[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 6/26 (2006.01)
G02B 6/24 (2006.01)
H04B 10/12 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01121972.6

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1279377C

[22] 申请日 2001.6.21 [21] 申请号 01121972.6

[30] 优先权

[32] 2000. 6.21 [33] JP [31] 186343/00

[32] 2000.10.31 [33] JP [31] 333106/00

[32] 2000.12. 7 [33] JP [31] 372771/00

[71] 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 浜田英伸

审查员 关 刚

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 沈昭坤

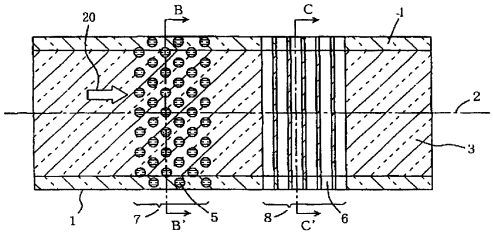
权利要求书 1 页 说明书 43 页 附图 34 页

[54] 发明名称

光子晶体制造方法及使用光子晶体的光器件

[57] 摘要

本发明提供仅仅通过光纤加工就能实现的光器件。 该光器件在光纤(1)的规定区间具有第 1 功能部分(7)及第 2 功能部分(8)， 第 1 功能部分(7)具有相对于光纤(1)的光轴(2)垂直并基本贯通光纤(1)的纤芯(3)且互相平行的许多法拉第晶体置换圆柱(5)， 第 2 功能部分(8)具有相对于光纤(1)的光轴(2)垂直并基本贯通光纤纤芯(3)且互相平行的许多空孔(6)。 法拉第晶体置换圆柱(5)的长度方向与许多空孔的长度方向沿垂直于光轴(2)的平面成 45°角。



1、一种光子晶体的制造方法，其特征在于，该方法包括下述步骤：

将至少一条光纤的斜端面作为基板，在该斜端面上直接形成光子晶体，所述斜端面相对于所述至少一条光纤的光轴具有预定角度；

用树脂涂敷所述斜端面上形成的所述光子晶体，从而形成与所述光轴垂直的面。

2、如权利要求 1 所述的光子晶体的制造方法，其特征在于，所述形成光子晶体的步骤包含下述步骤：

将多条各自具有所述斜端面的所述光纤束成一捆，使多条光纤的各自斜端面对齐在同一平面上而形成光纤束；

将同一平面上对齐的所述光纤端面构成的所述光纤束的所述端面作为基板，在该端面上直接生长光子晶体；

通过把所述光纤束分离为所述光纤，得到在所述光纤各自端面上形成的光子晶体。

3、如权利要求 1 所述的光子晶体的制造方法，其特征在于，所述形成光子晶体的步骤包含下述步骤：

对光纤的端面进行加工使端面相对于所述光纤的光轴构成预定角度；

以及将所述加工的端面作为基板，在该经加工的端面上直接沿该端面的法线方向生长光子晶体。

4、如权利要求 1 所述的光子晶体的制造方法，其特征在于，将具有比空气高的折射率的微粒相对于所述基板沿所述基板的法线方向周期层叠，由此在所述基板上生长所述光子晶体。

5、如权利要求 1 所述的光子晶体的制造方法，其特征在于，在所述基板上形成图形，使具有比空气高的折射率的微粒能够在所述基板上任意排列。

光子晶体制造方法及使用光子晶体的光器件

本发明涉及光通信等使用的各种光器件，特别涉及光纤波长及偏振波的色散补偿器、光隔离器、光调制器、检测输电线及配电线等的电压或电流而使用的光传感器等光器件。

下面首先说明以往的各种光器件。图 31 所示为以往的光器件即光隔离器的结构示意图。该光隔离器具有将第 1 光纤 1001 与第 2 光纤 1002 之间的光学系统进行耦合的第 1 及第 2 透镜 1003 及 1004，在它们之间具有起偏器(镜)005，法拉弟元件 1006 及检偏器(镜)1007。另外，在图 31 中，光学系统内的光束 1009，其外延用直线表示。再有，有该光隔离器中为了使法拉弟元件 1006 饱和而存在足够的磁场 1008。另外，起偏器 1005 与检偏器 1007 互相构成 45 度的角度。使用石榴石晶体等作为法拉弟晶体 1006。

下面说明光隔离器的原理。在图 31 所示的该光隔离器中，由第 1 光纤 1001 发生的无偏振光，首先利用通过第 1 透镜 1003 耦合的起偏器 1005 变换为线偏振光。接着，该线偏振光利用法拉弟元件 1006，其偏振面旋转 45 度。偏振面旋转了 45 度的线偏振光，利用构成上述角度的检偏器 1007，全部通过第 2 透镜 1004 与第 2 光纤 1002 耦合。

另一方面，由第 2 光纤 1002 返回的光通过第 2 透镜 1004 与检偏器 1007 耦合，变换为线偏振光。然后，该线偏振光利用法拉弟元件 1006，其偏振面旋转 45 度。但是，在起偏器 1005 中，线偏振光的偏振面与起偏器 1005 的偏振方向正交。因而，没有通过第 1 透镜 1003 与第 1 光纤 1001 耦合的返回光。这样，在以往的光隔离器中，光纤间的光学系统的耦合就需要两个透镜。

下面说明以往的色散补偿器，以往的色散补偿器设置在光纤之间。由于该原因，光纤间的光学系统的耦合至少需要两个透镜。

下面说明以往的光调制器。例如光调制器在功能上由起偏器，λ／4 片、泡克尔斯元件及检偏器构成。起偏器得到的线偏振光，利用λ／4 片形成圆偏振光，在泡克尔斯元件中根据所加的电场，圆偏振光形成椭圆，然后，在检偏器中，由于光量相应于圆偏振光的椭圆程度而变化，因此能够相应于所加电场进行光调制。这样，在以往的光调制器中，为了光纤间的光学系统的耦

合，也至少需要两个透镜。

下面再详细说明以往的光调制器的结构。例如如图 32 所示，用作为光调制器的马赫一泽德(Mach-Zehnder)型调制器 2012 例如在由 $LiNbO_3$ 晶体构成的基板 2001 上形成。该马赫一泽德型调制器 2012 的波导部分 2002 包含在入射侧无偏振光(TM 光＋TE 光)2005 的光入射的波导、偏振分离为两个偏振光(TM 光和 TE 光)出射的各波导、以及将这些偏振光耦合而出射的波导。其中，在偏振光分离用的波导处设置施加电场的电极 2003。该电极 2003 从信号源 2004 加上规定的电压。然后，光射光 2010 利用透镜 2009 与光纤 2006 耦合。另外，光纤 2006 具有纤芯 2007 及包层 2008。光在纤芯 2007 中向远方传输。

如上所述，在以往的光调制器等光器件中，为了将价格昂贵的波导与从光调制器至光纤的光学系统进行耦合，至少需要一个透镜。另外，为了该波导与光纤的光学系统耦合，需要耗费大量的时间和人力。

下面说明以往的光传感器。图 33 所示为以往的光电压传感器简要结构的正视图。该光电压传感器具有传感器部分、发光部分、受光部分及发光侧和受光侧信号处理电路(未图示)。该传感器部分由从光的入射侧起依次配置在同一光轴上的起偏器 241，1／4 波长片(也称为“λ／4 片”)242，电光晶体 243 及检偏器 244 构成。另外，发光部分由包含作为光源的 LED(发光二极管：Light Emitting Diode)等发光元件的 E／O 电路、以及配置在同一光轴上的光纤 246a、套圈 248a、GRIN 透镜 247a 及支架 245a 组成的输入侧光学系统构成，该输入侧光学系统的各光学零件相互接触的光轴面用粘结剂粘结。受光部分由配置在同一光轴上的光纤 246b、套圈 248b、GRIN 透镜 247b 及支架 245b 组成的输出侧光学系统、以及包含将该输出侧光学系统出射的光信号变换为电信号的变换元件的 O／E 电路构成，输出侧光学系统的各光学零件在相互接触的光轴面也用粘结剂粘结。

上述光电压传感器的传感器部分中，配置在同一光轴上的上述各光学零件即起偏器 241、λ／4 片 242、电光晶体 243 及检偏器 244 的相互接触的光轴面全部用粘结剂粘结。这里所谓光轴面是指与光轴垂直的面，对于各光学零件存在光的入射面及出射面两个光轴面(下同)。电光晶体 243 蒸镀一对电极 235，该一对电极 235 分别利用引线与一对电极端子 249 电气连接。用上述光电传感器进行测量的电压(被测电压)加在一对电极端子 249 的端子之间。

发光侧及受光侧信号处理电路分别利用发光部分及受光部分与传感器部

分连接。传感器部分的起偏器 241 的输入侧光轴面利用粘结剂与发光部分的 GRIN 透镜 247a 的光轴面固定，传感器部分的检偏器 244 的输出侧光轴面利用粘结剂与受光部分的 GRIN 透镜 247b 的光轴面固定。然后，粘结固定的传感器部分、发光部分的输入侧光学系统及受光部分的输出侧光学系统与外壳(未图示)机械固定。另外，上述光电压传感器中各光学零件用的粘结剂使用环氧系或聚氨酯类等树脂。

在上述光电压传感器中，电光晶体 243 使用 $Bi_{12}SiO_{20}$(BSO)、KH_2PO_4(KDP)、具有自然双折射的 $LiNbO_3$ 及 $LiTaO_3$ 等。

下面参照图 34 说明光电压传感器的工作原理。在发光部分的光源使用例如中心波长 0.85μm 的 LED(Light Emitting Diode)时，LED 的无偏振光从发光部分射出，作为入射光 109 入射至传感器部分。该入射光 109 通过传感器部分的起偏器 241 后，成为线偏振光。该线偏振光通过λ/4 片 242，则成为圆偏振光，该圆偏振光通过电光晶体($LiNbO_3$)243 后，根据该电光晶体 243 所加电压 Vm 形成椭圆，即通过电光晶体 243 的光的偏振状态随所加电压 Vm 而变化。这样的椭圆偏振光通过检偏器 244 后，作为出射光 110 用受光部分接受。该出射光 110 的强度变化即输出强度变化与通过电光晶体 243 的光的偏振状态相对应。由于该偏振状态随所加电压 Vm 而变化，因此通过受光侧的光纤 246b，对受光部分中的检偏器 244 的输出强度变化进行监测，计算光量(强度)的调制度，就能够测量所加电压 Vm。这里，所谓光量的调制度是光量的 AC 分量与光量的 DC 分量之比。

光电压传感器多用在室外恶劣环境下，对于其温度特性的要求非常严格，最好在-20℃~80℃范围内，调制度变化在±1%以下。在上述以往的光电传感器中，产生温度特性的主要因素是λ/4 板 242 或电光晶体 243 中的粘结部分应力而导致折射率的变化及λ/4 片 242 的双折射温度特性。另外，在使用 $LiNbO_3$ 等具有自然双折射的电光晶体时，因入射至电光晶体 243 的入射光束状态变化，光电压传感器的输出等会发生变化。

图 35 所示为轴偏角度α及轴偏角度β与光电压传感器输出的关系之一例的曲线图。在图 35 中，虚线表示的β1 表示轴偏方向为 0、90、180、270(度)的情况，点划线表示的β2 表示轴偏方向为 45、225(度)的情况，实线表示的β3 表示轴偏方向为 135、315(度)的情况。如图 35 所示，因入射至电光晶体 243 的入射光束状态(轴偏角α及轴偏角度β等)变化，光电压传感器的输出即调制

度发生变化，或其调制度的温度特性发生变化。

分别对应于这些主要因素的改善方法，现在可举出有下面三种。

(1)所举出的方法之一是通过缓和电光晶体所加应力来改善电光晶体的温度特性。采用该方法，是通过以非粘结状态来固定电光晶体，以此缓和电光晶体所加的应力。该方法已在特开平 9－145745 号公报中揭示。

(2)所举出的方法之二是通过减小入射光的轴偏角度来改善电光晶体自然双折射的温度特性。采用该方法是通过提高光学零件本身的机械加工面精度，使电光晶体中的光入射角在 0.2°以下，以此改善由于入射光的轴偏而引起的温度特性。该方法已在特开平 3－44562 号公报揭示。

(3)所举出的方法之三是通过使电光元件入射光的入射角度相应于周围温度而变化，以此改善传感器输出的温度特性。采用该方法是采用入射角调整部分，使电光晶体(泡克尔斯元件)入射光的入射角度相应于周围温度而变化，使该入射角度变化而引起的输出变化与温度变化而引起的输出变化相抵消，以此改善传感器输出的温度特性。根据该方法的光传感器已在特开平 7－248339 号公报中揭示。

如上所述，在以往的光器件中，为了与光纤的光学系统耦合，至少需要一个或两个透镜，零件数也较多。另外，对于这样的光学系统耦合，需要大量的时间及人力。因而问题在于，若采用上述那样的光器件的结构，将导致装置的成本上升。

再有，对光传感器，除了上述问题以外，还存在与温度特性有关的特有的问题。即如果根据上述(1)的方法，虽能够防止构成很大温度特性原因的光束状态变动，但初始光束状态有差异时，不能避免温度特性的变化。上述(2)的方法，虽然使用比较简单，但轴偏的影响不仅是轴偏角度，轴偏方向也有关系。因此仅仅根据上述(2)的方法减小轴偏角度，不能够得到稳定的特性。在上述(3)的方法中，需要入射角调整部分，使电光晶体入射光的入射角度对应于周围温度而变化，这样结构就复杂，导致生产率下降及成本上升。另外，如前所述，由于轴偏的影响不仅是轴偏角度，轴偏方向也有关系，因此仅仅调整入射光的入射角度即轴偏角度，不能够得到稳定的温度特性。

对此本申请的申请人就发明的光电压传感器已经作为特愿平 11－215798 号提出申请，所述光电压传感器根据的方法是，利用具有自然双折射率的电光晶体轴偏特性来控制调制度的温度特性。根据该申请中发明的光电压传感

器，是通过控制电光晶体入射光束状态(轴偏角度及轴偏方向或发散角等)来改善光电压传感器的温度特性。即不仅考虑轴偏角度，也考虑轴偏方向，适当设定轴偏状态，通过这样来改善温度特性等。

但是，根据该申请中的发明要对光束状态进行控制，而为了防止因透镜等光学零件的公差而引起光束状态的离散，要对光束状态进行管理，导致成本上升，因此对价格是不利的。

因而，现在为了降低光电压传感器的价格，要求以低成本对光束状态进行管理。

如上所述，本发明的目的在于提供能够与光纤简单而且低成本进行光学系统耦合、零件少的低成本的光器件。另外，本发明的其它目的还在于提供不导致成本上升而抑制因光学零件公差等引起的光束状态离散，以此使温度特性稳定的光电压传感器等光传感器。

为了达到上述目的，本发明具有下述特征。

本发明的第 1 方面是制作光子晶体(photonic crystal)的方法，前述光子晶体生成方法是将至少一条光纤的端面作为基板，在该端面直接形成光子晶体。例如，将该多条光纤束成一捆，使多条光纤的各自端面对齐在同一平面上，形成光纤束，将同一平面上对齐的端面构成的光纤束端面作为基板，在该基板上直接生长光子晶体，再将端面上形成光子晶体的光纤束分离成构成光纤束的各光纤。

本发明的第 2 方面是制作光子晶体的方法，前述光子晶体生成方法是沿着由传输光的纤芯及包覆该纤芯的包层构成的光纤的光轴，在规定的区间，利用许多柱状体使纤芯贯通，从而形成光子晶体。例如，在规定的区间中，从光纤去除部分的包层，沿光轴形成平行的至少一个平面，相对于在第 1 步骤中形成的平面垂直形成许多空孔(hole)，使纤芯贯通。

本发明的第 3 方面是光传输构件，前述光传输构件具有将一个端面入射的光进行传输而从另一端面出射的光纤、以及在光纤一个端面及另一端面中的至少一个端面形成的对波长的光起到线起偏器功能的光子晶体层。

本发明的第 4 方面是光传输构件，前述光传输构件具有将一个端面入射的光进行传输而从另一方面出射的光纤、以及在光纤一个端面及另一端面中的至少一个端面形成的对波长的光起到λ／4 片功能的光子晶体层。

本发明的第 5 方面是光传输构件，前述光传输构件具有将一个端面入射

的光进行传输而从另一方面出射的光纤、以及在光纤一个端面及另一端面中的至少一个端面形成的对规定波长的光起到圆起偏器功能的光子晶体层，即光子晶体圆起偏器。

本发明的第 6 方面是光器件，前述光器件包含功能部分及作为光纤功能的传输光的传输部分，前述功能分是在沿光纤光轴的规定区间通过许多柱状体贯通纤芯，形成作为光子晶体的至少一个功能部分。该功能部分也可以是由互相平行的、对于垂直于其长度方向的面以一定周期分布的许多柱状体构成。另外，构成功能部分的许多柱状体也可以不仅贯通光纤纤芯，还贯通包层，由具有与形成纤芯的物质的折射率不同折射率的物质构成。再有，构成功能部分的许多柱状体，其全部或者一部分由具有空孔 (hole)、法拉弟效应的物质或具有电光效应的物质构成。

另外，也可以在部分去除包层而形成的面上设置电极。该电极可以设置在与构成功能部分的许多柱体长度方向垂直的面上，也可以是与构成功能部分的许多柱状体长度方向垂直，且分别设置在将功能部分夹在当中的相对的两个平行面上，另外也可以是与构成功能部分的许多柱状体长度方向及光轴平行，且分别设置在将功能部分夹在当中的两个平行面上。再有，该电极可以配置成使功能部分所加电场的方向与光纤光轴互相平行，也可以配置成使得与构成功能部分的许多柱状体长度方向及光纤光轴互相垂直，也可以配置成使得沿光轴的垂直平面相对于许多柱状体长度方向以规定角度加上电场。

另外，功能部分也可以包含沿光纤光轴隔开规定的间隔设置的第 1 功能部分及第 2 功能部分，第 1 功能部分由法拉弟晶体构成的许多柱状体构成，第 2 功能部分由许多空孔构成，柱状体的长度方向与空孔的长度方向沿光轴的垂直平面成 45°角。

另外，也可以第 1 功能部分由电光晶体构成的许多柱状体构成，第 2 功能部分由许多第 1 空孔构成，柱状体的长度方向与第 1 空孔的长度方向沿光轴的垂直平面具有垂直或平行的某一种关系。

另外，功能部分也可以还包含由许多第 2 空孔构成的第 3 功能部分，柱状体的长度方向与第 2 空孔的长度方向沿光轴的垂直平面具有垂直或平行的某一种关系。

另外，功能部分也可以形成作为具有规定折射率及分布状态的光子晶体，使得具有的波长色散特性能够将入射至光纤之前由于经过的光纤固有的波长

色散特性而展宽的光的波形恢复成陡峭波形而出射。

另外，该光器件也可以设置包围光纤周围、具有与光纤接触的其它光纤的套圈大致相等直径的筒状导管。导管例如是毛细管。

本发明的第 7 方面是光隔离器，其特征在于，前述光隔离器具有第 1 及第 2 光纤、在它们之间紧贴配置的法拉弟元件、以及机械调整第 1 光纤光轴和法拉弟元件光轴和第 2 光纤光轴的导管，前述第 1 及第 2 光纤具有在沿光轴的规定区间形成的互相平行且在其长度方向的垂直面上以一定周期分布的许多空孔，使纤芯贯通，第 1 光纤的空孔长度方向与第 2 光纤的空孔长度方向沿光轴的垂直平面成 45°角。

本发明的第 8 方面是光传感器，其特征在于，是根据受光部分接受的光束来测量电光晶体膜上所加电压的光传感器，前述光传感器具有发射光束的发光部分、在沿光束光路设定的规定光轴上依次配置将无偏振光变换为圆偏振光的圆起偏部分和电光晶体膜及检偏器的传感器部分、以及接受通过传感器部分后的光束的受光部分。在该光传感器中，发光部分包含将光束引入传感器部分用的第 1 光纤。受光部分包含将通过传感器部分的光束从传感器部分引出用的第 2 光纤。圆起偏部分包含将无偏振光变换为线偏振光的起偏器及将线偏振光变换为圆偏振光的λ／4 片。这里，起偏器作为将来自发光部分的光束变换为线偏振光束的光子晶体层，在第 1 光纤端面形成，检偏器作为将通过传感器部分的光束变换为线偏振光束的光子晶体层，在第 2 光纤端面形成。

本发明的第 9 方面是光传感器，其特征在于，是根据受光部分接受的光束来测量电光晶体膜上所加电压的光传感器，前述光传感器具有发射光束的发光部分、在沿光束光路设定的规定光轴上依次配置将无偏振光变换为圆偏振光的圆起偏部分和电光晶体膜及检偏器的传感器部分、以及接受通过传感器部分的光束的受光部分。在该光传感器中，发光部分包含将光束引入传感器部分用的第 1 光纤。受光部分包含将通过传感器部分的光束从传感器部分引出用的第 2 光纤。这里，圆起偏部分作为将来自发光部分的光束变换为圆偏振光束的光子晶体层，在第 1 光纤端面形成，检偏器作为将通过传感器部分的光束变换为线偏振光束的光子晶体层，在第 2 光纤端面形成。

本发明的第 10 方面是光传感器，其特征在于，是根据受光部分接受的光束来测量磁光晶体膜上所加磁场的光传感器，前述光传感器具有发射光束的

发光部分、在沿光束光路设定的规定光轴上依次配置起偏器和磁光晶体膜及检偏器的传感器部分、以及接受通过传感器部分后的光束的受光部分。在该光传感器中，发光部分包含将光束引入传感器部分用的第 1 光纤。受光部分包含将通过传感器部分的光束从传感器部分引出用的第 2 光纤。这里，起偏器作为将来自发光部分的光束变换为线偏振光束的光子晶体层，在第 1 光纤端面形成，检偏器作为将通过传感器部分的光束变换为线偏振光束的光子晶体层，在第 2 光纤端面形成。

本发明的第 11 方面是光传感器，其特征在于，是根据受光部分接受的光束来测量电光晶体上所加电压的光传感器，前述光传感器具有发射光束的发光部分、沿光束光路设定的规定光轴上依次配置起偏器，λ / 4 片，电光晶体及检偏器的传感器部分、以及接受通过传感器部分后的光束的受光部分。该光传感器设置具有与光轴垂直的反射面且配置在λ/4 片与电光晶体之间的第 1 反射膜、及具有与光轴垂直的反射面且配置在电光晶体与检偏器之间的第 2 反射膜，第 1 反射膜与第 2 反射膜的间隔为光束波长一半的整数倍。

从参照附图对本发明所作的下述详细描述，本发明的这些和其它目的、特点和优点将更为清楚。

图 1 所示为光子晶体圆起偏器结构的立体图。

图 2 所示为作为起偏器、检偏器及圆起偏器功能的光子晶体制作方法。

图 3 所示为作为起偏器、检偏器及圆起偏器功能的光子晶体其它制作方法。

图 4 所示为在光纤纤芯使圆柱形空孔正方分布时的光子带图。

图 5 所示为本发明第 1 实施形态的光器件结构示意图。

图 6 所示为本发明第 1 实施形态的光器件其它例子的部分结构示意图。

图 7 所示为本发明第 2 实施形态的光器件结构示意图。

图 8 所示为本发明第 3 实施形态的光器件结构侧面示意图。

图 9 所示为本发明第 4 实施形态的光器件结构侧面示意图。

图 10 为本发明第 5 实施形态的光器件的整体图。

图 11 为将图 10 所示的功能部分 78 放大从斜向来看光纤 71 的示意透视图。

图 12 所示为本发明第 5 实施形态的光器件整体水平剖面图。

图 13 所示为本发明第 6 实施形态的光器件结构示意图。

图 14 所示为本发明第 7 实施形态的光器件结构示意图。

图 15 所示为本发明第 8 实施形态的光器件结构示意图。

图 16 所示为本发明第 9 实施形态的光器件结构示意图。

图 17 所示为本发明第 10 实施形态的光器件结构示意图。

图 18 所示为在本发明第 11 实施形态的光器件中电极配置例子的剖面示意图。

图 19 所示为本发明第 12 实施形态的光器件水平剖面图。

图 20 所示为本发明第 13 实施形态的光电压传感结构示意图。

图 21 所示为温度特性图，分别表示水晶制λ / 4 片的温度特性引起的光电压传感器输出变化、电光晶体的 $LiNbO_3$ 的温度特性引起的纵向调制方式的光电压传感器输出变化、以及电光晶体的 $LiNbO_3$ 的温度特性引起的横向调制方式的光电压传感器输出变化。

图 22 所示为本发明第 14 实施形态的光电压传感器中的导电性反射膜。

图 23 所示为本发明第 15 实施形态的光电压传感器中用低折射率层及高折射率层高替层叠的多层膜构成的导电性反射膜。

图 24 所示为本发明第 16 实施形态的光电压传感器主要部分结构正面透视图。

图 25 所示为本发明第 17 实施形态的光电压传感器主要部分结构正面透视图。

图 26 所示为本发明第 18 实施形态的光电压传感器主要部分结构正面透视图。

图 27 所示为本发明第 19 实施形态的光电压传感器主要部分结构正面透视图。

图 28 所示为本发明第 20 实施形态的光电压传感器主要部分结构正面透视图。

图 29 所示为本发明第 21 实施形态的光磁传感器主要部分结构正面透视图。

图 30 所示为本发明第 22 实施形态的光电压传感器主要部分结构正面透视图。

图 31 所示为以往的光器件即光隔离器结构示意图。

图 32 所示为以往的马赫一泽德型调制器结构示意图。

图 33 所示为以往的光电压传感器结构正面透视图。

图 34 为光电压传感器工作原理说明图。

图 35 所示为以往的光电压传感器中输出与入射至电光晶体的入射光轴偏角度的关系的特性图。

在详细说明各实施形态的光器件结构之前，首先对构成各光器件的起偏器(线起偏器及圆起偏器)、检偏器、λ/4 片、泡克尔斯元件等利用的光子晶体进行简要说明，同时说明其形成方法。

＜作为线起偏器功能的光子晶体形成＞

关于光子晶体的文献，例如有约安诺波络斯(John D. Joannopoulos)、米德(Robert D. Meade)及温(Josua N.Winn)合著的“Photonic crystal(光子晶体)”，由普林斯顿大学出版社(Princeton University Press)发行(1995年发行)。如该文献所述，光子晶体具有由相对高折射率材料及低折射率材料构成的 1－3 维的周期结构，是利用主要因高折射率材料及低折射率材料的折射率及形状、折射率的空间变化周期、入射光束方向及波长(下面分别称为“使用光束方向”及“使用光束波长”)而引起的前述周期结构内的光波色散特性，对光波进行控制。因而，若对于使用光束波长，适当控制光子晶体中的前述折射率及形状、折射率的空间变化周期及使用光束方向，则两种线偏振光即 TM 波与 TE 波的色散特性产生差异，利用这一现象就能够实现起偏器及λ/4 片。例如，对于利用这样的光子晶体的起偏器，已经在特开 2000－56133 号公报中揭示。另外，关于光子晶体使用的高折射率材料及低折射率材料的形状，如前述文献所述那样，提出许多种方案进行制造。

因而，如后述的第 18 实施形态等所用的那样，能够在光纤端面形成作为线起偏器及检偏器功能的光子晶体层。即在光纤端面形成由高折射率材料及低折射率材料构成的光子晶体层时，能够对于该光的波长设定高折射率材料及低折射率材料的折射率及形状、折射率的空间变化周期及使用光束方向，使得在该光纤中要传输的光所包含的 TM 波及 TE 波中的仅仅一种波通过该光子晶体层(例如参照特开 2000－56133 号公报记载的图 4 及图 6)。对光纤端面具体的光子晶体形成方法将在后面叙述。

另外，在后述的第 13 实施形态中，在制造由所谓高折射率层及低折射率层这两层交替层叠而构成的多层膜作为光子晶体时，若设定该两种层沿入射至传感器部分的入射光方向(光轴方向)层叠，并且高折射率层的厚度与低折

射率层的厚度之和为该入射光波长的 1／4，则这样就能够使得 TM 波及 TE 波都不能通过该光子晶体层。这意味着，作为 1 维光子晶体形成的多层膜对于该入射光起到反射膜的功能。关于采用这样功能的具体光器件的结构，将在后面相应的实施形态中叙述。

＜作为λ／4 片功能的光子晶体形成＞

如上所述，若对于使用光束波长，适当控制光子晶体中的前述折射率及形状、折射率的空间变化周期及使用光束方向，则两种线偏振光即 TM 波与 TE 波的色散特性产生差异，利用这一现象就能够实现λ／4 片。因而，如后述的第 19 实施形态等所述，能够在光纤端面形成作为λ／4 片功能的光晶体层。即在光纤端面形成由高折射率材料及低折射率材料构成的光子晶体层时(具体形成方法将在后述)，能够对于该光的波长设定高折射率材料及低折射率材料的折射率及形状、折射率的空间变化周期及使用光束方向，使得在该光纤中要传输的光所包含的 TM 波及 TE 波这两者都通过该光子晶体层，而且在该通过之后在 TM 波与 TE 波之间产生相当于该光的波长的 1／4 的相位差。

＜作为圆起偏器功能的光子晶体层形成＞

将无偏振光变换为圆偏振光的起偏器即圆起偏器，能够利用在光传播方向由相对高磁导率及低磁导率材料构成的具有 1－3 维周期结构的光子晶体来实现。

图 1 所示为作为圆起偏器功能的光子晶体之一例的立体图。该光子晶体在低磁导率介质(例如空气)中周期性配置由高磁导率材料构成的圆柱形部分，通过这样具有高磁导率部分 211 与低磁导率部分 212 以一定周期 2 维重复的周期结构，即具有磁导率 2 维周期变化的周期结构(下面称为“磁导率的 2 维周期结构”)。另外，高磁导率部分 211 只要相对于入射至该 2 维光子晶体 210 的入射光传播方向的磁导率高即可，没有必要在所有方向的磁导率都高。另外，低磁导率部分 212 只要相对于入射至该 2 维光子晶体 210 的入射光传播方向的磁导率低即可，没有必要在所有方向的磁导率都低。

现在，设无偏振光入射至具有这样的磁导率 2 维周期结构的光子晶体 210(下面将该无偏振光称为“无偏振入射光”)，如图 1 所示，设 2 维光子晶体 210 这样配置，使得在该无偏振入射光 215 的传播方向及与该传播方向垂直的至少一个方向上磁导率周期变化。无偏振入射光 215 一般能够分解为电场矢量右螺旋旋转的右旋圆偏振光 213 及电场矢量左螺旋旋转的左旋圆偏振

光 214。右旋圆偏振光 213 的磁场(下面将该磁场波称为“第 1 磁场波”)及左旋圆偏振光 214 的磁场(下面将该磁场波称为“第 2 磁场波”)都沿无偏振入射光 215 的传播方向互相平行反向。若对于无偏振入射光 215 的波长适当设定 2 维光子晶体 210 中的高磁导率部分 211 及低磁导率部分 212 的磁导率、磁导率的空间变化周期及无偏振入射光 215 的方向，则在第 1 及第 2 磁场波在 2 维光子晶体 210 中的高磁导率部分 211 与低磁导率部分 212 的边界产生反射时，该反射前的相位与反射后的相位差对于第 1 磁场波与第 2 磁场波是不一样的。若这样产生的相位差的差异满足规定的条件。则对于第 1 及第 2 磁场波中的某一方，散射是在减弱该磁场方向起作用，而对另一方，散射是在增强该磁场方向起作用。结果，与作为线起偏器功能的前述光子晶体相同，仅仅第 1 及第 2 磁场波中的某一方通过 2 维光子晶体 210。因而，通过适当设定 2 维光子晶体 210 中的高磁导率部分 211 及低磁导率部分 212 的磁导率、磁导率的空间变化周期及无偏振入射光 215 的方向，能够使该 2 维光子晶体 210 对于无偏振入射光 215 作为圆起偏器的功能，得到圆偏振出射光 216。因而，如后述的第 20 实施形态那样，能够在光纤端面形成单层的作为圆起偏器功能的光子晶体层(具体形成方法将在后面叙述)。

＜光纤端面上光子晶体层的形成＞

下面说明在光纤端面上制作光子晶体的方法。图 2 为具有 3 维高折射率微粒 221 及低折射率部分 222 构成的周期结构的光子晶体制作方法说明图。在该生成方法中，如下所述，是在光纤端面形成光子晶体 223。另外，虽然在下面就具有折射率周期结构的光子晶体制作进行说明，但同样也能够制作具有磁导率周期结构的光子晶体。

（1）首先将多条光纤束成一捆，使各光纤的一个端面基本对齐在同一平面上，构成光纤束 224。

（2）如上所述，将各端面基本对齐在同一平面上而构成的光纤束 224 的端面作为基板，在该基板上周期性层叠高折射率微粒 221，该高折射率微粒 221 具有用这些光纤进行传输的光束波长(使用光束波长)的 20－80％左右粒径。

（3）如上所述，将端面周期性层叠高折射率微粒 221 的光纤束 224 分离为一条条的光纤。

利用上述步骤(1)－(3)，能够批量生产端面上形成光子晶体的光纤。当然，光纤束 224 的数量没有限制，其数量也可以是一条，虽然这不适合于批

量生产。

在图 2 中所画的光纤纤芯 2 的截面与高折射率微粒 221 具有近似相同大小，但通常的光纤纤芯直径为 5－300μm，在使用光束波长为 0.85μm 时，高折射率微粒 221 的粒径为 0.17-0.68μm。另外，在图 2 所示的光子晶体 223 中，低折射率部分 222 为空气，但与上述步骤(2)相同，在层叠微粒之后，也可以在该微粒间的间隙中充填折射率大于该微粒折射率的材料。这种情况下，得到的光子晶体具有将层叠的前述微粒部分作为低折射率部分，将前述微粒间充填的材料作为高折射率部分的周期结构。另外，图 2 所示的光子晶体 223 具有高折射率部分与低折射率部分交替重复的周期结构，但也可以与上述相同，在光纤端面形成具有高磁导率部分与低磁导率部分交替重复的周期结构的光子晶体。

根据上述步骤(1)－(3)周期性层叠高折射率微粒 221 的方法，高折射率微粒 221 是以规则的图形等间隔典型的排列。但是，在光纤端面上使高折射率微粒 221 以规定的图形排列时，则还需要另加步骤。

例如，在步骤(2)中，在层叠高折射率微粒 221 之前，增加在光纤端面形成所希望的凹槽图形的步骤。在这样形成凹槽图形后，若层叠高折射率微粒 221，则能够按照该图形来排列高折射率微粒 221，能够相对光纤面形成具有所希望结构的光子晶体。

这里，所谓凹槽图形，是指为了将高折射率微粒 221 分别固定在规定位置所设置的浅槽的集合。槽的宽度及深度无特别限制。另外，如果是能够将高折射率微粒 221 分别固定在规定位置的图形，则当然不限于槽状图形，可以是 1 条或 2 条以上线状或点状凸起构成的图形，也可以是点状或面状凹坑构成的图形。

作为在光纤端面形成上述凹槽图形的具体方法，可以考虑例如有以下三种。第一种方法是，用旋涂法等在基板上形成 PMMA(聚甲基丙烯酸酯)等树脂膜后，利用电子束描绘所希望的凹槽图形，然后通过显影，形成凹槽图形。第 2 种方法是在基板上配置所希望的凹槽图形的掩膜，进行腐蚀处理后去掉掩膜而形成图形。第 3 种方法是对基板用规定的力压紧具有所希望的凹槽图形的精密金属模具，从而形成凹槽图形。

另外，图 2 所示的形成光子晶体 223 的光纤端面是垂直于光纤纤芯 3 的中心轴，但有时与上述光子晶体 223 的层叠方向(生长方向)不同的方向符合

最佳条件(或理想条件)。即例如在光纤端面形成作为起偏器功能的光子晶体的情况下，在将该光子晶体层叠方向设定为与从光纤该端面光的出射方向(或入射至该端面的光的入射方向)不一致的规定方向时，有时该光子晶体作为起偏器具有最佳或理想的功能。这时，首先例如利用斜向研磨对光纤端面进行加工，使应该形成光子晶体的端面相对于光纤纤芯 3 的中心轴(在后述的图 3 中为纤芯 173 的光轴 225)形成规定的角度。即如图 3 所示，制成具有加工成斜端面 226 的光纤 148，使法线方向与光轴 225 的夹角符合上述最佳条件。接着，与上述步骤(2)相同，在该斜端面 226 的法线方向 227 周期性层叠高折射率微粒 221。这样在光纤 148 的斜端面 226 形成具有将微粒 221 作为高折射率部分，将微粒 221 间的间隙存在的空气作为低折射率部分 222 的周期结构的光子晶体。

另外，也可以如上述步骤(1)－(3)那样，将形成斜端面 226 的多条光纤 148 束成一捆，使各斜端面 226 对齐在同一平面上，构成光纤束，然后对该光纤束斜端面如上所述形成光子晶体后，将该光纤束分离成一条条光纤。如果这样，就能够批量生产在斜端面 226 上制作光子晶体的光纤。

另外，在将图 3 所示相对光纤 148 的光轴 225 斜向层叠的光子晶体和具有与光轴 225 垂直的面的光学零件进行光学耦合时，可以使用斜端面，但也可以在斜向层叠的该光子晶体上涂布树脂等，形成垂直于光轴 225 的端面，使得层叠光子晶体的光纤 148 的端面与该光学零件的面贴紧。

以上说明了在光纤端面制作 3 维光子晶体的情况，但在相对于光轴的垂直或斜端面上形成不是具有 3 维周期结构，而是在层叠方向具有周期结构这种多层膜结构的 1 维光子晶体时，也可以采用同样的方法。

＜光纤内的光子晶体层形成＞

下面说明在光纤内的光子晶体制作方法。为了使得具有纤芯及包层的光纤贯通，形成相互平行的许多圆柱形空孔，该圆柱形空孔按一定间隔分布。这样的圆柱形空孔，例如通过在相对于光纤光轴的垂直方向用钻头等机械处理、用激光等光学处理或热处理、用腐蚀等化学处理来形成，形成贯通纤芯的许多微小空孔。例如，采用将阳极氧化的氧化铝作为掩膜的干法刻蚀来进行腐蚀。在这样形成的圆柱形空孔中，可以充满空气或具有各种折射率的气体，也可以利用例如溶胶凝胶法充填具有任意折射率的材料。这里，如果充填的材料是法拉弟晶体或液晶等功能材料，则光纤中的该部分根据功能材料

的性质，就具有起偏器、法拉弟元件，λ／4 片等功能。关于具有这些功能的光纤的具体制作方法将在后面各实施形态中叙述。

上述许多圆柱形空孔构成的光子晶体与空孔的分布状态有关。图 4 所示为光纤纤芯中使圆柱形空孔正方分布时根据仿真结果所得的光子频带。在图 4 中，横轴为对应于光的传输方向在布里渊区域(Brillouin zone)内的全方向进行展开。另外，纵轴相应于归一化频率。实线表示 TM 模的光，虚线表示 TE 模的光。另外，横轴的布里渊区域内的波数矢量对应于光纤中的光的传输方向，纵轴的归一化频率对应于光源波长。

在图 4 的例子中，对于 TM 模禁带的光源波长，无论如何不可能存在 TM 模的光，只能够传输 TE 模的光。而且可知，该 TE 模的光允许的传输方向限于一定的传输方向，因此最好使圆柱形的空孔分布，使得该 TE 模能够传输的方向与光纤光轴一致。该光器件能够具有以该频带的光源波长对于一定的传输方向仅仅使 TE 模传输的起偏器的功能。因而，若使圆柱形的空孔分布，使得构成起偏器的传输方向与光纤的光轴一致，则光纤对于光轴附近传输的模式也起到起偏器的作用。

另外，图 4 所示的光子频带是作为使圆柱形的空孔分布情况下的一个例子，但不限于此。例如，在以各种物质充填圆柱形的空孔形成圆柱体的情况下，可以使构成该圆柱体的物质折射率变化。因而，根据圆柱形空孔部分的折射率、外径、分布状态等不同条件，也可以对全部传输方向起到不仅对 TE 模，而且对 TM 模具有的起偏器功能。

这样，若在相对于光纤光轴的垂直方向以一定间隔形成具有与纤芯折射率不同的折射率且互相平行的许多圆柱形空孔，则除了光纤的光波导功能以外，通过控制圆柱形空孔的折射率、外径及圆柱形空孔的分布，对于光源波长就产生两种线偏振光(TM 及 TE)的色散特性的差异，能够具有起偏器或λ／4 片等的功能。另外，空孔的形状不限于圆柱形，也可以是其它形状。下面所示的各实施形态是对各种光器件应用上述方法的实施形态。

下面各实施形态的光器件在沿着由传输光的纤芯及包围该纤芯的包层所构成的光纤光轴的一定区间，具有由第 1 功能部分及第 2 功能部分构成的两个功能部分，或者具有还包含第 3 功能部分的三个功能部分。这些功能部分沿光纤光轴隔开一定间隔设置。第 1 功能部分是由具有与形成前述纤芯的物质的折射率不同折射率的物质形成的互相平行的许多柱状体贯通光纤或其纤

芯而构成。具体来说，例如充填具有电光效应的物质或具有法拉弟效应的物质。第 2 及第 3 功能部分是内部为空孔的互相平行的许多柱状体贯通纤芯而构成。由于具有这些功能部分，该光器件使两种线偏振光(TM 及 TE)的各色散特性产生差异，就能够使各功能部分具有起偏器、λ/4 片、法拉弟元件等功能。

(第 1 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 1 实施形态。图 5(a)所示为本发明第 1 实施形态的光器件结构的侧面示意图。图 5(b)是将图 5(a)的光器件在图中的线 B—B' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。图 5(c)是将图 5(a)的光器件在图中的线 C—C' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。在图 5(a)中，光纤 1 所示是仅仅取出与光器件对应的规定区间部分。

如图 5(a)所示，该光器件在光纤 1 上形成，光纤 1 由传输光的纤芯 3 及包围该纤芯 3 的包层 4 构成。另外，在光纤 1 中形成由第 1 功能部分 7 及第 2 功能部分 8 构成的两个功能部分，具有光器件功能。该第 1 功能部分 7 及第 2 功能部分 8 沿着光纤 1 的光轴 2 隔开规定间隔设置。另外，在光纤 1 中，除上述功能部分以外的部分仅仅实现光纤的通常功能即光传输功能。

首先，该第 1 功能部分 7 是在在沿光纤 1 的光轴 2 的一定区间由相对于光轴 2 的垂直方向形成的互相平行的许多法拉弟晶体置换圆柱 5 构成，使得光纤 1 的纤芯 3 与包层 4 贯通。该许多法拉弟晶体置换圆柱 5 是对相对于光轴 2 垂直方向将光纤的纤芯 3 与包层 4 贯通的圆柱形空孔，例如利用溶胶凝胶法，充填具有与纤芯 3 折射率不同的折射率的法拉弟晶体而构成。法拉弟晶体例如是石榴石晶体等。另外，该法拉弟晶体置换圆柱 5 在相对于其长度方向的垂直面上各自分布形成点阵。这里，为了使光的偏振面的法拉弟旋转饱和，与光纤 1 的光轴 2 平行存在足够强度的磁场 20。

其次，第 2 功能部分 8 是在沿光纤 1 的光轴 2 的一定区间由相对于光轴 2 的垂直方向形成的内部是空洞的互相平行的许多空孔 6 构成，使得光纤 1 的纤芯 3 与包层 4 贯通。该许多空孔 6 也与法拉弟晶体置换圆柱 5 相同，在相对于其长度方向的垂直面上各自分布形成点阵。但是，该许多空孔 6 的长度方向沿垂直于光轴 2 的平面设定为相对于第 1 功能部分 7 的法拉弟晶体置换圆柱 5 的长度方向具有 45°角。该圆柱形空孔 6 通过例如自然充填空气，也具有与光纤 1 的纤芯 3 的折射率不同的折射率。

第 1 功能部分 7 的法拉弟晶体置换圆柱 5 与第 2 功能部分 8 的圆柱形空孔 6 相互成 45°角的情况，若参照图 5 (b)及图 5(c)进行比较即可明白。

下面再进一步详细说明第 1 及第 2 功能部分 7 及 8。具有与光纤 1 的纤芯 3 的折射率不同的折射率的圆柱如前所述，可以在相对于光纤 1 的光轴 2 的垂直方向利用钻头、激光或腐蚀等方法形成。第 1 功能部分 7 是由对这样形成的圆柱形空孔利用溶胶凝胶法充填法拉弟晶体而形成的许多法拉弟晶体置换圆柱 5 构成，同时具有起偏器及法拉弟元件的功能。而第 2 功能部分 8 仅仅由许多空孔 6 构成，为了使其具有起偏器(检偏器)的功能，预先计算空孔 6 的外径及空孔 6 的分布状态，将与第 1 功能部分 7 的法拉弟晶体置换圆柱 5 的长度方向成 45°角的方向作为长度方向，这样形成空孔 6。

这样若以一定间隔在相对于光纤光轴 2 的垂直方向形成具有与纤芯 3 的折射率不同的折射率的互相平行的许多圆柱形空孔或在该空孔内充填功能材料的圆柱，则对于光源波长，通过控制空孔或圆柱折射率、外径及空孔或圆柱分布，使两种线偏振光(TM 及 TE)的色散特性产生差异。结果，由于光纤 1 中的第 1 功能部分 7 形成起偏器及法拉弟元件，第 2 功能部分 8 形成检偏器，因此光纤 1 除了光波导功能外，还具有光隔离器的作用。因而，可以不需要用透镜与光隔离器的波导进行耦合的作业，同时还能够减少零件数，能够实现大幅度降低成本。

图 6 为本发明第 1 实施形态的光器件的其它例子部分结构示意图。图 6 所示的空孔 6 可以是图 5(a)中第 2 功能部分 8 所包含的空孔 6，也可以是形成法拉弟晶体置换柱 5 之前的空孔。

在前述的说明中，形成圆柱形空孔 6 或法拉弟晶体置换圆柱 5 用的空孔，是使包含包层 4 也贯通而形成的空孔，但如图 6 所示，也可以仅仅在纤芯 3 的部分形成空孔。这是因为，实际上光仅仅在光纤 1 内部的纤芯 3 穿过，不管是圆柱形空孔包含包层 4 贯通，也不管是仅仅纤芯 3，穿过光纤 1 内部的光受到的影响几乎没有变化。

另外，空孔的形状在第 1 实施形态中是以圆柱形进行说明的，但不限于圆柱形，也可以是四边柱形、多边柱形或椭圆柱形等其它的形状。另外，上述说明中上述功能是以相互平行的许多空孔或圆柱构成的 2 维光子晶体来实现的，但不限于这种情况，也可以用具有称为雅布洛诺拜依特(yablonovite)或伍德派依尔(woodpile)结构的 3 维光子晶体来实现。

（第 2 实施形态）

下面参照附图说明本发明第 2 实施形态。图 7 (a)所示为本发明第 2 实施形态的光器件结构的侧面示意图。图 7(b)是将图 7(a)的光器件在图中的线 B－B’位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。图 7(c)是将图 7(a)的光器件在图中的线 C－C’位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。在图 7(a)中，光纤 1 所示是仅仅取出与光器件对应的规定区间部分。

如图 7 所示，该光器件由具有纤芯 45 及包层 46 且将光入射的入射侧光纤 41、具有纤芯 45 及包层 46 且将光出射的出射侧光纤 42、设置在入射侧光纤 41 与出射侧光纤 42 之间且使光的偏振面旋转的法拉弟元件 47、以及对入射侧光纤 41 的光轴和法拉弟元件 47 的光轴和出射侧光纤 42 的光轴进行机械调整的导管 48 构成。法拉弟元件 47 例如是石榴石晶体。

入射侧光纤 41 在沿光轴 49 的一定区间具有在相对于光轴 49 的垂直方向形成的互相平行的许多圆柱形第 1 空孔 43，将纤芯 45 与包层 46 贯通。第 1 空孔 43 以一定间隔分布，具有与光纤 41 中的纤芯 45 的折射率不同的折射率。

同样，出射侧光纤 42 在沿光轴 49 的一定区间具有在相对光轴 49 的垂直方向形成的互相平行的许多圆柱形第 2 空孔 44，将纤芯 45 与包层 46 贯通。第 2 空孔 44 也以一定间隔分布，具有与光纤 42 中的纤芯 45 的折射率不同的折射率。

这里关于第 1 空孔 43 及第 2 空孔 44，如第 1 实施形态中说明的那样，各自分布许多第 1 空孔 43 及许多第 2 空孔 44，具有起偏器的作用。关于第 1 及第 2 空孔 43 及 44 的配置，如图 4 中所述，只要周期性分布即可。另外，参照图 7(b)及图 7(c)进行比较可知，第 1 空孔 43 的方向与第 2 空孔 44 的方向设定为互相的长度方向相差 45°。这里与法拉弟 47 有关，为了使光的偏振面的法拉弟旋转饱和，存在相对于光轴 49 平行的足够强度的磁场 40。

另外，关于第 1 及第 2 空孔 43 及 44 的形成方法，与第 1 实施形态相同，在相对于光纤光轴 49 的垂直方向利用钻头、激光或腐蚀形成空孔。

然而，在本实施形态中，利用导管 48 将入射侧光纤 41 与出射侧光纤 42 在机械上联系起来，使它们各自能够绕光轴 49 自由旋转。因而，在导管 48 中调整光轴时，也可以调整角度，使入射侧光纤 41 中的第 1 空孔 43 与出射侧光纤 42 中的第 2 空孔 44 相对构成 45°角。根据这样的光纤构成，可以同样

形成入射侧光纤 41 中的第 1 空孔 43 与出射侧光纤 42 中的第 2 空孔 44，而相互的相对角度只要在以后进行调整即可，因此能够降低制造成本。

另外，在前述的说明中，形成的圆柱形空孔是将包含包层 46 的光纤贯通，但与图 6 的情况相同，也可以仅仅在纤芯 45 的部分形成空孔。另外，第 1 空孔 43 或第 2 空孔 44 中也可以充填具有与各光纤纤芯 45 的折射率不同的折射率的法拉弟晶体等物质。这里，在第 1 空孔 43 或第 2 空孔 44 中充填法拉弟晶体时，也可以省略法拉弟元件 47。

再有，空孔的形状在第 2 实施形态中是以圆柱形进行说明的，但不限于圆柱形，也可以是四边柱形、多边柱形、椭圆柱形等其它的形状。另外，上述说明中，上述功能是以相互平行的许多圆柱构成的 2 维光子晶体来实现的，但不限于这种情况，也可以用具有称为雅布洛诺拜依特或伍德派依尔结构的 3 维光子晶体来实现。再有，也可以采用在入射侧光纤 41 及出射侧光纤 42 的端面形成的光子晶体层，来代替入射侧光纤 41 中的第 1 空孔 43 及出射侧光纤 42 中的第 2 空孔 44。关于在光纤端面制作光子晶体的方法，例如用图 2，生成由 3 维高折射率微粒 221 及低折射率部分 222 构成的具有周期结构的光子晶体的方法，这在前面已经叙述。

这样，仅仅对光纤进行形成空孔的同样加工，就能够形成起偏器及检偏器，同将法拉弟元件与具有起偏器及检偏器作用的光纤组合，通过这样就能够构成光隔离器。因而，可以不需要用透镜与光隔离器的波导进行耦合的作业，同时还能够减少零件数，能够实现大幅度降低成本。

(第 3 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 3 实施形态。图 8 所示为本发明第 3 实施形态的光器件结构侧面示意图。另外，在图 8 中，光纤 51 所示是仅仅取出与光器件对应的规定区间部分。

如图 8 所示，该光器件由光纤 51、在相对于光纤光轴 52 垂直方各产生电场的一对电极 59、以及对一个电极 59 加上规定电压的信号源 50 构成。光纤 51 由传输光的纤芯 53 及包围该纤芯 53 的包层 54 构成。另外，在光纤 51 中形成由第 1 功能部分 57 及第 2 功能部分 58 构成的两个功能部分，具有光器件功能。该第 1 功能部分 57 与第 2 功能部分 58 沿光纤 51 的光轴 52 隔开规定的间隔设置。

首先，该第 1 功能部分 57 是在沿光纤 51 的光轴 52 的一定区间由相对于

光轴 52 的垂直方向形成的相互平行的许多泡克尔斯晶体置换圆柱 55 构成，使得光纤 51 的纤芯 53 与包层 54 贯通。该泡克尔斯晶体置换圆柱 55 在相对于其长度方向的垂直面上各自分布形成点阵。而该许多泡克尔斯晶体置换圆柱 55 是对圆柱形空孔采用例如溶胶凝胶法充填泡克尔斯晶体而形成。该泡克尔斯晶体已经知道是显示一次电光效应的物质，例如可以采用 $LiNbO_3$ 晶体，$LiTaO_3$ 晶体，$NH_4H_2PO_4$ 晶体及 KH_2PO_4 晶体等。

其次，第 2 功能部分 58 是在沿光纤 51 的光轴 52 的一定区间由相对于光轴 52 的垂直方向形成的内部是空洞的互相平行的许多空孔 56 构成，使得光纤 51 的纤芯 53 与包层 54 贯通。该许多空孔 56 也在相对于其长度方向垂直的面上各自分布形成点阵，具有与光纤 51 的纤芯 53 的折射率不同的折射率。

下面再进一步详细说明第 1 及第 2 功能部分 57 及 58。具有与光纤 51 的纤芯 53 的折射率不同的折射率的圆柱如前所述，可以在相对于光纤 51 的光轴 52 的垂直方向利用钻头、激光或腐蚀等方法形成。第 1 功能部分 57 由这样形成的泡克尔斯晶体置换圆柱构成，同时具有起偏器及泡克尔斯元件的功能。而第 2 功能部分 58 仅仅由许多空孔 56 构成，为了使其具有起偏器(检偏器)的功能，预先计算空孔 56 的外径及空孔 56 的分布状态，沿相对于光轴 52 的垂直平面，相对于第 1 功能部分中的泡克尔斯晶体置换圆柱 55，垂直或者平行形成空孔 56。关于空孔的配置，只要具有图 4 说明中前述那样的周期结构即可。

再有，为了使得泡克尔斯晶体置换圆柱 55 也具有λ／4 片的作用，利用信号源 50 来控制电极 59 所加电场的大小，使泡克尔斯晶体置换圆柱 55 的折射率变化。另外，信号源 50 可以使电极 59 所加的电场周期性变化。于是，由于泡克尔斯晶体置换圆柱 55 的折射率变化，因此能够使透过第 1 功能部分 57 的光信号变化。

这样，由于只要对光纤 51 进行加工，就能够形成起偏器、泡克尔斯元件、λ／4 片及检偏器，因此光纤 51 具有光调制器的作用。因而，可以不需要用透镜与光调制器的波导进行耦合的作业，同时还能够减少零件数，能够实现大幅度降低成本。

另外，在前述说明中，圆柱形空孔是使包含包层 54 也贯通而形成的空孔，但与图 6 的情况相同，也可以仅仅在纤芯 53 的部分形成空孔。另外，空孔形状是以圆柱形进行说明的，但不限于圆柱形，也可以是四边柱形、多边柱形

或椭圆柱形等其它的形状。另外，上述说明中，上述功能是以相互平行的许多圆柱构成的 2 维光子晶体来实现的，但不限于这种情况，也可以用具有称为雅布洛诺拜依特或伍德派依尔结构的 3 维光子晶体来实现。

（第 4 实施形态）

下面参照附图说明本发明第 4 实施形态。图 9 所示为本发明第 4 实施形态的光器件侧面示意图。另外，在图 9 中，光纤 61 所示是仅仅取出与光器件对应的规定区间部分。

如图 9 所示，该光器件由光纤 61、在相对于光纤 61 的光轴 62 的垂直方向产生电场的电极 63、以及对电极 63 加上电场的信号源 60 构成。光纤 61 由传输光的纤芯 83 及包围该纤芯 83 的包层 84 构成。另外，在光纤 61 中形成由第 1 功能部分 67、第 2 功能部分 68 及第 3 功能部分 69 构成的三个功能部分，具有光器件功能。该第 1 至第 3 功能部分 67－69 沿光纤 61 的光轴 62 隔开规定的间隔设置。

这里本实施形态的第 1 功能部分 67 与第 3 实施形态的第 1 功能部分 57 相同，在沿光纤 61 的光轴 62 的一定区间由相对光轴 62 的垂直方向形成的互相平行的许多泡克尔斯晶体置换圆柱 64 构成，使得光纤 61 的纤芯 83 与包层 84 贯通。

另外，本实施形态的第 2 及第 3 功能部分 68 及 69 与第 3 实施形态的第 2 功能部分 58 相同，在沿光纤 61 的光轴 62 的一定区间，由相对于光轴 62 的垂直方向形成的内部是空洞的互相平行的许多第 1 及第 2 空孔 65 及 66 构成，使得光纤 61 的纤芯 83 与包层 84 贯通。该许多第 1 及第 2 空孔 65 及 66 在相对于其长度方向垂直的面上各自分布形成点阵，具有与光纤 61 的纤芯 83 的折射率不同的折射率。另外，第 1 及第 2 空孔 65 及 66 沿垂直于光轴 62 的平面相对于第 1 功能部分 67 中的泡克尔斯晶体置换圆柱 64 垂直或者平行设置。

下面再进一步详细说明第 1 至第 3 功能部分 67－69。具有与光纤 61 的纤芯 83 的折射率不同的折射率的圆柱如前所述，可以在相对于光纤 61 的光轴 62 的垂直方向利用钻头、激光或腐蚀等方法形成。第 1 功能部分 67 由这样形成的泡克尔斯晶体置换圆柱 64 构成，同时具有起偏器及泡克尔斯元件的功能。而第 2 功能部分 68 仅仅由许多第 1 空孔 65 构成，为了使其具有λ／4 片的功能，预先计算第 1 空孔 65 的外径及第 1 空孔 65 的分布状态，相对于第 1 功能部分 67 中的泡克尔斯晶体置换圆柱 64，垂直或者平行形成第 1 空孔 65。

关于空孔的配置，只要如图 4 中前述那样地周期分布即可。另外，第 3 功能部分 69 也与第 2 功能部分 68 相同，为了使其具有起偏器(检偏器)的功能，相对于第 1 功能部分 67 中的波克尔斯晶体置换圆柱 64，垂直或平行形成第 2 空孔 66。

再有，信号源 50 使电极 59 所加的电场周期性变化，使泡克尔斯晶体置换圆柱 55 的折射率变化，通过这样能够使透过第 1 功能部分 67 的光信号变化。

这样，由于只要对光纤 61 进行加工，就能够形成起偏器、泡克尔斯元件、λ/4 片及检偏器，因此光纤 61 有光调制器的作用。因而，可以不需要用透镜与光调制器的波导进行耦合的作业，同时还能够减少零件数，能够实现大幅度降低成本。

另外，在前述说明中，圆柱形空孔是使包含包层 84 也贯通而形成的空孔，但与图 6 的情况相同，也可以仅仅在纤芯 83 的部分形成空孔。另外，空孔形状是以圆柱形进行说明的，但不限于圆柱形，也可以是四边柱形、多边柱形或椭圆柱形等其它的形状。另外，上述说明中，上述功能是以相立平行的许多圆柱构成的 2 维光子晶体来实现的，但不限于这种情况，也可以用具有称为雅布洛诺拜依特或伍德派依尔结构的 3 维光子晶体来实现。

(第 5 实施形态)

下面参照图说明本发明第 5 实施形态。图 10 为本发明第 5 实施形态的光器件整体图。图 11 为将图 10 所示的功能部分 78 放大从斜向来看光纤 71 的示意透视图。

如图 11 所示，该光器件在光纤 71 中形成，光纤 71 由传输光的纤芯 75 及包围该纤芯 75 的包层 76 构成。另外，在光纤 71 中形成功能部分 78，具有光器件功能。

功能部分 78 是在沿光纤 71 的光轴 72 的一定区间，由相对于光轴 72 的垂直方向形成的内部是空洞的互相平行的许多空孔 77 构成，使得光纤光纤 71 的纤芯 75 与包层 76 贯通。该许多空孔 77 在相对于其长度方向的垂直面上各自分布形成点阵，具有与光纤 71 的纤芯 75 的折射率不同的折射率。该空孔 77 如前所述，可以在相对于光纤 71 的光轴 72 的垂直方向利用钻头，激光或腐蚀等方法形成。

这样，若在相对于光纤光轴 72 的垂直方向以一定间隔形成具有与纤芯 75

的折射率不同的折射率的互相平行的许多圆柱形空孔，则对于光源波长，通过控制圆柱折射率、外径及圆柱分布，对两种线偏振光(TM 及 TE)的色散特性产生差异。结果，可以使功能部分 78 具有使超前的波长滞后、使滞后的波长超前那样的色散特性。这样，若能够使光源波长的相位速度加快或减慢，则能够形成下面这样的波长色散特性，即由于光纤固有的波长色散特性而展宽的信号 79a 在通过功能部分 78 后，恢复到入射光 73 那样的陡峭脉冲信号 79b。因而，由于出射光 74 成为入射光 73 那样的信号，所以该光器件具有色散补偿器的功能。

这样，只要对光纤 71 进行加工，光纤 71 就具有色散补偿器的作用。因而，可以不需要用透镜与光调制器的波导进行耦合的作业，同时还能够减少零件数，能够实现大幅度降低成本。

另外，在前述说明中，圆柱形空孔是使包含包层 76 也贯通而形成的空孔，但与图 6 的情况相同，也可以仅仅在纤芯 75 的部分形成空孔。另外，空孔形状是以圆柱形进行说明的，但不限于圆柱形，也可以是四边柱形、多边柱形或椭圆柱形等其它的形状。另外，上述说明中，上述功能是以相互平行的许多圆柱构成的 2 维光子晶体来实现的，但不限于这种情况，也可以用具有称为雅布洛诺拜依特或伍德派依尔结构的 3 维光子晶体实现。但是，在光纤 71 是偏振面保存型的光纤时，由于排列方向成为问题，因此用 3 维光子晶体来实现并不理想。

(对光纤的具体安装形态)

在下面的实施形态中，具体说明将光调制器等光器件与光纤安装的情况。在下面的实施形态中，利用部分去除包层形成的平面，将互相平行的许多柱状体贯通纤芯来形成是比较容易的。另外，由于可以在该包层去除面设置电极，因此在功能部分可以加上均匀稳定的电场。下面将详细叙述。

(第 6 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 6 实施形态。图 12 所示为本发明第 6 实施形态的光器体整体水平剖面图。图 13(a)为图 12 所示的一部分放大的侧面剖视图。图 13(b)为将图 13(a)的光器件在图中的线 B－B' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。

如图 12 及图 13 所示，该光器件由光纤 1 及包覆该光纤 1 周围的毛细管 12 构成。光纤 1 由传输光的纤芯 3 及包围该纤芯 3 的包层 4 构成。另外，该光

纤 1 具有由第 1 功能部分 7 及第 2 功能部分 8 构成的两个功能部分。该第 1 功能部分 7 及第 2 功能部分 8 沿光纤 1 的光轴 22 隔开规定间隔设置。由于具有这些功能部分，该光器件使入射光 16 所包含的两种线偏振光(TM 及 TE)的各色散特性产生差异，因此能够用作起偏器等。

这里，本实施形态的第 1 及第 2 功能部分 7 及 8 与第 3 实施形态的第 1 及第 2 功能部分 57 及 58 相同，本实施形态的圆柱体 19 及空孔 6 与第 3 实施形态的泡克尔斯晶体置换圆柱 55 及空孔 56 同样形成及分布，因此省略有关这些部分的说明。但是，圆柱体 19 及空孔 6 是互相平行配置。

这里，光纤 1 为了形成第 1 及第 2 功能部分 7 及 8，在规定区间去除包层削除部分 18，包层削除部分 18 是从光纤 1 两侧去除，一直到与纤芯 3 几乎接触的位置为止。结果形成把纤芯 3 夹在当中的互相平行的侧剖面为长方形的一对平行边界面 23。因而，如图 13(b)所示，光纤 1 在规定区间在图中的上下剩下未削除的包层残留部分 21，呈现出削去其左右部分的形状，使一对平行边界面 23 露出在外面。采用这样的方法，就能够很容易形成圆柱体 19 及空孔 6。

然后，对构成第 1 功能部分 7 的由泡克尔斯晶体构成的许多圆柱体 19 加上电场的一对电极 9 设置在上述平行边界面 23 上。该电极 9 设置在光纤 1 的侧面，所加电场方向与许多圆柱体 19 平行。这样，由于在一对平行边界面 23 上配置电极 9，因此能够对圆柱体 19 很容易且正确地加上电场。另外，对该电极 9 加上电压的信号源 10 设置在毛细管 12 的外部，电极 9 的一方与地线 11 连接。

另外，包覆光纤 1 周围的毛细管 12 具有与想要连接的其它光纤 13 的套圈 14 近似相等的外径。因此，在将该光纤想要与其它光纤 13 连接时，用开口套管 15 将毛细管 2 与其它光纤的套圈压紧，能够与光纤间的光学系统进行耦合相同，使光轴对准，因此能够很容易对光学系统进行耦合。

(第 7 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 7 实施形态。图 14(a)所示为第 7 实施形态的光器件侧面示意图。图 14(b)为将图 14(a)的光器件在图中的线 B－B' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。

如图 14 所示，该光器件与图 13 所示的第 6 实施形态的光器件具有基本相同的结构，但平行电极 24 的设置位置及形状与第 6 实施形态的电极 9 不同。

本实施形态的平行电极 24 的特征在于，设置的平行电极 24 互相平行于光纤 1 的光轴 22，而且相对于圆柱体 19 的长度方向是垂直的，这样使得所加电场相对于构成第 1 功能部分 7 的由泡克斯晶体构成的许多圆柱体 19 的长度方向是垂直的，而且相对于光轴 22 也是垂直的。即如图 14(a)所示，在相对于圆柱体 19 的长度方向的垂直的面上，在许多圆柱体 19 的上下设置一对平行电极 24，这一点与电极 9 的情况不同。另外，所谓相对于圆柱体 19 的长度方向的垂直的面，如图 14(b)所示，是去除包层削除部分 18 结果形成的把纤芯 3 夹在当中的互相平行的一对平行边界面 23，它的侧剖面为长方形。当然，由于一对平行电极 24 设置在同一平面上，因此不一定需要象图 14(b)所示的那样，从光纤 1 的左右去除包层削除部分 18，形成两个平面(一对平行边界面 23)。因而，也可以去除包层削除部分 18，使得只形成配置平行电极 24 用的某一个平面。利用如上所述配置的平行电极 24，能够调整由泡克尔斯晶体形成的许多圆柱体 19 所构成的第 1 功能部分 7 的光调制功能。

另外，对该平行电极 24 加上电压的信号源 10 设置在毛细管 12 的外部，平行电极 24 的另一边与地线 11 连接，这一点与实施形态 6 的光器件相同，因此省略其说明。

(第 8 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 8 实施形态。图 15(a)所示为第 8 实施形态的光器件侧面示意图。图 15(b)为将图 15(a)的光器件在图中的线 B—B' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。

如图 15 所示，该光器件与图 13 所示的第 6 实施形态的光器件具有基本相同的结构，但竖直电极 25 的设置位置及形状与第 6 实施形态的电极 9 不同。本实施形态的竖直电极 25 的特征在于，设置的竖直电极 25 与光纤 1 的光轴 22 平行，而且相对于圆柱体 19 的长度方向是垂直的，这样使得所加电压相对于构成第 1 功能部分 7 的由泡克尔斯晶体构成的许多圆柱体 19 的长度方向垂直而且相对于光轴 22 平行。即如图 15(a)所示，在相对于圆柱体 19 的长度方向的垂直面上，在许多圆柱体 19 的左右设置 1 对竖直电极 25，这一点与电极 9 的情况不同。另外，所谓相对于圆柱体 19 的长度方向的垂直的面，如前所述是图 15(b)所示的一对平行边界面 23。当然，由于一对竖直电极 25 设置在同一平面上，因此不一定需要象图 15(b)所示的那样，从光纤 1 的左右去除包层削除部分 18，形成两个平面(一对平行边界面 23)。因而，也可以去除包层削

除部分 18，使得只形成配置竖直电极 25 用的某一个平面。利用如上所述配置的竖直电极 25，能够调整由泡克尔斯晶体形成的许多圆柱体 19 所构成的第 1 功能部分 7 的光调制功能。

另外，对该竖直电极 25 加上电压的信号源 10 设置在毛细管 12 的外部，竖直电极 25 的另一边与地线 11 连接，这一点与实施形态 6 的光器件相同，因此相同的构成部分附加相同的符号，并省略其说明。

(第 9 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 9 实施形态。图 16(a)所示为第 9 实施形态的光器件侧面示意图。图 16(b)为将图 16(a)的光器件在图中的线 B－B' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。

如图 16 所示，该光器件与图 13 所示的第 6 实施形态的光器件具有基本相同的结构，但再削除包层 4，另外相对电极 26 的设置位置与第 6 实施形态的电极 9 不同。

首先，如图 16(b)所示，光纤形成第 1 及第 2 功能部分，为了设置相对电极 26，在规定区间去除包层削除部分 18，包层削除部分 18 是从光纤 1 上下及左右去除，一直到与纤芯 3 几乎接触的位置为止。结果在纤芯 3 的左右及上下分别形成把纤芯 3 夹在当中互相平行的侧剖面为长方形的一对第 1 平行边界面 31 及第 2 平行边界面 32。因而，如图 16(a)所示，光纤 1 在规定区间剩下未削除的包层残留部分 21 将纤芯 3 包围，呈现以光轴 22 为中心轴的四方柱形状，使一对第 1 平行边界面 31 及一对第 2 平行边界面 32 露出在外面。采用这样的方法，就能够很容易形成圆柱体 19 及空孔 6，同时能够在与第 6 实施形态的情况不同的平面上设置相对电极 26。

然后，其特征在于，设置相对于光纤 1 的光轴 22 互相平行且相对于圆柱体 19 的长度方向也平行的相对电极 26，使得相对电极 26 相对于构成第 1 功能部分 7 的由泡克尔斯晶体构成的许多圆柱体 19 长度方向垂直而且对光轴 22 也垂直地加上电场。即如图 16(a)及图 16(b)所示，在相对于圆柱体 19 的长度方向平行而且相对于光轴 22 也平行的面，即一对第 2 平行边界面 23 上，在许多圆柱体 19 的上下设置一对相对电极 26，这一点与电极 9 的情况不同。利用这样配置的平行电极 24，能够调整由泡克尔斯晶体形成的许多圆柱体 19 构成的第 1 功能部分 7 的光调制功能。

另外，对该相对电极 26 加上电压的信号源 10 设置在毛细管 12 的外部，

相对电极 26 的另一边与地线 11 连接，这一点与实施形态 6 的光器件相同，因此相同的构成部分附加相同的符号，并省略其说明。

(第 10 实施形态)

下面参照附图说明本发明第 10 实施形态。图 17(a)所示为第 10 实施形态的光器件侧面示意图。图 17(b)为将图 17(a)的光器件在图中的线 B—B' 位置相对于光轴 2 垂直切取的剖面示意图。

如图 17(a)所示，该光器件与图 16(a)所示的第 9 实施形态的光器件具有基本相同的结构，但空孔 6 的长度方向与第 6 实施形态不同。即本实施形态光器件的特征在于，构成光纤 1 设置的第 1 功能部分 7 的许多圆柱体 19 其长度方向与构成第 2 功能部分 8 的许多空孔 6 的长度方向互相垂直。具体来说，如图 17(b)所示，圆柱体 19 的长度方向沿着图的水平方向，而空孔 6 的长度方向是沿着图的上下方向。

如上所述，利用构成第 1 及第 2 功能部分 7 及 8 的圆柱体 19 及空孔 6 的长度方向互相垂直，能够调整各功能部分的光调制功能的作用。

另外，上面说明了具有两个功能部分的情况，但对于第 4 实施形态的光器件那样，具有三个功能部分的情况，也同样能够适用。

(第 11 实施形态)

本发明第 11 实施形态的光器件，其特征在于，将施加电场的电极设置成电场方向与构成第 1 功能部分的柱状体的长度方向之间形成角度θ。由于这样使柱状体的长度方向与电场方向形成一定角度θ，就能够调整第 1 功能部分的光调制功能。

该光器件与第 9 或第 10 实施形态的光器件比较，在图 18(a)所示的光纤 1 的横剖面中，将施加电场的平行电极 87 设置成电场方向与构成第 1 功能部分 7 的圆柱体 19 的长度方向形成角度θ，这一点是不相同的。具体来说，在规定区间中，基本上去除包层 4，剩下纤芯 3，在与纤芯 3 接触或近接触的位置设置一对平行电极 87，使其与圆柱体 19 的长度方向形成角度θ。另外，该光器件也可以采用如图 18(b)所示的近似沿着纤芯 3 的曲面弯曲的曲面电极 88，代替图 18(a)所示的平行平板电极 87。采用曲面电极 88 时，设定曲面电极 88 使得圆柱体 19 的长度方向与曲面中央的法线方向 35 形成角度θ。

(第 12 实施形态)

本发明第 12 实施形态的光器件，其特征在于，用贯通纤芯的由具有法拉

弟效应的晶体形成的许多圆柱体构成光纤的第一功能部分。由于这样第 1 功能部分用具有法拉弟效应的晶体形成的圆柱体构成，因此通过加上磁场，就能够调整第 1 功能部分的法拉弟旋转角。因而，该光器体具有隔离器功能。

图 19 所示为本发明第 12 实施形态的光器件水平剖面图。该光器件如图 19 所示，与第 6 实施形态的光调制器比较，它用贯通纤芯 3 的由具有法拉弟效应的晶体形成的许多圆柱体 91 构成光纤 1 的第 1 功能部分，这一点是不相同的。具体来说，构成第 1 功能部分 7 的圆柱体不是用泡克尔斯晶体、而是用具有法拉弟效应的晶体构成。具有该法拉弟效应的晶体可以用例如石榴石晶体，稀土类铁石榴石晶体(YIG 等)。再在毛细管 12 的外面设置对具有该法接弟效应的晶体加上磁场 94 的磁铁 95 或在加工外面时嵌入磁铁。磁铁 95 只要是稀土类磁铁等永久磁铁或电磁铁等只要是产生足够强度的磁场使光的偏光面的法拉弟旋转基本饱和，则可以用任何磁铁。另外，由于法拉弟旋转角与磁场方向无关，因此，可以选择各种施加磁场 94 的方向。

〈光传感器有关的实施形态〉

在下面的实施形态中，具体说明本发明有关的光电压传感器、光电流传感器、光磁传感器等光传感器的结构及工作原理。

（第 13 实施形态）

首先说明本发明第 13 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器，如图 20 所示，具有传感器部分、发光部分 118 及受光部分 119，传感器部分由光的入射侧起依次在同一光轴 108 上配置的起偏器 101、λ / 4 片 102、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体 103、第 2 导电性反射膜 107 及检偏器 104 构成。

发光部分 118 由包含 LED 等发光元件作为光源的 E / O 电路、以及包含光纤等的输入侧光学系统构成。由光源发射的光束经输入侧光学系统入射至传感器部分。

传感器部分在其光束的光路上依次配置上述的起偏器 101、λ / 4 片 102、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体 103、第 2 导电性反射膜 107 及检偏器 104，该光束利用这些光学元件，用被测电压 Vm 调制后射出。在本实施形态中，使用 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体作为电光晶体 103，电光晶体 103 配置成使其 Z 轴(C 轴)与光轴 108 一致。另外，第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107 这样配置，使它们的反射面与光轴 108 垂直，而且第 1 导电性反射膜 106 与

第 2 导电性反射膜 107 的间隔 dr 为入射至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。另外，如图 20 所示设定坐标系，使 Z 轴沿着光轴 108、X 轴与 Y 轴分别沿着与光轴 108 垂直的平面内互相垂直的两个方向。这时，相对于 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体沿 Z 轴方向加上电场时，即纵向调制时，与调制度有关的电光常数为γ33 及γ31，在 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体 103 的设定方向为 X 轴方向时，起偏器 101 及检偏器 104 的设定方向相对于 X 轴为±45°。λ／4 片 102 的设定方向为 X 轴方向或 Y 轴方向。这里所谓设定方向是指表示折射率的椭园的主轴方向，所述折射率是对于入射至电光晶体或λ／4 片等的光束的折射率。

受光部分 119 由包含光纤等的输出侧光学系统、以及包含将光信号变换为电信号的光电变换元件的 O／E 电路构成。由传感器部分出射的光束经输出侧光学系统，用 O／E 电路内的光电变换元件受光，变换为电信号。该电信号是与通过 $LiNbO_3$ 晶体 103 后的光束偏振状态相对应，而该偏振状态根据被测电压 Vm 变化。利用与受光部分 119 连接的受光侧信号处理电路(未图示)，根据该电信号，计算调制度，通过这样可以求出被测电压值。

如上所述构成的光电压传感器的具体结构，例如是后述的图 24 或图 30 所述的结构。关于这些结构的详细情况，由于在后面将作为其它实施形态进行说明，因此这里省略其详细说明。

本实施形态的光电压传感器，如前所述，传感器部分的第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导电性反射膜 107 的间隔 dr 设定为入射至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。若这样设定，在第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导电性反射膜 107 之间构成标准谐振器(也称为“法布里一佩洛谐振器”)。因此，沿第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107 的垂直方向即光轴 108 的方向传输的光起支配作用，如图 20 所示，光束角度分布 115 很陡峭。也就是说，即使因光学零件的公差或结构上的误差等引起入射光 109 的中心方向或分布有差异，但由于由第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107 构成的标准谐振器的作用，通过电光晶体 103 的光，其中心方向与反射面垂直(与光轴 108 平行)，因此其分布也一定。再由于这样的标准谐振器的作用，通过电光晶体 103 的光的波长也一定。

根据上述的本实施形态，利用由第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107 构成的标准谐振器，通过电光晶体 103 的光的中心方向及分布则一

定。即入射至电光晶体 103 的入射光束与通过电光晶体 103 后的光束的光束状态稳定。结果即使因光学零件的公差等引起入射至传感器部分的入射光 109 的光束状态有差异，而本实施形态的光电压传感器的输出即调制度仍然稳定。另外，若入射至传感器部分的入射光 109 的中心方向有差异，则入射至电光晶体 103 的光束强度发生变化，但由于其分布一定，因此入射至传感器部分的入射光 109 的中心方向之差异对于受光部分 119 中受光量的 AC 分量与 DC 分量比所得出的调制度的差异没有实质影响。

另外，由于上述光束角度分布 115 与第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107 的反射率有关，反射率越高，光束角度分布 115 越小，因此最好反射率在 0.6 以上。这样，若光束角度分布 115 减小，则对于图 35 所示那样因双折射而引起的轴偏特性，就能够得到一定的特性。

在上述实施形态中，是采用对于 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体 103 在 Z 轴方向即光轴 108 的方向加上电场的纵向调制方式，但也可以采用对于 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体 103 在 X 轴方向加上电场的横向调制方式，来代替纵向调制方式。作为横向调制方式的光电压传感器的具体结构，例如可举出将在后面进行说明的结构(参照图 25)

采用横向调制方式时，与光电压传感器的调制度有关的电光常数为γ22，在 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的设定方向为 X 轴方向时，起偏器 101 及检偏器 104 的设定方向为 X 轴方向或 Y 轴方向，λ/4 片 102 的设定方向相对于 X 轴为±45°。由于电光常数γ22 的温度特性小，因此在横向调制方式的情况下，光电压传感器的输出(调制度)随温度的变化(下面称为“输出随温度的变化”)中，由于 $LiNbO_3$ 晶体 103 的温度特性的影响成分，如图 21 中虚线所示，达到几乎可以忽略的程度(图 21 中纵轴表示以 25 摄氏度时的光电压传感器输出(调制度)为基准的相对输出变化)。但是由于λ/4 片 102 的双折射的温度特性，横向调制方式的光电压传感器输出即调制度具有温度特性。但是，如上所述，由于在包围 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的区域内构成标准谐振器，光束状态稳定，因此即使因光学零件的公差等而引起入射至传感器部分的入射光 109 的光束状态有差异，光电压传感器的输出温度特性也无差异，是稳定的。根据这种情况，在采用横向调制方式时，也可以用于温度传感器。

如上述实施形态所示，在采用纵向调制方式时，如前所述，与光电压传感器的输出即调制度有关的电光常数为γ33、γ31，在 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体 103

的设定方向为 X 轴方向时，起偏器 101 及检偏器 104 的设定方向相对于 X 轴为±45°，λ/4 片 102 的设定方向为 X 轴方向或 Y 轴方向。在纵向调制方式的情况下，由于电光常数γ33 与γ31 的温度特性，光电压传感器的因温度而产生的输出变化中，由于 $LiNbO_3$ 晶体 103 的温度特性的影响成分，在图 21 中用虚线所示。即若温度上升，由于 $LiNbO_3$ 晶体 103 的温度特性而使光电压传感器的输出下降。另外，光电压传感器的因温度而产生的输出变化中存在因λ/4 片 102 的双折射温度特性而导致的成分(下面将此称为“λ/4 片 102 的温度特性引起的输出变化”)。然而，表示λ/4 片 102 的对于其入射光的折射率的椭圆(下面称为“折射率椭圆”)，温度越高，越接近于真圆。另一方面，表示 $LiNbO_3$ 晶体 103 的对于其入射光的折射率的椭圆(折射率椭圆)，温度越高，越变为扁平的椭圆。因而，若使λ/4 片 102 的折射率椭圆的进相轴方向与 $LiNbO_3$ 晶体 103 的折射率椭圆的进相轴方向一致，则因两者温度特性而引起的传感器输出与温度的关系互相抵消(参照图 21 中的虚线与实线的直线)，结果，光电压传感器的因温度而引起的输出变化减小。即 $LiNbO_3$ 晶体 103 的设定方向为 X 轴方向时，λ/4 片 102 的设定方向也设定为 X 轴方向，通过这样能够改善光电压传感器的输出温度特性。

(第 14 实施形态)

下面说明本发明第 14 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器与第 13 实施形态具有基本相同的结构，即具有图 20 所示的结构。本实施形态的光电压传感器构成要素中，对于与第 13 实施形态相同的构成要素附加相同的参照符号，并省略其说明。另外，本实施形态的光电压传感器整个的工作原理，由于本质上也与第 13 实施形态相同，所以省略其详细说明。

在本实施形态中，如图 22 所示，在传感器部分构成标准谐振器用的导电性反射膜用反射膜与透明导电性膜构成的多层膜来实现。即上述第 13 实施形态中的第 1 导电性反射膜 106，在本实施形态中，用第 1 透明导电性膜 121 与第 1 反射模 122 构成的多层膜来实现(用参照符号 106b 表示用该多层膜实现的本实施形态的第 1 导电性反射膜)。另外，上述第 13 实施形态中的第 2 导电性反射膜 107，在本实施形态中，用第 2 透明导电性膜 123 与第 2 反射膜 124 构成的多层膜来实施(用参照符号 107b 表示用该多层膜实现的本实施形态的第 2 导电性反射膜)。因而，在本实施形态中，第 1 反射膜 122 与第 2 反射膜

124 的间隔 dr2 设置为入射至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。第 1 及第 2 透明导电性膜 121 及 123 可以使用例如 ITO(Indium-Tin-Oxide)(铟一锡氧化物)膜等。

另外，图 22 所示的是构成第 1 导电性反射膜 106b 的第 1 透明导电性膜 121 与构成第 2 导电性反射膜 107b 的第 2 透明导电性膜 123 都配置在 $LiNbO_3$ 晶体(电光晶体)103 一侧的例子，但是第 1 透明导电性膜 121 与第 1 反射膜 122 的顺序及第 2 透明导电性膜 123 与第 2 反射膜 124 的顺序是任意的。但如上所述，不管它们的顺序如何，第 1 反射膜 122 与第 2 反射膜 124 的间隔要配置为入射至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。

根据本实施形态，利用以透明导电性膜与反射膜构成的多层膜实现的第 1 导电性反射膜 106b 及第 2 导电性反射膜 107b，与第 13 实施形态相同，构成标准谐振器，这样通过电光晶体 103 的光的中心方向及分布一定。结果，即使因光学零件的公差等引起入射至传感器部分的入射光 109 的光束状态有差异，本实施形态的光电压传感器的输出即调制度也稳定。再有，根据本实施形态，由于第 1 导电性反射膜 106b 及第 2 导电性反射膜 107b 是以透明导电性膜与反射膜构成的多层膜来实现，因此在形成第 1 及第 2 导电性反射膜 106b 及 107b 时，可以分别控制它们的导电率及反射率。因而，与利用单层膜实现导电性反射膜的情况相比，由于能够很容易形成反射率大的导电性反射膜，因此能够更提高上述使光束状态稳定的效果。

(第 15 实施形态)

下面说明本发明第 15 实施形态光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器与第 13 实施形态具有基本相同的结构，即具有图 20 所示的结构。本实施形态的光电压传感器构成要素中，对于与第 13 实施形态相同的构成要素附加相同的参照符号，并省略其说明。另外，本实施形态的光电压传感器整个的工作原理，由于本质上也与第 13 实施形态相同，所以省略其详细说明。

在本实施形态中，在传感器部分将电光晶体 103 即 $LiNbO_3$ 晶体膜夹在当中而配置的两个导电性反射膜，用图 23 所示的多层膜来实现。即上述第 13 实施形态中的第 1 导电性反射膜 106，在本实施形态中，用第 1 透明导电性膜 121 与具有反射膜功能的第 1 多层膜 133 构成(用参照符号 106c 表示这样在本实施形态中用第 1 透明导电性膜 121 与第 1 多层膜 133 构成的第 1 导电性反

射膜)。另外，上述第 13 实施形态中的第 2 导电性反射膜 107，在本实施形态中，用第 2 透明电性膜 123 与具有反射膜功能的第 2 多层膜 134 构成(用参照符号 107c 表这样在本实施形态中用第 2 透明导电性膜 123 与第 2 多层膜 134 构成的第 2 导电性反射膜)。第 1 多层膜 133 及第 2 多层膜 134 都是沿光轴 108 方向由高折射率层 131 与低折射率层 132 这两种薄层交替层叠而成的多层膜，具有折射率沿光轴 108 方向周期性变化的周期结构。即第 1 多层膜 133 及第 2 多层膜 134 是 1 维光子晶体。另外，在本实施形态中，第 1 透明导电性膜 121 夹在第 1 多层膜 133 与 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 之间，第 2 透明导电性膜 123 夹在第 2 多层膜 134 与 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 之间。而且，构成第 1 多层膜 133 的层中与第 1 透明导电性膜 121 接触的层即与 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 最接近的层(下面称为“第 1 接近层”)，与构成第 2 多层膜 134 的层中与第 2 透明导电性膜 123 接触的层即与 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 最接近的层(下面称为“第 2 接近层”)，是同一种类的层(即具有相同的折射率)。在图 23 所示的例中，第 1 及第 2 接近层都是高折射率层 131。另外，第 1 及第 2 透明导电性膜 121 及 123 可以使用例如 ITO(Indium-Tin-Oxide)膜等。高折射率层 131 的材料可以使用 Ta_2O_5、TiO_2、Ge、 Si 等(例如折射率为 3.4-3.6 左右的材料)，低折射率层 132 的材料可以使用 SiO2(折射率为 1.46 左右)，空气(折射率为 1)等。

在上述第 1 导电性反射膜 106c 及第 2 导电性反射膜 107c 中，各层形成时使得一个高折射率层 131 的厚度与一个低折射率层 132 的厚度之和为入射至传感器部分的入射光 109 的波长的 1 / 4。另外，第 1 多层膜 133 与第 2 多层膜 134 的第 1 接近层与第 2 接近层的间隔，即第 1 多层膜 133 与第 1 透明导电性膜 121 接触的面与第 2 多层膜 134 的与第 2 透明导电性膜 123 接触的面的间隔 dr3 配置为入射至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。

上述构成配置的第 1 导电性反射膜 106c 及第 2 导电性反射膜 107c 相对于入射光 109 具有所谓 PBG(Photonic Band Gap)(光子带隙)反射镜的功能，在用这些 PBG 反射镜包围的空间内产生强烈的谐振。即能够得到与第 13 实施形态的标准谐振器同样性质的更强效果。因此，通过电光晶体 103 的光的中心方向及分布一定，结果即使因光学零件的公差等引起入射至传感器部分的入射光 109 的光束状态有差异，而本实施形态的光电压传感器的输出即调制度仍然稳定。

另外，在上述构成中形成的第 1 导电性反射膜 106c 及第 2 导电性反射膜

107c，是使得其高折射率层 131 的厚度与低折射率层 132 的厚度之和为入射至传感器部分的入射光 109 的波长的 1／4。但为了进一步提高上述效果，最好高折射率层 131 的厚度及低折射率层 132 厚度都为入射至传感器部分的入射光 109 的波长的 1／8。

另外，关于 PBG 反射镜的应用已经在许多文献中作了介绍，例如在美国专利 5 365 541 号中公开发表。

(第 16 实施形态)

下面说明本发明第 16 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器与第 13 实施形态具有相同的结构，即具有图 20 所示的结构。本实施形态的光电压传感器构成要素中，对于与第 13 实施形态相同的构成要素附加相同的参照符号，并省略其说明。另外，本实施形态的光电压传感器整个的工作原理，由于本质上也与第 13 实施形态相同，所以省略其详细说明。

图 24 所示为本实施形态的光电压传感器其主要部分具体结构正面透视图。该光电压传感器具有基板 144，在基板 144 的中间部分设置定位用的零件导槽 143，使该光电压传感器的构成传感器部分的起偏器 101、λ／4 片 102、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103、第 2 导电性反射膜 107 及检偏器 104 分别紧贴依次配置在规定光轴 108 上。该零件导槽 143 由四边构成，在基板 144 还设置与这四边中的相对的两边分别垂直连接的光纤导槽 142a 及 142b。其中光纤导槽 142a 引导光纤 246a 使发光部分 118 的构成输入侧光学系统的光纤 246a 与用零件导槽 143 定位的起偏器 101 光学耦合。光纤导槽 142b 引导光纤 246b，使受光部分 119 的构成输出侧光学系统的光纤 246b 与用零件导槽 143 定位的检偏器 104 光学耦合。另外，基板 144 安装一对电极 141，该一对电极 141 的一个电极与利用零件导槽 143 定位的第 1 导电性反射膜 106 用引线 145 电气连接，而另一个电极与利用零件导槽 143 定位的第 2 导电性反射膜 107 之间用引线 45 电气连接。因而若在一对电极 141 之间加上被测电压 Vm，则该电压 Vm 加在电光晶体即 $LiNbO_3$ 膜 103 的 Z 轴方向(光 108 方向)。

另外，在本实施形态中，与第 13 实施形态相同，传感器部分的第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导电性反射膜 107 的间隔 dr 设定为入射至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。因而，在第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导

电性反射膜 107 之间构成标准谐振器，因此沿第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107 垂直的方向即光轴 108 方向传输的光起支配作用，光束角度分布 115 很陡峭。结果，得到的效果是即使因光学零件的公差等而引起入射至传感器部分的入射光 109 的光束状态有差异，而本实施形态的光电压传感器的输出即调制度仍然稳定，还得到使通过传感器部分的光的指向性提高的效果。

根据上述的本实施形态，通过在传感器部分的包围 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的区域构成标准谐振器，能够提高通过传感器部分的光的指向性，抑制入射至 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的入射光束的轴偏。另外，由于构成传感器部分的各光学零件为板状或膜状，而且利用零件导槽 143 使这些光学零件相互间以紧贴状态定位，因此传感器部分的光路长比以往的结构(参照图 33)要缩短(例如该光路长可缩至 2－3mm 左右)。在本实施形态中，通过这样使通过传感器部分的光的指向性提高，同时使传感器部分的光路长缩短，而且利用光纤导槽 142a 将输入侧光学系统的光纤 246a 直接与起偏器 101 光学耦合，利用光纤导槽 142b 将输出侧光学系统的光纤 246b 直接与检偏器 104 光学耦合。即在本实施形态中，由于传感器部分提高了光的指向性及缩短了光路长，能够不使用透镜，将起偏器 101 一侧与光纤 246a 的耦合损耗及检偏器 104 一侧与光纤 246b 的耦合损耗降低到实用上没有问题的范围。这样一来，根据本实施形态，既不降低光传感器的性能，又因为不要透镜，减少了零件数量，因此能够降低成本。

(第 17 实施形态)

下面说明本发明第 17 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器为横向调制方式，对于电光晶体即 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 沿 X 轴方向加上电场(有关坐标系可参照图 20)，这一点与纵向调制方式的光电压传感器即第 13 实施形态及第 16 实施形态等不同。在本实施形态中，由于对 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的电场施加方向不是 Z 轴方向(光轴 108 的方向)，而是 X 轴方向，因此在传感器部分，分别使用第 1 反射膜 122 及第 2 反射膜 124 代替第 1 导电性反射膜 106 及第 2 导电性反射膜 107(第 1 及第 2 反射膜 122 及 124 不要求导电性)，对 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 加上被测电压 Vm 用的一对施加电极 151 沿 X 轴方向相对配置，沿 X 轴方向将 $LiNbO_3$ 晶体膜夹在当中。另外，如本实施形态所示的是对 Z 轴传输的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 沿 X

轴方向加上电场的情况，这种情况下与调制度有关的电光常数为γ22，起偏器 101 及检偏器 104 的设定方向为 X 轴方向或 Y 轴方向，λ／4 片 102 的设定方向相对于 X 轴为±45°。

关于上述以外部分的本实施形态的基本结构，由于与图 20 所示的第 13 实施形态的结构相同，因此对于本实施形态的光电压传感器构成要素中与第 13 实施形态相同的构成要素，附加相同的参照符号，并省略其说明。另外，由于本实施形态的光电压传感器整个的工作原理实质上与第 13 实施形态大致相同，因此省略其详细说明。

图 25 所示为本实施形态的光电压传感器的主要部分具体结构正面透视图。该光电压传感器与第 16 实施形态相同，具有基板 144，在基板 144 的中间部分设置定位用的零件导槽 143，使该光电压传感器的构成传感器部分的起偏器 101、λ／4 片 102、第 1 反射膜 122、电光晶体的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103，第 2 反射膜 124 及检偏器分别紧贴依次配置在规定光轴 108 上。另外在基板 144 设置与实施形态 16 的情况相同结构的光纤导槽 142a 及 142b，光纤导槽 142a 引导光纤 246a，使发光部分 118 的构成输入侧光学系统的光纤 246a 与用零件导槽 143 定位的起偏器 101 光学耦合。光纤导槽 142b 引导光纤 246b，使受光部分 119 的构成输出侧光学系统的光纤 246b 与用零件导槽 143 定位的检偏器 104 光学耦合。另外，基板 144 安装一对电极 152，该一对电极 152 的一块电极与另一块电极，分别用引线与一对施加电极 151 的一块电极与另一块电极连接。因而，若一对施加电极 151 之间加上被测电压 Vm，则该电压 Vm 沿 X 轴方向加在电光晶体即 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 上。

另外，在本实施形态中，传感器部分的第 1 反射膜 122 与第 2 反射膜 124 的间隔设定为输入至传感器部分的入射光 109 的波长一半的整数倍。这样与第 13 及第 16 实施形态相同，由于在第 1 反射膜 122 与第 2 反射膜 124 之间构成标准谐振器，因此沿第 1 反射膜 122 及第 2 反射膜 124 垂直的方向即光轴 108 方向传输的光起支配作用，光束角度分布 115 很徒峭。结果得到的效果是，即使因光学零件的公差等而引起入射至传感器部分的入射光 109 的光束状态有差异，而本实施形态的光电压传感器的输出即调制度仍然稳定，还得到使通过传感器部分的光的指向性提高的效果。

根据上述的本实施形态，与实施形态 16 相同，通过在传感器部分的包围 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的区域构成标准谐振器，能够提高通过传感器部分的光的指

向性，抑制入射至 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的入射光束的轴偏。另外，由于构成传感器部分的各光学零件为板状或膜状，而且利用零件导槽 143 使这些光学零件相互间以紧贴状态定位，因此传感器部分的光路长缩短(例如该光路长可缩至 2－3mm 左右)。即在本实施形态中，也利用传感器部分提高光的指向性及缩短光路长，能够不使用透镜，将起偏器 101 一侧与光纤 46a 的耦合损耗及检偏器 104 一侧与光纤 246b 的耦合损耗降低到实用上没有问题的范围。因而与第 16 实施形态相同，既不降低光传感器的性能，又因为不要透镜，减少了零点数量，因此能够降低成本。

(第 18 实施形态)

下面说明本发明第 18 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器与第 13 实施形态具有基本相同的结构，即具有图 20 所示的结构。本实施形态的光电压传感器构成要素中，对于与第 13 实施形态相同的构成要素附加相同的参照符号，另外，本实施形态的光电压传感器整个的工作原理，由于本质上也与第 13 实施形态相同，所以省略其详细说明。

图 26 所示为本实施形态的光电压传感器的主要部分具体结构正面透射图。该光电压传感器与第 16 实施形态相同，具有基板 144，在基板 144 设置定位用的零件导槽 143，使该光电压传感器的构成传感器部分的光学零件配置在规定光轴 108 上，另外在基板 144 还设置将发光部分 118 的构成输入侧光学系统的光纤(下面称为“输入侧光纤”)148a 与用零件导槽 143 定位的规定的光学零件光学耦合用的输入侧光纤导槽 142a、以及将受光部分 119 的构成输出侧光学系统的光纤(下面称为“输出侧光纤”)148b 与用零件导槽 143 定位的规定的光学零件光学耦合用的输出侧光纤导槽 142b。

在本实施形态中，在输入侧光纤 148a 的一个端面形成具有起偏器功能的光子晶体层(下面称为“光子晶体起偏器”)171，在输出侧光纤 148b 的一个端面形成具有检偏器功能的光子晶体层(下面称为“光子晶体检偏器”)172。另外，本实施形态的零件导槽 143 与第 16 实施形态不同，构成的零件导槽 143 使构成传感器部分的光学零件中的λ/4 片 102、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 及第 2 导电性反射膜 107 分别紧贴定位。然后，输入侧光纤导槽 142a 引导输入侧光纤 148a，使输入侧光纤 148a 的端面形成的光子晶体起偏器 171 与用零件导槽 143 定位的λ/4 片 102 光学耦合。输出侧

光纤导槽 142b 引导输出侧光纤 148b，使输出侧光纤 148b 的端面形成的光子晶体检偏器 172 与用零件导槽 143 定位的第 2 导电性反射膜 107 光学耦合。本实施形态的光电压传感器具体结构中，除上述以外，由于与第 16 实施形态相同，因此对相同构成要素附加相同的参照符号，并省略其说明。另外，关于光子晶体起偏器 171 及光子晶体检偏器 172 的形成，将在后面叙述。

如上所述，在本实施形态中，与第 16 实施形态相同，由于传感器部分中提高了光的指向性及缩短了光路长，因此形成不要透镜的结构，进而，起偏器及检偏器在光纤端面形成作为光子晶体层。因而，光电压传感器的零件数量进一步减少，成本进一步降低。另外，起偏器及检偏器在光纤端面形成作为光子晶体层，这也有助于缩短光路长。另外，在本实施形态中，与第 16 实施形态相同，在传感器部分的包围 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 的区域构成标准谐振器，提高了光束的指向性，但在即使不这样提高指向性，而由于不要透镜，光路长也缩短到足够程度情况下，由于不需要构成标准谐振器等，因此也可以使用透明导电性膜代替第 1 及第 2 导电性反射膜 106 及 107。

(第 19 实施形态)

下面说明本发明第 19 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器与第 13 实施形态具有基本相同的结构，即具有图 20 所示的结构。本实施形态的光电压传感器构成要素中，对于与第 13 实施形态相同的构成要素附加相同的参照符号，另外，本实施形态的光电压传感器整个的工作原理，由于本质上也与 13 实施形态相同，所以省略其详细说明。

图 27 所示为本实施形态的光电压传感器的主要部分具体结构正面透视图。该光电压传感器与第 18 实施形态相同，具有基板 144，在基板 144 设置定位用的零件导槽 143，使该光电压传感器的构成传感器部分的光学零件配置在规定光轴 108 上，另外在基板 144 还设置将发光部分 118 的构成输入侧光学系统的输入侧光纤 148a 与用零件导槽 143 定位的规定的光学零件光学耦合用的输入侧光纤导槽 142a、以及将受光部分 119 的构成输出侧光学系统的输出侧光纤 148b 与用零件导槽 143 定位的规定的光学零件光学耦合用的输出侧光纤导槽 142b。

在本实施形态中，在输入侧光纤 148a 的一个端面形成具有线起偏器功能的光子晶体层即光子晶体起偏器 171。再在其上形成具有λ / 4 片功能的光子

晶体层即光子晶体λ/4 片 181。即在输入侧光纤 148a 的一个端面形成由光子晶体起偏器 171 及光子晶体λ/4 片 181 层叠而成的具有圆起偏器功能的光子晶体多层膜。另外，在输出侧光纤 148b 的一个端面形成具有检偏器功能的光子晶体层即光子晶体检偏器 172。

本实施形态构成的零件导槽 143 与第 18 实施形态不同，它使构成传感器部分的光学零件中的第 1 导电性反射膜 106、电光晶体的 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 及第 2 导电性反射膜 107 分别紧贴加以定位。另外，输入侧光纤导槽 142a 引导输入侧光纤 148a，使输入侧光纤 148a 的端面形成的光子晶体λ/4 片 181 与用零件导槽 143 定位的第 1 导电性反射膜 106 光学耦合。输出侧光纤导槽 142b 引导输出侧光纤 148b，使输出侧光纤 148b 的端面形成的光子晶体检偏器 172 与用零件导槽 143 定位的第 2 导电性反射膜 107 光学耦合。

本实施形态的光电压传感器具体结构中，除上述以外，由于与第 16 实施形态相同，因此对相同构成要素附加相同的参照符号，并省略其说明。另外，关于光子晶体起偏器 171、光子晶体λ/4 片 181 及光子晶体检偏器 172 的形成，将在后面叙述。

如上所述，在本实施形态中，与第 16 实施形态相同，由于传感器部分中提高了光的指向性及缩短了光路长，因此形成不要透镜的结构，在输入侧光纤 148a 的端面作为光子晶体层形成线起偏器及λ/4 片，在输出侧光纤 148a 的端面作为光子晶体层形成检偏器。因此，光电压传感器的零件数量进一步减少，成本进一步降低。另外，将起偏器、λ/4 片及检偏器作为光子晶体层形成在光纤端面，也有助于缩短光路长。

(第 20 实施形态)

下面说明本发明第 20 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器与第 13 实施形态具有基本相同的结构，即具有图 20 所示的结构。但是，第 13 实施形态中的起偏器 101 及λ/4 片 102，在本实施形态中作为一个圆起偏器来实现。本实施形态的光电压传感器构成要素中，对于与第 13 实施形态相同的构成要素附加相同的参照符号，另外，本实施形态的光电压传感器整个的工作原理，由于本质上与第 13 实施形态相同，所以省略其详细说明。

图 28 所示本实施形态的光电压传感器主要部分的具体结构正面透射图。该光电压传感器的主要部分具有与图 27 所示的第 19 实施形态的主要部分结

构相同的结构。但是，在本实施形态中，是在输入侧光纤 148a 的一个端面以单层形成具有圆起偏器功能的光子晶体层(下面称为“光子晶体圆起偏器”)191，这一点与通过光子晶体起偏器 171 与光子晶体λ/4 片 181 层叠来实现圆起偏器的第 19 实施形态不同。另外，在本实施形态中，输入侧光纤导槽 142a 引导输入侧光纤 148a，使输入侧光纤 148a 的端面形成的上述光子晶体圆起偏器 191 与用零件导槽 143 定位的第 1 导电性反射膜 106 光学耦合。本实施形态中，上述以外的结构与第 19 实施形态的结构相同，因此本实施形态的光电压传感器主要部分结构的各构成部分中，对于与第 19 实施形态相同的部分附加相同的参照符号，并省略详细说明。另外，关于光子晶体圆起偏器 191 及光子晶体检偏器 172 的形成则如前所述(参照图 1)。

如上所述，在本实施形态中，与第 19 实施形态相同，由于传感器部分中提高了光的指向性及缩短了光路长，因此形成不要透镜的结构，再有在输入侧光纤 148a 的端面作为光子晶体层形成圆起偏器，在输出侧光纤 148b 的端面作为光子晶体层形成检偏器。因而，本实施形态与第 19 实施形态相同，具有减少光电压传感器零件数量及降低成本的优点。再有，第 19 实施形态的光子晶体起偏器 171 及光子晶体λ/4 片 181，在本实施形态中，由于是以具有圆起偏器功能的单一光子晶体层即光子晶体圆起偏器 191 来实现，因此本实施形态比第 19 实施形态，在成本方面更有利。

(第 21 实施形态)

下面说明本发明第 21 实施形态的光磁传感器。

本实施形态的光磁传感器具有磁光晶体膜 201，代替图 26 所示的第 18 实施形态光电压传感器中用零件导槽 143 定位的λ/4 片 102、第 1 导电性反射膜 106、$LiNbO_3$ 晶体膜 103 及第 2 导电性反射膜 107。该光磁传感器用来测量将流过输电线或配电线等的电流引起的磁场沿 X 轴方向(光轴方向)加在磁光晶体膜 201 上的磁场强度。因而，不需要将电场(电压)加在电光晶体即 $LiNbO_3$ 晶体膜 103 上使用的电极及引线。本实施形态的光磁传感器中，上述以外部分的结构与第 18 实施形态大致相同，因此对相同构成要素附加相同的参照符号，并省略其详细说明。另外，利用该光磁传感器，通过测量流过输电线或配电线等的电流引起的磁场强度，能够检测该电流的大小。

图 29 所示为本实施形态的光磁传感器的主要部分具体结构正面透视图。该光磁传器具有基板 144，在基板 144 上设置定位用的零件导槽 143，将磁光

晶体膜 201 配置在规定光轴 108 上，还设置输入侧光纤导槽 142a 及输出侧光纤导槽 142b，所述输入侧光纤导槽 142a 使发光部分的构成输入侧光学系统的输入侧光纤 148a 与用零件导槽 143 定位的磁光晶体膜 201 光学耦合，所述输出侧光纤导槽 142b 使受光部分 119 的构成输出侧光学系统的输出侧光纤 148b 与用零件导槽 143 定位的磁光晶体膜 201 光学耦合。

本实施形态与第 18 实施形态相同，在输入侧光纤 148a 的一个端面形成具有线起偏器功能的光子晶体起偏器 171，在输出侧光纤 148b 的一个端面形成光子晶体检偏器 172。然后，输入侧光纤导槽 142a 引导输入侧光纤 148a，使输入侧光纤 148a 的端面形成的光子晶体起偏器 171 与用零件导槽 143 定位的磁光晶体膜 201 的一面光学耦合。输出侧光纤导槽 142b 引导输出侧光纤 148b，使输出侧光纤 148b 的端面形成的光子晶体检偏器 172 与用零件导槽 143 定位的磁光晶体膜 201 的另一面光学耦合。如上所述，分别与磁光晶体膜 201 的两个面光学耦合的光子晶体起偏器 171 及光子晶体检偏器 172 设定为使它们的设定方向形成 45 度。因而，通过光子晶体起偏器 171 后的线偏振光的偏振方向与通过光子晶体检偏器 172 后的线偏振光的偏振方向相互相差 45 度。

在如上所述构成的光磁传感器中，由发光部分的光源出射的无偏振光，在通过输入侧光纤 148a 射向磁光晶体膜 201 时，通过输入侧光纤 148a 的端面形成的光子晶体起偏器 171。通过光子晶体起偏器 171 的光成为线偏振光，入射至磁光晶体膜 201。该线偏振光通过磁光晶体膜 201 时，其偏振方向根据磁光晶体膜 201 所加磁场 Hm 中与磁光晶体膜 201 垂直方向的分量的强度，旋转相应的角度。通过磁光晶体膜 201 的线偏振光，经过输出侧光纤 148b 的端面形成的光子晶体检偏器 172，利用输出侧光纤 148b 传输至受光部分内的光电变换元件，在受光部分接受光后，变换为电信号。由于通过光子晶体检偏器 172 后的线偏振光的光量相应于磁光晶体膜 201 中的偏振方向旋转角度而变化，因此根据受光部分内的光电变换元件输出的电信号，能够求出磁光晶体膜 201 所加的磁场 Hm 的强度。

根据上述的本实施形态，由于起偏器及检偏器作为光子晶体层形成在光纤端面，因此减少了零件数量，同时发光部分的光源发出的光在从输入侧光纤 148a 出射之后，经过起偏器 171、磁光晶体膜 201 及检偏器 172，到达输出侧光纤 148b 的端面为止，这一部分的光路长缩短。本实施形态由于该光路长缩短，成为不使用透镜的结构，因而还减少了零件数量。根据本实施形态，

由于减少了零件数量，因此能够降低成本。

(第 22 实施形态)

下面说明本发明第 22 实施形态的光电压传感器。

本实施形态的光电压传感器是纵向调制方式的光电压传感器，具有与第 13 实施形态基本相同的结构(参照图 20)。另外，具体结构上，该光电压传感器与图 33 所示的以往的结构类似，使用直角 PBS (Polarization Beam Splitter)作为起偏器及检偏器。

图 30 所示为本实施形态的光电压传感器的具体结构正面透视图。该光电压传感器具有传感器部分、发光部分、受光部分、发光侧及受光侧信号处理电路(未图示)。传感器部分由从光的入射侧起依次在同一光轴上配置的作为起偏器的直角 PBS241、λ/4 片 242、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体 243、第 2 导电性反射膜 107 及作为检偏器的直角 PBS244 构成。另外，发光部分由包含作为光源的发光元件的 E/O 电路及输入侧光学系统构成，该输入侧光学系统由同一光轴上配置的光纤 246a、套圈 248a、0.25 间距的 GRIN 透镜 247a 及支架 245a 构成，该输入侧光学系统中的各光学零件相互接触的光轴面利用粘结剂粘结。受光部分由输出侧光学系统及含有将该输出侧光学系统出射的光信号变换为电信号的变换元件的 O/E 电路构成，该输出侧光学系统由同一光轴上配置的光纤 246b、0.25 间距的 GRIN 透镜 247b 及支架 245b 构成，该输出侧光学系统中的各光学零件也在相互接触的光轴面利用粘结剂粘结。

上述光电压传感器的传感器部分中，同一光轴上配置的上述各光学零件即起偏器 241、λ/4 片 242、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体 243、第 2 导电性反射膜 107 及检偏器 244 的互相接触的光轴面全部用粘结剂粘结。另外，第 1 导电性反射膜 106 与一对电极端子 249 的一个端子连接，第 2 导电性反射膜 107 与一对电极端子 249 的另一个端子连接，上述光电压传器的被测电压 Vm 加在该一对电极端子 249 之间。

发光侧及受光侧信号处理电路分别利用发光部分及受光部分与传感器部分连接。传感器部分的起偏器 241 的输入侧光轴面与发光部分的 GRIN 透镜 247a 的光轴面利用粘结剂固定，而传感器部分的检偏器 244 的输出侧光轴面与受光部分的 GRIN 透镜 247b 的光轴面利用粘结剂固定。然后，粘结固定的传感器部分，发光部分的输入侧光学系统及受光部分的输出侧光学系统与外壳(未图示)机械固定。另外，上述光电压传感器中各光学零件用的粘结剂使用环氧

系或聚氨酯系等树脂。在上述光电压传感器中，电光晶体 243 使用 $Bi_{12}SiO_{20}$(BSO)、KH_2PO_4(KDP)、具有自然双折射的 $LiNbO_3$ 及 $LiTaO_3$ 等。

在上述结构中，发光部分及受光部分的各光学零件、构成传感器部分的各光学零件在相互接触的光轴面用粘结剂粘结，发光部分与传感器部分以及受光部分与传感器部分的各自互相接触的光轴面也用粘结剂粘结。但是，构成传感器部分的各光学零件最好不用粘结剂，而是利用在它们的接合面之间起作用的摩擦力来保持。即通过起偏器 241 即直角 PBS 的出射侧光轴面与λ／4 片 242 的入射侧光轴面、λ／4 片 242 的出射侧光轴面与第 1 导电性反射膜 106 的入射侧光轴面、第 1 导电性反射膜 106 的出射侧光轴面与电光晶体 243 的入射侧光轴面、电光晶体 243 的出射侧光轴面与第 2 导电性反射膜 107 的入射侧光轴面、以及第 2 导电性反射膜 107 的出射侧光轴面与检偏器 244 即直角 PBS 的入射侧光轴面这五个地方的无粘结接合面，用适当的力夹住λ／4 波长片 242、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体 243 及第 2 导电性反射膜 107。利用这五个地方的无粘结接合面产生的摩擦力，将λ／4 波长片 242、第 1 导电性反射膜 106、电光晶体 243 及第 2 导电性反射膜 107 固定且保持在与输入侧光学系统粘结的起偏器 241 及与输出侧光学系统粘结的检偏器 244 之间。根据这样的结构，通过缓和电光晶体 243 所加的应力，来改善电光晶体的温度特性(参照特开平 9－145745 号公报)。

另外，在本实施形态的传感器部分，与第 13 实施形态相同，设定构成传感器部分的各光学零件的厚度等，使第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导电性反射膜 107 的间隔为入射至传感器部分的入射光的波长一半的整数倍。这样，在由第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导电性反射膜 107 包围电光晶体 243 的区域内，构成标准谐振器。

根据上述的本实施形态，由于在由第 1 导电性反射膜 106 与第 2 导电性反射膜 107 包围的电光晶体 243 的区域内构成标准谐振器，使光束状态稳定，因而即使因光学零件的公差等引起入射至传感器部分的入射光束状态有差异，而光电压传感器的输出温度特性也稳定，没有差异。

虽然已详细叙述了本发明，但上述叙述仅是举例说明，而非限定。应理解，不脱离本发明的范围，可作出各种修改和变换。

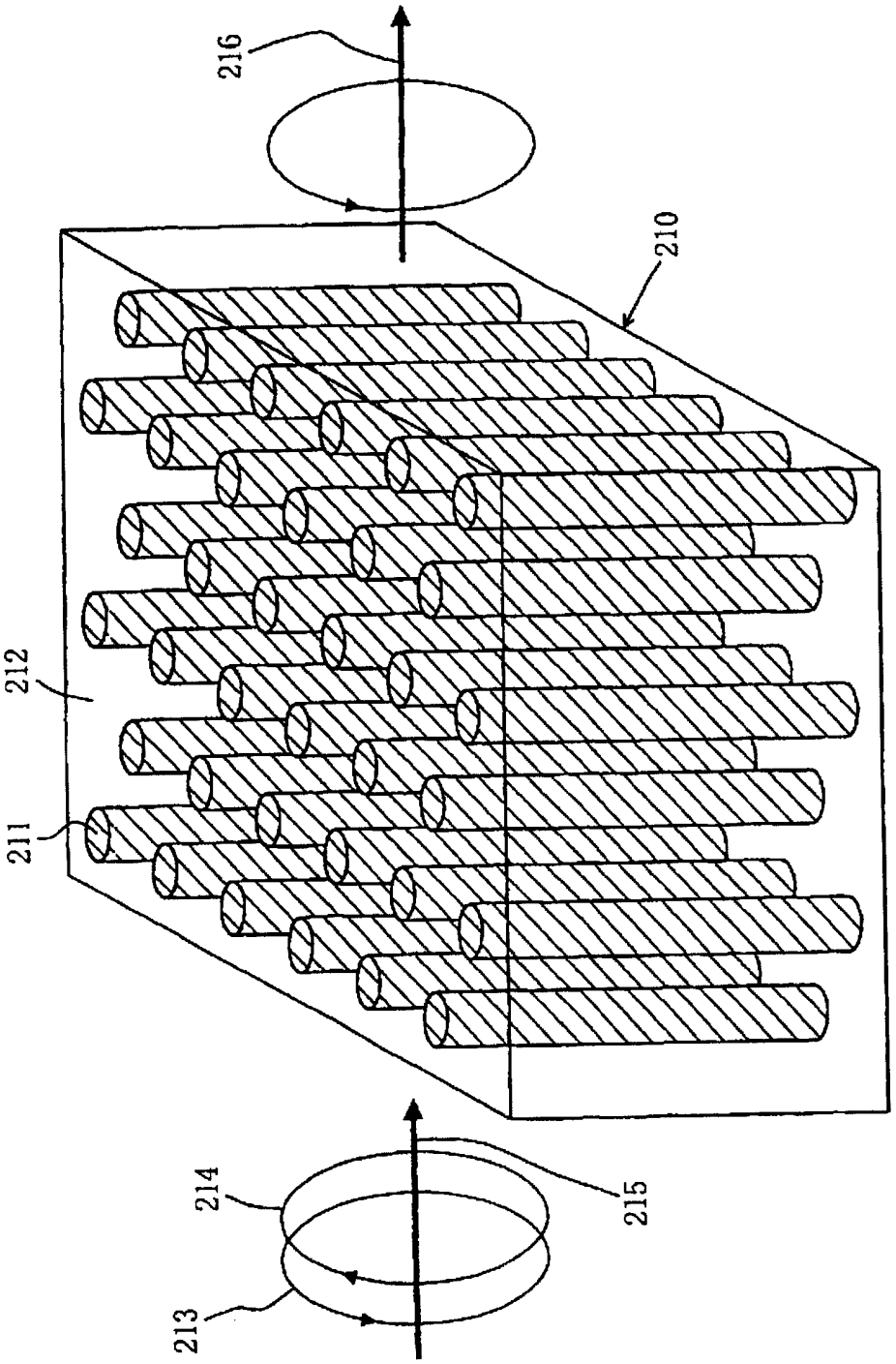


图 1

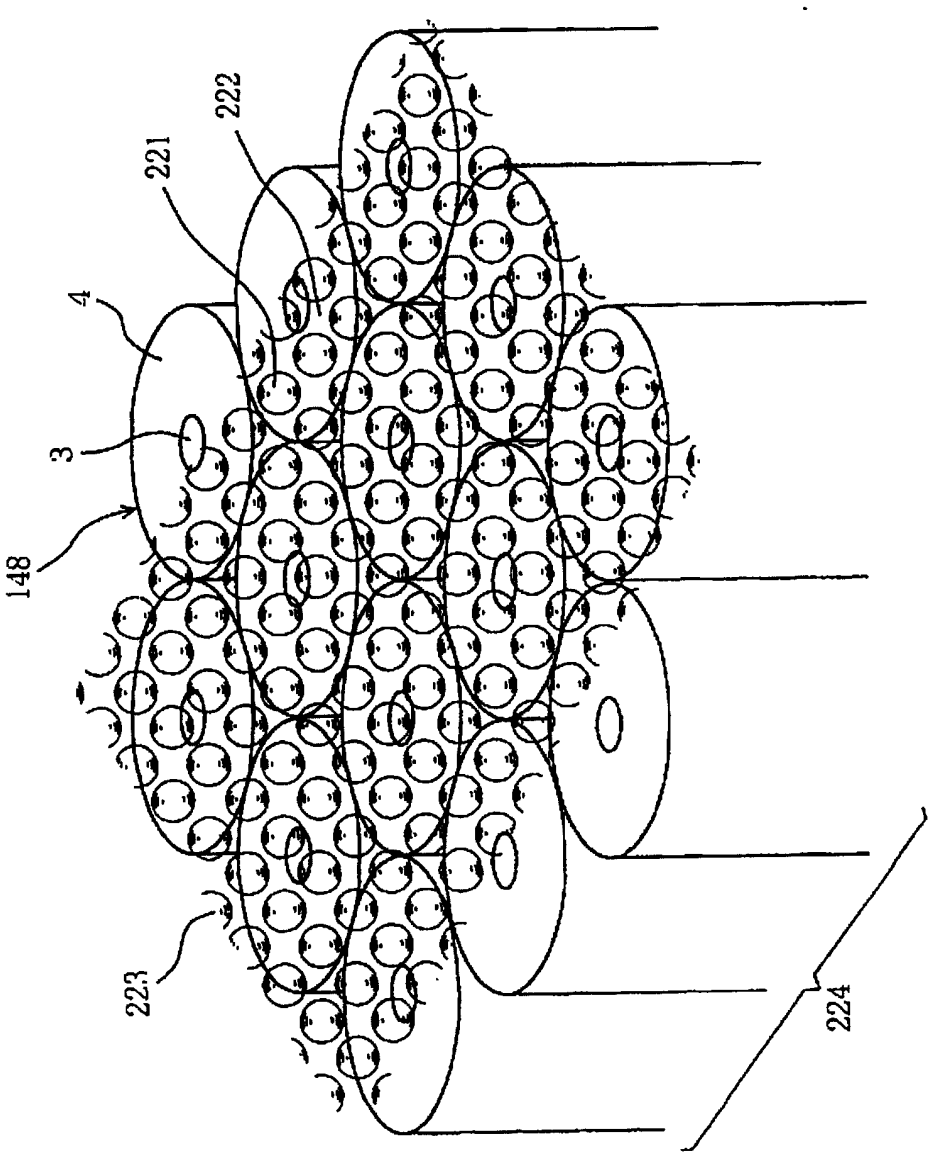


图 2

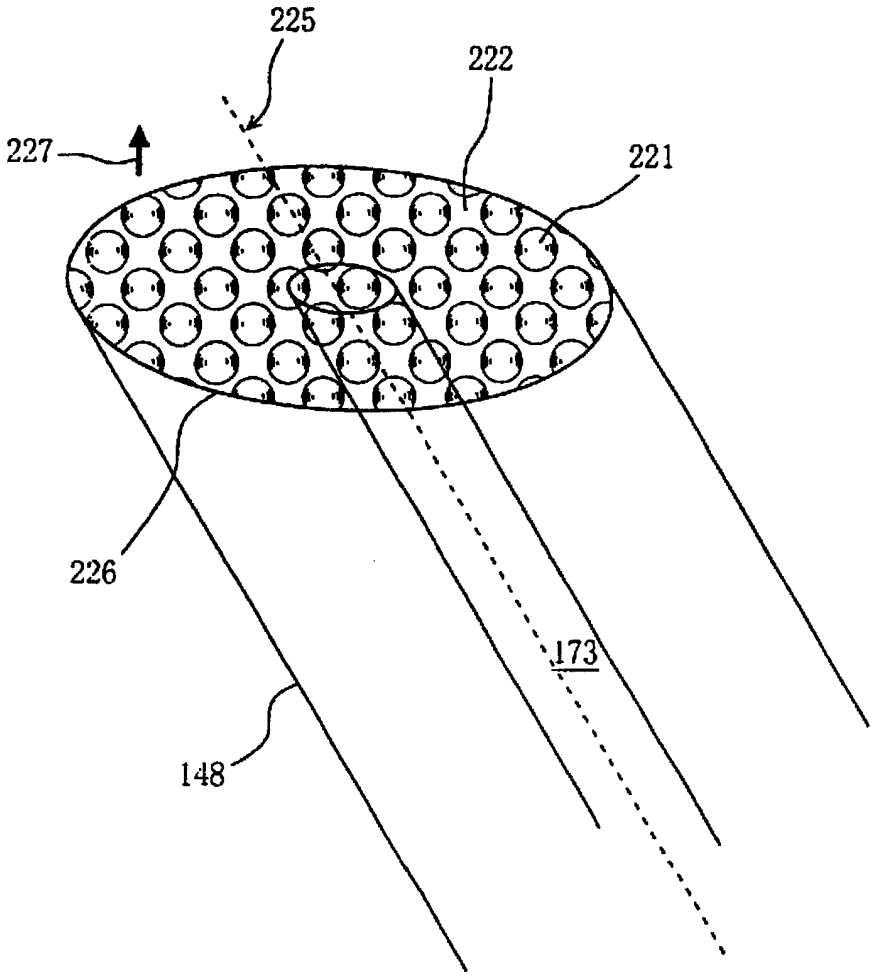


图 3

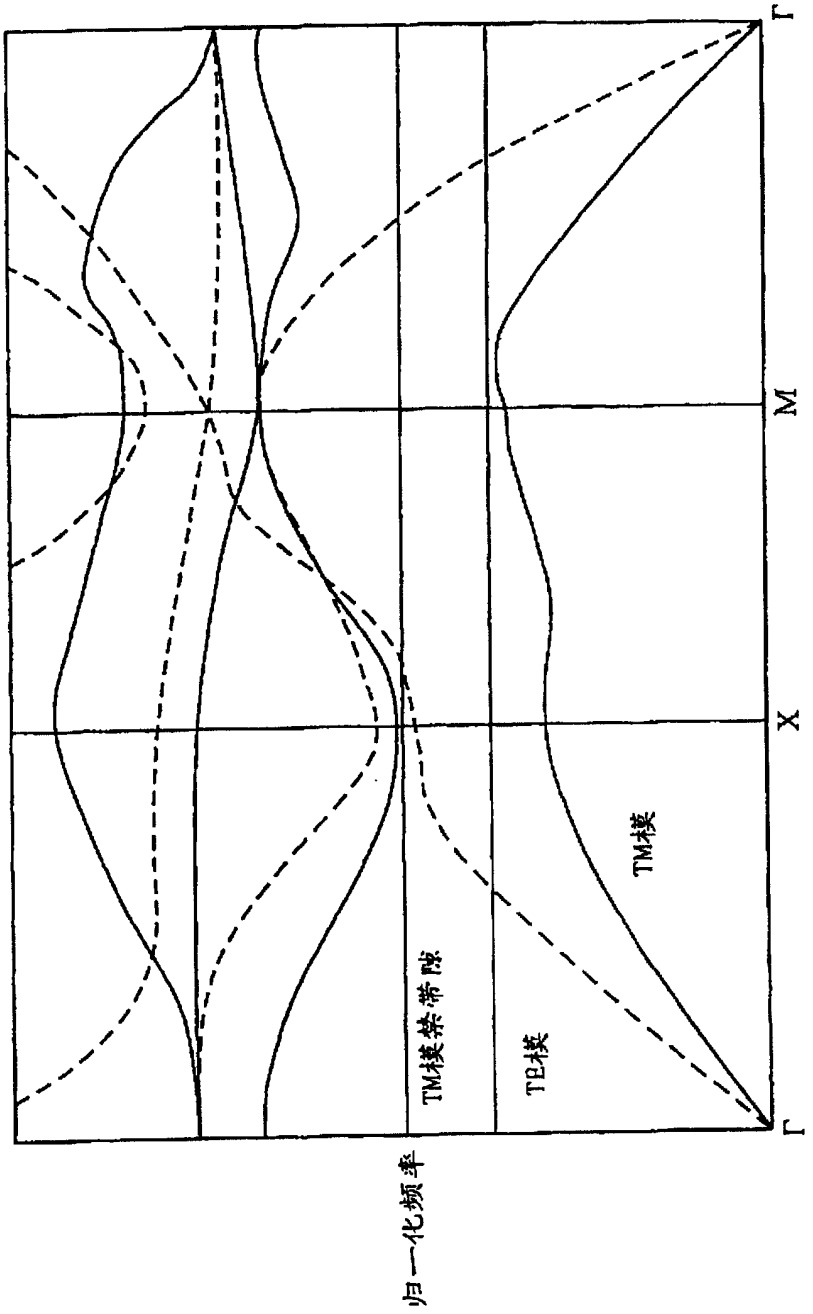


图 4

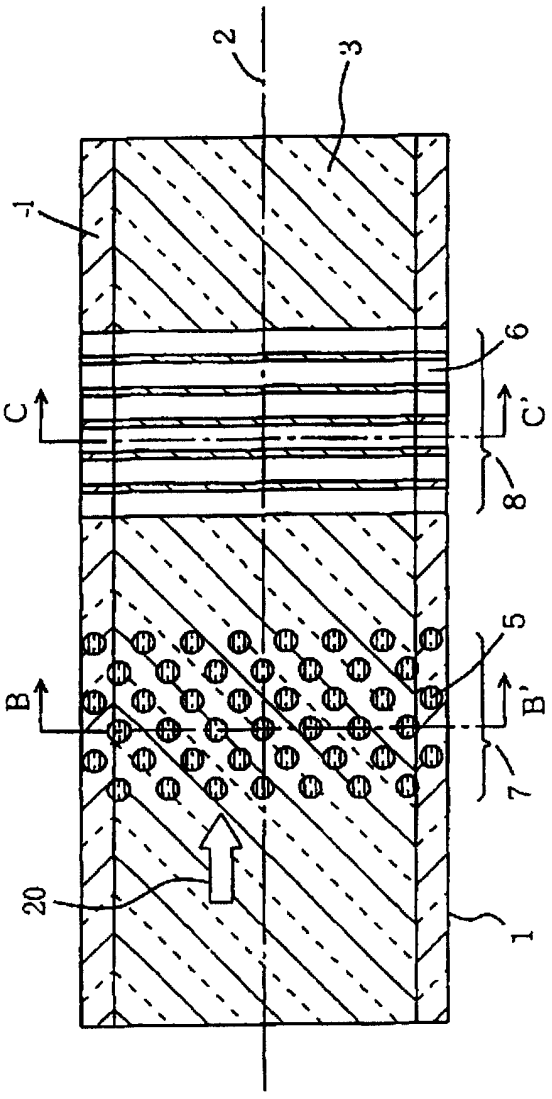


图 5A

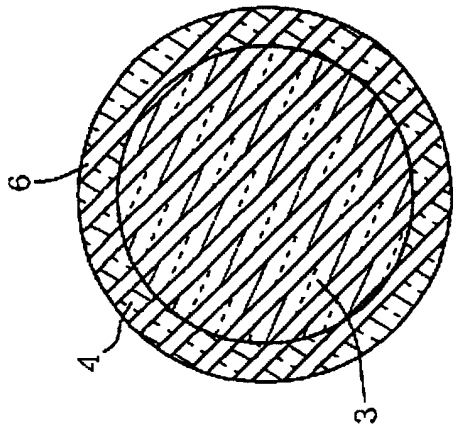


图 5C

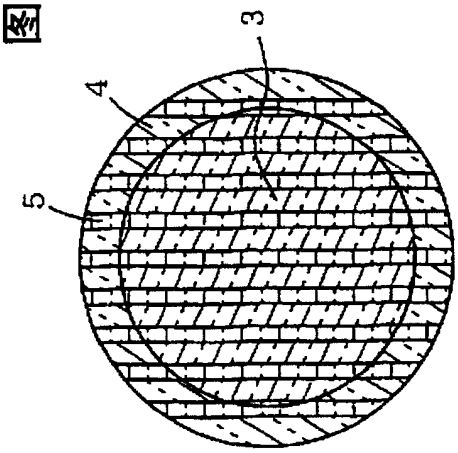


图 5B

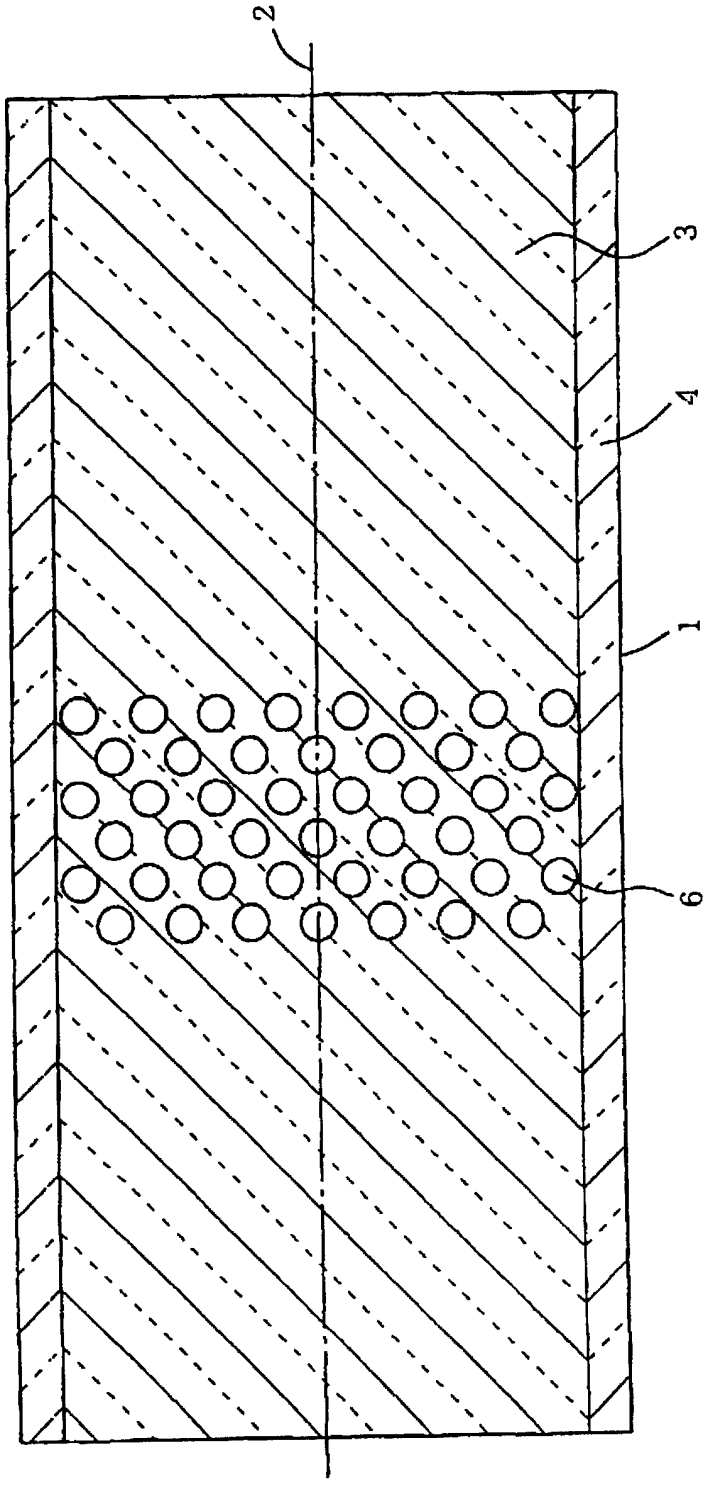


图 6

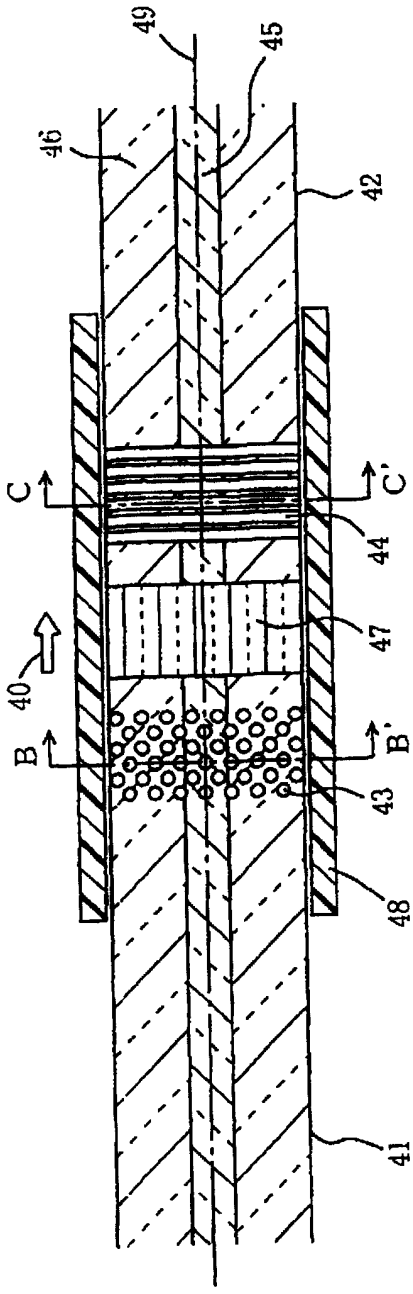


图 7A

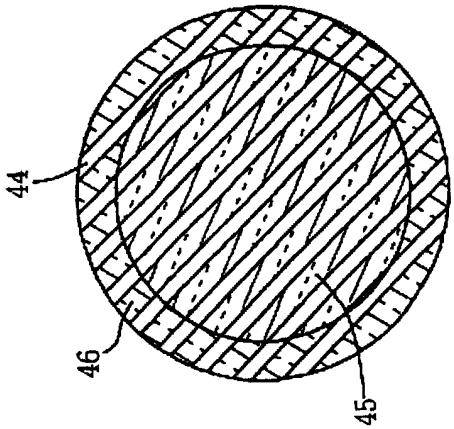


图 7C

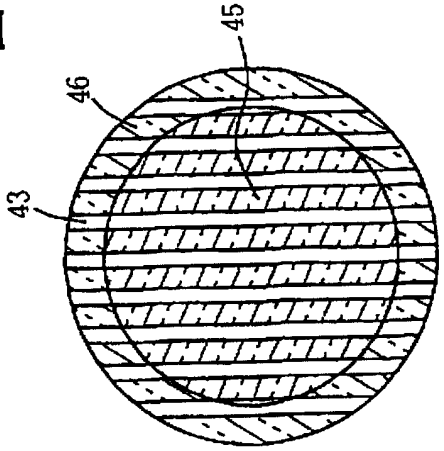


图 7B

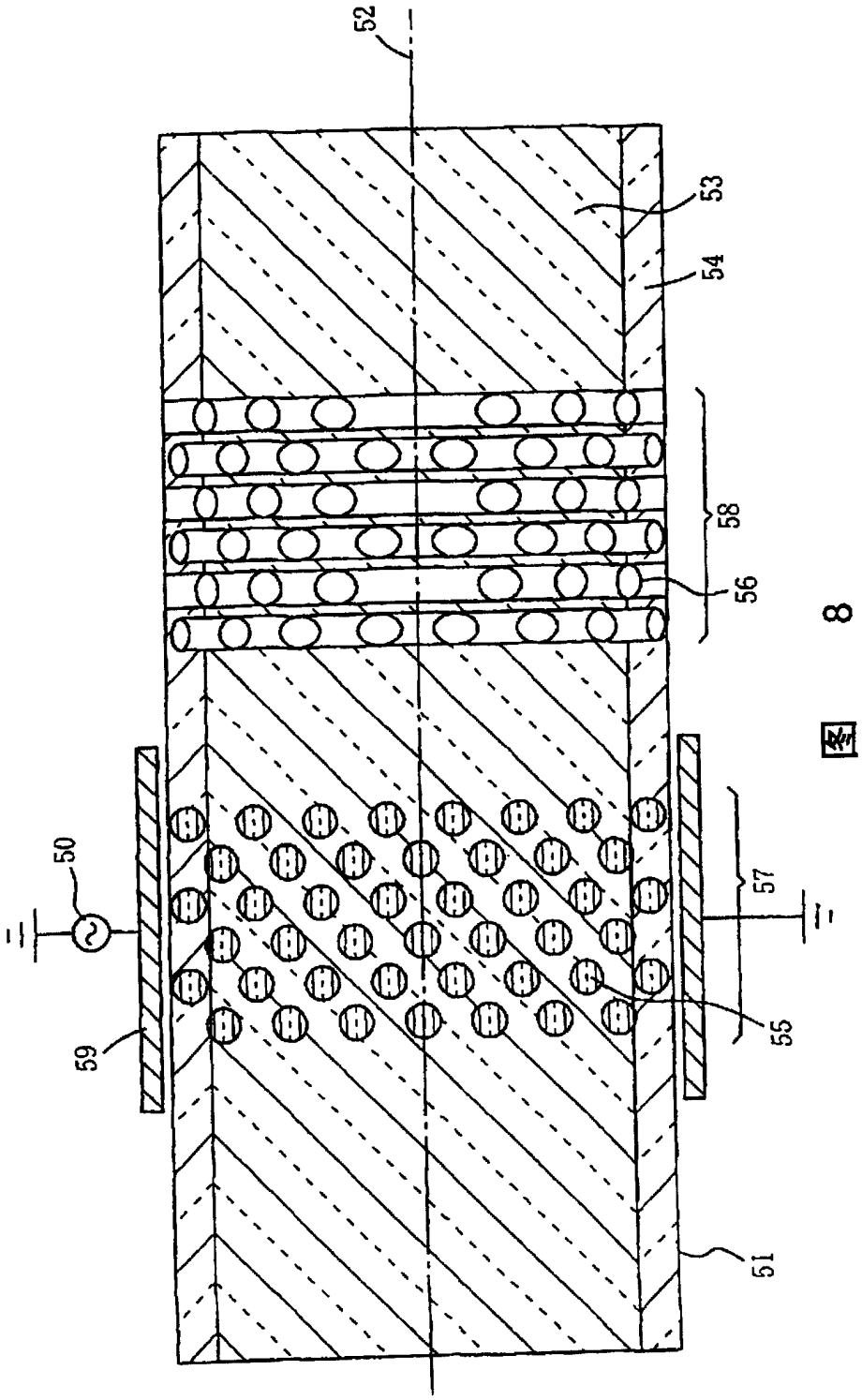


图 8

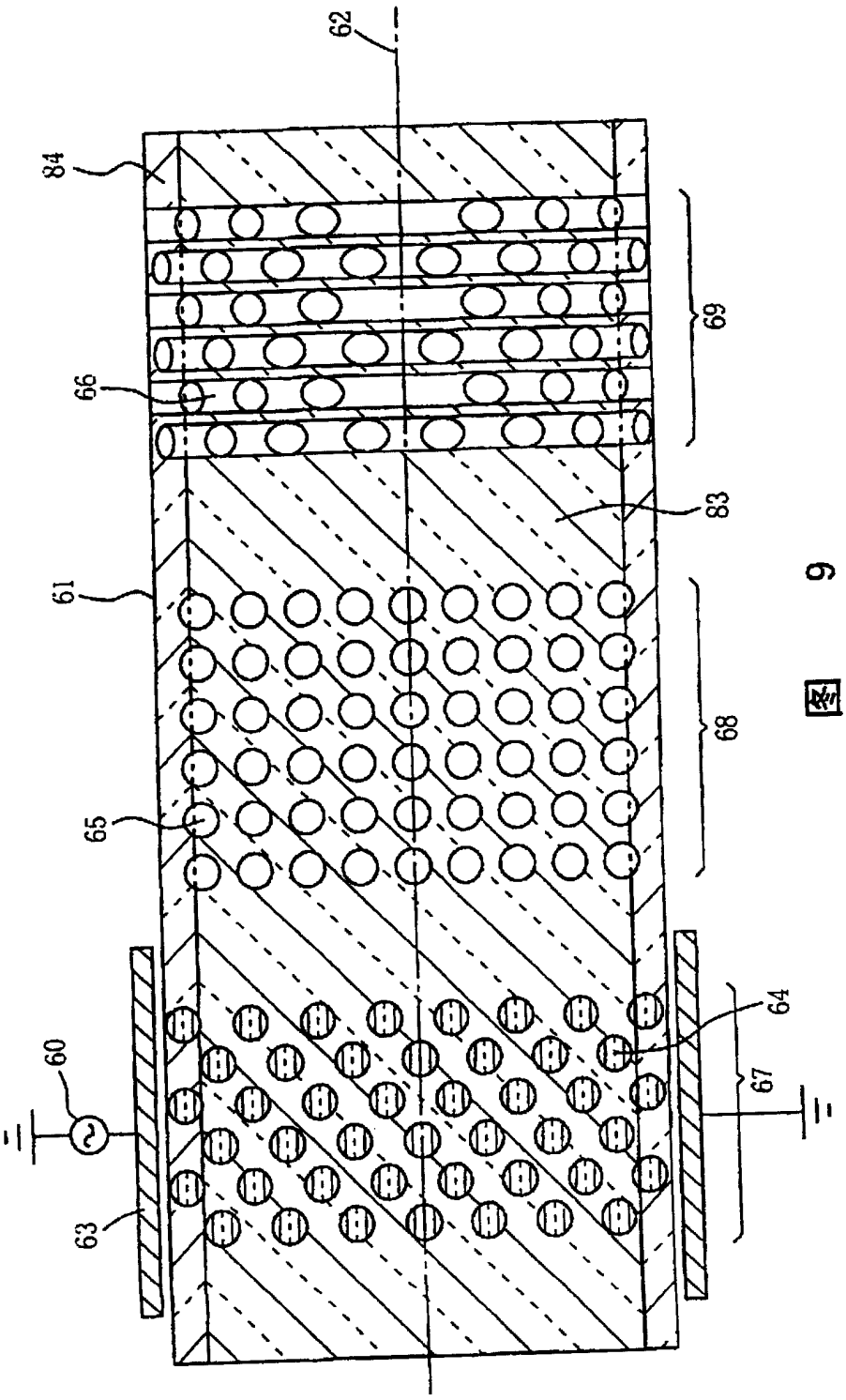


图 9

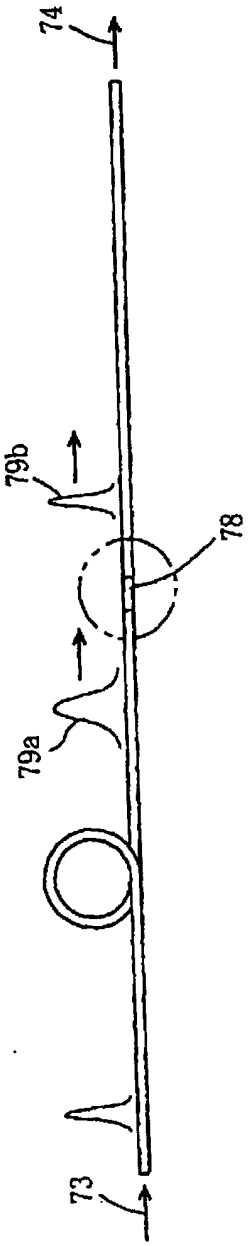


图 10

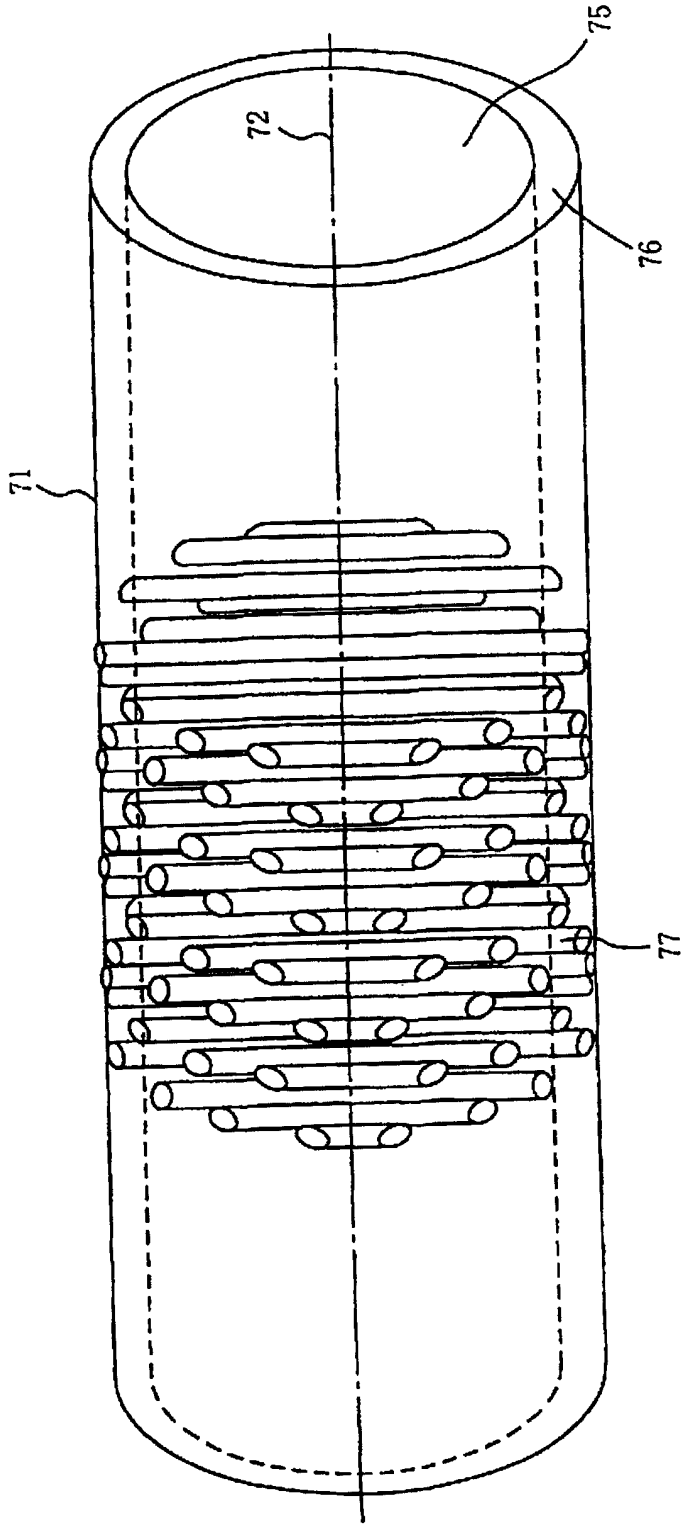


图 11

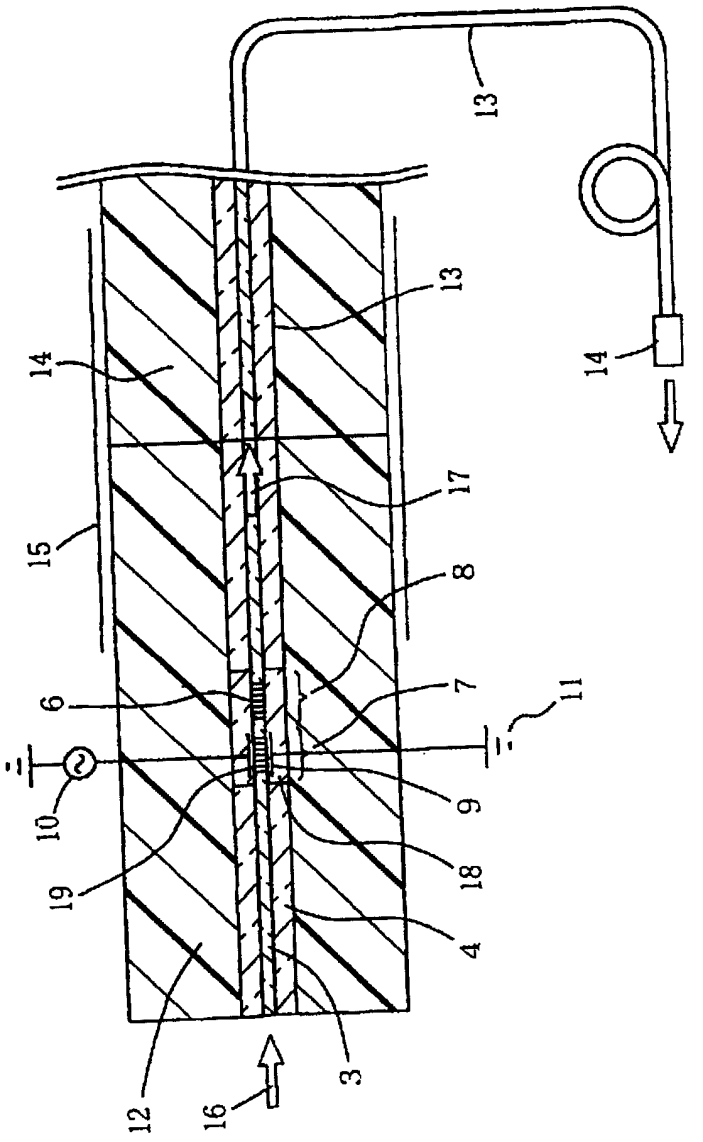


图 12

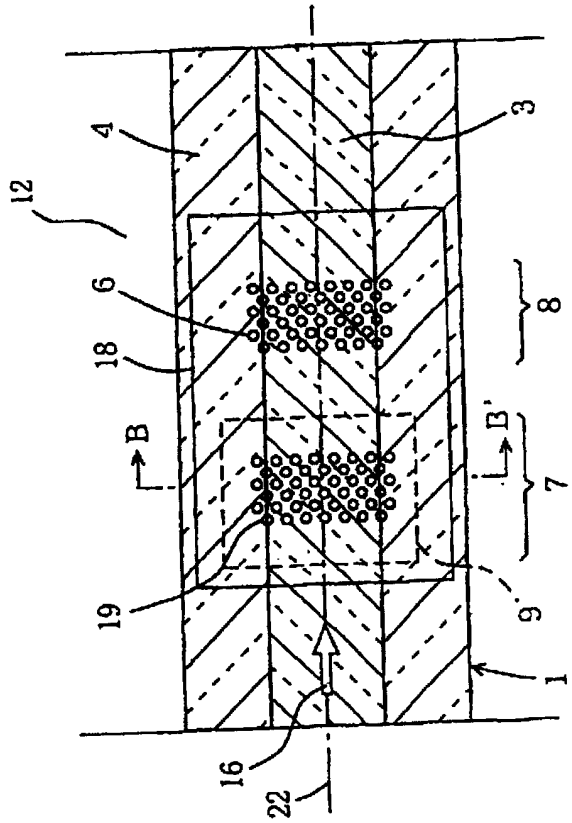


图 13A

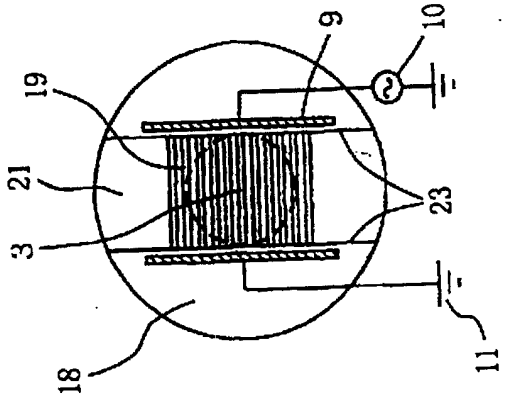


图 13B

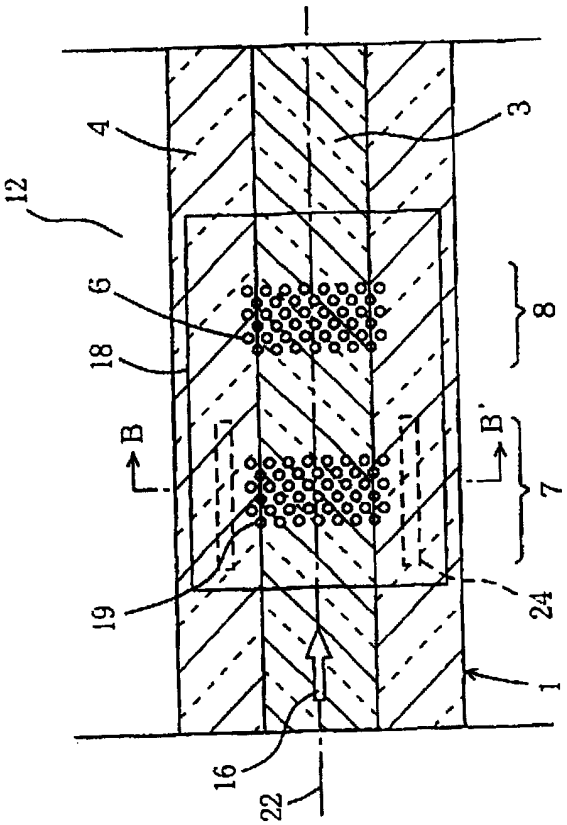


图 14A

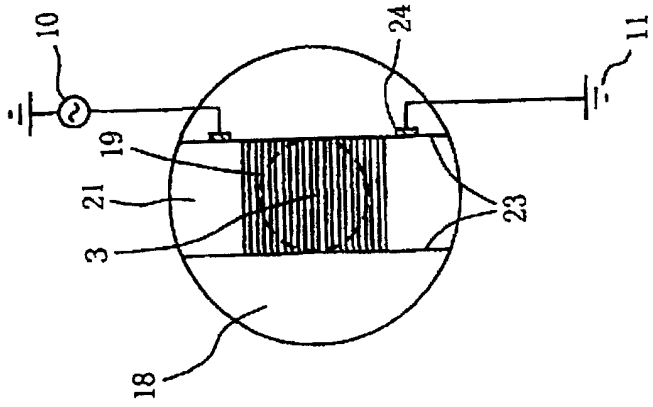


图 14B

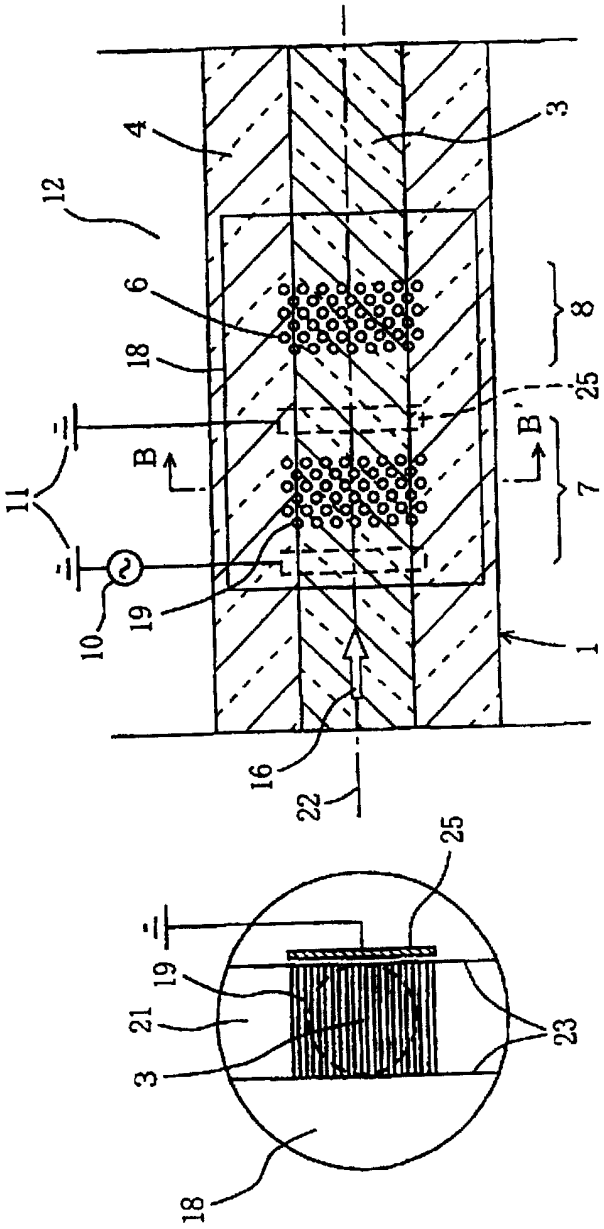


图 15A

图 15B

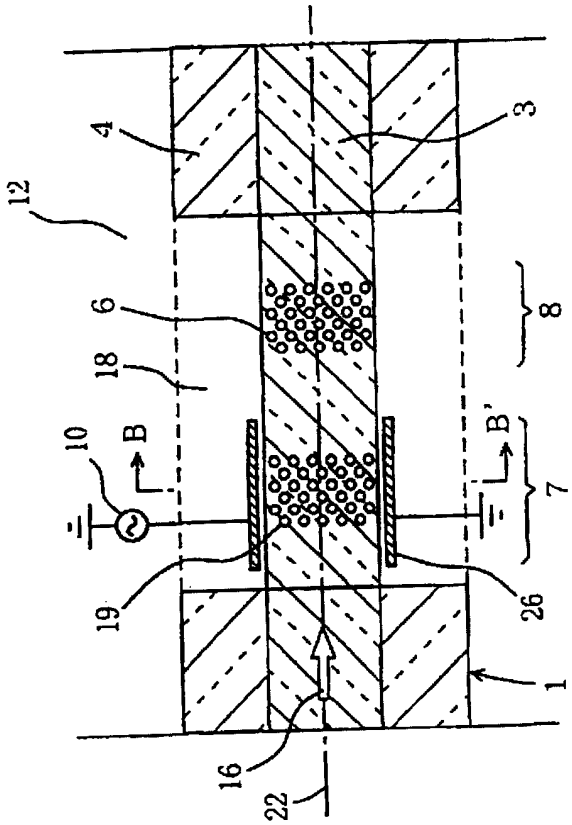


图 16A

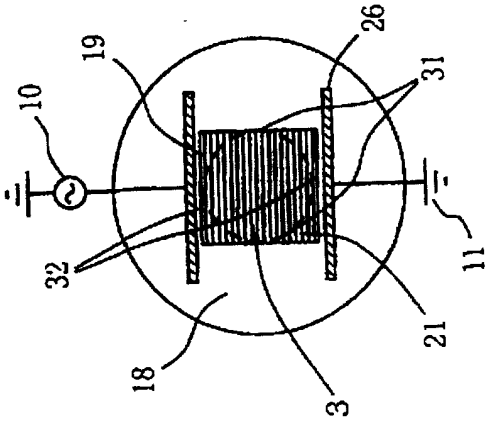


图 16B

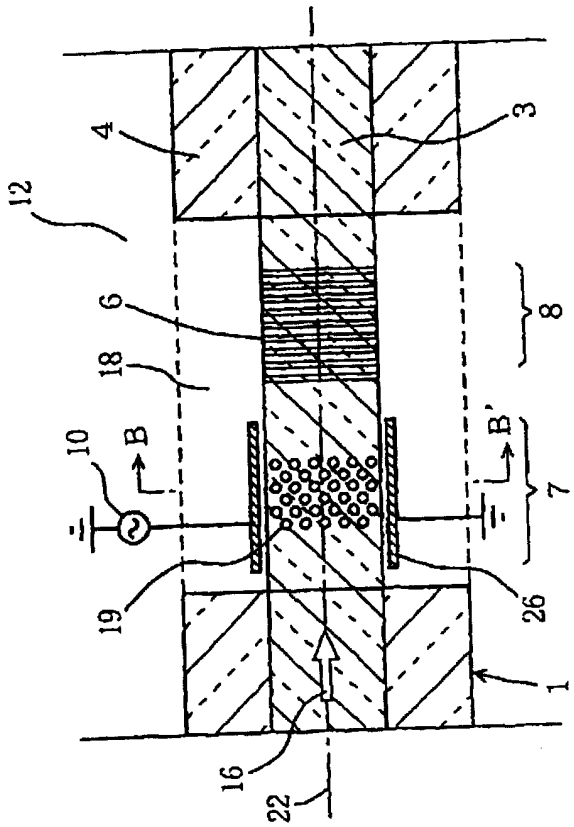


图 17A

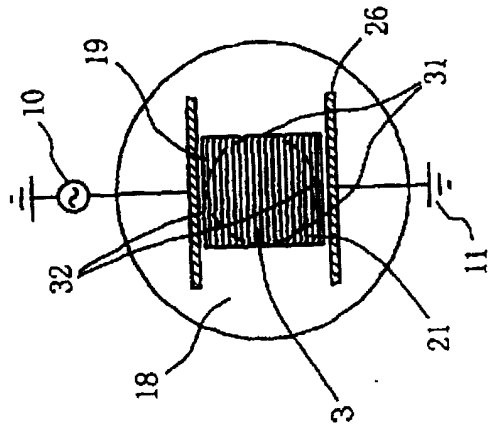


图 17B

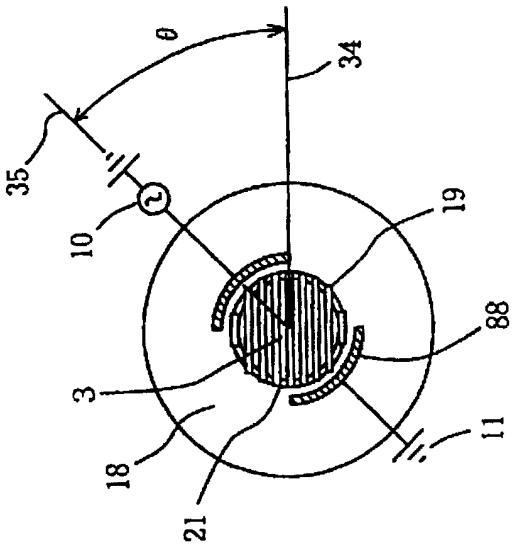


图 18B

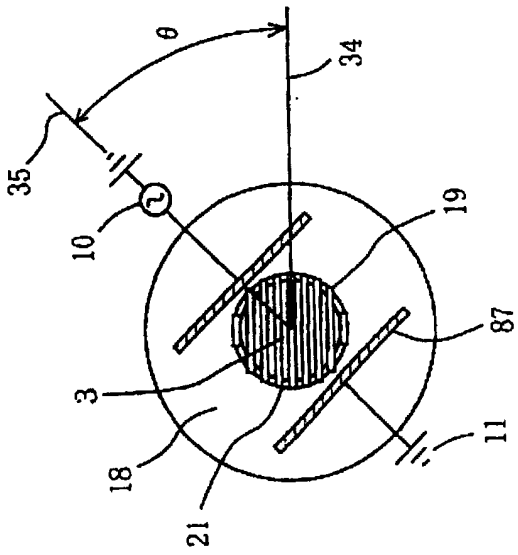


图 18A

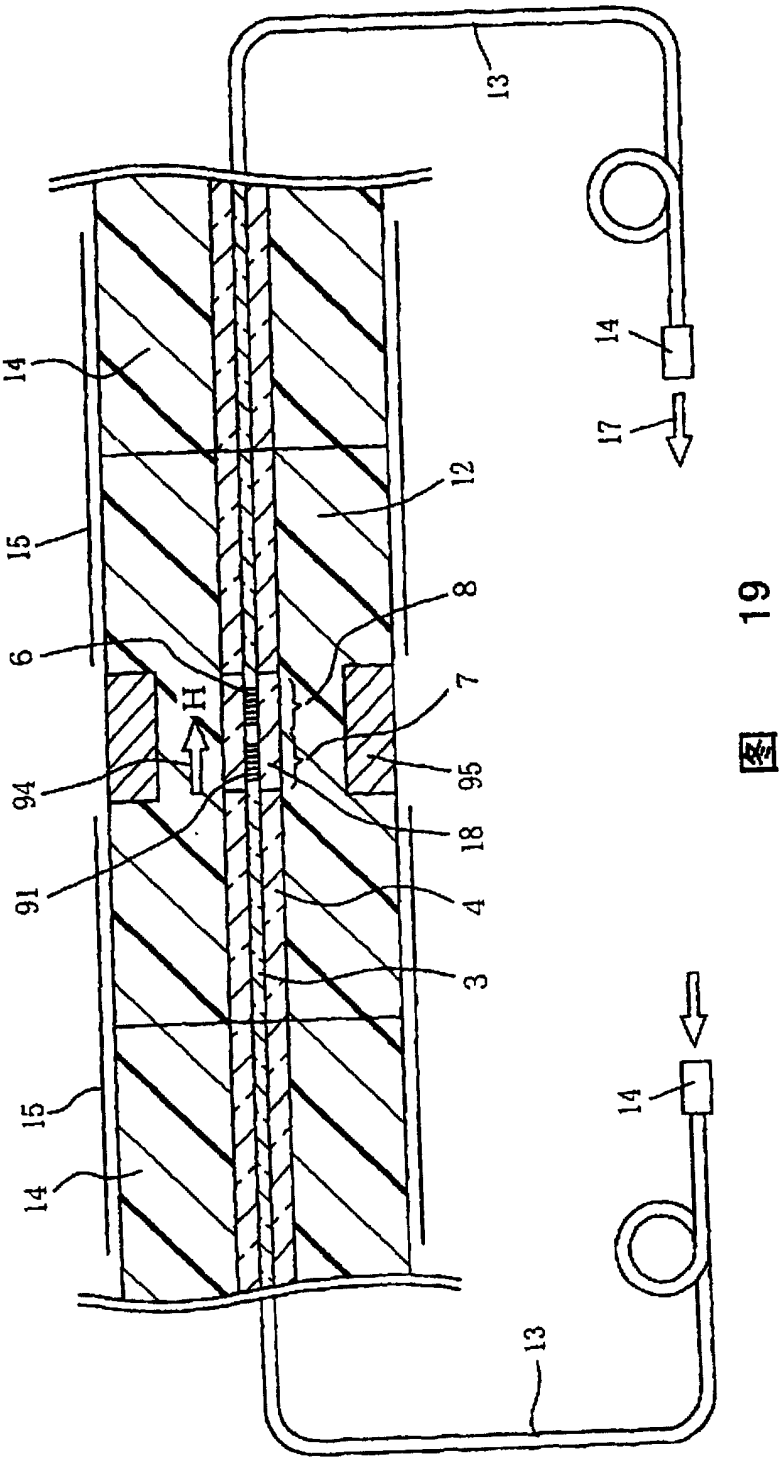


图 19

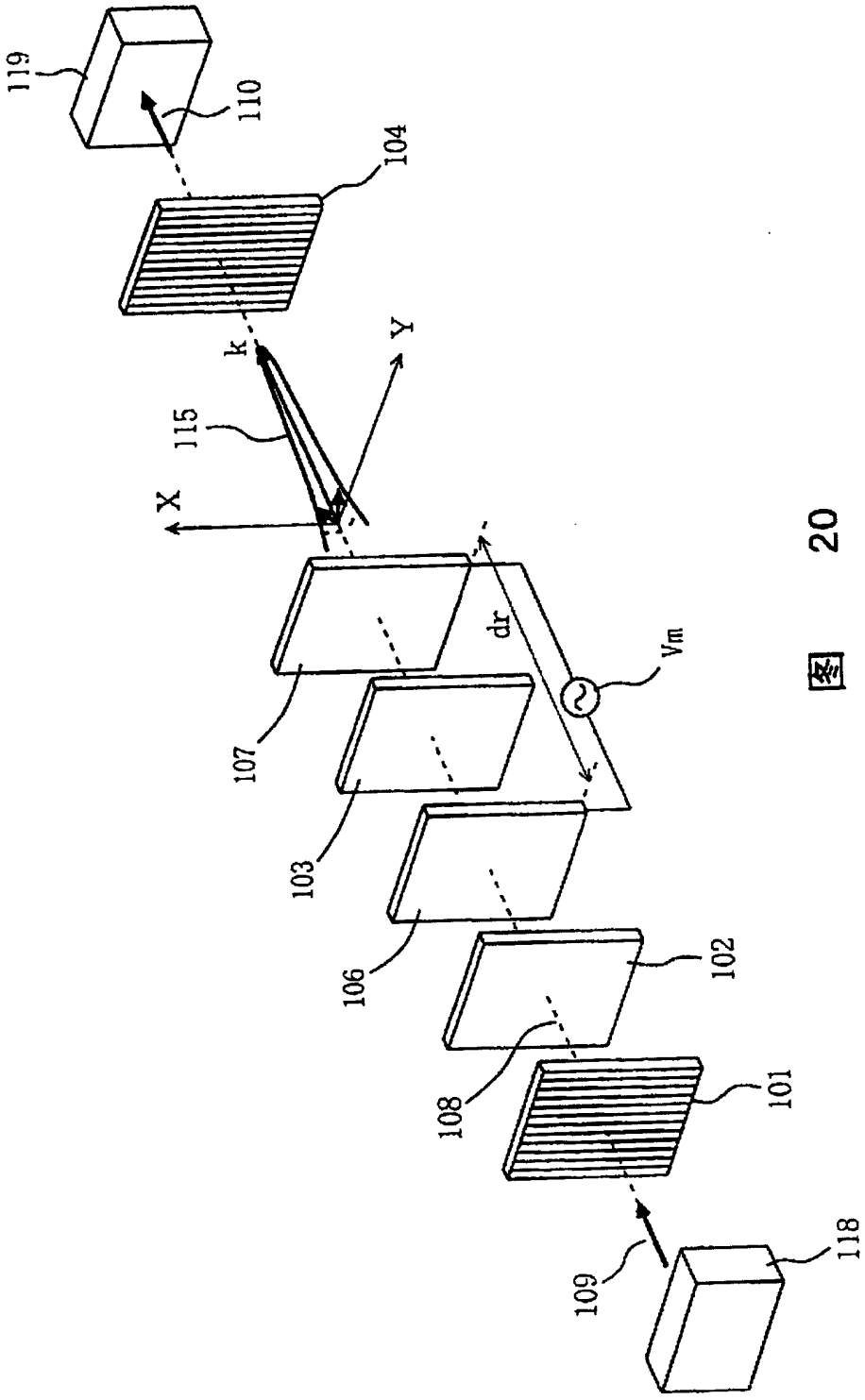


图 20

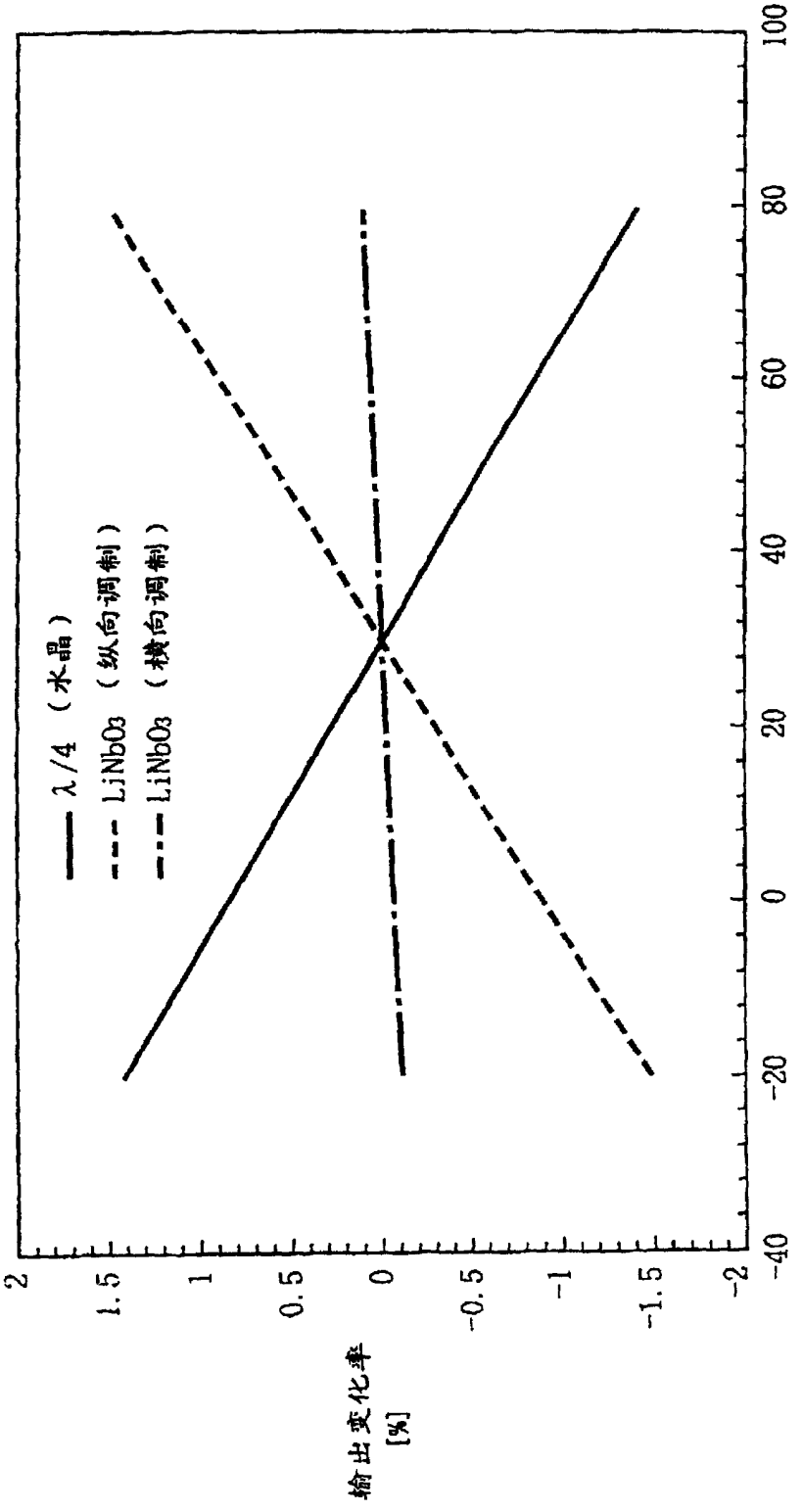

λ/4 （水晶）
LiNbO3 （纵向调制）
LiNbO3 （横向调制）
输出变化率 [%]
温度[℃]
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-40
-20
0
20
40
60
80
100

图 21

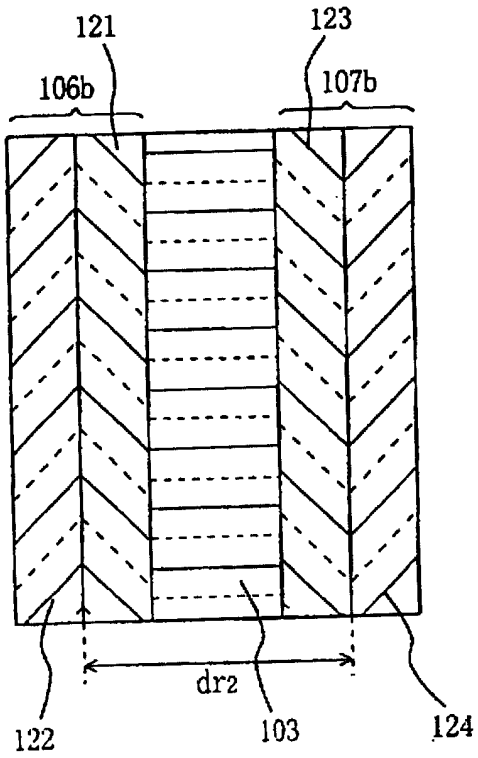


图 22

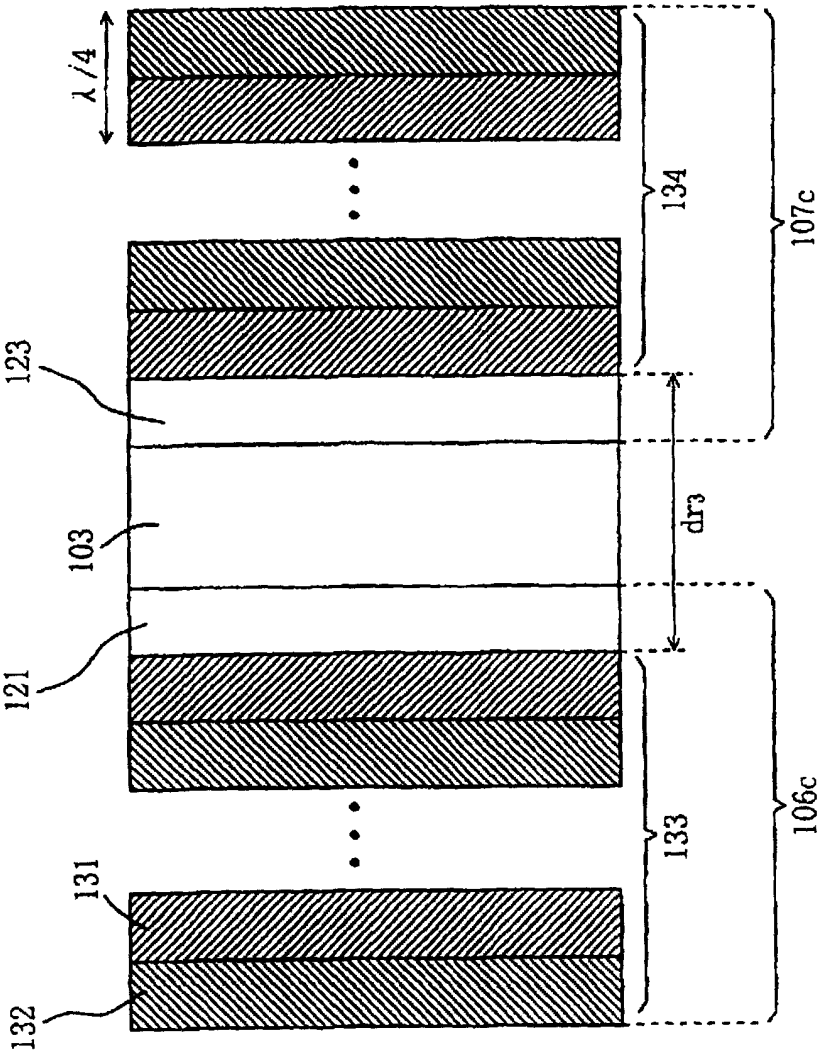


图 23

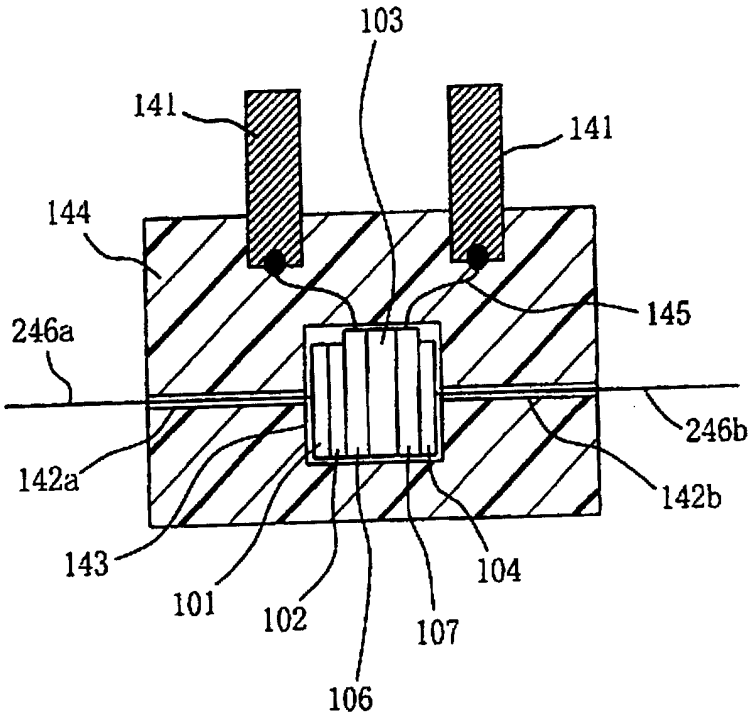

103
141
141
144
145
246a
246b
142a
142b
143
101
102
107
104
106

图 24

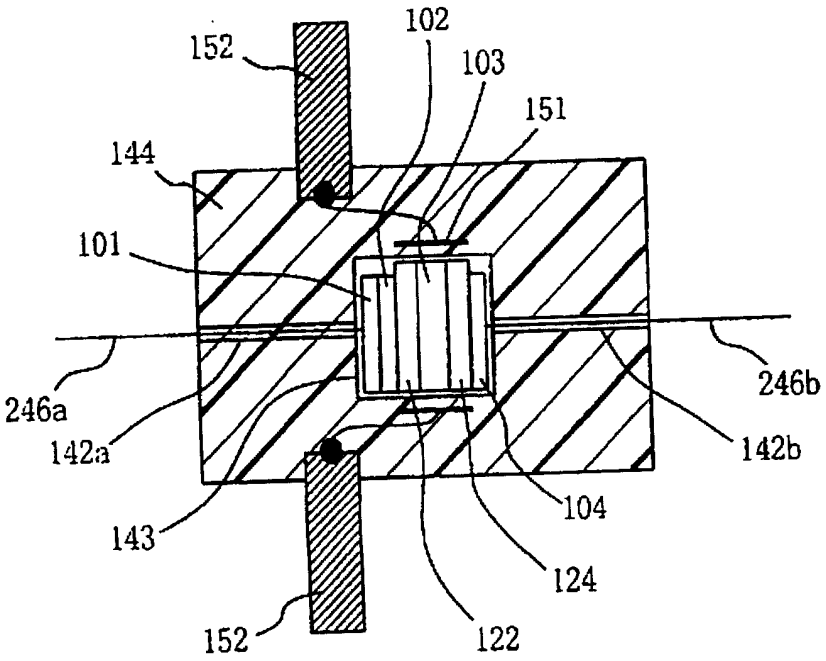

102
152
103
151
144
101
246b
246a
142a
142b
104
143
124
152
122

图 25

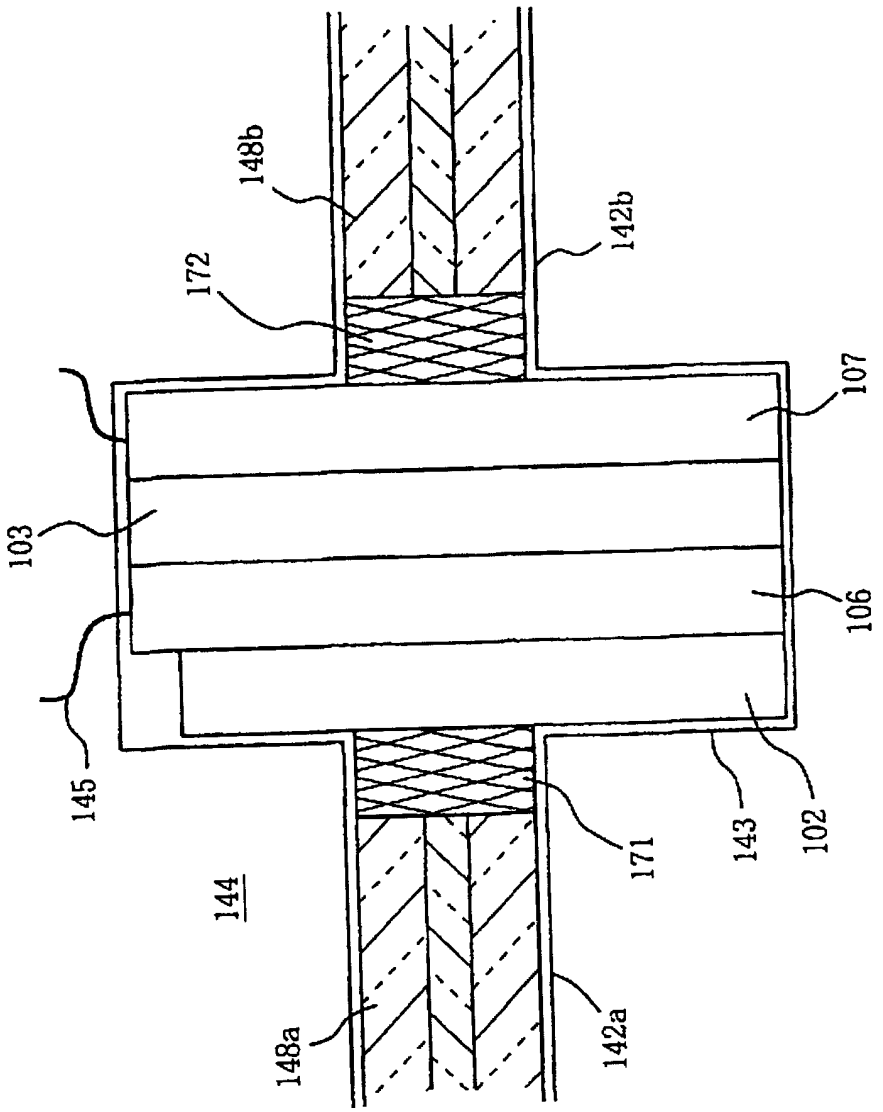


图 26

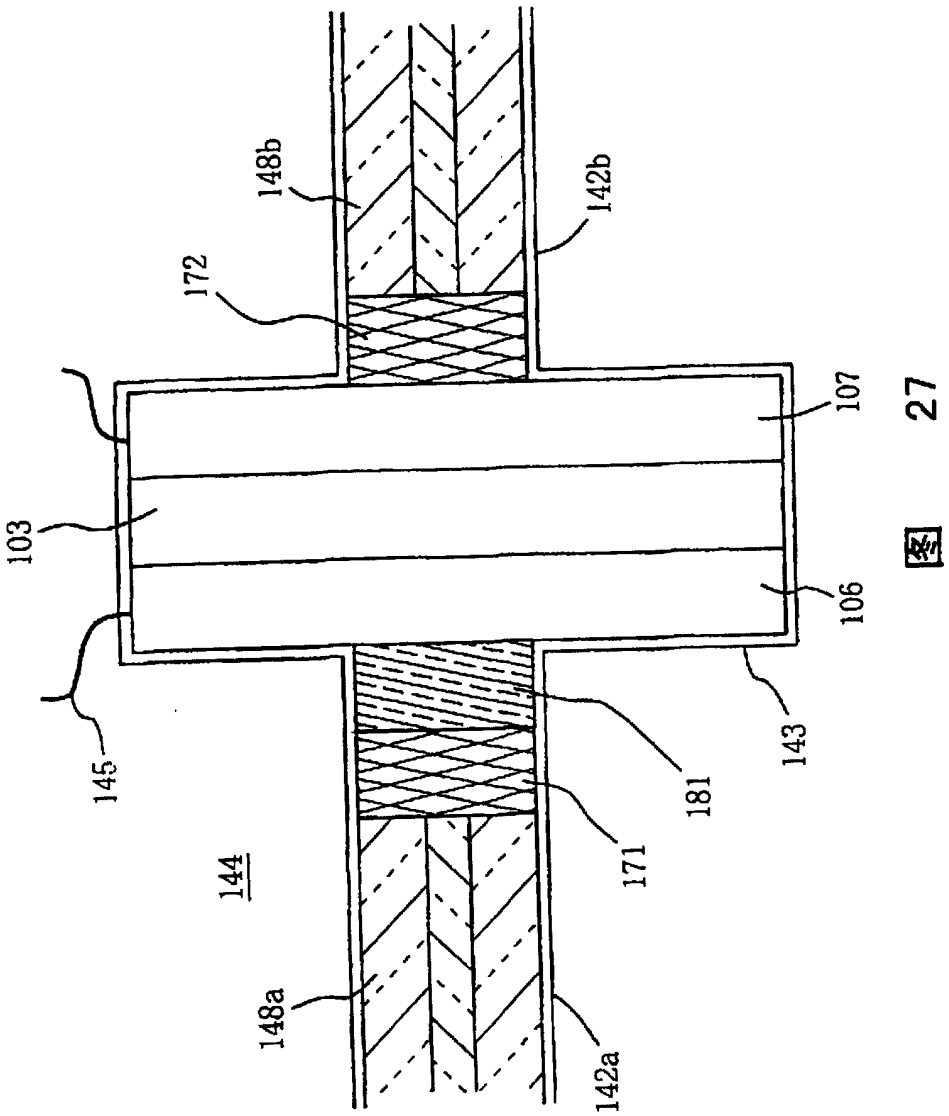


图 27

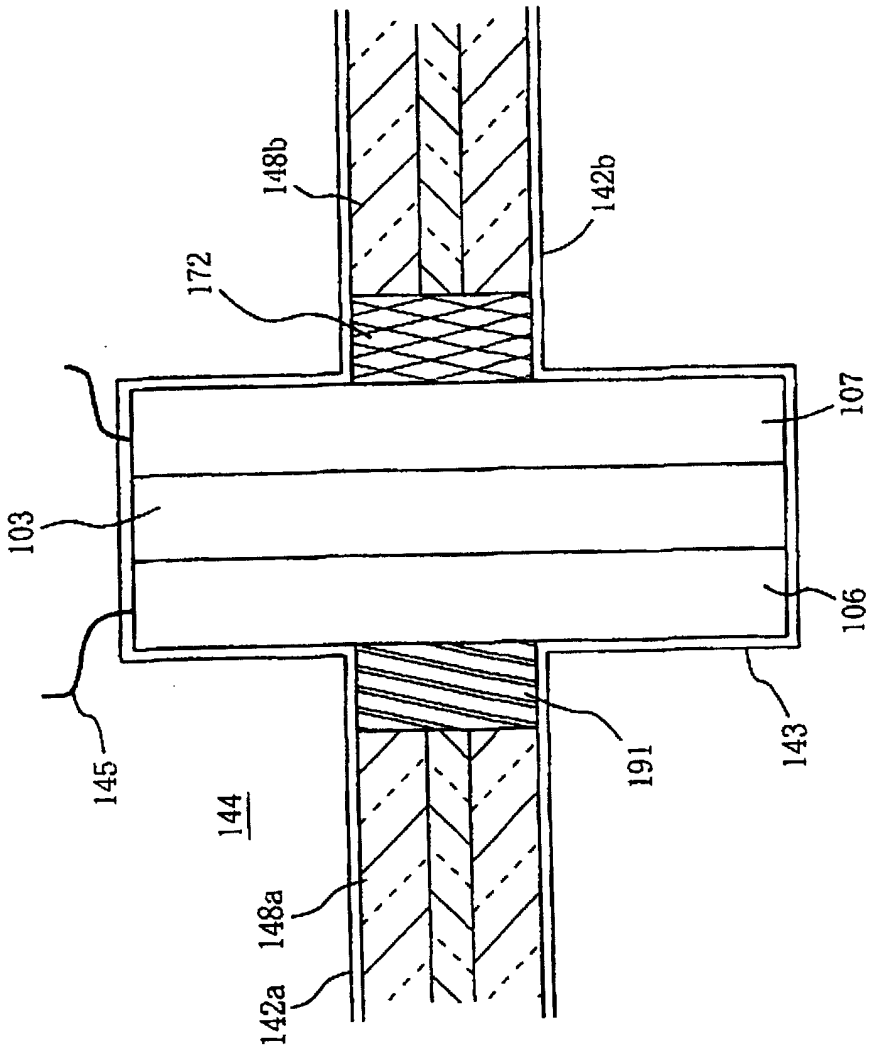


图 28

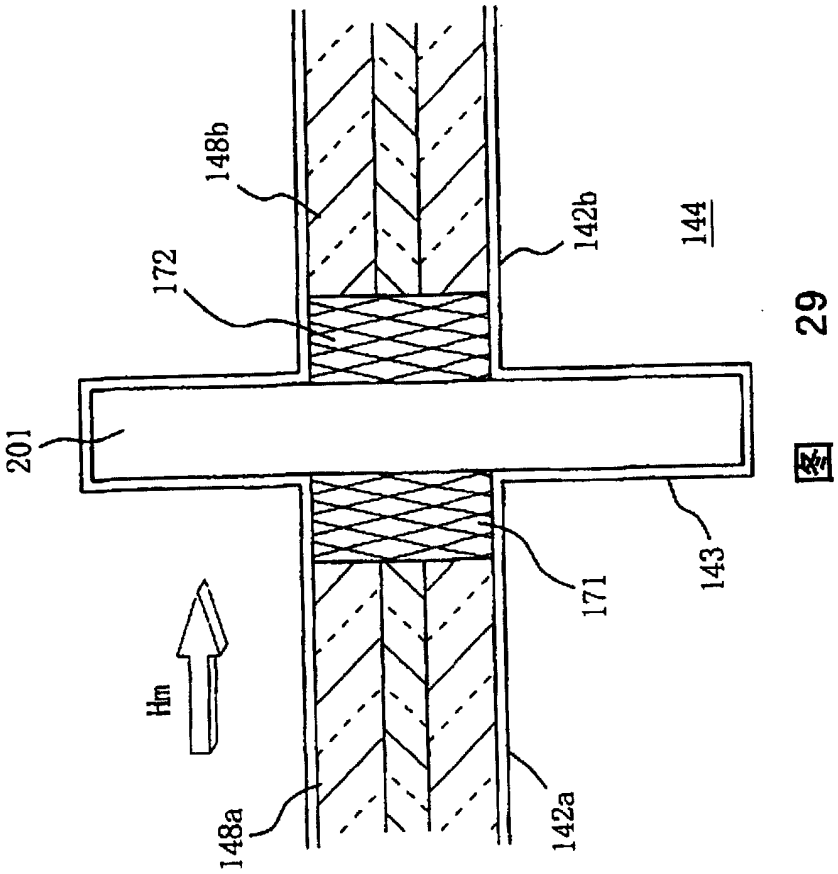


图 29

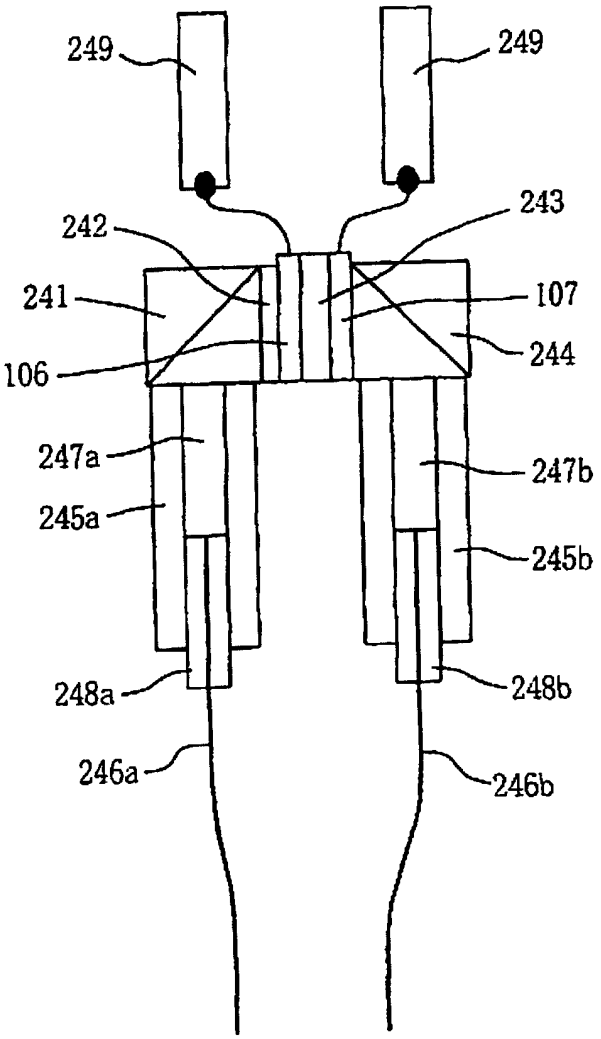

249
249
242
243
241
107
106
244
247a
247b
245a
245b
248a
248b
246a
246b

图 30

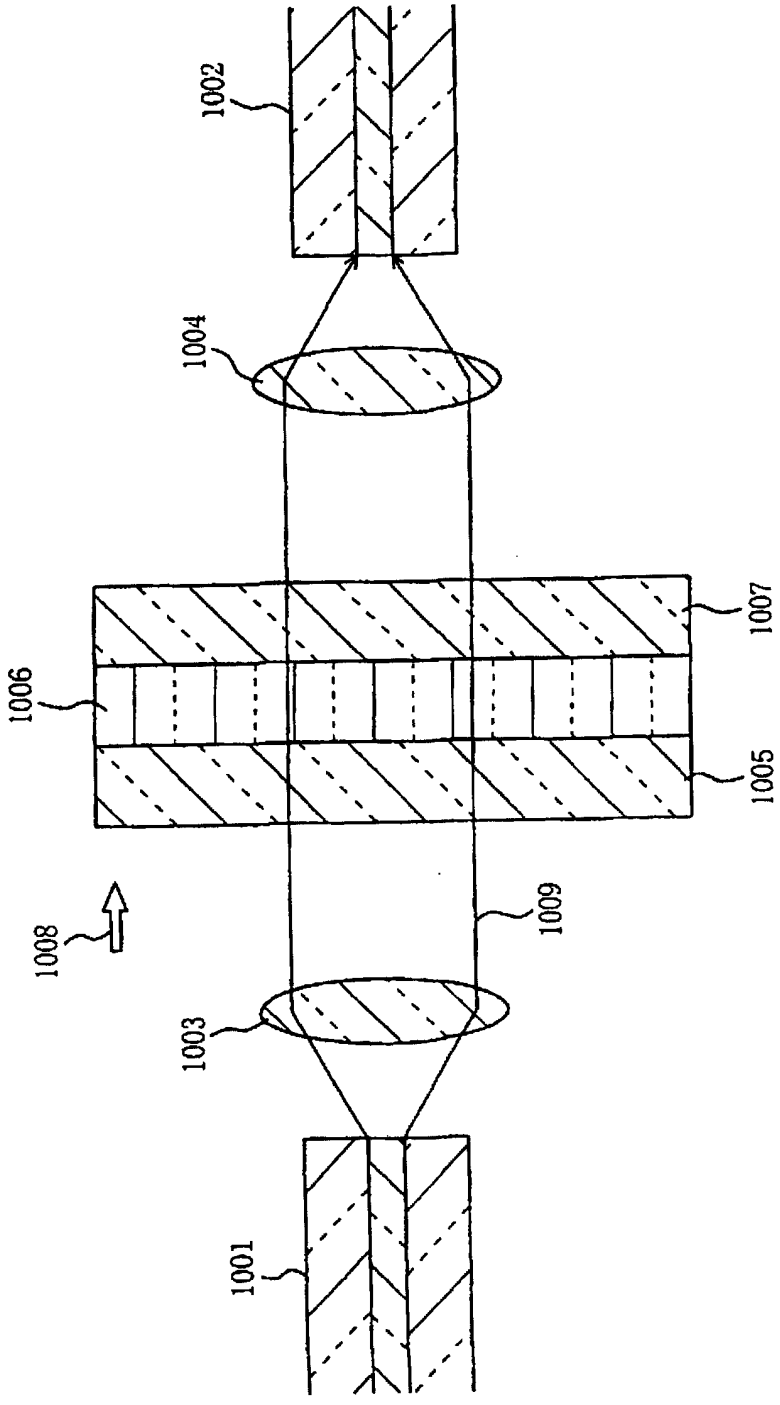


图 31

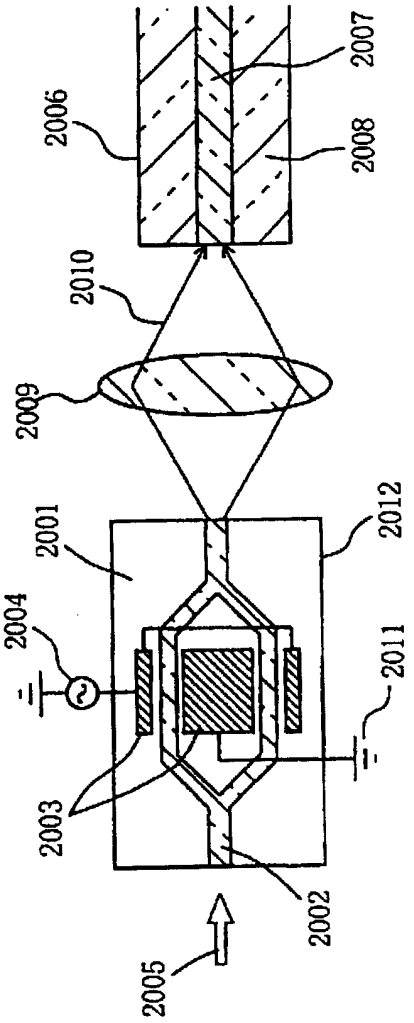


图 32

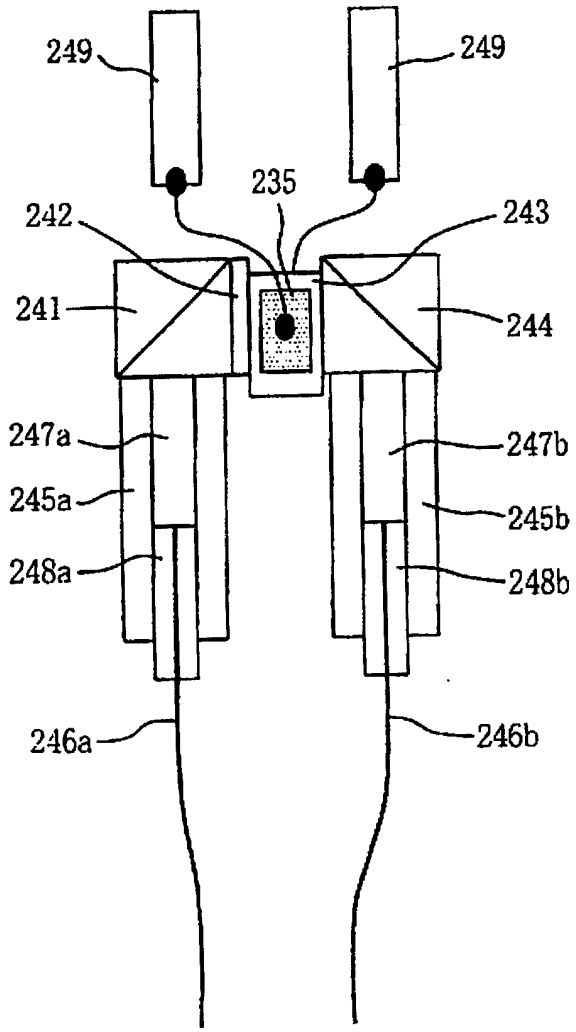

249
249
235
242
243
241
244
247a
247b
245a
245b
248a
248b
246a
246b

图 33

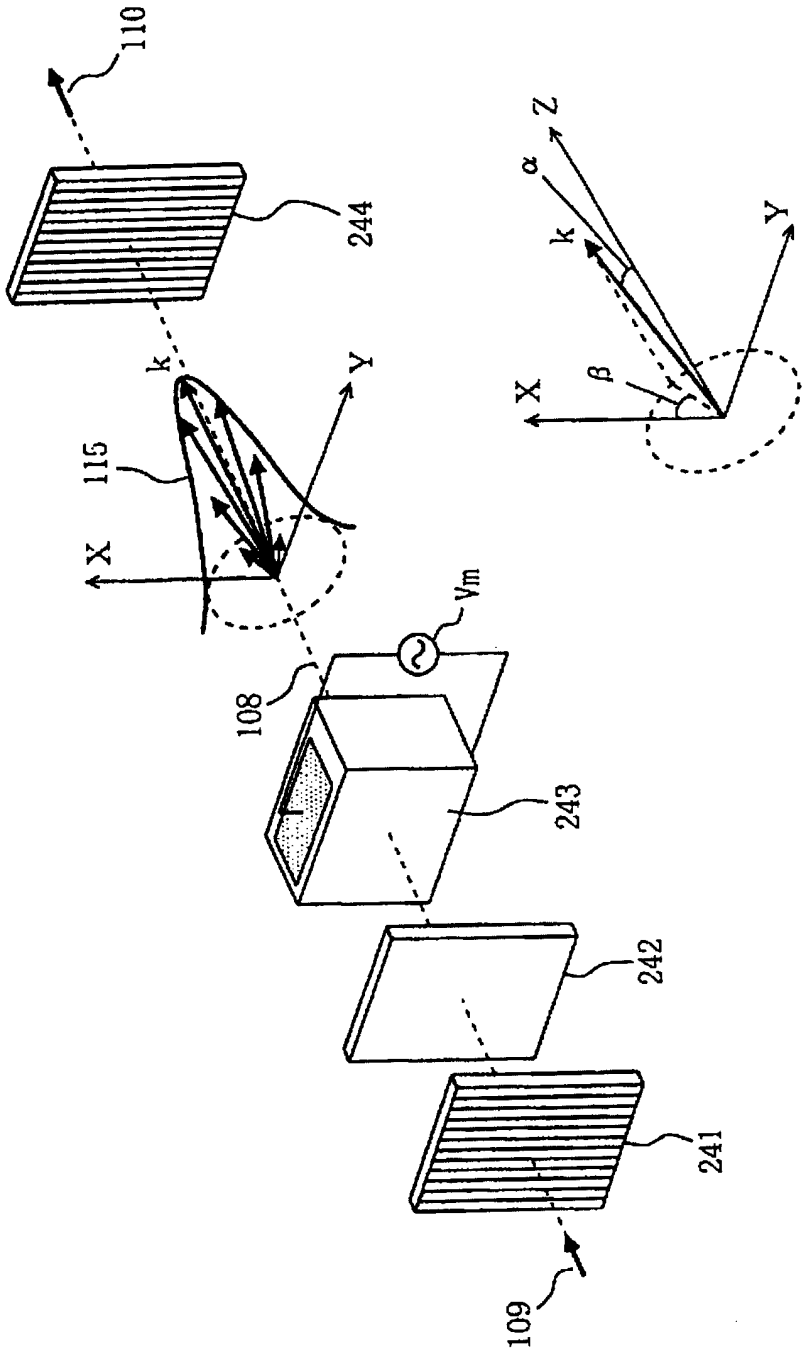


图 34

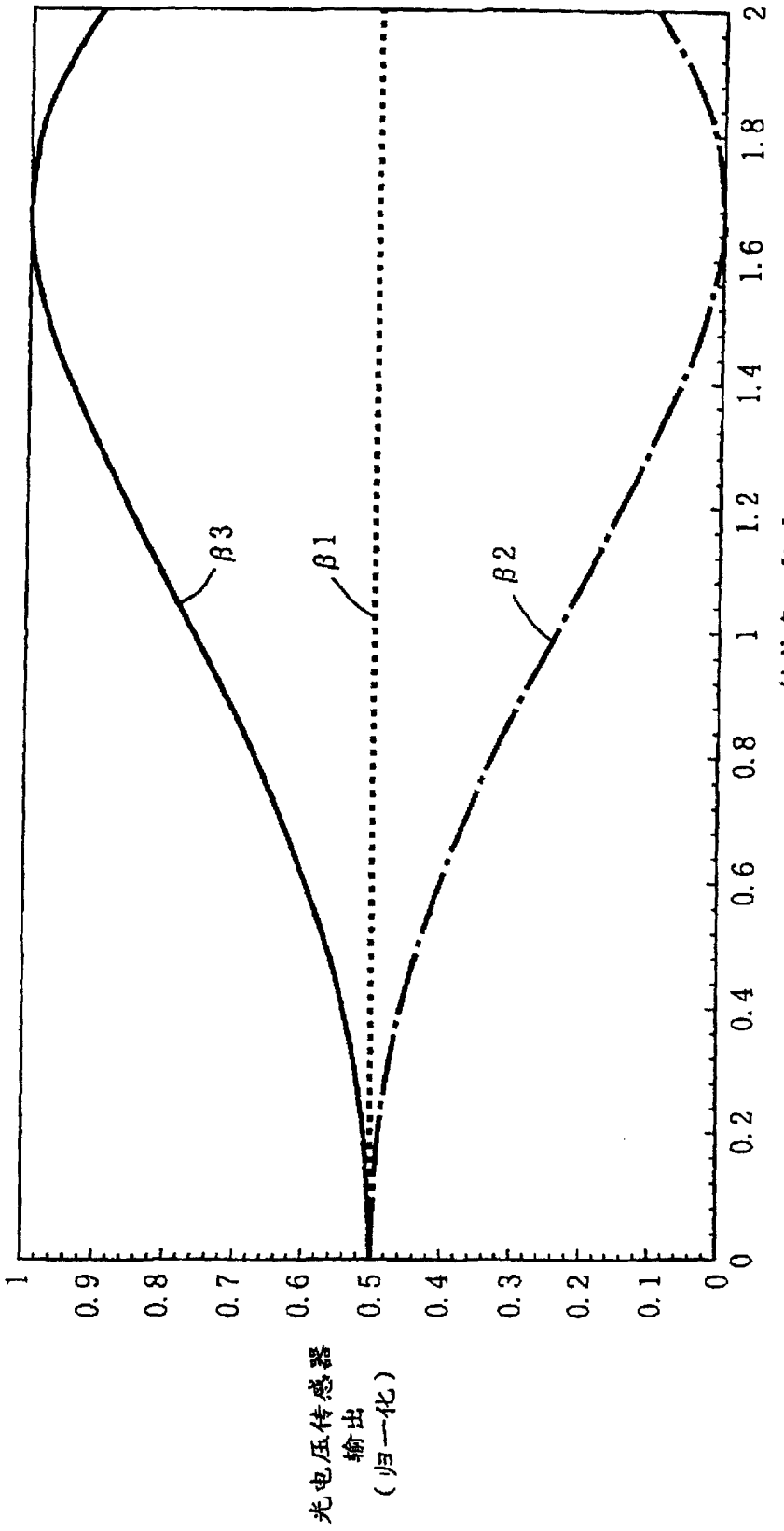

光电压传感器
输出
（归一化）
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
轴偏角α[°]
β3
β1
β2

图 35