



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96192003.3

[43]公开日 1998年3月11日

[11] 公开号 CN 1176031A

[22]申请日 96.12.9

[30]优先权

[32]95.12.22[33]FR[31]95/15372

[86]国际申请 PCT/US96/19865 96.12.9

[87]国际公布 WO97/23969 英 97.7.3

[85]进入国家阶段日期 97.8.19

[71]申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72]发明人 丹尼斯·M·特鲁歇

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

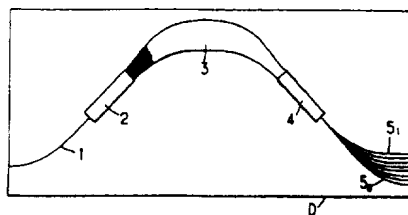
代理人 李家麟

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图页数 2 页

[54]发明名称 用集成光学构成的波长多路分离器

[57]摘要

一种多路分离器，它包含：a) 入口波导 (1)；b) 多个出口波导 (S_i)；c) 以相位网络形式起作用的相邻集成波导的组件 (3)；d) 排列在入口连接器 (2) 入口处并与入口波导 (1) 相连的扩模波导 (12)；以及 e) 排列在出口连接器 (4) 出口处并在每一种情况下与出口波导 (S_i) 中的一个相连的多个减模波导 (16_i)。扩模波导 (12) 和上述减模波导 (16_i) 具有相同的几何尺寸，其宽度随其长度线性变化，从而限制了与相关连接器连接处的上述扩模和减模波导的宽度，使通过信道的带宽最佳，并将出口信道 (S_i) 之间的串扰限制在一预定电平上。



权 利 要 求 书

1. 一种用集成光学构筑的波长多路分离器，它包含：

a) 至少一个入口波导(1)，它由几个不同波长信道中的多个光信号馈送；

5 b) 多个出口波导(5_i)，每一所述出口波导与上述波长的信道相交；

c) 相邻集成波导组件(3)，所述相邻集成波导从一侧连接到入口波导(1)，以及分别通过一入口连接器(2)和一出口连接器(4)从另一侧连接到出口波导(5_i)，从而所述组件(3)的波导长度以所述组件(3)构成一相位网络的方式从波导到波导递增；

10 d) 排列在入口连接器(2)的入口处并与入口波导(1)相连的扩模波导(12)；

e) 排列在出口连接器(4)出口处并且在每一种情况下均与出口波导(5_i)中的一个相连的多个减模波导(16_i)，其特征在于，所述扩模波导(12)和所述减模波导(16_i)的几何尺寸相同，其宽度随其长度线性变化，从而在与相关连接器连接处限定了上述扩模波导和减模波导的宽度，从而使通过某一信道的带宽最佳，而将出口信道(5_i)之间的串扰限制在一预定电平上。

15 2. 如权利要求 1 所述的多路分离器，其特征在于，它还包含： f) 入口连接器(1)与形成相位网络的波导组件(3)每一波导端部之间的减模波导(13_j)，和 g) 组件(3)每一波导另一端和出口连接器(4)之间的扩模波导(15_j)，所述扩模波导(15_j)和减模波导(13_j)具有相同的几何尺寸，所述几何尺寸的宽度随其长度作线性变化，并且所述尺寸将所述组件(3)各波导之间的邻近耦合减小到某一预定的低电平上。

3. 如权利要求 1 所述的多路分离器，其特征在于，每一连接器(2,4)包含一芯区(9,14)，并且光的传播没有在至少一个入口扩模器(12,15_j)和多个出口减模器(13_j,16_i)之间的横向限制。

25 4. 如权利要求 1 所述的多路分离器，其特征在于，所述出口波导之间的串扰对应于高于 20dB 的给定信道中的信号衰减。

5. 如权利要求 2 所述的多路分离器，其特征在于，所述组件(3)各波导之间的邻近耦合对应于高于 20dB 的给定波导中的信号衰减。

30 6. 如上述任何一个权利要求所述的多路分离器，其特征在于，所述入口波导(1)和出口波导(5)以及组件(3)的波导均是单模的，所述扩模器和所述减模器具有直线横向边缘，所述直线横向边缘向其纵轴倾斜近似 0.5°，并且在与相关入口或出口连接器的连接处，扩模器或减模器的宽度近似为 17 μ m。

7. 如权利要求 2 所述的多路分离器，其特征在于，给定信道中的带宽 λ_{FWHM}

大于近似 $\pm 0.1 \text{ nm}$ 。

8. 以光学波长多路复用器形式的如权利要求 1 至 5 中任何一个权利要求所述多路分离器的使用。

9. 以光学波长多路复用器的如权利要求 6 或 7 的多路分离器的使用。

说明书

用集成光学构成的波长多路分离器

5 本发明涉及采用集成光学构成的波长多路分离器，特别是这样的多路分离器，它包含：(a)至少一个入口波导，该波导是由几个不同波长的信道中多个光学信号馈送的；(b)多个出口波导，使得每一波导与一个上述波长信道相交 (traversed)；(c)一相邻集成波导组件，相邻集成波导从一侧连接到入口波导，从另一侧分别通过入口连接器和出口连接器连接到出口波导，使得组件的波导的长度以组件构成相位网络的方式在波导间递增；(d)排列在入口连接器入口处的扩模波导；以及(e)排列在出口连接器出口处并且在每一种情况下连接到一个出口波导的多个减模波导。

这样的多路分离器是众所周知的，特别可以从美国专利 5,002,350 中得知。为了使光学损耗最小，该专利中揭示了集成波导组件波导之间的最邻近耦合，在入口连接器出口和出口连接器入口处形成相位网络。经研究，这种连接方式对于以美国专利 5,136,671 中所揭示的方式构成的这种(类型)的多路分离是不利的。另外，这样一种多路分离器的一个重要问题是要在一可接受的预定串扰限定电平上对通入每一独立信道的带宽实行最佳化。

本发明的目的是精确构筑一种无需借助于上述强耦合而且光能损耗小的光波长多路分离器，在强耦合方式中，通过每一独立信道的带宽是按照预定的低电平串扰而最佳化的。

读者在阅读本说明书后将能实现本发明的上述以及其他的目的，上述类型的光波长多路分离器相对于下述特征是值得注意的，即，扩模波导排列在入口连接器的入口处并且与入口波导相连，而减模波导排列在出口连接器的出口处并且每一个与出口波导相连，并且几何尺寸是相同的，宽度按其长度呈线性变化，上述扩模和减模波导在与相关连接器连接处的宽度是固定的，从而使通过信道的带宽最佳，而将出口信道之间的串扰限制在预定的电平上。

按照本发明一种形式的实施例，其结构还包含：入口连接器和形成相位网络的波导组件每一波导一端之间的减模波导，和该组件每一波导另一端和出口连接器之间的扩模波导，扩模和减模波导的几何尺寸相同，宽度随长度呈线性变化，并且其尺寸把上述组件波导间的邻近耦合(proximity coupling)作用减弱到预定的低电平。

本发明的其他特征和优点在阅读了本发明的说明书和权利要求书以后将变得清楚起来。

图 1 是按照本发明的多路分离器的主要元件的结构图;

图 2 和图 3 分别是形成图 1 所示多路分离器部分的入口连接器和出口连接器的结构图;

图 4 是沿图 2 所示截线 A、B 和 C 的连接器的三个示意部分, 以及

5 图 5 用于说明通过信道的带宽实现最佳的过程与接受的串扰限制电平的函数关系, 而这是通过按照本发明的多路分离器的设计来实现的。

参见图 1, 按照本发明的多路分离器以熟知的方式包含: 入口波导 1; 入口
10 连接器 2, 它安装在波导 1 和相邻波导的相邻组件或网络 3 之间, 相邻波导正对连接到连接器 2 的部分的端部与出口连接器 4 相连, 出口连接器 4 介于这些端部
和 N 个出口波导 5_1 至 5_n 之间(本例中 $N = 8$)。

除了各种扩模器和减模器之外, 按照本发明的所有多路分离器的波导是单模的。这些波导和连接器集成在平面衬底内, 平面衬底由玻璃借助于如采用集成光学的熟知技术制成, 如借助于离子扩散或汽相化学淀积(简称为 CVD)的任何一种技术。

15 下面描述非限定性的例子。图 1 所示的多路分离器可以在波导 1 入口处从 8 个激光二极管接收经调制的光线; 这些光线位于波长 λ_1 至 λ_8 , 约 1,550nm, 使得这些波长的间距等于 $\Delta\lambda = 1.6\text{nm}$ 。多路分离器的功能是通过分别在出口波导 5_1 至 5_7 中再次找到波长为 λ_1 至 λ_7 的光线(而这些光线先前在波导 1 中是混合在一起的)这一方式, 使这些光线在多路分离器 D 的出口处分开。

20 为此, 波导组件 3 必须起到相位网络的作用。因此, 可以以熟知的方法包含多个相邻波导(例如 25 个), 使得波导的长度在波导间以增量 ΔL 增大。这个增量 ΔL 定义了一个沿组件 3 的任意两个相邻波导传播的光线之间的比例相移差 $\Delta\phi$, 因此可用作一相位网络。

现在参见图 2 和 4, 说明入口连接器 2 的结构和功能。它是通过例如在多路分离器 D 的衬底 6 上淀积一“芯”层来构筑的, 传统上是按照要形成的波导的结构蚀刻形成的, 使得层 7 被与离散光纤相应的元件相似的“覆盖”层 8 所覆盖。

检查图 4 中的截面 A、B 和 C 时, 发现图 2 中的芯层 7 包含一“自由”传播区 9, 即没有横向限制, 使得该区域 9 介于具有横向限制的区域 10 和 11 之间。

在芯层的区域 10 中, 有一个中央扩模波导 12; 区域 11 中, 有多个减模波导
30 13_j (本例中, $j = 1$ 到 25)。扩模器 12 的入口与入口波导 1 的出口相连, 而扩模器 12 的出口与芯区 9 相连, 光线在芯区 9 中的传播不受横向限制。减模器 13 的入口是规则分布的, 间距为 p , 与半径为 R 的圆弧上区域 9 的出口相交, 圆弧的曲率中心与扩模器 12 的出口重合。图 2 和图 4 的结构在径向被强烈压缩。特别是在图 2 所示的结构中, 所使用的半径为 R 的圆弧与线段 d 相似。



入口连接器 1 可以与一个以上的入口波导相连，因而可以包含许多扩模器，这些扩模器分布在相同半径 R 的圆弧上，因而曲率中心按照共焦结构位于减模器 13_j 的入口所限定的圆弧的中心处。

因此，引入波导 1 中的光横越过扩模器 2 转入芯区 9(没有横向限制)，以便通过减模器 13_j 由组件 3 的波导最后汇集起来。

图 4 所描述的出口连接器 4 是通过上面结合入口连接器 2 的描述所说明的原理设计和构筑的。与连接器 2 一样，连接器 4 包含一芯区 14，在该芯区 14 中，光的传播是不受横向限制的，因而该芯区通过一组扩模波导 15_j 与组件 3(相位网络)的波导出口相连，扩模波导 15_j 与连接器 2 的减模器 13_j 一样，以间隔 p 规则分布在半径为 R 的圆弧上。

引入多路分离器 D 的入口波导 1 的波长为 λ_i 的光线，其每一条光线均通过以间隔 p' 规则排列在按照连接器 2 所描述的共焦结构的半径为 R 的圆弧上的减模器 16_i 而由出口波导 5_i 中的一个波导汇集。这是一种对间隔为 p' 的半径为 R 的圆弧上每一减模器 16_i 的曲线-线性坐标 x 的恰当选择，间隔 p' 使这些减模器分开，可以获得波长为 λ_i (在本例中， $i = 1$ 到 8) 的光线的所要求的多路分离。读者可以看到，坐标 x 可以表述成下面的关系：

$$n_w \Delta L + n_s p \frac{x_i}{R} = m \lambda_i$$

式中：

x_i 是相应于波长 λ_i 的坐标；

n_w 和 n_s 分别是在波导和平面波导中传播的模的有效折射率(9 或 14)；

m 是衍射级。

如果选择使减模器 16_i 具有恒定的间隔 p' ，则在相位网络 3 出口处由扩模器 15_j 形成的圆弧曲率中心处衍射的多路分离波长组的中心波长 λ_0 与这些波长的间距 $\Delta \lambda$ 可以表示成如下关系：

$$\Delta L = m \frac{\lambda_0}{n_w}$$

$$\frac{dx}{d\lambda} = \frac{m \cdot R \cdot n_g}{n_s \cdot p \cdot n_w} = \frac{p}{\Delta \lambda}$$

式中， $dx/d\lambda$ 是装置的波长弥散。

$n_g = n_w(1 - dn_w/d\lambda)$ 是组(group)折射率。

最后，出口波导 5_i 的数 N 必须保持在相位网络的自由光谱间隔 ISL 内，即：



$$N\Delta\lambda < ISL = \frac{\lambda}{m}$$

一般，将接收功率 P_1 信号并发射功率 P_2 信号的光学装置所获得的以分贝表示的衰减(Att_{db})用分贝(db)表述成下面的关系:

$$Att_{db} = -10 \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

5 按照本发明的多路分离器 D 的重要特征，扩模器 12 和减模器 16 具有相同的几何尺寸，并呈锥形，因而它们的宽度随其长度呈线性变化。结合图 5 读者将看到，它们确定的模的扩大或减少可以以这样的方式来选择，即，通过保持某一串扰限制电平使通过多路分离信道的带宽为最佳(例如在 3dB)，而串扰限制电平又是用剩余光信号在去多路分离信道以外的信道波长上的衰减量测得的。

10 因此，读者应当注意，按照本发明可以获得受到限制的串扰，而无需采用诸如扩模器 12 的扩模器。但是，在多路分离器的出口处，通过每一信道的带宽(band)将极窄，多路分离器成为无用。

又，按照本发明，多路分离器 D 的入口处和出口处使用的扩模器和减模器的几何尺寸是相同的，它使光能的损耗为最小，因为通过这种途径，可以避免入口
15 波导和出口波导之间模的不一致。

按照本发明的另一个特征，相位网络 3 波导两端安装的减模器 13_j 和扩模器 15_i 也具有相同的几何尺寸，其宽度随其长度线性变化，并且它们具有这样的尺寸，即将网络波导之间的邻近耦合作用减小到一可忽略的值。

20 邻近耦合对给定的网络波导与其相邻波导之间的光传播负有责任，并且可以表征为光信号在穿过相位网络以后留在波导中的衰减量。如果假定网络的单个波导是由信号 P_1 激励并发射信号 P_2 ，那么该衰减量可以借助于上述的一般关系来计算。这里考虑，如果网络每一波导中的信号衰减大于 20dB，那么网络波导之间的邻近耦合可以忽略。按照本发明的多路分离器的这一良好的功能特征在前文中引述的美国专利 5,002,350 中所揭示的多路分离器中是没有的。

25 如上所述，具有上述尺寸的扩模器 12 和减模器 16_i 是相邻信道中的串扰与以波长表示的信道宽度之间的折衷。

人们已经注意到，置于出口连接器 4 出口处的减模器 16_i 是通过按照所要求的波长来选择的方式排列的。如果选择以间隔 p' (以 μm 表示)来排列减模器 16_j ，则具有弥散 $dx/d\lambda$ 的多路分离器产生按照下述关系以波长 $\Delta\lambda$ (以 nm 表示)规则
30 分开的信道:

$$p' = \frac{dx}{d\lambda} \Delta\lambda$$



如果入口连接器 12 和出口连接器 4 具有相同的尺寸, 则出口连接器 4 出口处相位网络 3 衍射的模与入口连接器 2 入口处模式扩模器 12 的出口处形成的模相同, 并且其位置 x_i 取决于正被考虑的信道的波长 λ_i 。馈送到出口连接器 4 出口处模式减模器 16_i 内的光是衍射模与减模器入口处接受的模之间的总和。因此, 5 通过把这些模的幅度放置在高斯近似框架内, 表征为具有被考虑的相邻信道波长的光信号的衰减的耦合系数可以简单地用函数表示为:

$$Att_{dB} = 4.34 \left[\frac{\frac{dx}{d\lambda} (\lambda - \lambda_i)}{w} \right]^2 \quad (1)$$

10 式中, Att_{dB} 是以分贝表示的光信号的衰减, λ 是相邻被考虑的信道波长 λ_i 的波长, w 是在入口连接器扩模器 12 出口处和出口连接器减模器 16_i 入口处形成的强度曲线(intensity profile)的最大值的 $1/e^2$ 处测得的模半径。

函数(1)图示于图 5 中, 图中示出了模 w 不同半径值的情况。在信道 λ_i 的中心处具有较大曲率的曲线 17 对应于 $4 \mu m$ 的模 w 半径, 曲线 18 对应于 $6 \mu m$ 的模 w 半径。

15 如果假设可以将每一多路分离的信道应用于围绕其中心波长的功能频带 $\pm d$ λ 内, 则相邻信道中经多路分离的信道的串扰 $Xtalk$ 可以由下式把 $\lambda - \lambda_i$ 项以信道中心的波长 $(\Delta \lambda - d \lambda)$ 来替换间隔而计算得到:

$$Xtalk = 4.34 \left(\frac{\frac{dx}{d\lambda} (\Delta \lambda - d \lambda)}{w} \right)^2$$

20 曲线 17 的串扰 $Xtalk$ 在 49dB 以上, 比起通常的 22dB 串扰的指标要优越得多。当 $\Delta \lambda = 1.6nm$ 时, 在相邻信道的功能频带 $(\pm 0.4nm)$ 极限处, 曲线 18 上测得的串扰准确地是 22dB。

在光信号的预定衰减电平(例如 3dB)处定义的信道波长峰值的宽度 $\Delta \lambda_{FWHM}$ 对于二曲线 17 和 18 是不同的。在等式(1)中, $\lambda - \lambda_i$ 项用峰值的半宽度 $\Delta \lambda_{FWHM}/2$ 来代替, 则得到下面的形式:

$$\Delta \lambda_{FWHM} = \frac{2w \sqrt{Att_{dB}}}{\frac{dx}{d\lambda} \sqrt{4.34}}$$



在光信号的 3dB 衰减处，信道宽度(以波长表示)的表达式简化成下面的形式:

$$\Delta\lambda_{FWHM} = 1.66 \left(\frac{w}{\frac{dx}{d\lambda}} \right)$$

当模 w 的半径从 4 μ m 增加到 6 μ m 时，以波长表示的信道宽度从 0.66nm 增加到 0.88nm，即，在 3dB 衰减下的带宽大于使用频带 ± 0.4nm。

所以，通过调整扩模器 12 出口处和减模器 16_i 入口处形成的公共模 W 的半径，超过 22 分贝的串扰可以被转换成更大的信道宽度(以波长计)。这一半径 w 的选择使得人们可以为其宽度必须明显是 2w 数量级的扩模器或减模器大宽度端部提供所需的尺寸。

10 通过上述描述的非限定例子，现在我们可以描述按照本发明设计用来满足下述特征的一种形式的多路分离器的实施例:

- 信道数(N) = 8
- 以波长表示的信道间距(Δ λ) = 1.6nm
- 中心波长(λ₀) = 1,550 nm
- 15 - 相邻信道中的串扰(X_{talk}) = 22dB
- 去多路分离的信道的功能频带(± d λ) = ± 0.4 nm
- 每一信道中 3dB 的带宽(Δ λ_{FWHM})尽可能大。

为了获得这些特征，人们必须首先定义衍射级(m)，该衍射级在网络 3 的自由频谱间隔(ISL)中提供 8 个间距为 1.6nm 的信道。事实上，人们选择一个小于该极限(121)的衍射级，以便使 8 个信道或 m = 60 的光损耗的变化最小。

人们可以容易地推算出形成相位网络的组件 3 波导长度的增量 Δ L:

$$\text{对于 } n_w = 1.45, \Delta L = m \lambda_0 / n_w = 64.14 \mu m$$

为了使按照本发明的多路分离器做得很小，组件 3 的波导入口端和出口端必须尽可能接近，然而必须使信道之间邻近耦合的衰减保持在大于上述的 20dB。

25 所以，人们选择:

$$p = 18 \mu m$$

按照本发明，引入多路分离器的扩模器和减模器具有向扩模器或减模器的纵轴倾斜 0.5°的直线横向边缘，使其一端具有 17 μ m 最大宽度，另一端具有 6.7 μ m 最小宽度，这对应于波导在制造过程中这一端所连接的单模波导的直径，确保折射率比 Δ n/n = 0.75%。

对于减模器 16_i 的间隔 p'，人们可以选择等于 p 或 p' = 18 μ-m 的值，以便在



任何时候都使邻近耦合保持在 20dB 以上。

最后，人们分别按照排列在出口连接器 4 的入口和出口的扩模器和减模器选择圆弧的公共半径，以便获得一间距 $\Delta \lambda = 1.6\text{nm}$ 。该半径是：

$$R = \frac{n_s \cdot p \cdot p' \cdot n_x}{m \cdot \Delta \lambda \cdot n_g} = 4893.75 \mu\text{m}$$

5 如此计算的参数可以构筑入口连接器 2 和出口连接器 4，因而应当是(与连接器 2 的入口和连接器 4 的出口数)相同的，以便避免入口波导和出口波导之间模的不一致。

当然，本发明并不局限于上面通过举例描绘和描述的实施例形式。所以，如上所述，入口连接器可以同样通过许多扩模器连接到数个入口波导，从而这些入口可以交替使用。按照光的可逆原理，本发明的多路分离器还可以用于光波长多路分离器的形式。

10

说明书附图

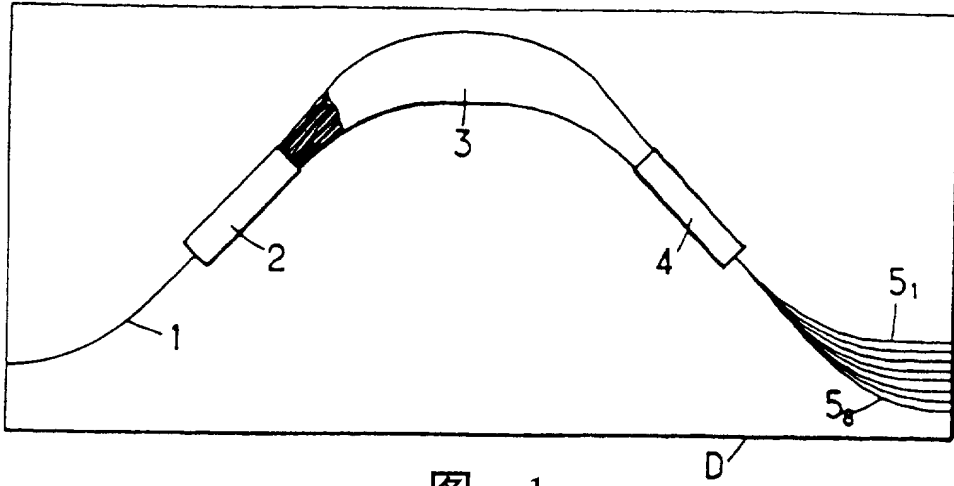


图 1

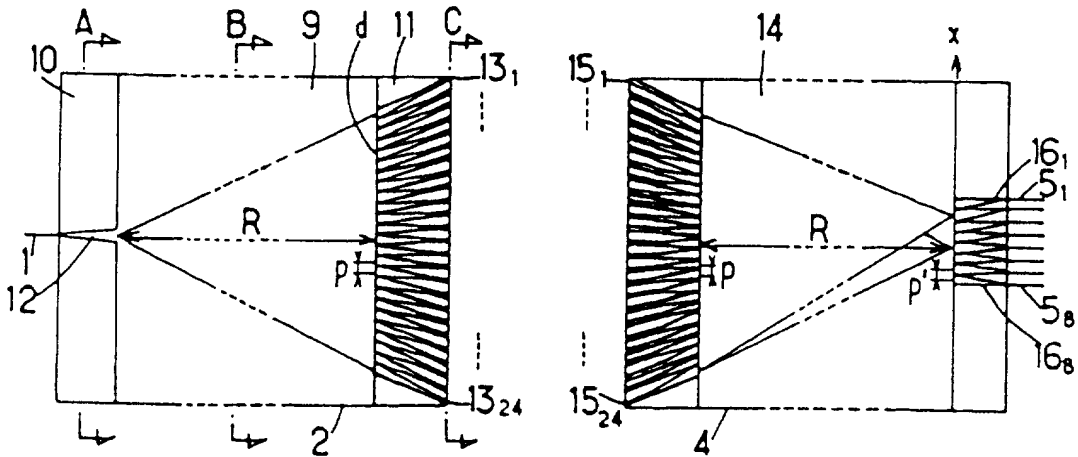


图 2

图 3

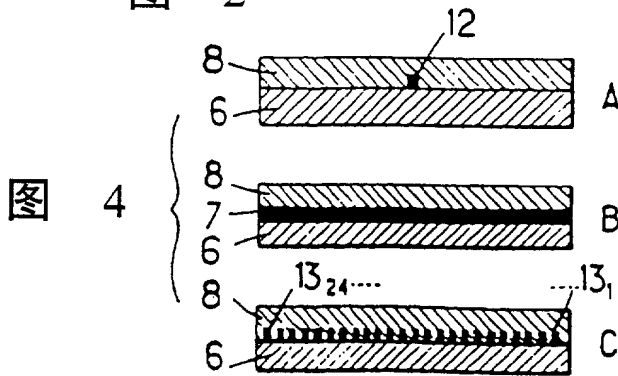


图 4

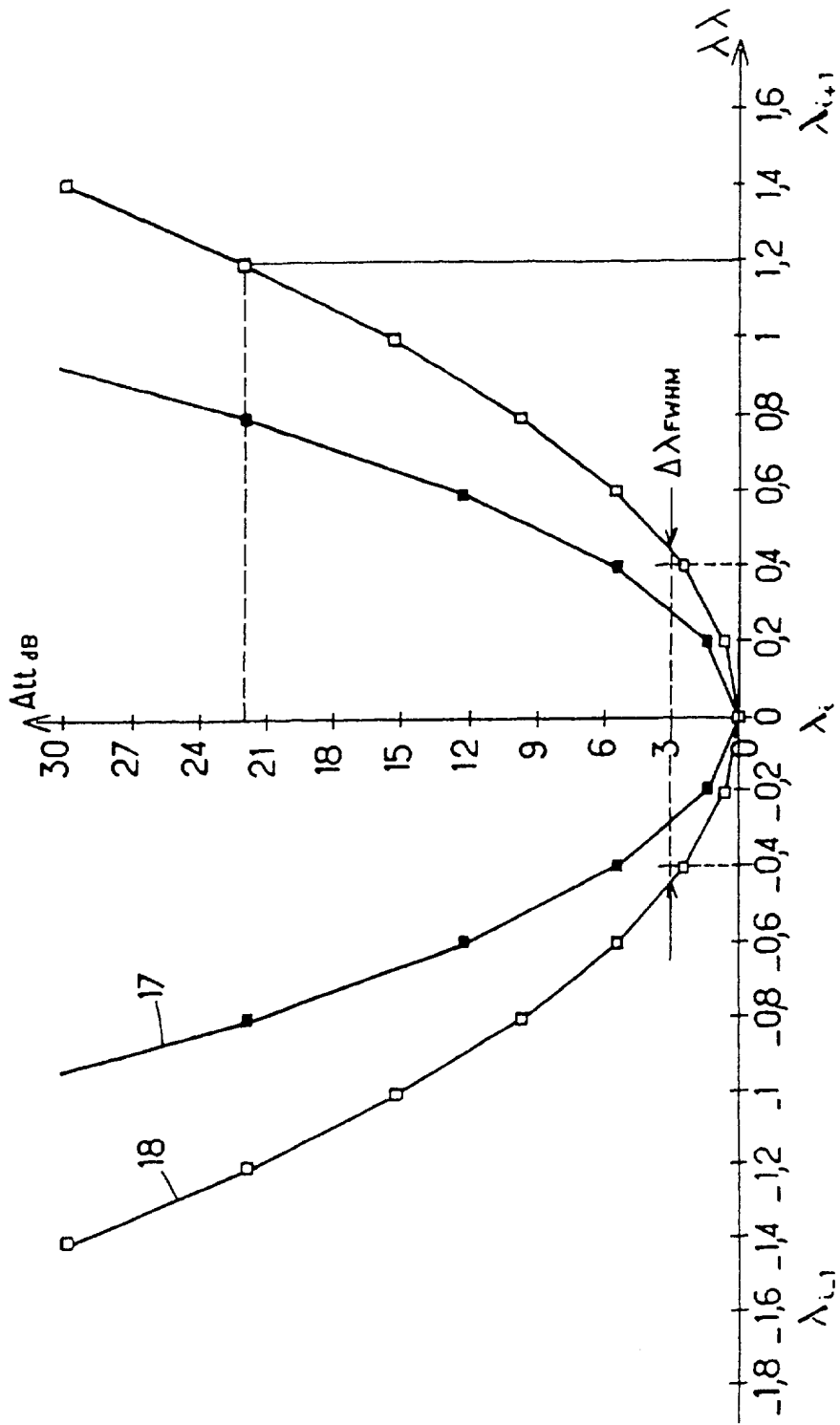


图 5