



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116724257 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 08

(21) 申请号 202180089866.2

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2021.02.17

G02B 6/02 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.07.07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/005851 2021.02.17

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/176046 JA 2022.08.25

(71) 申请人 日本电信电话株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 山下阳子 森崇嘉 松井隆

中岛和秀

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有

限公司 44205

专利代理师 伍志健 林明校

权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

模式转换设备以及设计方法

(57) 摘要

本发明的目的在于提供一种模式转换设备及其设计方法,能够设计任意的耦合效率和半峰全宽。本发明是在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中具有长周期光栅的模式转换设备,其特征在于,所述长周期光栅满足数学式C1的关系。其中,半峰全宽FWHM是与中心波长的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的波段,C是耦合效率, L_c 是完全耦合长度, L_g 是光栅长度, Λ 是光栅间距, $\Delta\beta$ 是模式转换对象的中心波长的2种所述传播模式的传播常数差;[数学

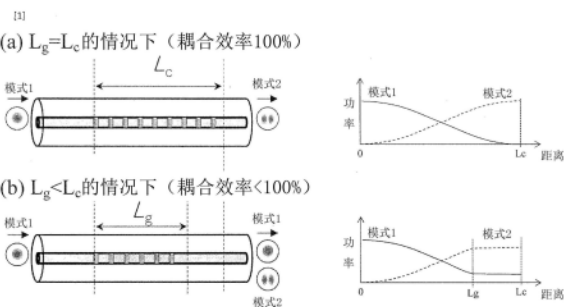
$$\Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta}$$

$$C = \sin^2\left(\frac{\pi L_g}{2 L_c}\right)$$

$$FWHM \cdot L_c = b \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1}$$

$$b = -1169.3C + 1705.6$$

(C1)



1. 模式转换设备,是在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中具有长周期光栅的模式转换设备,其特征在于:

所述长周期光栅满足数学式C1的关系;

[数学式C1]

$$\Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta}$$

$$C = \sin^2\left(\frac{\pi L_g}{2 L_c}\right)$$

(C1)

$$FWHM \cdot L_c = b \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1}$$

$$b = -1169.3C + 1705.6$$

其中,半峰全宽FWHM是与中心波长的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的波段,C是耦合效率, L_c 是完全耦合长度, L_g 是光栅长度, Λ 是光栅间距, $\Delta\beta$ 是模式转换对象的中心波长的2种所述传播模式的传播常数差。

2. 根据权利要求1所述的模式转换设备,其特征在于,还具备抽头波导,所述抽头波导在光的传播方向上位于所述长周期光栅的后段,从所述光纤的侧面输出在所述光纤的纤芯中传播的光中的、所述长周期光栅从1种模式转换为其他模式的期望波长的光。

3. 根据权利要求2所述的模式转换设备,其特征在于,所述长周期光栅和所述抽头波导的组在所述光纤中纵向排列。

4. 根据权利要求3所述的模式转换设备,其特征在于,所述长周期光栅中,数学式C1所记载的设计参数各不相同,以使从所述1种模式向所述其他模式转换的光的波长相互不同。

5. 根据权利要求3所述的模式转换设备,其特征在于,所述长周期光栅中,所述光栅长度 L_g 各不相同,以使从所述1种模式向所述其他模式转换的光的波长相同而所述耦合效率不同。

6. 设计方法,是决定在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中设置的长周期光栅的设计参数的设计方法,其特征在于:

给出所述光纤的纤芯半径a(μm)、相对折射率差 Δ (%)、进行模式转换的光的中心波长 λ_0 (nm)、耦合效率C以及半峰全宽FWHM(nm);

根据所述光纤的纤芯半径a(μm)和相对折射率差 Δ (%),通过模式分析获得模式转换对象的所述中心波长 λ_0 (nm)的2种所述传播模式的传播常数差 $\Delta\beta$ 及其波长微分 $d\Delta\beta/d\lambda$;

通过数学式C2计算所述长周期光栅的光栅间距 Λ ;

通过数学式C3计算系数b;

通过数学式C4计算完全耦合长度 L_c ;以及,

通过数学式C5计算光栅长度 L_g ;

[数学式C2]

$$\Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta} \quad (\text{C } 2)$$

[数学式C3]

$$b = -1169.3C + 1705.6 \quad (\text{C3})$$

[数学式C4]

$$L_c = \frac{b}{FWHM \cdot \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|} \quad (\text{C } 4)$$

其中,半峰全宽FWHM是与中心波长 λ_0 的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的波段;

[数学式C5]

$$L_g = \frac{\pi}{2} \frac{L_c}{\arcsin(\sqrt{C})} \quad (\text{C } 5)$$

。

模式转换设备以及设计方法

技术领域

[0001] 本公开涉及光纤中形成有长周期光栅(LPG,Long Period Grating)的模式转换设备及其设计方法。

背景技术

[0002] 非专利文献1公开了仅将某波长的光选择性地耦合到光纤的包层模式的LPG。

[0003] 现有技术文献

[0004] 非专利文献

[0005] 非专利文献1:Craig D.Poole等,“Helical-Grating Two-Mode Fiber Spatial-Mode Coupler”,JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY,VOL 9,NO 5,1991年5月。

发明内容

[0006] 发明要解决的问题

[0007] 虽然在LPG中耦合效率和半峰全宽的关系是唯一求出的,但是,当完全耦合长度、光纤结构以及中心波长中的任意一个的值改变时,耦合效率和半峰全宽的关系也将发生变化。因此,具备LPG的模式转换设备存在难以任意地设计耦合效率和半峰全宽的问题。另外,“半峰全宽”是指与中心波长的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的波段,是模式转换设备能够进行模式转换的波段。

[0008] 为了解决上述问题,本发明的目的在于提供一种模式转换设备及其设计方法,能够设计任意的耦合效率和半峰全宽。

[0009] 解决问题所采用的手段

[0010] 为了实现上述目的,本发明的模式转换设备设为基于转换的2种模式间的传播常数差 $\Delta\beta$ 的波长微分与耦合效率以及半峰全宽的关系来调整参数。

[0011] 具体地,本发明的模式转换设备是在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中具有长周期光栅的模式转换设备,其特征在于,所述长周期光栅满足数学式C1的关系。

[0012] [数学式C1]

$$\Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta}$$

$$C = \sin^2\left(\frac{\pi L_g}{2 L_c}\right)$$

[0013]

(C1)

$$FWHM \cdot L_c = b \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1}$$

$$b = -1169.3C + 1705.6$$

[0014] 其中,半峰全宽FWHM是与中心波长的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的

波段, C 是耦合效率, L_c 是完全耦合长度, L_g 是光栅长度, Λ 是光栅间距, $\Delta\beta$ 是模式转换对象的中心波长的2种所述传播模式的传播常数差。

[0015] 通过在纤芯半径为 a 、纤芯相对折射率差为 Δ 的光纤的纤芯中, 形成满足数学式C1的关系的光栅间距为 Λ 和光栅长度为 L_g 的LPG, 能够在期望的波长下得到期望的半峰全宽FWHM和耦合效率 C 的模式转换设备。

[0016] 具体设计方法是决定在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中设置的长周期光栅的设计参数的设计方法, 其特征在于:

[0017] 给出所述光纤的纤芯半径 a (μm)、相对折射率差 Δ (%)、进行模式转换的光的中心波长 λ_0 (nm)、耦合效率 C 以及半峰全宽FWHM(nm);

[0018] 根据所述光纤的纤芯半径 a (μm) 和相对折射率差 Δ (%), 通过模式分析获得模式转换对象的所述中心波长 λ_0 (nm) 的2种所述传播模式的传播常数差 $\Delta\beta$ 及其波长微分 $d\Delta\beta/d\lambda$;

[0019] 通过数学式C2计算所述长周期光栅的光栅间距 Λ ;

[0020] 通过数学式C3计算系数 b ;

[0021] 通过数学式C4计算完全耦合长度 L_c ; 以及,

[0022] 通过数学式C5计算光栅长度 L_g 。

[0023] [数学式C2]

$$[0024] \quad \Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta} \quad (C2)$$

[0025] [数学式C3]

$$[0026] \quad b = -1169.3C + 1705.6 \quad (C3)$$

[0027] [数学式C4]

$$[0028] \quad L_c = \frac{b}{FWHM \cdot \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|} \quad (C4)$$

[0029] 其中, 半峰全宽FWHM是与中心波长 λ_0 的模式转换的耦合量相比, 耦合效率为一半的波段。

[0030] [数学式C5]

$$[0031] \quad L_g = \frac{\pi}{2} \frac{L_c}{\arcsin(\sqrt{C})} \quad (C5)$$

[0032] 因此, 本发明能够提供一种模式转换设备及其设计方法, 能够设计任意的耦合量和半峰全宽。

[0033] 本发明的模式转换设备, 其特征在于, 还具备抽头波导, 所述抽头波导在光的传播方向上位于所述长周期光栅的后段, 从所述光纤的侧面输出在所述光纤的纤芯中传播的光中的、所述长周期光栅从1种模式转换为其他模式的期望波长的光。

[0034] 本模式转换设备可以从光纤中传播的光中以期望的功率提取期望波长的光。

[0035] 此处, 本发明的模式转换设备可以是: 所述长周期光栅和所述抽头波导的组在所述光纤中纵向排列。

[0036] 在该情况下,所述长周期光栅设为:数学式C1所记载的设计参数各不相同,以使从所述1种模式向所述其他模式转换的光的波长相互不同。能够从每个抽头波导提取不同波长的光。

[0037] 在该情况下,所述长周期光栅也可以设为:所述光栅长度 L_g 各不相同,以使从所述1种模式向所述其他模式转换的光的波长相同而所述耦合效率不同。可以从每个抽头波导提取不同的期望功率的光。

[0038] 另外,上述各发明能够尽可能地组合。

[0039] 发明的效果

[0040] 本发明能够提供一种模式转换设备及其设计方法,能够设计任意的耦合效率和半峰全宽。

附图说明

[0041] 图1是说明具有长周期光栅(LPG)的模式转换设备的概要的图。

[0042] 图2是说明形成有长周期光栅(LPG)的情况下的透射光谱的一例的图。

[0043] 图3是说明形成有长周期光栅(LPG)的情况下的耦合量与半峰全宽(FWHM)的关系的一例的图。

[0044] 图4是说明FWHM和耦合量的关系的一例的图。

[0045] 图5是说明FWHM和 L_c 的积与 $d\Delta\beta/d\lambda$ 的关系的图。

[0046] 图6是说明耦合效率C和系数b的关系的图。

[0047] 图7是说明本发明的设计方法的图。

[0048] 图8是说明本发明的模式转换设备的图。

[0049] 图9是说明本发明的模式转换设备的图。

[0050] 图10是说明本发明的模式转换设备的图。

具体实施方式

[0051] 参照附图说明本发明的实施方式。以下说明的实施方式是本发明的实施例,本发明并不限于以下的实施方式。另外,在本说明书以及附图中,附图标记相同的构成要素表示彼此相同的构成要素。

[0052] (实施方式一)

[0053] 图1是说明具有长周期光栅(LPG)的模式转换设备的概要的图。通过周期性地施加扰动,入射的模式(模式1)转换为另一模式(模式2)。此时,施加扰动的周期(Λ)和中心波长(λ_0)的模式1与模式2的传播常数差($\Delta\beta$)需要满足式(1)的关系。

[0054] [数学式1]

$$[0055] \quad \Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta} \quad (1)$$

[0056] 此处,入射的模式1完全耦合到模式2的长度称为完全耦合长度(L_c)。 L_c 由扰动每处的模式转换量来决定,当每处的模式转换量大时,完全耦合长度变短。另一方面,当每处的模式转换量大时,则模式不匹配导致的损耗会增大。此外,将光栅长度定义为 L_g 。在 $L_g = L_c$ 的情况下,如上所述,如图1(a)所示,模式1完全转换到模式2。此外,通过调整 L_g ,能够如

图1(b)所示地控制从模式1到模式2的耦合量(C)。

[0057] 此时的波长 λ_0 的耦合效率C由公式(2)表示。

[0058] [数学式2]

$$C = \sin^2\left(\frac{\pi L_g}{2 L_c}\right) \quad (2)$$

[0060] 在 $L_g = L_c$ 的情况下,模式1完全耦合到模式2,且 $C=1$ 。

[0061] 图2是说明在纤芯半径(a)为 $4.5\mu\text{m}$ 、且纤芯相对于包层的相对折射率差(Δ)为0.35%的光纤中,形成有 $L_c = 3\text{cm}$ 的光栅的情况下的中心波长(λ_0)为1350nm的光的透射率的一例的图。分别将图1所说明的模式1和模式2设为LP01模式和LP11a模式。此处的“透射率”是指入射LP01模式时的LP01模式的透射率。“耦合效率”是在中心波长衰减的量。图2的各线表示改变 L_g/L_c 的情况下的透射率,可知通过控制 L_g/L_c 能够控制耦合效率,以及当耦合效率增加(使 L_g 变大)时,带宽倾向于变窄。

[0062] 图3是说明耦合效率与半峰全宽(FWHM)的关系的图。设 $\lambda_0 = 1350\text{nm}$ 、 $L_c = 3\text{cm}$,将作为光纤结构的纤芯半径a和纤芯相对折射率 Δ 分别设为($a = 5\mu\text{m}$ 、 $\Delta = 0.28\%$)、($a = 4.5\mu\text{m}$ 、 $\Delta = 0.35\%$)、($a = 4\mu\text{m}$ 、 $\Delta = 0.44\%$)。

[0063] 由图3可知,随着耦合效率的增大(将 L_g 增大),FWHM将减小,以及FWHM与耦合效率的关系依赖于光纤结构。FWHM和耦合效率的关系不仅因光纤结构而变化,在改变 L_c 或 λ_0 时同样也会变化。此处,引入波长 λ_0 的2模式的传播常数差 $\Delta\beta$ 的波长微分($d\Delta\beta/d\lambda$)作为表示光纤结构的参数。另外,2模式的传播常数差 $\Delta\beta$ 能够根据光纤结构通过模式分析来求出。

[0064] 图4是以 $d\Delta\beta/d\lambda$ 为横轴,将图3所说明的FWHM与耦合效率的关系进行重新绘制的图。在本图中,重叠地表示了不同光纤结构(Δ , a)以及中心波长(λ_0)的数据。由图4可知,FWHM与 $d\Delta\beta/d\lambda$ 的关系与光纤结构和中心波长无关,对于耦合效率是唯一确定的。

[0065] 进一步地,通过计算FWHM与 L_c 的积,FWHM与 $d\Delta\beta/d\lambda$ 的关系与 L_c 无关,对于耦合效率是唯一确定的。图5是说明FWHM和 L_c 的积与 $d\Delta\beta/d\lambda$ 的关系的图。各曲线表示通过计算求出的FWHM和 L_c 的积与 $d\Delta\beta/d\lambda$ 的关系,虚线表示对于各耦合效率求出的近似函数。对于各耦合效率的近似函数如式(3)~(6)所示。

[0066] [数学式3]

$$FWHM \cdot L_{c0.5} = 1121 \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1} \quad (3)$$

[0068] [数学式4]

$$FWHM \cdot L_{c0.75} = 810.3 \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1} \quad (4)$$

[0070] [数学式5]

$$FWHM \cdot L_{c0.94} = 628.5 \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1} \quad (5)$$

[0072] [数学式6]

$$[0073] \quad FWHM \cdot L_{c0.99} = 546 \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1} \quad (6)$$

[0074] 如式(3)~(6)所示,可知FWHM和 L_c 的积与 $d\Delta\beta/d\lambda$ 的关系可以近似于式(7)所示的反比例式。

[0075] [数学式7]

$$[0076] \quad FWHM \cdot L_c = b \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1} \quad (7)$$

[0077] 此处,耦合效率与反比例的系数 b 的关系如图6所示。根据图6,根据式(8)求出系数 b 。

[0078] [数学式8]

$$[0079] \quad b = -1169.3C + 1705.6 \quad (8)$$

[0080] 此处, C 是线性表示的耦合效率。

[0081] 由此,通过在光纤中设置满足式(1)、式(2)、式(7)以及式(8)的光栅结构,能够构成具有任意的耦合效率和带宽的模式转换设备。即,本发明的模式转换设备,在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中具有长周期光栅,其特征在于,所述长周期光栅满足数学式C1的关系。

[0082] [数学式C1]

$$\Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta}$$

$$C = \sin^2 \left(\frac{\pi L_g}{2 L_c} \right)$$

[0083] (C1)

$$FWHM \cdot L_c = b \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|^{-1}$$

$$b = -1169.3C + 1705.6$$

[0084] 其中,半峰全宽FWHM是与中心波长的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的波段, C 是耦合效率, L_c 是完全耦合长度, L_g 是光栅长度, Λ 是光栅间距, $\Delta\beta$ 是模式转换对象的中心波长的2种所述传播模式的传播常数差。

[0085] 此处虽然以LP01模式和LP11模式的转换效率为例进行计算,但是对于例如LP01模式和包层模式,或者,LP01模式和LP02模式,LP11模式和LP21模式等的其它模式之间的耦合也是同样的思路。此外,与光纤是阶跃型结构无关,对于渐变型结构等其他结构也可以是同样的思路。

[0086] (实施方式二)

[0087] 图7是说明设计实施方式1所说明的模式转换设备的长周期光栅的方法的流程图。该设计方法是决定在能够以至少2种传播模式传播光的光纤的纤芯中设置的长周期光栅的设计参数的设计方法,其特征在于:

[0088] 给出所述光纤的纤芯半径 a (μm)、相对折射率差 Δ (%)、进行模式转换的光的中心

波长 λ_0 (nm)、耦合效率C以及半峰全宽FWHM(nm) (步骤S01) ;

[0089] 根据所述光纤的纤芯半径a (μm) 和相对折射率差 Δ (%) ,通过模式分析获得模式转换对象的所述中心波长 λ_0 (nm) 的2种所述传播模式的传播常数差 $\Delta\beta$ 及其波长微分 $d\Delta\beta/d\lambda$ (步骤S02) ;

[0090] 通过数学式C2计算所述长周期光栅的光栅间距 Λ (步骤S03) ;

[0091] 通过数学式C3计算系数b (步骤S04) ;

[0092] 通过数学式C4计算完全耦合长度 L_c (步骤S05) ;和,

[0093] 通过数学式C5计算光栅长度 L_g (步骤S06) 。

[0094] [数学式C2]

$$[0095] \quad \Lambda = \frac{2\pi}{\Delta\beta} \quad (C2)$$

[0096] [数学式C3]

$$[0097] \quad b = -1169.3C + 1705.6 \quad (C3)$$

[0098] [数学式C4]

$$[0099] \quad L_c = \frac{b}{FWHM \cdot \left| \frac{d\Delta\beta}{d\lambda} \right|} \quad (C4)$$

[0100] 其中,半峰全宽FWHM是与中心波长 λ_0 的模式转换的耦合效率相比耦合效率为一半的波段。

[0101] [数学式C5]

$$[0102] \quad L_g = \frac{\pi}{2} \frac{L_c}{\arcsin(\sqrt{C})} \quad (C5)$$

[0103] 设计参数是表示光纤结构的 $d\Delta\beta/d\lambda$ 、 L_c 、 L_g 、 Λ 、 λ_0 、C以及FWHM。首先,在步骤S01中,作为规格值,给出所述光纤的纤芯半径a (μm)、相对折射率差 Δ (%)、进行模式转换的光的中心波长 λ_0 (nm)、耦合效率C以及半峰全宽FWHM(nm)。

[0104] 在步骤S02中,根据光纤结构的纤芯半径a (μm) 和相对折射率差 Δ (%) ,通过模式分析求出中心波长 λ_0 (nm) 的传播常数差 $\Delta\beta$ 及其波长微分 $d\Delta\beta/d\lambda$ 。

[0105] 在步骤S03中,将传播常数差 $\Delta\beta$ 代入式(C2),计算光栅间距 Λ (μm) 。

[0106] 在步骤S04中,将作为规格值的耦合效率C代入式(C3),计算系数b。

[0107] 在步骤S05中,将系数b、规格值的半峰全宽FWHM以及波长微分 $d\Delta\beta/d\lambda$ 代入式(C4),计算完全耦合长度 L_c 。

[0108] 在步骤S06中,将完全耦合长度 L_c 和作为规格值的耦合效率C代入式C5,计算光栅长度 L_g 。

[0109] 另外,步骤S03和步骤(S04~S06)可以同时进行,也可以先进行其中一方。

[0110] 模式可转换的波长范围(FWHM)根据使用LPG的设备而不同。例如,在模式复用传输等用于宽频带的情况下,优选较宽。另一方面,在如实施方式3中说明的那样的抽头设备的情况下,优选较窄。本实施方式的设计方法的要点是能够导出符合设备的用途(规格)的光栅间距 Λ 和光栅长度 L_g 。

[0111] (实施方式三)

[0112] 图8是说明本实施方式的模式转换设备301的图。模式转换设备301,其特征在于,还具备抽头波导53,所述抽头波导53在光的传播方向上位于长周期光栅21的后段,从光纤50的侧面输出在光纤50的纤芯51中传播的光中的、长周期光栅21从1种模式转换为其他模式的期望波长的光。

[0113] 在本实施方式中,将1种模式设为基本模式,其他模式设为高次模式而进行说明。

[0114] 模式转换设备301具备:抽头部10,形成有抽头波导53,抽头波导53将在光纤50的纤芯51中传播的光中的高次模式的光从光纤50的侧面输出;

[0115] 光栅部20,光栅部20在所述光的传播方向上位于抽头部10的前段,在光纤50的纤芯51上形成有将期望波长的光从基本模式转换为所述高次模式的光栅21。

[0116] 光纤50设为阶跃型光纤。光纤50在长度方向上依次形成有光栅部20以及抽头部10。将光能够入射到抽头波导53的方向设为光波导方向。在图8中,光波导方向是从左向右的方向。此外,将抽头波导53从纤芯51朝向光纤50的侧面的方向设为抽头方向。在图8中,抽头方向是相对于光波导方向向正方向倾斜的方向。

[0117] 光栅部20通过长周期光栅21将在光纤50的纤芯51中传播的光中想要提取的波长的光,仅以期望的量从LP01模式转换为LP11模式。光栅结构例如能够通过飞秒激光加工、CO2激光加工或光栅的按压来实现。

[0118] 抽头部10具有:从纤芯51的中心以角度 α 向光纤50的侧面(包层52的界面)延伸的抽头波导53。抽头部10通过控制抽头波导53与纤芯51的角度 α 、抽头波导53的直径 d_t 以及抽头波导53的折射率,从纤芯51选择性地仅提取LP11模式。

[0119] 此处,将从纤芯51向抽头波导53耦合的光定义为抽头光,将在纤芯51中原样传播的光定义为透射光。例如,通过将受光器54连接到抽头部10的输出端(光纤50的侧面),能够从光纤50仅提取并接收抽头光。

[0120] 在抽头部10中,从纤芯51到抽头波导53的耦合效率高度依赖于在纤芯51中传播的光的传播模式。这是因为,越是高次模式,限制越小,越容易与抽头波导53耦合。因此,能够仅将高次模式转移到抽头波导。

[0121] 此处,为了仅使高次模式与抽头波导53耦合,抽头波导53的折射率和直径 d_t 的值很重要。如果这些值过大,则由于抽头波导53的NA变大,LP01模式也容易耦合,因此,透射光的损耗增加。另一方面,如果这些值过小,则由于抽头波导53的NA变小,高次模式难以耦合,因此,抽头光向抽头波导53的耦合效率降低。也就是说,需要适当地确定抽头波导53的折射率和直径 d_t 的值。

[0122] 此外,为了使高次模式的光高效率地与抽头波导53耦合,并使基本模式的光在关在纤芯51中的状态下原样地传播,需要使 α 足够小,并使模式绝热地迁移。如果 α 大,LP01模式也会受到抽头波导51的影响而耦合到辐射模式,产生损耗。因此,从LP01模式的损耗的角度来决定 α 的上限值。另一方面,虽然 α 可以为大于0的任意值,但由于 α 决定了抽头部10的全长 L_{tap} ,因此,根据抽头波导53的传播损耗和对设备全长的要求条件的观点来决定 α 的下限值。

[0123] 在典型的单模光纤中,光纤50的直径 d_f 为125 μm ,例如,为了使抽头部 L_{tap} 为5cm以下, α 需要设定为0.07°以上。

[0124] 光栅部20具有间距为 Λ 的光栅21。例如,光栅21是长周期光纤光栅(LPG)。为了在光栅部20中将任意的波长为 λ 且期望的光量的光从LP01模式转换为LP11模式,通过在实施方式1以及2中所说明的设计参数对光栅21进行成型。

[0125] (实施方式四)

[0126] 图9以及图10是说明本实施方式的模式转换设备302的图。模式转换设备302的特征在于,将图8所说明的模式转换设备301的长周期光栅21和抽头波导53的组纵向排列在光纤50中。也就是说,模式转换设备302是将模式转换设备301多段组合而成的系统。长周期光栅21和抽头波导53的组(模式转换设备301)例如每隔一定程度的距离(几m到几km)而配置。

[0127] 图9的模式转换设备302的长周期光栅21的特征在于:数学式C1所记载的设计参数各不相同,以使从所述1种模式向所述其他模式转换的光的波长相互不同。

[0128] 图9的模式转换设备302将波长分配给每个模式转换设备(301-1、301-2、301-3),并且根据波长控制提取的信号。通过根据想要提取的波长的波长间隔(中心波长 λ_0 和带宽(FWHM))来设定各模式转换设备的设计参数,可以以任意的波长间隔提取信号。

[0129] 图10的模式转换设备302的长周期光栅21的特征在于:光栅长度 L_g 各不相同,以使从所述1种模式向所述其他模式转换的光的波长相同而所述耦合效率不同。

[0130] 图10的模式转换设备302对1波长分配多个模式转换设备(301-1、301-2、301-3)。通过以1波长发送信号,控制各LPG的耦合效率,能够一点一点地多段地提取信号。图10的模式转换设备302可在多个位置以1波长同时输出信号。

[0131] 附图标记说明

[0132] 10:抽头部

[0133] 20:光栅部

[0134] 21:长周期光栅(LPG)

[0135] 50:光纤

[0136] 51:纤芯

[0137] 52:包层

[0138] 53:抽头波导

[0139] 54:受光器

[0140] 301、302:模式转换设备。

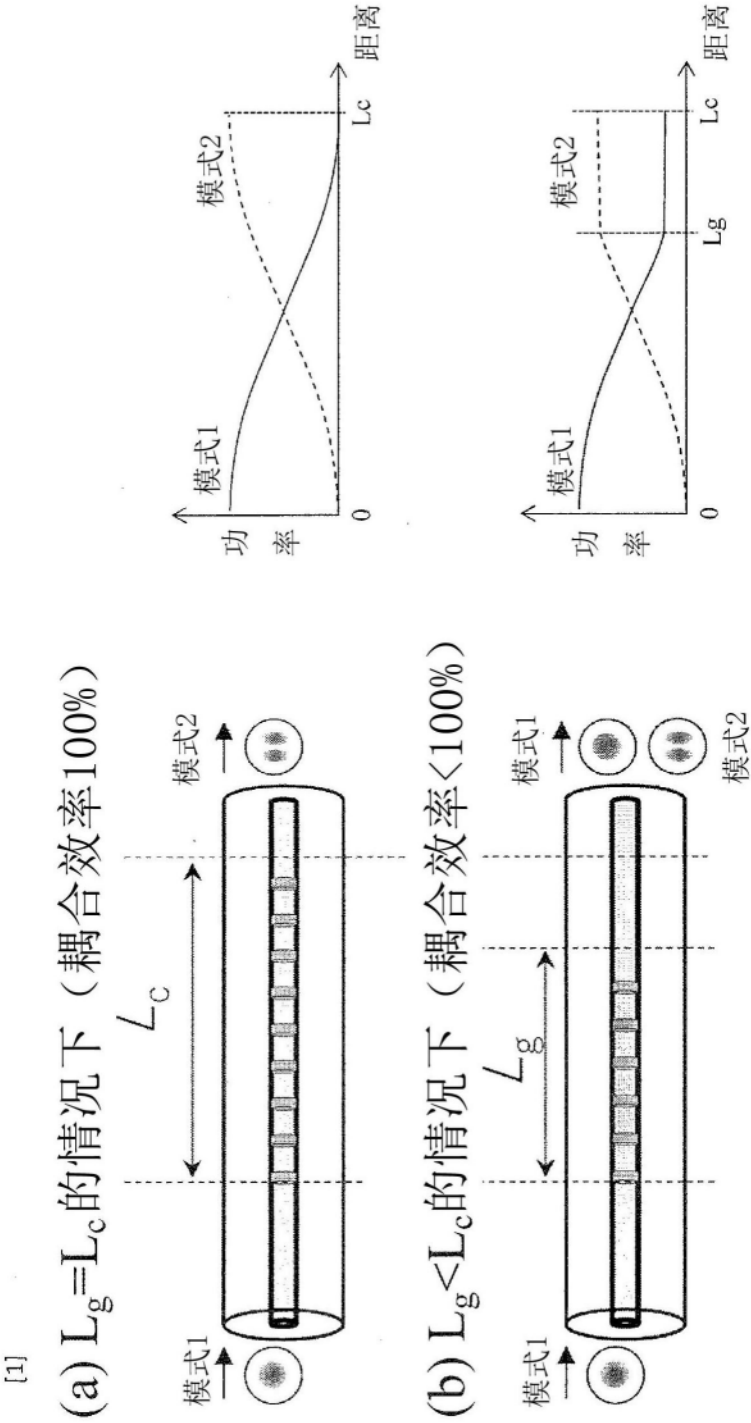


图1

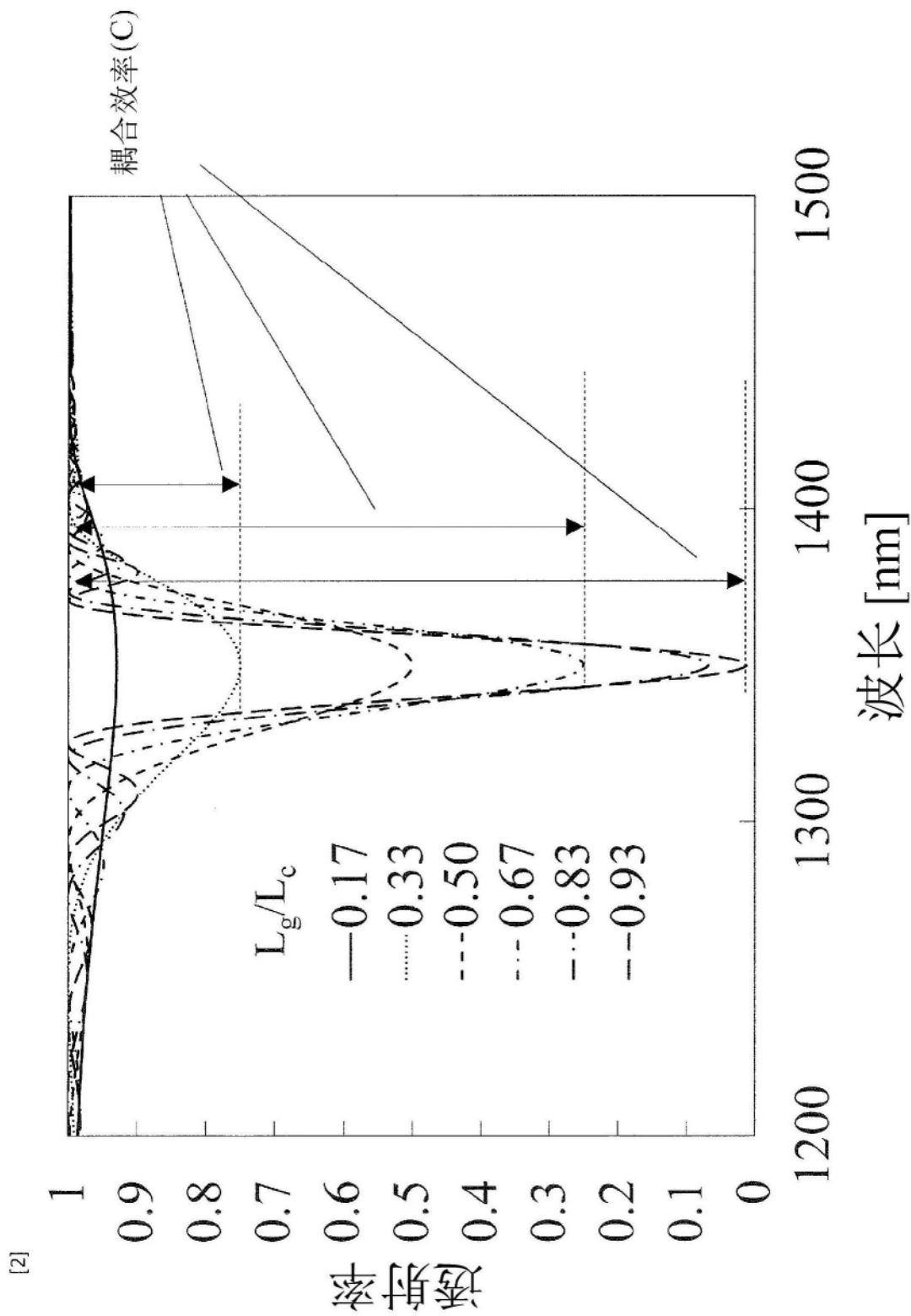


图2

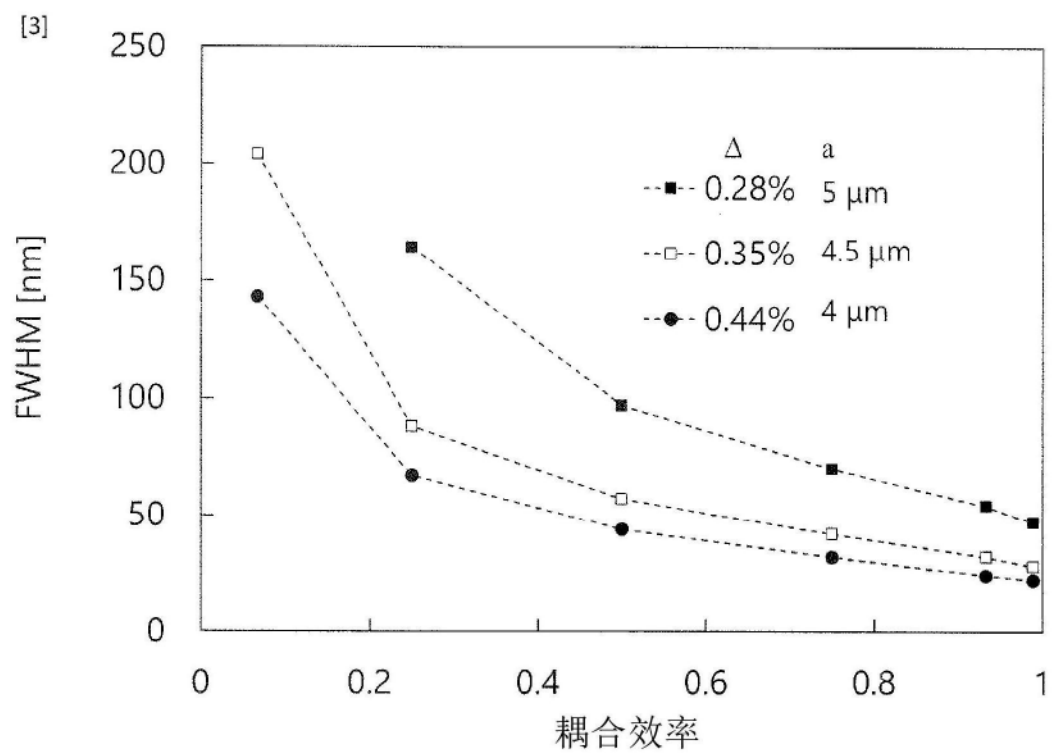
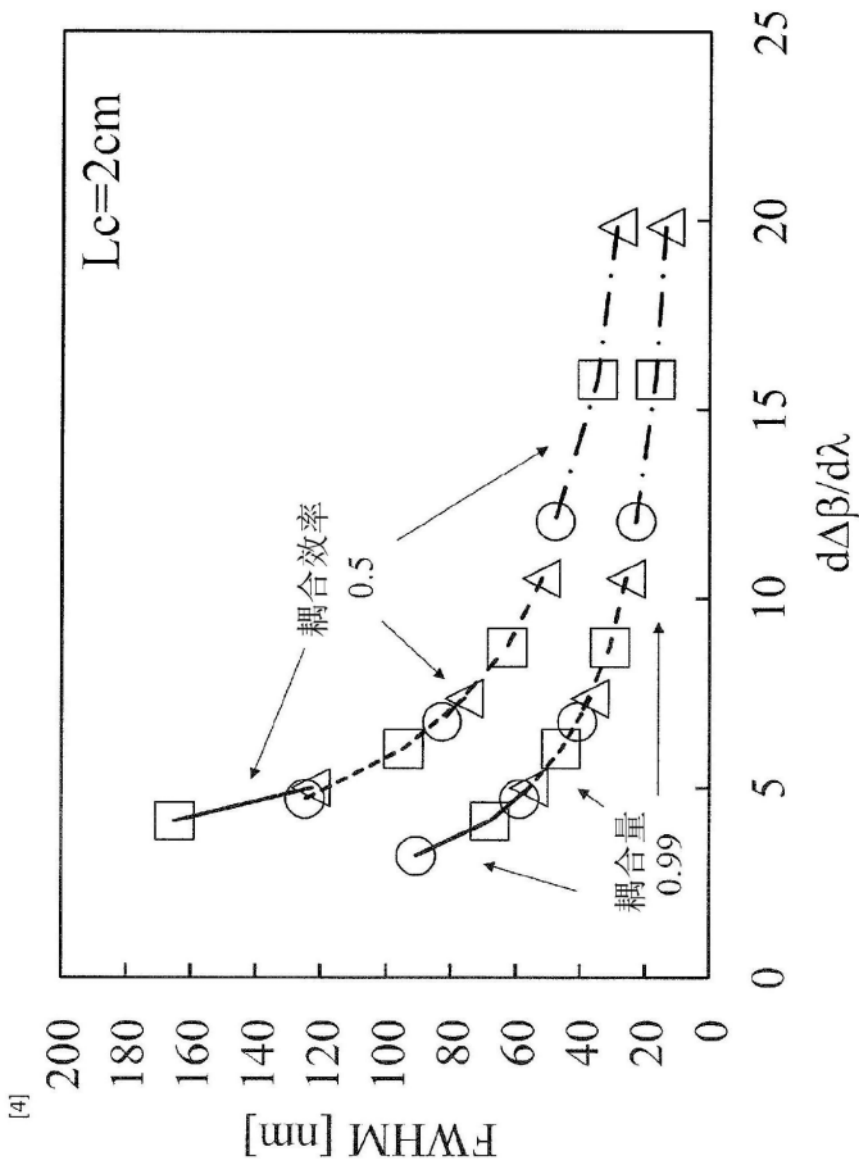


图3



$\Delta(\%)$	0.27	0.33	0.42
$a\ (\mu\text{m})$	5	4.5	5
$\lambda_0=1250\ \text{nm}$			
$\lambda_0=1300\ \text{nm}$			
$\lambda_0=1350\ \text{nm}$			
$\lambda_0=1400\ \text{nm}$			

图4

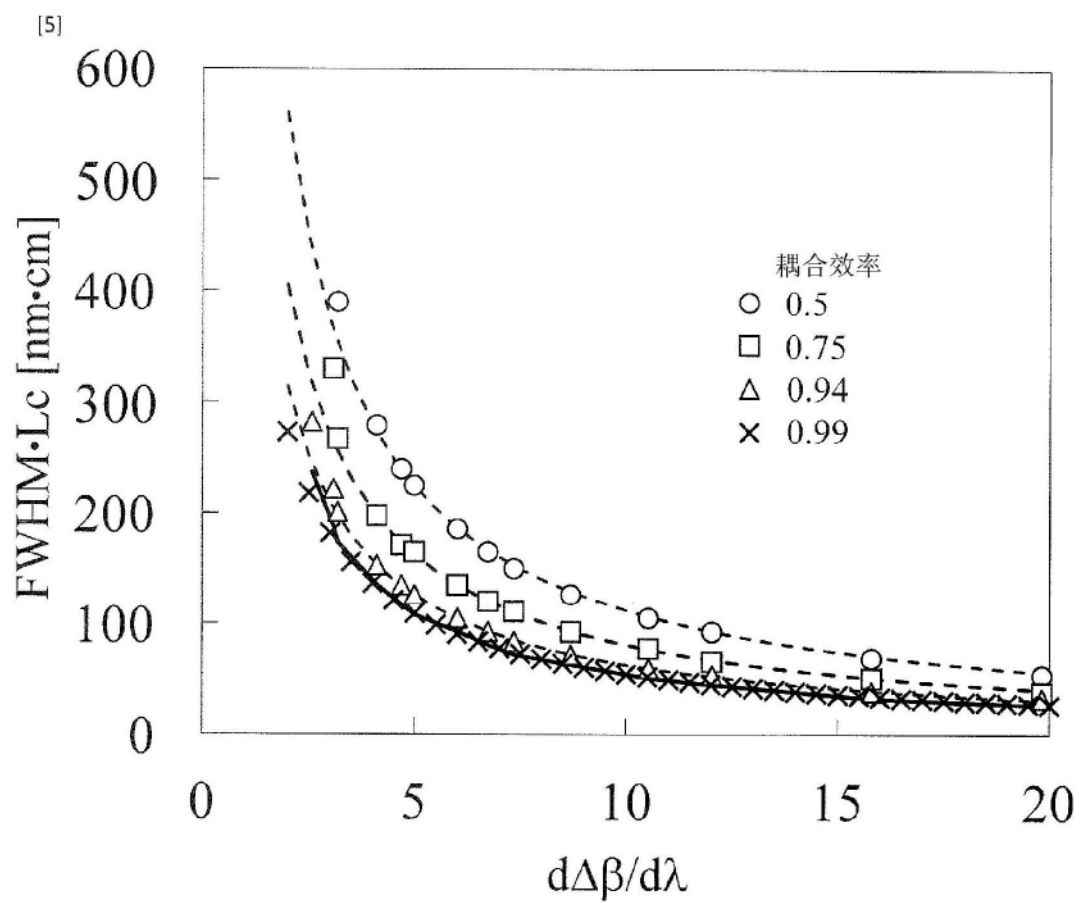


图5

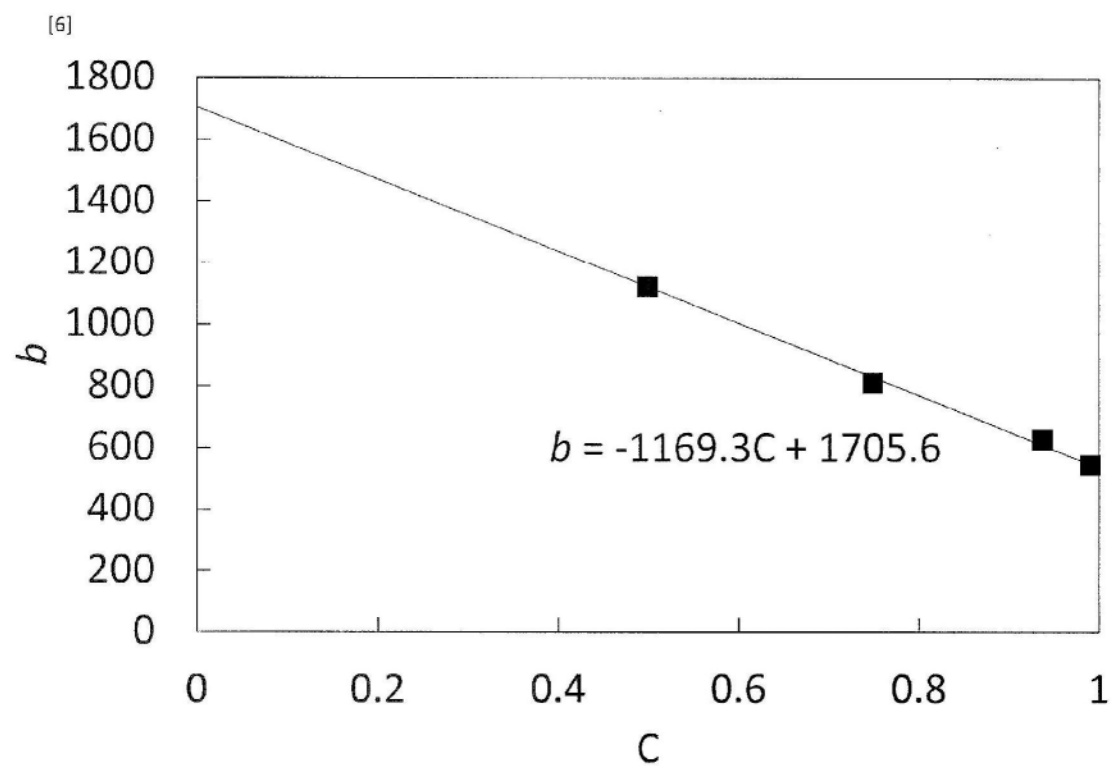


图6

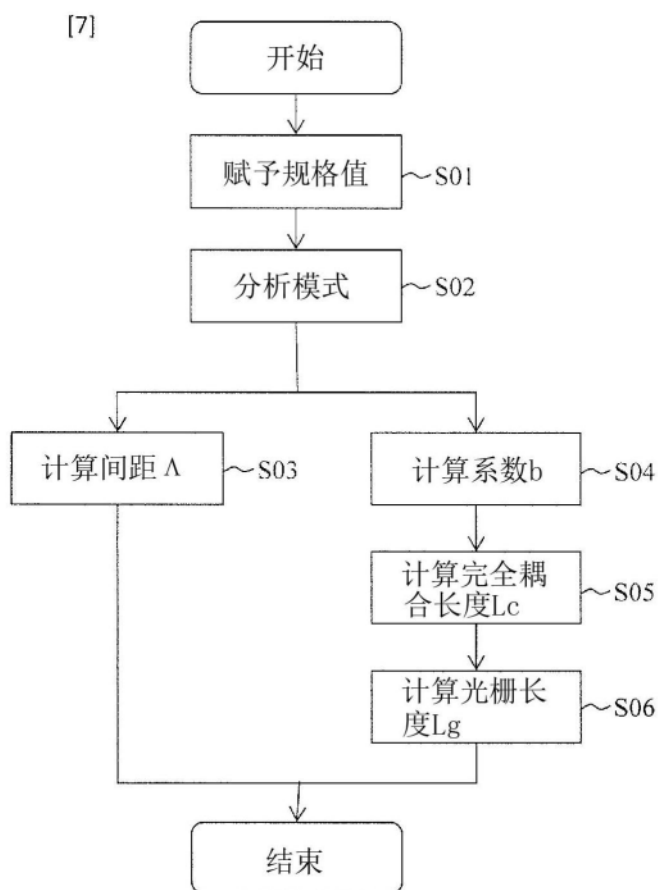


图7

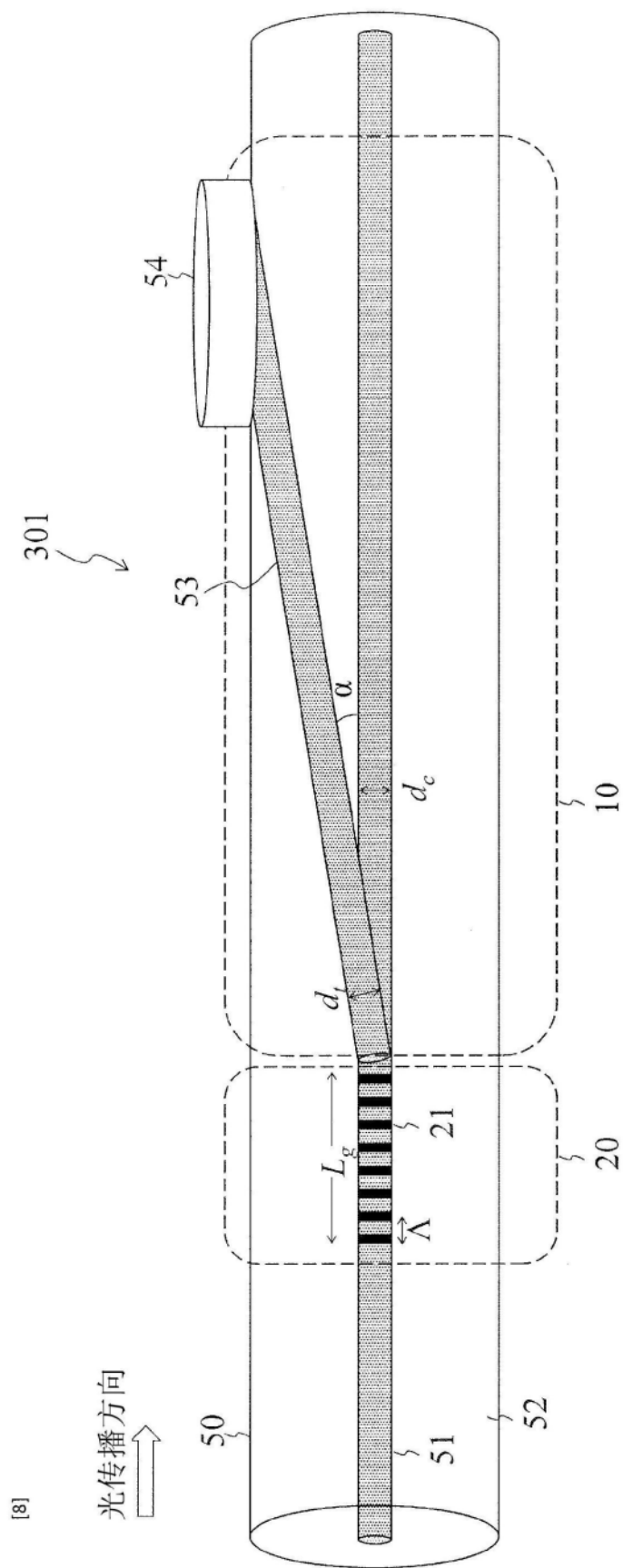


图8

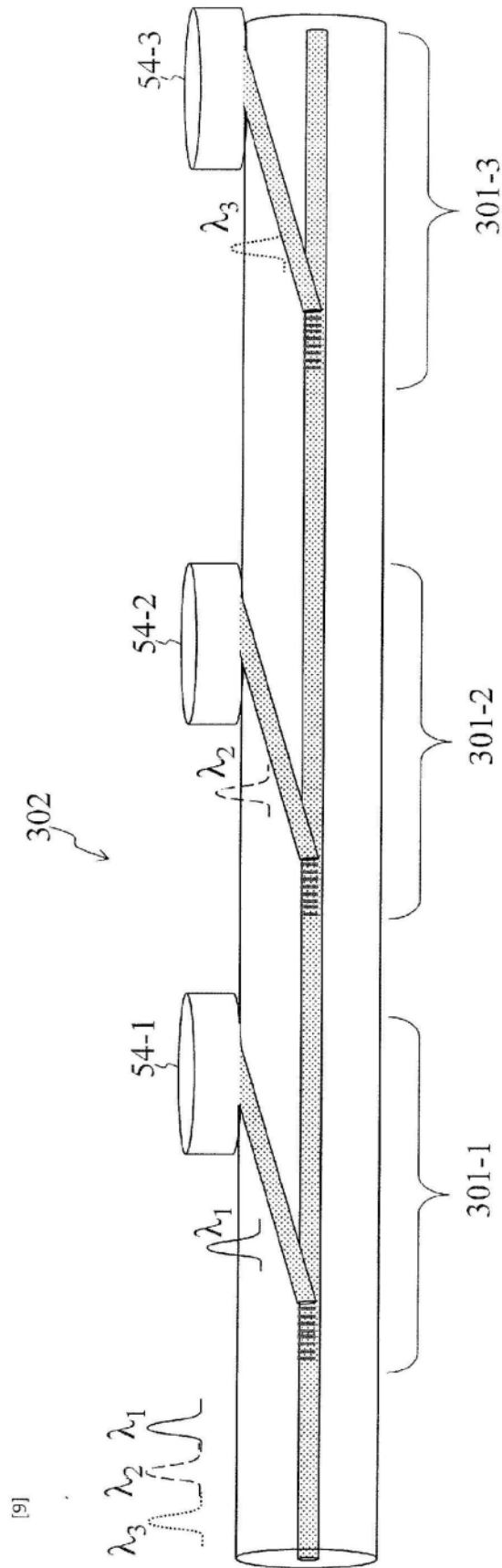


图9

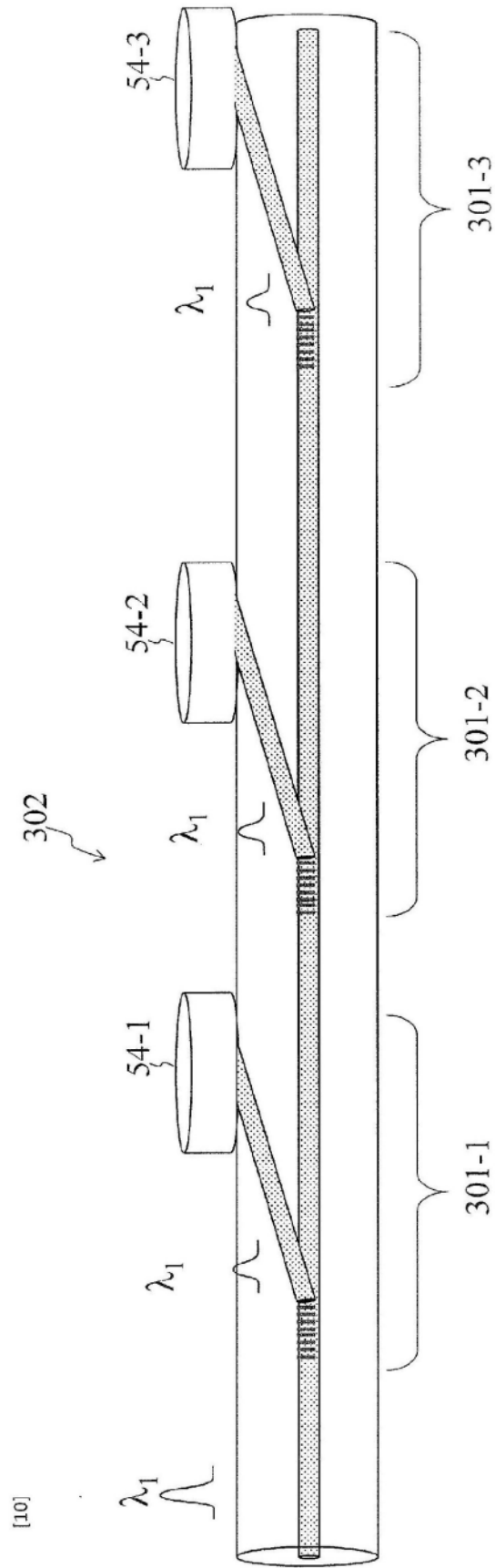


图10