

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7347441号
(P7347441)

(45)発行日 令和5年9月20日(2023.9.20)

(24)登録日 令和5年9月11日(2023.9.11)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 6/02 (2006.01) G 0 2 B 6/02 4 1 6

G 0 2 B 6/036(2006.01) G 0 2 B 6/036

G 0 2 B 6/02 4 1 1

請求項の数 9 (全14頁)

(21)出願番号	特願2020-553751(P2020-553751)	(73)特許権者	000002130
(86)(22)出願日	令和1年10月15日(2019.10.15)		住友電気工業株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/040531		大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3
(87)国際公開番号	WO2020/090450		号
(87)国際公開日	令和2年5月7日(2020.5.7)	(74)代理人	100088155
審査請求日	令和4年9月21日(2022.9.21)		弁理士 長谷川 芳樹
(31)優先権主張番号	特願2018-202609(P2018-202609)	(74)代理人	100113435
(32)優先日	平成30年10月29日(2018.10.29)		弁理士 黒木 義樹
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100136722
			弁理士 ▲高▼木 邦夫
		(74)代理人	100174399
			弁理士 寺澤 正太郎
		(72)発明者	長能 重博
			大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3
			号 住友電気工業株式会社内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 スラント型ファイバグレーティング

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ファイバ軸方向に沿って延びたコアと、
前記ファイバ軸方向と垂直な断面において前記コアを取り囲む第 1 クラッドであって、
少なくとも一部が特定波長の光の照射により前記一部の屈折率を上昇させる感光性材料を
含み、かつ、前記コアの屈折率より低い屈折率を有する第 1 クラッドと、
前記断面において前記第 1 クラッドを取り囲む第 2 クラッドであって、前記コアの屈折
率より低くかつ前記第 1 クラッドの屈折率より高い屈折率を有する第 2 クラッドと、
を備えたシリカ系ガラスからなる光ファイバを含み、
前記光ファイバのうち前記ファイバ軸方向に沿って並んだ異なる 2 点の間に位置する特
定区間が、
波長 1 . 5 5 μ m において第 1 のモードフィールド径を有し、かつ、前記断面に対して
傾斜した等屈折率面を有する傾斜ブラッググレーティングであって前記第 1 クラッドに相
当する領域内に設けられた傾斜ブラッググレーティングを含む第 1 領域と、
前記第 1 領域を挟むように前記ファイバ軸方向に沿って配置された一対の第 2 領域と、
前記第 1 領域および前記一対の第 2 領域の双方を挟むように前記ファイバ軸方向に沿っ
て配置された一対の第 3 領域であって、前記波長 1 . 5 5 μ m において前記第 1 のモード
フィールド径より小さい第 2 のモードフィールド径を有する一対の第 3 領域と、
により構成され、
前記第 1 クラッドのうち前記第 1 領域に対応する区間全体の屈折率が、前記第 1 クラッド

10

20

のうち前記一対の第3領域に対応する区間全体の屈折率よりも高い、
スラント型ファイバグレーティング。

【請求項2】

前記第1クラッドは、前記感光性材料として GeO_2 を含む、
請求項1に記載のスラント型ファイバグレーティング。

【請求項3】

前記第1クラッドは、前記感光性材料として B_2O_3 を更に含む、
請求項1または請求項2に記載のスラント型ファイバグレーティング。

【請求項4】

前記第1クラッドおよび前記第2クラッドの双方は、Fを含む、
請求項1から請求項3のいずれか一項に記載のスラント型ファイバグレーティング。

10

【請求項5】

前記一対の第3領域それぞれにおける前記第2のモードフィールド径は、 $11.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、

請求項1から請求項4のいずれか一項に記載のスラント型ファイバグレーティング。

【請求項6】

前記第1領域における前記第1のモードフィールド径は、 $12.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上である、
請求項1から請求項5のいずれか一項に記載のスラント型ファイバグレーティング。

【請求項7】

前記一対の第2領域の一方における前記波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ でのモードフィールド径は、
前記第1領域の一方の端部から前記一対の第3領域の一方に向かう方向に沿って徐々に小さく
なっており、

20

前記一対の第2領域の他方における前記波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ でのモードフィールド径は、
前記第1領域の他方の端部から前記一対の第3領域の他方に向かう方向に沿って徐々に小
さくなっている、

請求項1から請求項6のいずれか一項に記載のスラント型ファイバグレーティング。

【請求項8】

前記ファイバ軸方向に沿って定義される前記第1領域の長さは、 10 mm 以上 100 mm
以下である、

請求項1から請求項7のいずれか一項に記載のスラント型ファイバグレーティング。

30

【請求項9】

前記第1領域は、前記ファイバ軸方向に沿って前記傾斜ブラッググレーティングとは別
の位置に配置されるMFD調整用ブラッググレーティングであって、前記ファイバ軸方向
に垂直な等屈折率面を有し、かつ、前記傾斜ブラッググレーティングの損失波長帯域とは
異なる波長帯域の光をブラッグ反射させるMFD調整用ブラッググレーティングを有する、
請求項1から請求項8のいずれか一項に記載のスラント型ファイバグレーティング。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、スラント型ファイバグレーティングに関するものである。

40

本願は、2018年10月29日に出願された日本特許出願第2018-202609号
による優先権を主張するものであり、その内容に依拠すると共に、その全体を参照して
本明細書に組み込む。

【背景技術】

【0002】

CバンドまたはLバンドの信号光を用いた長距離光ファイバ通信システムでは、該信号
光を増幅する光増幅器として、エルビウム(Er)等の稀土類元素が添加された増幅用光
ファイバを含む光ファイバ増幅器が使用されている。エルビウム添加光ファイバ増幅器(
 EDFA : Erbium-Doped optical Fiber Amplifier)の利得スペクトルは、波長依存性
を有しており、波長 $1.53\text{ }\mu\text{m}$ 付近にピークを有する。この利得スペクトルの波長依存性

50

の非平坦性に起因してビット誤り率の増加が生じ、その結果、伝送システム系の性能が劣化する。このような課題を解決する部品として、E D F Aの利得を等化する利得等化器であるスラント型ファイバグレーティング (S F G : Slanted Fiber Grating) が開発されている。

【 0 0 0 3 】

利得等化器の製造例は、例えば特許文献 1 および特許文献 2 に記載されている。この製造例では、まず、コアおよびクラッドの双方またはいずれか一方に感光性材料 (photosensitive material、例えば、 GeO_2 、 B_2O_3) が含まれるシリカ系ガラス (silica-based glass) からなる光ファイバが用意される。この光ファイバに対し、屈折率を上昇させ得る特定波長の紫外光 (例えば、アルゴンイオンレーザ光の 2 倍波 (波長 2 4 4 nm) 等) が照射されると、感光性材料を含むシリカ系ガラスの屈折率が大きくなる。所定周期の屈折率変調グレーティングを光ファイバ内に書き込む方法には、チャープ型グレーティング位相マスクを用いた ± 1 次回折光による露光、U V レーザ光直接露光、2 光束干渉露光がある。その中でも、位相マスクを用いた方法は、同一特性のグレーティングを再現性よく作製すること、および、他の手法に比べアライメントが比較的容易であることが、利点として挙げられる。

【 0 0 0 4 】

S F G によるロス、L P 0 1 モードから後方伝搬の高次モードへの結合により生じる。或るビーム幅の特定波長の光で書き込まれたグレーティングにより得られる S F G のロススペクトルは、図 1 に示されたように、或る波長においてロスピークを有するとともに或る半値全幅 (F W H M) α を有する。また、S F G のロススペクトルは、ロスピーク波長から短波長側にロスが裾をひいた基本スペクトルとなる。利得等化器の所望のロススペクトルは、図 2 に示されたように、透過率軸方向および波長軸方向に複数の基本スペクトルを重ね合わせることで実現される。このように複数の S F G の基本スペクトルを重ね合わされた利得等化器により、E D F A の利得が等化される。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 文献 】 特開 2 0 0 3 - 0 0 4 9 2 6 号公報

特開 2 0 0 4 - 1 7 0 4 7 6 号公報

特開 2 0 0 3 - 0 7 5 6 4 7 号公報

【 発明の概要 】

【 0 0 0 6 】

本開示の S F G (スラント型ファイバグレーティング) は、一例として、コアと、第 1 クラッドと、第 2 クラッドと、を備えたシリカ系ガラスからなる光ファイバを含む。コアは、ファイバ軸方向に沿って延びる。ファイバ軸方向と垂直な断面 (当該光ファイバの断面) において、第 1 クラッドはコアを取り囲む領域であり、第 2 クラッドは、第 1 クラッドを取り囲む領域である。第 1 クラッドは、少なくとも一部が特定波長の光の照射により該一部の屈折率を上昇させる感光性材料を含み、かつ、コアの屈折率より低い屈折率を有する。第 2 クラッドは、コアの屈折率より低くかつ第 1 クラッドの屈折率より高い屈折率を有する。特に、ファイバ軸方向に沿って定義される、光ファイバのうちファイバ軸に沿って両端が定義される特定区間は、第 1 領域と、第 1 領域を挟むようにファイバ軸方向に沿って配置された一対の第 2 領域と、第 1 領域および一対の第 2 領域の双方を挟むようにファイバ軸方向に沿って配置された一対の第 3 領域と、により構成されている。第 1 領域は、波長 1 . 5 5 μm において第 1 のモードフィールド径 (Mode Field Diameter) を有し、かつ、上記断面に対して傾斜した等屈折率面 (Iso-refractive Index Surface : 屈折率の等しい点を三次元的に結んだ面) を有する傾斜ブラッググレーティングを含む。傾斜ブラッググレーティングは、第 1 領域のうち、第 1 クラッドに相当する領域内に設けられている。第 3 領域は、波長 1 . 5 5 μm において第 1 のモードフィールド径より小さい第 2 のモードフィールド径を有する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】図 1 は、S F G のロススペクトル（基本スペクトル）である。

【図 2】図 2 は、複数の S F G の基本スペクトルの重ね合わせを説明するための図である。

【図 3】図 3 は、スラント角 θ を説明するための図である。【図 4 A】図 4 A は、S F G の基本スペクトルの半値全幅 α とスラント角 θ との関係を示すグラフである。【図 4 B】図 4 B は、S F G の反射減衰量とスラント角 θ との関係を示す図である。

【図 5】図 5 は、光ファイバの直径方向に沿った屈折率プロファイルである。

【図 6】図 6 は、本実施形態に係る S F G 1 の構成を示す図である。

10

【図 7】図 7 は、傾斜ブラッググレーティングの形成方法を説明するための図である。

【図 8】図 8 は、本実施形態に係る S F G 1 の他の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

〔発明が解決しようとする課題〕

発明者らは、上述の従来技術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、近年、I o T やビックデータの利用の発展に伴い、伝送容量の大容量化とともにビット誤り率の更なる低下（S F G による利得等化器の高性能化）が求められている。しかしながら、基本スペクトルが有する半値全幅 α の制約により、複数の基本スペクトルを重ね合わせても、所望のロススペクトルを精度よく実現することは困難である。

20

【 0 0 0 9 】

〔発明の効果〕

本開示は、高性能の利得等化器を容易に実現し得る S F G を提供することを可能にする。

【 0 0 1 0 】

〔本願発明の実施形態の説明〕

最初に本開示の実施形態の内容をそれぞれ個別に列挙して説明する。

【 0 0 1 1 】

（ 1 ） 本開示の S F G（スラント型ファイバグレーティング）は、その一態様として、コアと、第 1 クラッドと、第 2 クラッドと、を備えたシリカ系ガラスからなる光ファイバを含む。コアは、ファイバ軸方向に沿って延びる。ファイバ軸方向と垂直な断面（当該光ファイバの断面）において、第 1 クラッドはコアを取り囲む領域であり、第 2 クラッドは、第 1 クラッドを取り囲む領域である。第 1 クラッドは、少なくとも一部が特定波長の光の照射により該一部の屈折率を上昇させる感光性材料を含み、かつ、コアの屈折率より低い屈折率を有する。第 2 クラッドは、コアの屈折率より低くかつ第 1 クラッドの屈折率より高い屈折率を有する。特に、上述の光ファイバのうち、ファイバ軸方向に沿って並んだ異なる 2 点の間に位置する特定区間は、第 1 領域と、第 1 領域を挟むようにファイバ軸方向に沿って配置された一対の第 2 領域と、第 1 領域および一対の第 2 領域の双方を挟むようにファイバ軸方向に沿って配置された一対の第 3 領域と、により構成されている。第 1 領域は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において第 1 のモードフィールド径を有し、かつ、上記断面に対して傾斜した等屈折率面を有する傾斜ブラッググレーティングであって第 1 クラッドに相当する領域内に形成された傾斜ブラッググレーティングを含む。傾斜ブラッググレーティングは、第 1 領域のうち、第 1 クラッドに相当する領域内に設けられている。第 3 領域は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において第 1 のモードフィールド径より小さい第 2 のモードフィールド径を有する。

30

40

【 0 0 1 2 】

なお、上述の第 1 領域、第 2 領域および第 3 領域は、いずれも、コア、第 1 クラッド、および第 2 クラッドにより構成されている（それぞれの領域は、当該光ファイバの断面構造と同じ断面構造を有する）。更に、第 1 領域、第 2 領域および第 3 領域それぞれの外径に関して、ファイバ軸に沿った実質的な変動はない（各領域の外径がファイバ軸に沿って意図的に変更されることはない）。換言すれば、紫外光照射前の光ファイバの構造および

50

組成は、これら第1領域、第2領域および第3領域に亘って一様である。また、傾斜ブラッググレーティングは、感光性材料を含む領域に形成されるため、コアには形成されることなく第1クラッド内に形成される。したがって、傾斜ブラッググレーティングは、コアと第1クラッドとの境界（内側境界）と、第1クラッドと第2クラッドとの境界（外側境界）と、で挟まれた領域内に位置する。なお、第1領域の傾斜ブラッググレーティングは、スラント角 θ （戻り光が最も抑制されるグレーティングの角度を基準として設定される角度）を有する。

【0013】

（2）本開示の一態様として、第1クラッドは、感光性材料として GeO_2 を含むのが好ましい。また、本開示の一態様として、第1クラッドは、感光性材料として B_2O_3 を更に含むのが好ましい。更に、本開示の一態様として、第1クラッドおよび第2クラッドの双方は、F（フッ素元素）を含んでもよい。

10

【0014】

（3）本開示の一態様として、一对の第3領域それぞれにおける第2のモードフィールド径は、 $11.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。また、本開示の一態様として、第1領域における第1のモードフィールド径は、 $12.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。一方、本開示の一態様として、一对の第2領域の一方における波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ でのモードフィールド径は、第1領域の一方の端部から一对の第3領域の一方に向かう方向に沿って徐々に小さくなっている。また、一对の第2領域の他方における波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ でのモードフィールド径は、第1領域の他方の端部から一对の第3領域の他方に向かう方向に沿って徐々に小さくなっているのが好ましい。なお、上述の第1領域、第2領域および第3領域が連続する領域である場合、第1領域と第2領域の境界において、該第2領域のモードフィールド径（波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径）は第1のモードフィールド径に一致している。また、第3領域と第2領域の境界において、該第2領域のモードフィールド径は第2のモードフィールド径に一致している。

20

【0015】

（4）本開示の一態様として、ファイバ軸方向に沿って定義される第1領域の長さは、 10 mm 以上 100 mm 以下であるのが好ましい。更に、本開示の一態様として、第1領域は、ファイバ軸方向に沿って傾斜ブラッググレーティングとは別の位置に配置されたMFD調整用ブラッググレーティングを含んでもよい。この場合、MFD調整用ブラッググレーティングは、ファイバ軸方向に垂直な等屈折率面を有し、かつ、傾斜ブラッググレーティングの損失波長帯域とは異なる波長帯域の光をブラッグ反射させるよう機能する。

30

【0016】

以上、この[本開示の実施形態の説明]の欄に列挙された各態様は、残りの全ての態様のそれぞれに対して、または、これら残りの態様の全ての組み合わせに対して適用可能である。

【0017】

[本開示の実施形態の詳細]

以下、本開示の実施形態に係るSFG（スラント型ファイバグレーティング）の具体的な構造を、添付図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。また、図面の説明において同一の要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。

40

【0018】

利得等化器の高性能化のためには、グレーティングの最大損失量を大きくし、かつ、目標スペクトルに合わせ込める能力（書込み能力）を維持しつつ当該SFGの基本スペクトルの半値全幅 α を小さくすること（基本スペクトルの狭帯域化）が望まれる。

【0019】

SFGの基本スペクトルの狭帯域化のためには、光伝搬方向（ファイバ軸方向）に直交する面（ファイバ断面）に対するグレーティングの角度を小さくする必要がある。ここで

50

、グレーティングの角度とは、LP01モードの光が伝搬する波面に対して、グレーティングの等屈折率面がなす角度である。すなわち、グレーティングの角度が零である場合は、LP01モードの光伝搬波面とグレーティングの等屈折率面とが互いに一致していることを表し、このときのFWHMは最も小さい値となる。ただし、グレーティングで反射された戻り光は、信号光の伝搬方向とは逆方向のLP01モードに結合して伝搬することになる。その結果、EDFAを構成しているEDFに戻り光が戻り、増幅効率/雑音特性の劣化や伝送品質の劣化等に繋がる。したがって、半値全幅 α を小さくできるからと言って、単純にグレーティングの角度を零には出来ない。

【0020】

このグレーティングの等屈折率面を、該グレーティングの角度を大きくする方向へと傾斜させていくと、戻り光は抑制されていく。あるグレーティングの角度でその戻り光が最も抑制され、その角度を原点としてスラント角 θ を定義する(図3、図4Aおよび図4B)。すなわち、 $\theta = 0$ となるスラント角は、戻り光が最も抑制されるグレーティングの角度を意味し、光が伝搬する波面を0度とした場合のグレーティングの角度 $1^\circ \sim 3^\circ$ 程度に相当する。更に、グレーティングの角度を大きくしていくと、再び戻り光は増大していく。図3では、一定間隔の複数の線でグレーティングが示されている。図4Aでは、スラント角 θ (deg)と半値全幅 α (FWHM(nm))の関係が示されている。また、図4Bに示されたように、スラント角 θ が小さくなると、反射減衰量(dB)は増大する。反射減衰量の増大により戻り光が増大すると、EDFAを構成しているEDFに光が戻る。したがって、例えば、スラント角 $\theta = 0$ に対してグレーティングの角度を0.1度程度小さくするのが限度である。

【0021】

以上のことから、SFGの基本スペクトルの半値全幅 α を小さくするためには、スラント角 $\theta = 0$ を実現するグレーティングの角度を小さくする必要がある。なお、光ファイバのモードフィールド径を増大させることで、スラント角 $\theta = 0$ を実現するグレーティングの角度を小さくできることが知られている(特許文献3)。上記特許文献3によれば、SFG領域のモードフィールド径MFD1は $15\mu\text{m}$ 以上であり、それ以外の取り回し領域のモードフィールド径MFD3は耐曲げ損失に強い $12\mu\text{m}$ 以下であることが必要とされている。MFDが異なる二つの光ファイバを損失無く互いに接続するために、モードフィールド径をMFD3からMFD1へと徐々に変換させる必要がある。

【0022】

上記特許文献3では、コアにGeO₂が含まれる光ファイバが用意され、コアに含まれるGeO₂を熱拡散させることにより、モードフィールド径をMFD3からMFD1へと徐々に増大させたMFD変換部を形成する方法が提案されている。しかしながら、この方法では、MFD1領域での感光性材料であるGeO₂濃度は低減することになる。紫外光照射によるグレーティング書込みに必要なGeO₂濃度の閾値は当該濃度のGeO₂による屈折率の増加量の純SiO₂ガラスの屈折率に対する比率で $\Delta 0.35\%$ 以上である。このことから、MFD1領域への周期的な屈折率変調の書込みが困難となり、結果的に、所望の光損失を形成させられない。そこで、MFD3を満たした取り回し領域を有する光ファイバとは別に、書込み深さが保証された光ファイバを用意して、これら二つの光ファイバを融着接続し、その融着接続点を含む一定範囲において熱拡散等によってMFD変換する。

【0023】

しかしながら、特許文献3に開示された方法では、製造工程が増大することによる単価増に加え、融着損失が生じる問題があった。以下に説明する実施形態では、高性能の利得等化器を容易に実現し得るスラント型ファイバグレーティング(SFG)を提供することができる。

【0024】

図5は、傾斜ブラッググレーティングが形成される光ファイバの直径方向に沿った屈折率プロファイルであり、本実施形態のSFGの傾斜ブラッググレーティングは、図5に示

10

20

30

40

50

された屈折率プロファイルを有する光ファイバに形成される。光ファイバ10は、シリカ系ガラスからなる光ファイバであって、コア11と、コア11を取り囲む第1クラッド（光学クラッド）12と、第1クラッド12を取り囲む第2クラッド（ジャケット）13と、を備える。第1クラッド12は、コア11の屈折率より低い屈折率を有する。第2クラッドは、コア11の屈折率より低く、かつ、第1クラッド12の屈折率より高い屈折率を有する。

【0025】

コア11と第1クラッド12との境界は、屈折率の勾配が最大になる位置で定義される。第1クラッド12と第2クラッド13との境界は、第1クラッド12と第2クラッド13との間の屈折率の勾配が最大となる位置で定義される。コア11は、コア中心において比屈折率差 Δn_{core} を有する。第1クラッド12は、 Δn_{core} より小さい比屈折率差 Δn_{clad1} を有する。第2クラッド13は、 Δn_{core} より小さく Δn_{clad1} より大きい比屈折率差 Δn_{clad2} を有する。 Δn_{clad1} は、第1クラッド12内の屈折率プロファイルの近似直線がコア11と第1クラッド12との境界においてとる値である。ここで、第1クラッド12内の屈折率プロファイルの近似直線は、コア11と第1クラッド12との境界から直径方向に沿って外側に1 μ m離れた位置での屈折率と、第2クラッド13と第1クラッド12との境界からコア中心に向かって1 μ m離れた位置での屈折率とを、互いに結んだ直線とする。なお、各部の比屈折率差は、純SiO₂ガラスの屈折率を基準とした値である。

【0026】

第1クラッド12の少なくとも一部は、特定波長の光の照射により屈折率が上昇する感光性材料を含む。第1クラッド12は、感光性材料としてGeO₂を含み、感光性材料としてB₂O₃を更に含んでいてもよい。コア11および第2クラッド13は実質的に感光性材料を含まない。第1クラッド12および第2クラッド13はFを含む。

【0027】

図6は、本実施形態のSFG1の構成を示す図である。SFG1の傾斜ブラッググレーティング21は、一つの光ファイバ10に形成される。SFG1は、ファイバ軸方向に沿って第1領域、第2領域および第3領域に区分される特定区間を有する。この特定区間は、光ファイバ10のうちファイバ軸に沿って両端が定義される区間である。第1領域は真直である。第1領域の両側に一对の第2領域が設けられ、更に一对の第2領域を挟むように一对の第3領域が設けられている。紫外光照射前の光ファイバ10の構造および組成は、これらの三つの領域に亘って一様である。

【0028】

第1領域に、スラント角 θ を有する傾斜ブラッググレーティング21が形成されている。第1領域のモードフィールド径MFD1は、波長1.55 μ mにおいて第3領域のモードフィールド径MFD3より大きい。第3領域のモードフィールド径MFD3は、波長1.55 μ mにおいて11.5 μ m以下であるのが好ましい。第1領域のモードフィールド径MFD1は、波長1.55 μ mにおいて12.0 μ m以上であるのが好ましい。以下の説明において、MFD1およびMFD3は、すべて波長1.55 μ mにおける値である。一对の第2領域それぞれにおけるモードフィールド径は、第1領域の両端から一对の第3領域それぞれに向けて次第に小さくなっているのが好ましい。ファイバ軸方向に沿って定義される第1領域の長さは、10mm以上100mm以下、好ましくは20mm以上80mm以下である。

【0029】

紫外光照射前の光ファイバ10のモードフィールド径はMFD3である。第1領域および第2領域それぞれにおいて紫外光を照射することで、第1領域のモードフィールド径を所望のMFD1とすることができ、また、第2領域のモードフィールド径を第1領域の側から第3領域の側に向けて次第に小さくすることができる。

【0030】

感光性材料を含む領域（第1クラッド12の少なくとも一部）の屈折率は、紫外光照射

10

20

30

40

50

により増大する。コア 1 1 および第 2 クラッド 1 3 が非感光性であるのに対して、第 1 クラッド 1 2 が感光性であるので、紫外光照射により第 1 クラッド 1 2 の屈折率が増大する。これにより、第 1 クラッド 1 2 に対するコア 1 1 の比屈折率差は小さくなり、モードフィールド径は大きくなる。コア 1 1 の比屈折率差は、コア中心位置についてのものである。

【 0 0 3 1 】

第 2 領域に対する紫外線照射では、第 2 領域に対して位相マスクを介さずに紫外光が照射される。その際、紫外線を照射しながら紫外光照射量をファイバ軸方向に沿って変化させることで、第 2 領域のモードフィールド径をファイバ軸方向に沿って M F D 1 から M F D 3 へと次第に変化させることができる。

【 0 0 3 2 】

第 1 領域におけるモードフィールド径 M F D 1 の設定および傾斜ブラッググレーティングの形成の方法は次のとおりである。第 1 領域に対して位相マスクを介さずに紫外光が照射される。このとき、モードフィールド径 M F D 1 を実現するのに必要な紫外光照射量で、ファイバ軸方向に沿って一様に紫外光が照射される。これにより、第 1 領域のモードフィールド径を所望の M F D 1 とすることができる。その後、第 1 領域に対して位相マスクを介して紫外光 (U V g r a t i n g) を照射することで、所定の損失スペクトルを形成するための周期的な屈折率変調である傾斜ブラッググレーティング 2 1 が形成される。

【 0 0 3 3 】

図 7 は、傾斜ブラッググレーティングの形成方法を説明するための図である。光源 3 1 から出力された光は、ミラー 3 2 により反射された後、シリンドリカルレンズ 3 3 および位相マスク 3 4 を順に経て第 1 領域に照射される。光源 3 1 から出力された光は、感光性材料を含む領域の屈折率を増大させることができる波長を有する。ミラー 3 2 への光入射方向はファイバ軸方向に平行である。ミラー 3 2 からの光出射方向はファイバ軸方向に垂直である。シリンドリカルレンズ 3 3 は、ミラー 3 2 から到達した光をファイバ軸方向について収斂させる。位相マスク 3 4 は、第 1 領域に対向する主面に周期構造の溝が形成された略平板状の透明板である。位相マスク 3 4 から出力される + 1 次回折光と - 1 次回折光とが干渉し、その干渉縞に基づいて傾斜ブラッググレーティングが形成される。また、ミラー 3 2 およびシリンドリカルレンズ 3 3 が一体となってファイバ軸方向に沿って移動することで、第 1 領域の所定範囲に亘って傾斜ブラッググレーティングが形成される。

【 0 0 3 4 】

第 1 領域のモードフィールド径とスラント角ゼロを実現するグレーティングの角度との間には相関がある。したがって、第 1 領域のモードフィールド径は、所望のグレーティングの角度 θ_1 に対応した M F D 1 θ_1 であることが必要である。紫外光照射量と M F D 増加量との間の関係が分かれば、原理的には、第 1 領域のモードフィールド径 M F D 1 θ_1 を得るのに必要な紫外光照射量 U V M F D - θ_1 を求めることができる。しかしながら、ファイバ軸方向について光ファイバにおける感光性材料の含有量は厳密には一様でなく、モードフィールド径 M F D 1 θ_1 を得るのに必要な紫外光照射量 U V M F D - θ_1 が異なる。そのため、モードフィールド径 M F D 1 θ_1 を高精度に制御することは困難である。そこで、図 8 に示されたような S F G 1 の構成 (本実施形態に係る S F G 1 の他の構成) が好ましい。

【 0 0 3 5 】

図 8 に示された S F G 1 は、図 6 に示された構成において第 1 領域に更に M F D 調整用ブラッググレーティング 2 2 が形成されている。M F D 調整用ブラッググレーティング 2 2 は、S F G 1 の所定の M F D 1 の製造の途中において第 1 領域のモードフィールド径をモニタするために用意される。M F D 調整用ブラッググレーティング 2 2 は、ファイバ軸方向において傾斜ブラッググレーティング 2 1 とは別の位置に形成されている。M F D 調整用ブラッググレーティング 2 2 は、傾斜ブラッググレーティング 2 1 に対して何れの側に形成されていてもよい。

【 0 0 3 6 】

M F D 調整用ブラッググレーティング 2 2 は、ファイバ軸に垂直な等屈折率面を有する

10

20

30

40

50

。MFD調整用ブラッググレーティング22の等屈折率面は導波光の波面と平行である。MFD調整用ブラッググレーティング22は、傾斜ブラッググレーティング21の損失波長帯域とは異なる波長帯域の光をブラッグ反射する。MFD調整用ブラッググレーティング22の等屈折率面の周期 Λ_1 は、ブラッグ反射させる光の波長帯域の中心波長 λ_1 に対応している。傾斜ブラッググレーティング21の損失波長帯域がCバンドおよびLバンドである場合、この波長帯域との干渉を避けるため、 λ_1 は、 $1.00\mu\text{m}$ 以上 $1.50\mu\text{m}$ 以下の波長帯域または $1.65\mu\text{m}$ 以上 $1.70\mu\text{m}$ 以下の波長帯域が好ましい。

【0037】

紫外光照射量を増大させていくと、第1クラッド12の屈折率は、照射前の n_{clad1} から $n_{clad1}+UV$ へと増大していく。これに伴い、モードフィールド径は、照射前のMFD3からMFD1へと増大していく。光ファイバ10において第1クラッド12のみが感光性材料を含んでいるので、傾斜ブラッググレーティング21と同様に、MFD調整用ブラッググレーティング22は第1クラッド12に書き込まれる。MFDの増大は、MFD調整用ブラッググレーティング22が書き込まれている第1クラッド12へ光が染み出していくことに相当する。すなわち、モードフィールド径が増大すると、ブラッグ波長 λ_1 の進行方向とは逆の方向の戻り光の光量が増大していくことになる。この波長 λ_1 の戻り光の光量をモニタリングすることで、所定のMFD1 θ_1 を精度よく形成することができる。

【0038】

第2領域の、ファイバ軸方向に沿ったモードフィールド径分布は、該ファイバ軸方向に沿って紫外線照射量を変化させることにより実現される。具体的には、第1領域と第2領域の境界ではMFD1 θ_1 を実現するのに必要な紫外光照射量が調整され、第3領域と第2領域の境界では紫外光照射量が0に調整される。ミラー32およびシリンドリカルレンズ33を一体的にファイバ軸方向に移動させながら紫外線照射量を調整することで、上述のような所望のモードフィールド径分布が得られる。

【0039】

以上の説明では、第1領域におけるモードフィールド径MFD1の設定と傾斜ブラッググレーティングの形成とは、別工程で行われた。これに対して、第1領域におけるモードフィールド径MFD1の設定と傾斜ブラッググレーティングの形成とを同時に行うこともできる。これについて以下に説明する。

【0040】

図7において、位相マスク34から出力される ± 1 次回折光による干渉縞における光強度分布は、光ファイバ10と位相マスク34との間の距離に応じた大きさのバイアスおよび変調度を有する。この距離が長いほど、バイアスが大きくなり、変調度が小さくなる。この距離を更に長くすると、変調度が0となり、一般的に遠視野像で観察される回折光が観測されてバイアス成分のみとなる。この距離を調整することで、バイアスの大きさと変調度の大きさとの比を調整することができる。すなわち、光ファイバ10と位相マスク34との間の距離を調整することで、干渉縞のバイアスの大きさに応じてモードフィールド径を増大させることができ、かつ、干渉縞の変調度の大きさに応じて傾斜ブラッググレーティング21を形成することができる。

【0041】

第1領域のモードフィールド径MFD1が大きいほど、傾斜ブラッググレーティング21のスラント角 $\theta = 0$ を実現するグレーティングの角度(LP01モードの光伝搬波面とグレーティングの等屈折率面のなす角度)は小さくなり、基本スペクトルの半値全幅 α は小さくなる。MFD1の条件下で、スラント角 $\theta = 0$ となるグレーティングの角度は、5度以下であり、好ましくは3度以下であり、最適は1.5度以下である。また、基本スペクトルの半値全幅 α は、2.5nm以下であり、好ましくは2.0nm以下であり、最適は1.5nm以下である。

【0042】

次に、基本スペクトルの半値全幅 α の縮小と上述の高いグレーティング書込み能力とを

10

20

30

40

50

両立することができる光ファイバ構造について説明する。第1クラッド12のみが感光性材料を含む光ファイバ10において、グレーティング書込み能力の支配因子は、第1クラッド12の少なくとも一部が含む感光性材料の種類および含有量、ならびに、第1クラッド12への導波光の染み出し量の割合である。なお、図3には、第1クラッド12全体感光性材料が含まれる例が示されている。

【0043】

光ファイバ10において、感光性材料は、 GeO_2 であるのが好ましく、 GeO_2 および B_2O_3 の共添加であるのも好ましい。また、第1クラッド12および第2クラッド13は、Fを含むのも好ましい。

【0044】

第3領域のモードフィールド径 MFD_3 は、 $8\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $11.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。また、第1領域のモードフィールド径 MFD_1 は $12\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $22\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。

【0045】

上述のように、第1領域のモードフィールド径を MFD_1 とするための紫外光($\text{UV}_{\text{MFD}_1-\theta_1}$)、および、グレーティング形成用の紫外光($\text{UV}_{\text{grating}}$)が必要である。モードフィールド径を MFD_1 とするための紫外光($\text{UV}_{\text{MFD}_1-\theta_1}$)の照射により増大した比屈折率差を $\Delta n_{\text{clad}1+\text{uv}}$ とし、グレーティング形成用の紫外光($\text{UV}_{\text{grating}}$)の照射により増大した比屈折率差を $\Delta n_{\text{grating}}$ とすると、形成されるグレーティングの屈折率の増加量は $\Delta n_{\text{clad}1+\text{uv}} + \Delta n_{\text{grating}}$ となる。よって、 $\Delta n_{\text{clad}1+\text{uv}} + \Delta n_{\text{grating}}$ の形成に必要な感光性材料の適正含有量が存在する。

【0046】

例えば、第1クラッド12の GeO_2 含有量が当該濃度の GeO_2 による屈折率の増加量 Δn_g の純 SiO_2 ガラスの屈折率に対する比率で 0.35% 未満になると、 $\Delta n_{\text{clad}1+\text{uv}} + \Delta n_{\text{grating}}$ の形成は困難になる。そのため、第1クラッド12の GeO_2 含有量は、 0.35% 以上である必要があり、好ましくは 0.40% 以上、更に好ましくは 0.45% 以上である。 B_2O_3 と GeO_2 との共添加も有効であり、 B_2O_3 の添加量は、当該濃度の GeO_2 による屈折率の増加量 Δn_g の純 SiO_2 ガラスの屈折率に対する比率で -0.20% 以下、好ましくは -0.30% 以下、更に好ましくは -0.40% 以下である。共添加の GeO_2 の添加量は、上述のように屈折率の増加量 Δn_g の純 SiO_2 ガラスの屈折率に対する比率で 0.35% 以上、好ましくは 0.40% 以上、更に好ましくは 0.45% 以上である。

【0047】

第3領域の光ファイバ構造では、 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波長帯における導波光の第1クラッド12への染み出し量の割合は、 10% 以上 40% 未満、好ましくは 15% 以上 35% 未満、更に好ましくは 20% 以上 30% 未満である。グレーティング構造を形成する第1領域では、 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波長帯における染み出し量の割合は、 30% 以上 80% 以下、好ましくは 35% 以上 75% 以下、更に好ましくは 40% 以上 70% 以下である。

【0048】

代表的なコア11の直径は、 $7.5\text{ }\mu\text{m}\phi$ 以上 $9.5\text{ }\mu\text{m}\phi$ 以下である。コア11の比屈折率差 Δn は、 0.25 以上 0.40% 以下である。第1クラッド12の屈折率プロファイルの傾斜の大分類は、コア中心から第2クラッドの方向に向かって上昇するケース、下降するケース、平坦の3タイプである。上昇および下降のケースは、線形および非線形のいずれでもよく、あるいは、階段状であってもよい。重要なことは、上述の第1クラッド12への導波光の染み出し量の割合を遵守した光ファイバ構造が設計されればよい。

【0049】

コア11の半径 r_{core} と第1クラッド12の半径 r_{clad} との比($r_{\text{clad}}/r_{\text{core}}$)は、 3.0 以上 4.0 以下であるのが好ましい。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

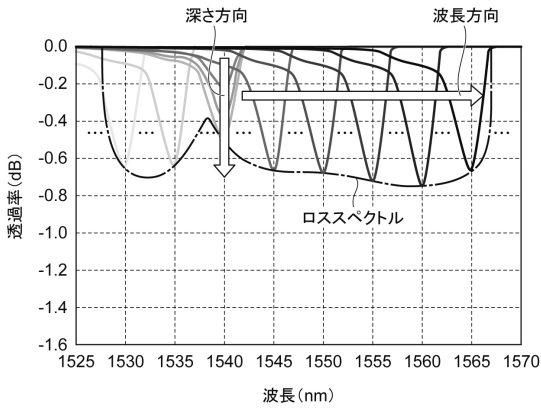
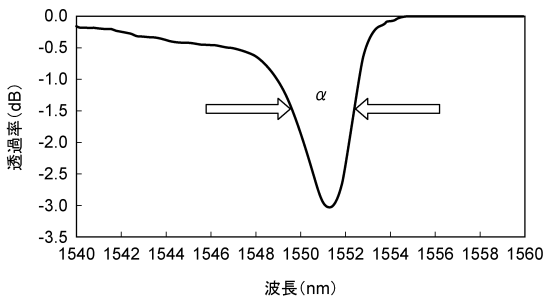
【 0 0 5 0 】

1 ... S F G (スラント型ファイバグレーティング)、1 0 ... 光ファイバ、1 1 ... コア、
1 2 ... 第1クラッド(光学クラッド)、1 3 ... 第2クラッド(ジャケット)、2 1 ... 傾斜
ブラッググレーティング、2 2 ... M F D調整用ブラッググレーティング、3 1 ... 光源、3
2 ... ミラー、3 3 ... シリンドリカルレンズ、3 4 ... 位相マスク。

【 図 面 】

【 図 1 】

【 図 2 】



10

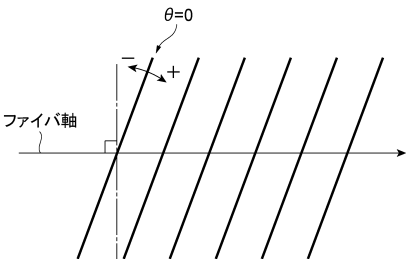
20

30

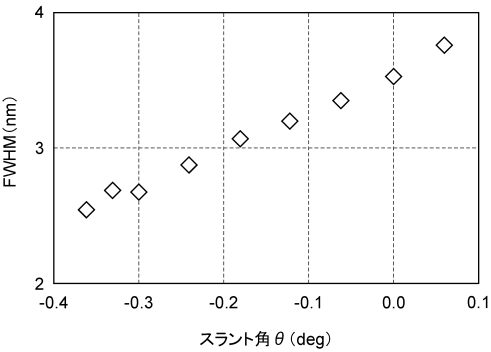
40

50

【図 3】



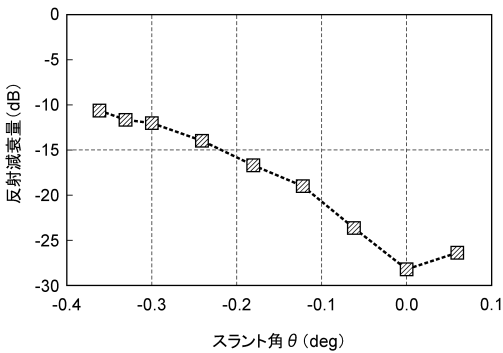
【図 4 A】



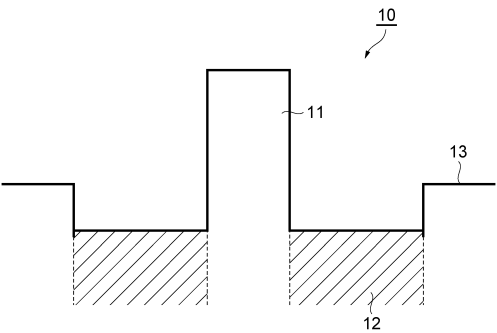
10

20

【図 4 B】



【図 5】

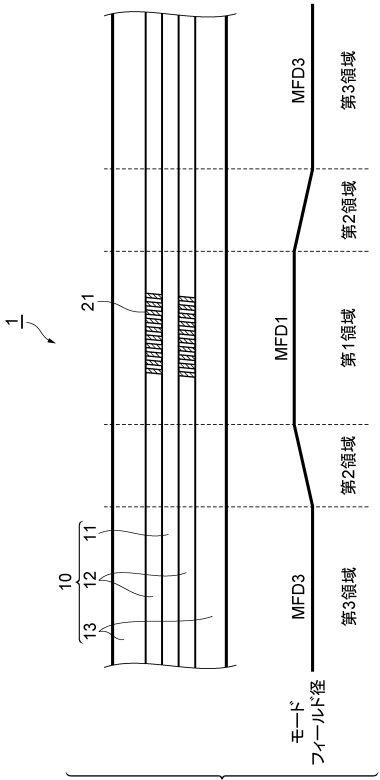


30

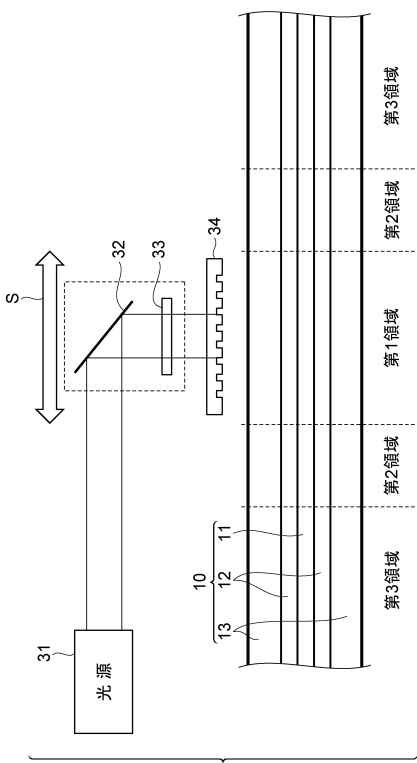
40

50

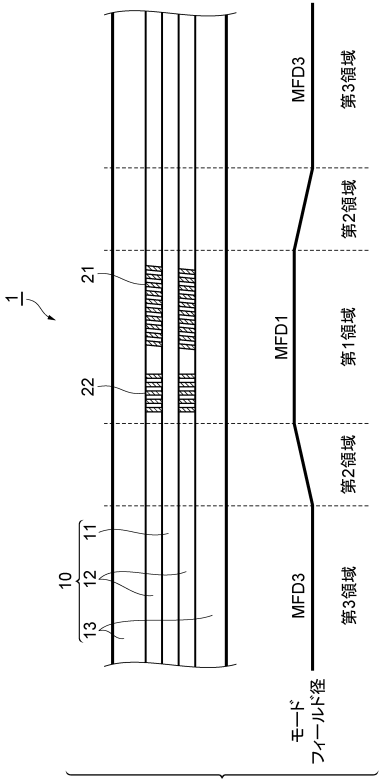
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 塩▲崎▼ 学
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内
- (72)発明者 衣笠 淳
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内
- (72)発明者 長谷川 健美
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内
- 審査官 岸 智史
- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 0 8 1 0 3 2 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 0 7 5 6 4 7 (J P , A)
特開平 0 8 - 2 8 6 0 6 1 (J P , A)
国際公開第 0 3 / 0 9 3 8 8 7 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 7 / 0 7 3 6 7 0 (W O , A 1)
特開 2 0 0 3 - 2 0 2 4 3 4 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 0 0 4 9 5 7 (J P , A)
特表 2 0 0 1 - 5 2 4 6 8 9 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 0 3 4 3 6 8 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 2 B 6 / 0 2、6 / 0 3 6