

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/122

G02B 6/125

G02F 1/19



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03102948.5

[45] 授权公告日 2005 年 12 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1234028C

[22] 申请日 2003.1.24 [21] 申请号 03102948.5

[30] 优先权

[32] 2002. 2. 19 [33] JP [31] 2002 - 42409

[71] 专利权人 欧姆龙株式会社

地址 日本京都府京都市

[72] 发明人 寺川裕佳里 细川速美

审查员 扈 燕

[74] 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司

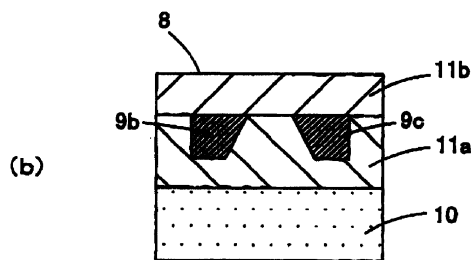
代理人 陈 红 楼仙英

权利要求书 1 页 说明书 15 页 附图 34 页

[54] 发明名称 光波导、光学部件和光开关

[57] 摘要

本发明的目的是抑制光波导的弯曲部分和分支部分中的光传输损耗，并且，提高光波导的形状的自由度。在基板(10)上形成下包覆层(11a)，在下包覆层(11a)上设置 Y 分支光波导(9)，用上包覆层(11b)覆盖光波导(9)，由此，来制成光学器件(8)。光波导(9)的弯曲部分在外周侧实施斜削，而形成成为梯形断面，在带有斜坡的外周侧，光波导(9)的实际折射率减小。与此相对，光波导(9)的端面形成为矩形，提高了与光导纤维的耦合效率。



ISSN 1008-4274

1. 一种光波导，设置有封闭地传输光的芯，其特征在于，
所述芯在长度方向上具有弯曲部分，所述芯在该弯曲部分的、沿垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为梯形，
- 5 在所述芯的梯形断面中，平行的两条边分别与包围所述芯的上包覆层和下包覆层的边界线平行，并且位于该弯曲部分外周侧的边的倾斜度，大于位于该弯曲部分内周侧的边的倾斜度。
2. 一种光波导，设置有封闭地传输光的芯，其特征在于，所述芯在长度方向上具有弯曲部分，所述芯的端面形状为矩形，所述芯在该弯曲部分的、
- 10 沿垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为梯形，
在所述芯的梯形断面中，平行的两条边分别与包围所述芯的上包覆层和下包覆层的边界线平行，并且位于该弯曲部分外周侧的边的倾斜度，大于位于该弯曲部分内周侧的边的倾斜度，
所述芯的断面形状从矩形到梯形而连续变化。
- 15 3. 一种光学部件，其特征在于，在权利要求 1 或 2 所述的光波导中附加用于加热所述芯的加热装置。
4. 一种光开关，包括具有分支部分的芯和加热所述芯的分支部分的加热装置，其特征在于，
所述芯在长度方向上具有弯曲部分，所述芯的端面形状为矩形，所述芯
- 20 在该弯曲部分的、沿垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为梯形，
在所述芯的梯形断面中，平行的两条边分别与包围所述芯的上包覆层和下包覆层的边界线平行，并且位于该弯曲部分外周侧的边的倾斜度，大于位于该弯曲部分内周侧的边的倾斜度，
所述芯的断面形状从矩形到梯形而连续变化。
- 25 5. 根据权利要求 4 所述的光开关，其特征在于，所述芯的分支部分的、垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为倒梯形，在所述倒梯形的断面中，平行的两条边分别与配置所述加热装置的面平行，接近所述加热装置侧的边的长度大于远离所述加热装置侧的边的长度。

光波导、光学部件和光开关

技术领域

- 5 本发明涉及光波导、光学部件和光开关。特别是涉及单模的分支波导或弯曲波导、S形波导等光波导、光学部件和切换光的分支方向的光开关。

背景技术

- 10 近年来，使用能够高速地传输大容量数据的光导纤维的通信正在成为主流，在光导纤维或光源与光检测器件的连接部等中使用的传导光信号的光波导要求更小型且传输损耗少的高精度光波导。

这样的光波导一般通过在基板表面上制作折射率稍高的部分作为芯来构成，例如，采用图1所示的半导体工艺来制造。

- 下面，用图1来说明按照半导体工艺所进行的光波导的制造工序。首先，
15 在基板1上堆积包覆材料并使之固化，形成下包覆层2（图1（a）、（b））；
然后，在下包覆层2上堆积芯材并使之固化，形成芯层3a（图1（c））；
接着，在芯层3a的表面上涂布光刻胶4，在光刻胶4上重叠曝光掩模5，通过紫外线照射进行曝光（图1（d））。曝光后，使光刻胶4显影成图案，用光刻胶4仅覆盖在形成芯的位置上（图1（e））。接着，把残留的光刻胶4
20 作为蚀刻用掩模，通过反应性离子蚀刻（RIE），除去芯层3a的露出区域，在光刻胶4的下面形成芯3（图1（f）），除去光刻胶4而使芯3露出（图1（g））。然后，在芯3和下包覆层2上堆积包覆材料并使之固化，形成上包覆层6，得到在下包覆层2与上包覆层6之间埋入隧道型的芯3的光波导（图1（h））。

- 25 按照半导体工艺，芯3在其全长上形成为图2（a）所示的长方形或正方形的断面形状。或者，如图2（b）所示的那样，通过蚀刻在两侧面上形成斜坡，由此，成为下底（与下包覆层2相接的边）比上底长的梯形（台型）。

在这样的光波导中，从芯3的入射端入射到芯3内的光在下包覆层2和上包覆层6与芯3的界面（例如，矩形芯的情况下，芯3的上下面和左右侧

面)上全反射,同时,在芯3内进行传输,从芯3的光出射端出射到外部。作为在芯3内进行传输的光的传输损耗的主要原因,可以列举出:在芯3的弯曲部分产生的损耗和在芯3的端面上产生的损耗。

5 首先,说明在芯3的弯曲部分上的损耗。在如图3所示那样弯曲的芯3中因弯曲部分产生的损耗是在光从芯3的直线部分入射到弯曲部分的外周侧面上时,如图4所示的那样,入射到芯3的外周面上的光的入射角 θ_2 小于全反射的临界角,光不会全反射到芯3内,光从芯3放射到上包覆层6侧,而成为损耗。

10 图5和图6是按波动光学来说明芯3的弯曲部分中的传输损耗。图5表示的是沿图3的直线部分中的A-A'线的芯3的实际折射率(直线波导的实际折射率)和沿弯曲部分中的B-B'线的实际折射率(弯曲波导的实际折射率)。在直线波导中,如图5中用虚线表示的那样,在横断芯3的方向上的实际折射率的分布是对于芯3的中心呈对称分布,但是,在弯曲波导中,如图5中用实线表示的那样,在外周侧,实际折射率变高,在内周侧,实际折
15 射率变低。因此,如图6所示,在芯3内传输的光在直线波导的部分被封闭在芯3内,但是,当通过弯曲波导的部分时,向折射率变高的外周侧的上包覆层6内放射蔓延,成为损耗。而且,在弯曲波导的部分中,导波模式的电场分布畸变,因此,在弯曲波导部分的入口处产生电场分布的不匹配,光向芯3外部放射,成为损耗。

20 为了抑制芯3的弯曲部分中的传输损耗,可以加大弯曲部分的曲率半径,使向芯3的外周面的入射角大于临界角。但是,当加大曲率半径R时,为了得到必要的弯曲角度,必须加长芯3的弯曲部分,因此,光波导变长变大。这样,在现有的光波导中,弯曲部分中的传输损耗的降低和光波导的小型化存在权衡的关系。

25 下面对在芯3的端面上产生的耦合损耗进行说明。在芯3的端面上产生的损耗是在把芯3的光入射端或光出射端光学地连接到其他光学器件等时产生的损耗。为了减小这样的耦合损耗,在单模的芯3中,该光入射端和光出射端的形状最好接近于与芯3相耦合的光导纤维等的端面形状。

30 下面,作为光波导的应用,对现有的光开关进行说明。图7是表示光开关的构造的透视图,图8(a)、(b)、(c)是表示图7的C1-C1'、C2

—C2'、C3—C3' 的断面的断面图。在光开关中，在基板 1 上形成 Y 分支的芯 3，在覆盖芯 3 的上包覆层 6 的上表面上设置两个加热器 7，夹着芯 3 的分支上部。芯 3 在图 8 (a)、(b)、(c) 的任一个断面都作成矩形或者作成在加热器侧宽度窄的梯形。当向一方的加热器 7 通电而使之发热时，
5 由于发热的加热器 7 侧温度上升，热光学 (TO) 效应就在发热侧使芯 3 和上包覆层 6 的折射率变小，经芯 3 的非分支部分传输过来的光向非发热侧的分支部分传输，几乎不会传输到发热侧。如果切换发热的加热器 7，就能切换光传输的路径 (分支方向)。

在这样的光开关中，要求向电开关一样来完全地切换光的路径，希望具
10 有高的消光比。在这样的光开关中，为了得到高的消光比，需要减小芯 3 的分支角或者加大由加热器提供的折射率差。

但是，采用减小分支角的方法，当在光出射端上使芯 3 的分支部分的两分支的间隔充分离开以便能够连接光导纤维时，芯的长度就会变长以使芯 3 的分支部分充分离开，从而使光开关变长变大。

15 而且，为了加大由加热器提供的折射率差，必须增大加热器的发热量，因此，使光开关的功耗变高。采用增大折射率变化的方法，由于在波导方向上产生急剧的折射率变化，因此，在单模的芯中，发生多模，其结果，产生过剩损耗，反而使消光比降低。

发明内容

20 鉴于上述问题，本发明的目的是提供能够降低芯的损耗并且提高芯的形变的自由度的光波导。而且，提供使用该光波导的光学部件和小型的并且消光比高的光开关。

本发明的光波导设置有封闭地传输光的芯的光波导，其特征在于所述芯在长度方向上具有弯曲部分，所述芯在该弯曲部分的、沿垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为梯形，在所述芯的梯形断面中，平行的两条边分别与包围所述芯的上包覆层和下包覆层的边界线平行，并且位于该弯曲部分外周侧的边的倾斜度，大于位于该弯曲部分内周侧的边的倾斜度。

在本发明的光波导中，由于在沿着芯的长度方向的方向上芯的断面形状不是恒定的，存在变化的部分，因此，即使使用均一的芯材料，因使断面形
30 状变化，也能够使芯的实际折射率变化。这样，断面形状的变化就能够在芯的任意位置上控制芯的实际折射率，并能够控制经芯传输的电场分布。例如，

在芯的弯曲部分和分支部分中，能够控制光的电场分布，以使光难于从芯中泄漏而损耗。这样，就能够在抑制传输损耗的同时以大的曲率使芯弯曲，因此，芯的形狀的自由度增大，并且，不会加大光波导，也能够使芯的方向上进行大的弯曲。

- 5 虽然采用半导体工艺来制作这样的芯是困难的，但是，如果采用在注塑成型的包覆基板的槽沟中填充芯材料来形成芯的方法或者采用通过模压使芯成型的方法，都能够容易地制作。

在本发明的光波导的实施例中，上述芯的断面中的侧面的轮廓在沿着芯的长度方向的方向上具有变化。例如，芯的断面在侧面上成为圆弧形，侧面的曲率或者曲率半径变化。在这样的实施例中，由于芯的侧面的轮廓具有变化，因此，能够使芯的侧面上的厚度变化，能够控制从芯的侧面放射的光。

特别是，芯的至少一部分区域的断面成为梯形，芯的侧面的斜率在沿着芯的长度方向的方向上具有变化，这样能够容易地使芯的断面形状变化。特别是，能够通过成型法容易地制作本发明那样的芯。

- 15 本发明的光波导的另一个实施例中的上述芯的端面形状为适合于减小与耦连在上述芯的端面上的器件的耦合损耗的形状。在单模芯的情况下，这样的芯的端面形状为矩形。按照这样的端面形状，当把芯的端面与光导纤维等器件耦连时，能够提高其耦合效率。

20 本发明的光学部件是在本发明的光波导中附加了用于加热上述芯的加热装置的光学部件。按照这样的光学部件，用加热装置来加热芯，从而使芯的折射率变化，能够控制在芯中传输的光的动作。使用本发明的光波导，就能够减小光的损耗，同时，使芯的断面形状变化，由此，能够控制用加热装置进行加热时的光的动作。这样，能够通过加热装置的控制来控制在芯内传输的光的动作，能够得到损耗小的小型光学部件。

- 25 本发明的光开关包括具有分支部分的芯和加热上述芯的分支部分的加热装置，其特征在于，所述芯在长度方向上具有弯曲部分，所述芯的端面形状为矩形，所述芯在该弯曲部分的、沿垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为梯形，在所述芯的梯形断面中，平行的两条边分别与包围所述芯的上包覆层和下包覆层的边界线平行，并且位于该弯曲部分外周侧的边的倾斜度，
30 大于位于该弯曲部分内周侧的边的倾斜度，所述芯的断面形状从矩形到梯形而连续变化。

在本发明的光开关中，通过控制由加热装置对芯的加热位置，就能够切换分支部分中的光的传输方向。由于在沿着芯的长度方向的方向上芯的断面形状不是恒定的，存在变化的部分，因此，即使使用均一的芯材料，也能通过使断面形状变化而使芯的实际折射率变化。这样，断面形状的变化能够在芯的任意处控制芯的实际折射率，能够控制在芯中传输的电场分布。例如，在芯的弯曲部分和分支部分中，能够控制光的电场分布，以使光难于从芯中泄漏而产生损耗。这样，能够在抑制损耗的同时以大的曲率来使芯弯曲，因此，芯的形狀的自由度增大，并且，不会加大光开关，能够在芯的方向上进行大的弯曲。这样，根据本发明，能够制作出低损耗且消光比高的光开关。

虽然采用半导体工艺来制作这样的芯是困难的，但是，如果采用在注塑成型的包覆基板的槽沟中填充芯材料来形成芯的方法或通过模压成型芯的方法，都能够容易地制作。

本发明的光开关的实施例，其特征在于，所述芯的分支部分的、垂直于所述芯的长度方向的断面的形状为倒梯形，在所述倒梯形的断面中，平行的两条边分别与配置所述加热装置的面平行，接近所述加热装置侧的边的长度大于远离所述加热装置侧的边的长度。在这些实施例中，由于芯偏向于加热装置侧，相对于加热装置所进行的加热，折射率的变化变得敏感，能够进一步提高消光比。

本发明的光开关的另一个实施例中的上述芯的断面形状为适合于减小与耦连在上述芯的端面上的器件的耦合损耗的形状。在单模芯的情况下，这样的芯的端面形状为矩形。按照这样的端面形状，在把芯的端面与光导纤维等器件相耦连时，能够提高其耦合效率。

而且，以上说明的本发明的构成要素能够进行可能的任意组合。

附图说明

- 图 1 (a) ~ (h) 是现有的光波导的制造工序图；
图 2 (a) 是表示该光波导内的芯的断面形状的断面图；
图 2 (b) 是表示该光波导内的芯的另一个断面形状的断面图；
图 3 是弯曲的芯的透视图；
图 4 是说明在该弯曲的芯中光放射而产生损耗的原因的图；
图 5 是沿着弯曲的芯的横断方向的折射率的变化图；
图 6 是弯曲的芯中的导波模式的电场分布图；

- 图 7 是现有的光开关的构造的透视图；
- 图 8 (a) 是沿图 7 的 C1—C1' 线的断面图；
- 图 8 (b) 是沿图 7 的 C2—C2' 线的断面图；
- 图 8 (c) 是沿图 7 的 C3—C3' 线的断面图；
- 5 图 9 是本发明的一个实施例的光波导的平面图；
- 图 10 (a) 是从光入射端侧看图 9 所示的光波导的正面图；
- 图 10 (b) 是沿图 9 的 D—D' 线的断面图；
- 图 10 (c) 是从光出射端侧看图 9 所示的光波导的背面图；
- 图 11 是图 9 所示的光波导内的芯中的导波模式的电场分布图；
- 10 图 12 是斜坡型二维芯的分散曲线；
- 图 13 (a) ~ (e) 是说明图 9 所示的光波导的制造工序的断面图；
- 图 14 是说明该光波导中的非分支芯的断面形状的断面图；
- 图 15 是说明该光波导中的分支芯的另一个位置的断面形状的断面图；
- 图 16 (a)、(b)、(c) 分别是说明图 9 所示的实施例中的光波导的
- 15 变形例的正面图、断面图、背面图；
- 图 17 是本发明的另一个实施例的光波导 (S 形波导) 的平面图；
- 图 18 (a) 是该光波导的正面图；
- 图 18 (b) 是沿图 17 的 E—E' 线的断面图；
- 图 18 (c) 是该光波导的背面图；
- 20 图 19 是本发明的另一个实施例的光波导 (弯曲波导) 的平面图；
- 图 20 是本发明的另一个实施例中的光开关的平面图；
- 图 21 (a) 是该光开关的正面图；
- 图 21 (b) 是沿图 21 的 G—G' 线的断面图；
- 图 21 (c) 是沿图 21 的 H—H' 线的断面图；
- 25 图 21 (d) 是该光开关的背面图；
- 图 22 是加热器加热时的温度分布图；
- 图 23 (a) 是在本发明的光开关中用线的粗细来表示仅接通一个加热器时传输的光的功率的平面图；
- 图 23 (b) 是横轴为功率强度、纵轴为光开关的长度方向的距离时的各
- 30 分支芯内的功率变化的曲线图；

图 24 (a) 是在现有的光开关中用线的粗细来表示仅接通一个加热器时传输的光的功率的平面图;

图 24 (b) 是横轴为功率强度、纵轴为光开关的长度方向的距离时的各分支芯内的功率变化的曲线图;

5 图 25 (a)、(b)、(c) 是在现有的光开关中互不相同的断面上的光的功率分布图;

图 26 (a)、(b)、(c) 是在现有的光开关中互不相同的断面上的光的功率分布图;

图 27 (a) 是该实施例的变形例的正面图;

10 图 27 (b) 和 (c) 是其断面图;

图 27 (d) 是其背面图;

图 28 是按照本发明的另一个实施例的光开关的透视图;

图 29 是按照本发明的另一个实施例的定向耦合器(光开关)的透视图;

15 图 30 是按照本发明的另一个实施例的马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器(光开关)的透视图;

图 31 是按照本发明的另一个实施例的马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器(可变衰减器)的透视图;

图 32 是按照本发明的另一个实施例的非对称马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器(合波分波器)的透视图;

20 图 33 是按照本发明的另一个实施例的 AWG 弯曲芯(合波分波器)的透视图;

图 34 是按照本发明的另一个实施例的合波分波器的透视图;

图 35 是按照本发明的另一个实施例的光收发器的透视图;

图 36 是按照本发明的另一个实施例的光收发器的透视图。

25

具体实施方式

(第一实施例)

图 9 是作为本发明的一个实施例的光波导 8 的平面图, 图 10 (a) ~ (c) 分别表示图 9 所示的光波导 8 的正面图(具有芯 9 的光入射端 14 的面)、D-D' 线的断面图、背面图(具有芯 9 的光出射端 15a, 15b 的面)。本发明

30

的光波导 8 由基板 10、下包覆层 11a、Y 分支型芯 9、上包覆层 11b 构成。芯 9 进行 Y 分支，非分支芯 9a 的一个端面为光入射端 14，非分支芯 9a 的端部进行分支，成分支芯 9b、9c，分支芯 9b、9c 的端面为光出射端 15a、15b。该光波导 8 把从芯 9 的光入射端 14 入射的光分支开，成为从光出射端 15a、15b 出射的光分支器。发光元件或光导纤维等投光装置耦连在光入射端 14 上，受光元件或光导纤维等受光装置耦连在光出射端 15a、15b 上。如图 10 (b) 所示，分支部附近的芯 9 (分支芯 9b、9c) 的断面为梯形形状，与此相对，如图 10 (a)、(c) 所示，芯 9 的端面 14、15a、15b 及其附近的断面形状为矩形。

10 在该光波导 8 中，在分支部附近的弯曲部分中，分支芯 9b、9c 的断面在外周侧弯曲成倒斜坡形。在芯的断面为矩形的情况下，在这样的弯曲部分中，如图 6 所示，光的传输模式的电场分布向外周侧移动，光向芯的外周侧放射而泄漏，但是，如该光波导 8 那样，在弯曲部分中，把芯 9 的断面在外周侧设置成倾斜为倒斜坡形，如图 11 所示，传输模式的电场分布向内周侧移动，光被封闭在芯 9 内而难于泄漏到外部，即使弯曲部分的曲率半径 R 变
15 小，在芯 9 内传输的光的传输损耗也很小。

当使芯 9 的外周侧的侧面倾斜为倒斜坡形时，光难于泄漏而损耗变小的原因如下：图 12 是表示阶梯型二维芯的标准化频率 V 和标准化芯折射率 b 的关系的分散曲线（西原浩、春名正光、栖原敏明合著「光集成电路」，第
20 16 页，欧姆出版社，昭和 60 年 2 月 25 日发行）。其中，标准化频率 V 和标准化芯折射率 b 由下式 (1) 和式 (2) 提供，m 被称为所传输的光的模式编号，a 被称为非对称尺度。芯 9 的折射率为 n_f ，下包覆层 11a 的折射率为 n_s ，上包覆层 11b 的折射率为 n_c ，

$$a = (n_s^2 - n_c^2) / (n_f^2 - n_s^2)$$

25 【式 1】

$$V = k_0 T \sqrt{n_f^2 - n_s^2} \quad \dots (1)$$

$$b = \frac{N^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad \dots (2)$$

其中， k_0 是真空中波数，真空中的光的波长为 λ ， $k_0 = 2\pi / \lambda$ ，T 是芯

的厚度, n_f 是芯 9 的折射率, n_s 为下包覆层 11a 的折射率。N 是传输模式的实际折射率, 光向芯的界面的入射角为 θ , 用 $N=n_f \sin \theta$ 进行定义。

在上述光波导 8 中, 由于外周侧侧面的倾斜, 在芯 9 的外周侧的边缘(楔形部分), 芯 9 的厚度变薄。如从图 12 所看到的那样, 当芯 9 的厚度 T 变薄时, 标准化频率 V 变小, 因此, 在芯 9 的外周侧的边缘, 标准化芯折射率 b 变小。或者, 当从垂直于光波导 8 的方向上来看时, 折射率大于上包覆层 11b 的芯 9 在外周部分变薄, 因此, 在芯 9 的外周部分, 平均的折射率能够变小。结果, 使图 5 所示的弯曲芯中的折射率的倾斜缓和, 如图 11 所示, 在芯 9 内传输的光的传输模式的电场分布被拉入到折射率高的内周侧, 结果, 光向外周侧的放射变小, 能够减小芯 9 的弯曲部分的光的损耗。

这样, 如果是能够抑制在分支芯 9b、9c 中产生的传输损耗的形状的芯 9, 即使加大分支部之间的角度, 也能比现有的 Y 分支芯精度更高地传输光。由于分支芯 9b、9c 之间角度变大而使芯 9 的光出射端 15a 和光出射端 15b 远离, 即使缩短芯 9 的全长, 也能确保设置连接在光出射端 15a, 15b 上的光学器件的空间。因此, 本发明的光波导 8 能够作成小型的芯。

在本发明的光波导 8 中, 芯 9 的端面的形状成为与例如光导纤维等进行连接的光学器件等的耦合损耗变小的形状, 因此, 即使在连接部分, 损耗也小, 能够高效率地传输光。

这样, 在本发明的光波导 8 中, 能够使芯 9 的形状根据其位置或者平面形状等来改变, 而保证减小芯 9 的损耗, 同时, 增大弯曲部分的曲率, 则芯 9 的自由的自由度变高。特别是, 增大弯曲部分的曲率就能够避免光波导 8 变大变长, 而能够实现光波导 8 的小型化。

而且, 虽然芯 9 的断面形状(侧面的倾斜角)也能够急剧地变化, 但是, 最好使其缓慢地变化, 来防止光在芯 9 内乱反射, 或者, 泄漏到外部去。

图 13 是说明上述光波导 8 的制造工序图。在本发明的光波导 8 的制造工序中, 首先, 在基板 10 上涂布未固化的紫外线固化树脂, 用在表面上有反转图案的压模 12 模压, 照射紫外线, 使紫外线固化树脂固化, 由此, 形成下包覆层 11a (图 13 (a)、(b))。在这样形成的下包覆层 11a 的下凹处注入折射率大于下包覆层 11a 的紫外线固化树脂(芯树脂), 用玻璃板等平板 13 按压, 使紫外线固化树脂被填充到凹处内, 照射紫外线, 使紫外线

固化树脂固化（图 13（c））。接着，把平板 13 剥离后，置于旋涂机中，使下包覆层 11a 上的芯 9 薄薄地延伸（图 13（d））。然后，如果涂布折射率小于芯 9 的构成上包覆层 11b 的树脂，并进行曝光，就完成了光波导 8（图 13（e））。所形成的芯 9 的厚度约为 $6\sim 10\mu\text{m}$ ，上包覆层 11b 的厚度约为 $5\sim 10\mu\text{m}$ 。而且，不必总是形成上包覆层 11b。

在该光波导 8 的制造工序中使用的压模 12 或者压模的母盘能够通过玻璃板和树脂板等进行激光加工而形成所希望的形状。因此，使用这样的压模 12，就能够形成断面形状随位置而变化的芯 9。而且，在该制造方法中，如图 12 所示，能够制作用半导体工艺不能形成而下底比上底长度短的倒梯形断面的芯 9。而且，芯 9 也可以用注塑成型来形成。

在图 10（b）中，使分支芯 9b、9c 的分支部分附近区域的断面形状为梯形，但是，非分支芯 9a 和远离分支芯 9b、9c 的位置等上，如图 14 所示，使断面形状成为梯形。分支芯 9b、9c 弯曲成 S 形，然后在与图 9 的 D—D' 断面位置相反方向上弯曲的位置处（例如，D—D' 断面和背面的中间附近），也可以使外周侧的侧面倾斜，而形成图 15 那样的断面形状。

图 16（a）～（c）分别表示该实施例中的光波导的变形例的正面图、相当于图 9 的 D—D' 线处的断面图、背面图。在形成芯 9 时，芯树脂从芯 9 的侧边溢出到下包覆层 11a 的上表面，而形成薄膜状的溢料层 9d。在光波导 8 中，也可以形成如图 16（a）～（c）所示的溢料层 9d，但是，当芯 9 中传输的光入射到溢料层 9d 中时，光从溢料层 9d 泄漏到外部，因此，希望溢料层 9d 的厚度尽可能薄。

（第二实施例）

图 17 是本发明的另一个实施例的 S 形的光波导 8（S 形芯）的平面图。图 18（a）～（c）分别是图 17 所示的光波导 8 的正面图、沿 E—E' 线的断面图、背面图。该光波导 8 由基板 10、下包覆层 11a、芯 9、上包覆层 11b 构成，采用在第一实施例中说明的制造方法（复印工艺）来制造。在芯 9 的光入射端 14 上连接投光器件，在芯 9 的光出射端 15 上连接受光器件。

如图 18（b）所示，芯 9 的弯曲部分的断面形状为梯形。该形状被设计成这样的形状：从芯 9 的光入射端 14 入射并且以单模传输过来的光，在入射到芯 9 的弯曲部分的侧面上时，入射角为临界角以上，以便抑制芯 9 内的

光的损耗，并且，不会发生多模的光。

如本发明的光波导那样，如果把弯曲部分的芯9的侧面设计成能够抑制传输损耗的形状，就能够制作出弯曲部分的曲率半径比现有的同样的芯（S形芯）小的小型光波导。

5 （第三实施例）

图19是本发明的另一个实施例的光波导8（弯曲波导）的平面图。图19所示的光波导8的正面图、沿F—F'线的断面图、左侧面图没有图示，但是，分别为与图18（a）～（c）所示的相同的构造。该光波导8采用在第一实施例中说明的制造方法来制作，由基板10、下包覆层11a、芯9、上包覆层11b构成。

在该实施例的光波导8中，弯曲部分的芯9的断面形状为梯形（参照图18（b））。该形状被设计成：当从芯9的光入射端14入射的以单模传输的光入射到芯9的弯曲部的侧面上时，入射角为临界角以上，以便抑制在芯9内传输的光的损耗，而且，不会发生多模。

15 （第四实施例）

图20是本发明的另一个实施例中的光开关8A的平面图。图21（a）～（c）分别是图20的光开关8A的正面图、沿G—G'线的断面图、沿H—H'线的断面图、背面图。本发明的光开关8A由基板10、下包覆层11a、芯9（非分支芯9a、分支芯9b、9c）、上包覆层11b、加热器16a、16b构成，除了在上包覆层11b上形成由金属电极构成的加热器16a、16b这点之外，用与第一实施例中说明的光波导8相同的制造方法来制造。在本发明的光开关8A中，在上包覆层11b的上表面，夹着非分支芯9a而在分支芯9b的上方设置加热器16a，在分支芯9c的上方设置加热器16b。

如图21（b）、（c）所示，除了光入射端14和光出射端15a、15b及其附近的区域之外，非分支芯9a和分支芯9b、9c形成为两侧面倾斜的倒梯形断面；如图21（a）、（d）所示，光入射端14和光出射端15a、15b及其附近的区域形成为矩形断面，在中间，断面形状逐渐变化。

本发明的光开关8A是一种光学开关器件，能够把从光入射端14入射到非分支芯9a中的光仅导入分支芯9b或分支芯9c的某一方。导入光的分支芯9b或分支芯9c的切换利用热光学效应（TO效应）来实现。

在此，加热器 16a，16b 通电而发热，仅加热一方的分支芯 9b、9c。例如，如图 22 所示，当仅对加热器 16b 通电而使之发热时，在加热器 16b 的周围，产生图示那样的温度分布，分支芯 9c 被有效地加热，温度上升，但是，分支芯 9b 的温度几乎不会上升。当仅使加热器 16a 发热时，情况相反。

5 在此，说明这样的情况：使分支芯 9b 导通，而使分支芯 9c 关断，仅把从光入射端 14 入射的光导入分支芯 9b 中，从光出射端 15a 射出。在此情况下，把要切断光传输的分支芯 9c 上的加热器 16b 接通，加热分支芯 9c，把传输光的分支芯 9b 上的加热器 16a 关断，由加热器 16b 加热的分支芯 9c 的折射率变得小于未加热的分支芯 9b 的折射率。当从光入射端 14 入射的光到
10 达芯 9 的分支部分时，由于在分支芯 9c 侧折射率变低，因此，到达分支部分的光就被导入到分支芯 9b 侧，在分支芯 9b 中传输。

但是，在光开关 8A 中，如图 21 (b)、(c) 所示，至少在加热器 16a，16b 正下方的分支部分中，非分支芯 9a 和分支芯 9b、9c 的两侧面倾斜，断面形状成为倒梯形形状，在与加热器 16a，16b 相平行的边中，接近于加热器
15 器 16a，16b 的边（上底）比远离加热器 16a，16b 的边（下底）长。因此，在分支芯 9b、9c 的两侧面成为楔形的部分中，分支芯 9b、9c 的厚度逐渐变薄，在分支芯 9b、9c 的两侧部，折射率变小，因此，在芯 9 的分支部分，进入到分支芯 9b 或 9c 内的光汇集到分支芯 9b 或 9c 的中央部，而抑制了由向左右两侧的放射所引起的泄漏。例如，在接通加热器 16a 时，加热器接通
20 侧的分支芯 9b 的两侧面的厚度薄的部分被有效地加热，折射率变小，因此，光在加热器关断侧的分支芯 9c 中传输，而在加热器接通侧的分支芯 9b 中，光不传输，而且，光传输的分支芯 9c 内的光难于向另一方的分支芯 9b 泄漏，光开关 8A 的消光比变高。相反，当使加热器 16b 接通时，分支芯 9c 的折射率被有效地降低，因此，光向分支芯 9b 传输，难于向分支芯 9c 泄漏，因此，
25 消光比增高。

当使分支部分的芯 9 的断面形状成为接近于加热器 16a，16b 的边（上底）短于远离加热器 16a，16b 的边（下底）的梯形断面时，不能得到这样的提高消光比的效果。这是因为分支芯 9b、9c 的两侧的厚度薄的部分远离加热器 16a，16b。

30 按照这样的构造的光开关 8A，能够提高消光比，因此，不需要为了提高

消光比而提高加热器 16a, 16b 的功耗, 能够把折射率大的部分和折射率小的部分之差抑制得较小, 因此, 难于发生多模光。

下面, 设定具有分支部分的断面为梯形的芯 9 的光开关 8A 和具有断面为矩形的芯的现有的光开关, 并把模拟在各自的芯中传输的光的功率的结果
5 分别表示在图 23 和图 24 中。图 23 (a) 用线的粗细来表示在本发明的光开关 8A 中, 仅使一方的加热器接通时的传输的光的功率的平面图, 图 23 (b) 是横轴表示功率强度, 纵轴表示光开关的长度方向的距离时的各分支芯内的功率变化的曲线图。同样, 图 24 (a) 用线的粗细来表示在现有的光开关中, 仅使一方的加热器导通时的传播的光的功率的平面图, 图 24 (b) 是横轴表示功率强度, 纵轴表示光开关的长度方向的距离时的各分支芯内的功率变化的
10 的曲线图。

比较图 23 和图 24 可以看出, 在图 24 所示的现有的光开关中, 在加热器接通侧的分支芯中, 流过 10%左右的功率的光, 在加热器断开侧, 仅传输 90%左右的功率的光。与此相对, 在图 23 所示的本发明的光开关中, 在加热器
15 接通侧的分支芯中流过的光的功率几乎为 0, 在加热器断开侧, 几乎传输了 100%的功率的光, 实现了高的消光比和小的传输损耗。

图 25 (a)、(b)、(c) 表示现有技术的光开关, 在相应于图 20 的 P1、P2、P3 处的断面的光的功率分布。同样, 图 26 (a)、(b)、(c) 也表示现有的光开关, 在相同的位置处的断面的光的功率分布。而本发明的光
20 开关与现有的光开关相比, 在相同的位置处向加热器接通侧的分支芯的功率泄漏非常小。

在上述实施例的光开关 8A 中, 不仅是非分支芯 9a, 分支芯 9b、9c 也可以形成为左右对称的断面形状, 但是, 对于分支芯 9b、9c, 也可以使远离另一方的分支芯 9c, 9b 侧的侧面倾斜, 而接近另一方的分支芯 9c, 9b 侧的侧面
25 成为垂直面。

图 27 (a) ~ (d) 是该实施例的光开关 8A 的变形例的正面图、相当于图 20 的沿 G-G' 线的断面中的断面图、相当于图 20 的沿 H-H' 线的断面中的断面图、背面图。它们表示: 当形成芯 9 (非分支芯 9a、分支芯 9b、9c) 时, 从芯 9 的两侧, 芯树脂在下包覆层 11a 的上表面溢出, 而形成薄膜状的
30 溢料层 9d 的情况。在光开关 8A 中, 可以形成图 27 (a) ~ (d) 所示的溢料

层 9d, 但是, 当在芯 9 中传输的光入射到溢料层 9d 中时, 光从溢料层 9d 泄漏到外部, 因此, 希望溢料层 9d 的厚度尽量薄。

(第五实施例)

图 28 是本发明的另一个实施例的光开关 8B 的说明图。该光开关 8B 用在第一实施例中说明的制造方法来形成, 由基板 10、下包覆层 11a、芯 9、上包覆层 11b、加热器 16 构成。芯 9 具有两个以上的分支部分, 具有三个以上的光出射端 15a、15b、…。在上包覆层 11b 的上表面上, 分别设置一组加热器 16a, 16b, 以便于夹着芯 9 的各个分支部分。但是, 通过分别切换各组加热器 16a, 16b, 就能够把从光入射端 14 入射的光的传输去向切换到任意的
5 10 的光出射端 15a, 15b, …。

该光开关 8B 的芯 9 的分支部附近的断面形状为梯形, 光入射端 14 和光出射端 15a, 15b, …成为与正方形和长方形等连接的光导纤维等的耦合损耗较少的形状。因此, 根据该光开关 8B, 在分支部分中, 能够仅向所希望的分支去向高效率地传输光, 而且, 在芯 9 的端面上, 耦合损耗少, 因此, 能够
15 高效率地传输、分配光。

(其他实施例)

本发明的光波导能够用于各种应用。例如, 能够用于使用 2 条芯 9 和加热器 16a, 16b 的图 29 这样的定向耦合器 (光开关) 8C、使用 2 条芯 9 和加热器 16a, 16b 的图 30 这样的马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器 (光开关) 8D、
20 由在中途分支成两条并再接合起来的芯 9 和加热器 16a, 16b 构成的图 31 这样的马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器 (可变衰减器) 8E、用不对称的两条芯 9 所构成的图 32 这样的非对称马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器 (合波分波器) 8F、由多条芯 9 和星型耦合器 17 构成的图 33 这样的 AWG (Arrayed Waveguide Grating: 阵列波导光栅) 弯曲芯 (合波分波器) 合波分波器 8G、由多条芯
25 9 和滤光器 18 所构成的图 34 这样的合波分波器 8H、由 Y 分支的芯 9 和滤光器 18 所构成的图 35 这样的光收发器 8I (在图示中省略了光源和光检测器件)、由 2 条芯 9 所构成的不对称马赫-钱德勒干涉仪定向耦合器所形成的图 36 这样的光收发器 8J (在图示中省略了光源和光检测器件) 等。

按照本发明的光波导, 由于在沿着芯的长度方向的方向上, 芯的断面形状不是恒定的, 存在变化的部分, 因此, 即使使用均一的芯材料, 通过使断
30

面形状变化，也能够使芯的实际折射率变化。这样，通过断面形状的变化，能够在芯的任意位置上控制芯的实际折射率，能够控制通过芯传输的电场分布。例如，在芯的弯曲部分和分支部分中，能够控制光的电场分布，以使光难以从芯中泄漏而损耗。这样，能够在抑制传输损耗的同时以大的曲率使芯弯曲，因此，增大了芯的形狀的自由度，并且，不会加大光波导，能够在芯的方向上作成大的弯曲。

按照本发明的光学部件，用加热装置把芯加热，使芯的折射率变化，能够控制在芯中传输的光的动作。使用本发明的光波导，能够减小光的损耗，同时，使芯的断面形状变化，由此，就能够控制用加热装置进行加热时的光的动作。这样，就通过对加热装置的控制就能够控制在芯内传输的光的动作，能够得到损耗小的小型光学部件。

按照本发明的光开关，通过控制加热装置对芯的加热位置，就能够切换分支部分中的光的传输方向。由于在沿着芯的长度方向的方向上，芯的断面形状不是恒定的，存在变化的部分，因此，即使使用均一的芯材料，也能通过使断面形状变化而使芯的实际折射率变化。这样，就能够通过断面形状的变化在芯的任意位置上控制芯的实际折射率，能够控制芯中传输的电场分布。例如，在芯的弯曲部分和分支部分中，能够控制光的电场分布，以使光难以从芯中泄漏而产生损耗。这样，能够在抑制损耗的同时以大的曲率来使芯弯曲，因此，芯的形狀的自由度增加，并且，不会加大光开关，能够在芯的方向上作成大的弯曲。这样，按照本发明，就能够制作出低损耗并且消光比高的光开关。

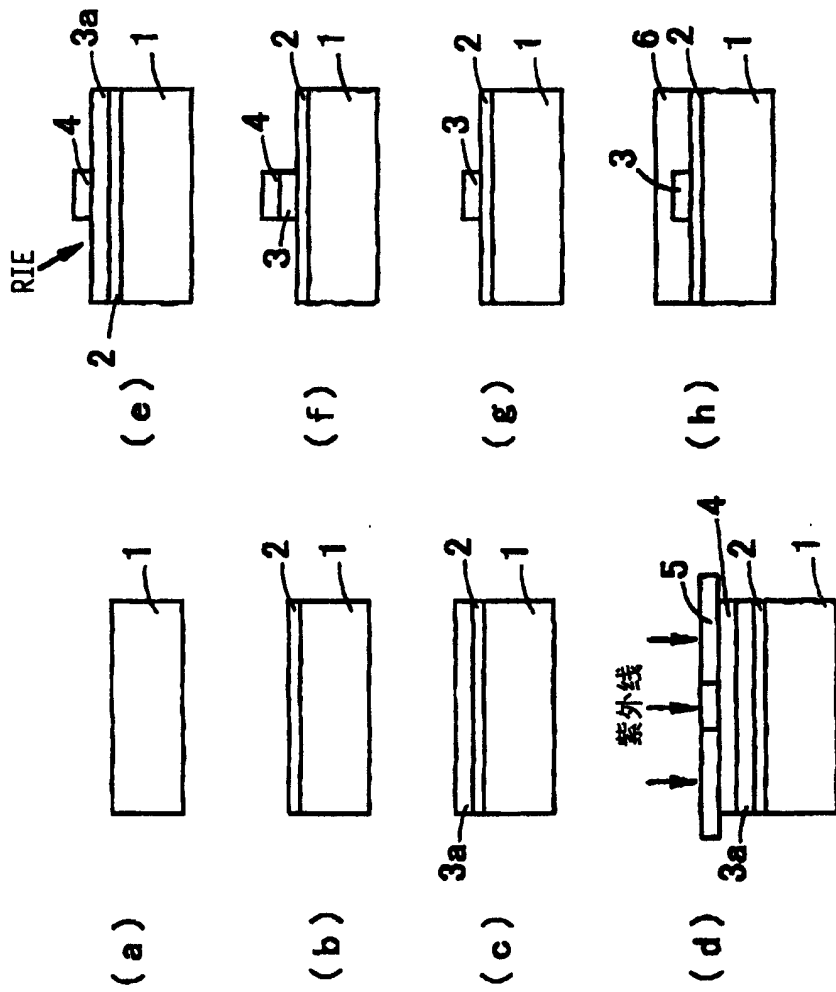


图1

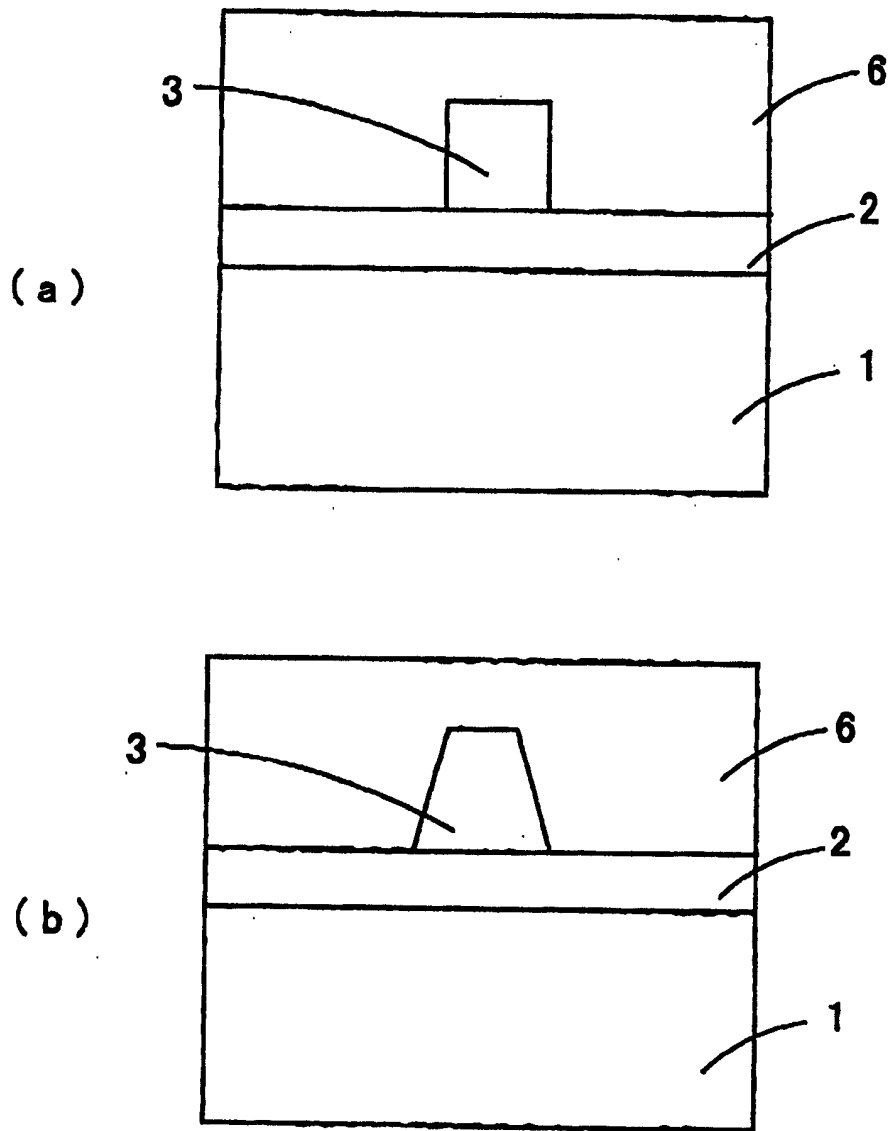


图 2

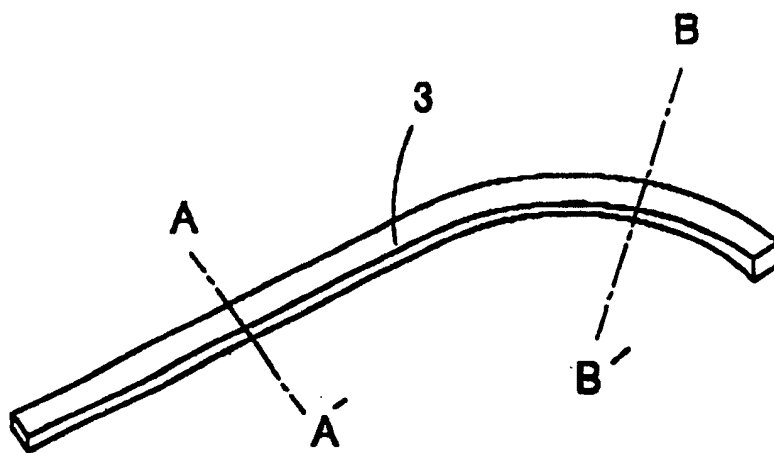


图 3

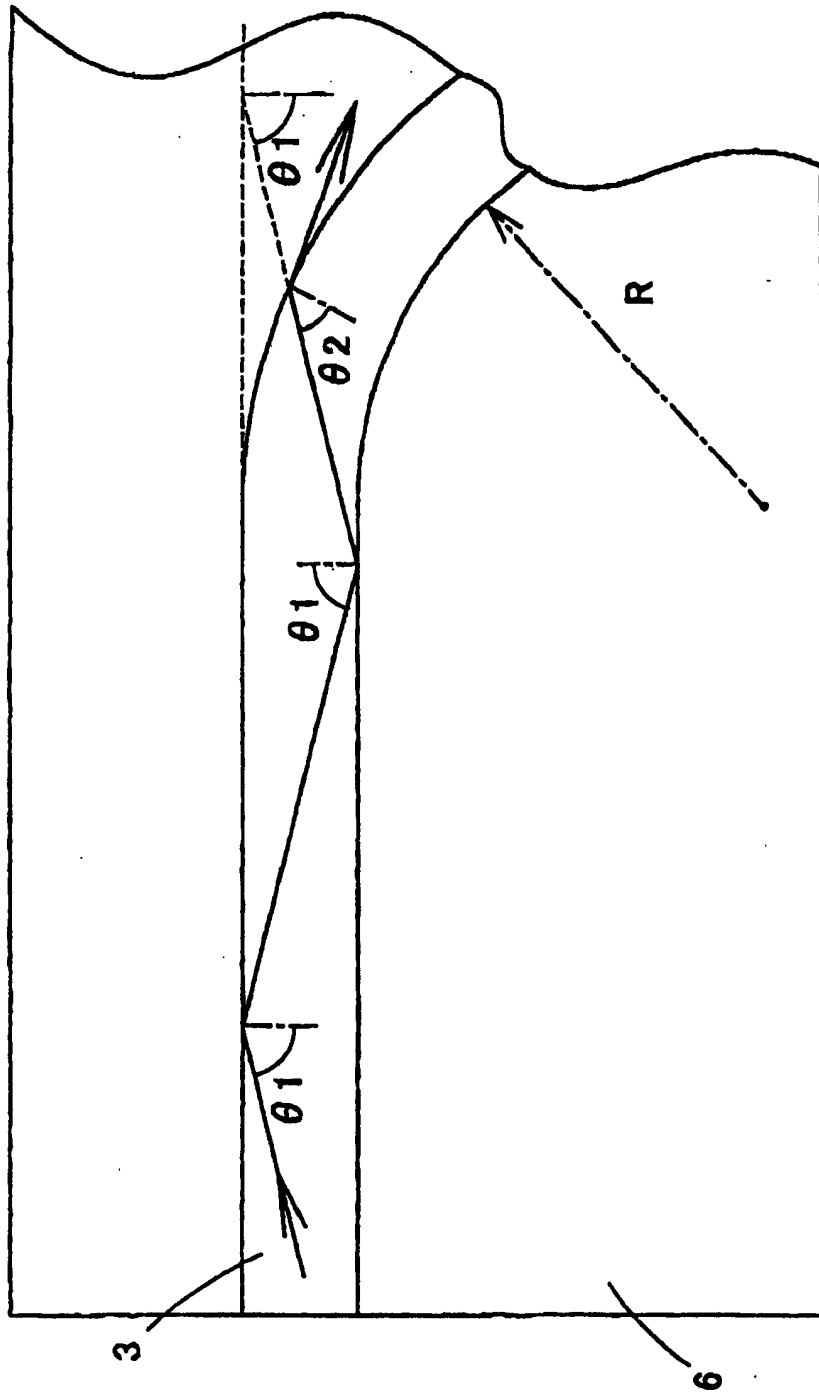


图 4

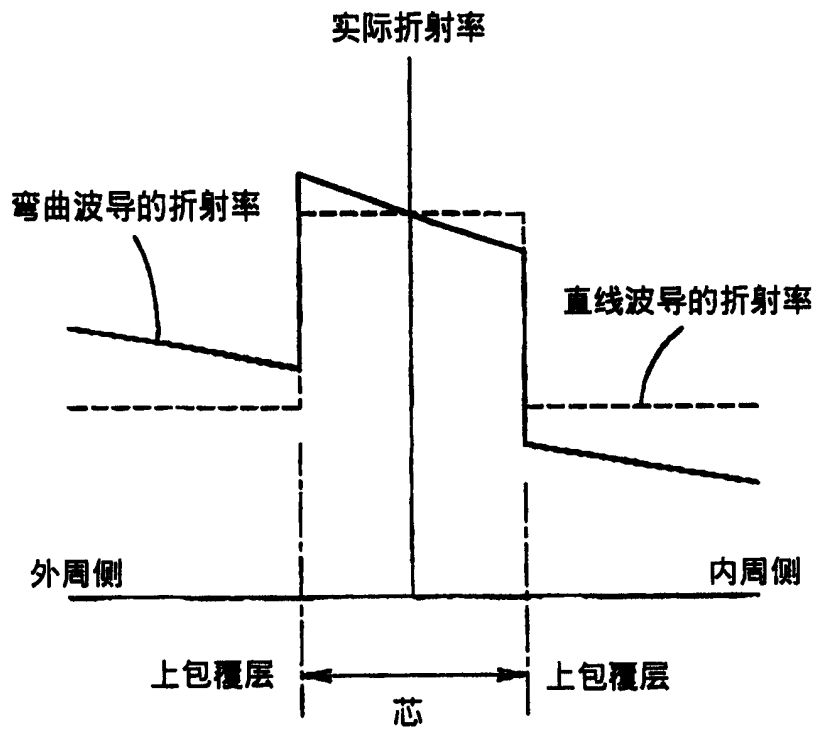


图 5

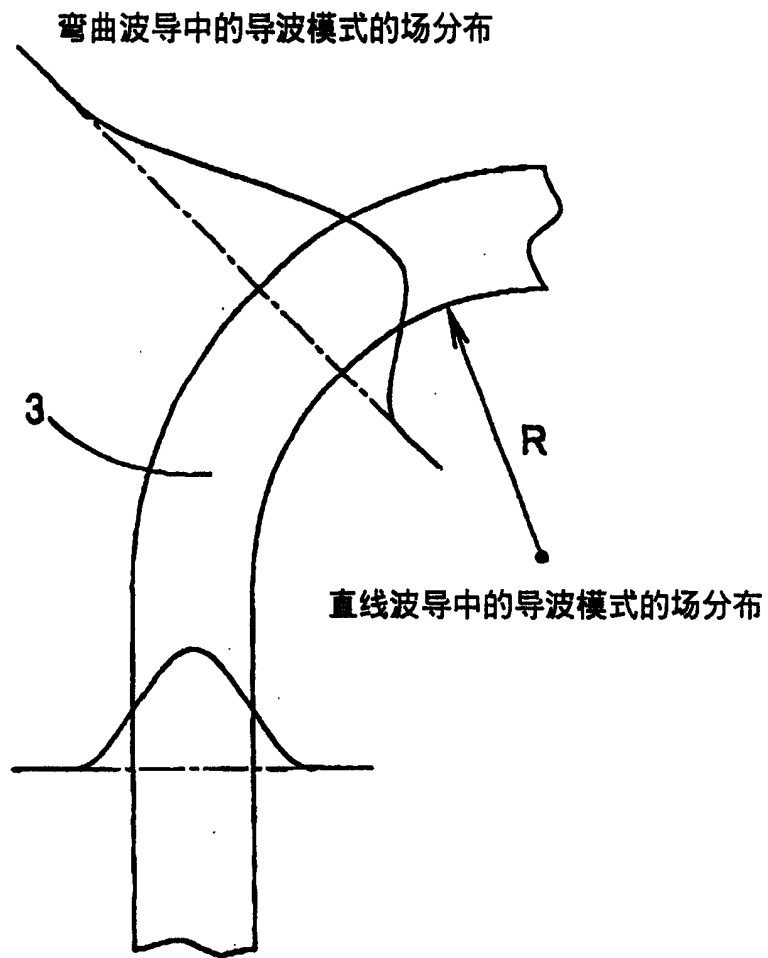


图 6

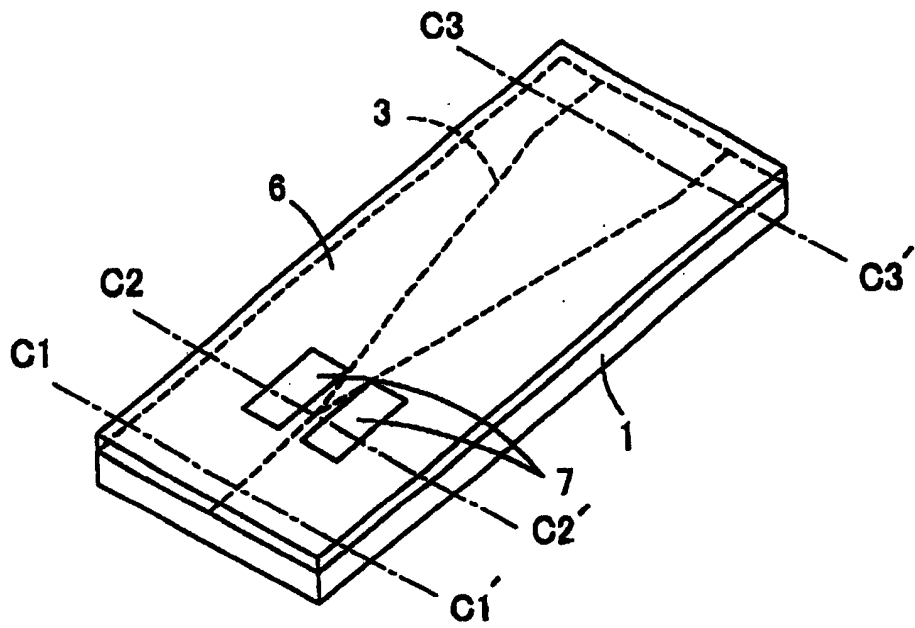


图 7

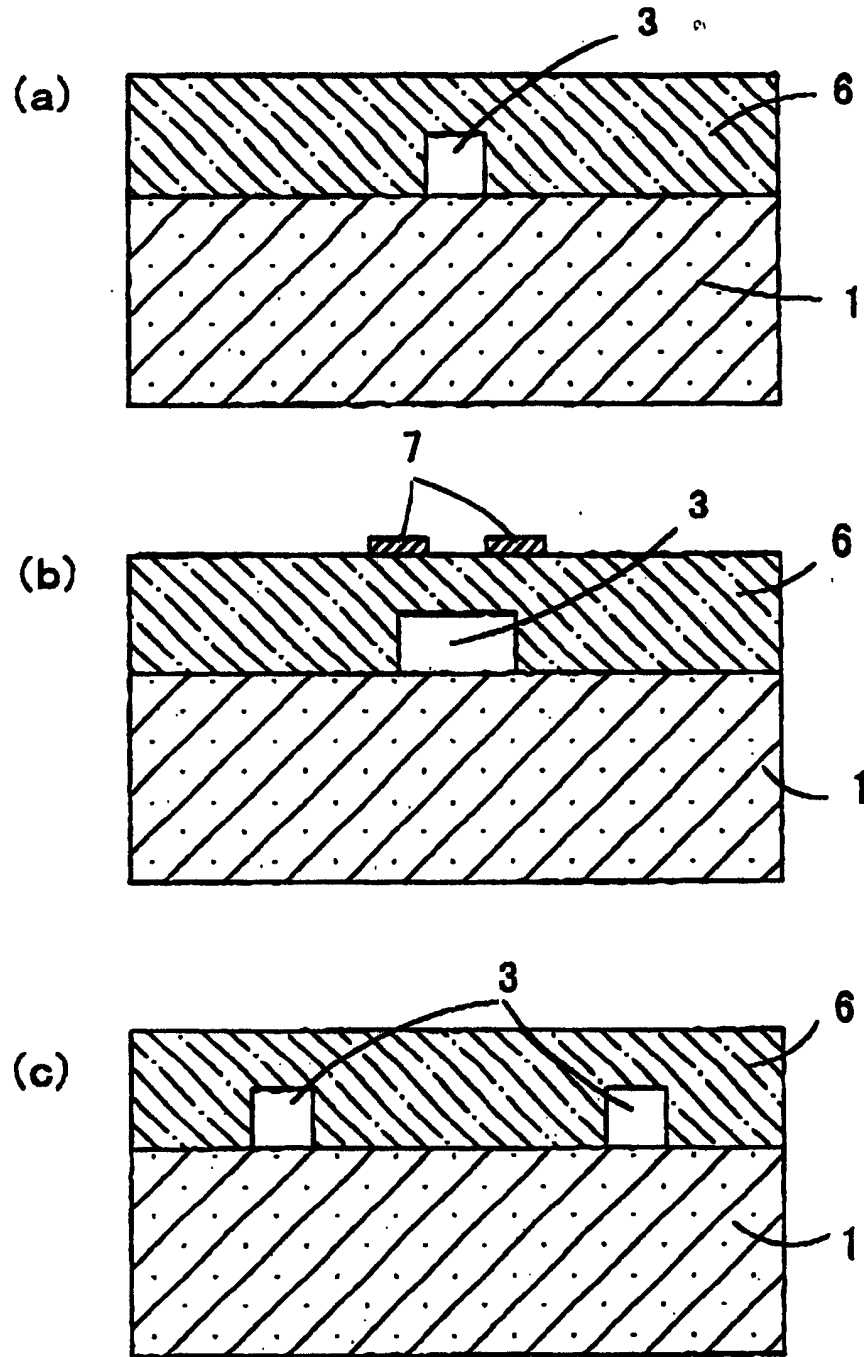


图 8

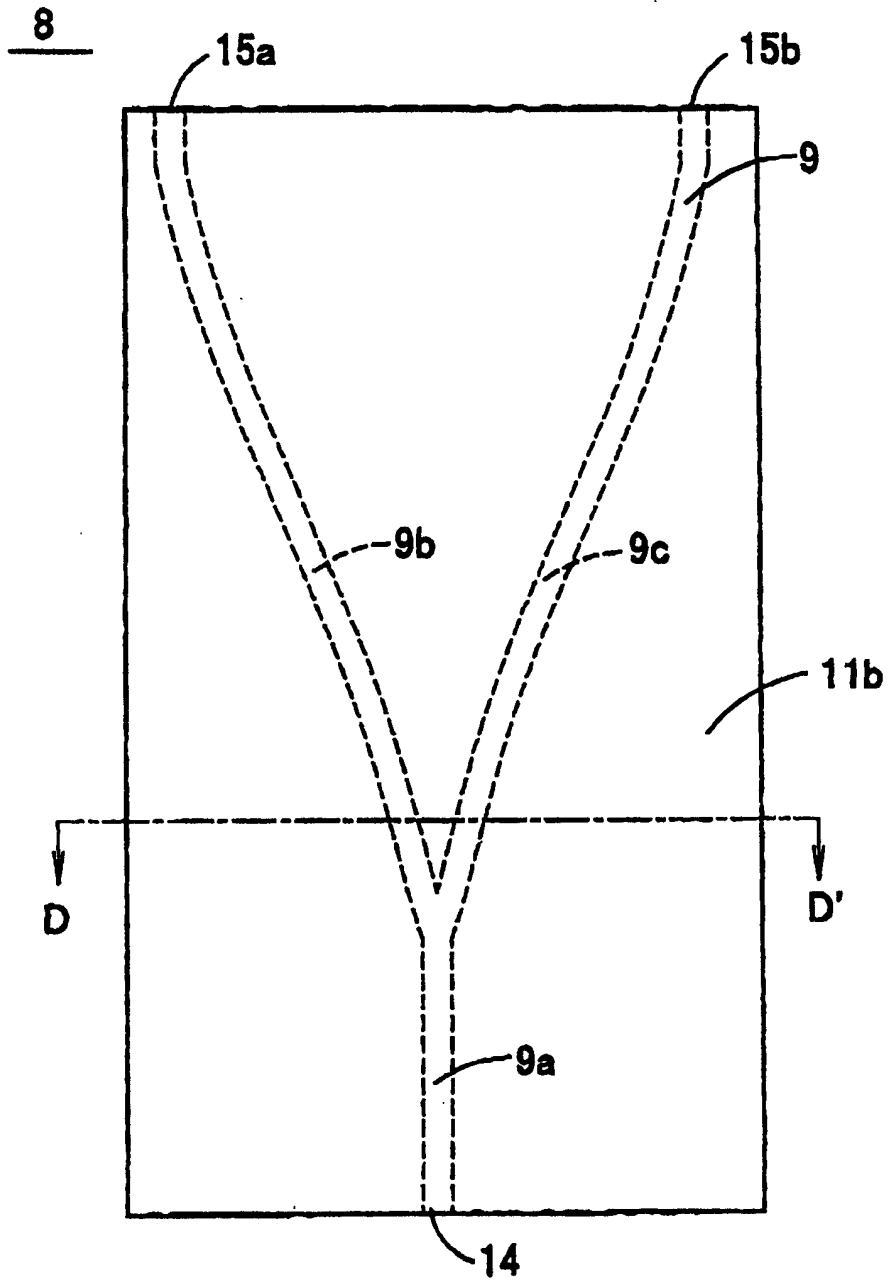


图 9

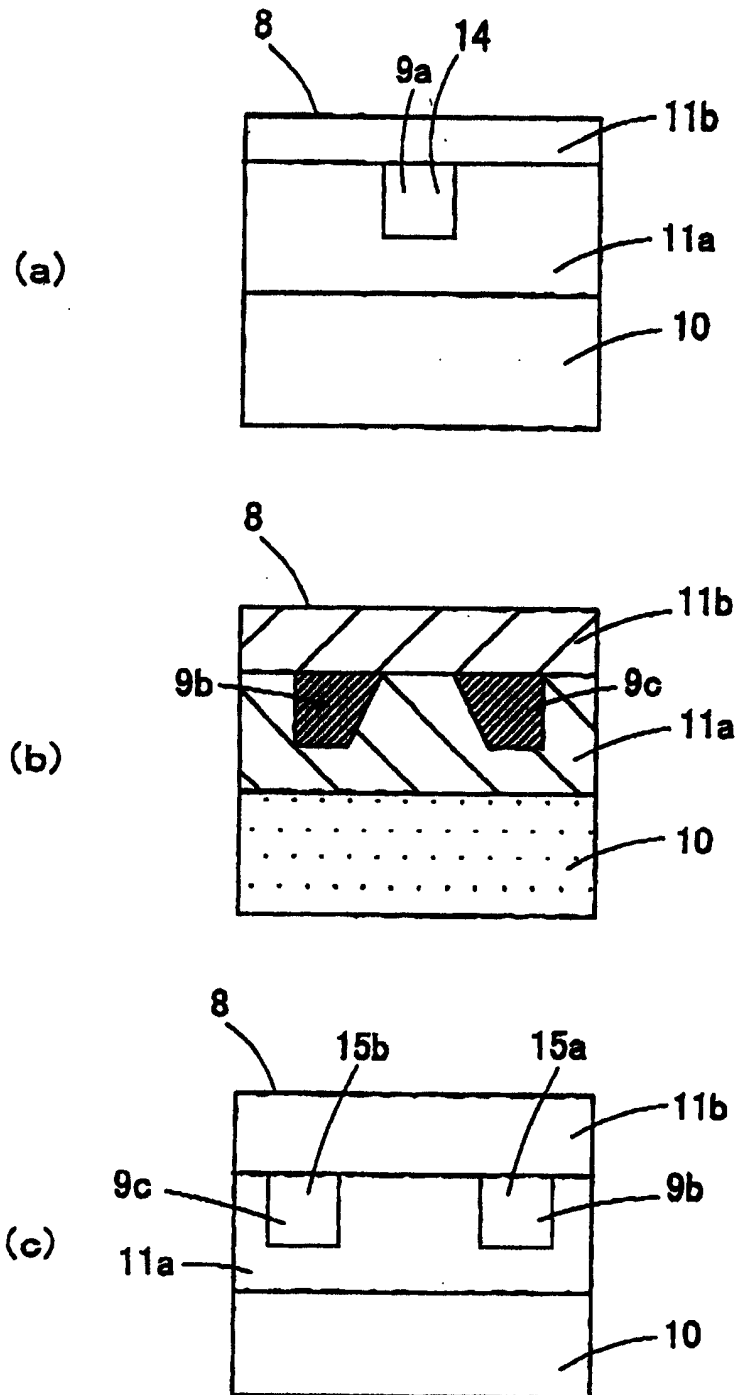


图 10

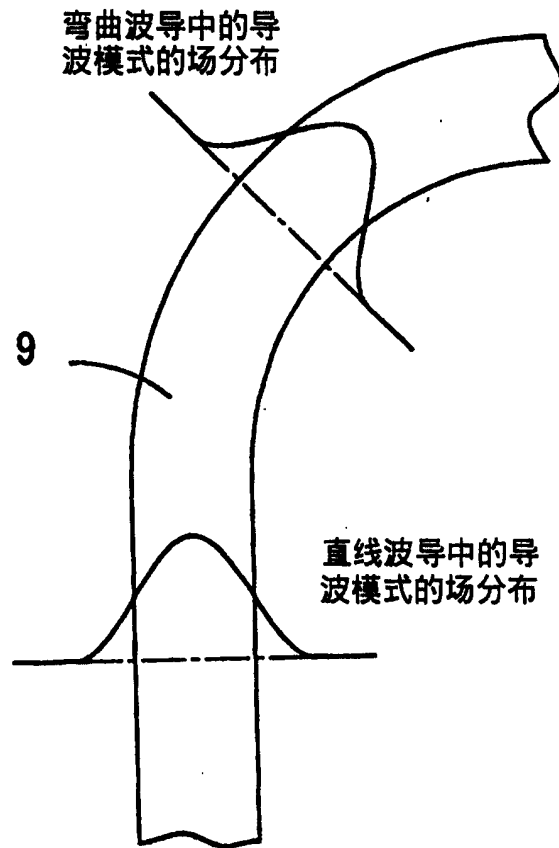


图 11

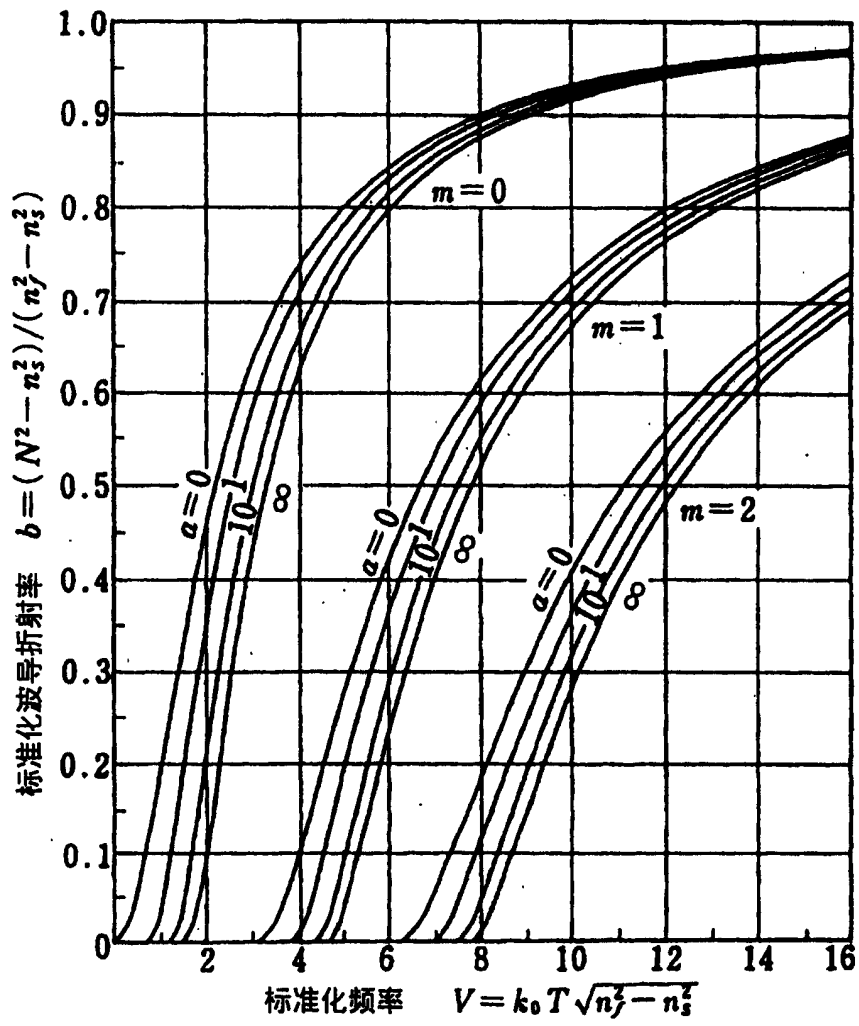


图 12

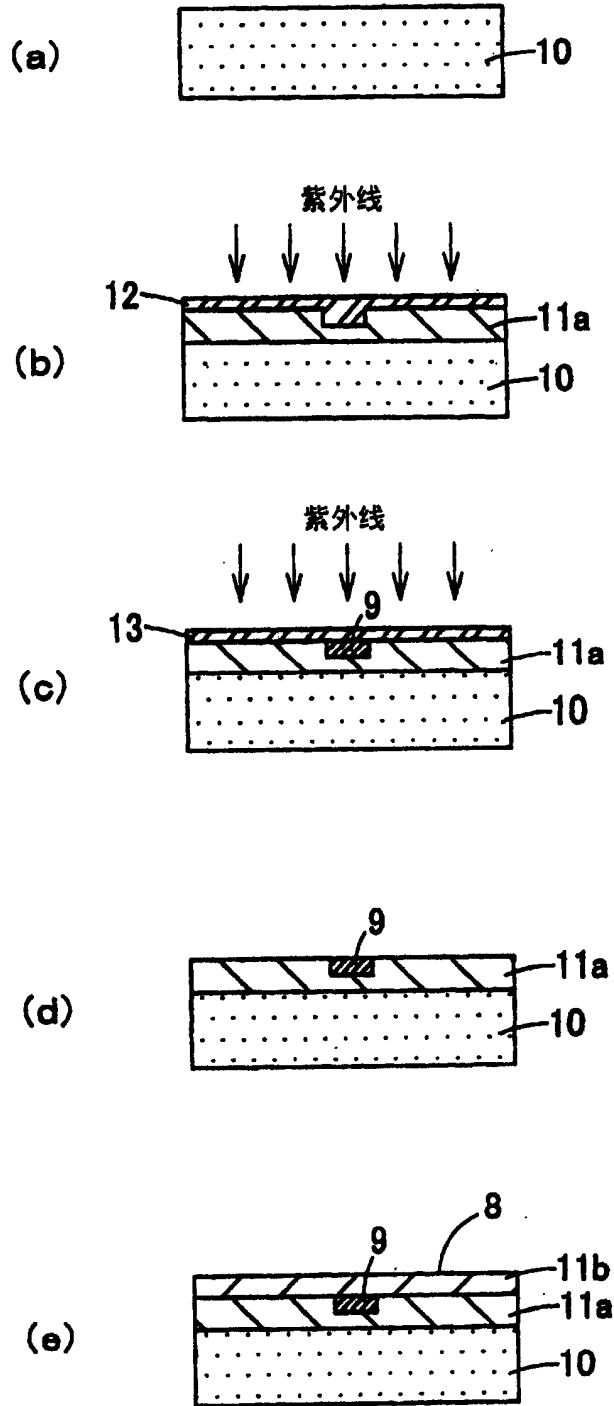


图 13

8

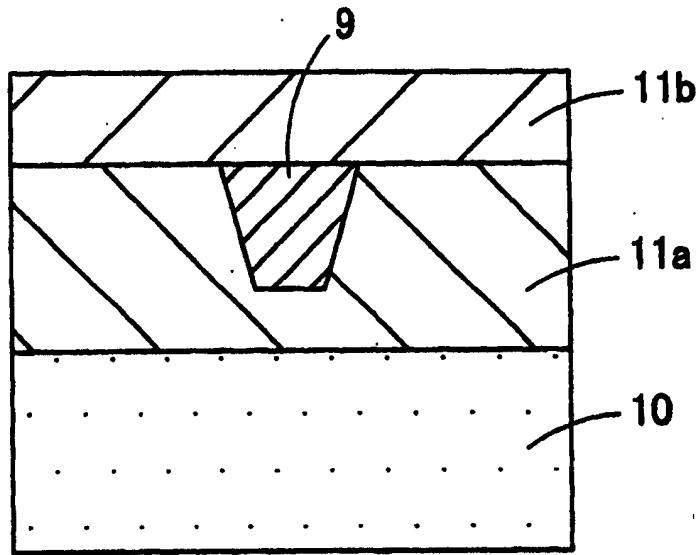


图 14

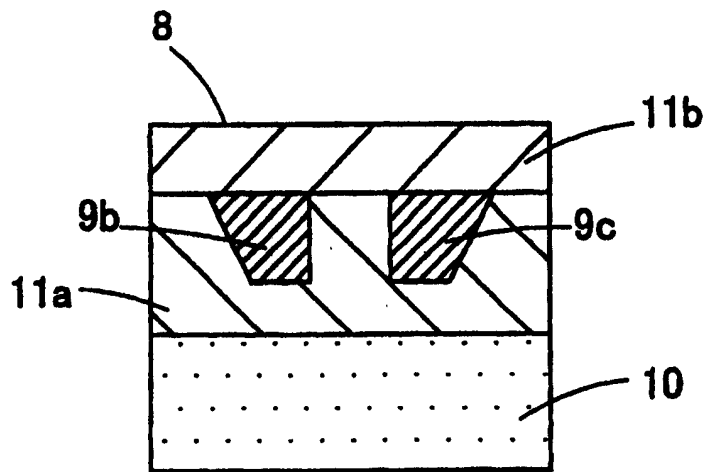


图 15

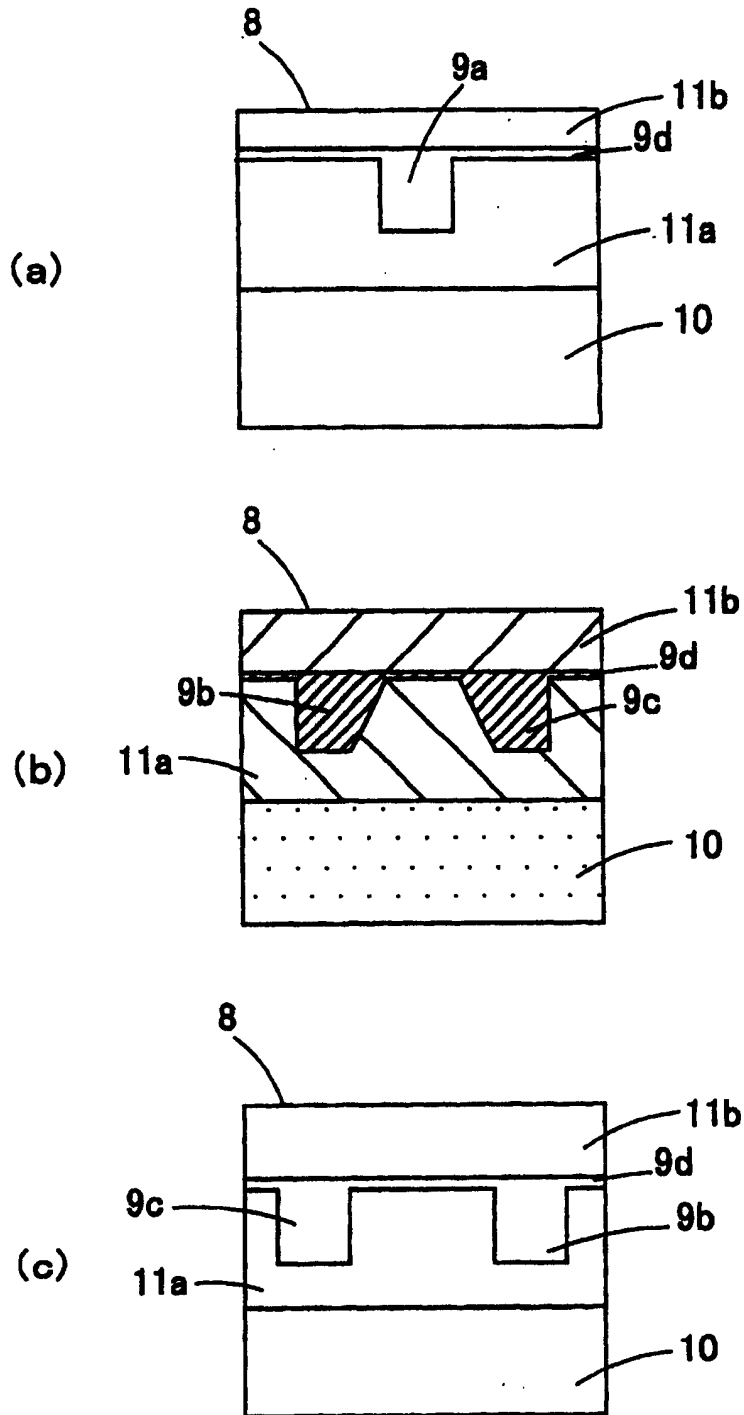


图 16

8

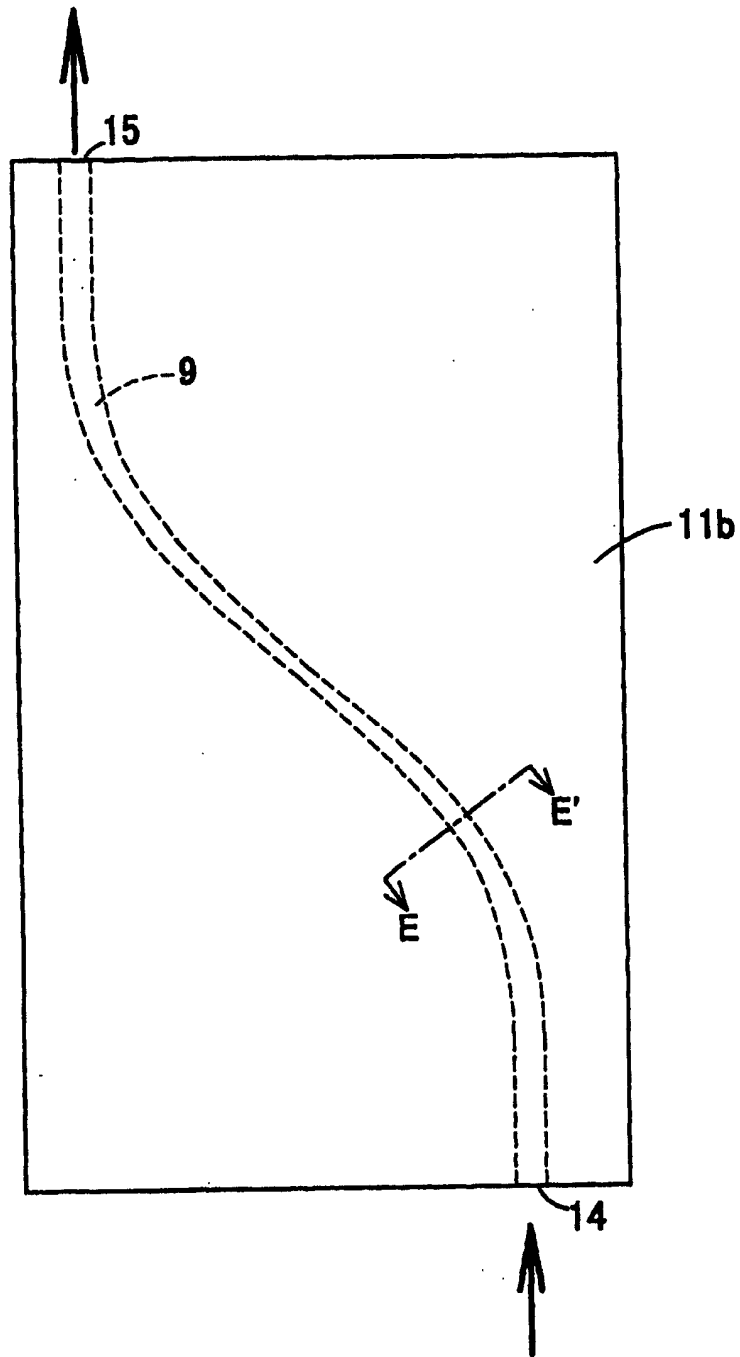


图 17

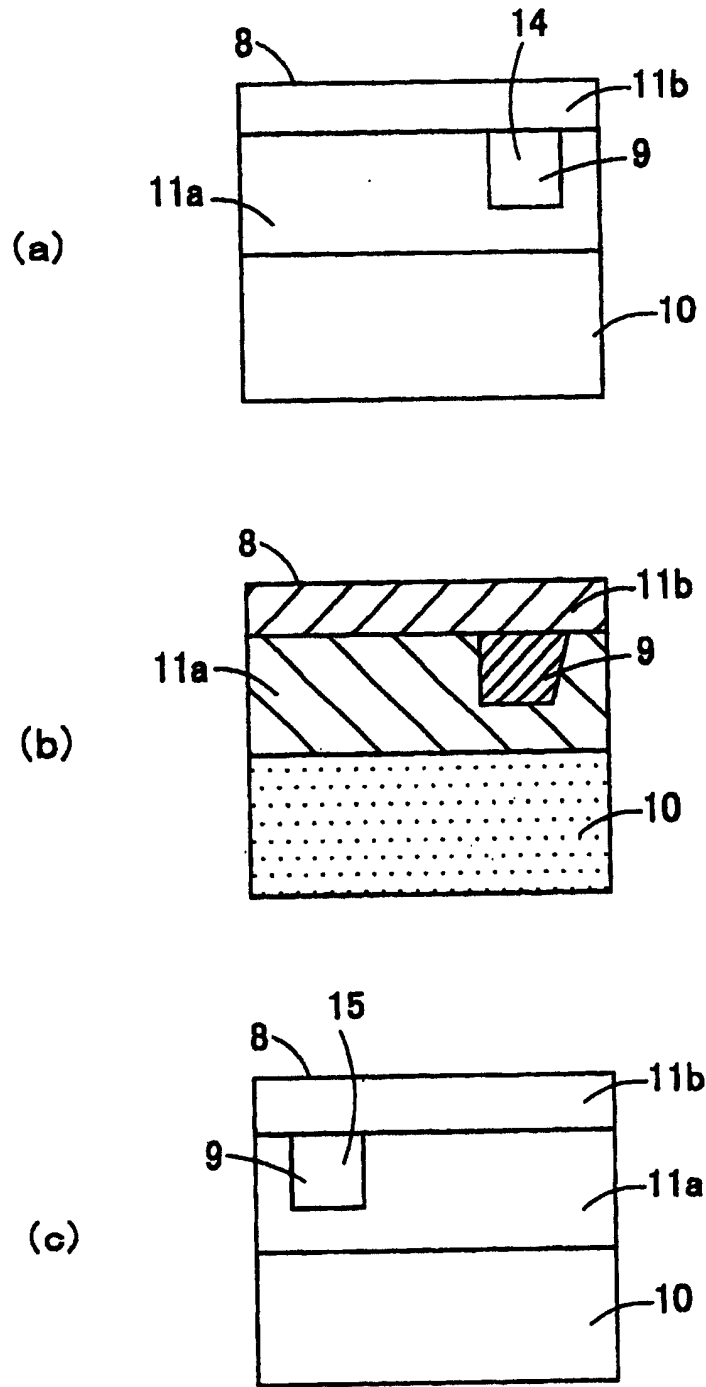


图 18

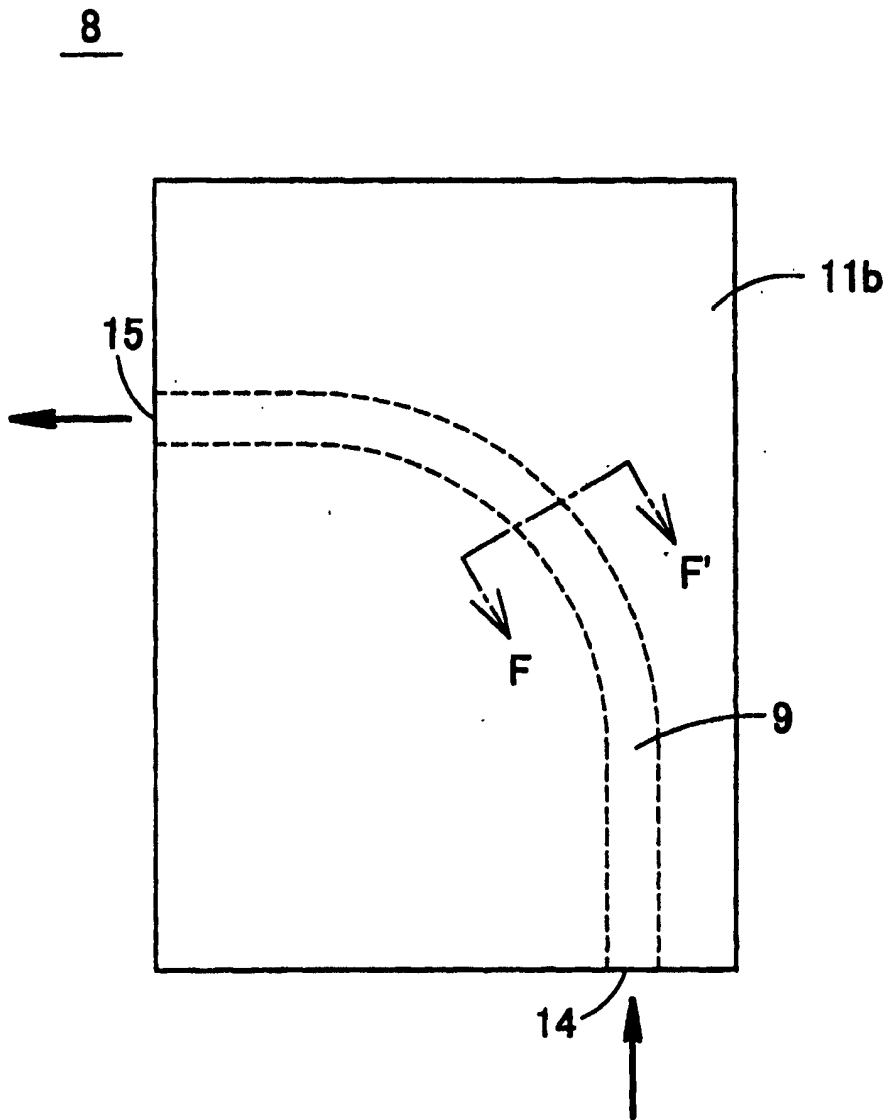


图 19

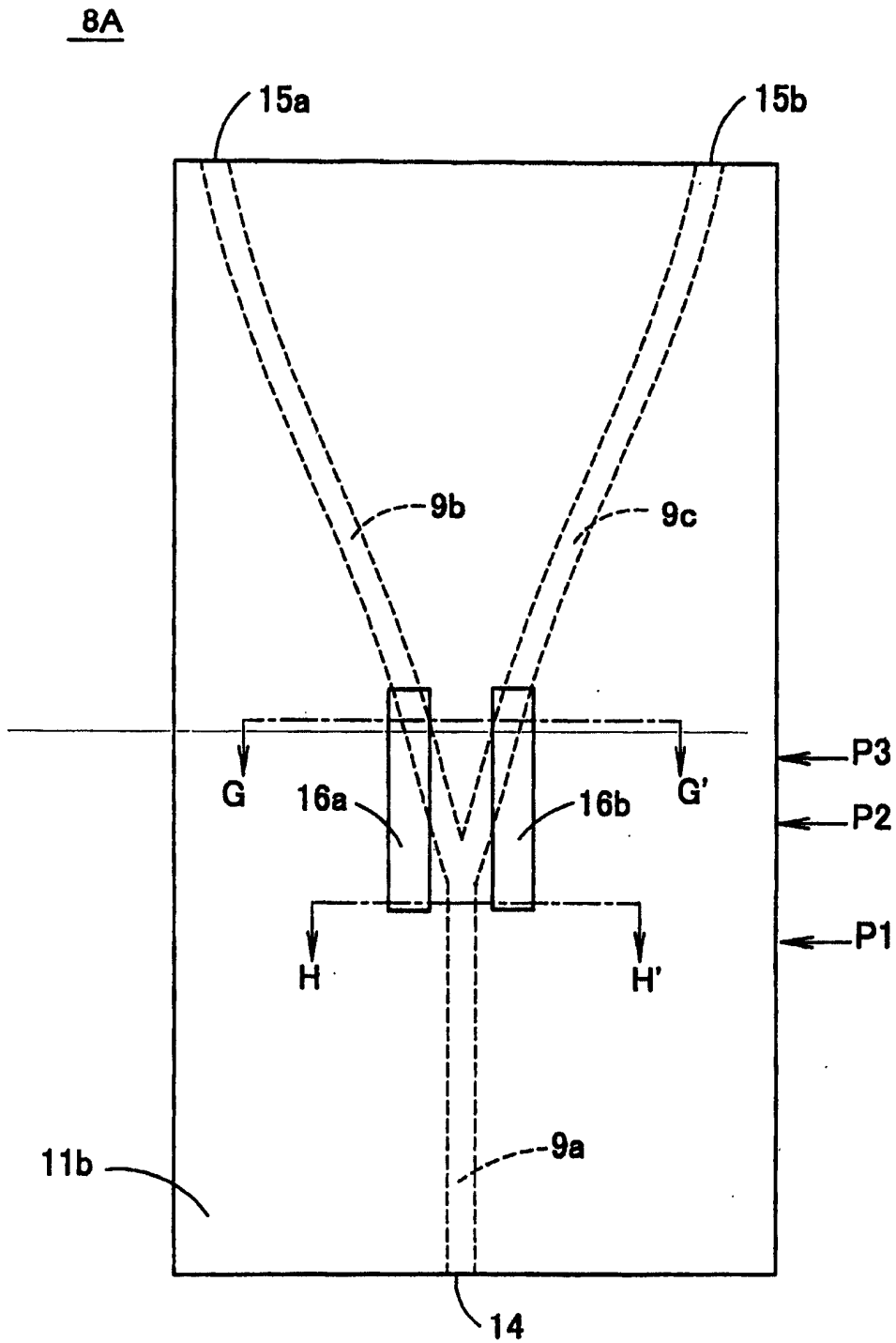


图 20

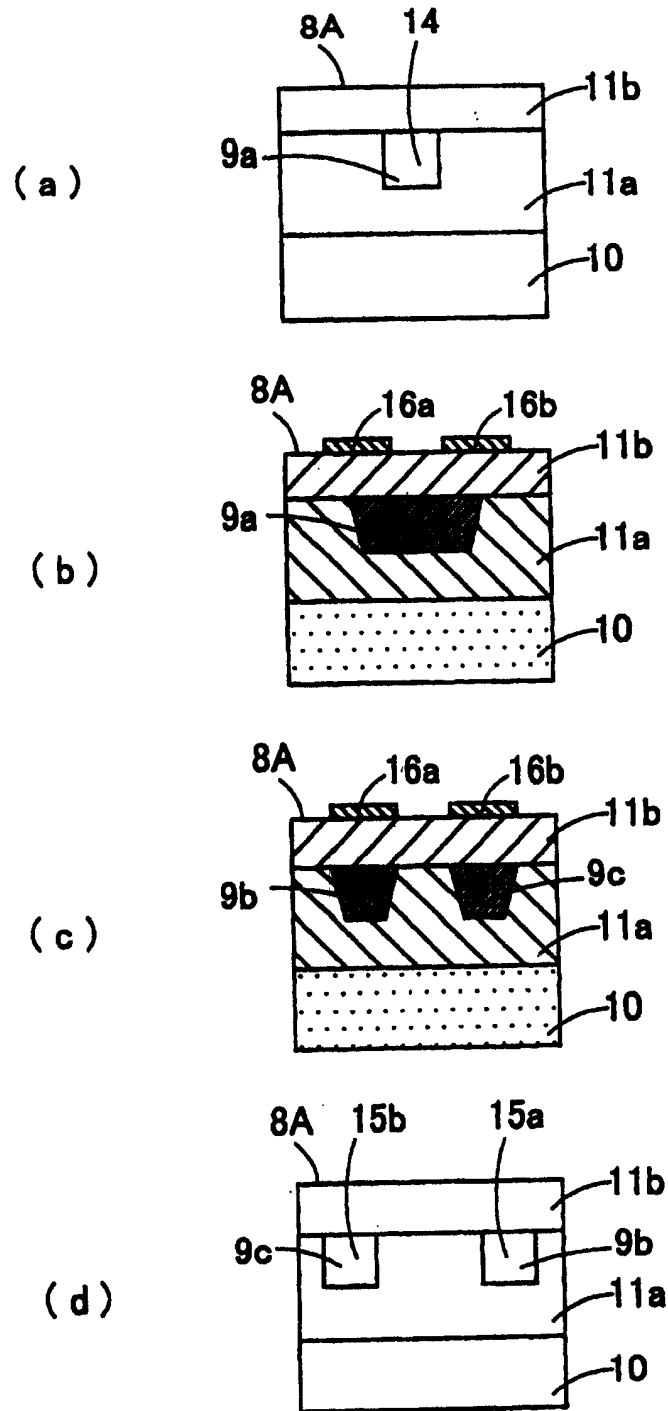


图 21

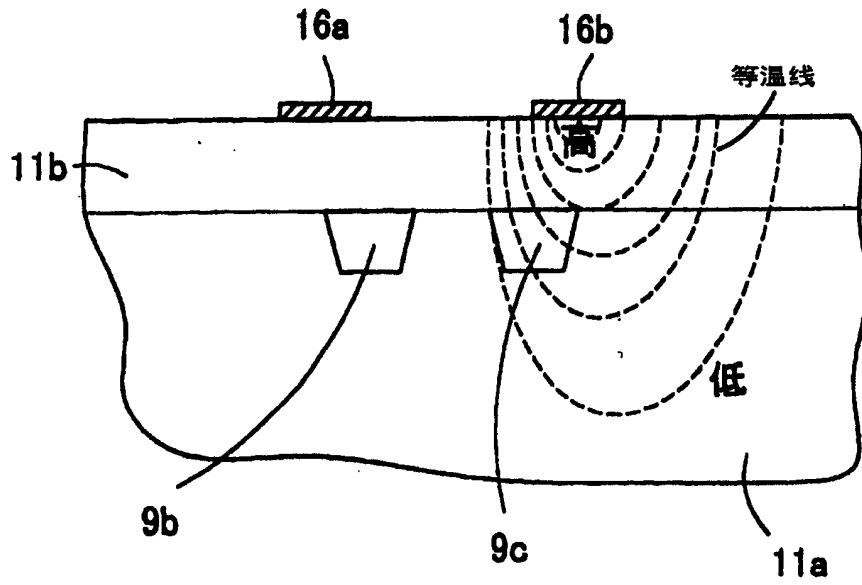


图 22

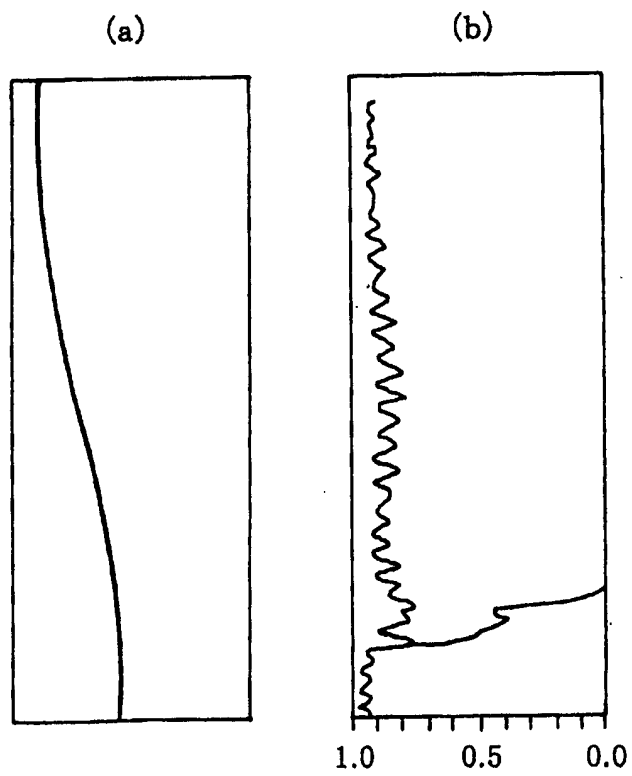


图 23

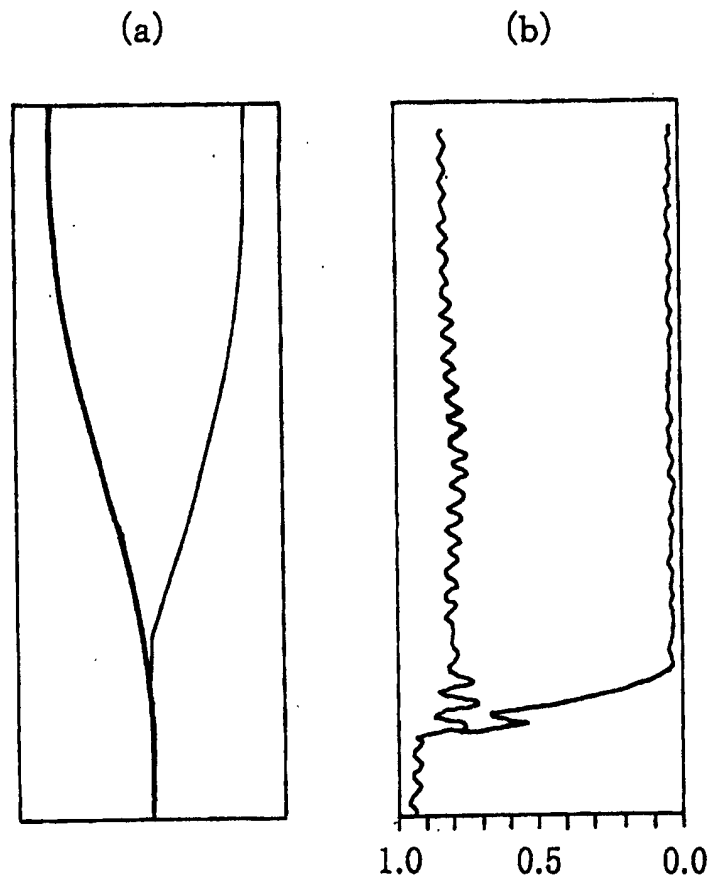


图 24

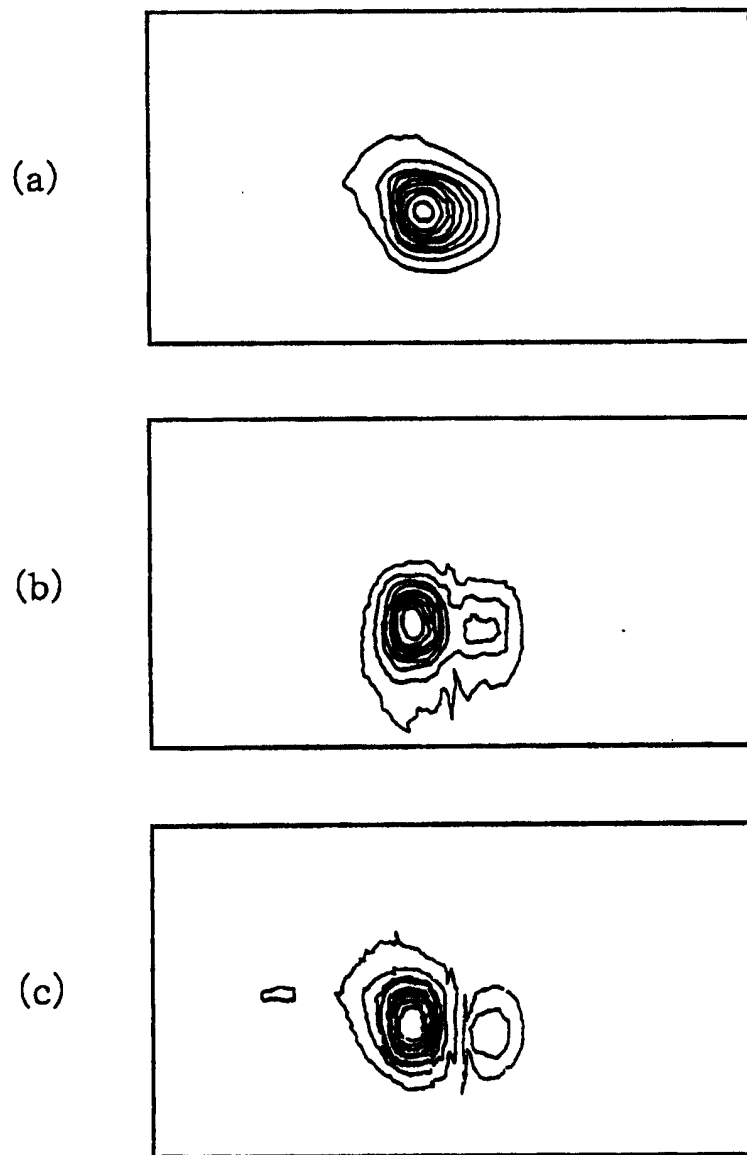


图 25

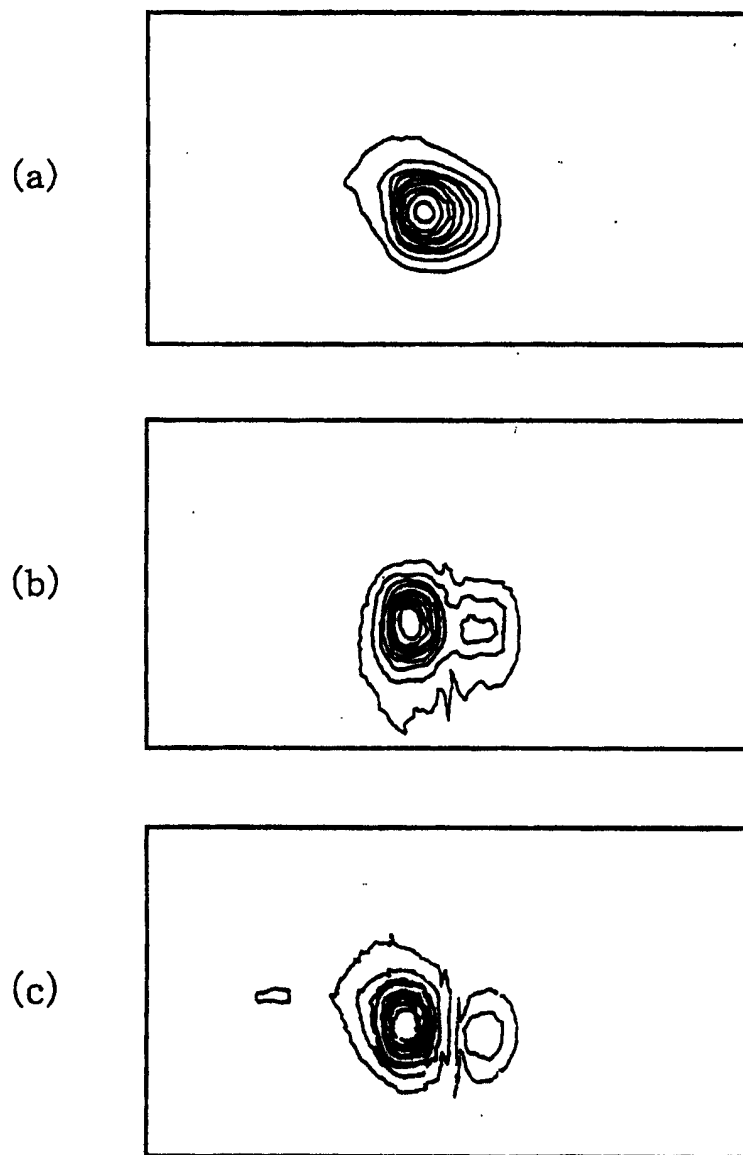


图 26

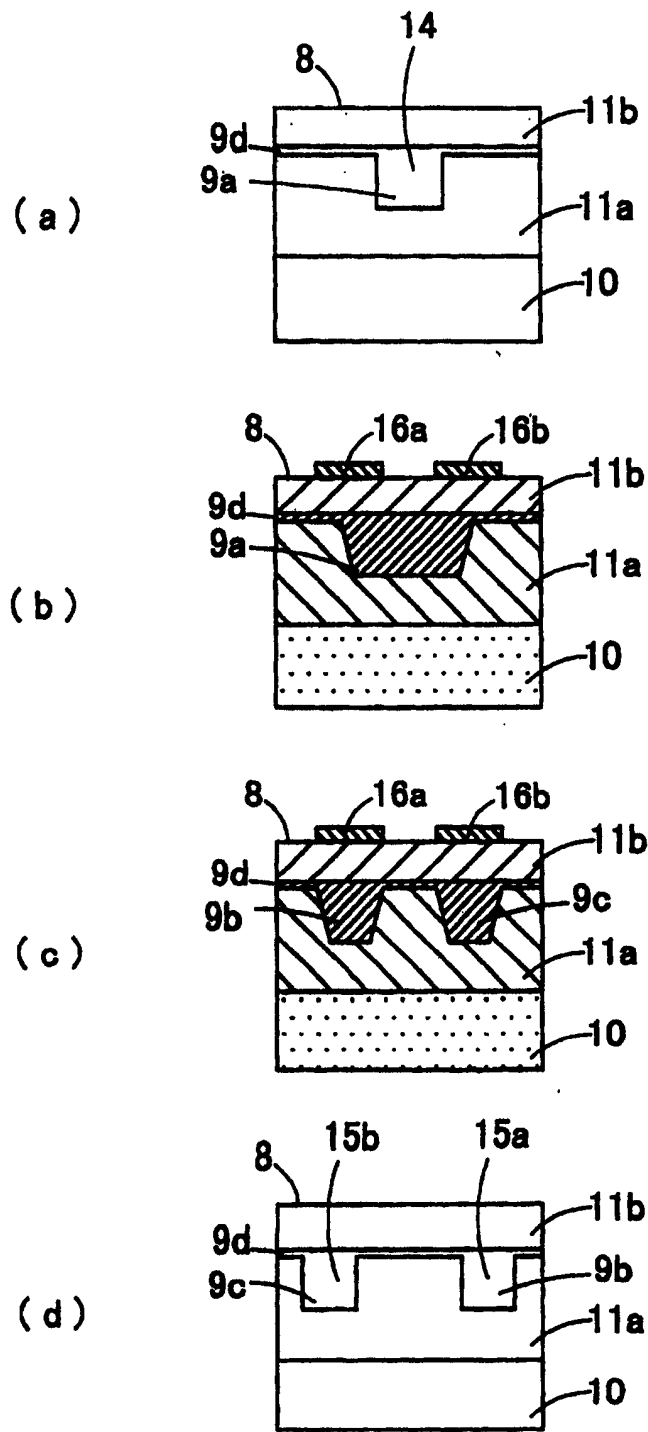


图 27

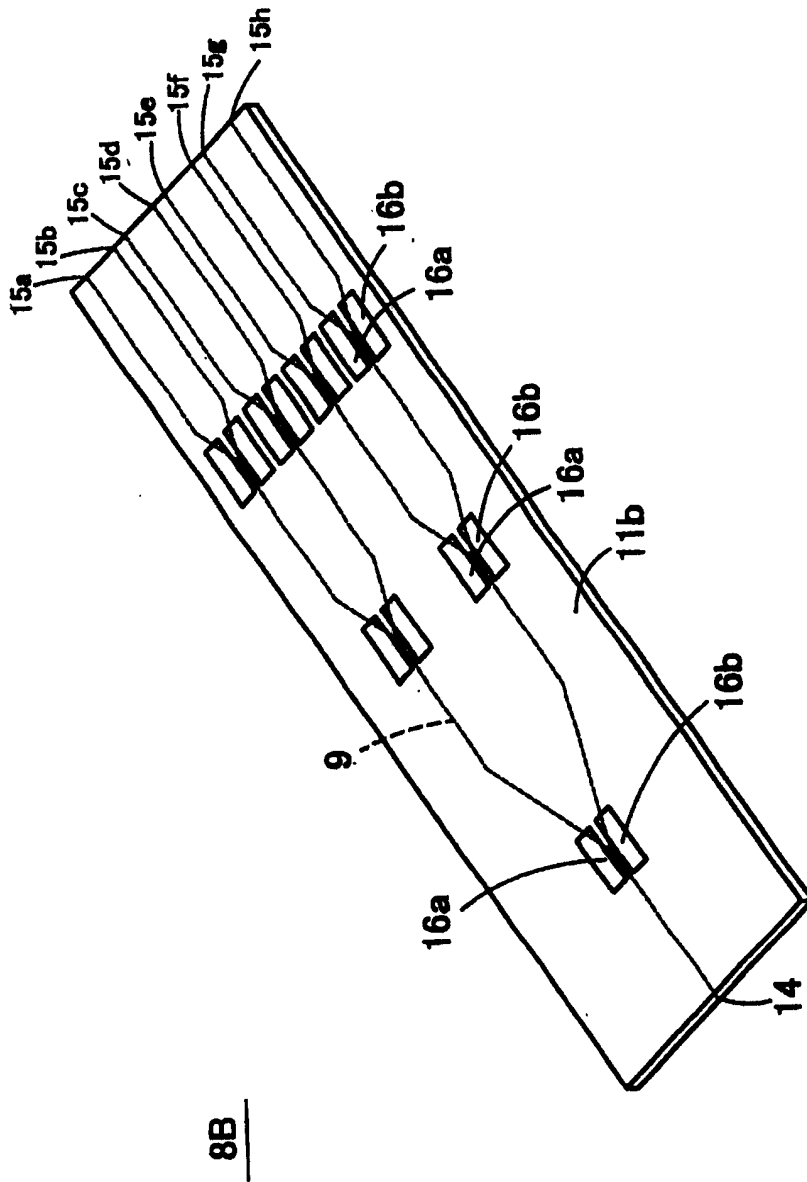


图 28

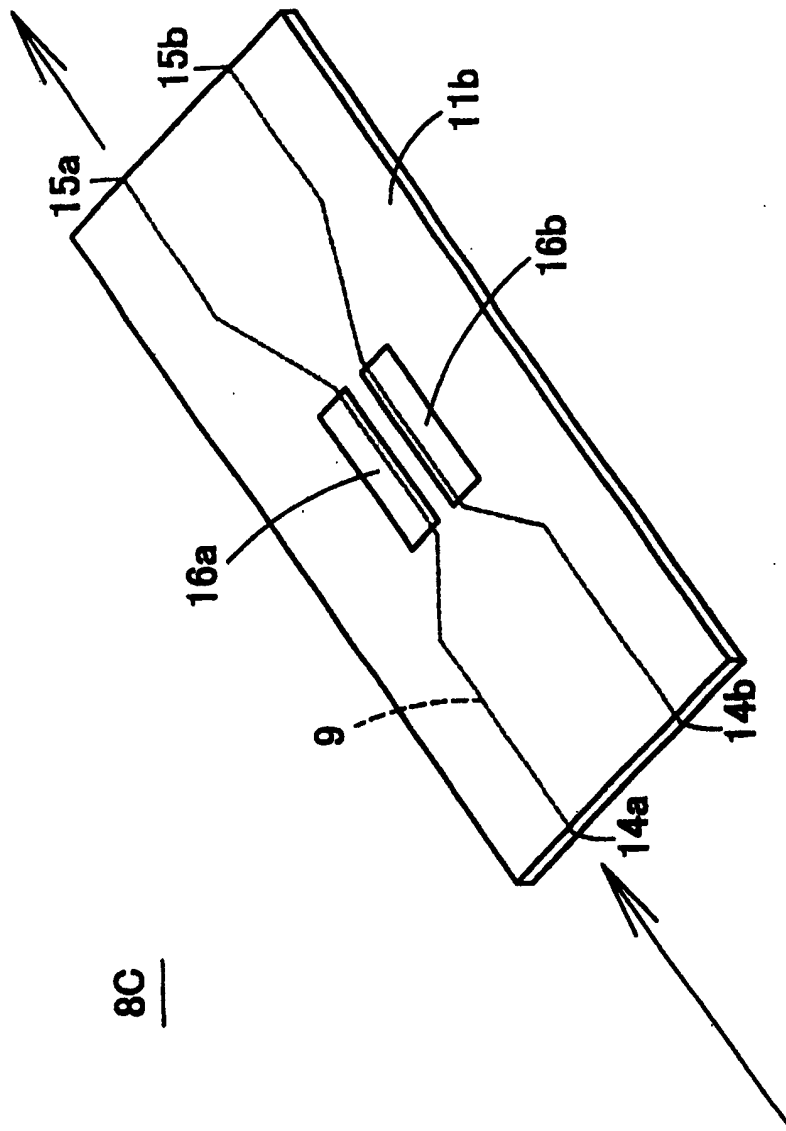


图 29

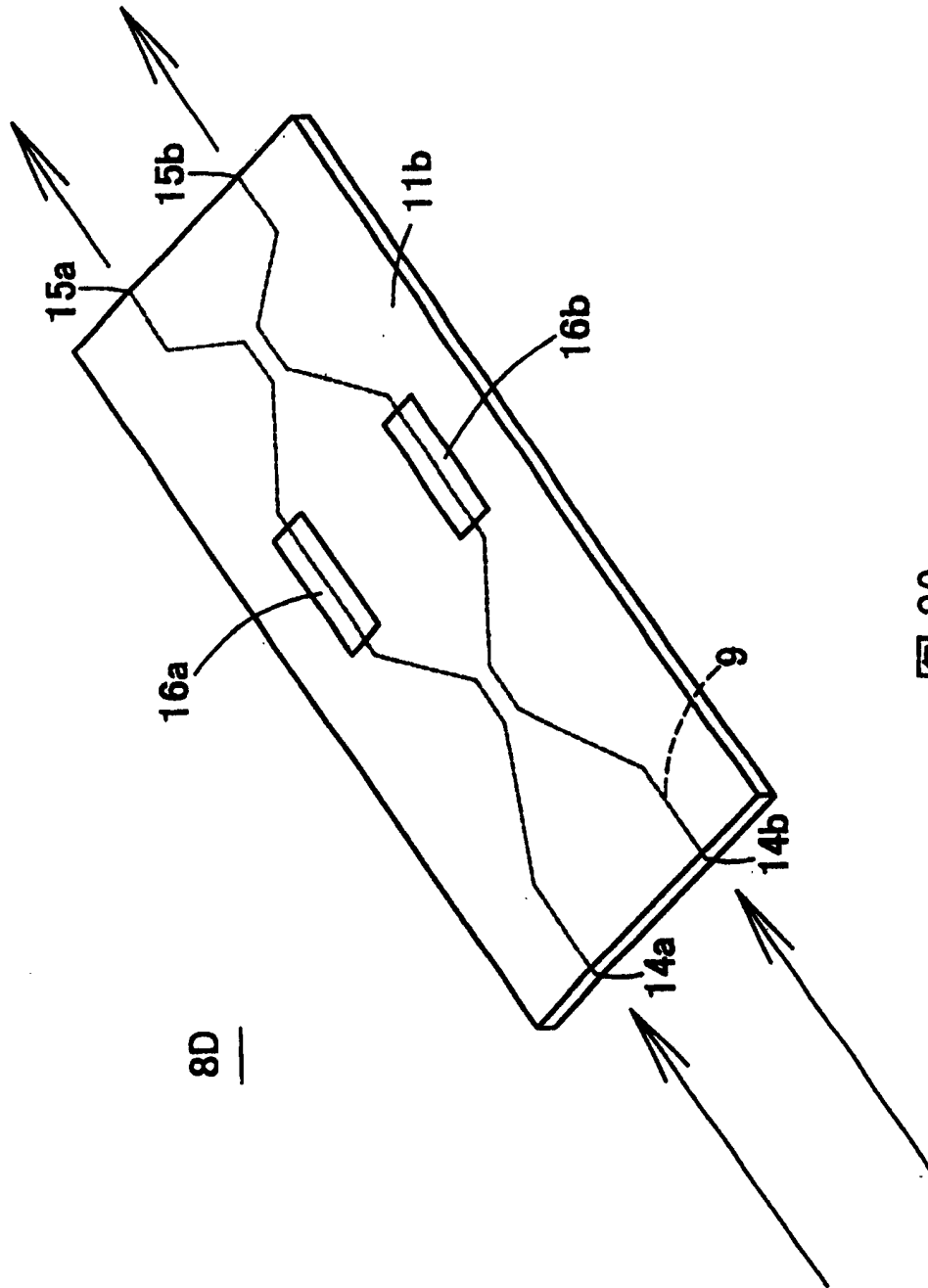


图 30

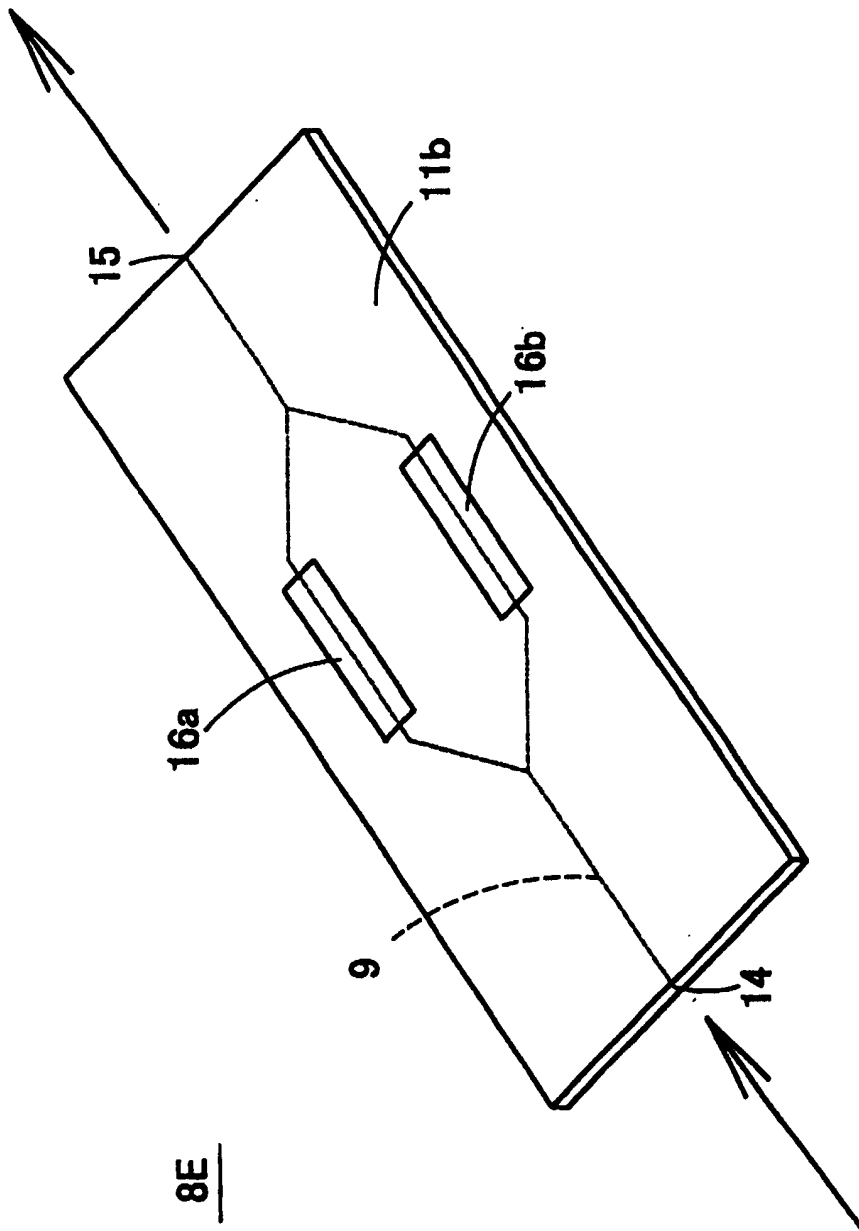


图 31

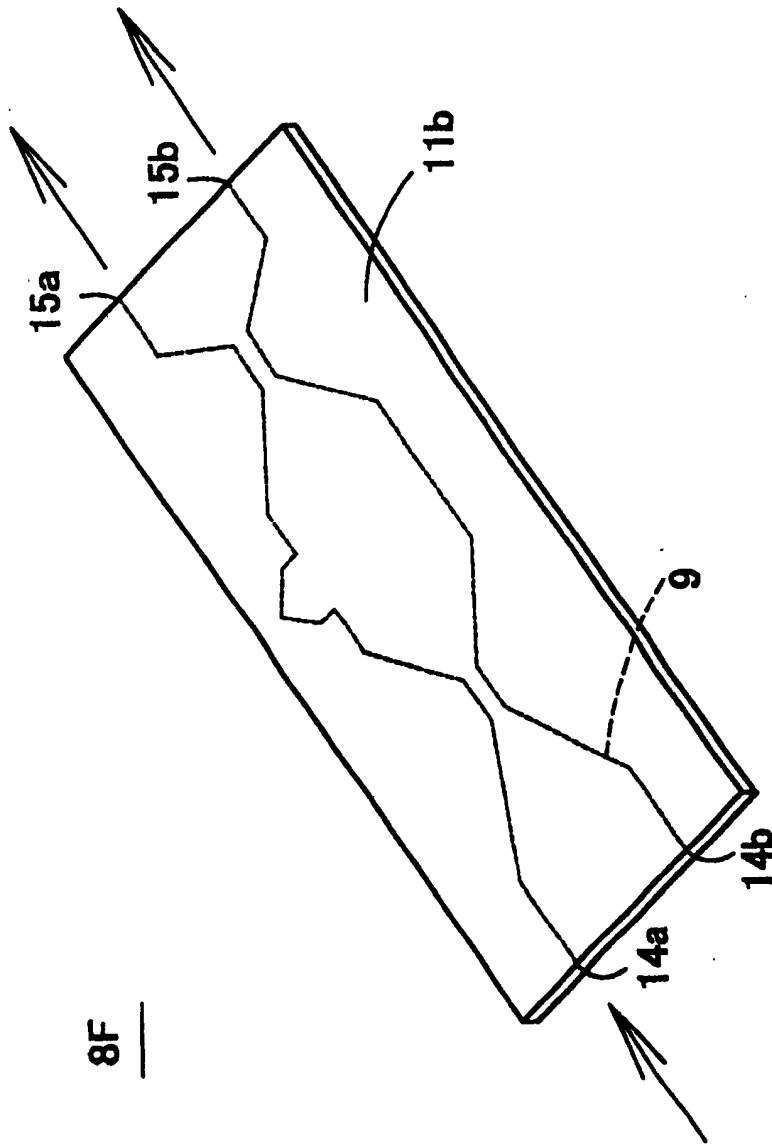
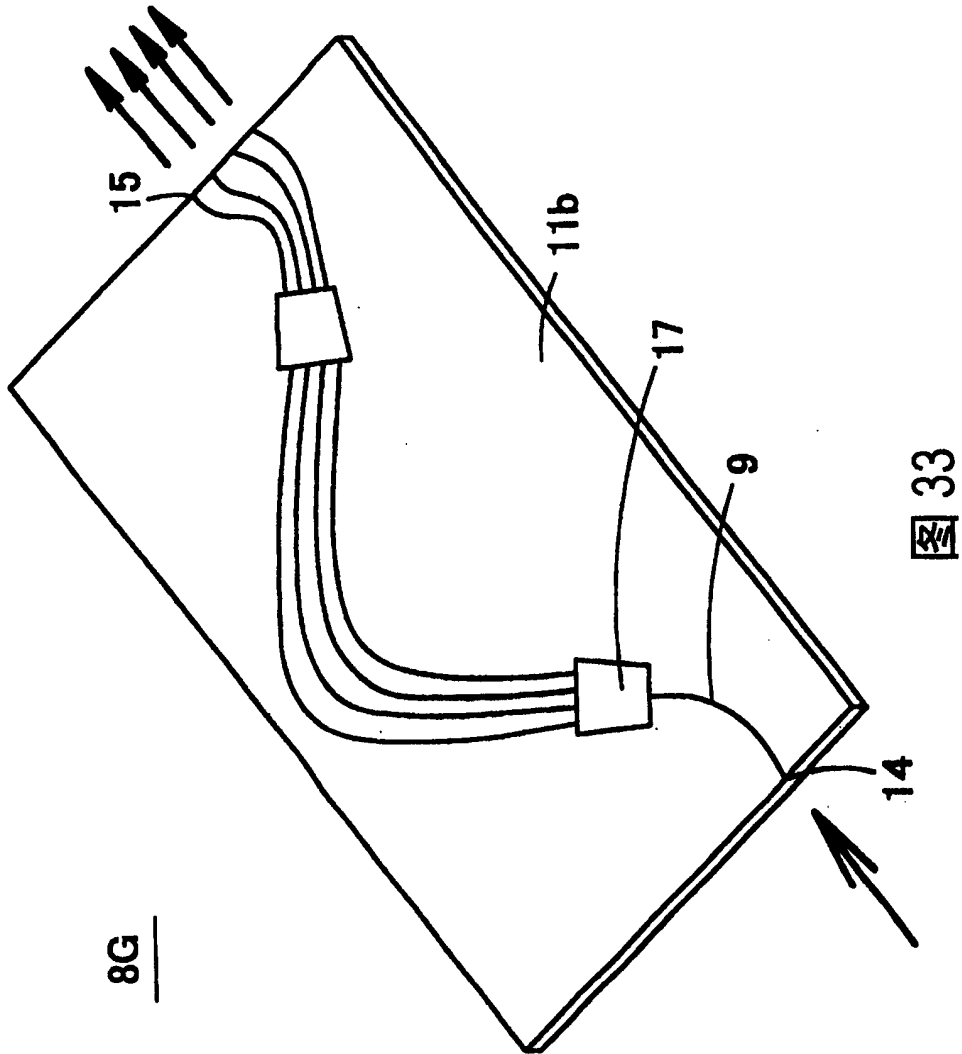


图 32



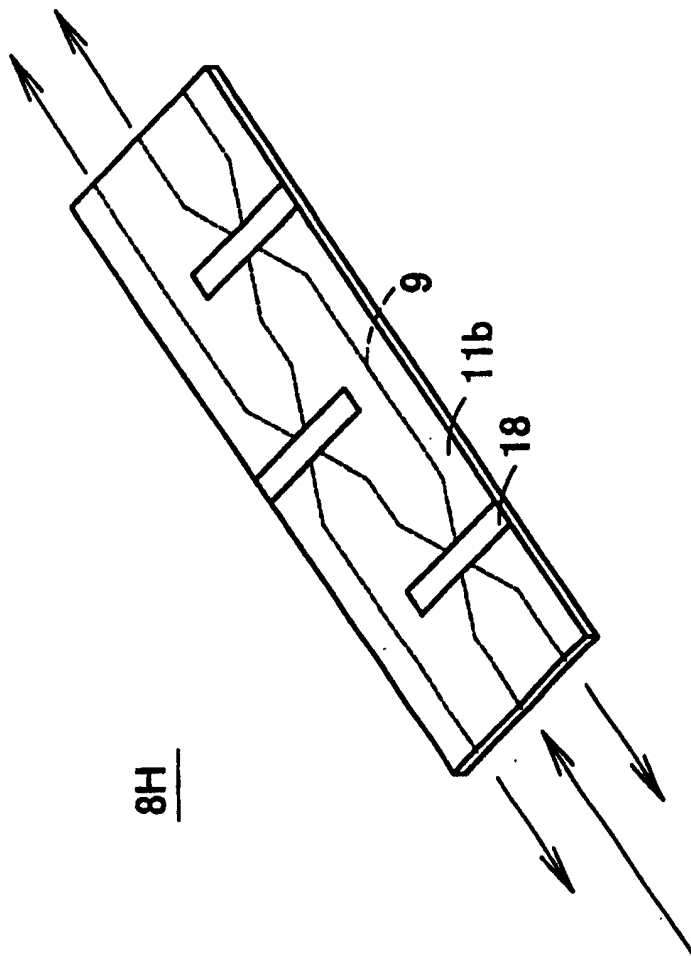


图 34

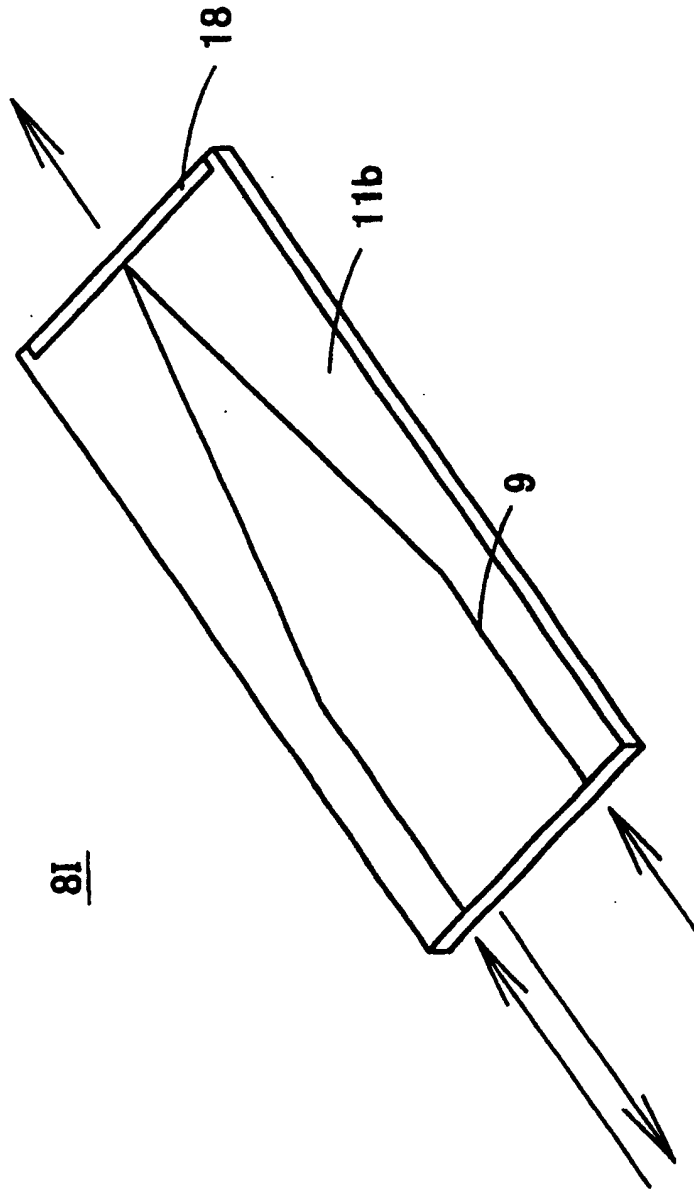


图 35

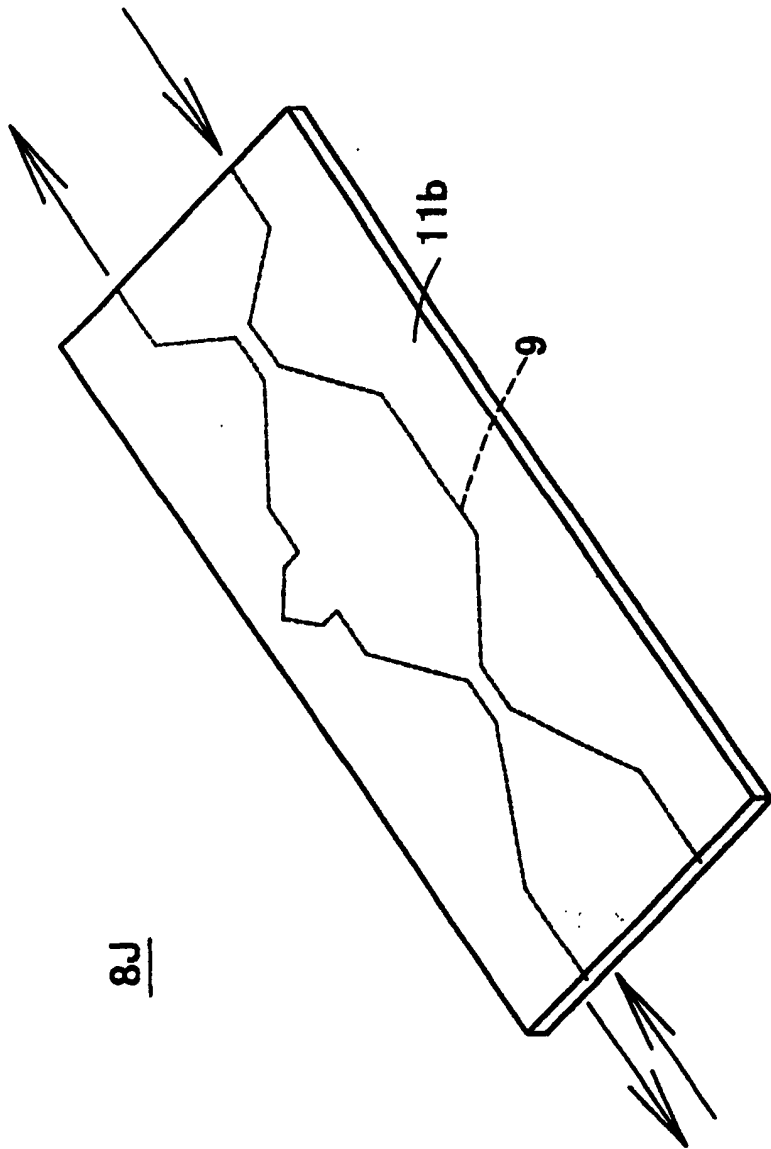


图 36