

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2016年8月18日(18.08.2016)

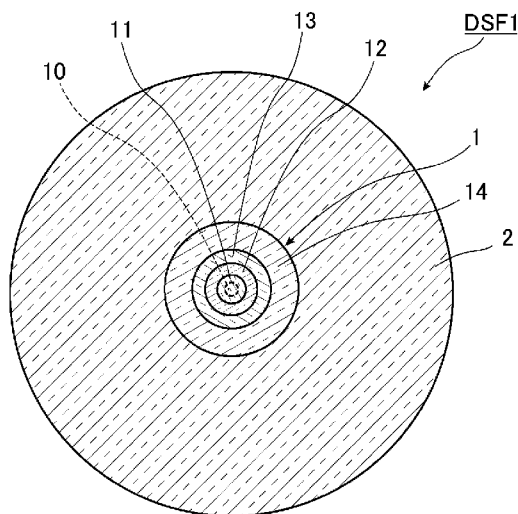


(10) 国際公開番号  
**WO 2016/129367 A1**

- (51) 国際特許分類:  
**G02B 6/036** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/051995
- (22) 国際出願日: 2016年1月25日(25.01.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2015-025006 2015年2月12日(12.02.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社フジクラ(FUJIKURA LTD.)  
[JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 孝昭(SUZUKI Takaaki); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 松尾 昌一郎(MATSUO Shoichiro); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 森村靖男, 外(MORIMURA Yasuo et al.); 〒1010032 東京都千代田区岩本町3丁目10番9号 秋葉原花岡ビル6階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, 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, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: DISPERSION SHIFTED OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 分散シフト光ファイバ



(57) Abstract: The present invention pertains to a dispersion shifted optical fiber for propagating C-band and L-band light. A first core segment 10 has a radius  $r_0$  of 0.3 to 2.8  $\mu\text{m}$ , inclusive, and a specific refractive index differential  $\Delta_0$  of 0.4 to 0.9%, inclusive. The radius  $r_1$  of a first segment 11 is 1.8 to 5.0  $\mu\text{m}$ , inclusive. A second segment 12 has a radius  $r_2$  of 5.0 to 8.0  $\mu\text{m}$ , inclusive, and a specific refractive index differential  $\Delta_2$  of -0.02 to 0.07%, inclusive. A third segment 13 has a radius  $r_3$  of 6.0 to 8.5  $\mu\text{m}$ , inclusive, and a specific refractive index differential  $\Delta_3$  of 0.285 to 0.5%, inclusive. A fourth segment 14 has a radius  $r_4$  of 0.0 to 16.0  $\mu\text{m}$ , inclusive, and a specific refractive index differential  $\Delta_4$  of -0.02 to 0.04%, inclusive. The relationship  $r_0 \leq r_1 < r_2 < r_3 < r_4$  is true.

(57) 要約: Cバンド、Lバンド帯の光を伝搬する分散シフト光ファイバに関する。第一中心セグメント10は半径 $r_0$ が0.3  $\mu\text{m}$ 以上2.8  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_0$ が0.4%以上0.9%以下とされる。第一セグメント11の半径 $r_1$ は1.8  $\mu\text{m}$ 以上5.0  $\mu\text{m}$ 以下とされる。第二セグメント12は半径 $r_2$ が5.0  $\mu\text{m}$ 以上8.0  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_2$ が-0.02%以上0.07%以下とされる。第三セグメント13は半径 $r_3$ が6.0  $\mu\text{m}$ 以上8.5  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_3$ が0.285%以上0.5%以下とされる。第四セグメント14は半径 $r_4$ が0.0  $\mu\text{m}$ 以上16.0  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_4$ が-0.02%以上0.04%以下とされる。 $r_0 \leq r_1 < r_2 < r_3 < r_4$ が成立する。

8  $\mu\text{m}$ 以上5.0  $\mu\text{m}$ 以下とされる。第二セグメント12は半径 $r_2$ が5.0  $\mu\text{m}$ 以上8.0  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_2$ が-0.02%以上0.07%以下とされる。第三セグメント13は半径 $r_3$ が6.0  $\mu\text{m}$ 以上8.5  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_3$ が0.285%以上0.5%以下とされる。第四セグメント14は半径 $r_4$ が0.0  $\mu\text{m}$ 以上16.0  $\mu\text{m}$ 以下とされ、比屈折率差 $\Delta_4$ が-0.02%以上0.04%以下とされる。 $r_0 \leq r_1 < r_2 < r_3 < r_4$ が成立する。

WO 2016/129367 A1

## 明 細 書

発明の名称：分散シフト光ファイバ

### 技術分野

[0001] 本発明は、分散シフト光ファイバに関し、コアを伝搬する光の曲げ損失のばらつきを抑制する場合に好適なものである。

### 背景技術

[0002] 光通信の伝送網において、シングルモード光ファイバが用いられている。このシングルモード光ファイバを用いた光通信として波長多重伝送（WDM伝送）が広く受け入れられている。波長多重伝送は、光通信の波長が一波長でなく、複数の波長を用いて複数の光信号を伝送する方式であり、大容量高速通信に適した光伝送方式である。

[0003] 波長多重伝送においては、波長分散を抑制するために分散シフト光ファイバが用いられることがあり、中でも光の波長による分散を押さえつつ当該分散をゼロとしないノンゼロ分散シフト光ファイバ（Non-Zero Dispersion Shifted Fiber：NZDSF）が用いられることがある。

[0004] 下記特許文献1には、分散シフト光ファイバが記載されている。下記特許文献1に記載の分散シフト光ファイバは、コアが3つのセグメントを有している。

[0005] 特許文献1：特許第4393708号公報

### 発明の概要

[0006] しかし、上記特許文献1に記載の分散シフト光ファイバでは、分散シフト光ファイバを曲げた際に伝搬する光が損失するいわゆる曲げ損失が、クラッド径とコア径との比が変化する場合には変動し易いことが分かった。一般的な光ファイバ用母材は、コアとなるロッド状のコアガラス体と、このコアガラス体の外周面を被覆しクラッドにおける内周側の部位となる内周側クラッドガラス体とからなるコア被覆ロッドを用いて作製する。そして、ジャケット

法やOVD法 (Outside vapor deposition method) を用いて、このコア被覆ロッドの外周面 (内周側クラッドガラス体の外周面上) をクラッドの外周側となる外周側クラッドガラス体で覆う。一般的に、外周側クラッドガラス体は安価に作製されることが多いため、外周側クラッドガラス体の外径は変動し易い。このように外周側クラッドガラス体の外径が変動するということは、光ファイバ用母材の外径が変動することにつながる。一方、光ファイバ用母材を線引して製造する光ファイバのクラッド径は、例えば  $125\text{ }\mu\text{m}$  といった具合に一定とされる。このため、光ファイバ用母材の外径が変動すると、クラッド径とコア径との比が変化してしまう。このように製造おける誤差によって上記のようにコア径とクラッド径との比が変化することで、製造される分散シフト光ファイバを伝搬する光の曲げ損失のばらつきが大きくなるという懸念がある。光ファイバは直線状に敷設される場合のみならず、曲げられた状態で敷設される場合がある。従って、上記のように伝搬する光の曲げ損失がばらつくことは好ましく無い。

[0007] そこで、本発明は、コア径とクラッド径との比が変化する場合であっても、曲げ損失が変化することを抑制することができる分散シフト光ファイバを提供することを目的とする。

[0008] 上記課題を解決するため、本発明は、 $1530\text{ nm}$ 以上 $1625\text{ nm}$ 以下の波長の光における分散値が $2.0\text{ ps/nm/km}$ 以上 $13.5\text{ ps/nm/km}$ 以下であり、 $1550\text{ nm}$ の波長の光における分散スロープが $0.092\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、ケーブルカットオフ波長が $1450\text{ nm}$ 以下であり、 $1550\text{ nm}$ の波長の光における実効コア断面積が $65\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上 $90\text{ }\mu\text{m}^2$ 以下であり、 $1550\text{ nm}$ の波長の光におけるモードフィールド径が $9.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である分散シフト光ファイバであって以下を特徴とするものである。

[0009] コアは、前記コアの中心軸を含む第一セグメントと、前記第一セグメントの外周面を隙間なく囲む第二セグメントと、前記第二セグメントの外周面を隙間なく囲む第三セグメントと、前記第三セグメントの外周面を隙間なく囲

む第四セグメントとを有し、前記第一セグメントは、前記中心軸を含む第一中心セグメントを含む。

[0010] さらに、前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は  $0.5 \mu\text{m}$  以上  $2.8 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第一セグメントの半径  $r_1$  は  $1.8 \mu\text{m}$  以上  $4.5 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第二セグメントの半径  $r_2$  は  $4.0 \mu\text{m}$  以上  $8.0 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は  $4.5 \mu\text{m}$  以上  $8.5 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第四セグメントの半径  $r_4$  は  $8.0 \mu\text{m}$  以上  $16.0 \mu\text{m}$  以下とされ、かつ、 $r_0 \leq r_1 < r_2 < r_3 < r_4$  が成立する。

[0011] またさらに、前記第一中心セグメントの前記コアを囲むクラッドに対する比屈折率差  $\Delta_0$  は  $0.4\%$  以上  $0.9\%$  以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_2$  は  $0.00\%$  以上  $0.07\%$  以下とされ、前記第三セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_3$  は  $0.285\%$  以上  $0.5\%$  以下とされ、前記第四セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_4$  は  $0.005\%$  以上  $0.04\%$  以下とされ、前記第一セグメントでは前記第一中心セグメントの外周から前記第二セグメントの内周にかけて前記クラッドに対する比屈折率差が低下する。

[0012] 本発明者等は、鋭意検討の結果、以上を特徴とする分散シフト光ファイバすなわちCバンド、Lバンド帯の光を伝搬する分散シフト光ファイバによれば、コア径とクラッド径との比が変化する場合であっても、コアを伝搬する光の曲げ損失が変化しづらいことを見出した。従って、本発明の分散シフト光ファイバによれば、製造によりクラッドの屈折率がばらつく場合であっても、特性のばらつきを抑制することができる。

[0013] また、上記分散シフト光ファイバにおいて、前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  と前記第一セグメントの半径  $r_1$  とが一致するよう構成しても良い。この場合、前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は  $1.8 \mu\text{m}$  以上とされ、前記第一セグメントの半径  $r_1$  は  $2.8 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第二セグメントの半径  $r_2$  は  $5.0 \mu\text{m}$  以上  $6.6 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は  $6.1 \mu\text{m}$  以上とされ、前記第一中心セグメントの前記クラッドに対する

比屈折率差 $\Delta_0$ は0.8%以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_2$ は0.06%以下とされることが好ましい。

[0014] 前記第一中心セグメントの半径 $r_0$ と前記第一セグメントの半径 $r_1$ とが一致するため、第一セグメントは実質的に第一中心セグメントから構成されることとなる。つまり、第一セグメントがステップ型の屈折率分布を有することとなり、前記クラッドに対する比屈折率差が第一中心セグメントの比屈折率差 $\Delta_0$ となる。このように第一セグメントがステップ型の屈折率分布を有することにより、第一セグメント内で屈折率を変化させる場合よりも製造が容易となる。

[0015] 上記のように第一セグメントがステップ型の屈折率分布を有する場合には、前記第一中心セグメントの半径 $r_0$ は2.0 $\mu\text{m}$ 以上2.6 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第二セグメントの半径 $r_2$ は6.0 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第三セグメントの半径 $r_3$ は7.5 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第四セグメントの半径 $r_4$ は11.0 $\mu\text{m}$ 以上15.0 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第一中心セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_0$ は0.47%以上0.67%以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_2$ は0.02%以上とされ、前記第三セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_3$ は0.35%以下とされ、前記第四セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_4$ は0.010%以上0.025%以下とされることがより好ましい。

[0016] このような屈折率分布を有することにより、コア径とクラッド径との比が変化する場合であっても、コアを伝搬する光の曲げ損失の変化をより抑えることができる。

[0017] 或いは、上記分散シフト光ファイバにおいて、前記第一中心セグメントの半径 $r_0$ は前記第一セグメントの半径 $r_1$ よりも小さくされるよう構成しても良い。この場合、前記第一中心セグメントの半径 $r_0$ は1.3 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第一セグメントの半径 $r_1$ は2.0 $\mu\text{m}$ 以上とされ、前記第二セグメントの半径 $r_2$ は5.0 $\mu\text{m}$ 以上とされ、前記第三セグメントの半径 $r_3$ は6.0 $\mu\text{m}$ 以上とされ、前記第四セグメントの半径 $r_4$ は9.0 $\mu\text{m}$ 以上とされ、

前記第一中心セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_0$ は0.5%以上とされることが好ましい。

[0018] 上記のように本発明の分散シフト光ファイバにおいて、第一セグメントでは第一中心セグメントの外周から第二セグメントの内周にかけてクラッドに対する比屈折率差が低下する。従って、第一中心セグメントの半径 $r_0$ は前記第一セグメントの半径 $r_1$ よりも小さくされよう構成されることで、第一セグメントが概ね台形状の屈折率分布を有することとなる。このように第一セグメントが概ね台形状の屈折率分布を有することにより、第一セグメントにおける第一中心セグメントの外周から第二セグメントに至る部位において、粘度差を徐々に変化させることが可能となる。このため、大きな残留応力を低減させることができ、伝送損失の増加することを抑制することができる。

[0019] 上記のように第一セグメントが台形型の屈折率分布を有する場合には、前記第一中心セグメントの半径 $r_0$ が0.5 $\mu\text{m}$ 以上1.0 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第一セグメントの半径 $r_1$ は3.0 $\mu\text{m}$ 以上4.5 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第二セグメントの半径 $r_2$ は5.2 $\mu\text{m}$ 以上6.5 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第三セグメントの半径 $r_3$ は6.5 $\mu\text{m}$ 以上8.0 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第四セグメントの半径 $r_4$ は10.0 $\mu\text{m}$ 以上13.5 $\mu\text{m}$ 以下とされ、前記第一中心セグメントの前記コアを囲むクラッドに対する比屈折率差 $\Delta_0$ は0.6%以上0.8%以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_2$ は0.020%以上0.065%以下とされ、前記第三セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_3$ は0.4%以下とされ、前記第四セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta_4$ は0.01%以上0.03%以下とされることがより好ましい。

[0020] このような屈折率分布を有することにより、コア径とクラッド径との比が変化する場合であっても、コアを伝搬する光の曲げ損失の変化をより抑えることができる。

[0021] 以上のように、本発明によれば、製造によりクラッドの屈折率がばらつく場合であっても、伝搬する光の曲げ損失を抑制することができる分散シフト

光ファイバが提供される。

### 図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の第1実施形態に係る分散シフト光ファイバの長手方向に垂直な断面の構造を示す図である。

[図2]図1の分散シフト光ファイバのクラッドに対する比屈折率分布を示す図である。

[図3]本発明の第2実施形態に係る分散シフト光ファイバの様子を示す図である。

[図4]図3の分散シフト光ファイバのクラッドに対する比屈折率分布を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明に係る分散シフト光ファイバの好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

[0024] (第1実施形態)

図1は、本実施形態に係る分散シフト光ファイバの長手方向に垂直な断面の構造を示す図である。

[0025] 本実施形態の分散シフト光ファイバDSF1は、 $1530\text{ nm}$ 以上 $1625\text{ nm}$ 以下の波長の光における分散値が $2.0\text{ ps/nm/km}$ 以上 $13.5\text{ ps/nm/km}$ 以下であり、 $1550\text{ nm}$ の波長の光における分散スロープが $0.092\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、ケーブルカットオフ波長が $1450\text{ nm}$ 以下であり、 $1550\text{ nm}$ の波長の光における実効コア断面積が $65\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上 $90\text{ }\mu\text{m}^2$ 以下であり、 $1550\text{ nm}$ の波長の光におけるモードフィールド径が $9.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下とされる。つまり、分散シフト光ファイバDSF1は、Cバンド、Lバンド帯の光を伝搬する分散シフト光ファイバとされる。

[0026] 図1に示すように、本実施形態の分散シフト光ファイバDSF1は、コア1とコア1の外周面を隙間なく囲むクラッド2を備える。

[0027] コア1は、第一セグメント11と、第一セグメント11の外周面を隙間な

く囲む第二セグメント 12 と、第二セグメント 12 の外周面を隙間なく囲む第三セグメント 13 と、第三セグメント 13 の外周面を隙間なく囲む第四セグメント 14 とを有する。また、第一セグメント 11 は、図 1 において破線で示すようにコア 1 の中心軸を含む第一中心セグメント 10 を含む。このように本実施形態の分散シフト光ファイバ DSF 1 は 4 セグメントとされる。

[0028] 第一中心セグメント 10 の半径  $r_0$  は  $0.5 \mu\text{m}$  以上  $2.8 \mu\text{m}$  以下とされる。第一セグメント 11 の半径  $r_1$  は  $1.8 \mu\text{m}$  以上  $4.5 \mu\text{m}$  以下とされる。第二セグメント 12 の半径  $r_2$  は  $4.0 \mu\text{m}$  以上  $8.0 \mu\text{m}$  以下とされる。第三セグメント 13 の半径  $r_3$  は  $4.5 \mu\text{m}$  以上  $8.5 \mu\text{m}$  以下とされる。第四セグメント 14 の半径  $r_4$  は  $8.0 \mu\text{m}$  以上  $16.0 \mu\text{m}$  以下とされる。なお、それぞれのセグメントの半径とは、それぞれのセグメントの外周面の半径を指す。

[0029] また、第一中心セグメント 10 の半径  $r_0$  と、第一セグメント 11 の半径  $r_1$  と、第二セグメント 12 の半径  $r_2$  と、第三セグメント 13 の半径  $r_3$  と、第四セグメント 14 の半径  $r_4$  との間には、

$$r_0 < r_1 < r_2 < r_3 < r_4$$

が成立する。

[0030] 図 2 は、図 1 に示す分散シフト光ファイバ DSF 1 の径方向でのクラッド 2 に対する比屈折率差の分布の様子を示す図である。ただし、図 2 では、分散シフト光ファイバ DSF 1 の中心軸よりも径方向の一方側のみの屈折率分布の様子を示している。第一中心セグメント 10 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_0$  は  $0.4\%$  以上  $0.9\%$  以下とされる。第二セグメント 12 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_2$  は  $0.00\%$  以上  $0.07\%$  以下とされる。このように第二セグメント 12 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_2$  は第一中心セグメント 10 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_0$  はよりも小さく、第一セグメント 11 では、第一中心セグメント 10 の外周から第二セグメント 12 の内周にかけてクラッド 2 に対する比屈折率差が低下している。第三セグメント 13 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_3$  は  $0.285\%$  以上  $0.5\%$  以



下とされる。第四セグメント14のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_4$ は0.005%以上0.04%以下とされる。

[0031] 分散シフト光ファイバDSF1のコア1、クラッド2を構成する材料は、次のようにされる。例えば、クラッド2は純粋な石英から構成され、コア1の第一セグメント11及び第三セグメント13は屈折率を上昇させるドーパントが添加される石英から構成され、第二セグメント12及び第四セグメント14は、屈折率を上昇させるドーパントや屈折率を低下させるドーパントが適宜添加される石英から構成される。屈折率を上昇させる作用を備えるドーパントとしてはゲルマニウム(Ge)を代表に挙げることができる。ゲルマニウムは、 $\text{GeO}_2$ として添加される。また、屈折率を低下させる作用を備えるドーパントとしてはフッ素(F)を代表的に挙げることができる。なお、コア1のそれぞれのセグメントに添加するドーパントは、ゲルマニウム、アルミニウム(Al)、リン(P)、フッ素から選ばれる少なくとも1種、あるいは2種以上とされ、クラッド2に対する比屈折率差が上記の範囲となるようにその種類や添加量が適宜選択される。

[0032] コア1のそれぞれセグメントが上記の半径及びクラッド2に対する比屈折率差を有することで、分散シフト光ファイバDSF1は、上記のような分散値、分散スロープ、ケーブルカットオフ波長、実効コア断面積、モードフィールド径を有する。

[0033] 以上説明したように、本実施形態の分散シフト光ファイバDSF1は、コア1のそれぞれセグメントが上記の半径及びクラッド2に対する比屈折率差を有することで、コア1の直径(コア径)とクラッド2の直径(クラッド径)との比が変化する場合であっても、コア1を伝搬する光の曲げ損失が変化を抑制することができる。

[0034] なお、上記のように、分散シフト光ファイバDSF1は $r_0 < r_1$ とされ、第一セグメント11では、第一中心セグメント10の外周から第二セグメント12の内周にかけてクラッド2に対する比屈折率差が低下する。従って、 $r_0 < r_1$ とされる場合、第一セグメント11の屈折率分布の形状は概ね台形

とされる。

[0035] このように第一セグメント 11 の屈折率分布の形状が概ね台形とされる場合、それぞれのセグメントは、半径及びクラッド 2 に対する比屈折率差が次の範囲となることが好ましい。

[0036] すなわち、第一中心セグメント 10 の半径  $r_0$  が  $0.5 \mu\text{m}$  以上  $1.3 \mu\text{m}$  以下とされ、第一セグメント 11 の半径  $r_1$  が  $2.0 \mu\text{m}$  以上  $4.5 \mu\text{m}$  以下とされ、第二セグメント 12 の半径  $r_2$  が  $5.0 \mu\text{m}$  以上  $8.0 \mu\text{m}$  以下とされ、第三セグメント 13 の半径  $r_3$  が  $6.0 \mu\text{m}$  以上  $8.5 \mu\text{m}$  以下とされ、第四セグメント 14 の半径  $r_4$  が  $9.0 \mu\text{m}$  以上  $16.0 \mu\text{m}$  以下とされる。ただし、上記のように、 $r_1 < r_2 < r_3 < r_4$  が成立している。

[0037] また、第一中心セグメント 10 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_0$  が  $0.5\%$  以上  $0.9\%$  以下とされ、第二セグメント 12 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_2$  が  $0.00\%$  以上  $0.07\%$  以下とされ、第三セグメント 13 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_3$  が  $0.285\%$  以上  $0.5\%$  以下とされ、第四セグメント 14 のクラッド 2 に対する比屈折率差  $\Delta_4$  が  $0.005\%$  以上  $0.04\%$  以下とされる。

[0038] 第一セグメント 11 が概ね台形状の屈折率分布を有する場合に、コア 1 のそれぞれのセグメントが上記の半径及びクラッド 2 に対する比屈折率差とされることで、第一セグメント 11 における第一中心セグメント 10 の外周から第二セグメント 12 に至る部位において、粘度差を徐々に変化させることが可能となる。このため、大きな残留応力を低減させることができ、伝送損失の増加することを抑制することができる。

[0039] このように第一セグメント 11 の屈折率分布の形状は概ね台形とされる場合、それぞれのセグメントは、半径及びクラッド 2 に対する比屈折率差が、次の範囲とされることがより好ましい。

[0040] すなわち、第一中心セグメント 10 の半径  $r_0$  が  $0.5 \mu\text{m}$  以上  $1.0 \mu\text{m}$  以下とされ、第一セグメント 11 の半径  $r_1$  が  $3.0 \mu\text{m}$  以上  $4.5 \mu\text{m}$  以下とされ、第二セグメント 12 の半径  $r_2$  が  $5.2 \mu\text{m}$  以上  $6.5 \mu\text{m}$  以下とさ

れ、第三セグメント13の半径 $r_3$ が $6.5\mu\text{m}$ 以上 $8.0\mu\text{m}$ 以下とされ、第四セグメント14の半径 $r_4$ が $10.0\mu\text{m}$ 以上 $13.5\mu\text{m}$ 以下とされる。ただし、上記のように、 $r_1 < r_2 < r_3 < r_4$ が成立している。

[0041] また、第一中心セグメント10のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_0$ が $0.6\%$ 以上 $0.8\%$ 以下とされ、第二セグメント12のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_2$ が $0.02\%$ 以上 $0.065\%$ 以下とされ、第三セグメント13のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_3$ が $0.285\%$ 以上 $0.4\%$ 以下とされ、第四セグメント14のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_4$ が $0.01\%$ 以上 $0.03\%$ 以下とされる。

[0042] コア1のそれぞれセグメントが上記の半径及びクラッド2に対する比屈折率差とされることで、コア1の径とクラッド2の径との比が変化する場合であっても、コア1を伝搬する光の曲げ損失が変化をより抑えることができる。

[0043] (第2実施形態)

次に、本発明に係る分散シフト光ファイバの第2実施形態について図3、図4を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態の分散シフト光ファイバDSF1同一又は同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

[0044] 図3は、本実施形態に係る分散シフト光ファイバの長手方向に垂直な断面の構造を示す図である。

[0045] 本実施形態においても、分散シフト光ファイバDSF2は、 $1530\text{nm}$ 以上 $1625\text{nm}$ 以下の波長の光における分散値が $2.0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $13.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であり、 $1550\text{nm}$ の波長の光における分散スロープが $0.092\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、ケーブルカットオフ波長が $1450\text{nm}$ 以下であり、 $1550\text{nm}$ の波長の光における実効コア断面積が $65\mu\text{m}^2$ 以上 $90\mu\text{m}^2$ 以下であり、 $1550\text{nm}$ の波長の光におけるモードフィールド径が $9.2\mu\text{m}$ 以上 $10.5\mu\text{m}$ 以下とされる。つまり、分散シフト光ファイバDSF2は、第1実施形態の分散シフト光フ

アイバDSF1と同様に、Cバンド、Lバンド帯の光を伝搬する分散シフト光ファイバとされる。

[0046] 本実施形態の分散シフト光ファイバDSF2は4セグメントとされるが、 $r_0 = r_1$ とされる点において、第1実施形態の分散シフト光ファイバDSF1と異なる。

[0047] 本実施形態の分散シフト光ファイバでは、第一中心セグメント10の半径 $r_0$ と、第一セグメント11の半径 $r_1$ とが互いに等しく $1.8\mu\text{m}$ 以上 $2.8\mu\text{m}$ 以下とされる。

[0048] 図4は、図3の分散シフト光ファイバDSF2の比屈折率分布を図2と同様の方法で示す図である。本実施形態でも第1実施形態と同様に、第一セグメント11では、第一中心セグメント10の外周から第二セグメント12の内周にかけてクラッド2に対する比屈折率差が低下する。しかし、図4に示すように、本実施形態では、 $r_0 = r_1$ とされるため、第一中心セグメント10の外周と第二セグメント12の内周（第一セグメント11の外周）とが一致し、図4に示すように、第一セグメント11の屈折率分布の形状は概ねステップ型とされる。

[0049] このように第一セグメント11の屈折率分布の形状が概ねステップとされる場合、それぞれのセグメントは、半径及びクラッド2に対する比屈折率差が次の範囲となることが好ましい。

[0050] すなわち、第一中心セグメント10の半径 $r_0$ （第一セグメント11の半径 $r_1$ ）が $1.8\mu\text{m}$ 以上 $2.8\mu\text{m}$ 以下とされ、第二セグメント12の半径 $r_2$ が $5.0\mu\text{m}$ 以上 $6.6\mu\text{m}$ 以下とされ、第三セグメント13の半径 $r_3$ が $6.1\mu\text{m}$ 以上 $8.5\mu\text{m}$ 以下とされ、第四セグメント14の半径 $r_4$ が $8.0\mu\text{m}$ 以上 $16.0\mu\text{m}$ 以下とされる。ただし、上記のように、 $r_0$ （ $r_1$ ） $< r_2 < r_3 < r_4$ が成立している。

[0051] また、第一中心セグメント10のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_0$ （第一セグメント11のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_1$ ）が $0.4\%$ 以上 $0.8\%$ 以下とされ、第二セグメント12のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_2$ が $0$

、0.0%以上0.06%以下とされ、第三セグメント13のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_3$ が0.285%以上0.5%以下とされ、第四セグメント14のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_4$ が0.005%以上0.04%以下とされる。

[0052] 第一セグメントが概ね台形状の屈折率分布を有する場合に、コア1のそれぞれのセグメントが上記の半径及びクラッド2に対する比屈折率差とされることで、第一セグメント11内で屈折率を変化させる場合よりも製造が容易となる。

[0053] このように第一セグメント11の屈折率分布の形状は概ねステップとされる場合、それぞれのセグメントは、半径及びクラッド2に対する比屈折率差が、次の範囲とされることがより好ましい。

[0054] すなわち、第一中心セグメント10の半径 $r_0$ （第一セグメント11の半径 $r_1$ ）が2.0 $\mu\text{m}$ 以上2.6 $\mu\text{m}$ 以下とされ、第二セグメント12の半径 $r_2$ が5.0 $\mu\text{m}$ 以上6.0 $\mu\text{m}$ 以下とされ、第三セグメント13の半径 $r_3$ が6.1 $\mu\text{m}$ 以上7.5 $\mu\text{m}$ 以下とされ、第四セグメント14の半径 $r_4$ が11.0 $\mu\text{m}$ 以上15.0 $\mu\text{m}$ 以下とされる。ただし、上記のように、 $r_1$ （ $r_1$ ） $< r_2 < r_3 < r_4$ が成立している。

[0055] また、第一中心セグメント10のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_0$ （第一セグメント11のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_1$ ）が0.47%以上0.67%以下とされ、第二セグメント12のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_2$ が0.02%以上0.06%以下とされ、第三セグメント13のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_3$ が0.285%以上0.35%以下とされ、第四セグメント14のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_4$ が0.010%以上0.025%以下とされる。

[0056] コア1のそれぞれセグメントが上記の半径及びクラッド2に対する比屈折率差とされることで、コア1の径とクラッド2の径との比が変化する場合であっても、コア1を伝搬する光の曲げ損失が変化をより抑えることができる。

[0057] 以上、本発明について、第1、第2実施形態を例に説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0058] 例えば、第1実施形態において、第一セグメント11において、第一中心セグメント10の外周面から第二セグメント12の内周にかけて、クラッド2に対する比屈折率が傾斜状して低下している。しかし本発明では、第一セグメント11において、第一中心セグメント10の外周面から第二セグメント12の内周にかけて、クラッド2に対する比屈折率が低下していれば良く、階段状に低くなっても良い。

### 実施例

[0059] 以下、実施例及び比較例を挙げて本発明の内容をより具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

[0060] (実施例1)

図1、図2に記載の分散シフト光ファイバDSF1をモデルとしてシミュレーションを行った。第一セグメント11の第一中心セグメント10の半径 $r_0$ 、第一セグメント11の半径 $r_1$ 、第二セグメント12の半径 $r_2$ 、第三セグメント13の半径 $r_3$ 、第四セグメント14の半径 $r_4$ を下記表1の通りとした。また、第一中心セグメント10のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_0$ 、第二セグメント12のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_2$ 、第三セグメント13のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_3$ 、第四セグメント14のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_4$ を下記表1の通りとして、第一セグメント11における第一中心セグメント10の外周面から第二セグメント12までの内周にかけてクラッド2に対する比屈折率差が傾斜状に低下するものとした。

[0061] また、このようにそれぞれのセグメントの半径やクラッド2に対する比屈折率差とされる分散シフト光ファイバDSF1のカットオフ波長( $\lambda_c$ )、波長1550nmの光が伝搬する場合の実効コア断面積( $A_{eff}$ )、波長1550nmの光が伝搬する場合のモードフィールド径(MFD)、波長1550nmの光の分散値(Disp)、波長1550 $\mu$ mの光の分散スロープ(Slope)、直径20mmに曲げられる分散シフト光ファイバDSF

1 を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の曲げ損失 (Bloss)、直線状の分散シフト光ファイバDSF1 を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の損失 (Loss) は、表2の通りとなった。

[0062] また、コア1の径とクラッド2の径との比が1%変動する場合における上記曲げ損失の変動率 (Bloss VR) は表2の通りとなった。

[0063] (実施例2~11)

それぞれのセグメントの半径 ( $r_0, r_1, r_2, r_3, r_4$ ) 及びクラッド2に対する比屈折率差 ( $\Delta_0, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ ) を表1の通りとしたこと以外は、実施例1と同様にして分散シフト光ファイバDSF1のシミュレーションを行った。

[0064] この場合の分散シフト光ファイバDSF1のカットオフ波長 ( $\lambda_c$ )、波長  $1550\text{ nm}$  の光が伝搬する場合の実効コア断面積 (Aeff)、波長  $1550\text{ nm}$  の光が伝搬する場合のモードフィールド径 (MFD)、波長  $1550\text{ nm}$  の光の分散値 (Disp)、波長  $1550\text{ }\mu\text{m}$  の光の分散スロープ (Slope)、直径  $20\text{ mm}$  に曲げられる分散シフト光ファイバDSF1を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の曲げ損失 (Bloss)、直線状の分散シフト光ファイバDSF1を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の損失 (Loss) は、表2の通りとなった。

[0065] また、コア1の径とクラッド2の径との比が1%変動する場合における上記曲げ損失の変動率 (Bloss VR) は表2の通りとなった。

[0066] (実施例12)

図3、図4に記載の分散シフト光ファイバDSF2をモデルとしてシミュレーションを行った。従って、第一中心セグメント10半径  $r_0$  と第一セグメント11の半径  $r_1$  とは互いに等しい。第一セグメント11の第一中心セグメント10の半径  $r_0$  (第一セグメント11の半径  $r_1$ )、第二セグメント12の半径  $r_2$ 、第三セグメント13の半径  $r_3$ 、第四セグメント14の半径  $r_4$  を下記表1の通りとした。また、第一中心セグメント10のクラッド2に対する比屈折率差  $\Delta_0$ 、第二セグメント12のクラッド2に対する比屈折率差  $\Delta_2$

、第三セグメント13のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_3$ 、第四セグメント14のクラッド2に対する比屈折率差 $\Delta_4$ を下記表1の通りとした。

[0067] また、このようにそれぞれのセグメントの半径やクラッド2に対する比屈折率差とされる分散シフト光ファイバDSF2のカットオフ波長( $\lambda_c$ )、波長1550nmの光が伝搬する場合の実効コア断面積( $A_{eff}$ )、波長1550nmの光が伝搬する場合のモードフィールド径(MFD)、波長1550nmの光の分散値(Disp)、波長1550 $\mu$ mの光の分散スロープ(Slope)、直径20mmに曲げられる分散シフト光ファイバDSF2を伝搬する波長1550nmの光の曲げ損失(Bloss)、直線状の分散シフト光ファイバDSF2を伝搬する波長1550nmの光の損失(Loss)は、表2の通りとなった。

[0068] また、コア1の径とクラッド2の径との比が1%変動する場合における上記曲げ損失の変動率(Bloss VR)は表2の通りとなった。

[0069] (実施例13~18)

それぞれのセグメントの半径( $r_0$ ( $r_1$ ),  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$ )及びクラッド2に対する比屈折率差( $\Delta_0$ ( $\Delta_1$ ),  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$ ,  $\Delta_4$ )を表1の通りとしたこと以外は、実施例4と同様にして分散シフト光ファイバDSF2のシミュレーションを行った。

[0070] この場合の分散シフト光ファイバDSF2のカットオフ波長( $\lambda_c$ )、波長1550nmの光が伝搬する場合の実効コア断面積( $A_{eff}$ )、波長1550nmの光が伝搬する場合のモードフィールド径(MFD)、波長1550nmの光の分散値(Disp)、波長1550 $\mu$ mの光の分散スロープ(Slope)、直径20mmに曲げられる分散シフト光ファイバDSF2を伝搬する波長1550nmの光の曲げ損失(Bloss)、直線状の分散シフト光ファイバDSF2を伝搬する波長1550nmの光の損失(Loss)は、表2の通りとなった。

[0071] また、コア1の径とクラッド2の径との比が1%変動する場合における上記曲げ損失の変動率(Bloss VR)は表2の通りとなった。



## [0072] (比較例 1)

図 1、図 2 に記載の分散シフト光ファイバ D S F 1 から第四セグメント 14 が除かれた 3 セグメントの分散シフト光ファイバとして、それぞれのセグメントの半径 ( $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ) 及びクラッド 2 に対する比屈折率差 ( $\Delta_0$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$ ) を表 1 の通りとしたこと以外は、実施例 1 と同様に分散シフト光ファイバのシミュレーションを行った。

[0073] この場合の分散シフト光ファイバのカットオフ波長 ( $\lambda_c$ )、波長 1550 nm の光が伝搬する場合の実効コア断面積 ( $A_{eff}$ )、波長 1550 nm の光が伝搬する場合のモードフィールド径 (MFD)、波長 1550 nm の光の分散値 (Disp)、波長 1550  $\mu$ m の光の分散スロープ (Slope)、直径 20 mm に曲げられる分散シフト光ファイバを伝搬する波長 1550 nm の光の曲げ損失 (Bloss)、直線状の分散シフト光ファイバを伝搬する波長 1550 nm の光の損失 (Loss) は、表 2 の通りとなった。

[0074] また、コア 1 の径とクラッド 2 の径との比が 1 % 変動する場合における上記曲げ損失の変動率 (Bloss VR) は表 2 の通りとなった。

## [0075] (比較例 2)

図 3、図 4 に記載の分散シフト光ファイバ D S F 2 から第四セグメント 14 が除かれた 3 セグメントの分散シフト光ファイバとして、それぞれのセグメントの半径 ( $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ) 及びクラッド 2 に対する比屈折率差 ( $\Delta_0$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$ ) を表 1 の通りとしたこと以外は、実施例 4 と同様に分散シフト光ファイバのシミュレーションを行った。

[0076] この場合の分散シフト光ファイバのカットオフ波長 ( $\lambda_c$ )、波長 1550 nm の光が伝搬する場合の実効コア断面積 ( $A_{eff}$ )、波長 1550 nm の光が伝搬する場合のモードフィールド径 (MFD)、波長 1550 nm の光の分散値 (Disp)、波長 1550  $\mu$ m の光の分散スロープ (Slope)、直径 20 mm に曲げられる分散シフト光ファイバを伝搬する波長 1550 nm の光の曲げ損失 (Bloss)、直線状の分散シフト光ファイバ

を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の損失 ( $L_{\text{oss}}$ ) は、表 2 の通りとなった。

[0077] また、コア 1 の径とクラッド 2 の径との比が 1 % 変動する場合における上記曲げ損失の変動率 ( $B_{\text{loss VR}}$ ) は表 2 の通りとなった。

[0078] (比較例 3)

それぞれのセグメントの半径 ( $r_0, r_1, r_2, r_3, r_4$ ) 及びクラッド 2 に対する比屈折率差 ( $\Delta_0, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ ) を表 1 の通りとしたこと以外は、実施例 1 と同様にして分散シフト光ファイバ DSF 1 のシミュレーションを行った。

[0079] この場合の分散シフト光ファイバ DSF 1 のカットオフ波長 ( $\lambda_c$ )、波長  $1550\text{ nm}$  の光が伝搬する場合の実効コア断面積 ( $A_{\text{eff}}$ )、波長  $1550\text{ nm}$  の光が伝搬する場合のモードフィールド径 (MFD)、波長  $1550\text{ nm}$  の光の分散値 ( $D_{\text{isp}}$ )、波長  $1550\text{ }\mu\text{m}$  の光の分散スロープ ( $S_{\text{lope}}$ )、直径  $20\text{ mm}$  に曲げられる分散シフト光ファイバ DSF 1 を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の曲げ損失 ( $B_{\text{loss}}$ )、直線状の分散シフト光ファイバ DSF 1 を伝搬する波長  $1550\text{ nm}$  の光の損失 ( $L_{\text{oss}}$ ) は、表 2 の通りとなった。

[0080] また、コア 1 の径とクラッド 2 の径との比が 1 % 変動する場合における上記曲げ損失の変動率 ( $B_{\text{loss VR}}$ ) は表 2 の通りとなった。

[0081] (比較例 4 ~ 6)

それぞれのセグメントの半径 ( $r_0, (r_1), r_2, r_3, r_4$ ) 及びクラッド 2 に対する比屈折率差 ( $\Delta_0, (\Delta_1), \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ ) を表 1 の通りとしたこと以外は、実施例 4 と同様にして分散シフト光ファイバ DSF 2 のシミュレーションを行った。

[0082] この場合の分散シフト光ファイバ DSF 2 のカットオフ波長 ( $\lambda_c$ )、波長  $1550\text{ nm}$  の光が伝搬する場合の実効コア断面積 ( $A_{\text{eff}}$ )、波長  $1550\text{ nm}$  の光が伝搬する場合のモードフィールド径 (MFD)、波長  $1550\text{ nm}$  の光の分散値 ( $D_{\text{isp}}$ )、波長  $1550\text{ }\mu\text{m}$  の光の分散スロープ

(S l o p e)、直径20mmに曲げられる分散シフト光ファイバDSF2を伝搬する波長1550nmの光の曲げ損失(B l o s s)、直線状の分散シフト光ファイバDSF2を伝搬する波長1550nmの光の損失(L o s s)は、表2の通りとなった。

[0083] また、コア1の径とクラッド2の径との比が1%変動する場合における上記曲げ損失の変動率(B l o s s V R)は表2の通りとなった。

[0084] 以下に表1、表2を示す。なお、下記表1には、第一セグメント11の屈折率分布の形状を記載している。

表 1

|        | コア形状<br>単位 | r0            | r1            | r2  | r3            | r4            | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ | $\Delta 4$ |
|--------|------------|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|------------|------------|------------|------------|
|        |            | $\mu\text{m}$ | $\mu\text{m}$ | m   | $\mu\text{m}$ | $\mu\text{m}$ | %          | %          | %          | %          |
| 実施例 1  | 台形         | 0.8           | 3.7           | 6.5 | 8.1           | 13.9          | 0.62       | 0.01       | 0.30       | 0.04       |
| 実施例 2  | 台形         | 1.1           | 2.9           | 6.2 | 7.3           | 12.3          | 0.77       | 0.07       | 0.42       | 0.02       |
| 実施例 3  | 台形         | 0.5           | 1.8           | 4.0 | 4.5           | 8.0           | 0.90       | 0.07       | 0.50       | 0.04       |
| 実施例 4  | 台形         | 2.8           | 4.5           | 8.0 | 8.5           | 16.0          | 0.40       | 0.00       | 0.285      | 0.03       |
| 実施例 5  | 台形         | 2.8           | 3.0           | 5.7 | 6.7           | 11.5          | 0.40       | 0.00       | 0.285      | 0.005      |
| 実施例 6  | 台形         | 0.6           | 2.0           | 4.1 | 4.7           | 8.2           | 0.90       | 0.07       | 0.50       | 0.04       |
| 実施例 7  | 台形         | 1.0           | 4.5           | 6.5 | 8.0           | 13.5          | 0.60       | 0.02       | 0.285      | 0.01       |
| 実施例 8  | 台形         | 0.5           | 3.0           | 5.2 | 6.5           | 10.0          | 0.80       | 0.065      | 0.40       | 0.03       |
| 実施例 9  | 台形         | 0.6           | 3.0           | 5.5 | 6.5           | 10.5          | 0.74       | 0.03       | 0.33       | 0.03       |
| 実施例 10 | 台形         | 0.7           | 3.1           | 6.1 | 7.2           | 12.1          | 0.72       | 0.06       | 0.32       | 0.02       |
| 実施例 11 | 台形         | 0.8           | 3.1           | 6.2 | 7.2           | 12.3          | 0.70       | 0.05       | 0.40       | 0.01       |
| 実施例 12 | ステップ       | -             | 2.7           | 6.1 | 7.6           | 11.5          | 0.57       | 0.01       | 0.31       | 0.02       |
| 実施例 13 | ステップ       | -             | 2.6           | 6.4 | 8.4           | 12.6          | 0.50       | 0.06       | 0.29       | 0.01       |
| 実施例 14 | ステップ       | -             | 1.8           | 5.0 | 6.1           | 16.0          | 0.65       | 0.05       | 0.50       | 0.005      |
| 実施例 15 | ステップ       | -             | 2.6           | 6.0 | 7.5           | 15.0          | 0.47       | 0.02       | 0.285      | 0.01       |
| 実施例 16 | ステップ       | -             | 2.0           | 5.0 | 6.1           | 11.0          | 0.67       | 0.06       | 0.35       | 0.025      |
| 実施例 17 | ステップ       | -             | 2.3           | 5.7 | 6.9           | 12.0          | 0.55       | 0.03       | 0.32       | 0.01       |
| 実施例 18 | ステップ       | -             | 2.3           | 5.5 | 7.0           | 12.1          | 0.60       | 0.04       | 0.35       | 0.02       |
| 比較例 1  | 台形         | 0.7           | 3.5           | 6.1 | 7.6           | -             | 0.67       | 0.02       | 0.33       | -          |
| 比較例 2  | ステップ       | -             | 2.5           | 6.0 | 7.5           | -             | 0.54       | 0.02       | 0.31       | -          |
| 比較例 3  | 台形         | 0.7           | 3.4           | 6.1 | 7.8           | 12.5          | 0.65       | 0.01       | 0.23       | -0.04      |
| 比較例 4  | ステップ       | -             | 2.2           | 4.8 | 7.1           | 11.0          | 0.60       | 0.02       | 0.23       | -0.03      |
| 比較例 5  | ステップ       | -             | 2.7           | 5.1 | 7.4           | 11.5          | 0.50       | -0.03      | 0.25       | -0.08      |
| 比較例 6  | ステップ       | -             | 1.9           | 3.9 | 5.9           | 9.5           | 0.69       | 0.04       | 0.25       | 0.05       |

表 2

|       | $\lambda_c$ | $A_{eff}$ | MFD     | Disp     | Slope                  | Bloss | Loss  | BlossVR |
|-------|-------------|-----------|---------|----------|------------------------|-------|-------|---------|
|       | $\mu m$     | $\mu m^2$ | $\mu m$ | ps/nm/km | ps <sup>2</sup> /nm/km | dB/m  | dB/km | %       |
| 実施例1  | 1.44        | 71.5      | 9.7     | 4.2      | 0.078                  | 12.0  | 0.197 | 5.6     |
| 実施例2  | 1.32        | 73.2      | 9.7     | 4.4      | 0.091                  | 11.2  | 0.194 | 5.2     |
| 実施例3  | 1.02        | 85.0      | 10.4    | 7.1      | 0.092                  | 38.0  | 0.203 | 7.5     |
| 実施例4  | 1.23        | 74.2      | 9.9     | 13.0     | 0.058                  | 7.2   | 0.198 | 8.3     |
| 実施例5  | 1.00        | 79.0      | 10.1    | 9.8      | 0.066                  | 29.0  | 0.197 | 8.2     |
| 実施例6  | 1.10        | 71.9      | 9.7     | 4.2      | 0.091                  | 12.4  | 0.201 | 6.8     |
| 実施例7  | 1.44        | 62.0      | 9.2     | 8.8      | 0.070                  | 5.0   | 0.2   | 3.5     |
| 実施例8  | 1.45        | 87.8      | 10.4    | 5.1      | 0.092                  | 15.0  | 0.199 | 3.9     |
| 実施例9  | 1.34        | 69.8      | 9.6     | 4.3      | 0.091                  | 7.3   | 0.196 | 3.7     |
| 実施例10 | 1.36        | 72.7      | 9.7     | 4.0      | 0.090                  | 9.3   | 0.196 | 2.8     |
| 実施例11 | 1.36        | 72.2      | 9.6     | 4.4      | 0.088                  | 9.0   | 0.195 | 3.1     |
| 実施例12 | 1.38        | 68.7      | 9.5     | 4.7      | 0.860                  | 11.0  | 0.206 | 5.1     |
| 実施例13 | 1.45        | 78.0      | 9.9     | 5.0      | 0.087                  | 17.2  | 0.203 | 4       |
| 実施例14 | 1.43        | 88.8      | 10.3    | 7.0      | 0.092                  | 15.0  | 0.204 | 7       |
| 実施例15 | 1.35        | 85.1      | 10.5    | 7.5      | 0.085                  | 20.0  | 0.2   | 3.3     |
| 実施例16 | 1.32        | 64.4      | 9.2     | 3.5      | 0.092                  | 5.0   | 0.201 | 3.9     |
| 実施例17 | 1.28        | 74.8      | 9.7     | 4.3      | 0.087                  | 17.0  | 0.201 | 2.6     |
| 実施例18 | 1.21        | 71.9      | 9.6     | 4.3      | 0.088                  | 15.8  | 0.199 | 3.8     |
| 比較例1  | 1.37        | 71.8      | 9.6     | 4.1      | 0.086                  | 8.9   | 0.197 | 16.2    |
| 比較例2  | 1.37        | 71.5      | 9.5     | 4.3      | 0.084                  | 8.3   | 0.199 | 15.9    |
| 比較例3  | 1.29        | 66.0      | 9.3     | 2.8      | 0.081                  | 13.1  | 0.199 | 17.4    |
| 比較例4  | 1.27        | 68.8      | 9.4     | 4.3      | 0.091                  | 7.0   | 0.207 | 21      |
| 比較例5  | 1.40        | 73.0      | 9.6     | 4.2      | 0.085                  | 11.3  | 0.203 | 17.9    |
| 比較例6  | 1.38        | 7.1       | 9.5     | 3.9      | 0.098                  | 5.0   | 0.201 | 22.6    |

[0085] 表2より、本発明の実施例1～18の分散シフト光ファイバによれば、コア径とクラッド径との比が変化する場合であっても曲げ損失の変化が抑制されることが示された。従って、本発明の分散シフト光ファイバによれば、製造により光ファイバ用母材のクラッドガラス体の径がばらつく場合であって

も、伝搬する光の曲げ損失を抑制することができることが示された。

[0086] 特に、第一セグメント 1 1 の屈折率分布の形状が台形状である実施例 1 ～ 1 1 のうち実施例 7 ～ 1 1 の分散シフトファイバであれば、コア 1 の径とクラッド 2 の径との比が 1 % 変動する場合における曲げ損失の変動率 (B l o s s V R) を 4 % 未満に抑えることができる良好な結果を得られた。また、第一セグメント 1 1 の屈折率分布の形状がステップ型である実施例 1 2 ～ 1 8 のうち実施例 1 5 ～ 1 6 の分散シフトファイバであれば、コア 1 の径とクラッド 2 の径との比が 1 % 変動する場合における曲げ損失の変動率 (B l o s s V R) を 4 % 未満に抑えることができる良好な結果を得られた。

[0087] 以上説明したように、本発明の分散シフトファイバによれば、コア径とクラッド径との比がばらつく場合であっても、伝搬する光の曲げ損失が変化することを抑制することができ、光通信の分野に利用することができる。

## 符号の説明

[0088] D S F 1 , D S F 2 . . . 分散シフト光ファイバ  
1 . . . コア  
2 . . . クラッド  
1 0 . . . 第一中心セグメント  
1 1 . . . 第一セグメント  
1 2 . . . 第二セグメント  
1 3 . . . 第三セグメント  
1 4 . . . 第四セグメント

## 請求の範囲

[請求項1] 1530nm以上1625nm以下の波長の光における分散値が2.0ps/nm/km以上13.5ps/nm/km以下であり、1550nmの波長の光における分散スロープが0.092ps/nm<sup>2</sup>/km以下であり、ケーブルカットオフ波長が1450nm以下であり、1550nmの波長の光における実効コア断面積が65μm<sup>2</sup>以上90μm<sup>2</sup>以下であり、1550nmの波長の光におけるモードフィールド径が9.2μm以上10.5μm以下である分散シフト光ファイバであって、

コアが、前記コアの中心軸を含む第一セグメントと、前記第一セグメントの外周面を隙間なく囲む第二セグメントと、前記第二セグメントの外周面を隙間なく囲む第三セグメントと、前記第三セグメントの外周面を隙間なく囲む第四セグメントとを有し、

前記第一セグメントは、前記中心軸を含む第一中心セグメントを含み、

前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は0.5μm以上2.8μm以下とされ、前記第一セグメントの半径  $r_1$  は1.8μm以上4.5μm以下とされ、前記第二セグメントの半径  $r_2$  は4.0μm以上8.0μm以下とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は4.5μm以上8.5μm以下とされ、前記第四セグメントの半径  $r_4$  は8.0μm以上16.0μm以下とされ、かつ、 $r_0 \leq r_1 < r_2 < r_3 < r_4$  が成立し、

前記第一中心セグメントの前記コアを囲むクラッドに対する比屈折率差  $\Delta_0$  は0.4%以上0.9%以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_2$  は0.00%以上0.07%以下とされ、前記第三セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_3$  は0.285%以上0.5%以下とされ、前記第四セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_4$  は0.005%以上0.04%以下とされ、

下とされ、前記第一セグメントでは前記第一中心セグメントの外周から前記第二セグメントの内周にかけて前記クラッドに対する比屈折率差が低下する

ことを特徴とする分散シフト光ファイバ。

[請求項2]

前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は  $1.8 \mu\text{m}$  以上とされ、前記第一セグメントの半径  $r_1$  は  $2.8 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  と前記第一セグメントの半径  $r_1$  とが一致し、前記第二セグメントの半径  $r_2$  は  $5.0 \mu\text{m}$  以上  $6.6 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は  $6.1 \mu\text{m}$  以上とされ、

前記第一中心セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_0$  は  $0.8\%$  以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_2$  は  $0.06\%$  以下とされる

ことを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバ。

[請求項3]

前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は  $2.0 \mu\text{m}$  以上  $2.6 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第二セグメントの半径  $r_2$  は  $6.0 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は  $7.5 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第四セグメントの半径  $r_4$  は  $11.0 \mu\text{m}$  以上  $15.0 \mu\text{m}$  以下とされ、

前記第一中心セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_0$  は  $0.47\%$  以上  $0.67\%$  以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_2$  は  $0.02\%$  以上とされ、前記第三セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_3$  は  $0.35\%$  以下とされ、前記第四セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_4$  は  $0.010\%$  以上  $0.025\%$  以下とされる

ことを特徴とする請求項2に記載の分散シフト光ファイバ。

[請求項4]

前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は前記第一セグメントの半径  $r_1$  よりも小さくされ、

前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  は  $1.3 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第一セグメントの半径  $r_1$  は  $2.0 \mu\text{m}$  以上とされ、前記第二セグメ



ントの半径  $r_2$  は  $5.0 \mu\text{m}$  以上とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は  $6.0 \mu\text{m}$  以上とされ、前記第四セグメントの半径  $r_4$  は  $9.0 \mu\text{m}$  以上とされ

前記第一中心セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_0$  は  $0.5\%$  以上とされる

ことを特徴とする請求項 1 に記載の分散シフト光ファイバ。

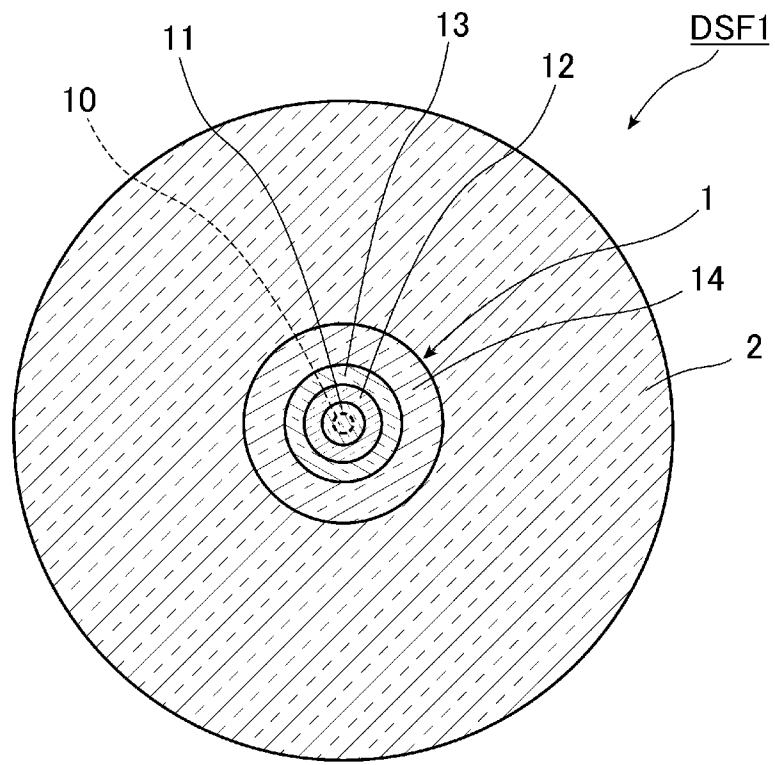
[請求項 5]

前記第一中心セグメントの半径  $r_0$  が  $0.5 \mu\text{m}$  以上  $1.0 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第一セグメントの半径  $r_1$  は  $3.0 \mu\text{m}$  以上  $4.5 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第二セグメントの半径  $r_2$  は  $5.2 \mu\text{m}$  以上  $6.5 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第三セグメントの半径  $r_3$  は  $6.5 \mu\text{m}$  以上  $8.0 \mu\text{m}$  以下とされ、前記第四セグメントの半径  $r_4$  は  $10.0 \mu\text{m}$  以上  $13.5 \mu\text{m}$  以下とされ、

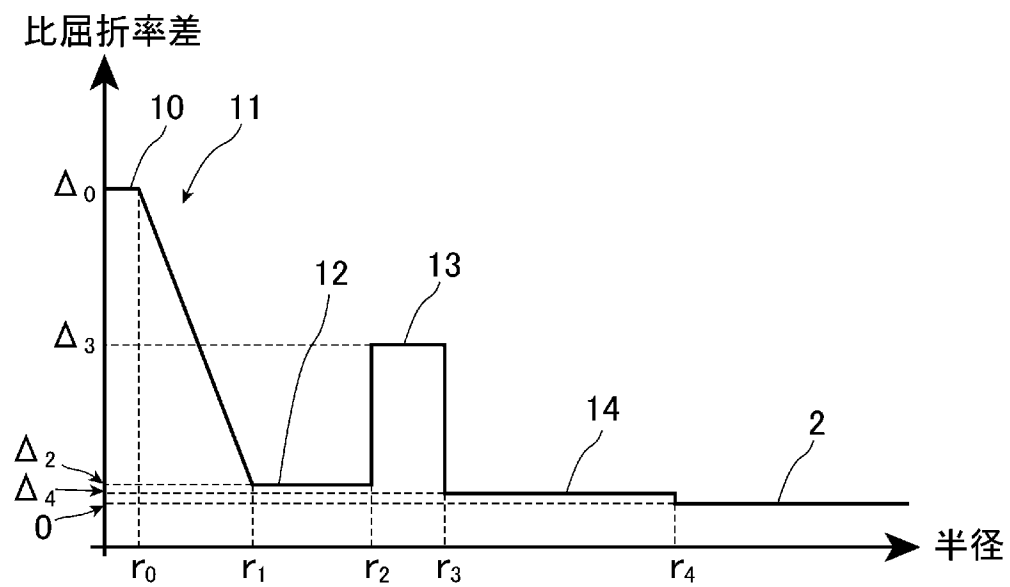
前記第一中心セグメントの前記コアを囲むクラッドに対する比屈折率差  $\Delta_0$  は  $0.6\%$  以上  $0.8\%$  以下とされ、前記第二セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_2$  は  $0.020\%$  以上  $0.065\%$  以下とされ、前記第三セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_3$  は  $0.4\%$  以下とされ、前記第四セグメントの前記クラッドに対する比屈折率差  $\Delta_4$  は  $0.01\%$  以上  $0.03\%$  以下とされる

ことを特徴とする請求項 4 に記載の分散シフト光ファイバ。

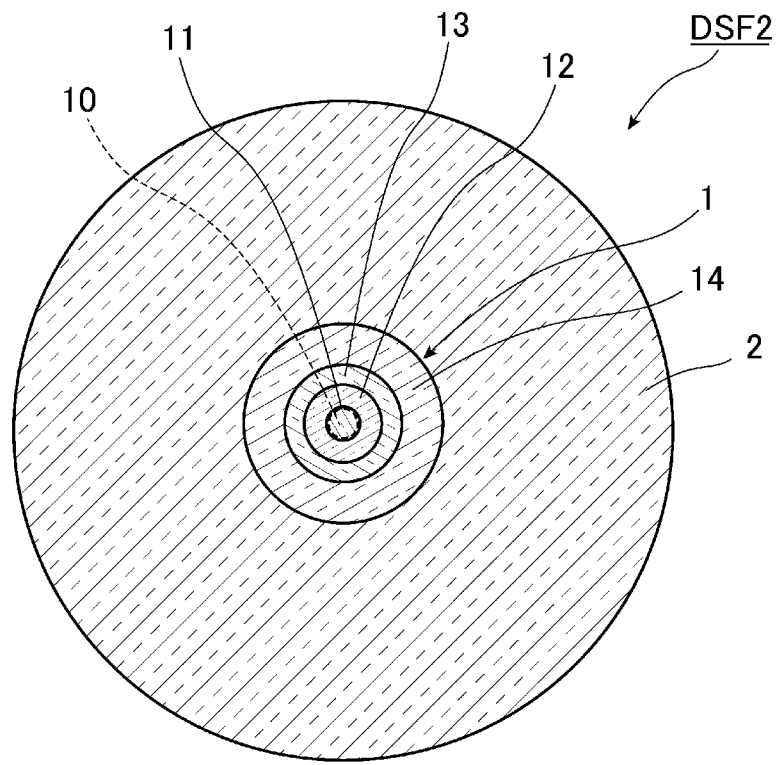
[図1]



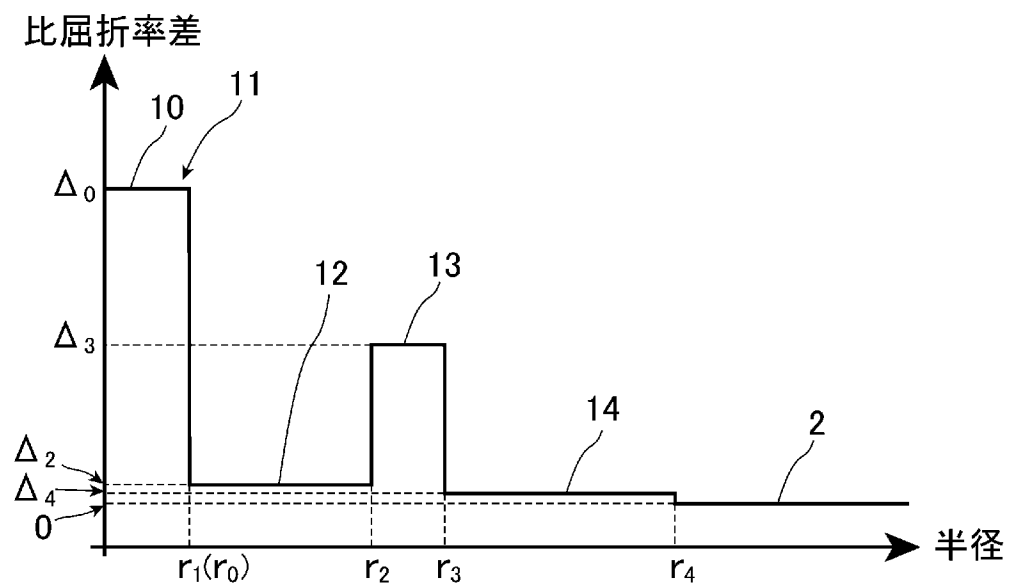
[図2]



[図3]



[図4]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/051995

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/036(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B6/00-6/10, 6/44-6/54

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2016 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2016 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2016 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2006-512266 A (Pirelli & C. S.p.A.),<br>13 April 2006 (13.04.2006),<br>paragraphs [0001], [0019] to [0030], [0038] to<br>[0042], [0045] to [0054]; fig. 2<br>& US 2007/0003200 A1<br>paragraphs [0018], [0050] to [0059]<br>& WO 2004/059355 A1 & CA 2509263 A1<br>& CN 1717600 A | 1-5                   |
| Y         | JP 2003-515755 A (Corning Inc.),<br>07 May 2003 (07.05.2003),<br>paragraphs [0003], [0011], [0014] to [0016],<br>[0032] to [0040]; fig. 1<br>& US 2002/0141719 A1<br>paragraphs [0005], [0045] to [0074]<br>& WO 2001/038911 A1 & CA 2392328 A1<br>& CN 1391657 A                    | 1-5                   |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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  
14 March 2016 (14.03.16)

Date of mailing of the international search report  
22 March 2016 (22.03.16)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2016/051995

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2013-178335 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.),<br>09 September 2013 (09.09.2013),<br>paragraphs [0016] to [0022]; fig. 3 to 4, 9<br>& EP 2821822 A1<br>paragraphs [0019] to [0030]<br>& US 8903213 B2 & WO 2013/129050 A1 | 1-5                   |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B6/036(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B6/00-6/10, 6/44-6/54

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2016年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2016年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2016年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                         | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | JP 2006-512266 A（ピレリ・アンド・チ・ソチエタ・ペル・アツィ<br>オーニ）2006.04.13,<br>【0001】，【0019】－【0030】，【0038】－【0042】，【0045】－【0054】，<br>図2<br>& US 2007/0003200 A1, [0018], [0050]-[0059]<br>& WO 2004/059355 A1 & CA 2509263 A1 & CN 1717600 A | 1-5            |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.03.2016

国際調査報告の発送日

22.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

井上 徹

2 X

3 6 0 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                     |                |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                   | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y                     | JP 2003-515755 A (コーニング・インコーポレーテッド) 2003. 05. 07,<br>【0003】 , 【0011】 , 【0014】 - 【0016】 , 【0032】 - 【0040】 , 図 1<br>& US 2002/0141719 A1, [0005], [0045]-[0074]<br>& WO 2001/038911 A1 & CA 2392328 A1 & CN 1391657 A | 1-5            |
| A                     | JP 2013-178335 A (住友電気工業株式会社) 2013. 09. 09,<br>【0016】 - 【0022】 , 図 3-4, 図 9<br>& EP 2821822 A1, [0019]-[0030] & US 8903213 B2<br>& WO 2013/129050 A1                                                                | 1-5            |