

(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2005-514636

(P2005-514636A)

(43) 公表日 平成17年5月19日(2005.5.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G02B 6/00

C03B 37/018

C03C 13/04

G02F 1/35

F 1

G02B 6/00

C03B 37/018

C03C 13/04

G02F 1/35

テーマコード(参考)

2H050

2K002

4G021

4G062

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2003-555242 (P2003-555242)  
 (86) (22) 出願日 平成14年12月11日 (2002.12.11)  
 (85) 翻訳文提出日 平成16年6月16日 (2004.6.16)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/039814  
 (87) 國際公開番号 WO2003/054589  
 (87) 國際公開日 平成15年7月3日 (2003.7.3)  
 (31) 優先権主張番号 60/341,256  
 (32) 優先日 平成13年12月20日 (2001.12.20)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

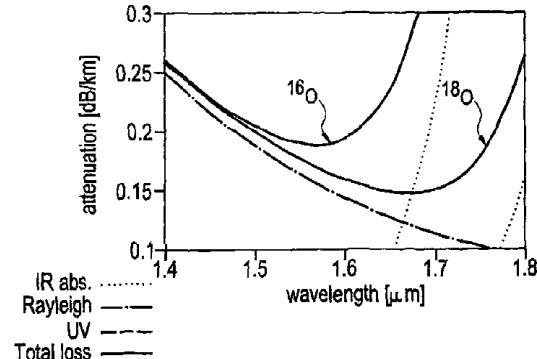
(71) 出願人 501246857  
 コーニング・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国ニューヨーク州14831  
 , コーニング, リバーフロント・プラザ  
 1  
 (74) 代理人 100079119  
 弁理士 藤村 元彦  
 (72) 発明者 アレン ダグラス シー  
 アメリカ合衆国 14830 ニューヨー  
 ク州 コーニング ウエストフィフス  
 リート 147  
 (72) 発明者 ブラウン ジョン ティー  
 アメリカ合衆国 14830 ニューヨー  
 ク州 コーニング ウエストサードストリ  
 ート 455

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】同位体置換光ファイバ

## (57) 【要約】

同位体置換したシリカベース光ファイバは、従来のシリカベースファイバよりも低損失、広帯域且つより広いラマンゲインスペクトル特性を有する。シリコン又は酸素の自然の同位体存在比よりも少ない重量体は、自然の同位体存在比よりも多い軽量体と置換されて、赤外吸収を僅かにより長波長側にシフトさせる。実施例において、酸素<sup>18</sup>は、少なくともファイバのコア領域において自然界に多量に存在する酸素<sup>16</sup>と置換される。最終的に得られる同位体置換ファイバは、従来のファイバよりも小さい0.044 dB/kmの最小損失であって、0.044~0.034 dB/kmの損失範囲で17%よりも広い帯域幅を有する。このようなファイバは、プラズマ化学気相蒸着法による従来のファイバ製造装置で容易に製造できる。ファイバのコア領域において酸素<sup>16</sup>に対して酸素<sup>18</sup>の50%置換すると、ラマン増加スペクトルが実質的に広げられる。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

自然の同位体比から十分に変化させた相対比を有する酸素の複数の同位体を含み光学的性質を変化させた光導波路であって、光伝導コア領域を含み、前記コア領域の酸素の少なくとも 20 モル % が酸素 18 であって、前記コア領域は前記酸素 18 の量の少なくとも 5 % の量の酸素 17 を含むことを特徴とする光導波路。

**【請求項 2】**

前記導波路は、光ファイバ導波路であることを特徴とする請求項 1 記載の導波路。

**【請求項 3】**

前記酸素 17 の量は、前記コアの酸素 18 の量の少なくとも 10 % であることを特徴とする請求項 2 記載の導波路。 10

**【請求項 4】**

前記酸素 17 の量は、前記コアの酸素 18 の量の少なくとも 15 % であることを特徴とする請求項 2 記載の導波路。

**【請求項 5】**

前記導波路はラマンゲインファイバであって、追加の酸素 18 を含まない同一のファイバと比較して、約 900  $\mu\text{m}$  から 1800  $\mu\text{m}$  の間の波長の光に関して少なくとも約 5 % だけ前記ファイバのラマンスペクトルが広げられる範囲内で前記同位体存在比が変化することを特徴とする請求項 2 記載の光導波路ファイバ。 20

**【請求項 6】**

前記ファイバは、酸素 18 の高められた層及び高められていない層を交互に重ねたガラス層を含むことを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

**【請求項 7】**

前記光ファイバは、ドーパント元素を含むことを特徴とする請求項 2 記載の光導波路。

**【請求項 8】**

前記ドーパントは、ゲルマニウム及びリンからなるグループのうちの 1 つであることを特徴とする請求項 7 記載の光導波路。

**【請求項 9】**

前記コアの前記酸素の少なくとも 50 モル % が酸素 18 であることを特徴とする請求項 2 記載の光導波路。 30

**【請求項 10】**

前記コアの前記酸素の少なくとも 50 モル % が酸素 18 であることを特徴とする請求項 3 記載の光導波路。

**【請求項 11】**

シリカ導波路の製造方法であって、シリコンを含むプリカーサを形成する少なくとも 1 つのガラス及び酸素を含む酸化媒体を含む混合気体の可動流を加熱することによってシリカプリフォームを形成するステップ、を含み、得られたプリフォームが使用されて、光ファイバを形成するために線引きされて、光ファイバが導光コア領域を含み、前記コアの前記酸素の少なくとも 20 モル % が酸素 18 であって、前記コア領域は前記コアの酸素 18 の量の少なくとも 5 % のモル量の酸素 17 を含むように、前記酸化媒体が選択されることを特徴とする方法。 40

**【請求項 12】**

前記プリフォームのコア領域のみが前記同位体置換酸素及び / 又はシリコンから形成されていることを特徴とする請求項 11 記載の方法。

**【請求項 13】**

前記コア部を形成する前記酸化媒体の前記酸素が 50 モル % よりも大なる酸素 18 を含むことを特徴とする請求項 11 記載の方法。

**【請求項 14】**

ガラス形成プリカーサ及び酸化媒体の前記可動流をチューブに導入し、前記チューブが加熱されて、前記チューブの内面に堆積したガラス状物質から前記プリフ 50

オームを形成することを特徴とする請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 5】

前記チューブが実質的に水素を含まない熱源によって加熱されることを特徴とする請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 1 6】

前記チューブが等温の熱源によって加熱されることを特徴とする請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 1 7】

前記熱源は酸素プラズマ熱源であることを特徴とする請求項 1 6 記載の方法。

【請求項 1 8】

前記方法は基板上ヘスト又はガラスの層を堆積させるステップを含み、前記堆積層は、20モル%より大なる酸素 18 の量を有する領域と、20モル%未満の酸素 18 の量を有する領域とを交互に堆積してなることを特徴とする請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 9】

ストリーフォームをチャンバ内の雰囲気に曝して化学気相蒸着法によってシリカベースストリーフォームを形成するステップを含むシリカ導波路の製造方法であって、前記雰囲気が少なくとも 20 パーセントの酸素 18 を含み、前記シリカスト内にある酸素 16 の少なくとも一定量を酸素 18 に変換するために必要な時間及び温度だけ前記ステップを実行することを特徴とするシリカ導波路の製造方法。

【請求項 2 0】

前記ストリーフォームを曝すステップは、前記ストリーフォームを  $D_2^{18}O$  、  $H_2^{18}O$  及びこれを混合した混合物からなるグループから選択されるガスに曝すステップを含むことを特徴とする請求項 1 9 記載の方法。

【請求項 2 1】

前記ストリーフォームを酸素 18 に曝すステップは、約 1000 よりも高い温度で前記ストリーフォームを曝すステップを含むことを特徴とする請求項 1 9 記載の方法。

【請求項 2 2】

前記曝すステップは、不要な酸素を前記曝すステップにおけるチャンバから回収するステップと、同じチャンバ若しくは他のチャンバで使用される少なくとも幾つかの不要な酸素をリサイクルするステップと、を更に含み、シリカスト内に存在する少なくとも幾つかの酸素 16 を酸素 18 に置換するのに十分な温度に一定時間ストリートが酸素 18 に曝されることを特徴とする請求項 1 9 記載の方法。

【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】

【0001】

本出願は、2001年12月20日に出願された米国仮出願第 60/341,256 号の米国特許法第 119 条 (e) に基づく優先権の利益を請求する。

【技術分野】

【0002】

本発明は、同位体置換光ファイバに関し、詳細には、酸素及び / 又はシリコンの重量同位体を濃縮させて伝送損失を減じるとともに帯域幅を広げたシリカファイバに関する。

【背景技術】

【0003】

光損失は光ネットワーク及びリンクの設計及び構築における制限因子である。これらは典型的には数百キロメートルものシリカベース光ファイバを含んでいる。従って、キロメートルあたり数百分の 1 デシベル程度のファイバの損失の減少であってもこのようなネットワークの性能には重大な影響を与える。シリカファイバの光損失は、主に以下の 2 つの要因による：

(1)  $1/\lambda^4$  の関数として下降するより短い波長で支配的なレイリー散乱、

(2) より長い波長で支配的なシリカによる赤外吸収、

10

20

30

40

50

である。公知のように、光損失のこれらの2つの形態の積は、約1560nmの波長で低下して最小となる。従って、ほとんどの光信号は伝送損失を最小にするために1560nmを中心とした帯域幅をもって伝達される。1510～1610nmの間の帯域幅で、損失は典型的には最小0.189dB/km、最大0.200dB/kmの間で変化する。これは小さいようにも思われるが、この損失率は15kmの距離で50%の信号損失に換算されるのである。つまり、長さ6,500km以上の例えば大西洋を横断するネットワークの如きを考慮すると、これは非常に重要である。

## 【0004】

低透過損失の光ファイバを開発する過去のさまざまな試みとともに、この種のファイバの製造に関する高いコストが広範囲に亘る使用を阻害してきた。例えば、未添加シリカコア及びフッ素添加クラッドを有するいわゆるシリカコアファイバは1550nmで0.151dB/kmのオーダーの減じられた損失を有することが知られている。しかしながら、シリカコアファイバは屈折率変化ドーパントを含むコアを有するファイバ以外に製造が非常に困難であることも知られている。シリカを使用しない他の種類の低損失となり得るポテンシャルを秘めたファイバも公知であるが、この種のファイバに使用される材料は、シリカよりもはるかに高価であって且つ線引きをすることが出来ない。また、現在使用されている以外の完全に異なる種類の製造装置の開発なしには商用規模で使用することはできないのである。

## 【発明の開示】

## 【0005】

本発明は、光損失が標準規格の1510～1610nm帯域幅の近傍で減少し、帯域幅が実質的に拡幅され、ラマンスペクトルが拡げられるように同位体の自然形成率から十分に変化させた相対的割合の同じ元素からなる複数の同位体元素を含む光導波路に関する。導波路は、好ましくは光ファイバである。

## 【0006】

1つの実施例において、導波路はシリカガラスからなる導光コア領域を含み、シリカの少なくとも一部の酸素は、酸素の自然形成率から変化させられた相対的割合の酸素の複数の同位体からなる。特に、酸素18は、コア領域の酸素の総量の20モル%よりも大であって、より好ましくは50モル%よりも大、更に好ましくは70モル%よりも大、最も好ましくは80モル%よりも大である。同時に、本明細書において開示されるすべての実施例において、酸素18の量は、導波路内において自然界で生じる量よりも高く、酸素17の量も同様に高い。酸素17の量は、ファイバ内の酸素18の量の好ましくは少なくとも5%、より好ましくは少なくとも10%、最も好ましくは少なくとも15%である。従って、例えば、酸素18が全酸素の50モル%よりも大であるときに、酸素17は全モル酸素含量の約2.5モル%よりも大であることが好ましく、より好ましくは少なくとも5モル%、より好ましくは約7.5モル%よりも大であることが好ましい。

## 【0007】

レイリー散乱による損失は約1500nmから1800nmの範囲内のいくつかの波長でほぼ同じように残存する一方、この範囲で赤外吸収による損失が減少するとき、新規な約0.145dB/kmの最小伝送損失が約1670nmの波長の近傍で生じる正味の影響がある。波長についての損失カーブが新たな最小値近傍でより平坦となる故に、0.010dB/kmの偏差（すなわち、0.145から0.155dB/kmの損失範囲）のバンド幅は、従来のゲルマニウム添加されたファイバの100nm帯域幅に対して17%だけ増加するのである。約0.19dB/kmの最大損失率（これは、現在市販されている最も低い損失のゲルマニウム添加ファイバの最小損失率と同じ値である）が許容され得る場合、帯域幅は100%増加し得る。つまり、0.200dB/kmの最大損失率（これは従来のファイバの損失率と同じ値である）が許容され得る場合、帯域幅は275%増加し得るのである。

## 【0008】

0.034から0.044dB/kmの間の伝送損失の結果として生じる減少は大きくは見えないが、このような減少は、特に長距離伝送ネットワークにおいて実質的に蓄積さ

10

20

30

40

50

れて換算される。従来のファイバが大西洋横断ネットワークを形成するために用いられるときに光損失が生じるため、ファイバの125km毎に信号再生ステーションを必要としていた。0.034から0.044dB/kmの伝送損失の減少でこのような再生ステーションは156km毎に必要である。これは11の再生ステーションの正味の減少を導く。この種の海洋ベースステーションに1つのピース当たりほぼ100万ドルを費やしている場合、太西洋を横断する伝送路の正味の節約は、1100万ドル以上に達する。

#### 【0009】

本発明の他の実施例は、改良されたラマンゲインファイバに関する。この種のファイバのラマンゲインスペクトルの最大値の半値での全幅は、自然界で生じる酸素を使用して形成されるファイバに対して少なくとも5%増加し得る。本発明の実施例において、酸素又はシリコンの重量同位体のうちの1つを含むファイバのコア領域は酸素又はシリコンのうちのいずれか又は双方によって濃縮されているが、これは完全な置換まで達する必要はない。他の実施例においても同様である。濃縮された同位体として酸素<sup>18</sup>が使用される場合、コア領域の酸素の半分だけが酸素<sup>18</sup>、残りが酸素<sup>16</sup>である必要がある。このように不完全な置換の理由は、完全な置換ではラマンゲインスペクトルの完全なシフティングを導いてしまうことである。酸素<sup>16</sup>に対する酸素<sup>18</sup>の約50%置換は、酸素<sup>18</sup>のみがコア領域を形成するシリカに使用されたときに得られるシフトされたラマン増加スペクトルと正常ラマン増加スペクトルとの重ね合せによって、ラマン増加スペクトルを広げるより有利な効果を有する。例えば、実施例において、ラマンゲインファイバのコアは、上記の如く、酸素<sup>18</sup>を濃縮された層、及び、自然界で生じる酸素の存在量を越えて濃縮されていないガラスの層とを交互に重ねたガラスの層からなる。従って、ラマンゲインファイバを含む実施例では、酸素<sup>16</sup>を酸素<sup>18</sup>に置換するレベルは、好ましくは約30~70モル%、より好ましくは40~60モル%、最も好ましくは45~55モル%である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0010】

図1は、クラッドCLによって包囲されたコア領域CRを有するシリカ光ファイバからなる本発明の実施例を示す。コア領域は、酸素又はシリコンのいずれかのより重い同位体のうちの1つで濃縮せしめられている。シリコンの安定同位体は、それぞれ92.23%、4.67%及び3.10%の自然の存在比の28、29及び30の原子量を有する。酸素の場合、安定同位体は、99.762%、0.038%及び0.2%の存在量の原子量16、17及び18を有する。両方の場合において、シリカ(SiO<sub>2</sub>)を構成している最も高い同位体存在比が最軽量安定同位体である。安定同位体は、放射性ではなく、時間及び温度に亘って安定している。上述した同位体の化学的挙動は、それらのうちのより多量且つより軽量の対応物と一致する。以下に詳述するように、それらの軽量対応物をシリコン30又は酸素<sup>18</sup>のようなより重い同位体に化学的に置換することが容易に行われ得る。

#### 【0011】

本発明の好適な実施例において、ファイバのコア領域CRの酸素<sup>16</sup>の実質的なパーセンテージが酸素<sup>18</sup>と置換される。換言すれば、ファイバの酸素<sup>18</sup>の量は自然界で生じる量よりも大である。これには2つの理由がある。第1に、酸素<sup>18</sup>は、公知技術であるプラズマ気相成長法と同様の方法によりファイバのコア領域に容易に組み込むことができる。これは、パルタス(Parthus)氏らによる米国特許第5,692,087号に開示されている。第2に、酸素<sup>18</sup>は、特定の医療用途に使用されていることからも明らかのように市販品である。しかしながら、現在、これは高価であって、1グラムあたり約50ドル程度である。

#### 【0012】

好適にも、光ファイバによって導かれる光のほとんどはコア領域中を伝達するので、高い光学特性を得るためにファイバのクラッドの酸素<sup>16</sup>を置換する必要はない。具体的には、中央軸Cの周囲の図1において図示されるコア領域を通過して光のモーダル体積の約80%が導かれると計算される。標準規格のコア領域として単一モードファイバは約9ミ

10

20

30

40

50

クロンだけの直径、且つ、ファイバの全体の直径 D は約 1 2 5 ミクロンであるとき、ファイバの二酸化ケイ素の 0 . 5 1 体積 % が酸素 1 8 で濃縮された場合に、本発明の利点の全ては伝達される光の 7 8 % で実現されるようにこれを導く。従って、本発明の好適な実施例において、酸素 1 8 によって濃縮されたファイバの酸素及び二酸化ケイ素の体積 % は、4 % 未満であって、より好ましくは、3 % 未満、最も好ましくは 2 % 未満の体積 % である。もちろん、酸素 1 8 が直接ファイバのコア領域 C R と隣接したクラッドの酸素 1 6 と置換された場合にあっては、より大きい利点を実現することができる。例えば、コア領域 C R の円形領域の 1 . 5 倍の領域が濃縮された場合、光のモーダル体積の 8 7 % が酸素 1 8 を濃縮したシリカを「見る」であろう。コア領域 C R の 2 . 2 5 倍の領域が濃縮された場合、少なくとも、光の約 9 5 % が酸素 1 8 を濃縮したシリカを「見る」であろう。最後に、コア領域 C R の領域の 4 倍領域が濃縮された場合、実質的に、光の全て ( 9 9 % ) が酸素 1 8 の濃縮されたシリカを通り抜けるだろう。もちろん、コア領域 C R の 1 . 5 倍、2 . 2 5 倍及び 4 . 0 倍の領域のこのような拡張は、全シリカの中でそれぞれ、0 . 7 7 % 、1 . 1 5 % 及び 2 . 0 4 % まで増加した濃縮されたシリカの割合を必要とする。酸素 1 8 の高いコスト ( 1 リットルあたり 5 0 0 . 0 0 ドル ) からみて、発明者は、好適な実施例を考察する。コア領域 C R の直径の約 1 . 2 5 倍の直径を有する中央円形コアは、酸素 1 8 によって同位体的に濃縮される。この種のプロポーションングはファイバの光伝達領域の少なくとも 9 0 % の捕獲を保証する一方で、ファイバのシリカ量の約 0 . 8 % だけが酸素 1 8 によって同位体的に濃縮されることを必要とする。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 3 】

図 2 は、少なくともコア領域 C R の酸素 1 6 を酸素 1 8 へ上記した置換をしたことによる低下した光減衰を示す。上記したように、より短い波長での光損失は、ガラスの密度の揺らぎによって生じる光の散乱による。この現象は、レイリー散乱と呼ばれている。約 1 5 5 0 n m 若しくはその近傍のより長い波長で、レイリー散乱はテーパー状に損失し、損失はシリカ分子の赤外吸収によって支配される。従来のシリカファイバにおいて、0 . 1 8 9 d B / k m の最小損失は約 1 5 5 0 n m で生じる。対照的に、シリカ分子の赤外吸収の周波数を低下せしめるより重い酸素 1 8 原子により、最小損失は約 1 6 7 0 n m 波長で 0 . 1 4 5 d B / k m に落ちこむ。図 6 のグラフに関して更に詳細に議論すると、この低下せしめられた損失は、本発明のファイバの減衰カーブ ( 実線として示されている ) のより平坦な特性により、ファイバにおける有用な帯域幅の増加を与える。最後に、図 1 9 及び 2 0 に関して議論されるように、ファイバのコア領域の酸素又はシリコンのいずれかのより重い同位体の部分的な置換は、好適にも、ファイバのラマンゲインスペクトルを広げ、ラマン增幅を容易にしている。

## 【 0 0 1 4 】

図 3 A 乃至 3 D は、光ファイバのコア領域 C R が本発明の効果を得るためにその屈折率分布と関連して、酸素 1 8 によって濃縮され得る範囲を図示している。図 3 A は、標準規格の単一モードファイバの屈折率分布を図示する。ここで、ゲルマニウムドーパントを含むコア領域は、酸素 1 8 によって濃縮される。標準規格ステップインデックス単一モードファイバ、例えばコーニングの S M F - 2 8 では、これは、中央軸 C の両側に少なくとも約 4 ミクロンのファイバの濃縮となるようにして、ゲルマニウム濃度の平らにされた正規分布曲線の実質的に全てを捕らえるのである。好ましくは、S i O<sub>2</sub> はコア領域に隣接したクラッドの一定距離、例えば、S i O<sub>2</sub> クラッド領域に到達するのに十分大きな距離で濃縮される。この種の濃縮パターンは、酸素 1 8 濃縮シリカを「見ている」伝達された光の少なくとも 8 0 % に結果としてならなければならない。図 3 B 乃至 3 D は、幾つかに分割されたコア屈折率パターンを示す。図 3 B は、大なる実効面積ファイバの屈折率分布である。ここで、酸素 1 8 濃縮は、ゲルマニウムドーパント濃度の 2 つのサイドピークを越えて、外側へ伸長しなければならない。再び、これは典型的にはファイバの中央軸 C から約 4 から 5 ミクロンの間のシリカの酸素 1 8 濃縮を提供することになる。図 3 C は、図 3 B において図示されたファイバ屈折率の特定の単一モードファイバ又はバリエーションを図示する。ここで、同じプリンシバルがあてはまり、ゲルマニウムドーパント濃度の両サ

イドピークを含むコア領域 C R の部分は、酸素 1 8 によって同様に濃縮されなければならない。再び、これは中央軸 C から 4 から 5 ミクロンの放射状距離のコア領域 C R の濃縮に等しい。図 3 D は、分散補償ファイバの屈折率分布を図示する。ここで、サイドピークを含む領域の濃縮が高次モード伝達の有害な効果を増加させる故に、主ピークを含むコア領域 C R の部分だけが酸素 1 8 によって濃縮され得る。例えば図 3 D において図示される特定の分散補償ファイバでは、より高い減衰を外側リング領域に維持することが望ましい。すなわち、これにより、これらの領域は、コアの内側の領域よりも大なる損失を有し、この領域を伝播する高次モードを減少させることを助け、それは、多経路干渉によって発生する信号ノイズを減少させるのを助ける。酸素 1 8 及び酸素 1 6 の間の遷移が鋭い遷移であることを図示すると共に、本発明は、濃縮シリカ及び未濃縮シリカの間の伝送スムーサが 1 又は 2 ミクロンの 0 - 1 8 / 0 - 1 6 階調度をつくるように製造される設計を含む。この種の段階的な遷移は、一般的なシリカと同位体的に濃縮されたシリカとの間の屈折率の差から生じる拡散を好適に制御するために用いられる。

10

## 【 0 0 1 5 】

更に詳細に、図 4、5 及び 6 は、本発明の同位体置換ファイバの有利な損失特性を図示する。図 4 は、紫外線損失が含まれる以外は図 2 のグラフと対応する。図 5 は、主に酸素 1 6 を有する通常のシリカから形成されるファイバと、酸素 1 8 を濃縮されたコア領域 C R を有する本発明のファイバとの相対減衰を線形スケールで図示している。図 6 は、本発明の帯域幅膨張効果が明らかに図示されている以外は図 5 と同様である。特に、0 . 0 2 d B / k m のデシベル損失差（すなわち標準規格シリカファイバにおいて許容されるのと同じ差）で、本発明のファイバの帯域幅は、従来のファイバの約 1 0 0 n m 帯域幅よりも 1 7 パーセント長い。0 . 1 7 5 d B / k m の最大損失（これは、現在市販されている最も低損失のシリカファイバと同じ損失である）が許容され得るとき、帯域幅は点線で示されるように約 1 0 0 % 拡幅され得る。最終的に、許容され得る同じ損失が従来のファイバの最大損失と同じ（すなわち 0 . 2 0 0 d B / k m ）であると、帯域幅は約 2 7 0 % 拡幅される。現行の光ネットワークがこのような広い帯域幅を使用しないにもかかわらず、将来のネットワークは、より多くの波長分割多重化チャネルを加えて、成長するグローバル帯域幅の消費を取り扱うために更なる帯域幅を必要としているのである。このような広い帯域幅は、少ないチャネルで波長内に広く間隔づけられた目の粗い波長分割多重化に使用されるネットワークにおいても魅力的である。目の粗い波長分割多重化が短距離ホールメトロ又はアクセスネットワークで使われる。

20

## 【 0 0 1 6 】

図 5 は、シリカベースファイバの酸素 1 6 の一部を酸素 1 8 に置換することによって達成される相対的な効果を図示する。本実施例において、シリカ格子内の酸素の 1 0 0 % が酸素 1 8 と置換された。酸素 1 8 ファイバの減衰は、酸素 1 6 ファイバの減衰よりも明らかに全体的に非常に低くなる。例えば、シリカベースファイバへの酸素 1 8 の混合は、帯域幅の前例がないほどの増加を結果として与え、2 d B / k m 未満の減衰を有する 1 5 0 n m を超える帯域幅、より好ましくは 2 0 0 n m を超える帯域幅、最も好ましくは 2 5 0 n m を超える帯域幅を与える。また、滑らかなより低い減衰帯域幅が利用されてもよく、すなわち、これは 1 8 d B / k m 未満の減衰を有する 1 0 0 n m よりも大なる帯域幅、より好ましくは約 2 0 0 n m を超える帯域幅である。図 5 は、従来のステップインデックスゲルマニア添加シリカベースファイバ（コーニングの SMF - 2 8 と類似）と、同じファイバの酸素 1 8 添加バージョンとの比較を図示した。図 5 から分かるように、酸素 1 8 の添加は、約 1 6 7 0 n m で 0 . 1 8 d B / k m 未満、より好ましくは 0 . 1 7 d B / k m 未満、最も好ましくは 0 . 1 6 d B / k m 未満の減衰を有するステップインデックスゲルマニア添加単一モードファイバを可能とする。

30

## 【 0 0 1 7 】

図 7 乃至 1 2 は、通常のシリカ、ゲルマニア添加ステップインデックス単一モードファイバ（例えば、コーニング社の SMF - 2 8 TM ）と、本発明による同位体濃縮された同じファイバとの屈折率及び分散の差を図示している。図 7 は、通常の単一モードファイバ

40

50

と、及び、同位体的に濃縮されたコア及び通常のクラッド若しくは通常のコア領域及び同位体的に濃縮されたクラッドのいずれかを有する本発明のファイバと、の波長に対する屈折率の変化について比較している。図8は、群屈折率（すなわち、波面に対するパルス信号に関する屈折率）に関して、同じファイバの同じ量を視覚的に比較した図である。これらのグラフの双方とも、酸素18で濃縮されたシリカがより高い屈折率を有し、ファイバ内のシリカの濃縮が高ければ高いほど、濃縮シリカのより高い屈折率を与える効果が全体としてファイバに有するという事実を図示する。屈折率のこれらの差が2つの主な結果である。第1に、同位体的に濃縮されたシリカは非常に高い屈折率を有するので、効果的に全反射させるために必要とされるコア領域及びクラッド間の屈折率差を生じさせるために用いられるゲルマニウムや他のドーパントの量を減らすことができて、コストを下げることが好都合にもできるのである。ドーパントの濃縮を減らすことで、レイリー散乱の量を減じる有利な効果を有し、故に、本発明のファイバで生じる損失を更に低下させるであろう。その上、より低いドーパント濃縮は、応力誘起損失を導くコア及びクラッド間の粘性不整合をより低く抑える。第2に、ファイバのコア領域だけ又はクラッドが同位体的に濃縮されて、コア及びクラッド間で得られる屈折率差は、ファイバ設計者にファイバの最終的に得られる分散特性を操作若しくは修正するための新しいパラメータを提供する。分散のこのような差は、例えば図11及び図12のグラフから最も明らかである。図13、14及び15は、コア領域に存在する酸素18のパーセント量の関数として、最小損失、最小損失の波長及び0.20dB/km未満の減衰損失を有する帯域幅の量を示す。これらのグラフのカーブは、これらのカーブの各々が非線形であるとして本発明の利点を最大限引き出すためには、シリカ又は酸素18のようなより重い同位体を含む酸素の自然界で形成される同位体の実質的に全てを置換することを要求している。特に、図13は、コア領域の酸素の50%のみが酸素18と置換されたときに、減衰損失が約0.174dB/kmだけ下降することを示している。換言すれば、酸素18で酸素16を50%置換することは、100パーセントの置換によって達成され得る減衰の最大減少の30%にすぎないということである。図15によって裏づけられるように、これらの同じ割合は、増加する帯域幅の効果についてもあてはまるのである。具体的には、コア領域シリカの酸素18の50%だけが酸素18と置換されるとき、バンド幅の拡張は100%置換が達成されたときの最大有効拡張の30%にすぎないのである。好適な実施例において、これらの非線形関係の観点から、コア領域の酸素16の実質的全てを酸素18に置換するのに有効な製造プロセスが選択される。しかしながら、特定の製造プロセスに関連する実際的な問題点がある故に、酸素16の実質的に完全な置換を達成することは困難である。従って、酸素18の置換は、コア領域の酸素16の総量の20モル%よりも大、より好ましくは50モル%よりも大、さらにより好ましくは70モル%よりも大、最も好ましくは80モル%よりも大でなければならない。

#### 【0018】

同時に、本発明の好適な実施例において、酸素17の量は、ファイバに使用された酸素18の量の少なくとも5%、より好ましくは少なくとも10%、最も好ましくは少なくとも15%である。従って、例えば、酸素18が全酸素の50モル%を越えるとき、酸素17は全モル酸素の約2.5モル%よりも大、好ましくは少なくとも5モル%よりも大、より好ましくは約7.5モル%よりも大であることが好ましい。

#### 【0019】

図16は、従来のゲルマニア添加ステップ型ファイバでの100%の酸素18の置換が達成されたときに生じる減衰の量が1670nmの波長で最も低くなることを図示している。最小減衰のこの波長は、通常のファイバの最小減衰波長（これは、約1560nmである）よりもわずかに高く、このグラフは、光通信スペクトルの「赤色」端部近傍で動作するように設計された光コンポネントで本発明のファイバを利用することができる好ましいことを表している。例えば、1つの実施例において、少なくとも送信機及び受信機を含む通信システムでこのファイバが使用され、送信機及び受信機は約1625nmよりも大なる波長、より好ましくは約1635nmを超える波長で動作するように構成される。

10

20

30

40

50

## 【0020】

図17は、プラズマ気相成長法により形成した本発明によるゲルマニア添加単一モードファイバのステップインデックスの波長の関数としての減衰のグラフである。このグラフから明らかなように、従来のファイバ(上線)と本発明のファイバ(下線)との間の損失の測定差は前記したグラフから予測される結果によると0.044dB/kmであった。

## 【0021】

図18A及び18Bは、上述したPCVD法で形成される二酸化ケイ素を含む光ファイバコアケーンのコア領域に存在する酸素同位体の半径方向位置に対するモル%の放射状の分布を図示する。これらのグラフにおいて、全体のコアケーン直径は直径16mmであった。その一方で、コア領域は直径2mmであった。これら両方のグラフから明らかなように、酸素16を酸素18で約100%置換して約1000ミクロンの半径を達成する。この1000ミクロンは、線引きしたファイバの4から5ミクロンの半径に対応する。故に、コア領域を有する本発明によるファイバを生産するためにPCVD法が使用され、酸素16は、酸素18と50%よりも多く置換され、好ましくは60%よりも、より好ましくは75%よりも、最も好ましくは93%よりも多く置換され、これにより、図6に記載された本発明の潜在的な利点の実質的に全てを実現するのである。これらと同じ量の酸素18置換がMCVD法を使用しても達成され得ると考えられる。本明細書において開示された全ての実施例では、好ましくは、上記した相対濃度において、ガラス層を含む酸素18は酸素17も含む(ファイバの酸素18の量の少なくとも5%、より好ましくは少なくとも10%、最も好ましくは少なくとも15%)。

10

20

30

40

## 【0022】

先に参照された同位体的に濃縮されたシリカのコアケーンを達成するためにPCVDプロセスが使用される。最初に、少なくとも1つのシリカガラス形成プリカーサ(SiCl<sub>4</sub>)及びゲルマニアドーパント(GeCl<sub>4</sub>)を含むガス流と、実質的に100パーセントの酸素16を含む酸化剤とが減圧下で光ファイバコアケーンのクラッドを形成する耐熱シリカガラスチューブ(外径=25mm)を通って導かれる。同時に、チューブはプラズマ熱源で加熱される。加熱源は、酸素/アルゴンプラズマ熱源であってもよい。プラズマゾーンは、チューブに沿って、そのまわりを通り抜ける。これにより、SiO及びGeOが反応して、完全に圧密化されたガラスとしてチューブの内面に堆積する。プラズマゾーンの移動が続けられ、そして、ガス流の異なる成分のレベルが最外ガラス層の組成に最終的に変化するように変化させられる。これは、最終的には、ファイバのクラッドの一部分になる。数百の層が形成された。コアケーンのコア領域を形成するガラス層が近接すると、酸素の実質的に100%が酸素18となるようにチューブを通って流れるガス流の組成が調整される。これを達成するために、同位体的に99%純酸素18は、コア領域を同時に形成し、コア領域を越えて放射状に100μm伸びる位置までチューブに流される。図18A及び18Bから分かるように、意図されるように、正確に酸素18が分布させられる。同時に、必要なドーパント(この場合ゲルマニウム)の量が調整される。ガラスの所望の層の全てが堆積させられた後に、得られたガラスチューブが光ファイバコアケーンを形成するために圧潰される。これは、添加されたコア領域及びクラッドの小部分の双方を形成する。更なる非添加SiO<sub>2</sub>ストートがファイバプリフォームを形成するためにコアケーンの外側に加えられた。そして、このプリフォームが圧密化されて、光ファイバに線引きされる。このプロセスでは、コアケーン材料は、光ファイバの中心の40ミクロンの直径の領域となる。もちろん、これはより小さい10ミクロン直径のコア領域を含む。PCVDプロセスを用いる効果は、酸素18ドーパントの90~100%まで同位体ドーパントを用いることが出来る事である。このデモンストレーションにおいて、我々は50%の酸素の使用を達成した。

## 【0023】

本発明の1つの実施例において、シリカベースストートの量は酸素16を使用して堆積され、ファイバストートブランクの一部の酸素16は、圧密化ガラスにストートを圧密化する前に、ファイバストートブランクにド・ピングすることで酸素18(好ましくは、酸素17

50

も)に変換される。例えば、通常の外付け気相堆積プロセスにおいては、ストートはベイトロッド上に堆積される。本発明による好適な実施例において、コア領域はベイトロッド上に最初に堆積される。例えば、ステップインデックス単一モードファイバの場合、シリカストートのゲルマニア添加された部分は、多孔性ストートプランクを形成するためにベイトロッドの上へ堆積され得る。ベイトロッドがそれからストートプランクから除去されて、多孔性ストートプランクの中心に孔が残る。ストートプランクは、それから圧密化炉につるされて、適当なガスがプランクの中及び周囲を流れて水酸基を除去する(例えば、塩素がストートを乾燥するために典型的に用いられる)。乾燥ステップに先立ち、若しくは、その後に、酸素18(好ましくは酸素17も)同位体によって濃縮された酸素にストートプランクが導かれる。酸素が多孔質ボディを通過して拡散するとき、シリカマトリックス中に取り入れられた酸素原子はガス状分子酸素と表面によって媒介される置換を受け得る。微細なスケールにおいては、このような置換は際限なく生じるが、微細スケールでないプロセスにおいては、気相の同位体の比率が固相の同位体の比率に等しくなると熱力学的平衡に達してしまうのである。プランクを形成するストート粒子内の酸素16を酸素18と効率的に置換することを可能とする温度及び圧力でこのプロセスは行われる。このようなプロセスでの好ましい温度は、900よりも高く、より好ましくは1000よりも高く、最も好ましくは1100よりも高い。1162の温度且つ1.0 atmの圧力で、この平衡は、約110分で達することが証明された。プランク内部のコア領域内で酸素16を置換するために充分な酸素18が送られているとき、酸素18の流れが止められる。

10

20

30

40

50

## 【0024】

ストート粒子の酸素16を酸素18に置換した後、プランクが加熱されて、透明なガラスプリフォームに圧密化される。次の処理ステップにおいて、中央部の孔は、公知の方法によって閉じられてコアケーンを形成する。ゲルマニア添加された部分からなる圧密化ガラスコア領域及び、好ましくは、クラッドの小部分は、主に酸素18添加されたSiO<sub>2</sub>からなる。このコアケーンは、外表面上に堆積された追加のクラッドストートを有していてもよい。このクラッドストートが乾燥させられて圧密化させられた後に、光ファイバに線引きされ得る光ファイバプリフォームを形成する。必要に応じて、この追加のストートは、同様に酸素18と置換されてもよい。しかしながら、好適な実施例において、コア部及びクラッドの任意の小隣接領域だけは、酸素18に変換される。

## 【0025】

各種ガスがストートプリフォームに酸素18を添加するために使用され得る。例えば、酸素18、酸素17及び酸素16の混合物、酸素18濃縮空気、純若しくは実質的に純な酸素18ガス、D<sub>2</sub><sup>18</sup>O、H<sub>2</sub><sup>18</sup>O及びそれらの混合物が使用され得る。1つの好適な実施例において、D<sub>2</sub><sup>18</sup>O及び/又はH<sub>2</sub><sup>18</sup>Oがド-ピニング若しくは置換ガスとして使用される。例えば、1162で約7分未満で、H<sub>2</sub><sup>18</sup>Oとシリカストートとの交換が平衡に達することが見出された。ストートは、酸素18変換ステップの間、50原子%酸素18よりも大、より好ましくは95原子%酸素18よりも大なるガスに好ましくは曝される。好ましくは、上記した相対濃度において、酸素18含有ガスは、酸素17をも含む(ファイバで使用される酸素18の量の少なくとも5%、より好ましくは少なくとも10%、より好ましくは少なくとも15%)。ストートの同位体交換のために必要な時間は、高温を使用することによって好ましくは最小になされ得るが、多孔性とならないようにするために同位体置換を制限される故に、好ましくは、温度がストートの焼結を生じさせるほど高くてはならない。

## 【0026】

好ましくは、本プロセスの間において酸素18の100%未満が使用され尽くすような方法で酸素18を使用するいかなる製造操作においても、本プロセスは、不要な酸素18を含むドーパント若しくは置換ガスを製造プロセスに戻してリサイクルする手段を採用し得る。例えば、ストートの圧密化の間に酸素18を添加する上記したプロセスにおいて、不用となつた酸素が圧密化炉から回収されて、最終的に、若しくは、添加プロセスを通して連続的に圧密化炉の中へと戻して供給される。好ましくは、不用の酸素は、酸素清浄装置

に循環させて、実質的に純な酸素流を生じる。必要に応じて、純酸素を更に酸素流内の酸素<sup>18</sup>の割合を高める同位体分離ユニットに供給し得る。これにより、実質的に純な酸素<sup>18</sup>流を生じて、圧密化炉の中へと再供給される。リサイクルされた酸素<sup>18</sup>流は、保持タンクに供給され得て、製造プロセスに戻されて、または、必要純度レベルを満たさない場合は排気される。圧密化の前にOVD形成されたストートコアケーンに酸素<sup>18</sup>を添加するために使用される好適な実施例において、不用な酸素は排気ガスから分離され、(例えば、残余ガス分析器で)純度を検出され、酸素の供給流と結合される場所で入力ガス流に戻して再循環される。MCVD又はPCVDプロセスで、排気ガス中の酸素は、入力流の酸素と同じ同位体比を含んでいなければならない。故に、100パーセントの酸素が入力流に使用される場合、排気酸素の同位体分離をする必要がない。しかしながら、OVD又はVADプロセスにおいて、ストートが酸素<sup>18</sup>を使用して添加され、バーナー燃料(例えば、CO<sub>2</sub>)に含まれる周辺空気中の酸素<sup>16</sup>、バーナー酸素及び全ての酸素<sup>16</sup>からの酸素<sup>18</sup>の希釈のために同位体分離をする必要がある。燃料酸素の除去は、それが水の形であるので単純化され得る。再循環は、必ずしも連続している必要はなく、濃縮された酸素が蓄積される一時保持タンクを含むことができる。非同位体酸素分離は、固体流体分離、低温分離、化学吸収、触媒反応、吸収システム、膜分離及び圧力又は熱運動吸収システム、これらの組み合わせを含む。例えば、酸素分離は、ストートを排気ガスから分離する特定のフィルタ、酸素<sup>18</sup>が(例えば、固体酸化物電気分解によって)連続的に開放されるC-<sup>18</sup>O<sub>2</sub>を生成する炭素とストートとの処理、及び、排気ガスからの酸素ガスの低温分離からなり得る。光ファイバ製造プロセスに戻されるときに、好ましくはリサイクルされるガスを含む酸素<sup>18</sup>は、上記した相対濃度(ファイバに使用される酸素<sup>18</sup>の量の少なくとも5%、好ましくは少なくとも10%、好ましくは少なくとも15パーセント)の酸素<sup>17</sup>を含む。  
10

#### 【0027】

あるいは、同位体的に濃縮された酸素は、単に保持タンクに回収されて、浄化のための外部装置に送られる。この実施例の浄化の必要条件は、明らかに、上記した方法よりも厳しくはないが、かかる分離技術は、上記したそれらと同様であり得る。また他の実施例は、酸素純度が本質的事項としてないかもしれないプロセスの他のステージに、隔てられた酸素<sup>18</sup>を通過することになっている。例えば、同位体交換がOVD又はVADレイダウン法により、ストートブランク上に圧密化するプロセスにおいて実行される場合、このケースに該当する。  
20

#### 【0028】

ラマン増幅は、誘導ラマン散乱(SRS)として公知の方法を使用して達成され得る。このプロセスにおいて、短波長ポンプの光子は光学材料の格子の振動モードによって散乱し、コヒーレントに長波長信号光子を加えるのである。これが生じるときに、ラマンファイバ増幅器として公知の光学デバイスが形成される。この種のデバイスのゲインスペクトルは、光学ファイバの格子振動の周波数によってポンプ波長に比例して固定される。  
30

#### 【0029】

典型的なシリカ光ファイバにおいて、最大ゲインはポンプ周波数から13.2THz(440cm<sup>-1</sup>)の周波数シフトを生ずる。単一のポンプ波長が使用されるとき、ラマン増幅器の有用な帯域幅は従来の1560nm窓の約20nmに限られている。ゲインスペクトルが重なるいくつかのポンプ波長を用いることによってバンド幅を増加させることは可能である。しかしながら、このような技術は、複数のポンプレーザーを必要とするとともに、各追加のレーザユニットについての追加のコストを必要とするのである。  
40

#### 【0030】

本発明の同位体的に濃縮されたファイバによって、ラマンファイバ増幅器の帯域幅を单一のレーザポンプだけで広げることができる。酸素又はシリコンのいずれかの軽量同位体をより少ない同位体比の重量同位体に置換することが、図19の両方の破線によって示されたラマンスペクトルを左方へシフトさせる影響を有する故に、このような拡幅化が行わ  
50

れるのである。酸素 16 の自然の同位体比から形成されるシリカのスペクトルのメインピークは、ポンプ周波数から  $440\text{ cm}^{-1}$  の周波数シフトで生じることに特に注意されたい。酸素 16 原子を酸素 18 と置換すると、このピークは  $420\text{ cm}^{-1}$  へ、  $20\text{ cm}^{-1}$  だけシフトさせられるのである。  $1560\text{ nm}$  で通信のために興味のある波長範囲である  $1560\text{ nm}$  でこれは  $5\text{ nm}$  の波長シフトと対応する。最も共通的に使用される  $1560\text{ nm}$  近傍の光帯域幅は  $100\text{ nm}$  幅である故に、  $5\text{ nm}$  の波長シフトはラマンスペクトルの約 5 パーセントの拡幅に対応する。実施例において、同位体的に濃縮されたファイバは、酸素 18 ( 好ましくは酸素 17 も ) を濃縮されたシリカ層と、酸素 18 を濃縮されていないシリカの層 ( すなわち、主に従来の酸素はこれらのシリカ層の酸化物として使用される ) との交互堆積層を形成するプロセスで製造される。このような交互層が例えば、ラマン法を用いることにより特定のファイバの形成を容易にすると考えられる。特に、図 20 に図示するように、交互層はラマンゲインスペクトルに有益な拡幅効果を与えると考えられる。図 20 において、4 本のラマン断面曲線は、本発明による各ファイバを示している。すなわち、全体に亘ってガラスを含む酸素 18 の 0 、 50 及び 100 % 混合物を使用し、4 番目の平均曲線は 100 % の酸素 18 置換によるガラスの層と自然界で生じる酸素によるガラスの層を交互に使用した光ファイバプリフォームを形成することによって得られる。本明細書において開示された全ての実施例のように、好ましくは、酸素 18 の増加した量を含むガラス層は、上記した相対濃度の酸素 17 の増加する量 ( ファイバにおいて使用される酸素 18 の量の少なくとも 5 パーセント、より好ましくは少なくとも 10 % 、より好ましくは少なくとも 15 % ) をも含む。

10

20

30

40

### 【0031】

同位体置換が酸素 16 及び酸素 18 の間で生じるときに、上述した議論があてはまる。シリコン 28 がシリコン 30 と置換される場合、若干のシフティングが生じる。しかしながら、スペクトルシフトの量が実質的に少ないとき ( すなわち  $440\text{ cm}^{-1}$  から  $432\text{ cm}^{-1}$  まで 2 % 拡幅するのみである ) 、酸素 18 濃縮の使用が本発明の特定の態様の好適な実施例である。好適な実施例において、このファイバは、酸素 16 シリカの領域の近傍に 100 パーセントの酸素 18 濃縮シリカのコアの交互領域を堆積することで形成される。

### 【0032】

上述した内容は、シリコン分子の格子運動がシリコン原子よりもむしろ酸素原子によって支配されていることを示している。この支配は、シリカと同様の構造を有する他のガラス材料においても酸素 16 を酸素 18 と置換することが、同様に好適に利用され得る同様のラマンスペクトル拡幅を与えることを示している。特に、酸素 18 はゲルマニア ( Ge O<sub>2</sub> ) 添加シリカの酸素 16 と置換され得る。ここでゲルマニアはラマン散乱係数を上昇させるために加えられて、分散補償ファイバに使用される。この同じ原理は、ラマンファイバレーザや、ラマン増幅器の強力な高出力ポンプ源としてしばしば使用される分岐ラマン共振器などに使用される光ファイバに適用され得る。分岐ラマン共振器は、リン添加シリカ ( P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - SiO<sub>2</sub> ) ファイバを使用して、  $1400\text{ nm}$  波長域の有益なラマンポンプ波長に約  $1\text{ nm}$  の波長でイッテルビウム添加ファイバレーザの出力を変換する。特に、リン添加シリカは約  $40\text{ THz}$  の周波数で強力であるが、比較的狭いラマン共鳴を形成し、2 つの連続した周波数シフトを達成する波長変換を与える。本発明は、約  $1.5\text{ THz}$  によるこの共鳴を移動させるために酸素 16 及び P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を酸素 18 と置換させる概念を含む。これは、約  $1400\text{ nm}$  のポンプ波長の異なる範囲を同じイッテルビウムファイバレーザ光源から生じることを許容する。

### 【0033】

本発明についていくつかの好適な実施例について記載してきたが、本発明についてのさまざまなモディフィケーション及び追加が当業者にとって明らかになるであろう。これら全てのバリエーション、モディフィケーション及び追加が本願発明の範囲内に含まれることを意図しているが、本明細書に添付された特許請求の範囲によってのみ限定される。

### 【図面の簡単な説明】

### 【0034】

50

【図1】コア領域C R及びクラッドC Lの相対的な大きさ、酸素18及び/又はシリコン30の同位体置換をされたコア領域C Rを包囲するファイバの各領域を示したシリカベース光ファイバの断面図である。

【図2】酸素16及び酸素18を含むゲルマニウム(Ge)添加シリカファイバの波長に対する減衰を示すグラフである。

【図3】標準規格シングルモードファイバ、大なる実効面積のファイバ、特殊なシングルモードファイバ及び分散補償ファイバの典型的な屈折率分布における酸素18の濃縮が好適に生じている分布を示す図である。

【図4】従来の光ファイバ(主に酸素16を含む)及び酸素18を濃縮された本発明のファイバの減衰を比較した図(対数スケール)である。

【図5】図4に参照されたファイバの比較の図(リニアスケール)である。

【図6】従来及び酸素18濃縮光ファイバの比較の図(リニアスケール)であって、更に、酸素18濃縮ファイバに関する伝送帯域幅の拡幅を更に示す図である。

【図7】従来のファイバ、同位体濃縮のないクラッドに酸素18を同位体濃縮したコアを有するファイバ、及び、酸素18を濃縮したクラッドを有する非同位体濃縮コアを有するファイバの異なる光波長についての屈折率の変化の図である。

【図8】図7と同じ光ファイバの群屈折率を示す図である。

【図9】従来のシングルモード光ファイバ及び酸素18を濃縮されたコア及び/又はクラッドを有する同じ光ファイバの材料分散を示す図である。

【図10】導波路分散に関して図9で比較されたファイバと同じタイプの波長に対する導波路分散を示す図である。

【図11】図9で比較されたファイバと同じタイプの波長に対する分布分散を示す図である。

【図12】図9乃至11で比較されたファイバと同じタイプの波長に対する全クロマチック分散を示す図である。

【図13】ファイバのコア領域の酸素18の割合の関数としての最小損失を示す図である。

【図14】ファイバのコア領域の酸素18の量の部分としての最小損失に対応する波長を示すグラフである。

【図15】ファイバのコア領域の酸素18の量の部分としての帯域幅の増加を示すグラフである。

【図16】ファイバのコア領域の酸素18の割合の関数としての光ファイバの減衰を示すグラフである。

【図17】本発明によるファイバ及び従来のファイバの波長の減衰を示す図である。

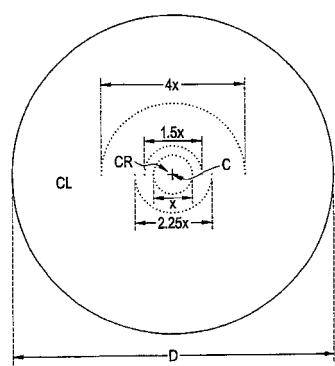
【図18A】本発明によるファイバが線引きされるケーンのコア領域から放射状の位置に関して酸素16及び酸素18の相対的な量を示す相補型グラフである。

【図18B】本発明によるファイバが線引きされるケーンのコア領域から放射状の位置に関して酸素16及び酸素18の相対的な量を示す相補型グラフである。

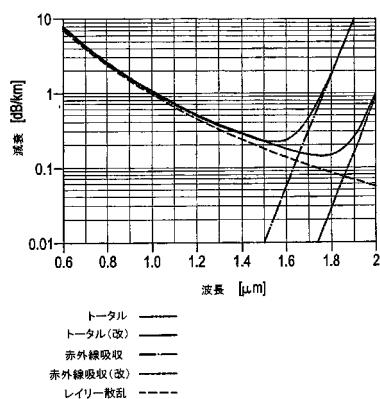
【図19】実質的に100パーセントの酸素16若しくは実質的に100パーセントの酸素18のいずれかを含む実験的なシングルモード光ファイバのラマン断面の測定値を示す図である。

【図20】酸素16及び酸素18の各種混合物を含む光ファイバの理論上のラマン断面のシフト化及び広域化を示す図である。

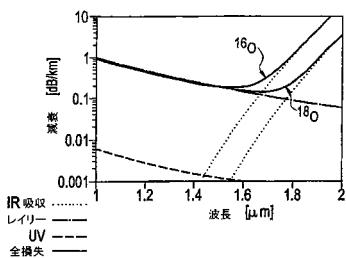
【図1】



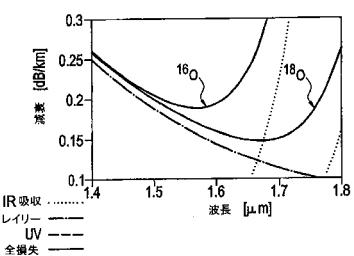
【図2】



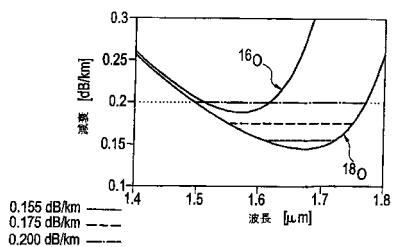
【図4】



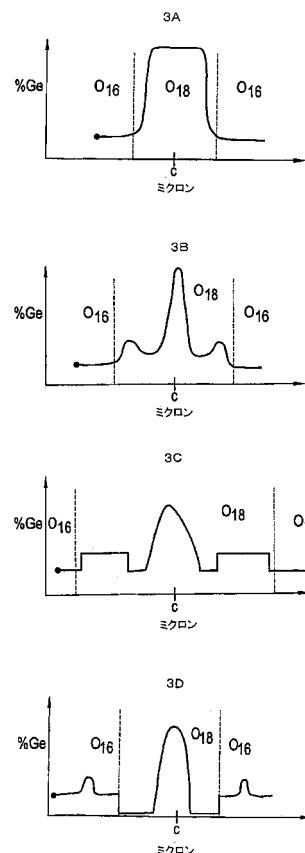
【図5】



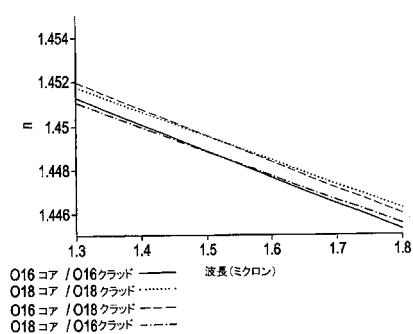
【図6】



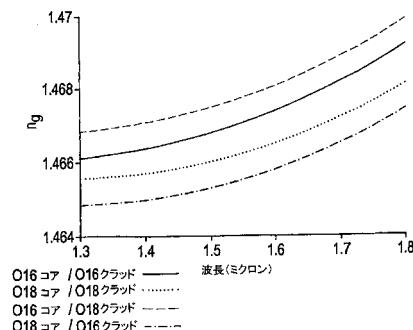
【図3】



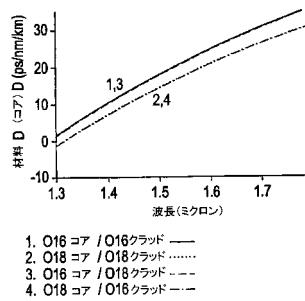
【図7】



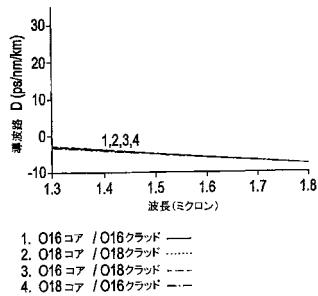
【図8】



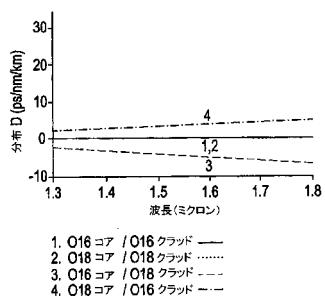
【図9】



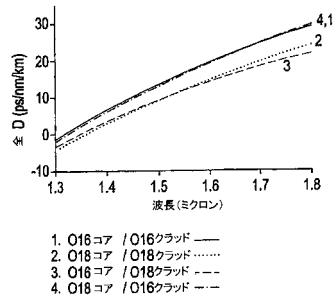
【図10】



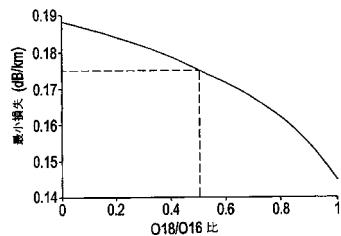
【図11】



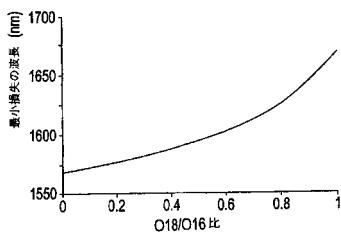
【図12】



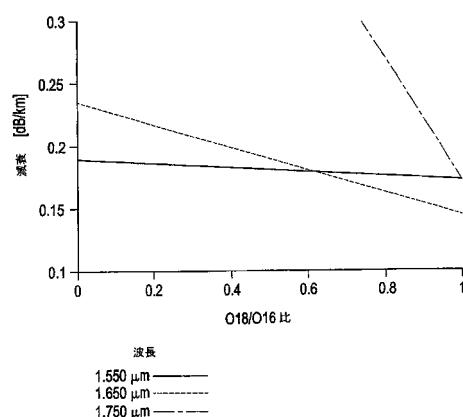
【図13】



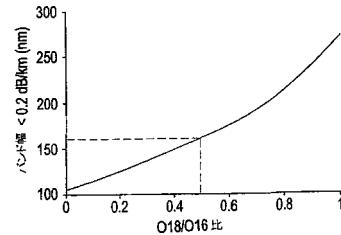
【図14】



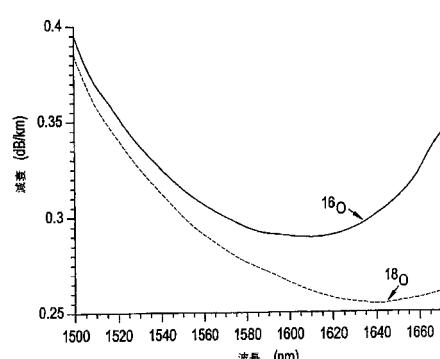
【図16】



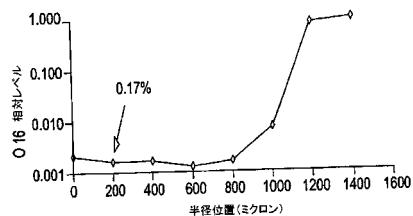
【図15】



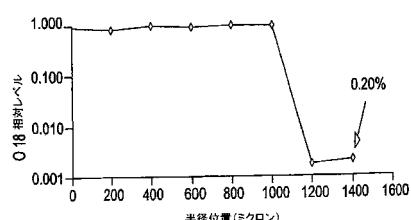
【図17】



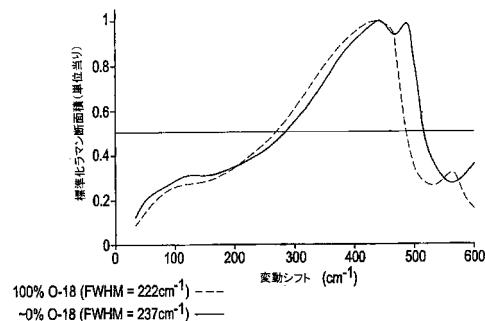
【図18A】



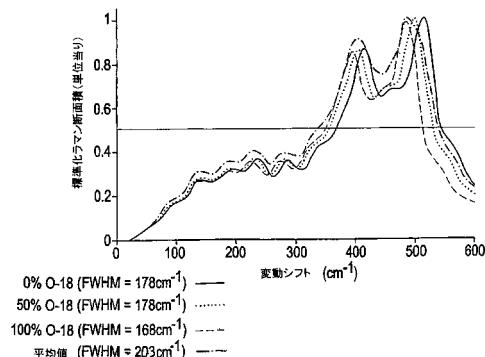
【図18B】



【図19】



【図20】



## 【手続補正書】

【提出日】平成16年8月17日(2004.8.17)

## 【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】

自然の同位体比から十分に変化させた相対比を有する酸素の複数の同位体を含み光学的性質を変化させた光導波路であって、光伝導コア領域を含み、前記コア領域の酸素の少なくとも20モル%が酸素18であって、前記コア領域は前記酸素18の量の少なくとも5%の量の酸素17を含むことを特徴とする光導波路。

## 【請求項2】

前記導波路は、光ファイバ導波路であることを特徴とする請求項1記載の導波路。

## 【請求項3】

前記酸素17の量は、前記コアの酸素18の量の少なくとも10%であることを特徴とする請求項1又は2記載の導波路。

## 【請求項4】

前記導波路はラマンゲインファイバであって、追加の酸素18を含まない同一のファイバと比較して、約900μmから1800μmの間の波長の光に関して少なくとも約5%だけ前記ファイバのラマンスペクトルが広げられる範囲内で前記同位体存在比が変化することを特徴とする請求項1乃至3のうちの1に記載の光導波路ファイバ。

## 【請求項5】

前記導波路は、酸素18の高められた層及び高められていない層を交互に重ねたガラス

層を含むことを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 6】

前記光導波路は、ゲルマニウム及びリンからなるグループから選択されたドーパント原子を更に含むことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちの 1 に記載の光導波路。

【請求項 7】

化学気相蒸着法によってシリカベースストリーフォームを形成するステップと、チャンバ内においてストリーフォームを少なくとも 20 パーセントの酸素 18 を含む雰囲気に、前記シリカスト内に酸素 16 の少なくとも一定量を酸素 18 に置換するため必要な時間及び温度の間だけ曝すステップと、を含むシリカ導波路の製造方法。

【請求項 8】

前記ストリーフォームを曝すステップは、前記ストリーフォームを  $D_2^{18}O$ 、 $H_2^{18}O$  又はこれらを混合した混合物からなるグループから選択されるガスに曝すステップを含むことを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】

前記ストリーフォームを酸素 18 に曝すステップは、約 1000 よりも高い温度で前記ストリーフォームを曝すステップを含むことを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の方法。

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/s9814
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(7) :G02B 6/00 US CL :885/142, 128; 65/885 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 885/142, 128-128; 65/885, 891, 899		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <b>NONE</b>		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) USPTO APS EAST search terms: (optical adj waveguide\$1) and (isotopes same oxygen) and (germanium) and phosphorous		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5,692,087 A (PARTUS et al) 25 November 1997 (25.11.1997), see abstract.	1-22
A	US 5,373,576 A (MINNS et al) 13 December 1994 (13.12.1994), see abstract and figure 1.	1-22
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search  15 MARCH 2003	Date of mailing of the international search report  <b>08 JUL 2003</b>	
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-5250	Authorized officer  PHAN T. H. PALMER Telephone No. (703) 308-4848 	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US02/39814

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
  
  
  
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
  
  
  
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Please See Extra Sheet.

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
  
  
  
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/US02/39814
---

## BOX II. OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION WAS LACKING

This ISA found multiple inventions as follows:

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single inventive concept under PCT Rule 18.1.

Group I, claims 1-10, drawn to optical waveguide.

Group II, claims 11-22, drawn to method for making a silica waveguide.

The inventions listed as Groups I and II do not relate to a single inventive concept under PCT Rule 18.1 because, under PCT Rule 18.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons: The Group I discloses an optical waveguide comprising multiple isotopes of oxygen, while the Group II discloses a method for making a silica preform by heating a moving stream of vapor mixture.

## フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR),AE,A  
G,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,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,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,  
SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 チャコーン リサ シー

アメリカ合衆国 14830 ニューヨーク州 コーニング ウエストフィフスストリート 20  
7

(72)発明者 エリソン アダム ジェイ ジー

アメリカ合衆国 14870 ニューヨーク州 ペインテッドポスト ベアータウンロード 45  
3

(72)発明者 ファハルド ジェームス シー

アメリカ合衆国 14870 ニューヨーク州 ペインテッドポスト ケイティーレーン 33

(72)発明者 グレイ スチュアート

アメリカ合衆国 14830 ニューヨーク州 コーニング イーストセカンドストリート 37  
0

(72)発明者 ハウス キース エル

アメリカ合衆国 14830 ニューヨーク州 コーニング スペンサーヒルロード 2249

(72)発明者 コッホ カール ダブリュ ザ サード

アメリカ合衆国 14903 ニューヨーク州 エルミラ ランスロットドライブ 153

(72)発明者 パワーズ デイル アール

アメリカ合衆国 14905 ニューヨーク州 エルミラ ストーニーブルック 772

(72)発明者 ウエスト ジェームス エイ

アメリカ合衆国 14870 ニューヨーク州 ペインテッドポスト イーストチャットフィール  
ドプレイス 1

F ターム(参考) 2H050 AB03Z AB05X AB08X AB20Z AC09 AC13 AC15 AC36 AC38

2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10 GA07 GA10 HA23

4G021 EA00 EB16 EB18

4G062 AA07 BB02 LA03 LA06 LA10 LB01 NN01