(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2004-531774
(P2004-531774A)
(43)公表日　平成16年10月14日(2004.10.14)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
G02B 6/32	G02B 6/32		2H037
G02B 6/10	G02B 6/10	D	2H050

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 30 頁）

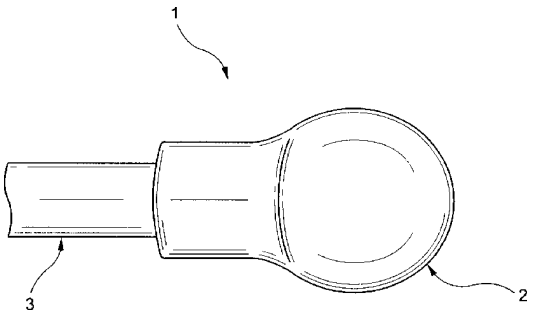
(21)出願番号　特願2003-509213(P2003-509213)
(86)(22)出願日　平成14年5月31日(2002.5.31)
(85)翻訳文提出日　平成15年12月26日(2003.12.26)
(86)国際出願番号　PCT/US2002/017198
(87)国際公開番号　WO2003/003090
(87)国際公開日　平成15年1月9日(2003.1.9)
(31)優先権主張番号　09/892,087
(32)優先日　平成13年6月26日(2001.6.26)
(33)優先権主張国　米国(US)
(81)指定国　EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,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

(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　１４８３１　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，ルイェルカ
アメリカ合衆国　ニューヨーク州　１４８７０　ペインテッド　ポスト　ウェスト　レイン　１０８

Fターム(参考)　2H037 CA04 CA08 CA12 DA04 DA05 DA17
2H050 AC09 AC90

(54)【発明の名称】ドープされた二酸化ケイ素を用いたマイクロレンズ付きファイバの製造

(57)【要約】
ドープされたシリカ棒材を光ファイバ（３）にスプライスし、ドープされたシリカ棒材の端部を平凸屈折レンズ（２）に成形することによる、マイクロレンズ付きファイバ（１）の製造方法が開示されている。ドープされたシリカ棒材は、ドープされていないシリカよりも融点およびアニール点が低く、それゆえ、マイクロレンズ付きファイバ（１）を製造するのに必要な電力は少ない。これにより、製造設備の加熱素子の磨耗が減少し、それゆえ、周期間で製造できるマイクロレンズ付きファイバの数が増える。本発明のさらなる態様は、上記方法により製造されたマイクロレンズ付きファイバ（１）である。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
マイクロレンズ付きファイバを製造する方法であって、
a) 光ファイバの端部をドープシリカ棒材の端部に接触させ、該ファイバと該棒材とを接合するのに効果的な温度に接触区域を加熱することにより、該ドープシリカ棒材を該光ファイバにスプライスし、
b) 前記ドープシリカ棒材のある領域を加熱しながら、これと同時に、該ドープシリカ棒材が前記加熱された領域で所望の所定長さに切断されるように該棒材に張力を加え、
c) 前記ドープシリカ棒材の端部が、所望の曲率半径を持つ平凸レンズ表面に溶融するように、前記光ファイバにスプライスされたままの前記ドープシリカ棒材のある領域を加熱する、
各工程を有してなる方法。
【請求項２】
前記ドープシリカ棒材が、B_2O_3，GeO_2，$B_2O_3-GeO_2$，$B_2O_3-P_2O_5$，P_2O_5，$GeO_2-P_2O_5$，$GeO_2-B_2O_3-P_2O_5$，Al_2O_3，または$GeO_2-B_2O_3$がドープされたシリカから構成されていることを特徴とする請求項１記載の方法。
【請求項３】
前記ドープシリカ棒材が、約１から約２０重量％のB_2O_3がドープされたシリカから構成されていることを特徴とする請求項２記載の方法。
【請求項４】
前記ドープシリカ棒材が、約１から約３０重量％のGeO_2がドープされたシリカから構成されていることを特徴とする請求項２記載の方法。
【請求項５】
前記ドープシリカ棒材の軟化点がシリカの軟化点よりも低いことを特徴とする請求項１記載の方法。
【請求項６】
前記ドープシリカ棒材の熱膨張係数が約1×10^{-7}から約35×10^{-7}／℃の請求項１記載の方法。
【請求項７】
前記光ファイバがシングルモード光ファイバであることを特徴とする請求項１記載の方法。
【請求項８】
前記ドープシリカ棒材の直径が前記光ファイバの直径よりも大きいことを特徴とする請求項１記載の方法。
【請求項９】
前記ドープシリカ棒材の直径が約２００μｍであり、前記光ファイバの直径が約１２５μｍであることを特徴とする請求項８記載の方法。
【請求項１０】
前記光ファイバのコアが接続部で広げられており、該接続部でのモードフィールドが、該光ファイバの公称モードフィールドよりも大きいことを特徴とする請求項１記載の方法。
【請求項１１】
工程b)の最中の温度が約１５００℃から約３０００℃であり、抵抗加熱されたタングステンフィラメントを用いて加熱を行うことを特徴とする請求項１記載の方法。
【請求項１２】
光ファイバにスプライスされたドープシリカ棒材を有してなり、前記ドープシリカ棒材の末端が平凸屈折レンズに成形されていることを特徴とするマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項１３】
前記ドープシリカ棒材が、B_2O_3，GeO_2，$B_2O_3-GeO_2$，$B_2O_3-P_2O_5$，P_2O_5，$GeO_2-P_2O_5$，$GeO_2-B_2O_3-P_2O_5$，Al_2O_3，または$GeO_2-B_2O_3$がドープされたシリカから構成されていることを特徴とする請求項１２記載のマイクロレンズ

付きファイバ。
【請求項１４】
前記ドープシリカ棒材が、約１から約２０重量％のB_2O_3がドープされたシリカから構成されていることを特徴とする請求項１３記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項１５】
前記ドープシリカ棒材が、約１から約３０重量％のGeO_2がドープされたシリカから構成されていることを特徴とする請求項１３記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項１６】
前記ドープシリカ棒材の軟化点がシリカの軟化点よりも低いことを特徴とする請求項１２記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項１７】
前記ドープシリカ棒材の熱膨張係数が約１×１０^{-7}から約３５×１０^{-7}／℃の請求項１２記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項１８】
前記光ファイバがシングルモード光ファイバであることを特徴とする請求項１２記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項１９】
前記ドープシリカ棒材の直径が前記光ファイバの直径よりも大きいことを特徴とする請求項１２記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項２０】
前記ドープシリカ棒材の直径が約２００μｍであり、前記光ファイバの直径が約１２５μｍであることを特徴とする請求項１９記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【請求項２１】
前記光ファイバのコアが接続部で広げられており、該接続部でのモードフィールドが、該光ファイバの公称モードフィールドよりも大きいことを特徴とする請求項１８記載のマイクロレンズ付きファイバ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、マイクロレンズ付き光ファイバおよびその製造方法に関する。本発明のマイクロレンズ付き光ファイバは、光スイッチ、コネクタおよびターミナルを含む様々な光学系において有用である。
【背景技術】
【０００２】
演算や通信などの用途のための光学素子の開発、小型化、および単純化は、新規の光学部品の開発にかかっている。製造が容易かつ経済的であり、耐久性があり、結合効率の高い光結合部品が特に望ましい。
【０００３】
接着剤を介して光ファイバに接合された別個の球面レンズ、ボールレンズ、グリン（勾配屈折率）レンズを用いた従来の結合系は、レンズをファイバにアライメントするのが難しいので、難点がある。したがって、その製造は、高くつき、部品間でもばらつきが大きくなることが多い。これらの部品は、機械的および熱的に不安定なこともある。
【０００４】
単一ユニットとしてレンズとファイバとが互いに融着されたマイクロレンズ付きファイバは、接着剤により接合された結合系に代わるものである。そのような部品を製造する方法の１つは、光ファイバの先端部分を溶融し、このファイバの先端に結合されている球面レンズを形成することである。これには、非常に均一な球面レンズの表面を形成できるように非常に均一な熱源が必要である（例えば、特許文献１およびその中の他の文献を参照のこと）。球面レンズを形成するのに必要な温度は、二本のファイバを一緒に単にスプライスするのに必要な温度よりも高いので、より多くの電力を熱源に供給しなければならない

。これにより、加熱設備の磨耗が増し、メンテナンスの機会が増え、耐用寿命が短くなる。

【特許文献１】
米国特許第５２９３４３８号明細書
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
したがって、必要な加熱電力が少なく、したがって、メンテナンス周期の間に多くのユニットを製造できるマイクロレンズ付きファイバの製造方法を開発することが望ましい。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の態様の１つは、光ファイバにスプライスされた平凸屈折レンズを有してなるマイクロレンズ付きファイバを提供することにある。ある実施の形態によれば、そのレンズは、X_2O、ＹＯ、Z_2O_3、TO_2、またはR_2O_5から選択された一種類以上の化合物がドープされたシリカを有してなり、ここで、
ＸはＮａ，Ｋ，Ｌｉ，ＡｌまたはＣｓであり、
ＹはＭｇ，ＣｏまたはＺｎであり、
ＺはＢ，Ａｌ，Ｇａ，ＳｂまたはＢｉであり、
ＴはＧｅまたはＴｉであり、
ＲはＰである。
【０００７】
本発明のさらなる態様は、マイクロレンズ付きファイバを製造する方法であって、
a) 光ファイバの端部をドープシリカ棒材の端部に接触させ、ファイバと棒材とを接合するのに効果的な温度に接触区域を加熱することにより、ドープシリカ棒材を光ファイバにスプライスし、
b) ドープシリカ棒材のある領域を加熱しながら、これと同時に、ドープシリカ棒材が前記加熱された領域で所望の所定長さに切断されるように棒材に張力を加え、
c) ドープシリカ棒材の端部が、所望の曲率半径を持つ平凸レンズ表面に溶融するように、光ファイバにスプライスされたままのドープシリカ棒材のある領域を加熱する、
各工程を有してなる方法を提供することにある。
【０００８】
マイクロレンズ付きファイバの製造には、非常に均一な球面レンズを形成できる非常に均一な熱源が必要である。適切な熱源の一例は、タングステンフィラメントを持つフュージョンスプライサーである。特に、Ｖｙｔｒａｎフュージョンスプライサーなどのフィラメントループを持つフュージョンスプライサーは、対称円形モードフィールドを持つ球面レンズを形成できる非常に均一な熱を提供する。
【０００９】
マイクロレンズ付きファイバの製造は、以下の各工程を含むであろう：
a) 光ファイバのシリカ棒材へのスプライシング。この工程において、光ファイバおよびそこからレンズが形成されるガラス棒材を、端部と端部でアライメントし、ファイバと棒材を、二本の光ファイバの一般的なスプライシングの場合のように、フィラメントで加熱しながら、互いに押しつける。フィラメントの電力は、二本の同じ光ファイバをスプライスするのに用いられる電力と同等である。
【００１０】
b) シリカ棒材のテーパーカット。スプライシング後、フィラメントの高温区域をシリカ棒材に沿って所望の距離だけ移動させる。次いで、フィラメントの電力を増加させ、シリカ棒材を、加熱しながら引っ張ることによりテーパーカットする。
【００１１】
c) 戻りながらの溶融およびレンズ形成。テーパーカット後、フィラメントの高温区域を、所望の曲率半径による距離だけ接続部に向かって移動させ、フィラメントの電力をさら

に増加させる。この工程により、球面レンズを形成する。

【００１２】

工程ｂおよびｃに用いたフィラメントの電力は、二本のファイバの標準的なスプライシング中に用いられる電力よりもずっと大きいので、フィラメントをスプライシングのみのために用いた場合と比較すると、レンズ製造プロセスにおいては、フィラメントの耐用寿命が著しく短くなる。例えば、一般的なフィラメントループでは、約５００のSMF-28とSMF-28との接続部を製造できるが、シリカレンズは約８０しか製造できない。このことは、レンズ材料として純粋なシリカを用いる製造プロセスにとって重大な制限である。

【００１３】

これに鑑みて、本発明は、マイクロレンズ付きファイバの製造方法であって、シリカより低いアニール点および／または粘度を持つガラスを使用することにより、レンズ形成中のフィラメントの耐用寿命が長くなる方法を特徴とする。本発明のある実施の形態は、マイクロレンズ付きファイバの製造方法であって、

光ファイバの端部をドープシリカ棒材の端部に接触させ、ファイバと棒材とを接合するのに効果的な温度に接触区域を加熱することにより、ドープシリカ棒材を光ファイバにスプライスし、

ドープシリカ棒材のある領域を加熱しながら、これと同時に、ドープシリカ棒材が前記加熱された領域で所望の所定長さに切断されるように棒材に張力を加え、

ドープシリカ棒材の端部が、所望の曲率半径を持つ平凸レンズ表面に溶融するように、光ファイバにスプライスされたままのドープシリカ棒材のある領域を加熱する、

各工程を有してなる方法にある。

【００１４】

本発明のある実施の形態によれば、加熱は抵抗加熱したフィラメントにより行う。特に好ましい熱源は、抵抗加熱フィラメントループを有するフュージョンスプライサーである。ある実施の形態によれば、フィラメントループはタングステンから構成される。

【００１５】

本発明のある実施の形態によれば、ドープシリカ棒材を、所望の所定長さに切断すべきときに、約１５００℃から約３０００℃の温度で加熱する。ある実施の形態によれば、ドープシリカ棒材を、レンズ形成中に約１５００℃から約３０００℃の温度で加熱する。

【００１６】

多くの光ファイバが当該技術分野において知られており、特定の用途に適切な光ファイバを選択することは、当業者の能力に含まれる。本発明による特に好ましいファイバは、シリカから構成されるシングルモードファイバ（ＳＭＦ）である。そのようなファイバの例としては、SMF-28（コーニング社(Corning Inc.)）が挙げられる。

【００１７】

マイクロレンズ付きファイバのレンズ部分を製造するのに適したドープシリカ材料は、好ましくは、シリカのものよりも低い軟化点および粘度を有する。特に好ましい材料は、約５×１０$^{-7}$から約３５×１０$^{-7}$／℃の熱膨張係数（ＣＴＥ）を有する。

【００１８】

表面張力は、戻りながらの溶融中のレンズ形成に影響を与える別の性質である。一般に、ドーパントが存在するとガラスの表面張力が減少し、これにより、戻りながらの溶融中に使用される電力を減少できる（すなわち、温度を低くできる）。

【００１９】

レンズの製造に適したドープシリカ材料の例としては、X_2O、ＹＯ、Z_2O_3、TO_2、またはR_2O_5から選択された一種類以上の化合物がドープされたシリカが挙げられ、ここで、ＸはＮａ，Ｋ，Ｌｉ，ＡｌまたはＣｓであり、ＹはＭｇ，ＣｏまたはＺｎであり、ＺはＢ，Ａｌ，Ｇａ，ＳｂまたはＢｉであり、ＴはＧｅまたはＴｉであり、ＲはＰである。特に好ましい材料の例としては、B_2O_3，GeO_2，$B_2O_3-GeO_2$，$B_2O_3-P_2O_5$，P_2O_5，$GeO_2-P_2O_5$，$GeO_2-B_2O_3-P_2O_5$，Al_2O_3，または$GeO_2-B_2O_3$がドープされたシリカが挙げられる。さらにより好ましい材料としてしは、約１から約２

０重量％の酸化ホウ素がドープされたシリカ、および約１から約３０重量％の酸化ゲルマニウムがドープされたシリカが挙げられる。

【００２０】

本発明のある実施の形態によれば、マイクロレンズ付きファイバのレンズ部分に用いられるドープシリカ材料は、光ファイバのものよりも低い粘度および光ファイバのＣＴＥよりも大きいＣＴＥを有する。この場合、光ファイバとドープシリカ棒材を互いにスプライスしたときに、スプライスの光ファイバ側（低膨張側）にわずかに引張応力が加わる。この応力は、ドープシリカ棒材の直径が光ファイバの直径よりも大きい場合は、わずかに減少する。

【００２１】

したがって、本発明のある実施の形態では、光ファイバの直径よりもわずかに大きい直径を持つドープシリカ棒材を使用する。特に好ましい実施の形態では、１２５μｍの光ファイバにスプライスされた２００μｍまたは２５０μｍの直径のドープシリカファイバを使用する。

【００２２】

本発明の別の態様は、光ファイバにスプライスされた平凸屈折レンズを有してなるマイクロレンズ付きファイバであって、平凸レンズが上述したドープシリカから構成されたものであるマイクロレンズ付きファイバにある。ある実施の形態によれば、光ファイバのコアは、接続部で広げられている。

【００２３】

特に好ましいマイクロレンズ付きファイバは、上述したように製造される。ある好ましい実施の形態によれば、レンズがそれから形成されるドープシリカ棒材は、光ファイバよりも直径が大きい。

【００２４】

本発明によるマイクロレンズ付きファイバは、ｘおよびｙ方向においてガウス形であるビームプロファイルを示すことが好ましい。本発明のある実施の形態によれば、接続部でのモードフィールドは、光ファイバの公称モードフィールドよりも大きい。

【実施例１】

【００２５】

シリカ、約４重量％の酸化ホウ素がドープされたシリカ、および約１０重量％の酸化ゲルマニウムがドープされたシリカからなる、直径が２００μｍの棒材およびSMF-28光ファイバを用いて、上述したようにマイクロレンズ付きファイバを製造した。レンズ材料の性質が以下の表１に列記されている。

【表１】

表1. レンズに用いたガラスの性質			
性質	シリカ	酸化ホウ素をドープしたシリカ	酸化ゲルマニウムをドープしたシリカ
屈折率(n_D)	1.457	1.457	1.467
CTE(x10-7/°C)	4.5	9	11
アニーリング温度(°C)	1107	999	1062
歪み点(°C)	1031	910	955
弾性	10.0	9.2	9.6
歪み点での α(x 10-7 deg-1)	0.9	4.6	8.3
軟化点(°C)	1630	1520	1567
粘度(In Tlos(Poise))	-13.738	-8.793	-10.912
活性化エネルギー(Q(K))	60600	49520	55330

【００２６】
図２は、$\ln\eta = \ln\eta_0 + Q/T$（ηは所定の温度での粘度であり、$\eta_0$は無限温度での粘度であり、Qは気体定数で割られた活性化エネルギーであり、Tは絶対温度である）を用いて計算した、シリカおよびホウケイ酸ガラスについての温度の関数としての粘度のプロットを示している。酸化ホウ素でドープすると、ガラスの粘度が低下し、レンズ形成中の温度を低くできる。

【００２７】
各々のレンズ材料を用いた、各工程に必要なおおよそのフィラメント電力が表２に示されている。全てのフィラメント電力は、Vytran FFS-2000スプライサー（１５ＡのＤＣ電源）の標準的なフィラメントループに関するものである。

【表２】

表2. 異なるレンズ材料を用いたマイクロレンズ付きファイバの各製造工程に利用される電力(W)			
製造工程	シリカ	酸化ホウ素をドープしたシリカ	酸化ゲルマニウムをドープしたシリカ
スプライシング	20-23	15-20	17-22
テーパーカット	24-27	16-24	22-25
レンズ形成	28-32	23-28	24-30

【００２８】

表２に示したように、３つの加熱工程の各々に要する電力は、ドープされていないレンズの場合よりも、ドープされたシリカレンズの場合のほうが少ない。ドープシリカガラスを用いた、フィラメント当たりに製造できるレンズの数は、シリカを用いた場合に製造できる数の約二倍である。

【００２９】

図３Ａおよび３Ｂは、ホウケイ酸レンズに関するビームプロファイラーデータを示している。このビームプロファイルは、ｘおよびｙ方向の両方においてガウス形であり、楕円率は示さない。このレンズは、対称であり、レンズ形成プロセス中に「垂れ下がら」ない。モードフィールド径（ＭＦＤ）は、レンズ表面近くで測定した。

【００３０】

シリカおよびホウケイ酸レンズに関する距離の関数としてのビームプロファイラーデータが、それぞれ、図４Ａおよび４Ｂに示されている。ビームプロファイルは、０．２５μｍの増分でｘおよびｙ方向について収集した。図４の適合させた曲線は、測定したレンズの幾何学形状を用いてシミュレートしたデータに対するガウス形ビームモデルの適合を示す。このモデルは、接続部でのモードフィールドが、SMF-28の公称モードフィールドよりも大きいことを示している。このことは、接続部に熱によるコアの広がりがあることを示している（ここで用いたSMF-28のモードフィールド径は１５５０ｎｍで１０．８μｍである）。

【００３１】

熱によるコアの広がりは、純粋なシリカの場合よりもホウケイ酸レンズの場合のほうが大きい。理論により拘束するものではなく、ホウ素は、接続部でのゲルマニウム拡散を促進させるようである。さらに、前記モデルの適合は、ホウケイ酸レンズの場合よりもシリカレンズの場合のほうがずっと良好であり、レンズ表面から約１．５ｃｍから約２．５ｃｍ離れたモードフィールド径の平らな領域を全てが示す。視準は、SiO_2レンズについてよりも、B_2O_3－SiO_2レンズについてのほうが良好である。

【００３２】

B_2O_3－SiO_2レンズを用いた、５０～７０μｍのモードフィールドを持つマイクロレンズ付きファイバの結合効率は、約０．０８から約０．２ｄＢである。レンズ表面を反射防止コーティングで被覆した場合、反射減衰量は６０ｄＢより大きく、偏波減衰量は０．０１ｄＢ未満である。

【００３３】

参考文献

以下の文献は、ここに記載したものの補助的な方法または他の詳細についての例示を示す程度に、ここに特別に引用する。

【００３４】

並木精密宝石の「Mocrolensed Optical Terminals and Optical System Equipped Therewith, and Methods for Their Manufacture, Especially an Optical Coupling Method and Optical Coupler for Use Therewith」と題する１９９４年発行の特許文献１

【図面の簡単な説明】

【００３５】

【図１】光ファイバ３にスプライスされた平凸レンズ２を有してなるマイクロレンズ付きファイバ１を示す概略図

【図２】温度の関数としてのシリカガラスおよびホウケイ酸ガラスの粘度を示すグラフ

【図３】ガウス形の球面モードフィールドを示すｘおよびｙ方向のホウケイ酸レンズに関するビーム・プロファイラーデータを示すグラフ

【図４Ａ】シリカから製造されたレンズに関するレンズ表面からの距離の関数としての１５５０ｎｍでのモードフィールド径を示すグラフ

【図４Ｂ】ホウケイ酸ガラスから製造されたレンズに関するレンズ表面からの距離の関数としての１５５０ｎｍでのモードフィールド径を示すグラフ

【図５】２つのマイクロレンズ付きファイバの光結合に関する幾何学形状パラメータを示

す概略図

【符号の説明】

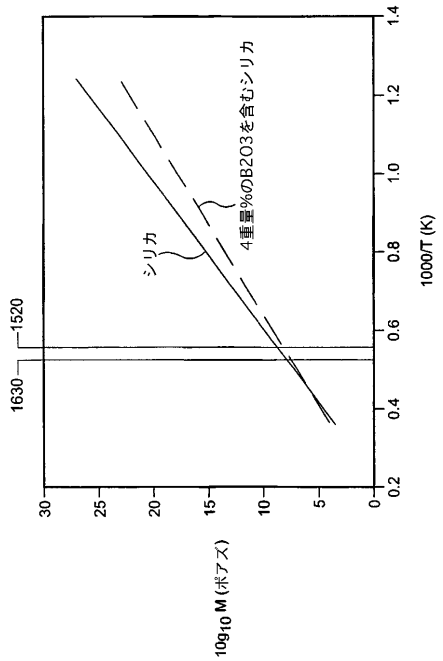
【００３６】

1　　マイクロレンズ付きファイバ

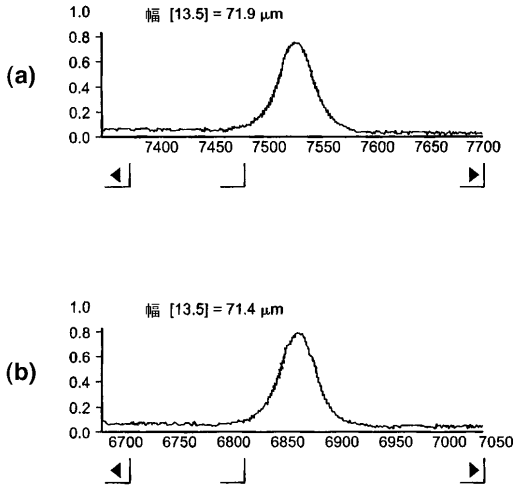
2　　平凸レンズ

3　　光ファイバ

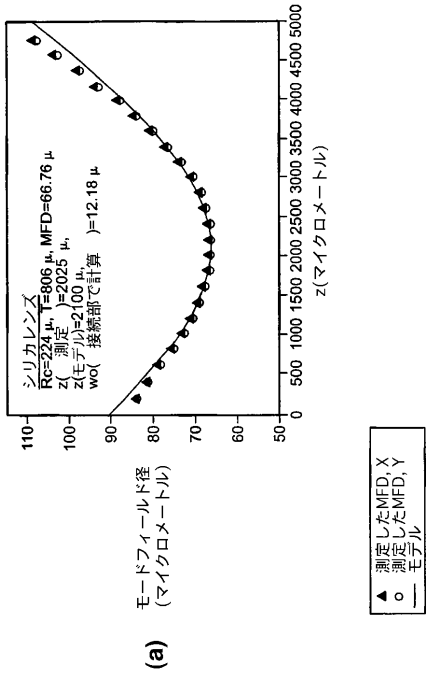
【図２】



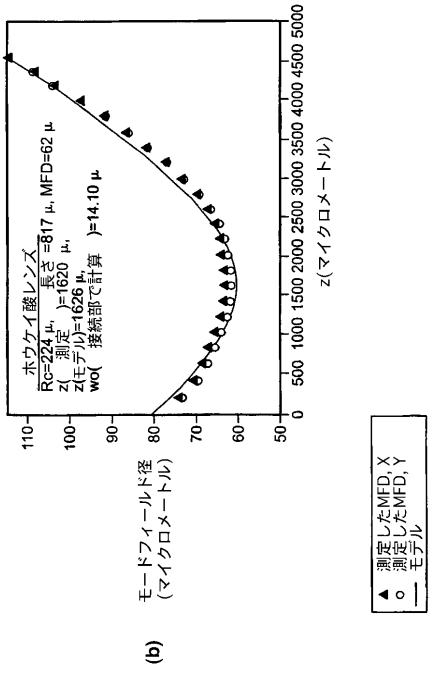
【図３】



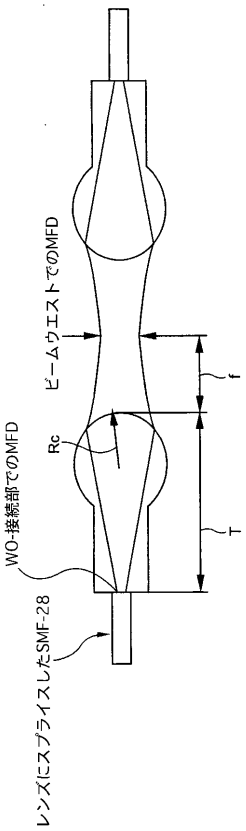
【図４Ａ】


シリカレンズ
Rc=224 μ, T=806 μ, MFD=66.76 μ
z(測定)=2025 μ,
z(モデル)=2100 μ,
wo(接続部で計算)=12.18 μ
モードフィールド径
(マイクロメートル)
z(マイクロメートル)
(a)
測定したMFD, X
測定したMFD, Y
モデル

【図４Ｂ】


ホウケイ酸レンズ
Rc=224 μ, 長さ=817 μ, MFD=62 μ
z(測定)=1620 μ,
z(モデル)=1626 μ,
wo(接続部で計算)=14.10 μ
モードフィールド径
(マイクロメートル)
z(マイクロメートル)
(b)
測定したMFD, X
測定したMFD, Y
モデル

【図５】


WO-接続部でのMFD
Rc
ビームウエストでのMFD
f
T
レンズにスプライスしたSMF-28

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
9 January 2003 (09.01.2003)

PCT

(10) International Publication Number
WO 03/003090 A1

(51) International Patent Classification⁷: G02B 6/32

(21) International Application Number: PCT/US02/17198

(22) International Filing Date: 31 May 2002 (31.05.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/892,087 26 June 2001 (26.06.2001) US

(71) Applicant: CORNING INCORPORATED [US/US]; 1 Riverfront Plaza, Corning, NY 14831 (US).

(72) Inventor: UKRAINCZYK, Ljerka; 108 West Lane, Painted Post, NY 14870 (US).

(74) Agent: SCHAEBERLE, Timothy, M.; Corning Incorporated, SP TI 3 1, Corning, NY 14831 (US).

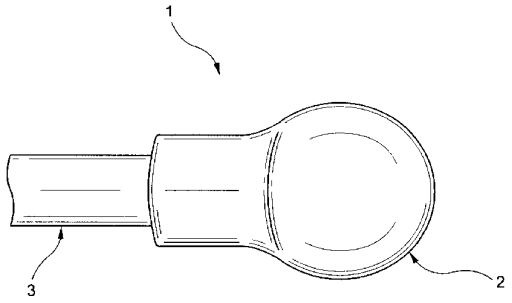
(81) Designated States *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT,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

(84) Designated States *(regional)*: European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Published:
— *with international search report*

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) **Title:** FABRICATION OF MICROLENSED FIBER USING DOPED SILICON DIOXIDE



(57) **Abstract:** A method of making a microlensed fiber (1) by splicing a doped silica rod to an optical fiber (3) and shaping the end of the doped silica rod into a plano-convex refracting lens (2). The doped silica rod has a lower melting point and annealing point than undoped silica, and therefor less power is required to manufacture the microlensed fiber (1). This decreases wear to the heating elements of the manufacturing equipment and therefor increases the number of microlensed fibers that can be manufactured between cycles. A further aspect of the present invention is a microlensed fiber (1) made by the above process.

WO 03/003090 A1

FABRICATION OF MICROLENSED FIBER USING DOPED SILICON DIOXIDE

BACKGROUND OF THE INVENTION

This invention relates to a microlensed optical fiber and a method of making the same. The microlensed optical fiber of the present invention is useful in a variety of optical systems including optical switches, connectors and terminals.

The development, miniaturization, and simplification of optical devices for applications such as computing and communications depends on the development of new optical components. Particularly desirable are optical coupling components that are easy and economical to fabricate, durable, and that have a high coupling efficiency.

Conventional coupling systems using a discrete spherical lenses, ball lenses, grin lenses (gradient refractive index) joined to the optical fibers via adhesives suffer because aligning the lens with the fiber is difficult. Fabrication is therefore expensive and often results in high variability among components. These components may also suffer from mechanical and thermal instability.

A microlensed fiber, having the lens and the fiber fused together as a single unit is a desirable alternative to adhesive-joined coupling systems. One method of fabricating such a component is to melt the tip portion of an optical fiber, to form a spherical lens connected to the fiber tip. This requires a very uniform heat source to allow for the formation of highly uniform spherical lens surface (see for example U.S. Patent No. 5,293,438 and references therein). Because the temperature that is required to form a spherical lens is higher than that required to simply splice two fibers together, more power must be supplied to the heat source. This results in increased wear, increased maintenance, and shorter lifetimes for the heating equipment. Accordingly, it is desirable to develop a method of fabricating a microlensed fiber that requires less heating power and is therefor capable of producing many units between maintenance cycles.

SUMMARY OF THE INVENTION

One aspect of the present invention is to provide a microlensed fiber comprising a plano-convex refractive lens spliced to an optical fiber. According to one embodiment, the lens comprises silica doped with one or more compounds selected from X_2O, YO, Z_2O_3, TO_2, or R_2O_5; wherein

X is Na, K, Li, Al, or Cs;

Y is Mg, Co, or Zn;

Z is B, Al, Ga, Sb or Bi;

T is Ge or Ti; and

R is P.

A further aspect of the present invention is to provide a process for manufacturing a microlensed fiber comprising;

a) splicing a doped silica rod to an optical fiber by contacting an end of the optical fiber with an end of the doped silica rod and heating the area of contact to a temperature effective for joining the fiber and the rod,

b) heating a region of the doped silica rod while simultaneously applying tension to the rod such that the doped silica rod is cut in the heated region to a desired predetermined length, and

c) heating a region of the doped silica rod that remains spliced to the optical fiber so that the end of the doped silica rod melts into a plano-convex lens surface with a desired radius of curvature.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 A microlensed fiber **1** comprising a plano-convex lens **2** spliced to an optical fiber **3**.

FIG. 2 Viscosity of silica and borosilicate glass as a function of temperature.

FIG. 3 Beam profiler data for a borosilicate lens in the x and y direction showing spherical mode field with Gaussian shape.

FIG. 4 Mode field diameter at 1550 nm as a function of distance from the lens surface for a lens made from silica **4A** and borosilicate glass **4B**.

FIG. 5 Geometry parameters relevant to optical coupling of two microlensed fibers.

DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENTS

Manufacturing a microlensed fiber requires a very uniform heat source to allow for the formation of a highly uniform spherical lens. One example of a suitable heat source is a fusion splicer with a tungsten filament. In particular a fusion splicer with a filament loop

such as a Vytran fusion splicer provides very uniform heat allowing for formation of spherical lenses with a symmetrical circular mode field.

The fabrication of the microlensed fiber may comprise the following steps:

a) Splicing the optical fiber to the silica rod. In this step the optical fiber and a glass rod from which the lens will be formed are aligned end-to-end and the fiber and the rod are pushed together while heated by the filament as in a typical splicing of the two optical fibers. The filament power is similar to the power used to splice two identical optical fibers.

b) Taper cut of the silica rod. After the splice, the filament hot zone is moved by the desired distance along the silica rod. Filament power is then increased, and the silica rod is taper cut by pulling the rod while it is being heated.

c) Melt back and lens formation. Following the taper cut, the filament hot zone is moved towards the splice by a distance that depends on the desired radius of curvature and the filament power is further increased. This step forms the spherical lens.

Because the filament powers used in steps b and c are much higher than the powers used during standard splicing of two fibers, the filament lifetime is greatly shortened in lens making process compared to when the filament is used for splicing only. For instance, a typical filament loop can make about 500 SMF-28 to SMF-28 splices, but can make only about 80 silica lenses. This is a major limitation for having a manufacturing process that uses pure silica as lens material.

In view of this, the present invention features a method of making a microlensed fiber, wherein the method provides increased filament lifetime during lens formation by using a glass that has a lower annealing point and/or a lower viscosity than silica. One embodiment of the present invention is a process for manufacturing a microlensed fiber comprising:

splicing a doped silica rod to an optical fiber by contacting an end of the optical fiber with an end of the doped silica rod and heating the area of contact to a temperature effective for joining the fiber and the rod,

heating a region of the doped silica rod while simultaneously applying tension to the rod such that the doped silica rod is cut in the heated region to a desired predetermined length, and

heating a region of the doped silica rod that remains spliced to the optical fiber so that the end of the doped silica rod melts into a plano-convex surface with a desired radius of curvature.

According to one embodiment of the present invention, heating is supplied by a resistively heated filament. A particularly preferred heat source is a fusion splicer with a resistively heated filament loop. According one embodiment the filament loop comprises tungsten.

According to one embodiment of the present invention the doped silica rod is heated at a temperature between about 1500°C and about 3000°C as the doped silica rod is cut to a desired predetermined length. According to one embodiment the doped silica rod is heated at temperature between about 1500°C and 3000°C during lens formation.

Many optical fibers are known in the art, and the choice of an appropriate optical fiber for a particular application is within the ability of one skilled in the art. Particularly preferable fibers according to the present invention are single mode fibers (SMF) comprising silica. An example of such a fiber is SMF-28 (Corning Inc.).

Doped silica materials suitable for making the lens portion of the microlensed fiber preferably have a softening point and a viscosity that is lower than those of silica. Particularly preferred materials have a coefficient of thermal expansion (CTE) between about $5x10^{-7}$ to about $35x10^{-7}$ /°C.

Surface tension is another property that affects the lens formation during melt back. In general, the presence of a dopant decreases surface tension of the glass, which also allows the use of less power (i.e. lower temperature) during melt back.

Examples of doped silica materials suitable for making the lens include silica doped with one or more compounds selected from X_2O, YO, Z_2O_3, TO_2, or R_2O_5; wherein X is Na, K, Li, Al, or Cs; Y is Mg, Co, or Zn; Z is B, Al, Ga, Sb or Bi; T is Ge or Ti; and R is P. Examples of particularly preferred materials are silica doped with B_2O_3, GeO_2, B_2O_3-GeO_2, B_2O_3-P_2O_5, P_2O_5, GeO_2-P_2O_5, GeO_2-B_2O_3-P_2O_5, Al_2O_3, or GeO_2-B_2O_3. Even more preferred materials comprise silica doped with about 1 to about 20 wt % boron oxide, and silica doped with about 1 to about 30 wt % germanium oxide.

According to some embodiments of the present invention, the doped silica materials used for the lens portion of the microlensed fiber have a CTE that is greater than the CTE of the optical fiber and viscosity that is lower than that of optical fiber. If this is the case, then

when the optical fiber and the doped silica rod are spliced together, the tensile stress is slightly on the optical fiber side (low expansion side) of the splice. This stress is slightly reduced if the diameter of the doped silica rod is larger than that of the optical fiber.

Accordingly, one embodiment of the instant invention utilizes a doped silica rod with a diameter slightly larger than that of the optical fiber. A particularly preferred embodiment uses a 200 μm or 250 μm diameter doped silica fiber spliced to a 125 μm optical fiber.

Another aspect of the present invention is a microlensed fiber comprising a plano-convex refractive lens spliced to an optical fiber, wherein the plano-convex lens comprises doped silica as described above. According to one embodiment, the core of the optical fiber is broadened at the splice.

Particularly preferred microlensed fibers are fabricated as described above. According to one preferred embodiment, the doped silica rod from which the lens is formed is larger in diameter than the optical fiber.

Microlensed fibers according to the present invention preferably exhibit beam profiles that are Gaussian in the x and y directions. According to one embodiment of the present invention, the mode field at the splice is greater than the nominal mode field of the optical fiber.

EXAMPLE 1

Microlensed fibers were fabricated as described above, using a SMF-28 fiber optic fiber and 200 μm diameter rods comprising silica, silica doped with about 4 wt. % boron oxide, and silica doped with about 10 wt. % germanium oxide. The properties of the lens materials are given in Table 1 below.

Table 1. Properties of glasses used for lenses.

Property	Silica	Silica Doped With Boron Oxide	Silica Doped With Germanium Oxide
Index of refraction (n_D)	1.457	1.457	1.467
CTE ($x10^{-7}$/°C)	4.5	9	11
Annealing T (°C)	1107	999	1062
Strain Point (°C)	1031	910	955
Elasticity (x 106 psi)	10.0	9.2	9.6
α (x 10^{-7} deg-1) at Strain Point	0.9	4.6	8.3
Softening Point (°C)	1630	1520	1567
viscosity (ln η_o, (Poise))	-13.738	-8.793	-10.912
Activation Energy (Q (K))	60600	49520	55330

FIG. 2 shows the plot of viscosity as a function of temperature for the silica and borosilicate glass, calculated using $\ln \eta = \ln \eta_o + Q/T$ where η is viscosity at a given temperature, η_o is viscosity at infinite temperature, Q is activation energy divided by gas constant and T is absolute temperature. It can be seen that doping with boron oxide decreases the viscosity of the glass, allowing lower temperatures during lens formation.

The approximate filament power required for each of the steps using each of the lens materials is shown in Table 2. All filament powers are for a standard filament loop on a Vytran FFS-2000 splicer (15 A DC power supply).

Table 2. Power (W) used in each step of manufacturing a microlensed fiber using different lens materials.

Manufacture Step	Silica	Silica Doped with Boron Oxide	Silica Doped with Germanium Oxide
Splicing	20-23	15-20	17-22
Taper Cut	24-27	16-24	22-25
Lens Formation	28-32	23-28	24-30

As indicated in Table 2, the power required in each of the three heating steps is less for the doped silica lenses than for the undoped lens. The number of lenses that can be made per filament using the doped silica glasses is about double the number that can be made when silica is used.

FIGS. 3A and 3B show the beam profiler data for the borosilicate lenses. The beam profile is Gaussian in both the x and y directions and shows no ellipticity. The lens is symmetric and does not "droop" during the lens forming process. The mode field diameter (MFD) was measured near the lens surface.

Beam profiler data as a function of distance for a silica and borosilicate lens are shown in FIG. 4A and FIG. 4B, respectively. Beam profiles were collected for x and y direction in increments of 0.25 μm. The fitted line on FIG. 4 represents a fit of Gaussian beam model to the data simulated using the measured lens geometry. The model shows that the mode field at the splice is larger than the nominal mode field of SMF-28. This indicates that there is a thermal core broadening at the splice (the mode field diameter of SMF-28 used here is 10.8 μm at 1550 nm).

The thermal core broadening is larger in the case of borosilicate lens than in the case of pure silica. Without being bound by theory, it is likely that boron facilitates germanium diffusion at the splice. Furthermore, the fit of the model is much better for silica lenses than for borosilicate lenses which all show a flat region of mode field diameter between about 1.5 and about 2.5 cm away from lens surface. Collimation is better with the B_2O_3-SiO_2 lens than with the SiO_2 lens.

The coupling efficiency of a microlensed fibers with a 50-70 μm mode field using B_2O_3-SiO_2 lenses is between 0.08 and about 0.2 dB. When the lens surfaces are coated with

an anti-reflective coating return loss is greater than 60 dB and polarization loss is less than 0.01 dB.

REFERENCES

The following references, to the extent that they provide exemplary procedural or other details supplementary to those set forth herein, are specifically incorporated herein by reference.

Namiki et al, "Microlensed Optical Terminals and Optical System Equipped Therewith, and Methods for Their Manufacture, Especially an Optical Coupling Method and Optical Coupler for Use Therewith" US Pat. No. 5,293,438, 1994.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A process for manufacturing a microlensed fiber comprising the steps of

a) splicing a doped silica rod to an optical fiber by contacting an end of the optical fiber with an end of the doped silica rod and heating the area of contact to a temperature effective for joining the rod and the fiber,

b) heating a region of the doped silica rod while simultaneously applying tension to the rod such that silica rod is cut in the heated region, and

c) heating a region of the doped silica rod that remains spliced to the optical fiber so that the doped silica rod melts into a plano-convex lens.

2. A process according to claim 1, wherein the doped silica rod comprises silica doped with B_2O_3, GeO_2, B_2O_3-GeO_2, B_2O_3-P_2O_5, P_2O_5, GeO_2-P_2O_5, GeO_2-B_2O_3-P_2O_5, Al_2O_3, or GeO_2-B_2O_3.

3. A process according to claim 2, wherein the doped silica rod comprises silica doped with 1 to about 20 wt % B_2O_3.

4. A process according to claim 2, wherein the doped silica rod comprises silica doped with about 1 to about 30 wt % GeO_2.

5. A process according to claim 1, wherein the softening point of the doped silica rod is lower than the softening point of silica.

6. A process according to claim 1, wherein the coefficient of thermal expansion of the doped silica rod is between about $1x10^{-7}$ and about $35x10^{-7}$ /°C.

7. A process according to claim 1, wherein the optical fiber is a single mode optical fiber.

8. A process according to claim 1, wherein the diameter of the doped silica rod is greater than the diameter of the optical fiber.

9. A process according to claim 8, wherein the diameter of the doped silica rod is about 200 μm and the diameter of the optical fiber is about 125 μm.

10. A process according to claim 1, wherein the core of the optical fiber is broadened at the splice and the mode field at the splice is greater than the nominal mode field of the fiber.

11. A process according to claim 1, wherein the temperature during step b) is between about 1500° and about 3000° C and wherein heating is performed using a resistively heated tungsten filament.

12. A microlensed fiber comprising a doped silica rod spliced to an optical fiber, wherein the terminal end of the doped silica rod is shaped into a plano-convex refracting lens.

13. A microlensed fiber according to claim 12, wherein the doped silica rod comprises silica doped with B_2O_3, GeO_2, B_2O_3-GeO_2, B_2O_3-P_2O_5, P_2O_5, GeO_2-P_2O_5, GeO_2-B_2O_3-P_2O_5, Al_2O_3, or GeO_2-B_2O_3.

14. A microlensed fiber according to claim 13, wherein the doped silica rod comprises silica doped with 1 to about 20 wt % B_2O_3.

15. A microlensed fiber according to claim 13, wherein the doped silica rod comprises silica doped with about 1 to about 30 wt % GeO_2.

16. A microlensed fiber according to claim 12, wherein the softening point of the doped silica rod is lower than the softening point of silica.

17. A microlensed fiber according to claim 12, wherein the coefficient of thermal expansion of the doped silica rod is between about $1x10^{-7}$ and about $35x10^{-7}$ /°C.

18. A microlensed fiber according to claim 12, wherein the optical fiber is a single mode optical fiber.

19. A microlensed fiber according to claim 12, wherein the diameter of the doped silica rod is greater than the diameter of the optical fiber.

20. A microlensed fiber according to claim 19, wherein the diameter of the doped silica rod is about 200 μm and the diameter of the optical fiber is about 125 μm.

21. A microlensed fiber according to claim 18, wherein the core of the optical fiber is broadened at the splice and the mode field at the splice is greater than the nominal mode field of the fiber.

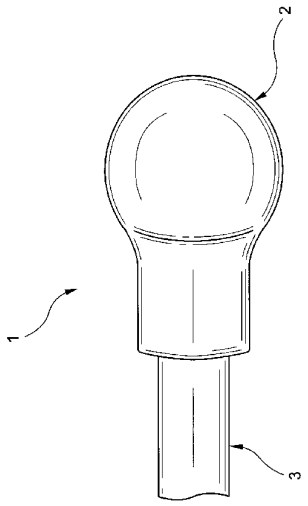


FIG. 1

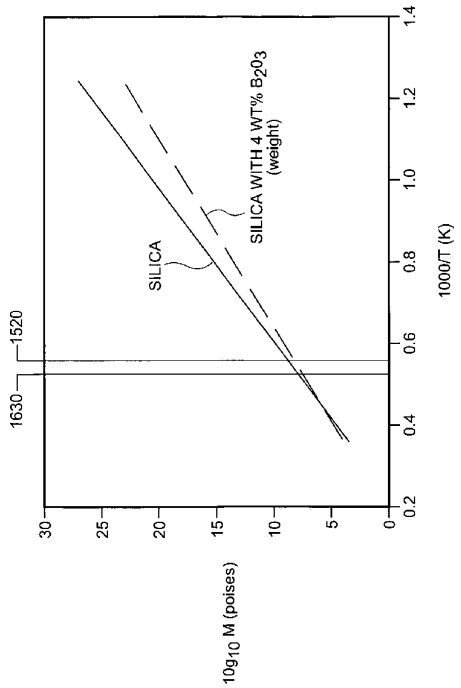

1520
1630
SILICA
SILICA WITH 4 WT% B_2O_3 (weight)
30
25
20
15
10
5
0
$10g_{10}$ M (poises)
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1000/T (K)

FIG. 2

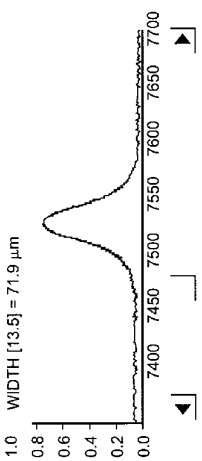

WIDTH [13.5] = 71.9 µm
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
7400
7450
7500
7550
7600
7650
7700

FIG. 3A

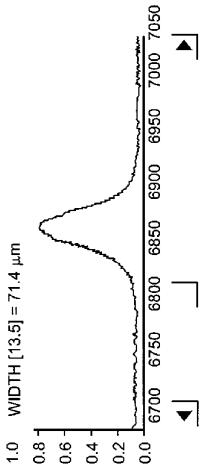

WIDTH [13.5] = 71.4 µm
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
6700
6750
6800
6850
6900
6950
7000
7050

FIG. 3B

FIG. 4A

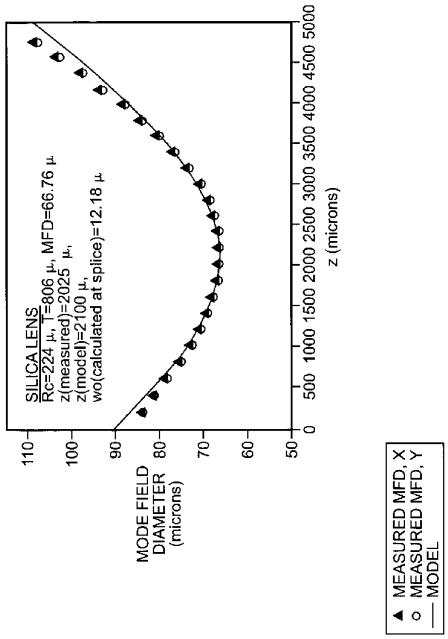

SILICA LENS
Rc=224 μ, T=806 μ, MFD=66.76 μ
z(measured)=2025 μ,
z(model)=2100 μ,
wo(calculated at splice)=12.18 μ
MODE FIELD DIAMETER (microns)
z (microns)
110
100
90
80
70
60
50
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
▲ MEASURED MFD, X
○ MEASURED MFD, Y
— MODEL

FIG. 4B

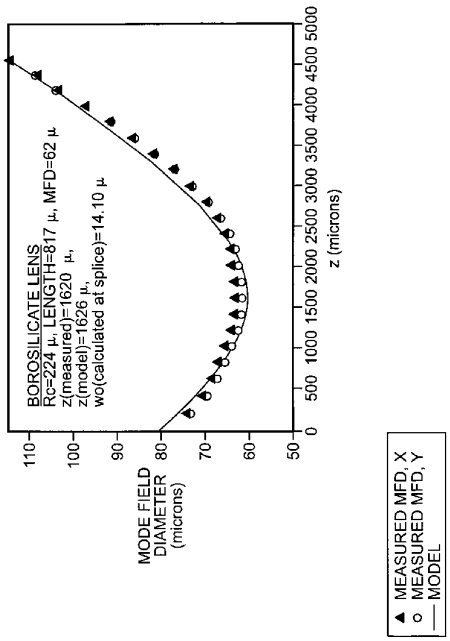
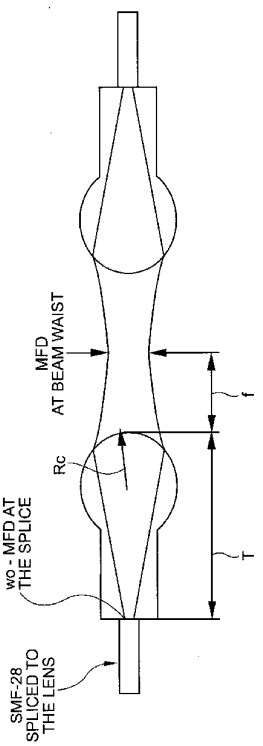

BOROSILICATE LENS
Rc=224 μ, LENGTH=817 μ, MFD=62 μ
z(measured)=1620 μ,
z(model)=1626 μ,
wo(calculated at splice)=14.10 μ
MODE FIELD DIAMETER (microns)
110
100
90
80
70
60
50
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000
z (microns)
▲ MEASURED MFD, X
o MEASURED MFD, Y
— MODEL

FIG. 5


MFD
AT BEAM WAIST
f
Rc
T
wo - MFD AT
THE SPLICE
SMF-28
SPLICED TO
THE LENS

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US02/17198

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(7) :G02B 6/52
US CL :385/33, 31, 34, 123, 38, 95, 96, 141; 65/385
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. : 385/33, 31, 34, 123, 38, 95, 96, 141; 65/385

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
NONE

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

SEARCHED "EAST"; search terms used: (microlens$ adj5 fiber$) and (dope$ adj5 silica$ adj5 rod$) and (fiber$ adj5 splice$)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5,080,706 A (SNYDER et al.) 14 January 1992 (14.01.1992), see entire document.	1-21
A	US 5,457,759 A (KALONJI et al.) 10 October 1995 (10.10.1995), see entire document.	1-21
A	US 5,011,254 A (EDWARDS et al.) 30 April 1991 (30.04.1991), see entire document.	1-21
A	US 4,119,362 A (HOLZMAN) 10 October 1978 (10.10.1978), see entire document.	1-21
A	US 4,456,330 A (BLIIDAII) 26 June 1984 (26.06.1984), see entire document.	1-21
A	US 4,380,365 A (GROSS) 19 April 1983 (04.19.1983), see entire document.	1-21

☐ 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 document 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	Date of mailing of the international search report
01 AUGUST 2002	23 SEP 2002
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231	Authorized officer BRIAN M. HEALY
Facsimile No. (703) 305-3230	Telephone No. (703) 308-4698

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)★