

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7134219号
(P7134219)

(45)発行日 令和4年9月9日(2022.9.9)

(24)登録日 令和4年9月1日(2022.9.1)

(51)国際特許分類 F I
G 0 2 B 6/036(2006.01) G 0 2 B 6/036

請求項の数 6 (全16頁)

(21)出願番号	特願2020-500393(P2020-500393)	(73)特許権者	000005186 株式会社フジクラ 東京都江東区木場1丁目5番1号
(86)(22)出願日	平成31年2月1日(2019.2.1)	(74)代理人	100141139 弁理士 及川 周
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/003616	(74)代理人	100169764 弁理士 清水 雄一郎
(87)国際公開番号	WO2019/159719	(74)代理人	100206081 弁理士 片岡 央
(87)国際公開日	令和1年8月22日(2019.8.22)	(74)代理人	100188891 弁理士 丹野 拓人
審査請求日	令和2年5月27日(2020.5.27)	(72)発明者	丸山 遼 千葉県佐倉市六崎1440 株式会社フジクラ 佐倉事業所内
(31)優先権主張番号	特願2018-23228(P2018-23228)	審査官	野口 晃一
(32)優先日	平成30年2月13日(2018.2.13)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
前置審査			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光ファイバ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

コアと、前記コアを取り囲むディプレッド層と、前記ディプレッド層を取り囲むクラッドとを備え、

前記コアの屈折率分布は、指数 n が 1.0 以上 2.2 以下の 乗分布であり、

前記クラッドに対する前記ディプレッド層の比屈折率差 Δn は、その絶対値 $|\Delta n|$ が 0.08% 以上 0.15% 以下になるように設定されており、

前記コアの半径 r_1 の、前記ディプレッド層の外周半径 r_2 に対する比 r_1 / r_2 は、 0.40 以上 0.60 以下となるように設定されており、

2.2 mのケーブルカットオフ波長 λ_{co} は、 $1.26 \mu\text{m}$ 未満であり、

波長 $1.31 \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が、 $8.6 \mu\text{m}$ より大きく、 $9.5 \mu\text{m}$ より小さく、

波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の値が、 18.0ps/km/nm 以下であり、

半径 10mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における損失増加は、 0.1dB 未満であり、

前記指数 n は、

r を光ファイバの中心軸からの距離とし、 r_0 を現実の光ファイバの屈折率分布 $n'(r)$ の r の一階微分 $dn'(r)/dr$ の最小値を得る前記光ファイバの半径とする時、

$0 < r < r_0$ の範囲で、前記屈折率分布 $n'(r)$ の二乗誤差を最小にする 乗分布を求めることにより算出される、光ファイバ。

【請求項 2】

コアと、前記コアを取り囲むディプレッド層と、前記ディプレッド層を取り囲むクラッドとを備え、

前記コアの屈折率分布は、指数が 1.0 以上 2.9 以下の乗分布であり、

前記クラッドに対する前記ディプレッド層の比屈折率差 Δn は、その絶対値 $|\Delta n|$ が 0.05% 以上 0.15% 以下になるように設定されており、

前記コアの半径 r_1 の、前記ディプレッド層の外周半径 r_2 に対する比 r_1 / r_2 は、0.40 以上 0.60 以下となるように設定されており、

2.2 m のケーブルカットオフ波長 λ_{cc} は、1.26 μm 未満であり、

波長 1.31 μm におけるモードフィールド径が、9.0 μm 以上、9.2 μm 以下であり、

波長 1.55 μm における波長分散の値が、18.0 ps/km/nm 以下であり、

半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、

前記指数は、

r を光ファイバの中心軸からの距離とし、 r_0 を現実の光ファイバの屈折率分布 $n'(r)$ の r の一階微分 $dn'(r)/dr$ の最小値を得る前記光ファイバの半径とする時、

$0 < r < r_0$ の範囲で、前記屈折率分布 $n'(r)$ の二乗誤差を最小にする乗分布を求めることにより算出される、光ファイバ。

【請求項 3】

半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.03 dB 未満であり、

半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、

半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.2 dB 未満である、請求項 1 または 2 に記載の光ファイバ。

【請求項 4】

ゼロ分散波長 ZDW の値が 1.305 ~ 1.319 μm であるか、もしくは、ゼロ分散スロープの値が 0.092 ps/km/nm² 以下であるか、もしくは、波長 1.55 μm における波長分散の値が 18.00 ps/km/nm 以下であるかのいずれかを満足する、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ。

【請求項 5】

半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.03 dB 未満であり、

半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、

半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、

半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.2 dB 未満であり、

半径 7.5 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.5 dB 未満であり、

半径 7.5 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、1.0 dB 未満である、請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 6】

前記 r_1 / r_2 が、0.40 以上 0.55 以下となるように設定されている、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバに関する。

10

20

30

40

50

本願は、2018年2月13日に、日本に出願された特願2018-023228号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、コアとクラッドとの間に、クラッドよりも屈折率が小さいディプレッド層を有する光ファイバが開示されている。また、特許文献1には、クラッドに対するディプレッド層の比屈折率差 Δn 、及び、ディプレッド層の外周半径 r_2 に対するコアの半径 r_1 の比 r_1/r_2 を最適化することで、モードフィールド径を維持して汎用光ファイバとの接続損失を小さくしながら、曲げ損失が、光ファイバに関する国際規格であるITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) 勧告G.657.A1を満たす光ファイバを実現し得ることが記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】国際公開第2016/047749号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、光ファイバにおいては、ゼロ分散波長および $1.55\mu\text{m}$ における波長分散値(以下、「波長分散特性」という)を所定の範囲内としつつ、曲げ損失をさらに低減することが求められている。

20

【0005】

本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、ディプレッド層を有する光ファイバにおいて、波長分散特性を所定の範囲内としながら、曲げ損失をさらに低減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明の一態様に係る光ファイバは、コアと、前記コアを取り囲むディプレッド層と、前記ディプレッド層を取り囲むクラッドとを備え、前記コアの屈折率分布は、指数 n が 1.0 以上 2.9 以下の乗分布であり、前記クラッドに対する前記ディプレッド層の比屈折率差 Δn は、その絶対値 $|\Delta n|$ が 0.05% 以上 0.15% 以下になるように設定されており、前記コアの半径 r_1 の、前記ディプレッド層の外周半径 r_2 に対する比 r_1/r_2 は、 0.35 以上 0.60 以下となるように設定されており、 2.2m のケーブルカットオフ波長 λ_{cc} は、 $1.26\mu\text{m}$ 未満であり、波長 $1.31\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が、 $8.6\mu\text{m}$ より大きく、 $9.5\mu\text{m}$ より小さい。

30

【発明の効果】

【0007】

本発明の上記態様によれば、ディプレッド層を有する光ファイバにおいて、波長分散特性を所定の範囲内としながら、曲げ損失をさらに低減することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1A】本実施形態に係る光ファイバの構造を示す断面図(左)及び側面図(右)である。

【図1B】本実施形態に係る光ファイバの屈折率分布の一例を示すグラフである。

【図2】実線は本実施形態に係る定義に従って決定された理想的な屈折率分布を示すグラフである。破線は実際の屈折率分布を模したグラフである。

【図3A】 Δn と、曲げ損失およびゼロ分散波長(ZDW)と、の関係を示すグラフである。

【図3B】 Δn と、曲げ損失および $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の値と、の関係を示すグラ

50

フである。

【図 4 A】 と、曲げ損失およびゼロ分散波長（ZDW）と、の関係を示すグラフである。

【図 4 B】 と、曲げ損失および1.55 μmにおける波長分散の値と、の関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本実施形態の光ファイバについて図面に基づいて説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されない。

【0010】

図 1 A に示すように、光ファイバ 1 は、シリカガラスを主成分とする円柱状の構造体である。光ファイバ 1 は、円形状の断面を有するコア 11 と、コア 11 を取り囲む円環状の断面を有するディプレッド層 12 と、ディプレッド層 12 を取り囲む円環状の断面を有するクラッド 13 と、を有している。図 1 A に示す一点鎖線 L は、光ファイバ 1 の中心軸線（以下、中心軸線 L という）である。

10

本実施形態では、コア 11 の半径を r_1 と表し、ディプレッド層 12 の外周半径（外周面の半径）を r_2 と表し、クラッド 13 の外周半径を r_3 と表す。なお、ディプレッド層 12 の内周半径（内周面の半径）は r_1 となり、クラッド 13 の内周半径は r_2 となる。

【0011】

コア 11 は、ゲルマニウムなどのアップドープ（屈折率を上昇させる添加剤）が添加された、クラッド 13 よりも屈折率の高い領域である。ディプレッド層 12 は、フッ素などのダウンドープ（屈折率を低下させる添加剤）が添加された、クラッド 13 よりも屈折率の低い領域である。

20

【0012】

図 1 B は、図 1 A に示す光ファイバ 1 の屈折率分布の一例を示すグラフである。図 1 B の横軸は、中心軸線 L からの距離（以下、半径 r という）を示している。図 1 B の縦軸は、半径 r に対応した部分における屈折率 n の値を示している。

コア 11 の屈折率は、図 1 B に示すように、乗分布により近似される。換言すれば、 $0 < r < r_1$ の範囲内において、半径 r における屈折率 $n(r)$ は、 $n(r) = n_1 [1 - 2 + (r/r_1)^2]^{1/2}$ により近似される。ここで、 n_1 は、中心軸線 L 上の屈折率（最大屈折率）であり、 $+$ は、クラッド 13 に対するコア 11 の中心部の比屈折率差である。なお、 $+$ を大きくしていくと、乗分布は、屈折率が一定となるステップ型の屈折率分布に漸近する。

30

【0013】

ディプレッド層 12 の屈折率は、図 1 B に示すように、一様分布により近似される。換言すれば、 $r_1 < r < r_2$ の範囲内において、半径 r における屈折率 $n(r)$ は、 $n(r) = n_d$ （定数）により近似される。また、クラッド 13 の屈折率は、図 1 B に示すように、一様分布により近似される。換言すれば、 $r_2 < r < r_3$ の範囲内において、半径 r における屈折率 $n(r)$ は、 $n(r) = n_2$ （定数）により近似される。

コア 11 の最大屈折率 n_1 、ディプレッド層 12 の屈折率 n_d 、及び、クラッド 13 の屈折率 n_2 の間には、 $n_d < n_2 < n_1$ という関係が成り立つ。

40

【0014】

以下の説明においては、コア 11 の最大屈折率 n_1 の代わりに、クラッド 13 に対するコア 11 の中心部の比屈折率差 $+$ を用いる。ここで、比屈折率差 $+$ は、 $+$ = $(n_1^2 - n_2^2) / (2n_1^2) \times 100$ [%] により定義される量である。また、以下の説明においては、ディプレッド層 12 の屈折率 n_d の代わりに、クラッド 13 に対するディプレッド層 12 の比屈折率差 $-$ を用いる。ここで、比屈折率差 $-$ は、 $-$ = $(n_d^2 - n_2^2) / (2n_d^2) \times 100$ [%] により定義される量である。

【0015】

光ファイバ 1 の屈折率分布は、上述した定数 $+$ 、 $-$ 、 r_1 、 r_2 から一義的に定まる。以下、これらの 5 つの定数を、光ファイバ 1 の「構造パラメータ」と記載する。

50

【 0 0 1 6 】

なお、現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ は、図1Bに示す理想的な屈折率分布 $n(r)$ に一致しないことがある。しかしながら、現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ に対しても、下記の手順(ステップ1~ステップ5)に従って構造パラメータ r_1, r_2 を定義することができる。そして、現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ は、下記の手順に従って定義された構造パラメータ r_1, r_2 から定まる理想的な屈折率分布 $n(r)$ によって、精度良く近似される。

【 0 0 1 7 】

ステップ1: 現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ において、クラッド13の屈折率が略一定である範囲の平均値を求め、その平均値をクラッド13の屈折率 n_2 とする。
 n_2 の略一定の範囲の算出方法については、例えば、後述する r_0 の値の5.5倍~6.5倍の範囲の r における $n(r)$ の平均値を用いる。

10

【 0 0 1 8 】

ステップ2: 乗分布で近似するコアの領域を決定する。現実の屈折率分布 $n'(r)$ においては、コアとディプレッド層の境界では $n(r)$ が r に対して緩やかに変化することがしばしば生じる。例えばこの境界において、 r が増加するに従い、 $n(r)$ が次第に減少する場合がある。これは、例えばVAD法を用いたプリフォーム(母材)の製造過程において、シリカガラスにドーブされたGeやFなどの元素が熱拡散するためだと考えられる。このような屈折率分布において、コア/ディプレッド層の境界を含めてフィッティングした場合、精度よく近似されない可能性がある。一方、コア/ディプレッド層の境界を除いたコア領域についてフィッティングした場合、精度良く近似できる。具体的には、 $n'(r)$ の r の一階微分 $dn'(r)/dr$ の最小値を得る r を求め、これを r_0 とする。次に、 $0 < r < r_0$ の範囲で、 $n'(r)$ を最も良く近似する(二乗誤差を最小にする)乗分布を求め、 n_1 および r_1 の値を定める。

20

【 0 0 1 9 】

なお、CVD法(Chemical Vapor Deposition method)を用いて母材を作製することにより、コアとディプレッド層との境界において $n(r)$ が r に対して緩やかに変化するように意図的に設定した場合であっても、上記フィッティング方法を含む本願の構成を適用することができる。

【 0 0 2 0 】

r_1 については、 n_2 (すなわち、 $n(r_0 \times 5.5) \sim n(r_0 \times 6.5)$ の平均値)を得る最小の r を求め、その r を r_1 とする。 $r_0 < r < r_1$ においては、例えば、実際の屈折率分布を適用してもよいし、その領域について $n(r) = n_2$ と定義してもよい。なお、 n_2 を求める方法としては、例えば、 $r_0 \times 5.5 < r < r_0 \times 6.5$ の所定間隔毎にサンプリングポイントを取り、各サンプリングポイントにおける $n'(r)$ の平均値を算出する方法などが挙げられる。この場合、所定間隔は特に限定されないが、例えば、 $0.5 \mu\text{m}$ 、又は、 $0.5 \mu\text{m}$ より小さい値である。

30

【 0 0 2 1 】

ステップ3: 現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ において、 $n'(r)$ の最小値 n_{\min} を求め、この最小値 n_{\min} と屈折率 n_2 との平均値 $n_{\text{ave}} = (n_{\min} + n_2) / 2$ を求める。そして、現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ において、 $n'(r) = n_{\text{ave}}$ となる最大の r を求め、この r をディプレッド層12の外周半径 r_2 とする。

40

【 0 0 2 2 】

ステップ4: $n'(r) = n_{\text{ave}}$ となる最小の r を求め、この r を r_4 とする。領域 $r_4 < r < r_2$ において、現実の光ファイバ1の屈折率分布 $n'(r)$ の平均値を求め、この平均値をディプレッド層12の屈折率 n_d とする。なお、平均値を求める方法としては、例えば、 $r_4 < r < r_2$ に所定間隔毎にサンプリングポイントを取り、各サンプリングポイントにおける $n'(r)$ の平均値を算出する方法などが挙げられる。この場合、所定間隔は、特に限定されないが、例えば、 $0.5 \mu\text{m}$ 、又は、 $0.5 \mu\text{m}$ より小さい値である。

【 0 0 2 3 】

50

ステップ5：ステップ1にて特定されたクラッド13の屈折率 n_2 と、ステップ2にて特定されたコア11の最大屈折率 n_1 とから、クラッド13に対するコア11の比屈折率差 Δn を、 $\Delta n = (n_1^2 - n_2^2) / (2n_1^2) \times 100 [\%]$ に従って定める。また、ステップ1にて特定されたクラッド13の屈折率 n_2 と、ステップ4にて特定されたディプレッド層12の屈折率 n_d とから、クラッド13に対するディプレッド層12の比屈折率差 Δn_d を、 $\Delta n_d = (n_d^2 - n_2^2) / (2n_d^2) \times 100 [\%]$ に従って定める。

【0024】

図2に実線で示すグラフは、実際の屈折率分布 $n'(r)$ を模したものである。図2(a)は $r_0 = r_1$ の場合の屈折率分布を、図2(b)は $r_0 < r_1$ の場合の屈折率分布を表している。どちらの屈折率分布においても、この屈折率分布 $n'(r)$ に対して上記の手順を適用すると、ある構造パラメータ Δn 、 Δn_d 、 r_1 、 r_2 が定まる。そして、その構造パラメータ Δn 、 Δn_d 、 r_1 、 r_2 を有する理想的な屈折率分布 $n(r)$ をプロットすると、図2に点線で示すグラフが得られる。図2によれば、実際の屈折率分布 $n'(r)$ は、上記の手順に従って定められた構造パラメータ Δn 、 Δn_d 、 r_1 、 r_2 を有する理想的な屈折率分布 $n(r)$ によって、精度良く近似されることが確かめられる。

【0025】

(光ファイバの特性)

光ファイバのモードフィールド径(MFD: Mode Field Diameter)は、IEC60793-1-45で定義されている。光ファイバの実効的なカットオフ波長として定められている、ファイバカットオフ波長およびケーブルカットオフ波長は、IEC60793-1-44で定義されている。光ファイバの波長分散および曲げ損失については、IEC60793-1-44およびIEC60793-1-47で定められている。

【0026】

カットオフ波長とは、高次モード(本明細書においてはLP11モードを示す)が十分に減衰する最小の波長を示す。具体的には、高次モードの損失が19.3 dBになる最小波長である。カットオフ波長には、ファイバカットオフ波長とケーブルカットオフ波長とがあり、例えばITU-T勧告G.650に記載の測定法により、測定することができる。

【0027】

ゼロ分散波長とは、波長分散の値がゼロになる波長のことを指す。ここで、波長分散は、材料分散と導波路分散の合計である。また、ゼロ分散スロープとは、ゼロ分散波長における波長に対する波長分散の変化率のことを指す。

【0028】

本願発明者らは、鋭意検討の結果、光ファイバの諸特性について、以下の相関関係があることを見出した。

【0029】

図3Aは、MFD、ケーブルカットオフ波長、および Δn の値を一定とし、 Δn_d の値を変化させた場合に、ゼロ分散波長ZDW(Zero Dispersion Wavelength)および曲げ損失がどのように変化するかを示したグラフである。図3Bは、MFD、ケーブルカットオフ波長、および Δn の値を一定とし、 Δn_d の値を変化させた場合に、波長1.55 μm における波長分散の値および曲げ損失がどのように変化するかを示したグラフである。図3A、図3Bでは、MFDを9.05 μm とし、ケーブルカットオフ波長を1.21 μm とし、 Δn を3.5としている。図3A、図3Bの横軸は、先述の比屈折率差 Δn の値を示している。図3A、図3Bのどちらにおいても、第1縦軸は、曲げ半径 $R = 10\text{mm}$ 、波長1.55 μm における相対的な曲げ損失の大きさを示している。図3Aの第2縦軸は、ZDWの値を示している。図3Bの第2縦軸は、波長1.55 μm における波長分散の値を示している。

【0030】

図3Aに示すように、 Δn の絶対値が大きくなるほど(グラフの左側に向かうほど)、曲げ損失が小さくなっている。一方で、 Δn の絶対値が大きくなるほど、ZDWの値は小さくなる。このため、 Δn の絶対値を大きくした場合、ZDWの値が、ITU-T勧告G.652若しくはG.657で定義される下限値である1.300 μm を下回ってしまうこと

10

20

30

40

50

が考えられる。また、図3Bに示すように、 α の絶対値が大きくなるほど（グラフの左側に向かうほど）、曲げ損失が小さくなるが、波長1.55 μm の波長分散の値は大きくなる。したがって、 α の絶対値を大きくした場合、ZDWおよび波長1.55 μm の波長分散の値の両方が、ITU-T勧告G.652.D若しくはG.657で定義される規格範囲である、「ZDWが1.300 μm 以上および波長1.55 μm における波長分散の値が18.6 ps/km/nm以下」から外れてしまうことが考えられる。つまり、曲げ損失と波長分散特性とはいわゆるトレードオフの関係にあり、曲げ損失を低減するために単純に α の絶対値を大きくすると、所望の波長分散特性が得られない場合があることが判る。

【0031】

図4Aは、MFD、ケーブルカットオフ波長、および α の値を一定とし、 β の値を変化させた場合に、ZDWおよび曲げ損失がどのように変化するかを示したグラフである。図4Bは、MFD、ケーブルカットオフ波長、および α の値を一定とし、 β の値を変化させた場合に、波長1.55 μm における波長分散の値および曲げ損失がどのように変化するかを示したグラフである。図4A、図4Bでは、MFDを9.05 μm とし、ケーブルカットオフ波長を1.21 μm とし、 α を-0.02%としている。図4A、図4Bの横軸は、先述の乗分布（コア11の屈折率分布）に係る指数 β の値を示している。図4A、図4Bの第1縦軸および第2縦軸は、図3A、図3Bと同様である。

【0032】

図4A、図4Bに示すように、 β の値は、曲げ損失の大きさにほとんど影響しない。これに対して、図4Aに示すように、 β の値を小さくすると、ZDWの値を大きくすることができる。また、図4Bに示すように、 β の値を小さくすると、波長1.55 μm における波長分散の値を小さくできる。

以上の図3A、図3B、図4A、図4Bに関する考察を整理すると、 α の絶対値を大きくすることで曲げ損失を低減することができる。さらに、 α の絶対値を大きくすることに伴って悪化する波長分散特性については、 β の値を小さくすることで、所望の範囲内まで改善させることができる。つまり、 α および β の双方の値を適切な範囲とすることで、波長分散特性を規格内に維持しながら、曲げ損失のさらなる低減を図ることが可能となる。

【実施例】

【0033】

以下、構造パラメータの適切な範囲について、実施例を用いて説明する。

【0034】

（光ファイバの規格）

まず、光ファイバの諸特性に関する規格について整理する。

ITU-T勧告G.657.A2では、曲げ損失に関する以下の条件(A)~(C)が規定されている。

【0035】

<条件(A)>半径10mmの円筒形のマンドレルに光ファイバを1回巻回したとき、波長1.55 μm における損失増加（以下、 $BL_{R=10}(1.55 \mu\text{m})$ と表す）は0.1dB/turn以下であり、波長1.625 μm における損失増加（以下、 $BL_{R=10}(1.625 \mu\text{m})$ と表す）は0.2dB/turn以下であること。

【0036】

<条件(B)>半径15mmの円筒形のマンドレルに光ファイバを10回巻回したとき、波長1.55 μm における損失増加（以下、 $BL_{R=15}(1.55 \mu\text{m})$ と表す）は0.03dB/10turn以下であり、波長1.625 μm における損失増加（以下、 $BL_{R=15}(1.625 \mu\text{m})$ と表す）は0.1dB/10turn以下であること。

【0037】

<条件(C)>半径7.5mmの円筒形のマンドレルに光ファイバを1回巻回したとき、波長1.55 μm における損失増加（以下、 $BL_{R=7.5}(1.55 \mu\text{m})$ と表す）は0.5dB/turn以下であり、波長1.625 μm における損失増加（以下、 $BL_{R=7.5}(1.625 \mu\text{m})$ と表す）は1.0dB/

10

20

30

40

50

turn以下であること。

【0038】

また、ITU-T勧告G.652.D等が規定する要件を満足するため、曲げ損失以外の光ファイバの特性として、以下の条件(1)～(5)を満たすことが好ましい。

【0039】

<条件(1)> 波長 $1.31\mu\text{m}$ におけるMFDの値が、 $8.6\mu\text{m}$ より大きく、 $9.5\mu\text{m}$ より小さいこと。

<条件(2)> ゼロ分散波長ZDWの値が、 $1.305\mu\text{m}$ 以上 $1.319\mu\text{m}$ 以下であること。

<条件(3)> ゼロ分散スロープの値が、 0.073ps/km/nm^2 以上 0.092ps/km/nm^2 以下であること。

<条件(4)> 波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の値が、 18.0ps/km/nm 以下であること。

<条件(5)> 2.2m のケーブルカットオフ波長 λ_{cc} の値が、 $1.26\mu\text{m}$ より小さいこと。

【0040】

なお、ITU-T勧告G.652.Dでは、ゼロ分散波長ZDWを $1.300\mu\text{m}$ 以上 $1.324\mu\text{m}$ 以下とし、ゼロ分散スロープを 0.073ps/km/nm^2 以上 0.092ps/km/nm^2 以下とし、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の値を 18.6ps/km/nm 以下とすることが推奨されている。製造ばらつきを考慮すると、ゼロ分散波長が $1.305\mu\text{m}$ 以上 $1.319\mu\text{m}$ 以下となり(すなわち上記条件(2)を満たし)、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の値が 18.0ps/km/nm 以下となる(すなわち上記条件(4)を満たす)光ファイバを設計することが求められる。

【0041】

(実施例1～27)

下記表1には、構造パラメータが 1.0 、 2.9 、 0.35 、 r_1/r_2 、 0.60 、 0.05% 、 0.15% の範囲内である実施例1～27を示している。なお、以下の表1、2に示すMAC値とは、波長 $1.31\mu\text{m}$ におけるMFDの値をケーブルカットオフ波長 λ_{cc} で除算して得られた値である。

【0042】

10

20

30

40

50

【表 1】

	α	$\Delta+$	$\Delta-$	$r1/r2$	$r1$	$r2$	MFD at 1.31	λ_{cc}	MAC Z.D.W.	ゼロ分散 スロープ	波長分散 (1.55 μ m)	曲げ損失 at 1.55 μ m			曲げ損失 at 1.625 μ m			
												R=10mm	R=15mm	R=7.5mm	R=10mm	R=15mm	R=7.5mm	
												[dB/turn]	[dB/10turn]	[dB/turn]	[dB/turn]	[dB/10turn]	[dB/turn]	
実施例1	1.0	0.500	-0.15	0.50	7.25	14.50	9.11	1.238	7.36	1.313	0.092	17.92	0.006	0.005	0.058	0.009	0.019	0.204
実施例2	1.0	0.495	-0.15	0.40	6.90	17.25	8.98	1.208	7.43	1.314	0.092	17.88	0.004	0.008	0.305	0.005	0.066	0.065
実施例3	1.0	0.500	-0.15	0.35	6.65	19.00	8.84	1.203	7.35	1.315	0.092	17.69	0.003	0.014	0.277	0.003	0.084	0.547
実施例4	1.0	0.515	-0.13	0.50	7.00	14.00	8.95	1.211	7.39	1.317	0.092	17.62	0.015	0.005	0.195	0.029	0.020	0.500
実施例5	1.0	0.520	-0.12	0.50	7.13	14.25	8.99	1.244	7.23	1.317	0.092	17.58	0.011	0.005	0.136	0.025	0.016	0.431
実施例6	1.0	0.515	-0.12	0.60	7.20	12.00	9.05	1.233	7.34	1.317	0.092	17.53	0.006	0.005	0.367	0.021	0.015	0.872
実施例7	1.2	0.470	-0.12	0.50	6.88	13.75	9.07	1.206	7.52	1.312	0.092	17.85	0.034	0.006	0.414	0.076	0.029	0.822
実施例8	1.2	0.460	-0.12	0.35	6.65	19.00	9.01	1.211	7.44	1.312	0.092	17.76	0.004	0.011	0.303	0.005	0.094	0.051
実施例9	1.2	0.485	-0.12	0.55	7.01	12.75	9.05	1.244	7.27	1.313	0.092	17.86	0.013	0.005	0.289	0.046	0.016	0.727
実施例10	1.2	0.485	-0.12	0.40	6.80	17.00	8.65	1.247	6.94	1.317	0.090	17.79	0.004	0.004	0.284	0.006	0.015	0.580
実施例11	1.4	0.475	-0.12	0.50	6.75	13.50	8.94	1.255	7.12	1.310	0.092	17.96	0.003	0.004	0.094	0.006	0.014	0.375
実施例12	1.4	0.450	-0.10	0.50	6.80	13.60	9.13	1.229	7.43	1.310	0.092	17.87	0.054	0.006	0.425	0.131	0.021	0.914
実施例13	1.6	0.440	-0.12	0.55	6.74	12.25	9.11	1.242	7.33	1.306	0.092	18.00	0.019	0.005	0.455	0.073	0.016	0.957
実施例14	1.6	0.445	-0.10	0.50	6.50	13.00	9.02	1.227	7.35	1.308	0.091	17.87	0.029	0.005	0.345	0.096	0.017	0.826
実施例15	1.8	0.440	-0.08	0.50	6.38	12.75	8.98	1.237	7.26	1.309	0.091	17.76	0.015	0.005	0.424	0.078	0.016	0.995
実施例16	1.8	0.460	-0.09	0.50	6.13	12.25	8.71	1.211	7.19	1.311	0.091	17.52	0.005	0.005	0.430	0.021	0.015	0.932
実施例17	1.8	0.475	-0.09	0.50	6.00	12.00	8.63	1.202	7.18	1.311	0.091	17.32	0.003	0.005	0.396	0.006	0.015	0.863
実施例18	2.0	0.435	-0.09	0.50	6.25	12.50	8.92	1.235	7.22	1.306	0.091	17.85	0.006	0.005	0.439	0.022	0.015	0.520
実施例19	2.2	0.440	-0.08	0.50	6.08	12.15	8.82	1.211	7.28	1.306	0.091	17.77	0.006	0.005	0.477	0.030	0.016	0.525
実施例20	2.4	0.430	-0.07	0.50	5.88	11.75	8.80	1.222	7.20	1.307	0.090	17.57	0.007	0.005	0.259	0.038	0.016	1.137
実施例21	2.4	0.430	-0.07	0.50	6.00	12.00	8.87	1.249	7.10	1.306	0.090	17.78	0.003	0.005	0.465	0.006	0.015	1.016
実施例22	2.6	0.410	-0.06	0.40	5.80	14.50	8.90	1.208	7.37	1.307	0.090	17.56	0.056	0.005	0.507	0.191	0.019	1.066
実施例23	2.6	0.410	-0.06	0.50	6.00	12.00	9.02	1.251	7.21	1.305	0.090	17.82	0.016	0.005	0.629	0.125	0.017	1.363
実施例24	2.8	0.410	-0.06	0.40	5.80	14.50	8.91	1.231	7.24	1.305	0.090	17.74	0.011	0.005	0.448	0.052	0.016	1.040
実施例25	2.8	0.405	-0.05	0.40	5.90	14.75	9.03	1.252	7.21	1.305	0.090	17.78	0.012	0.005	0.507	0.063	0.016	1.077
実施例26	2.9	0.420	-0.05	0.40	5.60	14.00	8.76	1.236	7.09	1.308	0.089	17.34	0.008	0.005	0.482	0.042	0.016	1.045
実施例27	2.9	0.405	-0.05	0.35	5.78	16.50	8.96	1.244	7.20	1.306	0.090	17.65	0.013	0.005	0.425	0.049	0.016	1.010

【0043】

表 1 に示す実施例 1 ~ 27 は、 $BL_{R=10}(1.55 \mu\text{m})$ の値が 0.002 ~ 0.056dB/turn であり、いずれも 0.1dB/turn 未満となっており、この上限値に対して少なくとも 0.044dB/turn の余裕をもっている。また、 $BL_{R=10}(1.625 \mu\text{m})$ の値が 0.004 ~ 0.191dB/turn であり、いずれも 0.2dB/turn 未満となっており、この上限値に対して少なくとも 0.009dB/turn の余裕をもっている。このように、実施例 1 ~ 27 は、上記条件 (A) を満足している。

【0044】

実施例 1 ~ 27 は、 $BL_{R=15}(1.55 \mu\text{m})$ の値が 0.004 ~ 0.014dB/10turn であり、いずれも 0.03dB/10turn 未満となっており、この上限値に対して少なくとも 0.016dB/10turn

10

20

30

40

50

nの余裕をもっている。また、 $BL_{R=15}(1.625 \mu m)$ の値が $0.014 \sim 0.054 \text{ dB}/10\text{turn}$ であり、いずれも $0.1 \text{ dB}/10\text{turn}$ 未満となっており、この上限値に対して少なくとも $0.046 \text{ dB}/10\text{turn}$ の余裕をもっている。このように、実施例1～27は、上記条件(B)を満足している。

【0045】

以上の通り、実施例1～27では、曲げに関する条件(A)、(B)を満足している。これは、 $| \quad |$ の値を従来よりも大きくすることで、曲げ損失が低減されたためである(図3A、3B参照)。

【0046】

さらに、実施例1～27は、波長 $1.31 \mu m$ におけるMFDの値が、 $8.63 \sim 9.13 \mu m$ であるため、上記条件(1)を満足しており、下限値に対して $0.03 \mu m$ 、上限値に対して $0.37 \mu m$ の余裕をもっている。また、ZDW(ゼロ分散波長)の値が $1.305 \sim 1.317 \mu m$ であるため、上記条件(2)を満足しており、上限値に対して $0.002 \mu m$ の余裕をもっている。また、ゼロ分散スロープの値が $0.089 \sim 0.092 \text{ ps}/\text{km}/\text{nm}^2$ であるため、上記条件(3)を満足しており、下限値に対して $0.016 \text{ ps}/\text{km}/\text{nm}^2$ の余裕をもっている。また、波長 $1.55 \mu m$ における波長分散の値が $17.32 \sim 18.00 \text{ ps}/\text{km}/\text{nm}$ であるため、上記条件(4)を満足している。また、 λ_{cc} (ケーブルカットオフ波長)の値が $1.202 \sim 1.255 \mu m$ であるため、上記条件(5)を満足している。

10

【0047】

以上の結果から、構造パラメータを $1.0 \quad 2.9$ 、 $0.35 \quad r_1 / r_2 \quad 0.60$ 、 0.05% $| \quad |$ 0.15% の範囲内とすることで、曲げ損失以外の条件(1)～(5)を満足させながら、曲げ損失を低減して条件(A)、(B)を満足する光ファイバ1を得ることが可能となる。

20

【0048】

(比較例1～4)

次に、比較例1～4について、表2を用いて説明する。比較例1～2は、 $1.0 \quad 2.9$ を満足するが $0.05\% \quad | \quad | \quad 0.15\%$ を満足しない。比較例3～4は、 $0.05\% \quad | \quad | \quad 0.15\%$ を満足するが、 $1.0 \quad 2.9$ を満足しない。

【0049】

30

40

50

【表 2】

	α	$\Delta+$	$\Delta-$	$r1/r2$	$r1$	$r2$	MFD at 1.31	λ_{cc}	MAC	Z.D.W.	ゼロ分散スロープ [ps/km/nm ²]	波長分散 (1.55 μ m) [ps/km/nm]	曲げ損失 at 1.55 μ m			曲げ損失 at 1.625 μ m		
													R=10mm	R=15mm	R=7.5mm	R=10mm	R=15mm	R=7.5mm
比較例1	2.5	0.390	-0.03	0.30	5.85	19.50	9.16	1.203	7.61	1.311	0.088	17.11	0.031	0.250	-	0.184	0.780	-
比較例2	1.0	0.490	-0.16	0.45	7.09	15.75	9.08	1.213	7.49	1.312	0.093	18.10	0.006	0.008	0.346	0.049	0.008	0.663
比較例3	3.0	0.395	-0.05	0.40	5.90	14.75	9.11	1.255	7.26	1.303	0.090	17.91	0.002	0.005	0.530	0.126	0.017	1.120
比較例4	3.0	0.415	-0.15	0.35	5.78	16.50	8.66	1.257	6.89	1.294	0.093	18.87	0.002	0.004	0.257	0.002	0.013	0.527

【0050】

表 2 に示す通り、比較例 1 は、 $BL_{R=15}(1.55 \mu\text{m})$ の値が $0.03\text{dB}/10\text{turn}$ を上回っており、また、 $BL_{R=15}(1.625 \mu\text{m})$ の値が $0.1\text{dB}/10\text{turn}$ を上回っており、条件 (B) を満足しない。比較例 3 は、条件 (A) を満たすものの、ゼロ分散波長 Z D W の値が $1.305 \mu\text{m}$ を下回っており、条件 (2) を満足しない。比較例 2 および比較例 4 は、条件 (A) を満たすものの、ゼロ分散スロープの値が $0.092\text{ps}/\text{km}/\text{nm}^2$ を上回っており、条件 (3) を満足しない。また、比較例 2 および比較例 4 は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の値が $18.0\text{ps}/\text{km}/\text{nm}$ を上回っており、条件 (4) を満足しない。

実施例 1 ~ 27 と比較例 1 ~ 4 との対比から、条件 (1) ~ (4) を満足しつつ条件 (

10

20

30

40

50

A) を満足させるためには、 $0.05\% \leq \Delta n \leq 0.15\%$ および 2.9 を満足させる必要があることが判る。

【0051】

また、 Δn の値は、 1.0 以上とすることが好ましい。その理由を以下に述べる。 Δn を制御したコア領域の製造方法としてはCVD法(Chemical Vapor Deposition method)が一般的に知られているが、CVD法ではいわゆるセントラルディップが形成される場合がある。セントラルディップとは、コア中心部において、屈折率が低下した部分をいう。ZDW(ゼロ分散波長)の値を上記条件(2)内に維持しながら、曲げ損失のさらなる低減を図る上でセントラルディップの影響を受けにくくするためには、 Δn の値を 1.0 以上とすることが好ましい。 Δn の値が 1.0 未満の場合、コア中心部に向かって屈折率が急峻に増加するため、セントラルディップの影響を受けやすい。このため、現実的には Δn の値が 1.0 未満の光ファイバを製造することは容易ではない。

10

【0052】

以上のことを総合すると、 $0.05\% \leq \Delta n \leq 0.15\%$ および $1.0 \leq ZDW \leq 2.9$ を満足させることが好ましい。これにより、例えばITU-T勧告G.652.Dに規定される諸特性を満足しつつ、従来よりも曲げ損失を低減した光ファイバを提供することができる。より詳しくは、 Δn の値を大きくすることで曲げ損失を低減させることができる。そして、 Δn の値を大きくすることによって悪化するゼロ分散波長および波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散値については、指数 α の値を小さくすることで、それぞれ所定の範囲内とすることができる。

20

【0053】

ところで、表1における実施例1~19は、 $BLR_{7.5}(1.55 \mu\text{m})$ の値が $0.058 \sim 0.477 \text{ dB/turn}$ であり、いずれも 0.5 dB/turn 未満であり、上限値に対して少なくとも 0.023 dB/turn の余裕がある。また、実施例1~19は、 $BLR_{7.5}(1.625 \mu\text{m})$ の値が $0.051 \sim 0.995 \text{ dB/turn}$ であり、いずれも 1.0 dB/turn 未満であり、上限値に対して少なくとも 0.005 dB/turn の余裕がある。従って、実施例1~19は、条件(C)を満足している。

【0054】

これに対して実施例20~27は、 $BLR_{7.5}(1.625 \mu\text{m})$ の値が 1.0 dB/turn を上回っており、上記条件(C)を満足していない。

ここで、実施例1~19および実施例20~27の構造パラメータを比較する。実施例1~19は、構造パラメータが $1.0 \leq r_1/r_2 \leq 2.2$ 、 $0.35 \leq \Delta n \leq 0.60$ 、 $0.08\% \leq \Delta n \leq 0.15\%$ の範囲内となっている。一方、実施例20~27は、 Δn の値が 2.4 以上であり、 Δn の値が 0.07% 以下となっている。

30

【0055】

以上の結果から、構造パラメータを $1.0 \leq r_1/r_2 \leq 2.2$ 、 $0.35 \leq \Delta n \leq 0.60$ 、 $0.08\% \leq \Delta n \leq 0.15\%$ の範囲内とすることで、曲げ損失以外の条件(1)~(4)を満足させながら、曲げ損失を低減して条件(A)~(C)を満足する光ファイバ1を得ることが可能となる。また、条件(A)~(C)の全てを満足することで、ITU-T勧告G.657.A2が規定する曲げ損失に関する要件を満たした光ファイバ1を提供することができる。

40

【0056】

なお、 r_1/r_2 の値が小さくなりすぎると、モードフィールド径が小さくなり、その結果、他の光ファイバと接続した際の接続損失が許容可能範囲の上限値を上回るという問題を生じ得る。 r_1/r_2 を 0.40 以上にすれば、このような問題が生じ難くなる。この点を考慮すると、 r_1/r_2 の値は、 0.40 以上 0.60 以下となるように設定されているとよい。

一方、 r_1/r_2 が大きくなり過ぎると、曲げ損失が許容可能範囲の上限値を上回るという問題を生じ得る。 r_1/r_2 を 0.55 以下にすれば、このような問題が生じ難くなる。この点を考慮すると、 r_1/r_2 の値は、 0.40 以上 0.55 以下となるように設定されているとよい。

50

【 0 0 5 7 】

また、実施例 1 ~ 27 では、半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.03 dB 未満であり、半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.2 dB 未満となっている。このように、本実施形態によれば、ITU-T 勧告 G.657.A2 に規定される、曲げ半径 15 mm および 10 mm における曲げ損失を所定の範囲内とした光ファイバを提供することができる。

10

【 0 0 5 8 】

また、実施例 1 ~ 19 では、半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.03 dB 未満であり、半径 15 mm の円筒形のマンドレルに 10 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.1 dB 未満であり、半径 10 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、0.2 dB 未満であり、半径 7.5 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.55 μm における損失増加は、0.5 dB 未満であり、半径 7.5 mm の円筒形のマンドレルに 1 回巻回したときの波長 1.625 μm における損失増加は、1.0 dB 未満となっている。このように、本実施形態によれば、ITU-T 勧告 G.657.A2 に規定される、曲げ半径 15 mm、10 mm、および 7.5 mm における曲げ損失を所定の範囲内とした光ファイバを提供することができる。

20

【 0 0 5 9 】

また、波長 1.31 μm における MFD (モードフィールド径) を、8.6 μm より大きく、かつ 9.5 μm より小さくすることで、ITU-T 勧告 G.652 等に規定される要件の 1 つを満足することができる。なお、製造ばらつきなどを考慮すると、MFD の値は、8.8 μm 以上 9.2 μm 以下であることが、より好ましい。

【 0 0 6 0 】

なお、本発明の技術的範囲は前記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

30

また、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上記した実施形態または実施例における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 1 】

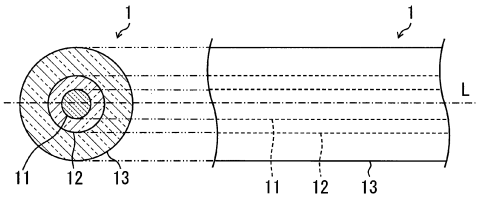
1 ... 光ファイバ 11 ... コア 12 ... ディプレッド層 13 ... クラッド

40

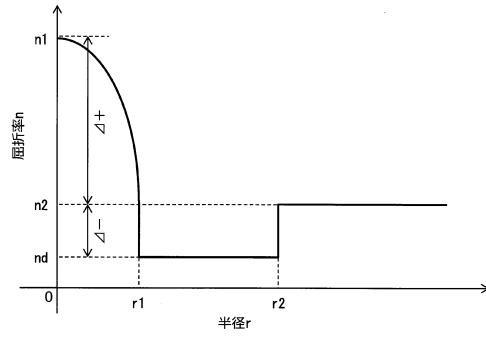
50

【図面】

【図 1 A】

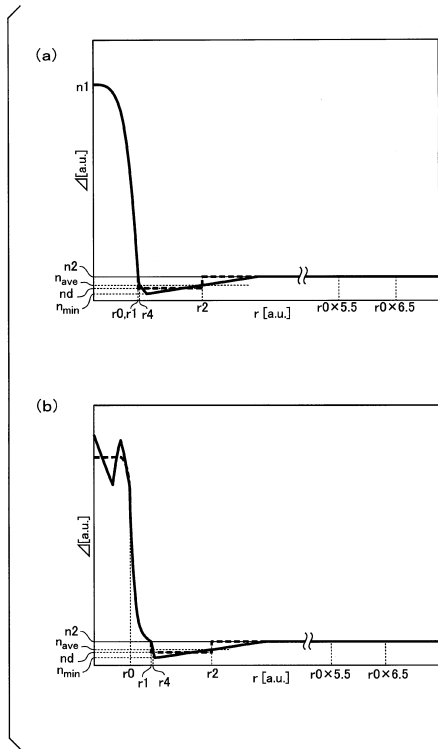


【図 1 B】

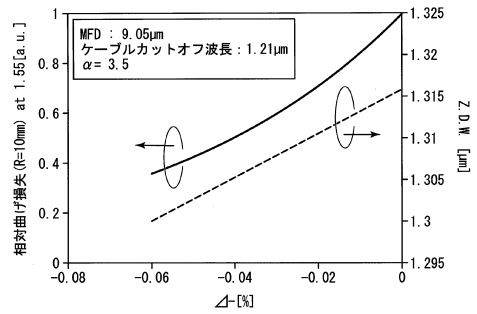


10

【図 2】



【図 3 A】



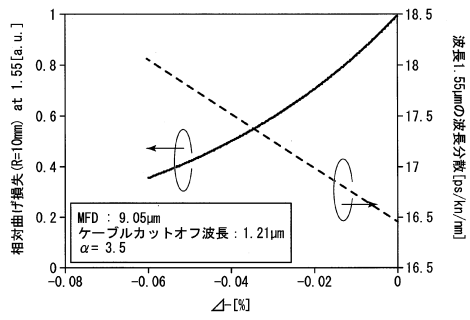
20

30

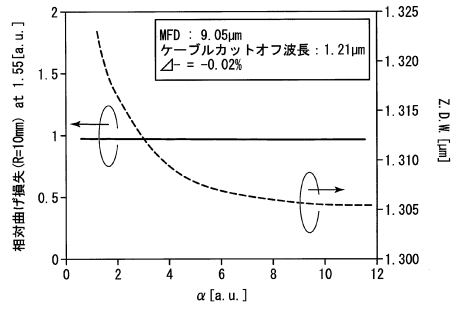
40

50

【 3 B 】

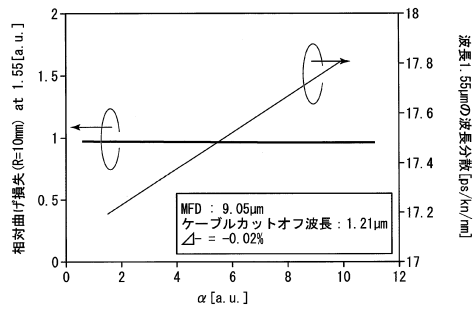


【 4 A 】



10

【 4 B 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2014-526066(JP,A)
米国特許出願公開第2017/0075061(US,A1)
特表2016-518620(JP,A)
国際公開第2017/048820(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 6/02 - 6/036
6/10
6/44