

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-521069

(P2005-521069A)

(43) 公表日 平成17年7月14日(2005.7.14)

(51) Int. Cl.⁷

G02B 6/32

F I

G02B 6/32

テーマコード (参考)

2H037

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2003-505684 (P2003-505684)
 (86) (22) 出願日 平成14年5月21日 (2002. 5. 21)
 (85) 翻訳文提出日 平成16年2月9日 (2004. 2. 9)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/016236
 (87) 国際公開番号 W02002/103424
 (87) 国際公開日 平成14年12月27日 (2002. 12. 27)
 (31) 優先権主張番号 60/298, 841
 (32) 優先日 平成13年6月15日 (2001. 6. 15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/352, 753
 (32) 優先日 平成14年1月28日 (2002. 1. 28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

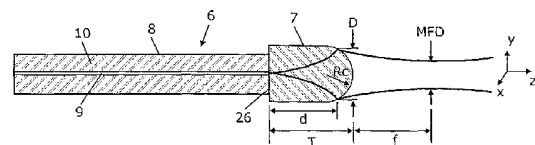
(71) 出願人 397068274
 コーニング インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
 31 コーニング リヴァーフロント プ
 ラザ 1
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 ウクラインツィーク, ルイエルカ
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
 70 ペインテッド ポスト ウェスト
 レイン 108

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱形成レンズ付ファイバ

(57) 【要約】

集束レンズ付ファイバ(6)はレンズ(7)で終端されている光ファイバ(8)を備える。レンズのビームウエストまでの距離はレイリー範囲より大きい。レンズ付ファイバを形成するための方法は、ガラスファイバの選択された領域を、あらかじめ定められた時間、外部抵抗加熱する工程と、外部抵抗加熱している間、ガラスファイバを引っ張って、選択された領域に凸面を形成する工程とを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

集束レンズ付ファイバにおいて、
ビームウエストまでの距離がレイリー範囲より大きいレンズで終端されている光ファイバ、
を備えることを特徴とする集束レンズ付ファイバ。

【請求項 2】

前記レンズが 1 より大きい f 数を有することを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 3】

前記ビームウエストまでの距離が 100 μm より大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 4】

前記レンズがシリカを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 5】

前記レンズがドープトシリカを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 6】

前記レンズの直径が前記光ファイバの直径より大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 7】

前記レンズの直径が前記光ファイバの直径より小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 8】

前記レンズの直径が前記光ファイバの直径に等しいことを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 9】

前記レンズが -55 dB より低い後方反射を有することを特徴とする請求項 1 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 10】

前記レンズの表面が反射防止膜で被覆されていることを特徴とする請求項 9 に記載の集束レンズ付ファイバ。

【請求項 11】

レンズ付ファイバを形成するための方法において、
ガラスファイバの選択された領域を、あらかじめ定められた時間のあいだ、外部抵抗加熱する工程、及び
前記選択された領域に凸面を形成するために、外部抵抗加熱しながら前記ガラスファイバを引っ張る工程、
を含むことを特徴とする方法。

【請求項 12】

前記ガラスファイバが無コアファイバであることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

光ファイバを前記ガラスファイバに永久接続する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記ガラスファイバを引っ張る前記工程が、前記ガラスファイバと前記光ファイバの間に形成された永久接続部から遠ざかる方向に前記ガラスファイバを引っ張る工程を含むことを特徴とする請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

10

20

30

40

50

前記ガラスファイバがシングルモードファイバであり、前記凸面が前記ガラスファイバの先端に形成されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 16】

前記ガラスファイバがマルチモードファイバであり、前記凸面が前記ガラスファイバの先端に形成されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 17】

前記ガラスファイバが偏波保存ファイバであり、前記凸面が前記ガラスファイバの先端に形成されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 18】

前記凸面を外部抵抗加熱することにより前記凸面の曲率半径を拡大する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 11 に記載の方法。 10

【請求項 19】

前記凸面の前記曲率半径が拡大するにつれて外部抵抗加熱源を前記凸面に向かう方向に移動させる工程を含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の説明】

【0001】

本出願は、ウクラインチク (Ukrainczyk) 等の、2001 年 6 月 15 日に出願された、名称を「結像及び集光器用熱形成レンズ付ファイバ (Thermally Formed Lensed Fibers for Imaging and Condenser Applications)」とする米国仮特許出願第 60/298841 号、及び、ウクラインチク等の、2002 年 1 月 28 日に出願された、名称を「熱形成レンズ付ファイバ (Thermally Formed Lensed Fibers)」とする米国仮特許出願第 60/352753 号による優先権を主張する。 20

【技術分野】

【0002】

本発明は、広義には、光通信ネットワークにおいて光ファイバと光デバイスの中で光を結合するための方法及びデバイスに関する。さらに詳しくは、本発明は集束レンズ付ファイバとレンズ付ファイバを形成するための方法とに関する。

【背景技術】

【0003】

レンズ付ファイバはレンズで終端されている光ファイバを有するモノリシックデバイスである。レンズ付ファイバは、集成が容易である、すなわち、現場でのファイバーレンズ間の位置合せ及びファイバのレンズへの接着が必要ではないこと、挿入損失が小さいことから、また非常に小さくつくることができるのでコンポーネントを小型化できることから、有利である。レンズの熱膨張係数を光ファイバの熱膨張係数に整合させることによって、ある温度範囲にわたりさらに高い性能を達成することができる。レンズ付ファイバは容易にアレイ化され、したがって、シリコン光学ベンチ用途で使用するため及び光ファイバをプレーナ型導波路に位置合せするためのアレイ型デバイスの作成に望ましい。さらに、レンズ付ファイバのスポット径及び作動距離は、具体的な用途に合わせて調整することができる。例えば、レンズ付ファイバのスポット径及び作動距離は、ビーム径をさらに小さくして、さらに小さい超小型電気機械システム (MSME) ミラーの光スイッチで使用できるように、調整することができる。 40

【0004】

様々なタイプのレンズ付ファイバがある。図 1 は、光ファイバ 2 の一端に平凸レンズ 1 が融着接続されている、従来技術のコリメーティングレンズ付ファイバを示す。光ファイバ 2 はシングルモードファイバまたはマルチモードファイバとすることができる。平凸レンズ 1 は一般に無コアファイバから形成される。平凸レンズ 1 の前面は球のような形につくられ、光ファイバ 2 から入ってくる光を拡大して平行ビームにするコリメータとして作用する。コリメーティングレンズ付ファイバは広い距離範囲でのコリメーションのために用いることができる。コリメーティングレンズ付ファイバの主要な用途の 1 つは、1 つの 50

光ファイバから別の光ファイバに光を結合することである。

【0005】

コリメーティングレンズ付ファイバを形成するには様々な方法がある。ある方法は、光ファイバの末端部分を溶融して所望の曲率半径をもつ球面を形成する工程を含む。一般に、溶融工程は光ファイバの末端部分を挟んで対向して配置された一对の電極の間に電気アークを発生させる工程を含む。電気アークが光ファイバの末端部分を溶融して球面を形成する。あるいは、光ファイバの末端部分を溶融して球面を形成するためにレーザービームを用いることができる。コリメーティングレンズ付ファイバを形成するための別の方法は、球面を有する無コアファイバを光ファイバに永久接続する工程を含む。その結果、球面を有する無コアファイバがレンズとして作用する。

10

【0006】

図2は光ファイバ3の先端にテーパ4が形成されているテーパ型レンズ付ファイバを示す。光ファイバ3はシングルモードファイバとすることも、マルチモードファイバとすることもできる。テーパ4はレンズとして作用する凸面5を有する。凸面5の曲率半径は、コリメーティングレンズ付ファイバの平凸レンズ（図1の1）の曲率半径に比較して非常に小さい。テーパ4は、光ファイバ3の先端を研削及び／または研磨することによって得られる。テーパ型レンズ付ファイバが光をコリメートする作動距離は短い。テーパ型レンズ付ファイバは光ファイバとレーザー光源または光増幅器またはプレーナ型導波路との間で光を結合するために用いることができる。

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

精確な曲率半径をもつ集束レンズ付ファイバ及び集束レンズの曲率半径を精確に制御するための方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

一態様において、本発明はレンズで終端された光ファイバを含む集束レンズ付ファイバに関する。レンズからビームウエストまでの距離はレイリー範囲より大きい。

【0009】

別の態様において、本発明は、ガラスファイバの選択された領域を、あらかじめ定められた時間のあいだ、外部抵抗加熱する工程及び外部抵抗加熱している間にガラスファイバを引っ張って前記選択された領域に凸面を形成する工程を含む、レンズ付ファイバを形成する方法に関する。

30

【0010】

本発明のその他の特徴及び利点は、以下の説明及び添付される特許請求の範囲から明らかであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

本発明の実施形態は、光ファイバから入ってくる光を集束して、ファイバのモードフィールド径（MFD）より大きいか、MFDに等しいか、またはMFDより小さいスポットにする、集束レンズ付ファイバを提供する。この集束レンズ付ファイバは集束及び集光器用途で使うことができる。本発明の実施形態は集束レンズ付ファイバを形成するための方法を提供する。さらに詳しくは、本発明の実施形態は光ファイバないし、さらに一般的には、ガラスファイバの先端に精確な曲率半径を形成するための方法を提供する。本方法により、光ファイバの末端において広い範囲で仕様を指定できる平凸レンズの形成が可能になる。これにより、レンズ付ファイバのスポット径及び作動距離を特定の用途に合わせて調整することが可能になる。本方法はテーパ型レンズ付ファイバを形成するために用いることもできる。テーパ型レンズ付ファイバは、集束及び集光器用途にも、作動距離の短いコリメーション用途にも使用することができる。添付図面を参照して本発明の具体的な実施形態を以下で説明する。

40

50

【0012】

図3Aは光ファイバ8に平凸レンズ7が取り付けられている集束レンズ付ファイバ6を示す。平凸レンズ7は融着接続により光ファイバ8に取り付けてもよい。光ファイバ8はコア9及びコア9を囲むクラッド10を有する。光ファイバ8は、偏波保存(PM)ファイバを含む任意のシングルモードファイバとすることもできるし、マルチモードファイバとすることもできる。図において、光ファイバ8はシングルモードファイバとして示される。平凸レンズ7の直径は光ファイバ6の直径より大きいとして示される。しかし、これは必要条件ではない。平凸レンズ7の直径は、光ファイバの直径と同じとするか(図3Bを参照されたい)、または光ファイバ8の直径より小さくする(図3Cを参照されたい)ことができる。一般に、平凸レンズ7は無導波コアガラスファイバからつくられる。ガラスファイバ及び光ファイバ8は同じファイバ製造プロセスを用いて作成することができる。一般に、平凸レンズ7はシリカまたはドープトシリカ、例えば $B_2O_3-SiO_2$ 及び GeO_2-SiO_2 でつくられ、コア9の屈折率と同等の屈折率を有する。平凸レンズ7には一般に後方反射を最小限に抑えるために反射防止膜が被覆される。-55dBより低い後方反射が一般に望ましい。

【0013】

動作において、コア9を進行してきた光ビームは、平凸レンズ7に入るときに発散し、平凸レンズ7を出るときに集束されてスポットになる。レンズ7の曲率半径(Rc)及び厚さ(T)は、平凸レンズ7の凸面からビームウエストまでの距離(f)がレイリー範囲より大きくなるように選ばれる。レイリー範囲は、ビーム径が最小値の $\sqrt{2}$ 倍までの範囲にある、ビームウエスト前後の軸方向距離である。レイリー範囲は下式(1)：

【数1】

$$z_0 = \frac{2\pi w_0^2}{\lambda}$$

【0014】

を用いて計算される。ここで、 z_0 はレイリー範囲、 w_0 はビームウエスト半径、 λ は波長である。ビームウエストまでの距離(f)をレイリー範囲より大きくすることにより、平凸レンズ7でつくられるビームがレイリー範囲の外側におかれて、平凸レンズ7が集束器または集光器として作用することが可能になる。一般に、レンズについては以下の条件式(2)：

【数2】

$$\frac{T}{Rc} > \frac{n}{n+1} + \Phi$$

【0015】

が成立するべきである。ここで、Tはレンズ厚、Rcはレンズの曲率半径、nは注目する波長におけるレンズの屈折率、 Φ は細いガウスビームの回折による位相シフトである。

【0016】

集束レンズ付ファイバ6のスポット径すなわちモードフィールド径(MFD)は、平凸レンズ7の、厚さ(T)、曲率半径(Rc)、及びビームウエストまでの距離(f)により決定される。説明の目的のため、様々な集束レンズ付ファイバ形状について、空气中を100 μ m伝搬し、続いてInGaAs($n=3.18$)内を伝搬するビームに対するガウスビームレイトリング解析を、図4A及び4Bに示す。図4Aはモードフィールド径(MFD)をレンズ厚及びレンズの曲率半径の関数として示す。図4Bはビームウエストまでの距離をレンズ厚及びレンズの曲率半径の関数として示す。図4A及び4Bのレンズ形状の目的は、コーニング(Corning)(登録商標)SMF-28光ファイバコアを直径10 μ mの光検出器領域上に結像させることであつた。屈折率が3.18の半導体の1

00 μm内側に光検出器を埋め込んだ。計算により、ビームが上記の高屈折率材料を通して進行すると、空気中で16 μmのスポットが10 μmより若干小さいスポットに対応することが示された。このモデルでは光ファイバコアに対して6.3 μmのガウスビームモードフィールド半径を仮定した。仮定したモードフィールド半径は、永久接続及びレンズ形成により熱的コア拡大がおこるから、SMF-28の5.2 μmの公称モードフィールド半径より大きい。

【0017】

図3Aに戻ると、平凸レンズ7の形状寸法は、ビームが平凸レンズ7を出る点におけるビーム直径が平凸レンズ7の直径をこえないように選ばれることが好ましい。そうでないと共鳴及び導波効果が生じる可能性がある。一般に、ビームが平凸レンズ7を出る点における平凸レンズ7の直径(D)は、式(4)：

【数3】

$$w_d = d\theta_{\text{ビーム}}$$

【0018】

及び式(5)：

【数4】

$$\theta_{\text{ビーム}} = \frac{\lambda}{\pi w_0 n}$$

【0019】

として、式(3)：

【数5】

$$D \geq 2 \cdot w_d$$

【0020】

にしたがって見積もることができる。ここで、 w_d はビームがレンズを出る点におけるモードフィールド半径、 d はビームがレンズを出る点、 $\theta_{\text{ビーム}}$ はレイリー範囲の外側におけるガウスビームの広がり角、 λ は光の波長、 w_0 はビームウエストにおけるモードフィールド半径、 n は注目する波長における屈折率である。

【0021】

対称モードフィールドを得るためには、平凸レンズ7の曲率半径(R_c)の形成を慎重に制御すべきである。図5Aは、任意のガラスファイバ、例えばガラスファイバ20に正確な曲率半径を形成するための方法を示す。ガラスファイバ20は、平凸レンズの形にされる無コアファイバ、あるいはレンズの形にされるシングルモードファイバまたはマルチモードファイバの先端とすることができる。本発明の方法は、ガラスファイバ20に沿う所望の位置に熱源22を配置する工程を含む。ガラスファイバ20に沿う熱源22の位置により、レンズ厚が決まる。図5Bに示されるように、制御された量の熱をガラスファイバ20に送るように熱源22を動作させ、同時にガラスファイバ20を矢印に示される方向に引っ張る。ガラスファイバ20は、加熱されて引っ張られるので、テーパカットされ、所望の曲率半径を有する凸面(図5Cの24)が形成される。図5Bの熱源22はガラスファイバ20に非常に均一な熱を与え、対称のモードフィールドをもつ球レンズの形成を可能にする、抵抗発熱フィラメントである。

【0022】

図5Cに移れば、凸面24の曲率半径は抵抗発熱フィラメント(図5Bの22)に印加される電力に依存する。ガラスファイバ20のテーパカットに用いられる代表的な電力は

10

20

30

40

50

、所望の曲率半径に依存して、22から30Wの範囲にある。凸面24の曲率半径は、抵抗発熱フィラメント（図5Bの22）による加熱の持続時間にも影響され得る。一般に、ガラスファイバ20のテーパカット後の加熱時間が長いほど、曲率半径は大きくなる。凸面24の前に抵抗発熱フィラメント（図5Bの22）を配置し、抵抗発熱フィラメント（図5Bの22）を凸面24に向かって移動させることにより、抵抗発熱フィラメント（図5Bの22）の熱で凸面24が溶融するので、曲率半径をさらに大きくすることができる。このプロセスはメルトバックと称される。所望の曲率半径が得られるように、凸面24に加えられる熱及び加熱の持続時間が調節される。

【0023】

集束レンズ付ファイバは、2本の光ファイバの一般的な永久接続の場合と同様に、ガラスファイバを光ファイバに永久接続することにより形成することができる。ガラスファイバを光ファイバに永久接続するためには、抵抗発熱フィラメントまたは、電気アークのような、その他の適する熱源を用いることができる。ガラスファイバを光ファイバに取り付けるための好ましい方法は外部抵抗加熱を用いることであるが、レーザ溶接のような、その他の取り付け手段を用いることもできる。ガラスファイバの光ファイバへの取り付け後、ガラスファイバを上述したように外部抵抗加熱し、引っ張って、ガラスファイバに曲率半径を形成することができる。ガラスファイバについて上述したように、光ファイバの先端を外部抵抗加熱し、引っ張って、光ファイバの先端に所望の曲率半径を形成することにより、テーパ型レンズ付ファイバを形成することができる。図6は本発明の方法により形成されたテーパ型レンズ付ファイバ12を示す。テーパ型レンズ付ファイバ12は所望の曲率半径を有するテーパ16が付けられた光ファイバ14を有し、テーパ16がレンズとして作用する。光ファイバ14はクラッド19で囲まれたコア18を有する。一般に、光ファイバ14は、PMファイバを含む、任意のシングルモードファイバ、またはマルチモードファイバとすることができる。

【0024】

（図6に示される）テーパ型レンズ付ファイバ12と（図3A～3Cに示される）集束レンズ付ファイバ6の間の主な差異は、（図3A～3Cに示される）平凸レンズ7及び（図6に示される）レンズ（すなわちテーパ）16の、ビームウエストまでの距離及びf数、すなわちスピードである。図7を参照してレンズのf数の定義を説明する。レンズのf数はレンズの開放口径（D）すなわち有効直径に対するレンズのビームウエストまでの距離（f）の比として定義される。一般に、有効直径（D）はレンズの凸面におけるビーム直径の99%である。テーパ型レンズ付ファイバについてのビームウエストまでの距離（f）は一般に約5μmから50μmの範囲にあるが、ビームウエストにおけるモードフィールド径が同等の集束レンズ付ファイバについてのビームウエストまでの距離（f）は一般に100μmより大きい。テーパ型レンズ付ファイバのf数は小さく、通常は約1であるが、集束レンズ付ファイバのf数は1よりかなり大きい。

【0025】

（図3A～3Cに示される）集束レンズ付ファイバ6及び（図6に示される）テーパ型レンズ付ファイバ12のいずれも、集束及び集光器用途に使用することができる。テーパ型レンズ付ファイバ12は、短い作動距離で光をコリメートするために用いることもできる。一般的に言えば、（図3A～3Cに示される）集束レンズ付ファイバ6は、ビームの光検出器または受信器上への集束と、縦型キャビティ面発光レーザ（VCSEL）からの光の光ファイバへの結合とに良く適している。（図6に示される）テーパ型レンズ付ファイバ12は、光ファイバに出入りする光の、開口数の大きいプレーナ型導波路への結合にも、VCSELまたはビームが円形またはほぼ円形のその他のレーザ光源への結合にも良く適している。f数が大きいため、モードフィールド径が同じテーパ型レンズ付ファイバに比較して、集束レンズ付ファイバには角位置合せずれに対してより敏感になる傾向がある。集束レンズ付ファイバによる結合効率是一般に99%より高い。テーパ型レンズ付ファイバによる結合効率は一般に80%より高い。

【0026】

10

20

30

40

50

上述した方法を用いて形成された集束レンズ付ファイバ形状寸法の例が表 1 に示される。しかし、表 1 に提示される例は説明のためのものでしかなく、決して本発明を限定すると解釈されるべきではないことは当然である。表 1 に示されるレンズ付ファイバ形状寸法については、無コアファイバをシングルモードファイバに永久接続し、上述した方法を用いて無コアファイバをテーパカットして平凸レンズを形成した。無コアファイバは 200 μm のホウケイ酸ガラスロッドであり、米国ニュージャージー州モーガンビル (Morganville) のバイトラン・コーポレーション (Vytran Corporation) 社により FFS-2000 という商品名で販売されている融着接続装置を無コアファイバのテーパカットに用いた。この融着接続装置は無コアファイバを加熱するためのタングステンフィラメントを備える。表 1 は無コアファイバのテーパカットに用いた電力条件を示す。表 1 には、各レンズについての、ビームウエストにおけるモードフィールド径 (MFD)、ビームウエストまでの距離及びレイリー範囲も示されている。測定は 1545 nm で行った。

【表 1】

表 1: プロセスパラメータと集束レンズ付ファイバの形状との関係

レンズ	レンズ厚 T(μm)	曲率半径 Rc(μm)	テーパ付け フィラメント 電力 (W)	空気中での ビーム ウエスト における MFD (μm)	ビーム ウエスト までの 距離 (μm)	レイリー 範囲 (μm)
A	601	74	25.3	7.7	270	15
B	644	89	27.0	9.4	350	22.5
C	276	56	22.0	15.5	234	60
D	205	48	21.8	16.1	170	66
E	425	44	21.5	5.6	143	8.5
F	300	40	21.0	7.8	140	15

【0027】

図 8 は、レンズ D (表 1 を参照されたい) についての、x 軸及び y 軸 (図 3 A を参照されたい) に沿うモードフィールド径を z 軸 (図 3 A を参照されたい) に沿う距離の関数として示したものである。z 軸 (図 3 A を参照されたい) 上のゼロ点は、ファイバとレンズの間に形成された永久接続部 (図 3 A の要素 26 を参照されたい) に出現するビームの、レンズにおける発散角から推定した。図 9 A 及び 9 B はそれぞれ、レンズ D (表 1 を参照されたい) についての、ビームウエストにおけるモードフィールド形状の x 成分及び y 成分を示す。開口数 0.25 の 10 倍対物レンズを用いるビームスキャンによりビームを測定した。すなわち、実際のモードフィールド径は 10 分の 1、すなわち約 160 μm ではなく 16 μm である。

【0028】

図 10 は、テーパ型レンズ付ファイバについて、角強度を曲率半径の関数として示したものである。テーパ型レンズ付ファイバは、光ファイバを加熱しながら光ファイバを引っ張ってテーパを付けた。米国ニュージャージー州モーガンビルのバイトラン・コーポレーション社により FFS-2000 という商品名で販売されているような融着接続装置を用いて、光ファイバを外部抵抗加熱した。テーパの末端に形成される曲率半径は、ファイバが外部抵抗加熱される時間長に比例した。図 10 に報告される角放射強度は、フォトン社

(Photon Inc.) から入手できるゴニオメーター放射計 LD 8900 を用いて、 $+72^\circ$ から -72° までスキャンすることにより、遠方界で測定した。テーパ型レンズ付ファイバは「コーニング」SMF-28 ファイバから形成し、測定は広帯域エルビウム増幅自然放出レーザ光源を用いて行った。グラフは発散角とテーパの曲率半径の間の強い依存性を示す(黒記号; 左 y 軸)。さらに、グラフは、プロセスパラメータ (FFS-2000 バイトラン融着接続装置の 24.4 W の電力における加熱時間) と曲率半径の間の強い依存性を示す(白丸; 右 y 軸)。 $1/e^2$ パワーレベルにおける遠方界発散角 (θ) とテーパのビームウエストにおけるモードフィールド半径 (w_0) は、 $\theta = \lambda / (\pi w_0)$ を用いて関係付けることができる。

【0029】

10

図 11A~11D は、相異なる 4 つのテーパ型レンズ付ファイバ形状寸法について、モードフィールド径 (MFD) をレンズの凸面からの距離の関数として示す。黒丸は x 軸 (図 6 を参照されたい) に沿うモードフィールド径を表し、白丸は y 軸 (図 6 を参照されたい) に沿うモードフィールド径を表す。40 倍対物レンズを用いてデータを取り、モードフィールド径を 40 分の 1 にした。2 本のレンズ付ファイバの相互結合及びレンズ付ファイバの「コーニング」SMF-28 コアへの結合の両者により測定したテーパ型レンズ付ファイバについての代表的な結合係数は、80 から 90 % の範囲にある。

【0030】

本発明のレンズ付ファイバには様々な実用用途がある。レンズ付ファイバは、受信器または検出器または Δn が小さいプレーナ型導波路デバイスのような、光デバイス上に光を集束させるための結像レンズとして用いることができる。これらの用途では、光ファイバのコアを進行してくる光が、レンズに入るときに発散し、レンズを出るときに集束されて光デバイス上でスポットになる。レンズ形状は光デバイス上に所望のスポット径が形成されるように選ぶことができる。レンズ付ファイバは集光器として用いることもできる。この場合、光は、発光体またはプレーナ型導波路のような、光デバイス上の領域から入ってくることがあり得る。レンズは光デバイスからの光を集光し、光を光ファイバのコアに集束させることになろう。レンズ付ファイバは、レンズの許容角に等しいかまたはそれより小さい発散角で光がファイバから入り、その光をレンズによってファイバのコアに結像させる集光器として用いることもできる。

20

【0031】

30

限られた数の実施形態に関して本発明を説明したが、本開示の恩恵を有する当業者には、本明細書に開示されるような本発明の範囲を逸脱しない別の実施形態が案出され得ることが理解されるであろう。したがって、本発明の範囲は添付される特許請求の範囲によってのみ限定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図 1】従来技術のコリメーティングレンズ付ファイバの略図である

【図 2】従来技術のテーパ型レンズ付ファイバの略図である

【図 3A】本発明の一実施形態にしたがう集束レンズ付ファイバの実施形態を示す

【図 3B】本発明の一実施形態にしたがう集束レンズ付ファイバの別の実施形態を示す

40

【図 3C】本発明の一実施形態にしたがう集束レンズ付ファイバの別の実施形態を示す

【図 4A】様々な集束レンズ付ファイバ形状寸法について、空气中を $100\ \mu\text{m}$ 伝搬し、続いて InGaAs ($n=3.18$) を伝搬するビームに対するガウスビームレイトレーシング解析を示す

【図 4B】様々な集束レンズ付ファイバ形状寸法について、空气中を $100\ \mu\text{m}$ 伝搬し、続いて InGaAs ($n=3.18$) を伝搬するビームに対するガウスビームレイトレーシング解析を示す

【図 5A】ガラスファイバに曲率半径を形成するための方法を示す

【図 5B】ガラスファイバに曲率半径を形成するための方法を示す

【図 5C】抵抗発熱フィラメントによるテーパカット後の、図 5B のガラスファイバを示す

50

す

【図 6】本発明の方法により形成されたテーパ型レンズ付ファイバを示す

【図 7】レンズの f 数の定義を示す

【図 8】モードフィールド径を集束レンズ凸面からの距離の関数として示す

【図 9 A】集束レンズのビームウエストにおけるモードフィールド形状 ($\times 10$ 拡大) を x 成分について示す【図 9 B】集束レンズのビームウエストにおけるモードフィールド形状 ($\times 10$ 拡大) を y 成分について示す

【図 10】テーパ型レンズ付ファイバについて角放射強度を曲率半径の関数として示す

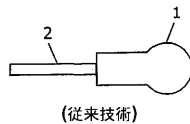
【図 11】あるテーパ型レンズ形状について、モードフィールド径をレンズ面からの距離の関数として示す 10

【符号の説明】

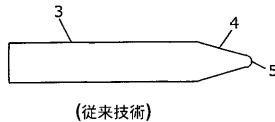
【0033】

- 6 集束レンズ付ファイバ
- 7 平凸レンズ
- 8 光ファイバ
- 9 コア
- 10 クラッド
- 26 永久接続

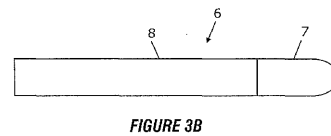
【図 1】



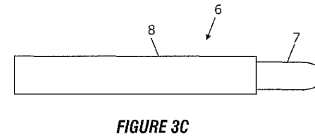
【図 2】



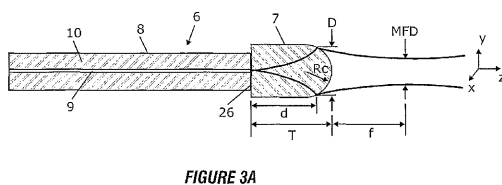
【図 3 B】



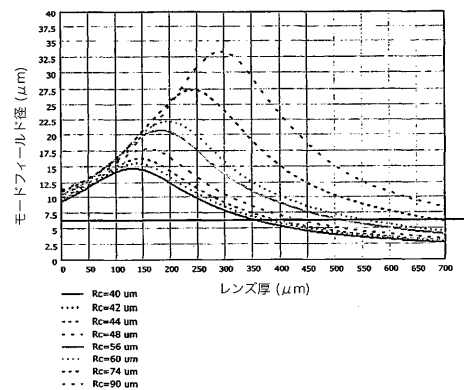
【図 3 C】



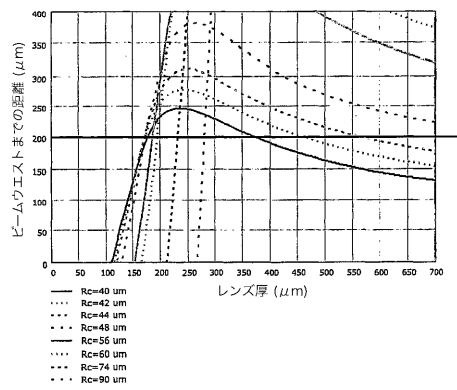
【図 3 A】



【図 4 A】



【図 4 B】



【図 5 A】

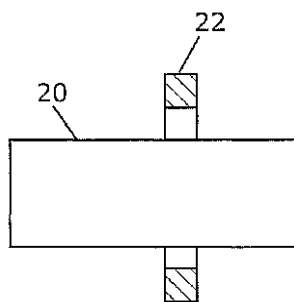


FIGURE 5A

【図 7】

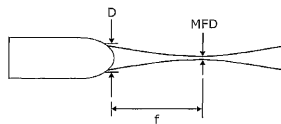
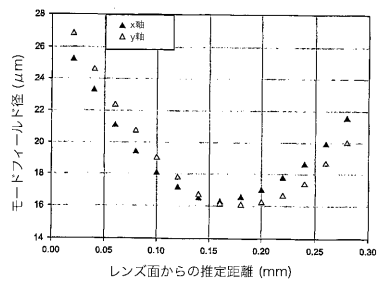
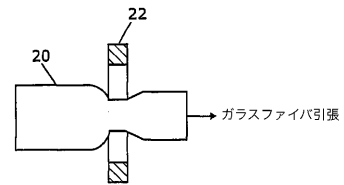


FIGURE 7

【図 8】



【図 5 B】



【図 5 C】

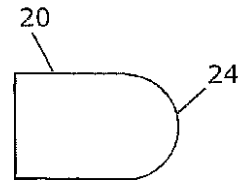


FIGURE 5C

【図 6】

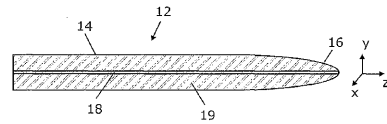
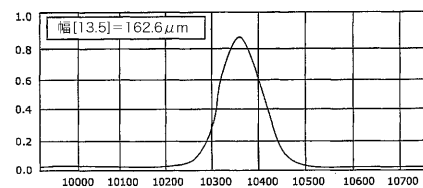
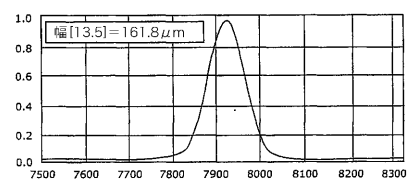


FIGURE 6

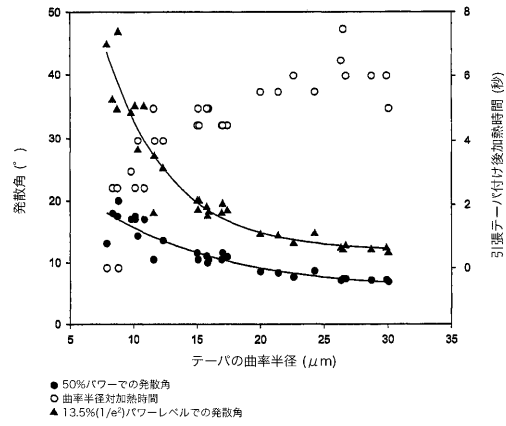
【図 9 A】



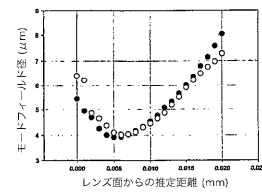
【図 9 B】



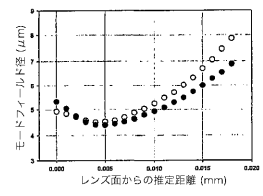
【図 10】



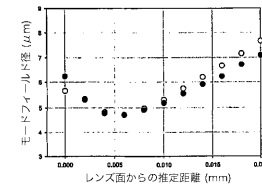
【図 11】



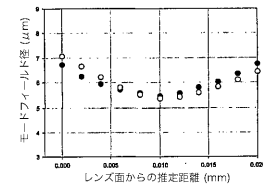
11A



11B



11C



11D

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/16236
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : G02B 6/32 US CL : 385/33 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) U.S. : 385/ 51		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) US EAST database search terms: fiber near4 lens, rayleigh		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4,380,365 A (GROSS) 19 April 1983 (19.04.1983), column 6 line 19-column 8 line 43	1-10
X	US 4,496,211 A (DANIEL) 29 January 1985 (29.01.1985), column 13 line 27-column 15 line 51.	1-5
X	GB 2 110 835 A (BRICHENO) 22 June 1983 (22.06.1983), lines 46-99.	11-19
☐ 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 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 15 August 2002 (15.08.2002)		Date of mailing of the international search report 15 OCT 2002
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized officer Rodney Bovernick Telephone No. (703) 308-0956 Deborah P. Vega Patent Special

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ヴァスタッグ, デブラ エル
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14903 エルミラ ハイッ ノッティンガム ウェイ 1
33

Fターム(参考) 2H037 BA02 CA02 CA03 CA04 CA08 CA16 DA04 DA05 DA17