



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94105446.2

[51]Int.Cl<sup>5</sup>

G02B 6/10

[43]公开日 1995年6月14日

[22]申请日 94.4.8

[30]优先权

[32]93.7.16 [33]JP[31]176974 / 93

[71]申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

[72]发明人 筱冈英资 金森弘雄 菅沼宽

石川真二 齐藤达彦

[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

代理人 范本国

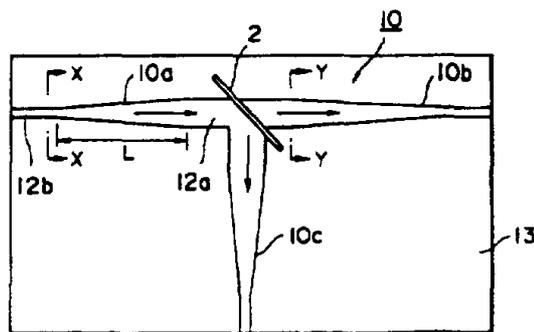
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 光波导器件

[57]摘要

本发明涉及一种光波导器件，它包括一个光波导衬底和一个位于衬底上的光波导，该光波导具有一个作为光透射通道的光波导区，一个用于插入一个光功能部件的插入区，该插入区域内传输光的模场宽度大于光波导区中传输光的模场宽度，该光波导还具有一个配置在光波导区和插入区之间的光连接区，以便改变在其里面传输光的模场宽度。



(BJ)第 1456 号

1. 一种光波导器件, 包括:
  - 一个光波导衬底和
  - 一个位于所述波导衬底上并由里面能传输光的纤芯和覆盖在所述纤芯上的包层构成的光波导, 所述的光波导具有:
    - 带有一个至少具有两个输入/输出端的光波导区, 所述的光波导区适合作为光的透射通路;
    - 带有至少一个输入/输出端的插入区, 在该区内传输光的模场宽度大于所述光波导区的预定部分传输光的模场宽度, 所述插入区适合于插入用于完成一预定功能的光功能部件; 以及
    - 带有直接同所述光波导区的一个输入/输出端相连的第一输入/输出端和直接同所述插入区的所述输入/输出端相连的第二输入/输出端的第一光连接区, 所述第一光连接区适合作为一个改变在里面传输光的模场宽度的区域。
2. 如权利要求1所述的器件, 其特征在于, 所述的第一光连接区的所述第一输入/输出端具有同所述的光波导区的所述的一个输入/输出端的纤芯尺寸相同的纤芯尺寸, 以及
  - 所述第一光连接区的所述第二输入/输出端具有同所述的插入区的那个输入/输出端的纤芯尺寸相同的纤芯尺寸, 所述的第二输入/输出端的纤芯尺寸大于所述第一输入/输出端的纤芯尺寸。
3. 如权利要求2所述的器件, 其特征在于, 所述第一光连接区纤芯的截面为锥形, 其在相对所述波导衬底的主平面的水平方

向沿从第一光连接区的所述第二输入/输出端到第一输入/输出端的方向相对所述纤芯的光轴成一预定锥角。

4. 如权利要求1所述的器件,其特征在于所述的第一光连接区的所述第一输入/输出端的纤芯尺寸同所述的光波导区的纤芯尺寸相同,以及

所述第一光连接区的所述第二输入/输出端的纤芯尺寸同所述插入区的所述这输入/输出端的纤芯尺寸相同,所述第二输入/输出端的纤芯尺寸小于所述第一输入/输出端的纤芯尺寸,而且比一个将所述第一连接区的传输光的模场宽度限制到最小的纤芯尺寸还小。

5. 如权利要求4所述的器件,其特征在于所述的第一光连接区的纤芯截面为锥形,其在相对所述衬底主平面的水平方向沿从第一光连接区的所述第一输入/输出端到第二输入/输出端的方向相对所述纤芯的光轴成一预定锥角。

6. 如权利要求1所述的器件,其特征在于在包括所述的插入区和所述的第一光连接区的区域中的纤芯和包层之间的折射率的差小于在所述光波导区的预定部分中的纤芯和包层之间的折射率的差。

7. 如权利要求6所述的器件,其特征在于在所述的第一光连接区的纤芯和包层之间的折射率差在沿第一光连接区的所述第一输入/输出端到第二输入/输出端的方向是连续减小的。

8. 如权利要求1所述的器件,还包括:带有直接同一个插入区的一个输入/输出端相连的第一输入/输出端和直接同另一插入区的一个输入/输出端相连的第二输入/输出端的第二光连接区,

在所述第二光连接区内传输的光的模场宽度等于同所述第二光连接区域相连的插入区内传输的光的模场宽度。

9. 如权利要求8所述的器件,其特征在于所述第二光连接区的所述第一和第二输入/输出端的纤芯尺寸等于同所述的第二光连接区相连的所述插入区的所述那些输入/输出端的纤芯尺寸,同所述第二光连接区相连的所述那些插入区的纤芯尺寸大于在所述光波导区预定部分的纤芯尺寸。

10. 如权利要求9所述的器件,其特征在于同所述第二光连接区相连的所述插入区具有至少一个同所述第一光连接区的所述第二输入/输出端相连的输入/输出端,所述第一光连接区的纤芯截面为锥形,其在相对所述波导衬底主平面的水平方向沿从第一光连接区的所述第二输入/输出端到第一输入/输出端的方向同所述纤芯的光轴成一预定的锥角。

11. 如权利要求8所述的器件,其特征在于上述第二光连接区的所述第一和第二输入/输出端的纤芯尺寸等于同所述第二光连接区相连的所述插入区的所述输入/输出端的纤芯尺寸,所述的同第二光连接区相连的插入区的纤芯尺寸小于所述光波导区的预定部分的纤芯尺寸,并且小于使在同所述第二光连接区相连的所述插入区传输的光的模场宽度尽可能小的纤芯尺寸。

12. 如权利要求11所述的器件,其特征在于同所述的第二光连接区相连的所述插入区具有至少一个同所述第一光连接区的第二输入/输出端相连的输入/输出端,所述的第一光连接区的纤芯截面为锥形,其在相对所述波导衬底的主平面为水平方向上沿从第一光连接区的第一输入/输出端到第二输入/输出端的方向同所

述的纤芯的光轴成一预定锥角。

13. 如权利要求8所述的器件,其特征在于在所述第二光连接区中的纤芯和包层之间的折射率差等于在同第二连接区相连的插入区中的纤芯和包层之间的折射率差,并小于所述光波导区的预定部分中的纤芯和包层之间的折射率差。

14. 如权利要求13所述的器件,其特征在于,所述的同第二光连接区相连的插入区具有至少一个同所述第一光连接区的第二输入/输出端相连的输入/输出端,在所述的第一光连接区内的纤芯和包层之间的折射率的差沿从第一光连接区的第一输入/输出端到第二输入/输出端方向连续减少。

15. 一种光波导器件包括:

一个波导衬底;和

一个位于所述波导衬底上并由用于里面传输光的纤芯和覆盖所述纤芯的包层构成的光波导,所述的光波导具有:

一个带有至少两个输入/输出端的光波导区,所述的光波导区适合于作为光透射的通路;

一个带有至少一个输入/输出端的插入区,该输入/输出端的纤芯尺寸大于在所述光波导区的预定部分的纤芯尺寸,所述插入区适合于插入一个用于完成预定功能的光功能部件;以及

一个具有直接同所述的光波导区的一个输入/输出端相连的第一输入/输出端和直接同所述的插入区的所述输入/输出端相连的第二输入/输出端的第一光连接区,所述第一输入/输出端的纤芯尺寸等于所述光波导区的所述输入/输出端的纤芯尺寸,所述第二输入/输出端的纤芯尺寸等于所述插入区的所述输入/输出端的纤

芯尺寸。

16. 如权利要求15所述的器件，其特征在于所述的第一光连接区的纤芯截面为锥形，其在相对所述波导衬底的主平面的水平方向沿从第一光连接区的第二输入/输出端到第一输入/输出端的方向同所述的纤芯的光轴成一个预定的锥角。

17. 如权利要求15所述的器件，还包括一个具有直接同一个插入区的一个输入/输出端相连的第一输入/输出端和一个直接同另一个插入区的一个输入/输出端相连的第二输入/输出端的第二光连接区，所述的第二光连接区的所述第一和第二输入/输出端的纤芯尺寸等于同所述第二光连接区相连的插入区的输入/输出端的纤芯尺寸。

18. 一种光波导器件包括：

一个波导衬底和

一个位于所述的波导衬底上并由用于在里面传输光的纤芯和一个覆盖所述纤芯的包层构成的光波导；所述光波导具有：

带有至少两个输入/输出端和一个预定部分所要求的纤芯尺寸的光波导区，所述的光波导区适合作为光的透射通路；

一个具有至少一个输入/输出端的插入区，该输入/输出端的纤芯尺寸小于所述光波导区的纤芯尺寸，所述插入区适合于插入一个用于完成预定功能的光功能部件；以及

一个带有直接同所述光波导区的输入/输出端相连接且纤芯尺寸同所述光波导区的纤芯尺寸相同的第一输入/输出端和一个直接同所述插入区的所述输入/输出端相连接的且纤芯尺寸同所述插入区的纤芯尺寸相同的第二输入/输出端的第一光连接区，所述第二

输入/输出端的纤芯尺寸小于所述的第一输入/输出端的纤芯尺寸，且小于一个尽可能使在所述的第一连接区中的传输光的模场宽度小的纤芯尺寸。

19. 如权利要求18所述的器件，其特征在于所述的第一光连接区的纤芯截面为锥形，其在相对所述波导衬底的主表面的水平方向沿从第一光连接区的第一输入/输出端到第二输入/输出端的方向同所述的纤芯的光轴成一预定的锥角。

20. 如权利要求18所述的器件还包括：

一个具有直接同一个插入区的输入/输出端相连的第一输入/输出端和直接同另一插入区的输入/输出端相连的第二输入/输出端的第二光连接区，所述第二光连接区的所述第一和第二输入/输出端的纤芯尺寸等于同所述的第二光连接区域相连的所述插入区的那些输入/输出端的纤芯尺寸。

21. 一种光波导器件、包括：

一个波导衬底，和

一个位于在所述波导衬底上并由用于在里面传输光的纤芯和覆盖所述纤芯的包层构成的光波导，该光波导具有：

一个具有至少两个输入/输出端的光波导区，所述的光波导区适合作为一个光透射通道，

一个具有至少一个输入/输出端的插入区，在所述的插入区内的纤芯和包层之间的折射率差小于在所述的光波导区的预定部分的纤芯和包层之间的折射率差，所述的插入区适合插入用于完成预定功能的光功能部件；以及

一个具有直接同所述光波导区的一个输入/输出端相连的第一

输入/输出端和直接同所述的插入区的所述输入/输出端相连的第二输入/输出端的第一光连接区,在所述的第一光连接区内的纤芯和包层之间的折射率的差沿从其所述的第一输入/输出端到第二输入/输出端的方向连续地变小。

## 光波导器件

本发明涉及一种光波导器件的结构，该光波导器件在将一个完成光学分路、耦合、开关等作用的功能部件插入光波导的光路中时起作用。本发明特别涉及一种在功能部件的插入区域具有低传输损耗并易于制造的器件的结构。

一个在一毫米量级的小区域内完成光学分路、耦合、开关等作用的光学器件是使光通讯系统或光检测器等减小尺寸或增加功能的一个非常重要的组成元件。例如这样一种光学器件，即所谓分区插入式的光波导器件在近年来已引起人们的重视，所述的光波导器件借助插入在光波导中完成光学功能（例如光分路、耦合和开关等）的功能部件起作用。

在这种光波导器件中，例如光分路、耦合等功能通常是通过制造一个定向耦合器模型或一个光波导模型来完成，这类模型在一个波导衬底上具有一个例如成Y形或X波导的光波导结构。其开关功能是通过改变向耦合器的传播常数完成的。

同上述方法不同的方法可以通过将一个完成光分路、耦合和开关等功能的功能部件装在波导衬底上形成的光波导光路上完成。

图1示出一个为完成光分路功能的传统的分区插入式光波导器件的结构。在这个传统的光波导器件中，用作分束的功能部件半透明反射镜2被插在T形光波导1的相贯部分（需插入功能部件的插

入区域)。半透明反射镜2相对入射到它上面的光的光路成 $45^\circ$ 角。在这种传统的光波导器件内，光波导1的纤芯宽度是不变的（在纤芯和金属之间的折射率之差也是常数）。在这种结构中，透过入射侧光波导1a（半透明反射镜2的入射侧）的光被半透明反射镜2分束到透射侧光波导1b（半透明反射镜2出射侧光波导）和反射侧光波导1c（半透明反射镜2的反射侧光波导）中。

下面将描述这种传统的光波导器件的制作步骤。用激光束加工等工艺除去事先在光波导衬底（在图1中用一个矩形表示的部分）上形成的T形光波导1的相贯区段（待插入那个光功能部件的插入区域）的部分，以便形成供插入半透明反射镜2的间隙。然后将作为功能部件的半透明反射镜2插入。

传统的光波导器件是通过完成上述制作步骤制作的。

制作用于光分路的光波导器件步骤的例子如下：

将先在光波导衬底上形成的T形光波导1的相贯区域的部分用激光束加工等工艺除去，以便在去掉的那部分位置上插入一个功能部件（例如半透明反射镜或分束镜）。然后将能完成所需要功能的功能部件插入到用激光工艺等形成的间隙中。通常制成这种光波导的材料和加工出的间隙具有不同的折射率，因此，由于在这个区段发生衍射而引起附加损耗。这种附加损耗是一种由于不同于传输光的衰减的其它因素引起的透射损耗。如果半透明反射镜插入的位置不正确，使入射在这个半透明反射镜上的光的传播路径发生改变，又再次引起附加损耗。

因此，为了精确插入功能部件，必需要以微米或亚微米精度的量级进行。采用本发明的光波导器件，不需要采用上述为了降

低由衍射引起的附加损耗及提高差的分区插入精度的那种防范措施。此外，这种器件便于加工，且重复性好（不需要高精度的工艺），并且同传统的器件相比，能降低在插入区域的透射损耗。

本发明的光波导器件不限于用于光学分路的光波导器件，还可以适用于为完成光耦合，开关等功能而插入一个功能部件的其它分区插入式光波导器件。

本发明的光波导器件包括一个光波导衬底和一个在光波导衬底上形成的并具有一个传输光的纤芯及覆盖在该芯上的包层的光波导。该光波导包括：一个或至少两个作为光信号透射光路的光波导区；一个具有至少一个光信号的输入/输出端的插入区，用于完成所要求功能的光学部件被插入该插入区中；还包括一个具有直接同光波导区的一端相连接的第一输入/输出端和直接同插入区域的输入/输出端相连的第二输入/输出端的第一光连接区域。在插入区中的光传输模场宽度比光波导区任意部分的光的模场宽度大。

具体地说，第一光学连接区有一个适合于将具有传输光的不同模场宽度的插入区同光波导区相连的结构。换句话说，第一光学连接区具有这样一个结构，该结构用于将从光波导区侧入射的光的模场宽度改变为发射到插入区侧的光模场宽度，或将从插入区侧输入的光的模场宽度变为发射到光波导区侧的光的模场宽度。就一个具体结构而言，第一光连接区的纤芯的尺寸（例如在相对光波导衬底的主面的水平方向的纤芯宽度）从同光波导区相连的第一输入/输出端朝向同插入区相连的第二输入/输出端是逐渐增加的。上述第一连接区的纤芯的尺寸从同光波导区相连的第一输入/输出

端到同插入区相连的第二输入/输出端是逐渐减少的。这时，调整这个芯尺寸，使得在同插入区连接的表面附近的第一光连接区的纤芯尺寸比具有最小传输光模场宽度的纤芯尺寸小。在这种布置下，在沿着光波导衬底的表面的水平方向纤芯的截面形状以预定的锥角沿光传输的方向变窄或变宽。换言之，这个纤芯截面的形状可以类似一个梯形。

本发明光波导器件的光波导也可以包括一些插入区，在这种情况下，在每对插入区之间配置一个第二光连接区，以便提供一个同在这些插入区传输光的模场宽度基本相同的模场宽度。第二连接区的纤芯尺寸基本上同每对插入区的纤芯尺寸相同。这个纤芯尺寸在入射侧和出射侧基本上不变化。

如上所述，借助于将光波导区，第一和第二光连接区和插入区任意组合在光波导衬底上形成的光波导中，在配置有直接同插入区相连的那个第一和/或第二光连接区的纤芯和包层之间的折射率的差比在光波导区预定段的纤芯和外包层之间的折射率差小。

图2示出了在本发明的光波导器件中的光波导的光轴产生偏离时的附加光损耗与轴偏离的关系曲线。图2中虚线表示将传输光的模场宽度调到 $8\mu\text{m}$ 时光波导的情况，实线表示将传输光的模场宽度调到 $18\mu\text{m}$ 时光波导的情况。

模斑尺寸是一个用二维表示的传输光的分布参数，该传输光是位于光波导衬底上的光波导的预定部分上的传输光。换句话说，假如将光波导垂直于光传播方向切割，模斑尺寸意指在光波导的这个截面上具有预定光强或大于该预定光强的光分布尺寸。具体地说，可以通过将横坐标轴设定为离开纤芯的光轴的距离，将光

强度设为纵轴来表示这种二维分布。

在本说明书中，在光波导衬底的水平方向的光强的光分布面积为  $1/e^2$  或大于  $1/e^2$ ，其峰值被定义为模场。模场宽度统一由按上述方式限定模场的水平方向最大的总宽度限定。另一方面，模斑尺寸（通用的参数）可以用来代替模场宽度，以便表示本发明的特性。

从图 2 中可以明显地看出，当增大模场宽度时，由偏离光轴引起的附加光损耗的绝对值减少。换言之，附加光损耗的离轴相关性降低。因此，在本发明的光波导器件中，传输光的光波导光路具有一个使在插入一个光功能部件（例如半透明反射镜或分束器）的插入区的模场宽度比在其它区的模场宽度增加的结构。据此，即使不能准确地插入功能部件，同传统的不能使模场宽度增加的情况相比，其附加光损耗可被抑制。

模场宽度随着传输光的波长、在光波导纤芯和包导间的折射率的差、纤芯的宽度、纤芯的厚度等而改变。因此，在插入功能部件的插入区的模场宽度可以增加。如果将在插入区的输入/输出端的纤芯宽度调整到与其它区的纤芯宽度不同的数值（大于或小于其它区的纤芯宽），就可以有效地改变模场宽度。

由于这个理由，根据本发明的方案，在第一和第二输入/输出端之间设置一个具有能使上面纤芯的尺寸（芯宽）线性变化的结构的连接区。

图 3 为表示位于光波导衬底上的光波导纤维的纤芯宽度和模场宽度之间关系的曲线图，图 3 所示的例子光波导器件是通过将光波导调整成  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  型、在作为预期的光波导的纤芯和包层之间

的折射率差为 0.30%，纤芯的厚度为  $7\mu\text{m}$  而制成的。

从图 3 中还可以看出，如果这个光波导上的光波导区的纤芯宽度例如为  $7\mu\text{m}$  时，则通过增大插入区内的纤芯宽度使其大于  $7\mu\text{m}$  (由图 3 中的 P 所指示的范围) 可使这个区 (插入区) 的模场宽度增加。另一方面，如图 3 所示，当纤芯宽度减小到小于予定值时，模场宽度也增加。这是因为当纤芯宽度减少时，纤芯的光功率限制能力超过其极限值，因此，在图 3 的例子中，当光波导区的纤芯宽度为  $4\mu\text{m}$  时，通过使插入区的纤芯宽度降低到约  $2\mu\text{m}$  (在图 3 中用 Q 指示的范围) (注意上述所有纤芯宽度是在纤芯的厚度为  $7\mu\text{m}$  的情况下的值) 可以提高模场宽度。

为了增加模场宽度，还可以采用一种使光波导的纤芯和包层之间的折射率差减少的措施。图 4 为表示纤芯和包层之间的折射率的差同模场宽度之间的关系曲线图。在图 4 示出的例子的光波导器件中，其光波导被调整成  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  型，作为予期的光波导的宽度和厚度二者都被调整到  $2\mu\text{m}$ 。

从图 4 中可以看出，通过减少纤芯和包层间的折射率差可以增加模场宽度。

根据下述的详细说明的附图，可以更清楚地理解本发明，这些说明和附图只是作为举例而不应对认为是对本发明的限制。

从下述的详细说明可以使本发明的使用范围更加清楚，但是不难理解，在指出本发明的最佳实施例的同时，这个详细说明和具体的例子只是作为举例，因为本领域的普通技术人员根据上面的详细说明可以在本发明的范围内作出各种改变和改型。

图 1 为表明一个传统的光波导器件的结构视图；

图2表示将一个光学功能部件插入插入区后引起的光轴的偏差和在具有不同模场宽度的两类光波导的每一个光波导中的附加光损耗之间的关系曲线;

图3为表示纤芯宽度和具有恒定纤芯厚度的光波导的模场宽度之间的关系曲线图;

图4为表示在纤芯和覆盖在纤芯上的包层之间折射率差和在光波导中传输的光模场宽度间的关系曲线图;

图5为表示本发明的完成光分路功能的一个实施例的光波导布置视图;

图6为用于说明图5中所示的由该光波导构成的光波导器件的各个区的视图;

图7为用于说明等同于图5中所示的由该光波导构成的光波导器件的各个区的视图;

图8为图5所示的光波导器件和图15中所示的光波导器件沿线X-X剖开的光波导区A剖视图;

图9为图5和15中所示的光波导器件沿线Y-Y和Z-Z剖开的光波导区A的视图;

图10为图5所示的光波导器件(20个样品)的损耗频率分布曲线图;

图11为图1所示的传统的光波导器件(20个样品)的损耗频率分布曲线图;

图12为在沿传输到光波导的光的传播方向看去的连接区C的长度(锥长)和在本发明的光波导器件中的附加损耗之间的关系曲线图;

图 13 为表示作为在图 15 中所示的光波导器件的比较例子的光波导型开关的结构视图；

图 14 为说明构成在本发明的光波导器件应用中的光波导的各个区域的视图；

图 15 为表示作为本发明的光波导器件一种应用的光波导型开关结构的视图；

图 16 为表示作为一个传统的光波导器件的光波导型开关的结构视图，以便用于同图 15 所示的光波导器件相比较；

图 17 为表示图 13 所示的那种光波导器件 (20 个样品) 的损耗频率分布曲线图；

图 18 为表示图 15 所示的那种光波导器件 (20 个样品) 的损耗频率曲线图；以及

图 19 为表示图 16 所示的传统的光波导器件 (20 个样品) 的损耗频率曲线图。

下面参考图 5-19 描述本发明的光波导器件。注意在附图中相同的部分用相同的标号表示，其具体说明从略。

图 5 示出作为本发明光波导器件的一个典型实施例的具有光分路功能的分区插入式光波导器件的结构。该光波导器件由一个波导衬底和一个形成在波导衬底上的 T 形隐埋式  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  光波导 10 组成。作为光功能部件的半透明反射镜 2 插在光波导 10 的相贯部分 (可能适合插入功能部件的插入区)。可以用一个介电薄膜作为这种光功能元件。

如图 6 所示，光波导 10 至少由三种类型的区域 A、B 和 C 组成。

区域 A 是一个具有至少两个输入/输出端的光波导区，区域 A 适

合用作光传输的通道。

区域B是一个至少具有一个透过光的输入/输出端的区域。这个区域是一个适合于插入一个用于完成预定功能的光功能元件的插入区。在区域B中传输的光的模场宽度大于在光波导区域的预定部分的光模场宽度。

区域C是一个具有直接同光波导区域的一个输入/输出端相连的第一输入/输出端和同插入区域的输入/输出端直接相连的第二输入/输出端的区域。区域C是可用于改变在其上的传输光的模场宽度的第一光连接区。

图5、6和7所示的每种光波导器件都具有一个借助连续改变第一连接区C的纤芯宽度来改变传输光的模场宽度的结构。

具体地说，可以利用溅射、化学气相沉积火焰喷镀等工艺制造形成在光波导衬底上的光波导10。如果打算形成以石英为基的光波导，则用火焰喷镀是有效的，因为这样可以降低损耗。用火焰喷镀的方法制造 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 光波导10的工艺公开在<<Optorionics>>(1992) No 6 "Small-LOSS Quartz-Based Optical Waveguide"中，其内容概括如下：

更具体地说，将利用在氢氧火焰中燃烧的 $\text{SiCl}_4$ 和 $\text{TiCl}_4$ 的气体混合材料所获得的细玻璃颗粒沉积在Si衬底(波导衬底)11上。在这种火焰喷镀中对细玻璃颗粒的组分进行控制，借此形成一种由一个下层 $\text{SiO}_2$ 包层(作为光波导10的予期包层的一层)和一个 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 芯层(作为光波导10的纤芯)组成的两层细颗粒膜层。

接着，在电炉中将上述二层细颗粒层(下层 $\text{SiO}_2$ 包层和 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 纤芯层)加热到 $1000^\circ\text{C}$ 或更高温度，以便形成一个透明的平面

的光波导层。然后用活化离子刻蚀除去不需要的玻璃层部分而形成脊状纤芯。

最后再用火焰喷涂工艺在纤芯上覆盖一层 $\text{SiO}_2$ 顶包层，并使之变成一层透明玻璃层，以构成光波导10的包层，从而制造出光波导器件。

图5所示的由入射侧（功能部件的入射侧），透射侧和反射侧（二者均在该功能部件的反射侧）的光波导10a、10b和10c构成的实施例中，每个连接区域C的纤芯宽度在朝向功能部件的T形插入区（具有三个输入/输出端）的方向以锥形方式增加。

此外，在图7所示的由入射侧（功能部件的入射侧），透射侧和反射侧（二者均在该功能部件的反射侧）的光波导10a、10b和10c构成的实施例中，每个连接区域C的纤芯宽度在朝向功能部件的T型插入区（具有三个输入/输出端）的方向呈锥形减小。在按这个锥度变宽之前的光波导部分（例如光波导区A）纤芯宽度 $W_1$ 为例如 $7\mu\text{m}$ 。更具体地说，这种情况相当于图5中的由线X-X指示的那部分12b的纤芯宽度。图8为该光波导的这部分的剖视图。在插入区域B的纤芯宽度 $W_2$ 是例如 $20\mu\text{m}$ 。更具体地说，这相当于图5中的线Y-Y指示的那部分12a的纤芯宽度。图9为插入区B的剖视图。第一光连接区域C的长度为 $2\text{mm}$ ，在区域C内纤芯宽度是按照同光轴（即同锥体长度L）成予定的锥角逐渐变化的。纤芯12a或12b的厚度T保持 $2\mu\text{m}$ 不变，纤芯12a或12b同包层13之间的折射率之差为0.3%。

半透明反射镜2插入在光波导10上加工或T形的插入区B中。半透明反射镜2相对通过入射侧光波导10a的入射光的光轴成 $45^\circ$ 固定。可以用各种方法固定半透明反射镜。通常是用适合的方法（例

如激光束加工，化学蚀刻或机械切削等) 在光波导10的插区B的相应部分加工出一道供插入半透明反射镜用的槽。然后将半透明反射镜插入在这个成形槽中。

具体地说，本实施例的半透明反射镜的厚度为 $15\mu\text{m}$ ，垂直和水平侧长各是 $1\text{mm}$ ，这个半透明反射镜2被设计为对波长为 $1.31\mu\text{m}$ 的光的透射率和反射率各为50%。

在上述结构中，在光波导区A中的纤芯12b的宽度是 $7\mu\text{m}$ ，其模场宽度约 $8\mu\text{m}$ 。在位于半透明反射镜2附近插入区B输入/输出端的纤芯12a的宽度为 $20\mu\text{m}$ 。于是，当波长为 $1.31\mu\text{m}$ 的光入射到光波导10a的入射侧时，此光的模场在水平方向被拉长，因此此光在第一光连接区C靠近半透明反射镜2。当光入射在插入区B时，50%的入射光被引导到透射侧光波导10b，而入射光的其余50%由半透明反射镜2引导到反射侧光波导10c中。

此时，应研究由于在插入区B的半透明反射镜2的插入定位精度差而使透射和反射光的光轴偏离的情况。在这种情况下，因为模场宽度增加，所以使光以小的损耗按照参考图2的上述方式传输到各段光波导10b和10c中。利用图10和图11可以进一步说明其损耗降低的效果。

更具体地说，图10为损耗频率分布曲线图，图中曲线评价了在反射侧光波导10c中的附加损耗，它是用20个各自具有上述结构的光波导器件得出的。图11是纤芯厚度恒定为 $7\mu\text{m}$ 并将其它条件调整到同上述结构相同的情况下的传统光波导器件的损耗频率分布曲线图。

上述附加损耗被认为主要是由于在制造过程中半透明反射镜2

的定位精度差而使反射光的光轴和反射侧的光波导10c的纤芯12a的中心不对中引起的。从图10和图11的对比可以看出，在本发明的光波导器件中，上述附加损耗小于传统的光波导器件的附加损耗，并且光的附加损耗的重复性也获得了改善。也就是说，本发明的光波导器件受插入精度的影响较小。

在上述实施例中，通过增加相应于待半透明反射镜2插入的那个插入区B的一个输入/输出端的一部分上的纤芯12a的宽度，使之大于光波导区A的纤芯12b的宽度而使上述模场宽度增加。如上所述，该模场宽度也可以通过减小纤芯宽度获得。当在同上述实施例的工作状态相同的实施例中的纤芯宽度是 $7\mu\text{m}$ 时，可以通过将在待插入半透明反射镜2的插入区B的一个输入/输出端处的纤芯12a的宽度减小到 $2\mu\text{m}$ 或更小来增加模场宽度。在这种情况下，同样可以使附加损耗以同使纤芯宽度增加的情况下相同的方式降低(图3中的范围Q)。

即使上述纤芯宽度是不变的，通过使插入区B的一个输入/输出端处的纤芯12a和包层13间的折射率差降低成小于光波导区A的纤芯12b和包层13之间的折射率差，也可以增加这个模场宽度(图4)。为了局部降低比折射率中的差，可以局部地降低在插入区B的纤芯12a的折射率。具体地说，在上述的实施例中，通过使 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 纤芯12a中的 $\text{TiO}_2$ 扩散到周围的包层13中可以降低折射率。

在上述实施例中， $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 光波导被示出为光波导10，此外， $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ 光波导也可以用作低损耗的光波导。当使用 $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ 光波导时，为了降低纤芯的折射率，可以使 $\text{GeO}_2$ 从光波导上的一个所要求的部分扩散。

上面已经描述了为了提供光分路功能而在光波导10的T形插入区B内插入半透明反射镜2的光波导器件。本发明不限于这个特定的实施例，它也可以适用于能完成光开关、耦合等功能的其它光波导器件。

通过计算可获得锥体长度L(沿光通过方向看去的连接区B的长度)和附加损耗间的关系，其中所用的光波导的纤芯宽度按照 $7\mu\text{m}$ - $20\mu\text{m}$ - $7\mu\text{m}$ 的锥部形状(纤芯的宽度逐渐增加或减小)变化。图12示出与光波导有关的数据，在该光波导中，光波导区A，第一光连接区C，插入区B，第一光连接区C和光波导区A按上述方式串联连接。

从图12中可以看出，当锥体长度为 $600\mu\text{m}$ 或更长时，可以将损耗减到足够小的程度。

此外，由于上述影响，当具有长度(锥体长度)为 $600\mu\text{m}$ 或更大的两个第一光连接区C(在上述实施例中为 $800\mu\text{m}$ )直接同插入区B的四个输入/输出端(功能部件的入射侧和出射侧)相连，而且每个都具有这种结构的四个插入区B以方阵的形式构成为一个光波导时，就构成一个在每个插入区B内相对入射光的光轴成 $45^\circ$ 角插入一些半透明反射镜的光波导型开关。在具有这种结构的光波导器件中，如图13所示，两个第一光波导连接区C和一个光波导区A位于每对插入区B之间，使该光波导器件的尺寸相应增加。通过将半透明反射镜2(图13中未示出)相对相应的光波导10传输的光的光轴成 $45^\circ$ 角固定在各自的每个插入区域B中或者将半透明反射镜2移开，便可制成一个能够沿直线透射光或改变光的传播路径的光波导型开关。

本发明也可以适用于在光波导中插入一个滤光片以便选择光的波长的光波导器件。当插入滤光片时，很少引起离轴附加损耗。可是因为可以通过增加模场宽度降低由于在为插入滤光片而加工出的槽和光波导之间的折射率的差引起的附加损耗，所以本发明也适用于这类光波导器件。

作为本发明的光波导器件的应用，下面将描述由若干个插入区B构成的用于完成上述光开关、耦合等功能的光波导器件（图14和15）。

如上所述，本发明的光波导是通过改变每个区域内的纤芯宽度而形成的，从而使在每个插入区域B传输光的模场宽度变为大于在相应的光波导区域A中传输的光的模场宽度。此外，为了防止由于纤芯宽度陡变而增加附加损耗，将纤芯宽度从第一输入/输出端到第二输入/输出端逐渐变化的第一光波导连接区C配置在插入区B和光波导区A之间。

图14示出本发明的光波导器件的一种应用。值得注意的是，插入区B和第一光连接区C可以具有图7中所示的那种结构。

参考图14，每个光波导10都有一个至少带有两个输入/输出端的光波导区A，区域A适合作为透射光通路，并相对该光束提供一个预定的模场宽度。每个光波导10也都有一个至少带有一个光输入/输出端的插入区B，区域B适合于插入一个用于实现预定功能的光功能部件。在区域B传输的光的模场宽度比在光波导区域A预定部分中传输的光的模场宽度大。每个光波导10还都有带有直接同光波导区A的一个输入/输出端相连的第一输入/输出端和直接同插入区B的那个输入/输出端相连的第二输入/输出端的第一连接区C，

以便改变在其中传输光的模场宽度。

另外，光波导10有一个带有直接同一个插入区域B的那个输入/输出端相连的第一输入/输出端和直接同另一个插入区B的那个输入/输出端相连的第二输入/输出端的第二光连接区D。第二光连接区D的第一和第二输入/输出端的纤芯尺寸等于同第二光连接区D相连的相应的插入区B的那个输入/输出端的纤芯尺寸。因此，在插入区B内传输的光的模场宽度也等于在第二连接区D传输的光的模场宽度。

更具体地说，如图15所示，在传输光通过几段插入区B之前，第一光连接区域C的纤芯宽度是递增的。也就是说，在光的单程增加的模场宽度由第二光连接区域D保持的条件下，传输光通过上述几段插入区B，然后该模场宽度通过第一光连接区域C恢复到原来的尺寸。借助这种结构，使光波导器件的尺寸减小并使光功能部件的集成度提高。

为了进一步证明本发明的上述光波导器件(图15)的效果，本发明人在实验的基础上制出了下述光波导器件：

(1) 一种作为一个第一对比例子的光波导型开关如图13所示，它由四个以方阵的形式组成的插入区B加工而成，然后在每对插入区B之间沉积一个光波导区A和第一光连接区C。在这个光波导器件(第一对比例子)中，纤芯和包层之间的折射率之差是0.13%，纤芯宽度为 $7\mu\text{m}$ 。光波导区A的纤芯宽度是 $7\mu\text{m}$ ，插入区B的纤芯宽度为 $20\mu\text{m}$ 。用于使纤芯宽度从 $7\mu\text{m}$ 变化到 $20\mu\text{m}$ 或从 $20\mu\text{m}$ 变化到 $7\mu\text{m}$ 的第一光连接区C的长度(即锥体长度L)为 $800\mu\text{m}$ ，在每对插入区B的纤芯的中心间的距离为 $1850\mu\text{m}$ 。

(2) 作为本发明光波导器件的一个应用, 所制作的一种光波导型开关如图 15 所示。在这种光波导器件中, 纤芯和包层之间的折射率差是 0.3%, 纤芯的宽度为  $7\mu\text{m}$ , 四个插入区 B 组成一个方阵。位于每对插入区 B 之间的每个第二光连接区域 D 的纤芯宽度为  $20\mu\text{m}$ , 这个宽度同每个插入区 B 的纤芯宽度相同。用于使纤芯宽度从  $7\mu\text{m}$  变化到  $20\mu\text{m}$  或从  $20\mu\text{m}$  变化到  $7\mu\text{m}$  的第一光连接区域 C 的长度 (即锥体长度 L) 为  $800\mu\text{m}$ , 在每对插入区 B 之间的纤芯中心之间距离为  $250\mu\text{m}$ 。注意, 在图 13 和 15 中的各部分的尺寸和相应的指示值不一定以相同的比例给出。

(3) 作为一个第二对比例子的光波导开关是加工成传统的光波导器件 (如图 16 所示)。在这个传统的光波导器件 (第二对比例子) 中, 光波导的纤芯和包层之间的折射率的差是 0.3%, 纤芯的宽度保持  $7\mu\text{m}$  不变, 在光波导 1 的相贯部分的纤芯中心之间距离为  $250\mu\text{m}$ 。

对于三种类型的光波导器件的每种都制作 20 个作为用于波长为  $1.31\mu\text{m}$  的光的光开关的光波导器件样品, 然后对在反射侧的附加损耗进行评价, 其结果示于图 17 至 19 中。

图 17 为表示第一对比例子的附加损耗频率分布的曲线图。图 18 为表示本发明光波导器件附加损耗分布的曲线图。图 19 为表示第二个对比例子 (传统的光波导器件如图 16 所示) 的附加损耗频率分布的曲线图。

这种附加损耗被认为主要是由于半透明反射镜的插入定位的精度差而使反射光的光轴和反射侧的光波导纤芯的中心不对中而引起的。从图 17-19 可以看出, 当将第一对比例子的光波导器件和

本发明的光波导器件(图15)同第二对比例子的光波导器件(传统的光波导器件)对比时,说明了在待插入半透明反射镜2(光功能部件)的插入区B中具有锥状纤芯的光波导10的附加损耗比具有一个宽度不变的纤芯的光波导1(第二对比例子)的附加损耗小,并且损耗的复测不变性也获得改善。

当将第一对比例子同本发明的光波导器件对比时,说明了本发明的光波导器件具有比较小的损耗,而且其尺寸比第一对比例子中的器件尺寸小得多。换言之,如果图14中的光波导器件可以提供同第一个对比例子相同的效果,则其尺寸可以缩小。

上述图5中示出的光波导器件的其它一些例子(可适用的实施例)可以适用于在图15中的光波导器件。

如上所述,根据本发明的方案,为了增加光波导的待插入一个功能部件(例如一个反射镜)的插入区的模场宽度,使这大于光波导区的模场宽度,可以在插入区和光波导区之间以紧密接触的方式配置一个连接区域,借此完成所需要的功能。因此,同传统的光波导器件相比,可以使由于功能部件插入引起的透射损耗降低。

另外,根据本发明的应用,若本发明的光波导器件同传统的光波导器件具有相同的效果,则可以使本发明的光波导器件尺寸进一步缩小。这些光波导器件可以用作使光通讯系统、光传感器件等的尺寸减少和性能改进的光学器件。因此,可以提供一种易于批量生产而不需高精度工艺的光波导器件。

根据本发明的上述描述,本技术领域的普通专业人员可以在本发明的限定范围内作出各种改型和等同替换,所有这些改型和

等同替换都是显而易见的,并都在本发明后附的权利要求书的限定范围内。

图 1

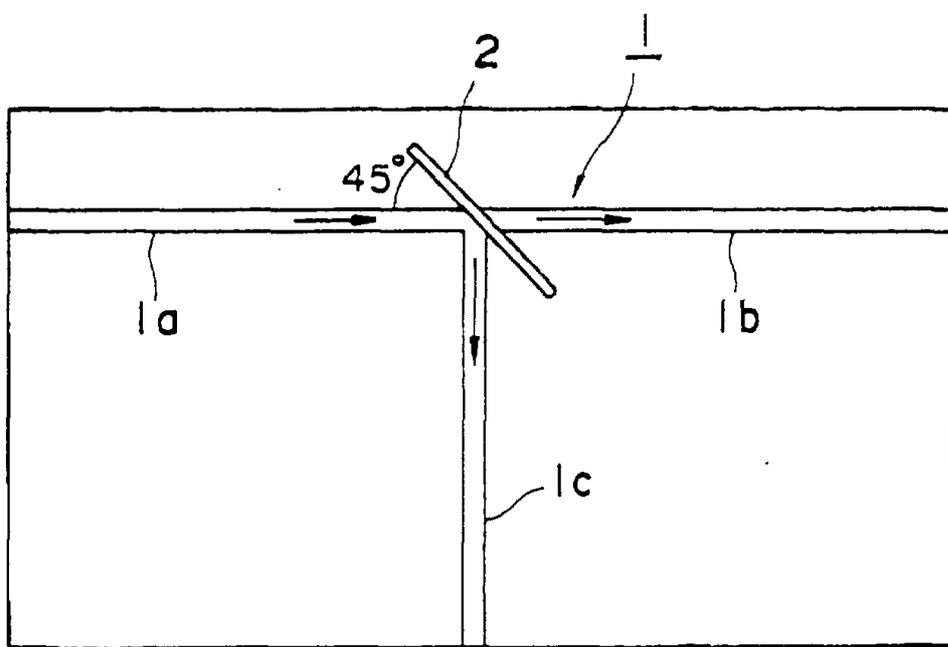


图2

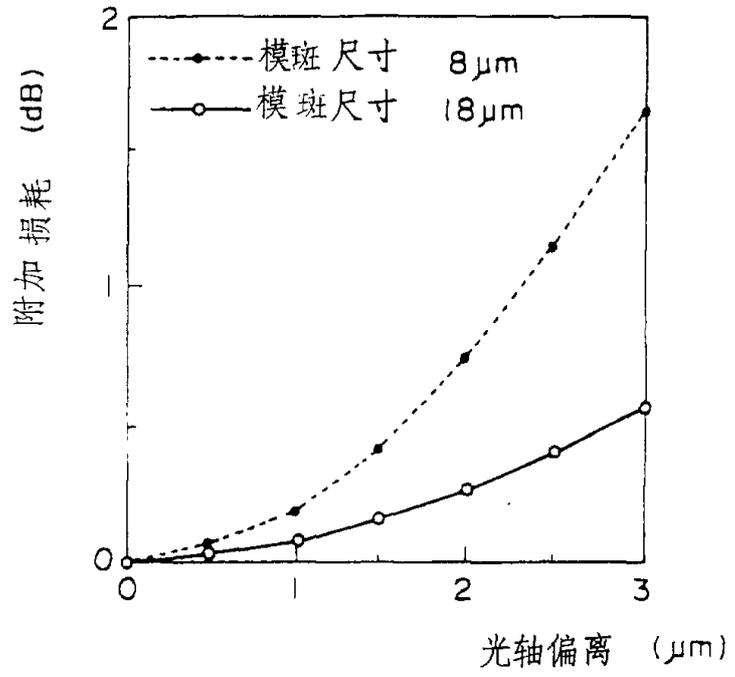


图3

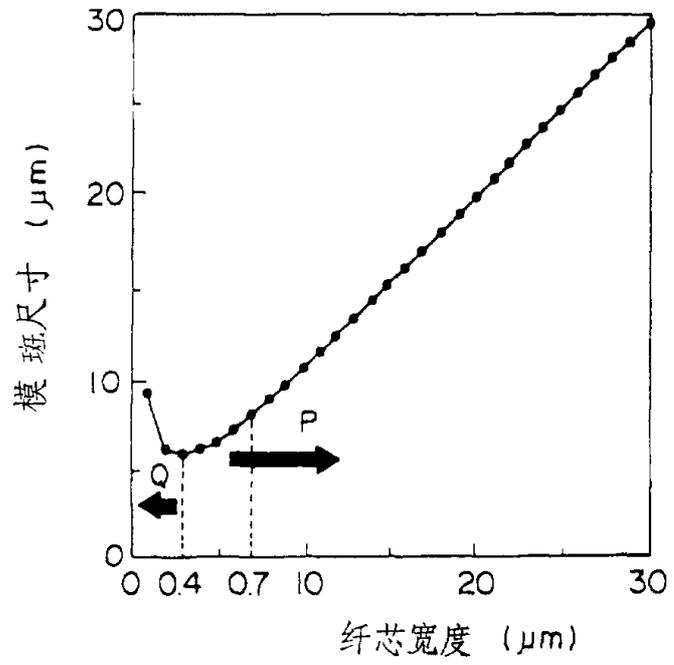
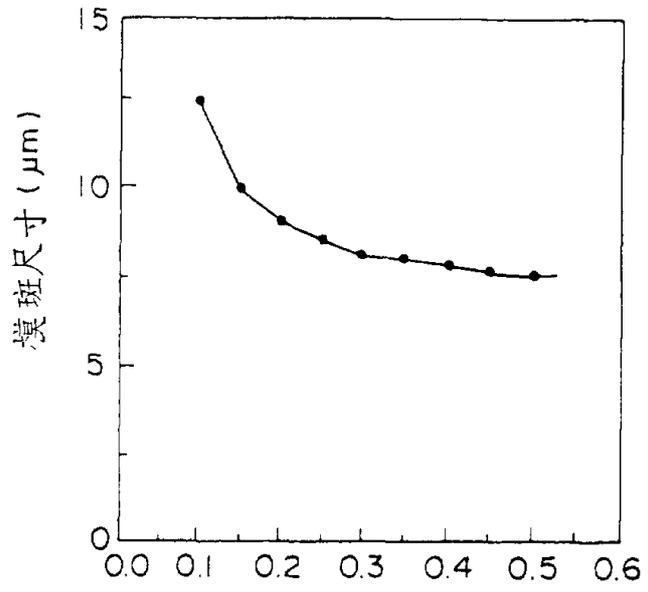


图4



纤芯与包层之间的折射率之差 (%)

图5

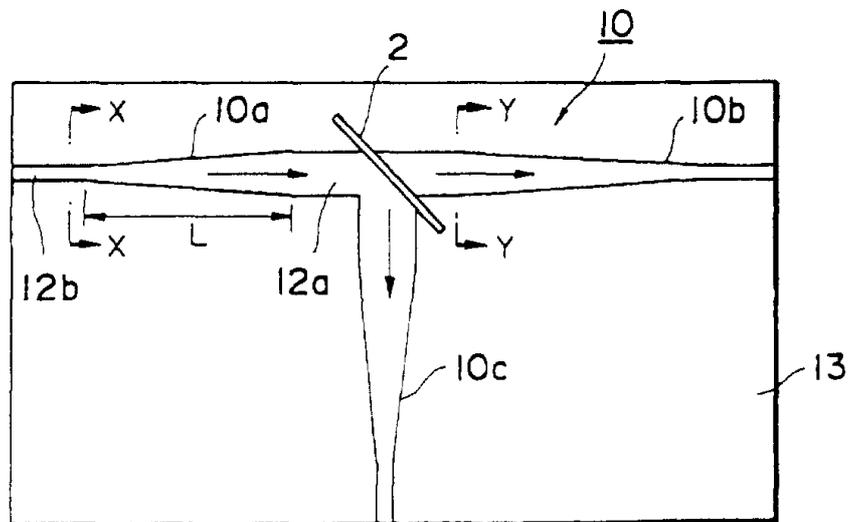


图6

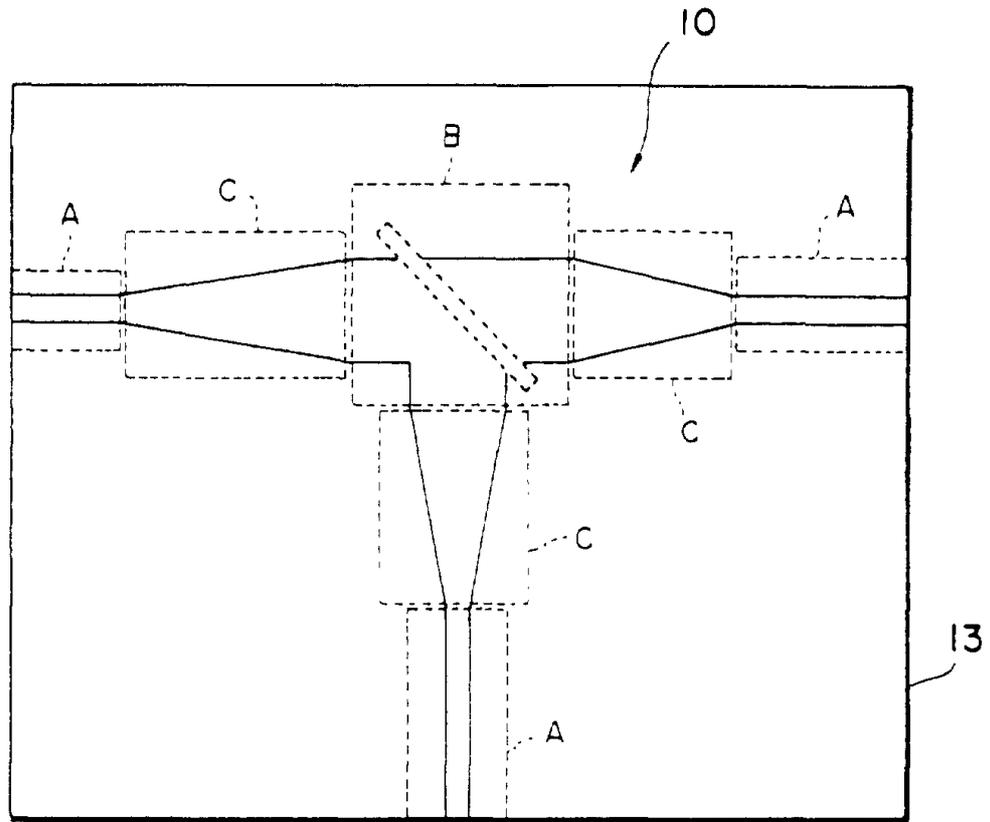


图7

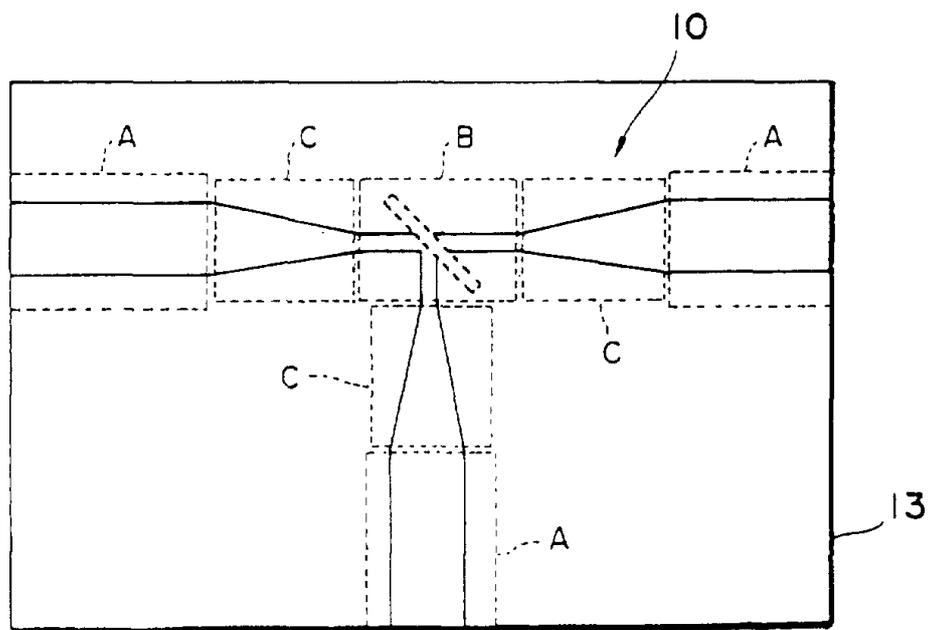


图8

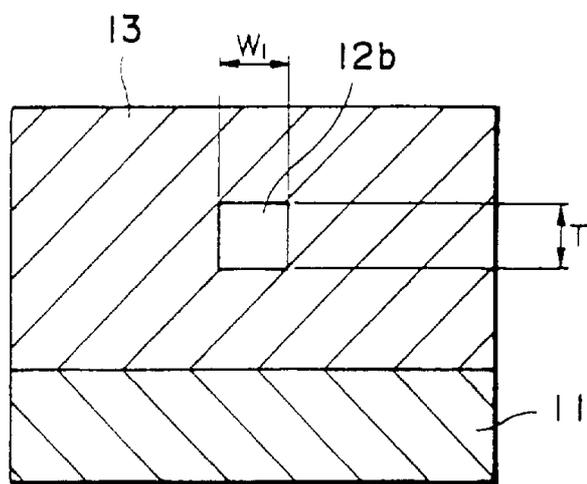


图9

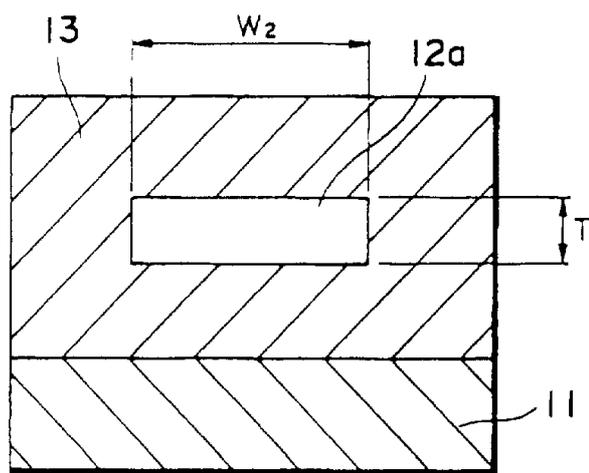


图 10

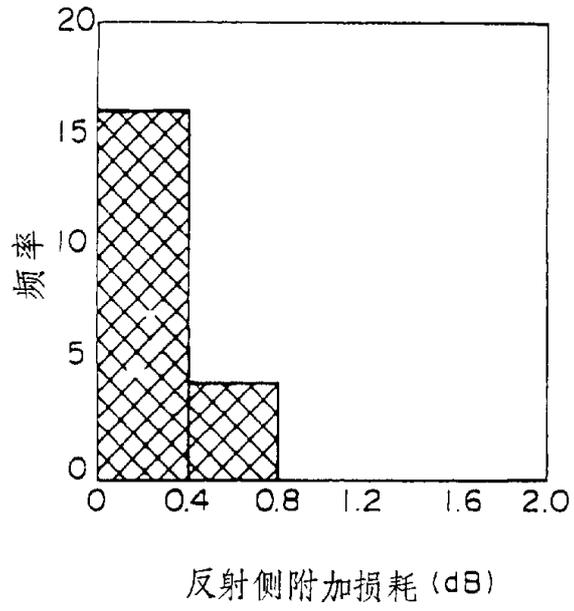


图 11

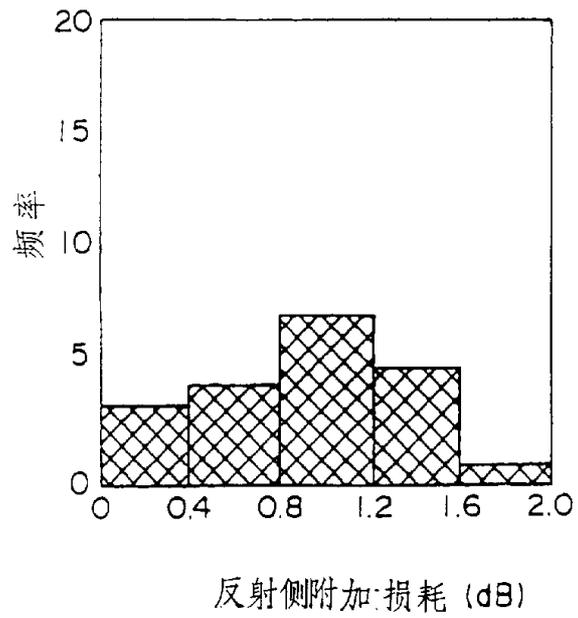


图12

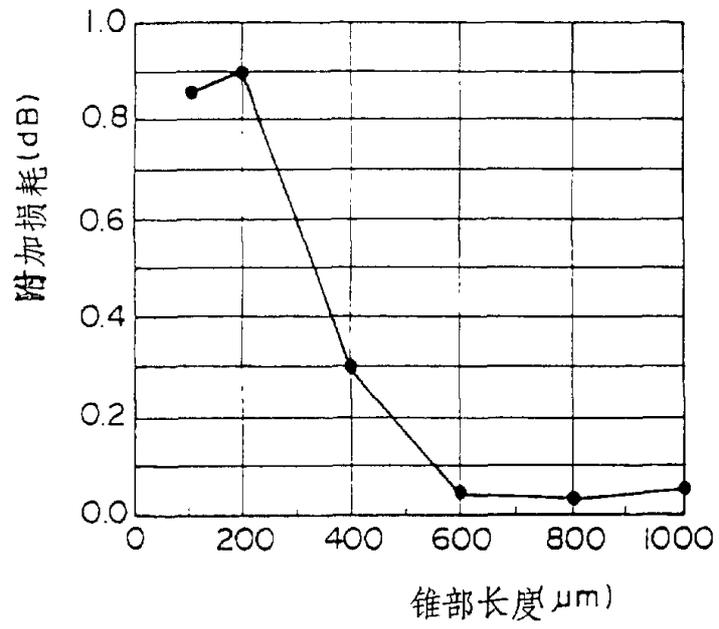


图13

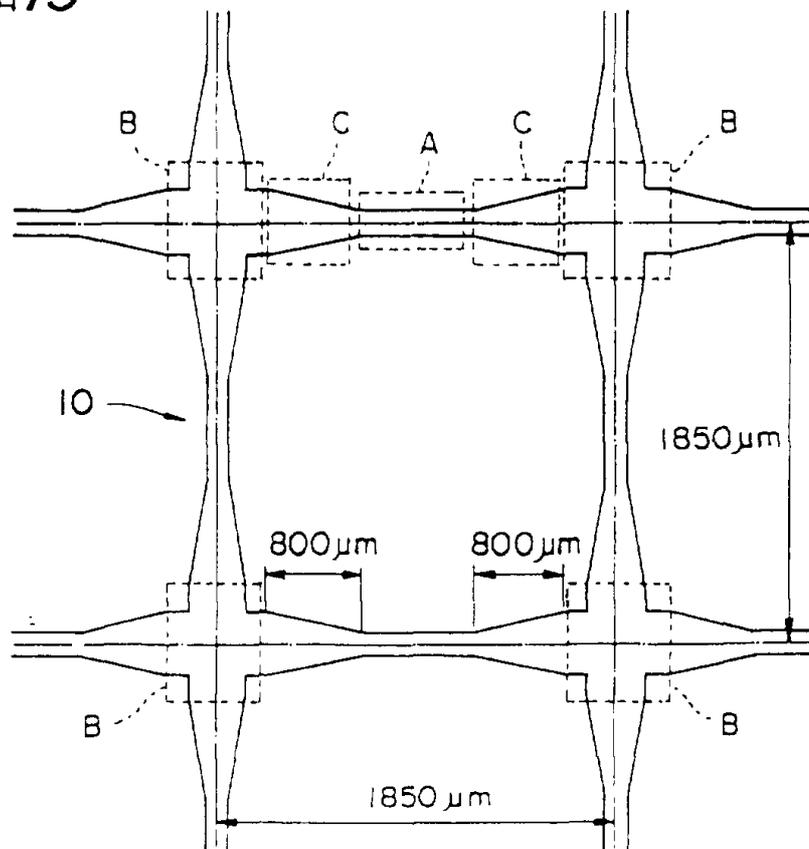


图14

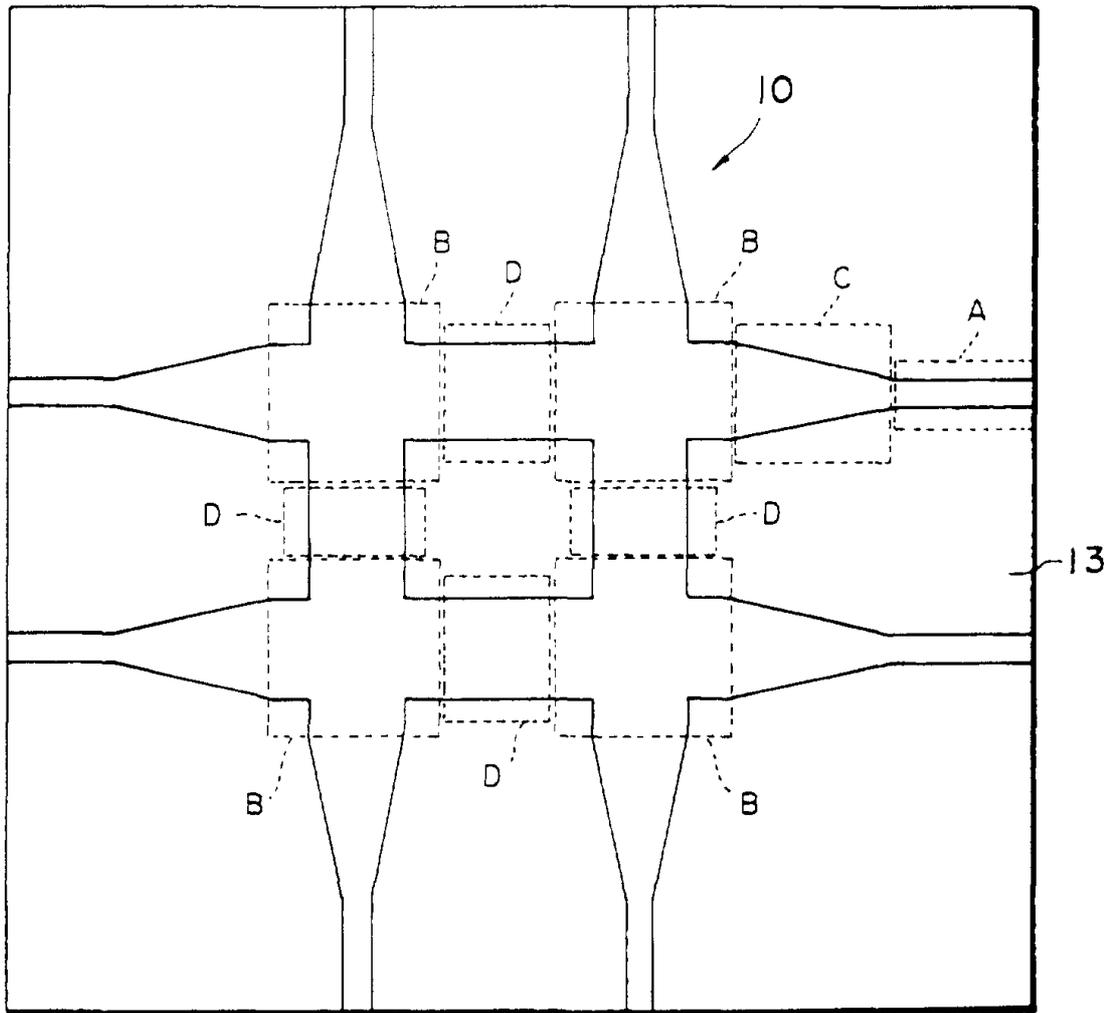


图15

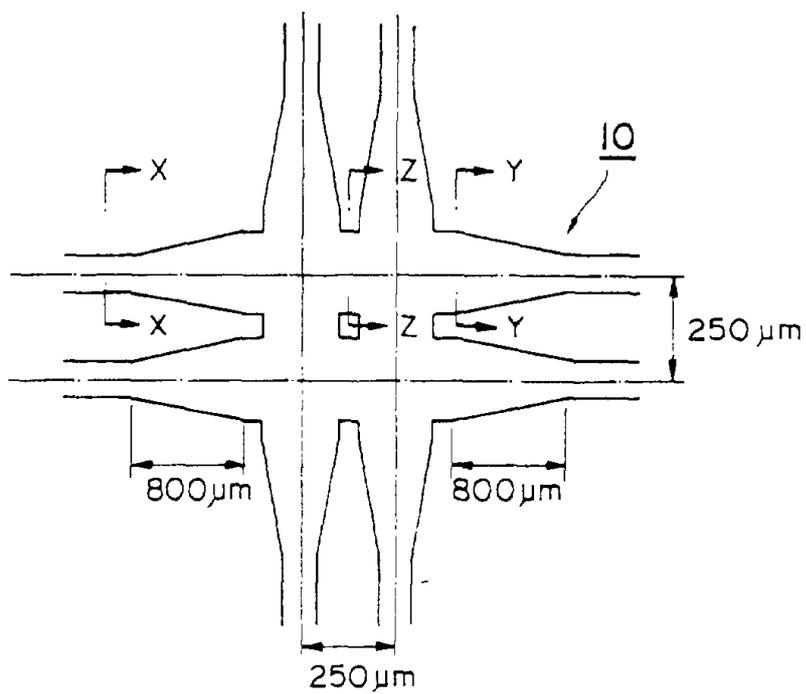


图16

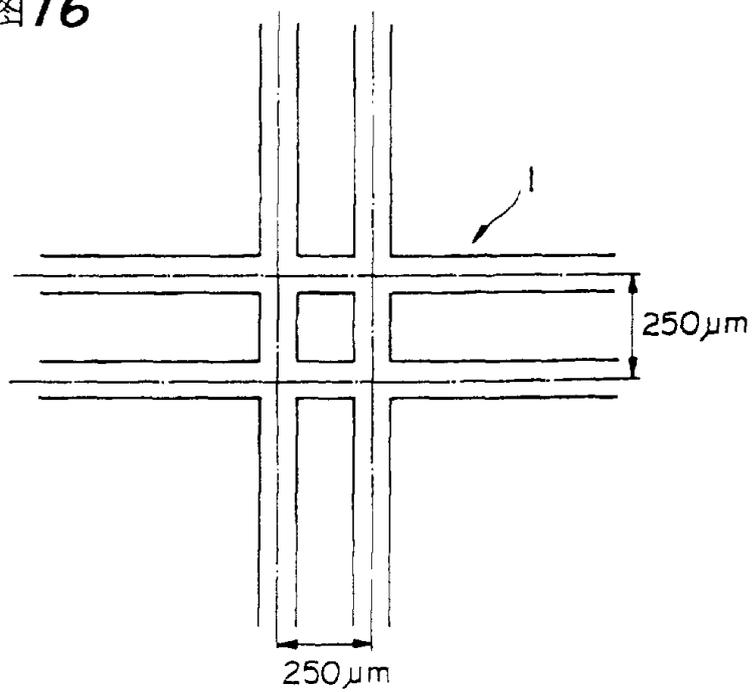


图 17

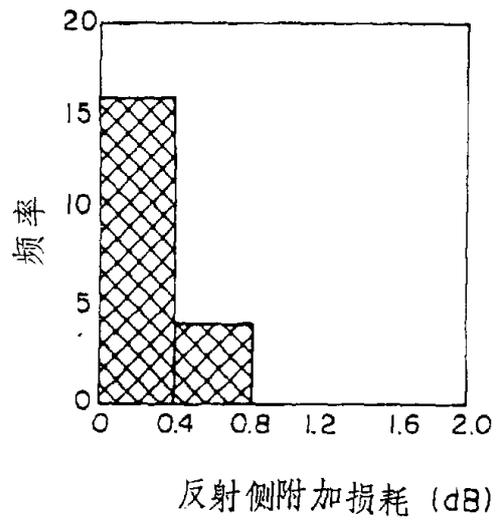


图 18

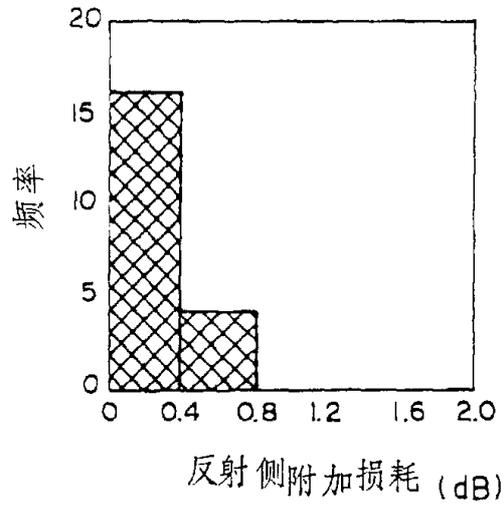


图 19

