

(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2017-503216

(P2017-503216A)

(43) 公表日 平成29年1月26日(2017.1.26)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2B 6/02 (2006.01)</b>	GO2B 6/02 451	2H150
<b>GO2B 6/032 (2006.01)</b>	GO2B 6/032 Z	
	GO2B 6/032 B	
	GO2B 6/02 A	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-557870 (P2016-557870)  
 (86) (22) 出願日 平成26年12月4日 (2014.12.4)  
 (85) 翻訳文提出日 平成28年7月25日 (2016.7.25)  
 (86) 国際出願番号 PCT/PL2014/050075  
 (87) 国際公開番号 W02015/084198  
 (87) 国際公開日 平成27年6月11日 (2015.6.11)  
 (31) 優先権主張番号 P.406372  
 (32) 優先日 平成25年12月4日 (2013.12.4)  
 (33) 優先権主張国 ポーランド (PL)

(71) 出願人 516167886  
 ポルスキ セントラム フォトニキ イ  
 シフィアトヴァドフ  
 POLSKIE CENTRUM FOT  
 ONIKI I SWIATLOWODO  
 W  
 ポーランド、36-060 グウォグフ  
 マェウポロスキ、ロゴジニーツァ 312  
 (74) 代理人 100129425  
 弁理士 小川 護晃  
 (74) 代理人 100099623  
 弁理士 奥山 尚一  
 (74) 代理人 100087505  
 弁理士 西山 春之

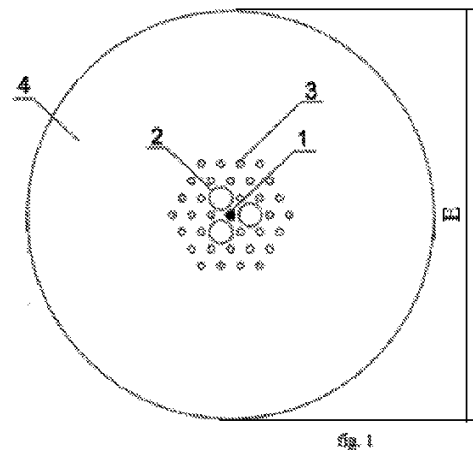
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 選択的に拡大された低屈折率の空間を備え、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】非線形効果の発生及び応力測定を可能にする。  
 【解決手段】クラッドで覆われたコアの周りにリング構成の複数の空間を配置し、選択的に拡大された低屈折率の複数の空間を備えた微細構造光ファイバであって、前記空間が円に近い断面形状及び低回折指数を示し、ガラス、好ましくは石英ガラス、又はポリマーで作製され、格子定数に等しい格子交点間の距離を有する六方格子の交点に配置され、シングルモードコアの周りに、ガス又は流体又はポリマーで充たされた低回折指数の空間を有する少なくとも2つのリングがあり、少なくとも1つのリングにおける低回折指数を有する1つおきの空間の直径が格子定数の2倍未満に拡大され、この拡大された全ての空間の直径Dが同様の大きさであり、低回折指数を有する非拡大の複数の空間の直径dが格子定数よりも小さく、類似した大きさである。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

クラッドで覆われたコアの周りにリング構成の複数の空間を配置して備え、選択的に拡大された低屈折率の複数の空間を備えた、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバであって、

特に非線形効果の発生及び応力測定用として、前記空間が円に近い断面形状及び低回折指数を示し、ガラス、好ましくは石英ガラス、又はポリマーで作製され、

前記コアの周りにリング状に局在した前記空間が、好ましくはガス、好ましくは空気、又は流体又はポリマーで充たされて、格子定数に等しい格子交点間の距離を有する六方格子の交点に配置されており、

シングルモードのコアの周りに、ガス又は流体又はポリマーで充たされた低回折指数の空間を有する少なくとも2つのリングがあり、少なくとも1つのリングにおける低回折指数を有する1つおきの空間の直径は、前記格子定数の2倍未満に拡大され、この拡大された全ての前記空間の直径Dが同様の大きさであり、低回折指数を有する非拡大の複数の空間の直径dは、前記格子定数よりも小さく、類似した大きさであることを特徴とする、微細構造光ファイバ。

## 【請求項 2】

前記格子定数に対する非拡大の空間の前記直径dの比は、0.30～0.45の範囲内であることを特徴とする、請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

## 【請求項 3】

石英のコアは、ドーピングされていることを特徴とする、請求項1又は2に記載の微細構造光ファイバ。

## 【請求項 4】

石英のコアは、少なくとも12%モルGeの量でゲルマニウムがドーピングされていることを特徴とする、請求項1～3のいずれか1項に記載の微細構造光ファイバ。

## 【請求項 5】

非線形効果の発生において、格子定数が $2.15\ \mu\text{m} \sim 2.65\ \mu\text{m}$ の範囲であり、低回折指数の拡大された空気充填空間の前記直径Dが $2.7\ \mu\text{m} \sim 3.3\ \mu\text{m}$ の範囲であり、非拡大の空気充填空間の前記直径dが $0.9\ \mu\text{m} \sim 1.1\ \mu\text{m}$ の範囲であり、クラッドの直径Eが $105\ \mu\text{m} \sim 145\ \mu\text{m}$ の範囲であり、空気の空間を有する前記リングの数が少なくとも2つであることを特徴とする、請求項1又は2に記載の微細構造光ファイバ。

## 【請求項 6】

応力測定の使用において、格子定数が $5.5\ \mu\text{m} \sim 6.5\ \mu\text{m}$ の範囲であり、低回折指数の拡大された空気充填空間の前記直径Dが $6.5\ \mu\text{m} \sim 7.5\ \mu\text{m}$ の範囲であり、非拡大の空気充填空間の前記直径dが $1.75\ \mu\text{m} \sim 2.25\ \mu\text{m}$ の範囲であり、前記コアの直径が $2.75\ \mu\text{m} \sim 3.25\ \mu\text{m}$ の範囲であり、クラッドの直径Eが $105\ \mu\text{m} \sim 145\ \mu\text{m}$ の範囲であり、空気の空間を有する前記リングの数が少なくとも2つであることを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の微細構造光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明の主題は、選択的に拡大された低屈折率の空間を備え、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバである。

## 【背景技術】

## 【0002】

有効な広域スペクトル光源は、幅広く利用できる可能性があり、顕微鏡検査、分光法、計量、及びその他のものを含む多くの科学及び技術の分野で用いられる見通しのある、需要の高い製品である。更に、広域スペクトル光が利用できれば、特殊な光ファイバを用いることで、従来のレーザでは得られない波長を分離することが可能となる。広域スペクト

10

20

30

40

50

ル光の発生の可能性は、組み合わせられた場合に、極めて広い波長範囲の放射スペクトルを与える一連の非線形の事象に基づいている。これらの事象のうち、自己位相変調、四光波混合、相互位相変調、変調不安定性、誘導ラマン散乱、及びその他のものを含む特に重要な非線形効果を強調すべきである。これらの効果が組み合わせられると光パルススペクトルが広域となり、スーパーコンティニウム（SC）が発生する。スーパーコンティニウムが発生する場合、狭いスペクトル幅の光パルスを用いて、上述の非線形効果及びそれらの相互作用によって広い波長範囲が得られる。非線形効果が発生する媒体は、ガラス又は光ファイバ、特に微細構造光ファイバ（MOF）であるかもしれない。

#### 【0003】

本発明の微細構造光ファイバ以前には、スーパーコンティニウムを発生させることによって、上記効果がガラス及び光ファイバで達成された。しかしながら、このスーパーコンティニウム発生方法には、長尺の光ファイバ区分、小径の光ファイバ、及び極端なピークパワーレベルのレーザ、例えばチタンサファイアフェムト秒レーザの使用が必要であった。それにもかかわらず、従来の光ファイバは、例えばスーパーコンティニウムのような光ファイバ光源の期待されるスペクトルを得るために、MOFを用いた場合に可能であるような、広範囲での色分散特性及び高次分散の適合を行うことができない。更に、色分散特性及び高次分散で極めて多様な変化が生じ得ることによって、非線形効果の工学及び非常に需要の高い用途での使用が見込まれる。そのような効果の1つの例として、もつれ光子（entangled photon）の発生及びそれらの量子暗号での使用を挙げることができる。他の用途には、例えば光ファイバ調節可能光源等が含まれる。

10

20

#### 【0004】

文献で開示された微細構造光ファイバは、空孔によって特徴付けられる。空孔で囲まれた小さいコアにおける集光の物理的な可能性により、従来の光ファイバでは発生しない効果及びパラメータを得ることができる。これらの可能性によって、微細構造光ファイバは、光ファイバ伝送、光ファイバレーザ、非線形計器、高パワー伝送、様々なセンサ、調節可能光ファイバコンポーネント（例えばスイッチ、フィルタ）、及びその他のものにおける用途がある。

#### 【0005】

文献で開示された、非線形効果発生のために用いられる微細構造光ファイバは、極めて小さいコア（通常は2  $\mu\text{m}$ 未満）によって特徴付けられる。このような極小サイズの場合、光は、従来の微細構造光ファイバに対して2桁小さい領域に閉じ込められる。所与の領域上での光閉じ込め（*entrapment*）の程度を量的に決定するパラメータは、モードフィールド同心性（*mode field concentricity*）である。モードフィールド同心性が高くなればなるほど、例えばスーパーコンティニウム発生のような要求されるスケールでの非線形効果を観察するために必要な励起レーザのパワーレベルは低くなる。非線形特性に匹敵する光ファイバパラメータは非線形性のパラメータであり、光ファイバが作製された材料の非線形屈折率とこの光ファイバ内で伝搬するモードフィールドとの比によって表される。更に、非線形性のパラメータを増大させるため、例えばテルル又はカルコゲニドガラス等の高い非線形性によって特徴付けられる特別なガラスタイプを使用してもよい。小さいコアと高い非線形率の材料を組み合わせることで、極端な非線形性レベルが得られる。しかしながら、石英以外のガラスの使用は費用が高く問題がある。更に、極小コアの光ファイバの製造には大きな技術的困難が伴い、設計上及び計算上の寸法から大幅に逸脱するリスクがあり、結果として分散特性となって非線形効果の発生を妨げる恐れがある。開示された多くの微細構造光ファイバでは、極小コアのために、コアと光ファイバのクラッドとの間に好ましくない隔離（*insulation*）がある。そのようなコアは文献において「懸垂型コア（*suspended core*）」と呼ばれている。

30

40

#### 【0006】

非線形効果発生のために小型コアの微細構造光ファイバが見出されて使用される前は、モードフィールド同心性はファイバのテーパ化によってのみ可能であった。現在、そのようなテーパ化方法は微細構造光ファイバにおいて広域スペクトルを得るためにも使用され

50

ている。幾何学的形状において必要な変化が達成されるように適切な精度で微細構造光ファイバをテーパ化すると、極めて壊れやすく機械的に不安定な要素の構造物が出来上がり、実用的な用途での使用は極めて難しく、多くの場合、色分散特性の制御に支障を来す。更に、光ファイバのテーパ化は伝搬する放射のモード特性の制御を妨げ（例えばシングルモード動作を妨害し）、このためスーパーコンティニウムスペクトル安定性に望ましくない影響を及ぼす。

#### 【0007】

スーパーコンティニウム効果を達成する一例として、特許文献1による光ファイバを挙げることができる。この場合、微細構造光ファイバの断面はテーパ化され、このテーパ化はスーパーコンティニウム発生のための1つの条件である。微細構造光ファイバは、いかなる長さ及び直径にも製作可能であるが、例えばG・652勧告に準拠したファイバであるコーニング社のSMF-28e光ファイバのような標準的な光ファイバに合致させるとよい。

10

#### 【0008】

別の光ファイバが、非特許文献1に開示されている。著者らが提案した解決策は、コアから始まって、第1のリングにおいて選択的に大きくされた孔と、後続のリングで孔のサイズが大きくなる微細構造光ファイバである。提案された寸法、即ち  $a = 1.5 \mu\text{m}$ 、 $d_1 = 1.2 \mu\text{m}$ 、 $d_2 = 0.24 \mu\text{m}$ 、 $d_3 = 0.54 \mu\text{m}$ 、 $d_4 = 0.32 \mu\text{m}$ 、 $d_5 = 0.36 \mu\text{m}$ 、 $d_6 = 0.4 \mu\text{m}$ は、構造の著しい小型化を確定する。この小型化は、本発明の「選択的に拡大された低屈折率の空間を備え、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバ」では回避されている。更に、この論文に記載されたような光ファイバのバージョンでは、別の自由度を与えて技術プロセスを遅らせるドーブコアが存在する。また、ドーブコアの存在によって、光ファイバを介して誘導され得る最大出力密度が、ドーピングされていないコアの場合よりも低くなる。非線形効果発生のための本発明による、選択的に大きくした孔を有する光ファイバの場合、コアのドーピングは必要ない。しかしながら何よりもまず、上記論文は多数のシミュレーションの結果のみを検討しており、技術的な理由のため明らかであるが、6つの異なる直径の空孔を有する光ファイバを製造することは実際には不可能である。著者らが提案した異なる孔のサイズで決まる極めて難しい構造を構築する必要性と、全体的な寸法の更なる極小化との組み合わせでは、寸法公差を大きくすることは不可能となる。しかしながら文献で開示されている通り、非線形光ファイバの場合、微細構造が小型化されればされるほど寸法公差が小さくなると共に、必要な光ファイバパラメータの維持が難しくなる。文献に添付された図から、著者らが提案した計画の寸法公差は、コア直径では約  $0.1 \mu\text{m}$ 、最大の孔の直径では約  $0.05 \mu\text{m}$ のレベルであると思われる。

20

30

#### 【0009】

スーパーコンティニウムを発生させるためには、光ファイバにおける高い非線形性パラメータは必要であるが、条件的に未だ充分ではない。同様に重要なのは、分散パラメータ及び構造特性を効果的に制御して、光ファイバのシングルモード動作を可能とすることである。これら双方の態様、即ち分散制御及びシングルモード構造の維持は、微細構造光ファイバの登場と共に同時に開発されてきた。

40

#### 【0010】

光ファイバの分散は、周波数（波長）に応じた電磁波の伝搬速度の変化を決定するものであり、負及び正の値で表すことができる。分散が正の値である場合は異常（anomalous）と呼ばれ、負の値の場合は正常（normal）分散と呼ばれる。分散特性の最も重要なパラメータの1つは、ゼロ分散波長（ZDW）、即ち分散がゼロになる波長である。また、極めて重要なのは、特にZDWにおける分散曲線の勾配、又は一般的には高次分散である。微細構造光ファイバの励起（短光パルスの導入）がレーザ光源によって行われ、光ファイバが正常分散を示す範囲に対応してフェムト秒波長パルスが発生する場合、異常分散の範囲におけるファイバ励起よりも時間的コヒーレントなスペクトルを得ることができる。ピコ秒又はより長いパルスのレーザ光源によって励起が行われる状況では、解決策形成の機

50

構（特に変調不安定性の効果）が時間的コヒーレントなスペクトルの生成を妨げる。励起信号のための正常分散の発生は、励起信号に異常分散が対応する場合よりも優れたコヒーレンス特性を生じる。同時に、光ファイバ分散がゼロに近い異常分散範囲における励起は、多くの場合、正常分散範囲において励起を実行する場合よりも広いスペクトルを得ることができる。

#### 【0011】

スーパーコンティニウム発生におけるシングルモード動作の必要性を決定づけるのは、そのようなスペクトルを得るために高次モードが生じると、シングルモード導波の場合よりも高いパワーレベルの使用が必要となることである。これは、高次モードの分散特性が基本モードのそれとは異なるので、高次モードでは往々にして有効性なスーパーコンティニウムの発生が少ないからである。更に、いくつかのモードがファイバ構造を伝搬する状況では、非線形効果発生のために必要な位相整合の条件を満たすことは著しく困難であり、結果としてスーパーコンティニウムのスペクトル分布におけるパワーの不安定性や、有効な非線形性の低下、即ち非線形の事象が発生する境界線のシフトが起こり得る。光ファイバから射出し、 $M^2$ パラメータと表されることが多い光ビームの幾何学的形状は、実用の観点から極めて重要である。このパラメータをできる限り1に近付けた場合に、高品質ビームとすることができ、これは光ファイバにおけるシングルモード伝搬の場合に当てはまる。光ファイバにおける伝搬、及びその結果生じる光発生がシングルモードでない場合、 $M^2$ パラメータが示す値は1より著しく大きいことが多く、そのような光ビームを様々な光学システムで使用することは極めて難しい。

10

20

#### 【0012】

特に短い波長のためのシングルモード導波は、懸垂型コア（より一般的には、総面積の大きい孔で囲まれたコア）を有する光ファイバでは妨害される。これは、非線形効果発生のための開示された光ファイバの解決策において頻繁に発生する。その理由は、コアを取り囲むクラッドが実際には、極めて薄いブリッジ又は比較的小さいガラス領域により分離された空孔から成ることである。このような構造では、コア領域から高次モードが漏れ出ることができない。コアと孔から成る構造が、できれば広域スペクトルでシングルモードを導波する状況を実現するには、充填パラメータ（空孔間の距離に対する空孔の比）が0.45を超えないことが必要である。

30

#### 【0013】

励起波長（光ファイバ内に導入される光パルス）に対する分散ゼロ位置、並びに励起波長近傍の分散曲線の適切な勾配及び高次分散特性を効果的に管理可能とすることは、広域スペクトルでのスーパーコンティニウム発生と同時にシングルモード導波を可能とするもので、技術上大いに求められている解決策であり、広域スペクトルの品質を著しく向上させると共に新しいファイバ光源設計を提供する。同時に、現在の解決策では、（高いモード同心性の達成のため）小型化によって達成するのが技術的に難しく、計算されたファイバ特性を維持するために必要なコア懸垂限界、その寸法の問題を解決しない。更に、そのような光ファイバは、劈開面での光学品質を維持しながら劈開を行うことが極めて難しい。

40

#### 【0014】

そこで、本発明の目的は、スーパーコンティニウム発生のために、開示した解決策におけるようなサイズまでコア寸法を極小化する必要がないファイバ幾何学形状の設計であった。そのようなコア寸法の極小化は費用が高く複雑な製造プロセスを必要とするからである。第2の目的は、非線形性の高い材料の使用による非線形性パラメータの増大をシミュレーションする必要がなく、光ファイバを従来の利用可能な材料で製造することができる構造の設計であった。本発明の第3の目的は、大きい幾何学的公差を特徴とする幾何学的形状を有する光ファイバ構造の設計であった。この態様は特に重要である。なぜなら、利用可能な解決策では、設計者の幾何学的形状からわずかに逸脱するだけで、ファイバに要求される非線形効果の発生が、しばしば不可能になるとまではいかないが、著しく妨害されるからである。しかしながら、設計上のファイバ幾何学的形状からの逸脱は、ファイバ

50

製造プロセスの技術的な欠点のために避けられない（微細構造非線形光ファイバは多くの場合、周知であり、且つ十分に説明されているスタックアンドドロウ法（stack-and-draw method）により製造される）。この技術的な欠点には、線引きするための試算となる毛管（キャピラリ）寸法の差や、ストーブの温度、加える圧力、及び光ファイバ線引き速度や他のものの正確な制御が不可能であることが含まれる。設計モデルで想定される値からの幾何学的パラメータの逸脱公差レベルが大きいので、必要な分散特徴を有する光ファイバの製造プロセスの制御が容易になり、分散特性、シングルモード導波、及び非線形性パラメータの安定性を維持することができる。

【0015】

同時に、本発明の重要な目的は、シングルモード導波を提供すると共に、計画された励起波長及びスーパーコンティニウム発生で得られると予想された波長に対する分散ゼロポイントの操作を容易にするように設計された構造を有する光ファイバの設計であった。特に、目的とするのは、可視波長域で分散ゼロを達成し、赤外線、V I S、及びU Vに近い波長範囲でのスーパーコンティニウム発生を可能にさせることである。

【0016】

上述の5つの目的を同時に実現することは、開示された解決策のいずれにおいても達成されていない。

【0017】

他に、本発明の同様の目的は、機械的応力、特に引張応力だけでなく圧縮、曲げ、ねじり、圧力、又はその他のタイプの応力に対する高い感度を特徴とし、同時にシングルモード導波の選択肢を備えた光ファイバ幾何学的形状の設計であった。

【0018】

微細構造光ファイバは特許文献2に開示されている。この場合、光ファイバ製造に用いるガラスの屈折率はコア中央から半径方向外側へ向かうにつれて大きくなり、断面では、光ファイバ製造に用いるガラスの屈折率は反転したガウス曲線に近い形状を有する。しかしながら、この解決策によって設計された光ファイバは、シングルモード導波が可能でなく、その構造内の全ての孔は同一サイズである。更に、この種の光ファイバ幾何学的形状では、分散ゼロポイントのシフトが可能でない。

【0019】

また、特許文献3にも光ファイバが開示されている。ここでは、コアがクラッドで被覆され、コアに対するクラッドの所与のポイントの距離に応じてクラッドの屈折率に差を設けた光ファイバ設計が開示されている。コアに比べて屈折率を低くした領域では、屈折率は相互に異なる。特許文献3に開示された構造は、シングルモード導波を達成することができず、分散ゼロはI R範囲でのみ生じる。

【0020】

この他にも、選択された波長範囲でのみ有効な動作が可能である光ファイバが開示されている。一例として特許文献4に開示された光ファイバが挙げられる。この場合、有効な光学コア領域は30  $\mu$ m未満であり、光ファイバの最も有効な波長は1550 nmである。

【0021】

また、特許文献5は、分散制御が可能である光ファイバを開示している。この発明による電気通信用途に専用の光ファイバでは、非線形性のパラメータが制限される。このパラメータ値が高いと電気通信における光ファイバの利用が不可能となるからである。この開示により設計された光ファイバでは、極端なパワーレベルが適用されない限り非線形の事象は発生しない。コアの周りに構成された低屈折率の空間を有するシステムは、これらの空間のサイズが等しいことによって特徴付けられる。更に、低回折指数の空間のリングは最大で2つあるが、これは多くの場合、十分に低いレベルの伝送損失を達成するには不十分であり、この光ファイバの充填パラメータではシングルモード導波は可能でない。更に、この発明による光ファイバにおいて分散を補償するには、一方が正常分散を有し他方が異常分散を有する2つのファイバ区分を利用する必要がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

特許文献 6 に開示された非線形光ファイバは、非線形効果発生のために用いられ、コアに比べて屈折率を高くした空間が光ファイバの中央領域（コア）の周りに構成されている。このような光ファイバ構造では、2つの伝搬機構、即ち屈折率導波型とフォトニックバンドギャップによるものとの間で挑戦（challenge）した結果として信号導波が決定される。このため、多くの場合、そのような光ファイバの構造には2つ以上のモードがあり、広域スペクトルのためのシングルモード導波は不可能である。この発明による光ファイバは、単一／離散的な波長について非線形効果を発生することを意図しており、その結果としては例えば、とりわけ周波数を3倍にすること及び他のものによって新たな光波周波数／光波長を発生することができる。これらの効果により、スペクトルに新たな波長が出現するが、スーパーコンティニウム発生によるような連続スペクトルの達成は不可能である。更に、この発明による光ファイバの構造は、コアの屈折率に比べて屈折率を高くした領域がコアでの広い波長範囲の導波を不可能とすることに加えて、高屈折率の空間と屈折率の低い空間の双方の寸法が等しいことを示している。

10

## 【 0 0 2 3 】

また、特許文献 7 が開示する光ファイバでは、コアの周りの第 1 のリングに低屈折率の拡大空間があり、低屈折率の形状の大きい空間が所与のリングの全ての空間に適用される。光が導波される微細構造の周りには、開示された光ファイバの大多数で用いられるタイプのガラスマトリックスの代わりに、低屈折率を有し、光が導波される微細構造のサイズに近い直径を有する空間がある（毛管と呼ばれる）。この発明による光ファイバは、別個に選択された波長について単一の非線形効果を発生させるために用いられる擬似位相整合の問題の解決にかかわっている。この発明による光ファイバの例に含まれる光ファイバでは、シングルモード導波は達成されるものの、記載された構造の色分散特性の変化を得るための方法は、完全に異なる著しく複雑なものであり、本発明に比べると技術的な処理が難しい。更に、特許文献 7 に開示された構造において分散ゼロポイントが可能となるのは赤外線範囲のみである。

20

## 【 0 0 2 4 】

特許文献 6 と同様に、特許文献 7 による構造は、非線形効果の発生を可能とするが、その結果として得られる連続スペクトルは、（スーパーコンティニウム発生におけるような）広域ではない。従って、これは、スペクトル内の波長数を増す（例えば周波数を3倍にする）効果に関して最適化され、このため擬似位相整合の必要性が生じるが、広域の連続スペクトルを得ること（スーパーコンティニウム発生）に関しては最適化されない。更に、この発明による光ファイバ製造方法は複雑であり、光ファイバ構造において問題となる費用の高い要素の利用が必要である。これは例えば、標準的な光ファイバ製造ラインでは適用することができない要素である電極等である。

30

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 2 5 】

【 特許文献 1 】 米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 1 8 2 9 9 9 号明細書

【 特許文献 2 】 欧州特許第 1 5 8 2 9 1 5 号明細書

40

【 特許文献 3 】 米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 2 3 8 3 0 7 号明細書

【 特許文献 4 】 米国特許第 6 9 5 9 1 3 5 号明細書

【 特許文献 5 】 欧州特許第 1 1 4 8 3 6 0 号明細書

【 特許文献 6 】 欧州特許第 2 5 3 3 0 8 1 号明細書

【 特許文献 7 】 欧州特許第 1 2 0 5 7 8 8 号明細書

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 2 6 】

【 非特許文献 1 】 " New nonlinear and dispersion flattened photonic crystal fiber with low confinement loss " by Ming Chen and Shizhong Xie, published in Optics Communications 281 (2008) 2073-2076

50

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0027】

技術の現状から既知であるこれら全ての欠点、すなわち、シングルモードビーム導波の同時達成、光ファイバ分散ゼロポイント位置、分散曲線の勾配、及び高次分散の過程を含む色分散特性を比較的容易に操作できること、並びに、容易に入手できない費用の高い材料を用いない光ファイバコア寸法の極小化の限界、すなわち非線形性の増大、幾何学的寸法についての大きい公差の達成、及び応力に対する高感度の達成は、本発明による、選択的に拡大された低屈折率の空間を備え、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバにおいて克服された。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0028】

選択的に拡大された低屈折率の空間を備え、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバは、ガラス、好ましくは石英ガラス、又はポリマーで作製され、クラッドで被覆された少なくとも1つのコアを含み、その周りに均一な複数の空間が局在して配置されている。これらの空間は全て、断面の形状が円形に近く、屈折率がコア及びクラッドに比べて低く、好ましくはガス、好ましくは空気又は流体又はポリマーが充填されている。コアは、これを取り囲む空間（例えば空孔）に比べて回折指数が高い領域と理解すべきである。光ファイバを応力測定に適用する場合、コアに、少なくとも12%モルGeの量のゲルマニウムをドーピングすることが好ましい。低回折指数の空間、（更に低回折指数の空間として）好ましくはガス、好ましくは空気、又は流体又はポリマーが充填された空間が、コアの周りにリングを構成して円形に配置され、好ましくは格子定数に等しい格子交点間の距離を有する六方格子の交点に配置されている。コアの周りには、低回折指数の空間を有する好ましくは六角形のリングが、少なくとも2つ、好ましくは少なくとも3つある。少なくとも1つの六角形リングにおける低回折指数の空間の直径は、選択的に拡大される。好ましくは、低回折指数を有する1つおきの空間の直径Dが拡大される場合、これは格子定数の2倍よりも小さい。リングに配置した空間で囲まれたコアは、好ましくは光ファイバの幾何学的中央に沿って局部配置されている。

20

## 【0029】

低回折指数dの全ての拡大空間の直径Dは等しいことが好ましく、また、低回折指数dの非拡大空間の直径は格子定数よりも小さい同一の直径であることが好ましい。しかしながら、格子定数に対する非拡大空間の直径dの比は、好ましくは0.45未満であり、これによって構造についてのシングルモード特性が保証される。格子定数に対する非拡大空間の直径dの比は、（更に損失の低減のために）好ましくは0.3~0.45の範囲内に収まり、（損失の大幅な低減のために）好ましくは0.35~0.45であるのが望ましい。

30

## 【0030】

本発明によつて、非線形効果発生用途向けの光ファイバ作製の例では、本発明による光ファイバの格子定数が好ましくは $2.15\mu\text{m} \sim 2.65\mu\text{m}$ であり、空気が充填された拡大空間の直径Dが好ましくは $2.7\mu\text{m} \sim 3.3\mu\text{m}$ の範囲であり、非拡大空間の直径dが好ましくは $0.9\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$ の範囲であり、クラッドの直径Eが好ましくは $105\mu\text{m} \sim 145\mu\text{m}$ の範囲であり、低回折指数のリングの数が好ましくは少なくとも2つ、好ましくは少なくとも4つであるのが望ましい。そのような構成では、VISからIRの範囲で分散ゼロを達成することができる。

40

## 【0031】

本発明による応力測定用途向けの光ファイバ作製の例では、格子定数が好ましくは $5.5\mu\text{m} \sim 6.5\mu\text{m}$ であり、低回折指数の拡大空間の直径Dが好ましくは $6.5\mu\text{m} \sim 7.5\mu\text{m}$ の範囲であり、低回折指数の非拡大空間の直径dが好ましくは $1.75\mu\text{m} \sim 2.25\mu\text{m}$ の範囲であり、コア直径が好ましくは $2.75\mu\text{m} \sim 3.25\mu\text{m}$ の範囲であり、クラッドの直径Eが好ましくは $105\mu\text{m} \sim 145\mu\text{m}$ の範囲であり、低回折指

50

数の空間で作られるリングの数が好ましくは少なくとも2つ、好ましくは少なくとも3つであるのが望ましい。

【0032】

本発明による非線形効果発生用の光ファイバを適用する場合、直径  $d$  は好ましくは特定のリングに関して等しく、直径  $D$  に比較して小さい。低回折指数の非拡大空間の直径を大きくすると、分散特性が短波長の方向へシフトする。同時に、低回折指数の拡大空間の直径  $D$  を大きくすると、分散特性の曲率が長波長の方向へシフトし、直径  $D$  を大幅に拡大した場合には赤外線領域で第2の分散ゼロポイントが得られる可能性が生じる。また、分散特性の曲率を長波長の方向へシフトするプロセスは、特に第1のリングにおいて直径  $d$  を拡大する可能性を支援する。分散ゼロを短波長の方向へシフトし、分散特性の曲率を長波長の方向へシフトする効果は、格子定数を小さくする場合にも達成することができる。より離れたリングで直径  $d$  を変えると、分散特性の曲率を、比較的平坦な特性曲線が得られるまで変化させることができ、第1の分散ゼロ（すなわち短波長についてのもの）よりも長い波長の方向に向かう。リングの数  $n$  を増加させると、好ましくはリングの数を少なくとも4つにすると、光ファイバの損失を低減することができる。構造についてのシングルモード特性は、充填パラメータが  $0.3 \sim 0.45$  の範囲で、好ましくは  $0.35 \sim 0.45$  である場合に達成される。本発明による光ファイバの充填パラメータを計算するには、格子定数に対する、特に第1のリングにおける非拡大孔の直径  $d$  の比を計算する必要がある。

10

【0033】

光ファイバを非線形効果発生に適用する場合、格子定数、並びに空間直径  $D$  及び  $d$  が同時に大幅に増大すると、モードフィールド同心性の低下及び分散特性、特に分散ゼロポイントの望ましくないシフトのために、非線形事象の発生が妨害される。更に、そのような構造で使用する必要がある高パワーレーザは、高価で一般に入手し難く、危険であり、アプリケーションソリューションではめったに用いられない。本発明による光ファイバは、非線形効果発生のために提案された寸法を有する場合、開示された解決策のための代替案を提供する。本発明による光ファイバにおける寸法の極小化は、他の開示された解決策よりもはるかに小さいので、比較的低いパワーレベルで入手可能な光源を用いることができると同時に、寸法の極小化と共に増大する製造コストを節約することができる。

20

【図面の簡単な説明】

30

【0034】

選択的に拡大された低屈折率の空間を備え、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバの構造が図示されている。

【図1】本発明による光ファイバの概略断面を示す。

【図2】空気空間 (air space) システムの詳細を示す図であり、(a) は応力測定向け用途の場合を示し、(b) は非線形効果発生の場合を示す。

【発明を実施するための形態】

【0035】

(第1実施例)

本発明による選択的に拡大された低屈折率の空間を備えた、特に非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバは、石英ガラスから作製され、クラッド4で被覆されたコア1を含む。コア1の周りには均一な空間があり、それらの断面形状は円2及び3に近く、空気が充填されている。コアは、これを取り囲む構造物に比べて回折指数が高い領域と理解すべきである。空気が充填された空間2及び3は、コア1の周りにリング状を成して、格子定数に等しい格子交点間の距離を有する六方格子の交点に配置されている。コア1の周りには、空気充填空間2及び3の六角形リングが4つある。空気充填空間の直径  $D$  は1つおきに拡大されている。コア1とその周りに空間2及び3を有するリング5とは、光ファイバの幾何学的中心に沿って局部配置されている。

40

【0036】

全ての拡大された空気充填空間2の直径  $D$  は等しく、非拡大の空気充填空間3の直径  $d$

50

は等しく、かつ格子定数 よりも小さい。

【 0 0 3 7 】

本発明による光ファイバの格子定数 は  $2.4 \mu\text{m}$  であり、拡大された空気充填空間の直径  $D$  は  $3 \mu\text{m}$  であり、非拡大の空気充填空間の直径  $d$  は  $1 \mu\text{m}$  であり、クラッド  $E$  の直径は  $125 \mu\text{m}$  であり、空気空間を有する上記リングの数は 4 つである。

【 0 0 3 8 】

( 第 2 実施例 )

本発明による選択的に拡大された低屈折率の空間を備えた、非線形効果の発生及び応力測定用の微細構造光ファイバは、石英ガラスから作製され、クラッド 4 で被覆されたコア 1 を含む。コア 1 の周りには均一な空間があり、それらの断面形状は円に近く、空気が充填された空間 2 及び 3 である。コアは、これを取り囲む構造物に比べて回折指数が高い領域と理解すべきである。石英コア 1 には 12% モル  $\text{Ge}$  の量でゲルマニウムがドーピングされている。空気充填空間 2 及び 3 は、コア 1 の周りにリング状を成して、格子定数 に等しい格子交点間の距離を有する六方格子の交点に配置されている。コア 1 の周りには、空気充填空間 2 及び 3 の六角形リングが 4 つある。空気充填空間の直径  $D$  は 1 つおきに拡大されている。コア 1 とその周りに空間 2 及び 3 を有するリング 5 とは、光ファイバの幾何学的中心に沿って局部配置されている。

10

【 0 0 3 9 】

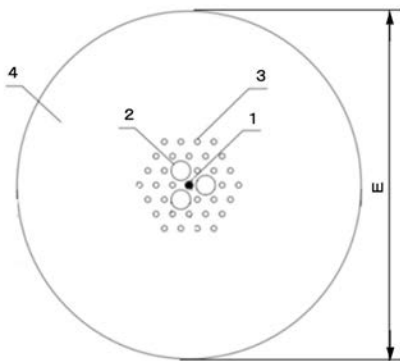
全ての拡大された空気充填空間 2 の直径  $D$  は等しく、非拡大の空気充填空間 3 の直径  $d$  は等しく、かつ格子定数 よりも小さい。

20

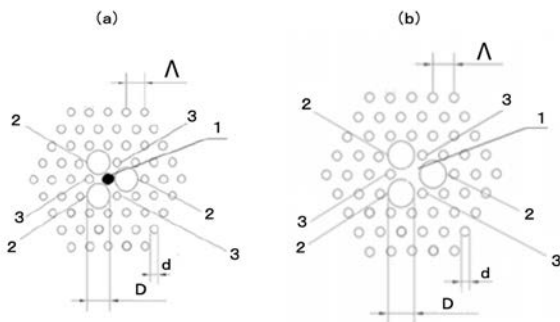
【 0 0 4 0 】

本発明による光ファイバの格子定数 は  $6 \mu\text{m}$  であり、拡大された空気充填空間の直径  $D$  は  $7 \mu\text{m}$  であり、非拡大空気充填空間の直径  $d$  は  $2 \mu\text{m}$  であり、コア 1 の直径は  $3 \mu\text{m}$  であり、クラッドの直径は  $125 \mu\text{m}$  であり、空気空間を有するリングの数は 3 つである。

【 図 1 】



【 図 2 】



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/PL2014/050075
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G02B6/02 ADD.		
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) G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CHEN ET AL: "New nonlinear and dispersion flattened photonic crystal fiber with low confinement loss", OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 281, no. 8, 3 January 2008 (2008-01-03), pages 2073-2076, XP022504274, ISSN: 0030-4018, DOI: 10.1016/J.OPTCOM.2007.12.006	1,3,4
A	figure 1 sections 2 and 3 ----- -/--	2,5,6
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" 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 application or patent but 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 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
1 April 2015		14/04/2015
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Verbandt, Yves

1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/PL2014/050075

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	
X	RICHARD ZELENY ET AL: "Nearly zero dispersion-flattened photonic crystal fiber with fluorine-doped three- fold symmetry core", OPTICAL ENGINEERING, vol. 52, no. 4, 1 April 2013 (2013-04-01), pages 045003-1, XP055180286, figure 2 table 2	1-6	
X	----- R. ZELENY ET AL: "An improved non-linear nearly-zero dispersion flattened photonic crystal fiber with the threefold symmetry core", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 8426, 1 June 2012 (2012-06-01), page 84260R, XP055180294, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.920064 figure 1; table 1	1	
A	----- HANSEN K: "Dispersion flattened hybrid-core nonlinear photonic crystal fiber", OPTICS EXPRESS, OSA (OPTICAL SOCIETY OF AMERICA), WASHINGTON DC, (US), vol. 11, no. 13, 30 June 2003 (2003-06-30) , pages 1503-1509, XP007915896, ISSN: 1094-4087 figures 1,2,3	2-6	
X	----- R. ZELENY ET AL: "Broadband dispersion decreasing photonic crystal fiber for compression of optical pulses", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 8775, 3 May 2013 (2013-05-03), pages 87750Y-1, XP055180292, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.2019298	1-6	
A	----- LUCKI MICHAL ET AL: "Broadband dispersion compensating photonic crystal fiber", PHOTONICS, DEVICES, AND SYSTEMS V, SPIE, 1000 20TH ST. BELLINGHAM WA 98225-6705 USA, vol. 8306, no. 1, 31 December 1899 (1899-12-31), pages 1-6, XP060024582, DOI: 10.1117/12.910720 [retrieved on 1901-01-01]	1-6	
A	----- WO 00/49436 A1 (UNIV BATH [GB]; RUSSELL PHILIP ST JOHN [GB]; BIRKS TIMOTHY ADAM [GB];) 24 August 2000 (2000-08-24)	1-6	
4	A	US 2010/296784 A1 (IMAMURA KATSUNORI [JP]) 25 November 2010 (2010-11-25)	1-6
1	----- -/--		

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/PL2014/050075
---

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2 166 385 A2 (TELEKOMUNIKACJA POLSKA S A [PL]) 24 March 2010 (2010-03-24) -----	1-6
A	WO 2010/107138 A1 (UNIV THE RYUKYUS [JP]; NAMIHIRA YOSHINORI [JP]; BEGUM FEROZA [JP]; KAI) 23 September 2010 (2010-09-23) -----	1-6
A	WO 2004/104659 A1 (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE [JP]; MITSUBISHI CABLE IND LTD [JP]; KUBO) 2 December 2004 (2004-12-02) -----	1-6
A	EP 1 712 935 A1 (UNIV BRUXELLES [BE]) 18 October 2006 (2006-10-18) -----	1-6
A	KAREN MARIE HILLIGSØE ET AL: "Supercontinuum generation in a photonic crystal fiber with two zero dispersion wavelengths", OPTICS EXPRESS, vol. 12, no. 6, 22 March 2004 (2004-03-22) , pages 1045-154, XP055180751, -----	1-6
A	WO 03/079074 A1 (CRYSTAL FIBRE AS [DK]; HANSEN KIM PER [DK]; FOLKENBERG JACOB RIIS [DK]) 25 September 2003 (2003-09-25) -----	1-6
A	US 2010/266251 A1 (LYNGSOE JENS KRISTIAN [DK] ET AL) 21 October 2010 (2010-10-21) -----	1-6
A	WO 02/084350 A1 (CRYSTAL FIBRE AS [DK]; LIBORI STIG EIGIL BARKOU [DK]; BROENG JES [DK];) 24 October 2002 (2002-10-24) the whole document -----	1-6

1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/PL2014/050075

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0049436	A1	24-08-2000	AT 250772 T 15-10-2003
			AT 316516 T 15-02-2006
			AU 771646 B2 01-04-2004
			AU 2565000 A 04-09-2000
			CA 2362997 A1 24-08-2000
			CN 1341221 A 20-03-2002
			CN 1645174 A 27-07-2005
			DE 60005486 D1 30-10-2003
			DE 60005486 T2 22-07-2004
			DE 60025766 T2 12-10-2006
			DK 1153325 T3 26-01-2004
			DK 1340725 T3 18-04-2006
			EP 1153325 A1 14-11-2001
			EP 1340725 A2 03-09-2003
			EP 1385028 A1 28-01-2004
			JP 4761624 B2 31-08-2011
			JP 2002537575 A 05-11-2002
			US 6954574 B1 11-10-2005
			US 2004105641 A1 03-06-2004
WO 0049436 A1 24-08-2000			
US 2010296784	A1	25-11-2010	CN 102257415 A 23-11-2011
			EP 2369380 A1 28-09-2011
			JP 5367726 B2 11-12-2013
			US 2010296784 A1 25-11-2010
			US 2012008908 A1 12-01-2012
			WO 2010073821 A1 01-07-2010
EP 2166385	A2	24-03-2010	EP 2166385 A2 24-03-2010
			PL 216019 B1 28-02-2014
WO 2010107138	A1	23-09-2010	NONE
WO 2004104659	A1	02-12-2004	JP 3871053 B2 24-01-2007
			JP 2004347817 A 09-12-2004
			WO 2004104659 A1 02-12-2004
EP 1712935	A1	18-10-2006	EP 1712935 A1 18-10-2006
			WO 2006105964 A1 12-10-2006
WO 03079074	A1	25-09-2003	AU 2003226890 A1 29-09-2003
			US 2005238307 A1 27-10-2005
			WO 03079074 A1 25-09-2003
US 2010266251	A1	21-10-2010	NONE
WO 02084350	A1	24-10-2002	CA 2443037 A1 24-10-2002
			CN 1535389 A 06-10-2004
			EP 1381894 A1 21-01-2004
			JP 4203320 B2 24-12-2008
			JP 2004522195 A 22-07-2004
			US 2005069269 A1 31-03-2005
			WO 02084350 A1 24-10-2002

## フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74) 代理人 100168642

弁理士 関谷 充司

(74) 代理人 100096769

弁理士 有原 幸一

(74) 代理人 100107319

弁理士 松島 鉄男

(74) 代理人 100114591

弁理士 河村 英文

(72) 発明者 ホルディンスキ, ズビグニエフ

ポーランド、PL - 01 - 129 ワルシャワ、ウル . プストラ 22 エム . 11

(72) 発明者 シマンスキ, ミハウ

ポーランド、PL - 03 - 910 ワルシャワ、アレヤ バシントナ 16 エー / 10

(72) 発明者 テンダーレダ, タデウシュ

ポーランド、PL - 02 - 796 ワルシャワ、ウル . ミグダウォバ 69

(72) 発明者 ムラフスキ, ミハウ

ポーランド、PL - 03 - 341 ワルシャワ、ウル . ジュロミンスカ 12 / 27

(72) 発明者 ナシロフスキ, トマシュ

ポーランド、PL - 00 - 124 ワルシャワ、ウル . パンスカ 5 / 124

(72) 発明者 ナピエララ, マレック

ポーランド、PL - 54 - 129 ヴロツワフ、ウル . ヒンカ 10 / 12

(72) 発明者 オストロフスキ, ウーカシュ

ポーランド、PL - 05 - 126 ニエポレント、ウル . ヤナカジミエジャ 228

(72) 発明者 パヴリック, カタジーナ ヨアンナ

ポーランド、PL - 03 - 126 ワルシャワ、エウエラミチュナ 18 エム . 639

(72) 発明者 スロウニコフスキ, マテウシュ

ポーランド、PL - 00 - 910 ワルシャワ、トボグラフィチュナ 11 / 17

(72) 発明者 エズトエステカイエヴィチュ, ルーク

ポーランド、PL - 87 - 100 トルン、ヴォンスカ 8 エー / 10

(72) 発明者 ステンピエニ, カロル

ポーランド、01 - 134 ワルシャワ、ウル . ヴォルスカ 64 エム . 23

(72) 発明者 ズイオロヴィチュ, アンナ

ポーランド、25 - 752 キェルツェ、ウル . オウオビアナ 7

F ターム(参考) 2H150 AB03 AB05 AB32 AC51 AF03 AF11 AF23 AF25 AF30 AF33

AH15 AH38 AH50