[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G02B 6/32

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02812813.3

[43] 公开日 2004 年 8 月 11 日

[11] 公开号 CN 1520528A

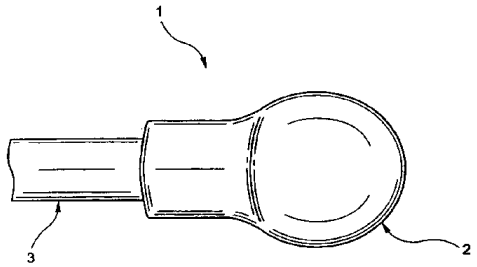
[22] 申请日 2002.5.31 [21] 申请号 02812813.3
[30] 优先权
[32] 2001. 6.26 [33] US [31] 09/892,087
[86] 国际申请 PCT/US2002/017198 2002.5.31
[87] 国际公布 WO2003/003090 英 2003.1.9
[85] 进入国家阶段日期 2003.12.26
[71] 申请人 康宁股份有限公司
地址 美国纽约州
[72] 发明人 L·尤克莱恩辛克
[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所
代理人 李家麟

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 6 页

[54] 发明名称 利用掺杂二氧化硅制作的微透镜光纤

[57] 摘要

一种制造微透镜光纤(1)的方法，将掺杂二氧化硅接合于光纤(3)，并且将掺杂二氧化硅棒的端部成形为平凸折射透镜(2)。该掺杂二氧化硅棒比未掺杂二氧化硅具有更低的熔点和退火点，因此需要更少的功率来制造微透镜光纤(1)。这就降低了制作装置中加热元件的耗损，从而提高了在周期之间能够生产出的微透镜光纤的数量。本发明的另一方面是通过上述方法制造的一种微透镜光纤(1)。



ISSN1008-4274

1．一种用于制造微透镜光纤的方法，包括步骤：

a) 通过将光纤的一端与掺杂二氧化硅棒的一端相接触，并把接触区域加热到有效地将光纤和棒连接的温度，将掺杂二氧化硅接合到光纤上，

b) 加热掺杂二氧化硅棒的区域，同时向该棒施加压力，使得二氧化硅棒在加热区域被切割，

d) 加热掺杂二氧化硅棒与光纤保持接合的区域，以使掺杂二氧化硅棒熔化成平凸透镜。

2．根据权利要求1的方法，其中掺杂二氧化硅棒包括掺杂有B2O3、GeO2、B2O3-GeO2、B2O3-P2O5、P2O5、GeO2-P2O5、GeO2-B2O3-P2O5、Al2O3或GeO2-B_2O3的二氧化硅。

3．根据权利要求2的方法，其中掺杂二氧化硅棒包括掺杂有约1-20wt%B_2O_3的二氧化硅。

4．根据权利要求2的方法，其中掺杂二氧化硅棒包括掺杂有大约1-30wt%GeO_2的二氧化硅。

5．根据权利要求1的方法，其中掺杂二氧化硅棒的软化点低于二氧化硅的软化点。

6．根据权利要求1的方法，其中掺杂二氧化硅棒的热膨胀系数在约5×10^{-7}到约35×10^{-7}/℃之间。

7．根据权利要求1的方法，其中光纤是单模光纤。

8．根据权利要求1的方法，其中掺杂二氧化硅棒的直径大于光纤的直径。

9．根据权利要求8的方法，其中掺杂二氧化硅棒的直径大约为200μm，光纤的直径大约为125μm。

10．根据权利要求1的方法，其中光纤的芯在接合处是加宽的，接合处的模场大于光纤的标称模场。

11．根据权利要求1的方法，其中步骤b)期间的温度在大约1500℃和3000℃之间，并且其中使用耐热钨灯丝进行加热。

12．一种微透镜光纤，包括接合于光纤的掺杂二氧化硅棒，其中掺杂二氧化硅棒的终端成形为平凸折射透镜。

13．根据权利要求12的微透镜光纤,其中掺杂二氧化硅棒包括掺杂有B2O3、GeO2、B2O3-GeO2、B2O3-P2O5、P2O5、GeO2-P2O5、GeO2-B2O3-P2O5、Al2O3或GeO2-B_2O_3的二氧化硅。

14．根据权利要求13的微透镜光纤，其中掺杂二氧化硅棒包括掺杂有约1-20wt%B_2O_3的二氧化硅。

15．根据权利要求13的微透镜光纤，其中掺杂二氧化硅棒包括掺杂有约1-30wt%GeO_2的二氧化硅。

16．根据权利要求12的微透镜光纤，其中掺杂二氧化硅棒的软化点低于二氧化硅的软化点。

17．根据权利要求12的微透镜光纤，其中掺杂二氧化硅棒的热膨胀系数在约5×10^{-7}到约35×10^{-7}/℃之间。

18．根据权利要求12的微透镜光纤，其中光纤是单模光纤。

19．根据权利要求12的微透镜光纤，其中掺杂二氧化硅棒的直径大于光纤的直径。

20．根据权利要求19的微透镜光纤，其中掺杂二氧化硅棒的直径大约为200μm，光纤的直径大约为125μm。

21．根据权利要求18的微透镜光纤，其中光纤的芯在接合处是加宽的，接合处的模场大于光纤的标称模场。

利用掺杂二氧化硅制作的微透镜光纤

本发明的背景技术

本发明涉及一种微透镜光纤及制作该微透镜光纤的方法。本发明的微透镜光纤适用于各种光学系统，包括光开关、连接器和终端。

用于诸如计算和通信应用的光学器件的发展、微型化和简单化依赖于新型光学组件的发展。特别需要的是制造简单、经济、耐用且具有高耦合效率的光学耦合组件。

因为将透镜与光纤对准很困难，所以利用借助于粘合剂连接在光纤上的离散球面透镜、球形透镜、渐进透镜（梯度折射率）的传统耦合系统存在着一些问题。因而，制作非常地昂贵而且会在组件中出现很高的可变性。同时，这些组件也存在机械和热不稳定的问题。

具有透镜和光纤融合在一起作为单个元件的微透镜光纤是一种对粘合剂连接耦合系统的理想替代。制作这样组件的一种方法是将光纤末端部分熔化，以形成连接在光纤末端上的球面透镜。这就需要非常均匀的热源以适于非常均匀的球面透镜表面的形成（参见例如美国专利No.5，293，438及其中的参考文献）。由于形成球面透镜所需的温度高于简单地将两根光纤接合在一起所需的温度，因此必须向热源供应更大的功率。这就导致加热装置增加了的磨损、增加了的维护及缩短的寿命。因此，就希望研制出一种制作微透镜光纤的方法，该方法需要较少的加热功率，从而能够在维护周期之间生产出多个元件。

本发明概述

本发明的一方面，提供一种微透镜光纤，包括接合于光纤的平凸折射透镜。根据一个实施方式，该透镜包括掺杂有一种或多种化合物的二氧化硅，该化合物从X_2O、YO、Z_2O_3、TO_2或R_2O_5中选出；其中

X是Na、K、Li、Al、Cs；

Y是Mg、Co、Zn；

Z是B、Al、Ga、Sb、Bi；

T是Ge、Ti；

R是P。

本发明的另一方面提供一种制造微透镜光纤的方法，包括：

a) 通过将光纤的一端与掺杂二氧化硅棒的一端相接触，并且把接触区域加热到有效地将光纤和棒连接的温度，将掺杂二氧化硅接合到光纤上，

b) 加热掺杂二氧化硅棒的区域，同时向该棒施加压力，使得二氧化硅棒在加热区域被切割成所需预定长度，

c) 加热掺杂二氧化硅棒与光纤保持接合的区域，以使掺杂二氧化硅棒的一端熔化为具有需要曲率半径的平凸透镜表面。

附图的简要说明

图1示出一种微透镜光纤1，带有接合在光纤3上的平凸透镜2。

图2示出作为温度函数的二氧化硅和硼硅玻璃的粘度。

图3示出硼硅透镜沿x和y向的光束轮廓数据，用高斯形状表示球面模场。

图4示出对于图4A由二氧化硅和图4B由硼硅玻璃制成的透镜，在1550nm处作为距透镜表面距离函数的模场直径。

图5示出与两个微透镜光纤的光学耦合相关的几何参数。

优选实施方式的描述

制造微透镜光纤需要非常均匀的热源以适合于形成高度均匀的球面透镜。适合热源的一个例子是具有钨灯丝的融合接合器。特别的，具有灯丝环（loop）的融合接合器像Vytran融合接合器能提供非常均匀的热量，从而适合于形成具有对称圆形模场的球面透镜。

微透镜光纤的制作包括以下步骤：

a) 将光纤接合于二氧化硅棒。在此步骤中，光纤和形成透镜的玻璃棒端对端地对准，然后光纤和棒在用灯丝加热的同时被推到一起，如同一般接合两根光纤那样。灯丝功率接近于接合两根同样的光纤所采用的功率。

b) 二氧化硅棒的锥形切割。在接合之后，沿二氧化硅棒将灯丝加热区域移动期望的距离。然后增加灯丝功率，在加热的同时通过拉制二氧化硅棒来对其进行锥形切割。

c) 回熔及透镜的形成。在锥形切割之后，根据期望的曲率半径将灯丝加热区域向接合处移动一段距离，并且进一步增加灯丝功率。该步骤形成球面的透镜。

由于在步骤b和c中使用的灯丝功率大大高于在标准地接合两根光纤的过程中所使用的功率，因此与灯丝仅被用于接合时相比，在透镜形成过程中灯丝的寿命就被大大的缩短。例如，典型的灯丝环能够制作大约500个SMF-28到SMF-28接合，但仅能制造大约80个二氧化硅透镜。这就是使用纯二氧化硅作为透镜材料的制作过程的主要限制。

有鉴于此，本发明的特点就在于提供一种制作微透镜光纤的方法，其中该方法通过在透镜形成过程中使用比二氧化硅具有更低退火点和/或更低粘性的玻璃，来提供提高了的灯丝寿命。本发明的一个实施方式是一种用于制作微透镜光纤的方法，包括：

通过将光纤的一端与掺杂二氧化硅棒的一端相接触，并且把接触区域加热到能有效地将光纤和棒连接的温度，将掺杂二氧化硅接合到光纤上，

加热掺杂二氧化硅棒的区域，同时向该棒施加压力，从而将二氧化硅棒在加热区域切割成所需的预定长度，

加热掺杂二氧化硅棒的区域，保持与光纤接合，以使掺杂二氧化硅棒的末端熔化为具有需要曲率半径的平凸透镜表面。

根据本发明的一种实施方式，借助于耐热灯丝（resistively heated filament）来进行加热。一种特别优选的热源是具有耐热灯丝环的融合接合器。根据一种实施方式，灯丝环包括钨。

根据本发明的一种实施方式，当掺杂二氧化硅棒被切割为需要的预定长度时，将掺杂二氧化硅棒加热到大约1500℃和3000℃之间的温度。根据一种实施方案，在透镜形成过程中，掺杂二氧化硅棒被加热到1500℃和3000℃之间的温度。

在本领域中，许多光纤都是公知的，因此，为特别的应用选择一种适当的光纤应在本领域的技术人员能力范围之内。特别地，根据本发明的优选光纤是包括二氧化硅的单模式光纤（SMF）。这种光纤的例子有例如SMF-28（康宁公司）。

适合制作微透镜光纤透镜部分的掺杂二氧化硅材料优选具有低于二氧化硅的软化点和粘性。特别优选的材料具有大约在5×10^{-7}到35×10^{-7}/℃之间的热膨胀系数（CTE）。

表面张力是另一个在回熔过程中影响透镜形成的属性。通常，掺杂物的出

现降低了玻璃的表面张力，也允许回熔过程中使用较小的功率（即较低的温度）。

适合于制作透镜的掺杂二氧化硅材料的例子包括掺杂了一种或多种化合物的二氧化硅，该化合物选自X2O、YO、Z2O3、TO2或R2O5；其中X是Na、K、Li、Al或Cs；Y是Mg、Co或Zn；Z是B、Al、Ga、Sb或Bi；T是Ge或Ti；R是P。特别优选的材料的例子是掺杂了B2O3、GeO2、B2O3-GeO2、B2O3-P2O5、P2O5、GeO2-P2O5、GeO2-B2O3-P2O5、Al2O3或GeO2-B_2O3的二氧化硅。更加优选的材料包括掺杂了大约1-20wt%氧化硼的二氧化硅，以及掺杂了大约1-30wt%氧化锗的二氧化硅。

根据本发明的一些实施方式，用于微透镜光纤透镜部分的掺杂二氧化硅材料的CTE大于光纤的CTE并且粘度小于光纤的粘度。如果是这种情况，那么当将光纤和掺杂二氧化硅棒接合在一起时，就会有张应力轻微地作用在接合的光纤一侧（低膨胀侧）上。如果掺杂二氧化硅棒的直径大于光纤直径，这个应力会些微减少点。

因此，当前发明的一个实施方式采用直径稍微大于光纤的掺杂二氧化硅棒。特别优选的实施方式使用200μm或250μm直径的掺杂二氧化硅接合在125μm的光纤上。

本发明的另一方面是微透镜光纤,包括接合于光纤的平凸折射透镜，其中该平凸透镜包括如上所述的掺杂二氧化硅。根据一个实施方式，光纤的芯（core）在接合处是加宽了的。

如上所述来制造特别优选的微透镜光纤。根据一个优选实施方式，形成透镜的掺杂二氧化硅棒的直径大于光纤的直径。

根据本发明的微透镜光纤优选地在x和y方向显示出高斯的光束分布。根据本发明的一个实施方式，接合处的模场大于光纤的标称模场。

实施例1

如上所述来制造微透镜光纤，使用一根SMF-28纤维光纤以及包含二氧化硅、掺杂有约4wt%氧化硼的二氧化硅以及掺杂有约10 wt%氧化锗的二氧化硅的200μm直径棒，。透镜材料的属性在下表1中给出

表1 用于透镜的玻璃的属性。			
属性	二氧化硅	掺杂了氧化硼的二氧化硅	掺杂了氧化锗的二氧化硅
折射率（n_D）	1.457	1.457	1.467
CTE（$\times 10^{-7}$/℃）	4.5	9	11
退火 T （℃）	1107	999	1062
应变点 （℃）	1031	910	955
弹性（×106psi）	10.0	9.2	9.6
应变点处的α （$\times 10^{-7}$deg-1）	0.9	4.6	8.3
软化点 （℃）	1630	1520	1567
粘度（lnη0（平衡））	−13.738	−8.793	−10.912
激活能量（Q（K））	60600	49520	55330

图2示出作为二氧化硅和硼硅玻璃温度的函数的粘度绘图，利用$\ln\eta = \ln\eta_0 + Q/T$计算得到，其中η是在给定温度下的粘度，$\eta_0$是在极限温度下的粘度，Q是激活能量除以气体常数，以及T是绝对温度。可以看出，掺杂氧化硼降低了玻璃的粘度，从而在透镜形成过程中允许更低的温度。

表2中示出了使用每一种透镜材料、每个步骤所需的大致灯丝功率。所有灯丝功率是对于Vytran FFS-2000接合器（15A DC电源）上的一个标准灯丝环而言的。

表2 在采用不同透镜材料制造微透镜光纤的各步骤中所使用的功率（W）			
制造步骤	二氧化硅	掺杂了氧化硼的二氧化硅	掺杂了氧化锗的二氧化硅
接合	20−23	15−20	17−22
锥形切割	24−27	16−24	22−25
透镜形成	28−32	23−28	24−30

如表2中所示的，对于掺杂二氧化硅透镜在三个加热步骤的每一步中所需的功率少于不掺杂的透镜。使用掺杂二氧化硅玻璃，每个灯丝所能制造的透镜的数目大约是使用二氧化硅时所能制造的两倍。

图3A和3B表示硼硅透镜的光束分布数据。光束分布在x和y方向中都是高斯

形，并且没有表现出椭圆率。透镜是对称的，在透镜形成过程中不会“下垂”。模场直径（MFD）是在透镜表面附近测量的。

作为二氧化硅和硼硅透镜距离的函数的光束分布数据分别示于图4A和4B。x和y方向的光束分布总共有0.25μm的增量。图4上的拟合线表示高斯光束模型对利用测得的透镜几何结构模拟的数据的拟合。该模型示出，在接合处的模场要大于SMF-28的标称模场。这表明在接合处存在有热芯（thermal core）加宽（此处所用的SMF-28的模场直径在1550nm处是10.8μm）。

在硼硅透镜的情况下，热芯的加宽大于纯二氧化硅的情况。如果不受理论的束缚，硼很可能促进锗在接合处的扩散。此外，对于二氧化硅透镜的模型的拟合大大好于硼硅透镜，硼硅透镜模型都示出一个在远离透镜表面处具有介于约1.5和2.5cm模场直径的平坦区域。B_2O_3-SiO_2透镜的校准优于SiO_2透镜。

采用B_2O_3-SiO_2透镜来耦合50-70μm模场的微透镜光纤的效率在0.08和约0.2dB之间。当透镜表面镀了抗反射涂层时，回波损耗大于60dB并且偏振损失小于0.01dB。

参考文献

以下参考文献在这里特别地一并引入作为参考，以在一定程度上对此处描述的内容提供示例程序上的或其他细节的补充。

授予Namiki等人的美国专利No.5293438（1994年）：“微透镜光学终端和其装配的光学系统，以及制造它们的方法，特别是一种光学耦合方法和与其使用的光耦合器”。

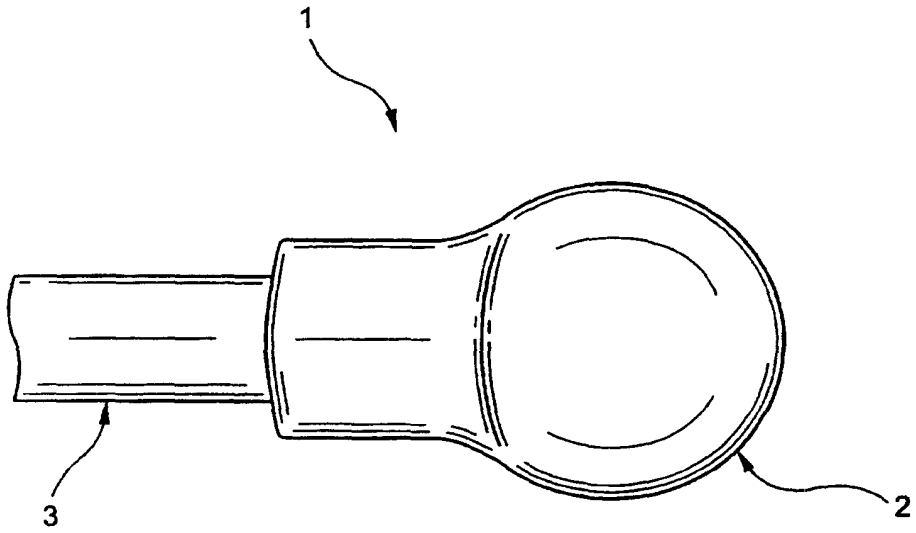


图 1

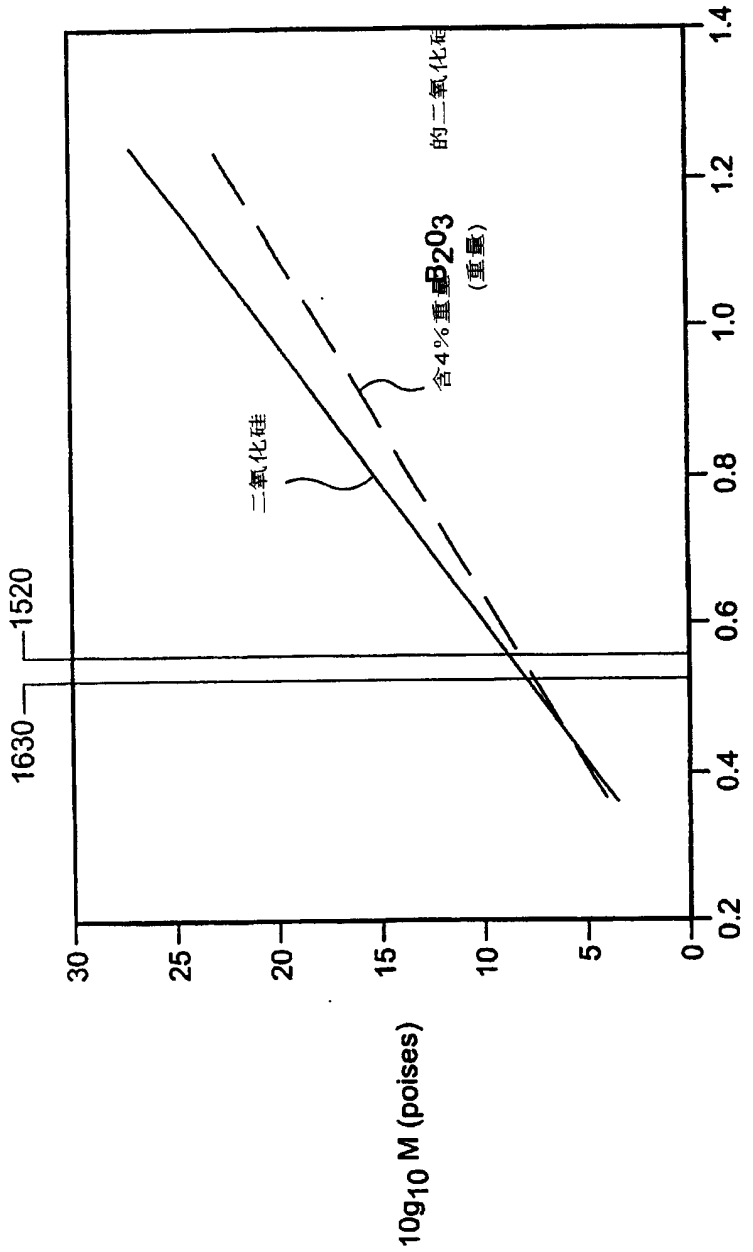

1520
1630
30
25
20
15
10
5
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
$10g_{10}$ M (poises)
1000/T (K)
二氧化硅
含4%重量B_2O_3的二氧化硅
(重量)

图 2

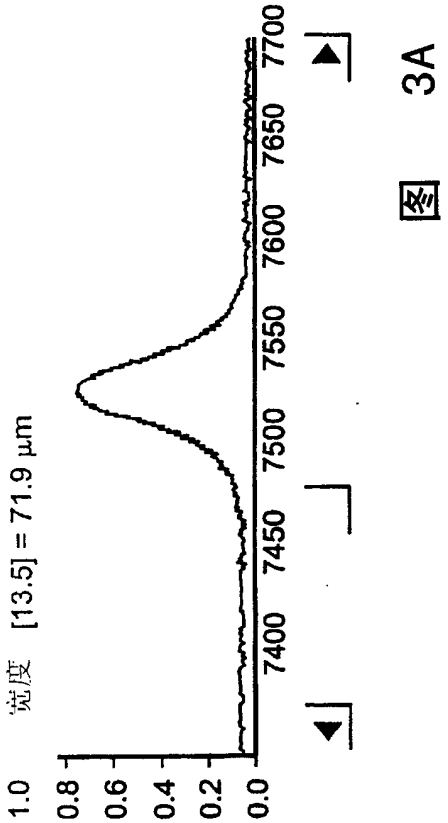

宽度 [13.5] = 71.9 µm
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
7400
7450
7500
7550
7600
7650
7700

图 3A

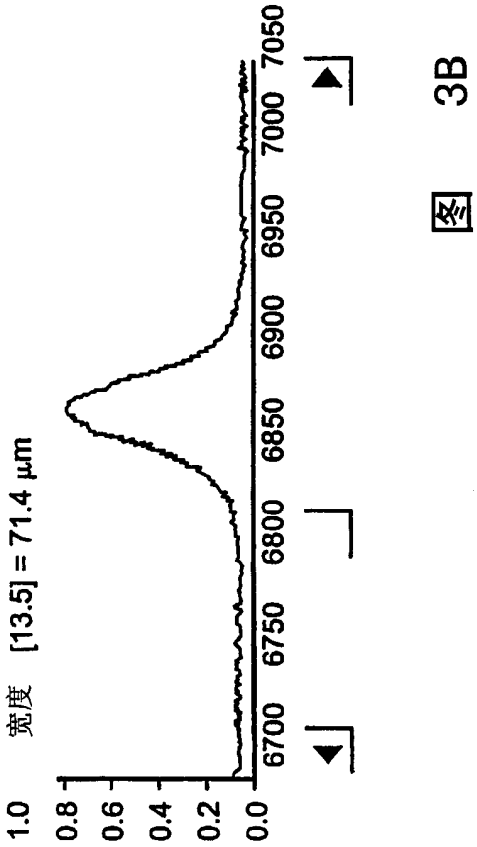

宽度 [13.5] = 71.4 µm
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
6700
6750
6800
6850
6900
6950
7000
7050

图 3B

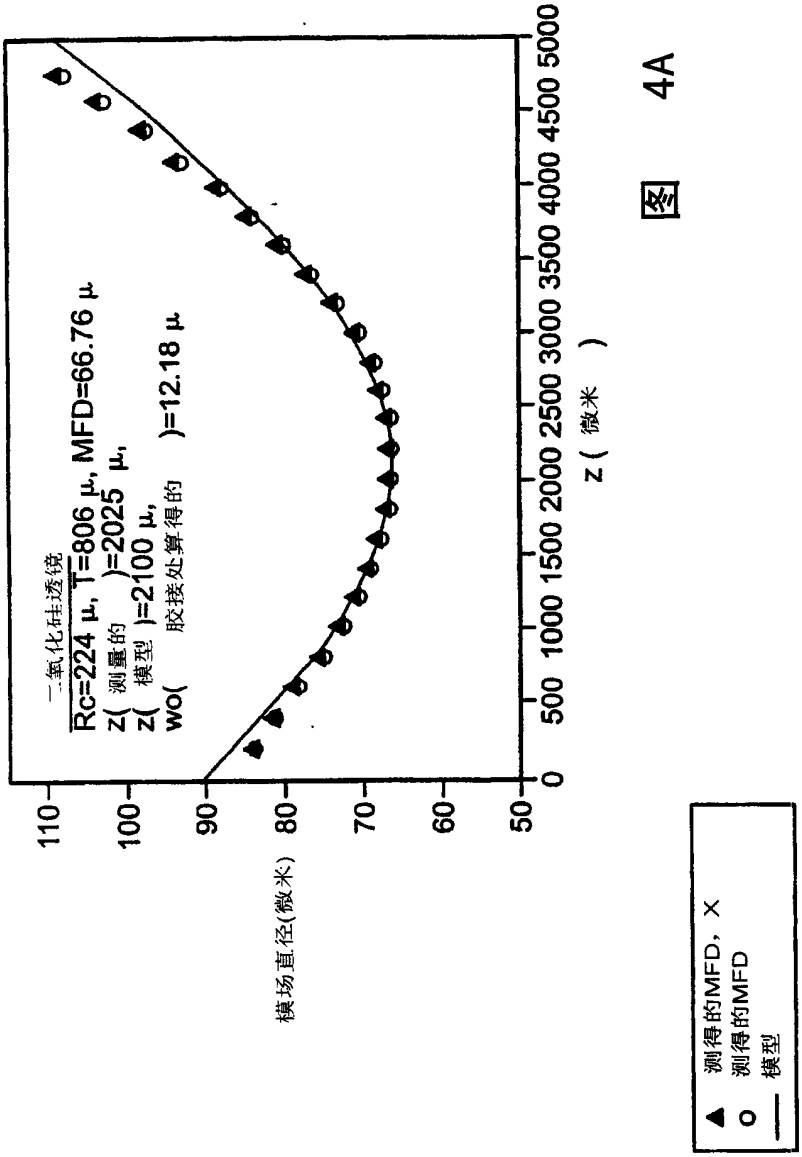

二氧化硅透镜
Rc=224 μ, T=806 μ, MFD=66.76 μ
z(测量的)=2025 μ,
z(模型)=2100 μ,
wo(胶接处算得的)=12.18 μ
横场直径(微米)
z (微米)
110
100
90
80
70
60
50
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
测得的MFD，X
测得的MFD
模型

图 4A

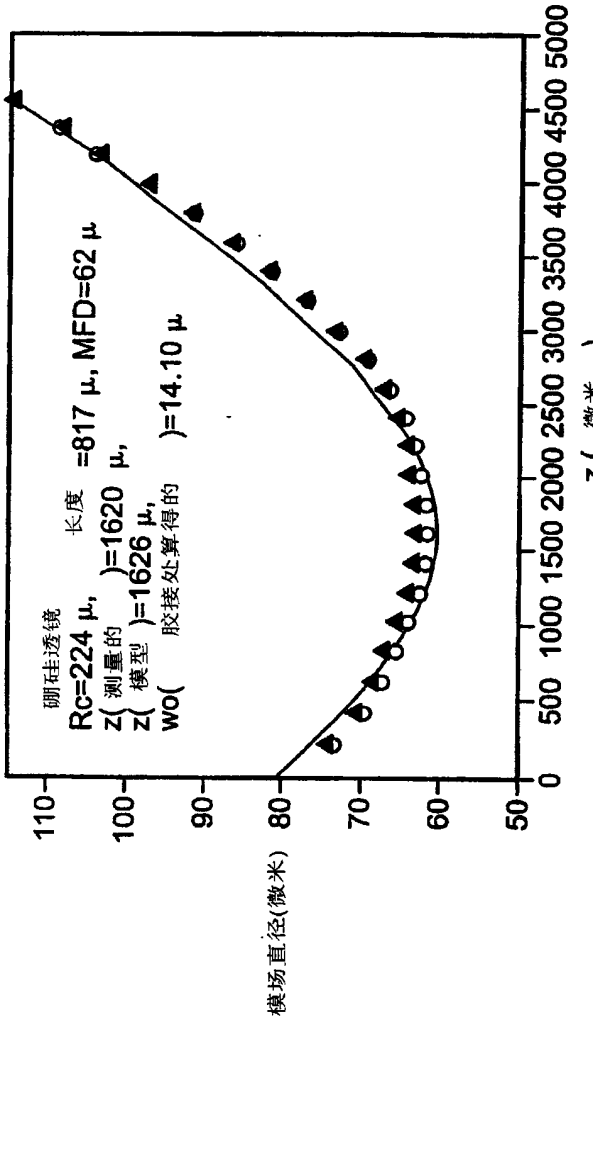

硼硅透镜
Rc=224 μ, 长度 =817 μ, MFD=62 μ
z(测量的)=1620 μ,
z(模型)=1626 μ,
wo(胶接处算得的)=14.10 μ
模场直径(微米)
z(微米)
110
100
90
80
70
60
50
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
测得的MFD，X
测得的MFD，Y
模型

图 4B

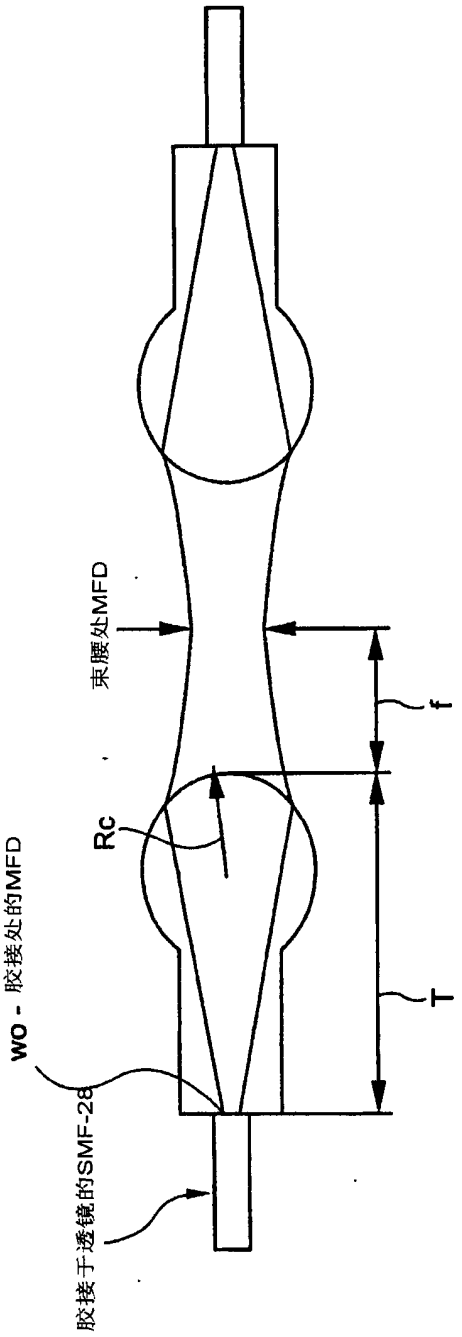


图 5