

(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
2012 年 10 月 26 日(26.10.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/144273 A1

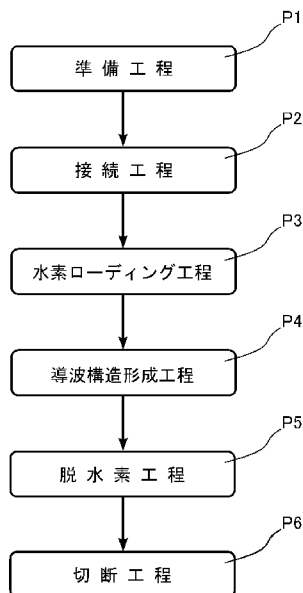
- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01) *G02B 6/26* (2006.01)
C03C 13/04 (2006.01) *H01S 3/067* (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01) *H01S 3/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/054662
- (22) 国際出願日: 2012 年 2 月 24 日(24.02.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-095707 2011 年 4 月 22 日(22.04.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 阪本 真一 (SAKAMOTO Shinichi) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 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.); 〒1010031 東京都千代田区東神田一丁目 5 番 6 号 東神田MK第5ビル6F 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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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),

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL EMISSION END CAP MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 光出射用エンドキャップの製造方法

【図4】



- P1 Preparation step
P2 Connection step
P3 Hydrogen loading step
P4 Waveguide structure forming step
P5 Hydrogen removal step
P6 Cutting step

(57) Abstract: An objective of the present invention is to provide an optical emission end cap manufacturing method whereby it is possible to emit laser light of a desired emission shape. An optical emission end cap manufacturing method comprises: a preparation step (P1) which prepares a glass rod (100) having a core (110) refraction which is less than or equal to a cladding (120) refraction, and wherein a dopant is added in the core (110) whereby the refraction is increased greater than the cladding (120) with ultraviolet light, and which prepares an optical fiber (200) having a core (210) wherein a dopant is added such that the refraction does not increase beyond the core (110) when ultraviolet light is illuminated thereon; a connection step (P2) wherein the glass rod (100) is connected to the optical fiber (200); and a waveguide structure forming step (P4) of inputting light from the optical fiber (200) into the glass rod (100), and illuminating one of the end part sides of the glass rod (100) with ultraviolet light while observing the light which is outputted from the glass rod (100), to form a waveguide structure only on the one of the end part (151) sides of the glass rod (100).

(57) 要約: 所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光出射用エンドキャップの製造方法を提供することを目的とする。光出射用エンドキャップの製造方法は、コア110の屈折率がクラッド120の屈折率以下であり、コア110には、紫外線によりクラッド120より屈折率が上昇するドーパントが添加されたガラスロッド100、及び、紫外線が照射される場合にコア110よりも屈折率が上昇しないドーパントが添加されるコア210を有する光ファイバ200を準備する準備工程P1と、ガラスロッド100と、光ファイバ200とを接続する接続工程P2と、光ファイバ200からガラスロッド100に光を入力して、ガラスロッド100から出力する光を観察しながら、ガラスロッド100の一方の端部側に紫外線を照射して、ガラスロッド100の一方の端部151側のみに導波構造を形成する導波構造形成工程P4とを備える。

WO 2012/144273 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：光出射用エンドキャップの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、所望の出射形状の光を出射することができる光出射用エンドキャップの製造方法に関する。

背景技術

[0002] レーザ装置の一つとして、ファイバレーザ装置が知られている。ファイバレーザ装置は、希土類元素が添加された増幅用光ファイバを備え、この増幅用光ファイバにより光が増幅されて、増幅された光が増幅用光ファイバの端部から出力する。

[0003] このようなファイバレーザ装置においては、増幅用光ファイバの端部において光のパワー密度が高いため、増幅用光ファイバの端部に損傷が生じる場合がある。この損傷を防ぐために、出力端において光のパワー密度を下げて出力するファイバレーザ装置が知られている。

[0004] 下記特許文献1には、このようなファイバレーザ装置が記載されている。特許文献1（F i g . 4）に記載のファイバレーザ装置においては、増幅用光ファイバの端部に増幅用光ファイバのコアよりも直径の太いガラスロッドから成る光出射用エンドキャップ（以下、単にエンドキャップと呼ぶ場合がある。）が融着されている。そして、増幅用光ファイバで増幅された光は、増幅用光ファイバからエンドキャップに入力する。エンドキャップに入力した光は、増幅用光ファイバが有する開口数に応じて直径が広げられた後、エンドキャップの端部から出力する。このように、光の直径が広げられることで、エンドキャップの出力端における光の出力密度が下げられる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：米国特許第7， 1 9 0， 5 1 1 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上述のように上記特許文献1に記載のファイバレーザ装置は、増幅用光ファイバの端部にガラスロッドから成るエンドキャップの端部が融着されている。しかし、増幅用光ファイバのエンドキャップが融着される端部は、端面で反射した光が、増幅用光ファイバのコアに入力しないように、増幅用光ファイバの軸に沿った方向に対して垂直な面上から傾斜されて形成される場合がある。このような増幅用光ファイバに対してエンドキャップを融着すると、増幅用光ファイバとエンドキャップは、それぞれの軸方向が直線上に並んだ状態で融着されづらい。従って、増幅用光ファイバの軸方向に対してエンドキャップの軸方向が斜めの状態とされ、増幅用光ファイバとエンドキャップとが融着されることがある。このように増幅用光ファイバの軸方向に対してエンドキャップの軸方向が斜めであると、増幅用光ファイバからエンドキャップに入力する光は、エンドキャップ内においてエンドキャップの軸に沿った方向に進まない。従って、光の直径が十分に広がる前に光の一部がエンドキャップの側面に到達して、光の一部がエンドキャップの側面で乱反射してしまうこと等がある。こうして所望の出射形状の光を得ることができない場合がある。

[0007] そこで、本発明者は、入力端側において軸方向に沿った導波構造が形成され、出力端側においてこの導波構造が形成されないガラスロッドを備えるエンドキャップを用いれば、所望の出射形状の光を得られると考えた。つまり、ガラスロッドの軸方向に対して傾斜して光が入力する場合においても、入力端側の導波構造により、ガラスロッドの軸方向に沿って光が進む。そして、ガラスロッドの出力端側においては、導波構造が形成されていないため、自由伝播領域となり、光の開口数（NA：Numerical Aperture）に従って光のビーム径が大きくなる。この光は、ガラスロッドの中心軸に沿って伝播しているため、光の直径が広がっても、光がガラスロッドの中心軸に対して斜めに進む場合と比べて、光の一部がガラスロッドの側面で反射することが防止される。従って、このような出射用素子を用いることにより、所望の出射

形状の光を出射することができる。

[0008] このようなガラスロッドを有するエンドキャップを製造するには、ガラスロッドのコアとなる部分に酸化ゲルマニウム等といった屈折率が高くなるドーパントを加えたガラスロッドを用いて、このガラスロッドの入力端側に紫外線を照射することにより、入力端側におけるドーパントが添加された領域の屈折率を上げて、導波構造を形成すれば良い。導波構造を形成する際、入力端側におけるドーパントが添加された領域の屈折率を適切に高くし、適切に紫外線の照射を止める必要があるため、オンラインモニタを使用して導波路を形成することが望ましい。

[0009] オンラインモニタは、ガラスロッドの入力端に光ファイバを接続し、この光ファイバからガラスロッドにモニタ用の光を入力して、ガラスロッドの出力端から出力する光を観察するものである。従って、ガラスロッドに光ファイバが接続された状態で、紫外線が照射される。この状態でガラスロッドの入力端側のみに紫外線を照射することは困難であり、この紫外線は光ファイバの出力端にも照射される傾向がある。

[0010] しかし、一般的な光ファイバは、コアに酸化ゲルマニウムが添加されているため、ガラスロッドに紫外線を照射すると、上述のように光ファイバにも紫外線が照射され、ガラスロッドのコアの屈折率の上昇と共に、光ファイバのコアの屈折率が更に上昇し、コアのクラッドに対する比屈折率差が大きくなる。このため、光ファイバを伝播する光のモードフィールド径 (MFD) が小さくなると共に、光のNAが大きくなる。従って、光ファイバからガラスロッドに入力する光はNAが大きく、直径が広がり易い。このような状況において、オンラインモニタで光を観察して、適切な光の広がりとなった時点で紫外線の照射を止めても、屈折率が設計値よりも高い光ファイバから出力する光に合わせて、ガラスロッドの導波構造が形成されてしまう。従って、エンドキャップがファイバレーザ装置等に用いられる場合に、設計値と異なる出射形状のレーザ光が出力することがある。

[0011] そこで、本発明は、所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光

出射用エンドキャップの製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 上記課題を解決するために、本発明の光出射用エンドキャップの製造方法は、クラッド及び前記クラッドの中心軸に沿って形成されるコアを有し、前記コアの屈折率が前記クラッドの屈折率以下であり、前記コアには、紫外線が照射されると前記クラッドよりも屈折率が上昇するドーパントが添加されたガラスロッドを準備すると共に、紫外線が照射される場合に前記ガラスロッドの前記コアよりも屈折率が上昇しないドーパントが添加されることで屈折率が高くされたコア及びクラッドを有する光ファイバを準備する準備工程と、前記ガラスロッドの前記コアの軸と前記光ファイバの前記コアの軸とを合わせて、前記ガラスロッドの一方の端部と、前記光ファイバの一方の端部とを接続する接続工程と、前記光ファイバの前記コアから前記ガラスロッドの前記コアに光を入力して、前記ガラスロッドから出力する光を観察しながら、前記ガラスロッドの前記一方の端部側に紫外線を照射して、前記ガラスロッドの前記一方の端部側のみに導波構造を形成する導波構造形成工程と、を備えることを特徴とするものである。

[0013] コアの屈折率がクラッドの屈折率以下のガラスロッドにおいては、導波構造が形成されていない。そして、このガラスロッドのコアには、紫外線が照射されると屈折率が高くなるドーパントが添加され、ガラスロッドの一方の端部側に紫外線を照射することで、ガラスロッドの一方の端部側にのみ導波構造を形成する。こうして、本発明の光出射用エンドキャップの製造方法によれば、一方の端部側に導波構造が形成された光出射用エンドキャップを製造することができる。従って、このような光出射用エンドキャップによれば、一方の端部を光の入力面とし、他方の端部を光の出力面とすることにより、ガラスロッドの軸方向に対して斜めに光が入力する場合においても、ガラスロッドの軸方向（クラッドの軸方向）に光を伝播することができる。そしてガラスロッドの出力面側には、導波構造が形成されていないため、ガラスロッドの入力面側において、コアを伝播する光は、出力面側において、直径

が広がり、他方の端部から出射する。

[0014] この導波構造を形成する工程においては、紫外線が照射される場合にガラスロッドのコアよりも屈折率が上昇しないドーパントにより屈折率が高くされたコアを有する光ファイバが接続されており、この光ファイバからガラスロッドに光を入力して、この光を観察しながら、ガラスロッドに紫外線を照射する。つまり、オンラインモニタを使用して紫外線を照射する。上述のようにガラスロッドの入力面側に紫外線を照射する場合、紫外線は、ガラスロッドに接続された光ファイバにも照射される傾向がある。しかし、本発明の光出射用エンドキャップの製造方法によれば、ガラスロッドに接続される光ファイバのコアは、紫外線が照射される場合においても、光ファイバのコアの屈折率は、ガラスロッドのコアの屈折率と同様には上昇しない。つまり、この光ファイバのコアには、添加するのみで屈折率が高くなり、添加後に紫外線が照射される場合においても屈折率が上昇することが抑制されたドーパントが添加されているので、ガラスロッドに紫外線を照射して導波構造を形成する際に、光ファイバに紫外線が照射されても、光ファイバの光学的性質の変化を抑制することができ、光ファイバからガラスロッドに入力する光に変化が生じることを抑制することができる。このため、オンラインモニタを使用して光を観察しながら紫外線を照射し、適切な導波構造をガラスロッドに形成することができる。

[0015] 従って、本発明の光出射用エンドキャップの製造方法によれば、所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光出射用エンドキャップを製造することができる。

[0016] なお、ガラスロッドに接続した光ファイバは、そのままレーザ出力用の光ファイバとして使用しても良く、ガラスロッドを光ファイバから切り離して、光出射用エンドキャップとし、光出射用エンドキャップを他の光ファイバに接続して使用しても良い。ガラスロッドを光ファイバから切り離すには、前記導波構造形成工程の後に前記光ファイバと前記ガラスロッドとを切断する切断工程を更に備えれば良い。

[0017] また、ガラスロッドに導波構造を形成する際、ガラスロッドに水素ローディングが施されていることが、より適切にガラスロッドに導波構造を形成することができる観点から好ましい。しかし、水素ローディングを施すと、条件によって、ガラスロッドと光ファイバとを接続することが困難になる場合がある。そこで、前記接続工程と前記導波構造形成工程の間において、前記ガラスロッドに対して水素ローディングを行う水素ローディング工程を更に備えれば良い。

[0018] 前記光ファイバの前記コアに添加されるドーパントは、酸化アルミニウム、五酸化ニリン、酸化チタンの少なくとも1つであり、前記ガラスロッドの前記コアに添加されるドーパントは、酸化ゲルマニウムであることが好ましい。

[0019] 紫外線が照射される場合に、五酸化ニリン、酸化チタンが添加される石英は、酸化ゲルマニウムが添加される石英の1/10より小さい屈折率上昇しか生じなく、このような屈折率上昇の差がある場合は、ガラスロッドのコアの屈折率を十分に上昇する場合においても、オンラインモニタを行う上で、光ファイバのコアの屈折率の上昇による影響を無視することができる。また、紫外線が照射される場合に、酸化アルミニウムが添加される石英は、酸化ゲルマニウムが添加される石英の1/100より小さい屈折率上昇しか生じないため、より所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光出射用エンドキャップを製造することができる観点から、前記光ファイバの前記コアに添加されるドーパントは、酸化アルミニウムであることがより好ましい。

[0020] 或いは、前記光ファイバの前記コアに添加されるドーパントは、酸化アルミニウムであり、前記ガラスロッドの前記コアに添加されるドーパントは、五酸化ニリンであることとしても良い。

発明の効果

[0021] 以上の様に、本発明によれば、所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光出射用エンドキャップの製造方法が提供される。

図面の簡単な説明

- [0022] [図1]本発明の実施形態に係るファイバレーザ装置を示す図である。
- [図2]図1に示す増幅用光ファイバの長手方向に垂直な方向の断面における構造を示す断面図である。
- [図3]図1に示すガラスロッドの様子を示す図である。
- [図4]光出射用エンドキャップの製造方法の工程を示すフローチャートである。
- [図5]ダミーファイバの長手方向に垂直な方向の断面における構造を示す断面図である。
- [図6]接続工程後の様子を示す図である。
- [図7]導波構造形成工程の様子を模式的に示す図である。
- [図8]ガラスロッドに紫外線を照射する時間とコアとクラッドの屈折率上昇を示すプロファイルを示す図である。
- [図9]本発明の光出射用エンドキャップの製造方法により製造される光出射用エンドキャップの他の形態を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0023] 以下、本発明に係る光出射用エンドキャップの製造方法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] 図1は、本実施形態に係るエンドキャップの製造方法により製造されたエンドキャップを用いたファイバレーザ装置を示す図である。
- [0025] 図1に示すように、ファイバレーザ装置1は、種光を出力する種光源10と励起光を出力する励起光源20と、種光を増幅する増幅用光ファイバ30と、種光及び励起光を増幅用光ファイバ30に入力する光コンバイナ40と、増幅用光ファイバ30から出力する光が入力するエンドキャップとしてのガラスロッド100とを主な構成要素として備える。
- [0026] 種光源10は、ファブリペロー型やファイバーリング型のファイバレーザ装置から構成されており、種光を出力する。種光は、パルス光や連続光であり、後述の様に増幅用光ファイバ30のコアに添加される活性元素がイッテ

ルビウム（Yb）である場合、例えば、波長が1064nmである。種光源10から出力する種光は、種光源10に接続された種光用ファイバ15を伝播する。種光用ファイバ15は、例えば、シングルモードファイバから成り、この場合、種光用ファイバ15に入力する種光は、シングルモードで種光用ファイバを伝播する。

[0027] 励起光源20は、複数のレーザダイオード（LD）から構成されている。励起光源20からは、上述のように、増幅用光ファイバ30のコアに添加される活性元素がイッテルビウム（Yb）である場合、例えば、波長が976nmの励起光を出力する。励起光源から出力する励起光は、励起光源に接続された励起用ファイバ25を伝播する。励起用ファイバ25は、例えば、マルチモードファイバから成り、この場合、励起用ファイバ25に入力した励起光は、マルチモードで励起用ファイバ25を伝播する。

[0028] 図2は、増幅用光ファイバ30の長手方向に垂直な断面の構造を示す図である。図2に示すように、増幅用光ファイバ30は、コア31と、コア31を囲むクラッド32と、クラッド32を囲む外部クラッド33と、外部クラッド33を被覆する被覆層34とから構成される。クラッド32の屈折率はコア31の屈折率よりも低く、外部クラッド33の屈折率はクラッド32の屈折率よりもさらに低くされている。コア31の直径は、例えば、9 μ mとされ、クラッド32の外径は、例えば、120 μ mとされ、樹脂クラッドの外径は、例えば、250 μ mとされる。このような、コア31を構成する材料としては、例えば、屈折率を上昇させる酸化ゲルマニウム等の元素、及び、励起光源20から出力される励起光により励起され、種光源から出力される所定の波長の種光と同じ波長の光を誘導放出可能なイッテルビウム（Yb）等の活性元素が添加された石英が挙げられる。このような活性元素としては、希土類元素が挙げられ、希土類元素としては、上記Ybの他にエルビウム（Er）、ツリウム（Tm）、セリウム（Ce）、ネオジウム（Nd）、ユーロピウム（Eu）等が挙げられる。さらに活性元素として、希土類元素の他に、ビスマス（Bi）等が挙げられる。また、クラッド32を構成する

材料としては、例えば、何らドーパントが添加されていない純粋石英が挙げられる。また、外部クラッド 33 を構成する材料としては、例えば、紫外線硬化樹脂やフッ素が添加された石英等が挙げられ、被覆層 34 を構成する材料としては、例えば、紫外線硬化樹脂が挙げられ、外部クラッド 33 を構成する材料が紫外線硬化樹脂である場合、外部クラッド 33 を構成する紫外線硬化樹脂と、被覆層 34 を構成する紫外線硬化樹脂とは、互いに異なる種類とされる。

[0029] 光コンバイナ 40 は、種光源 10 と接続される種光用ファイバ 15 及び励起光源 20 と接続される励起用ファイバ 25 と、増幅用光ファイバ 30 とが融着されることにより構成される。具体的には、種光用ファイバ 15 のコアの中心軸と、増幅用光ファイバ 30 のコア 31 の中心軸とが、長手方向に並ぶように位置が合わされて、増幅用光ファイバ 30 の端部と種光用ファイバ 15 の端部とが端面接続されている。さらに、励起用ファイバ 25 のコアと増幅用光ファイバ 30 のクラッド 32 とが長手方向に並ぶように位置が合わされて、増幅用光ファイバ 30 の端部と励起用ファイバ 25 の端部とが端面接続されている。なお、励起用ファイバ 25 が複数である場合には、種光用ファイバ 15 は、複数の励起用ファイバ 25 により側面が囲まれるようにして、増幅用光ファイバ 30 と接続される。そして、光コンバイナ 40 においては、種光源 10 からの種光、及び、励起光源 20 からの励起光が、増幅用光ファイバ 30 に入力する。

[0030] また、増幅用光ファイバ 30 の光コンバイナ 40 側と反対側の端部は、ガラスロッド 100 に融着されている。

[0031] 図 3 は、図 1 に示すガラスロッド 100 の様子を示す図である。具体的には、図 3 (A) は、ガラスロッド 100 を側面から見た図であり、図 3 (B) は、ガラスロッド 100 の屈折率分布の様子を示す図である。

[0032] ガラスロッド 100 は、一方の端部である入力端 151、及び、他方の端部である出力端 152 を有する円柱状の形状をしている。また、ガラスロッド 100 は、コア 110 と、コア 110 を囲むクラッド 120 とから構成さ

れ、コア110は、クラッド120の中心軸、すなわちガラスロッド100の中心軸に沿って形成されている。

[0033] このガラスロッド100の入力端151には、増幅用光ファイバ30の端部35が融着されている。具体的には、増幅用光ファイバ30のコア31とガラスロッドのコア110とがガラスロッド100の長手方向に重なるようにされて、増幅用光ファイバ30の出力端35がガラスロッドの入力端151に融着されている。なお、図3(A)においては、被覆層34が省略されている。

[0034] また、ガラスロッド100の直径は、増幅用光ファイバ30のコア31の直径よりも大きくされ、本実施形態におけるガラスロッド100の直径は、増幅用光ファイバ30のクラッド32の直径よりも大きくされている。ガラスロッド100は、例えば、上述のように増幅用光ファイバ30のコア31の直径が $30\mu\text{m}$ であり、クラッド32の直径が $400\mu\text{m}$ である場合、直径が $400\mu\text{m}$ 以上とされ、長さは、例えば、伝播モードの開口数が0.1であり、上記の様にクラッド径が $400\mu\text{m}$ の場合、 $1.5\text{mm}\sim 2.0\text{mm}$ とされる。また、コア110の直径は増幅用光ファイバ30のコアの直径と等しいことが光を伝播する観点から好ましい。

[0035] 本実施形態におけるガラスロッド100は、長手方向に3つの領域に分かれており、本説明において、ガラスロッド100の入力端151から順に領域101、領域102、領域103とする。

[0036] 領域101は、所定の長さ L_1 とされる。そして、図3(B)に示すように、領域101においては、コア110の屈折率 n_{11} は、クラッド120の屈折率 n_{21} よりも高くされており、コア110の屈折率 n_{11} 及びクラッド120の屈折率 n_{21} は、共に一定とされている。この領域101の長さ L_1 は、仮に増幅用光ファイバ30の伝播モードのNAが0.1であり、コア110の直径が $30\mu\text{m}$ である場合、 0.3mm 以上あることが、光の角度補正の観点から好ましい。

[0037] また、領域102は、所定の長さ L_2 とされる。そして、図3(B)に示

すように、領域102においては、入力端151側から出力端152側に向って、コア110の屈折率 n_{12} が徐々に低くされている。また、クラッド120の屈折率 n_{22} は、入力端151側から出力端152側に向って、僅かに小さくなるが、略一定とされている。そして、領域102におけるコア110の屈折率 n_{12} は、領域102の最も入力端151側において、コア110の領域101における屈折率 n_{11} と等しい構成とされ、クラッド120の屈折率 n_{22} に対して高い屈折率とされている。そして、領域102において出力端152側に向うに従って、コア110とクラッド120との屈折率差が徐々に小さくなり、領域102の最も出力端152側においては、コア110の屈折率 n_{12} とクラッド120の屈折率 n_{22} とが同等の屈折率とされている。また、この領域102の長さ L_2 は、ガラスロッド100に入力する光の波長よりも長いことが好ましく、さらにこの光の波長の2倍以上であることが、光のフレネル反射光抑圧の観点から好ましい。

[0038] また、領域102と隣り合い出力端152まで延びる領域103においては、コア110とクラッド120との屈折率差がなく、互いに等しい屈折率とされている。この領域103の長さ L_3 は、下限は領域101のNAと出射端で許容されるパワー密度、上限は領域101のNAとガラスロッド100の外径によって決定される。

[0039] 例えば、上述のように増幅用光ファイバ30から出力される光の波長が1064nmで、NAが0.1である場合、例えば、このガラスロッド100の領域101の長さ L_1 は0.3mm以上とされ、領域102の長さ L_2 は2 μ m以上とされ、領域103は、例えば1.5mm~2.0mmとされる。また、ガラスロッド100に用いられる材料としては、例えば、コア110の材料として酸化ゲルマニウム(GeO_2)が添加された石英が挙げられ、クラッド120の材料として酸化アルミニウム(Al_2O_3)が添加された石英が挙げられる。

[0040] 次に、ファイバレーザ装置1のレーザ光の出力について説明する。

[0041] まず、種光源10から種光が出力すると共に励起光源20から励起光が出

力する。種光源 10 から出力する種光は、種光用ファイバ 15 を伝播し、励起光源 20 から出力する励起光は、励起用ファイバ 25 を伝播する。そして、種光及び励起光は、光コンバイナ 40 において増幅用光ファイバ 30 に入力する。増幅用光ファイバ 30 に入力した種光は、増幅用光ファイバ 30 のコア 31 を伝播し、励起光は、増幅用光ファイバ 30 のクラッド 32 を主に伝播する。そして、励起光がコア 31 を通過する際、励起光の一部は、コア 31 に添加される活性元素に吸収されて、活性元素は励起状態とされる。そして、励起状態とされた活性元素は、種光による誘導放出を起こして種光の強度を増幅する。こうして、増幅された種光は、出力光として増幅用光ファイバ 30 の端部 35 から出力する。

[0042] 増幅用光ファイバ 30 の端部 35 から出力された出力光は、ガラスロッド 100 のコア 110 に入力する。このとき、増幅用光ファイバ 30 の端部 35 が、増幅用光ファイバ 30 の中心軸に対して垂直となっておらず、ガラスロッド 100 の中心軸と増幅用光ファイバ 30 の中心軸とが、互いに斜めとされた状態で、増幅用光ファイバ 30 とガラスロッド 100 とが融着されている場合がある。このような場合においても、増幅用光ファイバ 30 の端部 35 から出力する出力光は、ガラスロッド 100 のコア 110 を伝播する。

[0043] コア 110 を伝播するレーザ光は、領域 101 においてコア 110 を伝播する。そして、領域 102 においては、コア 110 とクラッド 120 との屈折率差が徐々に小さくなるため、NA の大きな光から順にコア 110 からクラッド 120 に伝播するようになる。こうして、コア 110 を伝播するレーザ光は、領域 102 を伝播するにしたがい徐々にクラッド 120 に広がり始める。そして、領域 103 においては、コア 110 とクラッド 120 との屈折率が等しいため、出力光の NA に従って出力光のビーム径が大きくなる。

[0044] なお、本実施形態においては、領域 102 の長さ L_2 が出力光の波長よりも長く形成されており、領域 102 のコア領域の屈折率が領域 102 のクラッド領域の屈折率に対して徐々に小さくなる領域を有しているため、領域 102 で起こり得る増幅用光ファイバ 30 への反射を低減できる。

[0045] こうしてガラスロッド 100 において直径が広げられた出力光は、ガラスロッド 100 の出力端 152 から出力する。

[0046] 次にガラスロッド 100 から成るエンドキャップの製造方法について説明する。

[0047] 図 4 に示すように、エンドキャップの製造方法は、コア 110 の屈折率がクラッド 120 の屈折率以下であるガラスロッド 100、及び、ダミーファイバ 200 を準備する準備工程 P1 と、ガラスロッド 100 とダミーファイバ 200 とを接続する接続工程 P2 と、ガラスロッド 100 に水素ローディングを施す水素ローディング工程 P3 と、ダミーファイバ 200 からガラスロッド 100 に光を入力して、ガラスロッド 100 から出力する光を観察しながら、ガラスロッド 100 の一方の端部 151 側に紫外線を照射して、ガラスロッド 100 の一方の端部側のみに導波構造を形成する導波構造形成工程 P4 と、脱水素工程 P5 と、ガラスロッド 100 とダミーファイバ 200 とを切断する切断工程 P6 とを備える。

[0048] <準備工程 P1>

まず、ガラスロッド 100 を準備する。本工程におけるガラスロッド 100 は、紫外線が照射されない状態でコア 110 の屈折率とクラッド 120 の屈折率とが同等になるよう調整されており、コア 110 には、紫外線を照射するとクラッド 120 屈折率よりも高くなるドーパントが添加されている。このようなコア 110 とクラッド 120 の材料としては、特に制限されないが、例えば表 1 に示すドーパントが添加される石英が挙げられる。

[表1]

[表1]

	コアに添加されるドーパント	クラッドに添加されるドーパント
A	GeO ₂ (F, B)	Al ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ , TiO ₂
B	P ₂ O ₅ , (F, B)	Al ₂ O ₃

[0049] 表 1 の A 欄は、コア 110 の材料として酸化ゲルマニウムが添加された石英が用いられ、クラッド 120 の材料として酸化アルミニウム (Al₂O₃)

、五酸化二リン (P_2O_5)、酸化チタン (TiO_2) のうち 1 種類のドーパントが添加、あるいは、2 種類以上のドーパントが共添加された石英が用いられることを示す。酸化ゲルマニウムは、紫外線が照射されるとコア 110 の屈折率を上昇させるドーパントである。また、酸化アルミニウム、五酸化二リン、酸化チタンは、紫外線が照射されない状態でクラッド 120 の屈折率を上昇させコア 110 の屈折率とクラッド 120 の屈折率とが同等となるよう調整可能なドーパントである。そして、酸化アルミニウム、五酸化二リン、酸化チタン等のドーパントは、紫外線が照射されるとクラッド 120 の屈折率を上昇させるが、酸化ゲルマニウムが添加されたコア 110 に比べて屈折率の上昇が $1/10$ 以下と小さい。従って、このような材料によれば、紫外線が照射されない状態でコア 110 の屈折率とクラッド 120 の屈折率とが同等とされ、ガラスロッド 100 に紫外線を照射するとコア 110 の屈折率がクラッド 120 の屈折率よりも高くなる。なお、クラッドに添加されるドーパントとしては、上記の中でも、酸化アルミニウムがより好ましい。酸化アルミニウムが添加された石英は、紫外線が照射されることによる屈折率の上昇が、五酸化二リンが添加された石英の $1/10$ よりも小さく、より短い時間の紫外線照射により、コア 110 とクラッド 120 との屈折率差を形成することができる。また、A 欄のカッコ内に示されるようにコア 110 には、紫外線が照射されない状態において、コア 110 の屈折率をクラッド 120 の屈折率と同等になるよう調整する目的で、屈折率を下げるフッ素 (F)、ホウ素 (B) 等のドーパントが酸化ゲルマニウムと共に添加されても良い。

[0050] 表 1 の B 欄は、コア 110 の材料として五酸化二リンが添加された石英が用いられ、クラッド 120 の材料として酸化アルミニウムが添加された石英が用いられることを示す。五酸化二リンが添加される石英は、紫外線が照射されると、酸化アルミニウムが添加される石英よりも屈折率が 10 倍以上高くなる。そして、紫外線が照射されない状態で、酸化アルミニウムにより、クラッド 120 の屈折率とコア 110 の屈折率とが同等となるよう調整される。なお、B 欄のカッコ内に示されるようにコア 110 には、紫外線が照射

されない状態において、コア１１０の屈折率をクラッド１２０の屈折率と同等になるよう調整する目的で、屈折率を下げるフッ素、ホウ素等のドーパントが五酸化ニリンと共に添加されても良い。

[0051] また、ガラスロッド１００の出射ビームをきれいにする目的で、ガラスロッド１００の出射端となる側の端部をCMP（Chemical Mechanical Polishing）やバフ研磨などで研磨しても良い。

[0052] 次に、ダミーファイバ２００を準備する。図５は、ダミーファイバ２００の長手方向に垂直な方向の断面における構造を示す断面図である。図５に示すように、ダミーファイバ２００は、コア２１０と、コア２１０を囲むクラッド２２０とから構成される光ファイバである。コア２１０の直径は、例えば、ガラスロッド１００のコア１１０と同様とされる。

[0053] そして、コア２１０は、紫外線が照射される場合にガラスロッド１００のコア１１０よりも屈折率が上昇しないドーパントが添加された石英から成り、クラッド２２０よりも屈折率が高くされている。このようなコア２１０に添加されるドーパントとしては、例えば、表１の「クラッドに添加されるドーパント」を「ダミーファイバのコアに添加されるドーパント」として読めば良い。そして、コア２１０には、これらドーパントのうち、１種類のドーパント、或いは、２種類以上のドーパントが、添加、或いは、共添加される。これらのドーパントが添加された石英は、ドーパントが添加されない石英よりも屈折率が高くなる。また、ダミーファイバ２００のクラッド２２０の材料としては、何もドーパントが添加されていない石英や、屈折率を低くするフッ素やホウ素が添加された石英を挙げることができる。従って、ダミーファイバ２００は、コア２１０の屈折率がこれらのドーパントが添加されることで、導波構造を有し、光を伝播することができる。

[0054] 表１のＡ欄に記載されるように、ガラスロッド１００のコア１１０にドーパントとして酸化ゲルマニウムが添加される場合、ダミーファイバ２００のコア２１０のドーパントとしては、酸化アルミ、五酸化ニリン、酸化チタンを挙げることができる。ドーパントとして酸化アルミ、五酸化ニリン、酸化

チタンが添加された石英は、紫外線が照射される場合に、僅かに屈折率が高くされるものの、ガラスロッド100のコア110に用いられる酸化ゲルマニウムが添加された石英と比べると、その上昇の幅は非常に小さく、酸化ゲルマニウムが添加された石英が十分に屈折率が上昇するように紫外線が照射されても、然程、屈折率の上昇が生じない。具体的には、例えば、ドーパントとして、酸化ゲルマニウムが添加される場合と、酸化アルミニウムが添加される場合とでは、紫外線による屈折率の上昇が、100倍以上異なる。同様に、ドーパントとして、酸化ゲルマニウムが添加される場合と、五酸化ニリンや酸化チタンが添加される場合とでは、紫外線による屈折率の上昇が100倍以上異なる。そして、ガラスロッド100のコア110に添加されるドーパントが酸化ゲルマニウムであり、ダミーファイバ200のコア210に添加されるドーパントが酸化アルミニウムであれば、紫外線が照射される場合に、ガラスロッド100のコア110の屈折率上昇と比べて、ダミーファイバ200のコア210の屈折率が、 $1/100$ より小さい上昇に抑えられるため特に好ましい。

[0055] また、表1のB欄に記載されるように、ガラスロッド100のコア110にドーパントとして五酸化ニリンが添加される場合、ダミーファイバ200のコア210のドーパントとしては、酸化アルミを挙げることができる。ドーパントとして酸化アルミが添加された石英は、紫外線が照射される場合に、上述のように僅かに屈折率が高くされるものの、ガラスロッド100のコア110に用いられる五酸化ニリンが添加された石英と比べると、その上昇の幅は非常に小さく、五酸化ニリンが添加された石英が十分に屈折率が上昇するように紫外線が照射されても、然程、屈折率の上昇が生じない。具体的には、例えば、ドーパントとして、五酸化ニリンが添加される場合と、酸化アルミニウムが添加される場合とでは、紫外線による屈折率の上昇が、10倍以上異なる。

[0056] 実用的には、後述の様にオンラインモニタを用いて紫外線を照射する場合に、ガラスロッド100のコア110とダミーファイバ200のコア210

との紫外線による屈折率の上昇が10倍程度異なれば、オンラインモニタを扱って設計を行う上で、ダミーファイバ200のコア210の屈折率上昇は、実質的に無視できる程度である。

[0057] <接続工程P2>

次にガラスロッド100とダミーファイバ200とを接続する。具体的には、ガラスロッド100のコア110の軸と、ダミーファイバ200のコア210の軸とを合わせて、ガラスロッド100の一方の端部151と、ダミーファイバ200の一方の端部とを接続する。この接続は、例えば、アーク放電や、酸水素バーナ、CO₂レーザを用いて、ガラスロッドの端部151とダミーファイバ200の端部とを融着することにより行えば良い。こうして、図6に示すようにガラスロッド100とダミーファイバ200とが、互いに接続された状態とされる。

[0058] <水素ローディング工程P3>

次にガラスロッド100に対して水素ローディング処理を施す。但し、ガラスロッド100には、ダミーファイバ200が接続されているため、ガラスロッド100及びダミーファイバ200に水素ローディング処理を施す。

[0059] 水素ローディング処理は、所定の圧力、所定の温度で、所定の濃度の水素を含む雰囲気中に水素ローディングされる物を所定時間放置する処理である。例えば、水素が雰囲気として、この雰囲気の気圧を100atmとし、温度を40℃として、この雰囲気中に、互いに接続されたガラスロッド100及びダミーファイバ200を160時間以上放置する。こうして、水素がガラスロッド100のコア110内に導入される。

[0060] なお、水素ローディング処理を簡便に行うには、ガラスロッド100のみに水素ローディングを施し、その後、ダミーファイバ200とガラスロッド100とを接続すれば良いが、水素ローディングを施すと、条件によっては、これらの接続が困難になる場合がある。従って、量産時に不良率の低減するために、接続工程P2の後に水素ローディングを施すことが好ましい。

[0061] <導波構造形成工程P4>

次にガラスロッド１００の長さ方向における一方の端部１５１側（ダミーファイバが接続された側）に紫外線を照射して、ガラスロッドの一方の端部１５１側のみに導波構造を形成する。

[0062] 図７は、本製造方法における導波構造形成工程Ｐ４の様子を模式的に示す図である。図７に示すように、紫外線ＵＶは、マスク２により照射領域が制限されてガラスロッド１００の一部に照射される。このマスク２は、ガラスロッド１００の一方の端部１５１側から他方の端部１５２に向って、ガラスロッド１００に対して相対的に移動する。従って、紫外線ＵＶは、ガラスロッド１００の一方の端部１５１側から他方の端部１５２に移動しながら照射される。

[0063] 図８は、本製造方法に用いるガラスロッド１００に紫外線を照射する時間とコア１１０とクラッド１２０の屈折率上昇を示すプロファイルを示す図である。上述のようにコア１１０には、紫外線を照射するとコア１１０の屈折率がクラッド１２０の屈折率よりも高くなるドーパントが添加されているため、紫外線を照射する前においては、コア１１０とクラッド１２０の屈折率が同じであっても、紫外線を照射するにしたがい、コア１１０の屈折率がクラッド１２０の屈折率よりも高くなる。図８に示すプロファイルを有するガラスロッド１００は、コア１１０に酸化ゲルマニウムが添加された石英が用いられており、クラッド１２０に酸化アルミニウムが添加された石英が用いられている。なお、図８においては、理解の容易のため、縮尺が実際のプロファイルから変更されている。

[0064] 本工程においては、事前に分かっている図８に示すようなプロファイルに基づいて、紫外線の照射を行うが、更に正確な紫外線の照射の制御を行うため、図７において破線で示すように、ダミーファイバ２００からオンラインモニタ用の光をガラスロッド１００に入力する。そして、ガラスロッド１００から出力される光を観察しながら、紫外線ＵＶの照射を制御する。

[0065] まず領域１０１に紫外線ＵＶが照射される。領域１０１においては、マスク２が一定の速度でガラスロッド１００に対して相対的に移動して、領域１

01におけるガラスロッド100の全ての個所に対して図5に示す時間 t_1 だけ紫外線が照射される。こうして領域101においては、図8に示すようにコア110の屈折率 n_{11} の屈折率が高くされ、クラッド120の屈折率が僅かに高くされるが、酸化ゲルマニウムが添加されたコア110に比べて屈折率の上昇が非常に小さい。

[0066] またこのとき、領域101に照射される紫外線UVが、ダミーファイバ200の一部にも照射される場合がある。しかし、ダミーファイバ200のコア210は、ガラスロッド100のコア110と比べると紫外線による屈折率上昇が非常に小さい。従って、ガラスロッド100のコア110の屈折率が十分に上昇される場合においても、ダミーファイバ200のコア210の屈折率の上昇により、ダミーファイバ200の光学的性質は然程変わらずに、ダミーファイバ200からガラスロッド100に入力する光も然程変化しない。つまり、ダミーファイバ200に紫外線が照射されることにより、コア210の屈折率が僅かに上昇するが、このコア210の屈折率上昇は、オンラインモニタに影響を与えるレベルではない。

[0067] 次に領域102においては、入力端151側ではマスク2のガラスロッドに対する相対的な速度が領域101における速度と同じ速度とされ、出力端152側に向うに従い、マスク2のガラスロッドに対する速度が速くされる。このようにして領域102においては、図8に示すように入力端151側では紫外線UVが領域101とほぼ同等の時間照射され、出力端152側に向うに従い紫外線UVの照射時間が短くされて、出力端152側では紫外線UVが殆ど照射されない。このようにして領域102においては、入力端151側から出力端152側に向って、コア110の屈折率 n_{12} がクラッド120の屈折率 n_{22} に対して徐々に小さくされる。

[0068] また、領域103には、紫外線UVが照射されない。従って、領域103においては、コア110の屈折率 n_{13} とクラッド120の屈折率 n_{23} とが同等のままとされる。

[0069] こうして、ガラスロッド100のコア110の一方の端部151側に導波

構造が形成される。

[0070] <脱水素工程 P 5>

次に、ガラスロッド 100 に対し脱水素処理を施す。脱水素処理は、不活性ガス雰囲気中、或いは、大気中でガラスロッド 100 を所定の温度に加熱して、所定時間放置する。本実施形態においては、ガラスロッド 100 にダミーファイバ 200 が接続されているため、ダミーファイバ 200 と共に脱水素処理を施す。例えば、脱水素処理は、100℃～150℃に加熱された大気雰囲気中に、ダミーファイバに接続されたガラスロッド 100 を 60 時間以上放置すれば良い。

[0071] <切断工程 P 6>

次に、ガラスロッド 100 とダミーファイバ 200 とを切断する。ガラスロッド 100 とダミーファイバ 200 とを切断するには、ガラスロッドの必要長より長い領域を残して、例えばクリーブすれば良い。

[0072] こうして、図 3 に示すガラスロッド 100 を得ることができ、本実施形態においては、このガラスロッド 100 がそのままエンドキャップとされる。

[0073] なお、エンドキャップを図 1 に示すようにファイバレーザ装置に組み込むには、増幅用光ファイバ 30 にガラスロッド 100 の一方の端部 151 を接続すれば良い。

[0074] 以上説明したように、本実施形態のエンドキャップの製造方法においては、ガラスロッド 100 に導波構造を形成する工程において、ダミーファイバ 200 からガラスロッド 100 に光を入力して、この光を観察しながら、ガラスロッド 100 に紫外線を照射する。つまり、オンラインモニタを使用して紫外線を照射する。このダミーファイバ 200 のコア 210 は、紫外線が照射される場合にガラスロッド 100 のコア 110 よりも屈折率の上昇が抑制されたドーパントが添加されることで屈折率が高くされている。従って、ガラスロッド 100 の入力端側に紫外線を照射する場合、紫外線が、ガラスロッド 100 に接続されたダミーファイバ 200 にも照射される場合においても、ダミーファイバ 200 のコア 210 の屈折率は、ガラスロッド 100

のコア 1 1 0 の屈折率と同様には上昇しない。従って、ガラスロッド 1 0 0 に紫外線を照射して導波構造を形成する際に、ダミーファイバ 2 0 0 に紫外線が照射されても、ダミーファイバ 2 0 0 の光学的性質の変化を抑制することができ、ダミーファイバ 2 0 0 からガラスロッド 1 0 0 に入力する光に変化が生じることを抑制することができる。このため、ダミーファイバから出力される光に変化が生じることが抑制され、オンラインモニタを使用して光を観察しながら紫外線を照射し、適切な導波構造をガラスロッド 1 0 0 に形成することができる。こうして、本実施形態のエンドキャップの製造方法によれば、所望の出射形状のレーザ光を出射することができるエンドキャップを製造することができる。

[0075] 以上、本発明について、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。

[0076] 例えば、上記実施形態においては、ガラスロッド 1 0 0 が 3 つの領域に分かれ、領域 1 0 2 において、コア 1 1 0 とクラッド 1 2 0 との屈折率差が、長手方向に沿って徐々に変化する例を示したが、本発明により製造されるガラスロッドは、これに限らない。ここで、このような本発明のエンドキャップの製造方法により製造されるエンドキャップの他の形態について説明する。なお、上記実施形態と同一又は同等の構成要素については、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。図 9 は、本発明のエンドキャップの製造方法により製造されるエンドキャップの他の形態を示す図である。

[0077] 図 9 に示すように、ガラスロッド 3 0 0 は、入力端としての一方の端部 3 5 1 及び出力端としての他方の端部 3 5 2 を有する円柱状の形状をしている。ガラスロッド 3 0 0 は、コア 3 1 0 と、コア 3 1 0 を被覆するクラッド 3 2 0 とから構成され、コア 3 1 0 は、ガラスロッド 3 0 0 の中心軸に沿って形成されている。

[0078] また、ガラスロッド 3 0 0 の入力端 3 5 1 から所定の長さ L 4 の領域 3 0 1 におけるコア 3 1 0 の屈折率は、領域 3 0 1 におけるクラッド 3 2 0 の屈折率よりも高くされ、コア 3 1 0 の屈折率及びクラッド 3 2 0 の屈折率はー

定とされている。この領域301の長さL4は、仮に増幅用光ファイバ30の伝播モードのNAが0.12であり、コア310の直径が20 μ mである場合、0.2mm以上あることが、光の角度補正の観点から好ましい。

[0079] また、領域301と出力端352側に隣り合い出力端352まで延びる長さL5の領域302においては、コア310とクラッド320との屈折率差がなく、互いに等しい屈折率とされている。この領域302の長さL5は、下限は増幅用光ファイバ30を伝播するモードのNAと出射端352で許容されるパワー密度、上限は増幅用光ファイバ30を伝播するモードのNAとガラスロッド300の外径によって決定される

[0080] このようなガラスロッド300は、次のようにして製造することができる。

[0081] まず、上記実施形態における製造方法と同様にしてガラスロッド及びダミーファイバを準備し（準備工程）、上記実施形態を同様にして、ガラスロッドとダミーファイバとを接続し（接続工程）、更に、上記実施形態と同様にして、水素ローディング処理を行う（水素ローディング工程）。

[0082] 次に、紫外線を領域301対して紫外線を照射し、領域301に導波構造を形成する（導波構造形成工程）。このとき、上記実施形態と同様にしてオンラインモニタを行いながら、紫外線を照射する。紫外線の照射は、上記実施形態における製造方法の領域101における紫外線の照射と同様に行えばよい。この紫外線の照射により、領域301において、コア310の屈折率は、クラッド320の屈折率よりも高くされ、領域301に導波構造が形成される。

[0083] そして、第1実施形態と同様にして脱水素処理を行い（脱水素工程）、ダミーファイバとガラスロッドとを切り離す（切断工程）。こうして、ガラスロッド300を得る。

[0084] このように、本発明のエンドキャップの製造方法により製造されるエンドキャップは適宜変形が可能であり、上記実施形態において、コア110とクラッド120の屈折率差が一定である領域101は必ずしも必要ない。領域

１０１がない場合においても、領域１０２の入力端１５１側において、コア１１０の屈折率 n_{12} は、クラッド１２０の屈折率 n_{22} よりも高いため、ガラスロッド１００に入力する出力光は、コア１１０を伝播する。

[0085] また、実施形態において、領域１０３におけるコア１１０の屈折率 n_{13} とクラッド１２０の屈折率 n_{23} は同等とされたが、必ずしも同等である必要はなく、領域１０３においてクラッド１２０の屈折率 n_{23} がコア１１０の屈折率 n_{13} よりも高い構成とされても良い。この場合においても、領域１０３において、導波構造は形成されずに出力光の直径は広げることができる。

[0086] 同様に、上記の他の形態におけるガラスロッド３００において、領域３０２におけるコア３１０の屈折率とクラッド３２０の屈折率は同等とされたが、必ずしも同等である必要はなく、領域３０２においてクラッド３２０の屈折率がコア３１０の屈折率よりも高い構成とされても良い。この場合においても、領域３０２において出力光の直径は広げることができる。

[0087] また、上記実施形態や他の形態においては、ガラスロッド１００、３００は特に何にも被覆されていないが、例えば、クラッド１２０、３２０よりも屈折率の高い第２クラッドでガラスロッド１００、３００を被覆しても良い。このようにすることで、出力端である他方の端部１５２、３５２で反射する出力光がある場合に、反射する出力光がガラスロッド１００、３００の側面から不要に出射することを防止することができる。

[0088] また上記実施形態や他の形態においては、ガラスロッド１００、３００とダミーファイバとを切断したが、ダミーファイバを切断しなくとも良い。この場合、エンドキャップを図１に示すファイバレーザ装置に用いるには、ダミーファイバを増幅用光ファイバ３０に接続すれば良い。

[0089] また、上記実施形態や他の形態においては、水素ローディング工程Ｐ３において、ガラスロッド１００、３００のコア１１０、３１０に水素を導入したが、この処理は必須ではなく、水素ローディング工程Ｐ３を行わなくても良い。その場合、脱水素工程Ｐ５も不要である。

実施例

[0090] 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。

[0091] (実施例 1)

まず、直径が $30\ \mu\text{m}$ で GeO_2 が 3.4 質量% 添加された石英をコアとし、外径が $400\ \mu\text{m}$ で Al_2O_3 が 2.5 質量% 添加された石英をクラッドとし、長さが 1.8 mm のガラスロッドを準備した。このときのコアとクラッドの屈折率は同等であった。また、直径が $30\ \mu\text{m}$ で Al_2O_3 が 1.35 質量% 添加された石英をコアとし、外径が $400\ \mu\text{m}$ で何らドーパントが添加されない石英をクラッドとしたダミーファイバを準備した。

[0092] 次に、ガラスロッドのコアの中心軸とダミーファイバのコアの中心軸とを合わせて、ガラスロッドの一端とダミーファイバの一端とを融着して接続した。

[0093] 次に、ダミーファイバから計測用の光をガラスロッドに伝播して、ガラスロッドから出力される光を観察しながら（オンラインモニタを行いながら）、ガラスロッドの側面に対して紫外線を照射した。このときの紫外線の強度は $2\ \text{mJ/mm}$ とし、ガラスロッドのダミーファイバが接続された側から紫外線を照射し始めて、紫外線が照射される位置を徐々に変えた。そして、ガラスロッドから出力される計測用の光のスポットが所望のビーム径となった時点で、紫外線の照射をやめ、ガラスロッドのダミーファイバが接続された側のみに導波路を形成した。

[0094] その後、ダミーファイバを切断し、ガラスロッドから成るエンドキャップを作製した。

[0095] そして、作製したエンドキャップをファイバレーザ装置の出射端に接続した。このファイバレーザ装置から出力光を出射すると、所望のビーム形状の出力光を出力できる結果となった。

[0096] (実施例 2)

実施例 1 のガラスロッド及びダミーファイバと同様のガラスロッド及びダ

ミーファイバを準備して、実施例 1 と同様にして、それぞれを接続した。

[0097] 次にダミーファイバが接続されたガラスロッドに水素ローディング処理を行った。水素ローディング処理は、水素雰囲気、50℃環境下で、100 atmとされたチャンバー中に、ダミーファイバが接続されたガラスロッドを168時間放置することにより行った。

[0098] 次に、ファイバレーザの出射光と同等のNAを有する光をダミーファイバに空間結合させた光ファイバからダミーファイバに入力して、オンラインモニタを行いながら、ガラスロッドに紫外線を照射して、導波構造を形成した。

[0099] 次に、脱水素処理を行った。脱水素処理は、大気雰囲気、100℃、大気圧とされたチャンバー中に、導波構造が形成されたガラスロッドを、ダミーファイバと共に72時間放置することで行った。

[0100] その後、ダミーファイバを切断し、ガラスロッドから成るエンドキャップを作製した。

[0101] そして、作製したエンドキャップをファイバレーザ装置の出射端に接続した。このファイバレーザ装置から出力光を出射すると、所望のビーム形状の出力光を出力できる結果となった。

[0102] 以上、実施例 1、実施例 2 より、本発明による光出射用エンドキャップの製造方法によれば、所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光出射用エンドキャップが製造されることが確認された。

産業上の利用可能性

[0103] 以上説明したように、本発明によれば、所望の出射形状のレーザ光を出射することができる光出射用エンドキャップの製造方法が提供される。

符号の説明

- [0104] 1・・・ファイバレーザ装置
2・・・マスク
10・・・種光源
15・・・種光用ファイバ

20・・・励起光源
25・・・励起用ファイバ
30・・・増幅用光ファイバ
31・・・コア
32・・・クラッド
33・・・外部クラッド
34・・・被覆層
35・・・出力端（端部）
40・・・光コンバイナ
100・・・ガラスロッド
110・・・コア
120・・・クラッド
151・・・入力端（端部）
152・・・出力端（端部）
200・・・ダミーファイバ（光ファイバ）
210・・・コア
220・・・クラッド
300・・・ガラスロッド
310・・・コア
320・・・クラッド
351・・・入力端（端部）
352・・・出力端（端部）

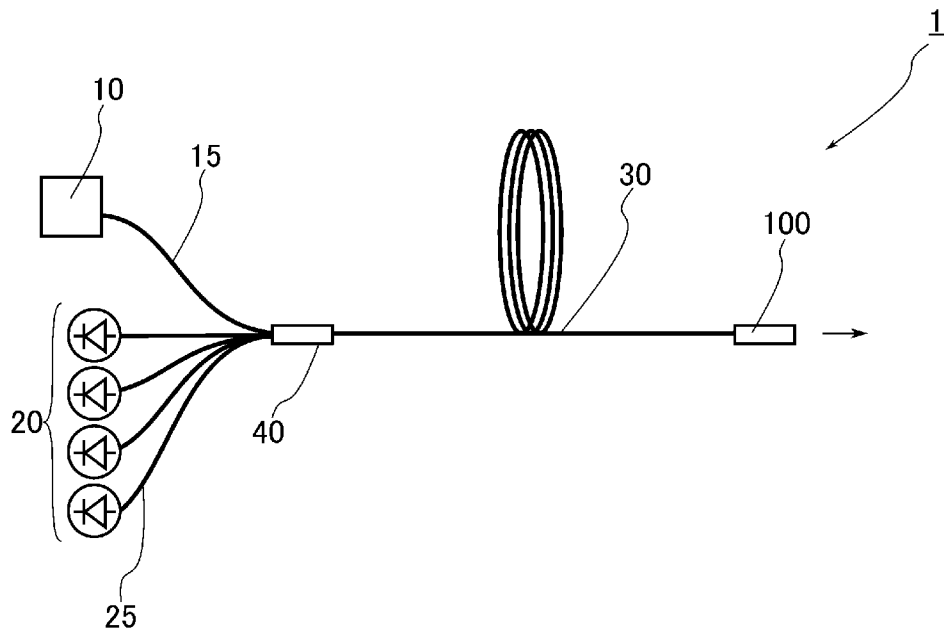
請求の範囲

- [請求項1] クラッド及び前記クラッドの中心軸に沿って形成されるコアを有し、前記コアの屈折率が前記クラッドの屈折率以下であり、前記コアには、紫外線が照射されると前記クラッドよりも屈折率が上昇するドーパントが添加されたガラスロッドを準備すると共に、紫外線が照射される場合に前記ガラスロッドの前記コアよりも屈折率が上昇しないドーパントが添加されることで屈折率が高くされたコア及びクラッドを有する光ファイバを準備する準備工程と、
- 前記ガラスロッドの前記コアの軸と前記光ファイバの前記コアの軸とを合わせて、前記ガラスロッドの一方の端部と、前記光ファイバの一方の端部とを接続する接続工程と、
- 前記光ファイバの前記コアから前記ガラスロッドの前記コアに光を入力して、前記ガラスロッドから出力する光を観察しながら、前記ガラスロッドの前記一方の端部側に紫外線を照射して、前記ガラスロッドの前記一方の端部側のみに導波構造を形成する導波構造形成工程と、
- を備えることを特徴とする光出射用エンドキャップの製造方法。
- [請求項2] 前記導波構造形成工程の後に前記光ファイバと前記ガラスロッドとを切断する切断工程を更に備えることを特徴とする請求項1に記載の光出射用エンドキャップの製造方法。
- [請求項3] 前記接続工程と前記導波構造形成工程の間において、前記ガラスロッドに対して水素ローディングを行う水素ローディング工程を更に備えることを特徴とする請求項1または2に記載の光出射用エンドキャップの製造方法。
- [請求項4] 前記光ファイバの前記コアに添加されるドーパントは、酸化アルミニウム、五酸化ニリン、酸化チタンの少なくとも1つであり、前記ガラスロッドの前記コアに添加されるドーパントは、酸化ゲルマニウムであることを特徴とする請求項1から3の何れか1項に記載の光出射

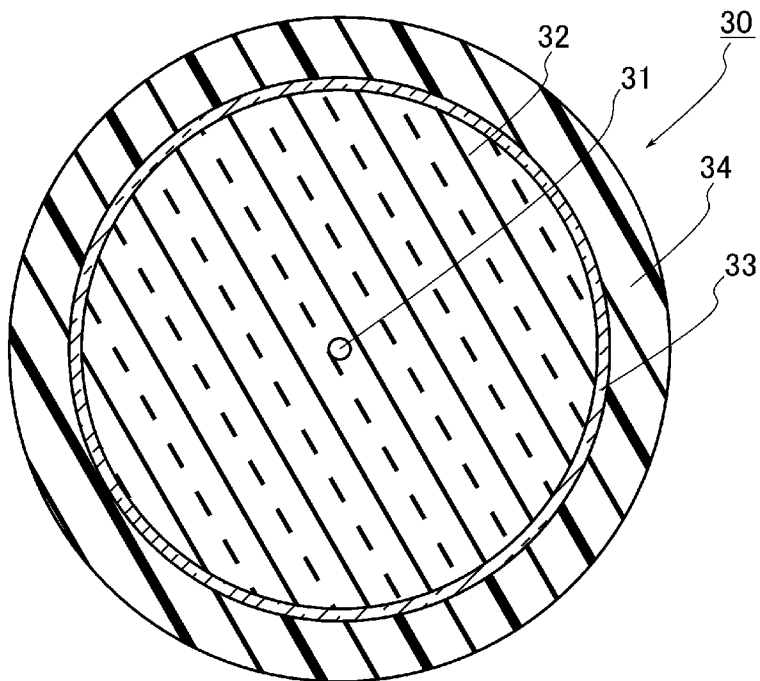
用エンドキャップの製造方法。

[請求項5] 前記光ファイバの前記コアに添加されるドーパントは、酸化アルミニウムあり、前記ガラスロッドの前記コアに添加されるドーパントは、五酸化ニリンであることを特徴とする請求項1から3の何れか1項に記載の光出射用エンドキャップの製造方法。

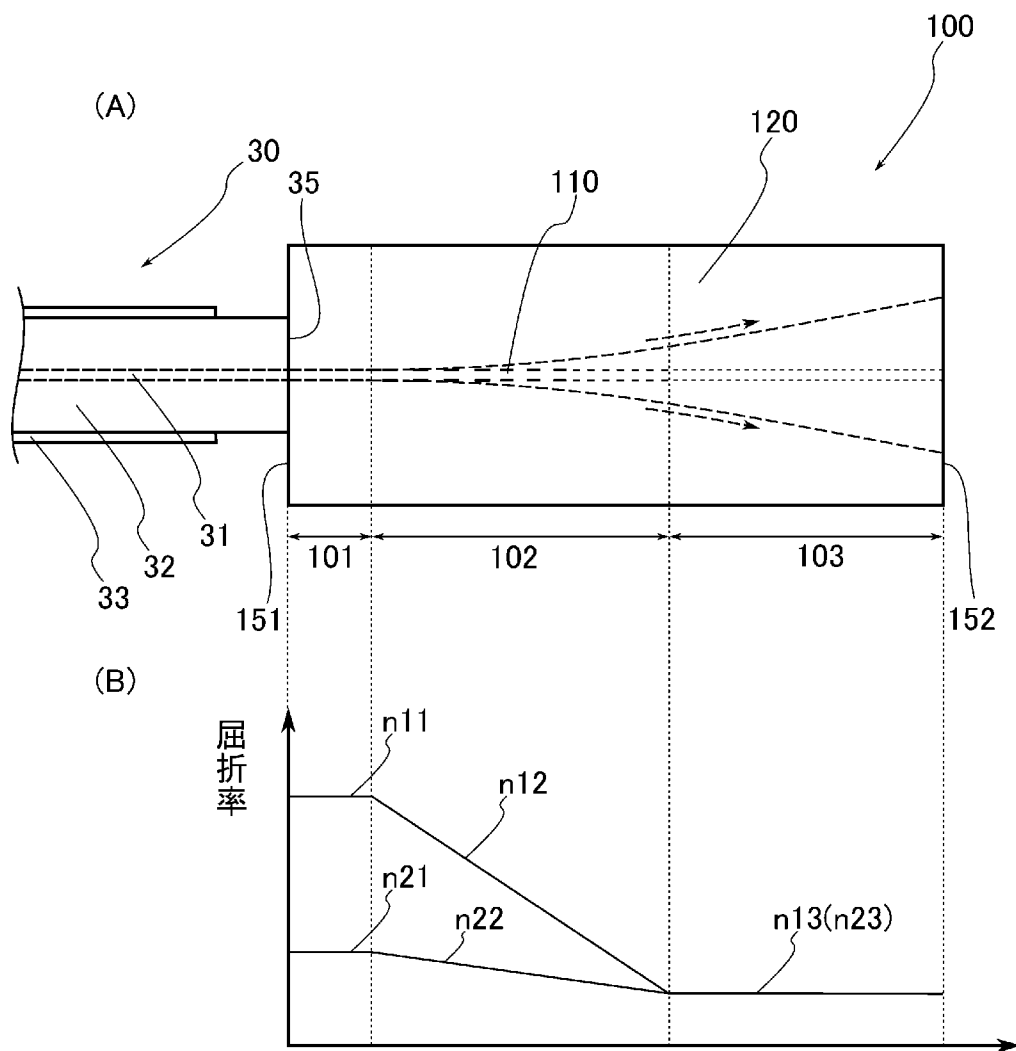
[図1]



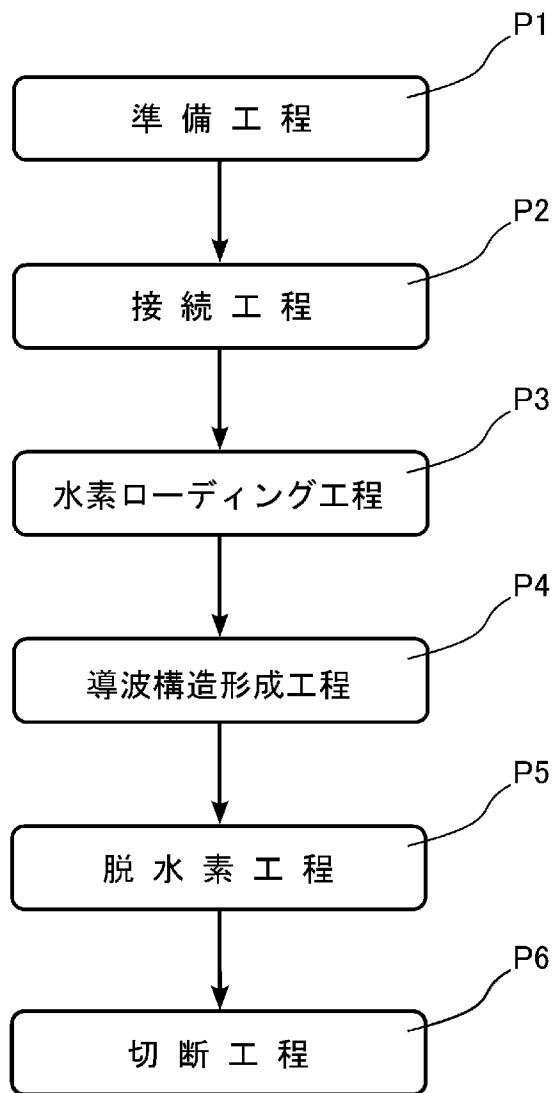
[図2]



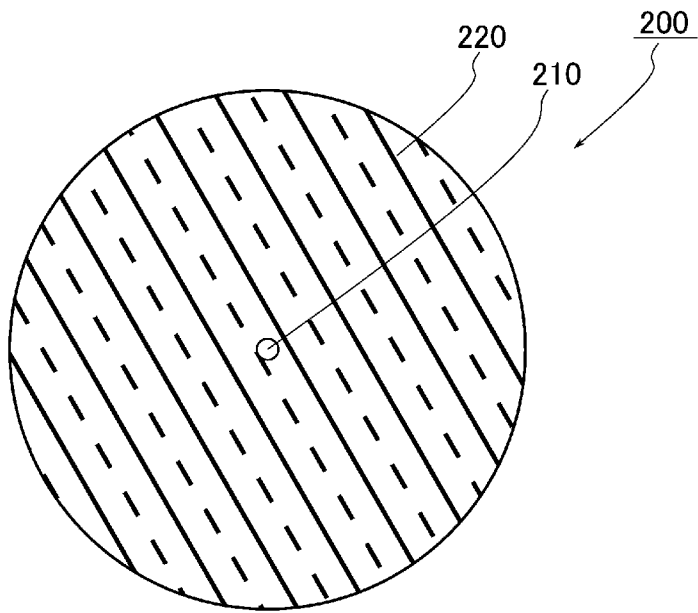
[図3]



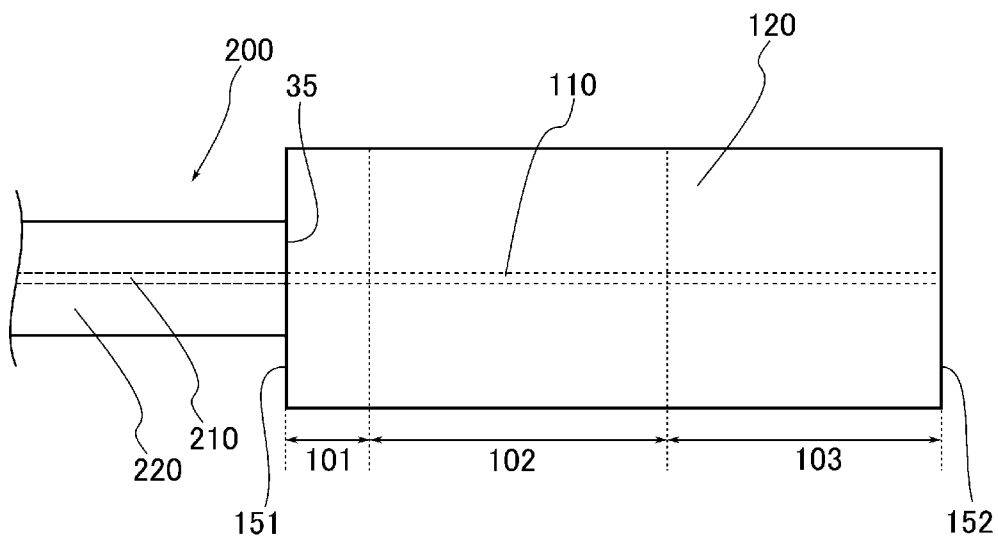
[図4]



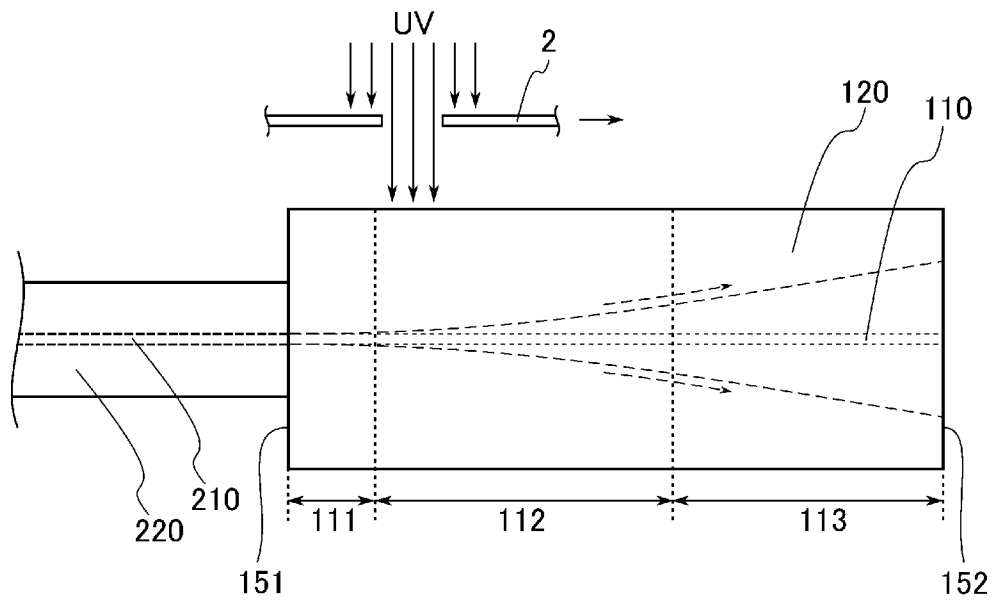
[図5]



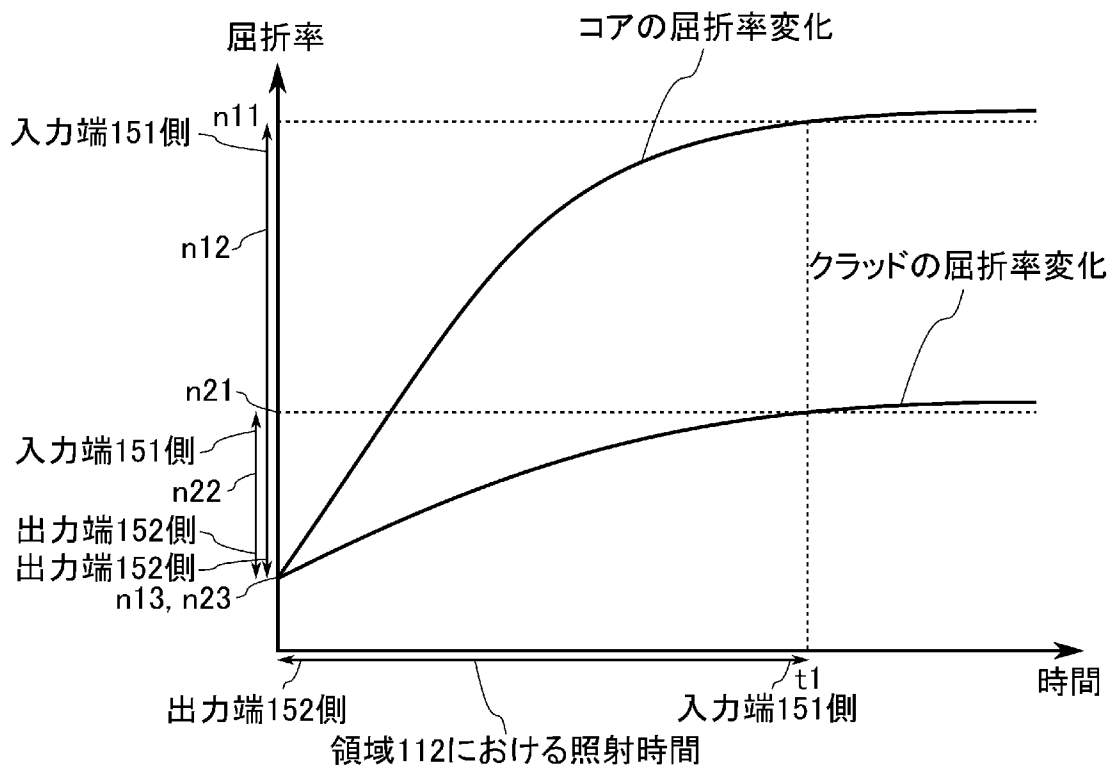
[図6]



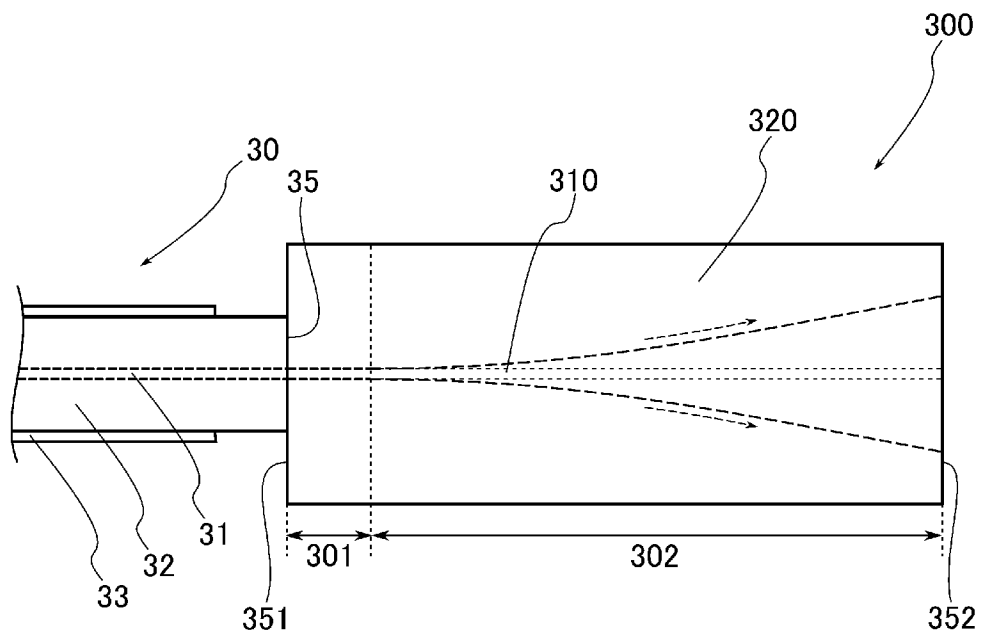
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/054662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/02(2006.01)i, C03C13/04(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/26
(2006.01)i, H01S3/067(2006.01)i, H01S3/10(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)

G02B6/02, C03C13/04, G02B6/00, G02B6/26, H01S3/067, H01S3/10

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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.
A	JP 2010-258323 A (Fujikura Ltd.), 11 November 2010 (11.11.2010), entire text; all drawings & US 2010/0272128 A1	1-5
A	JP 2000-503414 A (British Telecommunications PLC.), 21 March 2000 (21.03.2000), page 17, line 8 to page 19, line 9; fig. 10, 11 & US 6104852 A & EP 875014 A & WO 1997/026571 A2 & DE 69738178 D & DE 69738178 T & CA 2240519 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
22 May, 2012 (22.05.12)

Date of mailing of the international search report
05 June, 2012 (05.06.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/054662

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 10-133039 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 May 1998 (22.05.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 9-269433 A (Hitachi, Ltd.), 14 October 1997 (14.10.1997), entire text; all drawings & US 5930421 A & US 6173095 B1 & US 6393182 B1 & CN 1167266 A	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B6/02(2006.01)i, C03C13/04(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/26(2006.01)i,
H01S3/067(2006.01)i, H01S3/10(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 (I P C))

Int.Cl. G02B6/02, C03C13/04, G02B6/00, G02B6/26, H01S3/067, H01S3/10

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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 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 請求項の番号
A	JP 2010-258323 A (株式会社フジクラ) 2010. 11. 11, 全文、全図 & US 2010/0272128 A1	1-5
A	JP 2000-503414 A (ブリティッシュ・テレコミュニケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー) 2000. 03. 21, 第 17 頁第 8 行目 - 第 19 頁第 9 行目、第 10, 11 図 & US 6104852 A & EP 875014 A & WO 1997/026571 A2 & DE 69738178 D & DE 69738178 T & CA 2240519 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

2 2 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

福島 浩司

2 X

9 0 1 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の 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 請求項の番号
A	JP 10-133039 A (住友電気工業株式会社) 1998.05.22, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 9-269433 A (株式会社日立製作所) 1997.10.14, 全文、全図 & US 5930421 A & US 6173095 B1 & US 6393182 B1 & CN 1167266 A	1-5