

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101535851 B

(45) 授权公告日 2011. 01. 26

(21) 申请号 200780042279. 8
 (22) 申请日 2007. 09. 13
 (30) 优先权数据
 249360/2006 2006. 09. 14 JP
 (85) PCT申请进入国家阶段日
 2009. 05. 14
 (86) PCT申请的申请数据
 PCT/JP2007/067830 2007. 09. 13
 (87) PCT申请的公布数据
 W02008/032779 JA 2008. 03. 20
 (73) 专利权人 株式会社藤仓
 地址 日本东京都
 (72) 发明人 吉田健 布目智宏
 (74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
 代理人 雒运朴 李伟

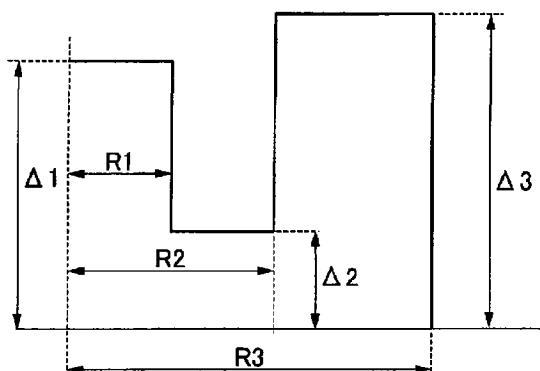
(51) Int. Cl.
G02B 6/036 (2006. 01)
 (56) 对比文件
 US 7082243 B2, 2006. 07. 25, 全文.
 CN 1802578 A, 2006. 07. 12, 全文.
 JP 特开 2006-184534 A, 2006. 07. 13, 全文.
 JP 特开 2006-232599 A, 2006. 09. 07, 全文.
 审查员 姚文杰

权利要求书 3 页 说明书 24 页 附图 11 页

(54) 发明名称
 光纤以及光纤母材

(57) 摘要

本发明提供一种光纤以及光纤母材。本发明所涉及的光纤具有三层芯部,包括:位于半径为R1区域中的具有折射率差 $\Delta 1$ 的第一芯部;位于半径R1~R2区域中的具有折射率差 $\Delta 2$ 的第二芯部;以及位于半径R2~R3区域中的具有折射率差 $\Delta 3$ 的第三芯部;其中,满足 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 1$ 的关系,在 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$,所述X、Y满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,该光纤满足G652规格,与具有相同的MFD的光纤相比具有+3dB以上的SBS阈值。



CN 101535851 B

1. 一种光纤,其特征在于:

具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有恒定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu m$ 的区域中,并具有恒定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中,并具有恒定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中,并具有恒定的正的相对折射率差 $\Delta 3$,

所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 的关系是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,

将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$, 所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,

所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系:

$$(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45, \text{ 且 } \Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15,$$

光缆截止波长小于 1260nm,

波长 $1.31 \mu m$ 的模场直径是 $7.9 \mu m \sim 10.2 \mu m$,

零色散波长是 1300nm \sim 1324nm,

零色散斜率是 $0.093 \text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 以下,

直径 20mm、波长 $1.31 \mu m$ 的均匀弯曲损失是 2dB/m 以下,

波长 $1.55 \mu m$ 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 +3dB 以上。

2. 一种光纤,其特征在于:

具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有恒定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu m$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中,并具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 3$,

所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,

将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$, 所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,

所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系:

$$(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45, \text{ 且 } \Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15,$$

光缆截止波长小于 1260nm,

波长 $1.31 \mu m$ 的模场直径是 $7.9 \mu m \sim 10.2 \mu m$,

零色散波长是 1300nm \sim 1324nm,

零色散斜率是 $0.093\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 以下,

直径 20mm 、波长 $1.31\ \mu\text{m}$ 的均匀弯曲损失是 $2\text{dB}/\text{m}$ 以下,

波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 $+3\text{dB}$ 以上。

3. 一种光纤母材,具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有恒定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1\ \mu\text{m}$ 的区域中,并具有恒定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1\ \mu\text{m} \sim R2\ \mu\text{m}$ 的区域中,并具有恒定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2\ \mu\text{m} \sim R3\ \mu\text{m}$ 的区域中,并具有恒定的正的相对折射率差 $\Delta 3$,

所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 的关系是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,

将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$, 所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,

所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系:

$(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$ 、且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$,

所述光纤母材特征在于:

在对该光纤母材进行拉丝使其光纤化时,

光缆截止波长小于 1260nm ,

波长 $1.31\ \mu\text{m}$ 的模场直径是 $7.9\ \mu\text{m} \sim 10.2\ \mu\text{m}$,

零色散波长是 $1300\text{nm} \sim 1324\text{nm}$,

零色散斜率是 $0.093\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 以下,

直径 20mm 、波长 $1.31\ \mu\text{m}$ 的均匀弯曲损失是 $2\text{dB}/\text{m}$ 以下,

波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 $+3\text{dB}$ 以上。

4. 一种光纤母材,具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有恒定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1\ \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1\ \mu\text{m} \sim R2\ \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2\ \mu\text{m} \sim R3\ \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 3$,

所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,

将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$, 所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,

所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系:

$(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$ 、且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$ ，

所述光纤母材特征在于：

在对该光纤母材进行拉丝使其光纤化时，

光缆截止波长小于 1260nm，

波长 1.31 μm 的模场直径是 7.9 μm ~ 10.2 μm ，

零色散波长是 1300nm ~ 1324nm，

零色散斜率是 0.093ps/(nm² · km) 以下，

直径 20mm、波长 1.31 μm 的均匀弯曲损失是 2dB/m 以下，

波长 1.55 μm 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 +3dB 以上。

光纤以及光纤母材

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤以及光纤母材。在使用光纤长距离传送光模拟信号、光基带信号时,由于受激布里渊散射(以下称为SBS)的影响,发生即使要向光纤中射入某功率的光,也只能射入某一定的光量(SBS阈值功率),余下变为反向散射光返回入射侧的现象,因此存在可射入的信号光功率受到限制的问题。本发明涉及可抑制该SBS的产生,能够传送更高功率的信号光的光纤。

[0002] 本申请主张基于2006年9月14日在日本提出的专利申请特愿2006-249360号的优先权,并在此引用其内容。

[0003] 背景技术

[0004] 近年,光纤铺设到了各家庭,利用其进行各种信息的交换,光纤到户(FTTH)的服务不断地扩大。在传送各种信息的FTTH中,具有将广播信号和其他的通信信号分别以不同的方式使用一根光纤进行同时传送的系统。一般在该系统中,广播信号多是模拟信号、基带信号、或光SCM信号。从传送介质即光纤的角度来看,系统的特点如下:

[0005] (1)FTTH通常是双星型的PON(Passive Optical Network),分配损失增大。

[0006] (2)由于传送模拟信号、基带信号,或光SCM信号,所以需要增大接收机中的CNR(Carrier Noise Ratio),或需要使光接收部中的最低信号光的功率比通信中所使用的数字传送的功率大。

[0007] 这样,在视频传送中进行基于强度调制的模拟传送时,为了补偿分配损失,确保高CNR,需要进行高功率传送。但是,由于发生即使向光纤中射入某高功率的光,也只能射入到某一定光量(SBS阈值功率),余下的部分变成反向散射光返回到入射侧的现象,所以存在可射入的信号光的功率受到限制的问题。

[0008] 作为用于抑制该SBS的方法,有使掺杂物浓度、残余应力在长度方向上变化的方法(例如,参照专利文献1)。这样,通过在长度方向上使掺杂物浓度、残余应力变化,使布里渊频谱变宽,能够抑制SBS的产生。而且,还提出了在光纤中保持具有SBS抑制效果的某折射率分布的方法。(例如,参照专利文献2~5、7)。

[0009] 专利文献1:日本专利第2584151号公开文本

[0010] 专利文献2:W02004/100406号说明书

[0011] 专利文献3:美国专利第7082243号说明书

[0012] 专利文献4:日本特开2006-154707号公报

[0013] 专利文献5:日本特开2006-184534号公报

[0014] 专利文献6:日本特开2006-133314号公报

[0015] 专利文献7:日本特开2006-154713号公报

[0016] 非专利文献1:“Design concept for optical fibers with enhanced SBS threshold”Optics Express, Vol.13 Issue 14 Page 5338(July 2005)Andrey kobyakov

[0017] 非专利文献2:“Nonlinear Optical Fibers with Increased SBS Thresholds”OFC/NFOEC 2006, OTuA3, Scott Bickham, Andrey Kobyakov, Shenping Li

[0018] 作为抑制 SBS 的技术,如前所述,记载了在长度方向上使掺杂物浓度、残余应力变化的方法(专利文献 1)。但是,由于该方法使长度方向上的光学特性发生变化,因此实用上不被优选。

[0019] 而且,还记载了通过在光纤中保持折射率分布来抑制 SBS 的方法(专利文献 2~5、7)。该方法,虽没有使长度方向上的光学特性发生变化,但需要将折射率分布与作为目标的特性相一致的构造。

[0020] 专利文献 2、3 以及 5 记载了在具有三层构造的折射率分布的光纤中,通过将折射率分布设定为适当的条件抑制 SBS,并能得到与 ITU-T Recommendation G.652(以下称为 G652)相同的光学特性。但是,在专利文献 2、3 以及 5 所记载的构造中,并不能在所有构造中都满足与 G652 相同的光学特性,实际上以该条件为基础进行制造时,在各种条件中需要适当的设计值。

[0021] 在专利文献 4 中,根据该构造同样存在弯曲损失恶化的趋势,考虑到光纤的处理则不是优选的形状。

[0022] 关于专利文献 6,由于需要在预计的位置中添加氟,因此存在使用 VAD 法制造母材困难的问题。

[0023] 关于专利文献 7,仅记载了该折射率分布的形状,并没有涉及详细的参数等。

[0024] 发明内容

[0025] 本发明是鉴于上述情况而做出的,目的在于提供一种光纤以及光纤母材,其通过提供适当的折射率分布的构造设计值,从而在长度方向上具有稳定的特性,并具有和 G652 的互换性,进而具有优良的制造性,并抑制 SBS。

[0026] 本发明的第一方面(aspect)的光纤具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有大致一定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1 \mu\text{m} \sim R2 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2 \mu\text{m} \sim R3 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 3$,所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 的关系是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$,所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系: $(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$ 、且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$,光缆截止波长小于 1260nm,波长 $1.31 \mu\text{m}$ 的模场直径是 $7.9 \mu\text{m} \sim 10.2 \mu\text{m}$,零色散波长是 1300nm ~ 1324nm,零色散斜率是 $0.093\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 以下,直径 20mm、波长 $1.31 \mu\text{m}$ 的均匀弯曲损失是 2dB/m 以下,波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 +3dB 以上。

[0027] 本发明第二方面的光纤具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有大致一定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置

于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1 \mu\text{m} \sim R2 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2 \mu\text{m} \sim R3 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 3$,所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$,所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系: $(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$ 、且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$,光缆截止波长小于 1260nm ,波长 $1.31 \mu\text{m}$ 的模场直径是 $7.9 \mu\text{m} \sim 10.2 \mu\text{m}$,零色散波长是 $1300\text{nm} \sim 1324\text{nm}$,零色散斜率是 $0.093\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 以下,直径 20mm 、波长 $1.31 \mu\text{m}$ 的均匀弯曲损失是 $2\text{dB}/\text{m}$ 以下,波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 $+3\text{dB}$ 以上。

[0028] 本发明第三方面的光纤母材具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有大致一定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1 \mu\text{m} \sim R2 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2 \mu\text{m} \sim R3 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 3$,所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 的关系是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$,所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系: $(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$ 、且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$,所述光纤母材特征在于:在该光纤母材进行拉丝使其光纤化时,光缆截止波长小于 1260nm ,波长 $1.31 \mu\text{m}$ 的模场直径是 $7.9 \mu\text{m} \sim 10.2 \mu\text{m}$,零色散波长是 $1300\text{nm} \sim 1324\text{nm}$,零色散斜率是 $0.093\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 以下,直径 20mm 、波长 $1.31 \mu\text{m}$ 的均匀弯曲损失是 $2\text{dB}/\text{m}$ 以下,波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 $+3\text{dB}$ 以上。

[0029] 本发明第四方面的光纤母材,具有折射率分布,该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触并具有大致一定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围第一芯部的方式与该第一芯部接触,位于半径 $R1 \mu\text{m} \sim R2 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围第二芯部的方式与该第二芯部接触,位于半径 $R2 \mu\text{m} \sim R3 \mu\text{m}$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 3$,所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 是 $\Delta 1 > \Delta 2$ 、且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$,所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$ 、且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$ 、且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、

R2 满足以下关系： $(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$ 、且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$ ，所述光纤母材特征在于：在对该光纤母材进行拉丝使其光纤化时，光缆截止波长小于 1260nm，波长 1.31 μm 的模场直径是 7.9 μm ~ 10.2 μm ，零色散波长是 1300nm ~ 1324nm，零色散斜率是 0.093ps/(nm²·km) 以下，直径 20mm、波长 1.31 μm 的均匀弯曲损失是 2dB/m 以下，波长 1.55 μm 的 SBS 阈值与具有通常的阶跃折射率型的折射率分布且具有同一模场直径的单模光纤的 SBS 阈值相比为 +3dB 以上。

[0030] 附图说明

[0031] 图 1 是表示光纤中 SBS 的产生、表示入射光功率和透射、反向散射光功率之间的关系图。

[0032] 图 2 是表示 SBS 阈值测量系统的构成图。

[0033] 图 3 是表示具有图 4 所示的阶跃折射率型的折射率分布的 SMF 中 SBS 阈值的 MFD 依赖性的图。

[0034] 图 4 是表示阶跃折射率型的折射率分布图。

[0035] 图 5 是表示本发明所涉及的光纤的折射率分布的第一个例子的图。

[0036] 图 6 是表示本发明所涉及的光纤的折射率分布的第二个例子的图。

[0037] 图 7 是表示 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ ， $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时， $X+Y$ 的值和针对具有相同 MFD 的 SMF 的 SBS 抑制效果 (SBS_{eff}) 的关系图。

[0038] 图 8 是表示零色散波长 1300nm ~ 1324nm、且满足 $\text{SBS}_{\text{eff}} \geq +3\text{dB}(X, Y)$ 的关系图。

[0039] 图 9 是表示满足 $\text{MFD} = 7.9 \mu\text{m} \sim 10.2 \mu\text{m}$ 的 $\Delta 2 + \Delta 3$ 和 $R2/R1$ 的关系图。

[0040] 图 10 是表示 $\Delta 3 - \Delta 1$ 和 SBS_{eff} 的关系图。

[0041] 图 11 是表示 $\Delta 1 - \Delta 2$ 和 SBS_{eff} 的关系图。

[0042] 图 12 是表示 $\Delta 1 - \Delta 2$ 和 SBS_{eff} 的关系图。

[0043] 图 13 是表示实施例 1 和实施例 1a ~ 1g 的 SBS 阈值和 MFD 之间的关系图。

[0044] 图 14 是表示实施例 1 和实施例 1a ~ 1t 的 SBS 阈值和 MFD 之间的关系图。

[0045] 图 15 是表示实施例 2a ~ 2f 的 SBS 阈值和 MFD 之间的关系图。

[0046] 图 16 是表示实施例 2g ~ 2m 的 SBS 阈值和 MFD 之间的关系图。

[0047] 图 17 是表示实施例 3 的光纤的折射率分布图。

[0048] 图 18 是表示实施例 5 的光纤母材的折射率分布图。

[0049] 图 19 是表示实施例 5 的 SBS 阈值和 MFD 之间的关系图。

[0050] 图 20 是表示实施例 6 的光纤母材的折射率分布图。

[0051] 图 21 是表示实施例 6 的 SBS 阈值和 MFD 之间的关系图。

[0052] 图 22 是表示实施例 7 的光纤母材的折射率分布图。

[0053] 符号说明

[0054] 1- 波长 1.32 μm 的光源；2- 波长 1.55 μm 的光源；3-EDPA；4- 反向散射光功率测量用的功率计；5-9:1 耦合器；6- 入射光功率测量用的功率计；7- 透射光功率测量用的功率计；8- 待测量光纤

具体实施方式

[0055] 本发明的光纤，具有折射率分布，所述折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围

所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触地设置的、并具有大致一定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心的半径为 $R1 \mu m$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围所述第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置,位于半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围所述第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置,位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中,并具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 3$;

[0056] 或者具有这样的折射率分布,所述折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围所述三层构造的芯部的方式与该芯部接触地设置的、并具有大致一定的折射率的包层构成,其中,所述三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部以及第三芯部构成,所述第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心的半径为 $R1 \mu m$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;所述第二芯部,以包围所述第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置,位于半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中,并具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;所述第三芯部,以包围所述第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置,位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中,并具有最大相对折射率差 $\Delta 3$ 。

[0057] 所述 $\Delta 2$ 是 0.4% 以下,

[0058] 所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 的关系是 $\Delta 1 > \Delta 2$, 且 $\Delta 3 > \Delta 2$ 、 $\Delta 3 > \Delta 1$,

[0059] 将所述 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 设为 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$ 、 $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时, $(X+Y) > 0.4\%$, 所述 X 、 Y 满足以下关系: $0.25\% < X < 0.6\%$, 且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$, 且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$,

[0060] 所述 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 满足以下关系:

[0061] $(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$, 且 $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$,

[0062] 光缆截止波长小于 1260nm,

[0063] 波长 $1.31 \mu m$ 的模场直径是 $7.9 \mu m \sim 10.2 \mu m$,

[0064] 零色散波长是 1300nm \sim 1324nm,

[0065] 零色散斜率是 $0.093 ps / (nm^2 \cdot km)$ 以下,

[0066] 直径 20mm、波长 $1.31 \mu m$ 的均匀弯曲损失是 2dB/m 以下,

[0067] 波长 $1.55 \mu m$ 的 SBS 阈值具有通常的阶跃折射率型的折射率分布,且与具有同一模场直径的单模光纤相比为 +3dB 以上的 SBS 阈值。

[0068] 另外,本发明的光纤维典型的可以是通过对 VAD 法制造的母材进行拉丝而制造的,关于该母材的制造方法并不限定于 VAD 法,使用一般众所周知的 OVD 法、CVD 法也是没有任何问题的。

[0069] 图 1 是表示在光纤中产生 SBS 的曲线。如图 1 所示,若逐渐地增加入射光对光纤的功率,则以某个值为界反向散射光的功率急速增大,入射光的功率的大半变成反向散射光而返回到入射侧。因此,如图 1 所示,将反向散射光的斜率的变化率相对入射光功率的变化(反向散射光的二阶微分)为最大的入射光功率定义为产生 SBS 的阈值(SBS 阈值)。

[0070] 图 2 是表示 SBS 阈值的测量系统的构成图,在图 2 中,符号 1 是波长为 $1.32 \mu m$ 的光源,2 是波长为 $1.55 \mu m$ 的光源,3 是 EDPA,4 是反向散射光功率测量用的功率计,5 是 9 : 1 耦合器,6 是入射光功率测量用的功率计,7 是透射光功率测量用的功率计,8 是待测

量光纤。该测量系统中,经由 9 : 1 耦合器 5 连接三台功率计 4、6、7,测量待测量光纤 8 的入射光、反向散射光以及透射光的功率。并且,将反向散射光的相对入射光的二阶微分为最大的入射光功率作为 SBS 阈值。

[0071] 在专利文献 2、3 中也使用了同样的测量系统和定义来评价 SBS 阈值。并且,该 SBS 阈值的定义在下述文献中作为定义 4 被研究。

[0072] 清水“单一モード光ファイバにおける SBS 閾値に関する考察”電子情報通信学会 2005 年総合大会 B-10-66

[0073] SBS 阈值具有模场直径(以下称为 MFD)的依赖性。如图 4 所示,计算具有通常的阶跃折射率型的折射率分布、满足 G652 规格的单模光纤(以下称为 SMF)中的 SBS 阈值的 MFD 依赖性,将绘图的结果表示在图 3 中。如图 3 所示,在 G652 规格即波长 $1.31\ \mu\text{m}$ 的 MFD 是在 $7.9\sim 10.2\ \mu\text{m}$ 的范围内,SMF 的 SBS 阈值在 $7.4\text{dBm}\sim 9.7\text{dBm}$ 的范围内变化。因此,比较 SBS 阈值时,有必要对具有相同的 MFD 的光纤进行对比。

[0074] 本发明的光纤具有 G652 规格所记载的光学特性,即、光缆截止波长为小于 1260nm ,波长 $1.31\ \mu\text{m}$ 的 MFD 为 $7.9\ \mu\text{m}\sim 10.2\ \mu\text{m}$,零色散波长为 $1300\text{nm}\sim 1324\text{nm}$,零色散斜率为 $0.093\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ 以下,弯曲直径 20mm 、波长 $1.31\ \mu\text{m}$ 的均匀弯曲损失为 $2\text{dB}/\text{m}$ 以下,并且与具有相同的 MFD 的 SMF 相比,具有 2 倍(+3dB) 以上的 SBS 阈值。

[0075] 图 5 是表示本发明的光纤的折射率分布的第一个例子的图。该折射率分布由三层构造的芯部、以及以包围上述三层构造的芯部的方式与该芯部接触地设置的、且具有大致一定的折射率的包层构成,其中,上述三层构造的芯部由以下三个芯部构成:第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心的半径为 $R1\ \mu\text{m}$ 的区域中,具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;第二芯部,以包围该第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置,位于半径 $R1\ \mu\text{m}\sim R2\ \mu\text{m}$ 的区域中,具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;以及第三芯部,以包围该第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置,位于半径 $R2\ \mu\text{m}\sim R3\ \mu\text{m}$ 的区域中,具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 3$,并且, $\Delta 1 > \Delta 2$, $\Delta 3 > \Delta 2$ 。

[0076] 另外,如图 6 所示,本发明的光纤的折射率分布,相对折射率差也可不取一定的值。图 6 是表示本发明的光纤的折射率分布的第二个例子的图。该折射率分布也可由三层构造的芯部、和以包围上述三层构造的芯部的方式与该芯部接触地设置的、且具有大致一定的折射率的包层构成。其中,上述三层构造的芯部由以下三个芯部构成:第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心的半径为 $R1\ \mu\text{m}$ 的区域中,具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;第二芯部,以包围该第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置,位于半径 $R1\ \mu\text{m}\sim R2\ \mu\text{m}$ 的区域中,具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;以及第三芯部,以包围该第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置,位于在半径 $R2\ \mu\text{m}\sim R3\ \mu\text{m}$ 的区域中,具有最大相对折射率差 $\Delta 3$,而且此处, $\Delta 1 > \Delta 2$, $\Delta 3 > \Delta 2$ 。

[0077] 在具有上述三层构造的芯部和包围其的一层包层构造的折射率分布的光纤中,具有前面所述的光学特性、即与 G652 兼容的特性的同时,相比具有与本发明的光纤相同的 MFD 的 SMF,还可以得到提高 2 倍(+3dB) 以上的 SBS 阈值的光纤,所以重复进行细致的研究的结果,发现了 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 以及 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 的关系是有限制的。

[0078] 图 7 是表示在假设 $\Delta 1 - \Delta 2 = X$, $\Delta 3 - \Delta 2 = Y$ 时,SBS 对于 SMF 的抑制效果: SBS_{eff} 的关系的图。这里, SBS_{eff} 用下式定义。

[0079] SBS_{eff} = 本发明的光纤的 SBS 阈值 - 具有和本发明的光纤相同的 MFD 的 SMF 的 SBS 阈值

[0080] 如图 7 所示, 当 $X+Y$ 大于 0.4% 时, SBS_{eff} 能被提高 +3dB 以上, 并能够使 SBS 阈值提高。但是, 仅有上述条件还会发生不能得到具有和 G652 兼容的光学特性的光纤的情况。

[0081] 即、为了得到零色散波长为 1300nm ~ 1324nm 的光纤, 优选上述 X 、 Y 是 $X < 0.6\%$ 、并且 $0.1\% \leq Y \leq 0.6\%$, 且 $(2 \times X - 0.7)\% < Y < (X/2 + 0.4)\%$ 。满足这样条件的 X 、 Y 的关系如图 8 所示。

[0082] 满足上述条件的同时, 为了使波长 1.31 μm 的 MFD 为 G652 规格的下限即 7.9 μm 以上, 优选 $\Delta 2$ 为 0.4% 以下。并且, 为了使波长 1.31 μm 的 MFD 为 7.9 μm ~ 10.2 μm , 由 $R2/R1$ 所表示的第三芯部的半径方向的位置有必要根据 $\Delta 2$ 和 $\Delta 3$ 之和即 $\Delta 2 + \Delta 3$ 进行适当地配置。

[0083] 为了得到满足波长 1.31 μm 的 MFD 为 7.9 μm ~ 10.2 μm 的光纤, 优选 $(\Delta 2 + \Delta 3)$ 和 $R2/R1$ 满足以下关系, 即、

[0084] $(\Delta 2 + \Delta 3) + 1.0 \leq R2/R1 \leq 7 \times (\Delta 2 + \Delta 3) - 1.45$, 且, $\Delta 2 + \Delta 3 \leq 1.15$ 。

[0085] 满足上述条件的 $(\Delta 2 + \Delta 3)$ 和 $R2/R1$ 的关系如图 9 所示。

[0086] 从光纤制造方面的观点来看, 优选 $\Delta 3 \geq \Delta 1$ 。

[0087] 图 10 是表示 $\Delta 3 - \Delta 1$ 和 SBS_{eff} 的关系的图。如图 10 所示, 在 $\Delta 3 - \Delta 1$ 为负值时, 相对折射率差的一点点的变动就会导致 SBS_{eff} 大的变化。另一方面, 在 $\Delta 3 - \Delta 1$ 为正值时, SBS_{eff} 的变化相对于相对折射率差的变化比例小。而且可知, 若将 SBS_{eff} 作为 $\Delta 3 - \Delta 1$ 的二次式近似时, 则该近似曲线是向上凸起的抛物线, 而且拐点为 $\Delta 3 - \Delta 1 > 0$, $\Delta 3 - \Delta 1$ 为正值时 SBS_{eff} 基于相对折射率差的变动的的影响小。

[0088] 在制造光纤的母材时, 根据掺杂物浓度的波动, 相对折射率差会相对目标有 $\pm 0.05\%$ 左右的变化。此时, SBS_{eff} 会有比目标低的可能性。 $\Delta 3 - \Delta 1$ 为正时, 由于由相对折射率差的变动所引起的 SBS_{eff} 的变化量小, 因此相对于掺杂物浓度的波动所引起的相对折射率差的变化, SBS_{eff} 的变化不大, 通常能够获得稳定的 SBS_{eff} 特性。

[0089] 另外, 若 $\Delta 1$ 是 0.5% 刻度, $\Delta 2$ 是 0.22% 刻度, $\Delta 3$ 是 0.025% 刻度, 则图 10 的折射率分布为 0.40 ~ 0.65%, $R2/R1$ 是 2.2, 如表 1 所示可知, 即使组合不同的 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$, 拐点同样也都是在 $\Delta 3 - \Delta 1 > 0$, $\Delta 3 - \Delta 1$ 为正值时, 通常能够得到稳定的 SBS 特性这一点 是明确的。

[0090] 而且, 优选 $\Delta 1 - \Delta 2$ 是 0.25% 以上。图 11 是表示 $\Delta 1 - \Delta 2$ 和 SBS_{eff} 的关系的图。如图 11 所示, $\Delta 1$ 比 $\Delta 2$ 大 0.25% 以上时, 与 $\Delta 1$ 和 $\Delta 2$ 的差为 0.25% 以下相比, 能够大幅增加 SBS_{eff} , 能够得到更大的 SBS 抑制效果。而且, $\Delta 1 - \Delta 2$ 为 0.25% 以上时, 制造光纤母材时产生的基于掺杂物浓度的波动所引起的相对折射率差的影响被缓和, 即使 $\Delta 1 - \Delta 2$ 变化 SBS_{eff} 也不会发生大的变化, 能够防止成品率的下降。

[0091] 此外, 若 $\Delta 1$ 是 0.03% 刻度, 则图 11 的折射率分布为 0.44% ~ 0.56%, $\Delta 2$ 是 0.24%, $\Delta 3$ 是 0.55%, $R2/R1$ 为 2.2。但是, 如图 12 所示, 组合不同的 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$, 即作为 $\Delta 1$ 是 0.44% ~ 0.56%, $\Delta 2$ 是 0.18% ~ 0.26%, $\Delta 3$ 是 0.45% ~ 0.65%, $R2/R1$ 是 1.8 ~ 2.6 的范围的折射率分布中也能够得到同样的倾向, 在 $\Delta 1 - \Delta 2$ 为 0.25% 以上的折射率分布中, 能够得到更大的 SBS 抑制效果, 而且, 相对于 $\Delta 1 - \Delta 2$ 的变化的 SBS_{eff}

的依赖性变小。

[0092] 表 1

[0093]

$\Delta 1$	$\Delta 2$	R2/R1	拐点 ($\Delta 3 - \Delta 1$)
%	%	-	%
0.5	0.22	2.2	0.10
0.5	0.18	2.2	0.18
0.5	0.26	2.2	0.02
0.44	0.22	2.2	0.02
0.56	0.22	2.2	0.12
0.5	0.22	1.6	0.05
0.5	0.22	2	0.10
0.5	0.22	2.4	0.01

[0094] 并且,通过如上述那样配置第三芯部,得到 SBS 阈值比现有技术的光纤 +3dB 以上的 SBS 阈值,并且能够得到和 G652 兼容的特性。

[0095] 实施例

[0096] 实施例 1,比较例 1

[0097] 表 2 表示具有图 5 的折射率分布的、实施例 1 的光纤的构造参数以及光学特性。而且,一并表示比较例 1 的光纤的构造参数以及光学特性。比较例 1 的光纤是具有如图 4 所示的阶跃折射率型的折射率分布的 SMF。

[0098] 表 2

[0099]

	unit	实施例 1	比较例 1
R1	μm	1.35	4.39
R2	μm	2.97	-
R3	μm	4.32	-
R2/R1	-	2.2	-
$\Delta 1$	%	0.50	0.35
$\Delta 2$	%	0.20	-
$\Delta 3$	%	0.50	-
$\Delta 1 - \Delta 2$	%	0.30	-
$\Delta 3 - \Delta 2$	%	0.30	-
$\Delta 3 + \Delta 2$	%	0.70	-
光纤截止波长	μm	1.32	1.28
光缆截止波长	μm	1.24	1.23
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	9.2	9.2
零色散波长	nm	1312.1	1309.2
零色散斜率	$\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$	0.0888	0.0882
$\phi 20\text{mm}$ 弯曲损失 @1.31 μm	dB/m	0.08	0.11
SBS 阈值 @1.55 μm 20km	dBm	12.2	8.7

[0100] 如表 2 所示,具有本发明所涉及的实施例 1 的构造参数的光纤,在 20km 光纤中的 SBS 阈值是 12.2dBm,与具有相同 MFD 的比较例 1 的光纤相比,得到 +3.5dB 的抑制效果。而且,实施例 1 的光纤具有和比较例 1 的 SMF 相同的光学特性,满足 G652 规格。

[0101] 实施例 1a ~ 1g

[0102] 表 3 表示实施例 1 的构造参数分布在上述 X、Y 和 R2/R1 的范围内的结果。

[0103] 表 3

[0104]

	unit	实施例1a	实施例1b	实施例1c	实施例1d	实施例1e	实施例1f	实施例1g
R1	μm	1.53	1.50	1.35	1.26	1.16	1.03	1.03
R2	μm	2.91	3.29	2.98	3.15	2.91	3.21	3.20
R3	μm	4.44	4.79	4.34	4.41	4.08	4.24	4.24
R2/R1	—	1.9	2.2	2.2	2.5	2.5	3.1	3.1
$\Delta 1$	%	0.50	0.50	0.40	0.60	0.30	0.50	0.60
$\Delta 2$	%	0.05	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
$\Delta 3$	%	0.50	0.40	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.45	0.30	0.20	0.40	0.10	0.30	0.40
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.45	0.20	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.55	0.60	0.70	0.70	0.80	0.80	0.80
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD (Petermann II) @1.31 μm	μm	9.47	9.56	9.48	9.11	9.22	9.45	9.27
零色散波长	nm	1321.6	1314.3	1309	1321.1	1323.7	1314.7	1317.3
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.09	0.0907	0.0892	0.0899	0.0895	0.0895	0.0893
ϕ 20mm弯曲损失 @1.31 μm	dB/m	0.39	0.19	0.24	0.07	0.30	0.30	0.16
SBS阈值 @1.55 μm 20km	dBm	13.1	13.1	12.5	13.3	12.4	13.2	12.9

[0105] 具有表3所示的实施例1a~1g的构造参数的光纤,如图13所示,在20km的光纤中的SBS阈值是12.4~13.3dBm,与具有相同的MFD的SMF相比,得到+3.7~+4.6dB的抑

制效果。而且,实施例 1a ~ 1g 的光纤的光学特性都满足 G652 规格。

[0106] 实施例 1h ~ 1t

[0107] 表 4、表 5 表示实施例 1 的构造参数分布在上述的 X、Y、R2/R1 的范围内的结果。具有如表 3 所示的实施例 1a ~ 1g 以及表 4、表 5 所示的实施例 1h ~ 1t 的构造参数的光纤,如图 14 所示,在 20km 的光纤中 SBS 阈值为 10.9 ~ 13.8dBm,与具有相同的 MFD 的 SMF 相比,得到 +3.1 ~ +4.5dB 的抑制效果。而且,实施例 1h ~ 1t 的光纤的光学特性都满足 G652 规格。

[0108] 表 4

[0109]

	unit	实施例1h	实施例1i	实施例1j	实施例1k	实施例1l	实施例1m	实施例1n
R1	μm	1.81	1.69	3.14	1.33	2.80	1.12	1.74
R2	μm	2.90	3.21	5.81	3.33	5.33	3.48	6.80
R3	μm	4.71	4.90	8.95	4.67	8.13	4.60	8.54
R2/R1	-	1.6	1.9	1.9	2.5	1.9	3.1	3.9
Δ1	%	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50	0.60
Δ2	%	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.20
Δ3	%	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.60
Δ1-Δ2	%	0.40	0.40	0.30	0.40	0.20	0.30	0.40
Δ3-Δ2	%	0.30	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30	0.40
Δ3+Δ2	%	0.50	0.50	0.60	0.60	0.70	0.70	0.80
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	9.23	9.7	9.2	10.07	9.2	9.93	9.8
零色散波长	nm	1321.8	1322.8	1316.5	1317.9	1310	1307.6	1312
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.092	0.093	0.092	0.093	0.091	0.092	0.092
φ 20mm弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.08	0.48	0.05	1.91	0.08	0.72	0.70
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	12.1	13.4	12.1	13.8	11.8	13.1	13.1

[0110] 表 5

[0111]

	unit	实施例1o	实施例1p	实施例1q	实施例1r	实施例1s	实施例1t	实施例1u	实施例1v
R1	μm	1.47	1.65	1.11	2.57	1.04	1.16	3.71	1.15
R2	μm	6.85	6.28	2.78	4.86	2.60	2.90	5.94	7.25
R3	μm	8.32	7.93	3.89	7.44	3.63	4.06	9.65	8.40
R2/R1	-	4.7	3.8	2.5	1.9	2.5	2.5	1.6	6.3
$\Delta 1$	%	0.60	0.70	0.40	0.40	0.60	0.60	0.40	0.30
$\Delta 2$	%	0.20	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	0.04	0.20
$\Delta 3$	%	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.60	0.40	0.90
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.40	0.50	0.10	0.20	0.30	0.40	0.36	0.10
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.50	0.50	0.30	0.40	0.40	0.40	0.36	0.70
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.90	0.90	0.90	0.80	1.00	0.80	0.44	1.10
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	9.8	9.2	8.6	8.6	8.0	8.8	10.2	9.9
零色散波长	nm	1314.4	1322	1314.9	1322.3	1323.8	1321.2	1308.3	1324
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.093	0.091	0.089	0.089	0.087	0.090	0.093	0.093
ϕ 20mm 弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.92	0.17	0.01	0.02	0.00	0.03	1.20	1.80
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	13.2	13.0	11.4	11.3	10.9	12.2	12.8	13.2

[0112] 实施例 2a ~ 2f

[0113] 表 6 表示在具有图 6 的折射率分布的光纤中, 折射率分布的构造参数分布在上述 X、Y 以及 R2/R1 的范围内时的光学特性。

[0114] 表 6

[0115]

	unit	实施例2a	实施例2b	实施例2c	实施例2d	实施例2e	实施例2f
R1	μm	1.51	1.39	1.43	1.31	1.11	1.33
R2	μm	3.03	3.05	2.87	3.13	3.10	3.45
R3	μm	4.60	4.49	4.36	4.49	4.25	4.83
R2/R1	—	2.00	2.20	2.00	2.40	2.80	2.60
$\Delta 1$	%	0.50	0.50	0.44	0.56	0.44	0.40
$\Delta 2$	%	0.24	0.22	0.18	0.18	0.26	0.30
$\Delta 3$	%	0.50	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.26	0.28	0.26	0.38	0.18	0.10
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.26	0.38	0.52	0.52	0.44	0.40
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.74	0.82	0.88	0.88	0.96	1.00
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	9.2	9.36	9.44	9.39	9.37	9.1
零色散波长	nm	1317.9	1314.9	1314.2	1322.6	1309.5	1308.1
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.0906	0.0905	0.0902	0.0914	0.0897	0.0898
ϕ 20mm弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.39	0.69	1.42	1.35	0.92	0.15
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	12.0	12.8	13.0	13.7	12.3	12.0

[0116] 具有如表 6 所示实施例 2a ~ 2f 的构造参数的光纤,如图 15 所示,在 20km 的光纤中 SBS 阈值为 12.0 ~ 13.7dBm,与具有相同的 MFD 的 SMF 相比,得到 +3.3 ~ +5.0dB 的抑

制效果。而且,实施例 2a ~ 2f 的光纤的光学特性都满足 G652 规格。

[0117] 并且,如图 6 所示通过使第三芯部的折射率变化,能够减少芯部中的 GeO_2 掺杂量,能够使光纤中的损失减少。

[0118] 实施例 2g ~ 2m

[0119] 表 7 表示在具有图 6 的折射率分布的光纤中,折射率分布的构造参数分布在前面记述的 X、Y 以及 R2/R1 的范围时的光学特性。具有如表 6 所示的实施例 2a ~ 2f 以及表 7 所示的实施例 2g ~ 2m 的构造参数的光纤,如图 16 所示,在 20km 的光纤中 SBS 阈值为 10.8 ~ 14.3dBm,与具有相同的 MFD 的 SMF 相比,得到 +3.2 ~ +4.7dB 的抑制效果。而且,实施例 2g ~ 2m 的光纤的光学特性都满足 G652 规格。

[0120] 表 7

[0121]

	unit	实施例2g	实施例2h	实施例2i	实施例2j	实施例2k	实施例2l	实施例2m
R1	μm	1.56	1.51	1.68	1.58	1.81	1.35	1.41
R2	μm	3.13	3.33	3.69	4.10	3.62	2.97	2.82
R3	μm	4.76	4.91	5.43	5.74	5.51	4.37	4.28
R2/R1	-	2.0	2.2	2.2	2.6	2.0	2.2	2.0
$\Delta 1$	%	0.56	0.56	0.50	0.50	0.44	0.50	0.44
$\Delta 2$	%	0.24	0.22	0.15	0.18	0.18	0.35	0.20
$\Delta 3$	%	0.70	0.70	0.70	0.55	0.55	0.80	0.70
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.32	0.34	0.35	0.32	0.26	0.15	0.24
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.46	0.48	0.55	0.37	0.37	0.45	0.50
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.94	0.92	0.85	0.73	0.73	1.15	0.90
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	8.54	8.83	9.64	10.03	9.77	8.1	9.2
零色散波长	nm	1322.4	1321.7	1317.1	1315.6	1310.9	1317	1314
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.088	0.090	0.093	0.093	0.092	0.087	0.090
$\phi 20\text{mm}$ 弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.01	0.05	0.40	1.36	0.64	0.00	0.18
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	11.7	12.6	13.7	14.3	13.1	10.8	12.6

[0122] 实施例 3、实施例 4

[0123] 图 17 表示本发明所涉及的实施例 3 的光纤的折射率分布。如图 17 所示, 实施例 3 的折射率分布, 由三层构造的芯部、以及以包围上述三层构造的芯部的方式与该芯部接触地设置并具有大致一定的折射率的包层构成。其中, 上述三层构造的芯部由设置于芯部的中央部的、位于距离芯部中心的半径为 $R1 \mu\text{m}$ 的区域中的第一芯部、以包围该第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置的、位于半径 $R1 \mu\text{m} \sim R2 \mu\text{m}$ 的区域中的第二芯部、以及以包

围该第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置的、位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中的第三芯部构成。但是,与实施例 1、实施例 2 不同,该芯部的折射率分布是缓慢地变化,其界限不明显。因此,使用相对折射率差的直径方向的变化率 ($d\Delta/dr$) 确定各层的直径。而且,第一芯部的相对折射率差 $\Delta 1$ 如下式 (1) 所示,用在距离芯部中心半径 $R1$ 的范围内等价地用均一的 Δ 来定义,第二芯部的折射率差 $\Delta 2$ 在半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中用成为最小值的相对折射率差来定义,第三芯部的相对折射率差 $\Delta 3$ 在半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的范围中用成为最大值的相对折射率差来定义。

[0124] 式 1

$$[0125] \quad \Delta 1 = \frac{\int_0^{R1} \Delta(r) r dr}{\int_0^{R1} r dr} \quad \dots(1)$$

[0126] 表 8 表示这样定义的实施例 3 的光纤的构造参数和其光学特性。而且,在表 8 中一起表示与实施例 3 具有相同折射率分布的实施例 4 的光纤的构造参数以及其光学特性。

[0127] 表 8

[0128]

	unit	实施例 3	实施例 4
R1	μm	1.36	1.73
R2	μm	3.11	3.16
R3	μm	4.58	4.67
R2/R1	-	2.29	1.83
$\Delta 1$	%	0.50	0.53
$\Delta 2$	%	0.18	0.18
$\Delta 3$	%	0.48	0.53
$\Delta 1 - \Delta 2$	%	0.32	0.35
$\Delta 3 - \Delta 2$	%	0.30	0.35
$\Delta 3 + \Delta 2$	%	0.66	0.71
光纤截止波长	μm	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.23
MFD (Petermann II) @1.31 μm	μm	9.55	9.25
零色散波长	nm	1316.4	1320.4
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.089	0.089
ϕ 20mm 弯曲损失 @1.31 μm	dB/m	0.23	0.07
SBS 阈值 @1.55 μm 20km	dBm	12.7	12.2
损失 @1.55 μm	dB/km	0.191	0.196

[0129] 如表 8 所示,实施例 3、实施例 4 的光纤,在 20km 的光纤中 SBS 阈值为 12.2 ~ 12.7dBm,与具有相同的 MFD 的 SMF 相比,得到 +3.5 ~ +4.0dB 的抑制效果。而且,实施例 3、实施例 4 的光纤,都满足 G652 规格。

[0130] 实施例 5

[0131] 图 18 是实施例 5 的光纤母材的折射率分布。如图 18 所示,本实施例的光纤母材由三层构造的芯部构成,具有和实施例 1、实施例 2 相同的三层构造的芯部。其中该三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部和第三芯部构成,其中,第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心半径为 $R1 \mu m$ 的区域中,且具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 1$;第二芯部,以包围该第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置,位于半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中,并

具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 2$;以及第三芯部,以包围该第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置,位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中,具有大致一定的正的相对折射率差 $\Delta 3$ 。

[0132] 表 9、表 10 表示将实施例 5 的光纤母材的构造参数分布在上述的 X、Y 以及 R2/R1 的范围内,对该母材进行拉丝并进行光纤化时的光学特性。对实施例 5 的光纤母材进行拉丝得到的光纤如图 19 所示,在 20km 的光纤中 SBS 阈值是 10.9 ~ 13.8dBm,与具有相同的 MFD 的 SMF 相比,得到 +3.1 ~ +4.5dB 的抑制效果,并满足 G652 规格。

[0133] 表 9

[0134]

	unit	实施例5a	实施例5b	实施例5c	实施例5d	实施例5e	实施例5f	实施例5g
R1	μm	1.32	1.81	1.69	3.14	1.33	2.80	1.12
R2	μm	2.75	2.90	3.21	5.81	3.33	5.33	3.48
R3	μm	4.04	4.71	4.90	8.95	4.67	8.13	4.60
R2/R1	-	2.1	1.6	1.9	1.9	2.5	1.9	3.1
$\Delta 1$	%	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50
$\Delta 2$	%	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20
$\Delta 3$	%	0.60	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.30	0.40	0.40	0.30	0.40	0.20	0.30
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.40	0.30	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.80	0.50	0.50	0.60	0.60	0.70	0.70
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	8.89	9.23	9.7	9.2	10.07	9.2	9.93
零色散波长	nm	1318.5	1321.8	1322.8	1316.5	1317.9	1310	1307.6
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.090	0.092	0.093	0.092	0.093	0.091	0.092
ϕ 20mm弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.03	0.08	0.48	0.05	1.91	0.08	0.72
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	12.0	12.1	13.4	12.1	13.8	11.8	13.1

[0135] 表 10

[0136]

	unit	实施例5h	实施例5i	实施例5j	实施例5k	实施例5l	实施例5m	实施例5n	实施例5o
R1	μm	1.47	1.65	1.11	2.57	1.04	1.16	3.71	1.15
R2	μm	6.85	6.28	2.78	4.86	2.60	2.90	5.94	7.25
R3	μm	8.32	7.93	3.89	7.44	3.63	4.06	9.65	8.40
R2/R1	-	4.7	3.8	2.5	1.9	2.5	2.5	1.6	6.3
$\Delta 1$	%	0.60	0.70	0.40	0.40	0.60	0.60	0.40	0.30
$\Delta 2$	%	0.20	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	0.04	0.20
$\Delta 3$	%	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.60	0.40	0.90
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.40	0.50	0.10	0.20	0.30	0.40	0.36	0.10
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.50	0.50	0.30	0.40	0.40	0.40	0.36	0.70
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.90	0.90	0.90	0.80	1.00	0.80	0.44	1.10
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	9.8	9.2	8.6	8.6	8.0	8.8	10.2	9.9
零色散波长	nm	1314.4	1322	1314.9	1322.3	1323.8	1321.2	1308.3	1324
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.093	0.091	0.089	0.089	0.087	0.090	0.093	0.093
ϕ 20mm弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.92	0.17	0.01	0.02	0.00	0.03	1.20	1.80
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	13.2	13.0	11.4	11.3	10.9	12.2	12.8	13.2

[0137] 实施例 6

[0138] 图 20 是实施例 6 的光纤母材的折射率分布。如图 20 所示,本实施例的光纤母材由三层构造的芯部构成,具有和实施例 1、实施例 2 相同的三层构造的芯部。该三层构造的

芯部由第一芯部、第二芯部、第三芯部构成。其中,第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心半径为 $R1 \mu m$ 的区域中,且具有最大相对折射率差 $\Delta 1$;第二芯部,以包围该第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置,位于半径 $R1 \mu m \sim R2 \mu m$ 的区域中,具有最小相对折射率差 $\Delta 2$;以及第三芯部,以包围该第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置,位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中,具有最大相对折射率差 $\Delta 3$ 。

[0139] 表 11、表 12 中表示将实施例 6 的光纤母材的构造参数分布在上述的 X、Y 以及 $R2/R1$ 的范围内,对该母材进行拉丝并进行光纤化时的光学特性。对实施例 6 的光纤母材进行拉丝而得到的光纤如图 21 所示,在 20km 的光纤中 SBS 阈值是 $10.8 \sim 14.3 \text{ dBm}$,与具有相同的 MFD 的 SMF 相比得到 $+3.2 \sim +4.7 \text{ dB}$ 的抑制效果,并满足 G652 规格。

[0140] 表 11

[0141]

	unit	实施例6a	实施例6b	实施例6c	实施例6d	实施例6e	实施例6f
R1	μm	1.51	1.39	1.43	1.31	1.11	1.33
R2	μm	3.03	3.05	2.87	3.13	3.10	3.45
R3	μm	4.60	4.49	4.36	4.49	4.25	4.83
R2/R1	—	2.00	2.20	2.00	2.40	2.80	2.60
$\Delta 1$	%	0.50	0.50	0.44	0.56	0.44	0.40
$\Delta 2$	%	0.24	0.22	0.18	0.18	0.26	0.30
$\Delta 3$	%	0.50	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.26	0.28	0.26	0.38	0.18	0.10
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.26	0.38	0.52	0.52	0.44	0.40
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.74	0.82	0.88	0.88	0.96	1.00
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	9.2	9.36	9.44	9.39	9.37	9.1
零色散波长	nm	1317.9	1314.9	1314.2	1322.6	1309.5	1308.1
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.0906	0.0905	0.0902	0.0914	0.0897	0.0898
ϕ 20mm 弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.39	0.69	1.42	1.35	0.92	0.15
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	12.0	12.8	13.0	13.7	12.3	12.0

[0142] 表 12

[0143]

	unit	实施例6g	实施例6h	实施例6i	实施例6j	实施例6k	实施例6l	实施例6m
R1	μm	1.56	1.51	1.68	1.58	1.81	1.35	1.41
R2	μm	3.13	3.33	3.69	4.10	3.62	2.97	2.82
R3	μm	4.76	4.91	5.43	5.74	5.51	4.37	4.28
R2/R1	-	2.0	2.2	2.2	2.6	2.0	2.2	2.0
$\Delta 1$	%	0.56	0.56	0.50	0.50	0.44	0.50	0.44
$\Delta 2$	%	0.24	0.22	0.15	0.18	0.18	0.35	0.20
$\Delta 3$	%	0.70	0.70	0.70	0.55	0.55	0.80	0.70
$\Delta 1-\Delta 2$	%	0.32	0.34	0.35	0.32	0.26	0.15	0.24
$\Delta 3-\Delta 2$	%	0.46	0.48	0.55	0.37	0.37	0.45	0.50
$\Delta 3+\Delta 2$	%	0.94	0.92	0.85	0.73	0.73	1.15	0.90
光纤截止波长	μm	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
光缆截止波长	μm	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
MFD(Petermann II)@1.31 μm	μm	8.54	8.83	9.64	10.03	9.77	8.1	9.2
零色散波长	nm	1322.4	1321.7	1317.1	1315.6	1310.9	1317	1314
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.088	0.090	0.093	0.093	0.092	0.087	0.090
ϕ 20mm弯曲损失@1.31 μm	dB/m	0.01	0.05	0.40	1.36	0.64	0.00	0.18
SBS阈值@1.55 μm 20km	dBm	11.7	12.6	13.7	14.3	13.1	10.8	12.6

[0144] 实施例 7

[0145] 图 22 是实施例 7 的光纤母材的折射率分布。如图 22 所示,本实施例的光纤母材具有和实施例 1、实施例 2、实施例 5、实施例 6 相同的三层构造的芯部,该三层构造的芯部由第一芯部、第二芯部、第三芯部构成。第一芯部,设置于芯部的中央部,位于离芯部中心半径为 $R1 \mu\text{m}$ 的区域;第二芯部,以包围该第一芯部的方式与该第一芯部接触地设置、位于半径 $R1 \mu\text{m} \sim R2 \mu\text{m}$ 的区域中;第三芯部以包围该第二芯部的方式与该第二芯部接触地设置、

位于半径 $R2 \mu m \sim R3 \mu m$ 的区域中。但是与实施例 1、2、5、6 不同，折射率分布是缓慢地变化，其界限的定义与实施例 3、实施例 4 相同。

[0146] 表 13 表示实施例 7 的光纤母材的构造参数、和对该母材进行拉丝并进行光纤化时的光学特性。从实施例 7 的光纤母材中拉丝而得到的光纤，在 20km 的光纤中 SBS 阈值是 12.6dBm，与具有相同的 MFD 的 SMF 相比，得到 +3.8dB 的抑制效果，并满足 G652 规格。

[0147] 表 13

[0148]

	unit	实施例 7
R1	μm	1.41
R2	μm	3.03
R3	μm	4.60
R2/R1	-	2.1
$\Delta 1$	%	0.49
$\Delta 2$	%	0.13
$\Delta 3$	%	0.64
$\Delta 1 - \Delta 2$	%	0.36
$\Delta 3 - \Delta 2$	%	0.51
$\Delta 3 + \Delta 2$	%	0.76
光纤截止波长	μm	1.32
光缆截止波长	μm	1.24
MFD (Petermann II) @1.31 μm	μm	9.39
零色散波长	nm	1319.6
零色散斜率	ps/nm ² -km	0.090
Φ 20mm 弯曲损失 @1.31 μm	dB/m	0.21
SBS 阈值 @1.55um 20km	dBm	12.6

[0149] 产业上的应用可能性

[0150] 本发明，在具有分层芯型的折射率分布的光纤中，通过适当地设计各层的相对折射率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 的关系，并适当地配置第三芯部的位置，能够维持 G652 所记载的光学特性的同时，与具有相同的 MFD 的 SMF 相比能够使 SBS 阈值提高 +3dB 以上。

[0151] 并且，通过使第三芯部的相对折射率差大于第一芯部的相对折射率差，能够提高光纤母材制造性。

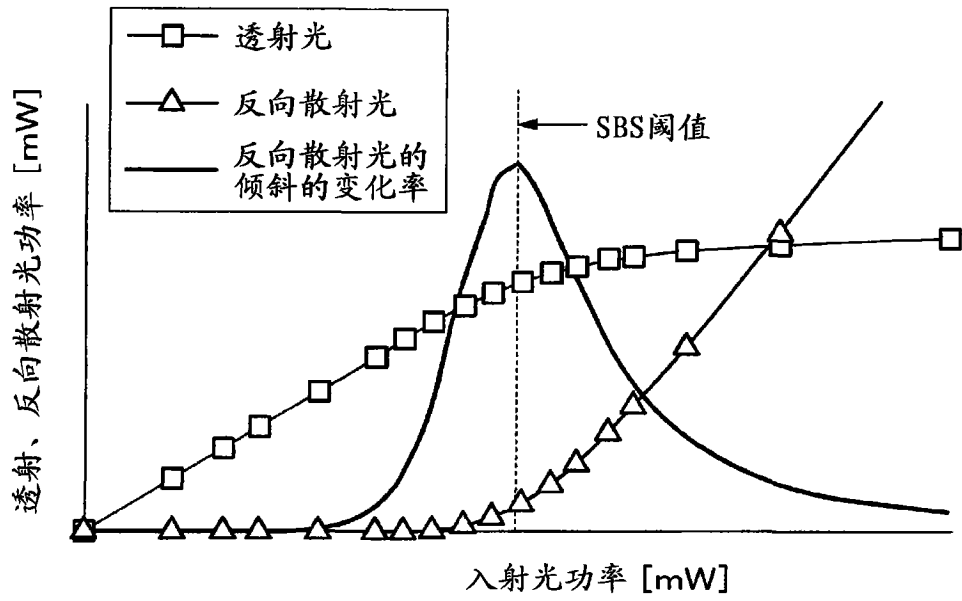


图 1

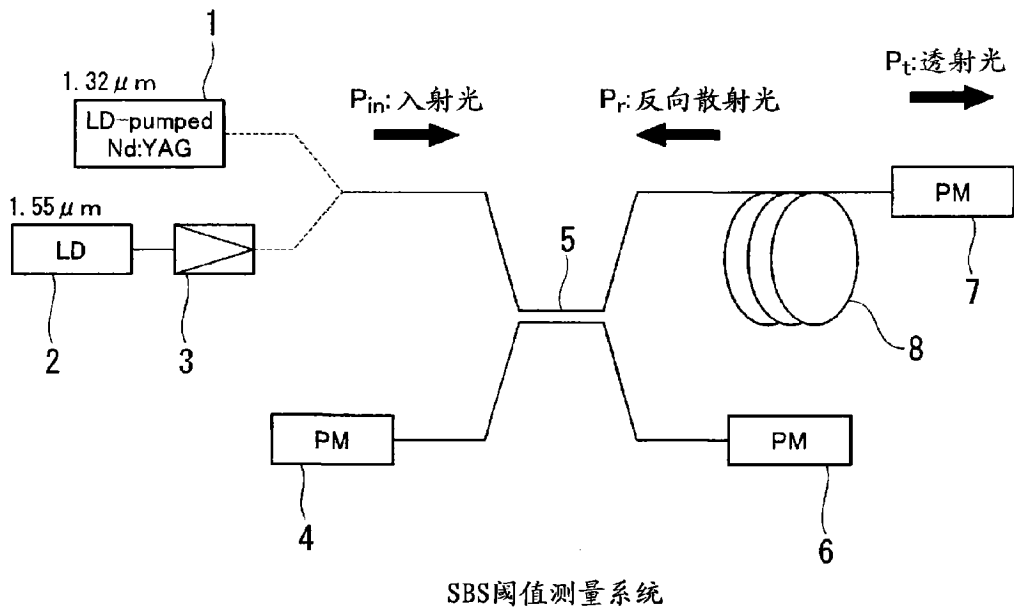


图 2

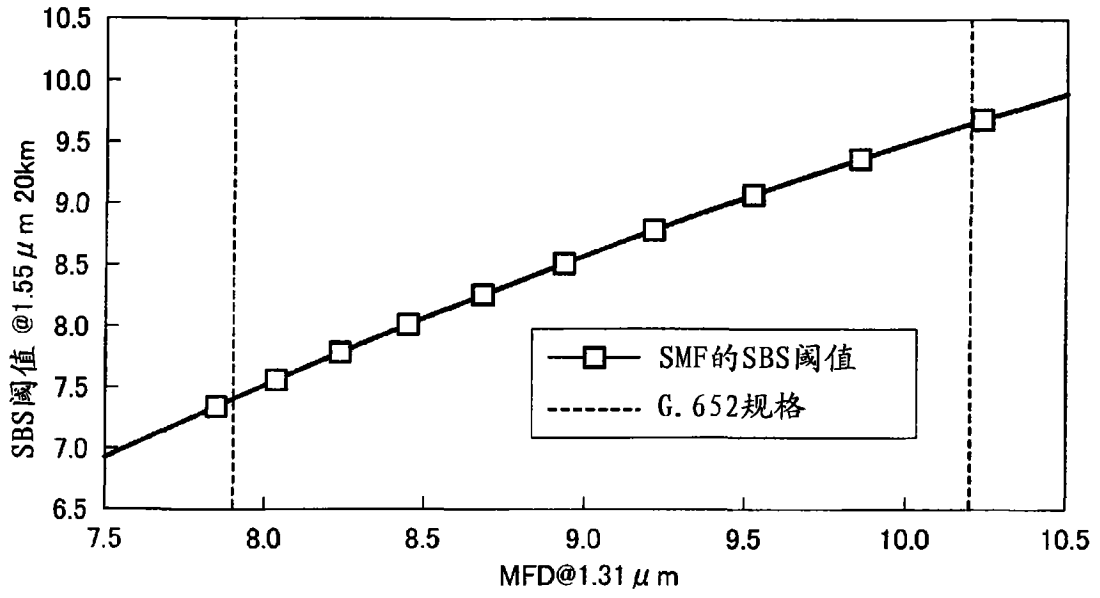


图 3

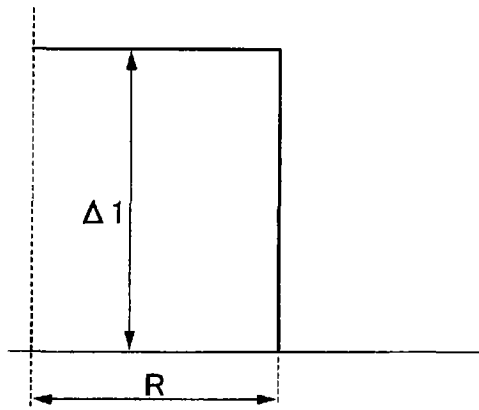


图 4

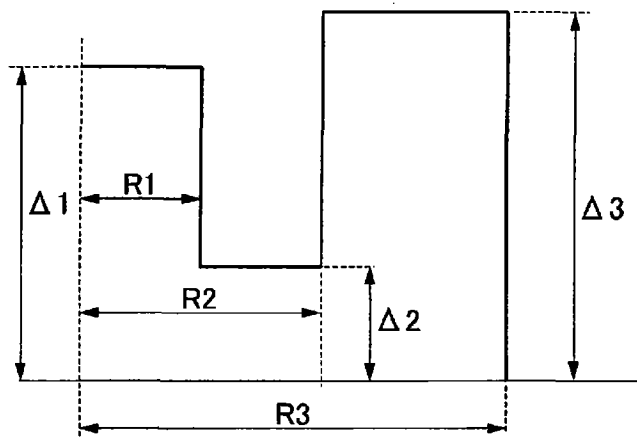


图 5

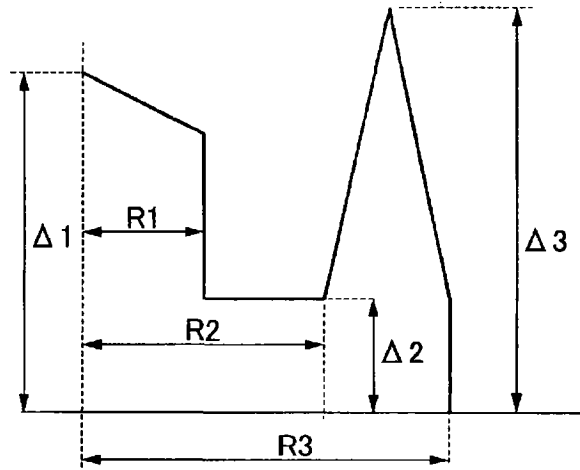


图 6

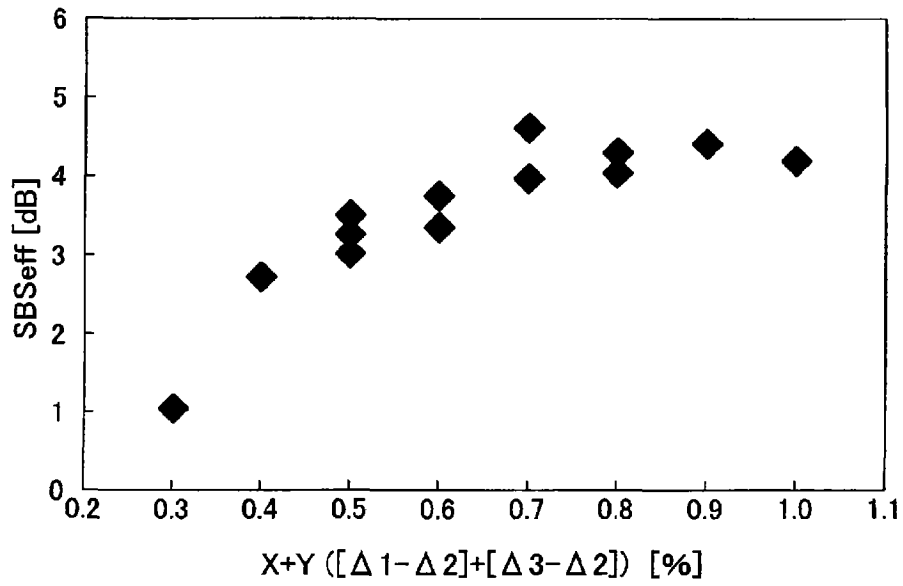


图 7

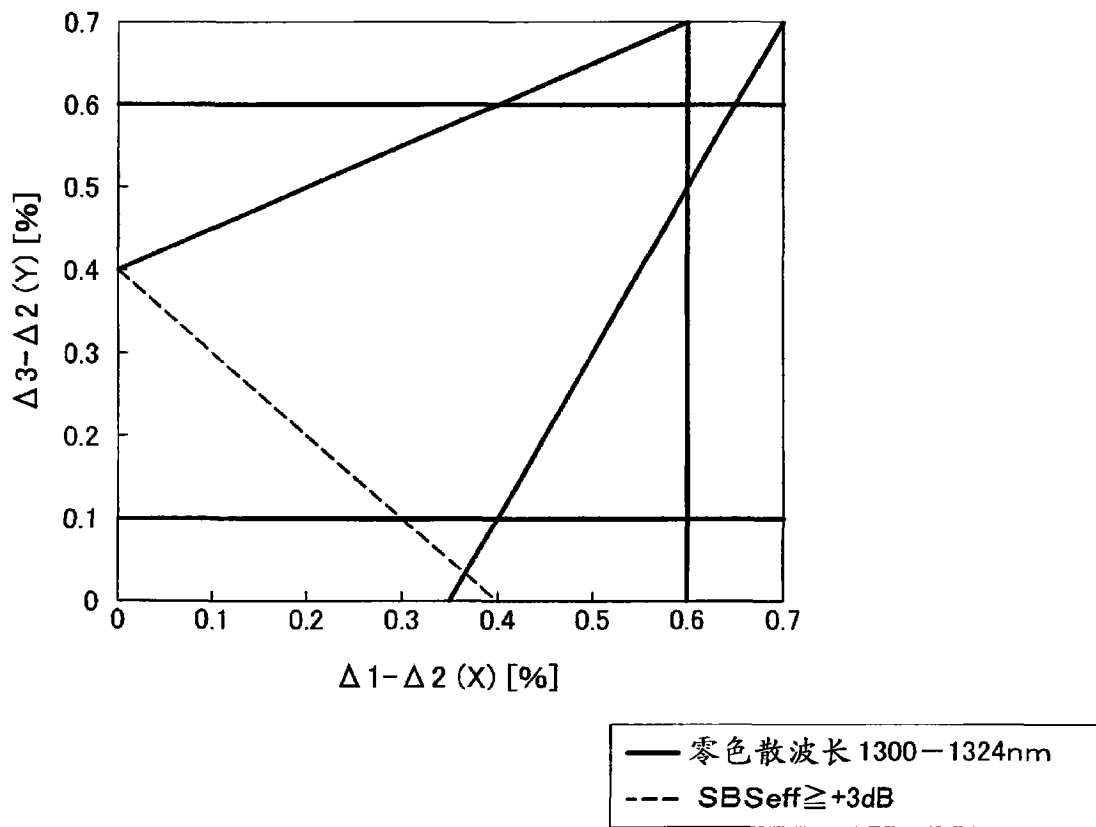
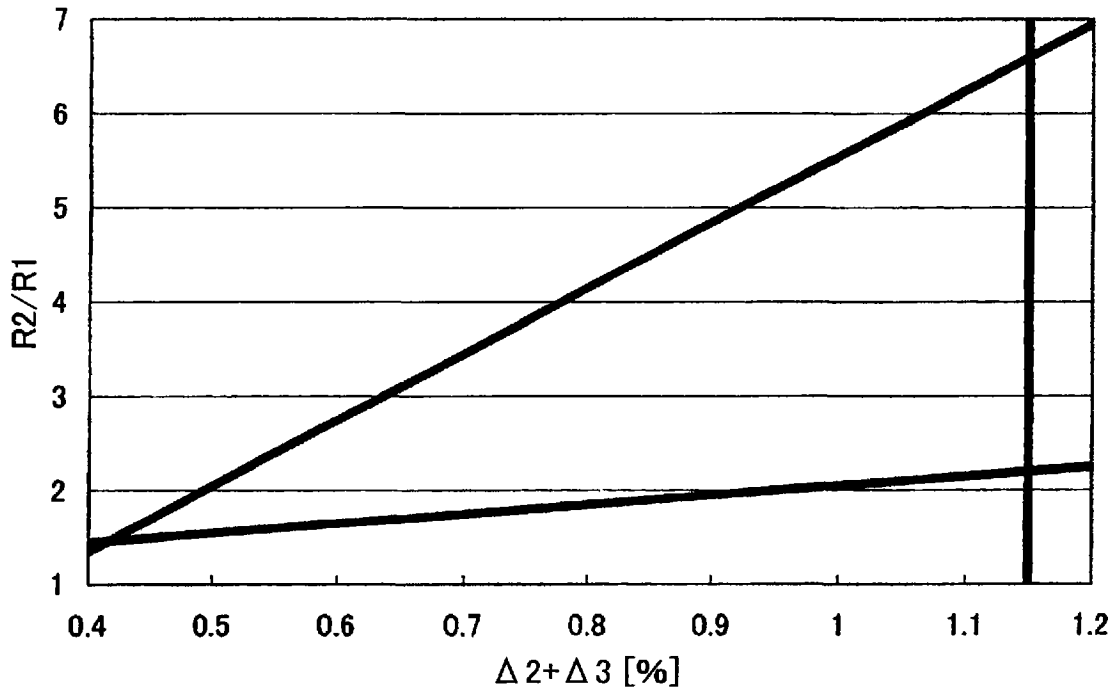


图 8



满足MFD=7.9 μm ~ 10.2 μm 的 $\Delta 2 + \Delta 3$ 和 $R2/R1$ 的关系

图 9

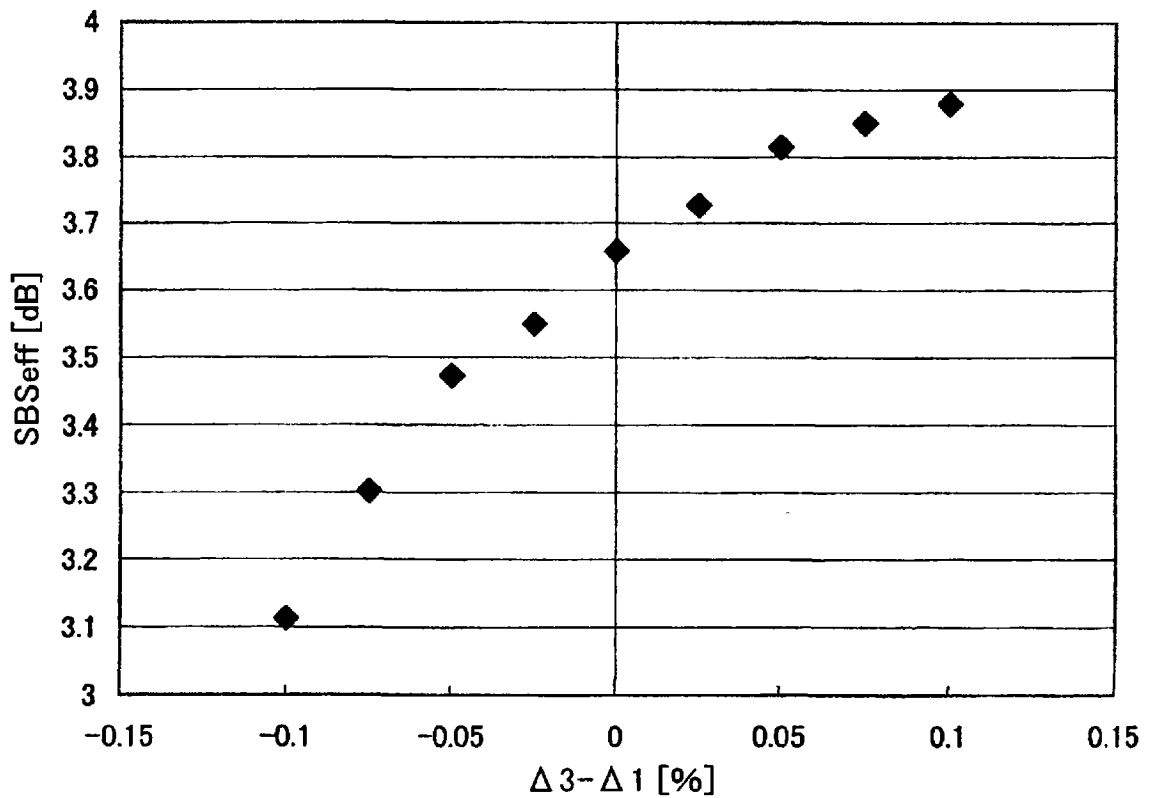


图 10

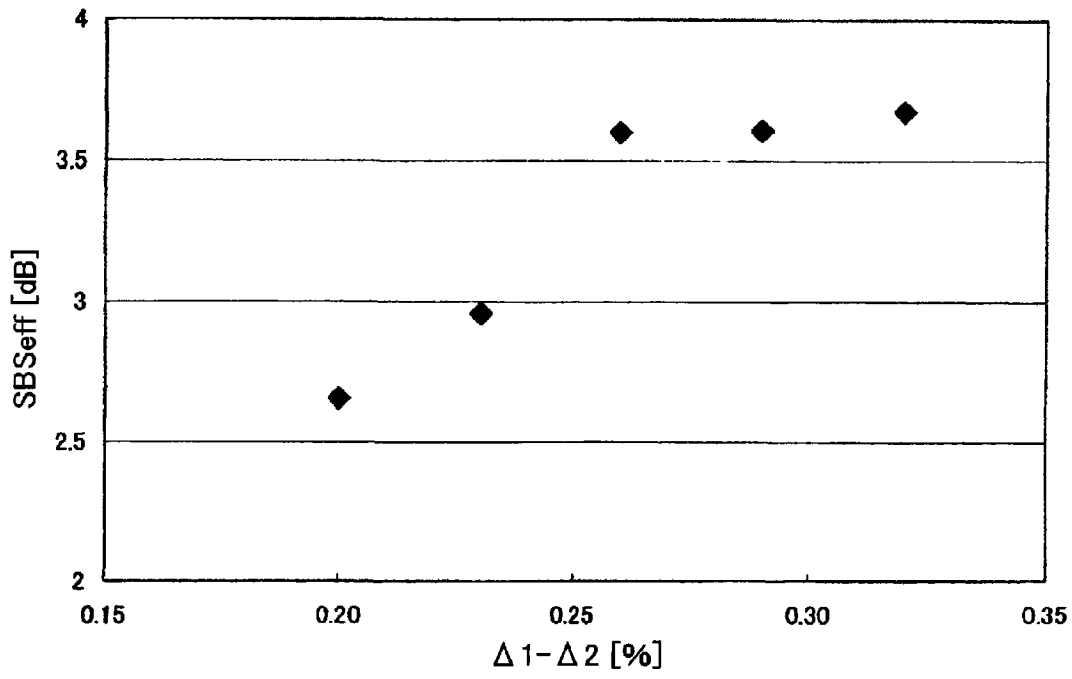


图 11

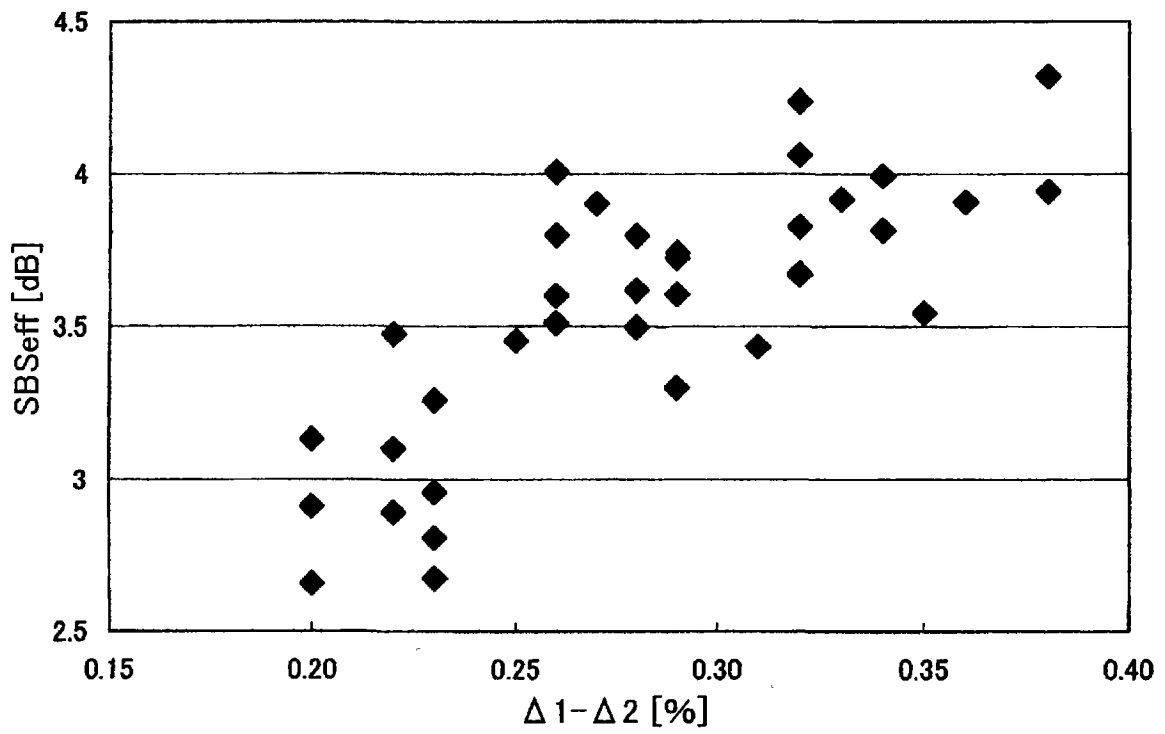


图 12

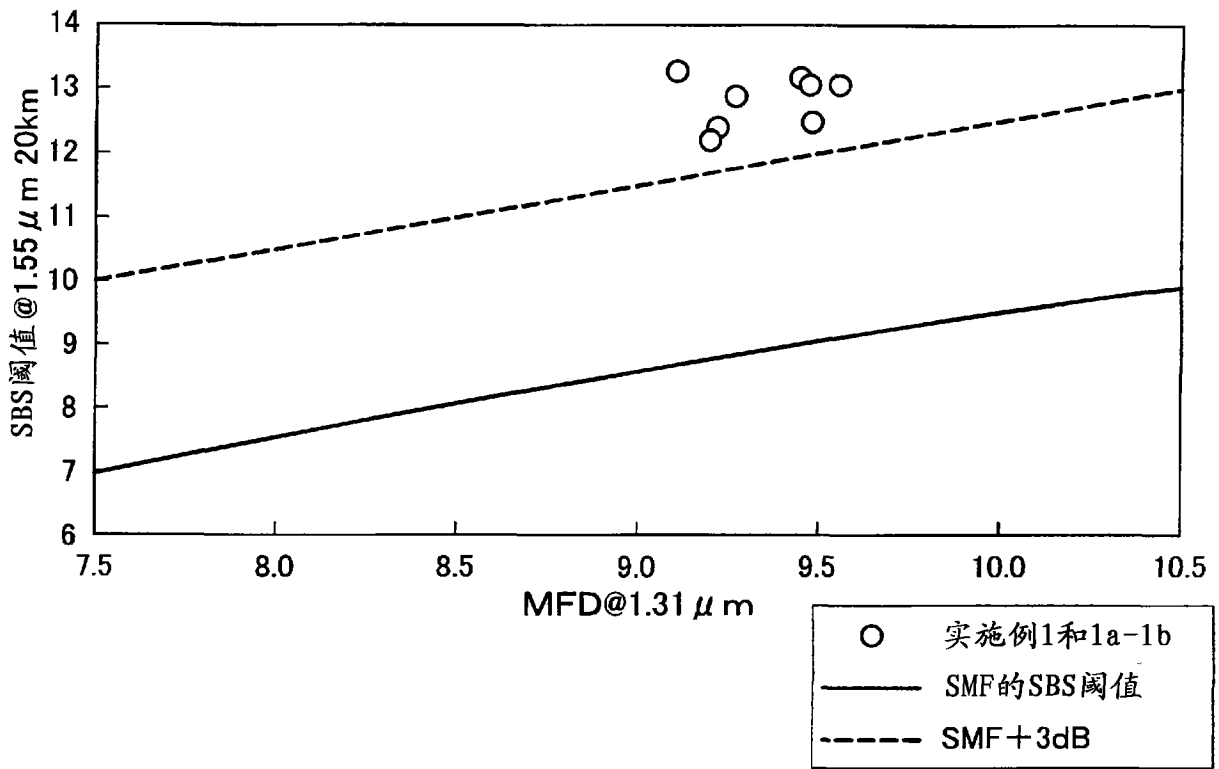


图 13

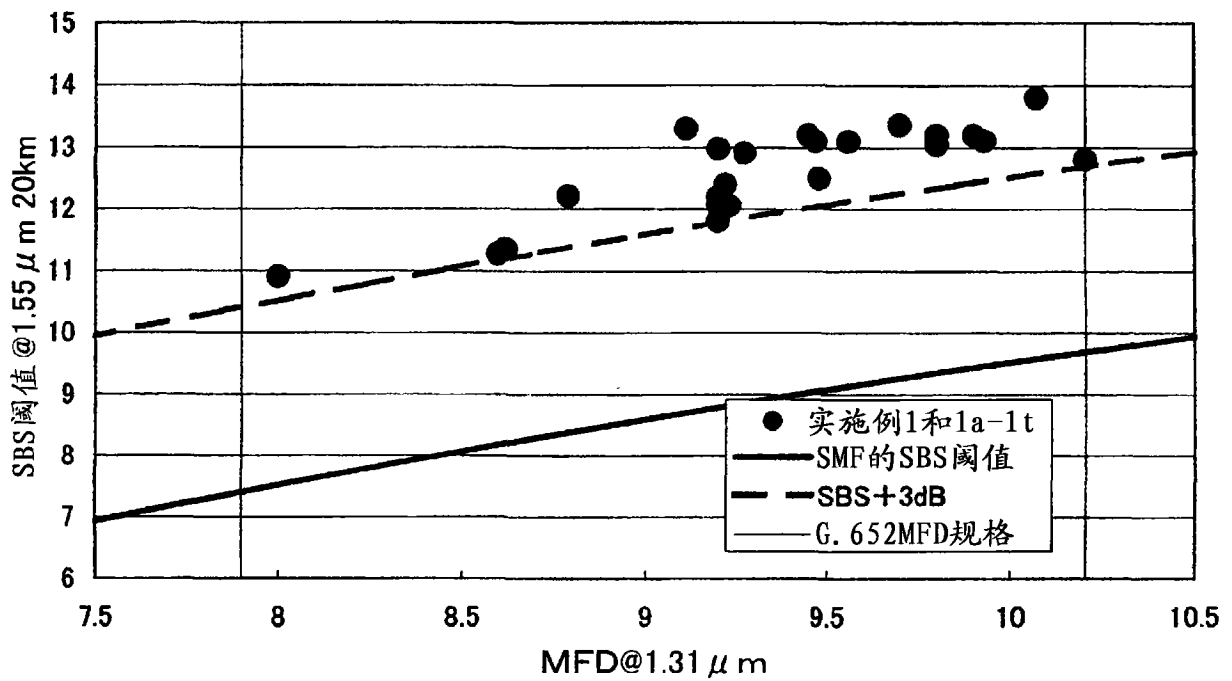


图 14

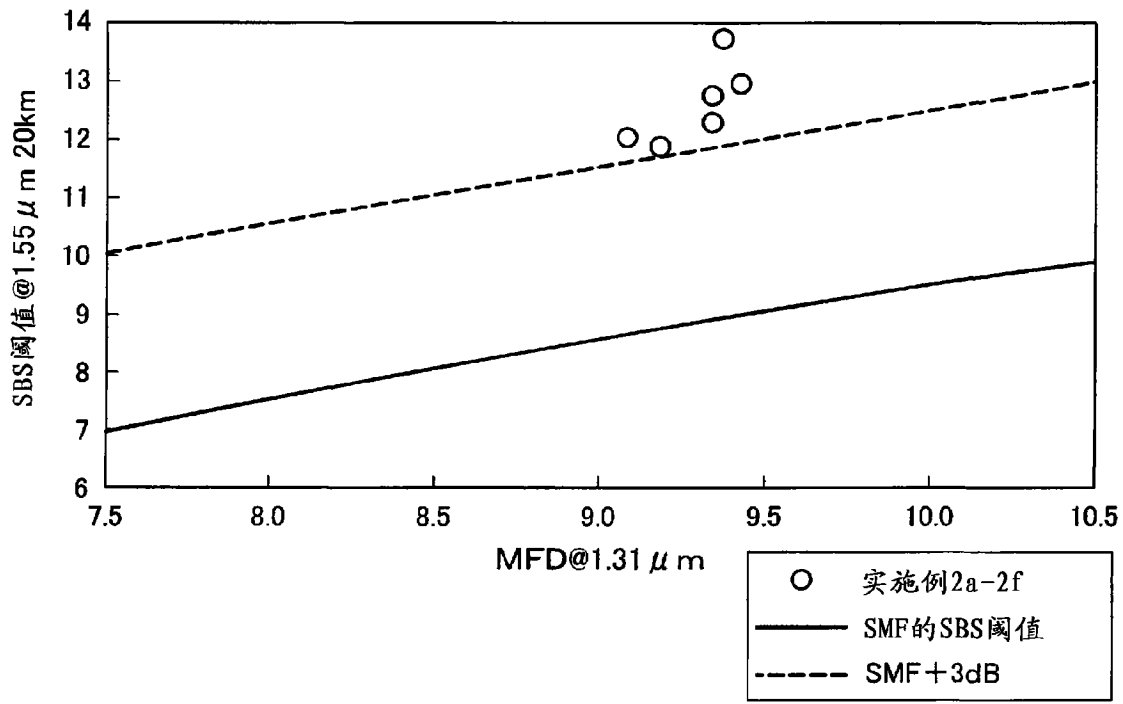


图 15

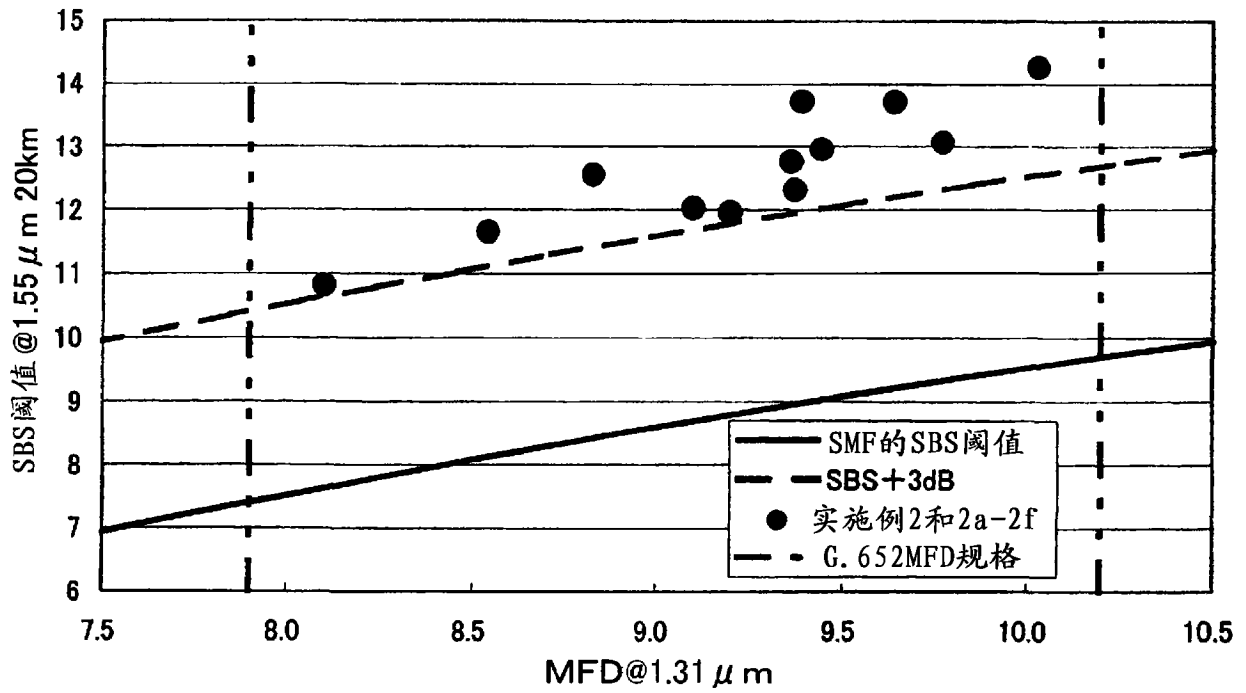


图 16

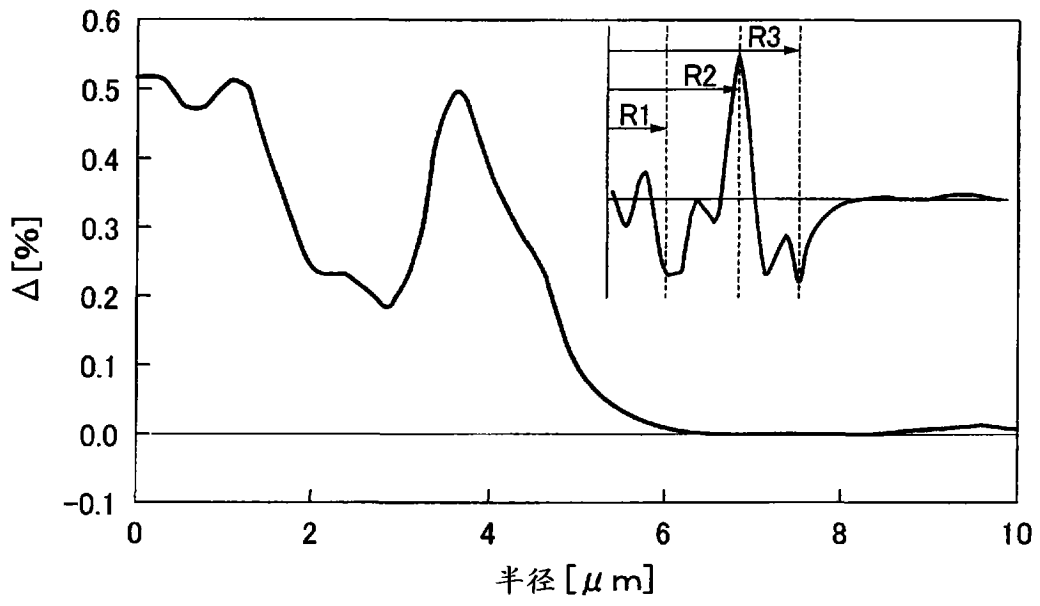


图 17

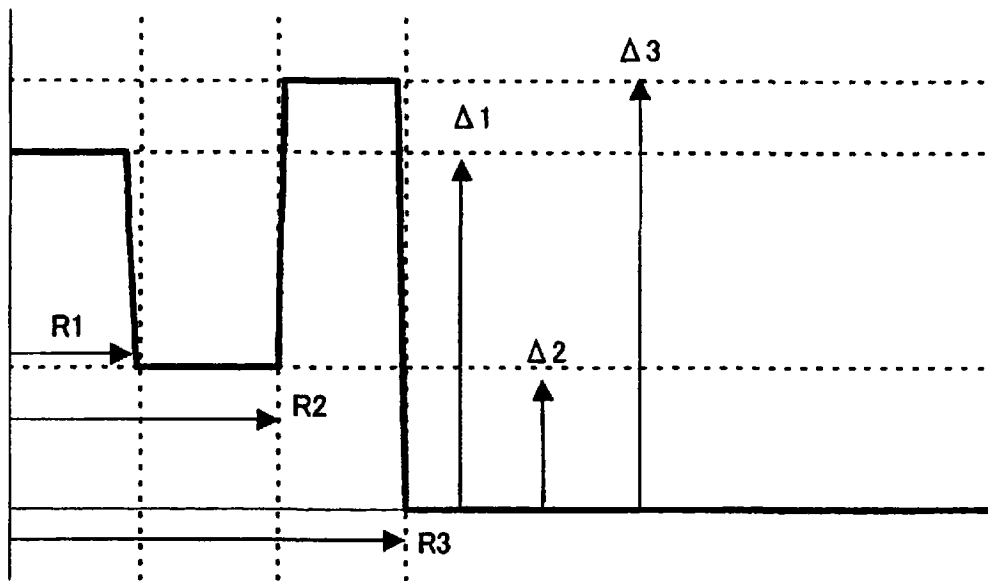


图 18

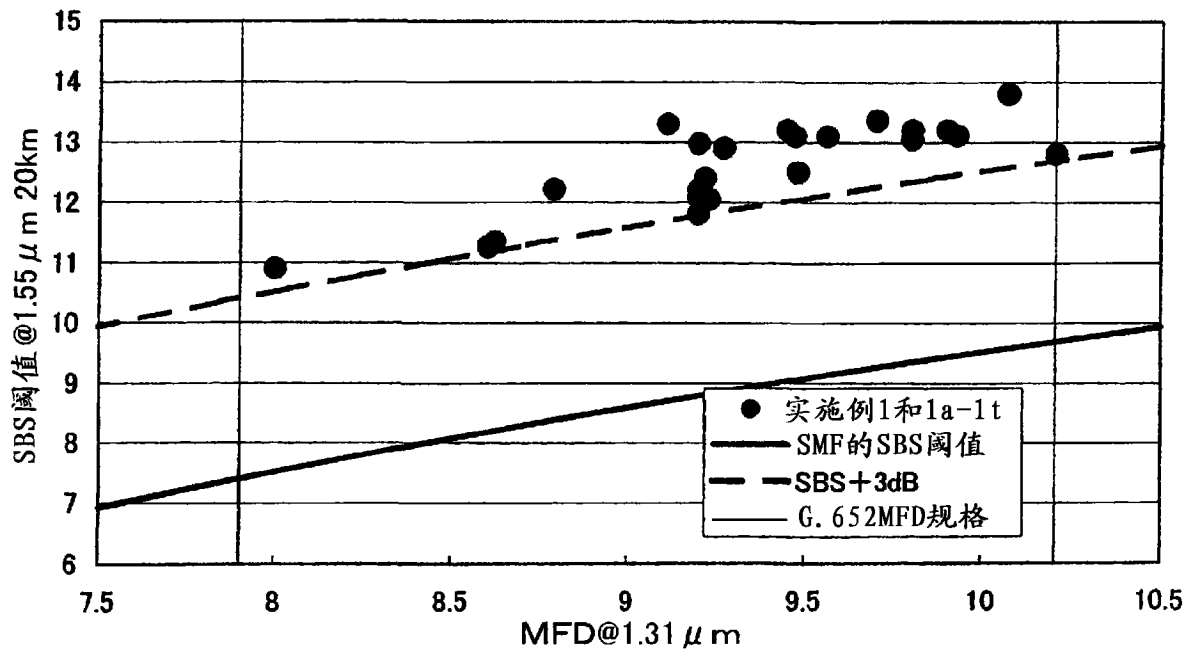


图 19

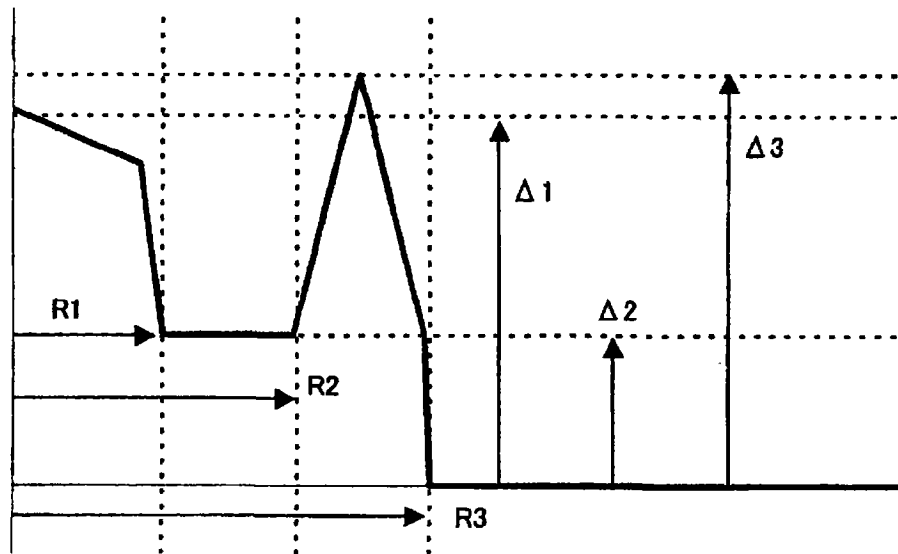


图 20

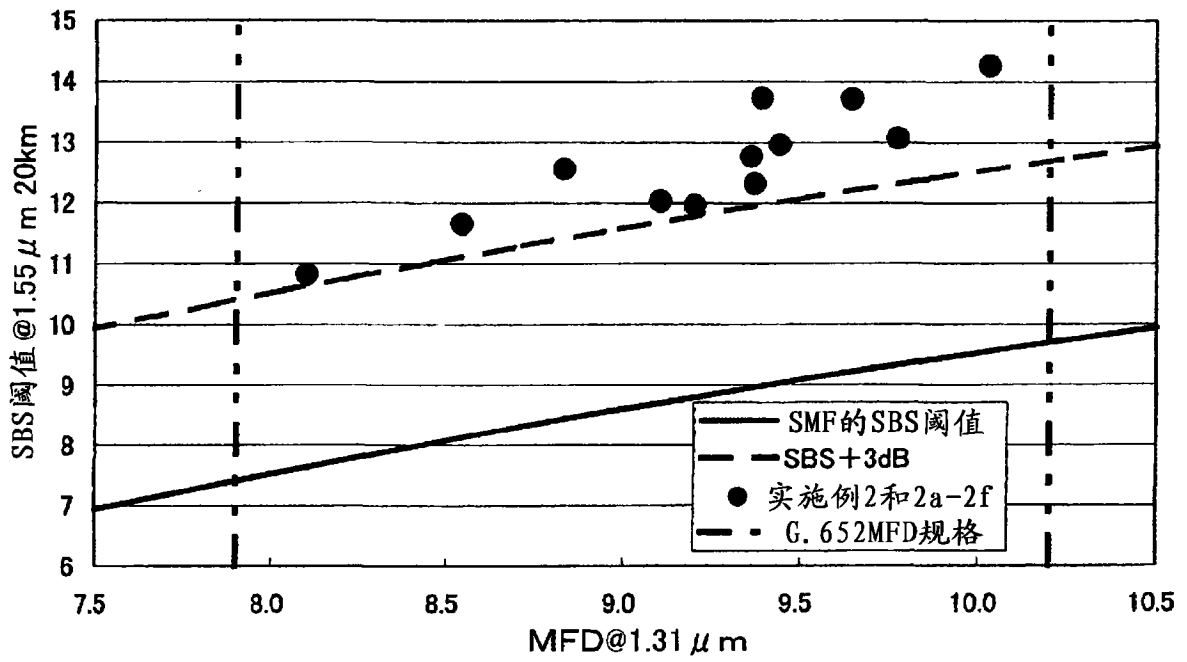


图 21

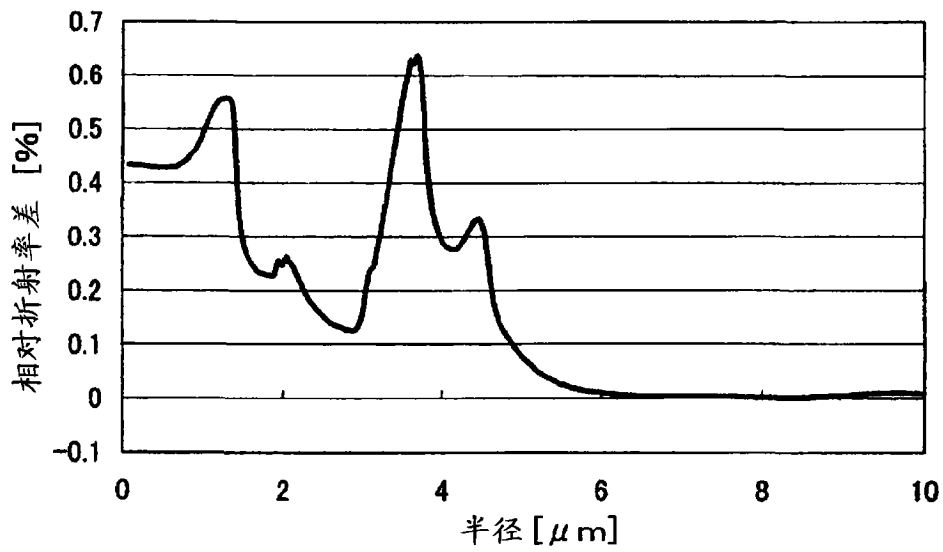


图 22