



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02824282.3

[43] 公开日 2005年3月23日

[11] 公开号 CN 1599877A

[22] 申请日 2002.12.5 [21] 申请号 02824282.3

[30] 优先权

[32] 2001.12.6 [33] JP [31] 372449/2001

[86] 国际申请 PCT/JP2002/012784 2002.12.5

[87] 国际公布 WO2003/048846 日 2003.6.12

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.4

[71] 申请人 西铁城時計株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 克劳斯·沃纳 井出昌史

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

司

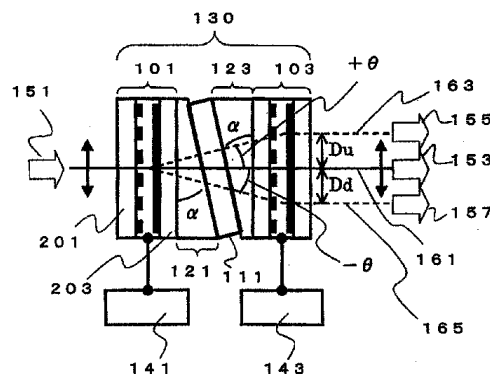
代理人 熊志诚

权利要求书2页 说明书22页 附图23页

[54] 发明名称 液晶可变波长滤波装置及其驱动方法

[57] 摘要

本发明是使用了可适用于使用了光纤的波分多路复用(WDM)通信方式·光学网络的液晶可变波长滤波装置及驱动方法。液晶可变波长滤波装置(130)通过由第1楔形棱镜(121)和第2楔形棱镜(123)夹持在第1液晶光束偏转器(101)和第2液晶光束偏转器(103)之间倾斜一定角度 $\alpha$ 的由电介质多层膜构成的带通滤波器(111)构成。第1驱动装置(141)与第1液晶光束偏转器(101)连接,第2驱动装置(143)与第2液晶光束偏转器(103)连接。通过用液晶光束偏转器使相对于带通滤波器的出射角可以改变来选择波长。



1. 一种液晶可变波长滤波装置, 在使用液晶、入射光可选择一定波长的液晶可变波长滤波装置中, 其特征在于, 具有:

可改变透射光的出射角的液晶光束偏转器,  
设置在该液晶光束偏转器的出射一侧的带通滤波器,  
利用相对于带通滤波器的出射角来选择波长。

2. 根据权利要求1所述的液晶可变波长滤波装置, 其特征在于: 上述液晶光束偏转器在包含与带通滤波器的入射面垂直的正负规定角度范围内可改变出射角。

3. 根据权利要求1或2所述的液晶可变波长滤波装置, 其特征在于: 上述液晶光束偏转器及上述带通滤波器配置成与入射光的光轴垂直。

4. 根据权利要求1或2所述的液晶可变波长滤波装置, 其特征在于: 上述液晶光束偏转器配置成与入射光的光轴垂直, 上述带通滤波器配置成与入射光的光轴倾斜规定角度。

5. 根据权利要求1—4中任何一项所述的液晶可变波长滤波装置, 其特征在于: 重叠配置多个液晶光束偏转器, 将各液晶光束偏转器的偏转角之和的出射角的角度做成可改变。

6. 根据权利要求1所述的液晶可变波长滤波装置, 其特征在于: 上述液晶光束偏转器的结构是, 具有第1透明衬底和第2透明衬底之间夹持的液晶层, 上述第1透明衬底具有由配置成平行条状的透明导电体构成的多个单个电极, 第2透明衬底具有由透明导电体构成的共用电极; 通过在上述第1透明衬底上形成的各个单个电极上施加规定电压可对液晶层的折射率进行调制;

具有2个上述液晶光束偏转器, 在上述2个液晶光束偏转器之间具有带通滤波器。

7. 根据权利要求1—6中任何一项所述的液晶可变波长滤波装置, 其特征在于: 上述带通滤波器是将高折射率层和低折射率层交替叠层而成的电介质多层膜。

8. 根据权利要求6或7所述的液晶可变波长滤波装置,其特征在於:上述多个单个电极归纳成多个组,各组内的各个多个单个电极用共用的集电极连接并在该集电极的两端连接一对信号电极。

9. 根据权利要求8所述的液晶可变波长滤波装置,其特征在於:上述集电极用与上述多个单个电极相同的材料制成。

10. 根据权利要求6—9中任何一项所述的液晶可变波长滤波装置,其特征在於:上述2个液晶光束偏转器的各个液晶层配置成基本平行,上述带通滤波器配置成与上述2个液晶光束偏转器倾斜规定角度。

11. 根据权利要求6—10中任何一项所述的液晶可变波长滤波装置,其特征在於:2个液晶光束偏转器中,使入射到其中一个液晶光束偏转器的特定偏振光成分的光按规定角度 $\theta$ 变化,同时另一个液晶光束偏转器使光按角度 $-\theta$ 变化,并具有保持对上述液晶可变波长滤波装置的入射光和出射光为平行光的功能。

12. 一种液晶可变波长滤波装置的驱动方法,是权利要求8所述的液晶可变波长滤波装置的驱动方法,其特征在於:在至少一组上述组中配置的一对信号电极上施加各不相同的驱动波形的电压。

13. 一种液晶可变波长滤波装置的驱动方法,是权利要求8所述的液晶可变波长滤波装置的驱动方法,其特征在於:交替地设置在至少一组上述组中配置的一对信号电极的一个信号电极上施加交变电压,而将另一个信号电极置为0(V)的期间,和在另一个信号电极上施加交变电压,而将原一个信号电极置为0(V)的期间。

14. 根据权利要求13所述的液晶可变波长滤波装置的驱动方法,其特征在於:上述交变电压是经脉冲宽度调制的电压。

15. 根据权利要求12—14中任何一项所述的液晶可变波长滤波装置的驱动方法,其特征在於:设置从上述共用电极一侧在上述液晶层上施加交流偏压的期间。

## 液晶可变波长滤波装置及其驱动方法

### 技术领域

本发明涉及使用了液晶可变波长滤波装置，更具体地说，涉及使用了光纤的波分多路复用（WDM: Wavelength division multiplexing）通信方式·光学网络所用的液晶可变波长滤波装置及其驱动方法。

### 背景技术

目前使用光纤的波分多路复用（WDM）通信方式是电—光的混合系统，该技术正向着对信号进行光的原样处理的全光学网络进一步发展。可进行波长选择的可变波长滤波器（可调滤波器）可认为在该光学网络中承担着重要的作用。作为可变波长滤波器（可调滤波器）的用途，可列举例如动态的增/减多路复用器及波长路由器等。

现在，作为可变波长滤波器（可调滤波器）提出了种种方式，例如：包含机械地控制光程长的方式（微电子机械系统 MEMS: microelectromechanical system）及将光波导和热—光效应组合的马赫—策德尔型或使用声光效应的过滤器等。作为记述这些方式的参考文献有例如：V. M. Bright《关于光学微电子机械系统的选辑》“Selected Papers On Optical MEMS”，Vol. MS 153, SPIE, 1999 以及 H. T. Mouftah 和 J. M. H. Elmirghani《光子交换技术》“Photonic Switching Technology”，IEEE, 1999。在各种方式中使用了液晶可变波长滤波器（可调滤波器）由于无机械活动部分及电力消耗少而期待作为可适用于光学网络的可变波长滤波器（可调滤波器）使用。作为其典型例子，对将液晶层用于空腔中的法布里—珀罗型滤波器进行说明。

作为上述液晶法布里—珀罗滤波器的参考文献有例如：K. Hirabayashi, H. Tsuda, 和 T. Kurokawa, 《光波技术》“Light wave Technol”，Vol.11, No.12, PP.2033-2043, 1993。其中，图 22 示出了基本的液晶法布里—珀罗滤波器的截面图。液晶法布里—珀罗滤波器 1000 由充满了被第 1 电介质多层膜镜 1017 和第 2 电介质多层膜镜 1019 夹持

的向列液晶材料 1001 的空腔层 1003 构成。向列液晶材料 1001 利用第 1 取向膜 1013 和第 2 取向膜 1015 取向使其与图 22 的截面图平行排列。

这时，第 1 取向膜 1013 和第 2 取向膜 1015 的表面经摩擦处理而获得各向异性。进而，用衬垫 1021 将第 1 滤波器基板 1005 和第 2 滤波器基板 1007 固定以便使上述空腔层 1003 保持规定的间隙。并且，形成第 1 透明导电膜 1009 和第 2 透明导电膜 1011 以便对向列液晶材料 1001 施加电场。

在液晶法布里—珀罗滤波器 1000 中，由空腔层 1003 构成谐振器，由空腔层 1003 的折射率决定光程长。液晶法布里—珀罗滤波器 1000 使上述空腔层 1003 的折射率变化，通过使该折射率和空腔层的乘积变化来改变谐振波长。该液晶法布里—珀罗滤波器 1000 的谐振波长  $\lambda_m$  为：

$$\lambda_m = 2n_{\text{eff}}(V) \cdot d / m \quad (1)$$

其中， $n_{\text{eff}}(V)$  表示空腔层 1003 有效的异常光折射率为施加电压  $V$  的函数。 $d$  是空腔间隙，而  $m$  为整数。

图 22 中，与从上方垂直入射的截面图平行的入射直线偏振光 1031 的光中，只有相当于式 (1) 的谐振波长  $\lambda_m$  的波长的光成为出射直线偏振光 1033 透过了液晶法布里—珀罗滤波器 1000。未对向列液晶材料 1001 施加电场时的有效的异常光折射率  $n_{\text{eff}}(0)$ ，当液晶引向器 1041 的预倾角（ブレティルト）设为  $\theta_0$  时，在空腔层 1003 中为一定值，即：

$$n_{\text{eff}}(0) = (\sin^2\theta_0/n_o^2 + \cos^2\theta_0/n_e^2)^{-1/2} \quad (2)$$

其中， $n_o$  为常光折射率， $n_e$  为异常光折射率。

将电场施加到向列液晶材料 1001 上时，与施加电压相应地在空腔层 1003 的厚度方向的中央部位倾斜角  $\theta_p$  为较大的值。该倾斜角  $\theta_p$  随着接近第 1 取向膜 1013 和第 2 取向膜 1015 而接近  $\theta_0$ 。因此，电场  $V$  施加到向列液晶材料 1001 上时，空腔层 1003 的有效的异常光折射率  $n_{\text{eff}}(V)$  在厚度方向的平均值与未施加电场时比较为较小的值。用同一次数  $m$  的谐振波长  $\lambda_m$  比较时，谐振波长  $\lambda_m$  的值由式 (1) 可知移位到短波长一侧。这样，能选择性地透过一定波长的液晶法布里—珀罗滤波器 1000 便可用作可调滤波器。

然而，以图 22 为代表的液晶法布里—珀罗滤波器 1000 的场合，由于空腔层 1003 构成为液晶单元，在结构上空腔层为单层。因此，液晶法布里—珀罗滤波器的透射率和波长的关系则显示出具有图 23 的特性曲线 2201 所示的特性。特性曲线 2201 显示出接近透过频带的阻带的隔离特性低，而且透过频带特性的峰值很陡。与此相反，可变波长滤波器（可调滤波器）的理想特性是透过频带附近的阻带的隔离特性高，透过频带特性平坦（平顶曲线）。图 23 中的特性曲线 2203 表示 1.6nm 间隔（200GHz）场合理想的特性例子。

这样，在由液晶法布里—珀罗滤波器得到的特性曲线 2201 中只能得到与该理想特性曲线 2203 相差悬殊的特性。这样的特性就成为使用了液晶法布里—珀罗滤波器的可变波长滤波器（可调滤波器）不能适用于高密度波分多路复用（WDM）通信系统的原因。

再则，在图 22 中，为了以向列液晶材料 1001 形成空腔层 1003，必须在液晶单元内部形成电介质多层膜镜 1017、1019。电介质多层膜镜 1017、1019，例如由使用了五氧化钽（ $Ta_2O_5$ ）为高折射率材料和二氧化硅（ $SiO_2$ ）为低折射率材料的光学 1/4 波长膜的叠层膜构成。就用于光通信的 1.55 $\mu m$  频带用途而言，由于必须将电介质多层膜镜 1017、1019 的厚度分别做成薄到数微米左右，因而液晶法布里—珀罗滤波器 1000 的间隙控制和电极的形成等液晶单元的制作工艺很难达到。

#### 发明内容

因此，本发明的目的在于提供一种使用了适用于可将液晶单元做成简单结构的高品质的光纤通信的液晶可变波长滤波器及其驱动方法。

本发明的第一方案作成如下结构：在使用液晶、入射光可选择一定波长的液晶可变波长滤波装置中，具有可改变透射光的出射角的液晶光束偏转器，及设置在该液晶光束偏转器的出射一侧的带通滤波器。利用使相对于带通滤波器的出射角可变来选择波长。

本发明的第二方案作成如下结构：上述液晶光束偏转器在包含与带通滤波器的入射面垂直的正负规定角度范围内可改变出射角。

本发明的第三方案作成如下结构：上述液晶光束偏转器及上述带通

滤波器配置成与入射光的光轴垂直。

本发明的第四方案作成如下结构：上述液晶光束偏转器配置成与入射光的光轴垂直，上述带通滤波器配置成与入射光的光轴倾斜规定角度。

本发明的第五方案作成如下结构：重叠配置多个液晶光束偏转器，将各液晶光束偏转器的偏转角之和的出射角的角度做成可改变。

本发明的第六方案作成如下结构：在使用液晶可选择入射光规定波长的液晶可变波长滤波装置中，设有第1透明衬底和第2透明衬底之间夹持的液晶层，上述第1透明衬底具有由配置成平行条状的透明导电体构成的多个单个电极，第2透明衬底具有由透明导电体构成的共用电极；具有通过在上述第1透明衬底上形成的各个单个电极上施加规定电压可对液晶层的折射率进行调制而构成的2个上述液晶光束偏转器，和在上述2个液晶光束偏转器之间的带通滤波器。

本发明的第七方案采用如下结构：上述带通滤波器是将高折射率层和低折射率层交替叠层而成的电介质多层膜。

本发明的第八方案作成如下结构：上述多个单个电极归纳成多个组，各组内的各个多个单个电极用共用的集电极连接并在该集电极的两端连接一对信号电极。

本发明的第九方案作成如下结构：上述集电极用与单个电极相同的材料制成。

本发明的第十方案作成如下结构：上述2个液晶光束偏转器的各个液晶层配置成基本平行，上述带通滤波器配置成与上述2个液晶光束偏转器倾斜规定角度。

本发明的第十一方案作成如下结构：2个液晶光束偏转器中，使入射到其中一个液晶光束偏转器的特定偏振光成分的光按规定角度 $\theta$ 变化，同时另一个液晶光束偏转器使光按角度 $-\theta$ 变化，并具有保持对上述液晶可变波长滤波装置的入射光和出射光为平行光的功能。

本发明的第十二方案是驱动权利要求8的液晶可变波长滤波装置的驱动方法，在上述组中至少一组配置的一对信号电极上施加各不相同的驱动波形的电压。

本发明的第十三方案是驱动权利要求 8 所述的液晶可变波长滤波装置的驱动方法，交替地设置在至少一组上述组中配置的一对信号电极的一个信号电极上施加交变电压，而将另一个信号电极置为 0 (V) 的期间，和在另一个信号电极上施加交变电压，而将原一个信号电极置为 0 (V) 的期间。

本发明的第十四方案是上述交变电压成为经脉冲宽度调制的电压而驱动。

本发明的第十五方案是设置从上述共用电极一侧在上述液晶层上施加交流偏压的期间而驱动。

#### 附图说明

图 1 是表示本发明实施例的液晶可变波长滤波装置的断面示意图。

图 2 是本发明实施例的液晶可变波长滤波装置的第 1 液晶光束偏转器和带通滤波器附近的重要部分的放大图。

图 3 是表示本发明实施例的液晶可变波长滤波装置的透过特性的曲线图。

图 4 是表示本发明实施例的液晶可变波长滤波装置的中心波长和带通滤波器的入射角的关系的特性图。

图 5 是本发明的实施例的从带通滤波器所见到的成为 P 偏振光时的液晶光束偏转器的断面图。

图 6 是本发明的实施例的从带通滤波器所见到的成为 S 偏振光时的液晶光束偏转器的断面图。

图 7 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的第 1 复合电极的结构示意平面图。

图 8 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的第 2 复合电极的结构示意平面图。

图 9 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的第 3 复合电极的结构示意平面图。

图 10 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的第 4 复合电极的结构示意平面图。



图 11 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的基本原理的示意图。

图 12 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的工作原理的断面图。

图 13 是表示本发明的实施例的液晶元件的电压—有效双折射特性的关系的曲线图。

图 14 是说明本发明的实施例的液晶可变波长滤波装置的驱动波形的示意图。

图 15 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的电位分布图。

图 16 是表示本发明的实施例的液晶元件的电压—相对相位差特性的关系的曲线图。

图 17 是表示本发明的实施例的液晶光束偏转器的复合电极位置和相位分布关系的示意图。

图 18 是表示本发明的实施例的液晶可变波长滤波装置的其它驱动波形的示意图。

图 19 是说明本发明的实施例的液晶光束偏转器的第 3 复合电极的相位分布的示意图。

图 20 是表示本发明的实施例的液晶可变波长滤波装置的模块结构的断面示意图。

图 21 是用于说明本发明的实施例的液晶可变波长滤波装置中, 液晶光束偏转器和带通滤波器的组合的图。

图 22 是表示现有技术例子的液晶可变波长滤波装置的基本结构的断面示意图。

图 23 是用于比较现有技术例子的可变波长滤波装置的透射率特性和理想特性的特性图。

#### 具体实施方式

下面, 参照附图说明用于实施本发明的最佳实施例的液晶可变波长滤波装置及其驱动方法。

首先, 参照图 1 说明本发明的实施例的液晶可变波长滤波装置的结

构。图 1 是用于说明本发明的实施例的液晶可变波长滤波装置 130 的结构断面图。

如图 1 所示, 本发明的液晶可变波长滤波装置 130 由将以电介质多层膜构成的带通滤波器 111 只倾斜一定角度  $\alpha$ 、楔子状的第 1 楔形棱镜 121 和第 2 楔形棱镜 123 夹在互相平行配置的第 1 液晶光束偏转器 101 和第 2 液晶光束偏转器 103 之间构成。第 1 液晶光束偏转器 101 与第 1 驱动装置 141 连接, 第 2 液晶光束偏转器 103 与第 2 驱动装置 143 连接。

该第 1、第 2 液晶光束偏转器 101、103 都由平行带状的透明导电膜构成的多个单个电极和共用电极夹住液晶层构成。多个单个电极由于施加规定电压而在液晶层上感应形成空间的折射率调制区域, 可实现闪烁 (ブレード) 型衍射光栅。

该第 1 液晶光束偏转器 101 控制入射到带通滤波器 111 特定的偏振光成分的入射角。利用对该带通滤波器的入射角的控制可改变液晶可变波长滤波装置 130 的透过频带特性。另外, 第 2 液晶光束偏转器 103 的作用是使特定的偏振光成分光束偏转到与第 1 液晶光束偏转器 101 相反的方向。因此, 向第 1 液晶光束偏转器 101 的入射光和来自第 2 液晶光束偏转器 103 的出射光保持平行。

其次, 再详细说明特定的偏振光成分向本发明的液晶可变波长滤波装置 130 的入射光 151 的导光路径。如图 1 所示, 入射到第 1 液晶光束偏转器 101 的具有与图 1 的纸面平行的振动面的入射光 151 在不由第 1 液晶光束偏转器 101 偏转时, 从该第 1 液晶光束偏转器 101 的出射角  $\theta$  为 0 度, 只有由带通滤波器 111 选择的波长成分沿第 1 路径 161 入射到第 2 液晶光束偏转器 103。这时, 第 2 液晶光束偏转器 103 也不使第 1 路径 161 的光偏转而作为第 1 出射光 153 输出。

另外, 入射光 151 由第 1 液晶光束偏转器 101 在正方向只偏转  $+\theta$  时, 透过带通滤波器 111 的波长成分通过第 2 路径 163 入射到第 2 液晶光束偏转器 103。第 2 液晶光束偏转器 103 将已通过第 2 路径的光在负方向只偏转  $-\theta$  而作为第 2 出射光 155 输出。

入射光 151 由第 1 液晶光束偏转器 101 在负方向偏转只  $-\theta$  时, 透

过带通滤波器 111 的波长成分通过第 3 路径 165 入射到第 2 液晶光束偏转器 103。第 2 液晶光束偏转器 103 将通过第 3 路径 165 的光在正方向只偏转 $+\theta$ 而作为第 3 出射光 157 输出。入射光 151 和第 1、第 2 及第 3 出射光 153、155、157 为平行光。

这样，第 1 液晶光束偏转器 101 所起的作用是将入射光 151 如图 1 所示只偏转规定的角度 $\pm\theta$ 。在此，将图 1 中使  $\theta$  在逆时针旋转方向增大的方向作为正方向，将  $\theta$  可变范围的最大值设为  $\theta_{\max}$ 。为了最大限度地有效利用  $\theta$  的变动范围，必须决定第 1、第 2 楔形棱镜 121、123 的角度  $\alpha$  使得  $\alpha \geq \theta_{\max}$ 。

图 2 是图 1 的第 1 液晶光束偏转器 101 和带通滤波器 111 附近的重要部分的放大图。将角度  $\theta$  作为以第 1 液晶光束偏转器 101 的第 2 透明基板 203 与向列液晶层 501 接触的面为基准的出射角，将角度  $\beta$  作为带通滤波器 111 的入射角时，则出射角  $\theta$  和入射角  $\beta$  的关系可以以下式表示。

$$\theta=+\theta \text{ 时, } \beta=\alpha-\theta$$

$$\theta=0 \text{ 时, } \beta=\alpha$$

$$\theta=-\theta \text{ 时, } \beta=\alpha+\theta$$

并且， $\alpha \geq \theta_{\max}$ 。

这样，通过使带通滤波器 111 对两个液晶光束偏转器只倾斜角度  $\alpha$ ，则可利用第 1 液晶光束偏转器 101 使入射直线偏振光只偏转角度  $\theta$  并转换成对带通滤波器 111 具有规定的正入射角  $\beta$  的光。

下面，列举上述带通滤波器的具体结构例子。上述带通滤波器 111 可以根据如下所述的标准规格选择由电介质多层膜构成的规定的光滤波器。在光纤通信中，由于广泛使用 1300nm 频段和 1550nm 频段的光信号，因而下面以中心波长为 1550nm 时的情况进行说明。例如，下面所示的是入射角  $\beta$  为 0 度时中心波长为 1550nm 的 4 腔结构的电介质多层膜的情况。

带通滤波器 111 可以由例如高折射率膜和低折射率膜分别交替叠层构成。高折射率膜可选择例如五氧化钽，低折射率膜可选择例如二氧化

硅。

这时，作为一个膜的设计例子，当以 H 表示中心波长为 1550nm 的光程为四分之一波长的高折射率膜，以 L 表示中心波长为 1550nm 的光程为四分之一波长的低折射率膜时，带通滤波器可采用如下结构：玻璃 / 1.3H / L / (HL)<sup>6</sup> / H / 10L / H / (LH)<sup>6</sup> / L / (HL)<sup>7</sup> / H / 10L / H / (LH)<sup>7</sup> / L / (HL)<sup>7</sup> / H / 8L / H / (LH)<sup>7</sup> / L / (HL)<sup>7</sup> / H / 4L / H / (LH)<sup>7</sup> / 玻璃。此外，在上述结构中，幂数表示膜的层数，10L，10L，8L，4L 表示各空腔。这样，只要能实现适用于波分多路复用通信的特性的滤波器也可以采用其它的结构。

图 3 表示的是利用第 1 液晶光束偏转器 101 改变带通滤波器 111 的入射角  $\beta$  时的液晶可变波长滤波装置 130 的透射率特性曲线。上述入射角  $\beta$  为 0 度时带通滤波器 111 的第 1 透过曲线 301 为在 1550nm 附近的平顶特性 313。另外，当考虑以对带通滤波器 111 的入射角  $\beta$  为基准时，入射角  $\beta$  为 4 度时为第 2 透过曲线 303，入射角  $\beta$  为 6 度时为第 3 透过曲线 305。这样，上述平顶特性及用现有技术的液晶法布里—珀罗滤波器 1000（图 22）不能实现的阻带的高隔离特性都可接近于理想特性已得到证实。

图 4 所示的是图 3 中说明的带通滤波器 111 的入射角  $\beta$  和本发明的液晶可变波长滤波装置 130 的中心波长的关系。可以看到，随着入射角  $\beta$  增大，如入射角依赖关系曲线 401 所示液晶可变波长滤波装置 130 的中心波长移向短波长一侧。这时，第 1 液晶光束偏转器 101 的出射角  $\theta$  和对带通滤波器 111 的入射角  $\beta$  的关系，当例如第 1 楔形棱镜 121 的角度  $\alpha$  为 3 度， $\theta_{\max}$  也为 3 度时，为：

$\beta=0$  度时， $\theta=3$  度

$\beta=3$  度时， $\theta=0$  度

$\beta=4$  度时， $\theta=-1$  度

$\beta=6$  度时， $\theta=-3$  度

即，若使第 1 液晶光束偏转器 101 的出射光  $\theta$  从 3 度变化到 -3 度，则对带通滤波器 111 的入射角为从 0 度到 6 度，可在从 1546.5nm 到

1550nm 的频带内任意地选择图 3 的中心波长。此外，图 3 和图 4 所示的特性虽表示的是使用 P 偏振光（TM 波）为特定的偏振光成分的光的情况，但当入射角  $\beta$  在 10 度以下时，即使是 S 偏振光（TE 波）也具有相同的特性。

接着，使用图 5 说明第 1 液晶光束偏转器 101 的结构。此外，由于第 2 液晶光束偏转器 103 的结构与第 1 液晶射束器 101 相同，因而本实施例仅说明第 1 液晶光束偏转器 101。

向列液晶层 501 借助于在第 1 液晶光束偏转器 101 的第 1 透明基板 201 的复合电极 211 之上和第 2 透明基板 203 的共用电极 213 之上分别形成的取向层 217 而均匀取向，从而使得施加电场时的 P 型（定位(ポジ)型）液晶分子的引向器 207 的倾斜角 209 在 5 度以下。图 5 所示的第 1 液晶光束偏转器 101 的情况下，入射直线偏振光 511 为与纸面平行的成分。该入射直线偏振光 511 从后级的带通滤波器 111 看时为 P 偏振光。

第 1 液晶光束偏转器 101 中的入射光成分内只有与向列液晶层 501 的引向器 207 平行的成分、即上述 P 偏振光成为相位可调制的光。因此，图 1 所示的入射光 151 的特定的偏振光成分也在使用图 1 的结构中所示的第 1 液晶光束偏转器 101 时成为 P 偏振光。

虽然在图 5 中未明确表示，但为了将向列液晶层 501 保持在数  $\mu\text{m}$  至数  $+\mu\text{m}$  范围内的规定厚度而通过衬垫固定第 1 透明基板 201 和第 2 透明基板 203。另外，虽在图 5 中未图示，但为了防止复合电极 211 和共用电极 213 短路，可在复合电极 211 上、或共用电极 213 上或两者上形成五氧化钽（ $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ）或二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）等透明绝缘膜。另外，最好还要提高作为由高折射率膜和低折射率膜构成的电介质多层膜的透明绝缘膜的透射率。在第 2 透明基板 203 上形成的共用电极 213 可以由透明导电膜构成的整个面的电极。而复合电极 211 的构造将予后述。

在上述复合电极 211 的光程部分和形成共用电极 213 的透明导电膜上使用氧化铟锡（ITO）时，该透明导电膜的膜厚为 50nm 以下，进而，为了提高在  $1.3\mu\text{m}$ — $1.6\mu\text{m}$  的近红外线区域的透射率，最好使用成膜时氧浓度增大的薄膜电阻为数百  $\Omega$  至  $1\text{K}\Omega$  左右的膜。

作为透明导电膜除 ITO 外还可使用氧化铟 ( $\text{In}_2\text{O}_3$ )、氧化锡( $\text{SnO}_2$ )、氧化锌( $\text{ZnO}$ )等薄膜。这种情况下,也最好将膜厚取为 50nm 以下,并最好使用薄膜电阻为数百  $\Omega$  至 1K  $\Omega$  左右的膜。

另外,为了防止在由玻璃构成的第 1 透明基板 201 或第 2 透明基板 203 的向列液晶层 501 与相对面中的空气层接触的面上由空气和透明基板界面的反射,根据需要可形成无反射涂层 215。无反射涂层 215 可使用例如由五氧化钽 ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) 和二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ ) 的电介质多层膜构成的涂层。

图 1 所示的入射光 151 或图 5 的入射直线偏振光 511 以由从后级的带通滤波器 111 所见到的成为 P 偏振光时的结构为代表表示。图 6 表示入射直线偏振光 511 从后级的带通滤波器看为 S 偏振光时的液晶光束偏转器 101 的结构。图 6 所示的结构除了向列液晶层 501 的引向器 207 的方向与入射直线偏振光 511 的 S 偏振光平行外,其余的结构与图 5 相同。该 P 偏振光, S 偏振光的液晶光束偏转器的运用可根据其标准规格及用途决定其结构。

下面,用图 7 对用于形成第 1 液晶光束偏转器 101 的闪烁型衍射光栅的第 1 复合电极的结构进行说明。图 7 是第 1 复合电极 211a 的平面图。第 1 复合电极 211a 的结构是将包含第 1 元件光栅 751 和第 2 元件光栅 761 的 2 个衍射光栅区域配置在第 1 活性区域 671。

图 7 中,第 1 元件光栅 751 具有从第 1 个单个电极 721 至第 N 个单个电极 730。另外,第 2 元件光栅 761 具有第 N+1 个单个电极 731 到第 2N 个单个电极 740。在该第 1 复合电极 211a 中,为说明的方便,取  $N=10$ 。另外,利用具有上述膜厚和电阻值的 ITO 等透明导电膜形成从第 1 个单个电极 721 到第 2N 个单个电极 740。

另外,从第 1 个单个电极 721 到第 2N 个单个电极 740 在第 1 活性区域 671 的外部汇集成多个组,将各组内的各单个电极用与单个电极相同材料 ITO 等制成的共用的集电极连接。图 7 表示的是汇集成 2 个组的例子。图 7 中,用第 1 集电极 701 在第 1 活性区域 671 的外部将从第 1 个单个电极 721 到第 N 个单个电极 730 连接;同样地,从第 N+1 个单个

电极 731 到第 2N 个单个电极 740 用第 2 集电极 703 在第 1 活性区域 671 的外部连接。进而，在第 1 集电极 701 的两端分别连接由 Mo 及 Ag 合金等低电阻材料制成的第 1 信号电极 711 和第 2 信号电极 713；在第 2 集电极 703 的两端分别连接第 3 信号电极 715 和第 4 信号电极 717。此外，不仅将上述集电极做成薄膜电阻为数百  $\Omega$ —1K  $\Omega$  的膜，而且其膜厚可更薄，或者其结构也可以做成使其电极宽度较窄而电极的长度方向具有线性的电阻。

图 7 中，虽为方便计只表示了具有第 1 元件光栅 751 和第 2 元件光栅 761 的 2 个衍射光栅区域，但在实际的第 1 液晶光束偏转器 101 中，有必要根据入射到第 1 活性区域 671 的入射光束直径形成规定数的元件光栅。作为一个例子，即作为使用 1550nm 频带为入射光时的具体设计例子，假定利用平行光管将由单模光纤发出的光作为平行光入射到第 1 活性区域 671 的情况进行说明。这时，平行光的高斯（ gaussian ）光束直径取为  $300\mu\text{m}$  时，将第 1 活性区域的宽度 L 定为  $400\mu\text{m}$  到 1.5mm。另外，各元件光栅的多个单个电极考虑到入射光的波长希望为  $2\mu\text{m}$  以下的线度和间隔（Line and Space），元件光栅的间距  $P_0$  为  $50\mu\text{m}$  至  $100\mu\text{m}$  时第 1 复合电极 211a 的宽度 W 最好在  $800\mu\text{m}$  至 2mm 左右。因此，当间距  $P_0$  为  $50\mu\text{m}$  时元件光栅的数目为 16 个至 40 个，间距  $P_0$  为  $100\mu\text{m}$  时，元件光栅的数目为 8 个至 20 个。在此，第 1 复合电极 211a 的宽度如图 1 所示，由于出射光从光束偏转角为  $+\theta$  时仅为  $D_u$ ，而光束偏转角为  $-\theta$  时仅为  $D_d$  的射束没有偏转的情况（ $\theta$  为 0 度时）偏移，因而必须根据该射束的偏移部分决定复合电极的宽度。

犹如上面的说明所清楚表明的，在形成闪烁型衍射光栅的第 1 液晶光束偏转器 101 中的一个衍射光栅区域由 N 个单个电极构成的情况下，与来自驱动电路的控制信号连接的信号电极的数目通过在集电极的两端分别连接一对信号电极，相对于元件光栅的数目（M 个）用 2M 个信号电极即可完成。这种结构的有利之处在于当单个电极的数目增加的情况下可大幅度地减少信号电极的数目。

下面，用图 11 说明第 1 液晶光束偏转器 101 的工作原理。图中，液

晶光束偏转器 101 在引向器 207 均匀取向的状态下，对 X-Z 面内在平行方向上施加外部电场的情况下，可对 P 型（定位型）向列液晶进行取向从而使引向器的长轴方向与电场方向平行。这里，可以认为：对于该液晶光束偏转器 101，在与 X 轴平行方向振动的直线偏振光 1110 沿 Z 轴方向入射。入射到液晶光束偏转器 101 之前的入射波面 1113 为平面。对液晶光束偏转器 101 施加电场以使其成为规定的折射率分布而控制引向器的面内分布时，可将入射波面 1113 变换成只偏转规定角度  $\theta$  的平面波的出射波面 1123。

用图 12 更详细地说明这种现象。将液晶光束偏转器 101 的向列液晶层 501 的出射一侧的平面设为 X-Y 平面，液晶则取向为与 X-Z 平面平行。这时，入射直线偏振光 1201 垂直入射到向列液晶层 501。在该向列液晶层 501 内预先决定工作点使得作为位置 X 的函数的异常光折射率  $n_e(x)$  的分布 1211 在元件光栅的间距 P 的 a-b 之间直线地变化。另外，向列液晶层 501 的厚度 d 虽一定，但由于折射率  $n_e(x)$  在间距 P 中直线地变化，因而在向列液晶层 501 中传播的入射直线偏振光 1201 则随位置的不同而受到延迟  $\Delta n(x) \cdot d$  的调制。此处，当预先设  $n_o$  为液晶的常光折射率时，则

$$\Delta n(x) = n_e(x) - n_o \quad (3)$$

上述入射直线偏振光 1201 在上述向列液晶中，即在电介质介质中传播的情况下，延迟大的地方传播慢，相反延迟小的位置则传播快。因此，通过向列液晶层 501 出射的出射直线偏振光 1203 其波面的倾斜度仅为

$$\tan\theta = \delta \Delta n \cdot d / P \quad (4)$$

其中， $\delta \Delta n$  是按下式计算 a 点和 b 点的延迟  $\Delta n(x)$  的差值。

$$\delta \Delta n = \Delta n(a) - \Delta n(b) \quad (5)$$

这样，液晶光束偏转器的向列液晶层 501 的异常光折射率  $n_e(x)$  的分布 1211 若为直线，则与入射直线偏振光 1201 相同其出射直线偏振光 1203 的波面也为平面，其结果可使出射直线光 1203 相对于入射直线偏振光 1201 仅偏转  $\theta$  角。

下面，对本发明所用的向列液晶层 501 的异常光折射率  $n_e(x)$  能以直



线近似的条件进行讨论。入射直线偏振光受到由如图 13 所示的施加电压——有效双折射率特性决定的调制。图 13 中，横轴表示对向列液晶层 501 施加电压的有效值，纵轴表示有效双折射率 $\Delta n$ 。电光学响应曲线的形状由所使用的液晶的弹性常数、介电系数的各向异性特性及未施加电场时的取向膜层决定的预倾角等参数决定。该施加电压——有效双折射率特性是麦尔克（メルク）公司制造的向列液晶材料 BL007（商品名）的特性。另外，该特性是设 $\Delta n_{\max}=0.287$ 、液晶层厚度为  $20\mu\text{m}$  所求得理论曲线。图 13 中，横轴表示对均匀取向单元的施加电压 1501，纵轴表示液晶分子的有效双折射率 $\Delta n$  1503。图 13 中，表示的是预倾角为 0.5 度、2 度、5 度和 10 度时的特性。当用作具有上述第 1 复合电极 211a 的液晶光束偏转器 101 时，为了得到图 12 中说明的作用，必须使用可近似 1 次曲线的直线区域 1520 附近。由此可知，上述向列液晶的预倾角在直线区域 1520 取较宽范围为 5 度以下，更优选为 2 度以下。

下面，说明具有上述第 1 复合电极 211a 的液晶光束偏转器 101 的驱动方法及集电极产生电位梯度的现象。首先，对第 1 元件光栅 751 的部分予以说明。图 14 表示驱动波形。将第 1 驱动波形 1601 加在信号电极 711 上，将第 2 驱动波形 1603 加在第 2 信号电极 713 上。第 1 驱动波形 1601 和第 2 驱动波形 1603 的频率和相位均相互相等而仅电压不同，第 2 驱动波形 1603 比第 1 驱动波形 1601 的电压更高。另外，在期间  $t_1$  中第 1 驱动波形 1601 为  $+V_1$  (V)，第 2 驱动波形 1603 为  $+V_2$  (V)。此时，共用电极 213 为 0 (V)。以透明导电膜等线性的电阻材料制成的第 1 集电极 701 对所施加的电压予以分压形成线性的电位分布。因此，第 1 活性区域 671 上形成的第 1 元件光栅 751 的多个单个电极具有对各第 1 信号电极 711 和第 2 信号电极 713 所施加的电压进行直线式分压所得到的电位。

此处，单个电极的长度方向上的电位，由于单个电极与向列液晶层 501 的阻抗比较以低电阻材料制成，因而可为基本相同的电位。再有，根据需要在共用电极上施加偏置交流电压的期间也可以另外设置期间 1 和期间 2。

接着,更详细地说明上述第1复合电极211a(图7)的集电极701上的电位梯度和各单个电极的电位的关系。在图14所示的期间 $t_1$ 中,连接第1信号电极711和第2信号电极713的第1集电极701的电位分布如前述的说明是在图15的第1电位分布1801所示的直线状的电位分布。在图14所示的期间 $t_2$ 中,第1集电极701的电位分布为图15的第2电位分布1803。此处,图15的点a与第1信号电极711所连接的单个电极的位置相对应,点b与第2信号电极713所连接的单个电极的位置相对应。在图14所示的驱动波形为50%负载率的矩形波的情况下,则在时间上交替重复图15所示的两个电位分布,即第1电位分布1801和第2电位分布1803。因此,通过维持于0(V)的共用电极213施加在向列液晶层501上的电压无论在哪个单个电极的位置上都成为交变电压而无直流成分施加到向列液晶层501上。另外,向列液晶中可以认为,以有效值表示在第1信号电极711一侧经常施加了有效值为 $V_1$ (V)的电压,而在第2信号电极713上施加了有效值为 $V_2$ (V)的电压,进而由第1集电极701分压的电位施加到各单个电极上。

下面,说明上述集电极所发生的相位分布。图16表示液晶使用BL007(日本·麦尔克—メルク·ジヤパン公司制:商品名),在将预倾角设定为1度时施加在液晶上的电压(V r m s)和相对相位差 $\Delta$ 的关系曲线图。特性曲线1711可以认为在1.5~2(V)附近具有近似于直线的区域1701。可以认为,这是液晶层的厚度 $d$ 为30( $\mu\text{m}$ )、波长 $\lambda$ 为1550( $\mu\text{m}$ )时的情况。此外,相对相位差 $\Delta$ 在有效双折射率为 $\Delta n$ 时定义为

$$\Delta = \Delta n \cdot d / \lambda \quad (6)$$

可以看到,在图16的相对相位差 $\Delta$ 中,近似直线的区域1701在 $\lambda=1550\text{nm}$ 、直线可调制范围1705为波长 $\lambda$ 的2波长以上,即相位为 $4\pi$ 左右。这样,利用预倾角在实现异常光折射率与直线近似的同时,若在由该预倾角决定的范围的近似直线的区域1701内工作的工作电压范围1703之内施加电压,则能在第1复合电极211a的第1活性区域671中实现与各单个电极的位置成比例的相位分布。

下面,用图17说明使用前面所述的驱动方法,用具有上述第1复合

电极 211a 的液晶光束偏转器 101 实现任意的偏转角的具体方法。这时，设元件光栅的间距为  $P_0$ ，则将最大偏转角  $\theta_{\max}$  定义为：

$$\tan \theta_{\max} = \lambda / P_0 \quad (7)$$

此时的  $\theta_{\max}$  的相位调制曲线 2001 时的最大相位调制量为元件光栅的间距  $P_0$  的距离的 1 个波长即为  $2\pi$ 。在上述第 1 复合电极 211a 的情况下，由于第 1、第 2 信号电极的位置预先决定，因而不可能为了改变相位在任意的电极位置只重设  $2\pi$  相位使相位一致。因此，为了在一定位置重设相位，首先为了在无高次光发生的情况下使其偏转小于  $\theta_{\max}$  的角度  $\theta_p$ ，就必须在角度  $\theta_p$  的相位调制曲线 2003 中在  $\lambda-2\lambda$  之间重设相位。这样，为了使用第 1 复合电极 211a 将特定的偏振光成分的光控制在规定的偏转角，必须采用在规定的元件光栅内，对每个相位调制量为  $\lambda-2\lambda$  范围的元件光栅重设相位的驱动方法。

下面，说明具有上述第 1 复合电极 211a 的液晶光束偏转器 101 的其它驱动方法。图 18 是表示对配置在一个元件光栅上的信号电极端子施加电压波形期间图。该驱动方法将一个帧分为期间 1 和期间 2 驱动。具体地，为了防止向列液晶层 501 的劣化，交替地设置期间 1 和期间 2 进行驱动；该期间 1 是将平均值为 0 那样的交变电压驱动信号 2101 施加到第 1 信号电极 711 上，而使第 2 信号电极 713 与共用电极 213 具有等电位即为 0 (V)；该期间 2 对第 2 信号电极 713 施加交变电压驱动信号 2101，而使第 1 信号电极 711 与共用电极 213 具有等电位即为 0 (V)。通过采用这样的驱动方法，可使完成周期 1 和周期 2 的 1 个帧的元件光栅所产生的液晶电位分布为各个期间的有效值之和。期间 1 和期间 2 施加的电压波形可以是任意的，例如可施加电压不同的 2 种波形。另外，经脉冲宽度调制还可以是控制了有效值的波形。再有，还可以根据需要设置与期间 1 和期间 2 不同的、对共用电极施加偏置交流电压的期间。

下面，用图 8 详细说明用于形成闪烁型衍射光栅的复合电极 211 的其它结构。除了先前说明的第 1 复合电极 211a (图 7) 的结构外，第 2 复合电极 211b 采用在第 1 活性区域 671 的外部将集电极配置在多个单个电极组的两端的结构。图 8 中，在第 1 活性区域 671 的外部，中间经单

个电极在与第 1 集电极相对的位置配置第 3 集电极 801，中间经单个电极在与第 2 集电极 703 相对的位置配置第 4 集电极 803。再有，第 3 集电极 801 与由 Mo 及 Ag 合金等低电阻金属材料制成的第 5 信号电极 811 和第 6 信号电极 813 连接，第 4 集电极 803 与第 7 信号电极 815 和第 8 信号电极 817 连接。

这种第 2 复合电极结构的第 1 信号电极 711 和第 5 信号电极 811，第 2 信号电极 713 和第 6 信号电极 813，第 3 信号电极 715 和第 7 信号电极 815 以及第 4 信号电极 717 和第 8 信号电极 817 相互之间在外部短路。此外，使用第 2 复合电极 211b 的液晶光束偏转器的驱动方法可原样采用先前说明的驱动方法。

用于形成图 8 所示的液晶光束偏转器的第 2 复合电极 211b 的结构在单个电极做得细而长的场合等，即在与向液晶层的驱动频率下的阻抗比较、单个电极的阻抗大到不能被忽略不计程度的情况下特别有效。

下面，说明应用在必须高速响应的场合特别有效的另一种结构的第 3 复合电极。图 9 是表示用于实现闪烁型衍射光栅的第 1 活性区域 671 和第 3 复合电极 211c 的关系的平面图。图 9 中，第 3 复合电极 211c 由构成复合电极的 ITO 等的透明导电膜形成的从第 1 个单个电极 621 到第 N 个单个电极 640（为方便计取  $N=20$ ）构成的条状电极形成。

为了在第 1 活性区域 671 实现用于进行光束偏转的闪烁型衍射光栅，必须在第 3 复合电极 211c 的各个单个电极 621—640 上施加一定的电压。施加规定图形电压的施加方式，如图 9 所示，采用分别形成从第 1 个单个电极 621 到第 N 个单个电极 640，以 IC 等驱动电路独立地驱动各单个电极，从而使其在各单个电极上产生台阶式的电位差的方法。

用图 19 说明利用使用了这种第 3 复合电极 211c 的液晶光束偏转器 101 实现任意的偏转角的方法。第 3 复合电极 211c 中，可以利用直接驱动电路独立地对各个单个电极施加任意的电压。因此，可调制量最小可到  $2\pi$ （1 个波长）的情况下，则可实现任意的偏转角。例如，将在第 1 活性区域 671 实现第 1 相位调制波形 1901 的电压施加到各单个电极上时，偏转角  $\theta_1$  的值为：

$$\tan \theta_1 = \lambda / P_1 \quad (8)$$

其中， $\lambda$  表示 1 个波长的相对相位差。另外，将 X 轴方向作为与单个电极垂直的方向。通过采用这样结构，由于在将一定的单个电极捆束在一起的间距  $P_1$  中使相位重设 1 个波长，因而可使衍射效率接近 100%。其次，当将为在第 1 活性区域 671 实现第 2 相位调制波形 1903 的电压施加到各单个电极上时，偏转角  $\theta_2$  的值为：

$$\tan \theta_2 = \lambda / P_2 \quad (9)$$

这样，通过变更重设相位的一定的间距  $P$ ，则可容易地实现任意的偏转角  $\theta$ 。

再有，在使用了第 3 复合电极 211c 的液晶光束偏转器 101 的情况下，其有利的方面在于：例如，不仅可利用图 16 所示的近似直线的区域 1701，而且可利用特性曲线 1711 的整个区域。既减薄了液晶单元的厚度，又实现了高速响应。这是因为，由于在各单个电极上可施加任意的电压，因而通过对施加电压进行加权处理则可将特性曲线 1711 的非线性特性修正为线性。另外，第 1、第 2 复合电极 211a、211b 的结构为了使相位调制量达到  $\lambda$  以上必须加厚液晶层的厚度，但第 3 复合电极 211c 则不同，为重设相位 1 个波长不但不必加厚液晶层的厚度还可以减薄。

最后，用图 20 说明在实际的光纤通信中广泛使用的平行光管间配置了本发明的液晶可变波长过滤装置 130 时的模块结构 320。图 20 表示的是从表示基本结构的图 1 的侧面所见到的样子。

本发明的液晶可变波长滤波装置 130 通过将在第 1 液晶光束偏转器 101 和第 2 液晶光束偏转器 103 之间由电介质多层膜构成的带通滤波器 111 只倾斜一定的角度  $\alpha$ ，并用第 1 楔形棱镜 121 和第 2 楔形棱镜 123 夹持该带通滤波器 111 而构成。第 1 驱动装置 141 与第 1 液晶光束偏转器 101 连接，第 2 驱动装置 143 与第 2 液晶光束偏转器 103 连接。

首先，在图 20 中，考虑将输入光 171 入射到输入端 A。虽然图 20 未明确表示，但输入光 171 为用平行光管将由光纤发出的光变为平行光的光。输入光 171 可认为分成了相对于第 1 偏光分离器 131 成为 P 偏振光的第 1 直线偏振光 104 和相对于第 1 偏光分离器 131 成为 S 偏振光的

第 2 直线偏振光 105。以后，在附图上以垂直的箭头表示相对于第 1 偏光分离器 131 的 P 偏振光，在附图上以黑的圆点表示相对于第 1 偏光分离器 131 的 S 偏振光。

入射到第 1 偏光分离器 131 的第 1 直线偏振光 104 因 P 偏振光而透过第 1 偏光分离器 131。随后，直线偏振光 104 利用第 1 半波长板 181 其方位角旋转  $90^\circ$ ，变换成与相对于第 1 偏光分离器的 S 偏振光在相同方向振动的偏振光。进而，该偏振光通过第 1 液晶光束偏转器 101 的第 1 活性区域 145 而到达带通滤波器 111。在此，对第 1 液晶光束偏转器 101 和第 2 液晶光束偏转器 103 的取向膜的摩擦方向预先进行取向处理使其与入射偏振光平行。随后，在第 1 直线偏振光 104 内，在第 1 液晶光束偏转器 101 中选择入射角透过带通滤波器 111 的成分，在第 2 液晶光束偏转器 103 中偏转为与对带通滤波器 111 的入射偏转角相反的方向。即，偏振光在第 1 液晶光束偏转器 101 中只以  $+\theta$  角偏转时，在第 2 液晶光束偏转器 103 中则只偏转  $-\theta$  角。由第 2 液晶光束偏转器 103 出射的光经第 2 全反射镜 127 成直角转向，进而再经第 2 偏光分离器 133 又一次成直角转向而作为第 4 直线偏振光 113 从输出端 B 出射。

另一方面，入射到输入端 A 的第 2 直线偏振光 105，因是 S 偏振光便经第 1 偏光分离器 131 后成直角转向，入射到第 1 全反射镜 125，再成直角转向保持 S 偏振光的原状通过第 1 液晶光束偏转器 101 的第 2 活性区域 147 而到达带通滤波器 111。在此，对第 1 液晶光束偏转器 101 和第 2 液晶光束偏转器 103 的取向膜的摩擦方向预先进行了取向处理使其与入射偏振光平行。随后，在第 2 直线偏振光 105 内，在第 1 液晶光束偏转器 101 中选择入射角透过带通滤波器 111 的成分，在第 2 液晶光束偏转器 103 中偏转为与对带通滤波器 111 的入射偏转角相反的方向。

即，在第 1 液晶光束偏转器 101 只偏转  $+\theta$  角的情况下，在第 2 液晶光束偏转器 103 中只偏转  $-\theta$  角。由第 2 液晶光束偏转器 103 出射的光利用第 2 半波长板 183 使方位角旋转  $90^\circ$  而转换成相对于第 2 偏光分离器 133 的 P 偏振光并作为第 3 直线偏振光 115 而从输出端 B 出射。

2 个直线偏振光 113 及 115 合成为输出光 173。此外，根据图 20 的

结构,可将直线偏振光 113 及 115 从输入端 A 到输出端 B 的之间的光程做得相同。另外,虽未图示,根据需要输出光 173 可通过平行光管透镜与光纤结合。

这样,通过第 1 活性区域 145 和第 2 活性区域 147 的光与带通滤波器 111 的交叉点在带通滤波器 111 上为不同之点。因此,带通滤波器 111 的反射和透过特性在面内存在波动的可能性。为了消除这种波动,第 1 液晶光束偏转器 101 和第 2 液晶光束偏转器 103 的复合电极,例如最好能如图 10 所示的第 4 复合电极那样分成 2 个区域以利用驱动电路附加独立的控制功能。

图 10 是具有第 1 活性区域 671 和第 2 活性区域 673 的第 4 复合电极 211d 的平面图。为了独立地控制第 1 活性区域 671 和第 2 活性区域 673,这种第 4 复合电极 211d 做成将图 7 所示的第 1 复合电极 211a 配置在 2 个平面内的结构。第 1 活性区域 671 如同上述第 1 复合电极 211a。第 4 复合电极的结构在第 2 活性区域 673 具有第 3 元件光栅 951 和第 4 元件光栅 961。该第 3 元件光栅 951 为了施加驱动波形而具有第 9 信号电极 911 和第 10 信号电极 913,进而第 4 元件光栅 961 具有第 11 信号电极 915 和第 12 信号电极 917。此外,第 4 复合电极 211d 中,为方便说明虽将构成第 1 和第 2 活性区域 671、673 的元件光栅分别定为 2 个进行说明,但也可以根据规格增加元件光栅的数量。如以上的说明,本结构的第 4 复合电极 211d 在要对液晶可变波长滤波装置的输入分开进行控制的情况下是非常有效的结构。

液晶光束偏转器和带通滤波器的组合也不限于如上所述将带通滤波器配置成夹持在 2 个液晶光束偏转器之间的结构而可以采用其它的结构。

图 21 是用于说明在本发明的液晶可变波长滤波装置中液晶光束偏转器和带通滤波器的组合的图。

图 21 (a) 所示的结构例子如以上说明,是将带通滤波器 111 配置成夹持在 2 个液晶光束偏转器 101、103 之间,并使带通滤波器 111 相对于 2 个液晶光束偏转器 101、103 倾斜一定角度配置的结构。通过采用这种

结构，从而可将液晶可变波长滤波装置的入射光和出射光做成平行，可将由光纤和平行光管构成的微小光学系统的光结合系数最大限度地保持，而将结合损失抑制到最小，从而可将单模光纤用作出射光用的光学系统。

图 21 (b) 所示的结构例子，是在图 21 (a) 的结构例子中，将带通滤波器 111 相对 2 个液晶光束偏转器 101、103 平行地配置的结构。在该结构中，也可分别调整液晶光束偏转器 101、103 的偏转角，将对液晶可变波长滤波装置的入射光和出射光做成平行。

图 21 (c)、(d) 所示结构的例子是将 1 个液晶光束偏转器 101 和 1 个带通滤波器 111 组合，是将带通滤波器配置在液晶光束偏转器 101 的出射一侧的结构。图 21 (c) 的结构例子是液晶光束偏转器 101 和带通滤波器 111 平行配置的结构；图 21 (d) 的结构例子是使带通滤波器 111 与液晶光束偏转器 101 倾斜配置的结构。

图 21 (c)、(d) 所示的结构例子中，出射光虽不与入射光平行，但通过采用多模光纤作为光学系统仍可利用该出射光。

另外，图 21 (e) 所示的结构例子是多个液晶光束偏转器 101 和 1 个带通滤波器 111 的组合。图中表示的是 2 个液晶光束偏转器 101 的例子。多个液晶光束偏转器 101 重叠并将带通滤波器 111 配置在其出射一侧。若多个液晶光束偏转器 101 重叠，并使 2 个液晶光束偏转器的取向方向相同，则可加大偏转角。另外，若将此处所示的 2 个液晶光束偏转器 101 的取向方向垂直，则可做成与入射光的偏振光无关。

上面，对将入射到液晶光束偏转器的特定的偏振光成分的光作为直线偏振光成分以提高该成分的光的利用效率的情况进行了说明，但很显然，即使是其它成分的光也能使用本发明的结构。

如以上的说明所表明的，本发明的液晶可变波长滤波装置可具有在某一透射频带相近的阻带的高隔离特性和平坦的透射频带特性，在这一透射频带使用现有的液晶的可变波长滤波器（可调滤波器）是不能实现这些特性的。

另外，本发明的液晶可变波长滤波装置可将具有满足规格要求的理



想特性的任意的滤波器用于实现透射及反射特性,而且能以简单的结构实现驱动也能简单地控制的适合于光纤通信的可变波长滤波装置。

另外,将对本发明的液晶可变波长滤波装置的入射直线偏振光和出射直线偏振光保持平行能有效地将对入射光和出射光由光纤和平行光管构成的微小光学系统的光结合系数保持尽可能地大,而将结合损耗抑制到最小。

此外,本发明的范围不受在此叙述的具体装置的限定,本发明的液晶可变波长滤波装置也可应用于自由空间光通信及其它光信号处理系统。

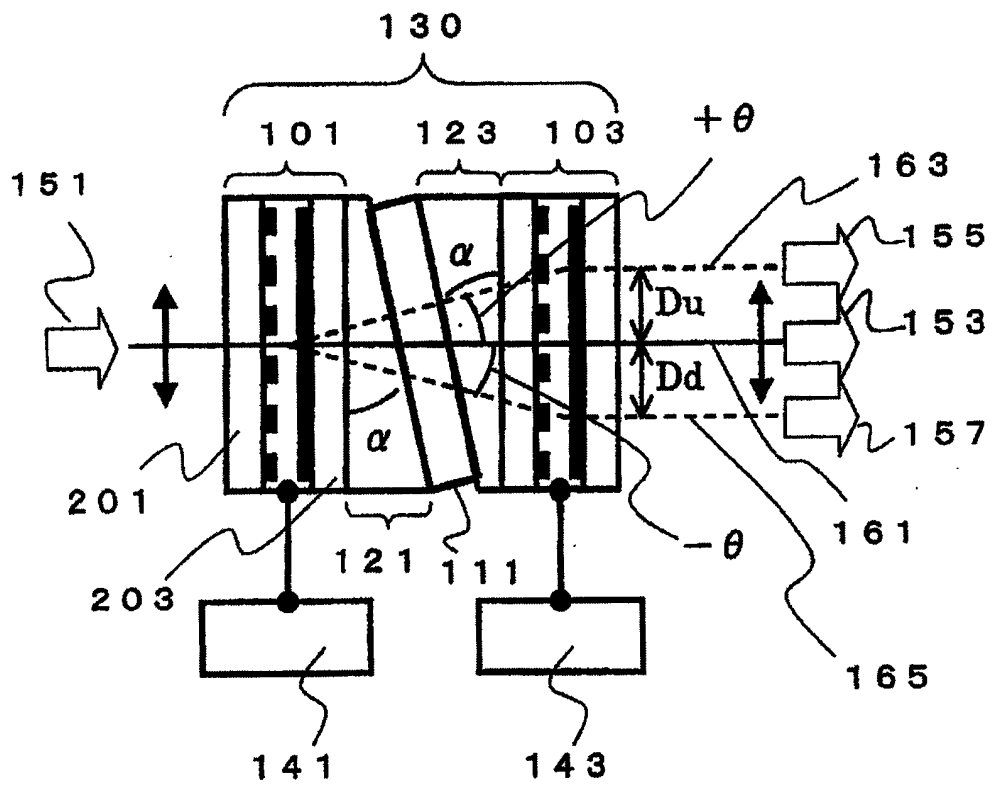


图1

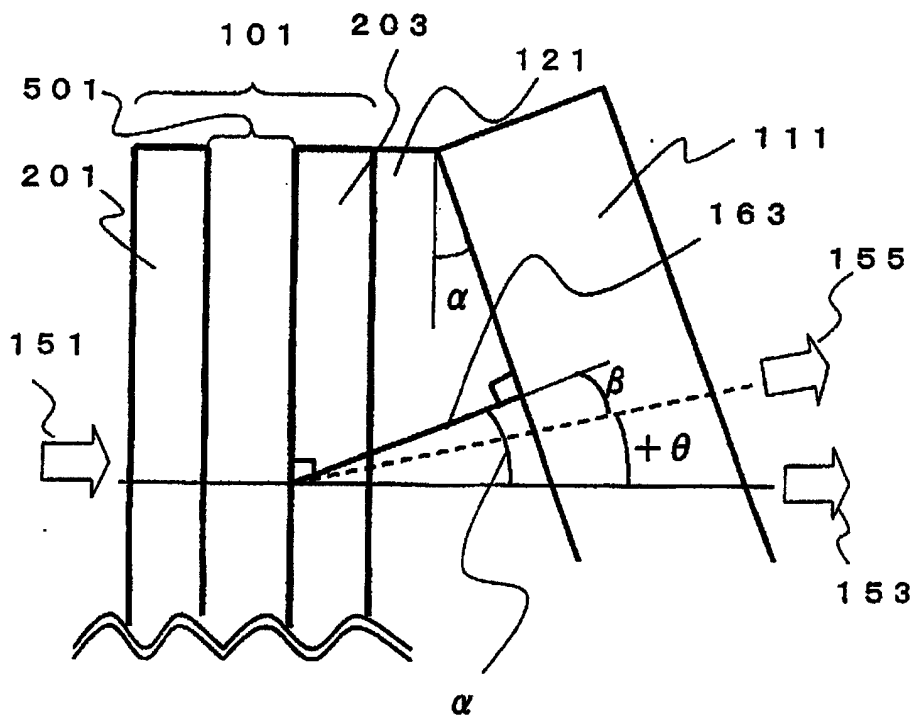


图2

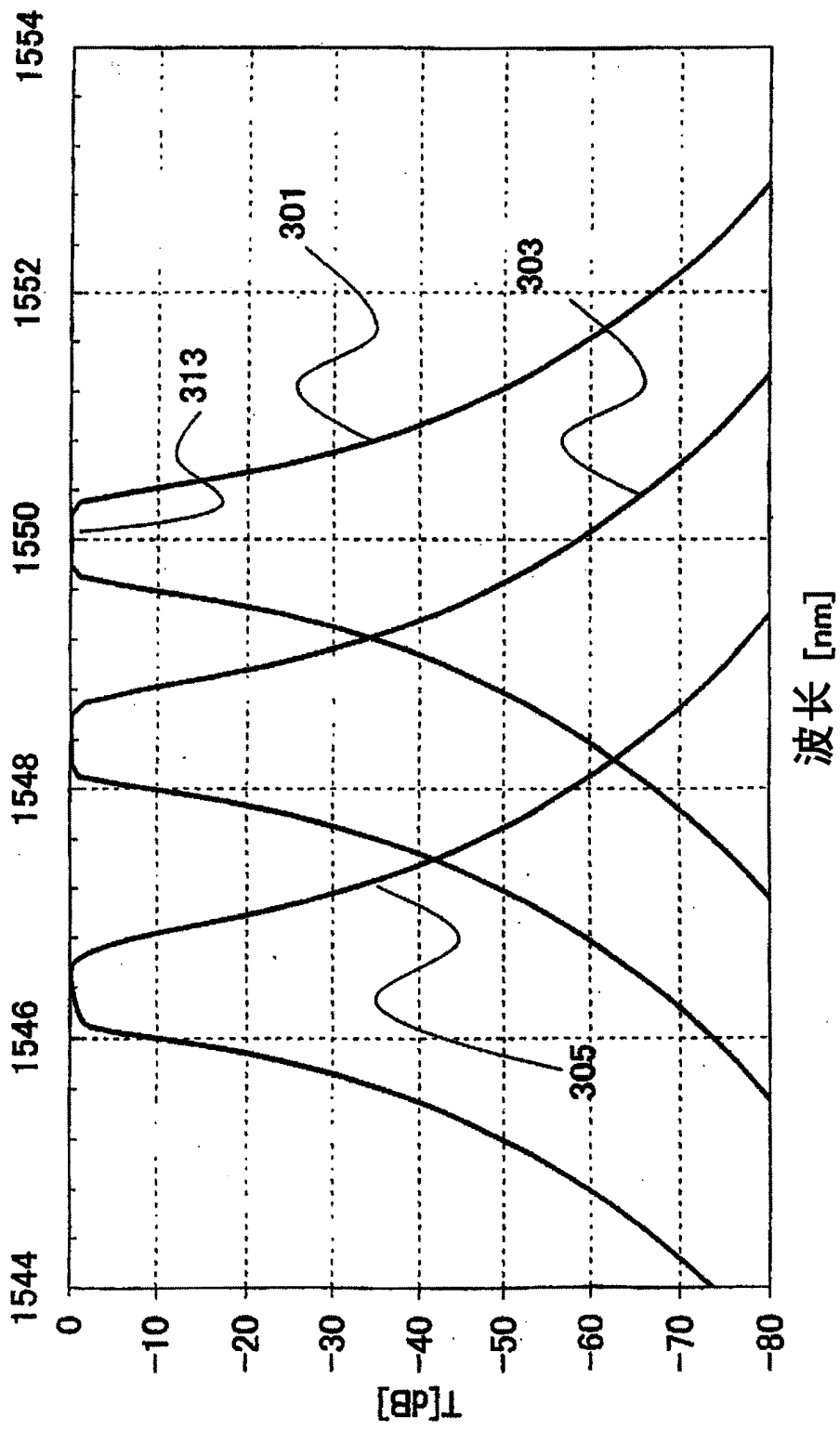


图3

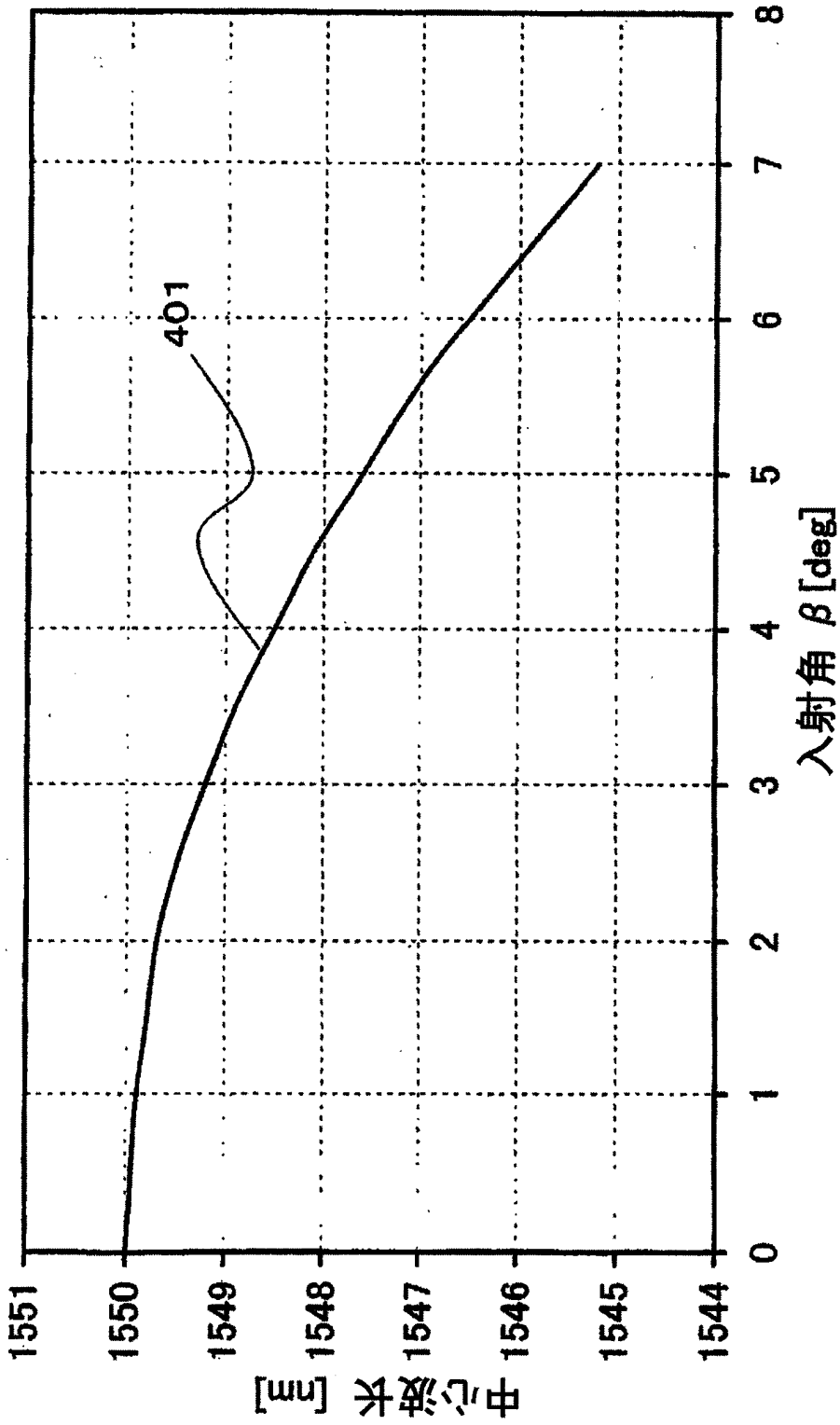


图4

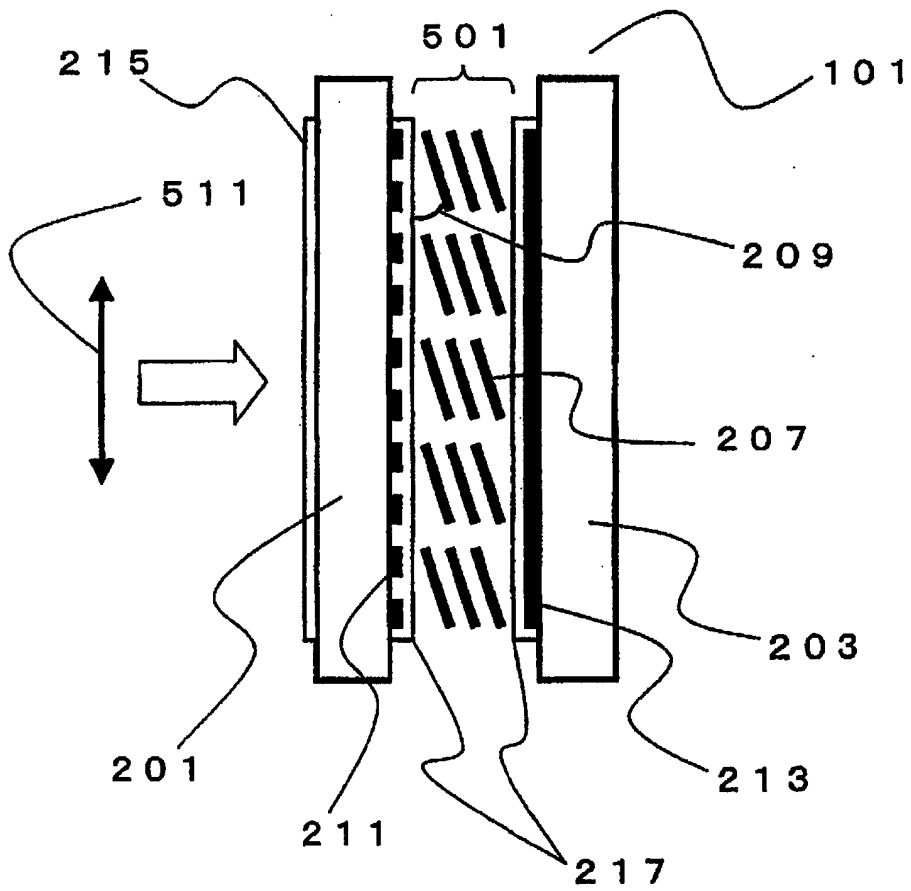


图5

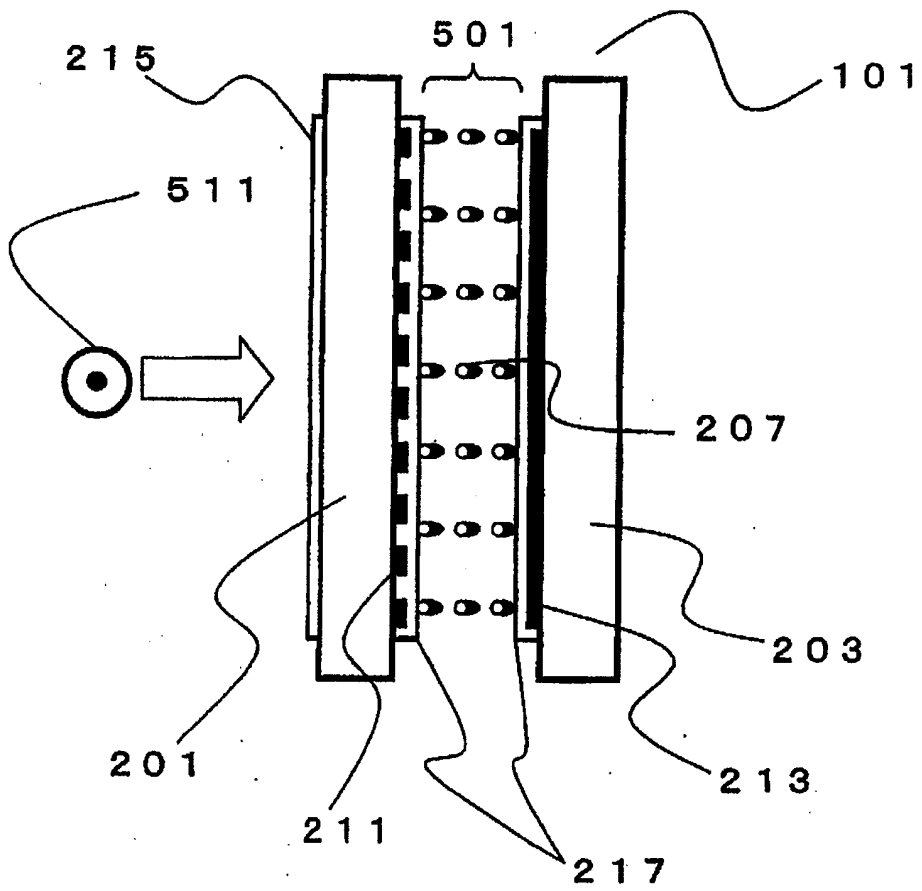


图6

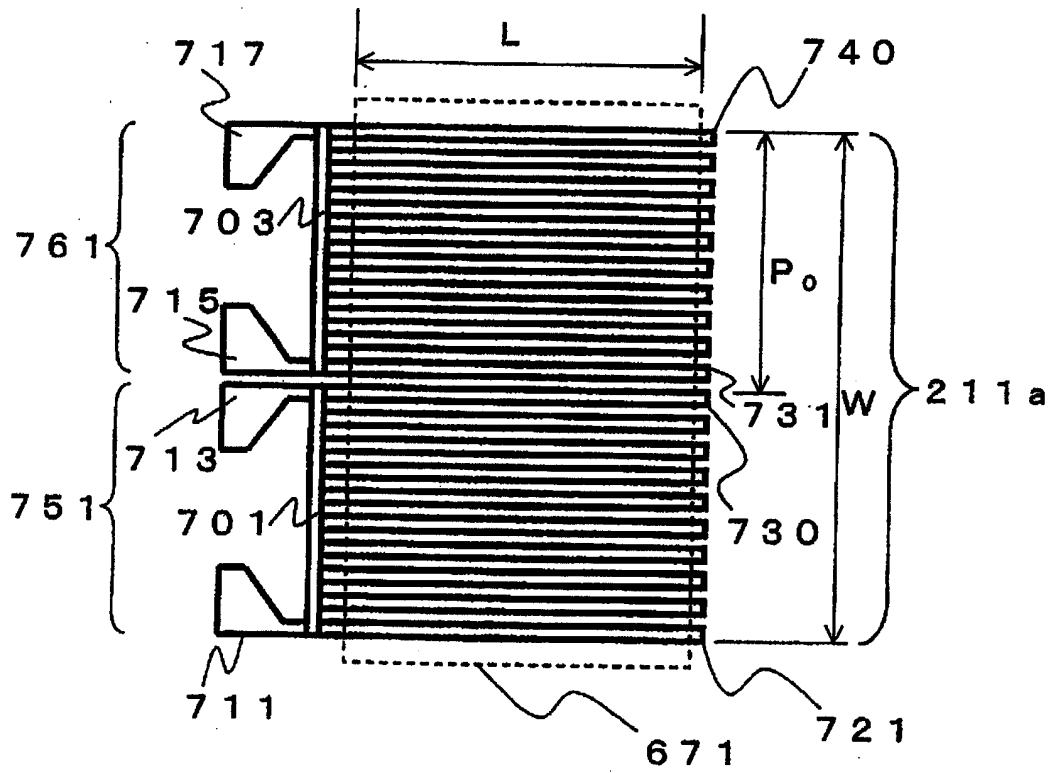


图7



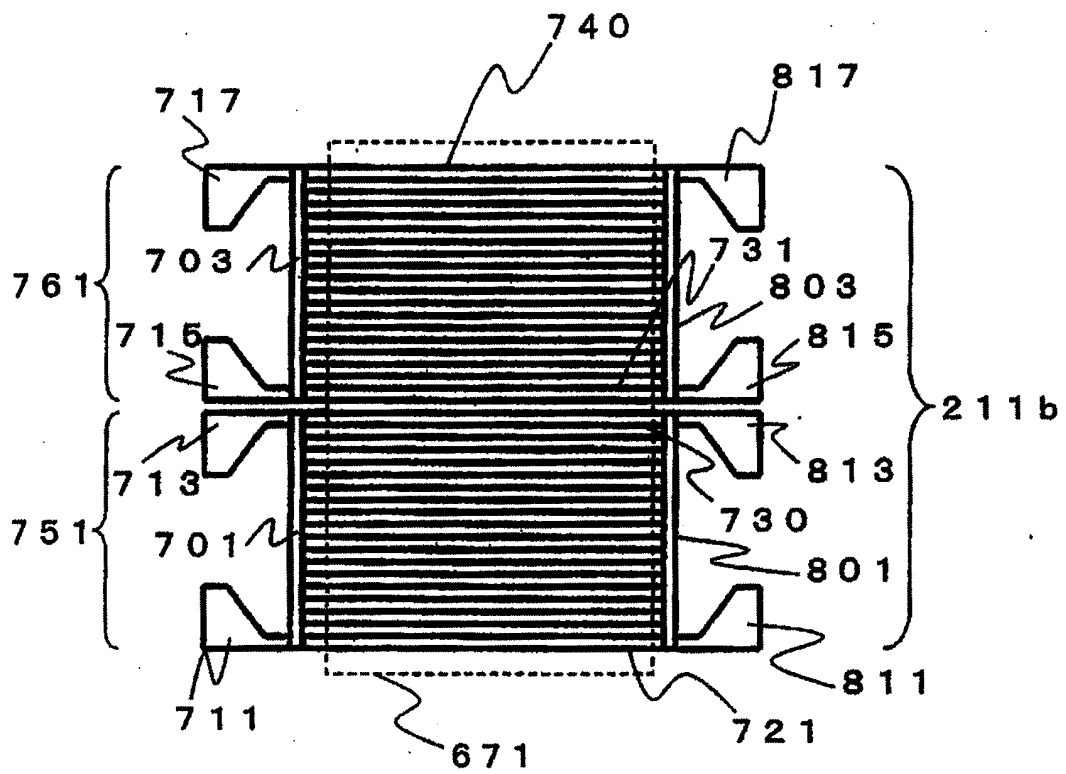


图8

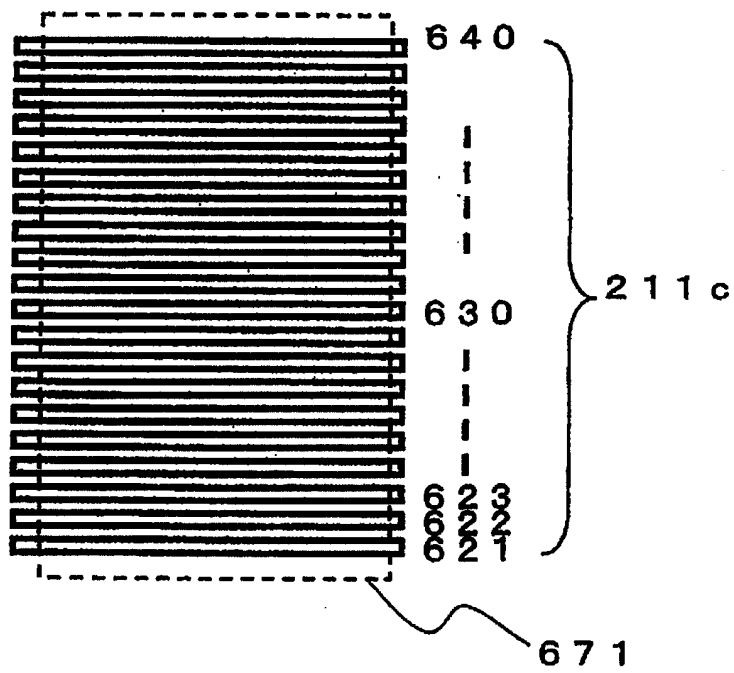


图9

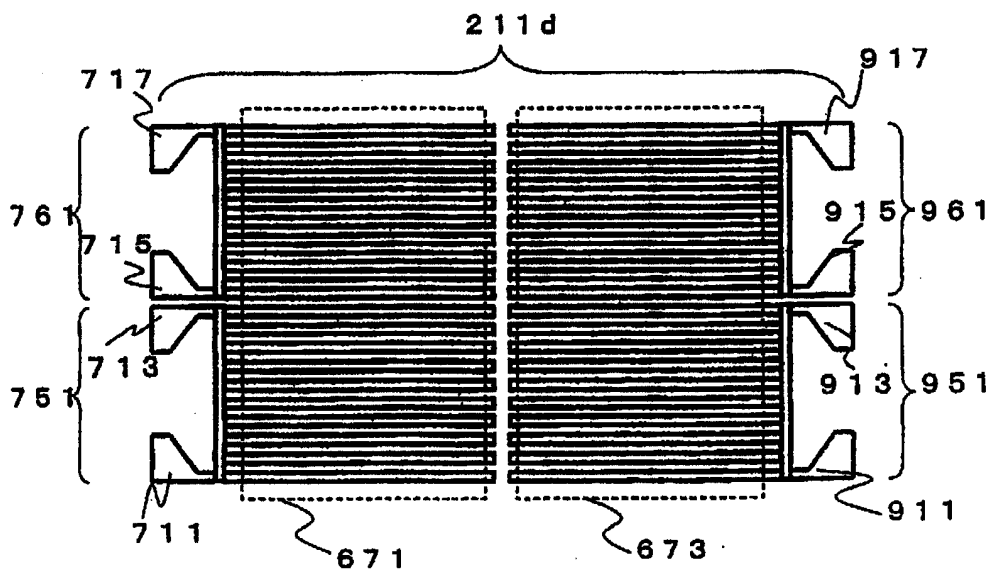


图10

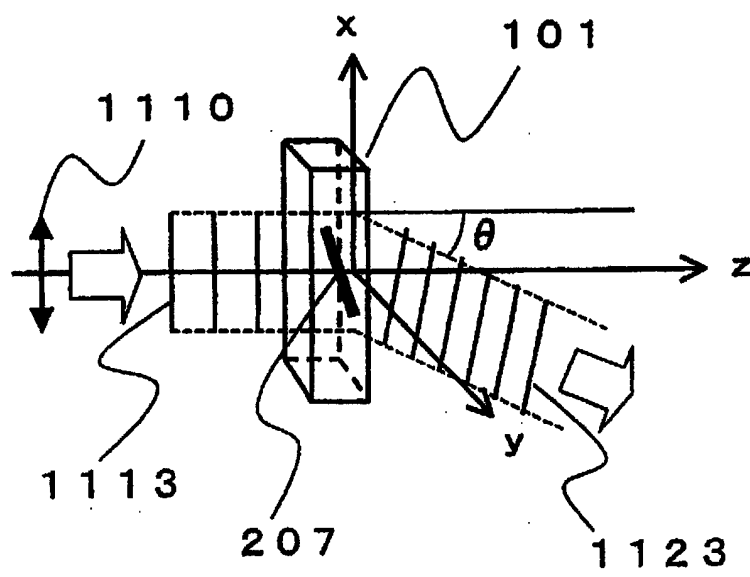


图11

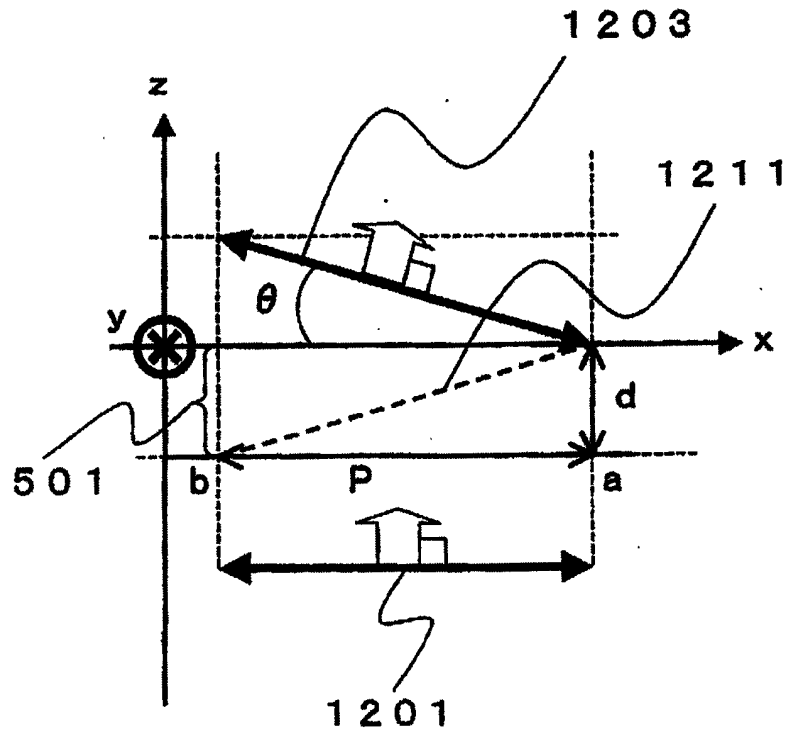


图12

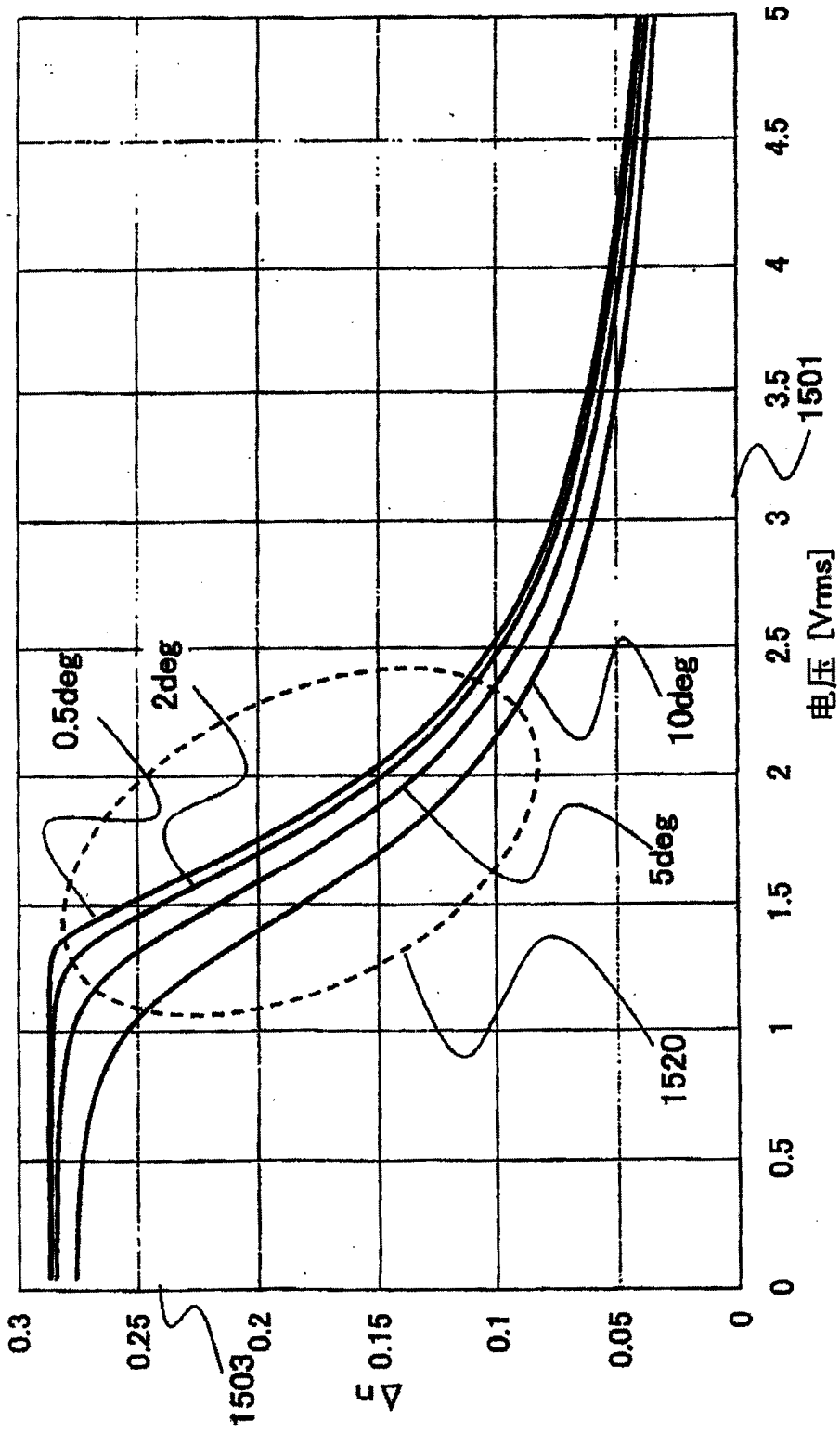


图13

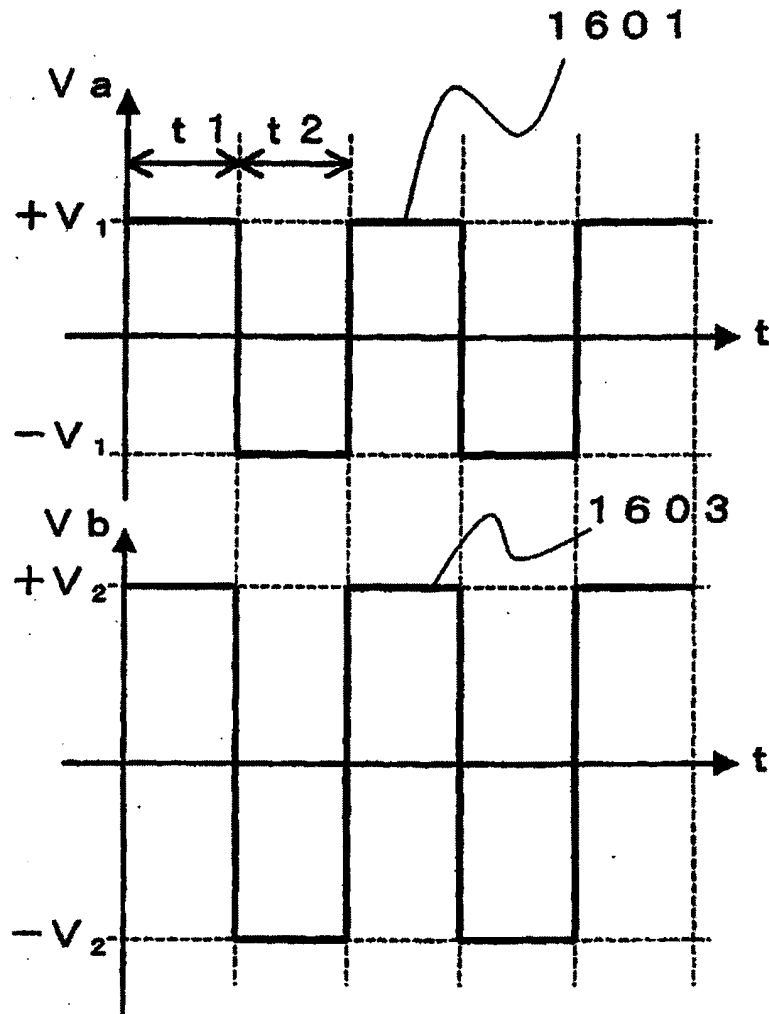


图14

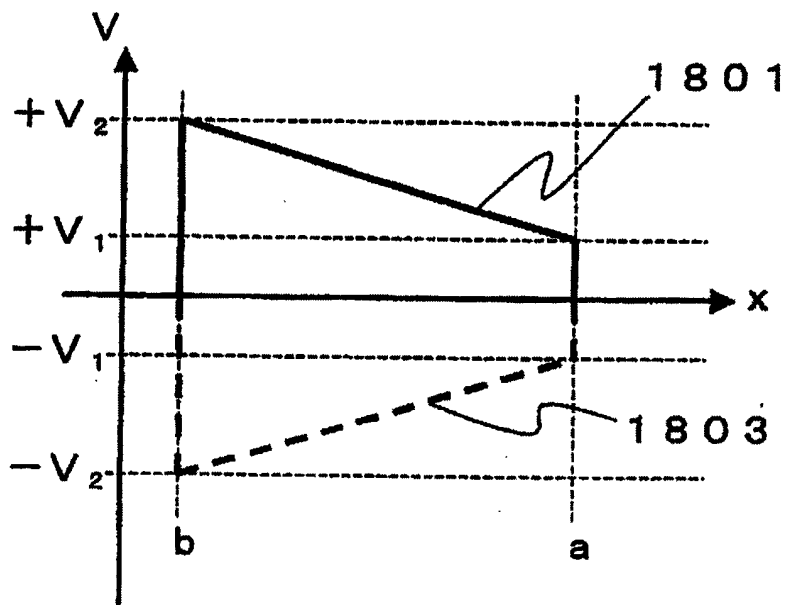


图15





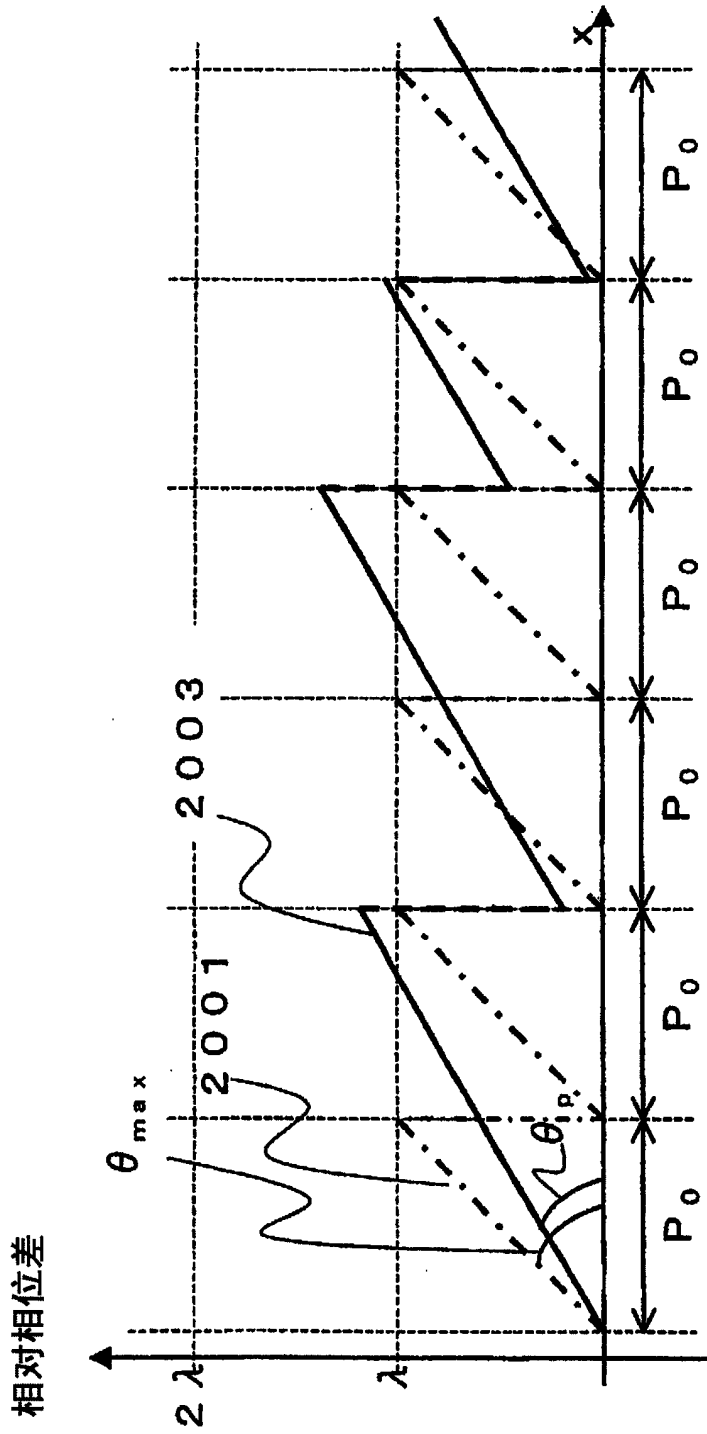


图17

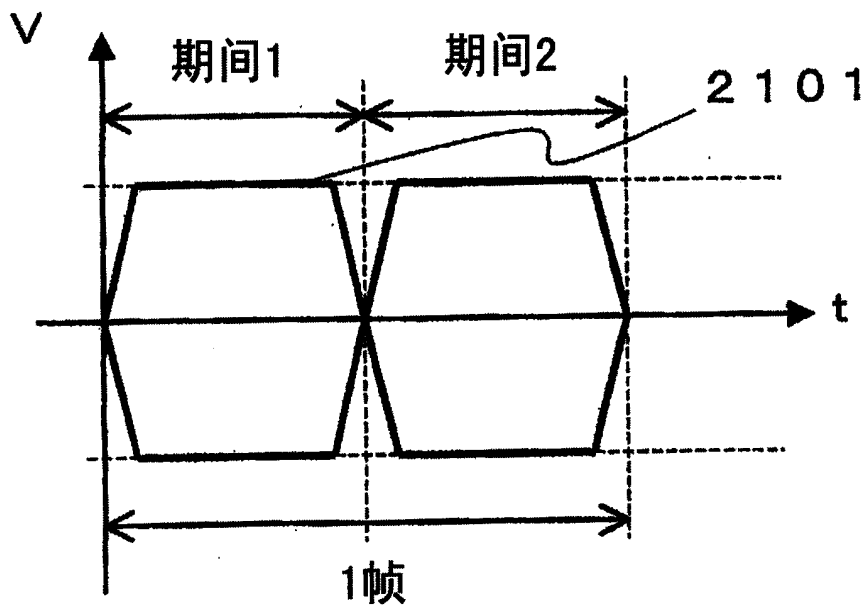


图18

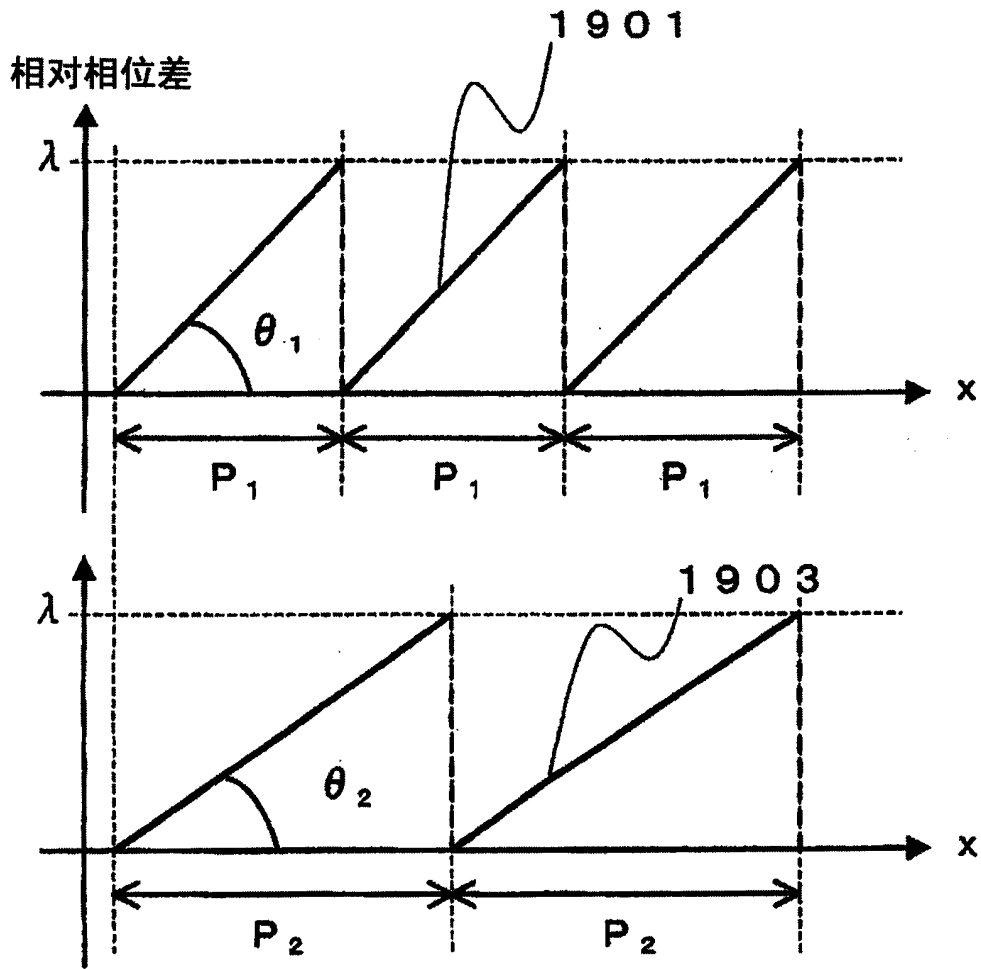
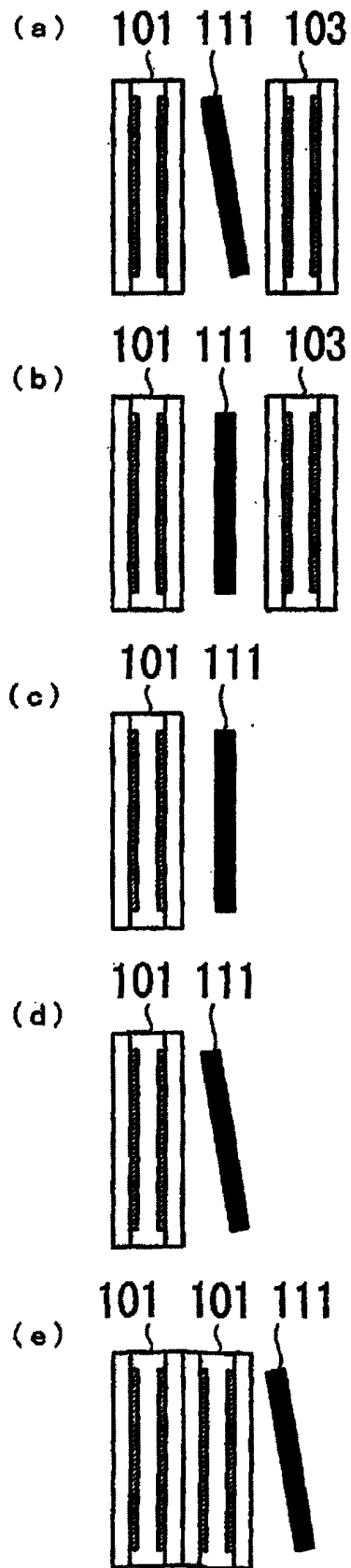


图19



图21



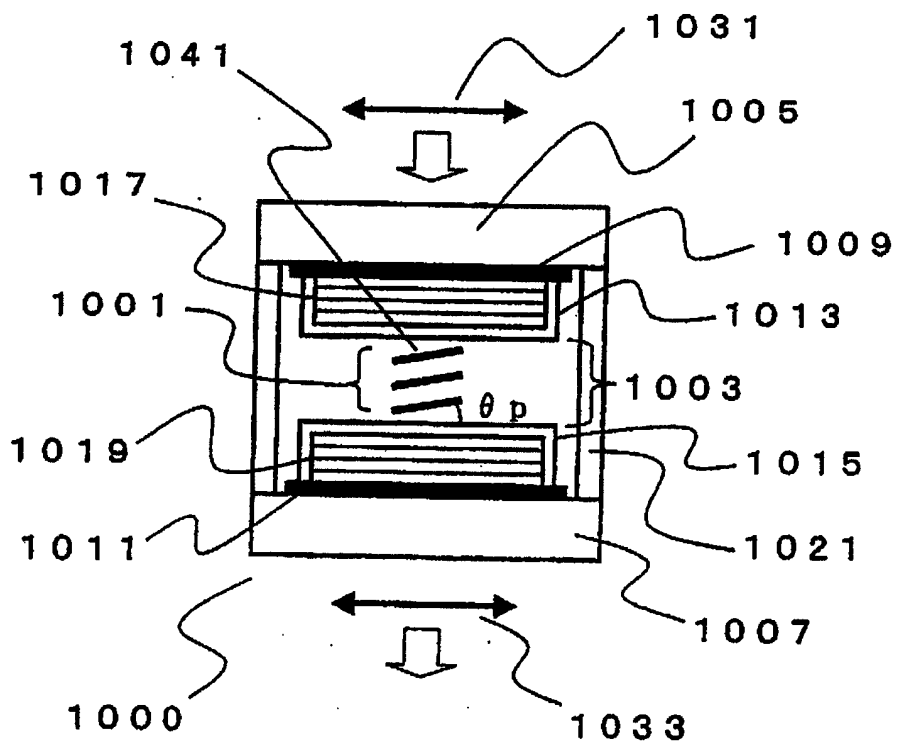
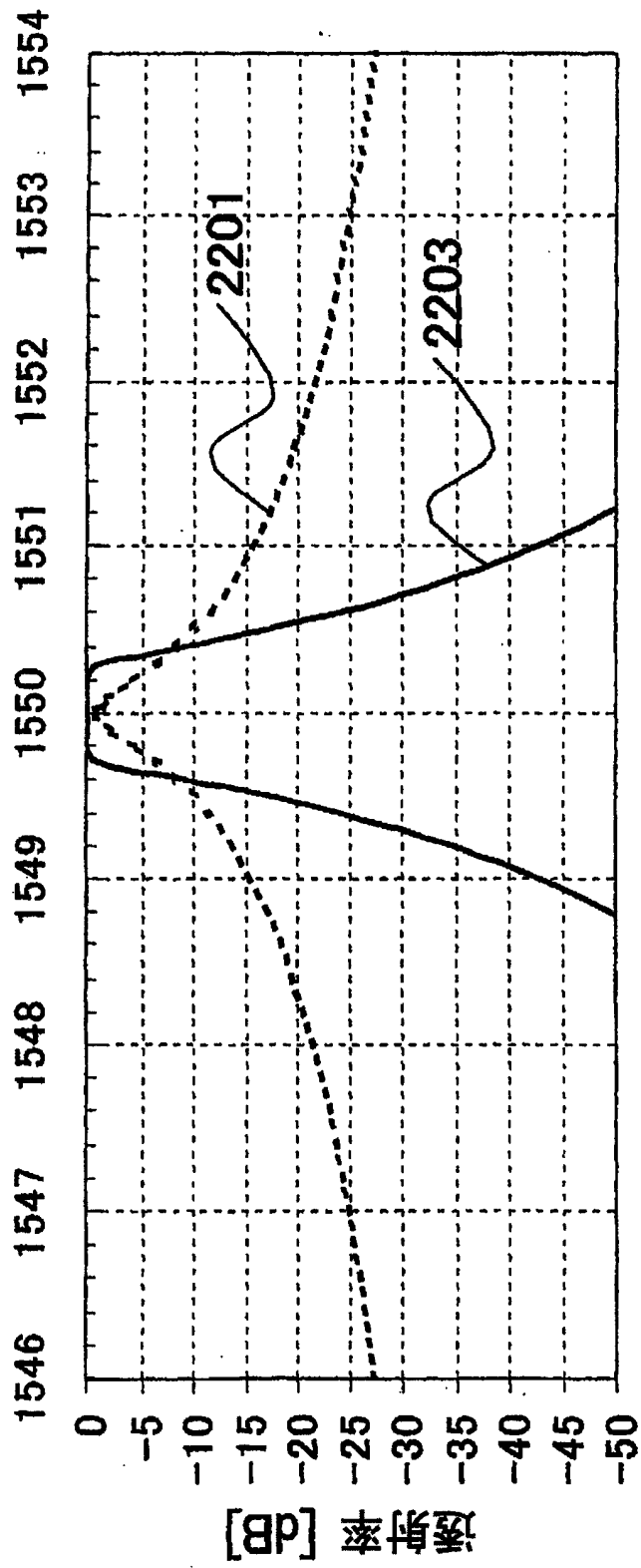


图22



波长 [nm]

图23