044】

「屈折率下降ドーパント」は、純粋な無ドーパント  $\text{SiO}_2$  に対して屈折率を下げる傾向を有するドーパントを称する。

【0045】

1つ以上の屈折率上昇ドーパントでない他のドーパントを伴うなら、屈折率上昇ドーパントは負の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。同様に、1つ以上の屈折率上昇ドーパントでない他のドーパントは正の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。

【0046】

1つ以上の屈折率下降ドーパントでない他のドーパントを伴うなら、屈折率下降ドーパントは正の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。同様に、1つ以上の屈折率下降ドーパントでない他のドーパントは、負の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。

【0047】

特記されない限り「分散」と称される「クロマチック分散」は、材料分散、導波路分散及び多モード分散の合計である。シングルモード導波路ファイバの場合、多モード分散はゼロである。ゼロ分散波長は、分散がゼロの値を有する波長である。分散スロープは、波長に対する分散の変化率である。

【0048】

「有効面積」は、以下の如く定義される。

【数1】

$$A_{\text{eff}} = 2\pi ( \int f^2 r \, dr )^2 / ( \int f^4 r \, dr ),$$

ここで積分範囲は0から無限大、導波路を伝播する光に関連する電界を横切る成分である。ここで使用されるように、「有効面積」若しくは「 $A_{\text{eff}}$ 」は、特に明記されない限り、1550 nm 波長での光有効面積で参照される。

【0049】

「分布」の術語は、「%」を単位にした  $(r)$  で表される相対屈折率分布で参照される。ここで、 $r$  を半径とすると、

【数2】

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) (1 - |r - r_0| / (r_1 - r_0))^n,$$

である。 $r_0$  は  $(r)$  の最大位置、 $r_1$  は  $(r)$  % のゼロ点である。 $r$  は  $r_i$  以上  $r_f$  以下の範囲内、 $n$  は上記したと同様、 $r_i$  は分布の始点、 $r_f$  は分布の終点、 $n$  は実数の指数である。

【0050】

モードフィールド径 (MFD) は、ピーターマン II 法を使用して測定される。ここで、 $2W = \text{MFD}$  であり、

【数3】

$$w^2 = (2 \int f^2 r \, dr) / [ (df/dr)^2 r \, dr ],$$

積分範囲は0から無限大である。

【0051】

導波路ファイバの曲げ抵抗は、一定のテスト条件の下で誘起された減衰によって測定され得る。

【0052】

1つの曲げ試験は、横方向負荷マイクロ曲げテストである。このいわゆる「横方向の負荷」テストでは、一定長の導波路ファイバが2枚の平らなプレートの間に配置される。#70のワイヤ・メッシュがプレートの一方に取り付けられる。一定長の導波路ファイバがプレートに挟まれて、プレートが30ニュートンの力で押しつけられて基準減衰が測定される。次に、70ニュートンの力がプレートに加えられて、dB/m単位で減衰の増加が測定される。減衰の増加が導波路の横方向の負荷減衰である。

【0053】

「ピン配列」曲げ試験は、曲げに対する導波路ファイバの相対抵抗を比較するために用いられる。このテストを実行するために、導波路ファイバの減衰損失が実質的に曲げ損失を有さない状態で測定される。導波路ファイバがピン配列の周囲に沿って織り込まれて、減衰が再び測定される。曲げによって誘発される損失は、2つの測定された減衰の間の差である。ピン配列は、一直線上に並べられた一組10本の円筒形のピンであって、平らな表面上に垂直接固定されている。中心から中心のピン間隔は5mmである。ピン直径は0.67mmである。テストの間において、導波路ファイバをピンの表面の一部に適合させるように張力が与えられる。

【0054】

所与のモードでの理論ファイバ・カットオフ波長、若しくは、「理論ファイバ・カットオフ」、若しくは、「理論カットオフ」は、ガイドされた光がそのモードにおいて伝播させることができなくなる波長である。

【0055】

1990年にニューヨークのマルセル・デカー社から発行されたヤンホーム氏のシングルモード光ファイバの第39頁乃至第41頁に数学的定義が記載されている。理論的なファイバ・カットオフは、モード伝搬定数が外側クラッド内の平面波伝搬定数に等しくなる波長として記述される。この理論波長は、直径変差を有しない無限に長く、且つ、完全にまっすぐなファイバに適切である。

【0056】

曲げ及び/又は機械的圧力によって誘導される損失による実効ファイバ・カットオフは、理論的なカットオフ未満である。ここでは、カットオフはLP11及びLP02モードよりも高いものと参照される。LP11及びLP02は、一般的に測定値において区別されないが、両方とも、スペクトルの測定値においてステップとして明らかである。すなわち、測定されたカットオフよりも長波長のモードではパワーは観測されない。

【0057】

実際のファイバ・カットオフは、「ファイバ・カットオフ波長」を生じさせる標準の2mのファイバ・カットオフ・テスト、FOTP-80(EIA-TIA-455-80)で測定され得る。また、これは「2mのファイバ・カットオフ」若しくは「測定されたカットオフ」として公知である。FOTP-80標準テストは、制御された曲げ量を使用した高次数モードを取り除く、若しくは、多モードファイバのスペクトル反応にファイバのスペクトル反応を正規化するようにして実行される。

【0058】

ケーブル化カットオフ波長、若しくは、「ケーブル化カットオフ」は、ケーブル環境での高い曲げレベル及び機械的圧力において測定されたファイバ・カットオフよりも小さい。

【0059】

実際のケーブル化条件は、EIA-445光ファイバ光学テスト手順に記載されたケーブル化カットオフ・テストによって近似的に求められる。これは、EIA-TIA光ファイバ標準化、すなわち、エレクトロニクス・インダストリ・アライアンス・テレコミュニケーション・インダストリ・アソシエーション光ファイバ標準化、より一般的にはFOT

10

20

30

40

50

Pとして知られている。ケーブル化カットオフ測定値は、送信パワーによるシングルモードファイバのEIA-455-170のケーブルカットオフ波長、又は、「FOTP-170」で記載される。

【0060】

カッパは、特別な波長において分散スロープで割られた分散の比である。特記しない限り、カッパは1550nmの波長で求められる。

【0061】

特記しない限り、光学的性質（例えば分散、分散スロープ、その他）はLP01モードで求められる。

【0062】

導波路ファイバ・テレコミュニケーション・リンクまたは単にリンクは、光信号の送信機と、光信号の受信機と、その間で光信号を伝播させるために送信機及び受信機に光学的に連結される各端部を有する一定長さの導波路ファイバ又はファイバとを含む。一定長さの導波路ファイバはスライスされた複数の短い長さを含み、若しくは、端部と端部を直列に配列して互いに接続される。リンクは、例えば光増幅器、光減衰器、光アイソレータ、光スイッチ、光学フィルタ、若しくは、マルチプラクサ又はデマルチプラクサ装置の如き、追加の光学部品を含むことができる。これはテレコミュニケーション・システムとして一群の相互接続リンクを意味し得る。

【0063】

ここで使用される光ファイバのスパンは、一定長さの光ファイバと、若しくは、光学装置との間、例えば、2つの光増幅器の間、若しくは、マルチプレクサ装置と光増幅器との間において互いに直列に融着せしめられた複数の光ファイバとを含む。ここに開示のスパンは、光ファイバの1つ以上のセクションを含み、更に他の光ファイバの1つ以上のセクションを含み得て、例えば、スパンの終点における残余分散の如き所定のシステム性能若しくはパラメータを達成するように選択される。

【0064】

多くの波長バンド、若しくは、動作波長範囲、若しくは、波長窓は、次のように定義することができる：

【0065】

「1310nmバンド」は、1260nmから1360nmである。

【0066】

「Eバンド」は、1360nmから1460nmである。

【0067】

「Sバンド」は、1460nmから1530nmである。

【0068】

「Cバンド」は、1530nmから1565nmである。

【0069】

「Lバンド」は、1565nmから1625nmである。

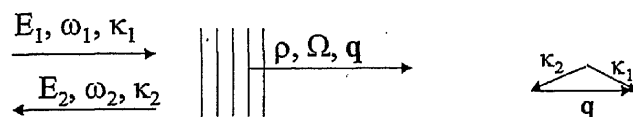
【0070】

「Uバンド」は、1625nmから1675nmである。

【0071】

光波が音響モードの存在する光導波路を伝播するときに、散乱光の周波数は以下の位相及び波動ベクトル・マッチング条件によって決定される：

【数4】



ここで、 $E_1$ 及び $E_2$ はそれぞれ入射及び反射光波の電界、 $\omega_1$ 及び $\omega_2$ はそれぞれの周波数

10

20

30

40

50

、 $k_1$ 及び $k_2$ はそれぞれの光波動ベクトル、 $\rho$ は材料密度、 $\omega$ は音響周波数、 $q$ は音響波ベクトルである。

【0072】

位相整合条件は、以下の通りである。

【数5】

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \omega_2 + \Omega \\ \mathbf{q} &= \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 \\ |\mathbf{q}| &= \kappa_1 + \kappa_2 \cong 2\kappa_1\end{aligned}$$

10

【0073】

ブリルアン周波数は、以下の通りである。

【数6】

$$\begin{aligned}\Omega &= |\mathbf{q}|v \\ \Omega &= 2\pi v \omega_1 / c\end{aligned}$$

【0074】

バルク・シリカのブリルアン周波数は約11GHzであり、 $v$ は音速である。

20

【0075】

三次元ブリルアン散乱を記述する電界は、以下の通りである。

【数7】

$$\begin{aligned}\text{入射場: } \tilde{E}_1(z,t) &= f(r) A_1(z,t) \exp[i(k_1 z - \omega_1 t)] + c.c. \\ \text{反射場: } \tilde{E}_2(z,t) &= f(r) A_2(z,t) \exp[i(k_2 z - \omega_2 t)] + c.c.\end{aligned}$$

ここで、 $f(r)$ は基本モード場に対応する電界の横成分であり、 $A_1(z, t)$ は電界のエンベロープである。「 $c.c.$ 」は第1項の複素共役を意味する。材料密度変化は以下の如く表される：

30

【数8】

$$\tilde{\rho}(r, \theta, t, z) = \rho_0 + \sum_n a_n f_n^n(r, \theta) \exp[i(q_n z - \Omega_n t)] + c.c.$$

ここで、 $q_n$ は波数、 $\rho_0$ は平均材料密度、 $\Omega_n$ は音響モードL01の音響周波数、 $c.c.$ は複素共役である。材料密度変化において、合計は第「 $n$ 」の弱ガイド音響モードに亘ってのもの、 $f_n^3(r)$ は音響エンベロープ関数、 $a_n$ はモード「 $n$ 」のモダル係数である。材料密度は、以下の音響波式に従う：

【数9】

40

$$\frac{\partial^2 \tilde{\rho}}{\partial t^2} - \Gamma \nabla^2 \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} - v^2(r) \nabla^2 \tilde{\rho} = -\frac{\gamma_e \nabla^2 \langle E^2 \rangle}{8\pi}$$

$\Gamma$ は減衰パラメータ、 $\epsilon_0$ は電場定数、 $v$ は音速である。

【0076】

音響場は、以下によって与えられる。

【数 1 0】

$$\begin{aligned}\tilde{\rho}(r, t, z) &= k \left( \sum_n b_n f_n^a(r) \right) A_1 A_2^* \exp[i(qz - \Omega t)] \\ &= k \rho_a(r) A_1 A_2^* \exp[i(qz - \Omega t)]\end{aligned}$$

ここで、

【数 1 1】

$$b_n = \iint f^2(r) f_n^a(r) r dr d\phi \quad 10$$

【数 1 2】

$$k = \frac{-i\gamma_e}{8\pi} \frac{q^2}{(i\Gamma - \Omega)\Gamma}$$

ここで、

【数 1 3】

$$f_n^a(r) \quad 20$$

は音響モード  $L 0 n$  の横成分、 $k$  はファイバの電気ひずみ係数に対する比例定数、 $a(r)$  は音響場の全横成分である。

【0 0 7 7】

音響場によって生じる屈折率変化は、音響場の振幅とほぼ比例している：

【数 1 4】

$$\Delta n \propto \tilde{\rho},$$

標準の摂動理論を使用すると、伝搬定数の変化は、

【数 1 5】

$$\begin{aligned}\Delta\beta &= \frac{k_0 \int_0^\infty \Delta n |f(r)|^2 r dr}{\int_0^\infty |f(r)|^2 r dr} \\ &= \frac{-k_0 n_{2eff}}{A_{eff}^{acoust}} A_1 A_2^* \exp[i(qz - \Omega t)] + c.c.\end{aligned}$$

である。

【0 0 7 8】

この工程での非線形・実効カー係数は、以下の通りである：

【数 1 6】

$$\gamma = \frac{2\pi n_{2eff}}{\lambda A_{eff}^{acoust}} \quad n_{2eff} = \frac{-i\gamma_e^2 q^2}{4(4\pi)^3 \rho_0 n (i\Gamma - \Omega)\Gamma}$$

ここで、 $L 0 n$  モードの音響光有効面積は以下の如く定義される：

30

40

【数 17】

$$A_{eff}^{ac} = \frac{2\pi \left[ \int_0^{\infty} [f(r)]^2 r dr \right]^2}{\int_0^{\infty} [f(r)]^2 b_n f_n(r) r dr}$$

【0079】

音響光学有効面積の値は、光ファイバのブリルアン周波数で算出される。

【0080】

光有効面積は、以下の通りである：

【数 18】

$$A_{eff}^{optical} = \frac{2\pi \left[ \int_0^{\infty} f^2(r) r dr \right]^2}{\int_0^{\infty} f^4(r) r dr}$$

【0081】

これら2つの有効面積は同じ分母を有する。しかしながら、音響光学有効面積の分母は音響及び光学場間で重複して計測される。この重複項が分母にあるから、重複が小さいと大なる音響光学有効面積となる。

【0082】

SBS利得係数は、ラマン増幅のそれらと同様の方程式によって決定される：

【数 19】

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_1}{\partial z} &= i\gamma |A_2|^2 A_1 \\ \frac{\partial A_2}{\partial z} &= -i\gamma^* |A_1|^2 A_2 \\ P_j &= |A_j|^2 \\ \frac{dP_1}{dZ} &= -gP_1P_2 \\ \frac{dP_2}{dZ} &= -gP_1P_2 \\ g &= 2\text{Im}(\gamma) = \frac{k_0 \gamma_e^2 g^2}{2A_{eff}^{acoust} (4\pi)^3 \rho_0 n \Omega \Gamma} \end{aligned}$$

ここで、 $k_0$  は光波数、 $\gamma_e^2$  は電歪係数、 $\rho_0$  は密度、 $n$  は屈折率、 $\Omega$  はブリルアン周波数、 $\Gamma$  はブリルアン配線幅である。SBS閾値はSBS利得係数及び配線幅の積に反比例するので、SBS利得係数及び配線幅は、できるだけ大きくなければならない。

【0083】

我々は、強い光学的性質及び大なる音響光学有効面積を有する導波路を設計した。製造した多数の光ファイバを測定して、音響光学有効面積と与えられるSBS利得係数との間の関係を検査した。

【0084】

特定の波長で光学的にシングルモード化された光導波ファイバは、同じ光波長で音響的にマルチモード化されてもよい。つまり、ブリルアン周波数に対応する音響波長が0.55ミクロンオーダーであって、典型的な光導波ファイバ大きさと比較して非常に小さいからである。比較的低い発射パワーでの自然ブリルアン散乱の場合、入射光学場は、各音響モード毎にブリルアン散乱され、ブリルアン増加スペクトルは、各音響モードとの光学場相互作用に対応するピークを示す。比較的高い発射パワーで、SBS閾値は限度を越える

10

20

30

40

50

と音響モードのうちの1が典型的には支配的になって、他の音響モードがモード競合を生き残らずに、誘導ブリュアン散乱の開始に至る。

【0085】

光学モード場及び音響モード場間の結合が増加するにつれ、光信号伝送の方向と反対側への望ましからざる光パワーの反射が生じる。

【0086】

ここに開示されるように、光及び音響モード間の結合は、ここに開示される光ファイバの屈折率分布を経て好ましくは減少する。好ましくは、音響場は光モード場及び音響場の間の重複を減じるためにより限定されると共に、光学モード場は延長されたままである。

【0087】

ここに開示される光ファイバは、光ファイバの中央線の方向に支配的な音響モード場（典型的にはL01）のモード場を引き入れる傾向があつて、結果として、音響及び光学場間の結合を減じるのである。更に、ここに開示される光ファイバは、光ファイバの中央線の方向に次に支配的な音響モード場（典型的にはL02）のモード場を引き入れる傾向があつて、結果として、次に支配的な音響及び光学場間の結合を減じるのである。

【0088】

通常、光ファイバの音響場は、光学場と比較してファイバの中央線の近傍でより局在化（典型的には、極端に局在化）する。したがって、音響場の挙動は、光ファイバのコアの中心部において、例えば、光ファイバの中央2ミクロン半径領域のファイバのコアの屈折率分布内の密度変化によって、非常に影響を受ける。

【0089】

高SBS閾値光ファイバを達成するために、光ファイバの最小音響光学面積ができる限り大でなければならないことを我々は見いだした。しかしながら、支配的な音響モード（一般的にL01）の音響光学面積と、第2に最も支配的な音響モード（一般的にL02）の音響光学面積とが一般的にできるだけ互いの大きさにおいて近くなければならないことも我々は見いだした。いかなる特定の理論にも制限されずに、これらの2つのモードの音響・光学面積の値が相対的に近いと2つの音響モード間の光学音響結合を分割するように現れて、他の音響光学面積が非常に大なる音響光学面積よりも非常に小さい故に、大きさにおいて非常に大なる1の音響光学面積を単に有することによっては可能とならない方法で、全体的な相乗効果的な結合を減じる。また、反射された信号の消散のための追加のパスを与えることにより、光学場は2以上の音響モードを連結することができる。

【0090】

ここに開示される光ファイバのブリルアン周波数は好ましくは約10から12GHzの間である。

【0091】

ここに開示される光ファイバは、コア及びこのコアを包囲し且つ直接接するクラッド層（又は、クラッド）を含む。クラッドは、屈折率分布 $n_{CLAD}(r)$ を有する。好ましくは、クラッド全体に亘って $n_{CLAD}(r) = 0$ である。コアは、屈折率分布 $n_{CORE}(r)$ を含む。コアは半径 $r_{MAX}$ における%単位の最大相対屈折率 $n_{MAX}$ を有する。好適な実施例において、コアは複数のコア部分を含み、各コア部分は、例えば $n_{CORE1}(r)$ 、 $n_{CORE2}(r)$ 等の屈折率分布を含む。各コア部分は、そのコア部分での最大相対屈折率を有し、すなわち、%単位での局所的な最大値、例えば第1のコア部分の $n_{1MAX}$ 、第2の部分の $n_{2MAX}$ 等である。同様に、コア部分は、 $n_{2MIN}$ 等の最小相対屈折率を有し得る。最大若しくは最小相対屈折率は、例えば $n_{1MAX}$ 若しくは $n_{2MIN}$ の特定の半径で生じ得る。ここで開示される実施例では、コアは半径 $r_{core}$ でその端部を画定させる。

【0092】

我々は、光ファイバ中心線上又はその近傍でのより高いドーパント濃縮によって、特に、光ファイバのコアの中心線でより厳しく音響モードを制限することを見いだした。

【0093】

好ましくは、コアはゲルマニウムを添加されたシリカ、すなわちゲルマニア添加シリカ

10

20

30

40

50

からなる。コアのドーピング、特に、好ましくは、コアの中央部におけるドーピングは、そのクラッドに対する相対的な光ファイバ・コア内の音速を減じ、音響場の全反射を引き起こす。コア内、特にここに開示される光ファイバの中央線上若しくはその近傍には、所定の屈折率及び密度を得るためのゲルマニウム以外のドーパントを単独若しくは組み合わせて使用され得る。高屈折率値（又は、屈折率上昇ドーパントの高いレベル）は中心線の方向に音響モード場を持ってくる傾向があるが、このような値も光有効面積を減少させる傾向がある。好適な実施例において、ここに開示される光ファイバのコアは、負でない屈折率分布、より好ましくは、正の屈折率分布を有し、コアはクラッドによって直に隣接するようにして包囲されている。

【0094】

好ましくは、ここで開示される光ファイバの屈折率分布は、中心線からコアの外側の半径  $r_{core}$  まで負ではない。好適な実施例において、光ファイバは、コア内の非屈折率減少ドーパントを含まない。

【0095】

ある好適な実施例において、コアの相対屈折率は、値  $n_{core}(r)$  を有し、これは、上部境界曲線と下部境界曲線との間にある。例えば、上部境界曲線（図1及び2内の「U1」によって示されている。）は少なくとも2点で定義される直線であって、これは半径ゼロで0.6%の  $n_{core}$  を有する第1の上限点、及び、半径  $14.25 \mu m$  で0%の  $n_{core}$  を有する第2の上限点を含む。例えば、下部境界曲線（図1及び2内の「L」によって示されている。）は少なくとも2点で定義される直線であって、これは半径ゼロで0.25%の  $n_{core}$  を有する第1の下限点、及び、半径  $6 \mu m$  で0%の  $n_{core}$  を有する第2の下限点を含む。

【0096】

コアは、中心線から約  $1 \mu m$  の半径まで展開する第1の部分を含む。

【0097】

好適な実施例において、 $n_{1MAX} > 0.4\%$ 、且つ、好ましくは、 $1550 nm$  での光有効面積が  $80 \mu m^2$ 、より好ましくは  $80$  から  $120 \mu m^2$ 、更に好ましくは、 $80$  から  $110 \mu m^2$  である。いかなる特定の理論にも制限されずに、 $n_{1MAX}$  の値は、ファイバの中央線の方向への音響モードの局地化若しくは「引き込みを」を強めるように現れる。加えて、我々はファイバのマイクロ曲げ損失を減じる  $n_{1MAX}$  の値を発見した。

【好適な実施例の第1組】

【0098】

表1は、実施例1及び2の好適な実施例の第1の組の一覧を示す。図1は、それぞれ曲線1及び2の実施例の屈折率分布に対応する。

10

20

30

【表 1】

表 1			
実施例:		実施例 1	実施例 2
分散(1310nm)	ps/nm-km	-1.81	-2.17
分散スロープ (1310nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.094	0.094
分散(1550nm)	ps/nm-km	16.56	16.16
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.064	0.064
カップ	nm	259	252
ゼロ分散波長	nm	1329	1333
減衰(1550nm)	dB/km	0.1858	0.1854
ピン配列曲げ (1550nm)	dB	9.55	26.16
A <sub>eff</sub> (1310nm)	μm <sup>2</sup>	67.6	70.2
MFD(1310nm)	μm	9.53	9.72
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	90	95.2
MFD(1550nm)	μm	11.0	10.36
LP11 カットオフ(理論値)	nm	1431	1331
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	197	218
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	233	235
比 : AOEAL01 / AOEAL02		1.18	1.08
SBS 閾値 (絶対値)	dB	10.3	10.7
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	3.5	3.9
α		0.67	0.57
Δ(r = 0)	%	0.53	0.52
Δ(r = 1)	%	0.41	0.39
Δ(0) - Δ(1)	%	0.12	0.13
Δ <sub>MAX</sub>	%	0.53	0.52
r <sub>ΔMAX</sub>	μm	0	0
Δ <sub>MAX</sub> - Δ(1)	%	0.12	0.13
Δ(r = 2 μm)	%	0.33	0.30
Δ(r = 2.5 μm)	%	0.29	0.26
Δ(r = 3 μm)	%	0.26	0.23
Δ(r = 3.5 μm)	%	0.23	0.20
Δ(r = 4 μm)	%	0.20	0.17
Δ(r = 4.5 μm)	%	0.17	0.14
Δ(r = 5 μm)	%	0.14	0.12
Δ(r = 5.5 μm)	%	0.11	0.09
Δ(r = 6 μm)	%	0.08	0.07
r <sub>CORE</sub>	μm	7.6	7.4

10

20

30

40

【0099】

ここに開示される実施例 1 及び 2 によって図示される光ファイバは、90 μm<sup>2</sup>よりも

50

大なる  $1550 \text{ nm}$  の光モード有効面積と、ファイバのブリルアン周波数で  $170 \mu\text{m}^2$  よりも小さくない第 1 の音響光学有効面積  $A_{OE} A_{L01}$  を有する第 1 の音響モード  $L01$  と、ファイバのブリルアン周波数で  $170 \mu\text{m}^2$  よりも小さくない第 2 の音響光学有効面積  $A_{OE} A_{L02}$  を有する第 2 の音響モード  $L02$  と、を有する。ここで、 $0.4 < A_{OE} A_{L01} / A_{OE} A_{L02} < 2.5$  である。

【0100】

好適な実施例において、ここに開示される実施例 1 及び 2 によって図示される光ファイバは、好ましくは以下の特性を有する。

$1550 \text{ nm}$  で  $15 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  よりも大、より好ましくは  $15$  から  $21 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  の間、更により好ましくは、 $15$  から  $17 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  の間にある分散、

10

$1550 \text{ nm}$  で  $0.07 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  未満、好ましくは  $0.05$  から  $0.07 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  の間にある分散スロープ、

$230$  から  $290 \text{ nm}$  の間にあるカップ、

$1400 \text{ nm}$  未満、好ましくは  $1340 \text{ nm}$  未満、更により好ましくは  $1310$  から  $1340 \text{ nm}$  の間、更に好ましくは  $1320$  から  $1340 \text{ nm}$  の間にある分散ゼロ波長、

$1550 \text{ nm}$  で  $90 \mu\text{m}^2$  よりも大、好ましくは  $90 \mu\text{m}^2$  から  $100 \mu\text{m}^2$  の間の光有効面積、

$1550 \text{ nm}$  で  $10 \mu\text{m}$  よりも大、好ましくは  $10$  から  $11 \mu\text{m}$  の間の光モードフィールド径、

$1550 \text{ nm}$  で  $20 \text{ dB}$  未満、好ましくは  $15 \text{ dB}$  未満、より好ましくは  $10 \text{ dB}$  未満のピン配列曲げ損失、

20

$1310 \text{ nm}$  で  $5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  未満、好ましくは  $3 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  未満の大きさを有する分散、

$1310 \text{ nm}$  で  $0.10 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  未満の分散スロープを有する。好ましくは、 $1550 \text{ nm}$  での減衰は  $0.2 \text{ dB/km}$  未満であり、好ましくは  $0.195 \text{ dB/km}$  未満、より好ましくは  $0.190 \text{ dB/km}$  未満、更により好ましくは  $0.188 \text{ dB/km}$  未満である。好ましくは、コアは  $< 1$ 、より好ましくは  $0.5$  から  $1$  の間の  $\alpha$  を有するアルファ分布を有する。

【好適な実施例の第 2 組】

【0101】

30

表 2 A 及び 2 B は、好適な実施例の第 2 組（実施例 3 乃至 7 及び 7 A 乃至 7 E）の一覧を示す。図 2 は、実施例 3 の対応する屈折率分布をそれぞれ曲線 3 乃至 7 に示した。図 2 A、2 B 及び 2 C は実施例 7 A、7 B - 7 C、及び 7 D - の 7 E の対応する屈折率分布を示す。

【表 2 A】

表 2A						
実施例:		実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6	実施例 7
分散(1310nm)	ps/nm-km	0.18	-0.066	0.01	0.085	1.41
分散(1550nm)	ps/nm-km	17.7	17.6	18.3	18.4	19.1
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.061	0.061	0.063	0.063	0.061
カッパ	nm	290	289	290	292	313
MFD1550	μm	10.96	10.96	10.19	11.6	11.76
減衰(1550nm)	dB/km	0.1869	0.1866	0.1855	0.1856	0.1858
ピン配列(1550nm)	dB	8.9	8.7	7.7	8.3	9.3
LP11カットオフ(理論値)	nm	1406	1410	1532	1528	1524
ゼロ分散波長	nm	1308	1311	1310	1294	1294
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	90.6	90.4	100.8	101.8	105.7
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	190	204	224	243	218
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	190	181	271	243	214
AOEA <sub>MIN</sub>	μm <sup>2</sup>	190	181	224	243	214
SBS 閾値 (絶対値)	dB	10.2	9.9	10.9	11.1	10.7
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	3.3	3.1	4.1	4.3	3.9
比: AOEAL01/AOEAL02		1.00	1.13	1.21	1.00	1.019
Δ(τ = 0)	%	0.45	0.47	0.44	0.45	0.40
Δ <sub>1</sub> (τ = 1)	%	0.39	0.40	0.41	0.41	0.36
Δ(0)-Δ(1)	%	0.06	0.07	0.03	0.04	0.04
Δ <sub>MAX</sub> (=Δ <sub>1MAX</sub> )	%	0.45	0.47	0.45	0.46	0.40
τ <sub>ΔMAX</sub> (=τ <sub>Δ1MAX</sub> )	μm	0	0	0.5	0.4	0

10

20

30

$\Delta_{MAX} - \Delta(1)$	%	0.06	0.07	0.04	0.05	0.04
$\Delta_{MAX} - \Delta(3.5)$	%	0.17	0.20	0.22	0.23	0.13
$\Delta(r = 1.5 \mu\text{m})$	%	0.34	0.34	0.36	0.35	0.32
$\Delta(r = 2 \mu\text{m})$	%	0.31	0.31	0.31	0.30	0.29
$\Delta(r = 2.5 \mu\text{m})$	%	0.29	0.29	0.26	0.26	0.28
$\Delta(r = 3 \mu\text{m})$	%	0.29	0.28	0.24	0.23	0.27
$\Delta(r = 3.5 \mu\text{m})$	%	0.28	0.27	0.23	0.23	0.27
$\Delta(r = 4 \mu\text{m})$	%	0.26	0.26	0.23	0.23	0.26
$\Delta(r = 4.5 \mu\text{m})$	%	0.21	0.21	0.23	0.23	0.25
$\Delta(r = 5 \mu\text{m})$	%	0.13	0.14	0.23	0.23	0.20
$\Delta(r = 5.5 \mu\text{m})$	%	0.06	0.07	0.21	0.21	0.13
$\Delta(r = 6 \mu\text{m})$	%	0.02	0.02	0.10	0.09	0.06
$r_{CORE}$	$\mu\text{m}$	6.5	6.5	6.6	6.6	6.9

10

20

【表 2 B】

表 2B						
実施例:		実施例 7A	実施例 7B	実施例 7C	実施例 7D	実施例 7E
分散 (1310nm)	ps/nm-km	-0.21	1.12	1.88	0.12	-0.70
分散 (1550nm)	ps/nm-km	18.2	19.6	20.0	18.6	17.6
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.063	0.064	0.063	0.064	0.064
カットパ	nm	289	306	317	291	275
MFD1550	$\mu\text{m}$	11.56	12.30	12.35	11.82	12.00
減衰 (1550nm)	dB/km	0.185	0.184	0.185	0.185	0.185
ピン配列 (1550nm)	dB	9.2	4.2	4.1	6.8	21.0
LP11 カットオフ (理論値)	nm	1515	1746	1739	1602	1468
ゼロ分散波長	nm	1312	1244	1232	1260	1274
$A_{eff}$ (1550nm)	$\mu\text{m}^2$	101.1	115.6	117.6	105.2	106.8

30

40

AOEA <sub>L01</sub>	$\mu\text{m}^2$	264	289	267	379	228
AOEA <sub>L02</sub>	$\mu\text{m}^2$	221	264	243	163	290
AOEA <sub>MIN</sub>	$\mu\text{m}^2$	221	264	243	163	228
SBS 閾値 (絶対値)	dB	10.2	11.8	11.5	9.7	11.2
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	3.4	5	4.7	2.9	4.4
比 : AOEAL01 / AOEAL02		1.2	1.09	1.10	2.3	0.79
$\Delta(r=0)$	%	0.49	0.44	0.40	0.52	0.43
$\Delta(r=0.5)$	%	0.465	0.43	0.39	0.52	0.39
$\Delta_1(r=1)$	%	0.41	0.39	0.36	0.38	0.36
$ \Delta(0)-\Delta(1) $	%	0.08	0.05	0.04	0.15	0.08
$\Delta_{MAX}$	%	0.49	0.44	0.40	0.52	0.43
$r_{\Delta MAX}$	$\mu\text{m}$	0	0	0	0	0
$\Delta_{2MIN}$	%	0.25	0.27	0.28	0.29	0.27
$r_{\Delta 2MIN}$	$\mu\text{m}$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
$\Delta_{MAX} - \Delta(1)$	%	0.08	0.05	0.04	0.15	0.08
$\Delta(r=1.5 \mu\text{m})$	%	0.36	0.35	0.33	0.29	0.32
$\Delta(r=2 \mu\text{m})$	%	0.29	0.31	0.30	0.29	0.29
$\Delta(r=2.5 \mu\text{m})$	%	0.25	0.27	0.28	0.29	0.27
$\Delta(r=3 \mu\text{m})$	%	0.24	0.25	0.26	0.28	0.24
$\Delta(r=3.5 \mu\text{m})$	%	0.24	0.24	0.25	0.26	0.21
$\Delta(r=4 \mu\text{m})$	%	0.23	0.24	0.25	0.24	0.19
$\Delta(r=4.5 \mu\text{m})$	%	0.23	0.24	0.25	0.19	0.17
$\Delta(r=5 \mu\text{m})$	%	0.21	0.23	0.25	0.15	0.14
$\Delta(r=5.5 \mu\text{m})$	%	0.16	0.23	0.23	0.15	0.12
$\Delta(r=6 \mu\text{m})$	%	0.10	0.20	0.20	0.15	0.10
$\Delta(r=6.5 \mu\text{m})$	%	0.04	0.15	0.13	0.15	0.08
$\Delta(r=7 \mu\text{m})$	%	0.01	0.08	0.06	0.05	0.06
$\Delta(r=7.5 \mu\text{m})$	%	0.00	0.03	0.02	0.00	0.04
$\Delta(r=8 \mu\text{m})$	%	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
$r_{CORE}$	$\mu\text{m}$	7.3	8.1	7.9	7.2	8.3

10

20

30

40

## 【0102】

ここに開示の実施例3乃至7及び7A乃至7Eに図示される光ファイバは、 $90 \mu\text{m}^2$

50

よりも大なる  $1550 \text{ nm}$ での光モード有効面積と、 $170 \mu\text{m}^2$ よりも小さくない第1の音響光学有効面積  $AOEA_{L01}$ を有する第1の音響モード  $L01$ と、 $170 \mu\text{m}^2$ よりも小さくない第2の音響光学有効面積  $AOEA_{L02}$ を有する第2の音響モード  $L02$ と、を有する。ここで、 $0.4 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$ である。好適な実施例において、 $0.5 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2$ であり、より好適には、 $0.6 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 1.5$ である。好ましくは、 $CORE(r)$ は、少なくとも2点で定義される直線である上部境界曲線(図1及び2内の「U2」によって示されている。)と、少なくとも2点で定義される直線である下部境界曲線(図1及び2内の「L」によって示されている。)の間にある。ここで、上部境界曲線は、 $CORE(r=0) = 0.6\%$ を有する第1上限点及び  $CORE(r=14.25 \mu\text{m}) = 0\%$ を有する第2上限点を有し、より好ましくは、 $CORE(r=0) = 0.5\%$ を有する第1上限点及び  $11.25 \mu\text{m}$ の半径で  $CORE(r=11.25 \mu\text{m}) = 0\%$ を有する第2上限点を含む。ここで、下部境界曲線は、 $CORE(r=0) = 0.25\%$ を有する第1下限点及び  $CORE(r=6 \mu\text{m}) = 0\%$ を有する第2下限点を含む。好ましくは、コアは中心線から  $1 \mu\text{m}$ の半径まで延在する第1の部分を含み、相対屈折率  $CORE(r)$ は、第1の部分の全体に亘って、 $0.25\%$ よりも大且つ  $0.5\%$ 未満(上部境界未満である)である。好適な実施例において、 $CORE1(r)$ は第1の部分の全体に亘って  $0.3\%$ よりも大且つ  $0.5\%$ 未満(上部境界未満である)である。好ましくは、コアは、第1の部分の部分を包囲するとともに直接接する第2の部分を含む。この第2の部分は、 $2.5 \mu\text{m}$ の半径まで延在している。ここで、 $CORE2(r)$ は、第2の部分の全体に亘って  $0.20\%$ から  $0.45\%$ (上部境界未満である)までの間にある。好適な実施例において、 $CORE2(r)$ は、 $r = 1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ で  $0.3\%$ よりも大且つ  $0.45\%$ 未満(上部境界未満である)である。また、好適な実施例において、 $CORE2(r)$ は、 $r = 1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ で  $0.2\%$ よりも大且つ  $0.35\%$ 未満(上部境界未満である)である。好ましくは、コアは、更に第2の部分の部分を包囲するとともに直に隣接する第3の部分を含む。この第3の部分は、 $4.5 \mu\text{m}$ の半径まで延在している。ここで、 $CORE3(r)$ は、第3の部分の全体に亘って  $0.15\%$ から  $0.35\%$ (上部境界未満である)までの間にある。好適な実施例において、 $CORE3(r)$ は第3の部分の全体に亘って  $0.20\%$ から  $0.30\%$ までの間にある。好適な実施例において、第3の部分の全ての半径の間で  $CORE3(r)$ の差の絶対的大きさは、 $0.1\%$ 未満である。好適な実施例において、 $r = 2 \sim 4 \mu\text{m}$ で平均値  $d / dR$ は  $0.1\% / \mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有し、より好ましくは、 $0.5\% / \text{nm}$ 未満である。好適な実施例において、平均  $d / dR$ は、 $r = 2.5 \sim 3.5 \mu\text{m}$ で  $0.1\%$ 未満の絶対大きさを有し、より好ましくは、 $0.05\% / \mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有する。好ましくは、 $(MAX - (3.5))$ は  $0.1\%$ よりも大、より好ましくは、 $0.15\%$ よりも大、更により好ましくは  $0.2\%$ よりも大である。好適な実施例において、 $(MAX - (3.5))$ は、約  $0.1\%$ から  $0.3\%$ までの間にある。他の好適な実施例において、 $(MAX - (3.5))$ は、約  $0.15\%$ から  $0.25\%$ までの間にある。好ましくは、コアは第3の部分の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第4の部分を含み、第4の部分は  $6 \mu\text{m}$ の半径まで延在する。ここで、 $CORE4(r)$ は、 $0.10\%$ から  $0.30\%$ までの間であって、より好ましくは、第4の部分に亘って、 $0.2\%$ から  $0.3\%$ まで(上部境界未満)の間にある。好適な実施例において、 $CORE4(r)$ は、 $r = 4.5 \sim 5$ で  $0.15\%$ から  $0.30\%$ まで(上部境界未満)の間にある。好適な実施例において、 $CORE4(r)$ は、 $r = 5 \sim 6$ までで、 $0.15\%$ から  $0.30\%$ までの間、好ましくは  $0.2\%$ から  $0.3\%$ まで(上部境界未満)の間にある。好ましくは、特により大なる光有効面積では、 $CORE(r=5.5) > 0.1\%$ 、より好ましくは  $0.15\%$ よりも大、さらにより好ましくは  $0.2\%$ よりも大である。特により大なる光有効面積の実施例では、好ましくは、 $CORE(r=6) > 0.0\%$ 、より好ましくは、 $CORE(r=6) > 0.05\%$ である。好ましくは、コアは第4の部分の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第5の部分を含み、第5の部分は  $9 \mu\text{m}$ の半径まで展開し、 $0.0\%$ から  $0.2\%$ まで(上部境界未満)の間の  $CORE5(r)$ を有し、少なくとも、第5の部分の一部の  $CORE5(r)$ は  $0\%$ よりも大である

。好適な実施例において、 $CORE_5(r)$ は、第5の部分内で0.0%から0.15%までの間にある。好適な実施例において、 $(r = 5.5 \mu m)$ は0.1%よりも大である。好ましくは、 $(r = 6 \mu m)$ は0%よりも大である。好ましくは、コアの最も外側の半径 $r_{core}$ は $6 \mu m$ よりも大であり、より好ましくは $6 \mu m$ よりも大且つ $15 \mu m$ 未満、更により好ましくは $6 \mu m$ よりも大且つ $12 \mu m$ 未満である。好適な実施例において、 $r_{core}$ は $6 \mu m$ から $10 \mu m$ の間にある。

#### 【0103】

好適な実施例において、ここに開示された実施例3乃至7及び7A乃至7Eによって示される光ファイバは好ましくは以下を有する。

1550nmで15ps/nm-kmよりも大、より好ましくは15から22ps/nm-kmまでの間、更により好ましくは、16から21ps/nm-kmまでの間の分散、

1550nmで0.07ps/nm<sup>2</sup>-km未満、好ましくは0.05から0.07ps/nm<sup>2</sup>-kmまでの間にある分散スロープ、

270から330nmまでの間にあるカップ、

1340nm未満、より好ましくは1320nm未満、更により好ましくは1220から1320nmまでの間にある分散ゼロ、

1550nmで $90 \mu m^2$ よりも大、より好ましくは $95 \mu m^2$ よりも大、更により好ましくは $90 \mu m^2$ から $120 \mu m^2$ までの間にある光有効面積、

1550nmで $10 \mu m$ よりも大、好ましくは10から13 $\mu m$ の間、より好ましくは10から12.5 $\mu m$ との間にある光モードフィールド径、

1550nmで約20dB未満、より好ましくは15dB未満、更により好ましくは10dB未満のピン配列曲げ損失、

1310nmで5ps/nm-km未満、より好ましくは3ps/nm-km未満の大きさを有する分散、

1310nmで0.10ps/nm<sup>2</sup>-km未満の分散スロープを有する。好ましくは、1550nmでの減衰は、0.20dB/km未満、より好ましくは0.19dB/km未満、更により好ましくは0.187dB/km未満である。

#### 【0104】

図3は、実施例1乃至7による光ファイバのファイバ半径に対する屈折率の変化、すなわち、 $d/dR$ を示した図である。

#### 【0105】

好ましくは、ここに開示される光ファイバの第1の部分の相対屈折率は、減衰及び偏波モード分散(PMD)に影響を及ぼし得る密度変化を減じるようにゆっくりと変化している。すなわち、相対屈折率分布のスロープ( $d/dR$ )は、第1の部分内の全ての半径で、好ましくは-0.20%/ $\mu m$ よりも大、第1の部分内の全ての半径( $r = 0 \sim 1 \mu m$ )で、好ましくは-0.15%/ $\mu m$ よりも大である。ある実施例では、 $n_{MAX}$ 及び $CORE(r = 1 \mu m)$ の間の差の絶対大きさは、好ましくは0.2%未満、より好ましくは0.15%未満、より好ましくは0.1%未満である。好ましくは、ここに開示される光ファイバのコアの第3の部分内の相対屈折率は、相対的に平坦であって、すなわちほぼ一定の値であり、曲げを改善して、約1310nm近傍の波長から離れたゼロ分散波長のシフトを最小にする。好ましくは、 $r = 2.5$ から $4.5$ の間の全ての半径の間で( $r$ )の絶対大きさは、0.1%未満である。好ましくは、平均 $d/dR$ は、 $r = 2 \sim 4 \mu m$ の間で、0.1%/ $\mu m$ 未満の絶対大きさを有する。好ましくは、平均 $d/dR$ は、 $r = 2.5 \sim 3.5 \mu m$ の間で、0.05%/ $\mu m$ 未満の絶対大きさを有する。

#### 【0106】

$AOEA_{L01}$ は $AOEA_{L02}$ よりも大であって、若しくは、 $AOEA_{L02}$ は $AOEA_{L01}$ より大であり得る。若しくは、 $AOEA_{L01}$ は実質的に $AOEA_{L02}$ に等しくてもよい。

#### 【0107】

好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、いずれも $400 \mu m^2$ 未満で

ある。他の好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、いずれも $300\mu m^2$ 未満である。

【0108】

好適な実施例では、 $0.5 < AOEAL_{01} / AOEAL_{02} < 2$ である。他の好適な実施例では、 $0.6 < AOEAL_{01} / AOEAL_{02} < 1.5$ である。

【0109】

図1及び2に示すクラッド又はクラッド層は、 $\epsilon_{CLAD} = 0$ であり、コアの外側領域を包囲するとともに、これに直に隣接する。

【0110】

実施例3乃至7及び7A乃至7Eは、内側領域（若しくは、中央領域）と、内側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する外側領域とを含むコアを有するように記載されている。コアの外側領域は、全ての位置で好ましくは正の屈折率を有する。好適な実施例において、内側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する外側領域の存在によって、所定波長若しくは所定波長内で所定の分散値を与えるのである。好ましくは、コアは中心線から $1\mu m$ の半径まで展開する第1の部分を含み、第1の部分は、 $0.25\%$ よりも大且つ $0.6\%$ 未満の相対屈折率を有し、より好ましくは、 $0.25\%$ よりも大且つ約 $0.5\%$ 未満の相対屈折率を有する。第1の部分において、屈折率は、 $n_{MAX} = n_{1MAX}$ に達した後は好ましくはなめらかに減少する。好適な実施例において、第1の部分は、全ファイバで最大 $n_{CORE}$ を含み、第1の部分内の相対屈折率分布は実質的に平坦部分を含み、第3の部分は、 $n_{MAX}$ 未満の $n_{3MAX}$ を含み、第3の部分内の相対屈折率分布は、実質的に平坦部分を含む。好適な実施例において、第3の部分の実質的部分は、実質的に平らな相対屈折率分布 $n_{CORE3}(r)$ を有する。

10

20

【0111】

表3は、ここに開示される2つのサンプル光ファイバの特性の一覧を示す。ここで実施例8及び9は外付け法（OVD）によって製造されている。

【表 3】

表 3			
実施例:		実施例 8	実施例 9
長さ	km	24.0	24.0
減衰(1310nm)	dB/km	0.326	0.328
減衰(1380nm)	dB/km	0.319	0.320
減衰(1550nm)	dB/km	0.190	0.191
2mファイバ カットオフ波長	nm	1412	1379
ケーブル化 カットオフ波長	nm	1273	1246
AOEA <sub>L01</sub>	$\mu\text{m}^2$	235	235
AOEA <sub>L02</sub>	$\mu\text{m}^2$	266	266
比:AOEA <sub>L01</sub> / AOEA <sub>L02</sub>		0.88	0.88
A <sub>eff</sub> (1550nm)	$\mu\text{m}^2$	103	101
MFD(1550nm)	$\mu\text{m}$	11.52	11.4
ゼロ分散波長	nm	1310	1308
分散(1310nm)	ps/nm-km	-0.014	0.062
分散(1550nm)	ps/nm-km	18.0	18.1
分散(1625nm)	ps/nm-km	22.5	22.6
分散スロープ(1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.062	0.063
カップ	nm	290	287
PMD	ps/sqrt(km)	0.019	0.016
ピン配列(1550nm)	dB	2.1	3.4
ピン配列(1620nm)	dB	3.1	5.2
20mm 径 マクロ曲げ	dB/turn	0.73	0.58

10

20

## 【0112】

30

実施例 8 及び 9 の相対屈折率分布は実質的に上記した実施例 5 に記載されている分布と同様であって、図 2 の曲線 5 によって参照される。約 11.9 dB の絶対 SBS 閾値は、互いにスライスされて、48 km の長さのファイバで計測された実施例 8 及び 9 で得られた。これは、登録商標 SMF-28、若しくは、登録商標 SMF-28e 光ファイバの同様の長さに亘って約 5.1 dB の SBS 閾値改良を与える。

## 【好適な実施例の第 3 の組】

## 【0113】

40

表 4 A 及び 4 B は、好適な実施例の第 3 の組（実施例 10 乃至 15 及び 15 A 乃至 15 D）の一覧を示す。図 6 乃至 11 は、各々、曲線 10 乃至 15 の実施例 10 乃至 15 の対応する屈折率分布を示す。また図 11 A 乃至 11 D は、各々、曲線 15 A 乃至 15 D の実施例 15 A 乃至 15 D の対応する屈折率分布を示す。

【表 4 A】

表 4A							
実施例:		実施例 10	実施例 11	実施例 12	実施例 13	実施例 14	実施例 1
分散(1310nm)	ps/nm-km	-0.74	-0.54	-0.38	-0.39	-0.25	-0.04
分散(1550nm)	ps/nm-km	17.2	16.9	17.3	17.3	17.5	17.4
分散(1625nm)	ps/nm-km	21.7	21.2	21.7	21.7	21.9	21.7
分散スロープ (1310nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.093	0.090	0.091	0.091	0.092	0.090
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.062	0.060	0.061	0.061	0.061	0.060
カッパ	nm	277	282	284	284	287	290
MFD1310	μm	9.72	9.31	9.48	9.47	9.93	9.4
MFD1550	μm	11.15	10.63	10.81	10.79	11.35	10.68
減衰(1550nm)	dB/km	0.1870	0.1884	0.1886	0.1876	0.1863	0.187
ピン配列(1550nm)	dB	15.1	9.5	9.2	7.95	19.2	7.1
LP11 カットオフ(理論値)	nm	1368	1348	1381	1396	1362	1390
ケーブル化カットオフ	nm	1218	1198	1231	1246	1212	1240
ゼロ分散波長	nm	1318	1316	1314	1314	1313	1311
A <sub>eff</sub> (1310nm)	μm <sup>2</sup>	71.5	66.0	68.6	68.2	74.9	67.7
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	93.1	84.8	88.0	87.5	96.7	86.0
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	228	174	191	183	273	181
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	201	189	181	194	186	180

10

20

30

AOEA <sub>MIN</sub>	μm <sup>2</sup>	201	174	181	183	186	180
比 : AOEAL <sub>01</sub> / AOEAL <sub>02</sub>		1.13	0.92	1.05	0.95	1.47	1.00
SBS 閾値 (絶対値)	dB	9.9	9.3	9.5	9.5	9.6	9.5
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	3.1	2.5	2.7	2.7	2.8	2.7
Δ(r = 0)	%	0.16	0.14	0.13	0.14	0.58	0.47
Δ <sub>1</sub> (r = 1)	%	0.40	0.43	0.44	0.43	0.37	0.40
Δ(0)-Δ(1)	%	0.24	0.29	0.31	0.29	0.21	0.07
Δ <sub>MAX</sub> (= Δ <sub>1MAX</sub> )	%	0.53	0.51	0.50	0.51	0.58	0.47
Γ <sub>ΔMAX</sub> (= Γ <sub>Δ1MAX</sub> )	μm	0.45	0.33	0.55	0.33	0	0
Δ <sub>2MIN</sub>	%	0.26	0.29	0.26	0.29	0.26	0.31
Γ <sub>Δ2MIN</sub>	μm	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Δ <sub>MAX</sub> - Δ <sub>2MIN</sub>	%	0.27	0.22	0.24	0.22	0.32	0.16
Δ <sub>MAX</sub> - Δ(3.5)	%	0.30	0.24	0.24	0.24	0.35	0.18
Δ <sub>MAX</sub> - Δ(1)	%	0.13	0.08	0.06	0.08	0.21	0.07
Δ(r = 1.5 μm)	%	0.34	0.36	0.36	0.36	0.32	0.35
Δ(r = 2 μm)	%	0.29	0.31	0.29	0.31	0.29	0.32
Δ(r = 2.5 μm)	%	0.26	0.29	0.26	0.29	0.26	0.31
Δ(r = 3 μm)	%	0.23	0.28	0.26	0.28	0.23	0.30
Δ(r = 3.5 μm)	%	0.23	0.27	0.26	0.27	0.23	0.29
Δ(r = 4 μm)	%	0.23	0.25	0.26	0.25	0.23	0.26
Δ(r = 4.5 μm)	%	0.23	0.20	0.26	0.20	0.23	0.19
Δ(r = 5 μm)	%	0.22	0.13	0.14	0.13	0.22	0.11
Δ(r = 5.5 μm)	%	0.01	0	0	0.06	0.01	0.04
Δ(r = 6 μm)	%	0	0	0	0.02	0	0.01
Γ <sub>CORE</sub>	μm	5.6	5.4	5.4	6.8	5.6	6.6

10

20

30

40

【表 4 B】

表 4B					
実施例:		実施例 15A	実施例 15B	実施例 15C	実施例 15D
分散(1310nm)	ps/nm-km	-0.4	-0.6	-0.3	-1.0
分散(1550nm)	ps/nm-km	17.1	16.8	17.2	17.0
分散(1625nm)	ps/nm-km	21.5	21.1	21.6	21.5
分散スロープ (1310nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.091	0.090	0.090	0.093
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.061	0.060	0.061	0.062
MFD1310	μm	9.36	9.52	9.59	9.23
MFD1550	μm	10.67	10.92	10.96	10.55
減衰(1550nm)	dB/km	0.1843	0.1841	0.1839	0.1837
ピン配列(1550nm)	dB	7.5	17.4	13.2	4.6
LP11 カットオフ(理論的)	nm	1384	1313	1355	1425
ケーブル化カットオフ	nm	1234	1163	1205	1275
ゼロ分散波長	nm	1315	1317	1314	1321
A <sub>eff</sub> (1310nm)	μm <sup>2</sup>	66.8	68.8	70.1	64.4
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	85.6	89.2	90.1	83.3
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	239	223	234	232
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	146	167	162	172
AOEA <sub>MIN</sub>	μm <sup>2</sup>	146	167	162	172
比 : AOEAL01 / AOEAL02		1.63	1.33	1.44	1.35
SBS 閾値 (絶対値)	dB	10.9	10.6	10.8	10.8
SBS 閾値改良 (SMF-28®光ファイバ)	dB	4.1	3.8	4.0	4.0
Δ(r=0)	%	0.55	0.49	0.50	0.67
Δ <sub>1</sub> (r=1)	%	0.41	0.38	0.38	0.43
Δ(0)-Δ(1)	%	0.14	0.11	0.12	0.24

10

20

30

40

$\Delta_{MAX} (= \Delta_{1MAX})$	%	0.55	0.49	0.50	0.67
$r_{\Delta MAX} (= r_{\Delta 1MAX})$	$\mu\text{m}$	0	0	0	0
$\Delta_{2MIN}$	%	0.31	0.29	0.29	0.34
$r_{\Delta 2MIN}$	$\mu\text{m}$	2.5	2.5	2.5	2.5
$\Delta_{MAX} - \Delta_{2MIN}$	%	0.24	0.20	0.21	0.33
$\Delta_{MAX} - \Delta(3.5)$	%	0.26	0.22	0.23	0.42
$\Delta_{MAX} - \Delta(1)$	%	0.14	0.11	0.12	0.24
$\Delta(r = 1.5 \mu\text{m})$	%	0.34	0.32	0.32	0.38
$\Delta(r = 2 \mu\text{m})$	%	0.31	0.29	0.29	0.34
$\Delta(r = 2.5 \mu\text{m})$	%	0.30	0.28	0.29	0.31
$\Delta(r = 3 \mu\text{m})$	%	0.30	0.28	0.28	0.28
$\Delta(r = 3.5 \mu\text{m})$	%	0.29	0.27	0.27	0.25
$\Delta(r = 4 \mu\text{m})$	%	0.26	0.23	0.24	0.23
$\Delta(r = 4.5 \mu\text{m})$	%	0.19	0.16	0.18	0.22
$\Delta(r = 5 \mu\text{m})$	%	0.11	0.09	0.11	0.22
$\Delta(r = 5.5 \mu\text{m})$	%	0.05	0.03	0.05	0.03
$\Delta(r = 6 \mu\text{m})$	%	0.01	0.01	0.01	0
$r_{CORE}$	$\mu\text{m}$	6.3	6.2	6.3	5.7

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 4 】

ここに開示される実施例 10 乃至 15 及び 15 A 乃至 15 D によって図示される光ファイバは、約  $80 \mu\text{m}^2$  よりも大なる  $1550 \text{nm}$  での光学モード有効面積と、 $170 \mu\text{m}^2$  未満でない第 1 の音響光学有効面積  $AOEA_{L01}$  を有する第 1 の音響モード  $L01$  と、 $170 \mu\text{m}^2$  未満でない第 2 の音響光学有効面積  $AOEA_{L02}$  を有する第 2 の音響モード  $L02$  と、を有する。ここで、 $0.4 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$  である。好ましくは、 $1550 \text{nm}$  での光モード有効面積は、約  $85 \mu\text{m}^2$  よりも大、より好ましくは約  $85$  から  $110 \mu\text{m}^2$  の間にある。ある好適な実施例において、 $1550 \text{nm}$  での光モード有効面積は、約  $85$  から  $100 \mu\text{m}^2$  の間にある。ある好適な実施例において、例えば図 10 乃至 13 において、コアはいわゆる中央線ディップを有する屈折率分布を含み得る。中央線ディップは、光ファイバを製造する 1 つ以上の方法の結果として形成され得る。好ましくはコアは、中央線から  $1 \mu\text{m}$  の半径まで延在し、中央線上若しくはそこから離間した位置の半径  $r_{MAX}$  で  $0.7\%$  未満、より好ましくは  $0.6\%$  未満の最大相対屈折率  $_{MAX} = \text{CORE1}(r)$  (パーセント単位) を好ましくは有する第 1 の部分を含む。相対屈折率  $_{CORE1}(r)$  は、 $r_{MAX}$  から  $r = 1 \mu\text{m}$  までの間の全ての半径で好ましくは  $0.25\%$  よりも大且つ  $0.7\%$  未満である。好適な実施例において、 $_{CORE1}(r)$  は  $r_{MAX}$  から  $r = 1 \mu\text{m}$  までの間の全ての半径で  $0.3\%$  よりも大且つ  $0.6\%$  未満である。好ましくは、コアは第 1 の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第 2 の部分を含み、第 2 の部分は  $2.5 \mu\text{m}$  の半径まで展開し、 $_{CORE2}(r)$  は、第 2 の部分の全体にわたって  $0.15\%$  から  $0.5\%$ 、好ましくは  $0.15\%$  から  $0.45\%$  の間にある。好適な実施例において、 $_{CORE2}(r)$  は、 $r = 1 \sim 1.5 \mu\text{m}$  までで  $0.3\%$  よりも大且つ  $0.45\%$  未満

、好適な実施例において、 $CORE_2(r)$ は、 $r = 1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ までで $0.2\%$ よりも大且つ $0.35\%$ 未満である。好ましくは、コアは第2の部分包围し且つこれに直に隣接する第3の部分を含み、第3の部分は、 $4.5 \mu\text{m}$ の半径まで展開しており、 $CORE_3(r)$ は第3の部分全体に亘って $0.15\%$ から $0.35\%$ までの間にある。好適な実施例において、 $CORE_3(r)$ は第3の部分の全体に亘って $0.20\%$ から $0.30\%$ の間にある。 $r = 4 \mu\text{m}$ で、好ましくは $CORE_3 > 0.2\%$ である。好ましくは、 $CORE_3(r)$ は、第3の部分の全体に亘って、 $0.15\%$ から $0.35\%$ まで、好ましくは $0.15\%$ から $0.3\%$ までの範囲内にある。好適な実施例において、第3の部分の全ての半径間において $CORE_3(r)$ の差の絶対大きさは $0.1\%$ 未満である。他の好適な実施例において、第3の部分の全ての半径間において $CORE_3(r)$ の差の絶対大きさは $0.05\%$ 未満である。好適な実施例において、平均 $d/dR$ は、 $r = 2 \sim 4 \mu\text{m}$ で $0.1\% / \mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有する。好適な実施例において、平均 $d/dR$ は、 $r = 2.5 \sim 3.5 \mu\text{m}$ で $0.05\% / \mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有する。好ましくは $(MAX - (3.5))$ は $0.1\%$ よりも大、より好ましくは、 $0.15\%$ よりも大、更により好ましくは $0.2\%$ よりも大である。好適な実施例では、 $(MAX - (3.5))$ は $0.10\%$ から $0.5\%$ の間にある。他の好適な実施例では、 $(MAX - (3.5))$ は $0.15\%$ から $0.4\%$ の間にある。他の好適な実施例では、 $(MAX - (3.5))$ は $0.20\%$ から $0.4\%$ の間にある。好ましくは、コアは第3の部分包围し且つこれに直に隣接する第4の部分を含み、第4の部分は、 $5$ から $12 \mu\text{m}$ までの間の半径、好ましくは $5$ から $10 \mu\text{m}$ までの間の半径に展開しており、 $CORE_4(r)$ は第4の部分全体に亘って $0\%$ から $0.30\%$ までの間にある。好適な実施例において、第4の部分の半径が増えると $CORE_4(r)$ は $0$ から $0.03\%$ の間の最小値まで $0.30\%$ 以下の最大正相対屈折率から減少する。好ましくは、クラッドは、第4の部分包围するとともにこれに直に隣接している。好ましくは、コア・エンド及びクラッド層の始点は、 $5 \mu\text{m}$ よりも大、好ましくは $5$ から $12 \mu\text{m}$ の範囲内、更により好ましくは、 $5$ から $10 \mu\text{m}$ の範囲内にある $r_{core}$ に位置する。

#### 【0115】

好適な実施例において、ここに開示された実施例10乃至15及び15A乃至15Dによって示される光ファイバは好ましくは以下を有する。

$1550 \text{ nm}$ で $15 \text{ ps/nm-km}$ よりも大、より好ましくは $15$ から $22 \text{ ps/nm-km}$ までの間、更により好ましくは、 $16$ から $21 \text{ ps/nm-km}$ までの間の分散

$1550 \text{ nm}$ で $0.07 \text{ ps/nm}^2 - \text{km}$ 未満、好ましくは $0.05$ から $0.07 \text{ ps/nm}^2 - \text{km}$ までの間にある分散スロープ、

$250$ から $300 \text{ nm}$ までの間にあるカップ、

$1340 \text{ nm}$ 未満、より好ましくは $1320 \text{ nm}$ 未満、更により好ましくは $1290$ から $1320 \text{ nm}$ までの間にある分散ゼロ、

$1550 \text{ nm}$ で $80 \mu\text{m}^2$ よりも大、より好ましくは $85 \mu\text{m}^2$ よりも大、更により好ましくは $85 \mu\text{m}^2$ から $110 \mu\text{m}^2$ までの間にある光有効面積、

$1550 \text{ nm}$ で $10 \mu\text{m}$ よりも大、好ましくは $10$ から $13 \mu\text{m}$ の間、より好ましくは $10$ から $12 \mu\text{m}$ との間にある光モードフィールド径、

$1550 \text{ nm}$ で約 $20 \text{ dB}$ 未満、より好ましくは $15 \text{ dB}$ 未満、更により好ましくは $10 \text{ dB}$ 未満のピン配列曲げ損失、

$1330 \text{ nm}$ で $5 \text{ ps/nm-km}$ 未満、より好ましくは $3 \text{ ps/nm-km}$ 未満の大きさを有する分散、

$1310 \text{ nm}$ で $0.10 \text{ ps/nm}^2 - \text{km}$ 未満の分散スロープを有する。好ましくは、 $1550 \text{ nm}$ での減衰は、 $0.2 \text{ dB/km}$ 未満、好ましくは $0.195 \text{ dB/km}$ 未満、より好ましくは $0.190 \text{ dB/km}$ 未満、更により好ましくは $0.185 \text{ dB/km}$ 未満である。

#### 【0116】

好ましくは、ここに開示される光ファイバのコアの第3の部分の相対屈折率は、相対的に平坦であり、すなわち、相対的に一定の値であって、曲げを改良して、約1310nmの波長から離れたゼロ分散波長のシフトを最小にするのである。好ましくは、 $r = 2.5 \sim 4.5$ の間の全ての半径の間で ( $r$ ) の差の絶対大きさは、0.1%未満である。好ましくは、平均  $d / dr$  は、少なくとも  $0.5 \mu\text{m}$  の半径方向距離及び  $r = 2 \sim 4 \mu\text{m}$  の位置で絶対大きさ0.1%/  $\mu\text{m}$  未満を有する。好ましくは、 $d / dr$  は、 $r = 2.5 \sim 3.5 \mu\text{m}$  の間で0.05%/  $\mu\text{m}$  未満の絶対大きさを有する。

【0117】

$AOEA_{L01}$  は  $AOEA_{L02}$  より大きくてもよく、または  $AOEA_{L02}$  は  $AOEA_{L01}$  より大きくてもよい。若しくは、 $AOEA_{L01}$  は実質的に  $AOEA_{L02}$  に等しくてもよい。

10

【0118】

好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、いずれも  $400 \mu\text{m}^2$  未満である。他の好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、いずれも  $300 \mu\text{m}^2$  未満である。

【0119】

好適な実施例において、 $0.5 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2$  である。他の好適な実施例において、 $0.6 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 1.5$  である。

【0120】

図6乃至11に示す  $\epsilon_{CLAD} = 0$  を有するクラッド若しくはクラッド層は、 $r_{core}$  でコアの外側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する。

20

【0121】

実施例10乃至15及び15A乃至15Dは、内側領域(若しくは中央領域)と、内側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する外側領域とを含むコアを有するものとして記載されている。コアの外側領域は、好ましくは正の屈折率である。好適な実施例において、内側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する外側領域の存在が所望の波長若しくは所望の波長範囲内で所望の分散値を提供する際の助けとなる。好ましくは、コアは中央線から  $1 \mu\text{m}$  の半径まで延在する第1の部分を含み、この第1の部分は0.25%よりも大且つ0.7%未満の最大相対屈折率を有する。図10乃至13に図示される曲線10乃至13は、1つ以上の光ファイバ製造法による生じ得るいわゆる「中央線ディップ」を示す。中央線ディップは、0.1%から0.3%の間の最小相対屈折率を有するように示されている。但し、中央線ディップは最大相対屈折率未満である他の値を仮定することができる。なお、第1の部分屈折率は、好ましくは最大値  $n_{MAX}$  に達した後、減少する。好ましくは、第1の部分は、全ファイバで最大  $n_{CORE}$  を含む。好ましくは、第3の部分は、 $n_{MAX}$  (及び  $n_{1MAX}$ ) 未満である  $n_{3MAX}$  を含み、第3の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む。より好ましくは、第3の部分の実質的部分(例えば  $1 \mu\text{m}$  よりも大なる半径方向幅)は、実質的に平坦な相対屈折率分布  $n_{CORE3}(r)$  を有する。

30

【好適な実施例の第4の組】

【0122】

表5A及び5Bは、好適な実施例16乃至20及び20C乃至20Fの第4の組の一覧を示す。図12乃至15は、曲線16乃至20の実施例16乃至20の対応する屈折率分布を示す。図15A乃至15Fは、曲線20A乃至20Fの実施例20A乃至20Fの対応する屈折率分布を示す。

40

【表 5 A】

表 5A						
実施例:		実施例 16	実施例 17	実施例 18	実施例 19	実施例 20
分散(1310nm)	ps/nm-km	0.04	-0.32	-0.44	0.14	-0.28
分散(1550nm)	ps/nm-km	17.4	16.9	17.2	17.5	17.3
分散(1625nm)	ps/nm-km	21.7	21.2	21.5	21.8	21.6
分散スロープ (1310nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.090	0.089	0.091	0.090	0.091
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.060	0.059	0.0605	0.060	0.060
カットパ	nm	290	286	284	292	288
MFD1310	μm	9.49	9.34	9.415	9.57	9.52
MFD1550	μm	10.77	10.66	10.73	10.86	10.85
減衰(1550nm)	dB/km	0.193	0.194	0.194	0.1925	0.193
ピン配列(1550nm)	dB	10.4	12.4	10.2	11.9	12.1
LP11 カットオフ(理論値)	nm	1369	1330	1369	1367	1366
ケーブル化カットオフ	nm	1219	1200	1219	1217	1216
ゼロ分散波長	nm	1310	1316	1314	1308	1313
A <sub>eff</sub> (1310nm)	μm <sup>2</sup>	70.9	68.4	69.7	72.4	71.7
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	89.2	86.8	88.5	90.9	90.7
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	232	225	239	298	315
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	236	219	254	224	243

10

20

30

AOEA <sub>MIN</sub>	μm <sup>2</sup>	232	219	239	224	243
比 : AOEAL <sub>L01</sub> / AOEAL <sub>L02</sub>		0.98	1.03	0.94	1.33	1.30
SBS 閾値 (絶対値)	dB	10.6	10.3	10.7	10.4	10.8
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	3.8	3.51	3.9	3.6	4.0
Δ(r = 0)	%	0.14	0.14	0.14	0.58	0.62
Δ <sub>1</sub> (r = 1)	%	0.44	0.44	0.47	0.41	0.43
Δ(0)-Δ(1)	%	-0.31	-0.30	-0.33	0.17	0.19
Δ <sub>MAX</sub> (=Δ <sub>1MAX</sub> )	%	0.53	0.54	0.57	0.58	0.62
Γ <sub>ΔMAX</sub> (=Γ <sub>Δ1MAX</sub> )	μm	0.53	0.55	0.53	0.00	0.00
Δ <sub>MAX</sub> - Δ(1)	%	0.09	0.10	0.10	0.17	0.19
Δ <sub>2MIN</sub>	%	0.22	0.22	0.20	0.22	0.20
Γ <sub>Δ2MIN</sub>	μm	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Δ <sub>3MAX</sub>	%	0.36	0.36	0.37	0.36	0.37
Δ <sub>1MAX</sub> - Δ <sub>2MIN</sub>	%	0.31	0.32	0.37	0.36	0.42
Δ <sub>3MAX</sub> - Δ <sub>2MIN</sub>	%	0.14	0.14	0.17	0.14	0.17
Δ <sub>1MAX</sub> - Δ <sub>3MAX</sub>	%	0.17	0.18	0.20	0.22	0.25
Δ(r = 1.5 μm)	%	0.34	0.33	0.34	0.32	0.32
Δ(r = 2 μm)	%	0.24	0.23	0.23	0.24	0.22
Δ(r = 2.5 μm)	%	0.22	0.22	0.20	0.22	0.20
Δ(r = 3 μm)	%	0.25	0.31	0.23	0.25	0.23
Δ(r = 3.5 μm)	%	0.36	0.36	0.37	0.36	0.37
Δ(r = 4 μm)	%	0.36	0.36	0.37	0.36	0.37
Δ(r = 4.5 μm)	%	0.24	0.10	0.25	0.24	0.25
Δ(r = 5 μm)	%	0	0	0	0	0
Δ(r = 5.5 μm)	%	0	0	0	0	0
Δ(r = 6 μm)	%	0	0	0	0	0
Γ <sub>CORE</sub>	μm	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9

10

20

30

40

【表 5 B】

表 5B					
実施例:		実施例 20C	実施例 20D	実施例 20E	実施例 20F
分散(1310nm)	ps/nm-km	-0.51	-0.33	-0.48	-0.20
分散(1550nm)	ps/nm-km	16.6	16.7	16.5	16.7
分散(1625nm)	ps/nm-km	20.9	20.9	20.7	20.9
分散スロープ (1310nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.089	0.088	0.088	0.088
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.059	0.059	0.059	0.058
カップ	nm	281	283	280	288
MFD1310	μm	9.06	9.04	9.03	9.07
MFD1550	μm	10.33	10.29	10.30	10.32
減衰(1550nm)	dB/km	0.196	0.197	0.198	0.198
ピン配列(1550nm)	dB	8.5	7.9	9.3	8.8
LP11 カットオフ(理論値)	nm	1330	1330	1320	1327
ケーブル化カットオフ	nm	1210	1210	1199	1207
ゼロ分散波長	nm	1319	1317	1318	1315
A <sub>eff</sub> (1310nm)	μm <sup>2</sup>	64.7	64.4	65.0	65.7
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	81.9	81.2	81.9	82.3
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	242	203	271	260
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	245	259	232	235
AOEA <sub>MN</sub>	μm <sup>2</sup>	242	203	232	235
比:AOEA <sub>L01</sub> /AOEA <sub>L02</sub>		0.99	0.78	1.17	1.10
SBS 閾値 (絶対値)	dB	11.0	10.0	11.4	11.2
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	4.2	3.2	4.6	4.4

10

20

30

40

$\Delta(r=0)$	%	0.44	0.16	0.59	0.56
$\Delta_1(r=1)$	%	0.43	0.43	0.41	0.40
$\Delta(0)-\Delta(1)$	%	0.02	-0.28	0.18	0.16
$\Delta_{MAX} = \Delta_{1MAX}$	%	0.57	0.56	0.60	0.57
$\Gamma_{\Delta MAX} = \Gamma_{\Delta 1MAX}$	$\mu\text{m}$	0.4	0.5	0.2	0.2
$\Delta_{2MIN}$	%	0.24	0.26	0.23	0.24
$\Gamma_{\Delta 2MIN}$	$\mu\text{m}$	2.5	2.5	2.5	2.5
$\Delta_{MAX} - \Delta(1)$	%	0.14	0.13	0.19	0.17
$\Delta_{3MAX}$	%	0.48	0.50	0.50	0.50
$\Gamma_{\Delta 3MAX}$	$\mu\text{m}$	3.65	3.7	3.45	3.55
$\Delta_{1MAX} - \Delta_{2MIN}$	%	0.33	0.30	0.37	0.33
$\Delta_{3MAX} - \Delta_{2MIN}$	%	0.24	0.24	0.27	0.26
$ \Delta_{1MAX} - \Delta_{3MAX} $	%	0.09	0.06	0.10	0.07
$\Delta(r=1.5 \mu\text{m})$	%	0.33	0.34	0.32	0.32
$\Delta(r=2 \mu\text{m})$	%	0.26	0.27	0.25	0.26
$\Delta(r=2.5 \mu\text{m})$	%	0.24	0.26	0.23	0.24
$\Delta(r=3 \mu\text{m})$	%	0.27	0.26	0.33	0.33
$\Delta(r=3.5 \mu\text{m})$	%	0.47	0.48	0.50	0.50
$\Delta(r=4 \mu\text{m})$	%	0.38	0.39	0.29	0.29
$\Delta(r=4.5 \mu\text{m})$	%	0.01	0.00	0.00	0.00
$\Delta(r=5 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Delta(r=5.5 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Delta(r=6 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Gamma_{CORE}$	$\mu\text{m}$	4.55	4.45	4.45	4.45

10

20

30

## 【 0 1 2 3 】

曲線 20A の実施例 20A の屈折率分布を示す図 15A において、好適な実施例の第 4 40  
 の組の他の好適な実施例が図示される。この光ファイバは以下の特性を有する：

- 1310 nm で 2.06 ps / nm - km の分散、
- 1550 nm で 19.7 ps / nm - km の分散、
- 1550 nm で 0.061 ps / nm<sup>2</sup> - km の分散スロープ、
- 323 nm のカットオフ、
- 1550 nm で 10.65  $\mu\text{m}$  のモードフィールド径 (MFD 1550)、
- 1550 nm で 0.193 dB / km の減衰、
- 1550 nm で 7.2 dB のピン配列、
- 1578 nm の LP<sub>11</sub> のカットオフ (理論上)、
- 1287 nm のゼロ分散波長、

50

1550 nmで111.9  $\mu\text{m}^2$ の $A_{\text{eff}}$ 、  
 3.75  $\mu\text{m}^2$ の $AOEA_{L01}$ 、  
 349  $\mu\text{m}^2$ の $AOEA_{L02}$ 、  
 349  $\mu\text{m}^2$ の $AOEA_{\text{MIN}}$ 、  
 1.07の $AOEA_{L01} / AOEA_{L02}$ 比、  
 0、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5、5.5、6、6.5の各半径で、0.50、0.43、0.36、0.30、0.25、0.22、0.22、0.22、0.35、0.37、0.37、0.04、0、0%の相対屈折率差、  
 0.14%の $r_{\text{MAX}}$  ( $r = 1$ )、  
 0.50%の $r_{\text{MAX}}$ 、  
 0  $\mu\text{m}$ の $r_{\text{MAX}}$ 、及び  
 5.7  $\mu\text{m}$ の $r_{\text{core}}$ である。

10

## 【0124】

曲線20Bで実施例20Bの屈折率分布を示す図15Bにおいて、好適な実施例の第4の組の他の好適な実施例が図示される。この光ファイバは以下の特性を有する：

1310 nmで-0.64 ps / nm - kmの分散、  
 1310 nmで0.0889 ps / nm<sup>2</sup> - kmの分散スロープ、  
 1550 nmで16.6 ps / nm - kmの分散、  
 1550 nmで0.0596 ps / nm<sup>2</sup> - kmの分散スロープ、  
 279 nmのカッパ、  
 1625 nmで20.9 ps / nm - kmの分散、  
 10.65  $\mu\text{m}$ の1550 nmでのモードフィールド径 (MFD 1550)、  
 1196 mのケーブル化カットオフ、  
 1380 nmで0.293 dB / kmの減衰、  
 1550 nmで0.191 dB / kmの減衰、  
 1550 nmで11.4 dBでのピン配列、  
 1550 nmで0.73 dBの横方向負荷減衰、  
 1333 nmのLP11のカットオフ (理論上)、  
 1317 nmのゼロ分散波長、  
 1550 nmで86.8  $\mu\text{m}^2$ の $A_{\text{eff}}$ 、  
 216  $\mu\text{m}^2$ の $AOEA_{L01}$ 、  
 200  $\mu\text{m}^2$ の $AOEA_{L02}$ 、  
 200  $\mu\text{m}^2$ の $AOEA_{\text{MIN}}$ 、  
 1.08の $AOEA_{L01} / AOEA_{L02}$ 比、  
 0、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5、5.5、6、6.5、7、7.5、8  $\mu\text{m}$ の各半径で、0.40、0.54、0.45、0.32、0.23、0.23、0.36、0.38、0.30、0.06、0.03、0.02、0.01、0.01、0.01、0.01、0.01%の相対屈折率差、  
 0.09%の $r_{\text{MAX}}$  ( $r = 1$ )、  
 0.54%の $r_{\text{MAX}}$ 、  
 0.43  $\mu\text{m}$ の $r_{\text{MAX}}$ 、及び  
 8.2  $\mu\text{m}$ の $r_{\text{core}}$ である。

20

30

40

実施例20BはOVD法を用いて製造される。50 kmの長さのファイバで測定されたSBS閾値は10.45 dBであった。若しくは、コーニング社によって製造される登録商標SMF-28及びSMF-28eの同じ長さに亘って約3.65 dB改良された。

## 【0125】

OVD法を用いて製造された曲線20Gの実施例20Gの屈折率分布を示す図15Eにおいて、好適な実施例の第4の組の他の好適な実施例が図示される。実施例20Gは、実施例20Cと同様の光特性を呈した。実施例20Gの光ファイバの測定値は以下の如きで

50

ある：

1310nmで0.334dB/kmの減衰、  
 1380nmで0.310dB/kmの減衰、  
 1550nmで0.192dB/kmの減衰、  
 1310nmで $9.14\mu\text{m}^2$ のMFD、  
 1180nmのケーブル化カットオフ、  
 1317nmのゼロ分散、  
 $0.0884\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ のゼロ分散での分散スロープ、  
 5mのサンプルを20mmの直径マンドレルの周囲に5回巻いたときに1.27dB/mのマクロ曲げ損失、  
 5mのサンプルで0.55dB/mの横方向加重マイクロ曲げ損失、  
 11dBの絶対SBS閾値、コーニング社によって製造される登録商標SMF-28及びSMF-28eの同じ長さに対して約4.2dB改良されたSBS閾値を有する。実施例20Gは、 $r=0$ で0.64%の $\alpha_{\text{MAX}} (= \alpha_{1\text{MAX}})$ 、約 $r=3.6$ で0.49%の $\alpha_{3\text{MAX}}$ を有する。

【0126】

OVD法を用いて製造された曲線20Hの実施例20Hの屈折率分布を示す図15Fにおいて、好適な実施例の第4の組の他の好適な実施例が図示される。実施例20Hは、実施例20dと同様の光特性を呈した。実施例20Hの光ファイバの測定値は以下の如きである：

1310nmで0.335dB/kmの減衰、  
 1380nmで0.320dB/kmの減衰、  
 1550nmで0.195dB/kmの減衰、  
 1310nmで $9.10\mu\text{m}^2$ のMFD、  
 1185nmのケーブル化カットオフ、  
 1314nmのゼロ分散、  
 $0.0878\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ のゼロ分散での分散スロープ、  
 5mのサンプルで2.0mmの直径マンドレルの周囲を5回巻回したとき3.24dB/mのマクロ曲げ損失、  
 5mのサンプルで0.53dB/mの横方向負荷マイクロ曲げ損失、  
 11.0dBの絶対SBS閾値、  
 登録商標SMF-28又はSMF-28e光ファイバの同様の長さに対して、約4.2dBのSBS閾値改良を有する。実施例20Hは、 $r=0.4\mu\text{m}$ で0.56%の $\alpha_{\text{MAX}} (= \alpha_{1\text{MAX}})$ 、約 $r=3.6$ で0.51%の $\alpha_{3\text{MAX}}$ を有する。

【0127】

実施例16乃至20及び20A乃至20Hで図示される光ファイバは、約 $80\mu\text{m}^2$ よりも大なる1550nmでの光学モード有効面積と、 $170\mu\text{m}^2$ 未満でない第1音響光学有効面積 $\text{AOEA}_{L01}$ を有する第1の音響モード $L01$ と、 $170\mu\text{m}^2$ 未満でない第2音響光学有効面積 $\text{AOEA}_{L02}$ を有する第2の音響モード $L021$ とを有する。ここで、 $0.4 < \text{AOEA}_{L01} / \text{AOEA}_{L02} < 2.5$ である。好ましくは、1550nmでの光学モード有効面積は、約 $80\mu\text{m}^2$ よりも大、より好ましくは約80から $110\mu\text{m}^2$ の間にある。ある好適な実施例において、1550nmでの光学モード有効面積は、約80から $110\mu\text{m}^2$ の間にある。他の好適な実施例において、1550nmでの光学モード有効面積は、約80から $95\mu\text{m}^2$ の間にある。ある好適な実施例において、例えば図12、13、15B、15C、15E及び15Fにおいて、コアは1つ以上の光ファイバ製造法の結果として得られるいわゆる中央線ディップを有する相対屈折率分布を含むことができる。しかしながら、ここに開示される屈折率分布の全ての中央線ディップは任意である。好ましくは、コアは中央線から $1\mu\text{m}$ の半径まで延在する第1の部分を含み、好ましくはこの第1の部分は、0.7%未満、好ましくは0.6%未満の第1の部分における最大相対屈折率 $\alpha_{\text{MAX}} = \alpha_{1\text{MAX}}$  (パーセント単位)を有する。なおこれは半径 $r_{\text{MAX}}$ で生じる。相

10

20

30

40

50

対屈折率  $CORE1(r)$  は、 $r_{MAX}$  から  $r = 1 \mu m$  までの全ての半径で好ましくは  $0.25\%$  よりも大且つ  $0.7\%$  未満である。好適な実施例において、 $CORE1(r)$  は、 $r_{MAX}$  から  $r = 1 \mu m$  までの間の全ての半径で  $0.3\%$  よりも大且つ  $0.6\%$  未満である。好ましくは、コアは第1の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第2の部分を包囲し、第2の部分は  $2.5 \mu m$  の半径、 $CORE2(r)$  は、第2の部分の全体に亘って、 $0.15\%$  から  $0.5\%$  まで、好ましくは  $0.15\%$  から  $0.45\%$  までの間である。好適な実施例において、 $CORE2(r)$  は  $r = 1 \sim 1.5 \mu m$  の範囲で  $0.3\%$  よりも大且つ  $0.45\%$  未満、好適な実施例において、 $CORE2(r)$  は  $r = 1.5 \sim 2.5 \mu m$  の範囲で約  $0.1\%$  よりも大且つ約  $0.35\%$  未満である。第2の部分は、好ましくは  $0.3\%$  未満、より好ましくは  $0.25\%$  未満の最小相対屈折率  $2_{MIN}$  (パーセント単位) を含む。好ましくは、 $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は、 $0.25\%$  よりも大である。好適な実施例において、 $1_{MAX}$  及び  $2_{MIN}$  の間の差  $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は、 $0.3\%$  よりも大きい。他の好適な実施例において、 $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は  $0.35\%$  よりも大である。ある好適な実施例において、 $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.3\%$  から約  $0.5\%$  の間にある。他の好適な実施例において、 $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.3\%$  から約  $0.4\%$  の間にある。好ましくは、コアは第2の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第3の部分を包囲し、第3の部分は  $4.5 \mu m$  の半径まで展開している。好適な実施例において、 $r = 4 \mu m$  で  $CORE3$  は約  $0.2\%$  よりも大である。第3の部分は、 $2_{MIN}$  よりも大且つ  $1_{MAX}$  未満の最大相対屈折率  $3_{MAX}$  (パーセント単位) を含む。好ましくは、 $3_{MAX}$  から  $2_{MIN}$  の間の差  $(3_{MAX} - 2_{MIN})$  は、 $0.10\%$  よりも大である。ある好適な実施例において、 $(3_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.1\%$  から約  $0.3\%$  の間にある。他の好適な実施例において、 $(3_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.1\%$  から約  $0.2\%$  の間にある。他の好適な実施例において、 $(3_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.2\%$  から約  $0.3\%$  の間にある。好適な実施例の1のサブセットにおいて、 $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.3\%$  から  $0.4\%$  の間であって、 $(3_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.1\%$  から  $0.2\%$  の間である。他の好適な実施例の1のサブセットにおいて、 $(1_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.3\%$  から  $0.4\%$  の間であって、 $(3_{MAX} - 2_{MIN})$  は約  $0.2\%$  から  $0.3\%$  の間である。好ましくは、 $CORE3(r)$  は、 $0\%$  から約  $0.6\%$  まで、好ましくは  $0\%$  から  $0.55\%$  まで、更に好ましくは  $0\%$  から  $0.5\%$  までの範囲内にある。ある好適な実施例において、 $CORE3(r)$  は第3の部分において約  $0.1\%$  から約  $0.5\%$  の間にある。好ましくは、コアは第3の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第4の部分を包囲し、第4の部分は、 $4.5$  から  $12 \mu m$  までの間にある半径、より好ましくは  $4.5$  から  $10 \mu m$  までの間にある半径まで展開している。 $CORE4(r)$  は第4の部分全体に亘って  $0\%$  から  $0.4\%$  の間にある。好適な実施例において、半径が増加すると  $CORE4(r)$  は、 $0.4\%$  以下の最大正相対屈折率から、 $0$  から  $0.03\%$  までの間の最低相対屈折率まで減少する。好ましくは、相対屈折率は  $6 \mu m$  から  $25 \mu m$  の間の全ての半径で  $0.03\%$  未満である。好ましくは、クラッドは第4の部分を包囲し且つこれに直に隣接する。好ましくは、コアの終点、すなわちクラッドの始点位置は、 $4.5 \mu m$  よりも大であり、好ましくは  $4.5$  から  $12 \mu m$  までの間であり、より好ましくは  $5$  から  $10 \mu m$  までの間である。

#### 【0128】

好適な実施例において、ここに開示された実施例16乃至20及び20A乃至20Hによって示される光ファイバは好ましくは以下を有する：

$1550 nm$  で  $15 ps/nm-km$  よりも大、より好ましくは  $15$  から  $22 ps/nm-km$  までの間、更により好ましくは、 $16$  から  $21 ps/nm-km$  までの間の分散と、

$1550 nm$  で  $0.07 ps/nm^2-km$  未満、好ましくは  $0.05$  から  $0.07 ps/nm^2-km$  までの間にある分散スロープと、

$270$  から  $330 nm$  のカップと、

$1340 nm$  未満、より好ましくは  $1320 nm$  未満、更により好ましくは  $1270$  から  $1320 nm$  までの間にある分散ゼロと、

10

20

30

40

50

1550 nmで80  $\mu\text{m}^2$ よりも大、より好ましくは85  $\mu\text{m}^2$ よりも大、更により好ましくは85  $\mu\text{m}^2$ から110  $\mu\text{m}^2$ までの間にある光有効面積と、

1550 nmで10  $\mu\text{m}$ よりも大、好ましくは10から13  $\mu\text{m}$ の間、より好ましくは10から12  $\mu\text{m}$ の間にある光モードフィールド径と、

1550 nmで約20 dB未満、より好ましくは15 dB未満、更により好ましくは10 dB未満のピン配列曲げ損失と、

1310 nmで5 ps / nm - km未満、より好ましくは3 ps / nm - km未満の大きさを有する分散と、

1310 nmで0.10 ps / nm<sup>2</sup> - km未満の分散スロープとを有する。好ましくは、横方向荷重曲げ損失は、1 dB / m未満、より好ましくは、0.7 dB / m未満である。好ましくは、20 mmのマクロ曲げ損失は、5 dB / m未満、より好ましくは、2 dB / m未満である。 10

#### 【0129】

好ましくは、コアの第3の部分に  $r_{3\text{MAX}}$ を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $r = 3.5 \sim 4 \mu\text{m}$ の間の全ての半径の間で ( $r$ )の差の絶対大きさは、0.1%未満であり、より好ましくは0.05%未満である。好ましくは、 $r_{2\text{MIN}}$ を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $d / dr$ は、 $r = 2 \sim 3$ の間で0.05% /  $\mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有する。

#### 【0130】

$AOEA_{L01}$ は、 $AOEA_{L02}$ より大きい。若しくは、 $AOEA_{L02}$ は、 $AOEA_{L01}$ よりも大きい、若しくは、 $AOEA_{L01}$ は実質的に $AOEA_{L02}$ に等しい。 20

#### 【0131】

好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、ともに400  $\mu\text{m}^2$ 未満である。他の好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、ともに300  $\mu\text{m}^2$ 未満である。

#### 【0132】

好適な実施例において、 $0.5 < AOEAL_{01} / AOEAL_{02} < 2$ である。他の好適な実施例において、 $0.6 < AOEAL_{01} / AOEAL_{02} < 1.5$ である。

#### 【0133】

図12乃至15及び図15A乃至15Fに示す  $\epsilon_{\text{CLAD}} = 0$ を有するクラッド若しくはクラッド層は、 $r_{\text{core}}$ でコアの外側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する。 30

#### 【0134】

実施例16乃至20及び20A乃至20Hは、内側領域(中央領域)と、内側領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域(モート領域)と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域(リング領域)と、を含むコアを有するように記載されている。コアは、好ましくは全体に正の屈折率を有する。好ましくは、内側領域は全ファイバで最大  $\epsilon_{\text{CORE}}$  (すなわち、 $\epsilon_{1\text{MAX}}$ )を含み、中間領域は  $\epsilon_{2\text{MIN}}$ を含み、外側領域は  $\epsilon_{3\text{MAX}}$ を含む。ここで、 $\epsilon_{1\text{MAX}} > \epsilon_{3\text{MAX}} > \epsilon_{2\text{MIN}} > 0$ である。好ましくは、第1の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む。第3の部分は、 $\epsilon_{1\text{MAX}}$ 未満である  $\epsilon_{3\text{MAX}}$ を含む。好ましくは、第3の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む、より好ましくは、第3の部分の実質的な部分は、実質的に平坦な相対屈折率分布  $\epsilon_{\text{CORE3}}(r)$ を有する。 40

#### 【0135】

好適な実施例の1のサブセットにおいて、ここに開示される光ファイバは、内側領域又は中央コア領域と、内側領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域又はモート領域と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域またはリング領域とを有する。ここで、1550 nmでの光有効面積は、好ましくは80  $\mu\text{m}^2$ より大であって、好ましくは80  $\mu\text{m}^2$ から90  $\mu\text{m}^2$ の間であって、1550 nmで16 ps / nm - kmよりも大、より好ましくは16から19 ps / nm - kmの間の分散、好ましくは1320 nm未満、好ましくは1270から1320 nmまでの間のゼロ分散波長、好ましくは0.07 p 50

$s / nm^2 - km$ 未満の1550nmでの分散スロープを含む。好ましくは、クラッド( = 0%) は外側領域若しくはリング領域の外周を包囲し且つこれに直に隣接している。

【0136】

ここで開示されるように、表6は2つのサンプル光ファイバの測定された特性の一覧を示す。実施例21乃至23は外付け法(OVD)によって得られた。

【表6】

表6				
実施例:		実施例 21	実施例 22	実施例 23
長さ	Km	50	50	50
減衰(1380nm)	dB/km	0.295	0.295	0.295
減衰(1420nm)	dB/km	0.251	0.251	0.251
減衰(1550nm)	dB/km	0.191	0.191	0.191
2mファイバ カットオフ波長	Nm	1377	1349	1368
ケーブル化 カットオフ波長	Nm	1259	1243	1237
MFD(1310nm)	$\mu m$	9.56	9.60	9.63
32mm径 マクロ曲げ (1550 $\mu m$ )	dB/turn	0.006	0.006	0.006
32mm径 マクロ曲げ (1625 $\mu m$ )	dB/turn	0.024	0.019	0.013
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	4.1	3.8	4.1
SBS 閾値(絶対値)	dB	10.9	10.6	10.9

10

20

【0137】

実施例21乃至23の相対屈折率分布は実質的に上記した実施例16及び17に記載されている分布と同様であって、図12の曲線16及び17によって参照される。

【好適な実施例の第5の組】

30

【0138】

図16は、実施例24の対応する屈折率分布を有する好適な実施例の第5の組を曲線24で表す。実施例24の光ファイバは、以下の特性を有する：

- 1310 $\mu m$ で0.07ps/nm-kmの分散、
- 1310nmで0.0877ps/nm<sup>2</sup>-kmの分散スロープ、
- 1550nmで17.0ps/nm-kmの分散、
- 1550nmで0.058ps/nm<sup>2</sup>-kmの分散スロープ、
- 293nmのカッパ、
- 1625nmで21.2ps/nm-kmの分散、
- 1550nmで10.40 $\mu m$ のモードフィールド径(MFD1550)、
- 1550nmで0.198dB/kmの減衰、
- 1550nmで8.2dBのピン・アレイ、
- 1550nmで0.5dBの横方向荷重損失、
- 1344nmでLP01カットオフ(理論値)、
- 1312nmでゼロ分散波長、
- 1550nmで83.5 $\mu m^2$ の $A_{eff}$ 、
- 202 $\mu m^2$ の $AOEA_{L01}$ 、
- 283 $\mu m^2$ の $AOEA_{L02}$ 、
- 202 $\mu m^2$ の $AOEA_{MIN}$ 、
- 0.71の $AOEA_{L01} / AOEA_{L02}$ 比、

40

50



$\epsilon_{2MIN}$ )は0.2%から0.3%までの間であって、( $\epsilon_{3MAX} - \epsilon_{2MIN}$ )は0.2%から0.3%までの間にある。好ましくは、 $\epsilon_{CORE3}(r)$ は、0%から0.6%までの間にある。好ましくは、コアは第3の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第4の部分を含み、第4の部分は、4.5から12 $\mu\text{m}$ まで、より好ましくは4.5から10 $\mu\text{m}$ までの間の半径まで展開している。第4の部分は、減少相対屈折率のいわゆる拡散テールを含み得る。図16の実施例は、ごくわずかな拡散テールを有することを特徴とする。 $\epsilon_{CORE4}(r)$ は、第4の部分全体に亘って0%から0.4%までの間にある。好適な実施例において、半径が増加すると $\epsilon_{CORE4}(r)$ は、0.1%以下の最大正相対屈折率から、0から0.03%までの間の最低相対屈折率まで減少する。好ましくは、相対屈折率は、6 $\mu\text{m}$ から25 $\mu\text{m}$ までの間の全ての半径で0.03%未満である。好ましくは、クラッドは第4の部分を包囲し且つこれに直に隣接している。好ましくは、コア・エンド、つまりクラディングの開始点である $r_{core}$ は、4 $\mu\text{m}$ よりも大、より好ましくは4.5から12 $\mu\text{m}$ までの間、更により好ましくは5から10 $\mu\text{m}$ までの間にある。

10

## 【0140】

好適な実施例において、ここに好ましくは開示される実施例24によって図示される光ファイバは、

1550nmで15ps/nm-kmよりも大、好ましくは15から22ps/nm-kmまでの間、より好ましくは16から21ps/nm-kmまでの間にある分散、

1550nmで0.07ps/nm<sup>2</sup>-km未満、より好ましくは0.05から0.07ps/nm<sup>2</sup>-kmまでの分散スロープ、

20

270nmから330nmのカッパ、

1340nm未満、より好ましくは1320nm未満、更により好ましくは1270から1320nmまでの間にある分散ゼロ、

1550nmで80 $\mu\text{m}^2$ よりも大、

より好ましくは80 $\mu\text{m}^2$ から100 $\mu\text{m}^2$ まで、更により好ましくは80 $\mu\text{m}^2$ から90 $\mu\text{m}^2$ までの間にある光有効面積、

1550nmで10 $\mu\text{m}$ よりも大、好ましくは10から13 $\mu\text{m}$ の間、より好ましくは10から12 $\mu\text{m}$ の間にある光モードフィールド径、

1550nmで約20dB未満、より好ましくは15dB未満、更により好ましくは10dB未満のピン配列曲げ損失、

30

1310nmで5ps/nm-km未満、より好ましくは3ps/nm-km未満の大きさを有する分散、

1310nmで0.10ps/nm<sup>2</sup>-km未満の分散スロープを有する。

好ましくは、横方向荷重曲げ損失は、1dB/m未満、より好ましくは、0.7dB/m未満である。

## 【0141】

好ましくは、コアの第3の部分に $\epsilon_{3MAX}$ を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $r = 3.5 \sim 4\mu\text{m}$ の範囲内の全ての半径の間で $\epsilon(r)$ の差の絶対大きさは、0.1%未満であり、より好ましくは0.05%未満である。好ましくは、 $\epsilon_{2MIN}$ を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $d\epsilon/dr$ は、 $r = 2 \sim 3\mu\text{m}$ の間で生じる0.05%/ $\mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有する。

40

## 【0142】

$AOEA_{L01}$ は $AOEA_{L02}$ より大であり得るが、 $AOEA_{L02}$ が $AOEA_{L01}$ より大であってもよい。また、 $AOEA_{L01}$ が実質的に $AOEA_{L02}$ に等しくあってもよい。

## 【0143】

好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、いずれも400 $\mu\text{m}^2$ 未満である。他の好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、いずれも300 $\mu\text{m}^2$ 未満である。

## 【0144】

50

好適な実施例において、 $0.5 < AOE A_{L01} / AOE A_{L02} < 2$  である。他の好適な実施例において、 $0.6 < AOE A_{L01} / AOE A_{L02} < 1.5$  である。

【0145】

図16に示す  $c_{CLAD} = 0$  を有するクラッド若しくはクラッド層は、 $r_{core}$  でコアの外側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する。

【0146】

実施例24は、内側領域（中央領域）と、内側領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域（モート領域）と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域（リング領域）と、を含むコアを有するように記載されている。コアは、好ましくは全体に正の屈折率を有する。好ましくは、内側領域若しくは外側領域は全ファイバで最大  $c_{CORE}$ （すなわち、 $n_{MAX} = n_{1MAX}$ 、又は、 $n_{MAX} = n_{3MAX}$ ）を含み、中間領域は  $n_{2MIN}$  を含む。ある好適な実施例では、 $n_{1MAX} > n_{3MAX}$  である。他の好適な実施例では、 $n_{3MAX} > n_{1MAX}$  である。他の好適な実施例では、 $n_{1MAX}$  はほぼ  $n_{1MAX}$  に等しい。他の好適な実施例において、 $n_{MAX} = n_{3MAX}$  である。好ましくは、 $n_{1MAX} > 0$ 、 $n_{3MAX} > 0$ 、 $n_{2MIN} > 0$ 、 $n_{1MAX} > n_{2MIN}$ 、 $n_{3MAX} > n_{2MIN}$ 、及び  $|n_{1MAX} - n_{3MAX}| < 0.10\%$ 、より好ましくは  $|n_{1MAX} - n_{3MAX}| < 0.05\%$ 、すなわち  $n_{1MAX}$  はほぼ  $n_{3MAX}$  に等しい。好ましくは、第1の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む。より好ましくは、第3の部分の実質的部分（例えば  $1\mu m$  よりも大なる半径方向幅）は、実質的に平坦な相対屈折率分布  $c_{CORE_3}(r)$  を有する。

10

【好適な実施例の第6の組】

20

【0147】

表7は、実施例25乃至27の好適な実施例の第6の組の一覧を示す。図17は、それぞれ、曲線25乃至27の実施例25乃至27の対応する屈折率分布である。

【表 7】

表 7				
実施例:		実施例 25	実施例 26	実施例 27
分散(1310nm)	ps/nm-km	-0.06	0.54	0.59
分散(1550nm)	ps/nm-km	16.9	17.4	17.5
分散(1625nm)	ps/nm-km	21.1	21.6	21.7
分散スロープ (1310nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.0881	0.0872	0.0878
分散スロープ (1550nm)	ps/nm <sup>2</sup> -km	0.0584	0.0581	0.0584
カッパ	nm	289	299	300
MFD1310	μm	9.19	9.16	9.31
MFD1550	μm	10.44	10.34	10.51
減衰(1550nm)	dB/km	0.213	0.203	0.204
ピン配列(1550nm)	dB	9.9	5.95	7.6
LP11 カットオフ(理論値)	nm	1355	1380	1390
ケーブル化カットオフ	nm	1235	1265	1277
ゼロ分散波長	nm	1311	1304	1306
A <sub>eff</sub> (1310nm)	μm <sup>2</sup>	71.6	69.0	73.7
A <sub>eff</sub> (1550nm)	μm <sup>2</sup>	87.3	84.2	88.6
AOEA <sub>L01</sub>	μm <sup>2</sup>	268	237	215
AOEA <sub>L02</sub>	μm <sup>2</sup>	220	219	220
AOEA <sub>MN</sub>	μm <sup>2</sup>	220	219	215
比 : AOEAL01 / AOEAL02		1.22	1.08	0.98
SBS 閾値 (絶対値)	dB	11.4	10.9	10.5
SBS 閾値改良 (SMF-28 <sup>®</sup> 光ファイバ)	dB	4.6	4.1	3.7
Δ(r=0)	%	0.12	0.14	0.12
Δ <sub>1</sub> (r=1)	%	0.38	0.38	0.33

10

20

30

40

$\Delta(0)-\Delta(1)$	%	-0.27	-0.24	-0.21
$\Delta_{1MAX}$	%	0.41	0.47	0.39
$\Gamma_{\Delta 1MAX}$	$\mu\text{m}$	0.6	0.5	0.5
$\Delta_{2MIN}$	%	0.17	0.25	0.24
$\Gamma_{\Delta 2MIN}$	$\mu\text{m}$	2.5	2.5	2.5
$\Delta_{3MAX} = \Delta_{MAX}$	%	0.66	0.56	0.52
$\Gamma_{\Delta 3MAX}$	$\mu\text{m}$	3.45	3.6	3.5
$\Gamma_{\Delta MAX}$	$\mu\text{m}$	3.45	3.6	3.5
$\Delta_{MAX} - \Delta(1)$	%	0.28	0.18	0.19
$\Delta_{1MAX} - \Delta_{2MIN}$	%	0.24	0.22	0.15
$\Delta_{3MAX} - \Delta_{2MIN}$	%	0.49	0.31	0.28
$ \Delta_{1MAX} - \Delta_{3MAX} $	%	0.25	0.09	0.11
$\Delta(r = 1.5 \mu\text{m})$	%	0.32	0.33	0.29
$\Delta(r = 2 \mu\text{m})$	%	0.24	0.29	0.27
$\Delta(r = 2.5 \mu\text{m})$	%	0.17	0.26	0.24
$\Delta(r = 3 \mu\text{m})$	%	0.37	0.28	0.41
$\Delta(r = 3.5 \mu\text{m})$	%	0.66	0.56	0.52
$\Delta(r = 4 \mu\text{m})$	%	0.14	0.37	0.38
$\Delta(r = 4.5 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00
$\Delta(r = 5 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00
$\Delta(r = 5.5 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00
$\Delta(r = 6 \mu\text{m})$	%	0.00	0.00	0.00
$\Gamma_{CORE}$	$\mu\text{m}$	4.35	4.4	4.4

10

20

30

40

50

## 【 0 1 4 8 】

実施例 25 乃至 27 で図示される光ファイバは、約  $80 \mu\text{m}^2$  よりも大なる  $1550 \text{ nm}$  での光学モード有効面積と、 $170 \mu\text{m}^2$  未満でない第 1 音響光学有効面積  $AOEA_{L01}$  を有する第 1 の音響モード  $L01$  と、 $170 \mu\text{m}^2$  未満でない第 2 音響光学有効面積  $AOEA_{L02}$  を有する第 2 の音響モード  $L02$  とを有する。ここで、 $0.4 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$  である。好ましくは、 $1550 \text{ nm}$  での光モード有効面積は、約  $80 \mu\text{m}^2$  よりも大、より好ましくは約  $80$  から  $110 \mu\text{m}^2$  の間にある。ある好適な実施例において、 $1550 \text{ nm}$  での光学モード有効面積は、約  $80$  から  $100 \mu\text{m}^2$  の間にある。他の好適な実施例において、 $1550 \text{ nm}$  での光学モード有効面積は、約  $80$  から  $95 \mu\text{m}^2$  の間にある。図 17 に記載のある好適な実施例において、コアは、1 つ以上の光ファイバ製造法の結果として得られるいわゆる中央線ディップを有する相対屈折率分布を含むことができる。しかしながら、ここに開示される屈折率分布の全ての中央線ディップは、任意である。好ましくは、コアは中央線から  $1 \mu\text{m}$  の半径まで延在する第 1 の部分を含み、好ましくはこの第 1 の部分は、 $0.7\%$  未満、好ましくは  $0.6\%$  未満の最大相対屈折

率  $n_{1MAX}$  (パーセント単位) を有する。なおこれは半径  $r_{1MAX}$  で生じる。相対屈折率  $n_{CORE1}(r)$  は、 $r_{1MAX}$  から  $r = 1 \mu m$  までの間の全ての半径で好ましくは  $0.25\%$  よりも大且つ  $0.7\%$  未満である。好適な実施例において、 $n_{CORE1}(r)$  は、 $r_{1MAX}$  から  $r = 1 \mu m$  までの間の全ての半径で  $0.3\%$  よりも大且つ  $0.6\%$  未満である。好ましくは、コアは第 1 の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第 2 の部分を含み、第 4 の部分は、 $2.5 \mu m$  の半径まで延在している。ここで、 $n_{CORE2}(r)$  は、第 2 の部分全体に亘って、 $0.15\%$  から  $0.5\%$  の間、好ましくは  $0.15\%$  から  $0.45\%$  の間である。好適な実施例において、 $n_{CORE2}(r)$  は  $r = 1 \sim 1.5$  で  $0.25\%$  よりも大且つ  $0.45\%$  未満であって、好適な実施例において、 $n_{CORE2}(r)$  は  $r = 1.5 \sim 2.5$  で  $0.1\%$  よりも大且つ  $0.4\%$  未満である。第 2 の部分は、好ましくは最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  (パーセント単位) を含み、好ましくは  $0.3\%$  未満、より好ましくは  $0.30\%$  未満且つ  $0.1\%$  よりも大である。好ましくは、 $n_{1MAX}$  及び  $n_{2MIN}$  の間の差、すなわち  $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.10\%$  よりも大であり、好ましくは  $0.15\%$  よりも大である。好適な実施例において、 $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.2\%$  よりも大である。好適な実施例のサブセットにおいて、 $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.1\%$  から  $0.3\%$  までの間にある。好適な実施例の他のサブセットにおいて、 $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.15\%$  から  $0.25\%$  までの間にある。好ましくは、コアは第 2 の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第 3 の部分を含み、第 3 の部分は、 $4.5 \mu m$  の半径まで延在している。 $r = 3.5 \mu m$  で、 $n_{CORE3}$  は  $0.3\%$  よりも大、好ましくは  $0.4\%$  よりも大、更に好ましくは  $0.5\%$  よりも大である。 $r = 4 \mu m$  で、好ましくは、 $n_{CORE3}$  は  $0.1\%$  よりも大である。第 3 の部分は、 $n_{2MIN}$  よりも大且つ  $n_{1MAX}$  よりも大の最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  (パーセント単位) を含む。 $n_{3MAX}$  は、全コアで最大相対屈折率 ( $n_{MAX} = n_{3MAX}$ ) である。好ましくは、 $n_{3MAX}$  及び  $n_{2MIN}$  の間の差、すなわち  $(n_{3MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.20\%$  よりも大であり、好ましくは  $0.25\%$  よりも大である。好適な実施例において、 $(n_{3MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.2\%$  から  $0.6\%$  の間にある。他の好適な実施例において、 $(n_{3MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.25\%$  から  $0.5\%$  までの間にある。好適な実施例のサブセットにおいて、 $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.15\%$  から  $0.25\%$  までの間にあって、 $(n_{3MAX} - n_{2MIN})$  は  $0.25\%$  から  $0.5\%$  までの間にある。好ましくは、 $n_{CORE3}(r)$  は、第 3 の部分で  $0\%$  から約  $0.7\%$  までの範囲内にある。好ましくは、コアは第 3 の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第 4 の部分を含み、第 4 の部分は、 $4.5$  から  $12 \mu m$  まで、より好ましくは  $4.5$  から  $10 \mu m$  までの間にある半径まで展開している。第 4 の部分は、低下する相対屈折率の拡散テールを含むことができる。図 17 の実施例は、無視できる拡散テールについて記載されている。 $n_{CORE4}(r)$  は、第 4 の部分全体に亘って  $0\%$  から  $0.4\%$  までの間にある。好適な実施例において、半径が増加すると  $n_{CORE4}(r)$  は、 $0.4\%$  以下の最大正相対屈折率から、 $0$  から  $0.03\%$  までの間の最低相対屈折率まで減少する。好ましくは、相対屈折率は  $6 \mu m$  から  $25 \mu m$  の間の全ての半径で  $0.03\%$  未満である。好ましくは、クラッドは第 4 の部分を包囲し且つこれに直に隣接する。好ましくは、コアの終点、すなわちクラッドの始点位置は、 $4 \mu m$  よりも大であり、好ましくは  $4.5 \mu m$  よりも大であり、好ましくは  $4.5$  から  $12 \mu m$  までの間であり、更に好ましくは  $5$  から  $10 \mu m$  までの間である。

#### 【0149】

好適な実施例において、ここに開示された実施例 25 乃至 27 によって示される光ファイバは好ましくは以下を有する：

1550 nm で  $15 ps / nm - km$  よりも大、より好ましくは  $15$  から  $22 ps / nm - km$  までの間、更により好ましくは、 $16$  から  $21 ps / nm - km$  までの間の分散、

1550 nm で  $0.07 ps / nm^2 - km$  未満、好ましくは  $0.05$  から  $0.07 ps / nm^2 - km$  までの間にある分散スロープ、

270 nm から 330 nm のカップ、

1340 nm 未満、より好ましくは 1320 nm 未満、更により好ましくは 1270 nm 未満、

10

20

30

40

50

ら 1320 nm までの間にある分散ゼロ、

1550 nm で  $80 \mu\text{m}^2$  よりも大、好ましくは 80 から  $100 \mu\text{m}^2$  の間、より好ましくは、80 から  $90 \mu\text{m}^2$  の間の光有効面積、

1550 nm で  $10 \mu\text{m}$  よりも大、好ましくは 10 から  $13 \mu\text{m}$  の間、より好ましくは 10 から  $12 \mu\text{m}$  の間にある光モードフィールド径、

1550 nm で約 20 dB 未満、より好ましくは 15 dB 未満、更により好ましくは 10 dB 未満のピン配列曲げ損失、

1310 nm で  $5 \text{ ps} / \text{nm} - \text{km}$  未満、より好ましくは  $3 \text{ ps} / \text{nm} - \text{km}$  未満の大きさを有する分散、

1310 nm で  $0.10 \text{ ps} / \text{nm}^2 - \text{km}$  未満の分散スロープを有する。

10

#### 【0150】

好ましくは、コアの第3の部分に  $r_{3\text{MAX}}$  を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $r_{3\text{MAX}}$  の  $0.25 \mu\text{m}$  内の全ての半径の間で ( $r$ ) の差の絶対大きさは、0.1% 未満であり、より好ましくは 0.05% 未満である。好ましくは、 $d_{2\text{MIN}}$  を含む相対屈折率の部分は平らであって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $d / dr$  は、 $r = 2.5 \sim 3$  の間で生じる  $0.05\% / \mu\text{m}$  未満の絶対大きさを有する。

#### 【0151】

$AOEA_{L01}$  は  $AOEA_{L02}$  より大きくてもよく、または  $AOEA_{L02}$  は  $AOEA_{L01}$  より大きくてもよい。若しくは、 $AOEA_{L01}$  は実質的に  $AOEA_{L02}$  に等しくてもよい。

20

#### 【0152】

好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、いずれも  $400 \mu\text{m}^2$  未満である。他の好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、いずれも  $300 \mu\text{m}^2$  未満である。

#### 【0153】

好適な実施例において、 $0.5 < AOEAL01 / AOEAL02 < 2$  である。その他、好適な実施例において、 $0.6 < AOEAL01 / AOEAL02 < 1.5$  である。

#### 【0154】

図17に示す  $\epsilon_{\text{CLAD}} = 0$  を有するクラッド若しくはクラッド層は、コアの外側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する。

30

#### 【0155】

すなわち、実施例25乃至27は、内側領域(中央領域)と、内側領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域(モート領域)と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域(リング領域)と、を含むコアを有するものとして記載されている。コアは、好ましくは全体に亘って正の屈折率を有する。好ましくは、外側領域は全ファイバで最大  $\epsilon_{\text{core}}$  (すなわち、 $\epsilon_{\text{MAX}} = \epsilon_{3\text{MAX}}$ ) を含む。中間領域は  $\epsilon_{2\text{MIN}}$  を含み、内側領域は  $\epsilon_{1\text{MAX}}$  を含む。ここで  $\epsilon_{3\text{MAX}} > \epsilon_{1\text{MAX}}$ 、 $\epsilon_{1\text{MAX}} > 0$ 、 $\epsilon_{3\text{MAX}} > 0$ 、 $\epsilon_{2\text{MIN}} > 0$ 、 $\epsilon_{1\text{MAX}} > \epsilon_{2\text{MIN}}$  及び  $\epsilon_{3\text{MAX}} > \epsilon_{2\text{MIN}}$  である。好ましくは、第1の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む。好ましくは、第3の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含み、より好ましくは、第3の部分の大部分が実質的に平坦な相対屈折率分布  $\epsilon_{\text{CORE3}}(r)$  を有する。

40

#### 【好適な実施例の第7の組】

#### 【0156】

図18は、実施例28の対応する屈折率分布を有する好適な実施例の第7の組を曲線28で表す。実施例28の光ファイバは、以下の特性を有する：

1310 nm で  $-0.004 \text{ ps} / \text{nm} - \text{km}$  の分散、

1310 nm で  $0.0868 \text{ ps} / \text{nm}^2 - \text{km}$  の分散スロープ、

1550 nm で  $16.8 \text{ ps} / \text{nm} - \text{km}$  の分散、

1550 nm で  $0.058 \text{ ps} / \text{nm}^2 - \text{km}$  の分散スロープ、

1550 nm で 290 nm のカップ、

50

1 6 2 5 n m で 2 0 . 9 p s / n m - k m の 分 散 、  
 1 5 5 0 n m で 1 0 . 2 9 μ m の の モ ー ド フ ィ ー ル ド 径 ( M F D 1 5 5 0 ) 、  
 1 5 5 0 n m で 0 . 1 9 3 d B / k m の の 減 衰 、  
 1 5 5 0 n m で 8 . 3 d B の ピ ン ・ ア レ イ 、  
 1 5 5 0 n m で 0 . 4 9 の d B の 横 方 向 荷 重 損 失 、  
 1 3 2 7 n m の L P 1 1 カ ッ ト オ フ ( 理 論 上 ) 、  
 1 3 1 3 n m の ゼ ロ 分 散 波 長 、  
 1 5 5 0 n m で 8 1 . 6 μ m<sup>2</sup> の A<sub>eff</sub> 、  
 3 2 4 μ m<sup>2</sup> の A O E A<sub>L01</sub> 、  
 1 4 3 μ m<sup>2</sup> の A O E A<sub>L02</sub> 、  
 1 4 3 μ m<sup>2</sup> の A O E A<sub>MIN</sub> 、  
 2 . 2 6 の A O E A<sub>L01</sub> / A O E A<sub>L02</sub> 比 、  
 1 2 . 1 d B の 絶 対 S B S 閾 値 、  
 登 録 商 標 S M F - 2 8 又 は S M F - 2 8 e 光 フ ァ イ バ の 同 様 の 長 さ に 亘 っ て 約 5 . 3 d  
 B の S B S 閾 値 改 良 、  
 0 . 0 . 5 . 1 . 1 . 5 . 2 . 2 . 5 . 3 . 3 . 5 . 4 . 4 . 5 . 及 び . 5 の 各 半 径 で  
 、 0 . 6 3 . 0 . 5 3 . 0 . 3 4 . 0 . 2 5 . 0 . 2 9 . 0 . 3 7 . 0 . 3 9 . 0 . 3 8  
 、 0 . 2 4 . 0 . 0 5 . 及 び . 0 . 0 0 % の 相 対 屈 折 率 差 、  
 0 . 2 9 % の  $r_{MAX} - (r = 1)$  、  
 0 . 6 3 % の  $r_{MAX} = r_{1MAX}$  、  
 0 . 0 μ m の  $r_{MAX} = r_{1MAX}$  、  
 約 1 . 6 μ m の  $r_{2MIN}$  で 約 0 . 2 5 % の  $r_{2MIN}$  、  
 約 3 . 1 μ m の  $r_{3MAX}$  で 約 0 . 3 9 5 % の  $r_{3MAX}$  、  
 0 . 3 8 % の  $r_{1MAX} - r_{2MIN}$  、  
 0 . 1 4 5 % の  $r_{3MAX} - r_{2MIN}$  、  
 0 . 2 3 5 % の  $|r_{1MAX} - r_{3MAX}|$  、  
 4 . 9 μ m の  $r_{core}$  である。

#### 【0157】

実 施 例 2 4 で 図 示 さ れ る 光 フ ァ イ バ は . 約 8 0 μ m<sup>2</sup> より も 大 な る 1 5 5 0 n m の の 光  
 学 モ ー ド 有 効 面 積 と . 2 0 0 μ m<sup>2</sup> 未 満 で な い 第 1 音 響 光 学 有 効 面 積 A O E A<sub>L01</sub> を 有 す る  
 第 1 の 音 響 モ ー ド L 0 1 と . 1 0 0 μ m<sup>2</sup> 未 満 で な い 第 2 音 響 光 学 有 効 面 積 A O E A<sub>L02</sub> を  
 有 す る 第 2 の 音 響 モ ー ド L 0 2 と を 有 す る 。 こ こ で . 0 . 2 5 < A O E A<sub>L01</sub> / A O E A<sub>L02</sub>  
 < 3 . 5 だ る 。 好 ま し く は . 1 5 5 0 n m の の 光 モ ー ド 有 効 面 積 は . 約 8 0 μ m<sup>2</sup>  
 より も 大 . より 好 ま し く は 約 8 0 か ら 1 1 0 μ m<sup>2</sup> の 間 に あ る 。 あ る 好 適 な 実 施 例 に お い  
 て . 1 5 5 0 n m の の 光 学 モ ー ド 有 効 面 積 は . 約 8 0 か ら 1 0 0 μ m<sup>2</sup> の 間 に あ る 。 他 の  
 好 適 な 実 施 例 に お い て . 1 5 5 0 n m の の 光 学 モ ー ド 有 効 面 積 は . 約 8 0 か ら 9 5 μ m<sup>2</sup>  
 の 間 に あ る 。 好 適 な 実 施 例 に お い て . コ ア は . 1 つ 以 上 の 光 フ ァ イ バ 製 造 法 の 結 果 と し て  
 得 ら れ る い わ ゆ る 中 央 線 デ ィ ッ プ を 有 す る 相 対 屈 折 率 分 布 を 含 む こ と が で き る 。 し か し な  
 が ら . こ こ に 開 示 さ れ る 屈 折 率 分 布 の 全 て の 中 央 線 デ ィ ッ プ は . 任 意 だ る 。 好 ま し く は  
 . コ ア は 中 央 線 か ら 1 μ m の 半 径 ま で 延 在 す る 第 1 の 部 分 を 含 み . 好 ま し く は こ の 第 1 の  
 部 分 は . 0 . 8 % 未 満 . 好 ま し く は 0 . 7 % 未 満 の 最 大 相 対 屈 折 率  $r_{1MAX}$  ( パ ー セ ン ト 単  
 位 ) を 有 す る 。 な お こ れ は 半 径  $r_{1MAX}$  で 生 じ る 。 相 対 屈 折 率  $r_{CORE1}(r)$  は .  $r_{1MAX}$   
 か ら  $r = 1 μ m$  ま で の 間 の 全 て の 半 径 で 好 ま し く は 0 . 2 5 % より も 大 且 つ 0 . 7 % 未  
 満 だ る 。 好 適 な 実 施 例 に お い て .  $r_{CORE1}(r)$  は .  $r_{1MAX}$  か ら  $r = 1 μ m$  ま で の 間  
 の 全 て の 半 径 で 0 . 3 % より も 大 且 つ 0 . 6 % 未 満 だ る 。 好 ま し く は . コ ア は 第 1 の 部  
 分 を 包 囲 し 且 つ こ れ に 直 に 隣 接 す る 第 2 の 部 分 を 含 み . 第 2 の 部 分 は . 2 μ m の 半 径 ま で  
 延 在 し て い る 。 こ こ で .  $r_{CORE2}(r)$  は . 第 2 の 部 分 全 体 に 亘 っ て . 0 . 1 5 % か ら 0  
 . 5 % の 間 . 好 ま し く は 0 . 1 5 % か ら 0 . 4 % の 間 だ る 。 好 適 な 実 施 例 に お い て .  
 $r_{CORE2}(r)$  は  $r = 1 ~ 1 . 5$  で 0 . 2 % より も 大 且 つ 0 . 4 % 未 満 だ っ て . 好 適 な 実  
 施 例 に お い て .  $r_{CORE2}(r)$  は  $r = 1 . 5 ~ 2 . 5$  で 0 . 2 % より も 大 且 つ 0 . 4 % 未

満である。第2の部分は、好ましくは最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  (パーセント単位) を含み、好ましくは0.35%未満、より好ましくは0.3%未満である。好ましくは、 $n_{1MAX}$  及び  $n_{2MIN}$  の間の差、すなわち  $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は0.2%よりも大であり、好ましくは0.3%よりも大である。好適な実施例において、 $(n_{1MAX} - n_{2MIN})$  は0.3%よりも大である。好ましくは、コアは第2の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第3の部分を含み、第3の部分は、4.5  $\mu\text{m}$  の半径まで延在している。 $r = 3 \mu\text{m}$  で、 $n_{CORE3}$  は0.3%よりも大である。第3の部分は、 $n_{2MIN}$  よりも大且つ  $n_{1MAX}$  未満の最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  (パーセント単位) を含む。好ましくは、 $n_{3MAX}$  及び  $n_{2MIN}$  の間の差、すなわち  $(n_{3MAX} - n_{2MIN})$  は0.10%よりも大である。好適な実施例において、 $(n_{3MAX} - n_{2MIN})$  は0.1%から0.2%の間にある。好ましくは、 $n_{CORE3}(r)$  は、0.1%から0.5%までの範囲内にある。好ましくは、コアは第3の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第4の部分を含み、第4の部分は、4.5から12  $\mu\text{m}$  まで、より好ましくは4.5から10  $\mu\text{m}$  までの間の半径まで展開している。 $n_{CORE4}(r)$  は、第4の部分全体に亘って0%から0.4%までの間にある。好適な実施例において、半径が増加すると  $n_{CORE4}(r)$  は、0.4%以下の最大正相対屈折率から、0から0.03%までの間の最低相対屈折率まで減少する。好ましくは、相対屈折率は6  $\mu\text{m}$  から25  $\mu\text{m}$  の間の全ての半径で0.03%未満である。好ましくは、クラッドは第4の部分を包囲し且つこれに直に隣接する。好ましくは、コアの終点、すなわちクラッドの始点位置は、4.5  $\mu\text{m}$  よりも大であり、好ましくは4.5から12  $\mu\text{m}$  までの間であり、更により好ましくは5から10  $\mu\text{m}$  までの間である。

10

20

#### 【0158】

好適な実施例において、ここに開示された実施例28によって示される光ファイバは好ましくは以下を有する：

1550 nmで15 ps/nm - kmよりも大、より好ましくは15から22 ps/nm - kmまでの間、更により好ましくは、16から21 ps/nm - kmまでの間の分散、

1550 nmで0.07 ps/nm<sup>2</sup> - km未満、好ましくは0.05から0.07 ps/nm<sup>2</sup> - kmまでの間にある分散スロープ、

270 nmから330 nmのカップと、

1340 nm未満、より好ましくは1320 nm未満、更により好ましくは1270から1320 nmまでの間にある分散ゼロ、

30

1550 nmで80  $\mu\text{m}^2$  よりも大、より好ましくは80  $\mu\text{m}^2$  から100  $\mu\text{m}^2$  の間の光学有効面積、

1550 nmで10  $\mu\text{m}$  よりも大、好ましくは10から13  $\mu\text{m}$  の間、より好ましくは10から12  $\mu\text{m}$  の間にある光モードフィールド径、

1550 nmで約20 dB未満、より好ましくは15 dB未満、更により好ましくは10 dB未満のピン配列曲げ損失、

1310 nmで5 ps/nm - km未満、より好ましくは3 ps/nm - km未満の大きさを有する分散、

1310 nmで0.10 ps/nm<sup>2</sup> - km未満の分散スロープを有する。好ましくは、横方向荷重曲げ損失は、1 dB/m未満、より好ましくは、0.7 dB/m未満である。

40

#### 【0159】

好ましくは、コアの第3の部分に  $n_{3MAX}$  を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $r_{3MAX}$  の範囲内で0.5  $\mu\text{m}$  内の全ての半径の間で  $(n)$  の差の絶対大きさは、0.1%未満であって、より好ましくは0.05%未満である。好ましくは、 $n_{2MIN}$  を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $d n / d r$  は、 $r = 1 \sim 2 \mu\text{m}$  の間で生じる0.05%/  $\mu\text{m}$  未満の絶対大きさを有する。

#### 【0160】

50

$AOEA_{L01}$ は $AOEA_{L02}$ より大きくてもよく、または $AOEA_{L02}$ は $AOEA_{L01}$ より大きくてもよい。若しくは、 $AOEA_{L01}$ は実質的に $AOEA_{L02}$ に等しくてもよい。

【0161】

好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、いずれも $400\mu m^2$ 未満である。

【0162】

好適な実施例において、 $0.25 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 3.5$ である。他の好適な実施例において、 $0.3 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$ である。

【0163】

図18に示す $CLAD = 0$ を有するクラッド若しくはクラッド層は、 $r_{core}$ でコアの外側領域を包囲するとともにこれに直に隣接する。 10

【0164】

すなわち、実施例28は、内側領域（または中央領域）と、内側領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域（またはモート領域）と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域（またはリング領域）と、を含むコアを有するものとして記載されている。コアは、好ましくは全体に亘って正の屈折率を有する。好ましくは、内側領域は全ファイバで最大 $n_{CORE}$ （すなわち、 $n_{1MAX}$ ）を含み、中間領域は $n_{2MIN}$ を含み、外側領域は $n_{3MAX}$ を含む。ここで、 $n_{1MAX} > 0$ 、 $n_{3MAX} > 0$ 、 $n_{2MIN} > 0$ 、 $n_{1MAX} > n_{2MIN}$ 、 $n_{3MAX} > n_{2MIN}$ 、及び、 $n_{1MAX} > n_{3MAX} > n_{2MAX} > 0$ である。好ましくは、第1の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む。好ましくは、第3の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含み、より好ましくは第3の部分の実質的な部分は実質的に平坦な相対屈折率分布 $n_{CORE3}(r)$ を有する。 20

【好適な実施例の第8の組】

【0165】

図19は、実施例29の対応する屈折率分布を有する好適な実施例の第7の組を曲線29で表す。実施例29の光ファイバは、以下の特性を有する：

- 1310nmで $-0.47ps/nm-km$ の分散、
- 1310nmで $0.0895ps/nm^2-km$ の分散スロープ、
- 1550nmで $16.8ps/nm-km$ の分散、
- 1310nmで $0.095ps/nm^2-km$ の分散スロープ、 30
- 1625nmで $21.1ps/nm-km$ の分散、
- 1550nmで $10.8\mu m$ でのモードフィールド径(MFD1550)、
- 1550nmで $0.191dB/km$ の減衰、
- 1550nmで $8.2dB$ のピン・アレイ、
- 1550nmで $0.57dB$ の横方向荷重損失、
- 1335nmのLP11カットオフ（理論上）、
- 1318nmのゼロ分散波長、
- 1550nmで $83.4\mu m^2$ の $A_{eff}$ 、
- $359\mu m^2$ の $AOEA_{L01}$ 、
- $118\mu m^2$ の $AOEA_{L02}$ 、 40
- $118\mu m^2$ の $AOEA_{MIN}$ 、
- $3.04$ の $AOEA_{L01} / AOEA_{L02}$ 比、
- $12.5dB$ の絶対SBS閾値、

登録商標SMF-28又はSMF-28e光ファイバの同様の長さ亘って約 $5.3dB$ のSBS閾値改良、

- 0、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、及び、5の各半径で、
- 0.19、0.77、0.30、0.29、0.31、0.31、0.31、0.31、
- 0.31、0.18、及び、0.00%の相対屈折率差、
- 0.80%の $n_{MAX} = n_{1MAX}$
- 0.50%の $n_{MAX} - n_{CORE}(r=1)$ 、 50

$0.50\%$ の  $r_{MAX} - (r = 3.5)$ 、  
 $0.45\mu\text{m}$ の  $r_{MAX} = r_{1MAX}$ 、  
 約  $1.2\mu\text{m}$ の  $r_{2MIN}$ で約  $0.25\%$ の  $r_{2MIN}$ 、  
 約  $0.31\%$ の  $r_{3MAX}$ 、  
 $0.52\%$ の  $r_{1MAX} - r_{2MIN}$ 、  
 $0.03\%$ の  $r_{3MAX} - r_{2MIN}$ 、  
 $0.49\%$ の  $|r_{1MAX} - r_{3MAX}|$ 、  
 $4.85\mu\text{m}$ の  $r_{core}$ である。

【0166】

実施例29で図示される光ファイバは、約  $80\mu\text{m}^2$ よりも大なる  $1550\text{nm}$ での光  
 学モード有効面積と、 $170\mu\text{m}^2$ 未満でない第1音響光学有効面積  $AOEA_{L01}$ を有する  
 第1の音響モード  $L01$ と、 $100\mu\text{m}^2$ 未満でない第2音響光学有効面積  $AOEA_{L02}$ を  
 有する第2の音響モード  $L021$ とを有する。ここで、 $0.25 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 3.5$   
 である。好ましくは、 $1550\text{nm}$ での光モード有効面積は、約  $80\mu\text{m}^2$   
 よりも大、より好ましくは約  $80$  から  $110\mu\text{m}^2$ の間にある。ある好適な実施例におい  
 て、 $1550\text{nm}$ での光モード有効面積は、約  $80$  から  $100\mu\text{m}^2$ の間にある。他の好  
 適な実施例において、 $1550\text{nm}$ での光モード有効面積は、約  $80$  から  $95\mu\text{m}^2$ の間  
 にある。ある好適な実施例において、図19に図示したように、コアは、一つ以上の光フ  
 アイバ製造技術により得られるいわゆる中心線ディップを有する相対屈折率分布を含み得  
 る。しかしながら、ここに開示される屈折率分布のすべてにおいて中心線ディップは、オ  
 プションとされる。好ましくは、コアは中央線から  $1\mu\text{m}$ の半径まで延在する第1の部分  
 を含み、好ましくはこの第1の部分は、 $1.0\%$ 未満、好ましくは  $0.9\%$ 未満、より好  
 ましくは  $0.6\%$ から  $0.9\%$ の間、更により好ましくは  $0.7\%$ から  $0.85\%$ の間の  
 最大相対屈折率  $r_{1MAX}$  (パーセント単位)を有する。なおこれは半径  $r_{MAX}$ で生じる。  
 相対屈折率  $r_{CORE1}(r)$ は、 $r_{1MAX}$ から  $r = 1\mu\text{m}$ までの間の全ての半径で好ましく  
 は  $0.15\%$ よりも大且つ  $0.9\%$ 未満である。好適な実施例において、 $r_{CORE1}(r)$   
 は、 $r_{1MAX}$ から  $r = 1\mu\text{m}$ までの間の全ての半径で  $0.2\%$ よりも大且つ  $0.85\%$ 未  
 満である。好ましくは、コアは第1の部分を含む、第2の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第2の部分  
 を含み、第2の部分は、 $2\mu\text{m}$ の半径まで展開している。ここで、 $r_{CORE2}(r)$ は、第2  
 の部分の全体に亘って、 $0.15\%$ から  $0.5\%$ までの間、好ましくは  $0.2\%$ から  $0.$   
 $4\%$ までの間である。好適な実施例において、 $r_{CORE2}(r)$ は  $r = 1 \sim 1.5\mu\text{m}$ の範  
 囲で  $0.25\%$ よりも大且つ  $0.35\%$ 未満、好適な実施例において、 $r_{CORE2}(r)$ は  
 $r = 1.5 \sim 2\mu\text{m}$ の範囲で約  $0.25\%$ よりも大且つ  $0.3\%$ 未満である。第2の部分  
 は、好ましくは  $0.4\%$ 未満、より好ましくは  $0.3\%$ 未満の最小相対屈折率  $r_{2MIN}$  (パ  
 ーセント単位)を含む。好適な実施例において、 $r_{1MAX}$ 及び  $r_{2MIN}$ の間の差、すなわち  
 $(r_{1MAX} - r_{2MIN})$ は  $0.4\%$ よりも大である。他の好適な実施例において、 $(r_{1MAX} -$   
 $r_{2MIN})$ は  $0.45\%$ よりも大である。好ましくは、コアは第2の部分を含む、第3の部分  
 を含み、第3の部分は、 $4.5\mu\text{m}$ の半径まで展開している。 $r = 3\mu\text{m}$ で、 $r_{CORE3}$   
 は  $0.2\%$ よりも大である。第3の部分は  $r_{2MIN}$ よりも大且つ  $r_{1MAX}$   
 未満である最大相対屈折率  $r_{3MAX}$  (パーセント単位)を含む。好ましくは、 $r_{3MAX}$ 及び  
 $r_{2MIN}$ の差、すなわち  $(r_{3MAX} - r_{2MIN})$ は  $0.1\%$ 未満である。好ましくは、 $(r_{1MAX}$   
 $- (3.5))$ は  $0.4\%$ よりも大であり、より好ましくは、 $0.45\%$ よりも大であ  
 る。好ましくは、 $(r_{1MAX} - r_{3MAX})$ は  $0.4\%$ よりも大、より好ましくは  $0.45\%$ よ  
 りも大である。好適な実施例において、 $(r_{1MAX} - r_{2MIN})$ は  $0.4\%$ から  $0.6\%$ の間  
 にあり、 $(r_{1MAX} - r_{3MAX})$ は  $0.4\%$ から  $0.6\%$ の間にあり、 $(r_{1MAX} - (3.5))$   
 は  $0.4\%$ から  $0.6\%$ の間にあり、 $(r_{3MAX} - r_{2MIN})$ は  $0.10\%$ 未満である。  
 好ましくは、 $r_{CORE3}(r)$ は  $0.1\%$ から  $0.4\%$ までの間にある。好ましくは、コア  
 は第3の部分を含む、第4の部分を含む、第4の部分は、 $4.5$ から  $12\mu\text{m}$ まで、より好ま  
 しくは  $4.5$ から  $10\mu\text{m}$ までの間にある半径まで展開している。 $r_{CORE4}(r)$ は、第4の部分  
 全体に亘って  $0\%$ から  $0.4\%$ の間にある。好適な

10

20

30

40

50

実施例において、半径が増加すると  $\text{CORE4}(r)$  は、0.4%以下の最大正相対屈折率から、0から0.03%までの間の最低相対屈折率まで減少する。好ましくは、相対屈折率は6  $\mu\text{m}$ から25  $\mu\text{m}$ の間の全ての半径で0.03%未満である。好ましくは、クラッドは第4の部分に包囲し且つこれに直に隣接する。好ましくは、コアの終点、すなわちクラッドの始点位置は、4  $\mu\text{m}$ よりも大であり、好ましくは4.5から12  $\mu\text{m}$ までの間であり、更により好ましくは5から10  $\mu\text{m}$ までの間である。

【0167】

好適な実施例において、ここに開示された実施例29によって示される光ファイバは好ましくは以下を有する：

1550 nmで15 ps/nm - kmよりも大、より好ましくは15から22 ps/nm - kmまでの間、更により好ましくは、16から21 ps/nm - kmまでの間の分散、

1550 nmで0.07 ps/nm<sup>2</sup> - km未満、好ましくは0.05から0.07 ps/nm<sup>2</sup> - kmまでの間にある分散スロープ、

1340 nm未満、より好ましくは1320 nm未満、更により好ましくは1270から1320 nmまでの間にある分散ゼロ、

1550 nmで80  $\mu\text{m}^2$ よりも大、好ましくは80  $\mu\text{m}^2$ から90  $\mu\text{m}^2$ との間にある光有効面積、

1550 nmで10  $\mu\text{m}$ よりも大、好ましくは10から13  $\mu\text{m}$ の間、より好ましくは10から12  $\mu\text{m}$ の間にある光モードフィールド径、

1550 nmで約20 dB未満、より好ましくは15 dB未満、更により好ましくは10 dB未満のピン配列曲げ損失、

1310 nmで5 ps/nm - km未満、より好ましくは3 ps/nm - km未満の大きさを有する分散、

1310 nmで0.10 ps/nm<sup>2</sup> - km未満の分散スロープを有する。好ましくは、横方向荷重損失は、1 dB/m未満、より好ましくは、0.7 dB/m未満である。

【0168】

好ましくは、コアの第3の部分に  $\text{CORE3}$  を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $r = 2 \sim 4$ の間の全ての半径の間で  $(r)$  の差の絶対大きさは、0.1%未満であり、より好ましくは0.05%未満である。好ましくは、 $\text{CORE2}$  を含む相対屈折率の部分は平坦であって、すなわち相対的に一定の値である。好ましくは、 $d/dr$  は、 $r = 1 \sim 2 \mu\text{m}$ の間で生じる0.05%/  $\mu\text{m}$ 未満の絶対大きさを有する。

【0169】

$\text{AOEA}_{L01}$ は $\text{AOEA}_{L02}$ より大きくてもよく、または $\text{AOEA}_{L02}$ は $\text{AOEA}_{L01}$ より大きくてもよい。若しくは、 $\text{AOEA}_{L01}$ は実質的に $\text{AOEA}_{L02}$ に等しくてもよい。好ましくは、 $\text{AOEA}_{L01}$ は実質的に $\text{AOEA}_{L02}$ よりも大きい。

【0170】

好適な実施例において、 $\text{AOEA}_{L01}$ 及び $\text{AOEA}_{L02}$ は、いずれも400  $\mu\text{m}^2$ 未満である。

【0171】

好適な実施例において、 $0.25 < \text{AOEA}_{L01} / \text{AOEA}_{L02} < 3.5$ である。他の好適な実施例において、 $0.3 < \text{AOEA}_{L01} / \text{AOEA}_{L02} < 3$ である。

【0172】

図19に示す如く、 $\text{CLAD} = 0$ のクラッドまたはクラッド層は、 $r_{\text{core}}$ でのコアの外側領域を包囲し且つこれに直に隣接する。

【0173】

すなわち、実施例29は、内側領域（または中央領域）と、内側領域を包囲し且つこれに直に隣接する中間領域（またはモート領域）と、中間領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域（またはリング領域）と、を含むコアを有するものとして記載されている。

10

20

30

40

50

コアは、好ましくは全体に正の屈折率を有する。好ましくは、内側領域は全ファイバで最大  $\text{CORE}$  (すなわち、 $\text{1MAX}$ ) を含み、中間領域は  $\text{2MIN}$  を含み、外側領域は  $\text{3MAX}$  を含む。ここで、 $\text{1MAX} > \text{3MAX} > \text{2MIN} > 0$ 、 $\text{1MAX} > \text{2MIN}$ 、 $\text{3MAX} > \text{2MIN}$  である。好ましくは、第1の部分の相対屈折率分布は、実質的に平坦な部分を含む。好ましくは、第3の部分の相対屈折率分布は実質的に平坦な部分を含み、より好ましくは第3の部分の実質的な部分は実質的に平坦な相対屈折率分布  $\text{CORE3}(r)$  を有する。

【0174】

好ましくは、ここで開示される光ファイバは、約50km以上の長さの光ファイバで、9.5dBよりも大、より好ましくは10.0dBよりも大、更により好ましくは、10.5dBよりも大なる絶対閾値を有する。

【0175】

好ましくは、ここで開示される光ファイバは、1380 $\mu\text{m}$ の減衰において1310 $\mu\text{m}$ での減衰よりも0.3dB/kmよりも大きくなり、より好ましくは0.1dB/kmよりも大きくなり、より好ましくは0.05dB/kmよりも大きくない。好適な実施例において、1380nmでの減衰は1310nmでの減衰を超えない。他の好適な実施例において、1380nmでの減衰は0.3dB/km未満である。実施例の好適な組において、絶対SBS閾値は、 $8.5 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  dB、好ましくは $9 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  dB、より好ましくは $9.5 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  dBである。(ここで、Lはkm単位でのファイバの長さ、 $\quad$ は1550nmでのファイバの減衰である。) 1380 $\mu\text{m}$ の減衰は、1310 $\mu\text{m}$ での減衰よりも0.3dB/kmよりも大きくなり、より好ましくは0.1dB/kmよりも大きくなり、より好ましくは0.05dB/kmよりも大きくない。他の好適な実施例において、1380nmでの減衰は、0.3dB/kmよりも小さい。ある好適な実施例において、1550nmでの光モード有効面積は、約80 $\mu\text{m}^2$ よりも大であり、他の好適な実施例において、1550nmでの光有効面積は80 $\mu\text{m}^2$ よりも大且つ110 $\mu\text{m}^2$ 未満である。

【0176】

ここに開示される光ファイバは、好ましくは0.1ps/sqrt(km)未満、より好ましくは、0.05ps/sqrt(km)未満、更により好ましくは、0.02ps/sqrt(km)未満のPMDを呈する。好適な実施例において、1550nmでのピン配列曲げ損失は、5dB未満、より好ましくは、3dB未満である。好適な実施例において、1620nmでのピン配列曲げ損失は、10dB未満、より好ましくは7dB未満、更により好ましくは5dB未満である。

【0177】

好ましくは、ここに開示される光ファイバは、1300nm未満、好ましくは1200から1300nmの間にあるケーブル化カットオフを有する。

【0178】

好ましくは、ここに開示される光ファイバは、1260nmから1625nmの波長範囲内の光信号を伝送するのに適している。

【0179】

好ましくは、ここに開示されるファイバは、気相蒸着法によって製造される。更により好ましくは、ここに開示されるファイバは、外付けCVD(OVD)によって形成される。すなわち、例えば、周知のOVDレイダウン、圧密化及び線引き技術が適宜ここに開示される光導波ファイバを生産するために使用され得る。他の工程、例えば改良化学蒸着法(MCVD)や気相軸付け法(VAD)やプラズマ化学蒸着(PCVD)によっても良い。このように、ここに開示される光導波ファイバの屈折率分布及び断面プロファイルは、当業者にとって公知の製造法を使用することで達成され得るが、OVD、VAD、MCVDなどに限定されるものではない。

【0180】

10

20

30

40

50

好適な実施例の第1のサブグループにおいて、光ファイバは、少なくとも1つの光学モードと、L01音響モード及びL02音響モードを含む複数の音響モードとを導くところに開示される。このようなファイバは、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む。ここで、1550nmでの上記光学モード有効面積は、 $90\mu\text{m}^2$ よりも大である。また、L01音響モードは光ファイバのブリルアン周波数で少なくとも $170\mu\text{m}^2$ の第1の音響光学有効面積 $AOEA_{L02}$ を有する。また、L02音響モードは光ファイバのブリルアン周波数で少なくとも $170\mu\text{m}^2$ の第1の音響光学有効面積 $AOEA_{L02}$ を有する。ここで、 $0.4 < AOEA_{L01} / AOEA_{L02} < 2.5$ である。

【0181】

ある好適な実施例において、コアの相対屈折率は、上部境界曲線及び下部境界曲線の間の値を有する。上部境界曲線は、半径0で0.6%の を有する第1の上部位置と、 $14.25\mu\text{m}$ の半径で0%の を有する第2の上部位置と、を含む少なくとも2点で定義される直線である。下部境界曲線は、半径0で0.25%の を有する第1の下部位置と、 $6\mu\text{m}$ の半径で0%の を有する第2の下部位置と、を含む少なくとも2点で定義される直線である。

【0182】

ある好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、光ファイバのブリルアン周波数で $180\mu\text{m}^2$ 未満でない。他の好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$ 及び $AOEA_{L02}$ は、光ファイバのブリルアン周波数で $190\mu\text{m}^2$ 未満でない。

【0183】

ある好適な実施例において、光ファイバは1340nm以下の波長でゼロ分散を有し、より好ましくは、ゼロ分散は1320から1340nmの間の範囲内にある。他の好適な実施例において、ゼロ分散は1320nm以下の波長であって、より好ましくは、1290から1320nmの間の範囲内にある。

【0184】

好ましくは、光ファイバは1550nmの波長で15から21ps/nm-kmの間の分散を有する。ある好適な実施例において、分散は1550nmの波長で15から17ps/nm-kmの間にある。他の好適な実施例において、分散は1550nmの波長で17から20ps/nm-kmの間にある。

【0185】

好ましくは、光ファイバは $95\mu\text{m}^2$ よりも大なる光有効面積を有する。好ましくは、光ファイバは $100\mu\text{m}^2$ よりも大なる光有効面積を有する。

【0186】

好ましくは、光ファイバは1550nmで15dB未満、より好ましくは10dB未満のピン配列曲げ損失を有する。

【0187】

ある好適な実施例において、上部境界曲線は、半径0で0.5%の を有する第1の上部位置と、 $11.25\mu\text{m}$ の半径で0%の を有する第2の上部位置と、を含む少なくとも2点で定義される直線である。

【0188】

好ましくは、コアは中央線から $1\mu\text{m}$ の半径まで延在する第1の部分を含み、この第1の部分は0.25%よりも大且つ0.5%未満の相対屈折率を有する。好ましくは、 $r = 0 \sim 1\mu\text{m}$ の全ての半径で $d / dR > -0.15\% / \mu\text{m}$ である。好ましくは、( $r = 0\mu\text{m}$ )及び( $r = 1\mu\text{m}$ )の間の差の絶対大きさは0.1%未満である。

【0189】

好ましくは、コアは第1の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第2の部分を更に含む。第2の部分は、 $2.5\mu\text{m}$ の半径まで延在し、0.20%から0.45%の を有する。好ましくは、第2の部分は、1から $1.5\mu\text{m}$ の間の全ての半径で0.3%から0.45%の を有する。ある好適な実施例において、第2の部分は、1.5から $2.5\mu\text{m}$ の

10

20

30

40

50

間の全ての半径で 0.2% から 0.35% の を有する。

【0190】

好ましくは、コアは第2の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第3の部分を更に含む。第3の部分は、4.5  $\mu\text{m}$  の半径まで延在し、0.15% から 0.35% の を有する。好ましくは、第3の部分は、2.5 から 4.5  $\mu\text{m}$  の間の全ての半径で 0.2% から 0.3% の を有する。好ましくは、第3の部分の全ての半径の間で ( $r$ ) の差の絶対大きさは、0.1% 未満である。好ましくは、 $r = 2.5 \sim 4.5$  の間の全ての半径の間で ( $r$ ) の差の絶対大きさは、0.1% 未満である。好ましくは、第3の部分の全ての半径の間で ( $r$ ) の差の絶対大きさは、0.1% 未満である。好ましくは、 $r = 2.5 \sim 4.5$  の間の全ての半径の間で ( $r$ ) の差の絶対大きさは、0.1% 未満である。

10

【0191】

好ましくは、コアは第3の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第4の部分を含み、第4の部分は、6  $\mu\text{m}$  の半径まで展開し、0.1% から 0.3% までの間の を有する。ある好適な実施例において、4.5 から 5  $\mu\text{m}$  までの間の全ての半径で 0.2% から 0.3% までの間の を有する。好ましくは、第4の部分は、5 から 6  $\mu\text{m}$  までの間の全ての半径で 0.15% から 0.3% までの間の を有する。

【0192】

好ましくは、コアは第4の部分を包囲し且つこれに直に隣接する第5の部分を含み、第4の部分は、9  $\mu\text{m}$  の半径及び 0.0% から 0.15% までの間にある を有する。好ましくは、( $r = 5.5 \mu\text{m}$ ) > 0.1% である。好ましくは、( $r = 6 \mu\text{m}$ ) > 0% である。

20

【0193】

ある好適な実施例において、 $AOEA_{L01}$  及び  $AOEA_{L02}$  は、400  $\mu\text{m}^2$  未満である。

【0194】

ある好適な実施例において、 $0.5 < AOEAL_{01} / AOEAL_{02} < 2$  である。他の好適な実施例において、 $0.6 < AOEAL_{01} / AOEAL_{02} < 1.5$  である。

【0195】

好適な実施例の第2のサブグループにおいて、ここに開示される光学ファイバは、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層と、を含む。ここで、1550 nm での光有効面積は 80  $\mu\text{m}^2$  よりも大であって、絶対 SBS 閾値は、約 50 km よりも長いファイバで 9.5 dB よりも大である。好ましくは、光有効面積は、80 から 110  $\mu\text{m}^2$  までの間にある。好ましくは、1380 nm での減衰は、1310 nm での減衰よりも 0.3 dB よりも高くはない。好ましくは、このファイバは、1550 nm で 0.03 dB / (一巻き) よりも大でない 32 mm 径曲げ損失を呈する。好ましくは、ファイバは 1300 nm 未満のケーブル化カットオフを有する。

30

【0196】

好適な実施例の第3のサブグループにおいて、ここに開示される光学ファイバは、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層と、を含む。コアの屈折率は、以下となるように選択される：

40

- 1550 nm で 80  $\mu\text{m}^2$  よりも大なる光有効面積、
- 約 50 km よりも長いファイバで 9.5 dB よりも大なる絶対 SBS 閾値、
- 1300 nm 未満のケーブル化カットオフ、
- 1550 nm で 0.03 dB / (一巻き) よりも大でない 32 mm 径曲げ損失を有する

【0197】

好適な実施例の第4のサブグループにおいて、ここに開示される光学ファイバは、一定の長さ、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層と、を含む。ここで、絶対 SBS 閾値は、約 50 km よりも長いファイバで 8.5 dB よりも大である。また、好ましくは、1380 nm での減衰は、1310  $\mu\text{m}$  で

50

の減衰よりも0.3 dBよりも高くはない。好ましくは、1380 μmでの減衰は、1310 μmでの減衰よりも0.1 dBよりも高くはない。より好ましくは、1380 μmでの減衰は、1310 μmでの減衰よりも0.05 dBよりも高くはない。好適な実施例において、1380 μmでの減衰は、1310 μmでの減衰を超えない。ある好適な実施例において、1380 μmでの減衰は、0.3 dB未満である。好ましくは、絶対SBS閾値は9.0 dBより大であって、より好ましくは9.5 dBよりも大である。好ましくは、1550 nmでの光有効面積は、80 μm<sup>2</sup>よりも大であり、より好ましくは80 μm<sup>2</sup>よりも大且つ120 μm<sup>2</sup>未満である。

【0198】

好適な実施例の第5のサブグループにおいて、ここに開示される光学ファイバは、一定の長さ、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層と、を含む。ここで、光ファイバは1550 nmで減衰を有する。コアの屈折率は、以下となるように選択される：

1550 nmで80 μm<sup>2</sup>よりも大なる光有効面積、  
 約  $9.5 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  よりも大 (ここで、Lはkm単位の長さ、 $\quad$ は1550 nmでのdB/km単位の減衰である。) dB単位での絶対SBS閾値、である。好ましくは、光有効面積は、80から110 μm<sup>2</sup>までの間にある。好ましくは、1380 nmでの減衰は、1310 nmでの減衰よりも0.3 dBよりも高くはない。好ましくは、このファイバは、1550 nmで0.03 dB/(一巻き)よりも大でない32 mm径曲げ損失を呈する。好ましくは、ファイバは1300 nm未満のケーブル化カットオフを有する。

【0199】

好適な実施例の第6のサブグループにおいて、ここに開示される光学ファイバは、一定の長さ、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層と、を含む。ここで、光ファイバは1550 nmで減衰を有する。コアの屈折率は、以下となるように選択される：

1550 nmで80 μm<sup>2</sup>よりも大なる光有効面積、  
 約  $9.5 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  (ここでLはkm単位の長さ、 $\quad$ は1550 nmでのdB/km単位の減衰である。) よりも大なるdB単位での絶対SBS閾値、  
 1300 nm未満のケーブル化カットオフ、  
 1550 nmで0.03 dB/(一巻き)よりも大でない32 mm径曲げ損失を有する。

【0200】

好適な実施例の第7のサブグループにおいて、ここに開示される光学ファイバは、屈折率分布及び中央線を有するコアと、コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層と、を含む。dB単位での絶対SBS閾値は、約  $8.5 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  よりも大である。ここで、Lはkm単位の長さ、 $\quad$ は1550 nmでのdB/km単位の減衰である。好ましくは、1380 μmでの減衰は、1310 μmでの減衰よりも0.3 dBよりも高くはない。好ましくは、1380 μmでの減衰は、1310 μmでの減衰よりも0.1 dBよりも高くはなく、好ましくは1310 μmでの減衰よりも0.05 dBよりも高くはない。ある好適な実施例において、1380 μmでの減衰は、1310 mでの減衰よりも大ではない。好適な実施例において、1380 μmでの減衰は、0.3 dB未満である。dB単位での絶対SBS閾値は、約  $9.0 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  よりも大である。ここで、Lはkm単位の長さ、 $\quad$ は1550 nmでのdB/km単位の減衰である。他の好適な実施例において、dB単位での絶対SBS閾値は、約  $9.5 + \log \left[ \frac{(1 - e^{-(0.19)(50)/4.343})}{(1 - e^{-(\quad)(L)/4.343})} \right]$  よりも大である。ここで、Lはkm単位の長さ、 $\quad$ は1550 nmでのdB/km単位の減衰である。

【0201】

10

20

30

40

50

好ましくは、 $1550\text{ nm}$ での光有効面積は、 $80\ \mu\text{m}^2$ よりも大である。好適な実施例において、 $1550\text{ nm}$ での光有効面積は、 $80\ \mu\text{m}^2$ よりも大且つ $120\ \mu\text{m}^2$ 未満である。

【0202】

図4は、ここに開示される光導波ファイバ300の図である(スケール通りではない)。光導波ファイバ300は、コア100と、コア100に直に隣接するとともにこれを包囲する外側環状クラッド若しくは外側クラッド層若しくはクラッド層200とを含む。

【0203】

好ましくは、クラディングはゲルマニア、又は、フッ素ドーパントを中に含まない。より好ましくは、ここに開示される光ファイバのクラッド200は、純シリカ若しくは實質的に純なシリカである。クラッド層200は例えばレイダウン工程の如きによってクラッド材料を堆積して形成され得る。例えばロッド・イン・チューブ光プリフォーム内にチューブを配置するような、ジャケット形成を与えられても良く、また、堆積材料とジャケットを組合せてもよい。クラッド層200は、1つ以上のドーパントを含むことができる。クラッド層200は、プライマリコーティングP及びセカンダリコーティングSによって包囲される。クラッド200の屈折率は、上記した相対屈折率パーセントを計算するために使用される。

【0204】

図を参照すると、クラッド層200は、コアを包囲して、 $n_c$ の屈折率を有し、 $(r) = 0\%$ を定義する。これは、光ファイバ若しくは光ファイバ・プリフォームの各部分又は領域の屈折率パーセントを計算するために使用される。

【0205】

図5に示すようにここに開示される光ファイバ300は光ファイバ通信システム30内に使用され得る。システム30は送信機34及び受信機36を含む。ここで、光ファイバ300は送信機34及びレシーバ36間で光信号を伝送する。システム30は好ましくは双方向通信ができて、送信機34及び受信機36は図面のためだけに図示される。システム30は好ましくはここに開示される光ファイバのセクション若しくはスパンを有するリンクを含む。システム30は、ここに開示の光ファイバの1つ以上のセクション又はスパンに光学的に接続している、例えば1つ以上の再生器、増幅器若しくは分散補正モジュールなどの1つ以上の光デバイスを含み得る。少なくとも1つの好適な実施例において、本発明による光ファイバ通信システムは、その間に再生器を含むことなしに光ファイバによって接続される送信機及び受信機を含む。他の好適な実施例において、本発明による光ファイバ通信システムはその間に増幅器を含むことなしに光ファイバによって接続される送信機及び受信機を含む。更に、他の好適な実施例において、本発明による光ファイバ通信システムはその間に増幅器も再生機もリピーターも含むことなしに光ファイバによって接続される送信機及び受信機を含む。

【0206】

図22は、ここで開示される光ファイバ通信システム400の他の実施例である。システム400は、光伝送線440によって光学的に接続された送信機434及び受信機436を含む。光伝送線440は、第1のファイバ442と、 $-70$ から $-150\text{ ps/nm-km}$ までの間の $1550\text{ nm}$ での分散を有する第2の光ファイバ444とを含み、第1のファイバ442は、ここに開示されるような大なる有効面積の高SBS閾値光ファイバである。好適な実施例において、第2のファイバは、正の相対屈折率を有する中央コア・セグメントと、中央セグメントを包囲し且つこれに接する負の相対屈折率を有するモートセグメントと、モートセグメントを包囲し且つこれに接する正の相対屈折率を有するリングセグメントとを有する相対屈折率分布を有する。好ましくは、第2のファイバの中央セグメントは、 $1.6\%$ から $2\%$ までの間の最大相対屈折率を有し、モート・セグメントは、 $-0.25\%$ から $-0.44\%$ までの間の最小相対屈折率を有し、リング・セグメントは、 $0.2\%$ から $0.5\%$ までの間の最大相対屈折率を有する。好ましくは、第2のファイバの中央セグメントは、 $1.5\ \mu\text{m}$ から $2\ \mu\text{m}$ までの間の外側半径を有し、モート・

10

20

30

40

50

セグメントは4  $\mu\text{m}$ から5  $\mu\text{m}$ の間の外側半径を有し、リング・セグメントは6  $\mu\text{m}$ から7  $\mu\text{m}$ の間の最大相対屈折率を有する。第2のファイバの例は、2003年3月20日に公開された米国特許出願第2003/0053780号、シリアル番号第10/184,377号の特に図4若しくは図6に記載される。図22内の記号「X」で示されるように、第1のファイバ442及び第2のファイバ444は溶融スプライス、光コネクタ等によって光学的に接続され得る。好ましくは、第1のファイバのカップ1は、第2のファイバのカップ2に合わせられる。ここで、好ましくは1/2は、好ましくは0.8から1.2までの間、より好ましくは0.9から1.1までの間、更に好ましくは0.95から1.05までの間である。光伝送線440は、1つ以上のコンポーネント及び/又は他の光ファイバ(例えばファイバ及び/又は各コンポーネントとファイバとの接続する1つ以上の「ピグテールファイバ」445)を含むことができる。好適な実施例において、第2の光ファイバ444の少なくとも一部分は、選択的に分散補償モジュール446内に配置される。光伝送線440は、送信機434及び受信機436の間で光信号を透過する。好ましくは、光伝送線内の残余分散は、100kmのファイバあたり約5ps/nm未満である。

10

**【0207】**

好ましくは、ここで開示される光ファイバは低水含有であって、及び、好ましくは低水ピーク光ファイバである。すなわち特定の波長領域、特にEバンド内で低水ピーク若しくは非水ピークを呈する減衰曲線を有する。

**【0208】**

低水ピーク光ファイバの製造方法が、PCT出願W000/64825号、W001/47822号及びW002/051761号に開示されており、これらの内容は引用によりここに包含されるものとする。

20

**【0209】**

シリカベース反応生成物を形成する酸化物である少なくとも1つのガラス形成プリカーサ化合物を含む動流体混合物の成分の少なくともいくつかを化学反応させることによってスート・プリフォーム又はスート・ボディが好ましくは形成される。この反応生成物の少なくとも一部が基板の方向へ向けられて、多孔質シリカボディを形成する、このシリカボディの少なくとも一部は一般的に酸素に結合する水素を含む。例えば、スート・ボディは、OVD法によってベイトロッドの上へスート層を堆積させることによって形成され得る。

30

**【0210】**

基板、ベイトロッド、若しくは、マンドレルは中空の管状ハンドルのようなガラス・ボディに挿入されて、旋盤に取り付けられる。旋盤は、スート生成バーナーに近接するマンドレルを回転・移動せしめるように設計されている。マンドレルが回転して移動すると、一般的に「スート」と称される公知のシリカベース反応生成物はマンドレルの方向へ向けられる。少なくとも、シリカベース反応生成物の一部は、マンドレル及びハンドルの一部分に与えられて、その上にボディを形成する。

**【0211】**

所定の量のスートがマンドレルに堆積されるとスート堆積は終了し、マンドレルがスート・ボディから除去される。

40

**【0212】**

マンドレルの除去後にスート・ボディは軸方向に延在する中心穴が出来る。好ましくは、スート・ボディは、下降供給装置上のハンドルによって吊されて、圧密化炉内に配置される。好ましくは、ハンドルから離れた側の中心穴端部には圧密化炉内にスート・ボディを配置する前に底部プラグを取り付けられる。好ましくは、底部プラグが配置されて、摩擦によってスート・ボディに対して固定される。プラグは、挿入を容易にするとともに、スート・ボディ内に少なくとも一時的に固定され、ゆるめられるように好ましくは先細りにされる。

**【0213】**

50

好ましくは、圧密化炉内の高い温度においてスート・ボディを塩素含有雰囲気に曝してこれを化学的に乾燥させる。塩素含有雰囲気は、スート・ボディから製造される光導波路ファイバの特性に望ましくない影響を及ぼす水分及び他の不純物を効果的にスート・ボディから除去する。スート・ボディを形成するOVD法において、塩素はスートを通すようにして十分な量だけ流されて、効果的に中心穴を包囲する中心線領域を含むプリフォーム全体を乾燥させる。

#### 【0214】

化学的乾燥工程に続いて、炉の温度は十分な温度、好適には1500まで昇温されて、焼結ガラスプリフォームにスート・ブランクを圧密化する。中心穴の閉塞の前に水素化合物によって再度濡らされることがないようにして、中心穴は圧密化工程の間に閉塞される。好ましくは、中心線領域は、約1ppb未満の重量平均OH濃度を有する。

10

#### 【0215】

水素化合物を含む雰囲気への中心穴の暴露が減少、若しくは、圧密化の間に中心穴が閉塞することで終了する。

#### 【0216】

上記したように、プラグは、例えば石英ガラス・プラグの如き、好ましくは重量で約31ppm未満の水含有のガラス・ボディであって、好ましくは、重量で5ppbよりも少ない、例えば化学的に乾燥させたシリカ・プラグである。典型的には、このようなプラグは塩素含有雰囲気乾燥されるが、他の乾燥剤を含む雰囲気であっても同様に適用できる。理想的には、ガラス・プラグは、重量で1ppb未満の水含有である。加えて、ガラス・プラグは、約200 $\mu$ mから約2mmの厚さの薄壁プラグである。更に好ましくは、上部プラグの少なくとも一部分は、約0.2mmから約0.5mmまでの壁厚さを有する。より好ましくは、細長部分66は、約0.3mmから約0.4mmまでの盤厚さを有する。より薄い壁は拡散を促進させるが、処理の間、破損されやすくなってしまふ。

20

#### 【0217】

つまり、中心穴内に受動真空をつくるように中心穴が封止された後に不活性ガスが中心穴から好ましくは拡散され、薄壁ガラス・プラグは中心穴からの不活性ガスの急速な拡散を容易化するのである。より薄い壁のプラグであればあるほど、拡散速度は大である。圧密化ガラス・プリフォームは、好ましくはガラス・プリフォームを線引きするのに十分な高温まで加熱される。好ましくは約1950から2100である。これによって、例えばコア・ケーン又は光ファイの如き、円柱形ガラス・ボディを形成するようにプリフォームの直径を減じ、中心穴は中実中心領域を形成するようにつぶれるのである。圧密化の間、受動的に形成された密封された中心穴内に維持される減圧は、一般的に線引き（若しくは再線引き）工程の間、中心穴の閉塞を達成するのに十分な圧力である。故に、全てに亘って低いO-Hオバートン減衰が達成されるのである。例えば、950nm若しくは1240nmの如き、水ピークを誘起する他のOHと同様に、1383nmでの水ピークは低減され得て、実質的には除去され得る。

30

#### 【0218】

低水ピークは一般に、特に、約1340nmから約1470nmまでの伝送信号でより低い減衰損失を提供する。さらに、低水ピークは、例えば1つ以上のポンプ波長で動作するラマンポンプ若しくはラマン増幅器の如き、光ファイバに光学的に連結されるポンプ発光素子の改良されたポンプ効率を提供する。好ましくは、所定の動作波長若しくは波長域よりも約100nmより低い1つ以上の波長でラマン増幅器はポンプされる。例えば、約1550 $\mu$ m近傍の波長で動作信号を運ぶ光ファイバは、約1450nm近傍のポンプ波長でラマン増幅器でポンプされる。したがって、約1400nmから約1500nmまでの波長域内で、特に1400nm近傍のポンプ波長で、より低いファイバ減衰は、ポンプ減衰を減少させ、ポンプ効率を向上、すなわちポンプパワーのmW当たりのゲインを上昇させる。一般的に、ファイバのより大なるOH不純物により、水ピークは高さと同様に幅においても成長する。故に、ポンプ波長で動作する信号波長若しくは増幅機で効率的な操作のより広い選択はより少ない水によって提供されるのである。故に、減じられたOH不

40

50

純物は、約1260nmから約1650nmまでの波長で両者間に損失を減じ得る。特に、減じられた損失は、より効率的なシステム動作において結果としてなる1383nm水ピーク領域に得られ得る。

【0219】

OVD法によって製造されるとき、ここに開示されるファイバは低PMD値を呈する。光ファイバのスピニングがここに開示されるファイバのためのPMD値を下げ得る。

【0220】

ここに開示される光ファイバ、特に、Ge添加光ファイバのブリュアン散乱損失は、線引き工程の間、ファイバに与えられる引っ張り力を調整することで更に減じ得る。光ファイバを線引きできるように、少なくとも光ファイバ・プリフォームの一部分、好ましくは端部領域が高温に加熱される。例えばRF誘導炉へプリフォームを降下して溶解温度に加熱する。プリフォームは、高純度・低損失ゲルマニウムシリケートガラス・コアを含み、当該コアはより低い屈折率を有するガラス・クラッドの外側層によって包囲される。ファイバは、適切に調整された張力によって加熱されたプリフォームから線引きされる。充分に加熱すると、ガラスストランドを支持しているプリフォームの溶解端部が落下して、ストランドがファイバ線引きステーションに嵌入される。所望の直径及び一定のファイバを生産するようにパラメータ調整される。ファイバ線引き速度及び張力は、コンピュータ制御下にある。ファイバ線引き張力は、正弦波、三角形、好ましくは台形の波形にファイバ長に関して、実質的に、10gから50gの範囲内の最低値と、150gから250gの最大値との間で調整される。正弦波の波形は、実正弦波の正の半分であって、ここに参照する波長は、最小張力範囲から最大へ、そして最小へ戻る。正弦波の好適な波長は3から30kmの範囲内である。好適な三角形波形は、3から30kmの範囲で長さ方向に沿った基部によって特徴づけられる。好適な台形波形は、ファイバ長に沿って一組の基部を有する。主基部は3kmから15km、副基部は1kmから13kmの範囲内である。最終生成物は、Ge添加コアとコアを包囲するクラッドを有する線引き光ファイバである。コアは、調整される歪の繰り返しパターンによって特徴づけられる。歪は、10乃至50gの低線引き応力から150乃至250gの高線引き応力の間の波長で変調される。変調パターンは、3kmから30kmまでの範囲内で反復長さによって特徴づけられる。パターン波形は、好ましくは正弦波、三角形若しくは台形である。また、ここに引用により包含される米国特許第5,851,259号を参照されたい。

【0221】

ここに開示される光ファイバの全ては光信号伝送システムに使用され得て、好ましくは送信機、受信機及び光伝送線を含む。光伝送線は、光学的に送信機及び受信機に連結される。光伝送線は好ましくは少なくとも1つの光ファイバ・スパンを含み、好ましくは光ファイバの少なくとも1つのセクションを含む。

【0222】

このシステムは、好ましくは例えばラマン増幅器の如き、少なくとも1つの増幅器を含み、光学的に光ファイバ・セクションに連結される。

【0223】

システムは、更に好ましくは光伝送線上へ光信号を運ぶことができる複数のチャネルを相互接続するためのマルチプレクサを含む。ここで、少なくとも1、より好ましくは少なくとも3、最も好ましくは少なくとも10の光信号が約1260nmから1625nmまでの間の波長で伝播する。ここで、1つ以上の信号は、少なくとも1つ、より好ましくは、1310nmバンド、Eバンド、Sバンド、Cバンド、Lバンドの波長域のうちの少なくとも2で伝播する。

【0224】

好適な実施例において、このシステムは、粗い波長分割多重モードにおいて動作することができる。ここで、1つ以上の信号は、少なくとも1つ、より好ましくは、1310nmバンド、Eバンド、Sバンド、Cバンド、Lバンドの波長域のうちの少なくとも2で伝播する。

10

20

30

40

50

## 【0225】

1つの好適な実施例において、システムは、20km程度の長さを有するここに開示の光ファイバのセクションを含む。他の好適な実施例において、システムは、20kmよりも大なる長さを有するここに開示の光ファイバのセクションを含む。更に他の好適な実施例において、システムは、70kmよりも大なる長さを有するここに開示の光ファイバのセクションを含む。

## 【0226】

好適な実施例において、システムは約1Gbit/s以下で動作する。他の好適な実施例において、システムは約2Gbit/s以下で動作する。また他の好適な実施例において、システムは約10Gbit/s以下で動作する。更に他の好適な実施例において、システムは約40Gbit/sで動作する。また更に他の好適な実施例において、システムは約40Gbit/s以上で動作する。

10

## 【0227】

好適な実施例において、ここに開示されるシステムは光源を含み、ここに開示の光ファイバは光源と、光ファイバによって送信された光信号を受信する光ファイバに光学的に連結された受信機とを有する。ディザリング及び/又は位相変調能力を有する光源、及び/又は、振幅変調して、光源及び光信号によって生成される光信号は、受信機によって受信される。

## 【0228】

誘導ブリュアン散乱(SBS)は、入力パワー(Pin)を記録する測定値システムで測定されることができて、入力パワーとしての後方散乱電力(Pbs)は、入力パワーの定義される範囲に亘って変化する。さまざまなシステム及び/又は光ファイバのSBS閾値を決定する方法がファイバを特徴づけるために使用され得る。1つの好適な方法及びシステムがここで開示される。

20

## 【0229】

ここで開示される測定値システムは、光源、エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)、可変光減衰器(VOA)、偏波コントローラ、2×2カップラ若しくは光サーキュレータ、いくつかの光パワー検出器、及びパワーメータの如き光パワールーティング装置を含む。FC/APCコネクタによるシングルモード・パッチコードがこれらのコンポーネントに加えられる。代表的な測定システムが図20に示される。

30

## 【0230】

可変波長若しくは単波長連続発振レーザの光源は、非常に狭いスペクトル幅(約150kHz以下)を有する。波長は、1550nm近傍で好ましくは中心に配置されるが、EDFAのゲインバンド内で変化することができる。EDFAは、テストファイバ内のSBSを誘起することができるパワーレベルに光信号を増幅するために使用される。可変光減衰器(VOA)は、試験用ファイバに入力される光強度を変化させるために使用される。VOAは、入力パワー及び後方散乱パワーの測定を可能とするように十分に細いステップ幅及び十分な範囲となるように選択される。偏波制御装置は、好ましくは100%の偏光度及び偏波の安定状態を決定するために使用される。2×2方向性カップラ若しくは光サーキュレータは、パワーをテストファイバに導き、後方散乱パワー(ポートB)及び/又は入力パワー(ポートA)のモニタリングをサポートする。テストファイバ(FUT)は、溶融スプライス若しくは他の無反射接続装置又は方法でカップラ若しくはサーキュレータに接続される。第3の検出回路は、ポートCで出力パワーをモニターするために使用される。特に明記しない限り、ここで使用されるSBS閾値は、非常に狭いスペクトル幅(約150kHz以下)を有する連続発振レーザの出力に光ファイバを向けることに対応する。ディザリング化若しくはより広いスペクトル幅を有する出力光源に向けられたとき、より高い閾値が同じファイバで得られる。特に明記しない限り、ここに開示のSBS閾値は、約50kmの長さを有する光ファイバに対応する。SBS閾値測定値がファイバの異なる長さにおいて実行されてもよいと理解されなければならない。

40

## 【0231】

50

測定値を実施するために、ファイバがシステムに接続され、カプラータップが光パワー検波器に接続される。レーザーが励起され、EDFAは固定された出力パワーを生じる。VOA減衰は、高い挿入損失値からゼロまで、小なる増加量で選択された範囲内でステップ化される。例えば、実施例において、ステップ幅は0.1 dB、走査範囲は20 dBである。

#### 【0232】

基準値測定が実際の入力パワーを得るために実施される。入力パワーがこのプロセスの間、モニターされている一方で、基準測定によって偏波依存損失(PDL)及びスプライス損失を測定することなく実際の入力パワーの判定を可能となる。この測定値は、テスト用の2 mのファイバのサンプルで実施される。ファイバはカットバックされて、ポートCに接続される。VOA走査は、同じ範囲に亘って繰り返され、基準入力パワーがポートCで記録される。これらのパワー値が記録の入力パワーとして使用される。入力パワー及び後方散乱パワーレベルは、各段階で記録される(図21内の曲線Pを見よ)。

10

#### 【0233】

走査が完了すると、曲線の一次導関数及び二次導関数が計算される。データセットは一次導関数及び二次導関数を計算する前に好ましくはスムージングされる。絶対SBS閾値は、入力パワー(mW単位)の変化に関するmW単位の後方散乱パワーの変化率の最大となる位置を表す二次導関数のゼロ位置でここでは定義する。測定データ(曲線P)、一次微分(曲線P')及び二次微分(曲線P'')のプロットを図21に示す。曲線P'は、mW単位の入力パワーに関するmW単位の後方散乱パワーの一次導関数である。曲線P''は、mW単位の入力パワーに関するmW単位の後方散乱パワーの二次導関数である。図21において、曲線P''のピークのP''ピークの横軸は、dB単位の絶対SBS閾値(SBS t)である(例えば、図21の8.22 dB)。すなわち、二次導関数の最大入力パワーは、ファイバの絶対SBS閾値として定義される。

20

#### 【0234】

ここでは、固定された偏波状態を確立するための偏波制御装置を用いてSBS閾値を得た。しかしながら、SBS閾値を測定するためのシステム及び/又は方法の他の実施例において、SBS閾値は、偏波ランダムマイザ若しくはスクランブラでも測定され得る。固定された偏波状態(100%の偏光度の偏波及び安定状態の偏波)で得られたSBS t値と比較したとき、偏波ランダムマイザの使用は、約3 dBだけ所与の光ファイバの測定されたSBS t値を増加せしめるだろう。

30

#### 【0235】

ここで使用される比較SBS閾値は、例えばここで開示される光ファイバの減衰と同様の減衰を有するコーニング社によって製造された登録商標SMF-28又はSMF-28e光ファイバでのSBS閾値改良の如き、異なるファイバを同様に測定して得られたSBS閾値との比較である(すなわち、同じ方法及び測定システムによって測定されたデータが使用される)。つまり、SBS閾値測定方法(及びシステム)は多数存在するが、2つの異なるファイバから同じ方法に従って得られた比較値は異なる方法を使用してこれらファイバから得た比較値とも実質的に同じでなければならない。

#### 【0236】

SBS閾値は、テストに供されるファイバの長さ及び減衰によって変化する。一般的に、同じファイバであっても、非常に短い長さの光ファイバは非常に長い長さのファイバよりも高いSBS閾値を有する傾向がある。また、一般的に、同じ光ファイバであっても、より高い減衰を有する光ファイバは、より低い減衰を有する光ファイバよりも高いSBS閾値を有する傾向がある。近似の解析式は、ECOC2003のG.H. BuAbbud氏らによる「広帯域WDM内のラマン及びブリルアン非線形性 - オーバーレイ・シングル・ファイバ PON」で与えられている：

40

【数 2 0】

$$P_{th}(L) \approx 21 \frac{\alpha A_{eff}}{g_B^{eff} [1 - \exp(-\alpha L)]},$$

ここで、

【数 2 1】

$$g_B^{eff}$$

は実効ブリルアンゲイン係数、 $\alpha$  は減衰、 $L$  はファイバ長、 $A_{eff}$  は光有効面積である。この単純な近似において、SBS 閾値はファイバの実効長に対して反比例する。故に、長さ  $L_1$  の測定された閾値が  $P_1$  のとき、長さ  $L_2$  の閾値は、

【数 2 2】

$$P_2(dB) \cong P_1(dB) + 10 \log \left[ \frac{1 - \exp(-\alpha L_1)}{1 - \exp(-\alpha L_2)} \right].$$

【0 2 3 7】

例えば、ここに開示の SBS 閾値の値は、約 50 km の長さ ( $L_1$ ) のファイバ及び 1550 nm で約 0.19 dB/km の減衰に対応する。故に、ここに開示のタイプの光ファイバの SBS 閾値  $P_2$  は、 $L_2$  及び減衰  $\alpha_2$  を有し、これは以下から決定される：

【数 2 3】

$$P_2(dB) \cong P_1(dB) + 10 \log \left[ \frac{1 - \exp(-0.19 * 50)}{1 - \exp(-\alpha L_2)} \right].$$

【0 2 3 8】

好ましくは、ここで開示される光ファイバは、シリカベースコア及びクラッドを有する。好適な実施例において、クラッドは約 125  $\mu$ m の外径を有する。好ましくは、クラッドの外径は、光ファイバに沿って一定の直径を有する。好適な実施例において、光ファイバの屈折率は、半径方向に対称である。

【0 2 3 9】

上記した説明は、本発明の典型例であって、特許請求の範囲で定義される本発明の性質及び特徴を理解するための概要を与えることを意図していると理解されるであろう。添付の図面は、本発明の更なる理解を与えるために含まれており、ここに取り入れられて本明細書の一部を構成する。図面は、発明の詳細な説明とともに、本発明の原理及び動作の説明に寄与して、本発明の多様な特徴及び実施例を示している。ここに記載された本発明の好適な実施例の多様な変更は、添付の特許請求の範囲の記載によって定義される本発明の精神若しくは観点から逸脱することなくなされ得ることを当業者であれば明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

【0 2 4 0】

【図 1】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 1 の組に対応する屈折率分布である。

【図 2】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 2 の組に対応する屈折率分布である。

【図 2 A】図 2 の好適な実施例の第 2 の組に対応する他の屈折率分布である。

【図 2 B】図 2 の好適な実施例の第 2 の組に対応する他の屈折率分布である。

【図 2 C】図 2 の好適な実施例の第 2 の組に対応する他の屈折率分布である。

【図 3】図 1 及び 2 の好適な実施例の半径に対する屈折率の変化の図である。

【図 4】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の横断面図である。

10

20

30

40

50

【図 5】ここに開示された光ファイバを使用した光ファイバ通信システムの図である。

【図 6】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 7】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 8】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 9】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 10】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。 10

【図 11】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 11 A】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 11 B】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 11 C】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 11 D】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 3 の組に対応する屈折率分布の図である。 20

【図 12】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 13】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 14】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 15】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 15 A】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。 30

【図 15 B】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 15 C】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 15 D】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 15 E】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。

【図 15 F】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 4 の組に対応する屈折率分布の図である。 40

【図 16】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 5 の組に対応する屈折率分布を図示する。

【図 17】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 6 の組に対応する屈折率分布を図示する。

【図 18】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 7 の組に対応する屈折率分布を図示する。

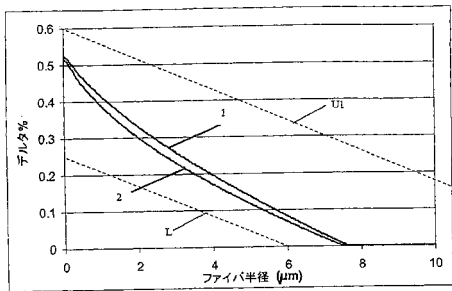
【図 19】ここに開示された光導波ファイバの好適な実施例の第 8 の組に対応する屈折率分布を図示する。

【図 20】S B S 閾値を測定するための代表的な測定システムの図である。 50

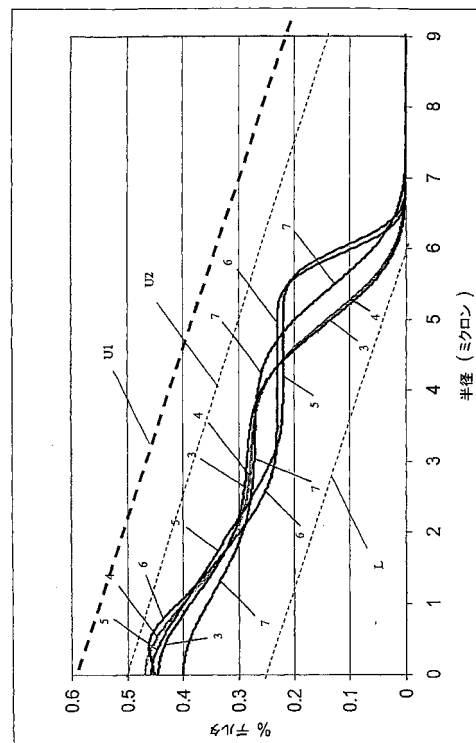
【図 2 1】入力パワーに対する後方散乱パワー及び代表的な光ファイバ S B S 閾値測定値のための一次導関数及び二次導関数のプロット図である。

【図 2 2】ここに開示された光ファイバを使用した光通信システムの図である。

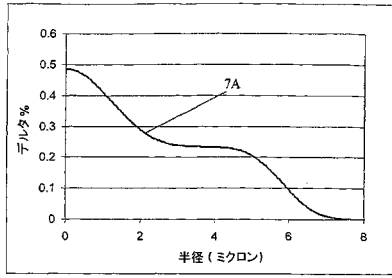
【図 1】



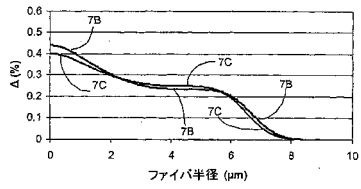
【図 2】



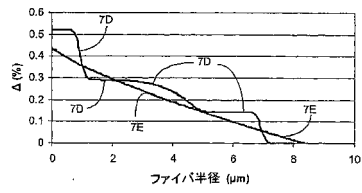
【 図 2 A 】



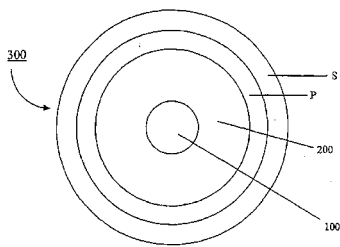
【 図 2 B 】



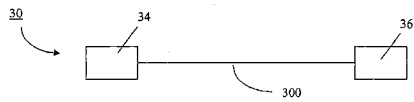
【 図 2 C 】



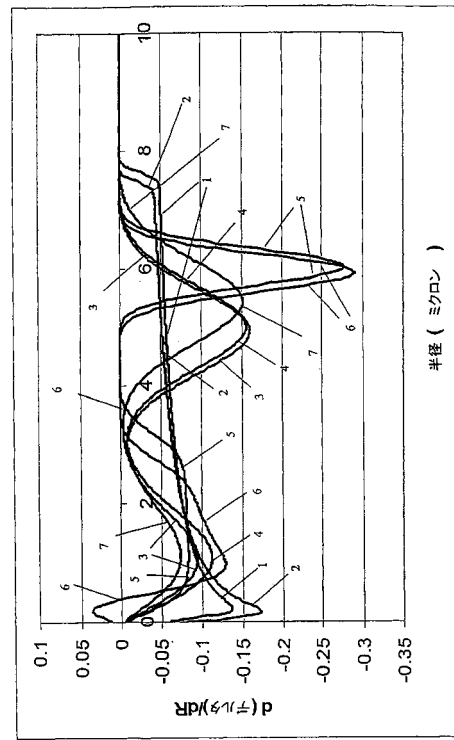
【 図 4 】



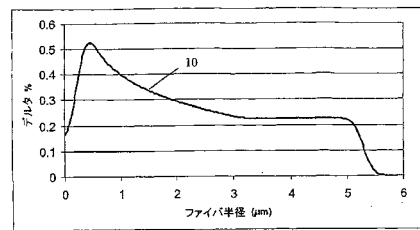
【 図 5 】



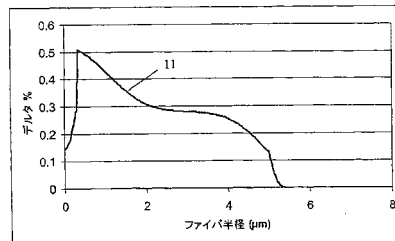
【 図 3 】



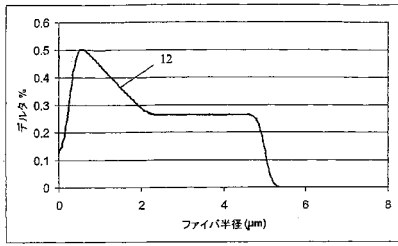
【 図 6 】



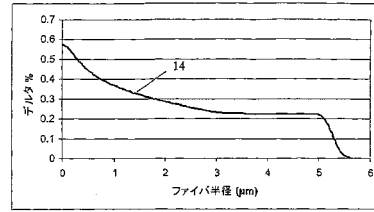
【 図 7 】



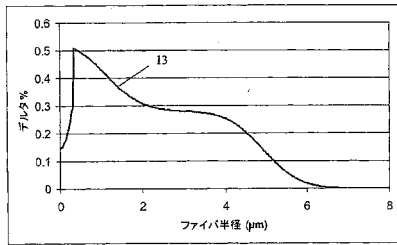
【図 8】



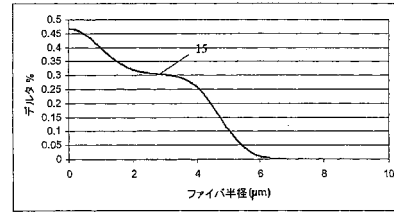
【図 10】



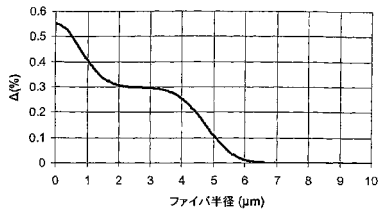
【図 9】



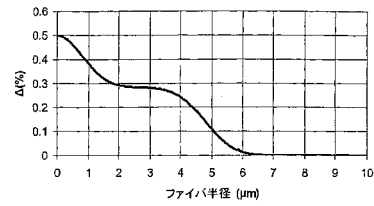
【図 11】



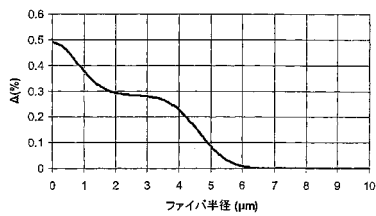
【図 11 A】



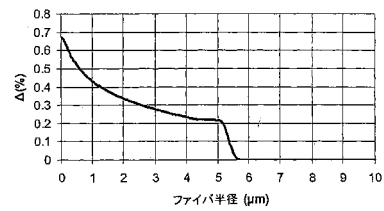
【図 11 C】



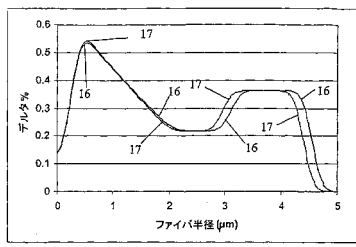
【図 11 B】



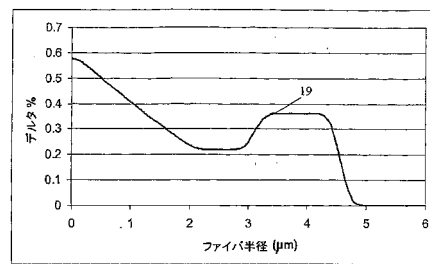
【図 11 D】



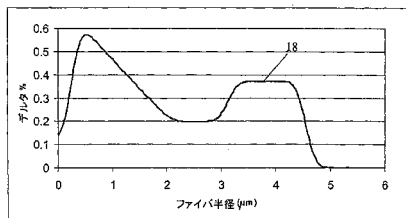
【 図 1 2 】



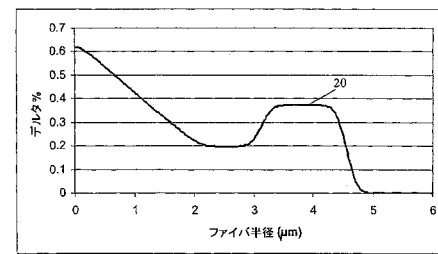
【 図 1 4 】



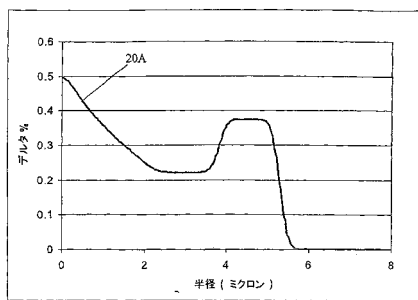
【 図 1 3 】



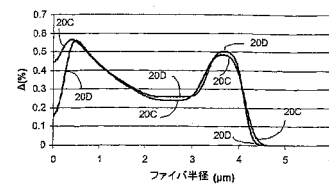
【 図 1 5 】



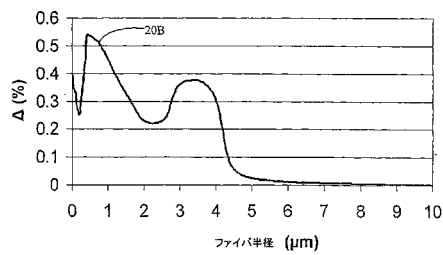
【 図 1 5 A 】



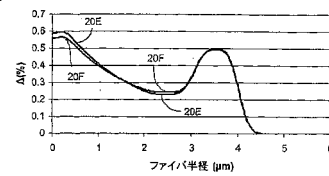
【 図 1 5 C 】



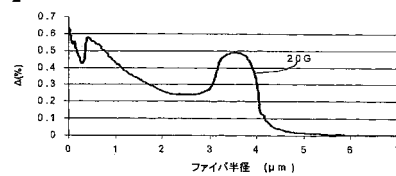
【 図 1 5 B 】



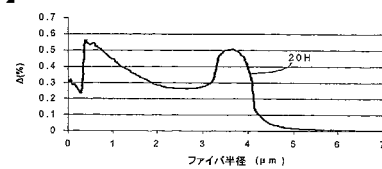
【 図 1 5 D 】



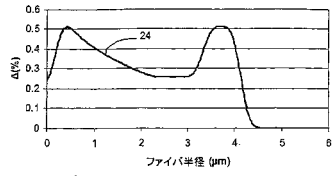
【 図 1 5 E 】



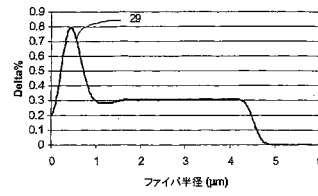
【 図 1 5 F 】



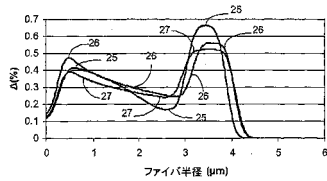
【図16】



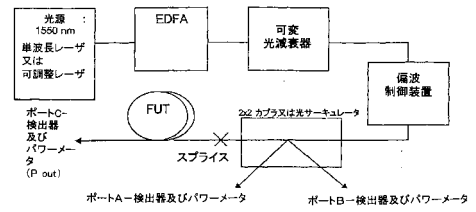
【図19】



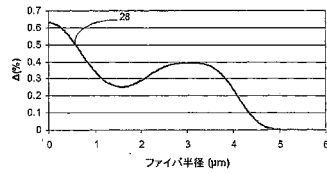
【図17】



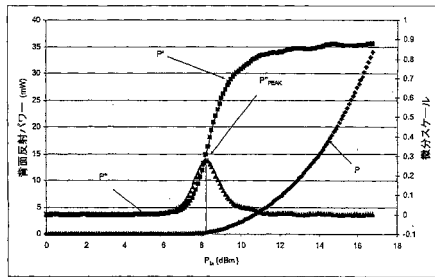
【図20】



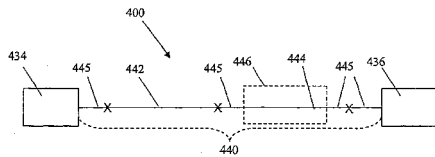
【図18】



【図21】



【図22】



## 【手続補正書】

【提出日】平成18年1月6日(2006.1.6)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

所定の長さ、屈折率分布及び中心線を有するコアと、前記コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む光ファイバであって、

前記コアは、最大相対屈折率  $n_{1MAX}$  を有する中央領域、

前記中央領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  を有する中間領域、及び、

前記中間領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  を有する外側領域を含み、

$n_{1MAX} > n_{2MIN}$ 、及び、 $n_{3MAX} > n_{2MIN}$  であり、

前記コアの屈折率は、 $L$  を  $km$  単位の長さ、 $\alpha$  を  $1550nm$  での  $dB/km$  単位の減衰とすると、 $dB$  単位で約  $9.3 + \log [ (1 - e^{-(0.19)(50)/4.343}) / (1 - e^{-(\alpha)(L)/4.343}) ]$  よりも大なる絶対  $SB$  閾値を有するように選択されており、 $1550nm$  で減衰を有することを特徴とする光ファイバ。

## 【請求項2】

前記コアの屈折率は、 $1550nm$  で  $80\mu m^2$  よりも大なる光有効面積を提供するように選択されてい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】

送信機、受信機、及び、前記送信機と前記受信機とを光学的に接続する光伝送線を含む光通信システムであって、

前記光伝送線は、第2の光ファイバに光学的に接続する請求項1記載の前記光ファイバを含み、

前記第2の光ファイバは、 $1550nm$  で  $-70$  から  $-150ps/nm-km$  の間にある分散を有することを特徴とする光通信システム。

## 【請求項4】

所定の長さ、屈折率分布及び中心線を有するコアと、前記コアを包囲し且つこれに直に隣接するクラッド層とを含む光ファイバであって、

前記コアは最大相対屈折率  $n_{MAX} > 0.4\%$  を有し、

前記コアの屈折率は、 $L$  を  $km$  単位の長さ、 $\alpha$  を  $1550nm$  での  $dB/km$  単位の減衰とすると、 $dB$  単位で約  $9.3 + \log [ 1 - e^{-(0.19)(50)/4.343} ) / (1 - e^{-(\alpha)(L)/4.343} ) ]$  よりも大なる絶対  $SB$  閾値を有するように選択されており、 $1550nm$  で減衰を有することを特徴とする光ファイバ。

## 【請求項5】

$r_{MAX}$  は、 $0$  から  $1\mu m$  の間の半径に位置することを特徴とする請求項4記載の光ファイバ。

## 【請求項6】

前記コアの屈折率は  $1550nm$  で  $80\mu m^2$  よりも大なる光有効面積を与えるように選択されていることを特徴とする請求項4記載の光ファイバ。

## 【請求項7】

$1380\mu m$  での減衰が  $1380\mu m$  での減衰よりも  $0.3dB$  以上大きくないことを特徴とする請求項4記載の光ファイバ。

## 【請求項8】

前記クラッドに対する前記コアの全ての屈折率は、 $0\%$  よりも大であることを特徴とす

る請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 9】

実質的に前記コアの全ては、1 未満のアルファのアルファ分布である相対屈折率を有することを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 10】

前記コアは、中央領域と、前記中央領域を包囲し且つこれに直に隣接する外側領域とを含み、前記中央領域は  $n_{MAX}$  を含むことを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 11】

前記コアは、最大相対屈折率  $n_{1MAX}$  を有する中央領域と、  
前記中央領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最小相対屈折率  $n_{2MIN}$  を有する中間領域と、  
前記中間領域を包囲し且つこれに直に隣接し、最大相対屈折率  $n_{3MAX}$  を有する外側領域とを含み、

$n_{1MAX} > n_{2MIN}$  及び  $n_{3MAX} > n_{2MIN}$  であることを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

。

【請求項 12】

$n_{1MAX} > 0$ 、 $n_{3MAX} > 0$ 、 $n_{2MIN} > 0$  であることを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 13】

$n_{1MAX}$  は  $n_{3MAX}$  よりも大であることを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 14】

$n_{1MAX}$  は実質的に  $n_{3MAX}$  に実質的に等しいことを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 15】

$n_{1MAX}$  は  $n_{3MAX}$  未満であることを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 16】

$n_{1MAX} - n_{2MIN} > 0.25\%$  であることを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 17】

$n_{2MIN} < 0.4\%$  であることを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 18】

$n_{3MAX} - n_{2MIN} > 0.10\%$  であることを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

【請求項 19】

送信機、受信機、及び前記送信機と前記受信機とを光学的に接続している光伝送線とを含む光通信システムであって、

前記光伝送線は、第 2 の光ファイバに光学的に接続している請求項 4 記載の光ファイバを含み、

前記第 2 の光ファイバは、1550nm で -70 から -150 ps/nm-km の間にある分散を有することを特徴とする光通信システム。

## フロントページの続き

(31)優先権主張番号 60/546,490

(32)優先日 平成16年2月20日(2004.2.20)

(33)優先権主張国 米国(US)

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, 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, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ハワード マディソン アイ

アメリカ合衆国 28409 ノースカロライナ州 ウィルミントン ターボンドライブ 808

(72)発明者 クマール シバ

カナダ エル9エー3イー7 オンタリオ州 ハミルトン マニングアヴェニュー 84

(72)発明者 マー ダイピン

アメリカ合衆国 28409 ノースカロライナ州 ウィルミントン フレンドリーレーン 368

(72)発明者 ミシュラ スニグダラジャ ケー

アメリカ合衆国 28409 ノースカロライナ州 ウィルミントン セントフランシスドライブ 3509

(72)発明者 ラフィン エー . ボウ

アメリカ合衆国 14870 ニューヨーク州 ペインテッドポスト フィールドビュードライブ 129

(72)発明者 テン セルゲイ ワイ

アメリカ合衆国 14845 ニューヨーク州 ホースヘッズ パリントンロード 34

Fターム(参考) 2H150 AB05 AD03 AD12 AD13 AD17 AD22 AD35 AE12 AE15 AE26

AE28 AE29 AE39 AE47 AE54 AH12 AH14 AH35