

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4192424号
(P4192424)

(45) 発行日 平成20年12月10日(2008.12.10)

(24) 登録日 平成20年10月3日(2008.10.3)

(51) Int.Cl. F I
G O 2 B 6/036 (2006.01) G O 2 B 6/22

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2000-547500 (P2000-547500)	(73) 特許権者	000002130
(86) (22) 出願日	平成10年12月22日 (1998.12.22)		住友電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP1998/005824		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(87) 国際公開番号	W01999/057587	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成11年11月11日 (1999.11.11)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成17年5月19日 (2005.5.19)	(74) 代理人	100089978
(31) 優先権主張番号	特願平10-121262		弁理士 塩田 辰也
(32) 優先日	平成10年4月30日 (1998.4.30)	(74) 代理人	100092657
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰
		(72) 発明者	加藤 考利
			神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

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】

所定の中心軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを有するとともに、波長1550nmの光に対して70 μm^2 以上の実効断面積を有する光ファイバにおいて、

所定の屈折率を有する中心領域と、前記中心領域の外周に設けられ、該中心領域よりも高い屈折率を有する第1環状領域と、前記第1環状領域の外周に設けられるとともに、フッ素が添加された領域であって、当該光ファイバの中心軸から半径方向に向かって、その屈折率が低下するようフッ素添加量が調節された第2環状領域とを備え、

前記コア領域は、前記中心領域に相当する内側コアと、前記第1環状領域に相当する外側コアを備え、

前記クラッド領域は、前記第2環状領域に相当する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドを備え、

前記第2環状領域に相当する前記内側クラッドの、前記外側クラッドに対する比屈折率差と、当該光ファイバの中心軸から半径方向の距離とで与えられる、内側クラッドにおける屈折率プロファイルの傾きの絶対値は、0.02%/ μm 以上であり、

前記中心領域は、1.5 μm 以上の半径を有し、

2mのファイバ長において1.3 μm 以上のカットオフ波長を有し、

波長1550nmの光に対する実効断面積を A_{eff} 、モードフィールド径をMFDとすると、

10

20

$$k = A_{eff} / \{ (\pi / 4) \cdot (MFD)^2 \} \quad 1.4$$

なる関係を満たした光ファイバ。

【請求項2】

前記コア領域は、前記中心領域に相当する第1コアと、前記第1環状領域に相当する第2コアと、前記第2環状領域に相当する第3コアと、該第3コアの外周に設けられるとともに、該第3コアよりも高い屈折率を有する第4コアを備え、

前記クラッド領域は、前記第4コアよりも低い屈折率を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】

前記第2環状領域に相当する前記第3コアの、前記クラッド領域に対する比屈折率差と、当該光ファイバの中心軸から半径方向の距離とで与えられる、第3コアにおける屈折率プロファイルの傾きの絶対値は、0.02%/μm以上であることを特徴とする請求項2記載の光ファイバ。

【請求項4】

波長1550nmの光に対して、絶対値が1.0~4.5ps/nm/kmの分散と、70μm²以上の実効断面積とを有する請求項1~3のいずれか一項記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

技術分野

この発明は、光通信などの長距離伝送路として通信ケーブル等に使用可能なシングルモード光ファイバに関し、特に、波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)伝送等の大容量光通信に好適な分散シフトファイバ(dispersion-shifted fiber)に関するものである。

【0002】

背景技術

従来から、伝送路としてシングルモード光ファイバが適用された光通信システムでは、通信信号光として1.3μm波長帯または1.55μm波長帯の光が利用されることが多かった。ただし、最近では伝送路中における伝送損失低減の観点から1.55μm波長帯の光の使用が増しつつある。こうした1.55μm波長帯の光の伝送路に適用されるシングルモード光ファイバ(以下、1.55μm用シングルモード光ファイバという)では、1.55μm波長帯の光に対する、その波長分散(波長によって光の伝搬速度が異なるためパルス波が広がる現象)がゼロになるよう設計されている(零分散波長1.55μmの分散シフトファイバ)。

【0003】

このような分散シフトファイバとして、例えば特開平8-304655号公報(米国特許第5,613,027号公報)や米国特許第5,659,649号公報には、コア領域が内側コアと、該内側コアよりも高い屈折率を有する外側コアとから構成された、リング状コア構造の屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバが提案されている。また、特開平8-248251号公報(欧州特許0724171A2号公報)や特開平9-33744号公報には、コア領域が、第1コアと、該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアと、該第2コアよりも低い屈折率を有する第3コアと、該第3コアよりも高い屈折率を有する第4コアとから構成された、デュアルリングコア構造の屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバが提案されている。

【0004】

なお、特開昭63-43107号公報や特開平2-141704号公報には、クラッド領域が内側クラッドと、該内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとから構成されたディプレストクラッド構造も提案されている。

【0005】

さらに、近年は、波長分割多重(WDM)伝送や光増幅器の登場により長距離伝送が可能になり、非線形現象を避けるため、上述のような光ファイバについて種々の改良がなされ

10

20

30

40

50

てきた。なお、非線形光学効果とは、四光波混合 (F W M : four-wave mixing)、自己位相変調 (S P M : self-phase modulation)、相互位相変調 (X P M : cross-phase modulation) などの非線形現象により、光強度の密度等に比例して信号光パルスが歪む現象であり、伝送速度や中継伝送システムにおける中継間隔の制約要因となる。

【 0 0 0 6 】

発明の開示

一般に、非線形現象の発生量は以下の式 (1) で与えられる屈折率の変化量に比例することが知られている。

$$(N_2 / A_{eff}) \times P \quad \dots (1)$$

ここで、 N_2 は非線形屈折率 (単位 : m^2 / W)、 A_{eff} は実効断面積 (単位 : μm^2)、そして、 P は光パワーである。

10

【 0 0 0 7 】

なお、非線形屈折率 N_2 は以下のように定義されている。すなわち、強い光の下における媒質の屈折率 $\langle N \rangle$ は、光パワーによって変わる。したがって、この屈折率 $\langle N \rangle$ に対する最低次の効果は、

$$\langle N \rangle = \langle N_0 \rangle + \langle N_2 \rangle \cdot I \quad \dots (2)$$

ここで、 $\langle N_0 \rangle$: 線形分極に対する屈折率

$\langle N_2 \rangle$: 非線形分極に対する非線形屈折率

I : 光強度

で表される。強い光の下では、媒質の屈折率 $\langle N \rangle$ は通常の値 $\langle N_0 \rangle$ と光強度に比例する増加分との和で与えられる。特に、第 2 項の比例定数 $\langle N_2 \rangle$ (単位 : m^2 / W) が非線形屈折率と呼ばれる。

20

【 0 0 0 8 】

また、実効断面積 A_{eff} は、特開平 8 - 2 4 8 2 5 1 号公報 (EP 0 724 171 A2) に示されたように、以下の (3) 式で与えられる。

$$A_{eff} = 2\pi \left(\int_0^{\infty} E^2 r dr \right) / \left(\int_0^{\infty} E^4 r dr \right) \quad \dots (3)$$

【 0 0 0 9 】

ただし、 E は伝搬光に伴う電界、 r はコア中心 (光ファイバの中心軸) からの半径方向の距離である。

30

【 0 0 1 0 】

上述された従来の光ファイバは、いずれも非線形現象の発現を抑制するため、実効断面積 A_{eff} を拡大するよう設計されていた。しかしながら、発明者らは従来の光ファイバについて検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、実効断面積 A_{eff} の拡大は、光ファイバを所定の曲率で曲げたときの伝送損失 (以下、曲げロスという) や光ファイバの側面に加えられた外圧 (側圧) に起因する伝送損失 (以下、側圧ロスという) の増大を引き起こすため、必然的に限界がある。また、一般に、リング状コア構造の屈折率プロファイルを有する光ファイバは、他の屈折率プロファイル、例えばデュアルリングコア構造や多層コア構造の屈折率プロファイルを有する光ファイバよりも側圧ロスは少ないが、それでも上限はある。このように、実効断面積 A_{eff} の拡大とともに曲げロスや側圧ロスが増大することは、光ファイバの本質的な問題でもあり、避けることはできない。

40

【 0 0 1 1 】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、曲げ損失等の伝送損失を増加させることなく、非線形現象の発現を効果的に抑制する構造を備えた光ファイバを提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

この発明に係る光ファイバは、所定の軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域を有するとともに、石英ガラスを主成分とするシングルモード光

50

ファイバに好適である。また、この発明に係る光ファイバは、近年の波長分割多重伝送等への適用を考慮し、波長1550nmの光に対して、絶対値が1.0~4.5ps/nm/kmの分散と、70 μm^2 以上の実効断面積とを有するとともに、2mのファイバ長において、1.3 μm (1300nm)以上のカットオフ波長を有する。

【0013】

具体的に、この発明に係る光ファイバは、図1A及び図1Bに示されたように、中心軸に沿って伸び、所定の屈折率を有する中心領域101と、中心領域101の外周に設けられ、該中心領域101よりも高い屈折率を有する第1環状領域102と、第1環状領域102の外周に設けられ、該第1環状領域102よりも低い屈折率を有する第2環状領域103とを、少なくとも備えている。

10

【0014】

特に、上記第2環状領域103は、非線形屈折率 N_2 を低減して非線形現象の発現を抑制するため(上記式(1)参照)、当該光ファイバ100の中心から半径方向に、その屈折率が低下するよう、屈折率低下剤であるフッ素の添加量が調節されている。また、この発明に係る光ファイバでは、上記第1環状領域102の半径は、中心軸近傍での光パワーの集中を避けるため、特に1.5 μm 以上に設定されている。なお、上記式(3)で与えられる実効断面積 A_{eff} とモードフィールド径MFDとの関係は以下の式(4)で与えられ、該式(4)における比例定数 k は1.4以上であるのが好ましい。

$$A_{\text{eff}} = k \cdot \left(\frac{\text{MFD}}{4} \right) \cdot (\text{MFD})^2 \quad \dots (4)$$

【0015】

ファイバ組成に対する非線形屈折率 N_2 の依存性は、T.Kato, et al., "Estimation of non linear refractive index in various silica-based glasses for optical fibers"(OPTICS LETTERS, Vol.20, No.22, Nov. 15, 1995)に示されたように、純石英が最も小さく、フッ素のような不純物が添加されると大きくなることが知られている。また、光ファイバの各領域における非線形屈折率 N_2 への寄与は、上記第1環状領域102の方が上記第2環状領域103よりも大きい。この第1環状領域102は、上述された当該光ファイバの波長1550nmにおける諸特性決定にも大きく寄与する。

20

【0016】

そこで、この発明では、第1環状領域102の外側に位置する第2環状領域103に着目した。具体的には、第2環状領域103における屈折率プロファイルの形状を、当該光ファイバ100の中心から周辺に向かって傾けるよう、フッ素添加量が制御されている。すなわち、当該光ファイバ100内を伝搬する光の光パワーが大きな、第2環状領域103の内側部分にはフッ素添加量を少なくする一方、該第2環状領域103の外側部分に向かって(伝搬光の光パワーが弱まるにつれて)、フッ素添加量を増加させ、該第2環状領域103における屈折率プロファイルを故意に傾けることにより、当該光ファイバ全体の非線形屈折率 N_2 が低減される。

30

【0017】

発明者らは後述する実験結果から、上記第2環状領域103において、基準となるガラス領域に対する第2環状領域103の比屈折率差が、当該光ファイバの中心から1 μm 離れるにつれ、0.02%以上低下するよう、該第2環状領域103における屈折率プロファイルを傾けるのが好ましいことを発見した。なお、この屈折率プロファイルの傾きを示す値(%/ μm)は、第2環状領域103における屈折率プロファイルの形状が直線でない場合には、最小二乗法等により得られる近似直線の傾きとして与えられる。

40

【0018】

また、この発明に係る光ファイバを実現する屈折率プロファイルの構造は、種々の態様が適用可能である。すなわち、当該光ファイバのコア領域の屈折率プロファイルの構造としては、リング状コア構造、デュアルリング構造、あるいは多層コア構造等が適用可能であり、クラッド領域の屈折率プロファイルとしては、ディプレストクラッド構造も適用可能である。

【0019】

50

例えば、この発明に係る光ファイバの屈折率プロファイルとして、図 2 A 及び図 2 B に示されたようなリング状コア・ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイル 2 5 0 が採用された場合、光ファイバ 2 0 0 の中心軸に沿って伸びた内側コア 2 1 1 には上記中心領域 1 0 1 が相当し、該内側コア 2 1 1 の外周に設けられた外側コア 2 1 2 には上記第 1 環状領域 1 0 2 が相当し、該外側コア 2 1 2 の外周に設けられた内側クラッド 2 2 1 には上記第 2 環状領域 1 0 3 が相当する。なお、これら各ガラス領域 2 1 1、2 1 2、2 2 1 は、内側クラッド 2 2 1 の外周に設けられた外側クラッド 2 2 2 を基準にして比屈折率差が与えられる。

【 0 0 2 0 】

また、この発明に係る光ファイバの屈折率プロファイルとして、図 7 A 及び図 7 B に示されたようなデュアルリングコア構造の屈折率プロファイル 4 5 0 が採用された場合、光ファイバ 4 0 0 の中心軸に沿って伸びた第 1 コア 4 1 1 には上記中心領域 1 0 1 が相当し、該第 1 コア 4 1 1 の外周に設けられた第 2 コア 4 1 2 には上記第 1 環状領域 1 0 2 が相当し、該第 2 コア 4 1 2 の外周に設けられた第 3 コア 4 1 3 には上記第 2 環状領域 1 0 3 が相当する。なお、図 7 A 及び図 7 B の光ファイバ 4 0 0 には、第 3 コア 4 1 3 の外周に第 4 コア 4 1 4 が設けられるとともに、該第 4 コアの外周にはクラッド領域 4 2 0 が設けられている。そして、これら各ガラス領域 4 1 1、4 1 2、4 1 3、4 1 4 は、クラッド領域 4 2 0 を基準にして比屈折率差が与えられる。この屈折率プロファイル 4 5 0 においてもディプレストクラッド構造を採用してもよい。

【 0 0 2 1 】

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明に係る光ファイバを、図 1 A ~ 2 B、3、4 A、4 B、5 ~ 6、7 A ~ 8 B、及び 9 を用いて説明する。なお、図中、同一部分については同一符合を付して重複する説明を省略する。

【 0 0 2 2 】

図 1 A 及び図 1 B は、この発明に係る光ファイバにおける主要部分を示す図であり、図 1 A はその断面構造、図 1 B はその屈折率プロファイルをそれぞれ示している。この発明に係る光ファイバ 1 0 0 は、中心軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に形成されたクラッド領域を有する、石英ガラスを主成分とする光ファイバである。そして、光ファイバ 1 0 0 は、所定の屈折率 n_1 を有する外径 a_1 の中心領域 1 0 1 と、中心領域 1 0 1 の外周に設けられ、該中心領域 1 0 1 よりも高い屈折率 n_2 を有する外径 b_1 の第 1 環状領域 1 0 2 と、第 1 環状領域 1 0 2 の外周に設けられ、該第 1 環状領域 1 0 2 よりも低い屈折率 $n_3(r)$ を有する外径 c_1 の第 2 環状領域 1 0 3 とを、少なくとも備えている。特に、第 2 環状領域 1 0 3 の屈折率 $n_3(r)$ は、当該光ファイバ 1 0 0 の中心から周辺に向かって徐々に低下するように、フッ素等の不純物が添加されている。なお、 r は当該光ファイバ 1 0 0 の中心から半径方向の距離である。

【 0 0 2 3 】

ここで、図 1 B に示された屈折率プロファイル 1 5 0 の横軸は、図 1 A における線 L 1 の各位置に相当している。また、図 1 A 中、O1 は当該光ファイバ 1 0 0 の中心軸と線 L 1 との交点を示す。具体的には、この屈折率プロファイル 1 5 0 は、各ガラス領域における屈折率を示しており、領域 1 5 1 は上記中心領域 1 0 1 の線 L 1 上における各部位、領域 1 5 2 は上記第 1 環状領域 1 0 2 の線 L 1 上における各部位、領域 1 5 3 は上記第 2 環状領域 1 0 3 の線 L 1 上における各部位にそれぞれ対応している。

【 0 0 2 4 】

上述されたように、非線形現象の発生量は上記式 (1) で与えられる変化量に比例する。この発明は、曲げロスや側圧ロスに起因した実効断面積 A_{eff} の拡大の限界に鑑み、非線形屈折率 N_2 を低減させることにより非線形現象の発現を抑制する構造を提供する。

【 0 0 2 5 】

また、ファイバ組成に対する非線形屈折率 N_2 の依存性は、T.Kato, et al., "Estimation of nonlinear refractive index in various silica-based glasses for optical fibers

10

20

30

40

50

"(OPTICS LETTERS, Vol.20, No.22, Nov. 15, 1995)に示されたように、純石英が最も小さく、フッ素のような不純物が添加されると大きくなるということが知られている。一方、光ファイバの各領域における非線形屈折率 N_2 への寄与は、上記第1環状領域102の方が上記第2環状領域103よりも大きい、この第1環状領域102は、上述された当該光ファイバの波長1550nmにおける諸特性決定にも大きく寄与する。

【0026】

そこで、この発明では、第1環状領域102の外側に位置する第2環状領域103に着目し、該第2環状領域103における屈折率プロファイルの形状を、当該光ファイバ100の中心から周辺に向かって傾けるよう、フッ素添加量が制御されている。すなわち、当該光ファイバ100内を伝搬する光の光パワーが大きな、第2環状領域103の内側部分にはフッ素添加量を少なくする一方、該第2環状領域103の外側部分に向かって（伝搬光の光パワーが弱まるにつれて）、フッ素添加量を増加させ、該第2環状領域103における屈折率プロファイルを故意に傾けることにより、当該光ファイバ全体における非線形屈折率 N_2 の低減が図られている。結果的に、この発明に係る光ファイバ100は、第2環状領域103の内側部分における屈折率が、該環状領域103の外側部分における屈折率よりも高くなるよう設計されている。

【0027】

第1実施例

次に、この発明に係る光ファイバの第1実施例を図2A、2B、及び図3を用いて説明する。なお、この第1実施例に係る光ファイバは、リング状コア・ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイルを有する。

【0028】

図2A及び図2Bは、この発明に係る光ファイバの第1実施例を示す図であり、図2Aはその断面構造、図2Bはその屈折率プロファイル（リング状コア・ディプレストクラッド構造）をそれぞれ示している。また、図3は、この第1実施例に係る光ファイバ200における屈折率プロファイル250と光パワー分布260との関係を示すグラフである。なお、図3における光パワー分布260は、最大値を1として規格化されている。

【0029】

この第1実施例に係る光ファイバ200も、中心軸に沿って伸びたコア領域210と、該コア領域210の外周に形成されたクラッド領域220を有する、石英ガラスを主成分とする光ファイバである。そして、光ファイバ200において、コア領域210は、屈折率 n_1 を有する外径 a_2 の内側コア211と、内側コア211の外周に設けられ、屈折率 n_2 ($> n_1$)を有する外径 b_2 の外側コア212から構成されている。また、クラッド領域220は、外側コア212の外周に設けられ、当該光ファイバ200の中心から周辺に向かって徐々に屈折率 $n_3(r)$ ($< n_2$)が低下するよう、フッ素が添加された外径 c_2 の内側クラッド221と、内側クラッド221の外周に設けられ、屈折率 n_4 ($> n_3(r)$)を有する外側クラッド222から構成されている。なお、 r は当該光ファイバ200の中心から半径方向の距離である。

【0030】

したがって、この第1実施例に係る光ファイバ200において、内側コア211が上記中心領域101に相当し、外側コア212が上記第1環状領域102に相当し、内側クラッド221が上記第2環状領域103に相当する。

【0031】

また、図2Bに示された屈折率プロファイル250の横軸は、図2Aにおける線L2の各位置に相当しており、図2A中の O_2 は当該光ファイバ200の中心軸と線L2との交点である。具体的には、この屈折率プロファイル250は、外側クラッド222に対する各ガラス領域211、212、221の比屈折率差を示しており、領域251は上記内側コア211の線L2上における各部位、領域252は上記外側コア212の線L2上における各部位、領域253は上記内側クラッド221の線L2上における各部位、領域254は上記外側クラッド222の線L2上における各部位にそれぞれ対応している。

【0032】

なお、この明細書において、比屈折率差は以下の式(5)に示されたように定義されている。

$$= (n_t^2 - n_c^2) / 2n_c^2 \quad (n_t - n_c) / n_c \quad \dots (5)$$

ここで、 n_c は基準となる外側クラッド222の屈折率 n_4 、 n_t は各ガラス領域211、212、221の屈折率 n_1 、 n_2 、 $n_3(r)$ にそれぞれ相当している。したがって、外側クラッド222に対し、内側コア211の比屈折率差 n_1 は $(n_1^2 - n_4^2) / 2n_4^2$ で与えられ、外側コア212の比屈折率差 n_2 は $(n_2^2 - n_4^2) / 2n_4^2$ で与えられ、内側クラッド221の比屈折率差 $n_3(r)$ は $(n_3(r)^2 - n_4^2) / 2n_4^2$ で与えられる。ただし、上記式中の屈折率は順不動であり、外側クラッド222に対する比屈折率差が負の値をとるガラス領域は、該外側クラッド222の屈折率 n_4 よりも低い屈折率を有するガラス領域であることを意味する。また、この明細書において、各ガラス領域の比屈折率差は百分率表示されている。

10

【0033】

(実験1)

次に、この第1実施例に係る光ファイバ200の非線形屈折率 N_2 と屈折率プロファイル250の傾きとの関係を示すために行われた実験について説明する。

【0034】

図4A及び図4Bは、この実験1のための指標として用意された基準光ファイバ300を示す図であり、図4Aはその断面構造、図4Bはその屈折率プロファイルを示している。また、図5は、図4A及び図4Bに示された基準光ファイバ300の屈折率プロファイル350と光パワー分布360との関係を示す図である。なお、図5における光パワー分布360は、最大値を1として規格化されている。

20

【0035】

この基準光ファイバ300と第1実施例に係る光ファイバ200との構造上の差異は、内側クラッド221における屈折率プロファイルの形状が異なる点のみである。したがって、この基準光ファイバ300は、コア領域310が屈折率 n_1 を有する外径 a_3 の内側コア311と屈折率 $n_2 (> n_1)$ を有する外径 b_3 の外側コア312で構成され、クラッド領域320が屈折率 $n_3 (< n_2)$ を有する外径 c_3 の内側クラッド321と屈折率 $n_4 (> n_3)$ を有する外側クラッド322で構成されている。また、この基準光ファイバ300において、外側クラッド322に対する内側クラッド321の比屈折率差 n_3 は一定である(屈折率プロファイルの傾き(%/ μm)は0)。

30

【0036】

さらに、図4Bの屈折率プロファイル350は、図4Aにおける外側クラッド322に対する各ガラス領域311、312、321の比屈折率差(第1実施例と同様に定義される)を示しており、領域351は線L3上における内側コア311の各部位、領域352は線L3上における外側コア312の各部位、領域353は線L3上における内側クラッド321の各部位、領域354は線L3上における外側クラッド322の各部位にそれぞれ対応している。なお、図4A中のO3は基準光ファイバ300の中心軸と線L3との交点である。

40

【0037】

この用意された基準光ファイバ300では、各組成パラメータは以下のように入力されている。

n_1 (%) : -0.39
 n_2 (%) : 0.95
 n_3 (%) : -0.29
 a_3 / b_3 : 0.62
 c_3 / b_3 : 2.0
 c_3 (μm) : 17.0

【0038】

50

また、以上のように構成される基準光ファイバ300において、内側コア311の半径（ $(a_3)/2$ ）は $2.6\ \mu\text{m}$ であり、2m長でのカットオフ波長は $1.45\ \mu\text{m}$ である。そして、用意された基準光ファイバ300は、波長 $1550\ \text{nm}$ の光に対して以下の諸特性を有する。

分散値 (ps/nm/km) : -2.0
 実効断面積 A_{eff} (μm^2) : 85
 非線形屈折率 ($10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$) : 3.730
 モードフィールド径 MFD (μm) : 7.04

【0039】

このとき、実効断面積 A_{eff} とモードフィールド径 MFD との関係を示す上記式(4)における比例定数 k は 2.18 であった。

10

【0040】

ちなみに、この基準光ファイバ300において、各ガラス領域は非線形屈折率 N_2 に対して以下のように寄与している。

内側コア : 18.1%
 外側コア : 52.5%
 内側クラッド : 28.8%
 外側クラッド : 0.6%

【0041】

この実験1では、上記基準光ファイバ300を基準にして、上記 $1550\ \text{nm}$ における諸特性を変えることなく、内側クラッド321における屈折率プロファイルの傾き（%/ μm ）が変更された複数のサンプル光ファイバが用意され、それら各サンプル光ファイバの非線形屈折率 N_2 (m^2/W) が測定された。図6中のグラフ(1)が当該実験1の測定結果である。このグラフ(1)において、点Aが図4A及び図4Bに示された基準光ファイバ300に相当する。

20

【0042】

また、この実験1では、用意された各サンプル光ファイバは、屈折率プロファイルが傾けられた内側クラッド（第1実施例の内側クラッド221に相当）における比屈折率差 $n_3(r)$ の平均 $n_{3\text{AVE}}$ 、外側クラッドに対する内側コアの比屈折率差 n_1 、及び外側コアに対する内側クラッドの外径比 c_3/b_3 は固定され、外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差 $n_3(r)$ がそれぞれ変えられる。

30

【0043】

なお、これら用意された各サンプル光ファイバにおいて、外側クラッドに対する外側コアの比屈折率差 n_2 及び、外側コアに対する内側コアの外径比 a_3/b_3 も、波長 $1550\ \text{nm}$ の光に対する諸特性が変わらないよう、比屈折率差 $n_3(r)$ の変化に合わせて調整される。また、各サンプル光ファイバにおいて、内側クラッドにおける比屈折率差 $n_3(r)$ の平均 $n_{3\text{AVE}}$ は、以下の式(6)により与えられる。

$$\Delta n_{\text{AVE}} = \frac{\int_b^c \Delta n_3 r dr}{\int_b^c r dr} \quad \dots (6)$$

40

【0044】

この実験1の測定結果を示す図6のグラフ(1)から分かるように、内側クラッドにおける屈折率プロファイルの傾きの絶対値が、 $0.02\ \%/ \mu\text{m}$ を超えると非線形屈折率 N_2 の低減効果が大きくなる。

【0045】

(実験2)

さらに、実験2で用意された基準光ファイバは、上述の図4A及び図4Bに示された光ファイバ300と同様の構造を備えるとともに、以下の組成パラメータを有する光ファイバ

50

である。この実験2でも、この基準光ファイバを基準に、屈折率プロファイルの傾きが異なる種々のサンプル光ファイバについて、その非線形屈折率 N_2 (m^2/W) が測定される。図6中のグラフ(2)は、この実験2の測定結果を示している。

n_1 (%) : - 0.50
 n_2 (%) : 0.90
 n_3 (%) : - 0.40
 a_3 / b_3 : 0.60
 c_3 / b_3 : 2.0
 c_3 (μm) : 18.0

【0046】

また、以上のように構成される基準光ファイバ300において、内側コア311の半径(a_3)/2)は $2.7 \mu m$ であり、2m長でのカットオフ波長は $1.45 \mu m$ である。そして、用意された基準光ファイバ300は、波長 $1550 nm$ の光に対して以下の諸特性を有する。

分散値 ($ps/nm/km$) : - 2.0
 実効断面積 A_{eff} (μm^2) : 85
 2m長でのカットオフ波長 (μm) : 1.45
 非線形屈折率 ($10^{-20} m^2/W$) : 3.743
 モードフィールド径 MFD (μm) : 6.79

【0047】

このとき、実効断面積 A_{eff} とモードフィールド径 MFD との関係を示す上記式(4)における比例定数 k は2.35であった。

【0048】

この実験2でも上述の実験1と同様に、用意された基準光ファイバを基準にして、波長 $1550 nm$ の光に対する諸特性を変えずに、内側クラッドにおける屈折率プロファイルの傾き($\%/ \mu m$)が変更された複数のサンプル光ファイバが用意され、それら各サンプル光ファイバの非線形屈折率 N_2 (m^2/W) が測定された。図6中のグラフ(2)が当該実験結果である。このグラフ(2)において、点Bがこの実験2で用意された基準光ファイバに相当する。

【0049】

また、この実験2でも、用意された各サンプル光ファイバは、屈折率プロファイルが傾けられた内側クラッド(第1実施例の内側クラッド221に相当)における比屈折率差 $n_3(r)$ の平均 n_{3AVE} 、外側クラッドに対する内側コアの比屈折率差 n_1 、及び外側コアに対する内側クラッドの外径比 c_3 / b_3 は固定され、外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差 $n_3(r)$ がそれぞれ変えられる。

【0050】

なお、これら用意された各サンプル光ファイバにおいても、外側クラッドに対する外側コアの比屈折率差 n_2 及び、外側コアに対する内側コアの外径比 a_3 / b_3 は、波長 $1550 nm$ の光に対する諸特性が変わらないよう、比屈折率差 $n_3(r)$ の変化に合わせて調整される。

【0051】

この実験2の測定結果を示す図6のグラフ(2)からも、内側クラッドにおける屈折率プロファイルの傾きの絶対値が、 $0.02 \%/ \mu m$ を超えると非線形屈折率 N_2 の低減効果が大きくなること分かる。

【0052】

第2実施例

次に、この発明に係る光ファイバの第2実施例を図7A及び図7Bを用いて説明する。なお、この第2実施例に係る光ファイバは、デュアルリングコア構造の屈折率プロファイルを有する。

【0053】

10

20

30

40

50

図7A及び図7Bは、この発明に係る光ファイバの第2実施例を示す図であり、図7Aはその断面構造、図7Bはその屈折率プロファイル（デュアルリングコア構造）をそれぞれ示している。この第2実施例に係る光ファイバ400も、中心軸に沿って伸びたコア領域410と、該コア領域410の外周に形成されたクラッド領域420を有する、石英ガラスを主成分とする光ファイバである。そして、光ファイバ400において、コア領域410は、屈折率 n_1 を有する外径 a_4 の第1コア411と、第1コア411の外周に設けられ、屈折率 $n_2 (> n_1)$ を有する外径 b_4 の第2コア412と、第2コア412の外周に設けられ、当該光ファイバ400の中心から周辺に向かって徐々に屈折率 $n_3(r)$ ($< n_2$) が低下するよう、フッ素が添加された外径 c_4 の第3コア413と、第3コア413の外周に設けられ、屈折率 $n_4 (> n_3(r))$ を有する外径 d_4 の第4コア414とから構成されている。また、クラッド領域420は、第4コア414よりも低い屈折率 n_5 を有する。なお、 r は当該光ファイバ400の中心から半径方向の距離である。

【0054】

したがって、この第2実施例に係る光ファイバ400において、第1コア411が上記中心領域101に相当し、第2コア412が上記第1環状領域102に相当し、第3コア413が上記第2環状領域103に相当する。

【0055】

また、図7Bに示された屈折率プロファイル450の横軸は、図7Aにおける線L4の各位置に相当しており、図7A中のO4は当該光ファイバ400の中心軸と線L4との交点である。具体的には、この屈折率プロファイル450は、クラッド領域420に対する各ガラス領域411、412、413、414の比屈折率差を示しており、領域451は上記第1コア411の線L4上における各部位、領域452は上記第2コア412の線L4上における各部位、領域453は上記第3コア413の線L4上における各部位、領域454は上記第4コア414の線L4上における各部位、領域455は上記クラッド領域420の線L4上における各部位にそれぞれ対応している。

【0056】

この第2実施例においても、クラッド領域420に対する各ガラス領域411、412、413、414の比屈折率差 n_1 、 n_2 、 $n_3(r)$ 、及び n_4 は、上記式(5)によりそれぞれ与えられる。すなわち、式(5)中における屈折率 n_1 は各ガラス領域411、412、413、414の屈折率 n_1 、 n_2 、 $n_3(r)$ 、及び n_4 にそれぞれ相当し、 n_c はクラッド領域420の屈折率 n_5 に相当する。

【0057】

(実験3)

次に、この第2実施例に係る光ファイバ400の非線形屈折率 N_2 と屈折率プロファイル450の傾斜との関係を示すために行われた実験について説明する。

【0058】

図8A及び図8Bは、この実験3のための指標として用意された基準光ファイバ500を示す図であり、図8Aはその断面構造、図8Bはその屈折率プロファイルをそれぞれ示している。

【0059】

この基準光ファイバ500と第2実施例に係る光ファイバ400との構造上の差異は、第3コア413における屈折率プロファイルの形状が異なる点のみである。したがって、この基準光ファイバ500は、コア領域510が屈折率 n_1 を有する外径 a_5 の第1コア511と、屈折率 $n_2 (> n_1)$ を有する外径 b_5 の第2コア512と、屈折率 $n_3 (< n_2)$ を有する外径 c_5 の第3コア513と、屈折率 $n_4 (> n_3)$ を有する外径 d_5 の第4コア514とで構成され、クラッド領域520は第4コア514よりも低い屈折率 n_5 を有している。また、この基準光ファイバ500において、クラッド領域520に対する第3コア513の比屈折率差 n_3 は一定である(屈折率プロファイルの傾き(%/ μm)は0)。

【0060】

10

20

30

40

50

さらに、図 8 B の屈折率プロファイル 5 5 0 は、図 8 A におけるクラッド領域 5 2 0 に対する各ガラス領域 5 1 1、5 1 2、5 1 3、5 1 4 の比屈折率差（第 2 実施例と同様に定義される）を示しており、領域 5 5 1 は線 L 5 上における第 1 コア 5 1 1 の各部位、領域 5 5 2 は線 L 5 上における第 2 コア 5 1 2 の各部位、領域 5 5 3 は線 L 5 上における第 3 コア 5 1 3 の各部位、領域 5 5 4 は線 L 5 上における第 4 コア 5 1 4 の各部位、領域 5 5 5 は線 L 5 上におけるクラッド領域 5 2 0 の各部位にそれぞれ対応している。なお、図 8 A 中の O 5 は基準光ファイバ 5 0 0 の中心軸と線 L 5 との交点である。

【 0 0 6 1 】

この用意された基準光ファイバ 5 0 0 では、各組成パラメータは以下のように与えられている。

n_1 (%)	: - 0 . 4 0
n_2 (%)	: 0 . 9 0
n_3 (%)	: - 0 . 4 0
n_4 (%)	: - 0 . 2 8
a_5 / b_5	: 0 . 5 0
c_5 / b_5	: 1 . 5
c_5 / d_5	: 0 . 7 5
d_5 (μm)	: 1 4 . 4

【 0 0 6 2 】

また、以上のように構成される基準光ファイバ 5 0 0 において、第 1 コア 5 1 1 の半径（ a_5 ）/ 2）は $1.8 \mu\text{m}$ であり、2 m 長でのカットオフ波長は $1.42 \mu\text{m}$ である。そして、用意された基準光ファイバ 5 0 0 は、波長 1550 nm の光に対して以下の諸特性を有する。

分散値 (ps/nm/km)	: - 2 . 6
実効断面積 A_{eff} (μm^2)	: 7 6
非線形屈折率 ($10^{-20} \text{ m}^2 / \text{W}$)	: 3 . 7 0 4
モードフィールド径 MFD (μm)	: 7 . 7 8

【 0 0 6 3 】

このとき、実効断面積 A_{eff} とモードフィールド径 MFD との関係を示す上記式（4）における比例定数 k は 1.59 であった。

【 0 0 6 4 】

この実験 3 では、上記基準光ファイバ 5 0 0 を基準にして、波長 1550 nm の光に対する諸特性を変えなく、第 3 コア 5 1 3 における屈折率プロファイルの傾き（% / μm ）が変更された複数のサンプル光ファイバが用意され、それら各サンプル光ファイバの非線形屈折率 N_2 (m^2 / W) が測定された。図 6 中のグラフ（3）が当該実験 3 の測定結果である。このグラフ（3）において、点 C が図 8 A 及び図 8 B に示された基準光ファイバ 5 0 0 に相当する。

【 0 0 6 5 】

また、この実験 3 では、用意された各サンプル光ファイバは、屈折率プロファイルが傾けられた第 3 コア（第 2 実施例の第 3 コア 4 1 3 に相当）における比屈折率差 $n_3(r)$ の平均 $n_{3\text{AVE}}$ 、第 2 コアに対する第 3 コアの外径比 c_5 / b_5 、第 4 コアに対する第 3 コアの外径比 c_5 / d_5 、クラッド領域に対する第 1 コアの比屈折率差 n_1 、及びクラッド領域に対する第 4 コアの比屈折率差 n_4 は固定され、クラッド領域に対する第 3 コアの比屈折率差 $n_3(r)$ がそれぞれ変えられる。

【 0 0 6 6 】

なお、これら用意された各サンプル光ファイバにおいて、クラッド領域に対する第 2 コアの比屈折率差 n_2 及び、第 2 コアに対する第 1 コアの外径比 a_5 / b_5 も、波長 1550 nm の光に対する諸特性が変わらないよう、比屈折率差 $n_3(r)$ の変化に合わせて調整される。また、各サンプル光ファイバにおいて、第 3 コアにおける比屈折率差 $n_3(r)$ の平均 $n_{3\text{AVE}}$ は、上記式（6）により与えられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

この実験 3 の測定結果を示す図 6 のグラフ (3) においても、第 3 コアにおける屈折率プロファイルの傾きの絶対値が、 $0.02\% / \mu\text{m}$ を超えると非線形屈折率 N_2 の低減効果が大きくなることが分かる。

【 0 0 6 8 】

なお、上述の実験 1 ~ 3 から分かるように、この発明に係る光ファイバでは、波長 1550nm の光に対する実効断面積 A_{eff} とモードフィールド径 MFD との関係を示す上記式 (4) における比例定数 k は 1.4 以上であることが好ましい。また、中心領域の半径は $1.5\mu\text{m}$ 以上に設定されるのが好ましい。

【 0 0 6 9 】

加えて、上述された各実施例では、この発明に係る光ファイバにおける第 2 環状領域 (第 1 実施例における内側クラッド 2 2 1、第 2 実施例における第 3 コア 4 1 3 に相当) の屈折率プロファイルの形状が直線である場合について説明されているが、屈折率プロファイルの形状が図 9 に示されたように直線でない場合には、該屈折率プロファイル 6 0 0 におけるディプレスト部分 6 0 1 の傾きを示す値 ($\% / \mu\text{m}$) は、最小二乗法等により得られる近似直線の傾きとして与えられる。

【 0 0 7 0 】

産業上の利用可能性

以上のようにこの発明によれば、中心部分に位置し、リング状コア構造の屈折率プロファイルを構成するガラス領域の外周に、屈折率が当該光ファイバの中心から周辺に向かって徐々に低下する環状領域を設けたので、非線形屈折率を低減してより効果的に非線形現象の発現を抑制できるという効果がある。

【 0 0 7 1 】

また、発明者らの知見によれば、上記環状領域における屈折率プロファイルの傾きの絶対値が、 $0.02\% / \mu\text{m}$ を超えると、非線形屈折率の低減効果が得られる。

【 図面の簡単な説明 】

図 1 A 及び図 1 B は、この発明に係る光ファイバにおける主要部分を示す図であり、図 1 A はその断面構造、図 1 B はその屈折率プロファイルをそれぞれ示している。

図 2 A 及び図 2 B は、この発明に係る光ファイバの第 1 実施例を示す図であり、図 2 A はその断面構造、図 2 B はその屈折率プロファイル (リング状コア・ディプレストクラッド構造) をそれぞれ示している。

図 3 は、第 1 実施例に係る光ファイバにおける、屈折率プロファイルと光パワー分布との関係を示すグラフである。

図 4 A 及び図 4 B は、第 1 実施例に係る光ファイバの非線形屈折率と屈折率プロファイルの傾斜との関係を示す実験のために用意された、指標としての基準光ファイバを示す図であり、図 4 A はその断面構造、図 4 B はその屈折率プロファイルを示している。

図 5 は、図 4 A 及び図 4 B に示された基準ファイバにおける、屈折率プロファイルと光パワー分布との関係を示すグラフである。

図 6 は、第 1 及び第 2 実施例に係る光ファイバについて、その非線形屈折率と屈折率プロファイルの傾斜との関係を示す実験 1 ~ 3 の各測定結果を示すグラフである。

図 7 A 及び図 7 B は、この発明に係る光ファイバの第 2 実施例を示す図であり、図 7 A はその断面構造、図 7 B はその屈折率プロファイル (デュアルリングコア構造) をそれぞれ示している。

図 8 A 及び図 8 B は、第 3 実施例に係る光ファイバの非線形屈折率と屈折率プロファイルの傾斜との関係を示す実験のために用意された、指標としての基準光ファイバを示す図であり、図 8 A はその断面構造、図 8 B はその屈折率プロファイルをそれぞれ示している。

図 9 は、この発明に係る光ファイバにおいて、その屈折率プロファイルの変形例を説明するための図である。

10

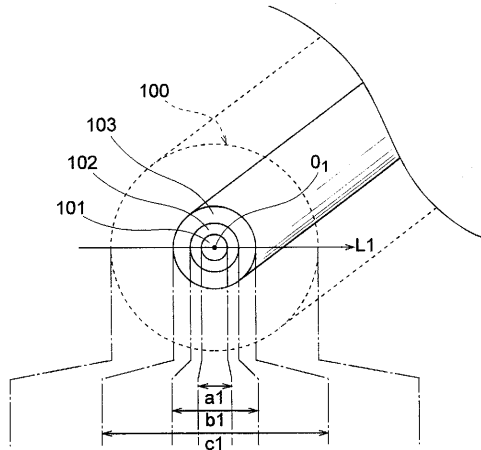
20

30

40

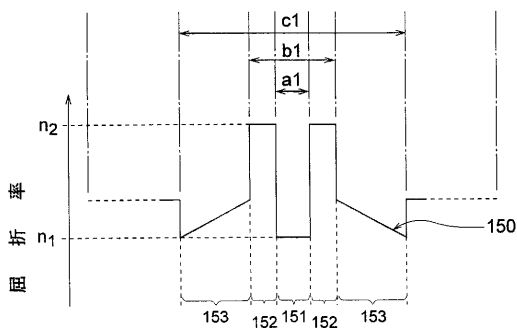
【図1A】

図1A



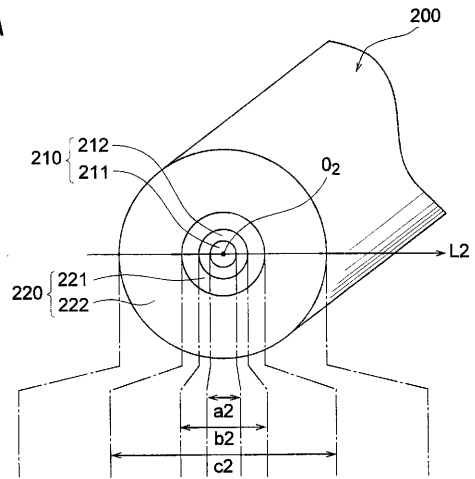
【図1B】

図1B



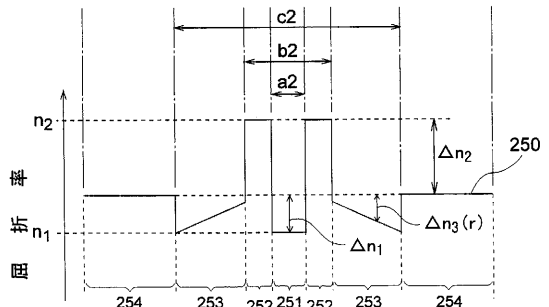
【図2A】

図2A



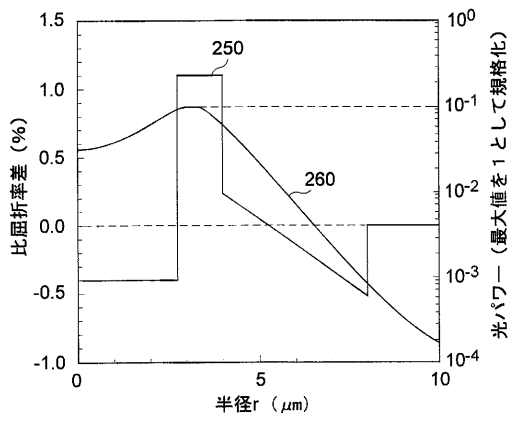
【図2B】

図2B



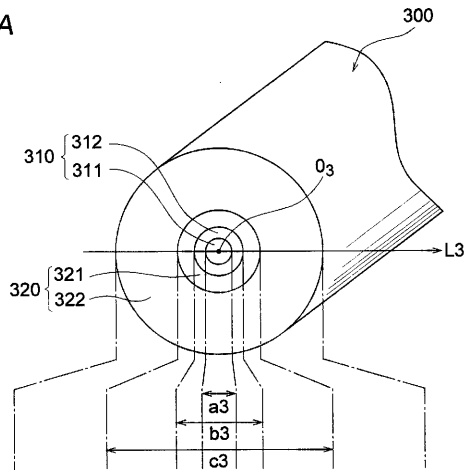
【図3】

図3



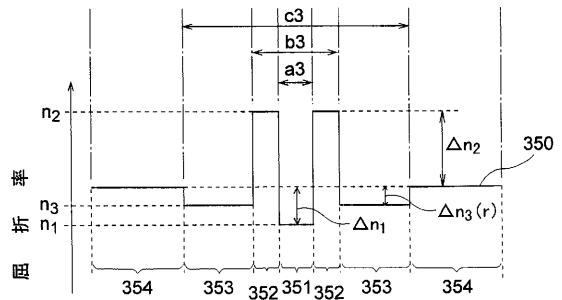
【図4A】

図4A

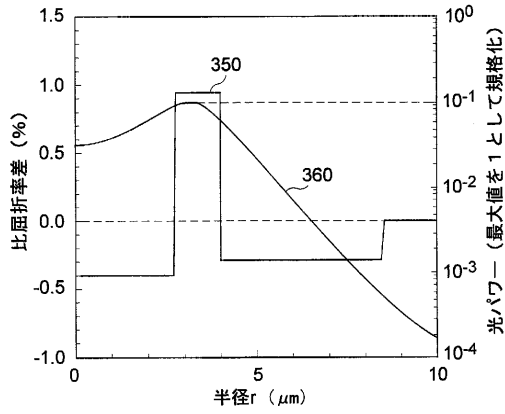


【図4B】

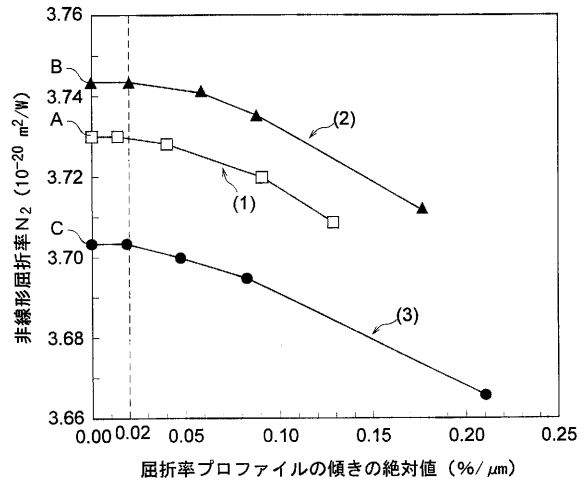
図4B



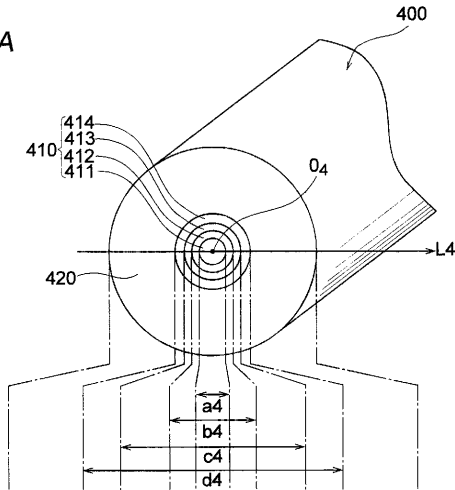
【図5】
図5



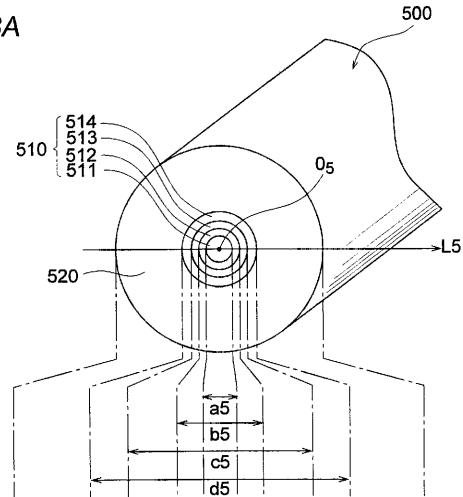
【図6】
図6



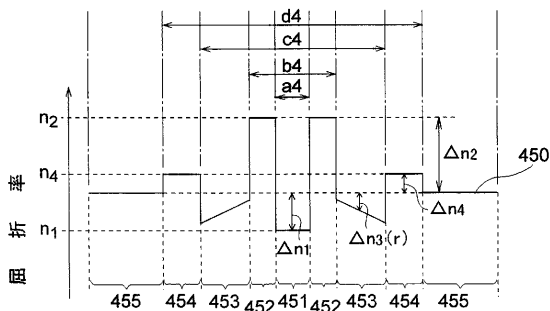
【図7A】
図7A



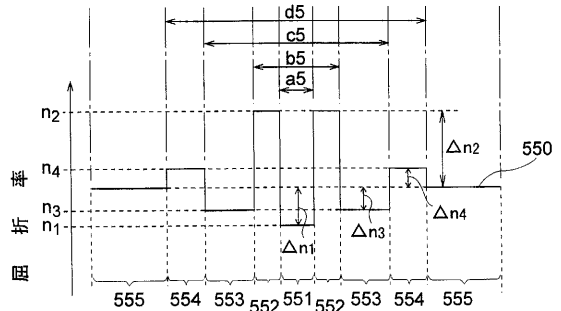
【図8A】
図8A



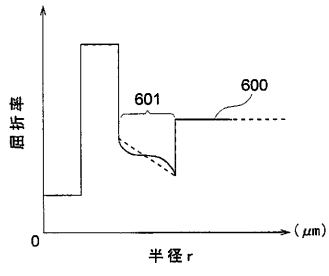
【図7B】
図7B



【図8B】
図8B



【図9】
図9



フロントページの続き

- (72)発明者 大西 正志
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
- (72)発明者 笹岡 英資
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

審査官 吉田 英一

- (56)参考文献 米国特許第05684909(U S , A)
特開平08 - 248251 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G02B 6/036