



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119817002 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 11

(21) 申请号 202380063573.6

(22) 申请日 2023.09.27

(30) 优先权数据

2022-153479 2022.09.27 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.03.04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/035121 2023.09.27

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/071184 JA 2024.04.04

(71) 申请人 富士胶片株式会社

地址 日本

(72) 发明人 星野涉 齐藤之人 安田英纪

大谷健人

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 周欣

(51) Int.Cl.

H01Q 15/14 (2006.01)

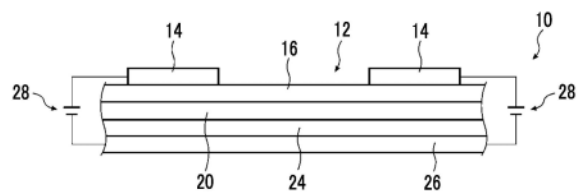
权利要求书1页 说明书17页 附图14页

(54) 发明名称

电磁波控制用元件

(57) 摘要

本发明的课题在于,提供一种能够在短时间内切换频率0.1~0.3THz的电磁波的行进方向的电磁波控制用元件。本发明通过依次具有:液晶层,液晶化合物的取向状态根据电压而发生变化;及超表面结构体,排列多个微细结构体而成,且液晶层包含偶氮化合物,从而解决课题。



1. 一种电磁波控制用元件,其具有:  
第1电极;  
液晶层,液晶化合物的取向状态根据电压而发生变化;及  
超表面结构体,排列多个微细结构体而成,  
所述电磁波控制用元件作用于频率0.1~0.3THz的电磁波,并且所述液晶层包含偶氮化合物。
2. 根据权利要求1所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述偶氮化合物具有2个以上的偶氮结构。
3. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述液晶层包含具有偶氮结构的液晶化合物。
4. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,所述电磁波控制用元件还具有  
第2电极,所述第2电极与所述第1电极构成电极对。
5. 根据权利要求4所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述第1电极及所述第2电极中的至少一者为所述微细结构体。
6. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述微细结构体与所述第1电极构成电极对。
7. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述第1电极反射频率0.1~0.3THz的电磁波。
8. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述第1电极为图案电极。
9. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述微细结构体包含金属。
10. 根据权利要求1或2所述的电磁波控制用元件,其中,  
所述微细结构体包含氧化物半导体。

## 电磁波控制用元件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用超表面结构体的电磁波控制用元件。

### 背景技术

[0002] 高容量无线通信所需的高频率电波(毫米波、太赫兹波)的直进性高。因此,例如,为了将电波传送到室内的整个区域,需要安装于墙壁等上并使电波向任意方向弯曲的反射板。

[0003] 然而,通常的反射板为正反射,入射角和出射角相等,因此例如存在电波难以到达房间的深处等问题。

[0004] 相对于此,也提出了使用液晶等动态元件使电磁波向与正反射不同的方向弯曲而反射的装置。

[0005] 例如,在非专利文献1中,如图29中概念性地所示,记载了由超表面结构体100和电极层102夹持液晶层104而成的电磁波控制用元件(光束转向元件)。

[0006] 在图29所示的电磁波控制用元件中,超表面结构体100与公知的超表面结构体同样地,排列成为谐振器的微细结构体100a而成。

[0007] 在该电磁波控制用元件中,构成超表面结构体100的微细结构体100a的每一个不仅作为反射体发挥作用,还作为电极发挥作用。即,微细结构体100a与电极层102构成电极对。

[0008] 并且,电极层102还作为所入射的电磁波的反射层而发挥作用。

[0009] 作为一例,液晶层104为使液晶化合物LC取向而成的层。在图29所示的例子中,作为一例,液晶化合物LC为棒状液晶化合物。

[0010] 在该电磁波控制用元件中,在微细结构体100a与电极层102之间未施加电压的状态下,液晶化合物LC的长度方向即光学轴的方向与厚度方向一致地取向。

[0011] 若从该状态对微细结构体100a与电极层102之间施加电压,则根据所施加的电压的大小,液晶化合物LC的取向状态发生变化。

[0012] 在图示例中,作为一例,根据施加于微细结构体100a与电极层102之间的电压的大小,液晶化合物LC相对于厚度方向倾斜。

[0013] 在图29中,作为一例,对图中左侧的微细结构体100a施加高电压,对图中右侧的微细结构体100a施加低电压。其结果,位于图中左侧的微细结构体100a的区域的液晶化合物LC大幅倾斜,成为长度方向靠近液晶层104的主表面的角度。另一方面,位于图中右侧的微细结构体100a的区域的液晶化合物LC的倾斜小,成为长度方向靠近液晶层104的厚度方向的角度。

[0014] 液晶化合物LC的倾斜越大,即越是液晶化合物LC的长度方向靠近液晶层104的表面的角度,液晶层104的折射率越大。与此相反,液晶化合物LC的倾斜越小,即越是液晶化合物LC的长度方向靠近液晶层104的厚度方向的角度,液晶层104的折射率越小。

[0015] 因此,在该状态下,液晶层104的折射率在液晶化合物LC的倾斜大的图中左侧的微

细结构体100a的区域中大,且在液晶化合物LC的倾斜小的图中右侧的微细结构体100a的区域中小。

[0016] 因此,在折射率大的图中左侧的微细结构体100a的区域中,与折射率小的图中右侧的微细结构体100a的区域相比,所入射的电磁波的相位变化更大。

[0017] 由此,在图中左侧的微细结构体100a的区域中,与图中右侧的微细结构体100a的区域相比,从表观上看,电磁波的光路变长。

[0018] 因此,在电磁波从液晶层104的法线方向入射的情况下,即使是同时入射的电磁波,入射到光路长度长的图中左侧的微细结构体100a的区域的电磁波也比入射到光路长度短的图中右侧的微细结构体100a的区域的电磁波更慢地从反射装置射出。

[0019] 其结果,从法线方向入射到该反射装置而反射的电磁波以使波面对齐的方式向图中左侧倾斜而反射,而不是向法线方向镜面反射。

[0020] 以往技术文献

[0021] 非专利文献

[0022] 非专利文献1:Jingbo Wu et al.,Liquid crystal programmable metas urface for terahertz beam steering,Applied Physics Letters,116,131104(2020)

## 发明内容

[0023] 发明要解决的技术课题

[0024] 在图29所示的电磁波控制用元件中,通过在构成超表面结构体100的微细结构体100a与电极层102之间施加电压,使液晶化合物LC的取向状态发生变化。并且,取向状态的变化根据施加于微细结构体100a的电压而不同。

[0025] 因此,通过控制施加于各微细结构体100a的电压,能够将所入射的电磁波向所期望的方向反射。

[0026] 即,使用超表面结构体和液晶层的电磁波控制用元件通过变更施加于各微细结构体100a的电压,能够切换所入射的电磁波的反射角度。

[0027] 然而,使用以往的超表面结构体和液晶层的电磁波控制用元件在电磁波的反射方向的切换上花费时间。因此,例如,在需要通过切换反射角度将电磁波传送到多个位置等的情况下,存在无法以充分的速度切换反射方向的问题。

[0028] 本发明的目的在于,解决这种现有技术的问题点,并且提供一种电磁波控制用元件,该电磁波控制用元件使用超表面结构体及液晶层来控制电磁波的行进方向,并且能够在短时间内切换频率0.1~0.3THz的电磁波的行进方向。

[0029] 用于解决技术课题的手段

[0030] 为了解决该课题,本发明具有以下结构。

[0031] [1]一种电磁波控制用元件,其具有:

[0032] 第1电极;

[0033] 液晶层,液晶化合物的取向状态根据电压而发生变化;及

[0034] 超表面结构体,排列多个微细结构体而成,

[0035] 所述电磁波控制用元件作用于频率0.1~0.3THz的电磁波,并且液晶层包含偶氮化合物。

- [0036] [2]根据[1]所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0037] 偶氮化合物具有2个以上的偶氮结构。
- [0038] [3]根据[1]或[2]所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0039] 液晶层包含具有偶氮结构的液晶化合物。
- [0040] [4]根据[1]至[3]中任一项所述的电磁波控制用元件,其还具有第2电极,该第2电极与第1电极构成电极对。
- [0041] [5]根据[4]所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0042] 第1电极及第2电极中的至少一者为微细结构体。
- [0043] [6]根据[1]至[5]中任一项所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0044] 微细结构体与第1电极构成电极对。
- [0045] [7]根据[1]至[6]中任一项所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0046] 第1电极反射频率为0.1~0.3THz的电磁波。
- [0047] [8]根据[1]至[7]中任一项所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0048] 第1电极为图案电极。
- [0049] [9]根据[1]至[8]中任一项所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0050] 微细结构体包含金属。
- [0051] [10]根据[1]至[9]中任一项所述的电磁波控制用元件,其中,
- [0052] 微细结构体包含氧化物半导体。
- [0053] 发明效果
- [0054] 根据本发明的电磁波控制用元件,能够在短时间内切换频率0.1~0.3THz的电磁波的行进方向。

#### 附图说明

- [0055] 图1是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的一例的图。
- [0056] 图2是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件中的液晶取向图案的一例的图。
- [0057] 图3是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0058] 图4是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0059] 图5是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0060] 图6是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0061] 图7是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0062] 图8是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0063] 图9是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0064] 图10是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0065] 图11是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0066] 图12是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0067] 图13是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0068] 图14是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0069] 图15是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0070] 图16是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。

- [0071] 图17是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0072] 图18是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0073] 图19是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0074] 图20是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0075] 图21是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件中的液晶取向图案的另一例的图。
- [0076] 图22是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件中的液晶取向图案的另一例的图。
- [0077] 图23是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件中的液晶取向图案的另一例的图。
- [0078] 图24是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件中的液晶取向图案的另一例的图。
- [0079] 图25是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件中的液晶取向图案的另一例的图。
- [0080] 图26是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。
- [0081] 图27是图26所示的电磁波控制用元件的概略立体图。
- [0082] 图28是用于说明本发明的实施例的概念图。
- [0083] 图29是概念性地示出以往的电磁波控制用元件的一例的图。

### 具体实施方式

- [0084] 以下,基于附图所示的优选实施例,对本发明的电磁波控制用元件进行详细说明。
- [0085] 在本说明书中,使用“~”来表示的数值范围是指将“~”的前后所记载的数值作为下限值及上限值而包含的范围。
- [0086] 在本说明书中,“相同”包括技术领域通常允许的误差范围。
- [0087] 以下所示的图均为用于说明本发明的电磁波控制用元件的概念性图。因此,各部件的形状、大小、厚度及位置关系等不一定与实际一致。
- [0088] 图1中概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的一例。
- [0089] 本发明的电磁波控制用元件10是利用反射型超表面结构体及液晶层,将电磁波的行进方向作为目标方向的反射型电磁波控制用元件。
- [0090] 本发明的电磁波控制用元件将频率 $0.1 \sim 0.3\text{THz}$ 的电磁波向所期望的方向反射。即,本发明的电磁波控制用元件将波长 $1 \sim 3\text{mm}$ 的电磁波向所期望的方向反射。
- [0091] 如图1所示,本发明的电磁波控制用元件10从图中下方依次具有第1电极层26、液晶层20及超表面结构体12。
- [0092] 超表面结构体12通过在支撑体16上二维排列成为谐振器的微细结构体14而成。并且,液晶层20设置于支撑体24。
- [0093] 而且,第1电极层26设置成覆盖支撑体24的与液晶层20相反的一侧的整个面。
- [0094] 另外,在电磁波控制用元件10中,根据需要使使用胶黏剂(粘合剂、粘接剂)将第1电极层26与支撑体24、以及液晶层20与支撑体16(超表面结构体12)胶黏。
- [0095] 胶黏方法没有限制,能够利用各种能够使电磁波控制用元件10作为对象的电磁波

透射的公知的方法,例如使用能够使电磁波控制用元件10作为对象的电磁波透射的OCA (Optical Clear Adhesive:光学透明胶粘剂)的方法等。

[0096] 作为一例,图1所示的电磁波控制用元件10中,微细结构体14由导电性材料形成,并且兼作与第1电极层26构成电极对的电极。并且,在各个微细结构体14上连接有用于在微细结构体14与第1电极层26之间施加电压的电源28。

[0097] 在本发明的电磁波控制用元件10中,液晶层20为通过施加电压而使液晶化合物的取向状态发生变化的层。

[0098] 因此,通过对各微细结构体14供给电力,对微细结构体14与第1电极层26之间的液晶层20施加电压,液晶化合物LC的取向状态发生变化。并且,通过调节供给到各个微细结构体14的电力,能够调节施加于液晶层20的与微细结构体14对应的区域的电压,从而调节微细结构体14与第1电极层26之间的液晶化合物LC的取向状态。

[0099] 作为一例,液晶层20在未被施加电压的状态下,如图2的上段中概念性地所示,液晶化合物LC在液晶层20的厚度方向上取向。在以下说明中,将该取向状态也称为“垂直取向”。

[0100] 若对微细结构体14供给电力并对液晶层20施加电压,则如图2的下段中概念性地所示,与微细结构体14对应的区域的液晶化合物LC根据所施加的电压的强度,取向状态发生变化,并相对于液晶层20的厚度方向倾斜。在图2所示的例子中,液晶化合物LC最大程度地在与液晶层20的主表面平行的方向上取向。在以下说明中,将该取向状态也称为“水平取向”。

[0101] 另外,在图2中,为了简化附图,仅示出液晶层20、成为电极的微细结构体及第1电极层26。

[0102] 另外,厚度方向即为第1电极层26、支撑体24、液晶层20及支撑体16的层叠方向。

[0103] 并且,主表面是片状物(膜、板状物、层)的最大面,通常是片状物的厚度方向的两面。

[0104] 而且,法线方向是指与主表面等面正交的方向。

[0105] 如上所述,图1所示的电磁波控制用元件10利用反射型超表面结构体,第1电极层26兼作电磁波的反射层。

[0106] 若电磁波入射到具有这种结构的本发明的电磁波控制用元件10,则电磁波在透射超表面结构体12时通过微细结构体14(晶胞)的共振而被调制相位,进而通过透射液晶层20而被调制相位。

[0107] 电磁波接着被兼作反射层的第1电极层26反射。

[0108] 被第1电极层26反射的电磁波通过再次透射液晶层20而被调制相位,进而被超表面结构体12调制相位,从而作为反射电磁波从电磁波控制用元件10射出。

[0109] 在此,如上所述,液晶层20中的液晶化合物LC的取向状态即折射率根据施加于各微细结构体14的电压而不同。

[0110] 液晶层20的折射率在液晶化合物LC垂直取向的状态下最小,随着液晶化合物LC相对于厚度方向的倾斜变大而变大,在水平取向的状态下最大。

[0111] 在未对液晶层20施加电压的状态下,液晶层20中的液晶化合物LC垂直取向。若对液晶层20施加电压,则与微细结构体14对应的区域的液晶化合物LC相对于厚度方向倾斜地

取向。

[0112] 在电磁波控制用元件10中,对液晶层20施加的电压越大,液晶化合物LC越接近水平取向,该区域中的液晶层20的折射率变得越大。即,在液晶层20中,能够根据施加于微细结构体14的电压来改变与微细结构体14对应的区域的折射率即对所透射的电磁波赋予的相位差。

[0113] 因此,在本发明的电磁波控制用元件10中,通过调节供给到各微细结构体14的电力来调节施加于对应的区域的电压,能够在液晶层20的面方向上生成折射率不同的区域。

[0114] 其结果,与图29中例示说明的非专利文献1的电磁波控制用元件(光束转向元件)同样地,能够使所入射的电磁波向与镜面反射不同的方向反射。例如,在电磁波从液晶层20的法线方向入射的情况下,将电磁波向相对于法线方向倾斜的方向反射,而不是向法线方向反射。

[0115] 并且,通过变更供给到各微细结构体14的电力来变更施加于液晶层20的电压,能够变更面方向的各位置处的折射率来切换所入射的电磁波的反射方向。

[0116] 而且,通过调节施加于液晶层20的电压,可以使反射的电磁波聚集或扩散,进而还可以切换反射的电磁波的焦点及扩散的程度。

[0117] 与公知的超表面结构体同样地,超表面结构体12通过在支撑体16上二维排列作为微细结构体的微细结构体14而成。

[0118] 在图示例的超表面结构体12中,微细结构体14在相互正交的x方向及y方向上以等间隔二维排列。并且,在该超表面结构体12中,微细结构体14均相同。

[0119] 支撑体16没有限制,只要能够支撑微细结构体14且能够透射电磁波控制用元件10所针对的频率0.1~0.3THz的电磁波,则能够利用公知的各种片状物。

[0120] 作为支撑体16,作为一例,可例示具有氧化硅的硅基板等具有氧化物绝缘层的金属基板、由氧化硅等氧化物构成的支撑体、由锗及硫属化合物玻璃等半导体构成的支撑体、聚甲基丙烯酸甲酯等聚丙烯酸系树脂膜、三乙酸纤维素等纤维素系树脂膜、环烯烃聚合物系膜、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)膜、聚碳酸酯膜及聚氯乙烯膜等树脂膜、以及玻璃板等。作为环烯烃聚合物系膜,例如可例示JSR Corporation制造的商品名“ARTON”及ZEON CORPORATION制造的商品名“ZEONOR”等。

[0121] 支撑体16的厚度也没有限制,只要根据支撑体16的形成材料适当设定能够支撑微细结构体14、可获得对频率0.1~0.3THz的电磁波充分的透射性、进而根据电磁波控制用元件10的用途等可获得充分的强度的厚度即可。

[0122] 另外,在本发明的电磁波控制用元件10中,超表面结构体12并不限于具有支撑体16。

[0123] 即,若可能,本发明的电磁波控制用元件可以在液晶层20的表面上直接排列微细结构体14来形成超表面结构体12。

[0124] 在支撑体16的一个表面上排列有微细结构体14。由此,形成超表面结构体12。

[0125] 超表面结构体12是将作为微细结构体的微细结构体14分开而在平面上二维排列而成的结构,基本上通过由1个微细结构体14和微细结构体14的周围的空间形成的晶胞的排列构成。

[0126] 在本发明的电磁波控制用元件10中,超表面结构体基本上为公知的超表面结构体

(超材料)。因此,在本发明的电磁波控制用元件10中,能够利用公知的各种超表面结构体。

[0127] 即,在本发明中,微细结构体14的形状及形成材料、微细结构体14的排列、以及微细结构体14的间隔(间距)等也没有限制。

[0128] 并且,超表面结构体12根据本发明的电磁波控制用元件10所针对的电磁波的反射特性,通过公知的方法设计即可。作为一例,使用市售的模拟软件计算所使用的微细结构体14所反射的电磁波的振幅及相位,以成为目标相位调制量即相位的延迟量(折射率)的分布的方式设定微细结构体14的排列即可。

[0129] 本发明的电磁波控制用元件10以频率为0.1~0.3THz的电磁波为对象。

[0130] 因此,超表面结构体12中,以对该频率的电磁波赋予所期望的相位差的方式选择微细结构体14,进而设定微细结构体的排列等。

[0131] 超表面结构体12基本上通过由一个微细结构体14和微细结构体14的周围的空间形成的晶胞的排列构成。超表面结构体12通过晶胞的排列,利用微细结构体14的共振来调制入射的电磁波的相位。

[0132] 另外,在本发明的电磁波控制用元件10中,1个晶胞所具有的微细结构体14的数量基本上为1个,但本发明并不限于此。即,在本发明的电磁波控制用元件中,根据目标光学特性、微细结构体14的大小、形成材料及形状、以及晶胞的大小等,根据需要,1个晶胞可以具有多个微细结构体14。此时,1个晶胞可以具有不同的微细结构体14。但是,在一个晶胞具有多个微细结构体14的情况下,基本上,晶胞的各微细结构体所在的空间中的相位调制量相等。

[0133] 在本发明的电磁波控制用元件10中,构成超表面结构体12的微细结构体14的形成材料没有限制,能够利用各种在公知的超表面结构体中用作微细结构体的材料。

[0134] 作为微细结构体14的形成材料,可例示金属及电介质。在金属的情况下,从光学损耗少等观点出发,可优选例示铜、金及银。并且,作为微细结构体14的形成材料,也能够利用由金属粒子和粘合剂构成的复合体及氧化物半导体。另一方面,在电介质的情况下,从折射率大且能够进行大的相位调制等观点出发,可优选例示硅、氧化钛及锗。

[0135] 另外,如图1所示,在微细结构体14兼作与第1电极层26成电极对的电极的情况下,微细结构体14由导电体形成。

[0136] 同样地,构成超表面结构体12的微细结构体14的形状也没有限制,能够利用各种在公知的超表面结构体中用作微细结构体的形状。

[0137] 作为一例,可例示:使长方体交叉的十字状的立体、长方体状、圆柱形状、如日本特开2018-046395号公报所示的如在端部连接长方体的V字状的立体、如H型钢的大致H字状的立体及如C型通道的大致C字状的立体等。

[0138] 并且,如日本特开2018-046395号公报所示,V字状的立体及十字状的立体能够利用调节了2个长方体所成的角度的各种形状。

[0139] 除此以外,还能够利用具有如“Appl.Sci.2018,8(9),1689;<https://doi.org/10.3390/app8091689>”的图5所示的底面形状的立体等。

[0140] 在超表面结构体12中,这种微细结构体14可以仅使用1个,或者也可以同时使用多种。并且,如图2所示,相同的微细结构体14可以以相同的朝向排列,也可以以不同的朝向排列,也可以混合存在相同朝向和不同朝向。

[0141] 然而,在本发明的电磁波控制用元件中,优选微细结构体14仅使用1种,并且以相同的朝向排列所有微细结构体14。

[0142] 在图示例中,作为优选方式,超表面结构体12中,具有全部相同结构的相同微细结构体14以等间隔在相互正交的x方向及y方向上二维排列。

[0143] 然而,本发明并不限于此,如上所述,也可以同时使用多种微细结构体,并且,微细结构体14的排列间隔及排列也可以在支撑体16的面方向上不同。

[0144] 但是,若考虑对液晶层20施加电压时的电磁波的反射方向的控制性等,则超表面结构体12优选使用全部相同的微细结构体14。而且,更优选超表面结构体12的相同的微细结构体14以等间隔二维排列,进一步优选以等间隔在正交的x方向及y方向上二维排列。

[0145] 液晶层20为将液晶化合物LC以规定的状态取向而成的层,如上所述,通过施加电压,液晶化合物LC的取向状态发生变化。

[0146] 如上所述,图示例的液晶层20在未施加电压的状态下,液晶化合物LC垂直取向。若对液晶层20施加电压,则液晶化合物LC根据电压向厚度方向倾斜而取向,最大成为水平取向。

[0147] 另外,在本发明中,液晶化合物LC的取向的变化并不限于从垂直取向变为水平取向或相反的情况,可以从相对于厚度方向倾斜的状态变为水平取向或垂直取向,也可以从水平取向或垂直取向变为相对于厚度方向倾斜的状态,也可以从相对于厚度方向倾斜的状态到相对于厚度方向倾斜的状态为止角度发生变化。

[0148] 在本发明中,液晶层20通过公知的方法形成于例如后述的取向膜的表面即可。

[0149] 在此,在本发明的电磁波控制用元件10中,液晶层20包含偶氮化合物。

[0150] 本发明的电磁波控制用元件10通过液晶层20包含偶氮化合物,能够使响应性良好,并且在短时间内切换所入射的频率0.1~0.3THz的电磁波的反射方向。

[0151] 关于以上的观点,在后面进行详细叙述。

[0152] 在电磁波控制用元件10中,液晶层20形成于支撑体24。

[0153] 支撑体24基本上与上述支撑体16相同。

[0154] 在此,形成液晶层20的支撑体24还可以将上述支撑体16作为主体,在该主体的形成液晶层20的表面具有用于将液晶化合物LC取向为规定状态的取向膜。

[0155] 取向膜能够利用公知的各种取向膜。作为一例,可例示由聚合物等有机化合物构成的摩擦处理膜、无机化合物的倾斜蒸镀膜、具有微槽的膜以及使 $\omega$ -二十三烷酸、双十八烷基甲基氯化铵及硬脂酸甲酯等有机化合物的基于朗缪尔-布洛杰特法的LB(Langmuir-Blodgett:朗缪尔-布洛杰特)膜累积而成的膜等。

[0156] 并且,作为取向膜,也能够利用对光取向性的原材料照射偏振光或非偏振光而作为取向膜的所谓的光取向膜。

[0157] 这些取向膜通过与主体的形成材料相对应的公知的方法形成即可。

[0158] 形成液晶层20的支撑体24的与液晶层20相反的一侧的面中,整个面被第1电极层26覆盖。

[0159] 第1电极层26是使液晶层20中的液晶化合物LC的取向发生变化的电极,并且如上所述,还作为反射从超表面结构体12侧入射的频率0.1~0.3THz的电磁波的反射层发挥作用。

[0160] 第1电极层26没有限制,只要具有充分的导电性且能够反射频率0.1~0.3THz的电磁波,则能够利用由公知的各种材料形成的片状物。

[0161] 作为第1电极层26,作为一例,可例示铜、铝、金及银等金属层、ITO(掺锡氧化铟)等无机导电材料、以PEDOT(聚3,4-乙烯二氧噻吩)为代表的聚噻吩等有机导电材料以及石墨烯等。无机导电材料、有机导电材料及石墨烯等对可见光是透明的,但对上述频率的电磁波,作为反射层发挥作用。

[0162] 第1电极层26的厚度也没有限制,只要根据第1电极层26的形成材料适当设定能够以所需的反射率反射成为对象的电磁波的厚度即可。

[0163] 如上所述,本发明的电磁波控制用元件10为具有超表面结构体12和液晶层20的反射型电磁波控制用元件。

[0164] 在电磁波控制用元件10中,通过向各微细结构体14供给电力来变更液晶层20的对应区域中的液晶化合物LC的取向状态,从而在面方向上形成折射率不同的区域,由此将所入射的频率0.1~0.3THz的电磁波向所期望的方向反射。

[0165] 并且,通过变更供给到各微细结构体14的电力即施加于液晶层20的电压,能够切换所入射的电磁波的反射方向。

[0166] 在此,如上所述,使用如非专利文献1所示的以往的超表面结构体和液晶层的电磁波控制用元件(光束转向元件)在电磁波的反射方向的切换上花费时间。

[0167] 相对于此,本发明的电磁波控制用元件10通过液晶层20包含偶氮化合物,优选通过液晶层20包含具有偶氮结构的液晶化合物,更优选通过由具有偶氮结构的液晶化合物形成液晶层20,能够确保高响应性,并且在短时间内进行所入射的电磁波的反射方向的切换。

[0168] 即,在本发明中,通过液晶层20包含偶氮化合物,能够增大液晶层的 $\Delta n$ (副折射)。因此,在本发明中,能够使为了对电磁波赋予所需的折射率即所需的相位差而所需的液晶层的厚度变薄。通过使液晶层变薄,在变更所施加的电压时,液晶化合物LC的取向迅速地发生变化。

[0169] 其结果,根据本发明的电磁波控制用元件10,能够加快对施加到液晶层20的电压的变化的响应速度,从而在短时间内进行所入射的电磁波的反射方向的切换。

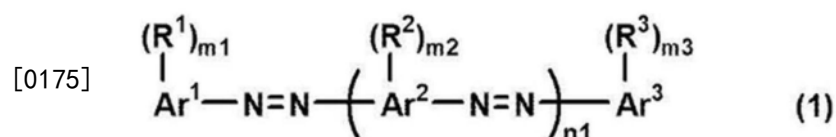
[0170] 作为偶氮化合物,只要是包含偶氮结构( $-N=N-$ )的化合物,则没有特别限制。

[0171] 偶氮化合物所具有的偶氮结构的数量没有特别限制,只要为1以上即可,优选为2以上。偶氮结构的数量的上限没有特别限制,但5以下的情况较多,3以下的情况更多。

[0172] 偶氮化合物可以为显示液晶性的化合物,也可以为不显示液晶性的化合物,优选为显示液晶性的化合物。即,偶氮化合物优选为具有偶氮结构的液晶化合物。

[0173] 作为偶氮化合物,优选为式(1)所表示的化合物。

[0174] [化学式1]



[0176] 式(1)中, $Ar^1$ 表示 $(m1+1)$ 价的芳香环。

[0177] 上述 $(m1+1)$ 价的芳香环可以是单环,也可以是2环以上的稠环。或者,芳香环可以是多个单环通过单键键合而成的环(例如,联苯环、三联苯环)。

- [0178] 作为上述(m1+1)价的芳香环,可举出芳香族烃环或芳香族杂环。
- [0179] 作为芳香族烃环,可举出苯环、萘环、蒽环、茚环、联苯环及蒹环。其中,优选苯环。
- [0180] 作为芳香族杂环,可举出吡啶环、噻吩环、呋喃环、喹啉环、异喹啉环、噻唑环、噻吩并噻吩环及噻吩并噻唑环。
- [0181] 例如,在m1为1的情况下,Ar<sup>1</sup>表示2价的芳香环。
- [0182] 式(1)中,Ar<sup>2</sup>表示(m2+2)价的芳香环。
- [0183] 上述(m2+1)价的芳香环可以是单环,也可以是2环以上的稠环。或者,芳香环可以是多个单环通过单键键合而成的环(例如,联苯环、三联苯环)。
- [0184] 作为上述(m2+1)价的芳香环,可举出芳香族烃环或芳香族杂环。
- [0185] 作为芳香族烃环,可举出苯环、萘环、蒽环、茚环、联苯环及蒹环。其中,优选苯环。
- [0186] 作为芳香族杂环,可举出吡啶环、噻吩环、呋喃环、喹啉环、异喹啉环、噻唑环、噻吩并噻吩环及噻吩并噻唑环。
- [0187] 例如,在m2为1的情况下,Ar<sup>2</sup>表示3价的芳香环。
- [0188] 式(1)中,Ar<sup>3</sup>表示(m3+1)价的芳香环。
- [0189] 上述(m3+1)价的芳香环可以是单环,也可以是2环以上的稠环。或者,芳香环可以是多个单环通过单键键合而成的环(例如,联苯环、三联苯环)。
- [0190] 作为上述(m3+1)价的芳香环,可举出芳香族烃环或芳香族杂环。
- [0191] 作为芳香族烃环,可举出苯环、萘环、蒽环、茚环、联苯环及蒹环。其中,优选苯环。
- [0192] 作为芳香族杂环,可举出吡啶环、噻吩环、呋喃环、喹啉环、异喹啉环、噻唑环、噻吩并噻吩环及噻吩并噻唑环。
- [0193] 例如,在m3为1的情况下,Ar<sup>3</sup>表示2价的芳香环。
- [0194] 式(1)中,R<sup>1</sup>、R<sup>2</sup>及R<sup>3</sup>分别独立地表示取代基。
- [0195] 在m1≥2的情况下,多个R<sup>1</sup>可以相互相同也可以不同,在m2≥2的情况下,多个R<sup>2</sup>可以相互相同也可以不同,在m3≥2的情况下,多个R<sup>3</sup>可以相互相同也可以不同。
- [0196] 上述取代基为1价的取代基,例如可举出烷基、烯基、芳烷基、芳基、杂环基、卤原子、氰基、硝基、巯基、羟基、烷氧基、芳氧基、烷硫基、芳硫基、酰氧基、氨基、烷基氨基、二烷基氨基、羧酰胺基、磺酰胺基、氨磺酰基、氧羰基氨基、氧磺酰基氨基、脲基、硫脲基、酰基、氧羰基、氨基甲酰基、磺酰基、亚磺酰基、氨磺酰基、羧基(包含盐)、磺基(包含盐)及组合这些基团而成的基团。这些基团可以进一步被这些基团取代。
- [0197] 式(1)中,m1、m2及m3分别独立地表示0~5的整数。m1优选为1~3,m2优选为0~1,m3优选为1~3。
- [0198] 式(1)中,n1表示1~4的整数,优选为1~3,更优选为2~3。
- [0199] 在本发明的电磁波控制用元件10中,液晶层20的Δn没有限制,但优选较大。
- [0200] 在此,如图示例所示,在反射型电磁波控制用元件10中,液晶层20的Δn优选为0.35以上。
- [0201] 通过将液晶层20的Δn设为0.35以上而使液晶层20变薄,能够更迅速地进行电磁波的反射方向的切换,从该等观点出发,优选。
- [0202] 并且,液晶层20的厚度也没有限制,根据液晶层20的形成材料,适当设定赋予电磁波所需的相位差的厚度即可。

[0203] 在此,如上所述,本发明的电磁波控制用元件10中,液晶层20包含偶氮化合物,因此能够使液晶层20变薄。若考虑到这一点,则液晶层20的厚度优选为200 $\mu\text{m}$ 以下,更优选为150 $\mu\text{m}$ 以下,进一步优选为100 $\mu\text{m}$ 以下。

[0204] 通过将液晶层20的厚度设为200 $\mu\text{m}$ 以下,能够更迅速地进行电磁波的反射方向的切换,从该等观点出发,优选。

[0205] 在本发明的电磁波控制用元件中,反射型电磁波控制用元件并不限于图1所示的结构,能够例示各种结构。

[0206] 例如,图1所示的电磁波控制用元件10中,构成超表面结构体12的微细结构体14也作为电极发挥作用。然而,本发明并不限于此,也可以与微细结构体14对应地设置与第1电极层26构成电极对的第2电极30。第2电极30只要由与第1电极层26相同的材料形成即可。

[0207] 另外,在以下所示的例子中虽然省略图示,但与图1所示的例子同样地,在各电极或兼作电极的微细结构体14上连接有电源28。

[0208] 作为该结构,例如,如图3中概念性地所示,可例示在微细结构体14上设置有第2电极30的结构。

[0209] 或者,如图4中概念性地所示,可以将第2电极30设置于微细结构体14与支撑体16之间。

[0210] 而且,如图5中概念性地所示,在图1所示的结构中,也能够利用将第1电极层26进行图案化而作为图案电极并且仅设置于与微细结构体14对应的区域的结构。在该结构中,入射到没有第1电极层26的区域的电磁波透射。

[0211] 并且,在本发明的电磁波控制用元件中,反射型电磁波控制用元件可以与液晶层20相邻地设置微细结构体14,并且在层状电极之间设置超表面结构体12。

[0212] 例如,如图6中概念性地所示,可以将微细结构体14设置于支撑体16的液晶层20侧,进而在支撑体16的与液晶层20相反的一侧设置层状(面状)的第2电极30。在该结构中,第2电极30以具有多个开口部的方式进行图案化而作为图案电极,以使电磁波能够透射第2电极30。

[0213] 在该结构中,如图7中概念性地所示,也可以在支撑体24上排列微细结构体14,并在液晶层20的两面设置超表面结构体12。

[0214] 以上说明的本发明的电磁波控制用元件为反射所入射的频率0.1~0.3THz的电磁波而使其向所期望的方向行进的反射型电磁波控制用元件,但本发明并不限于此。

[0215] 即,本发明的电磁波控制用元件可以为通过折射并透射所入射的频率0.1~0.3THz的电磁波而使其向所期望的方向行进的透射型电磁波控制用元件。

[0216] 在以下说明中,在没有特别标注的情况下,电磁波表示频率0.1~0.3THz的电磁波。

[0217] 图8中概念性地示出透射型电磁波控制用元件的一例。

[0218] 另外,以下所示的本发明的透射型电磁波控制用元件不具有成为反射层的第1电极层26,除此以外,基本上与上述反射型电磁波控制用元件相同,并且,各部件的作用也相同。

[0219] 因此,对相同的部件标注相同的符号,主要对不同的部位进行说明。

[0220] 图8所示的透射型电磁波控制用元件36不具有第1电极层26,除此以外,具有与图1

所示的反射型电磁波控制用元件10相同的结构。

[0221] 即,电磁波控制用元件36具有超表面结构体12和液晶层20。超表面结构体12通过在支撑体16上二维排列成为谐振器的微细结构体14而成,液晶层20形成于支撑体24。

[0222] 在此,图8所示的电磁波控制用元件36中,微细结构体14兼作第1电极及第2电极。即,在电磁波控制用元件36中,连接相邻的微细结构体14而设置电源28。

[0223] 在该电磁波控制用元件36中,通过从电源28向微细结构体14供给电力,对相邻的微细结构体14之间的液晶层20施加面方向的电压。

[0224] 其结果,根据所施加的电压,该区域的液晶层20中的液晶化合物LC的取向状态发生变化,从而折射率发生变化。并且,通过改变供给到各微细结构体14的电力即施加于对应的区域的电压,能够形成在面方向上折射率不同的区域。

[0225] 与电磁波控制用元件10同样地,若电磁波入射到电磁波控制用元件36,则电磁波在透射超表面结构体12时通过微细结构体14(晶胞)的共振而被调制相位,进而通过透射液晶层20而被调制相位。

[0226] 电磁波控制用元件36不具有成为反射层的第1电极层26,因此电磁波透射液晶层20而作为透射电磁波从电磁波控制用元件36射出。

[0227] 在此,如上所述,液晶层20在面方向上具有不同的折射率,因此对透射液晶层20的电磁波赋予的相位差根据面方向的各区域而不同。因此,电磁波根据与入射区域相对应地赋予的相位差而表现上的光路长度不同,透射了光路长度长的区域的电磁波比透射了光路长度短的区域电磁波更慢地从液晶层20射出。

[0228] 其结果,入射到电磁波控制用元件36并透射的电磁波不是线性透射,而是以使波面对齐的方式折射并透射。例如,从法线方向入射的电磁波不是沿法线方向透射,而是沿相对于法线倾斜的方向透射。

[0229] 并且,通过变更供给到各微细结构体14的电力即施加于液晶层20的电压,能够切换透射的电磁波的折射率即电磁波的出射方向。

[0230] 而且,通过调节施加于液晶层20的电压,可以使透射的电磁波聚集或扩散,进而还能够切换透射的电磁波的焦点及扩散的程度。

[0231] 在此,在电磁波控制用元件36中,液晶层20也包含偶氮化合物,因此能够迅速地进行折射率即透射光的折射方向(行进方向)的切换。

[0232] 在本发明的透射型电磁波控制用元件36中,液晶层20的 $\Delta n$ 没有限制,但优选较大。

[0233] 在此,在如图示例的透射型电磁波控制用元件36中,液晶层20的 $\Delta n$ 优选为0.2以上,更优选为0.3以上,进一步优选为0.4以上。

[0234] 在电磁波控制用元件36中,通过将液晶层20的 $\Delta n$ 设为0.2以上而使液晶层20变薄,能够更迅速地进行电磁波的反射方向的切换,从该等观点出发,优选。

[0235] 并且,液晶层20的厚度也没有限制,根据液晶层20的形成材料,适当设定赋予电磁波所需的相位差的厚度即可。

[0236] 在此,如上所述,在透射型电磁波控制用元件36中,液晶层20也包含偶氮化合物,因此能够使液晶层20变薄。并且,在本发明中,作为对象的电磁波是频率为0.1~0.3THz的电磁波即波长为1~3mm的电磁波。

[0237] 若考虑到这一点,则在透射型电磁波控制用元件36中,液晶层20的厚度优选为500 $\mu\text{m}$ 以下,更优选为300 $\mu\text{m}$ 以下,进一步优选为200 $\mu\text{m}$ 以下。

[0238] 通过将液晶层20的厚度设为500 $\mu\text{m}$ 以下,能够更迅速地进行电磁波的反射方向的切换,从该等观点出发,优选。

[0239] 在本发明的电磁波控制用元件中,透射型电磁波控制用元件并不限于图8所示的电磁波控制用元件36,能够例示各种结构。另外,在以下所示的例子中虽然省略图示,但与图8所示的例子同样地,在各电极或兼作电极的微细结构体14上连接有电源28。

[0240] 例如,图8所示的电磁波控制用元件36中,构成超表面结构体12的微细结构体14也作为电极发挥作用。然而,本发明并不限于此,也可以与微细结构体14对应地设置第1电极32及第2电极30。

[0241] 作为该结构,作为一例,如图9中概念性地所示,可例示在相邻的2个微细结构体14中,在一个微细结构体14上设置第1电极32,在另一个微细结构体14上设置第2电极30的结构。

[0242] 或者,如图10中概念性地所示,在相邻的2个微细结构体14中,可以在一个微细结构体14与支撑体16之间设置第1电极32,在另一个微细结构体14与支撑体16之间设置第2电极30。

[0243] 透射型电磁波控制用元件可以具有多个超表面结构体。

[0244] 例如,如图11所示,在图8所示的电磁波控制用元件36中,可以在支撑体24的与液晶层20相反的一侧的面上排列微细结构体14来作为超表面结构体12。在本例中,作为一例,使隔着液晶层20相对的微细结构体14作为电极对即第1电极及第2电极发挥作用。

[0245] 在图11所示的结构中,也可以与微细结构体14对应地设置第1电极32及第2电极30。

[0246] 作为该结构,作为一例,如图12中概念性地所示,可例示在构成隔着液晶层20相对的电极对的2个微细结构体14中,在一个微细结构体14的表面设置第1电极32,在另一个微细结构体14的表面设置第2电极30的结构。

[0247] 或者,如图13中概念性地所示,在构成隔着液晶层20相对的电极对的2个微细结构体14中,可以在一个微细结构体14与支撑体16之间设置第1电极32,在另一个微细结构体14与支撑体16之间设置第2电极30。

[0248] 如图14中概念性地所示,具有多个超表面结构体的透射型电磁波控制用元件中,构成超表面结构体12的微细结构体14可以在面方向上错开配置。在该结构中,也与图11所示的例子同样地,作为一例,使隔着液晶层20相对的微细结构体14作为电极对即第1电极及第2电极发挥作用。

[0249] 并且,在图14所示的结构中,也可以与微细结构体14对应地设置第1电极32及第2电极30。

[0250] 作为该结构,作为一例,如图15中概念性地所示,可例示在构成隔着液晶层20相对的电极对的2个微细结构体14中,在一个微细结构体14的表面设置第1电极32,在另一个微细结构体14的表面设置第2电极30的结构。

[0251] 或者,如图16中概念性地所示,在构成隔着液晶层20相对的电极对的2个微细结构体14中,可以在一个微细结构体14与支撑体16之间设置第1电极32,在另一个微细结构体14

与支撑体16之间设置第2电极30。

[0252] 而且,如图17中概念性地所示,在透射型电磁波控制用元件中,也与上述反射型电磁波控制用元件同样地,可以将支撑体24的与液晶层20相反的一侧的整个面覆盖而设置第1电极层26A,并由微细结构体14和第1电极层26A构成电极对。但是,在该情况下,第1电极层26A作为以具有多个开口部的方式图案化的图案电极,使电磁波能够透射。

[0253] 而且,即使是具有如图17所示的第1电极层26A的结构,也可以不将微细结构体14作为电极层,而是如图18中概念性地所示,在微细结构体14上设置第2电极30,由第1电极层26A和第2电极30构成电极对。

[0254] 而且,透射型电磁波控制用元件可以如图19中概念性地所示,在厚度方向上贯穿电磁波控制用元件而设置微细结构体14,而不是在支撑体的表面上排列微细结构体14。另外,在该结构中,也与上述各例同样地,微细结构体14可以兼作电极,或者也可以与各微细结构体14对应地配置第1电极和/或第2电极。

[0255] 或者,在图19所示的结构中,如图20所示,可以在支撑体24的与液晶层20相反的一侧设置电介质层34,并在电介质层34的与支撑体24相反的一侧设置以具有供电磁波透射的多个开口部的方式图案化的第1电极层26A。

[0256] 在此,在上述例中,电磁波控制用元件反射电磁波,并且控制电磁波的反射方向。然而,本发明的电磁波控制用元件并不限于此。

[0257] 图26是概念性地示出本发明的电磁波控制用元件的另一例的图。并且,图27是图26所示的电磁波控制用元件的概略立体图。

[0258] 图26及图27所示的电磁波控制用元件50从图中下方依次具有导波路52、液晶层20及超表面结构体12(微细结构体14)。液晶层20设置于导波路52的外侧面的一部分。在图26及图27所示的电磁波控制用元件50中,导波路52为由金属等导体构成的波导管,导波路52兼作本发明中的第1电极(第1电极层)。

[0259] 另外,在图26及图27所示的电磁波控制用元件50中,对与图1所示的电磁波控制用元件10相同的部位标注相同的符号,以下的说明主要对不同的部位进行。

[0260] 并且,图26及图27所示的电磁波控制用元件50不具有支撑体16及支撑体24,但在本例中,也可以根据需要具有支撑体16和/或支撑体24。

[0261] 在图26及图27所示的电磁波控制用元件50中,导波路52为截面为矩形的筒状的部件,且为在空心部内引导电磁波RW的金属制的波导管。

[0262] 电磁波RW一边形成与导波路52的形状、尺寸、电磁波RW的波长(频率)等相对应的电磁场,一边在导波路52中传播。

[0263] 并且,导波路52在层叠有液晶层20及微细结构体14的一侧的壁部即与微细结构体14相对并作为第1电极发挥作用的面具有连通空心部与外部的多个开口54。

[0264] 开口54分别设置于与晶胞(即,微细结构体14)对应的位置。

[0265] 通过导波路52具有多个开口54,在导波路52的空心部内被引导的电磁波RW从开口54渗出并向外部释放。此时,电磁波RW通过液晶层20。

[0266] 在电磁波控制用元件50中,也与图1所示的电磁波控制用元件10同样地,通过按每个晶胞进行相位调制即相位的延迟量的控制,能够控制电磁波RW的行进方向。即,电磁波控制用元件50能够控制电磁波RW的出射方向。并且,通过使各晶胞中的相位的延迟量主动变

化,能够使电磁波RW的出射方向主动变化。

[0267] 另外,在图26及图27所示的例子中,将导波路52的截面形状设为长方形,但并不限定于此,能够设为正方形、圆形及多边形等各种形状。

[0268] 并且,导波路52的尺寸也没有特别限定。

[0269] 并且,导波路52的长度优选为1~10000mm,更优选为3~3000mm。

[0270] 并且,如图26及图27所示的例子,在导波路52兼作第1电极的情况下,导波路52能够由与上述第1电极的形成材料相同的材料(导体)形成。

[0271] 并且,在图26及图27所示的例子中,设为导波路52兼作第1电极的结构,但本发明并不限定于此,导波路与第1电极可以为分体。

[0272] 在导波路52与第1电极为分体的情况下,导波路52配置于第1电极的与液晶层20相反的一侧的面。在导波路与第1电极为分体的情况下,第1电极也在与各单元单元对应的位置具有电磁波RW所通过的开口。并且,在导波路中,在与第1电极的开口对应的位置设置有射出电磁波RW的出射部。

[0273] 作为导波路与第1电极为分体时的导波路,除了由上述导体形成的波导管以外,还能够适当利用带状线线路、微带线线路及共面线线路等以往公知的能够引导电磁波的导波路。

[0274] 并且,形成于第1电极的开口的开口的大小优选为 $0.01 \sim 100000\text{mm}^2$ ,更优选为 $0.02 \sim 80000\text{mm}^2$ ,进一步优选为 $0.05 \sim 50000\text{mm}^2$ 。

[0275] 并且,在图示例中,形成于第1电极的开口设为在各晶胞设置1个的结构,但并不限定于此,也可以在各晶胞设置2个以上的开口。

[0276] 在以上例子中,液晶层20中的液晶化合物LC的取向图案为如下液晶取向图案:在未施加电压的状态下,液晶化合物LC垂直取向,若施加电压,则根据所施加的电压,相对于厚度方向的角度变大,最终成为水平取向。

[0277] 然而,本发明并不限于此,能够利用各种液晶取向图案。以下,示出一例。

[0278] 另外,在以下所示的例子中,与图2同样地,为了简化作用,仅示出液晶层20、微细结构体14及第1电极层26。

[0279] 并且,在以下所示的例子中,作为一例,作为电极,例示出微细结构体14及第1电极层26,但本发明并不限于此,在图1、图3~图20所示的所有结构中,能够利用以下所示的液晶取向图案。关于这一点,图2也相同。

[0280] 在本发明的电磁波控制用元件中,作为液晶层20的液晶取向图案,如图21中概念性地所示,也能够利用如下液晶取向图案:在未施加电压的状态下,液晶化合物LC水平取向,若施加电压,则根据所施加的电压而相对于液晶层20的主表面的角度变大,最终成为垂直取向。

[0281] 并且,作为液晶层20的液晶取向图案,如图22中概念性地所示,也能够利用如下液晶取向图案:在未施加电压的状态下,液晶化合物LC水平取向且在厚度方向上螺旋状扭曲取向,若施加电压,则根据所施加的电压而相对于液晶层20的主表面的角度变大,最终成为垂直取向。

[0282] 而且,作为液晶层20的液晶取向图案,如图23中概念性地所示,也能够利用液晶化合物LC的取向在厚度方向上从水平取向变化为垂直取向的混合取向。在该液晶取向图案的

情况下,作为一例,如图23所示,可例示如下结构:在从未施加电压的状态施加了电压的情况下,根据所施加的电压,液晶化合物LC的取向接近垂直取向。

[0283] 并且,在本发明的电磁波控制用元件中,如图8~图10所示,可以向液晶层20的面方向施加电压。

[0284] 在该结构中,如图24中概念性地所示,也能够利用如下液晶取向图案:在未施加电压的状态下,液晶化合物LC的长度方向与垂直于纸面的方向一致而水平取向,若施加电压,则根据所施加的电压在面方向上旋转,最终使长度方向与图中横向一致而水平取向。

[0285] 或者,与此相反,如图25中概念性地所示,也能够利用如下液晶取向图案:在未施加电压的状态下,液晶化合物LC的长度方向与图中横向一致而水平取向,若施加电压,则根据所施加的电压在面方向上旋转,最终使长度方向与垂直于纸面的方向一致而水平取向。

[0286] 本发明的电磁波控制用元件作为对象的电磁波的偏振状态(偏振波状态)没有限制,可以是无偏振光,也可以是直线偏振光、圆偏振光或椭圆偏振光。

[0287] 另外,在电磁波为直线偏振光的情况且微细结构体14在正交的x方向及y方向上二维排列的情况下,优选以电磁波的偏振方向与x方向或y方向一致的方式使电磁波入射。

[0288] 以上,对本发明的电磁波控制用元件进行了详细说明,但是本发明并不限于上述例,在不脱离本发明的宗旨的范围内,当然可以进行各种改良和变更。

[0289] 实施例

[0290] 以下,基于实施例对本发明进一步进行详细说明。

[0291] 以下的实施例中所示的材料、使用量、比例、处理内容及处理步骤等只要不脱离本发明的主旨则能够适当进行变更。因此,本发明的范围不应通过以下所示的实施例进行限定性解释。

[0292] [实施例]

[0293] 使用光学模拟软件,制作了如图28所示的电磁波控制用元件的模型(电磁波控制用元件的模型10A)。在模拟中使用了COMSOL公司的有限元法模拟软件“COMSOL Multiphysics”。

[0294] 要模型化的电磁波控制用元件设为依次层叠有第1电极层26、液晶层20及微细结构体14(超表面结构体12)的结构。并且,1个晶胞的大小设为 $1.1\text{mm} \times 1.1\text{mm}$ ,通过应用周期边界条件而设为晶胞在面内方向上无限排列的结构。

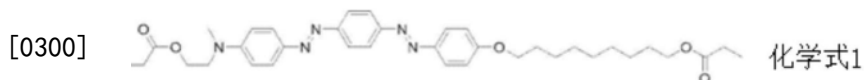
[0295] 第1电极层26及微细结构体14的材料为铜,厚度为 $2\mu\text{m}$ 。并且,1个微细结构体14的大小设为 $0.8\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ 的正方形,在面内方向上,配置于晶胞的大致中央位置。

[0296] 液晶层20使用将下述化合物1(液晶化合物1)及化合物2(液晶化合物2)以50%:50%的比率混合而成的液晶组合物来形成。

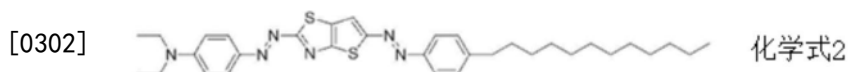
[0297] 在此,通过以下方法测定了实施例的液晶组合物的 $\Delta n$ 。

[0298] 首先,将液晶组合物封入通过溅射法将氧化锡( $\text{SnO}_2$ )膜作为电极而形成的玻璃池( $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ,厚度 $1.0\text{mm}$ )中,接着,制作透射型太赫兹分光的光学系统,在温度 $100^\circ\text{C}$ 、湿度10%RH环境下,测定了光电场的时间波形。根据施加电压前后的光电场的时间波形的变化,测定了封入玻璃池中的液晶组合物的 $\Delta n$ 。液晶组合物的 $\Delta n$ 为0.35。

[0299] [化学式2]



[0301] [化学式3]



[0303] [比较例]

[0304] 将用于形成液晶层的液晶组合物的液晶化合物变更为4'-戊基-4-联苯腈(5CB), 除此以外,作为与实施例1相同的电磁波控制用元件进行模型化。

[0305] 并且,以与实施例相同的方法制作透射型太赫兹光谱的光学系统,在温度25℃、湿度10%RH环境下,测定了光电场的时间波形。根据施加电压前后的光电场的时间波形的变化,测定了封入玻璃池中的液晶组合物的 $\Delta n$ 。 $\Delta n$ 为0.2。

[0306] [评价]

[0307] 使用模拟软件“COMSOL Multiphysics”,计算出使100GHz的电磁波入射到上述实施例及比较例的电磁波控制用元件的模型并反射时的100GHz的电磁波的反射相位。

[0308] 分别对未施加电压且液晶化合物LC水平取向的情况和施加电压且液晶化合物LC垂直取向的情况进行计算,计算出伴随施加电压的反射相位之差。分别对液晶层的膜厚为10~300 $\mu\text{m}$ 的情况进行计算,计算出伴随施加电压的反射相位之差成为180°的最小的膜厚。

[0309] 并且,已知对液晶层施加电压而使液晶化合物的取向状态发生变化时的切换时间与厚度的平方成比例。

[0310] 将比较例的电磁波控制用元件中的切换时间设为1,计算出实施例及比较例的切换时间。

[0311] 将结果示于下述表1中。

[0312] [表1]

| [0313] | 伴随施加电压的反射相位之差成为180°的最小的膜厚 |                  | 切换时间 |
|--------|---------------------------|------------------|------|
|        | 实施例                       | 30 $\mu\text{m}$ | 0.25 |
|        | 比较例                       | 60 $\mu\text{m}$ | 1.0  |

[0314] 从表1可知,本发明的实施例与比较例相比,能够兼顾缩短切换时间和抑制电磁波的损耗。

[0315] 产业上的可利用性

[0316] 本发明能够优选地利用于光束转向装置等。

[0317] 符号说明

[0318] 10、36-电磁波控制用元件,12-超表面结构体,14、100a-微细结构体,16、24-支撑体,20、104-液晶层,26、26A-第1电极层,28-电源,30-第2电极,32-第1电极,34-电介质层,LC-液晶化合物。

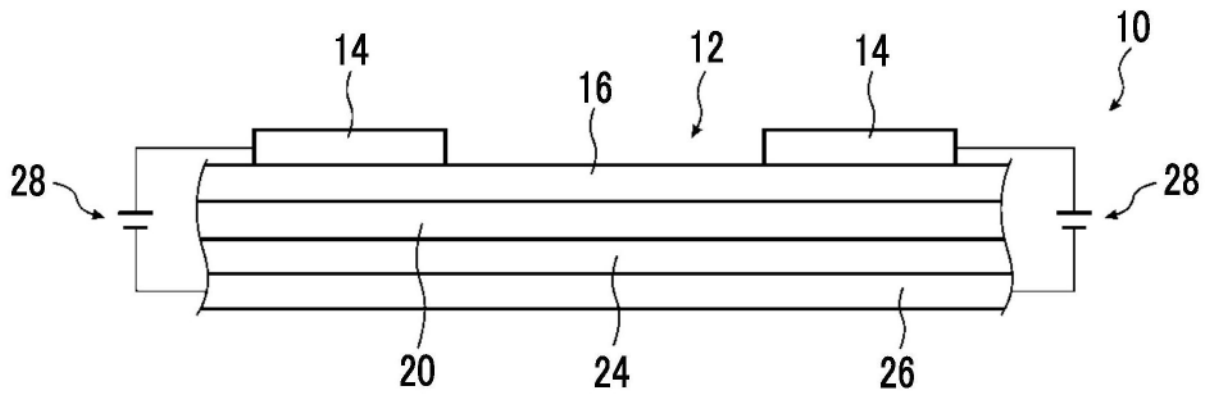


图1

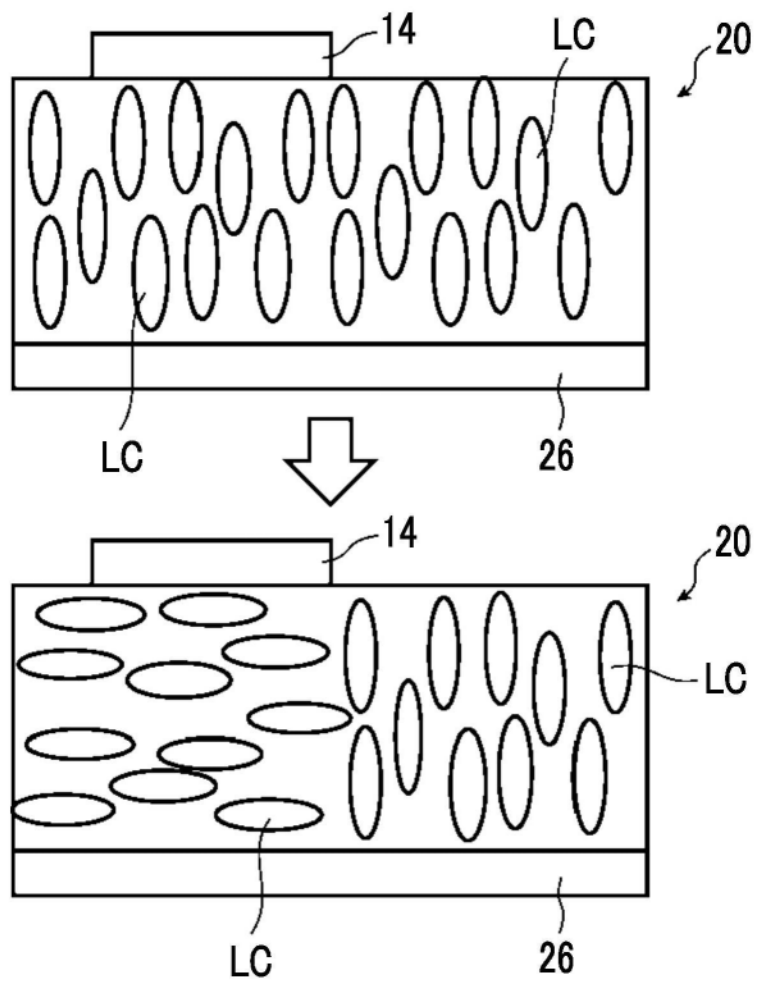


图2

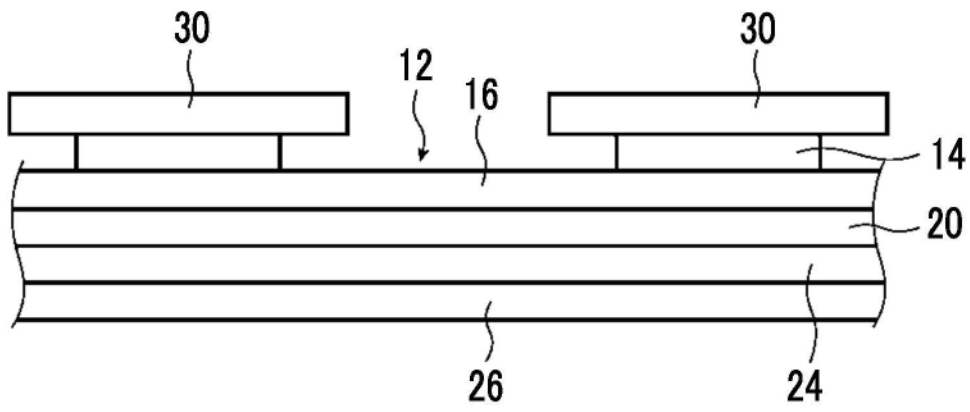


图3

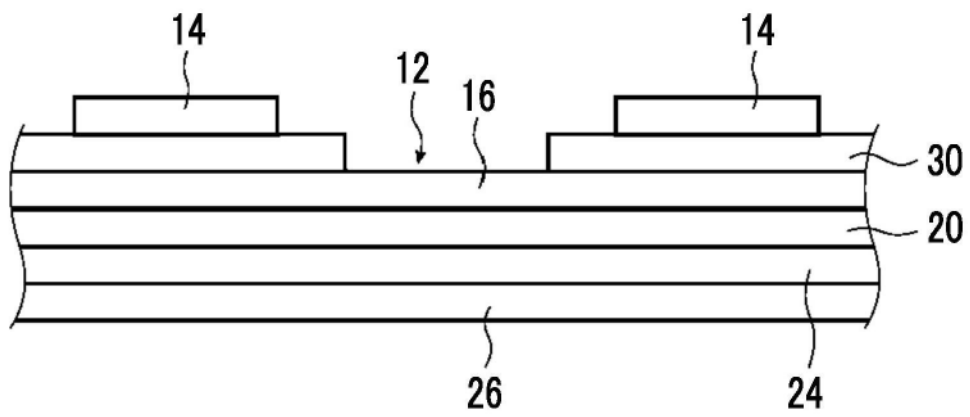


图4

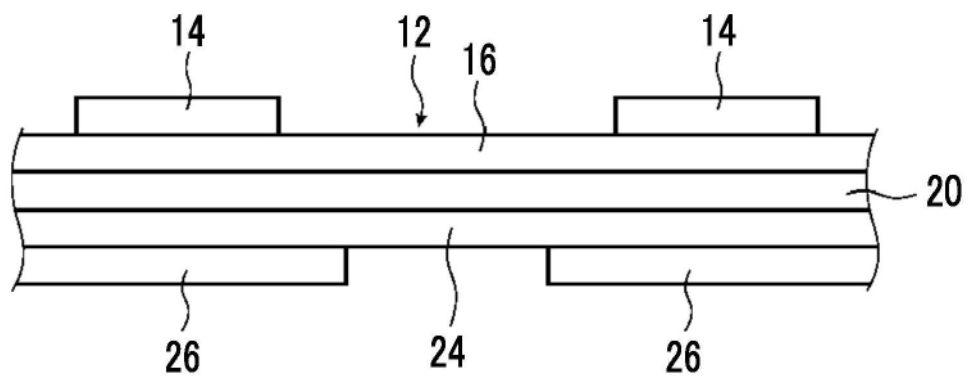


图5

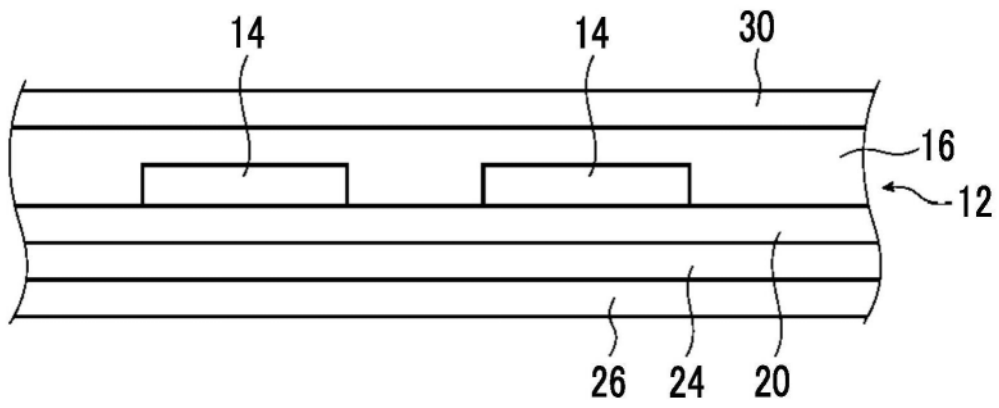


图6

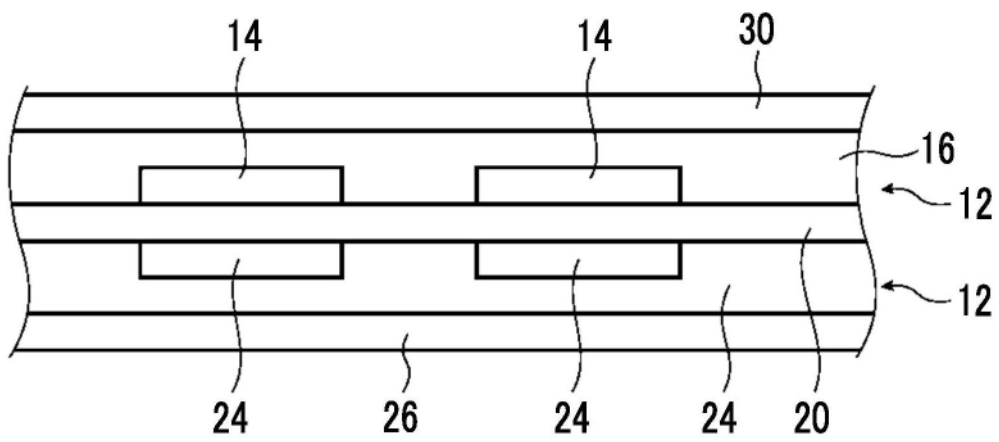


图7

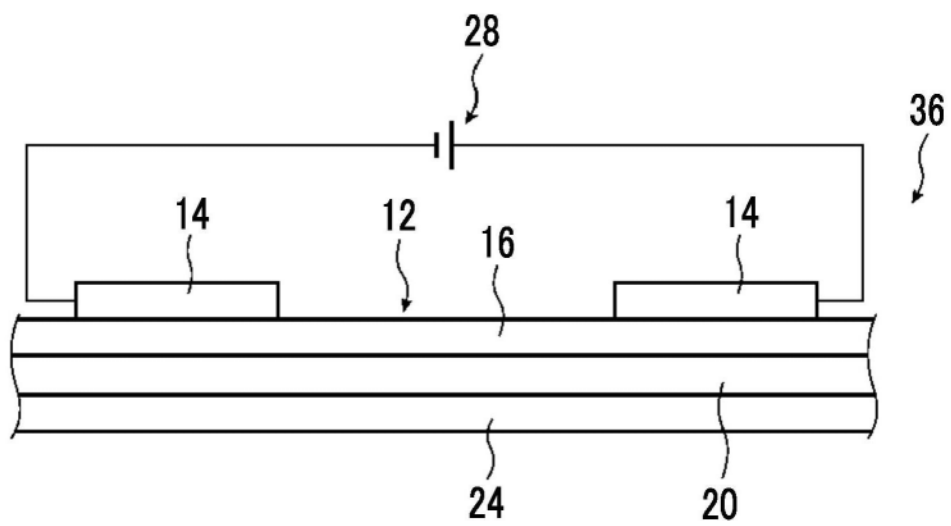


图8

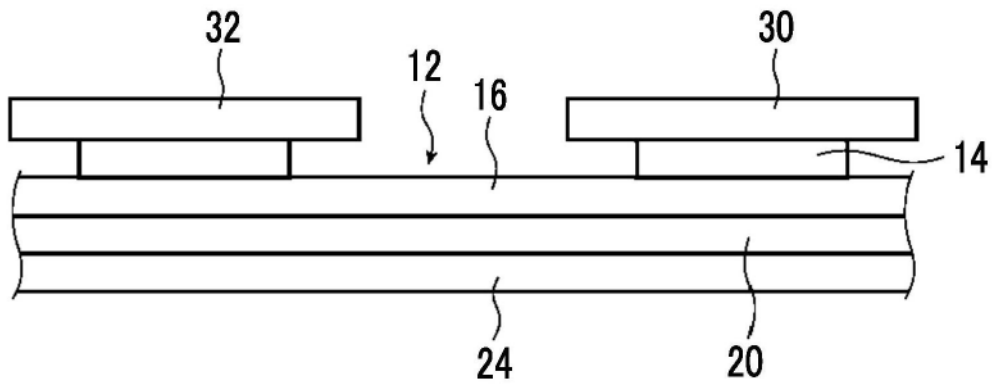


图9

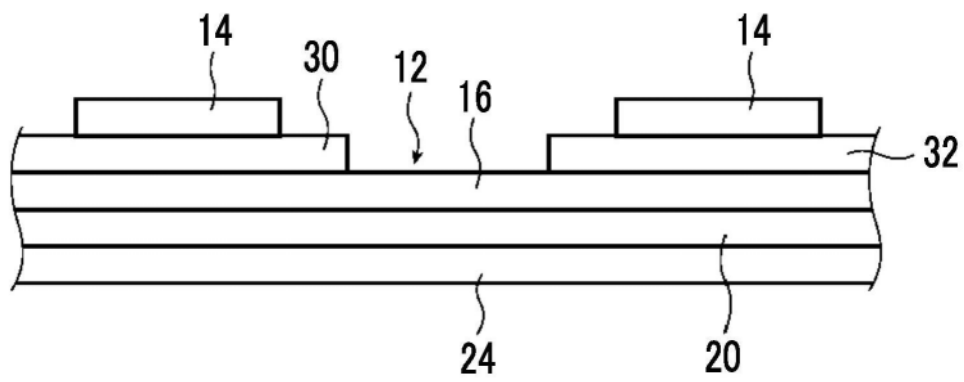


图10

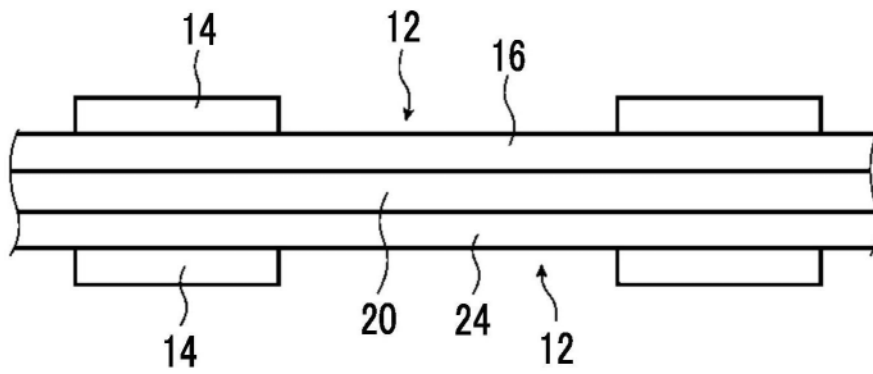


图11

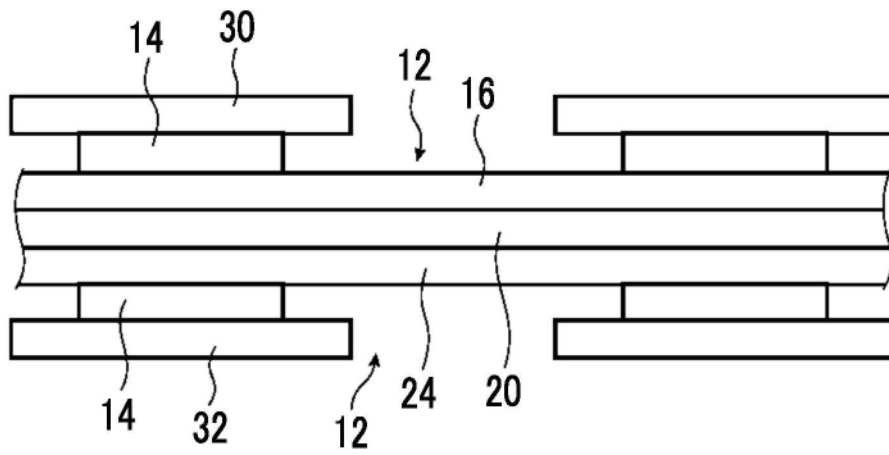


图12

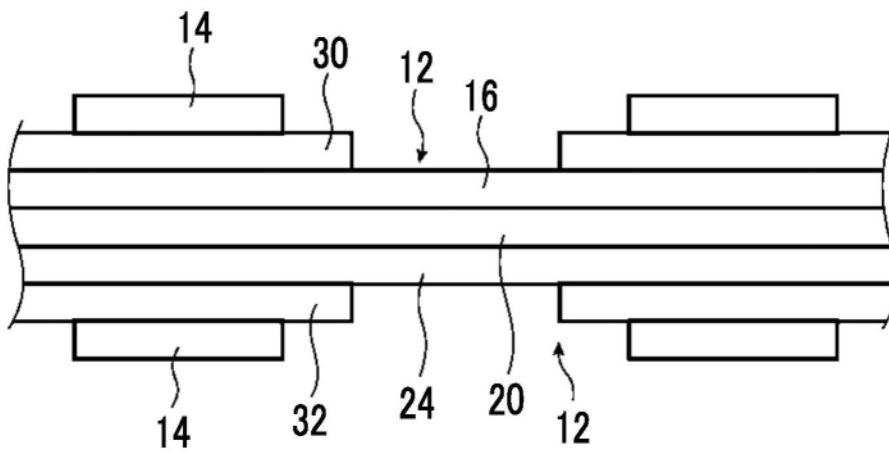


图13

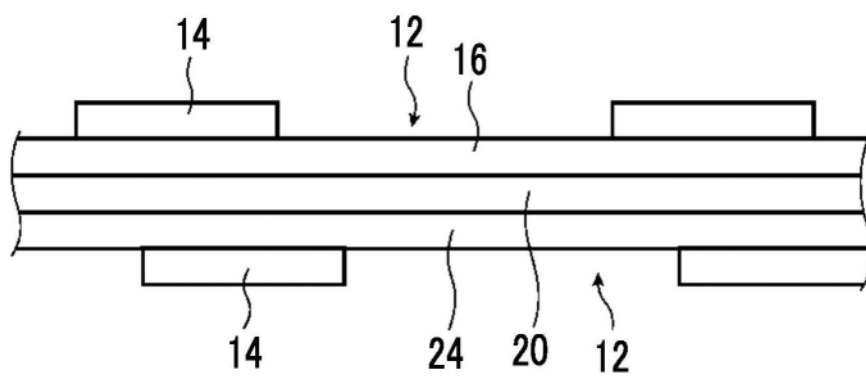


图14



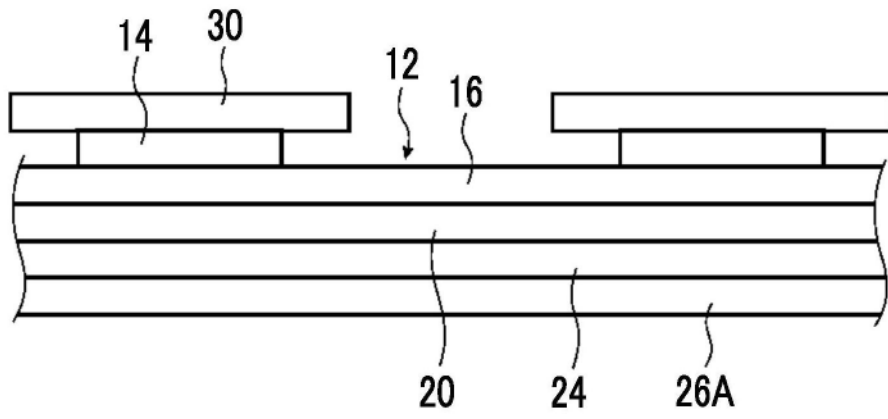


图18

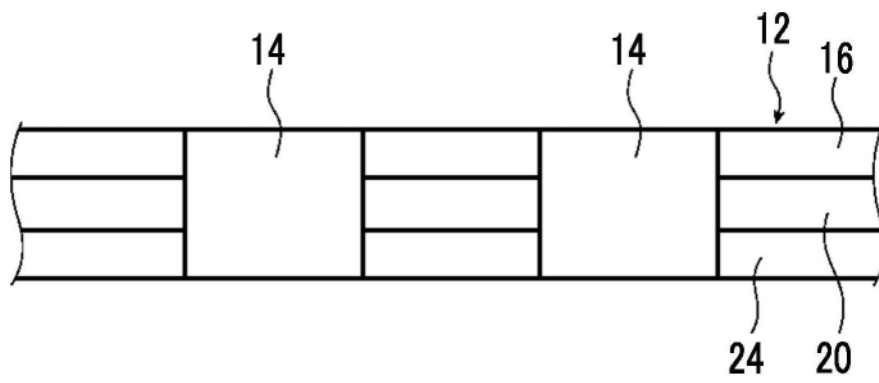


图19

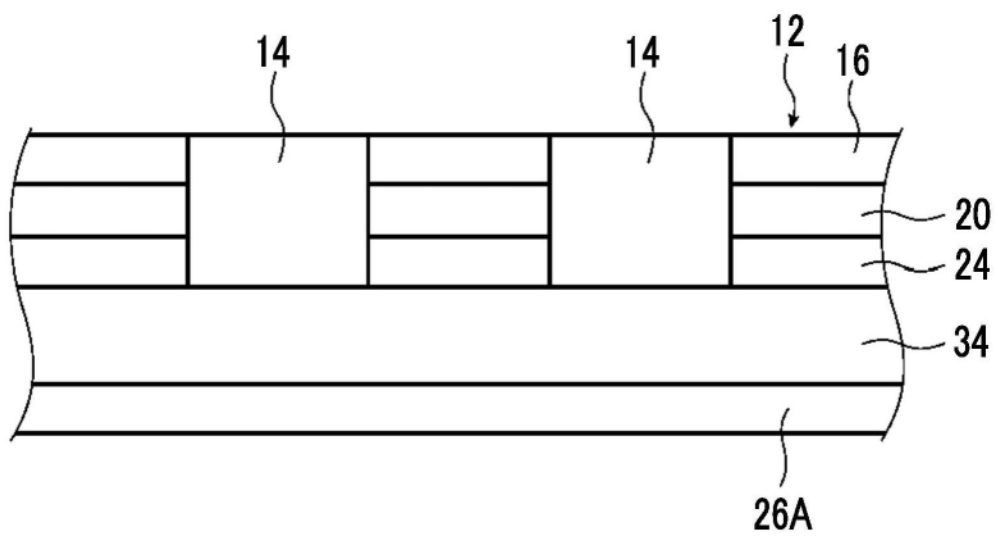


图20

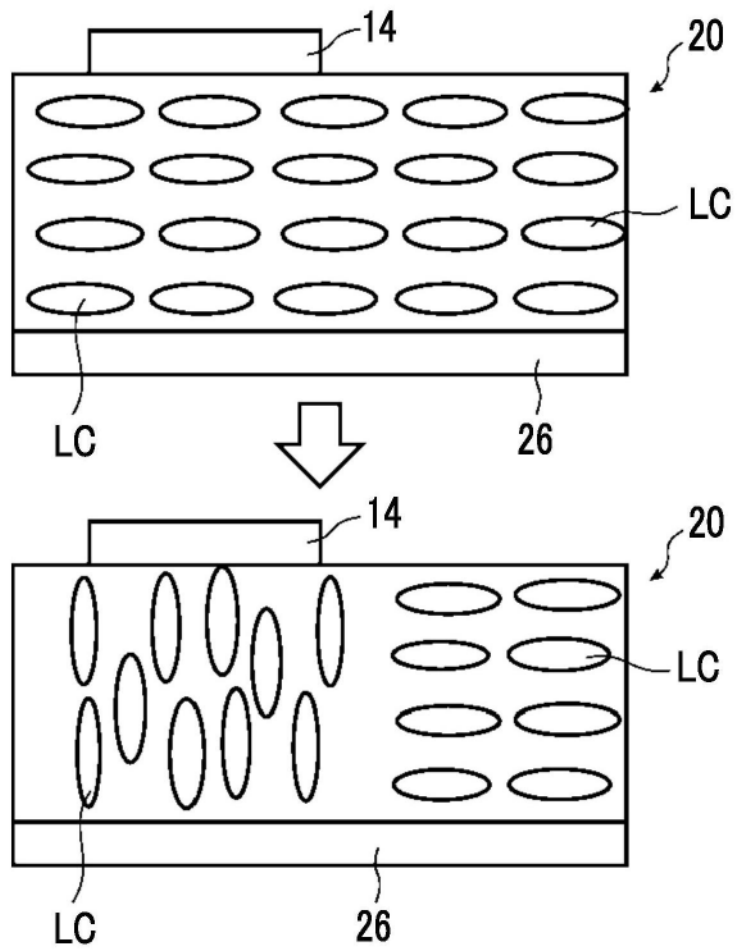


图21

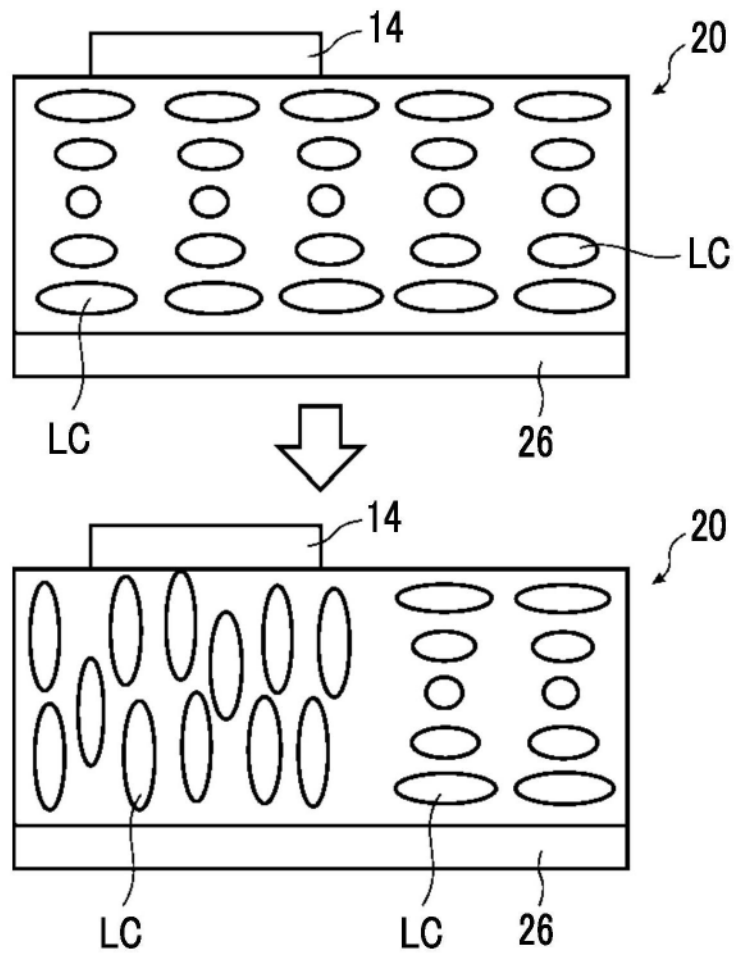


图22

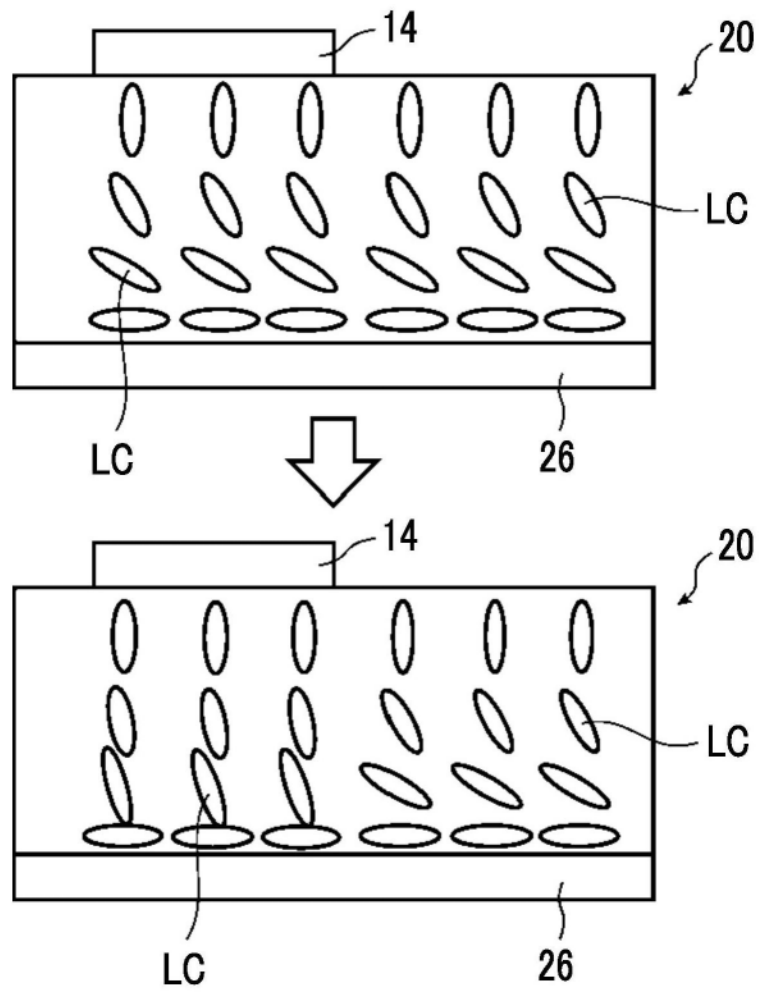


图23

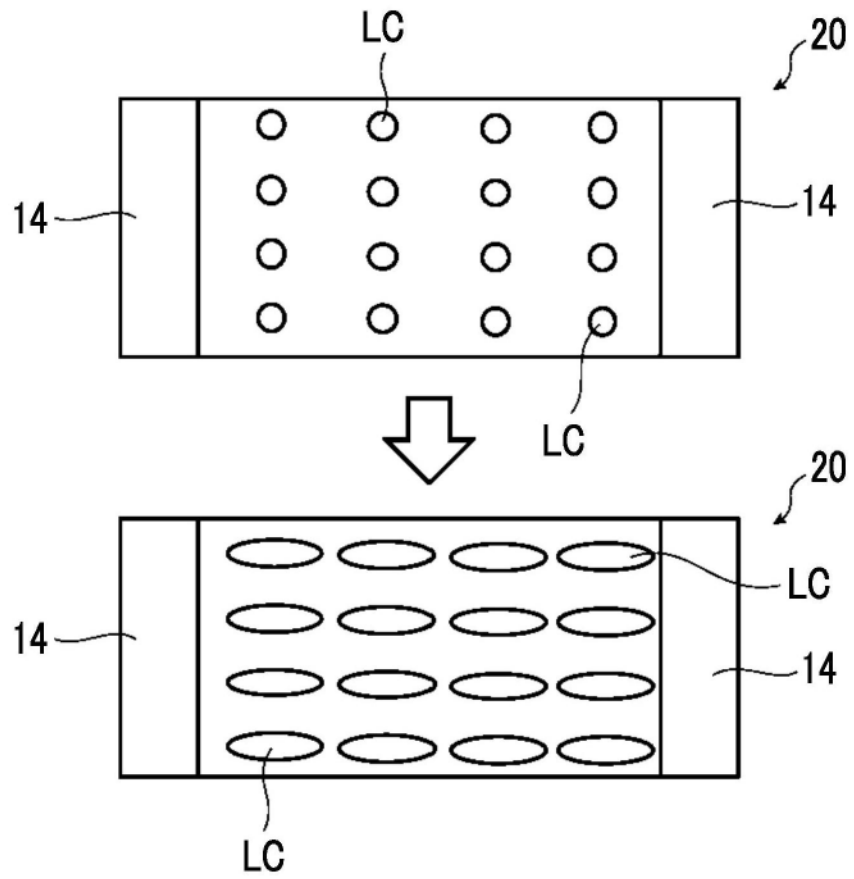


图24

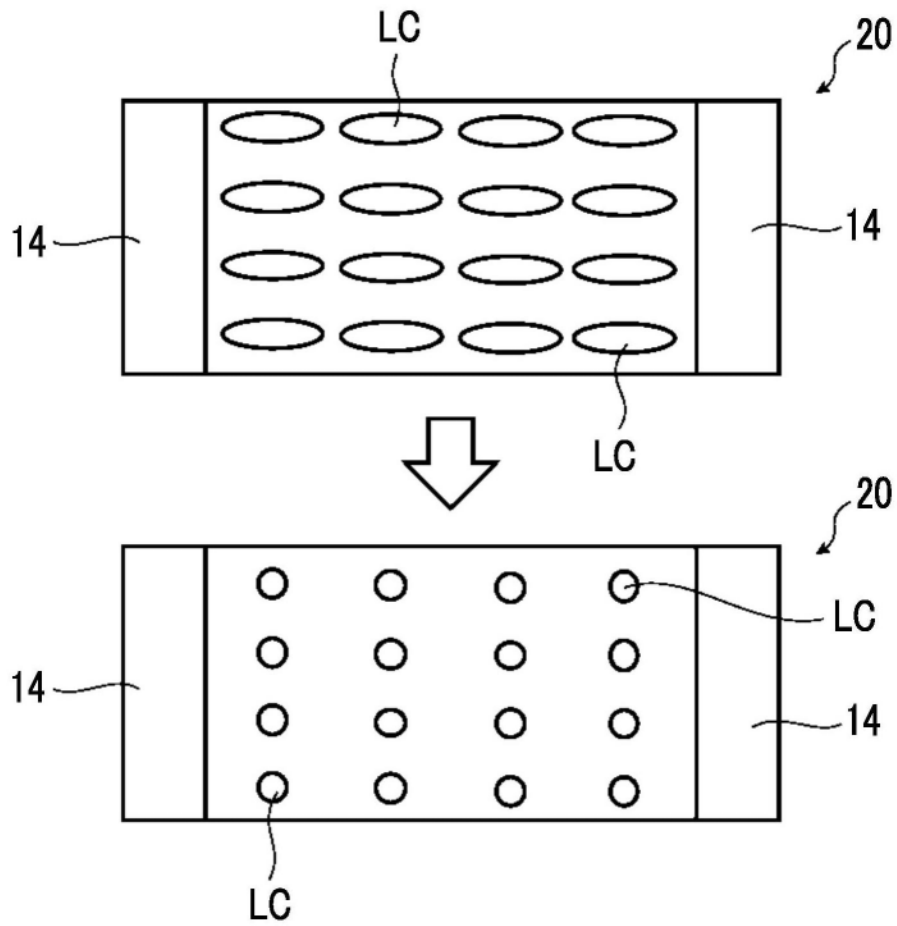


图25

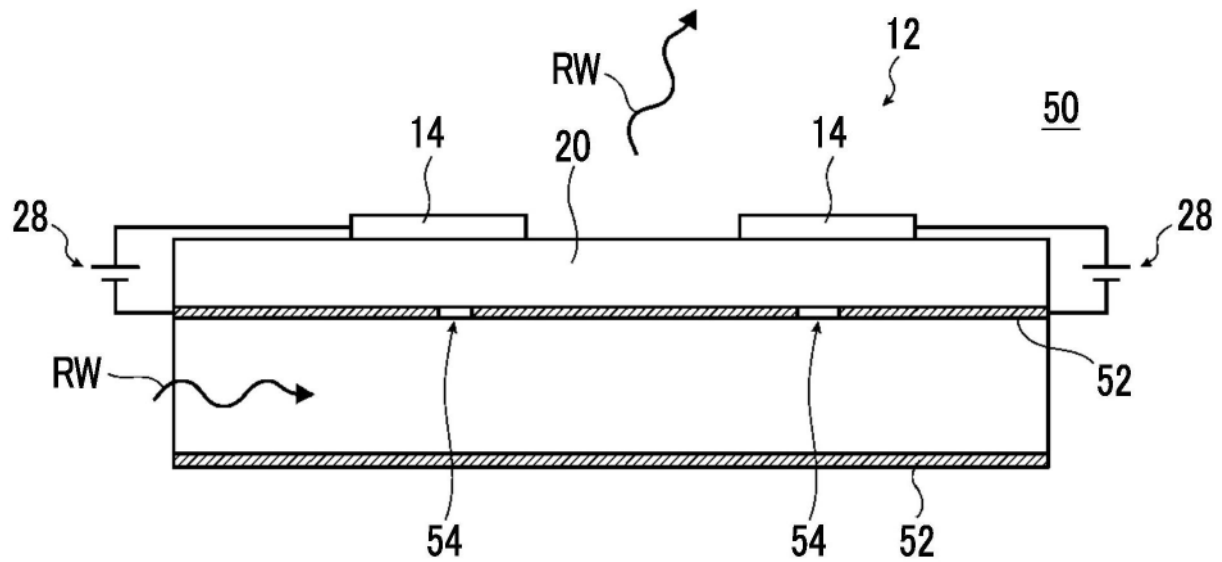


图26

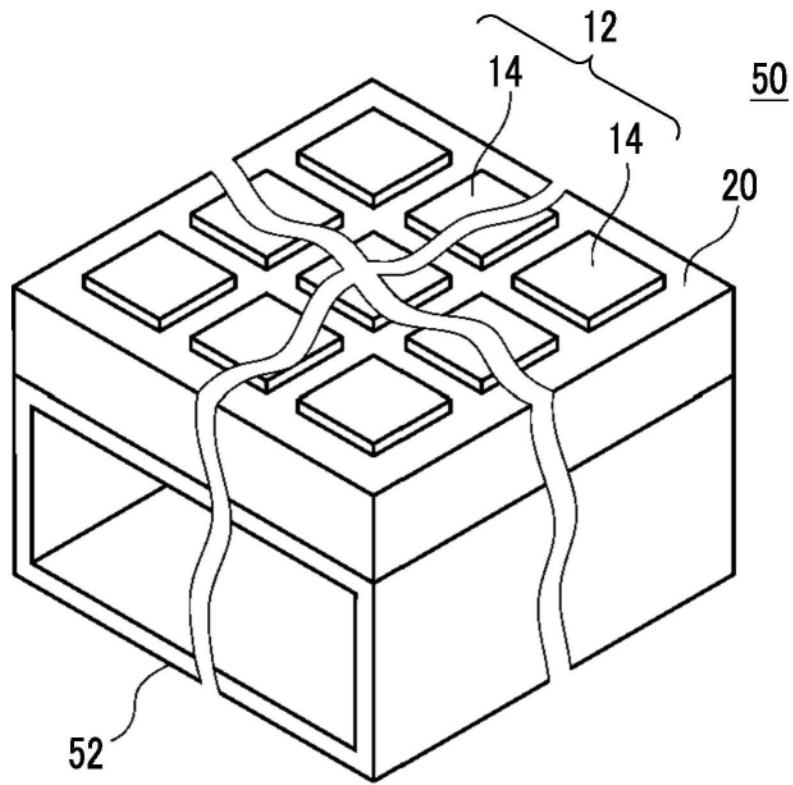


图27

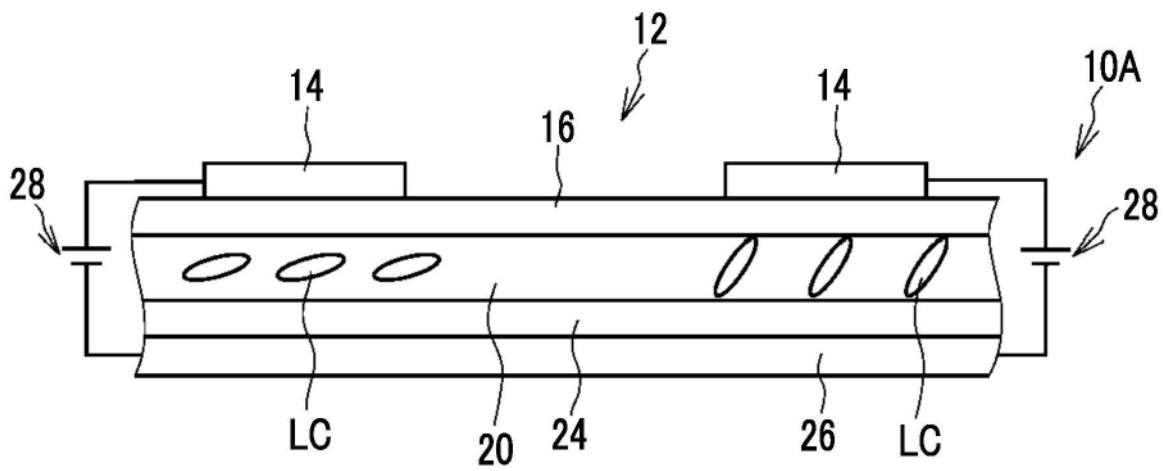


图28

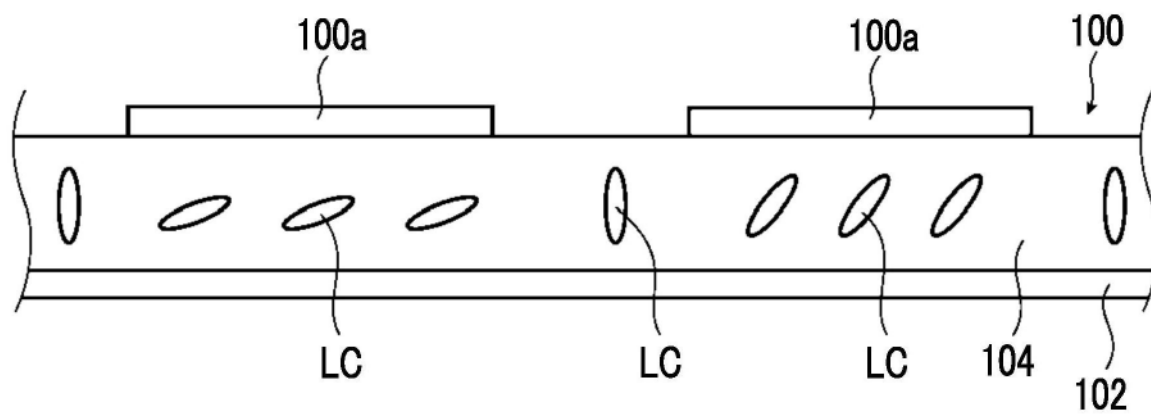


图29