



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102411168 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 18

(21) 申请号 201110319912. 1

US 5278931 A, 1994. 01. 11,

(22) 申请日 2006. 03. 28

CN 1598629 A, 2005. 03. 23,

(30) 优先权数据

CN 1309624 A, 2001. 08. 22,

11/170, 257 2005. 06. 29 US

US 2002189296 A1, 2002. 12. 19,

US 2001017967 A1, 2001. 08. 30,

(62) 分案原申请数据

审查员 曾毅

200610071692. 4 2006. 03. 28

(73) 专利权人 OFS 菲特尔有限责任公司

地址 美国佐治亚

(72) 发明人 兰斯·吉布森 大卫·贝克翰姆

小罗伯特·林格尔

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 蒋世迅

(51) Int. Cl.

G02B 6/036 (2006. 01)

G02B 6/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1666124 A, 2005. 09. 07,

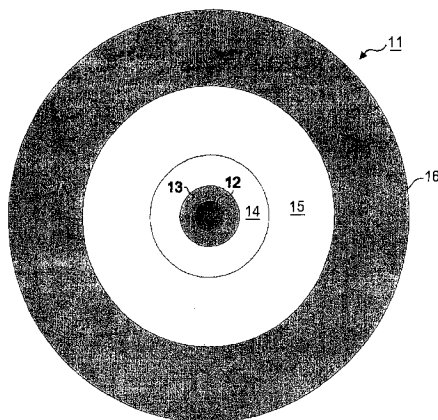
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

低损耗光纤的设计及其制造方法

(57) 摘要

本公开涉及低损耗光纤的设计及其制造方法。说明了一种借助混合 VAD/MCVD 处理过程生产的改进的光纤。光纤的纤芯用 VAD 生产, 而内包层有凹陷的折射率并用 MCVD 生产。在优选的实施例中, 光功率包络基本上全部包含在 VAD 生产的纤芯材料和 MCVD 生产的凹陷折射率包层材料中。借助把绝大部分光功率限制在低 OH 的 VAD 纤芯, 以及借助使无掺杂石英区中的光功率最大化, 使光损耗达到最小。MCVD 衬底管材料中基本上没有光功率。



1. 一种通过光纤发送 1550nm 波长区中的光信号的方法,该光纤包括:
内纤芯;
最小半径为 5 微米的外纤芯;以及
最大半径为 25 微米的凹槽;
其中功率包络按如下分布:
(i) 50-80%的光功率在内纤芯中,
(ii) 20-40%的光功率在外纤芯中,并且
(iii) 少于 5%的光功率在凹槽中。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中:
内纤芯的半径在 2-8 微米之间;
内纤芯和外纤芯的组合半径在 5-12 微米之间;并且
凹槽的半径在 5-25 微米之间。
3. 如权利要求 1 所述的方法,其中内纤芯的折射率 Δ 在 0.001 与 0.003 之间;外纤芯的折射率 Δ 在 0.000 与 0.001 之间;并且凹槽的折射率 Δ 在 -0.0035 与 -0.0007 之间。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中 1550nm 的衰减小于 0.175dB/km。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其中 1383nm 的衰减小于 0.31dB/km。
6. 如权利要求 1 所述的方法,其中光缆的截止波长小于 1260nm。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其中光缆的截止波长小于约 1530nm。
8. 如权利要求 6 所述的方法,其中 20mm 直径的宏弯曲损耗小于 2dB/m。
9. 如权利要求 1 所述的方法,其中外纤芯区的折射率,如果不计 VAD 或 OVD 微粉处理自然出现的锗扩散尾的话,基本上等于无掺杂石英的折射率。
10. 一种用于发送 1550nm 波长区中的光信号的光纤,该光纤包括:
内纤芯;
最小半径为 5 微米的外纤芯;以及
最大半径为 25 微米的凹槽;
其中功率包络按如下分布:
(i) 50-80%的光功率在内纤芯中,
(ii) 20-40%的光功率在外纤芯中,并且
(iii) 少于 5%的光功率在凹槽中。
11. 如权利要求 10 所述的光纤,其中:
内纤芯的半径在 2-8 微米之间;
内纤芯和外纤芯的组合半径在 5-12 微米之间;并且
凹槽的半径在 5-25 微米之间。
12. 如权利要求 10 所述的光纤,其中内纤芯的折射率 Δ 在 0.001 与 0.003 之间;外纤芯的折射率 Δ 在 0.000 与 0.001 之间;并且凹槽的折射率 Δ 在 -0.0035 与 -0.0007 之间。
13. 如权利要求 10 所述的光纤,其中 1550nm 的衰减小于 0.175dB/km。
14. 如权利要求 10 所述的光纤,其中 1383nm 的衰减小于 0.31dB/km。
15. 如权利要求 10 所述的光纤,其中光缆的截止波长小于 1260nm。
16. 如权利要求 10 所述的光纤,其中光缆的截止波长小于约 1530nm。

17. 如权利要求 10 所述的光纤,其中 20mm 直径的宏弯曲损耗小于 2dB/m。

低损耗光纤的设计及其制造方法

[0001] 本申请是申请日为 2006 年 3 月 28 日、发明名称为“低损耗光纤的设计及其制造方法”的中国专利申请 No. 200610071692.4 的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及一系列光纤的设计,及采用这些改进光传输特性的设计来生产光纤的方法。更具体说,本发明涉及一种混合的生产方法,其中,光纤预制棒用组合的 MCVD 和 VAD 技术制作,其中的 VAD-MCVD 界面,在折射率分布设计的波导形成区之内。

背景技术

[0003] 已经为光纤的生产提出并开发了广泛的各种方法。随着光纤技术的成熟,已经出现三种主要的生产方法,即 MCVD、VAD、和 OVD。所有这些方法都要把玻璃微粒(常常称为“微粉(soot)”)沉积在起始的衬底上,然后使这些微粒固结成固态的玻璃体。这些技术要用到现场汽相反应来生产微粒。用喷灯引起汽相反应,并把喷灯的火焰引到起始的衬底。在 MCVD 方法中,喷灯被引到玻璃起始管的外侧,而玻璃的原始气体被引进玻璃管内部。微粒沉积在管的内表面。在 VAD 和 OVD 方法中,喷灯和原始气体被引到起始棒的外表面,微粒分别沉积在棒的一端或侧面。各技术效率是高的,且已广泛应用,各有各熟知的优点。

[0004] 要生产非常高质量的中心纤芯和内包层材料,MCVD 处理过程似乎是理想的。在 MCVD 技术中,微粒层沿径向递增地生长。由于该递增的径向生长,MCVD 比 VAD 方法能生产更复杂的折射率分布。复杂的折射率分布,是通过每种分布特性,改变微粒层的径向组分生产的。此外,复杂的折射率分布,常常有一种或多种凹陷折射率(相对于纯石英)的特性。凹陷折射率区一般是对微粒掺杂氟形成的。下面还要更详细说明,管内沉积方法(MCVD)比棒外两种方法(VAD 或 OVD)中任一种更适合氟的沉积。

[0005] 但是,在 MCVD 方法中,必需使用起始管是个限制因素。对大的最新技术的预制棒,一种限制是 MCVD 起始管中的玻璃质量不良和没有低的损耗(因为光功率的某些部分将由起始管材料传送)。如果要避免起始管质量的限制,使用超纯(通常也是昂贵的)材料制作起始管,则暴露在 MCVD 通常用作热源的氢氧焰喷灯中的管,由于羟基离子添加至颇深的深度,可能损害有效的起始管质量。最后,要求的折射率分布,可能在起始管玻璃提供的区中,需要一定的掺杂物浓度,但该起始管玻璃与结果良好的 MCVD 处理(从粘滞性、管的稳定性、或热传导考虑)不相容。

[0006] 在 VAD 方法中,石英微粉沿起始棒棒的轴向沉积和生长。VAD 技术的显著优点,是它能作为连续的处理过程实施。这样能够实现一系列式的沉积、纯化、干燥、和烧缩。沉积完成后,把起始棒与沉积体分离,因此与常规的 MCVD 法不同,整个预制棒可以用 CVD 沉积的材料制作。作为一般的建议,VAD 方法是有效的并被广泛运用,但它们仍然比不上 MCVD 精确控制折射率变化的掺杂物沿径向沉积的能力,从而精确控制径向折射率分布的能力。由于这一原因,VAD 方法,和其他的微粉沉积/随后烧缩方法,诸如 Outside Vapor Deposition(OVD)(外部汽相沉积),在高效地生产复杂的光纤设计方面,受到限制。此外,VAD 方法不十分适

合用于氟掺杂。特别是在一系列式 VAD 处理过程的情形。

[0007] 现有技术认识到,在单模光纤中,纤芯和内包层共同传输的光功率,大于 95%,但包括的光纤质量,通常却小于 5%,现有技术的这一认识,导致在制作过程中对该区的制作给予特别的关注。已经发展的方法,是用相对先进和昂贵的方法,生产预制棒的纤芯和内包层区,而外包层、预制棒整体,则用较少要求、较不昂贵的处理过程生产。纤芯棒和包层的整合,则在外包层技术过程中完成。外包层技术过程,在美国专利 No. 6, 105, 396 (Glodis 等人) 及 PCT/EPT00/02651 (2000 年 3 月 25 日) 中有一般的说明,本文引用这些文献,作为一般技术细节供参考。

[0008] 外包层技术 (overcladding) 过程,克服了用 VAD 技术生产预制棒复杂性方面受到的一些限制。外包层技术过程,可能牵涉到多个外包层管,每一个添加性质不同的包层区,以获得需要的光纤折射率分布的复杂性。

[0009] 普通使用的该种过程,是所谓的管内棒方法,纤芯棒用非常高质量的通用掺杂物的处理过程制成,而包层管由较不昂贵、纯度较低的玻璃制成。在一些情形下,有单一组分的玻璃提供低成本的选择。在管内棒的外包层技术过程中,把纤芯棒插入包层管中,然后,使管包围棒收缩,形成统一体。可以再次使用多个外包层技术步骤,并在一些情形下,一个或多个最后外包层技术步骤可以与光纤拉制操作组合。

[0010] 如果使用管外包层技术过程,合适的包层管可以用微粉沉积或熔融石英挤出生产。基于微粉合成玻璃的过程制作这些大的包层体,导致高质量的玻璃,但要求扩展处理并相对昂贵。大的熔融石英体较不昂贵,但一般纯度不高。

[0011] 总之, VAD 方法当与管内棒外包层技术组合,提供快速和经济的方法,用于形成有相对简单折射率分布的大玻璃纤芯棒。但是,对包括凹陷折射率特性的包层,市场上可购得的现有技术凹陷折射率的包层管,不能提供整个预制棒体需要的光学质量。

发明内容

[0012] 我们设计了一组光纤折射率分布,可以降低与附加的散射损耗有关的掺杂物浓度,并发展了用 MCVD 及 VAD 组合生产光纤的混合方法,在损耗及高出产率方面极大地提升现有技术。本混合方法组合每种处理技术的特性。我们也已经注意到用这些方法生产的光纤的损耗特征。认识了这些损耗特征的不同,我们组合了 MCVD 及 VAD 技术,使合成的损耗特征优化。能够优化分配光功率的折射率分布设计,以降低 Rayleigh 散射,同时获得近于零水峰 (zero water peak) 的 1385nm 损耗性能,并保持良好的宏弯曲性能。在本发明的优选实施例中,用 VAD 方法生产的纤芯棒,有上掺杂 (up-doped) 的内纤芯和较不重掺杂或无掺杂的外纤芯。用 MCVD 方法生产的包层,有一个或多个凹陷折射率区。使用该基本预制棒制作方法,我们改变该分布和光功率包络,使所有光功率基本上不是包含在 VAD 材料中就是包含在 MCVD 材料中,并且使大部分功率包络包含在 VAD 材料中,例如通常有 60% 的功率包含在 VAD 内纤芯中,其中该 VAD 内纤芯的 Ge 掺杂浓度,通常小于标准单模光纤纤芯浓度的 60%,又例如有 20-40% 的功率包含在无掺杂或轻掺杂的 VAD 外纤芯中。

[0013] 本方法的一种变化,是以超高纯度的 OVD 管取代 MCVD 包层管来生产类似的预制棒。

[0014] 根据本公开的一个方面,提供一种通过光纤发送 1550nm 波长区中的光信号的方

法,该光纤包括:内纤芯;最小半径为5微米的外纤芯;以及最大半径为25微米的凹槽;其中功率包络按如下分布:(i)50-80%的光功率在内纤芯中,(ii)20-40%的光功率在外纤芯中,并且(iii)少于5%的光功率在凹槽中。

[0015] 根据一个实施例,内纤芯的半径在2-8微米之间;内纤芯和外纤芯的组合半径在5-12微米之间;并且凹槽的半径在5-25微米之间。

[0016] 根据一个实施例,内纤芯的折射率 Δ 在0.001与0.003之间;外纤芯的折射率 Δ 在0.000与0.001之间;并且凹槽的折射率 Δ 在-0.0035与-0.0007之间。

[0017] 根据一个实施例,1550nm的衰减小于0.175dB/km。

[0018] 根据一个实施例,1383nm的衰减小于0.31dB/km。

[0019] 根据一个实施例,光缆的截止波长小于1260nm。

[0020] 根据一个实施例,光缆的截止波长小于约1530nm。

[0021] 根据一个实施例,20mm直径的宏弯曲损耗小于2dB/m。

[0022] 根据一个实施例,外纤芯区的折射率,如果不计VAD或OVD微粉处理自然出现的赝扩散尾的话,基本上等于无掺杂石英的折射率。

[0023] 根据本公开的另一个方面,提供一种用于发送1550nm波长区中的光信号的光纤,该光纤包括:内纤芯;最小半径为5微米的外纤芯;以及最大半径为25微米的凹槽;其中功率包络按如下分布:(i)50-80%的光功率在内纤芯中,(ii)20-40%的光功率在外纤芯中,并且(iii)少于5%的光功率在凹槽中。

[0024] 根据一个实施例,内纤芯的半径在2-8微米之间;内纤芯和外纤芯的组合半径在5-12微米之间;并且凹槽的半径在5-25微米之间。

[0025] 根据一个实施例,内纤芯的折射率 Δ 在0.001与0.003之间;外纤芯的折射率 Δ 在0.000与0.001之间;并且凹槽的折射率 Δ 在-0.0035与-0.0007之间。

[0026] 根据一个实施例,1550nm的衰减小于0.175dB/km。

[0027] 根据一个实施例,1383nm的衰减小于0.31dB/km。

[0028] 根据一个实施例,光缆的截止波长小于1260nm。

[0029] 根据一个实施例,光缆的截止波长小于约1530nm。

[0030] 根据一个实施例,20mm直径的宏弯曲损耗小于2dB/m。

附图说明

[0031] 图1是光纤的示意截面图,画出可以用本发明方法制作的折射率分布的例子;

[0032] 图2是图1的分布的曲线;

[0033] 图3和4是管内棒处理过程的示意表示;

[0034] 图5是光纤拉制设备的示意图;

[0035] 图6是各种例子的衰减对功率加权Ge和F浓度的曲线;

[0036] 图7对图6中以63表示的光纤,画出衰减对波长的曲线,该曲线常被称为衰减谱;

[0037] 图8是损耗对功率百分比曲线,表明管内棒界面不同特征的影响。

具体实施方式

[0038] 具有低的或零水峰的低损耗光纤,可以通过VAD或OVD方法有效地生产大的经

济的预制棒尺寸（大于 90mm 的 OD）。最低的 1385nm 损耗（指定低于 0.31dB/km，通常是 0.275dB/km），几乎与用 VAD 方法生产的纤芯棒获得的一致，预制棒的大小可达 150mm。MCVD 方法通常用于生产较小的预制棒（60 到 90mm），比 VAD 有较不严格的水峰值指标。这种商业化的实地应用，是因为 VAD 或 OVD 沉积的纤芯材料，由于烧缩前微粉的脱水，常常本性上更加干燥（[OH] < 1ppb）。第二个成因是，用 VAD 或 OVD 能制作有大 D/d 比值的大的纤芯体；这意味着在大的纤芯体中（大大地大于 90mm），第一外包层界面能够远离纤芯（即低的光功率）。除非预制棒的尺寸小（< 70mm），否则 MCVD 处理过程通常生产较低的 D/d 比值，使它在大的预制棒中更难获得经济的、低或零水峰光纤。

[0039] 商业化生产的光纤，在 1550nm 有近似 17 到 20ps/nm/km 的色散，而零色散在 1310nm 波长附近，这种光纤一般能够分成两类：有石英包层的 Ge 掺杂纤芯与有 F 掺杂包层的石英纤芯光纤。在这两类的任一类中，波导总的相对 Δ ，接近 0.35%。前一类光纤一般亦称匹配包层或标准单模光纤，并有量级为 0.185 到 0.195dB/km 的光损耗。后一类光纤亦称纯石英纤芯光纤，并因纯的比掺杂的石英有更低的 Rayleigh 散射，所以有非常低的接近 0.168dB/km 的商品化光学损耗值。

[0040] 虽然已经表明，石英纤芯光纤有优良的损耗特征，但遗憾的是，要获得这种水平的性能，要求拉制速度比匹配包层光纤慢 5 到 10 倍。对拉制速度的这种限制，影响制造厂的生产能力和生产量，使石英纤芯光纤的制造更为昂贵。这一点已经在实际上阻止它广泛的商业化采用，使它处于适量生产的状态，供海底或长距离无中继的单跨接应用。

[0041] 下面将要讨论本发明的一类折射率分布，该折射率分布针对现有技术两个受限制的方面。在现有技术中，要么 1)，光纤损耗更低的极限，如同常规 Ge 掺杂的 SSMF 那样，由重 Ge 掺杂纤芯的附加的 Rayleigh 散射水平确定，要么 2)，如同纯石英纤芯光纤那样，该种光纤的实际应用范围，受与非常低速度的光纤拉制必然的特别成本限制。当前公开的一类折射率分布，提供一种获得损耗值接近纯石英光纤的手段，同时保持以标准单模光纤的正常速度拉制这些光纤的能力。此外，本文公开的混合 VAD-MCVD 处理过程，是制造该类折射率分布的优选方法。

[0042] 现在参考图 1，图上画出有掺杂区 12-16 的光纤预制棒 11 的截面。这些区代表在各自的层中 5 种不同的折射率，这些层从光纤中心沿径向伸延。该种分布以上面讨论的复杂的折射率分布为代表。区 13 和 10 代表纯石英折射率，而区 14 和 15 是下掺杂 (down-doped) 的。

[0043] 光纤的纤芯区 12 有较重的掺杂，典型的是用 GeO_2 。第二纤芯区 13 是较轻的掺杂区，且在优选的例子中，是本征的。（在这里的讨论中，假定玻璃是石英基玻璃，术语“本征”是指无掺杂石英。）包层区 14 是凹陷（下掺杂）区。包层区 15 是稍为不重的掺杂凹陷区，而本实施例画出的区 16，是本征区，但也可以是区 15 的伸延。

[0044] 由于本分布中存在凹陷的折射率区，制备光纤的整个预制棒的方法，通常选择 MCVD。这是因为，在 MCVD 方法中，用氟掺杂凹陷区 14 是比较直接了当的。氟的掺杂通常是把微粉微粒暴露在 SiF_4 （通过引入 SiF_4 、 SF_6 、 C_2F_6 等等，本领域是公知的）中获得的。在样能使氟扩散进多孔的玻璃结构和扩散进微粒的表面。因为 MCVD 微粉是以逐层的方式沉积并烧结，所以 F 不会因扩散而消失。因此，可以获得相对高浓度的 F 掺杂以及对浓度分布的精确控制。关于氟掺杂更详细的信息，请见共同待决的申请，该申请的序列号是 09/755, 914，

申请日期 01/05/01。

[0045] 这种处理过程可能与某些优选的 VAD 处理过程不相容,特别是微粉沉积后在整个毛坯上采取的那些纯化和固结步骤。因此,MCVD 常常是制作分布中有凹陷折射率特性的优先选择。上述的分布对低色散斜率光纤和其他最新技术的光纤产品,是至关重要的。

[0046] 虽然这些因素都指出,要使用全 MCVD 制作有凹陷折射率区的预制棒,但我们发现,用 VAD 制作的预制棒和用 MCVD 制作的预制棒,OH 污染本征浓度存在的重要差别,改变了上述结论。OH 含量与相应的传输或 Raman 泵浦频带中,特别是 1460 与 1530nm 间的 S 波长频带中和在 1385nm 窗口中的损耗有关。GeO 浓度和其他产生的缺陷的损耗, VAD 材料比 MCVD 材料也可以更低。在两种情形中,我们已经从 VAD 制作的预制棒拉制的光纤中,测量到更佳的损耗结果。因此,我们已经指出用 VAD 制作光纤预制棒纤芯区,例如图 1 的区 12 和 13,和用 MCVD 制作包层区 14 和 15 的效果。

[0047] 图 2 画出从图 1 表示预制棒拉制的光纤的折射率分布 21。请注意,图 1 表示预制棒的设计分布(预制棒 OD 通常为 63mm),而图 2 中特定的分布是光纤的折射率分布。一般说,从预制棒生产的光纤,基本上复制预制棒的分布,只是有更小的尺寸。

[0048] 图 2 光纤是由图 1 预制棒中的区 12-16 得到的,在图 2 的顶部标出区 12-16。内纤芯区 12 以 Ge 掺杂,在纤芯中心产生折射率 $\Delta \approx +0.002$ 。 Δ 是偏离石英本征折射率的折射率。图 2 中的坐标以绝对折射率的差画出,但常常以百分比表示,需要用 100 乘以图示值。本领域熟练人员当能识别,内纤芯区 12 的折射率高度,与常规单模光纤比较是较低的,且能用小于 2wt% 的 Ge 获得。在典型的单模纤芯中,纤芯中心的掺杂浓度为 3.5wt% 或更大。在本发明的光纤中,纤芯较低的掺杂浓度,降低了光纤中的光损耗。在本例中,内纤芯的宽度接近 4 微米。在本例中,外纤芯区 13 是本征石英。或者,外纤芯可以是轻掺杂的。例如,它可以用 Ge 掺杂到小于 +0.001 的标称浓度。在又一个另外的实施例中,它可以用氟稍稍下掺杂。一个目的是生产有相对低掺杂的外纤芯层,从而得到非常低损耗的纤芯材料。从 -0.001 到 +0.0005 的 Δ 范围是合适的。图上画出的外纤芯区宽度,与内纤芯区宽度相同,即接近 4 微米。下一个区是凹陷折射率区 14,折射率 Δ 约 -0.002,宽度约 8 微米。该区用 MCVD 生产。该区的折射率作为半径的函数,通常是接近恒定的,但不要求平坦。凹陷折射率区一般包括用合适量的氟掺杂的 SiO_2 ,以获得需要的折射率。在本例中,区 15 是用 MCVD 起始管形成的。该起始管稍稍下掺杂到接近 0.008 的折射率。该区的宽度由起始管的厚度确定,接近 16 微米。图 2 所示最后一层,是无掺杂区 16。用无掺杂外包层管形成该层是方便的。但是,为降低光纤对弯曲损耗的敏感度,它可以改为包括与区 15 相同的稍稍下掺杂的材料,但仍然保持本发明的低的损耗、高的拉制生产率特性。因为基本上没有光功率在该区传播,所以该区的光传输性质是较不重要的。

[0049] 代表图 2 例子光纤中光功率分布的光功率包络,以 22 表示。竖直尺度是任意的。光功率大部分在内纤芯 12 的中心区中引导,并呈基本的 Gauss 形状,按指数下降通过内纤芯外部和通过外纤芯。在纤芯和凹陷包层区 14 之间的界面,功率衰减到低的值。本发明的一个目的,是把整个功率包络基本上限制于低损耗的 VAD 和 MCVD 区。在 MCVD 起始管开始的界面,即区 14 与 15 间的界面,基本上没有光功率。因此,区 15 的光损耗及其他的光特征,不如那些基本包含整个标称功率包络的内层那样重要。在某些情形下,例如当光纤被弯曲时,外面的区起作用,并帮助防止损耗。因此,MCVD 凹槽层 14 以外的区的设计,可以比图

示那些设计,有不同的组分和性质。例如,区 16 可以是下掺杂的,以控制弯曲损耗。或者,MCVD 起始管可以掺杂到与区 14 相当浓度。其他区可以包括例如上掺杂材料的一个或多个环形区。

[0050] 现在回头参考图 2 中的功率包络 22,该光纤有关性质的测量值,在下表给出。功率包络的这些数据,是在 1550nm 上测量的。

[0051] 表 1

[0052]

| 区 | 折射率 (Δ) | 半径 (微米) | 功率% |
|---------|------------------|---------|------|
| 内纤芯 | 0.0018 | 4 | 60.3 |
| 外纤芯 | 0.0 | 4-8 | 35.9 |
| MCVD 凹槽 | -0.002 | 8-16 | 3.8 |

[0053] 在 1385nm 上功率包络的测量,得到的纤芯功率容量值为 97.8%,和 MCVD 层功率包络接近 2.2%。众所周知,光功率在整个结构中是指数下降的,所以包含在 VAD/MCVD 组合区中的功率包络,将不会是 100%,但对本发明的设计,至少应是 99%。

[0054] 对下表说明的结构的光纤,本发明的目的一般都能满足:

[0055] 表 2

[0056]

| 区 | 折射率 (Δ) | 半径 (微米) | 功率% |
|--------|-------------------|---------|-------|
| 内纤芯 | 0.003 到 0.001 | 2-8 | 50-80 |
| 外纤芯 | 0.001 到 0.000 | 3-10 | 20-40 |
| MCVD 区 | -0.0035 到 -0.0007 | 5-25 | < 5 |

[0057] 在优选实施例中,组合的内纤芯和外纤芯半径,等于 5-12 微米。

[0058] 具有这些一般设计分布的特性是,除了把基本上所有功率包络限制于 VAD/MCVD 区外,主要份额,即 > 90%,最好 > 96%,包含在 VAD 区内,在该 VAD 区中,OH 含量和可能的 OH 界面污染,两者都是小的。本征石英的使用,对设计的整个有效性有显著贡献,因为纤芯的基本部分,在理论上有优化的低损耗和能传送光功率的主要份额。

[0059] 由 VAD 纤芯棒和 MCVD 包层管制成的预制棒,可以用管内棒方法组装。典型的管内棒方法结合图 3 和 4 说明。应当指出,所指的图不一定按比例画出。表示实际商品化使用尺寸特征的包层管,有代表性的 10-15 的长度对直径比值。画出的纤芯棒 32,是插入包层管 31 中的。管 31 可以代表单根管或几根同心的管。此时的棒通常已经固结。棒可以是已经固结的或仍然是多孔的。正常情况下,纤芯棒的构成有若干常见的选择。它可以仅是中心纤芯,它也可以包括一层或多层另外的层。本发明的主要实施例中,在纤芯棒用 VAD 制作的情形下,纤芯包括层 12 和 13。以非常高质量的玻璃形成技术制作的包层管,可以用作层 14。但是,有鉴于可在市场上购到的超高纯管,有受限制的可用性,层 14 最好用 MCVD 生产。下掺杂的层 14,由衬底管 15 内表面上的下掺杂的 MCVD 层形成。

[0060] 现在参考图 4,在棒 32 和管 31 组装之后,通过收缩把它们组合,生产最后的预制棒,在最后的预制棒上,棒的外表面和管的内表面之间的界面,基本上是不能察觉的。这一

步骤可以在拉制处理过程之前或之中进行。

[0061] 对添加的包层的操作,例如对生产层 16 而添加的包层管,可以基本上遵从与刚说明的管内棒方法相同的过程。或者,可以通过使外包层管、MCVD 管、及纤芯棒,在一次操作中收缩,完成该预制棒的组装。

[0062] 然后,如上所述,是用光纤预制棒拉制光纤。图 5 画出的光纤拉制设备,有预制棒 51 和代表加热炉(未画出)的接受器 52,后者用于使玻璃预制棒软化并开始光纤的拉制。已拉制的光纤在 53 画出。然后,使初生的光纤表面通过一般以 54 表示的涂覆杯,涂覆杯有室 55,内含要涂覆的预聚合物 56。被液体涂覆的光纤,通过模具 61 从涂覆室离开。模具 61 与预聚合物的流体动力学组合,控制涂层的厚度。然后,被预聚合物涂覆的光纤 62 暴露在 UV 灯 63 下,使预聚合物固化并完成涂覆的处理过程。只要合适,也可以用其他的固化辐射。然后,涂层已经固化的光纤,用卷线盘 64 卷取。卷线盘控制光纤的拉制速度。通常用 1-30m/sec 范围的拉制速度。重要的是,光纤应在涂覆杯的中心,特别是在出口模具 61 的中心,以保持光纤与涂层的同心度。市场上的设备通常有控制光纤对准的滑轮。模具自身中的水压,可以帮助光纤的对心。由微步分度器(micro-step indexer)(未画出)控制的步进电机,控制卷线盘。

[0063] 光纤的涂覆材料,通常是氨基甲酸乙酯、丙烯酸酯、或氨基甲酸乙酯-丙烯酸酯,有添加的 UV 光引发剂。图 5 的设备画出单个涂覆杯,但常常使用有两个涂覆杯的双涂覆设备。在双涂覆光纤中,典型的最初的或内涂层材料,是软的、低模量材料,诸如硅酮、热熔石蜡、或其他许多有相对低模量的聚合物材料。第二或外涂层常用的材料,是高模量聚合物,典型的是氨基甲酸乙酯或丙烯酸酯。在商业化的实地应用中,两种材料可以是低和高模量的丙烯酸酯。沿直径的涂层厚度,通常在 150-300 μm 范围,以接近 245 μm 为标准。

[0064] 本发明的积极作用,表现在已知光纤损耗的机制方面。制造和设计基于石英的光纤的目前技术水平,已经推进到这样的地步,使在 1550nm 区中,来自例如 OH 或微量(trace)金属污染、或玻璃结构中存在的电子缺陷等的吸收作用,或来自例如弯曲损耗的波导作用,这些作用产生的附加的损耗,已经基本上被消除。因此,先进技术的光纤的更低损耗极限,由纯石英的 Rayleigh 散射损耗决定。使折射率变化以形成波导结构的掺杂物,如典型的 Ge 或 F 的存在,其不利的作用,是使被掺杂玻璃的 Rayleigh 散射损耗,附加在纯石英的 Rayleigh 散射损耗之上。Ohashi (“Optical Loss Property of Silica-Based Single-Mode Fibers”, JLT Vol10, No. 5May1992) 确定,Ge 掺杂的石英光纤的 Rayleigh 散射系数是:

$$[0065] \quad A_{\text{Ge}} = A_0(1+0.44 * \Delta_{\text{Ge}}),$$

[0066] 而对 F 掺杂的石英光纤的 Rayleigh 散射系数是:

$$[0067] \quad A_{\text{F}} = A_0(1+0.41 * \Delta_{\text{F}}),$$

[0068] 这里 A_0 是无掺杂石英的 Rayleigh 散射系数, Δ_{Ge} 和 Δ_{F} 分别是与 Ge 及 F 掺杂关联的归一化折射率的差。这些公式清楚表明,以锗和氟掺杂的石英,相对于纯石英有升高的 Rayleigh 散射系数,导致附加的散射损耗。本文公开的折射率分布种类,是在传播光功率绝大部分的光纤区中的设计,与匹配包层光纤的设计相比,有降低浓度的锗和氟掺杂,从而通过降低 Rayleigh 散射系数,提供一种降低光纤损耗的手段。

[0069] 为定量表示附加 Rayleigh 散射损耗对光纤损耗的作用,该额外 Rayleigh 散射损耗是波导掺杂区的 Rayleigh 散射损耗,超出本征石英 Rayleigh 散射损耗的部分,为此,我

们把额外散射损耗的度量,定义为光纤截面上被光功率密度加权的 Ge 及 F 掺杂浓度的积分。

$$[0070] \quad \text{额外散射损耗度量} \propto \frac{\iint Ge(r) * E^2(r) r dr d\phi + \iint F(r) * E^2(r) r dr d\phi}{\iint E^2(r) r dr d\phi}$$

[0071] 这里 Ge(r) 和 F(r) 是作为径向位置 r 函数的 Ge 和 F 掺杂浓度,以重量百分比为单位,E(r) 是电场,它作为基模的 r 的函数。

[0072] 图 6 按无色散位移光纤对额外散射损耗度量,画出各种大的有效面积上观察到的损耗曲线。以 61 和 62 标记的点,分别代表市场上购得的纯石英纤芯光纤和 Ge 掺杂纤芯光纤的观察结果。假定光纤损耗主要由 Rayleigh 散射支配,那么,在这两例光纤值之间有额外散射损耗度量的光纤,其光纤损耗近似落在沿连接该两点的线 65 上。以 63 和 64 标记的点,代表本发明两例光纤的结果。这两例光纤的额外散射损耗度量值,稍稍小于 2.0,而测量的损耗值约为 0.180dB/km。本发明具有图 2 所示折射率分布的优选实施例,其额外散射损耗度量值约 1.0 和期望的光纤损耗为 0.174dB/km。本发明的功率加权掺杂浓度的积分值范围,通常落在约 1 到 2 的范围内。

[0073] 图 7 画出图 6 中点 63 代表用 18m/s 牵引速度控制的光纤的衰减谱。该光纤在 1550nm 和 1385nm 上的衰减,是 0.180 和 0.284dB/km,表明优良的低损耗性能。

[0074] 另一根光纤的损耗性能涉及光纤折射率分布设计的问题,而光纤制造方法在于使光纤满足零水峰 (Zero Water Peak, ZWP) 特性。ZWP 特性要求,在围绕 1385nm 波长区的 OH 吸收峰上,有非常低的初始损耗,并在光纤工作的使用期内把它暴露在分子氢中,能有非常低的稳定的长期老化损耗。

[0075] 提供 ZWP 特性的一个重要方面,是 VAD 沉积过程形成的内和外纤芯区,有极其“干燥”的性质 (通常 < 0.5ppb [OH])。在本发明一个优选实施例中,通常 > 95% 的光功率在光纤的 VAD 形成区内传播。提供 ZWP 特性的再一个重要方面,是与外纤芯区比邻的凹陷折射率区非常干燥的本质。用标准的 MCVD 处理可获得的干燥度, [OH] 浓度通常 < 3.0ppb, 这样的 [OH] 浓度为该区提供充足的性能,因为通常只有很小百分比的功率在该区内传播。可以预见,通过用超高纯的、[OH] 污染浓度与 MCVD 处理形成的材料相当的 F 掺杂管,形成与纤芯棒相邻的整个凹陷折射率凹槽区,可以实现这些有 ZWP 特性的光纤设计。但是,因为市场上可购得的用合成石英管材的目前技术水平, [OH] 污染浓度约为 200ppb, 所以这些管目前市场上不能购到。本发明在 ZWP 性能方面的另一个贡献是,大于 99% 的功率在 VAD、MCVD 或超高纯管材形成的区内传播。本发明在这方面的第四个贡献是,环绕 VAD 纤芯棒与第一包层管之间界面 1 微米厚的区内,包含的光功率百分比小于约 2%, 最好小于 0.5%。最好是,在外包层及外包层步骤之前,纤芯棒的处理,要与环绕该界面的 1 微米区上的处理一致,就是说,保持平均 [OH] 污染在 20ppb 或更小。这一要求可能需要下面的技术,诸如加热炉在干燥环境中持续一段时间、棒和管表面在外包层前进行等离子体和 / 或化学蚀刻、和外包层过程中在界面空隙采用诸如氯干燥剂来维持干燥环境。图 8 表明在 1385nm 上对额外损耗的计算结果,该额外损耗是因界面区的 OH 污染产生的,并作为围绕界面 1 μm 厚的环中传播的功率百分比的函数。两条曲线表明,当使用上述干燥的外包层处理,又当使用更有代表性的外包层处理时,在典型的 OH 污染浓度上观察到的额外损耗。要有良好的 ZWP 性质,优先使用干燥处理技术,并当适当地实施时,将得到小于约 2% 的“界面”功率。

[0076] 本文公开的本发明,使级别最好的标准匹配包层光纤的损耗,从 0.185 降低到~0.175dB,这一点表示,100km 的陆上系统,跨距损耗降低 1dB,而 50-70km 的海底系统,跨距损耗降低~0.5 到 0.7dB。陆上系统中的这一 1dB,表示可以用增加的 dB 余额延伸总的系统长度,或降低其他部件的费用或指标。零(可忽略的)水峰损耗扩展了置于 1385nm 附近的 Raman 泵浦的能力,而低 Rayleigh 散射损耗与低水峰的组合,可使 Raman 泵浦在从 1350 到 1450nm 的整个区上更有效。在海底的情形,增加的 0.5 到 0.7dB,可以用于延伸极其昂贵的深海中继器之间的距离,从而降低跨接给定系统长度需要的中继器总数。这一点表明极大地节省了费用。

[0077] 按照本发明的光纤,可以结合色散补偿组件使用,色散补偿组件以负色散光纤或高阶模光纤为基础。按照本发明的光纤还可以配置成色散管理跨距单元,在该单元中,具有正色散(如本发明)的成缆光纤与具有负色散及负色散斜率的成缆光纤配成对。色散管理跨距的设计,通常把一段有大有有效面积的正色散光纤,紧接发射器之后放置,使当入射功率为最大时的非线性最小。一段较小有效面积的负色散光纤,在光功率已经被正色散光纤中的光损耗衰减之后,接续进跨距内,以便使非线性最小。对 Raman 放大系统,顺序可以修改为:一段大有有效面积的正色散光纤;接着是一段较小有效面积的负色散光纤;接着是第二段大有有效面积的正色散光纤。

[0078] 在偏僻地区,诸如边境或岛屿之间,常常需要无中继(无放大)的系统。在这些系统中,高的入射功率与分布 Raman 放大的组合,有助于不用一个一列式的光放大器,实现 200-300km 的传输。这种系统的传输波长,应接近光纤的损耗极小,通常在 1570 到 1580nm。本文公开的这类光纤,有降低的信号频带衰减,比纯石英纤芯光纤制造更为经济。它有可忽略的水峰损耗,能在~1375nm 上安排效果良好的二阶 Raman 泵浦,该波长极其接近水峰。它还能有大于 100 平方微米的有效面积,可以缓解与更高入射功率关联的非线性。

[0079] 本文公开的新的一类光纤,对正在浮现的一类 10Gbps(和更快)传输系统,也是理想的,这类 10Gbps 传输系统将利用信号处理的一些形式,减轻由于色散产生的符号间干扰。在这些系统中,光学色散的补偿,要么在发射器上用预加重补充,要么在发射器上用预加重全部更换,和/或在接收器上均衡,所有信号处理都在电域中完成。这些电子色散减轻方案,对线性的、确定性的减损,有最佳的响应。在本范例中,传输系统的性能和费用,将极小依赖于色散减损的减轻,但更多依赖于降低衰减损耗和非线性。本文公开的一类光纤,例如有有效面积为 $110 \mu\text{m}^2$ 和信号频带损耗为 0.175dB/km 的光纤,当与该类系统一起使用时,能够计算出比标准匹配包层光纤有 2dB 的性能改进。

[0080] 本发明各种另外的修变化,将出现在本领域熟练人员面前。通过本说明书的具体教导,本领域技术已经得到推进,所有偏离本说明书具体教导,但基本上依靠本说明书具体教导的原理和它们的等价叙述,都应恰当地认为在已经说明和要求的本发明范围之内。

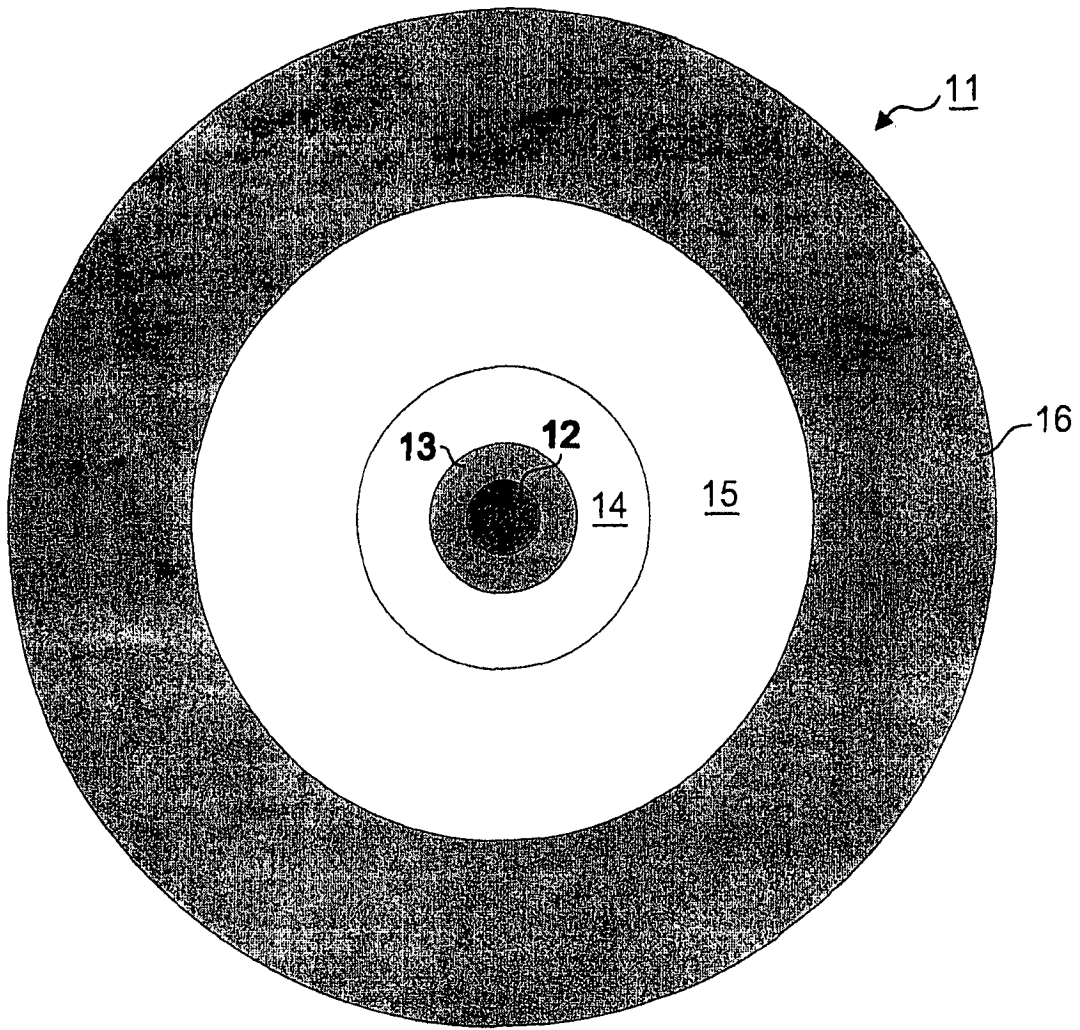


图 1

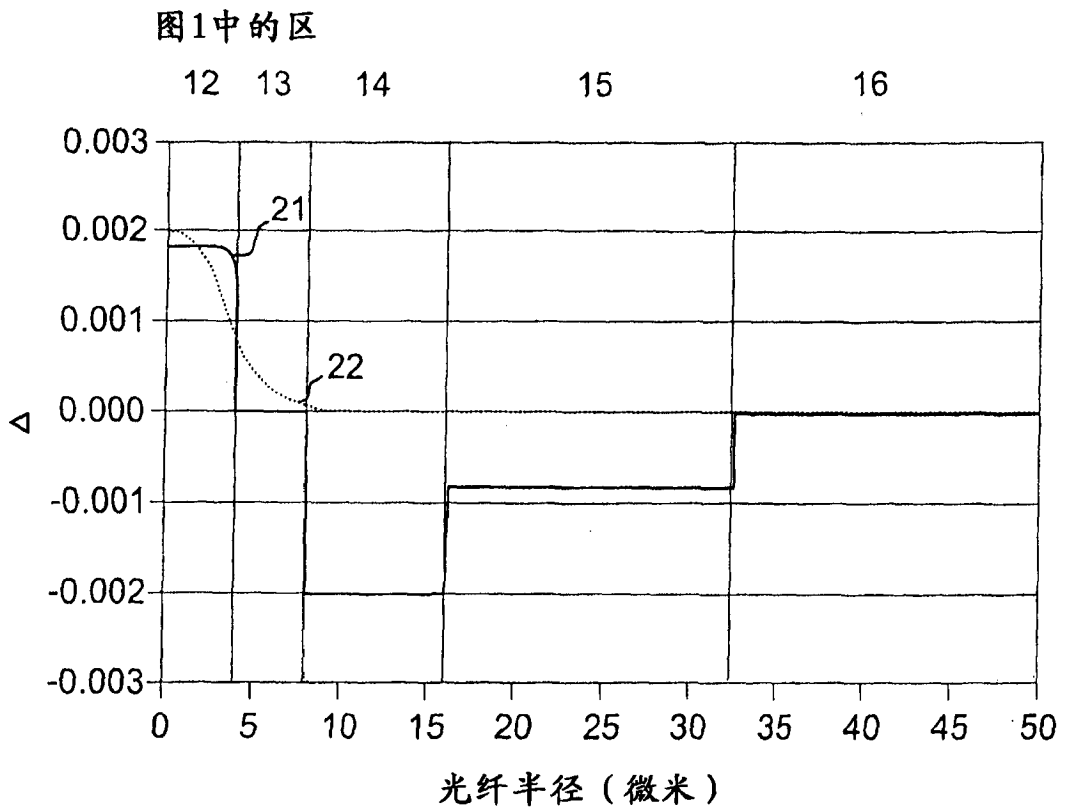


图 2

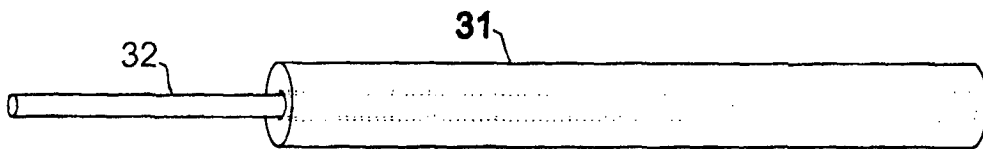


图 3

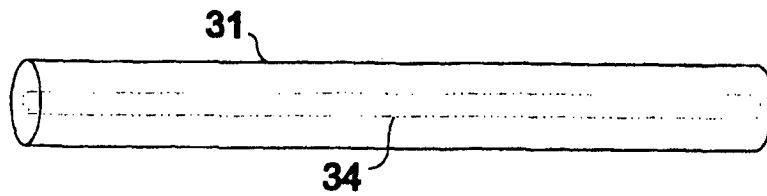


图 4

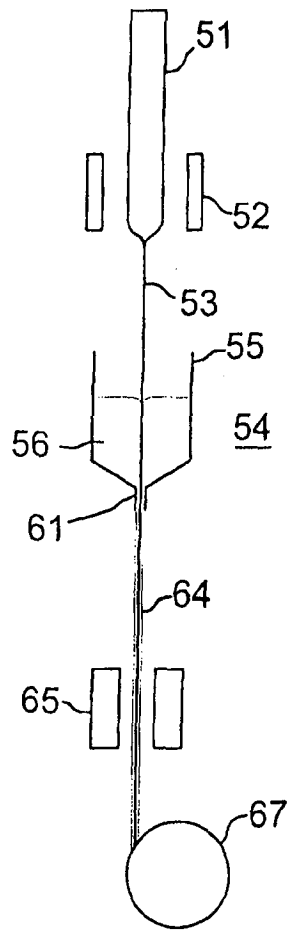


图 5

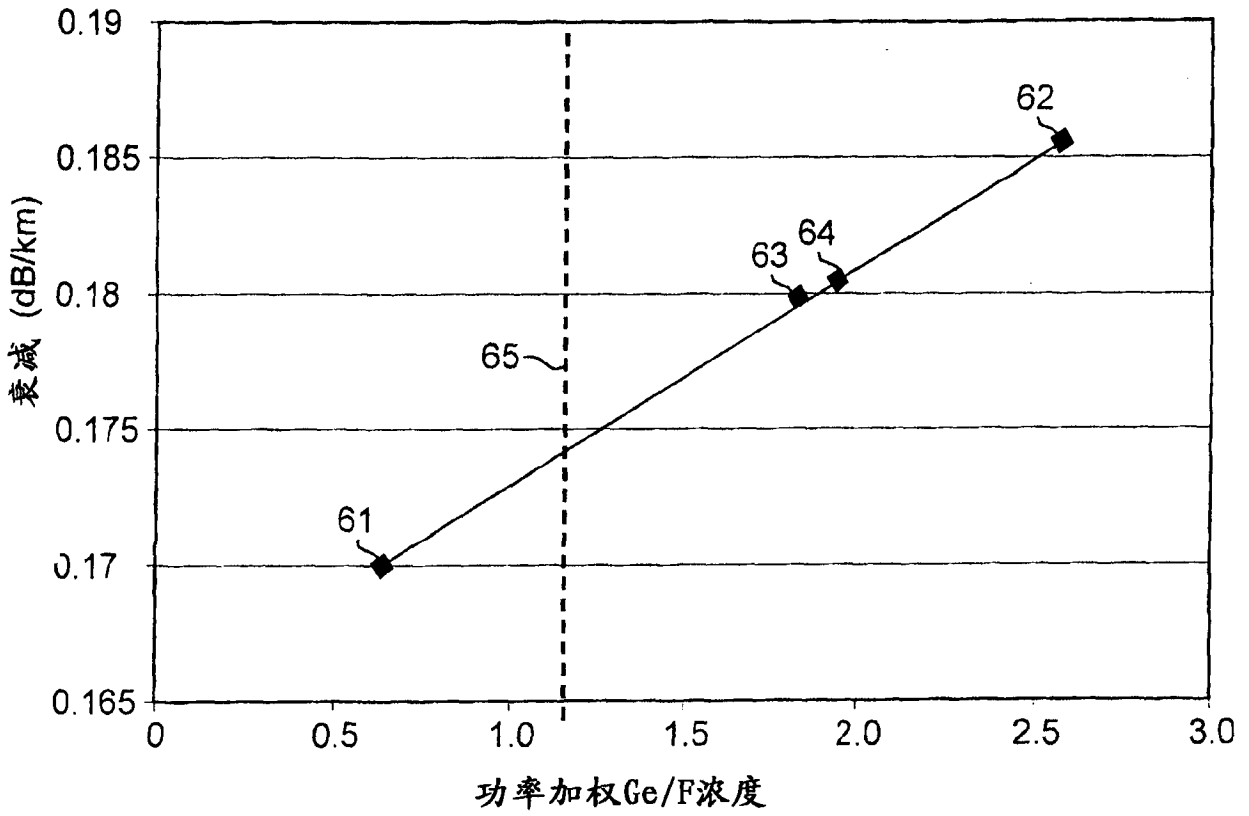


图 6

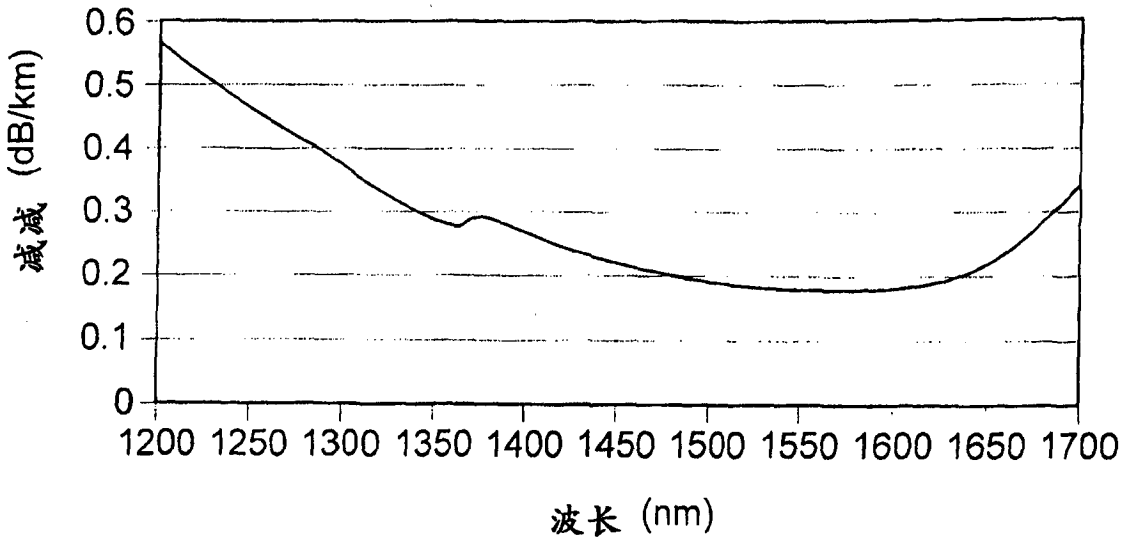


图 7

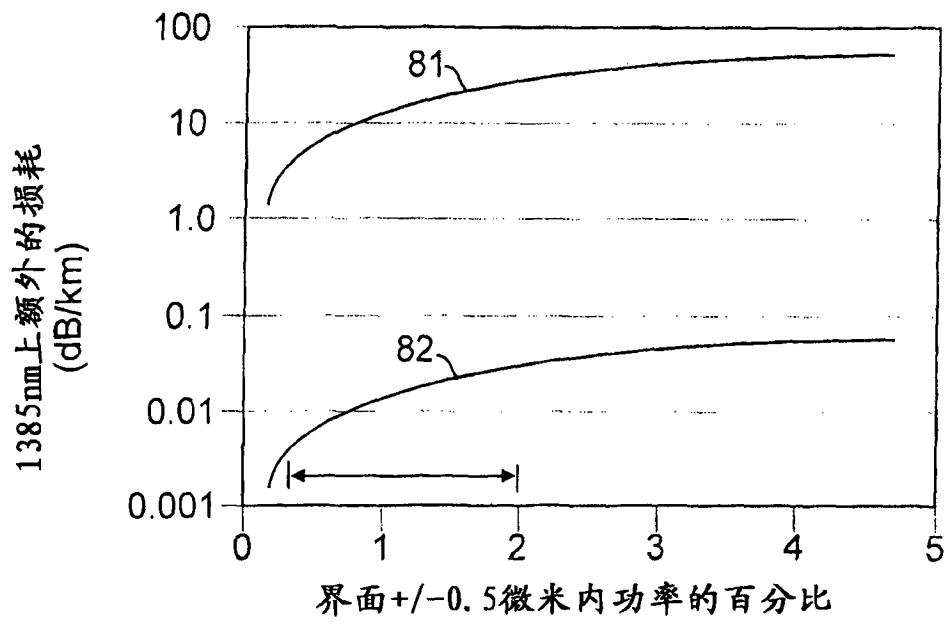


图 8