



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102385077 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 21

(21) 申请号 201110240684. 9

(22) 申请日 2011. 08. 22

(30) 优先权数据

2010-188655 2010. 08. 25 JP

(71) 申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 山崎章市 吴信哲 小川凉

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 魏小薇

(51) Int. Cl.

G02B 3/14 (2006. 01)

G02B 26/02 (2006. 01)

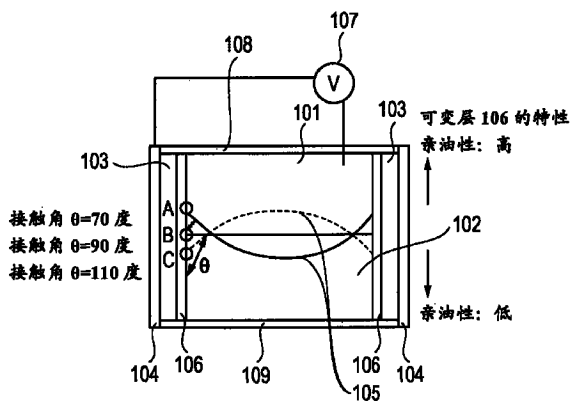
权利要求书 2 页 说明书 42 页 附图 22 页

(54) 发明名称

液体透镜和包含液体透镜的设备

(57) 摘要

本发明提供液体透镜和包含液体透镜的设备。液体透镜包括：容器，具有内壁并且被配置为容纳液体；电解质液体和非电解质液体，所述电解质液体和非电解质液体之间形成界面，并且，所述电解质液体和非电解质液体被容纳在所述容器中；以及电压施加单元，向电解质液体施加电压。电解质液体和非电解质液体之间的界面的形状通过电压施加而被改变。根据所述容器的内壁上的、所述界面的端部与所述内壁接触的位置，所述内壁具有与非电解质液体的变化的亲和性；以及内壁的非电解质液体所位于的侧的该亲和性低于内壁的电解质液体所位于的侧的该亲和性。



1. 一种液体透镜,包括:
容器,具有内壁并且被配置为容纳液体;
电解质液体和非电解质液体,所述电解质液体和非电解质液体之间形成界面,并且,所述电解质液体和非电解质液体被容纳在所述容器中;以及
电压施加单元,向电解质液体施加电压,
其中,所述电解质液体和非电解质液体之间的界面的形状通过向电解质液体的电压施加而被改变,
根据所述容器的内壁上的、所述界面的端部与所述内壁接触的位置,所述内壁具有与非电解质液体的变化的亲和性,以及
内壁的非电解质液体所位于的侧的该亲和性低于内壁的电解质液体所位于的侧的该亲和性。
2. 根据权利要求1的液体透镜,其中,所述内壁沿着液体透镜的光轴方向具有变化的亲和性。
3. 根据权利要求1的液体透镜,其中,所述容器的形状是圆筒状的,并且,圆筒状容器的中心轴和液体透镜的光轴彼此一致。
4. 根据权利要求3的液体透镜,其中,沿包含圆筒状容器的中心轴的平面所截取的圆筒状容器的截面是渐窄的。
5. 根据权利要求1的液体透镜,其中,满足 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta > 0.3$,
其中, $\Delta \theta_0 = \theta_{0\max} - \theta_{00}$, $\Delta \theta = \theta_{\max} - \theta_{00}$,
其中, θ_{\max} 是彼此接触的界面和内壁之间的接触角的最大值, $\theta_{0\max}$ 是获得接触角的所述最大值的位置处的并且没有施加电压的情况下的接触角,并且, θ_{00} 是没有施加电压并且所述界面位于最接近所述电解质液体处的情况下的接触角。
6. 根据权利要求5的液体透镜,其中,在液体透镜的折光力为0的区域附近由电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV 并且在没有施加电压的情况下当彼此接触的界面和内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 的情况下, $d\theta_0/dV$ 成为最大。
7. 根据权利要求5的液体透镜,其中,在液体透镜的正折光力变为最大或负折光力变为最小的位置附近由电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV 并且在没有施加电压的情况下当彼此接触的界面和内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 的情况下, $d\theta_0/dV$ 成为最小。
8. 根据权利要求1的液体透镜,其中,所述内壁由形成的层构成。
9. 根据权利要求8的液体透镜,其中,所述层是通过用能量线照射由亲油材料形成的层而形成的,所述能量线的照射量根据位置而改变。
10. 根据权利要求1的液体透镜,其中,在所述容器中容纳的所述电解质液体和所述非电解质液体相互不能融合。
11. 一种透镜,在该透镜中,根据权利要求1的液体透镜和固体透镜彼此被整合。
12. 一种照相机,包含根据权利要求1的液体透镜。
13. 根据权利要求12的照相机,其中,所述照相机是数字照相机。
14. 根据权利要求12的照相机,其中,所述照相机是网络照相机。

15. 一种配备有照相机的移动电话,包含根据权利要求 1 的液体透镜。

16. 一种液体透镜,包括:

容器,具有内壁并且被配置为容纳液体;和

电压施加单元,被配置为向所述容器中容纳的液体施加电压,

其中,电解质液体和非电解质液体被容纳在所述容器中,所述电解质液体和非电解质液体之间形成接触界面,

所述接触界面的形状响应于所述电压施加单元施加的电压而改变,

根据所述容器的内壁上的、所述界面的端部与所述内壁接触的位置,所述内壁具有与非电解质液体的变化的亲和性,以及

内壁的非电解质液体所位于的侧的该亲和性低于内壁的电解质液体所位于的侧的该亲和性。

液体透镜和包含液体透镜的设备

技术领域

[0001] 本发明涉及具有可变折光力的液体透镜以及包含该液体透镜的设备。

背景技术

[0002] 作为具有可变折光力的透镜形式,已研究和开发了液体透镜。

[0003] 在几种类型的液体透镜中,已强力地研究了利用电润湿原理的液体透镜。电润湿效应被定义为由于在固体(电极)和电解质之间施加的电位差而导致的固体-电解质接触角的变化。因而,电润湿涉及使用电压来改变液体在固体表面上的表面张力。通过施加电压,疏水(hydrophobic)表面的润湿特性可被改变,并且,表面变得愈发亲水(hydrophilic,可润湿)。将该原理应用于液体透镜,当在电解质液体和电极之间施加电压时,电解质液体和非电解质液体之间的界面与接触这两种液体的固体部件之间的角度(此后,该角度被称作“接触角”)改变。

[0004] 由于这样的电润湿透镜的快速操作、界面的充分的表面精度以及由于透镜尺寸减小和零件数量减少导致的低制造成本的潜力,因此这样的电润湿透镜被认为对于某些成像应用是有益的。

[0005] 电润湿透镜包含具有不同折射率的导电的电解质液体和不导电的非电解质液体。导电的电解质液体和不导电的非电解质液体是不能融合的液体,即,不彼此混合而是在其间形成接触界面。由于这两种液体被密封,因此在电解质液体和隔着绝缘层布置的电极层之间的电压施加改变界面端部的接触角,同时液体的体积保持不变。

[0006] 接触角的改变引起界面的球面曲率半径的根据接触角的变化,并且,这两种液体的折射率之间的差诱发光学折光力的变化。典型地,这两种液体的密度相同,这是因为密度差引起由重力的影响导致的界面的球面表面的畸变形状,这导致不充足的光学性能。

[0007] PCT 日文翻译专利公开 No. 2001-519539(此后称为“专利文献 1”)公开了一种发明,该发明减少当由于作为向导电液体施加电压的结果的导电液体中的液体的形变而使透镜的焦距改变时绝缘液体的液滴所经受的形变导致的所述液滴的中心从其原始中心轴偏离的不便。

[0008] 专利文献 1 公开了以区域为基础引起导电液体和设置在导电液体中的绝缘液体的液滴所接触的电介质腔的内壁的“可润湿性”的变化。特别地,专利文献 1 公开了一种液体透镜,该液体透镜的腔的内壁表面被处理,以在向着中心轴 0 的径向上减小对于导电液体的“可润湿性”。

[0009] 日本专利特开 No. 2007-293349(此后称为“专利文献 2”)公开了一种液体透镜,该液体透镜的与液体接触的接触表面的形状被设计为使得由电压施加引起的曲率变化或多或少是以敏感方式进行的。

[0010] 特别地,专利文献 2 暗示了,与由覆盖有绝缘层的导电材料的基底表面构成的液体(即,导电液体和不导电液体)的接触表面的形状的改变会引起透镜的曲率改变:凸接触表面可使得以较不敏感的方式改变,而凹接触表面可使得以较敏感的方式改变。

[0011] 专利文献 1 尝试通过使腔的内壁表面相对于导电液体的“可润湿性”在向着中心轴 O 的径向降低而使由绝缘液体构成的液滴的中心与液滴的中心轴 O 对准。然而,没有做出在施加低电压时实现预定折光力的尝试。

[0012] 专利文献 2 公开了通过设计与液体接触的接触表面的形状(具体地,不是设置一般环形电极的线性渐窄的截面形状,而是设置凹曲面表面),为响应电压施加的透镜曲率改变增大敏感性。

[0013] 然而,在尝试获得具有凹接触表面的液体透镜时,关于包含圆筒光轴并且平行于该光轴的截面,需要设置构成接触表面的凹环形电极和绝缘层:这种凹表面难以加工,并且,需要足够的精度来加工这种凹表面。这种液体透镜的制造是昂贵的,因此难以被用作适于大规模生产的液体透镜。

发明内容

[0014] 本发明的一个方面针对一种液体透镜,该液体透镜的制造不昂贵,并且以低驱动电压经受大的折光力改变(即,对电压施加的敏感性高)。

[0015] 根据本发明的至少一个实施例的液体透镜包括:容器,具有内壁并且被配置为容纳液体;电解质液体和非电解质液体,所述电解质液体和非电解质液体之间形成界面,并且,所述电解质液体和非电解质液体被容纳在所述容器中;以及电压施加单元,向电解质液体施加电压。所述电解质液体和非电解质液体之间的界面的形状通过电压的施加而改变。根据所述容器的内壁上的、所述界面的端部与所述内壁接触的位置,所述内壁具有与非电解质液体的变化的亲和性;并且,内壁的非电解质液体所位于的侧的该亲和性低于内壁的电解质液体所位于的侧的该亲和性。

[0016] 在根据本发明的液体透镜中,容纳电解质液体和非电解质液体、并且与这些液体之间的界面的端部接触的容器的内壁根据位置而具有与非电解质液体的变化的亲和性(亲油性)。特别地,亲和性在非电解质液体侧低于在电解质液体侧。也就是说,内壁的可润湿性在非电解质液体侧是更加疏油的。通过此配置,能够以施加电压的小的变动来改变接触角 θ ,因而能够以低驱动电压和电压的小的变动来实现透镜的折光力的敏感的改变。

[0017] 从参照附图对示例性实施例的以下描述中,根据本发明的其它特征将变得清晰。

附图说明

[0018] 图 1 是根据本发明的液体透镜的例子(具有圆筒状电极)的示意图。

[0019] 图 2 是根据本发明的液体透镜的例子(具有平面形状的圆筒状渐窄电极)的示意图。

[0020] 图 3 是可应用于本发明的圆筒状电极(具有曲面表面)的示意图。

[0021] 图 4A 是根据本发明的第一实施例(具有圆筒状电极)的液体透镜的示意图。

[0022] 图 4B 是 $V-\theta$ 示图。

[0023] 图 5A 是根据本发明的第二实施例(具有圆筒状电极)的液体透镜的示意图。

[0024] 图 5B 是 $V-\theta$ 示图。

[0025] 图 6A 是根据本发明的第三实施例(具有圆筒状电极)的液体透镜的示意图。

[0026] 图 6B 是 $V-\theta$ 示图。

- [0027] 图 7A 是根据本发明的第四实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0028] 图 7B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0029] 图 8A 是根据本发明的第五实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0030] 图 8B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0031] 图 9A 是根据本发明的第六实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0032] 图 9B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0033] 图 10A 是根据本发明的第七实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0034] 图 10B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0035] 图 11A 是根据本发明的第八实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0036] 图 11B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0037] 图 12A 是根据本发明的第九实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0038] 图 12B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0039] 图 13A 是根据本发明的第十实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0040] 图 13B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0041] 图 14A 是根据本发明的第十一实施例（具有圆筒状电极）的液体透镜的示意图。
- [0042] 图 14B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0043] 图 15A 是根据本发明的第十二实施例（具有圆筒状渐窄电极）的液体透镜的示意图。
- [0044] 图 15B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0045] 图 16A 是根据本发明的第十三实施例（具有圆筒状渐窄电极）的液体透镜的示意图。
- [0046] 图 16B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0047] 图 17A 是根据本发明的第十四实施例（具有圆筒状渐窄电极）的液体透镜的示意图。
- [0048] 图 17B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0049] 图 18 是示出根据本发明的实施例中的 θ 可变层的特性与施加电压的减小之间的关系的关系的示意图。
- [0050] 图 19 是根据本发明的其中液体透镜、透镜和其它组件被整合的光学部件的示意图。
- [0051] 图 20 是包含根据本发明的液体透镜的照相机的示意图。
- [0052] 图 21 是包含根据本发明的液体透镜的数字照相机的主要部分的示意图。
- [0053] 图 22 是包含根据本发明的液体透镜的移动电话的主要部分的示意图。
- [0054] 图 23A 是包含根据本发明的液体透镜的网络照相机的示意图。
- [0055] 图 23B 是网络照相机系统的框图。
- [0056] 图 24A 是现有技术液体透镜（具有圆筒状电极）的示意图。
- [0057] 图 24B 是 $V-\theta$ 示图。
- [0058] 图 25A 是现有技术液体透镜（具有圆筒状渐窄电极）的示意图。
- [0059] 图 25B 是 $V-\theta$ 示图。

具体实施方式

[0060] 图 1 是示出根据本发明的液体透镜的例子的示意性截面图,该液体透镜包含容纳液体的圆筒状容器。图 1 是沿包含圆筒状容器的中心轴(即,光轴)的平面所截取的。

[0061] 如图 1 所示,绝缘层 103 被设置在圆筒形状电极 104 的内侧,并且形成容纳液体的容器。相互不能融合的电解质液体 101 和非电解质液体 102 被容纳在所述容器中。电解质液体 101 和非电解质液体 102 具有界面 105,所述界面 105 的端部与容器的内壁接触。在绝缘层 103 内侧设置层 106(此后,称为“可变层”),所述层 106 形成容器的内壁,并且根据内壁上的位置而具有变化的与非电解质液体的亲和性。可变层 106 与非电解质液体 102 的亲合性与在电解质液体 101 侧相比在非电解质液体 102 侧相对较低。典型地,考虑到电解质液体是可电离的液体并且非电解质液体是油性液体,与非电解质液体的相对较低的亲合性可被换言之称为相对较低的亲油性。

[0062] 这意味着,亲油性在电解质液体侧相对较高,而在非电解质液体侧相对较低(即,疏油性高)。

[0063] 电源 107 与电极 104 一起构成电压施加单元,该电压施加单元将电压施加到电解质液体 101。由透明的透光材料构成前保护板 108 和后保护板 109。

[0064] 在根据本发明的液体透镜中,电解质液体和非电解质液体之间的界面的端部与容纳所述液体的容器的内壁接触的接触角 θ 和施加到电解质液体的电压 V 可由以下的公式 1 表示,该公式 1 被称为杨氏公式:

$$[0065] \quad \cos\theta = \cos\theta_0 - (\epsilon/d/\gamma_{wo}/2) * V^2 \text{ 公式 1}$$

[0066] 其中:

[0067] θ_0 是在没有电压施加的情况下 $V = 0$ 时的接触角(即,初始接触角);

[0068] ϵ 是绝缘层的介电常数(即,图 1 中的绝缘层 103 的介电常数);

[0069] d 是绝缘层的厚度;以及

[0070] γ_{wo} 是电解质液体(W)和非电解质液体(O)之间的界面能量。

[0071] 根据公式 1,如果两种液体与绝缘层直接接触(即,如果界面的端部在绝缘层上移动),则当这两种液体材料和绝缘层被确定时, θ_0 、 ϵ 、 d 和 γ_{wo} 是恒定的,并且,公式 1 是以 V 和 θ 为变量的函数。当界面的端部的接触角 θ 被确定时,根据取决于容纳液体透镜的容器的尺寸的透镜的直径确定界面的球面曲率半径。然后,根据曲率半径和两种液体的折射率确定焦距(折光力是焦距的倒数)。

[0072] 本发明是关注于公式 1 的 $\cos\theta_0$ 分量而被研发的。

[0073] θ_0 是初始接触角(施加电压 $V = 0$)并且是根据界面的端部所接触的绝缘层的表面的特性而被确定的。典型地, θ_0 是恒定值。然而,如果 θ_0 根据绝缘层的、界面的端部的接触位置在其上移动的表面上的位置而改变,则 $V-\theta$ 特性可被改变。因而,接触角相对于施加电压的响应的敏感度可被控制。

[0074] 改变 θ_0 是有用的,改变 θ_0 意味着根据位置改变绝缘层的表面的可润湿性。在本发明中,关于 $V-\theta$ 特性的敏感性随着绝缘层的表面(即,容器的内壁)的根据位置的可润湿性改变而增大,特别地,令与非电解质液体的亲和性与在电解质液体侧相比在非电解质液体侧相对较低。

[0075] 本发明包括这样的配置,在该配置中,不仅是绝缘层的表面的可润湿性被直接改

变,而且具有可变的可润湿性的薄的可变层被设置在具有均匀特性的绝缘层上。

[0076] 在本发明中,与电解质液体侧相比相对降低非电解质液体侧的与非电解质液体的亲和力包括:令相对亲水性、疏水性、亲油性或疏油性根据绝缘层的表面(即,容器内壁)上的与界面的端部接触的位置而不同。

[0077] 在图1中所示的液体透镜中,当在电解质液体101和电极104之间施加电压时,构成容器的内壁的可变层106与界面105的端部之间的接触角 θ (即,在非电解质液体侧)增大,并且,界面105的端部的位置从A移动到C。

[0078] 通过这种电压施加,由实线表示的曲率半径(即,界面105的端部A)被改变为由虚线表示的曲率半径(即,界面105的端部C),并且,折光力相应改变。

[0079] 可变层106的可润湿性从电解质液体101侧(图1的点A)改变为非电解质液体102侧(图1的点C),使得与非电解质液体102的亲水性(亲油性)降低(即,疏油性增大)。

[0080] 通过这种配置,与使用具有恒定的可润湿性的均匀层的配置相比,能够以低的驱动电压和小的电压改变来进行图1中的接触角 θ 从70度(A)向110度(C)的改变(之后将在实施例和比较实施例中给出其详细描述)。电解质液体相对于电解质液体的D线(波长:587.6nm)的折射率为1.4,并且相对于非电解质液体的D线的折射率为1.6。

[0081] 在以下的描述中,在所有附图中,将用相同的附图标记表示相同的组件,并且,重复的描述将被省略。

[0082] 图2中所示的液体透镜包括渐窄的圆筒状电极(具有渐窄的截面),而图1中所示的液体透镜包括圆筒状电极。图2是沿包含圆筒状容器的中心轴(即,光轴)的平面所截取的截面图。在截面图中观看时,容器的与液体的界面的端部接触的内表面(即,绝缘层)是平面。

[0083] 除了使用渐窄的圆筒状电极以外,图2中所示的液体透镜与图1中所示的基本上类似。前保护板108和后保护板109未在图2中示出。如在第一实施例中那样,可变层106的可润湿性被改变,使得在本实施例的液体透镜中,与非电解质液体102的亲水性从电解质液体101(即,图2中的点A)向着非电解质液体102(即,点C)降低(即,疏油性增大)。

[0084] 在根据本发明的液体透镜中,电解质液体101、非电解质液体102和可变层106的材料性质影响界面能量;因而作为液体透镜所使用的接触角的范围可不同。

[0085] 例如,如果接触角的使用范围要从40度改变为80度,则希望使用具有图2中所示的渐窄的圆筒状电极的液体透镜。

[0086] 在图2中所示的液体透镜中,固态部件(即,绝缘层103、电极104和可变层106)相对于未示出的光轴具有30度的渐窄角 α ,以便获得与图1中所示的具有圆筒状电极的液体透镜相同的曲率半径改变(即,相同的焦距改变)。

[0087] 30度的渐窄角可获得在30度的基础上从40度到80度的接触角的使用范围,因而可提供从70度到110度的接触角改变。结果,实现与图1中所示的液体透镜相同的操作。

[0088] 图3中所示的液体透镜是包含具有凹表面的圆筒状电极的例子。除了包含具有凹表面的圆筒状电极以外,图3中所示的液体透镜与图1中所示的液体透镜相同。在图3中所示的液体透镜中,与图1中所示的液体透镜相同的曲率半径R的改变可实现以低驱动电压进一步减小接触角 θ 的改变(即,接触角 θ 为80度到100度)。

[0089] 此后,将详细描述根据本发明的组件。

[0090] 容纳液体的容器

[0091] 可使用各种容器来容纳相互不能融合的电解质液体和非电解质液体,并且,折光力可从正改变为负或者从负改变为正的圆筒状容器是特别合适的。容器的例子包括内表面涂覆有绝缘层和可变层的圆筒状金属材料(例如,铝、铜、铁或其合金),以及内表面涂覆有导电层、绝缘层和可变层的圆筒状玻璃或塑料材料。

[0092] 电解质液体和非电解质液体

[0093] 电解质液体的例子包括含盐的水。盐例如可以是氯化物化合物或溴化物化合物。非电解质液体的例子包括诸如硅油之类的油性溶剂和各种有机溶剂。电解质液体和非电解质液体的组合可以被确定为使得这些液体具有不同折射率并且彼此不能融合;在考虑到作为透镜的性能时,密度等同或基本等同的液体是特别合适的。

[0094] 具有与非电解质液体的变化的亲和性的容器的内壁表面

[0095] 具有与非电解质液体的变化的亲和性的容器的内壁表面的例子包括:(i)容器的涂覆有绝缘层的内壁表面,所述绝缘层被表面处理以根据位置提供改变的亲和性;(ii)容器的涂覆有绝缘层和薄层的内壁表面,该薄层被表面处理以提供变化的亲和性;以及(iii)自身由绝缘材料形成的容器的内壁表面,其内表面被表面处理以根据位置提供变化的亲和性(容器的外侧被涂覆有构成电极的金属材料)。

[0096] 用于涂覆所述表面的薄层的材料的例子包括作为亲油材料的基于环氧的材料、硅烷偶联材料和基于聚对二甲苯的材料。

[0097] 这些材料可经受UV照射、电子照射、电晕放电或臭氧照射;通过这些处理,材料容易地在其表面上产生OH离子,并且,薄层的表面的特性从亲油变为亲水。

[0098] 根据本发明的可变层从电解质液体向着非电解质液体变得相对较疏油(即,亲水)。随着能量线的照射量增大,薄层从电解质液体向着非电解质液体变得高度疏油(即,亲水)。根据位置变化的亲和性意味着根据位置变化的初始接触角 θ_0 。即,通过根据位置控制能量的照射量,根据位置的 θ_0 的改变可以是可变的。例如,在 θ_0 快速增大的位置处,能量的照射量也可快速增大以增强疏油性的敏感性。作为替换方案,亲水材料可被用作 θ_0 可变层,以便从非电解质液体向着电解质液体降低疏油性(亲水性)。

[0099] 如果圆筒状容器由具有作为电极的功能的金属材料形成并且该金属材料的内表面被涂覆有构成容器的内壁的绝缘层和可变层,则可提供以下配置。即,在绝缘层上形成薄层之后,薄层表面被覆盖有遮蔽物,该遮蔽物响应能量线的照射时间而移动,以提供可变层的具有改变的亲和性的内壁。

[0100] 如果圆筒状容器由不导电塑料或玻璃材料形成,则在涂覆电极材料(例如铝、ITO和Ag)之后形成绝缘层和可变层。

[0101] 这些层例如可由气相沉积或溅射形成。

[0102] 其它描述

[0103] 容器的内壁可在液体透镜的光轴的方向上具有改变的亲和性。通过这种配置,在圆筒状渐窄电极和圆筒状电极两者中都能够以低的驱动电压和小的电压改变来增强折光力的改变的敏感性。在此,每个圆筒状电极的中心轴和光轴可彼此一致。如果这些轴不一致,则界面具有不完美的球面表面形状,这导致不充足的光学性能。

[0104] 还能够作为根据在此描述的至少一个实施例的液体透镜与诸如玻璃透镜和塑料透镜之类的一般透镜的组合产品来构造变焦透镜。该变焦透镜可使用液体透镜的改变的折光力以用于聚焦或变焦。在此配置中,由于液体透镜以低电压被驱动,因此不需要用于对电压进行升压的升压电路,因而照相机的电源可被用于驱动液体透镜。

[0105] 电润湿液体透镜以低功耗操作,这是因为界面通过施加电压的电容器效应而被移动因而基本上没有电流流过该界面。电润湿液体透镜不需要聚焦机构,从而实现快速和安静的自动聚焦。还能够使用液体透镜的改变的折光力来通过变焦改变倍率。在这种情况下,由于变焦机构变得不必要或者被简化,因此除了聚焦之外,还实现快速和安静的变焦。

[0106] 在此公开的液体透镜中的以低的驱动电压和小的电压改变的折光力的增强的敏感性有利于增大液体透镜的响应速度。

[0107] 虽然交流电压是合适的,但是能够由直流电压驱动根据在此公开的任何实施例的液体透镜。交流中的驱动电压越低,电磁波噪声就可以越小。包含在数字照相机中的图像拾取元件尤其容易受到电磁波噪声的影响;因而低电压也有助于噪声减小。

[0108] 此后,将参照与特定实施例和比较例对应的各图来描述特定实施例和比较例。

[0109] 第一实施例和第一比较实施例

[0110] 图 4A 是根据第一实施例(具有圆筒状电极)的液体透镜的配置图,图 4B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 1 中给出。

[0111] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。

[0112] 当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度(即, $V=0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。

[0113] 当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性(即, $V=0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$)被增大为高达 87 度(即,疏油性增大)。如图 4B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性从 70 度线性地变为 87 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度 d 被表示为 $d = 1E-3\text{mm}$,绝缘层 103 的介电常数 ϵ 被表示为 $\epsilon = 2.6E-11\text{F/m}$,并且,两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 被表示为 $\gamma_{wo} = 8.78E-6\text{kJ/m}$ 。

[0114] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 17V 时,实际接触角 θ 从 70 度($\theta = \theta_{00}$) 改变为 112.1 度($\theta = \theta_{\max}$)(见图 4B 的 θ 曲线)。关注图 4B 的示图中的 θ_0 的曲线能够看出,具有被控制的可润湿性的可变层 106 将界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处的位置处的接触角增大 17 度(即,87-70),并且,在增大的条件下,接触角进一步由电压施加改变,以降低施加电压。

[0115] 在此,将给出用于比较的第一比较实施例。

[0116] 图 24A 是包含具有均匀的 θ_0 的均匀层(“ θ_0 均匀层”)的现有技术液体透镜的配置图。图 24B 是 $V-\theta$ 特性示图。第一比较实施例的 $V-\theta$ 特性表在表 2 中给出。

[0117] 当施加 0V 到 22V 的范围中的驱动电压时, θ 从 $V=0$ 时的界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处的接触角 $\theta = 70$ 度(θ_0 也为 70 度)改变为界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处的接触角 $\theta = 112$ 度。

[0118] 图 24B 的示图表示从 70 度到 112 度的 θ 曲线。 θ_0 曲线表明 θ_0 没有改变。绝缘层 103 的厚度和介电常数以及两种液体之间的界面能量与第一实施例的相同。

[0119] 根据以上给出的数据能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到 17V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 1 的下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.404$ 。

[0120] 在此, $\Delta \theta$ 由以下公式表示:

$$[0121] \quad \Delta \theta = \theta_{\max} - \theta_{00}$$

$$[0122] \quad \Delta \theta_0 = \theta_{0\max} - \theta_{00}$$

[0123] 在界面 105 的可移动范围中,最大接触角被设为 θ_{\max} (在非电解质液体 102 侧),表示该点处的层 (即, θ_0 可变层 106) 的可润湿性的没有电压施加的情况下的初始接触角被设为 $\theta_{0\max}$ 。当 $V = 0$ 时,即没有电压施加时,与位于最接近电解质液体 101 处的界面 105 的初始接触角 θ (即,电解质液体 101 侧) 被设为 θ_{00} ($\theta = \theta_{00}$, 初始接触角)。

[0124] 第二实施例

[0125] 图 5A 是根据第二实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 5B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 3 中给出。

[0126] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 107.5 度 (即,疏油性增大)。如图 5B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性从 70 度线性地变为 107.5 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0127] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 7.5V 时,实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 增大到 112.6 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 5B 的 θ 曲线)。具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0128] 在第二实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到 7.5V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 3 的下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.881$ 。

[0129] 由于 θ_0 可变层 106 中的 $\Delta \theta_0$ 的改变 (即,可润湿性的改变) 大于第一实施例中的 $\Delta \theta_0$ 的改变,因此电压改变量降低,从而能够以 7.5V 的电压驱动根据第二实施例的液体透镜,所述 7.5V 小于使用现有技术 θ_0 均匀层的情况下的驱动电压的一半。

[0130] 第三实施例

[0131] 图 6A 是根据第三实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 6B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 4 中给出。

[0132] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 115 度 (即,疏油性增大)。如图 6B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性从 70 度线性地变为 115 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0133] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 1.5V 时,实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变为 115.2 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 6B 的 θ 曲线)。

[0134] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0135] 在第三实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到低于 1.5V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 4 的下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.995$ 。

[0136] 由于 θ_0 可变层 106 中的 $\Delta \theta_0$ 的改变 (即,可润湿性的改变) 大于第一实施例和第二实施例中的 $\Delta \theta_0$ 的改变,因此,每个位置中的 θ_0 和施加电压时的实际接触角 θ 彼此接近。因而,基本上不需要电压改变。因此能够看出,以低达 1.5V 的驱动电压实现焦距的改变 (从 θ :70 度到 θ :115 度)。

[0137] 第四实施例

[0138] 图 7A 是根据第四实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 7B 是 V- θ 特性示图。V- θ 特性表在表 5 中给出。

[0139] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 88.5 度 (即,疏油性增大)。如图 7B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调增大的方式从 70 度变为 88.5 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0140] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 17V 时,实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 113.7 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 7B 的 θ 曲线)。

[0141] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0142] 在第四实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到低于 17V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 5 的下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.423$ 。

[0143] 与可润湿性线性改变并且和本实施例具有相似的 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 的第一实施例相比, θ_0 可变层 106 的特性改变在高电压侧 (即,在非电解质液体侧) 是高的,因而低电压区域的 V- θ 敏感性低。

[0144] 第五实施例

[0145] 图 8A 是根据第五实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 8B 是 V- θ 特性示图。V- θ 特性表在表 6 中给出。

[0146] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 107 度 (即,疏油性增大)。如图 8B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调增大的方式从 70 度变为 107 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0147] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 8.5V 时,实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 113.5 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 8B 的 θ 曲线)。

[0148] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0149] 在第五实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到低于 8.5V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在 (C) 的表 6 下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.850$ 。

[0150] 由于 θ_0 可变层 106 中的 $\Delta \theta_0$ 的改变大于具有相同的单调增大的可润湿性的第四实施例的 $\Delta \theta_0$ 的改变 (即可润湿性的改变),因此,电压改变量是小的。与可润湿性线性改变并且具有和本实施例类似的 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 的第二实施例相比,总体上的 V- θ 敏感性基本上是低的。

[0151] 第六实施例

[0152] 图 9A 是根据第六实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 9B 是 V- θ 特性示图。V- θ 特性表在表 7 中给出。

[0153] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 113.6 度 (即,疏油性增大)。如图 9B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调增大的方式从 70 度变为 113.6 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0154] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 2V 时,实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 114 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 9B 的 θ 曲线)。

[0155] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0156] 在第六实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到低于 2V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。表 7 下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.992$ 。由于 θ_0 可变层 106 中的 $\Delta \theta_0$ 的改变 (可润湿性的改变) 比可润湿性以同样方式单调增大的第四和第五实施例的 $\Delta \theta_0$ 的改变大得多,因此,各位置中的 θ_0 和施加电压时的实际接触角 θ 彼此接近。因此,基本上不需要电压改变。因此,能够以低达 2V 的驱动电压改变焦距 (从 $\theta : 70$ 度到 $\theta : 114$ 度)。与具有和本实施例类似的高 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 并且可润湿性线性改变的第三实施例相比,总体上的 V- θ 敏感性基本上是低的。

[0157] 关于第一到第三实施例和第四到第六实施例的考虑

[0158] 第四到第六实施例的 θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调增大的方式改变,而第一到第三实施例具有线性改变的可润湿性。线性改变一般是合适的,这是因为 V- θ 敏感度在驱动电压范围的约百分之 80 中是增大的。

[0159] 第七实施例

[0160] 图 10A 是根据第七实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 10B 是 V- θ 特性示图。V- θ 特性表在表 8 中给出。

[0161] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处

时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0max}$) 被增大为高达 87.5 度 (即, 疏油性增大)。如图 10B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调减小的方式从 70 度变为 87.5 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0162] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性, 当施加电压从 0V 增大到 17V 时, 实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 112.6 度 ($\theta = \theta_{max}$) (见图 10B 的 θ 曲线)。

[0163] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0164] 在第七实施例中能够看出, 通过 θ_0 可变层 106, 以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到 17V) 实现相同的接触角 θ 的改变, 即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。表 8 下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.410$ 。与可润湿性线性改变并且具有和本实施例类似的高 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 的第一实施例相比, 总体上的 $V-\theta$ 敏感性是高的。

[0165] 第八实施例

[0166] 图 11A 是根据第八实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图, 图 11B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 9 中给出。

[0167] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0max}$) 被增大为高达 107.1 度 (即, 疏油性增大)。如图 11B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调减小的方式从 70 度变为 107.1 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0168] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性, 当施加电压从 0V 增大到 6V 时, 实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 110.3 度 ($\theta = \theta_{max}$) (见图 11B 的 θ 曲线)。

[0169] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0170] 在第八实施例中能够看出, 通过 θ_0 可变层 106, 以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到约 6V) 实现相同的接触角 θ 的改变, 即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。表 9 下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.920$ 。

[0171] 由于 θ_0 可变层 106 中的 $\Delta \theta_0$ 的改变 (即, 可润湿性的改变) 大于其中可润湿性的改变以同样方式单调减小的第七实施例的 $\Delta \theta_0$ 的改变, 因此电压改变量是小的。与可润湿性线性改变并且具有和本实施例类似的 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 的第二实施例相比, 总体上的 $V-\theta$ 敏感性基本上是高的。

[0172] 第九实施例

[0173] 图 12A 是根据第九实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图, 图 12B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 10 中给出。

[0174] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$

时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 110.2 度 (即, 疏油性增大)。

[0175] 如图 12B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调减小的方式从 70 度变为 110.3 度。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 与第一实施例的相同。

[0176] 通过 θ_0 可变层 106 的这种特性, 当施加电压从 0V 增大到 0.75V 时, 实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 110.3 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 12B 的 θ 曲线)。

[0177] 具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 24A 和 24B 中示出。

[0178] 在第九实施例中能够看出, 通过 θ_0 可变层 106, 以小的电压改变 (ΔV 从 22V 减小到约 0.75V) 实现相同的接触角 θ 的改变, 即从 70 度到 112 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。表 10 下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.999$ 。

[0179] 由于 θ_0 可变层 106 中的 $\Delta \theta_0$ 的改变 (即, 可润湿性的改变) 比其中可润湿性的改变以同样方式单调减小的第六和第八实施例的 $\Delta \theta_0$ 的改变大得多, 因此每个位置中的 θ_0 和施加电压时的实际接触角 θ 彼此接近。因此, 基本上不需要电压改变。因此, 能够以低至 0.75V 的驱动电压改变焦距 (从 θ :70 度到 θ :110.3 度)。与具有和本实施例类似的高 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 并且可润湿性线性改变的第三实施例相比, 总体上的 V- θ 敏感性是进一步高的。

[0180] 关于第一到第三实施例、第四到第六实施例和第七到第九实施例的考虑

[0181] 第七到第九实施例的 θ_0 可变层 106 的可润湿性以微分值单调减小的方式改变, 而第一到第三实施例具有线性改变的可润湿性。第七到第九实施例的 V- θ 敏感性高于具有线性改变的可润湿性的那些实施例。关于 V- θ 敏感性的程度, 微分值单调减小是最高的, 微分值单调增大是最低的, 并且线性改变处于其间; 在它们中, 微分值单调减小是最合适的。

[0182] 第十实施例

[0183] 图 13A 是根据第十实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图, 图 13B 是 V- θ 特性示图。V- θ 特性表在表 11 中给出。

[0184] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0\max}$) 被增大为高达 106.7 度 (即, 疏油性增大)。在如图 13B 中的 θ_0 曲线所表示的从 70 度到 106.7 度的 θ_0 可变层 106 的可润湿性的改变范围中, θ_0 可变层 106 的可润湿性的改变的敏感性在低电压区域和高电压区域中是低的并且在中间电压区域中是高的。

[0185] θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度 d 被表示为 $d = 1.300E-03\text{mm}$, 绝缘层 103 的介电常数 ϵ 被表示为 $\epsilon = 3.9E-11\text{F/m}$, 并且, 两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 被表示为 $\gamma_{wo} = 1.141E-5\text{kJ/m}$ 。通过 θ_0 可变层 106 的这种特性, 当施加电压从 0V 增大到 6.5V 时, 实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 110.1 度 ($\theta = \theta_{\max}$) (见图 13B 的 θ 曲线)。

[0186] 虽然没有示出, 但是在具有均匀 θ_0 的现有技术例子 (“ θ_0 均匀层”) 中, 电压 V 从 0V 改变为 23V 并且接触角 θ 从 70 度改变为 110.7 度 (θ_0 总是 70 度)。因此能够看

出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 23V 减小到 6.5V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 110 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。表 11 下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta V = 0.916$ 。

[0187] 如果透镜单元被形成为液体透镜和一般透镜 (即,由诸如玻璃、塑料或石英等固体材料制成的透镜) 的组合,并且,液体透镜用于聚焦或变焦,则当液体透镜具有大约为“0”的折光力时,即使 $V-\theta$ 由于误差而变化,整个透镜单元的光学性能也几乎不受影响。

[0188] 然而,在液体透镜的具有增大的正或负折光力的区域中,即使由误差导致的 $V-\theta$ 对应关系中的轻微的变化也显著损害整个透镜单元的光学性能。

[0189] 在第十实施例中,当接触角 θ 为 70 度时 (此时的界面由实线表示) 液体透镜的负焦度变得最大,当接触角 θ 为 90 度时液体透镜的折光力为“0”,并且,当接触角 θ 为 110 度时 (此时的界面由虚线表示) 液体透镜的正焦度变得最大。

[0190] 于是,在接触角 θ 为 90 度时的折光力为“0”的区域附近 (即,接触角 $\theta \pm 7$ 度内),电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV ,并且,在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即,微分值绝对值) 变为最大,并且, $V-\theta$ 敏感性增强并且较大地改变,以提高速度。在接触角 θ 为大约 70 度和 110 度并且折光力大的区域中 (即,接触角 $\theta \pm 7$ 度内),电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV ,并且,在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即,微分值绝对值) 变为最小。如果 $V-\theta$ 敏感性降低以便轻微改变并且 $V-\theta$ 对应关系被高度精确地控制,则可增强透镜的质量。

[0191] 第十一实施例

[0192] 图 14A 是根据第十一实施例 (具有圆筒状电极) 的液体透镜的配置图,图 14B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表 (C) 在表 12 中给出。

[0193] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 70 度 (即, $V=0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V=0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0max}$) 被增大为高达 107.4 度 (即,疏油性增大)。

[0194] 在如图 14B 中的示图的 θ_0 线所表示的从 70 度到 107.4 度的 θ_0 可变层 106 的可润湿性的改变范围中, θ_0 可变层 106 的可润湿性的改变的敏感性在低电压区域和高电压区域中是低的并且在中间电压区域中是高的。

[0195] θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度 d 被表示为 $d = 7.00E-04\text{mm}$,绝缘层 103 的介电常数 ϵ 被表示为 $\epsilon = 1.82E-11\text{F/m}$,并且,两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 被表示为 $\gamma_{wo} = 6.1461E-6\text{kJ/m}$ 。通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 5.5V 时,实际接触角 θ 从 70 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变到 111.3 度 ($\theta = \theta_{max}$) (见图 14B 的 θ 线)。

[0196] 虽然没有示出,但是在具有均匀 θ_0 的现有技术例子 (“ θ_0 均匀层”) 中,电压 V 从 0V 改变为 18V 并且接触角 θ 从 70 度改变为 110.1 度 (θ_0 总是 70 度)。

[0197] 因此能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 18V 减小到 5.5V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 70 度到 110 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。表 12 下方

给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.906$ 。

[0198] 在第十一实施例中,如在第十实施例中那样,在接触角 $\theta = 70$ 度处(界面由实线表示)液体透镜的负焦度变得最高,当接触角为 $\theta = 90$ 度时液体透镜的折光力为“0”,并且,在接触角 $\theta = 110$ 度处(界面由虚线表示)液体透镜的正焦度变得最高。

[0199] θ_0 可变层具有这样的特性,所述特性使得在接触角 θ 为 90 度时的折光力为“0”的区域附近(即,接触角 $\theta \pm 7$ 度内),可润湿性的改变敏感性线性增大(即,疏油性的改变率高),并且,电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV ,并且在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即,微分值绝对值)变为最大,并且, $V-\theta$ 敏感性增强并且较大地改变,以提高速度。

[0200] θ_0 可变层具有这样的特性,所述特性使得在接触角 θ 为 70 度和 110 度并且折光力高的区域的附近(即,接触角 $\theta \pm 7$ 度内),可润湿性的改变敏感性线性减小(即,疏油性的改变率低),并且,电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV ,并且在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即,微分值绝对值)变为最小。 $V-\theta$ 的敏感性降低以便轻微改变并且 $V-\theta$ 被高度精确地控制,因而透镜的质量增强。

[0201] 图 14B 中的 θ_0 线代表三个区域中的线性改变(即,在折光力为 0 的区域附近倾斜度较大,而在其他区域中较小)。因此,与具有连续曲线的第十实施例中的相比,能够以更简单的方式制造 θ_0 可变层。

[0202] 第十二实施例和第二比较实施例

[0203] 图 15A 是根据第十二实施例(具有圆筒状渐窄电极)的液体透镜的配置图,图 15B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 13 中给出。渐窄角 α 是 30 度。

[0204] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 40 度(即, $V=0$ 时的初始接触角 θ_0 为 $\theta_0 = \theta_{00}$)。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性(即, $V=0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0max}$)被增大为高达 72 度(即,疏油性增大)。

[0205] 如图 15B 中的 θ_0 曲线所表示的, θ_0 可变层 106 的可润湿性从 40 度线性地变为 72 度(见图 15B 中的示图的 θ_0 曲线)。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度 d 被表示为 $d = 1.20E-03mm$,绝缘层 103 的介电常数 ϵ 被表示为 $\epsilon = 2.5E-11F/m$,并且,两种液体之间的界面能量 γ_{wo} 被表示为 $\gamma_{wo} = 1.765E-5kN/m$ 。通过 θ_0 可变层 106 的这种特性,当施加电压从 0V 增大到 16V 时,实际接触角 θ 从 40 度($\theta = \theta_{00}$)增大到 81.0 度($\theta = \theta_{max}$)(见图 15B 的 θ 曲线)。

[0206] 图 25A 和 25B 示出包含具有均匀 θ_0 的现有技术 θ_0 均匀层代替 θ_0 可变层 106 以与圆筒状渐窄电极进行比较的第二比较实施例的液体透镜。图 25A 是配置图,图 25B 是 $V-\theta$ 特性示图。第二比较实施例的 $V-\theta$ 特性表在表 14 中给出。

[0207] 当施加 0V 到 32V 的范围中的驱动电压时, θ 从 $V=0$ 时的界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处的接触角 $\theta = 40$ 度(θ_0 也为 40 度)改变到界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处的接触角 $\theta = 80.9$ 度。图 25B 的示图表示从 40 度到 80.9 度的 θ 曲线。 θ_0 曲线表明 θ_0 没有改变。

[0208] 渐窄角、绝缘层 103 的厚度和介电常数以及两种液体之间的界面能量与本发明的第十二实施例中的相同。

[0209] 在第十二实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 32V 减小到 16V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 40 度到 81 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 13 的下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.781$ 。

[0210] 第十三实施例

[0211] 图 16A 是根据第十三实施例 (具有圆筒状渐窄电极) 的液体透镜的配置图,图 16B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表 (C) 在表 15 中给出。

[0212] 渐窄角 α 为 30 度,这与第十二实施例中相同。

[0213] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 40 度 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 θ_0 为 θ_{00})。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V = 0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0max}$) 被增大为高达 81 度 (即,疏油性增大)。在如图 16B 中的示图的 θ_0 曲线所表示的从 40 度到 81 度的 θ_0 可变层 106 的可润湿性的改变范围中,可润湿性的改变的敏感性在低电压区域和高电压区域中是低的并且在中间电压区域中是高的。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量与第十二实施例中的相同。通过 θ_0 可变层 106 的该特性,当施加电压从 0V 增大到 5.5V 时,实际接触角 θ 从 40 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变为 82 度 ($\theta = \theta_{max}$) (见图 16B 的 θ 线)。

[0214] 具有圆筒状渐窄电极的具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 25A 和 25B 中示出。

[0215] 在第十三实施例中能够看出,通过 θ_0 可变层 106,以小的电压改变 (ΔV 从 32V 减小到低于 5.5V) 实现相同的接触角 θ 的改变,即从 40 度到 81 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 15 的下方给出公式 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.975$ 。

[0216] 在第十三实施例中,如在第十一实施例中那样,可润湿性的改变的特性由直线表示 (见图 16B 中的示图)。

[0217] 当接触角 θ 为 40 度时 (此时的界面由实线表示) 液体透镜的负焦度变为最大,当接触角为 $\theta = 60$ 度时液体透镜的折光力为“0”,当接触角 θ 为 82 度时 (此时的界面由虚线表示) 液体透镜的正焦度变为最大。

[0218] θ_0 可变层具有这样的特性,所述特性使得在接触角 θ 为 60 度时的焦度为“0”的区域附近 (即,接触角 $\theta \pm 7$ 度内),可润湿性的改变的敏感性线性增大 (即,疏油性的改变率高),并且,电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV ,并且在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即,微分值绝对值) 变为最大,并且, $V-\theta$ 敏感性增强并且较大地改变,以提高速度。

[0219] θ_0 可变层具有这样的特性,所述特性使得在接触角 θ 为 40 度和 82 度并且焦度高的区域的附近 (即,接触角 $\theta \pm 7$ 度内),可润湿性的改变的敏感性线性减小 (即,疏油性的改变率低)。

[0220] 于是,电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV ,并且在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微

小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即, 微分值绝对值) 变为最小。 $V-\theta$ 的敏感性降低以便轻微改变并且 $V-\theta$ 被高度精确地控制, 因而透镜的质量增强。图 16B 中的 θ_0 线代表三个区域中的线性改变 (即, 在折光力为 0 的区域附近倾斜度较大, 而在其他区域中较小)。因此, 与具有连续曲线的第十实施例相比, 能够以更容易的方式制造 θ_0 可变层。

[0221] 第十四实施例

[0222] 图 17A 是根据第十四实施例 (具有圆筒状渐窄电极) 的液体透镜的配置图, 图 17B 是 $V-\theta$ 特性示图。 $V-\theta$ 特性表在表 16 中给出。

[0223] 渐窄角 α 为 30 度, 这与第十二实施例中相同。

[0224] 将描述 θ_0 可变层 106 的特性。当界面 105 的端部位于最接近电解质液体 101 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性为 40 度 (即, $V=0$ 时的初始接触角 θ_0 为 θ_{00})。当界面 105 的端部位于最接近非电解质液体 102 处时的 θ_0 可变层 106 的可润湿性 (即, $V=0$ 时的初始接触角 $\theta_0 = \theta_{0max}$) 被增大为高达 80 度 (即, 疏油性增大)。在从 40 度到 80 度的 θ_0 可变层 106 的可润湿性的改变范围中, 可润湿性的改变如图 17B 中的示图的 θ_0 曲线所表示的那样。 θ_0 均匀层 ($\theta_0 = 40$ 度) 被用于 $V=0V$ 到 1.5V 的范围中; θ_0 可变层 (θ_0 从 40 度到 80 度线性改变) 被用于 $V=1.5V$ 到 3.5V 的范围中; 并且, θ_0 均匀层 ($\theta_0 = 40$ 度) 被用于 $V=3.5V$ 到 5V 的范围中。 θ_0 可变层 106 之下的绝缘层 103 的厚度、绝缘层 103 的介电常数和两种液体之间的界面能量与第十二和第十三实施例中的相同。通过 θ_0 可变层 106 的该特性, 当施加电压从 0V 增大到 5V 时, 实际接触角 θ 从 40 度 ($\theta = \theta_{00}$) 改变为 80.9 度 ($\theta = \theta_{max}$) (见图 17B 的 θ 线)。

[0225] 具有圆筒状渐窄电极的具有均匀 θ_0 的现有技术层 (“ θ_0 均匀层”) 的例子在图 25A 和 25B 中示出。

[0226] 在第十四实施例中能够看出, 通过 θ_0 可变层 106, 以小的电压改变 (ΔV 从 32V 减小到低于 5V) 实现相同的接触角 θ 的改变, 即从 40 度到 80.9 度 (曲率半径 R 的相同的改变)。在表 16 的下方给出公式 $\Delta\theta_0/\Delta\theta = 0.979$ 。

[0227] 在第十四实施例中, 如在第十一和第十三实施例中那样, 可润湿性的改变的特性由直线表示 (见图 17B 中的示图)。当接触角 θ 为 40 度时 (此时的界面由实线表示) 液体透镜的负焦度变为最大, 当接触角为 $\theta = 60$ 度时液体透镜的折光力为 “0”, 当接触角 θ 为 80.9 度时 (此时的界面由虚线表示) 液体透镜的正焦度变为最大。 θ_0 可变层具有这样的特性, 所述特性使得在接触角 θ 为 60 度时的焦度为 “0” 的区域附近 (即, 接触角 $\theta \pm 7$ 度内), 可润湿性的改变的敏感性线性增大 (即, 疏油性的改变率高), 电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV , 并且, 在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即, 微分值绝对值) 变为最大, 并且, $V-\theta$ 敏感性增强并且较大地改变, 以提高速度。

[0228] 在接触角 θ 为 40 度和 80.9 度并且焦度高的区域的附近 (即, 接触角 $\theta \pm 7$ 度内), 使用不具有可润湿性的改变的敏感性的现有技术 θ_0 均匀层, 电压施加单元施加的电压 V 的微小改变被设为 dV , 并且, 在没有电压施加的情况下在彼此接触的界面与内壁之间的在非电解质液体侧的接触角为 θ_0 时的该 θ_0 的微小改变被设为 $d\theta_0$ 。在这种条件下, $d\theta_0/dV$ (即, 微分值绝对值) 变为最小, 并且, $V-\theta$ 敏感性显著降低。在需要在该区域周围

进行精细的 θ 控制时,这是有效的。由于该直线具有三个区域并且两个端部区域是 θ_0 均匀层,因此液体透镜进一步容易制造。

[0229] 关于第一到第十四实施例与第一和第二比较实施例的考虑

[0230] 在图 18 和表 17 中,描述第十四实施例和两个比较实施例中的 $\Delta \theta_0 / \Delta \theta$ 与驱动电压 V_h/V_k 的减小比之间的关系。

[0231] $\Delta \theta = \theta_{\max} - \theta_0$

[0232] $\Delta \theta_0 = \theta_{0\max} - \theta_0$

[0233] 在界面 105 的可移动范围中,最大接触角(在非电解质液体 102 侧)被设为 θ_{\max} (即,接触角的最大值),并且,表示该点处的层(即, θ_0 可变层 106)的可润湿性的没有电压施加的情况下的接触角被设为 $\theta_{0\max}$ 。当 $V = 0$ 即没有施加电压时,与位于最接近电解质液体 101 处的界面 105 的接触角 θ (即,在电解质液体 101 侧)被设为 θ_0 ($\theta = \theta_0$, 初始接触角)。

[0234] 一般地,施加电压的增大导致增大的接触角 θ 。因此, θ_{\max} 是最高施加电压时的值,并且界面端部已移动到最接近非电解质液体的位置。

[0235] 另一方面, θ_0 (即, $\theta = \theta_0$) 是当施加电压值 V 为 0 并且界面的端部已位于最接近电解质液体处时的值。在此, θ_0 可变层的特性被确定为,使得从电解质液体向着非电解质液体疏油性变高,即可润湿性(当 $V = 0$ 时的接触角 θ_0) 逐渐增大。 V_h 是当使用 θ_0 可变层并且接触角 θ 为 θ_{\max} 时的驱动电压的值。 V_k 是当使用现有技术 θ_0 均匀层并且接触角 θ 为 θ_{\max} 时的驱动电压的值。从图 18 的示图中可理解以下条件式的特性。

[0236] $\Delta \theta_0 / \Delta \theta > 0.3$

[0237] 使用 $\Delta \theta_0$ 的特性处于满足该条件式的范围内的 θ_0 可变层,现有技术 θ_0 均匀层中的驱动电压可减小为 80% 或更小。

[0238] $\Delta \theta_0 / \Delta \theta > 0.7$

[0239] 使用 $\Delta \theta_0$ 的特性处于该范围内的 θ_0 可变层,现有技术 θ_0 均匀层中的驱动电压可减小为 50% 或更小。这产生显著的效果。具有上述特性的液体透镜能够以大约 10V 或更小的驱动电压驱动,因而适于被安装在照相机和小的设备上。

[0240] $\Delta \theta_0 / \Delta \theta > 0.9$

[0241] 使用 $\Delta \theta_0$ 的特性处于该范围内的 θ_0 可变层,现有技术 θ_0 均匀层中的驱动电压可减小为 30% 或更小。这产生进一步显著的效果。具有上述特性的液体透镜能够以大约 5V 或更小的驱动电压驱动,因而适于被安装在移动设备上。

[0242] $\Delta \theta_0 / \Delta \theta > 0.97$

[0243] 使用 $\Delta \theta_0$ 的特性处于该范围内的 θ_0 可变层,现有技术 θ_0 均匀层中的驱动电压可减小为百分之几十或更小。具有上述特性的液体透镜能够以低电压工作。具有上述特性的液体透镜能够以大约 2V 或更小的驱动电压驱动,因而适于被安装在移动设备和低电压驱动设备上。

[0244] 第十五实施例

[0245] 将描述其中根据本发明的液体透镜与其它光学部件和半导体部件以整合方式被使用的例子。

[0246] 图 19 示出光学部件的例子,在该光学部件中,使用支撑部件 181、182 和 183,根据

本发明的实施例的液体透镜 150、常规透镜 160（即，由诸如玻璃、塑料或石英等的固体材料制成的透镜）和诸如互补金属氧化物半导体（CMOS）传感器和电荷耦合器件（CCD）元件之类的图像拾取元件 170 被整合在一起。

[0247] 也可使用多个透镜 160 并且可使用各种其它形式，其中，例如透镜 160 和固体透镜 150 位于颠倒的位置，并且液体透镜 150 被夹在透镜 160 之间。虽然在图 19 中，三个组件，即液体透镜 150、透镜 160 和图像拾取元件 170 被整合在一起，也能够仅液体透镜 150 和透镜 160 被整合在一起，或者液体透镜 150（不需要任何其它透镜）和图像拾取元件 170 被整合在一起。也能够将液体透镜 150 和支撑部件 181 整合在一起，并且将整合的产品并入在由透镜 160 和图像拾取元件 170 构成的照相机单元的前方。也能够通过液体透镜 150 和多个透镜 160 的组合的产品来构成变焦透镜。

[0248] 液体透镜可被做得紧凑：液体透镜可与具有其它功能的部件整合，以提供具有多种功能的紧凑的产品。因而，液体透镜可被应用于数字照相机、配备有照相机的移动电话、诸如监视照相机之类的网络照相机以及诸如投影仪之类的光学部件。

[0249] 第十六实施例

[0250] 将描述其中根据本发明的实施例的液体透镜被应用于数字照相机的例子。

[0251] 图 20 是示出数字照相机的外部的示意图，其中，根据本发明的至少一个实施例的液体透镜被应用于该数字照相机。数字照相机包括：拍摄透镜 201、取景器 202、闪光发射单元 203 和快门开关 204。

[0252] 图 21 是图 20 中所示的数字照相机的主要部分的框图。图 21 中所示的数字照相机包含与常规透镜 160 组合的液体透镜 150。穿过透镜 160 和液体透镜 150 的光经由孔径 163 和快门 162 在图像拾取元件 170 上形成图像。液体透镜 150、孔径 163 和快门 162 由来自照相机控制单元 2102 的控制信号控制。根据本实施例的数字照相机能够以低电压驱动液体透镜，并且，可减小噪声对图像拾取元件 170 的不利影响；因而可记录优秀的图像。

[0253] 虽然图 21 中所示的其它部件在数字照相机领域中是常见的，但是以下将简短地对其进行描述。信号处理单元 2104 执行模拟信号处理。A/D 转换器 2105 将模拟信号转换成数字信号。图像存储器 2106 存储数字信号。图像处理单元 2107 例如执行信号变换和信号校正。主 CPU 2108 控制数字照相机的所有操作。CPU 2108 例如通过执行在 ROM 2109 中存储的控制程序，控制图像处理单元 2107 和照相机控制单元 2102。RAM 2110 提供用于执行程序的工作空间。图像存储器 2111 存储要显示在像素显示单元 2112 上的拍摄的图像。压缩和扩展处理单元 2117 对图像存储器 2106 中的图像信息进行编码。经编码的数据经由 I/F 2118 被存储在存储卡 2119 中。照相机控制单元 2102 响应于来自操作开关 2113 的操纵信号而执行各种操作。当按压快门开关 204 时，照相机控制单元 2102 将信号发送到照明控制单元 2115，该照明控制单元 2115 于是执行诸如开启闪光灯 203 之类的预定操作。

[0254] 第十七实施例

[0255] 将描述其中根据本发明的实施例的液体透镜被应用于配备有照相机的移动电话的拍摄透镜的例子。

[0256] 图 22 是示出包含根据本发明的液体透镜的移动电话的主要部分的示意图。在图 22 中所示的配备有照相机的移动电话中，根据本发明的液体透镜 150 被用于照相机 2234 的拍摄透镜单元 2210 中，并且图像聚焦在诸如 CCD 之类的图像拾取元件 170 上。

[0257] 根据本发明的液体透镜能够以低电压驱动并且可以被做得紧凑：这对于移动电话的用户是有利的，移动电话被要求是紧凑的和轻量量的，因为用户可省却频繁对电池充电的不便。

[0258] 虽然图 22 中所示的其它部件在配备有照相机的移动电话的领域中是常见的，但是以下将简短地对其进行描述。配备有照相机的移动电话包括：控制单元 2240，其包括 CPU 2241 和 ROM 2242；连接到控制单元 2240 的天线 2231 和无线电单元 2232；麦克风 2233、接收机 2235 和图像存储单元 2236，在其中存储用照相机 2234 拍摄的图像；以及操作键 2237、诸如 LCD 之类的显示单元 2238、和在用照相机拍摄时使用的快门键 2239。

[0259] 第十八实施例

[0260] 将描述其中根据本发明的液体透镜被应用于网络照相机的例子。

[0261] 图 23A 是包含根据本发明的液体透镜的网络照相机的外部的示意图。图 23B 是网络照相机系统的电路框图。在图 23A 中示出透镜单元 2301、照相机云台单元 2302 和覆盖透镜单元 2301 的覆盖件 2350。如图 23B 所示，本实施例的一个特征是：根据本发明的液体透镜 150 被包含作为构成透镜单元 2301 的透镜之一。如图 23B 所示，透镜单元 160、液体透镜 150 和图像拾取元件 170 沿光轴布置，并且，图像拾取元件 170 的输出经由放大器 2314 连接到图像处理电路 2315 和聚焦处理电路 2316。

[0262] 用于驱动透镜单元 2301 的摇摆 (panning) 方向驱动电机 2321 和倾斜 (tilt) 方向驱动电机 2322 被设置在照相机云台单元 2302 中。图像处理电路 2315 的输出连接到照相机云台单元 2302 中的网络处理电路 2323，并且，聚焦处理电路 2316 的输出连接到 CPU 2324。CPU 2324 的输出经由网络处理电路 2323 连接到外部 LAN 2331，并且，个人计算机 2332 连接到 LAN 2331。

[0263] CPU 2324 的输出经由摇摆驱动电路 2325 和倾斜驱动电路 2326 连接到驱动电机 2321 和 2322，以将驱动信号提供给这些电路。CPU 2324 还连接到液体透镜驱动电路 2317。液体透镜 150 被液体透镜驱动电路 2317 驱动，并且控制聚焦。

[0264] 由于根据本发明的液体透镜可以被做得紧凑，因此根据本实施例的网络照相机也可被做得紧凑。根据本实施例的网络照相机可在网络照相机自身可被隐藏的状态下拍摄远程图像：因而，网络照相机可被用作例如用于在休闲场所隐蔽拍摄现场图像的监视照相机和用作安全照相机。

[0265] 表 1：第一实施例的 $V-\theta$ 特性表

[0266]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	d : lum	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	71.0897	71	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	72.3564	72	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3	73.7967	73	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4	75.4072	74	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	77.1850	75	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6	79.1278	76	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
7	81.2340	77	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
8	83.5030	78	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
9	85.9356	79	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
10	88.5340	80	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
11	91.3020	81	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
12	94.2460	82	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
13	97.3747	83	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

14	100.7006	84	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
15	104.2402	85	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
16	108.0163	86	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
17	112.0594	87	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0267] 条件式 $= \Delta \theta 0 / \Delta \theta = 17/42 = 0.404$

[0268] 表 2: 第一比较实施例的 V- θ 特性表

[0269]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0	$k = \epsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	$\epsilon :$	d : μm	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	72.2416	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
10	78.8162	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
15	89.4914	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
20	104.4914	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
21	108.1160	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
22	112.0001	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0270] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.0$

[0271] 表 3 : 第二实施例的 V- θ 特性表

[0272]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	d : μm	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.5	72.5222	72.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	75.0878	75	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.5	77.6954	77.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	80.3444	80	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2.5	83.0345	82.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3	85.7660	85	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3.5	88.5399	87.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4	91.3575	90	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4.5	94.2209	92.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	97.1329	95	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5.5	100.0970	97.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6	103.1176	100	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6.5	106.2003	102.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

7	109.3520	105	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
7.5	112.5812	107.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0273] 条件式 = $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 37.5 / 42.6 = 0.881$

[0274] 表 4 : 第三实施例的 V- θ 特性表

[0275]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	d :lum	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.25	77.5054	77.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.5	85.0213	85	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.75	92.5478	92.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	100.0862	100	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.25	107.6390	107.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.5	115.2108	115	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0276] 条件式 = $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 45 / 45.2 = 0.995$ [0277] 表 5 : 第四实施例的 V- θ 特性表

[0278]

V 驱动电压	θ 接触角	θ °	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	ε :	d : μm	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	70.1577	70.0675	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	70.5478	70.1875	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3	71.1836	70.375	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4	72.0775	70.645	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	73.2410	71.0125	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6	74.6850	71.4925	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
7	76.4199	72.1	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
8	78.4564	72.85	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
9	80.8064	73.7575	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
10	83.4832	74.8375	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
11	86.5036	76.105	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
12	89.8883	77.575	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
13	93.6647	79.2625	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

14	97.8695	81.1825	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
15	102.5528	83.35	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
16	107.7857	85.78	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
17	113.6726	88.4875	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0279] 条件式 $= \Delta \theta 0 / \Delta \theta = 18.5 / 43.7 = 0.423$

[0280] 表 6 : 第五实施例的 V- θ 特性表

[0281]

V 驱动电压	θ 接触角	θ 0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	ε :	d : 1 μ m	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.5	70.1575	70.135	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	70.4650	70.375	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.5	70.9521	70.75	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	71.6479	71.29	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2.5	72.5816	72.025	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3	73.7818	72.985	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3.5	75.2772	74.2	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4	77.0966	75.7	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4.5	79.2688	77.515	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	81.8239	79.675	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5.5	84.7931	82.21	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6	88.2095	85.15	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6.5	92.1099	88.525	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

7	96.5354	92.365	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
7.5	101.5344	96.7	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
8	107.1668	101.56	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
8.5	113.5113	106.975	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0282] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 37 / 43.5 = 0.850$

[0283] 表 7: 第六实施例的 V- θ 特性表

[0284]

V 驱动电压	θ 接触角	θ °	$k = \varepsilon / 2 / d / \gamma_{wo}$	ε :	$d : 1 \mu m$	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.25	71.0384	71.0328	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.5	72.8909	72.8688	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.75	75.7867	75.7375	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	79.9547	79.8685	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.25	85.6242	85.4913	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.5	93.0264	92.8353	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.75	102.3959	102.13	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	113.9758	113.605	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0285] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 43.6 / 44 = 0.992$

[0286] 表 8 :第七实施例的 V-θ 特性表

[0287]

V 驱动电压	θ 接触角	θ 0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	ε :	d :1um	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	73.5885	73.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	76.1830	75.83333	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3	783640	77.58333	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4	80.3631	78.98333	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	82.2961	80.15	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6	84.2294	81.15	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
7	86.2048	82.025	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
8	88.2508	82.80278	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
9	90.3883	83.50278	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
10	92.6337	84.13914	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
11	95.0012	84.72247	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
12	97.5039	85.26094	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
13	100.1549	85.76094	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

14	102.9683	86.2276	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
15	105.9603	86.6651	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
16	109.1503	87.07687	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
17	112.5623	87.46576	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0288] 条件式 = $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 17.5 / 42.6 = 0.410$

[0289] 表 9 : 第八实施例的 V- θ 特性表

[0290]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2 / d / \gamma_{wo}$	ε :	d :lum	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.5	78.5216	78.5	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1	84.2519	84.16667	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
1.5	88.6076	88.41667	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2	92.1562	91.81667	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
2.5	95.1822	94.65	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3	97.8486	97.07857	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
3.5	100.2580	99.20357	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4	102.4791	101.0925	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
4.5	104.5606	102.7925	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5	106.5383	104.3379	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
5.5	108.4397	105.7546	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
6	110.2865	107.0623	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0291] 条件式 = $\Delta \theta_0 / \Delta \theta = 37/40 = 0.920$

[0292] 表 10 :第九实施例的 V- θ 特性表

[0293]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2 / d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	d : 1 μ m	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.25	88.5708	88.5655	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.5	100.9641	100.9425	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06
0.75	110.2761	110.2253	1.481E-03	2.600E-11	1.000E-03	8.780E-06

[0294] 条件式 = $\Delta \theta 0 / \Delta \theta = 40.2 / 40.3 = 0.999$

[0295] 表 11 :第十实施例的 V- θ 特性表

[0296]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2 / d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	d :	γ_{wo}
0	70.0000	70	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
0.5	70.2600	70.24	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
1	70.8597	70.78	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
1.5	71.9183	71.74	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
2	74.3131	74	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
2.5	78.4807	78	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
3	83.6823	83	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
3.5	90.9224	90	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
4	98.2155	97	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
4.5	103.5636	102	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
5	106.9582	105	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
5.5	108.3844	106	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
6	109.3493	106.5	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05
6.5	110.0527	106.7	1.314E-03	3.900E-11	1.300E-03	1.141E-05

[0297] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 36.7 / 40 = 0.916$

[0298] 表 12 : 第十一实施例的 V- θ 特性表

[0299]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	$d : \mu\text{m}$	γ_{wo}
0	70.0000	70	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
0.5	70.8321	70.8	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
1	71.7277	71.6	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
1.5	72.6858	72.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
2	79.8928	79.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
2.5	87.1587	86.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
3	94.4933	93.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
3.5	101.9132	100.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
4	109.4439	107.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
4.5	109.9911	107.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
5	110.6048	107.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06
5.5	111.2861	107.4	2.115E-03	1.820E-11	7.000E-04	6.146E-06

[0300] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 37.4 / 41.3 = 0.906$

[0301] 表 13 :第十二实施例的 V- θ 特性表

[0302]

V 驱动电压	θ 接触角	θ 0°	$k = \varepsilon / 2 / d / \gamma_{wo}$	ε :	d : μm	γ_{wo}
0	40.0000	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
1	42.0508	42	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
2	44.1954	44	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
3	46.4237	46	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
4	48.7276	48	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
5	51.1004	50	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
6	53.5368	52	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
7	56.0328	54	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
8	58.5854	56	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
9	61.1924	58	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
10	63.8528	60	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
11	66.5659	62	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
12	69.3322	64	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
13	72.1525	66	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05

14	75.0285	68	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
15	77.9627	70	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
16	80.9581	72	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05

[0303] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 32 / 42.2 = 0.781$

[0304] 表 14 : 第二比较实施例的 V- θ 特性表

[0305]

V 驱动电压	θ 接触角	θ_0°	$k = \varepsilon / 2/d / \gamma_{wo}$	$\varepsilon :$	d : μm	γ_{wo}
0	40.0000	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
2	40.2110	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
4	40.8387	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
6	41.8676	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
8	43.2744	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
10	45.0310	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
12	47.1077	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
14	49.4753	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
16	52.1073	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
18	54.9811	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
20	58.0781	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
22	61.3842	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
24	64.8899	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
26	68.5901	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05

28	72.4840	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
30	76.5757	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
32	80.8742	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05

[0306] 条件式 $= \Delta \theta_0 / \Delta \theta = 0.0$

[0307] 表 15 :第十三实施例的 V- θ 特性表

[0308]

V 驱动电压	θ 接触角	$\theta 0^\circ$	$k=\epsilon/2/d/\gamma wo$	$\epsilon:$	d: 1 μ m	γwo
0	40.0000	40	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
0.5	41.0129	41	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
1	42.0508	42	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
1.5	43.1120	43	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05
2	50.1772	50	5.932E-04	2.500E-11	1.200E-03	1.756E-05

[0309] 表 17 :从实施例和比较实施例获得的值

[0310]

	$\Delta\theta 0/\Delta\theta$	在使用 $\theta 0$ 可变层时的 最大电压VH	在使用 $\theta 0$ 均匀层时的 最大电压VK	电压减小比 Vh/VK
第一实施例	0.404	17	22	0.773
第一比较实施例	0	22	22	1.000
第二实施例	0.881	7.5	22	0.341
第三实施例	0.995	1.5	22	0.068
第四实施例	0.423	17	22	0.773
第五实施例	0.85	8.5	22	0.386
第六实施例	0.992	2	22	0.091
第七实施例	0.41	17	22	0.773
第八实施例	0.92	6	22	0.273
第九实施例	0.999	0.75	22	0.034
第十实施例	0.916	6.5	23	0.283
第十一实施例	0.906	5.5	18	0.306
第十二实施例	0.781	16	32	0.500
第二比较实施例	0	32	32	1.000
第十三实施例	0.975	5.5	32	0.172
第十四实施例	0.979	5	32	0.156

[0311] 虽然已参照示例性实施例描述了本发明,但是应该理解,本发明不限于所公开的示例性实施例。以下权利要求的范围应被给予最宽的解释,以包含所有这些变型以及等同结构和功能。

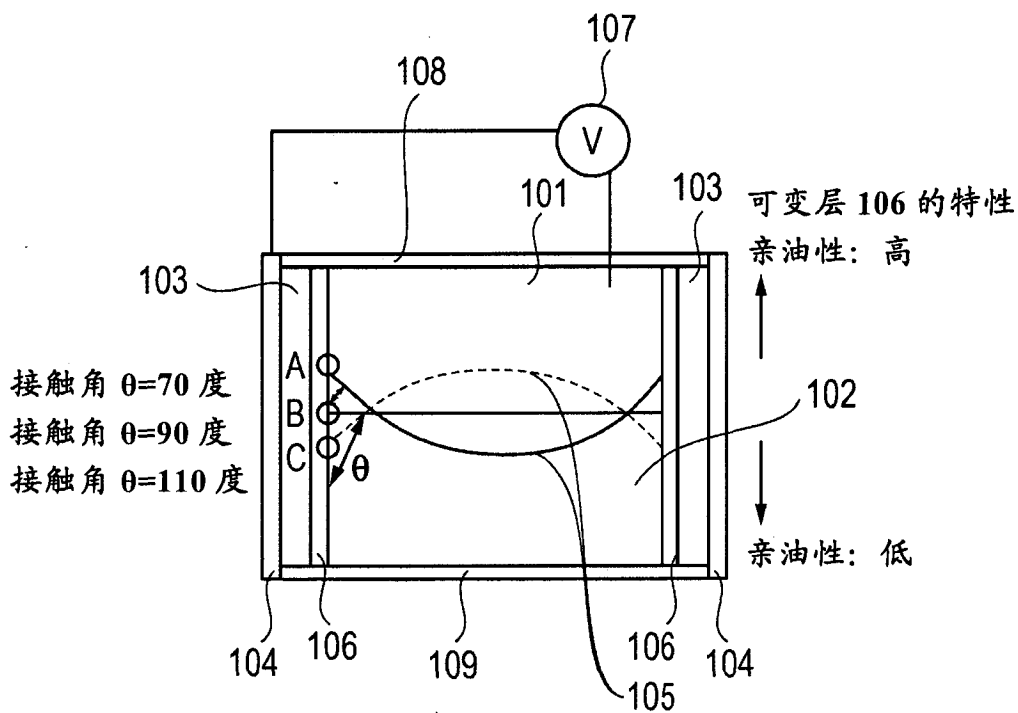


图 1

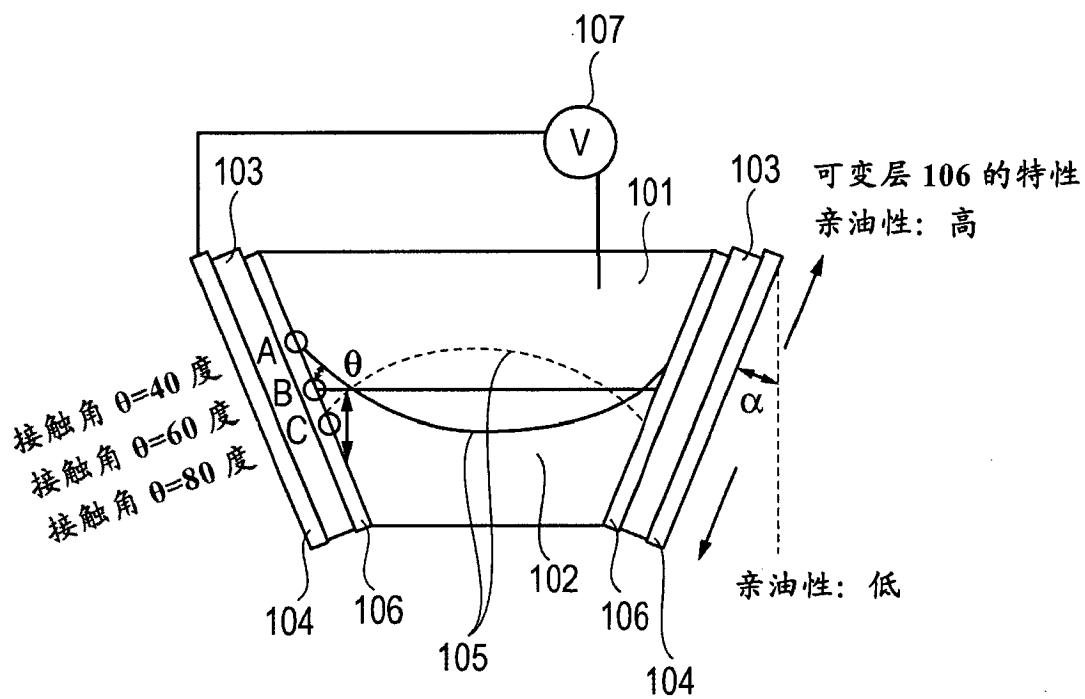


图 2

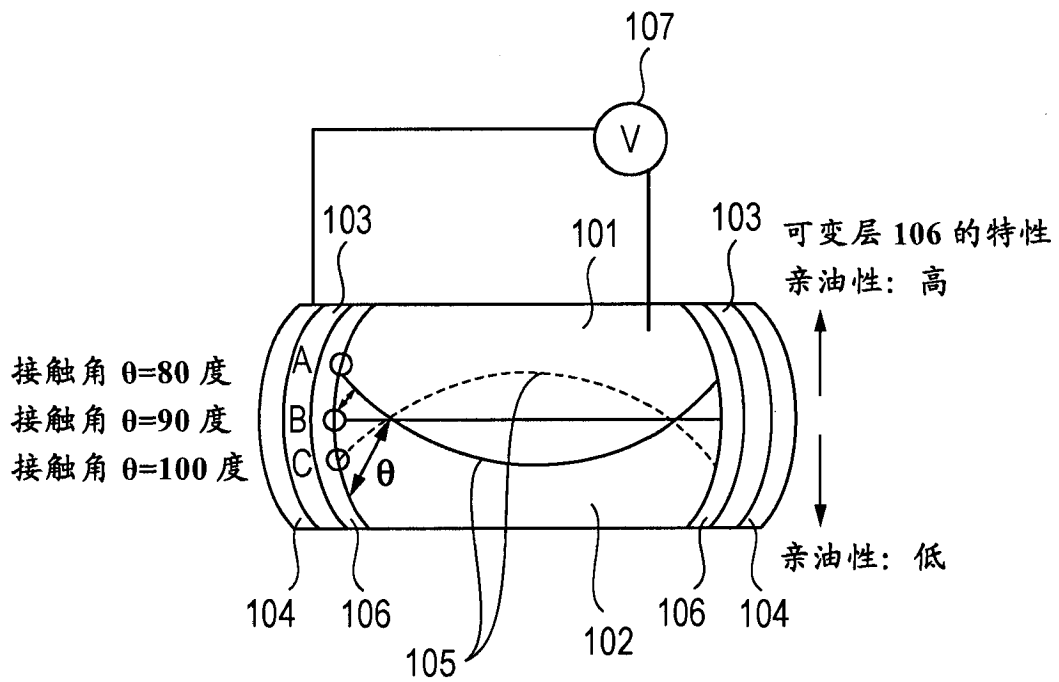


图 3

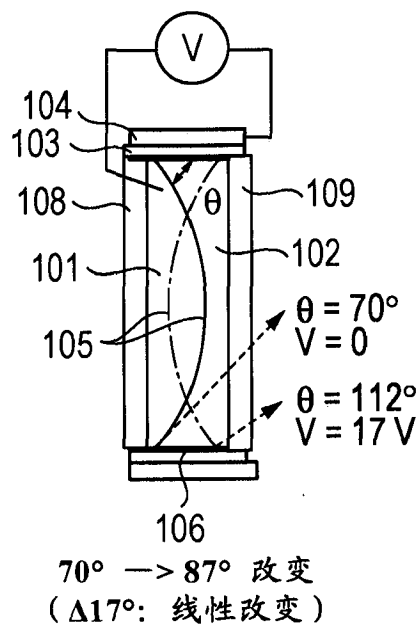


图 4A

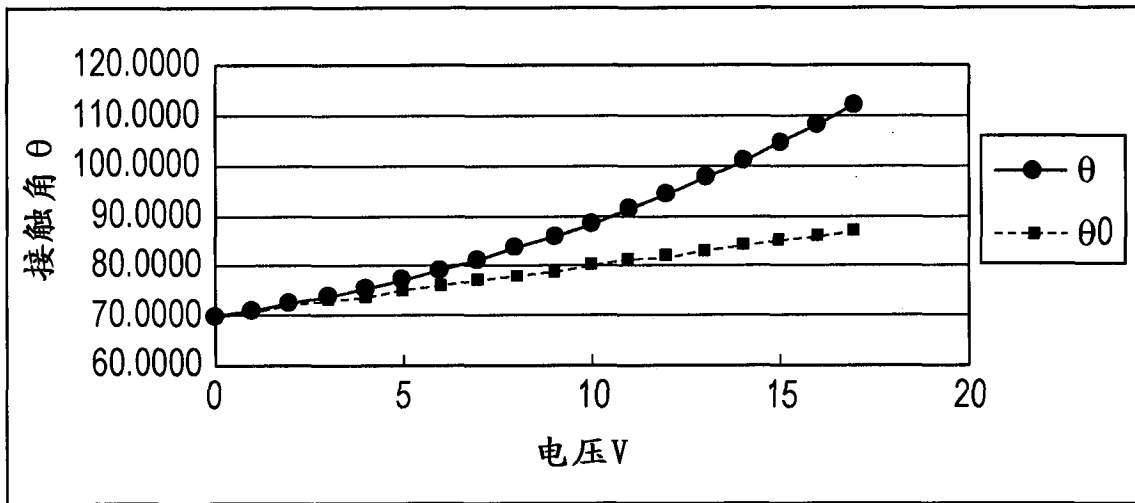
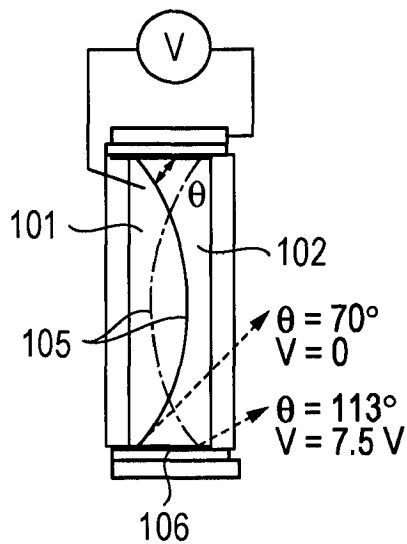


图 4B



70° → 107.5° 改变
 (Δ37.5°: 线性改变)

图 5A

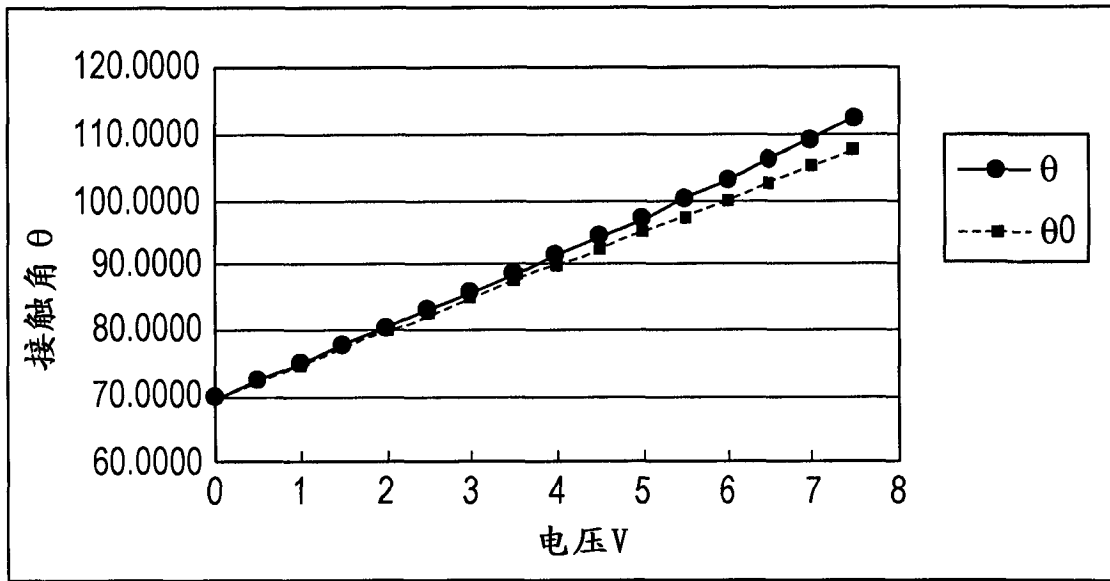
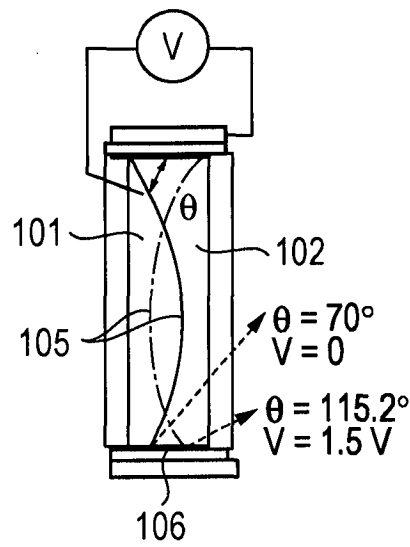


图 5B



70° → 115° 改变
 (Δ45°: 线性改变)

图 6A

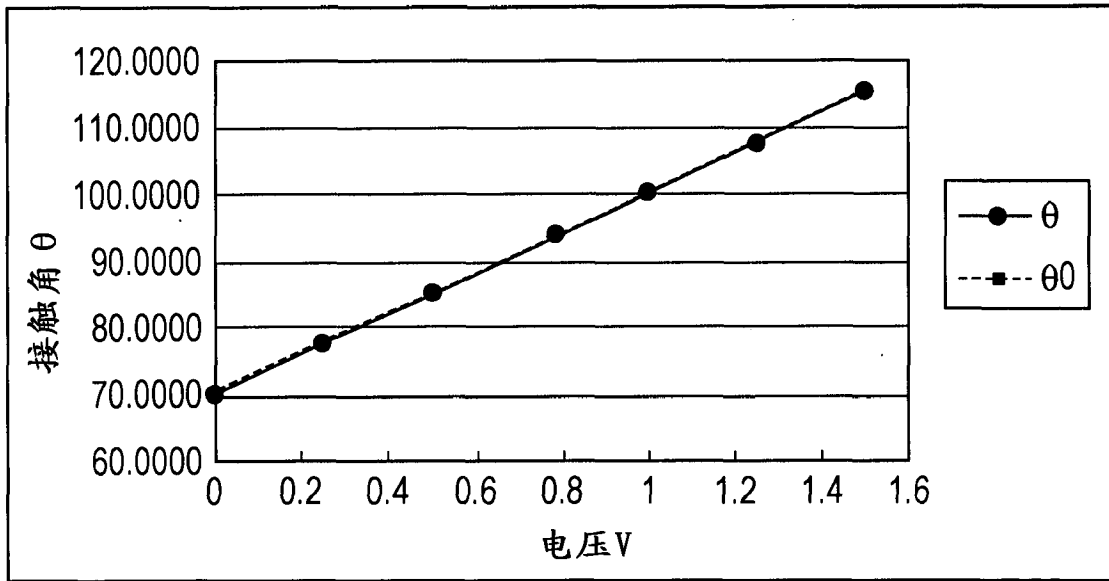
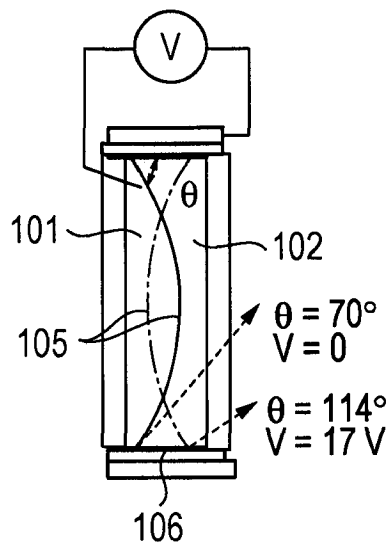


图 6B



70° → 88.5° 改变
 (Δ18.5°: 微分值单调增大)

图 7A

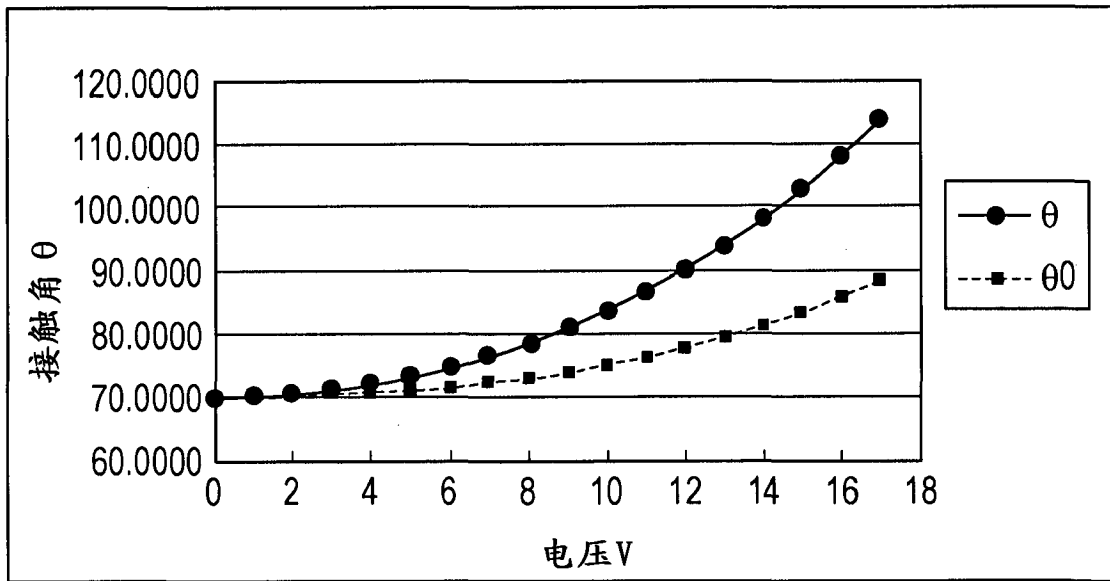
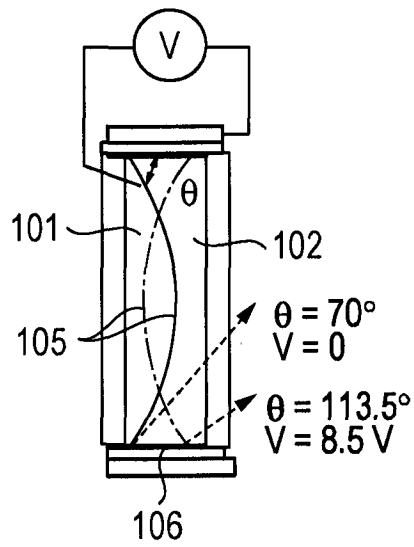


图 7B



70° → 107° 改变
 (Δ37°: 微分值单调增大)

图 8A

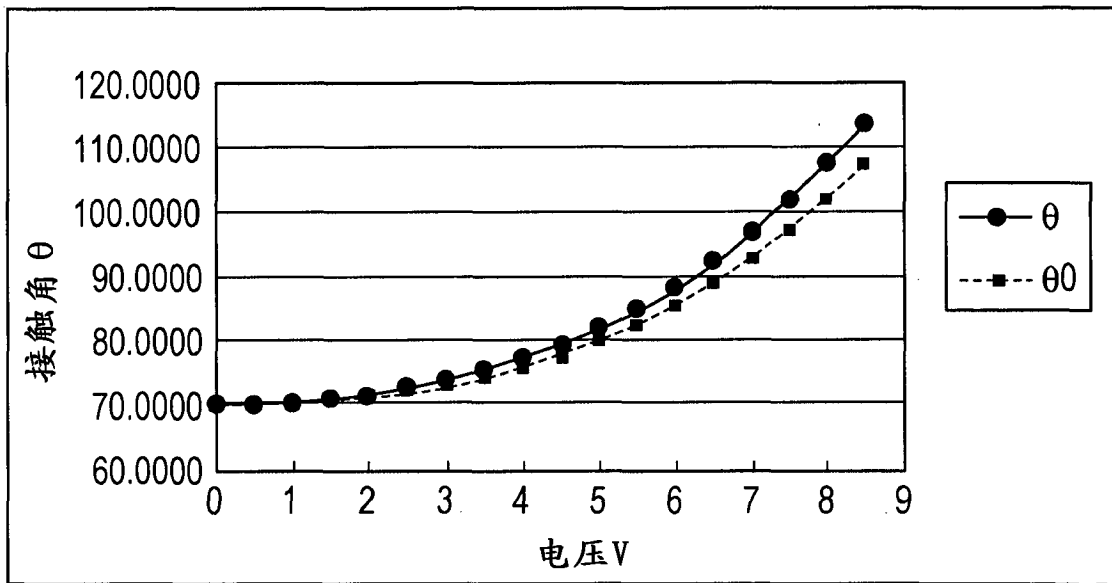
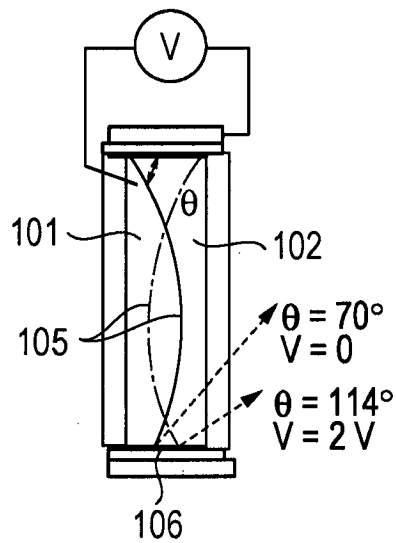


图 8B



70° → 113.6° 改变
 (Δ43.6°: 微分值单调增大)

图 9A

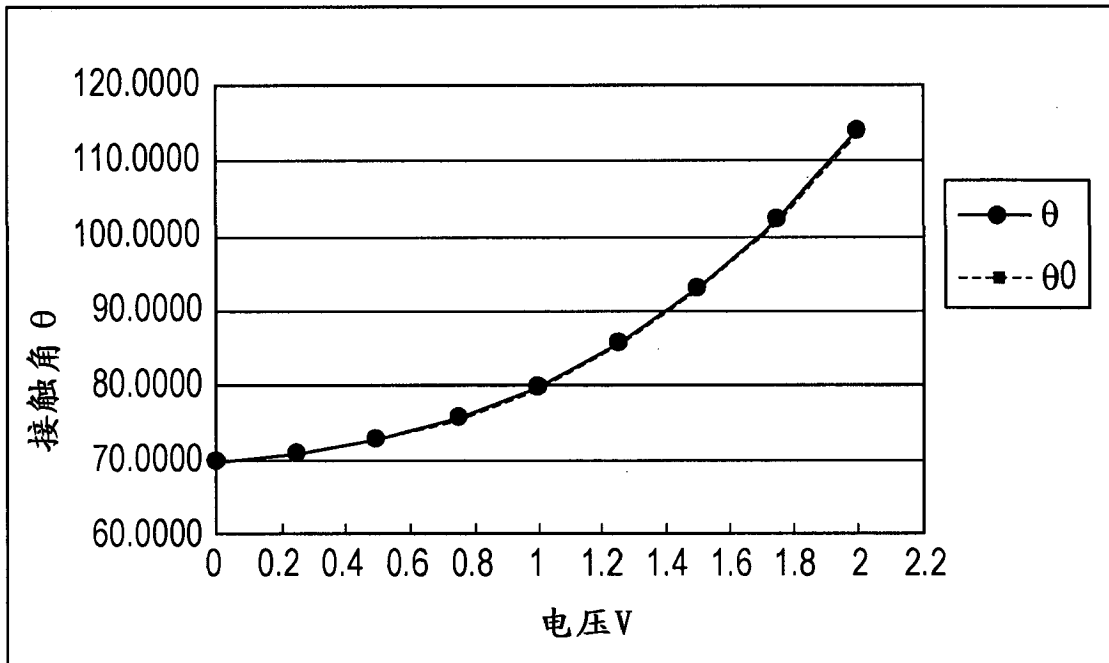
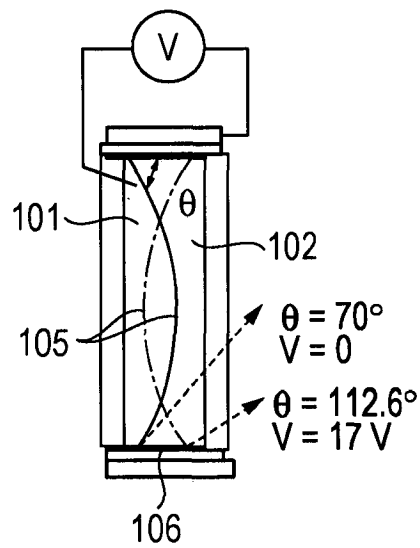


图 9B



70° → 87.5° 改变
 (Δ17.5°: 微分值单调减小)

图 10A

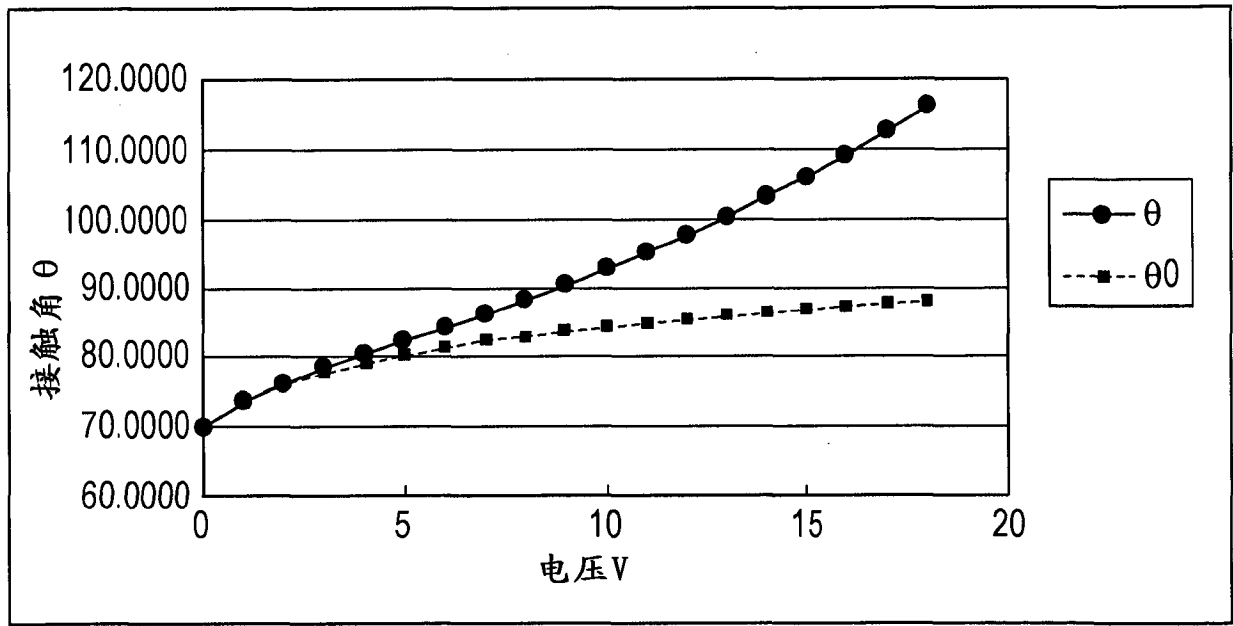
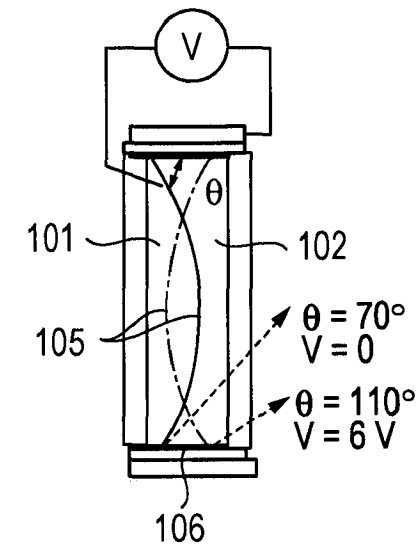


图 10B



70° → 107° 改变
 (Δ37°: 微分值单调增大)

图 11A

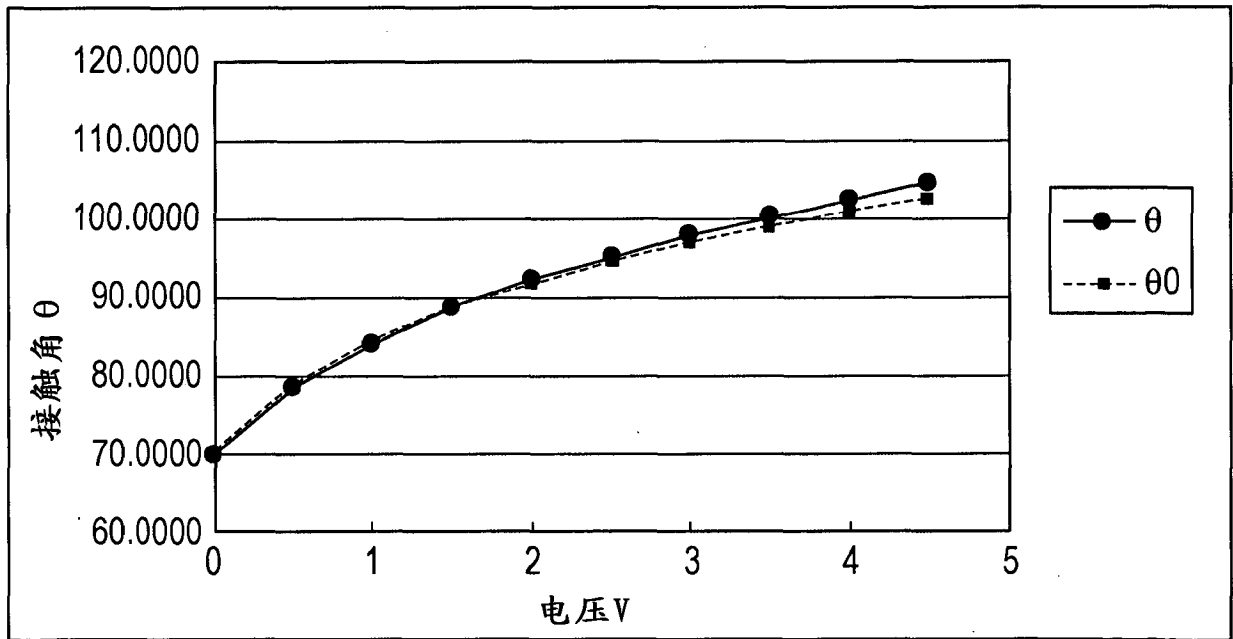


图 11B

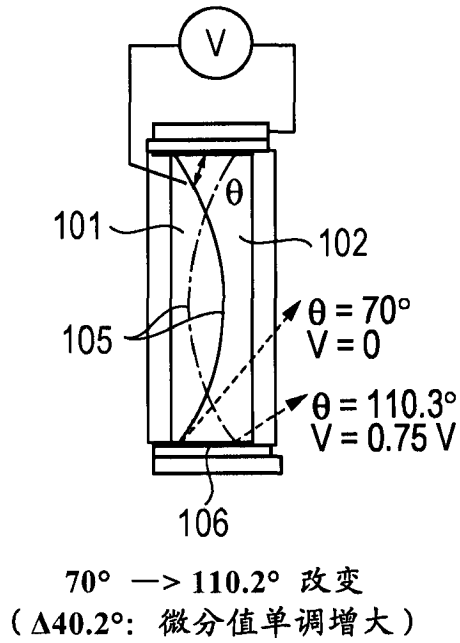


图 12A

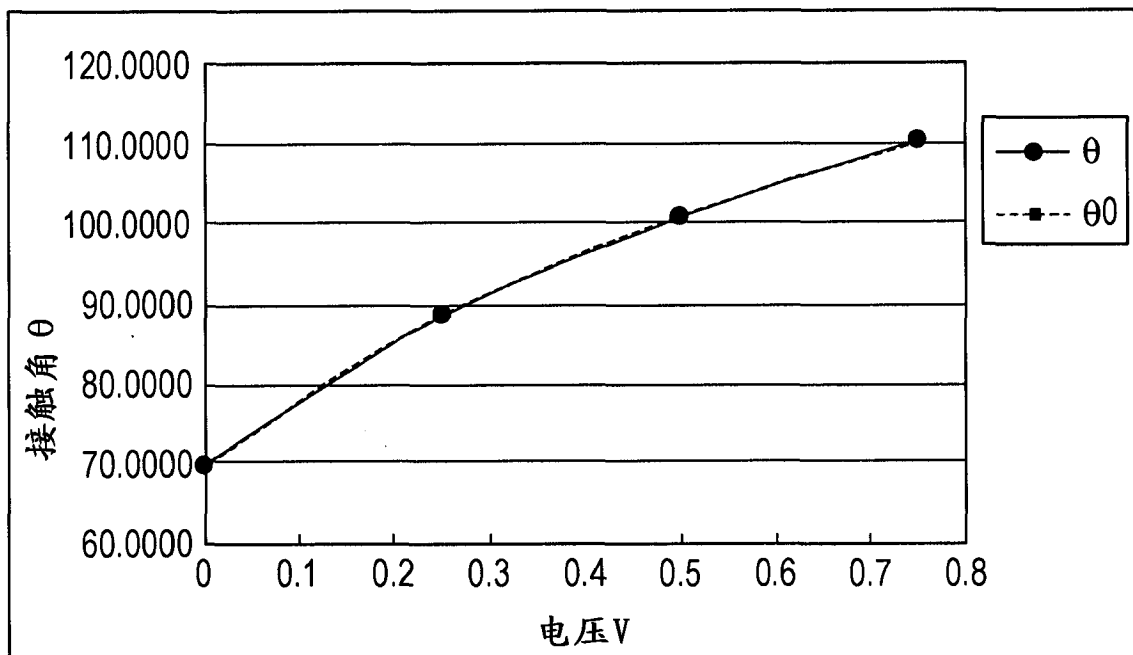
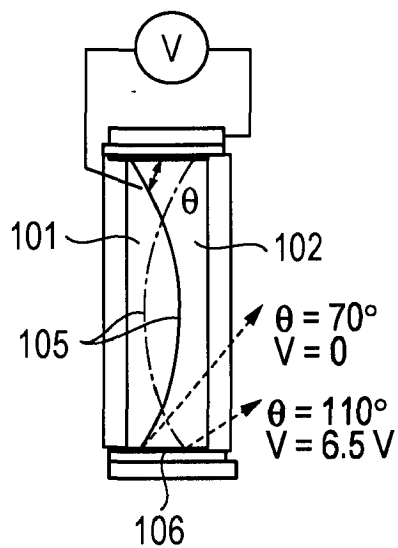


图 12B



70° → 106.7° 改变: $\Delta 36.7^\circ$

(微分值绝对值在 90 度附近在光焦度“0”处变为最大)

图 13A

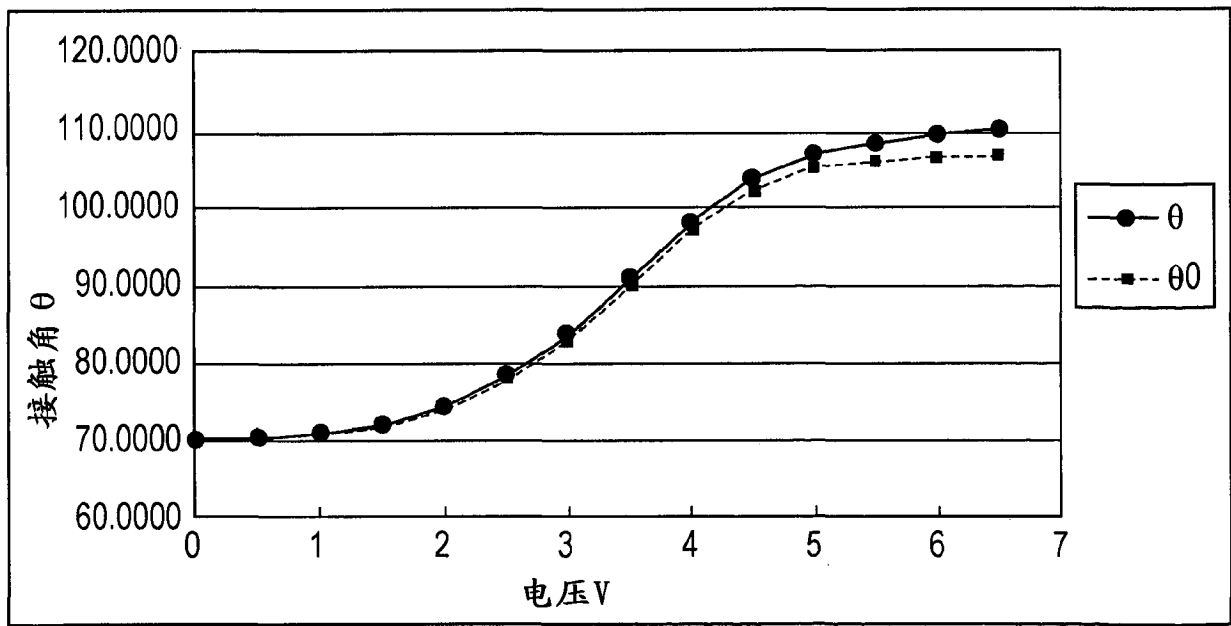
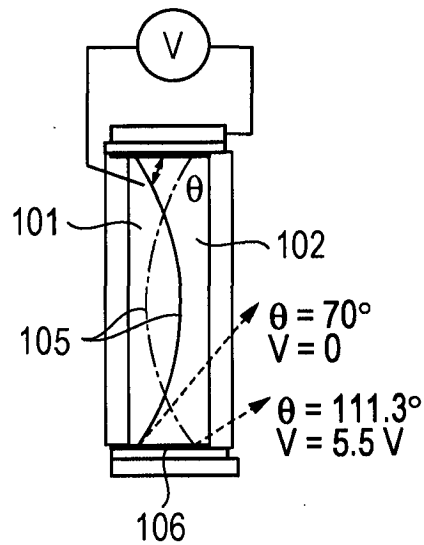


图 13B



70° → 107.4° 改变

($\Delta 37.4^\circ$: 在 90 度附近表现出最大微分值绝对值的线)

图 14A

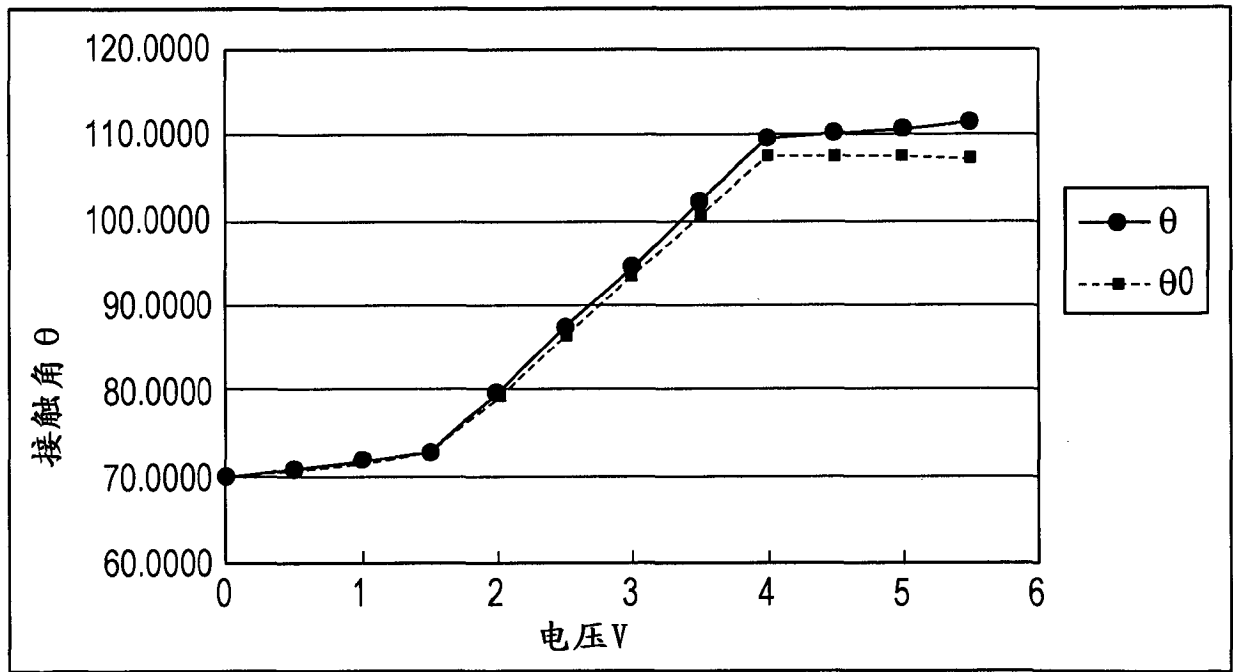


图 14B

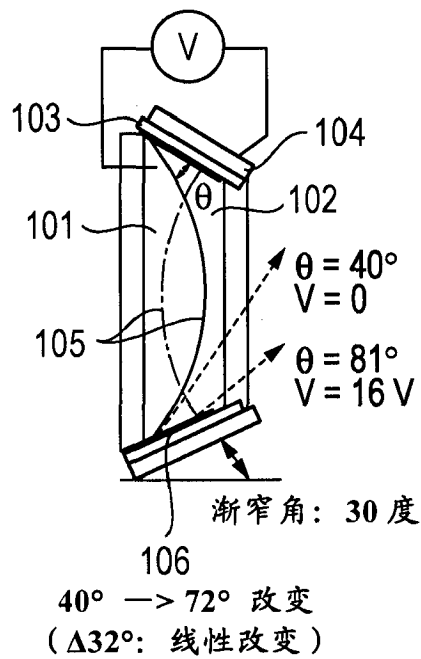


图 15A

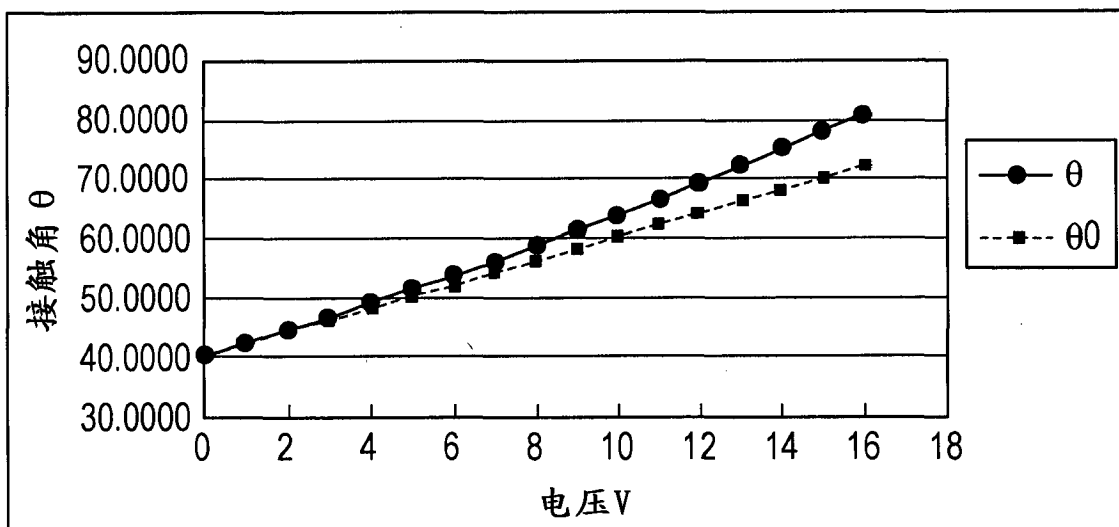
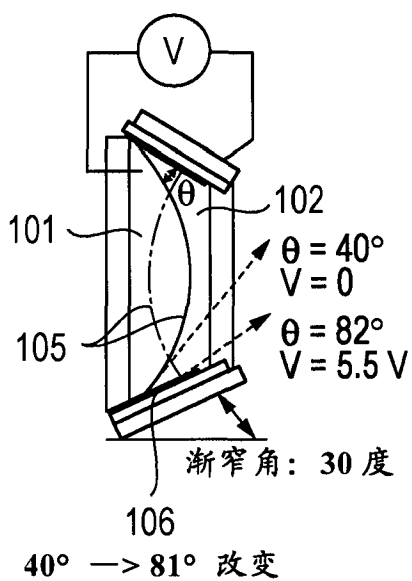


图 15B



($\Delta 41^\circ$: 在 60 度附近表现出最大微分值绝对值的线)

图 16A

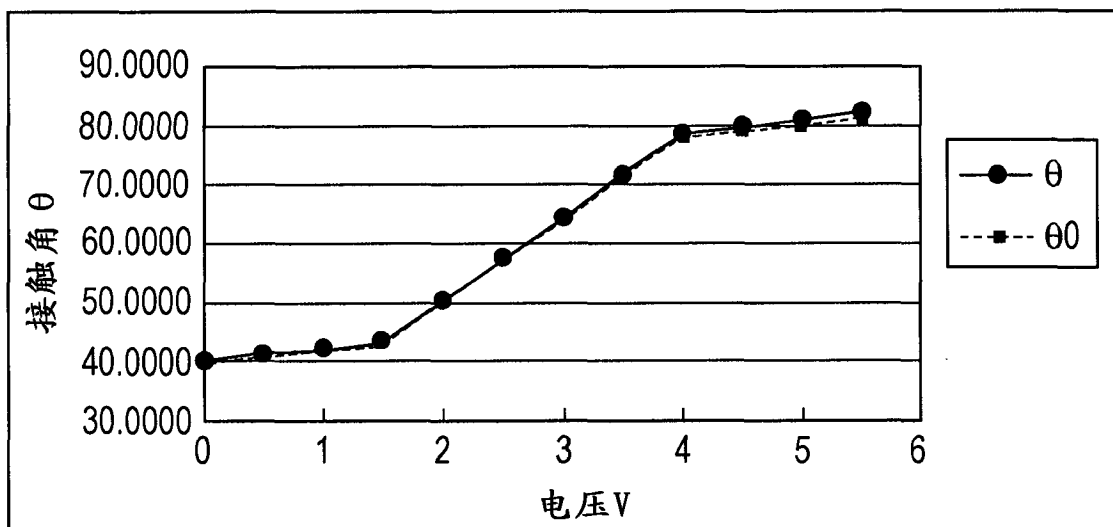
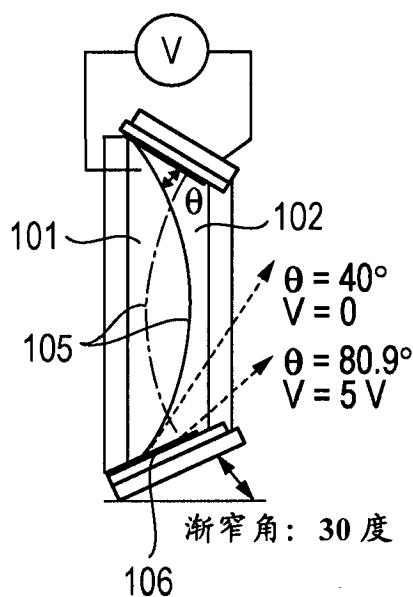


图 16B



40° → 80° 改变: $\Delta 40^\circ$
 (微分值绝对值在 60 度附近在光焦度“0”处变为最大/
 40 度和 80 度附近为现有技术 θ_0 均匀层)

图 17A

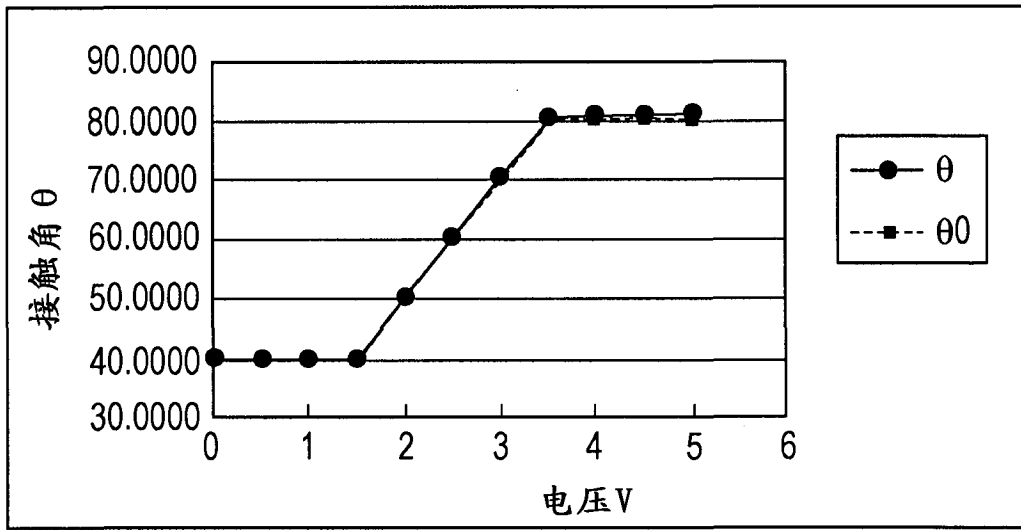


图 17B

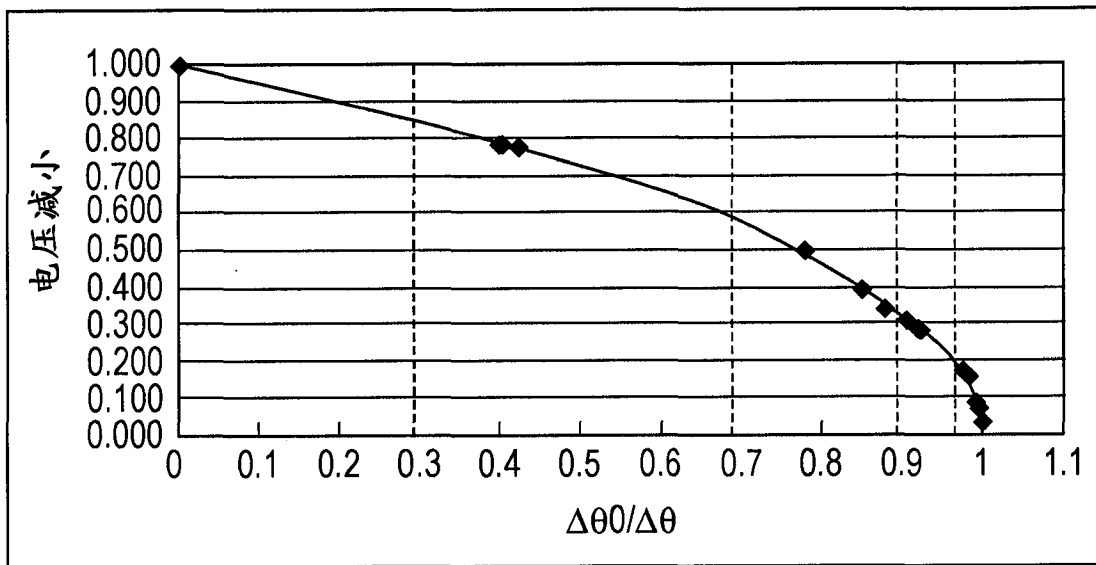


图 18

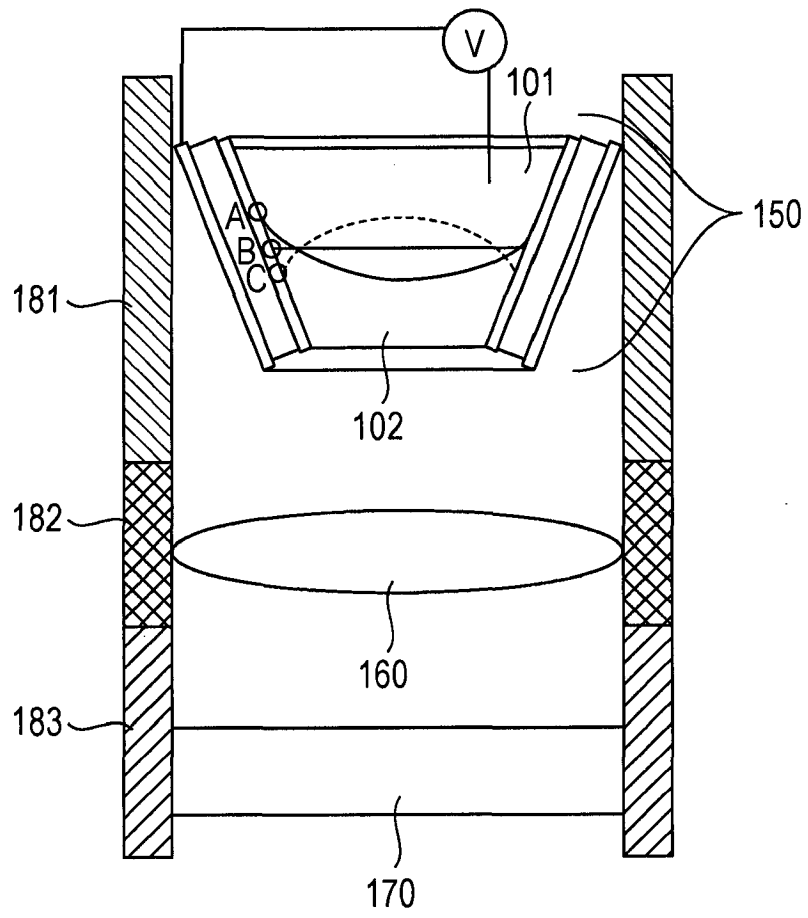


图 19

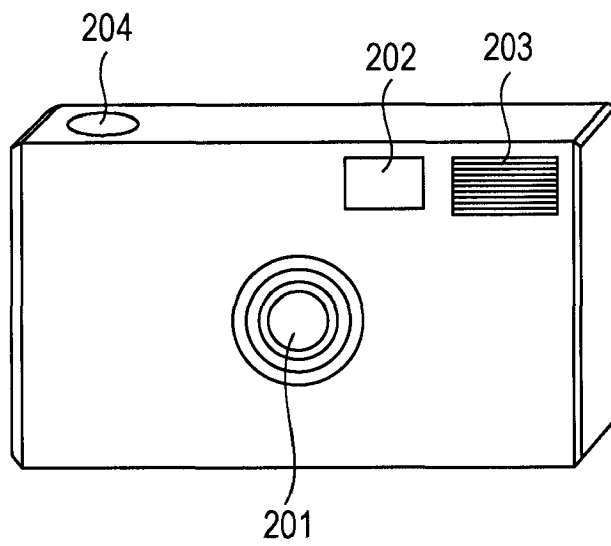


图 20

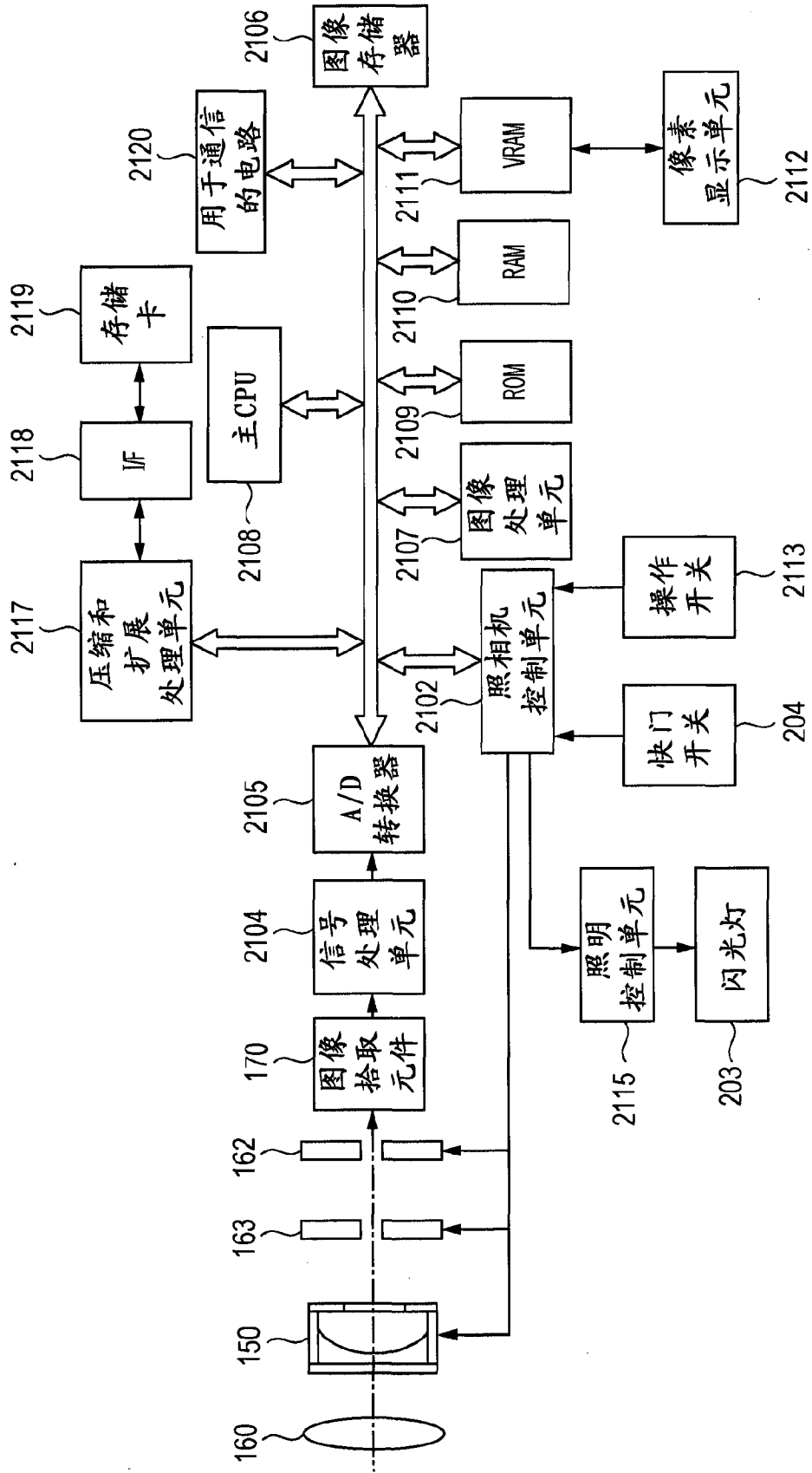


图 21

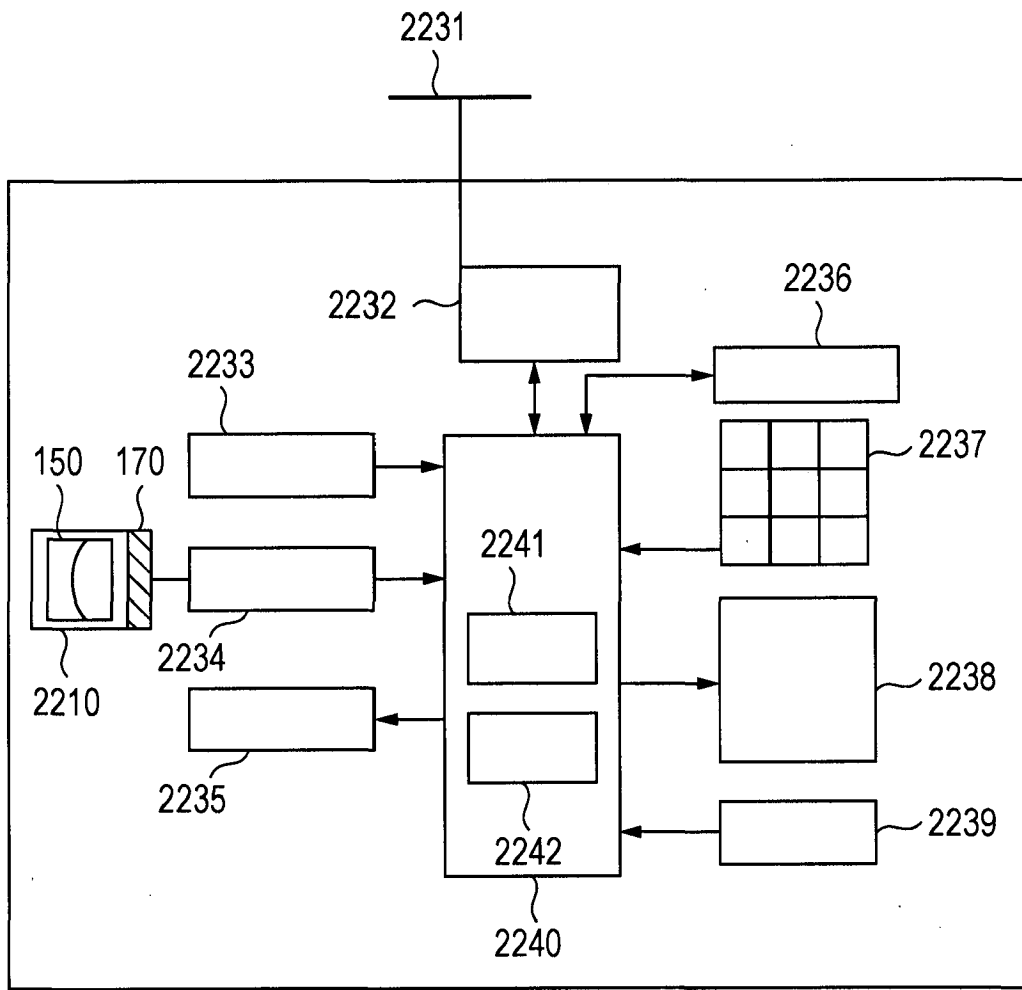


图 22

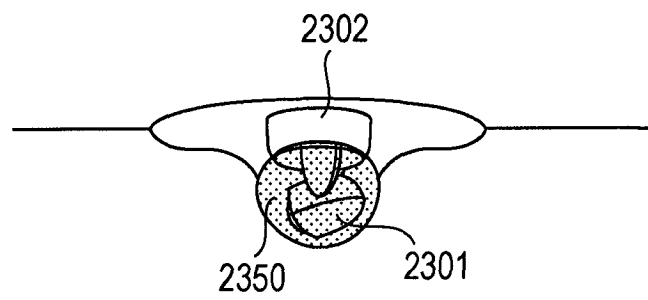


图 23A

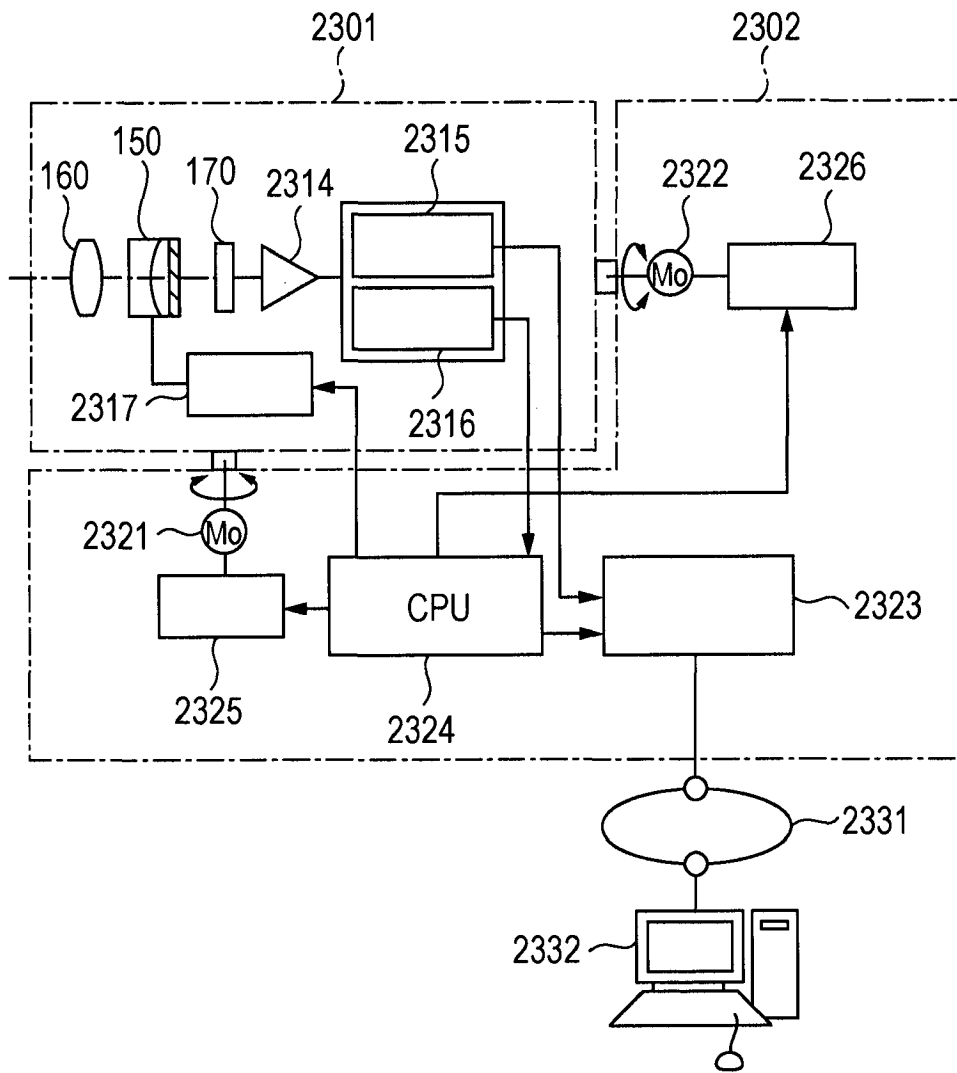


图 23B

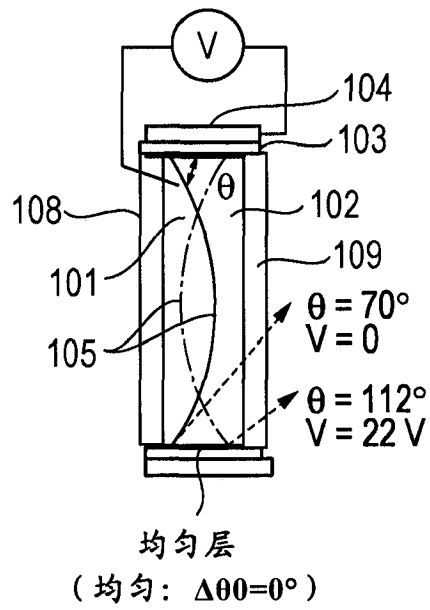


图 24A

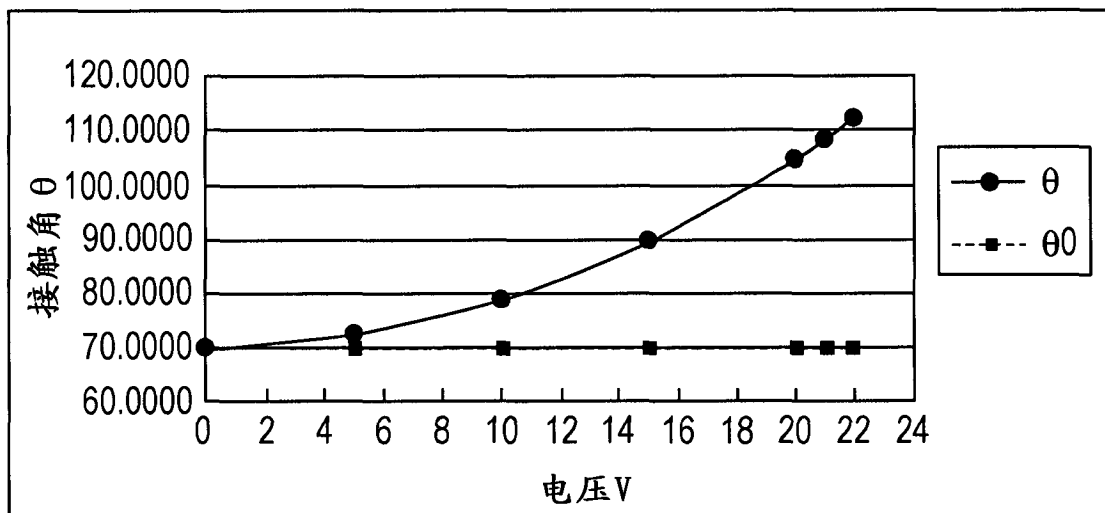


图 24B

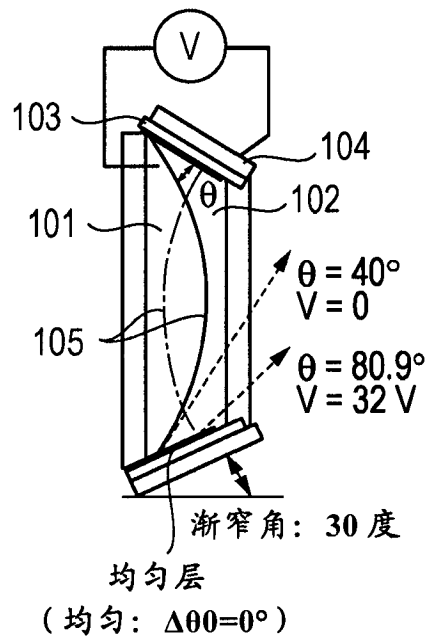


图 25A

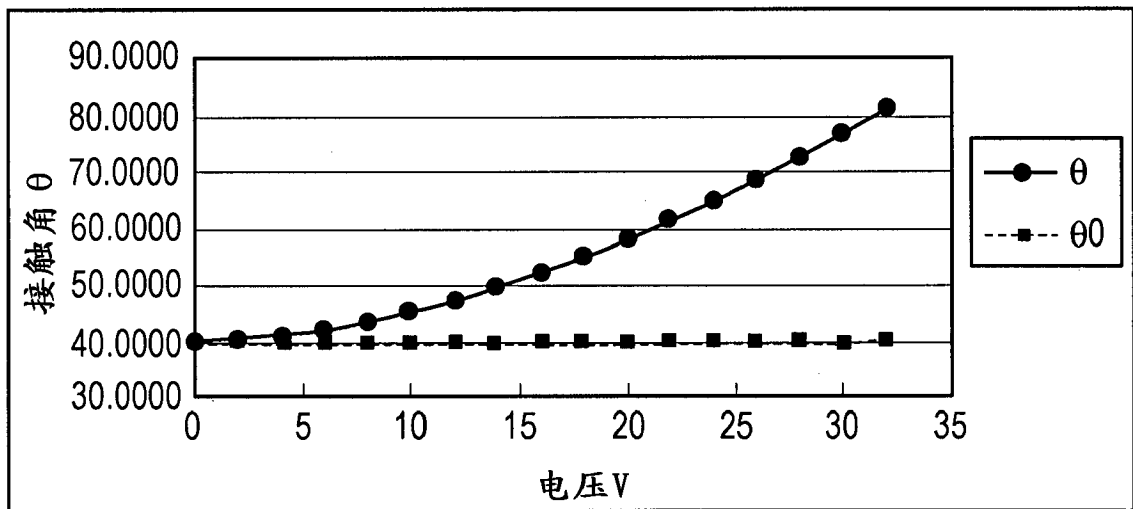


图 25B