(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101446654 B
(45)授权公告日 2010.12.08

(21)申请号 200810178913.7
(22)申请日 2008.11.27
(30)优先权数据
2007-306079 2007.11.27 JP
(73)专利权人 索尼株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 田中和洋 海部敬太 佐野幸广
光田幸宽
(74)专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限责任公司 11258
代理人 宋鹤 南霆
(51)Int.Cl.
G02B 3/12(2006.01)
G02B 3/14(2006.01)

审查员 卢萍

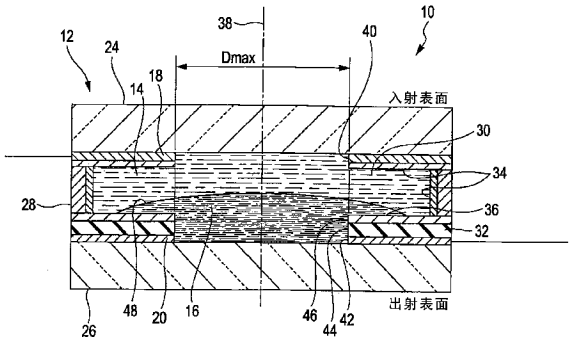
权利要求书 5 页 说明书 25 页 附图 31 页

(54)发明名称

光学元件

(57)摘要

本发明涉及光学元件。该光学元件包括：容器，其包括第一和第二端面壁、侧面壁、以及在所述壁内的容纳室；第一和第二液体，其被封入容纳室；第一电极，其设置在第一端面壁的表面上；第二电极，其设置在第二端面壁的表面上；绝缘膜，其设置在第二电极的表面上；以及被配置为施加电压的单元。通过电压的施加来改变液体之间的界面的形状，并在第二液体的一部分中形成以虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线沿着容器的厚度方向经过端面壁。在第一电极中设置开口，所述开口具有与该透射路径的最大直径相等或更大的直径。



CN 101446654 B

1. 一种光学元件，包括：

容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；

第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；

第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；

第一电极和第二电极，其被配置以将电场施加到所述第一液体；

绝缘膜；

其中，所述第一液体的透射率小于所述第二液体的透射率，

通过在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状，并在所述第二液体的一部分中形成以单个虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，

所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且

当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第一电极中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述透射路径的最大直径相比相等或更大的直径。

2. 一种光学元件，包括：

容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；

第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；

第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；

第一电极和第二电极，其被配置以将电场施加到所述第一液体；

绝缘膜；

其中，所述第一液体的透射率小于所述第二液体的透射率，

通过在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状，并在所述第二液体的一部分中形成以单个虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，

所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且

当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第二电极中或者在所述第二电极和所述绝缘膜的每一者中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述透射路径的最大直径相比相等或更小的直径。

3. 根据权利要求 2 所述的光学元件，

其中，当在所述第二电极和所述绝缘膜的每一者中设置所述开口、并且所述第二电极的所述开口具有与所述透射路径的所述最大直径相同的直径时，所述绝缘膜的所述开口具有与所述第二电极的所述开口的直径相比相等或更小的直径。

4. 一种光学元件，包括：

容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；

第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；

第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；

第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；

绝缘膜；

对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的膜；

其中，所述第一液体的透射率小于所述第二液体的透射率，

通过在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状，并在所述第二液体的一部分中形成以单个虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，

所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，

对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的所述膜设置在所述绝缘膜的面对所述容纳室的表面上，并且

当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在设置于所述绝缘膜的所述表面上的所述膜中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述透射路径的最大直径相比相等或更小的直径。

5. 根据权利要求 1、2 及 4 中任一项所述的光学元件，

其中，所述开口由以所述虚拟轴线为中心的圆形部分，以及从在圆周方向上间隔布置在所述圆形部分的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分构成。

6. 根据权利要求 1、2 及 4 中任一项所述的光学元件，

其中，所述开口由以所述虚拟轴线为中心的圆形部分，以及从在圆周方向上间隔布置在所述圆形部分的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分构成，并且

各个所述突出部分都具有在与所述突出部分突出所沿的方向垂直的方向上的均一宽度。

7. 根据权利要求 1、2 及 4 中任一项所述的光学元件，

其中，所述开口由以所述虚拟轴线为中心的圆形部分，以及从在圆周方向上间隔布置在所述圆形部分的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分构成，

各个所述突出部分都具有在与所述突出部分突出所沿的方向垂直的方向上的宽度，并且

所述宽度随着所述突出部分向所述径向上的外侧延伸而逐渐变窄。

8. 根据权利要求 1、2 及 4 中任一项所述的光学元件，其中，所述第一液体和所述第二液体具有实际相同的比重。

9. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一项所述的光学元件，还包括：

对所述第一液体的浸润性高于对所述第二液体的浸润性的膜，所述膜设置在所述第一

端面壁的内表面上。

10. 一种光学元件，包括：

容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；

透明的第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；

透明的第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；

第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；

绝缘膜；

其中，通过在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状以形成具有以单个虚拟轴线为中心的曲面形状的界面，由此对在所述虚拟轴线的方向上传播并通过所述界面的光进行折射，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，

所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且

当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第一电极中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述界面的最大直径相比相等或更大的直径。

11. 一种光学元件，包括：

容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；

透明的第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；

透明的第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；

第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；

绝缘膜；

其中，通过在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状以形成具有以单个虚拟轴线为中心的曲面形状的界面，由此对在所述虚拟轴线的方向上传播并通过所述界面的光进行折射，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，

所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且

当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第二电极中或者在所述第二电极和所述绝缘膜的每一者中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述界面的最大直径相比相等或更小的直径。

12. 根据权利要求 11 所述的光学元件，

其中，当在所述第二电极和所述绝缘膜的每一者中设置所述开口时，所述绝缘膜的所述开口具有与所述第二电极的所述开口的直径相比相等或更小的直径。

13. 一种光学元件，包括：

容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；

透明的第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；

透明的第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；

第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；

绝缘膜；

对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的膜；

其中，通过在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状以形成具有以单个虚拟轴线为中心的曲面形状的界面，由此对在所述虚拟轴线的方向上传播并经过所述界面的光进行折射，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，

所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，

所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，

对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的所述膜设置在所述绝缘膜的面对所述容纳室的表面上，并且

当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在设置于所述绝缘膜的所述表面上的所述膜中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述界面的最大直径相比相等或更小的直径。

14. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，

其中，所述开口由以所述虚拟轴线为中心的圆形部分，以及从在圆周方向上间隔布置在所述圆形部分的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分构成。

15. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，

其中，所述开口由以所述虚拟轴线为中心的圆形部分，以及从在圆周方向上间隔布置在所述圆形部分的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分构成，并且

各个所述突出部分都具有在与所述突出部分突出所沿的方向垂直的方向上的均一宽度。

16. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，

其中，所述开口由以所述虚拟轴线为中心的圆形部分，以及从在圆周方向上间隔布置在所述圆形部分的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分构成，

各个所述突出部分都具有在与所述突出部分突出所沿的方向垂直的方向上的宽度，并且

所述宽度随着所述突出部分向所述径向上的外侧延伸而逐渐变窄。

17. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，其中，所述第一液体和所述第二液体具有实际相同的比重。

18. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，其中，所述第二液体的折射率与所述第二液体的折射率不同。

19. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，其中，所述第二液体的阿贝数与所述第二液体的阿贝数不同。

20. 根据权利要求 10、11 或 13 中任一项所述的光学元件，还包括：

对所述第一液体的浸润性高于对所述第二液体的浸润性的膜，所述膜设置在所述第一端面壁的内表面上。

光学元件

技术领域

[0001] 本发明涉及光学元件。

背景技术

[0002] 已经提出了一种通过利用电毛细管作用（电浸润现象）改变第一液体与第二液体之间界面的形状来改变其光学属性的光学元件。

[0003] 这样的光学元件包括容器，该容器具有彼此面对的第一端面壁和第二端面壁，将第一端面壁连接到第二端面壁的侧面壁，以及设置在端面壁和侧面壁内的气密容纳室。

[0004] 具有极性或导电性的第一液体和与第一液体不相溶的第二液体被封入容纳室，并设置用于将电场施加到第一液体的第一电极和第二电极。通过在第一电极和第二电极之间施加电压，第一液体与第二液体之间界面的形状改变（见日本专利申请 No. 2003-177219）。

发明内容

[0005] 在上述光学元件中，除了第一和第二电极之外，还设置有各种膜，例如用于将电场施加到第一液体的绝缘膜、用于提高第一液体与第二液体之间界面的移动速度的亲水膜和疏水膜等。从提高光学元件的透明度的观点考虑，这种结构是不利的。

[0006] 考虑这种状况进行了本发明，期望提供一种在提高透明度方面较有利的光学元件。

[0007] 根据本发明的实施方式的光学元件包括：容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；绝缘膜；以及用于在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压的装置，其中，所述第一液体的透射率小于所述第二液体的透射率，通过利用所述用于施加电压的装置进行的电压的施加来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状，并在所述第二液体的一部分中形成以单个虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第一电极中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述透射路径的最大直径相等或更大的直径。

[0008] 根据本发明的实施方式的光学元件包括：容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；第一电极和第二电极，其

被配置为将电场施加到所述第一液体；绝缘膜；以及用于在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压的装置，其中，所述第一液体的透射率小于所述第二液体的透射率，通过利用所述用于施加电压的装置进行的电压的施加来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状，并在所述第二液体的一部分中形成以单个虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第二电极中或者在所述第二电极和所述绝缘膜的每一者中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述透射路径的最大直径相等或更小的直径。

[0009] 根据本发明的实施方式的光学元件包括：容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；绝缘膜；对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的膜；以及用于在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压的装置，其中，所述第一液体的透射率小于所述第二液体的透射率，通过利用所述用于施加电压的装置进行的电压的施加来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状，并在所述第二液体的一部分中形成以单个虚拟轴线为中心的光透射路径，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的所述膜设置在所述绝缘膜的面对所述容纳室的表面上，并且当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在设置于所述绝缘膜的所述表面上的所述膜中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述透射路径的最大直径相等或更小的直径。

[0010] 根据本发明的实施方式的光学元件，包括：容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；透明的第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；透明的第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；绝缘膜；以及用于在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压的装置，其中，通过利用所述用于施加电压的装置进行的电压的施加来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状以形成以单个虚拟轴线为中心的具有曲表面的所述界面，由此对在所述虚拟轴线的方向上传播并经过所述界面的光进行折射，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述第二电极设置在所述第

二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第一电极中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述界面的最大直径相等或更大的直径。

[0011] 根据本发明的实施方式的光学元件包括：容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；透明的第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；透明的第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；绝缘膜；以及用于在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压的装置，其中，通过利用所述用于施加电压的装置进行的电压的施加来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状以形成以单个虚拟轴线为中心的具有曲表面的所述界面，由此对在所述虚拟轴线的方向上传播并经过所述界面的光进行折射，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，并且当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在所述第二电极中或者在所述第二电极和所述绝缘膜的每一者中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述界面的最大直径相等或更小的直径。

[0012] 根据本发明的实施方式的光学元件包括：容器，其包括彼此面对的第一端面壁和第二端面壁、将所述第一端面壁连接到所述第二端面壁的侧面壁、以及设置在所述端面壁和所述侧面壁内的气密密封的容纳室；透明的第一液体，其具有极性或导电性，并被封入所述容纳室；透明的第二液体，其与所述第一液体不相溶，并被封入所述容纳室；第一电极和第二电极，其被配置为将电场施加到所述第一液体；绝缘膜；对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的膜；以及用于在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压的装置，其中，通过利用所述用于施加电压的装置进行的电压的施加来改变所述第一液体与所述第二液体之间的界面的形状以形成以单个虚拟轴线为中心的具有曲表面的所述界面，由此对在所述虚拟轴线的方向上传播并经过所述界面的光进行折射，所述虚拟轴线经过所述第一端面壁和所述第二端面壁并在所述容器的厚度方向上延伸，所述厚度方向是所述第一端面壁和所述第二端面壁彼此面对所沿的方向，所述第一电极设置在所述第一端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述第二电极设置在所述第二端面壁的面对所述容纳室的内表面上，所述绝缘膜设置在所述第二电极的面对所述容纳室的表面上，对所述第二液体的浸润性高于对所述第一液体的浸润性的所述膜设置在所述绝缘膜的面对所述容纳室的表面上，并且当从所述容器的所述厚度方向上观察时，在设置于所述绝缘膜的所述表面上的所述膜中设置开口，所述开口具有与以所述虚拟轴线为中心的所述界面的最大直径相等或更小的直径。

[0013] 在根据本发明的实施方式的光学元件中，光透射通过设置在第一电极、疏水膜、绝缘膜或第二电极中的开口。因此，该光学元件在提高透明度方面较为有利。

附图说明

[0014] 图 1A 是解释电毛细管作用的原理的视图，并示出了施加电压之前的状态；

[0015] 图 1B 是解释电毛细管作用的原理的视图，并示出了施加电压之后的状态；

[0016] 图 2 是示出光学元件 10 的基本结构的纵剖视图；

[0017] 图 3 是示出光学元件 10 的基本结构的立体图；

[0018] 图 4A、4B 和 4C 是图示当分别在光学元件 10 的第一电极 18 与第二电极 20 之间施加电压 V1、V2 和 V3 时的操作的剖视图；

[0019] 图 5 是示出其中将光学元件 10 应用于图像拍摄设备的成像光学系统的示例的示意图；

[0020] 图 6 是示出根据第一实施方式的光学元件 10 的结构的纵剖视图；

[0021] 图 7 是示出根据第二实施方式的光学元件 10 的基本结构的纵剖视图；

[0022] 图 8A、8B 和 8C 是图示当分别在光学元件 10 的第一电极 18 与第二电极 20 之间施加电压 V1、V2 和 V3 时的操作的剖视图；

[0023] 图 9 是示出根据第二实施方式的光学元件 10 的结构的纵剖视图；

[0024] 图 10 是根据第三实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0025] 图 11 是光学元件 10 的俯视图；

[0026] 图 12 是示出图 4A 中的第二液体 16 的形状的示意性立体图；

[0027] 图 13 是示出图 4B 中的第二液体 16 的形状的示意性立体图；

[0028] 图 14 是图 4C 的俯视图。

[0029] 图 15 是图示其中光透射路径 52 的中心对应于虚拟轴线 38 的状态的视图；

[0030] 图 16 是图示其中光透射路径 52 的中心从虚拟轴线 38 偏离并成为偏心的状态的视图；

[0031] 图 17 是图 16 的立体图；

[0032] 图 18 是根据第四实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0033] 图 19 是根据第五实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0034] 图 20 是根据第六实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0035] 图 21 是根据第七实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0036] 图 22 是根据第八实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0037] 图 23 是根据第九实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0038] 图 24 是根据第十实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0039] 图 25 是根据第十一实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图；

[0040] 图 26 是示出乙醇对纯水的混合比与比重之间的关系、以及该混合比与折射率之间的关系的图；

[0041] 图 27 是示出乙二醇对纯水的混合比与比重之间的关系、以及该混合比与折射率之间的关系的图；

[0042] 图 28 是示出表示纯水、乙醇和乙二醇的比重和折射率的图；

[0043] 图 29 是示出表示各种液体的比重和折射率的图；并且

[0044] 图 30 是示出各种液体的比重和折射率的数值的表。

具体实施方式

[0045] 第一实施方式

[0046] 首先，在描述此实施方式的光学元件 10 之前，将描述由根据本发明实施方式的光学元件所利用的电毛细管作用（电浸润现象）的原理。

[0047] 图 1A 和 1B 是解释电毛细管作用的原理的视图。图 1A 示出了施加电压之前的状态，图 1B 示出了施加电压之后的状态。

[0048] 如图 1A 所示，绝缘膜 2 设置在基底 1 上。具有极性或导电性的第一液体 3 布置在绝缘膜 2 的表面上。第一电极 4 电连接到第一液体 3。

[0049] 第二电极 5 设置在绝缘膜 2 与基底 1 之间。

[0050] 如图 1A 所示，当未在第一电极 4 与第二电极 5 之间施加电压时，第一液体 3 的表面由于表面张力而具有向上突起的大体球形表面。在此情况下，由绝缘膜 2 的表面和在第一液体 3 与绝缘膜 2 接触的部分处的液面形成的角 θ，即接触角 θ 被界定为 θ0。注意，在其中液体面对空气的状态下测量接触角 θ。即，在气液界面处测量接触角 θ。

[0051] 相反，如图 1B 所示，当通过在第一电极 4 与第二电极 5 之间施加电压 E 而将电场施加到第一液体 3 时，例如在绝缘膜 2 的表面上产生负电荷，因此，电场（静电力）作用在构成第一液体 3 的分子上。因此，构成第一液体 3 的分子彼此吸引而提高了第一液体 3 在绝缘膜 2 上的浸润性。结果，接触角 θ 变为小于 θ0 的 θ1。接触角 θ 随着电压 E 的值降低而减小。

[0052] 此现象称为电毛细管作用。

[0053] 接着，将描述构成第一实施方式的光学元件 10 的前提的基本结构和操作。

[0054] 在此实施方式中，光学元件 10 构成光阑。

[0055] 图 2 是示出光学元件 10 的基本结构的纵剖视图，图 3 是示出光学元件 10 的基本结构的立体图。

[0056] 如图 2 和 3 所示，光学元件 10 包括容器 12、第一液体 14、第二液体 16、第一电极 18、第二电极 20 和电压施加单元 22。

[0057] 容器 12 包括彼此面对的第一端面壁 24 和第二端面壁 26，以及将第一端面壁 24 连接到第二端面壁 26 的侧面壁 28。容器 12 包括由第一端面壁 24、第二端面壁 26 和侧面壁 28 气密地密封的容纳室 30。

[0058] 这里，术语“容器 12 的厚度方向”表示其中第一端面壁 24 和第二端面壁 26 彼此面对所沿的方向。

[0059] 第一端面壁 24 和第二端面壁 26 是具有相同形状和相同尺寸的矩形板。侧面壁 28 是具有落在第一端面壁 24 和第二端面壁 26 的轮廓内的尺寸的圆筒壁。容纳室 30 具有扁平圆柱形状。

[0060] 第一端面壁 24、第二端面壁 26 和侧面壁 28 由绝缘材料制成。此外，第一端面壁 24 和第二端面壁 26 由透明且光可透射材料制成。

[0061] 构成第一端面壁 24 和第二端面壁 26 的材料的示例包括透明且绝缘的合成树脂材料，以及透明玻璃材料。

[0062] 第一液体 14 具有极性或导电性，并被封入容纳室 30。

[0063] 第二液体 16 与第一液体 14 不相溶，并也被封入容纳室 30。

[0064] 第一液体 14 和第二液体 16 具有大体相同的比重。此外，第一液体 14 的透射率小于第二液体 16 的透射率。

[0065] 因为第一液体 14 和第二液体 16 具有大体相同比重，所以第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48（图 2）维持稳定的形状而不受重力的影响。

[0066] 此外，因为第一液体 14 的透射率小于第二液体 16 的透射率，所以由第二液体 16 形成光透射路径 52（图 4）。

[0067] 在此实施方式中，通过将由不能透射光的材料的精细微粒与含纯水、乙醇和乙二醇的混合液体相混合，来制备第一液体 14。

[0068] 例如，可以使用碳黑来作为精细微粒。当使用碳黑时，优选地在碳黑微粒的表面上执行亲水涂覆处理，使得碳黑微粒可以与第一液体 14 均匀地混合。可以通过例如在碳黑微粒的表面上形成亲水基团来执行亲水涂覆处理。

[0069] 在此实施方式中，第二液体 16 由硅酮油组成。

[0070] 能够用作第一液体 14 的液体不限于此实施方式中使用的液体。其示例还包括硝基甲烷、乙酸酐、乙酸甲酯、乙酸乙酯、甲醇、乙腈、丙酮、乙醇、乙基氰、四氢呋喃、正己烷、2- 丙醇、2- 丁醇、正丁腈、1- 丙醇、1- 丁醇、二甲基亚砜、氯苯、乙二醇、甲酰胺、硝基苯、碳酸丙烯、1，2- 二氯乙烷、二硫化碳、氯仿、溴苯、四氯化碳、三氯乙酸酐、甲苯、苯、乙二胺、N，N- 二甲基乙酰胺、N，N- 二甲基甲酰胺、磷酸三丁酯、吡啶、氰苯、苯胺、1，4- 二氧杂环乙烷、以及六甲基磷酰胺。

[0071] 能够用作第二液体 16 的液体的示例包括硅酮、癸烷、辛烷、壬烷、以及庚烷。

[0072] 第一液体 14 和第二液体 16 每一者都可以由单种液体或多种液体的混合物组成。第一液体 14 和第二液体 16 具有大体相同比重就足够了。

[0073] 此外，将描述第一液体 14 和第二液体 16 的组成。

[0074] 首先，将描述第一液体 14。通过将具有不同比重和不同折射率的三种液体混合来制备第一液体 14。本发明的发明人已经发现，通过改变这三种液体的混合比，可以在第一液体 14 的比重和折射率每一者都可以在较宽范围内改变。

[0075] 例如，首先，将对使用两种液体制备第一液体 14 的情况进行描述。

[0076] 使用纯水和乙醇作为所述两种液体来制备第一液体 14，并改变乙醇与纯水的混合比。

[0077] 如图 26 所示，当乙醇与水的混合比改变时，第一液体 14 的比重和折射率线性地或沿着曲线改变。

[0078] 或者，使用纯水和乙二醇作为所述两种液体来制备第一液体 14，并改变乙二醇与纯水的混合比。

[0079] 如图 27 所示，当乙二醇与水的混合比改变时，第一液体 14 的比重和折射率线性地或沿着曲线改变。

[0080] 注意，纯水的比重是基底 1.0，且纯水的折射率是基底 1.333。乙醇的比重是 0.789，且乙醇的折射率是基底 1.361。乙二醇的比重是 1.113，且乙二醇的折射率是基底 1.430。

[0081] 相反，使用三种液体制备第一液体 14，并改变液体的混合比。

[0082] 例如，使用纯水、乙醇和乙二醇作为所述三种液体来制备第一液体 14，并改变其混合比。

[0083] 如图 28 所示，通过改变纯水、乙醇和乙二醇的混合比，第一液体 14 的比重和折射率可以在通过将纯水、乙醇和乙二醇的三个坐标连接而界定的较大三角形区域 R 中改变。

[0084] 此外，在图 28 中，还表示了各种可商业获取的硅酮油的比重和折射率的坐标。

[0085] 此外，表示在三角形区域 R 内的可商业获取的硅酮油可以用作第二液体 16，并且通过将纯水、乙醇和乙二醇混合使得得到的混合液体的比重和折射率与以上硅酮油相同来制备的液体可以用作第一液体 14。

[0086] 在此实施方式中，通过将碳黑溶解在包含纯水、乙醇和乙二醇的混合液体中来制备第一液体 14，并且第一液体 14 是黑色的。第一液体 14 被配制为使得具有约 0.1mm 厚度的第一液体 14 可以阻挡光。此结构的优点在于可以减小光学元件的厚度。

[0087] 当光学元件 10 被构造为使得第一液体 14 的折射率与第二液体 16 的折射率相同时，可以防止在界面 48 处产生透镜效应。此优点在于可以可靠地进行光阑的操作。

[0088] 此外，当通过将乙醇与水混合来制备第一液体 14 时，可以降低第一液体 14 的凝固点（熔点），因此，可以防止在寒冷地区中固化。因此，光学元件 10 可以用于寒冷地区。

[0089] 乙醇的凝固点是 -114℃，而乙二醇的凝固点是 -13℃。因此，第一液体 14 的凝固点可以降低到 -40℃或更低。

[0090] 如上所述，代替选择两种液体来构造比重相等的第一液体 14 和第二液体 16，可以将具有三种比重不同的液体的混合物用作第一液体 14。由此，如图 28 的区域 R 所示，第一液体 14 的比重可以在较宽范围内改变。

[0091] 更具体而言，如图 28 所示，当具有不同比重的两种液体彼此混合时，通过改变两种液体的混合比获得的第一液体 14 的比重仅在由将两种液体的坐标连接的直线所表示的范围内改变。

[0092] 相反，当将三种液体彼此混合时，第一液体 14 的比重可以在通过将纯水、乙醇和乙二醇的三个坐标连接所界定的较大三角形区域 R 内改变。

[0093] 因此，更容易使第一液体 14 的比重与第二液体 16 相等，因此，可以容易地制造具有期望属性的光学元件 10。

[0094] 此外，如图 28 所示，当通过将至少三种具有不同比重和不同折射率的液体（例如，纯水、乙醇和乙二醇）混合来制备第一液体 14 时，可以容易地使第一液体 14 的比重等于第二液体 16，此外，可以容易地同时使第一液体 14 的折射率等于第二液体 16 的折射率。因此，其优点在于可以防止透镜效应的产生。

[0095] 已经对使用纯水、乙醇和乙二醇作为多种液体来制备第一液体 14 的情况进行了描述。多种液体不限于纯水、乙醇和乙二醇，可以选择各种现有的液体。

[0096] 将参考图 29 和 30 进行描述。

[0097] 图 29 是示出各种液体的比重和折射率的图，图 30 是示出所使用的各种液体的比重和折射率的数值的表。

[0098] 例如，如图 29 所示，所使用的液体的示例包括分类为群组 A、群组 B、群组 C 和群组 D 的液体。在群组 A 至 D 中使用的液体的具体组分如图 30 所示。

[0099] 如图 29 的三角形区域 R1 所示，通过在将从群组 A 选择的液体的坐标、从群组 B 选择的液体的坐标和从群组 C 选择的液体的坐标所界定的较大的三角形区域 R1 内改变三种液体的混合比，可以改变比重和折射率。

[0100] 此外，如图 29 的三角形区域 R2 所示，通过在将从群组 B 选择的液体的坐标、从群组 C 选择的液体的坐标和从群组 D 选择的液体的坐标所界定的较大的三角形区域 R1 内改变三种液体的混合比，可以改变比重和折射率。

[0101] 即，可以通过选择各种现有的液体并改变液体的混合比，可以容易地改变比重和折射率。

[0102] 用作第一液体 14 的液体的种数不限于三种，而可以是四种或更多。

[0103] 已经对通过将具有不同比重和不同折射率的液体混合来将第一液体 14 的比重调节为等于第二液体 16 的比重的情况进行了描述。可选地，可以通过将具有不同比重和不同折射率的液体混合来将第二液体 16 的比重调节为等于第一液体 14 的比重。

[0104] 此外，在此实施方式中，已经描述了将单种硅酮油用作第二液体 16 的情况。但是，可以获得多种具有不同属性（例如折射率和比重）的硅酮油。因此，可以选择具有期望属性的单种硅酮油并用作第二液体 16，或者可以选择具有多种不同属性的硅酮油并通过改变其混合比将折射率和比重调节为期望值，然后可以将得到的混合物用作第二液体 16。

[0105] 第一电极 18 和第二电极 20 用于将电场施加到第一液体 14 以在第一液体 14 中产生电毛细管作用。

[0106] 在基本结构中，如下所述，使用亲水膜 34，以提高光阑的操作速度。亲水膜 34 设置在第一电极 18 面对第一液体 14 的位置处。即，第一电极 18 设置为面对第一液体 14，且亲水膜 34 位于第一电极 18 与第一液体 14 之间。

[0107] 第二电极 20 设置在第二端面壁 26 的内表面上，该内表面面对容纳室 30。

[0108] 在此基本结构中，第一电极 18 设置在第一端面壁 24 的内表面的整个区域上，第二电极 20 设置在第二端面壁 26 的内表面的整个区域上。

[0109] 第一电极 18 和第二电极 20 每一者都例如有诸如氧化铟锡 (ITO) 膜之类的光可透射导电材料制成。

[0110] 电压施加单元 22 设置在容器 12 外部，并且从电压施加单元 22 输出的电压可变。电压施加单元 22 的正电压输出端子电连接到第一电极 18，电压施加单元 22 的负电压输出端子电连接到第二电极 20。

[0111] 在此基本结构中，将对通过将 DC 电压施加到第一液体 14 来产生电毛细管作用的情况进行说明。但是，施加到第一液体 14 的电压不限于 DC 电压。可以使用诸如 AC 电压、脉冲电压或步进升高或降低的电压，只要在第一液体 14 中产生电毛细管作用即可。

[0112] 此外，在此基本结构中，绝缘膜 32 设置在第二电极 20 的整个区域上，第二电极 20 设置在第二端面壁 26 的内表面上，该内表面面对容纳室 30。

[0113] 绝缘膜 32 也用于通过将电场施加到第一液体 14 来在第一液体 14 中产生电毛细管作用。

[0114] 更具体而言，通过在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加电压，例如在绝缘膜 32 的表面上产生负电荷，由此将电场施加到第一液体 14。电场（静电力）作用于构成第一液体 14 的分子，从而产生电毛细管作用。

[0115] 在从基本结构中，如图 2 所示，为了提高光阑的操作速度，还设置光可透射的透明亲水膜 34（即，根据本发明的实施方式，其对第一液体的浸润性高于其对第二液体的浸润性）以覆盖在第一电极 18 的整个区域和侧面壁 28 的整个区域上，如下所述。

[0116] 此亲水膜 34 被构造为使得对第一液体 14 的浸润性高于对第二液体 16 的浸润性。即，亲水膜 34 被构造为使得第一液体 14 对亲水膜 34 的接触角小于第二液体 16 对亲水膜 34 的接触角。

[0117] 可以例如通过将亲水聚合物或表面活性剂涂覆到第一电极 18 和侧面壁 28 的内表面来形成亲水膜 34。各种现有的材料可以用作亲水膜 34。

[0118] 在此基本结构中，如图 2 所示，为了提高光阑的操作速度，还设置光可透射的透明疏水膜 36（即，根据本发明的实施方式，其对第二液体的浸润性高于其对第一液体的浸润性）以覆盖在设置于第二端面壁 26 的第二电极 20 上的绝缘膜 32 的整个区域上，如下所述。

[0119] 此疏水膜 36 被构造为使得对第二液体 16 的浸润性高于对第一液体 14 的浸润性。即，疏水膜 36 被构造为使得第二液体 16 对疏水膜 36 的接触角小于第一液体 14 对疏水膜 36 的接触角。

[0120] 疏水膜 36 是具有亲油性的膜。可以通过烘焙包含硅作为主要组分的材料，或者通过形成由无定形碳氟化合物树脂制成的膜，来形成疏水膜 36。各种现有的材料可以用作疏水膜 36。

[0121] 在图 3 中，省略了亲水膜 34 和疏水膜 36 的图示。

[0122] 根据此基本结构，如图 2 所示，位于第一端面壁 24 的其上布置第一液体 14 的内表面上的第一液体 14 的整个区域面对第一电极 18，并且亲水膜 34 置于第一液体 14 的整个区域与第一电极 18 之间。此外，位于第二端面壁 26 的其上布置第二液体 16 的内表面上的第二液体 16 的整个区域面对第二电极 20，并且疏水膜 36 和绝缘膜 32 置于第二液体 16 的整个区域与第二电极 20 之间。

[0123] 因此，当将电压 V 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，例如在绝缘膜 32 的表面上产生负电荷。由此，电场施加到第一液体 14，并且电场（静电力）作用于构成第一液体 14 的分子，从而产生电毛细管作用。

[0124] 接着，将描述基本结构中的光学元件 10 的操作。

[0125] 图 4A、4B 和 4C 是图示当分别在光学元件 10 的第一电极 18 与第二电极 20 之间施加电压 V1、V2 和 V3 时的操作的剖视图。

[0126] 如图 2 所示，在没有将电压 V 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状由第一液体 14 和第二液体 16 的表面张力与疏水膜 36 上的界面张力之间的平衡来确定。

[0127] 此外，因为第一液体 14 对疏水膜 36 的接触角与第二液体 16 对疏水膜 36 的接触角之间的差，第二液体 16 更扁平地在疏水膜 36 上扩展。结果，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状变为更接近平坦表面的曲面。

[0128] 第一液体 14 被布置为覆盖设置于第一端面壁 24 上的亲水膜 34 和设置于侧面壁 28 上的亲水膜 34。

[0129] 因此，第一液体 14 的布置在侧面壁 28 与第二端面壁 26 之间的界面附近的环形部分上的一部分直接接触疏水膜 36，二第二液体 16 不与设置于侧面壁 28 上的亲水膜 34 接触。

[0130] 因此，其中第一液体 14 与疏水膜 36 接触的环形部分面对第二电极 20 而未将第二液体 16 夹置于两者之间，并且疏水膜 36 和绝缘膜 32 置于该环形部分与第二电极 20 之间。

[0131] 在此状态下，第一液体 14 被布置为延伸过在与光的透射方向垂直的方向上的整个区域，因此阻挡了在容器 12 的厚度方向上的光透射。

[0132] 接着，如图 4A 所示，当将电压 V1(>0) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的形状通过电毛细管作用而改变以形成从第二液体 16 朝向第一液体 14 突起的曲表面（球形表面），并且界面 48 的中心接触第一端面壁 24（亲水膜 34）。

[0133] 在此状态下，在界面 48 与第一端面壁 24（亲水膜 34）接触处的区域中不存在第一液体 14。结果，在容纳室 30 中形成仅存在第二液体 16 的区域 50。此区域 50 形成了通过第一端面壁 24 和第二端面壁 26 并沿着容器 12 的厚度方向延伸的光透射路径 52。更具体而言，光透射路径 52 构成孔 52A，并且光透射路径 52 的直径被界定为光阑的孔径 D1。

[0134] 即，通过将电场施加到第一液体 14，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面的形状改变以形成由第二液体 16 的一部分构成的光透射路径 52。光透射路径 52 的中心是经过第一端面壁 24、第二液体 16 和第二端面壁 26 并在容器 12 的厚度方向上（即，在其中第一端面壁 24 和第二端面壁 26 彼此面对所沿的方向上）延伸的单个虚拟轴线。

[0135] 接着，如图 4B 所示，当将电压 V2(>V1) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率进一步增大。

[0136] 因此，形成在容纳室 30 中并且仅存在第二液体 16 的区域 50 的直径增大。因此，光透射路径 52 的直径，即光阑的孔径从 D1 增大到 D2。

[0137] 接着，如图 4C 所示，当将电压 V3(>V2) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率进一步增大。

[0138] 因此，形成在容纳室 30 中并且仅存在第二液体 16 的区域 50 的直径进一步增大。因此，光透射路径 52 的直径，即光阑的孔径增大到最大孔径 D3(>D2)。

[0139] 因此，通过调节从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 的电压，仅存在第二液体 16 的区域 50 的直径增大或减小以调节光阑的孔径。

[0140] 在图 4A、4B 和 4C 中，θ1、θ2 和 θ3 每一者都表示第一液体 14 的接触角。随着施加到第一液体 14 的电场增大，接触角减小，即 θ1>θ2>θ3，并且第一液体 14 的浸润性增大。

[0141] 亲水膜 34 和疏水膜 36 可以省略。但是，从确保光学元件 10 的性能的角度看，优选地设置亲水膜 34 和疏水膜 36，这是因为亲水膜 34 和疏水膜 36 的存在提供了以下优点。

[0142] 当设置光可透射的透明亲水膜 34 以覆盖第一电极 18 的整个区域和侧面壁 28 的内表面的整个区域时，第一液体 14 令人满意地浸润亲水膜 34。因此，一旦当第二液体 16 接触第一端面壁 24 并接着离开第一端面壁 24，第二液体 16 容易与亲水膜 34 分离，从而提高光阑的操作速度。

[0143] 当设置光可透射的透明疏水膜 36 以覆盖设置于第二电极 20（其在第二端面壁 26 上）上的绝缘膜 32 的整个区域时，第一液体 14 的液体表面可以平滑地在疏水膜 36 上移动，从而提高光阑的操作速度。

[0144] 接着，将详细描述第一液体 14 和第二液体 16 的界面 48 的形状的改变。

[0145] 当如图 4A 至 4C 所示，在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加电压 V 并且由第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 形成的角被界定为接触角 θ 时，接触角 θ 由方程 (1) 表示：

[0146] $\cos\theta(V) = \cos\theta(V=0) + \varepsilon 0 \times \varepsilon r \times V2/2\gamma t$ (1)

[0147] 其中 $\cos\theta(V)$ 表示当施加的电压是 V[V] 时的接触角，$\cos\theta(V=0)$ 表示当不施加电压时的接触角，$\varepsilon 0$ 表示 8.85×10^{-12}[F/m] 的真空介电常数，εr 表示绝缘膜 32 的相对介电常数，V 表示施加的电压 [V]，t 表示绝缘膜 32 的厚度 [m]，γ 表示第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面张力（或界面能）[N/m]。

[0148] 更具体而言，通过升高或降低电压 V 来增大或减小接触角 θ（改变第一液体 14 的浸润性），由此改变由第一液体 14 对第二液体 16 的推力。结果，界面 48 的形状改变。

[0149] 光学元件 10 用于诸如数字静态相机、视频相机等的图像拍摄设备的成像光学系统中。

[0150] 图 5 是示出其中将光学元件 10 应用于图像拍摄设备的成像光学系统的示例的示意图。

[0151] 如图 5 所示，图像拍摄设备 100 包括用于捕捉物体的图像的图像拍摄装置 102，以及用于将物体的图像引导到图像拍摄装置 102 的成像光学系统 104。

[0152] 在成像光学系统 104 的光轴 L 上，从物体到图像拍摄装置 102，依次布置了第一透镜单元 106、第二透镜单元 108、第三透镜单元 110、第四透镜单元 112 和滤镜单元滤镜单元 114。

[0153] 在此示例中，第一透镜单元 106 和第三透镜单元 110 被设置为在光轴方向上不可移动。第二透镜单元 108 被设置为在光轴方向上可移动的变焦透镜。第四透镜单元 112 被设置为聚焦透镜以在光轴方向上可移动。

[0154] 由第二透镜单元 108 将由第一透镜单元 106 引导的来自物体的光束转换为平行光束。该平行光束被引导至第三透镜单元 110 并通过第四透镜单元 112 和滤镜单元 114 被会聚在图像拍摄装置 102 的图像拍摄表面 102A 上。

[0155] 光学元件 10 布置在第二透镜单元 108 与第三透镜单元 110 之间的位置处，平行光束经过光学元件 10，由此虚拟轴线 38 的位置对应于成像光学系统 104 的光轴 L。

[0156] 因此，通过光学元件 10 的光透射路径 52（孔 52A）的扩大或缩小，引导至图像拍摄表面 102A 的光束量增大或减小。

[0157] 在光学元件 10 的上述基本结构中，除了第一电极 18 和第二电极 20 之外，例如还在光所透射通过的第一端面壁 24 和第二端面壁 26 上设置了用于对第一液体 14 提供电场的绝缘膜 32、以及用于提高第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的移动速度的亲水膜 34 和疏水膜 36。因此，从提高光学元件 10 的透明度的角度看，此基本结构是不利的。

[0158] 因此，在第一实施方式中，通过形成经过第一电极 18、第二电极 20、绝缘膜 32 和疏水膜 36 的开口，来提高光学元件 10 的透明度。

[0159] 现在，将详细描述包括本发明的实施方式的特征的第一电极 18、第二电极 20、绝缘膜 32、和疏水膜 36。

[0160] 图 6 是示出根据第一实施方式的光学元件 10 的结构的纵剖视图。

[0161] 在下述实施方式中，与上述基本结构相同的部分和部件分配有相同的附图标记，并省略其描述。

[0162] 第一实施方式的光学元件 10 除了第一电极 18、第二电极 20、绝缘膜 32 和疏水膜 36 之外与具有上述基本结构的光学元件相同。

[0163] 如图 6 所示，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，在第一电极 18 中设置第一电极开口 40，在第二电极 20 中设置第二电极开口 42，在绝缘膜 32 中设置绝缘膜开口 44，并在疏水膜 36 中设置疏水膜开口 46。

[0164] 第一电极开口 40 形成为具有能够使用第一电极 18 将电场施加到第一液体 14 的尺寸就足够了。因此，第一电极开口 40 具有与以虚拟轴线 38 为中心的光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等或更大的直径。

[0165] 第一电极 18 设置在第一端面壁 24 的内表面上除了第一电极开口 40 之外的整个区域。

[0166] 第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 形成为具有能够使用第二电极 20 和绝缘膜 32 将电场施加到第一液体 14 的尺寸就足够了。因此，第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 被形成为具有与以虚拟轴线 38 为中心的光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等的直径。

[0167] 这里，当形成第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 两者并且第二电极开口 42 的尺寸与光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等时，绝缘膜开口 44 形成为具有与第二电极开口 42 相等或更小的尺寸。

[0168] 即，在第二电极开口 42 具有光透射路径 52 的最大直径 Dmax 的状态下，如果第一液体 14 通过第二电极开口 42 接触第二电极 20，则第一电极 18 和第二电极 20 经由第一液体 14 短接。为此，为了即使在光透射路径 52 的最大直径 Dmax 的情况下也利用第一液体 14 与第二电极 20 之间的绝缘膜 32 将第一液体 14 与第二电极 20 绝缘，绝缘膜开口 44 被形成为具有与第二电极开口 42 相等或更小的尺寸。

[0169] 疏水膜开口 46 形成为具有第一液体 14 能够接触疏水膜 36 的尺寸就足够了。因此，疏水膜开口 46 被形成为具有与以虚拟轴线 38 为中心的光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等的直径。

[0170] 接着，将再次参考图 4A、4B 和 4C 描述光学元件 10 的操作和优点。

[0171] 当将电压从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 以改变界面 48 的形状、由此使得孔径扩大或缩小时，由第二液体 16 的一部分形成的光透射路径 52 的直径也在 D1 至 Dmax 的范围内增大或减小。

[0172] 在此情况下，无论光透射路径 52 的直径的尺寸如何，从光学元件 10 的入射表面入射的光都经过第一端面壁 24，并接着依次经过第一电极开口 40、第二液体 16 的一部分、疏水膜开口 46、绝缘膜开口 44、第二电极开口 42 和第二端面壁 26。

[0173] 因此，关于结构，上述具有基本结构的光学元件的缺点在于因为光经过第一电极 18、疏水膜 36、绝缘膜 32 和第二电极 20 这四个部分而使得光学元件的透明度降低。相反，在此实施方式中，光在不经过第一电极 18、疏水膜 36、绝缘膜 32 和第二电极 20 这四个部分的情况下经过光学元件。因此，此光学元件有利于提高透明度。预计此实施方式的光学元件 10 的透射率相比具有基本结构的光学元件提高了 3％至 10％。

[0174] 在此实施方式中，已经对其中设置了第一电极开口 40、疏水膜开口 46、绝缘膜开口 44 和第二电极开口 42 这四个开口的结构进行了说明。可选地，在以下四种结构中，可以选择一种结构或者组合两种或更多种结构。但是，不包括 (3) 和 (4) 的组合。

[0175] (1) 设置第一电极开口 40。

[0176] (2) 设置疏水膜开口 46。

[0177] (3) 设置绝缘膜开口 44 和第二电极开口 42 两者。

[0178] (4) 设置第二电极开口 42。

[0179] 但是，如在此实施方式中，从提高光学元件 10 的透明度（透射率）的角度看，包括第一电极开口 40、疏水膜开口 46、绝缘膜开口 44 和第二电极开口 42 这四个开口的结构是最有利的。

[0180] 在此实施方式中，已经对第二电极开口 42 的直径和绝缘膜开口 44 的直径与光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等的情况进行了描述。但是，第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 被形成为具有能够使用第二电极 20 和绝缘膜 32 将电场施加到第一液体 14 的尺寸就足够了。因此，第二电极开口 42 的直径和绝缘膜开口 44 的直径可以小于最大直径 Dmax。但是，如在本实施方式中，当第二电极开口 42 的直径和绝缘膜开口 44 的直径与光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等时，此结构更有利于确保光学元件 10 的透明度。

[0181] 此外，在此实施方式中，已经对疏水膜开口 46 的直径与光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等的情况进行了描述。但是，疏水膜开口 46 被形成为具有使第一液体 14 接触疏水膜 36 的尺寸就足够了。因此，疏水膜开口 46 的直径可以小于最大直径 Dmax。但是，如在此实施方式中，当疏水膜开口 46 的直径与光透射路径 52 的最大直径 Dmax 相等时，此结构更有利于确保光学元件 10 的透明度。

[0182] 此外，在此实施方式中，已经描述了设置疏水膜 36 的情况。可选地，可以省略疏水膜 36。但是，疏水膜 36 的形成有利于提高光阑的操作速度。

[0183] 第二实施方式

[0184] 接着，将描述第二实施方式。

[0185] 图 7 是示出根据第二实施方式的光学元件 10 的基本结构的纵剖视图。

[0186] 第二实施方式与第一实施方式以及第三至第十实施方式的不同之处在于光学元件 10 构成透镜。

[0187] 除了第一液体 14 和第二液体 16 与第一实施方式不同之外，第二实施方式的光学元件 10 的基本结构与第一实施方式基本相同。因此，以下将主要描述与第一实施方式不同的结构。

[0188] 在光学元件 10 中，通过用电压施加单元 22 施加电压来改变第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48。由此，具有曲表面并且以经过第一端面壁 24 和第二端面壁 26 并在容器 12 的宽度方向（其是第一端面壁 24 和第二端面壁 26 彼此面对所沿的方向）上延伸的虚拟轴线 38 为中心的界面 48 被形成为对在虚拟轴线 38 的方向上传播并经过界面 48 的光进行折射。

[0189] 如同在第一实施方式中，光学元件 10 包括容器 12、第一液体 14、第二液体 16、第一电极 18、第二电极 20 和电压施加单元 22。

[0190] 第一液体 14 具有极性或导电性，并被封入容纳室 30。

[0191] 第二液体 16 与第一液体 14 不相溶，并被封入容纳室 30。

[0192] 第一液体 14 和第二液体 16 是透明的，并具有彼此大体相同的比重。

[0193] 第二液体 16 的折射率与第一液体 14 的折射率不同，在此实施方式中，光学元件 10 被构造为使得第二液体 16 的折射率大于第一液体 14 的折射率。

[0194] 可选地，此实施方式的光学元件 10 被构造为使得第二液体 16 的阿贝数与第一液

体 14 的阿贝数不同。

[0195] 可选地，此实施方式的光学元件 10 被构造为使得第二液体 16 的折射率与第一液体 14 的折射率不同，且第二液体 16 的阿贝数与第一液体 14 的阿贝数不同。

[0196] 接着，将描述光学元件 10 的操作。

[0197] 图 8A、8B 和 8C 是图示当分别在光学元件 10 的第一电极 18 与第二电极 20 之间施加电压 V1、V2 和 V3 时的操作的剖视图。

[0198] 如图 7 所示，在没有将电压 V 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状由第一液体 14 和第二液体 16 的表面张力与疏水膜 36 上的界面张力之间的平衡来确定。在此状态下，界面 48 形成从第二液体 16 朝向第一液体 14 突起的平缓凸表面。

[0199] 这里，因为第二液体 16 的折射率大于第一液体 14 的折射率，所以经过第一端面壁 24 和第二端面壁 26 在容器 12 的厚度方向上传播并经过界面 48 的光在界面 48 处折射。因此，光学元件 10 构成具有用于会聚光的能力的透镜。

[0200] 这里，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的直径是最大直径 DLmax。

[0201] 接着，如图 8A 所示，当将电压 V1(>0) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率通过电毛细管作用而增大。

[0202] 这里，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的直径 DL1 小于最大直径 DLmax(DL1<DLmax)。

[0203] 接着，如图 8B 所示，当将电压 V2(>V1) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率进一步增大。

[0204] 这里，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的直径 DL2 小于 DL1(DL2<DL1)。

[0205] 接着，如图 8C 所示，当将电压 V3(>V2) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率进一步增大并变为最大斜率。

[0206] 这里，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的直径 DL3 小于 DL2(DL3<DL2)。

[0207] 因此，通过调节从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 的电压，改变界面 48 的弯曲，并由此可以改变透镜的焦距（可以改变透镜的能力）。

[0208] 此外，通过调节从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 的电压，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的直径在 DL3 至最大直径 DLmax 的范围内增大或减小。

[0209] 如上所述，如同在第一实施方式中，构成透镜的光学元件 10 用于诸如数字静态相机、视频相机等的图像拍摄设备的成像光学系统中。

[0210] 接着，将详细描述包括本发明的实施方式的特征的第一电极 18、第二电极 20、绝缘膜 32、和疏水膜 36。

[0211] 图 9 是示出根据第二实施方式的光学元件 10 的结构的纵剖视图。

[0212] 如图 9 所示，当从容器 12 的厚度方向观察光学元件 10 时，在第一电极 18 中设置第一电极开口 40，在第二电极 20 中设置第二电极开口 42，在绝缘膜 32 中设置绝缘膜开口

44，并在疏水膜 36 中设置疏水膜开口 46。

[0213] 第一电极开口 40 形成为具有能够使用第一电极 18 将电场施加到第一液体 14 的尺寸就足够了。因此，第一电极开口 40 具有与以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的最大直径 DLmax 相等或更大的直径。

[0214] 第一电极 18 设置在第一端面壁 24 的内表面上除了第一电极开口 40 之外的整个区域。

[0215] 第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 形成为具有能够使用第二电极 20 和绝缘膜 32 将电场施加到第一液体 14 的尺寸就足够了。因此，第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 被形成为具有与以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的最大直径 DLmax 相等的直径。

[0216] 这里，当形成第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 两者并且第二电极开口 42 的尺寸与界面 48 的最大直径 DLmax 相等时，绝缘膜开口 44 形成为具有与第二电极开口 42 相等或更小的尺寸。

[0217] 即，在第二电极开口 42 具有最大直径 DLmax 的状态下，如果第一液体 14 通过第二电极开口 42 接触第二电极 20，则第一电极 18 和第二电极 20 经由第一液体 14 短接。为此，为了即使在界面 48 具有最大直径 DLmax 的情况下也利用第一液体 14 与第二电极 20 之间的绝缘膜 32 将第一液体 14 与第二电极 20 绝缘，绝缘膜开口 44 被形成为具有与第二电极开口 42 相等或更小的尺寸。

[0218] 疏水膜开口 46 形成为具有第一液体 14 能够接触疏水膜 36 的尺寸就足够了。因此，疏水膜开口 46 被形成为具有与以虚拟轴线 38 为中心的界面 48 的最大直径 DLmax 相等的直径。

[0219] 接着，将再次参考图 7 和图 8A、8B 和 8C 描述光学元件 10 的操作和优点。

[0220] 当通过从未施加电压的状态将电压从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 以改变界面 48 的形状时，界面 48 的直径也在 DLmax 至 DL3 的范围内增大或减小。

[0221] 在此情况下，无论界面 48 的直径增大还是减小，在从光学元件 10 的入射表面入射的光分量中，经过界面 48 的光分量经过第一端面壁 24，并接着依次经过第一电极开口 40、第二液体 16 的一部分、疏水膜开口 46、绝缘膜开口 44、第二电极开口 42 和第二端面壁 26。

[0222] 因此，关于结构，上述具有基本结构的光学元件的缺点在于因为光经过第一电极 18、疏水膜 36、绝缘膜 32 和第二电极 20 这四个部分而使得光学元件的透明度降低。相反，在此实施方式中，光在不经过第一电极 18、疏水膜 36、绝缘膜 32 和第二电极 20 这四个部分的情况下经过光学元件。因此，此光学元件有利于提高透明度。预计此实施方式的光学元件 10 的透射率相比具有基本结构的光学元件提高了 3％至 10％。

[0223] 在此实施方式中，已经对其中设置了第一电极开口 40、疏水膜开口 46、绝缘膜开口 44 和第二电极开口 42 这四个开口的结构进行了说明。可选地，在以下四种结构中，可以选择一种结构或者组合两种或更多种结构。但是，不包括 (3) 和 (4) 的组合。

[0224] (1) 设置第一电极开口 40。

[0225] (2) 设置疏水膜开口 46。

[0226] (3) 设置绝缘膜开口 44 和第二电极开口 42 两者。

[0227] (4) 设置第二电极开口 42。

[0228] 但是，如在此实施方式中，从提高光学元件 10 的透明度（透射率）的角度看，包括

第一电极开口 40、疏水膜开口 46、绝缘膜开口 44 和第二电极开口 42 这四个开口的结构是最有利的。

[0229] 在此实施方式中，已经对第二电极开口 42 的直径和绝缘膜开口 44 的直径与界面 48 的最大直径 DLmax 相等的情况进行了描述。但是，第二电极开口 42 和绝缘膜开口 44 被形成为具有能够使用第二电极 20 和绝缘膜 32 将电场施加到第一液体 14 的尺寸就足够了。因此，第二电极开口 42 的直径和绝缘膜开口 44 的直径可以小于最大直径 DLmax。但是，如在本实施方式中，当第二电极开口 42 的直径和绝缘膜开口 44 的直径与界面 48 的最大直径 DLmax 相等时，此结构更有利于确保光学元件 10 的透明度。

[0230] 此外，在此实施方式中，已经对疏水膜开口 46 的直径与界面 48 的最大直径 DLmax 相等的情况进行了描述。但是，疏水膜开口 46 被形成为具有使第一液体 14 接触疏水膜 36 的尺寸就足够了。因此，疏水膜开口 46 的直径可以小于最大直径 DLmax。但是，如在此实施方式中，当疏水膜开口 46 的直径与界面 48 的最大直径 DLmax 相等时，此结构更有利于确保光学元件 10 的透明度。

[0231] 此外，在此实施方式中，已经描述了设置疏水膜 36 的情况。可选地，可以省略疏水膜 36。但是，疏水膜 36 的形成有利于提高透镜的操作速度。

[0232] 第三实施方式

[0233] 接着，将描述第三实施方式。

[0234] 第三实施方式是第一实施方式的修改。第三实施方式的第二电极 20 的形状与第一实施方式的第二电极 20 的形状不同。

[0235] 图 10 是根据第三实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0236] 如图 10 所示，第二电极开口 42 包括以虚拟轴线 38 为中心的圆形部分 60，以及从以圆周方向上的间隔布置在圆形部分 60 的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分 62。

[0237] 每个突出部分 62 都具有在与突出部分 62 突出所沿的方向垂直的方向上的宽度，并被构造为使得该宽度随着突出部分 62 朝向径向上的外侧延伸而缩窄。

[0238] 即，第二电极 20 由在径向上延伸并以在容器 12 的厚度方向上延伸的单个虚拟轴线 38 为中心的多个电极部分 64 构成。

[0239] 在此实施方式中，第二电极 20 由具有相同形状和相同尺寸的四个电极部分 64 构成，并且布置在电极部分 64 的外侧的部分 6402 彼此连接。因此，由电压施加单元 22 将电压均匀地施加到整个第二电极 20，即，将相同的电压施加到各个电极部分 64。

[0240] 每个突出部分 62 都布置于在绕虚拟轴线 38 的周向上彼此相邻的电极部分 64 之间，并且每个突出部分 62 都构成其中不形成电极部分 64 的第一非电极部分 66。

[0241] 在此实施方式中，设置了具有相同形状和相同尺寸的四个第一非电极部分 66。

[0242] 各个电极部分 64 和各个第一非电极部分 66 都具有在虚拟轴线 38 的周向上的宽度。各个电极部分 64 被形成为使得电极部分 64 的宽度朝向以虚拟轴线 38 为中心的圆的径向上的外侧扩张。各个第一非电极部分 66 被形成为使得第一非电极部分 66 的宽度朝向径向上的外侧缩窄。

[0243] 此外，在以虚拟轴线 38 为中心的单个圆周上，各个电极部分 64 的宽度大于第一非电极部分 66 的宽度。

[0244] 在此实施方式中，各个电极部分 64 相对于用作中心的虚拟轴线 38 以扇形的形式向径向上的外侧延伸。各个第一非电极部分 66 以等腰三角形的形式延伸，使得第一非电极部分 66 的宽度朝向径向上的外侧缩窄。各个第一非电极部分 66 的末端位于以虚拟轴线 38 为中心的单个虚拟圆上。

[0245] 因此，在各个电极部分 64 的内周与第二非电极部分 68 的外周之间的边界处形成圆弧部分 70。

[0246] 接着，将再次参考图 4A、4B 和 4C 描述第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状的改变。

[0247] 首先，如图 4A 所示，将对当将电压 V1(>0) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时的情况进行描述。

[0248] 图 11 是图 4A 的俯视图。在图 11 中，单点划线表示第一端面壁 24 上的界面 48a，并且双点划线表示第二端面壁 26 上的界面 48b。

[0249] 图 12 是示出图 4A 中的第二液体 16 的形状的示意性立体图。

[0250] 如图 11 和 12 所示，在第一端面壁 24 上，界面 48a 具有以虚拟轴线 38 为中心的大体圆形形状。

[0251] 在第二端面壁 26 上，界面 48b 由四个弧形部分 48b1 和四个突出部分 48b2 构成。弧形部分 48b1 在布置于第二非电极部分 68 的径向上的外侧的、以虚拟轴线 38 为中心的圆周上延伸。各个突出部分 48b2 连接相邻的弧形部分 48b1，并从由弧形部分 48b1 形成的圆周向径向上的外侧突出。

[0252] 接着，如图 4B 所示，将对当将电压 V2(>V1) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时的情况进行描述。

[0253] 图 13 是示出图 4B 中的第二液体 16 的形状的示意性立体图。

[0254] 如图 13 所示，由第一液体 14 推压第二液体 16。结果第一端面壁 24 上的界面 48a 的直径增大，并且第二端面壁 26 上的界面 48b 收缩到第一非电极部分 66 和第二非电极部分 68 的轮廓附近的位置。

[0255] 接着，如图 4C 所示，将对当将电压 V3(>V2) 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时的情况进行描述。

[0256] 图 14 是图 4C 的俯视图。

[0257] 如图 14 所示，由第一液体 14 进一步推压第二液体 16。结果，第一端面壁 24 上的界面 48a 的直径增大到最大直径，并且第二端面壁 26 上的界面 48b 收缩到与第一非电极部分 66 和第二非电极部分 68 的轮廓相对应的位置。

[0258] 在此情况下，在第二端面壁 26 上，第二液体 16 延伸在第一非电极部分 66 和第二非电极部分 68 的整个区域上。

[0259] 因此，第二液体 16 构成的四个臂从第二液体 16 的位于第二非电极部分 68 上的一部分的外周沿着各个第一非电极部分 66 向第二非电极部分 68 的径向上的外侧突出。因此，通过被四个臂部拖拉，改变了第二液体 16 的中心部分（位于第二电极开口 42 上的那部分）的外周界的形状。

[0260] 结果，在第一端面壁 24 上的界面 48a 的形状变为大体矩形，在该大体矩形中，四个角部位于第一非电极部分 66 上。

[0261] 如上所述，通过施加到第一液体 14 的电压来改变第一液体 14 的接触角（浸润性）。结果，第一液体 14 移动而推压第二液体 16。因此，在第二端面壁 26 上，界面 48 仅在被施加了电压的电极部分 64 上移动，而不在未被施加电压的第一非电极部分 66 或第二非电极部分 68 上移动。

[0262] 即，在第二端面壁 26 上，第二液体 16 定常地布置在第一非电极部分 66 和第二非电极部分 68 上。此外，随着第一液体 14 朝向第二非电极部分 68 的径向上的外侧移动，第二液体 16 移动以从第一非电极部分 66 和第二非电极部分 68 延伸到电极部分 64。

[0263] 如上所述，通过在 V1 至 V3 的范围内提高或降低在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加的电压，改变界面 48 的形状，并且孔径从 D1 至 D3 改变。在此情况下，无论在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加的电压如何改变，如图 4A 至 4C 所示的光透射路径 52（孔 52A）的中心定常地对应于虚拟轴线 38。即使光透射路径 52 的中心从虚拟轴线 38 偏移并发生偏心，光透射路径 52 的中心的位置也会自动地复原以与虚拟轴线 38 相对应。现在将详细解释此现象。

[0264] 图 15 是图示其中光透射路径 52 的中心对应于虚拟轴线 38 的状态的视图。图 16 是图示其中光透射路径 52 的中心从虚拟轴线 38 偏离并成为偏心的状态的视图。图 17 是图 16 的立体图。

[0265] 在图 15、16 和 17 中，出于解释的方便，将与虚拟轴线 38 垂直的绝缘膜 32 上与虚拟轴线 38 垂直并且彼此垂直的两根坐标轴划分的四个象限分别定义为第一象限 A、第二象限 B、第三象限 C 和第四象限 D。

[0266] 电极部分 64 布置在第一象限 A、第二象限 B、第三象限 C 和第四象限 D 上。

[0267] 如图 15 所示，在光透射路径 52（见图 4A 至 4C）中未发生偏心的状态下，第一液体 14 的位于电极部分 64 上的面积彼此相等，并且第二液体 16 的位于电极部分 64 上的面积彼此相等。即，在各电极部分 64 上第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48b1 的长度彼此相等。

[0268] 相反，如图 16 和 17 所示，例如，当第二液体 16 向第二象限 B 的方向移动并在光透射路径 52 中发生偏心时，位于第二象限 B 的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度与位于第四象限 D 的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度不相等。

[0269] 更具体而言，位于第二象限 B 的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度长于位于第四象限 D 的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度。

[0270] 此现象的原因如下。各个电极部分 64 和各个第一非电极部分 66 都具有在虚拟轴线 38 的周向上的长度。各个电极部分 64 被形成为使得其宽度朝向以虚拟轴线 38 为中心的圆的径向上的外侧扩张。各个第一非电极部分 66 被形成为使得其宽度朝向该圆的径向上的外侧缩窄。

[0271] 因此，当施加到各个电极部分 64 的电压均一时（当电极电势均一时），第一液体 14 推压第二液体 16 所用的每单位长度的力在各个象限是均一的。但是，因为位于第二象限 B 中的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度较长，所以用于推压第二液体 16 的力与界面 48b1 的长度成比例地增大。结果，在第二象限 B 中用于推压第二液体 16 的力比第四象限 D 中的该力更强地作用。

[0272] 因此，因为位于第二象限 B 的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度长于位于第四象

限 D 的电极部分 64 上的界面 48b1 的长度，所以位于第二象限 B 上的第一液体 14 推压第二液体 16 所用的力变得大于位于第四象限的第一液体 14 推压第二液体 16 所用的力。

[0273] 结果，第二液体 16 被推回到由第一液体 14 推压第二液体 16 所用的力得到平衡的位置。即，如图 15 所示，第二液体 16 被推回到使第二象限 B 中界面 48b1 的长度等于第四象限 D 中界面 48b1 的长度的位置。结果，第二液体 16 的中心的位置对应于虚拟轴线 38。第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状在此位置处稳定，并因此防止光透射路径 52 的偏心。

[0274] 如图 13 所示，由第二液体 16 构成的四个臂从第二液体 16 的位于第二非电极部分 68 上的一部分的外周沿着各个第一非电极部分 66 朝向第二非电极部分 68 的径向上的外侧突出。换言之，聚集在第一非电极部分 66 上的第二液体 16 形成四个臂。

[0275] 因此，第二液体 16 的中心部分（位于第二电极开口 42 上的部分）的外周处于被四个臂部拖拉的状态。由此，第二液体 16 的中心部分被定常地施力以对应于虚拟轴线 38。

[0276] 因此，如图 17 所示，当第二液体 16 朝向第二象限 B 的方向移动并且第二液体 16 的中心部分与虚拟轴线 38 偏心时，由四个臂部产生并作用于第二液体 16 的中心部分的力之间的平衡被破坏，并且由四个臂部产生的力沿着使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38 的方向作用。

[0277] 通过此操作，第二液体 16 更可靠地复原到使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38 的位置。第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状在此位置处更加稳定，并因此能够更有效地防止光透射路径 52 的偏心。

[0278] 可以例如如下形容四个臂部的用于控制第二液体 16 的中心部分的上述操作。

[0279] 具体而言，当鼓膜以张力固定在鼓的鼓桶上时，使鼓膜的中心对应于鼓桶的中心轴线。

[0280] 在此情况下，将鼓膜的位于鼓桶的中心轴线的周向上的若干个点临时地固定，并将鼓膜的这若干个点朝向鼓桶的外侧一点点地拖拉。由此，可以容易地使鼓膜的中心对应于鼓桶的中心轴线。

[0281] 类似地，朝向径向上的外侧的力借助于四个臂部作用于第二液体 16，因此可以容易地使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38。

[0282] 此外，当在第二液体 16 聚集在各个第一非电极部分 66 上的状态下提高或降低在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加的电压时，第二液体 16 沿着四个臂部移动。因此，此结构有利于使第二液体 16 均匀并平滑地在以虚拟轴线 38 为中心的圆的周向上移动。

[0283] 如上所述，根据第三实施方式，除了与第一实施方式相同的优点之外，还可以获得以下优点。

[0284] 光学元件 10 的各个电极部分 64 和各个第一非电极部分 66 具有在虚拟轴线 38 的周向上的宽度。各个电极部分 64 被形成为使得电极部分 64 的宽度朝向以虚拟轴线 38 为中心的圆的径向上的外侧扩张。各个第一非电极部分 66 被形成为使得第一非电极部分 66 的宽度朝向径向上的外侧缩窄。因此，虽然将相同电压施加到各个电极部分 64，但是第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状在使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38 的位置处稳定。因此，防止光透射路径 52（孔 52A）的偏心。

[0285] 因此，此结构有利于减小由于光学元件 10 的光透射路径 52 的偏心导致的光差或

由于周边光量的不均匀导致的阴影 (shading) 所引起的光学属性的劣化。

[0286] 第四实施方式

[0287] 第四实施方式与第三实施方式的不同之处在于第二电极 20 包括三个电极部分 64 并且第一非电极部分 66 的数量是三个。

[0288] 具体而言，如图 18 所示，第二电极 20 由具有相同形状和相同尺寸的三个电极部分 64 构成，并且布置在电极部分 64 的外侧的部分 6402 彼此连接。

[0289] 其中未形成电极部分 64 的第一非电极部分 66（突出部分 62）设置于在虚拟轴线 38 的周向上相邻的电极部分 64 之间。

[0290] 在此实施方式中，设置具有相同形状和相同尺寸的三个第一非电极部分 66。

[0291] 除了第二电极 20 包括三个电极部分 64 且第一非电极部分 66 的数量是三个之外，第四实施方式的结构与第三实施方式相同。

[0292] 具有以上结构的第四实施方式也可以获得与第三实施方式相同的优点。

[0293] 第五实施方式

[0294] 接着，将描述第五实施方式。

[0295] 图 19 是根据第五实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0296] 第五实施方式与第三实施方式的不同之处在于第二电极 20 包括六个电极部分 64 并且第一非电极部分 66（突出部分 62）的数量是六个。

[0297] 具体而言，如图 19 所示，第二电极 20 由具有相同形状和相同尺寸的六个电极部分 64 构成，并且布置在电极部分 64 的外侧的部分 6402 彼此连接。

[0298] 其中未形成电极部分 64 的第一非电极部分 66（突出部分 62）设置于在虚拟轴线 38 的周向上相邻的电极部分 64 之间。

[0299] 在此实施方式中，设置具有相同形状和相同尺寸的六个第一非电极部分 66。

[0300] 除了第二电极 20 包括六个电极部分 64 且第一非电极部分 66 的数量是六个之外，第五实施方式的结构与第三实施方式相同。

[0301] 具有以上结构的第五实施方式也可以获得与第三实施方式相同的优点。

[0302] 在第五实施方式中，电极部分 64 的数量和第一非电极部分 66（突出部分 62）的数量大于第三实施方式。因此，在以虚拟轴线 38 为中心的圆的周向上施加到第一液体 14 的电场力的不均匀程度可以得到进一步降低。因此，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 也在周向上变得均匀。因此，此结构有利于使光学元件 10 的光透射路径 52（孔 52A）的形状更接近于圆。

[0303] 第六实施方式

[0304] 接着，将描述第六实施方式。

[0305] 图 20 是根据第六实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0306] 第六实施方式与第三实施方式的不同之处在于第二电极 20 包括八个电极部分 64 并且第一非电极部分 66（突出部分 62）的数量是八个。

[0307] 具体而言，如图 20 所示，第二电极 20 由具有相同形状和相同尺寸的八个电极部分 64 构成，并且布置在电极部分 64 的外侧的部分 6402 彼此连接。

[0308] 其中未形成电极部分 64 的第一非电极部分 66（突出部分 62）设置于在虚拟轴线 38 的周向上相邻的电极部分 64 之间。

[0309] 在此实施方式中，设置具有相同形状和相同尺寸的八个第一非电极部分 66。

[0310] 除了第二电极 20 包括八个电极部分 64 且第一非电极部分 66 的数量是八个之外，第六实施方式的结构与第三实施方式相同。

[0311] 具有以上结构的第六实施方式也可以获得与第三实施方式相同的优点。

[0312] 在第六实施方式中，电极部分 64 的数量和第一非电极部分 66（突出部分 62）的数量大于第三实施方式。因此，在以虚拟轴线 38 为中心的圆的周向上施加到第一液体 14 的电场力的不均匀程度可以得到进一步降低。因此，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 也在周向上变得均匀。因此，此结构有利于使光学元件 10 的光透射路径 52（孔 52A）的形状更接近于圆。

[0313] 第七实施方式

[0314] 接着，将描述第七实施方式。

[0315] 图 21 是根据第七实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0316] 在第七实施方式中，构成第二电极 20 的各个电极部分 64 的形状以及各个第一非电极部分 66（突出部分 62）的形状与第五实施方式不同。

[0317] 具体而言，如图 19 所示，第五实施方式中的各个第一非电极部分 66（突出部分 62）的形状是大体等腰三角形，而第七实施方式中的该形状是大体等边三角形。

[0318] 根据各个第一非电极部分 66 的形状，位于相邻的第一非电极部分 66（突出部分 62）之间的各个电极部分 64 的形状（即，形成各个电极部分 64 的扇形形状）也与第五实施方式不同。

[0319] 除了构成第二电极 20 的各个电极部分 64 的形状以及各个第一非电极部分 66（突出部分 62）的形状之外，第七实施方式的结构与第五实施方式相同。

[0320] 具有以上结构的第七实施方式也可以获得与第五实施方式相同的优点。

[0321] 第八实施方式

[0322] 接着，将描述第八实施方式。

[0323] 图 22 是根据第八实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0324] 在第八实施方式中，各个第一非电极部分 66（突出部分 62）的末端部（位于以虚拟轴线 38 为中心的圆的周向上的外侧处的端部）与第五实施方式不同。

[0325] 具体而言，如图 22 所示，各个电极部分 64 的末端部具有布置在以虚拟轴线 38 为中心的单个圆的圆周上的弧形。

[0326] 除了各个电极部分 64 的末端部的形状之外，第八实施方式的结构与第五实施方式相同。

[0327] 具有以上结构的第八实施方式也可以获得与第五实施方式相同的优点。

[0328] 第九实施方式

[0329] 接着，将描述第九实施方式。

[0330] 图 23 是根据第九实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0331] 第九实施方式与第三实施方式的不同之处在于，第一非电极部分 66（突出部分 62）被设置为与第二非电极部分 68 的外周相接。

[0332] 更具体而言，在第九实施方式中，在各个电极部分 64 的内周与第二非电极部分 68 的外周之间不设置圆弧部分 70（见图 10），并且第一非电极部分 66（突出部分 62）被设置为

与第二非电极部分 68 的外周相接。因此，电极部分 64 的内部被配置为具有朝向虚拟轴线 38 突出的角部。

[0333] 此外，第九实施方式与第三实施方式的不同之处在于，第二电极 20 包括五个电极部分 64，并且第一非电极部分 66（突出部分 62）的数量是五个。

[0334] 第九实施方式的其他结构与第三实施方式相同。

[0335] 具有以上结构的第九实施方式也可以获得与第三实施方式相同的优点。

[0336] 第十实施方式

[0337] 接着，将描述第十实施方式。

[0338] 图 24 是根据第十实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0339] 如图 24 所示，第二电极开口 42 包括以虚拟轴线 38 为中心的圆形部分 60，以及从以圆周方向上的间隔布置在圆形部分 60 的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分 62。

[0340] 每个突出部分 62 都具有在与突出部分 62 突出所沿的方向垂直的方向上的均一宽度。

[0341] 即，第二电极 20 由在径向上延伸并以在容器 12 的厚度方向上延伸的单个虚拟轴线 38 为中心的多个电极部分 64 构成。

[0342] 在此实施方式中，第二电极 20 由具有相同形状和相同尺寸的六个电极部分 64 构成，并且布置在电极部分 64 的外侧的部分 6402 彼此连接。因此，由电压施加单元 22 将电压均匀地施加到整个第二电极 20，即，将相同的电压施加到各个电极部分 64。

[0343] 其中未形成电极部分 64 的第一非电极部分 66（突出部分 62）设置于在虚拟轴线 38 的周向上相邻的电极部分 64 之间。

[0344] 在此实施方式中，设置了具有相同形状和相同尺寸的六个第一非电极部分 66（突出部分 62）。

[0345] 各个电极部分 64 和各个第一非电极部分 66（突出部分 62）都具有在虚拟轴线 38 的周向上的宽度。各个电极部分 64 被形成为使得电极部分 64 的宽度朝向以虚拟轴线 38 为中心的圆的径向上的外侧扩张。各个第一非电极部分 66（突出部分 62）被形成为具有在径向上均匀的宽度。

[0346] 此外，在以虚拟轴线 38 为中心的单个圆周上，各个电极部分 64 的宽度大于第一非电极部分 66（突出部分 62）的宽度。

[0347] 在此实施方式中，各个电极部分 64 相对于用作中心的虚拟轴线 38 以扇形的形式向径向上的外侧延伸。各个第一非电极部分 66（突出部分 62）的末端位于以虚拟轴线 38 为中心的单个虚拟圆上。

[0348] 此外，在此实施方式中，其中未形成电极部分 64 的第二非电极部分 68 设置在以虚拟轴线 38 为中心的大体圆形区域中。

[0349] 各个电极部分 64 设置在第二非电极部分 68 的径向上的外侧。各个电极部分 64 的径向上的内周界部分在以虚拟轴线 38 为中心的单个虚拟圆上延伸。

[0350] 各个第一非电极部分 66（突出部分 62）被设置为从以圆周方向上的间隔布置在第二非电极部分 68 的外周上的部分朝向径向上的外侧突出。各个第一非电极部分 66（突出部分 62）连接到第二非电极部分 68 的外周。

[0351] 因此，在各个电极部分 64 的内周与第二非电极部分 68 的外周之间的边界处形成圆弧部分 70。

[0352] 具有以上结构的第十实施方式也可以获得与第三实施方式相同的优点。

[0353] 第十一实施方式

[0354] 接着，将描述第十一实施方式。

[0355] 图 25 是根据第十一实施方式的光学元件 10 的第二电极 20 的俯视图。

[0356] 第十一实施方式是第二实施方式的修改。在此实施方式中，光学元件 10 构成透镜。

[0357] 除了第十一实施方式的第一液体 14 和第二液体 16 的组成与第三实施方式的第一液体 14 和第二液体 16 不同之外，第十一实施方式的光学元件 10 的结构与第三实施方式大体相同。因此，以下将描述与第三实施方式不同的结构。

[0358] 在光学元件 10 中，通过用电压施加单元 22 施加电压来将第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状改变为曲表面。由此，对在容器 12 的宽度方向（其是第一端面壁 24 和第二端面壁 26 彼此面对所沿的方向）传播并经过界面 48 的光进行折射。

[0359] 如同在第三实施方式中，光学元件 10 包括容器 12、第一液体 14、第二液体 16、第一电极 18、第二电极 20 和电压施加单元 22。

[0360] 第一液体 14 具有极性或导电性，并被封入容纳室 30。

[0361] 第二液体 16 与第一液体 14 不相溶，并被封入容纳室 30。

[0362] 第一液体 14 和第二液体 16 是透明的，并具有彼此大体相同的比重。

[0363] 第二液体 16 的折射率与第一液体 14 的折射率不同，在此实施方式中，光学元件 10 被构造为使得第二液体 16 的折射率大于第一液体 14 的折射率。

[0364] 可选地，此实施方式的光学元件 10 被构造为使得第二液体 16 的阿贝数与第一液体 14 的阿贝数不同。

[0365] 可选地，此实施方式的光学元件 10 被构造为使得第二液体 16 的折射率与第一液体 14 的折射率不同，且第二液体 16 的阿贝数与第一液体 14 的阿贝数不同。

[0366] 第一电极 18 和第二电极 20 的形状和布置与第三实施方式相同。

[0367] 如图 25 所示，第二电极开口 42 包括以虚拟轴线 38 为中心的圆形部分 60，以及从以圆周方向上的间隔布置在圆形部分 60 的外周上的部分朝向径向上的外侧突出的多个突出部分 62。

[0368] 每个突出部分 62 都具有在与突出部分 62 突出所沿的方向垂直的方向上的宽度，并被构造为使得该宽度随着突出部分 62 朝向径向上的外侧延伸而缩窄。

[0369] 即，第二电极 20 由在径向上延伸并以在容器 12 的厚度方向上延伸的单个虚拟轴线 38 为中心的多个电极部分 64 构成。

[0370] 其中未形成电极部分 64 的第一非电极部分 66（突出部分 62）设置于在虚拟轴线 38 的周向上相邻的电极部分 64 之间。

[0371] 在此实施方式中，设置了具有相同形状和相同尺寸的四个第一非电极部分 66（突出部分 62）。

[0372] 各个电极部分 64 和各个第一非电极部分 66（突出部分 62）都具有在虚拟轴线 38 的周向上的宽度。各个电极部分 64 被形成为使得电极部分 64 的宽度朝向以虚拟轴线 38

为中心的圆的径向上的外侧扩张。各个第一非电极部分 66（突出部分 62）被形成为使得第一非电极部分 66 的宽度朝向径向上的外侧缩窄。

[0373] 此外，在以虚拟轴线 38 为中心的单个圆周上，各个电极部分 64 的宽度大于第一非电极部分 66（突出部分 62）的宽度。

[0374] 在此实施方式中，各个电极部分 64 相对于用作中心的虚拟轴线 38 以扇形的形式向径向上的外侧延伸。各个第一非电极部分 66（突出部分 62）以等腰三角形的形式延伸，使得第一非电极部分 66（突出部分 62）的宽度朝向径向上的外侧缩窄。各个第一非电极部分 66 的末端位于以虚拟轴线 38 为中心的单个虚拟圆上。

[0375] 在此实施方式中，其中未形成电极部分 64 的第一非电极部分 66（突出部分 62）位于以虚拟轴线 38 为中心的大体圆形区域中。

[0376] 各个电极部分 64 设置在第二非电极部分 68 的径向上的外侧。各个电极部分 64 的径向上的内周界部分在以虚拟轴线 38 为中心的单个虚拟圆上延伸。

[0377] 第一非电极部分 66（突出部分 62）被设置为从以圆周方向上的间隔布置在第二非电极部分 68 的外周上的部分朝向径向上的外侧突出。各个第一非电极部分 66（突出部分 62）连接到第二非电极部分 68 的外周。

[0378] 因此，在各个电极部分 64 的内周与第二非电极部分 68 的外周之间的边界处形成圆弧部分 70。

[0379] 如示出第三实施方式的图 11 所示，图 25 中的双点划线表示第二端面壁 26 上的界面 48（48b、48b1、和 48b2）。

[0380] 接着，将再次参考图 7 和图 8A、8B 和 8C 描述光学元件 10 的操作。

[0381] 如图 7 所示，在没有将电压 V 从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状由第一液体 14 和第二液体 16 的表面张力与疏水膜 36 上的界面张力之间的平衡来确定。在此状态下，界面 48 形成从第二液体 16 朝向第一液体 14 突起的平缓凸表面。

[0382] 这里，因为第二液体 16 的折射率大于第一液体 14 的折射率，所以经过第一端面壁 24 和第二端面壁 26 在容器 12 的厚度方向上传播并经过界面 48 的光在界面 48 处折射。因此，光学元件 10 构成具有用于会聚光的能力的透镜。

[0383] 接着，如图 8A 所示，当将电压 V1（>0）从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率通过电毛细管作用而增大。

[0384] 接着，如图 8B 所示，当将电压 V2（>V1）从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率进一步增大。

[0385] 接着，如图 8C 所示，当将电压 V3（>V2）从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 时，界面 48 的凸表面（球形表面）的弯曲斜率进一步增大并变为最大斜率。

[0386] 因此，通过调节从电压施加单元 22 施加到第一电极 18 和第二电极 20 的电压，改变界面 48 的弯曲，并由此可以改变透镜的焦距（可以改变透镜的能力）。

[0387] 如上所述，如同在第二实施方式中，构成透镜的光学元件 10 用于诸如数字静态相机、视频相机等的图像拍摄设备的成像光学系统中。

[0388] 如上所述，根据第十一实施方式，除了与第二实施方式相同的优点之外，还可以获得以下优点。

[0389] 在光学元件 10 中，通过在 V1 至 V3 的范围内提高或降低在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加的电压，改变界面 48 的形状，并改变透镜的焦距。在此情况下，无论在第一电极 18 与第二电极 20 之间施加的电压如何改变，透镜的中心定常地对应于虚拟轴线 38。即使透镜的中心从虚拟轴线 38 偏移并发生偏心，透镜的中心的位置也会自动地复原以与虚拟轴线 38 相对应。

[0390] 具体而言，如同在第三实施方式中，各个电极部分 64 和各个第一非电极部分 66（突出部分 62）都具有在虚拟轴线 38 的周向上的长度。各个电极部分 64 被形成为使得电极部分 64 的宽度朝向以虚拟轴线 38 为中心的圆的径向上的外侧扩张。各个第一非电极部分 66 被形成为使得第一非电极部分 66（突出部分 62）的宽度朝向该圆的径向上的外侧缩窄。因此，虽然将相同的电压施加到各个电极部分 64，第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状在使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38 的位置处稳定。因此，防止了透镜的偏心。

[0391] 此外，如同在第三实施方式中，由第二液体 16 构成的四个臂从第二液体 16 的位于第二非电极部分 68 上的一部分的外周沿着各个第一非电极部分 66（突出部分 62）朝向第二非电极部分 68 的径向上的外侧突出。因此，第二液体 16 的中心部分（位于第二电极开口 42 上的部分）的外周处于被四个臂部拖拉的状态。由此，第二液体 16 的中心部分被定常地施力以对应于虚拟轴线 38。因此由四个臂部产生并作用于第二液体 16 的中心部分的力沿着使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38 的方向作用。

[0392] 通过此操作，第二液体 16 更可靠地复原到使第二液体 16 的中心对应于虚拟轴线 38 的位置。第一液体 14 与第二液体 16 之间的界面 48 的形状在此位置处更加稳定，并因此能够更有效地防止透镜的偏心。

[0393] 在第十一实施方式中，已经对光学元件 10 的第二电极 20 具有与第三实施方式相同的结构的情况进行了描述。可选地，第二电极 20 可以具有与第四实施方式至第十实施方式相同的结构。

[0394] 本领域的技术人员应该理解，根据设计要求和其他因素可以进行各种修改、组合、子组合和替换，而它们仍落在所附权利要求及其等同方案的范围内。

[0395] 本申请包含与 2007 年 11 月 27 日递交的日本专利申请 JP 2007-306079 相关的主题，其整个内容通过引用而被包含于此。

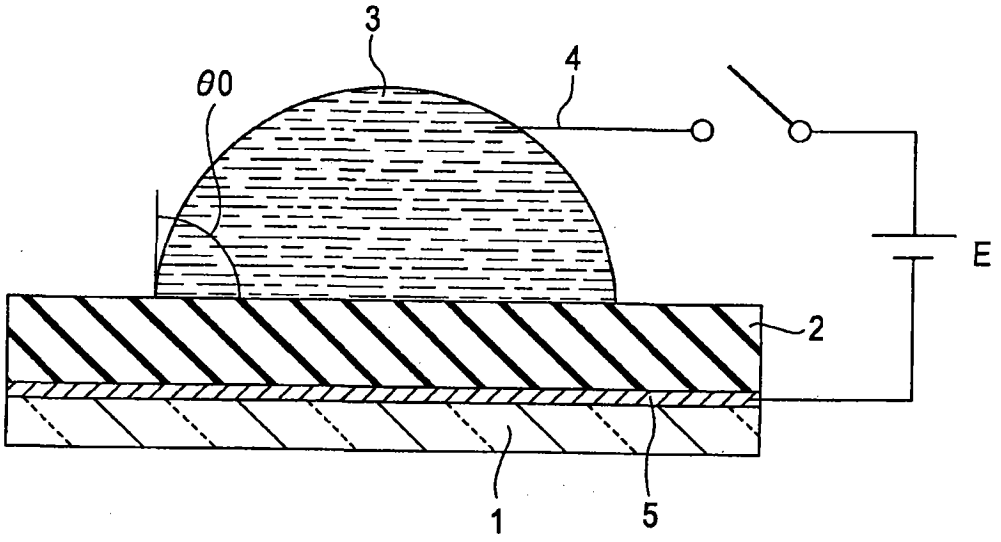


图 1A

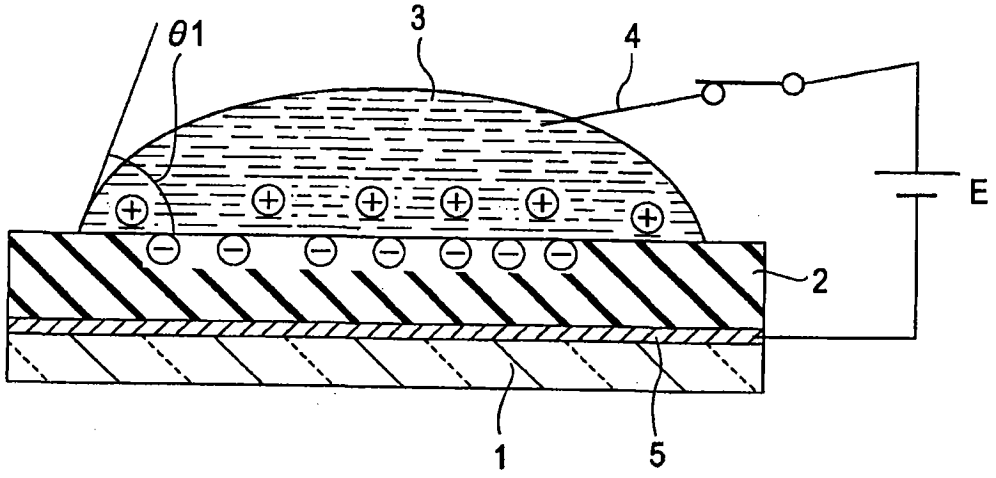


图 1B

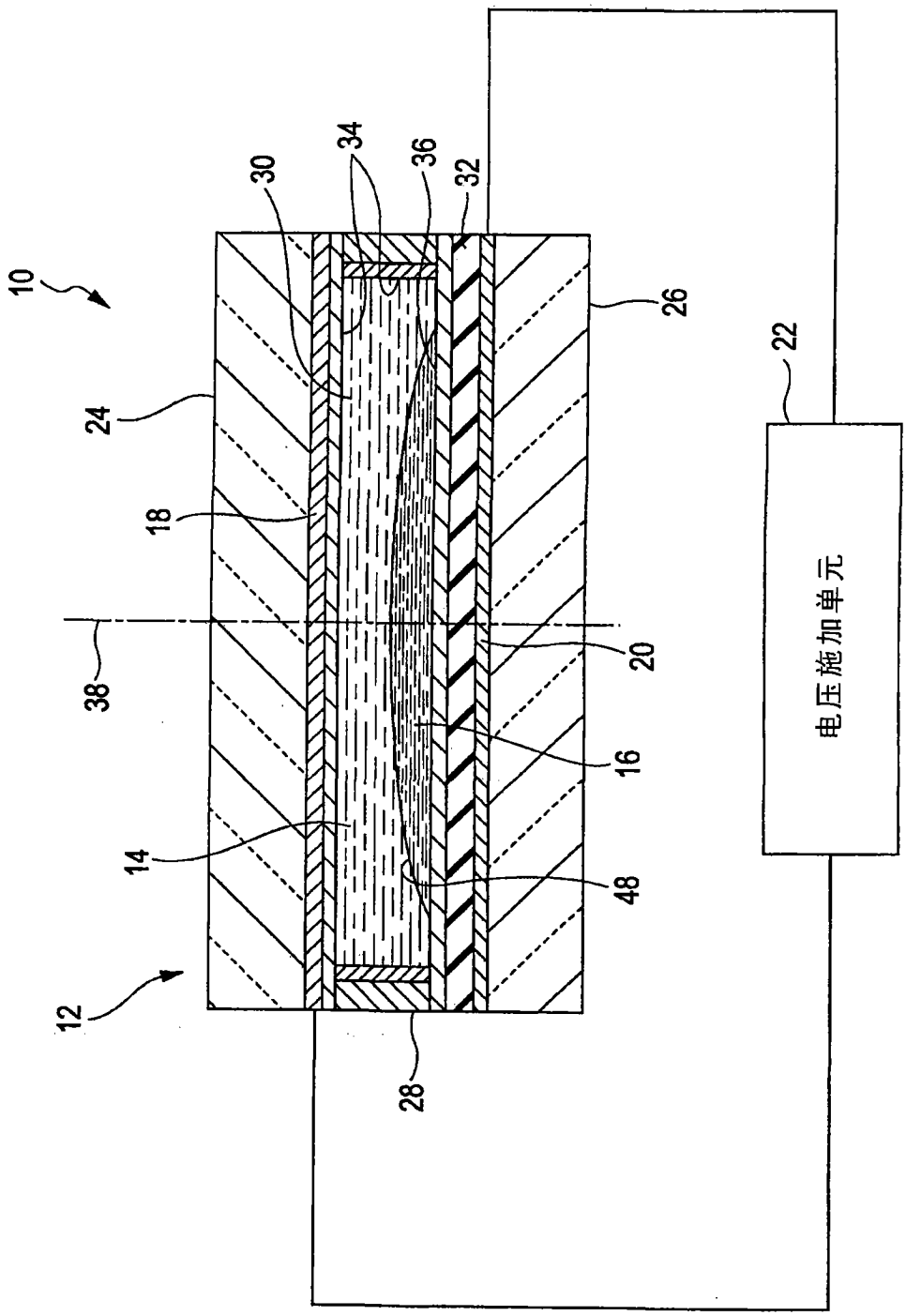


图2

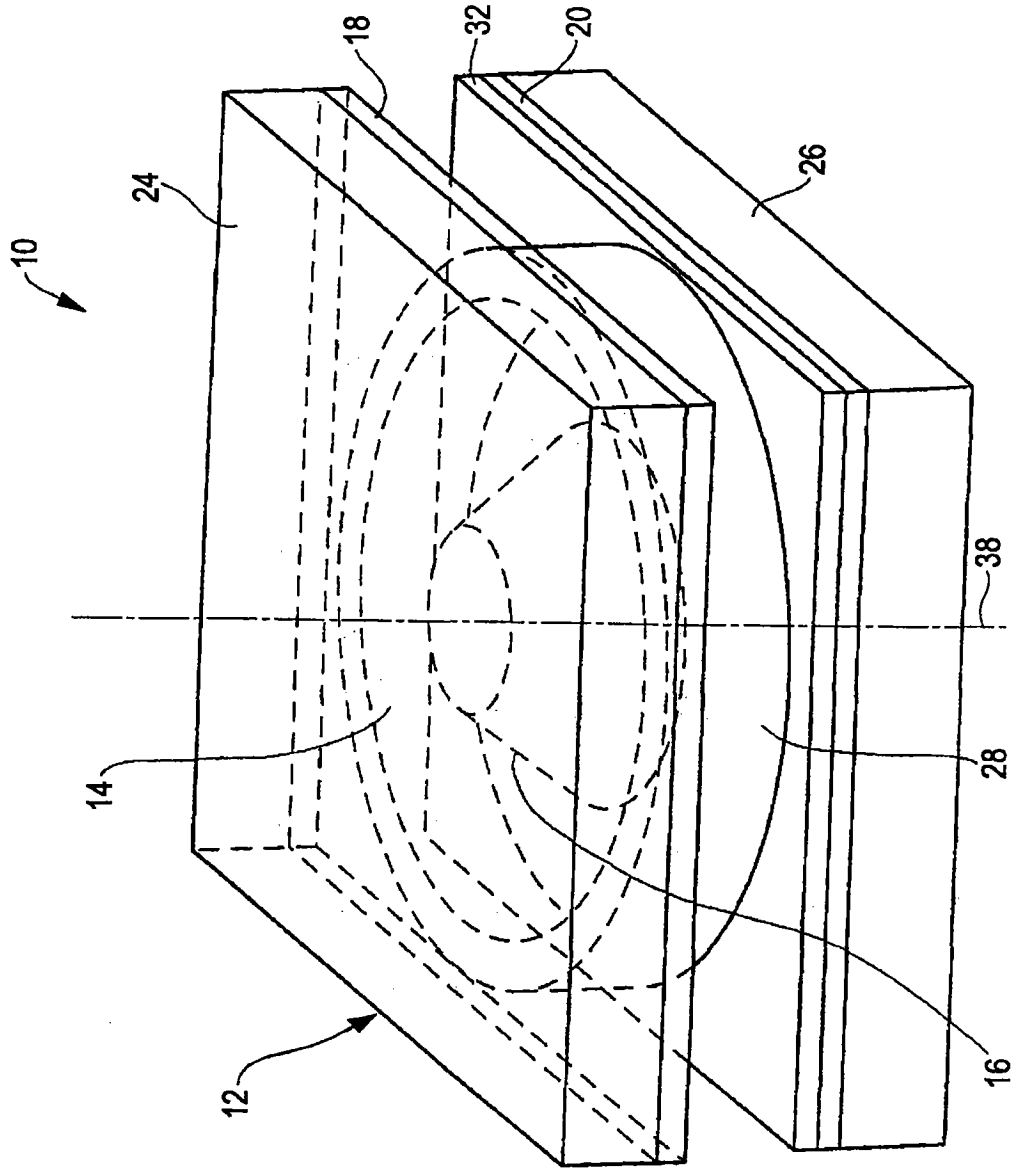


图3

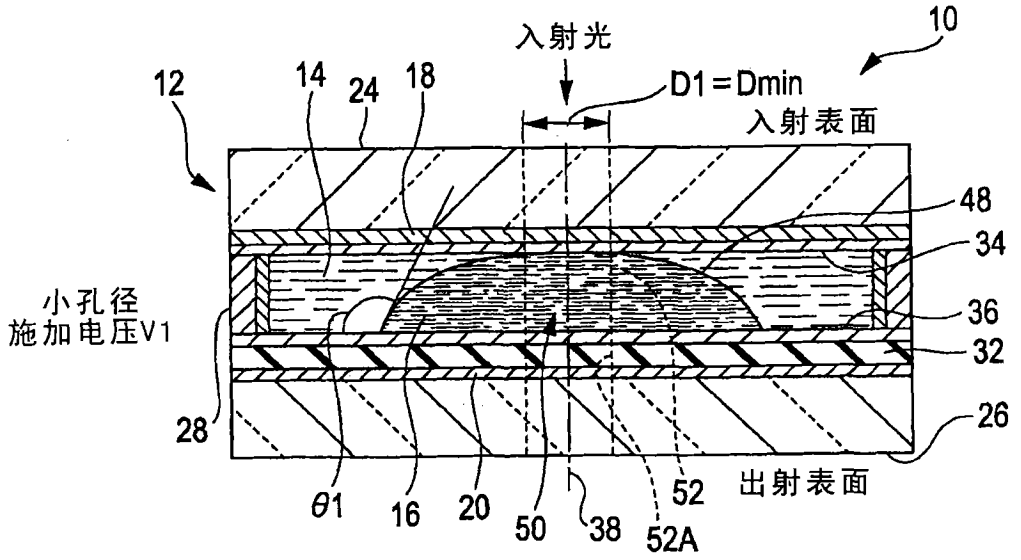

入射光
10
12
14
24
18
D1=Dmin
入射表面
48
34
小孔径
施加电压V1
36
32
28
26
θ1
16
20
50
38
52
52A
出射表面

图 4A

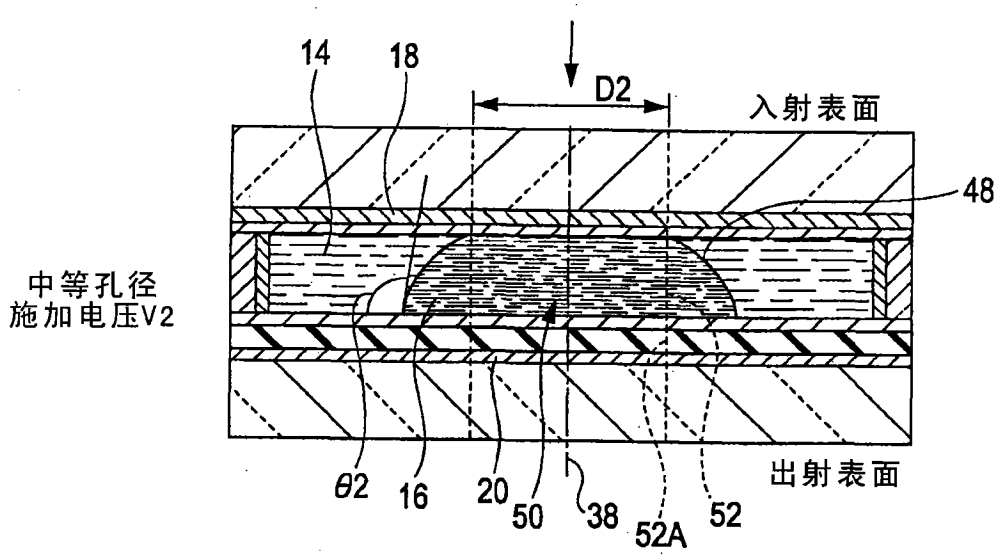

14
18
D2
入射表面
48
中等孔径
施加电压V2
θ2
16
20
50
38
52A
52
出射表面

图 4B

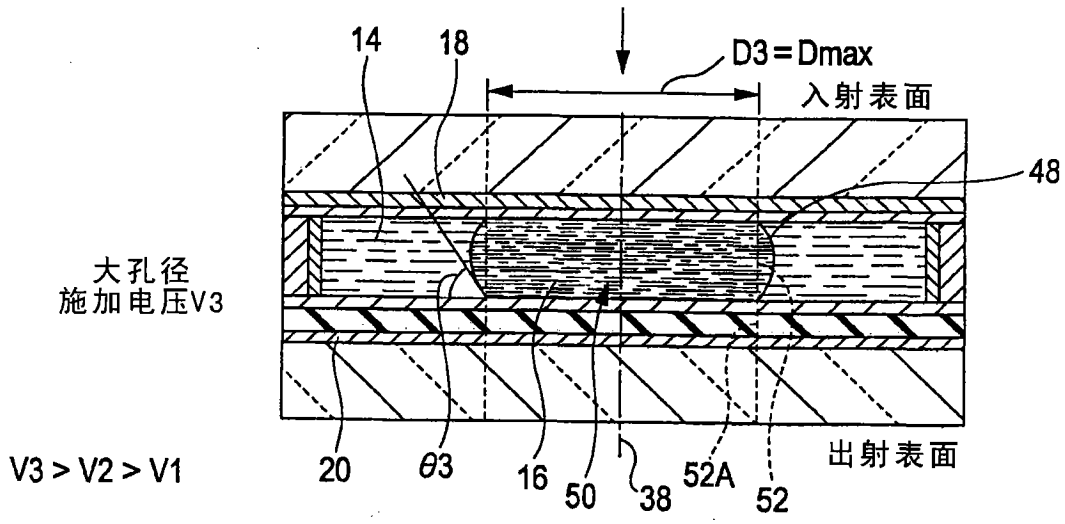

14
18
D3 = Dmax
入射表面
48
大孔径
施加电压V3
V3 > V2 > V1
20
θ3
16
50
38
52A
52
出射表面

图 4C

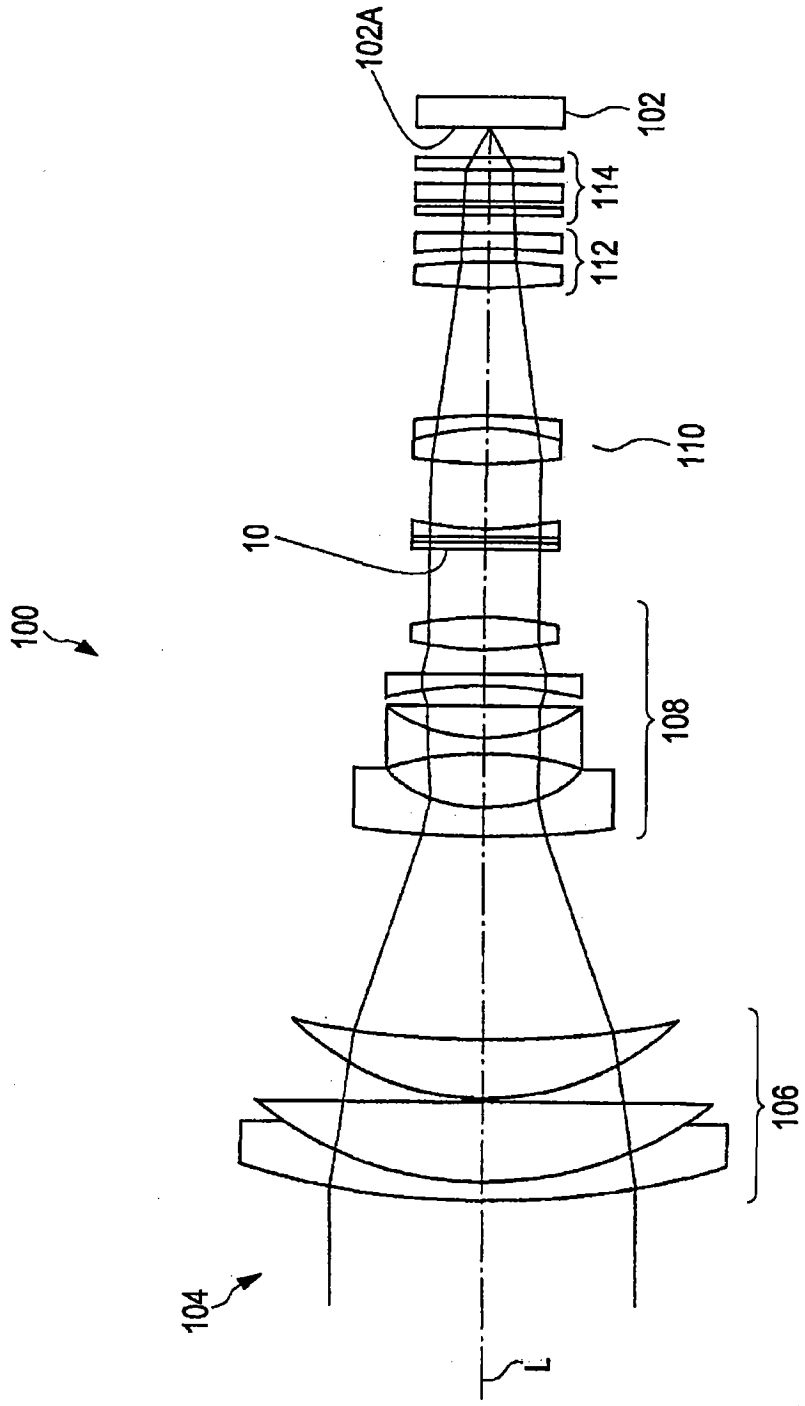


图5

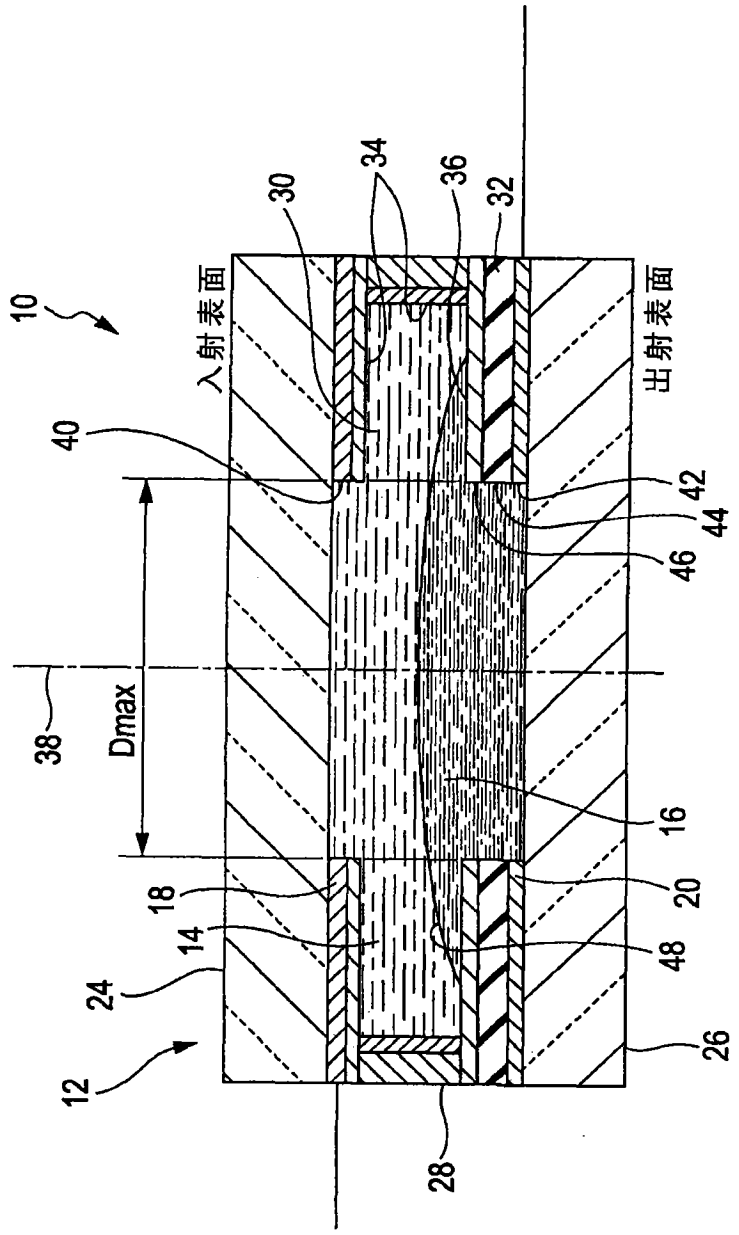

10
入射表面
出射表面
30
34
36
32
40
42
44
46
38
Dmax
16
18
20
14
48
24
12
26
28

图6

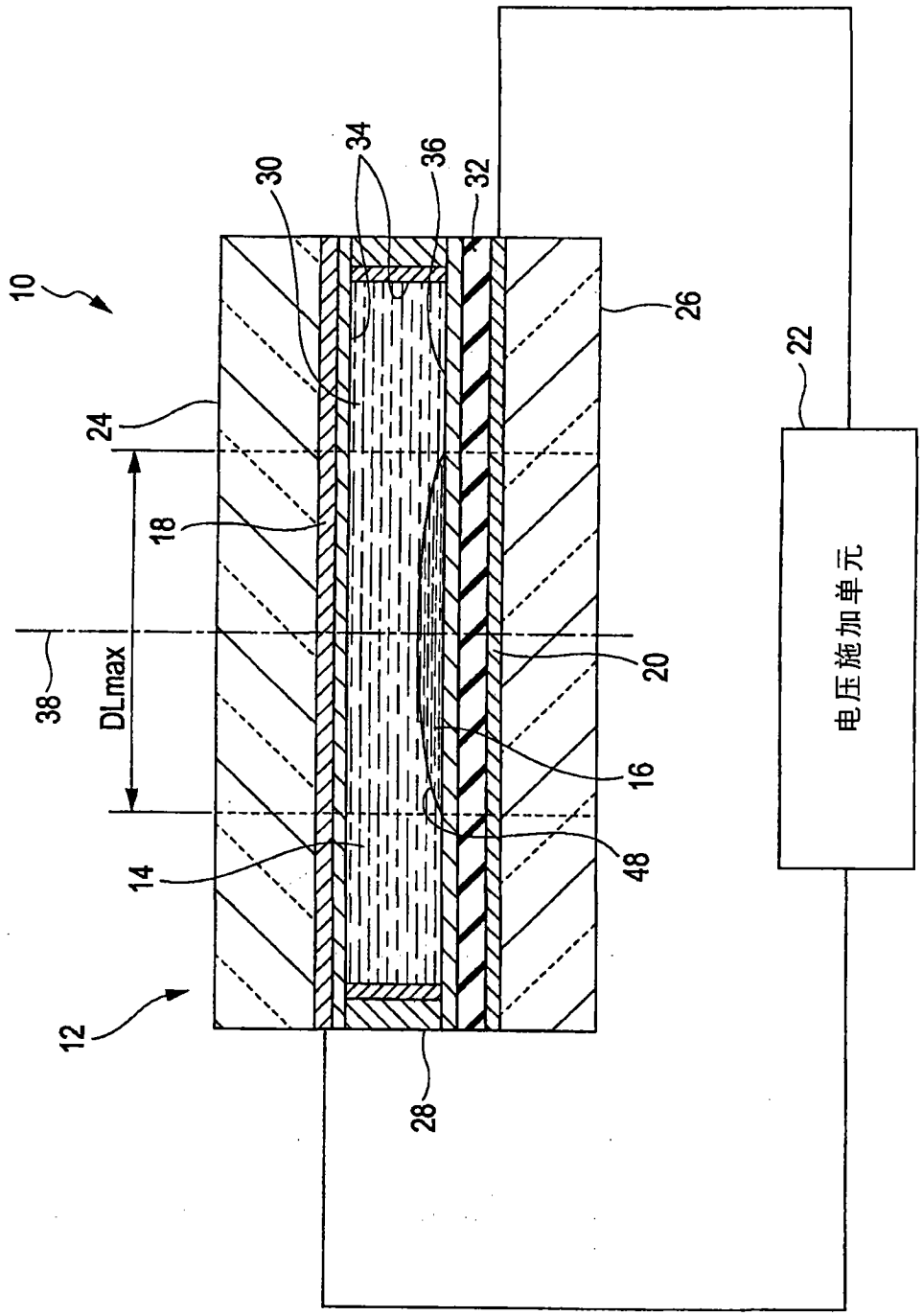


图7

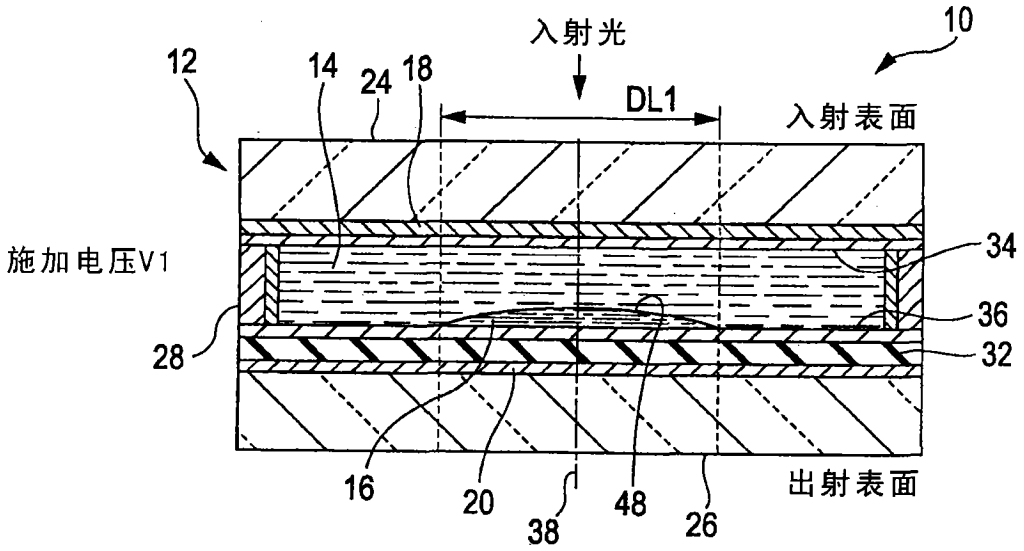

入射光
10
12
14
24
18
DL1
入射表面
施加电压V1
34
36
28
32
16
20
38
48
26
出射表面

图 8A

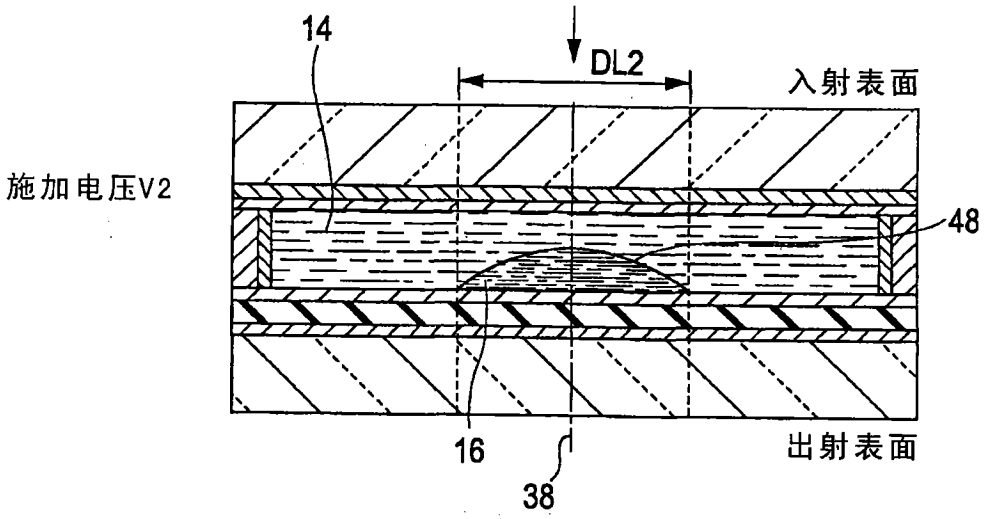

14
DL2
入射表面
施加电压V2
48
16
38
出射表面

图 8B

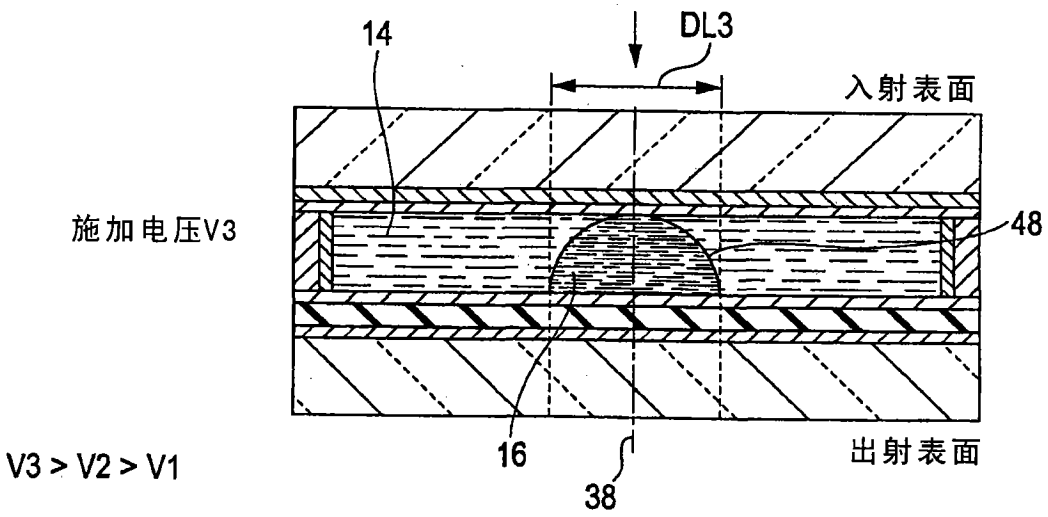


图 8C

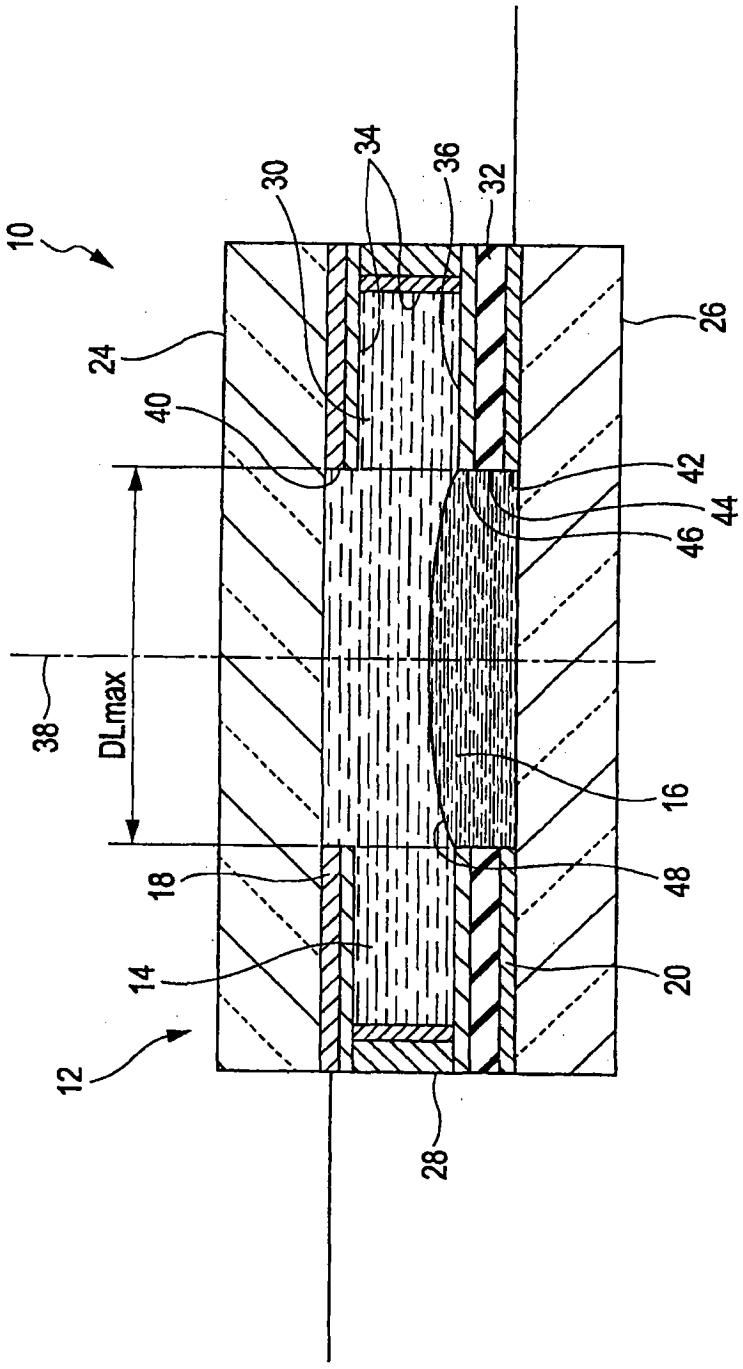


图9

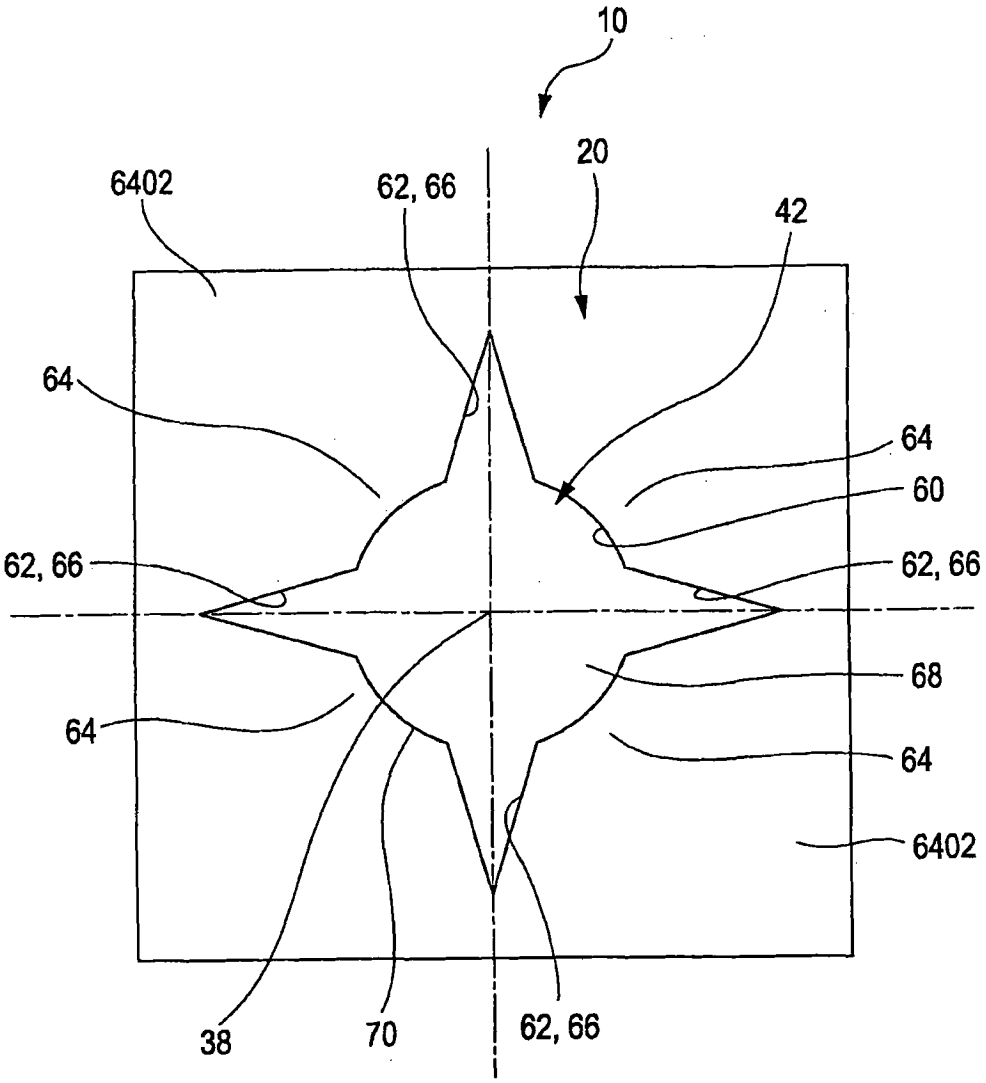


图 10

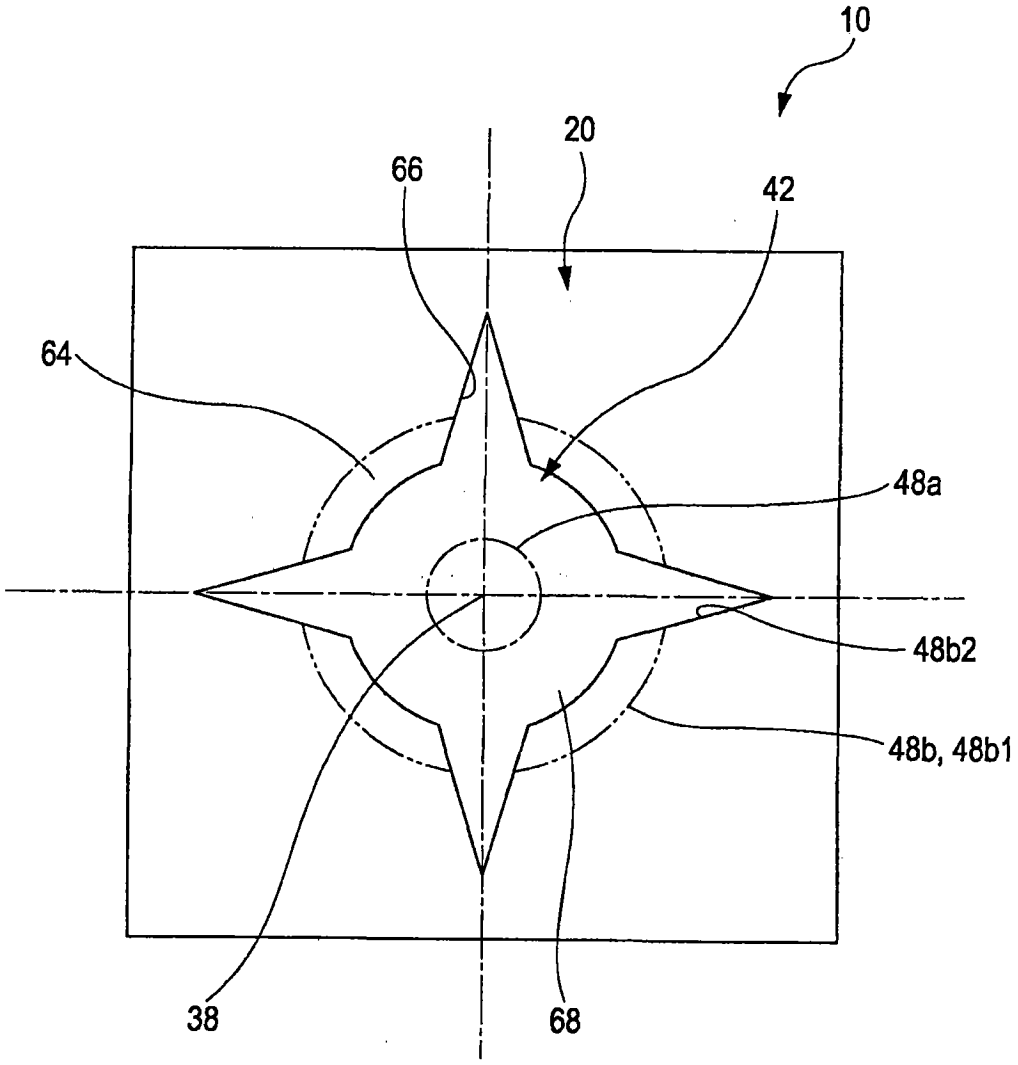


图 11

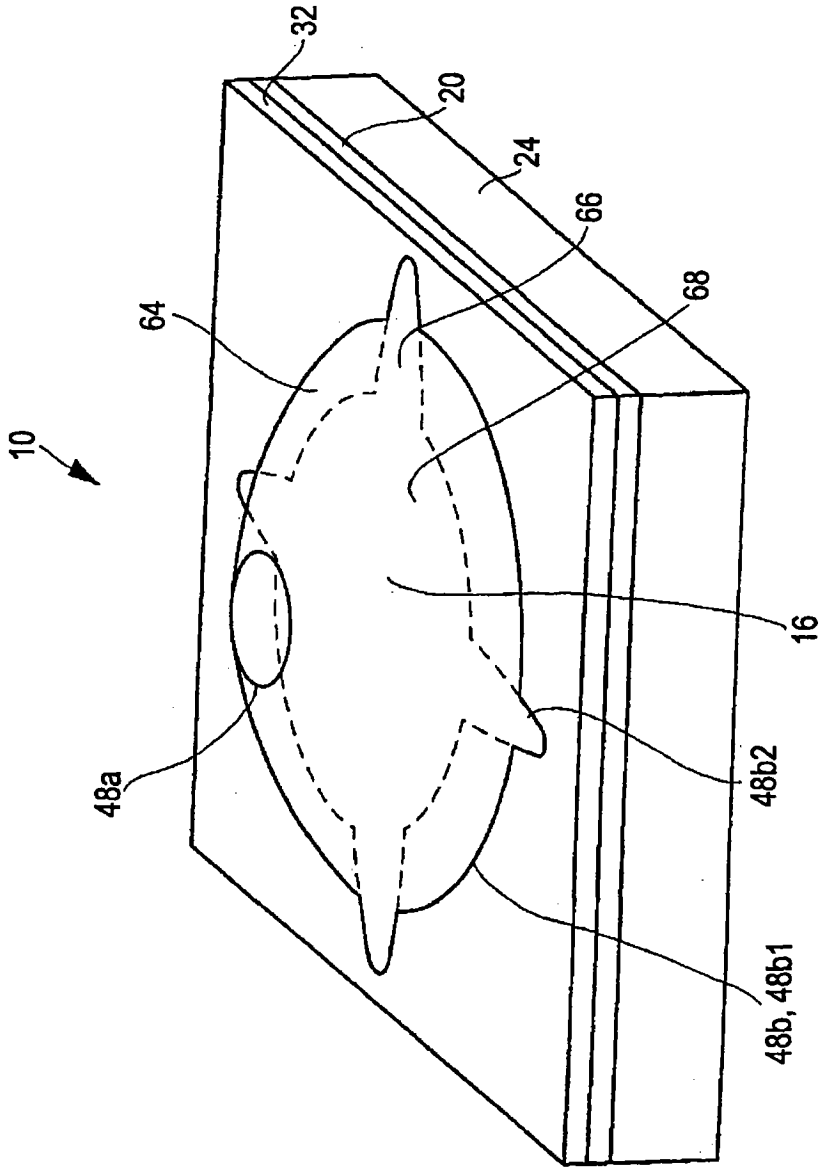


图12

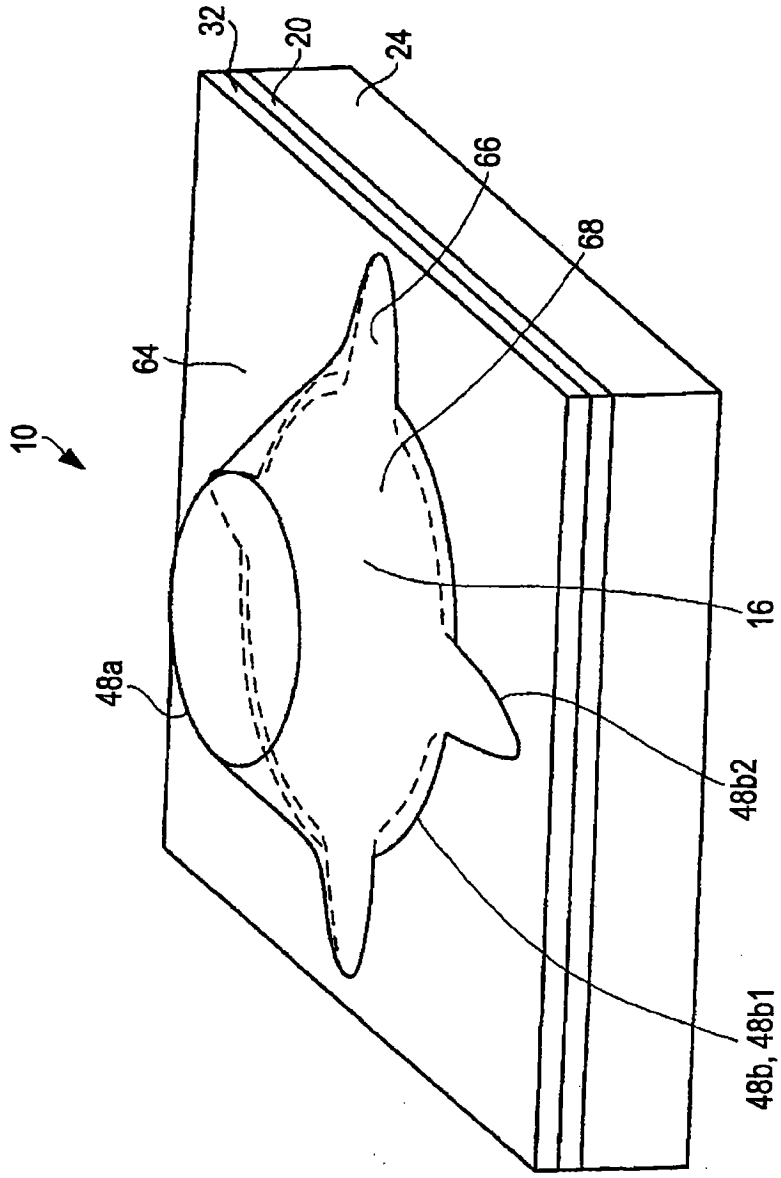


图13

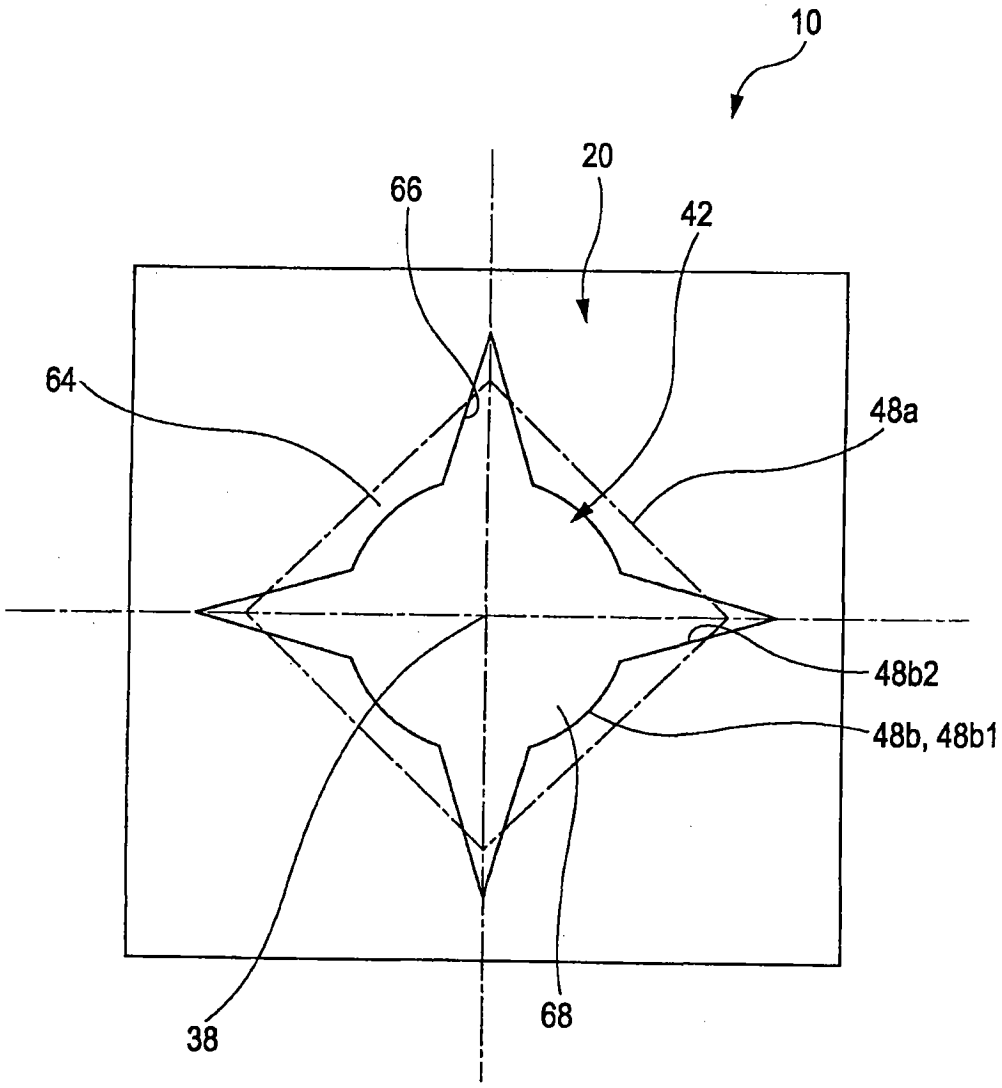


图 14

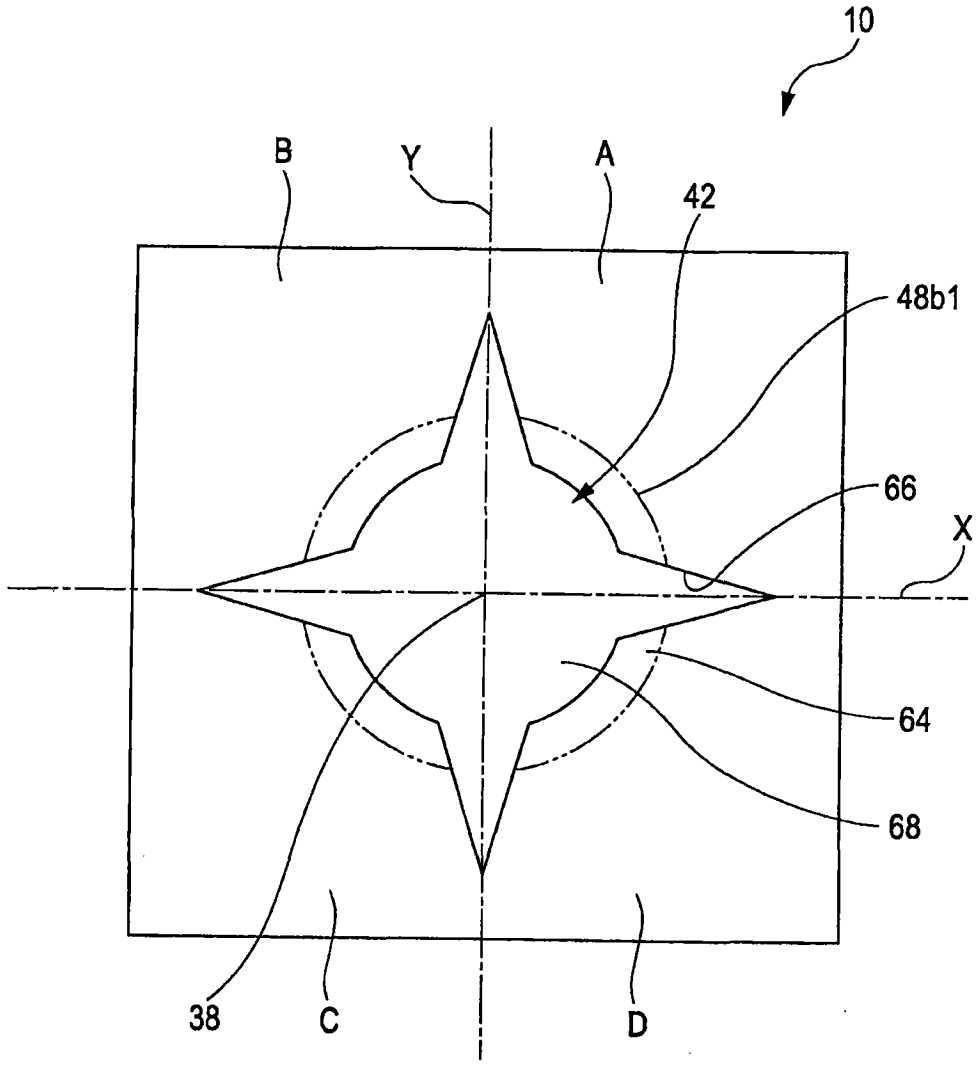


图 15

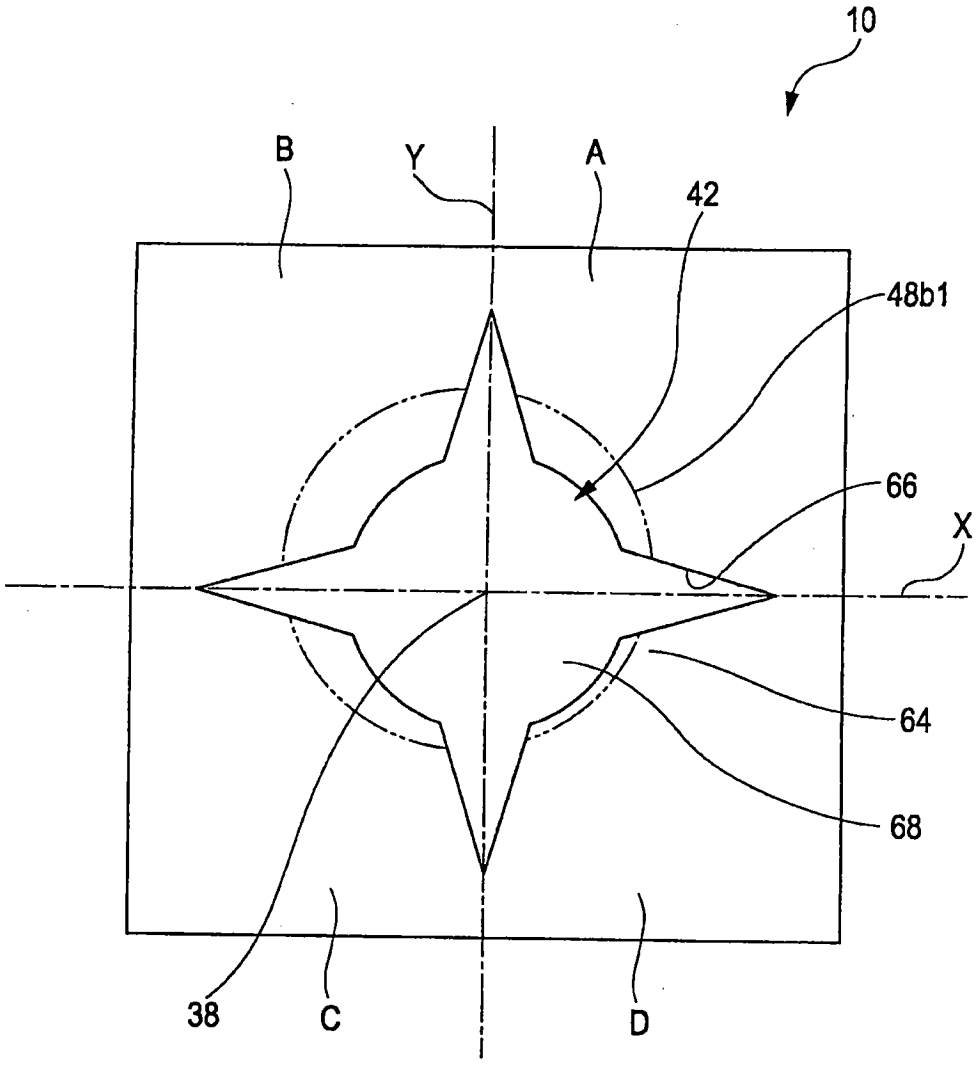


图 16

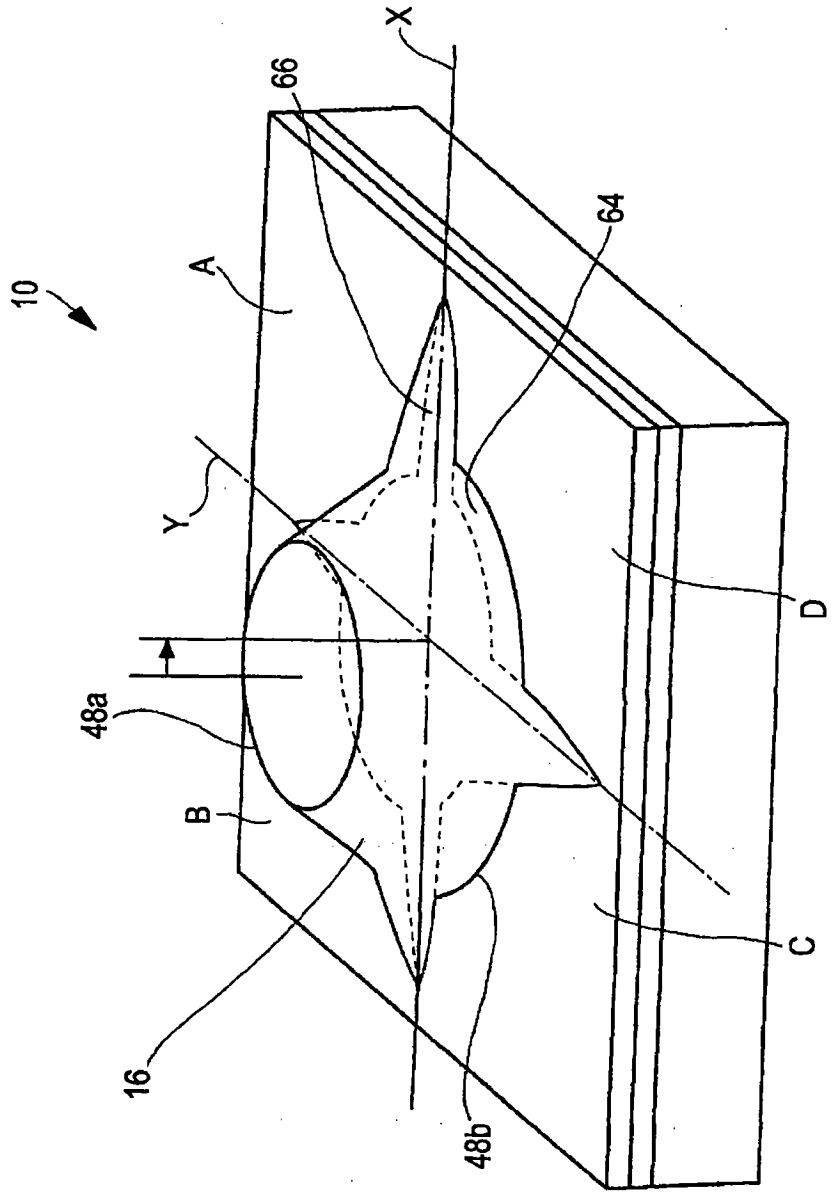


图17

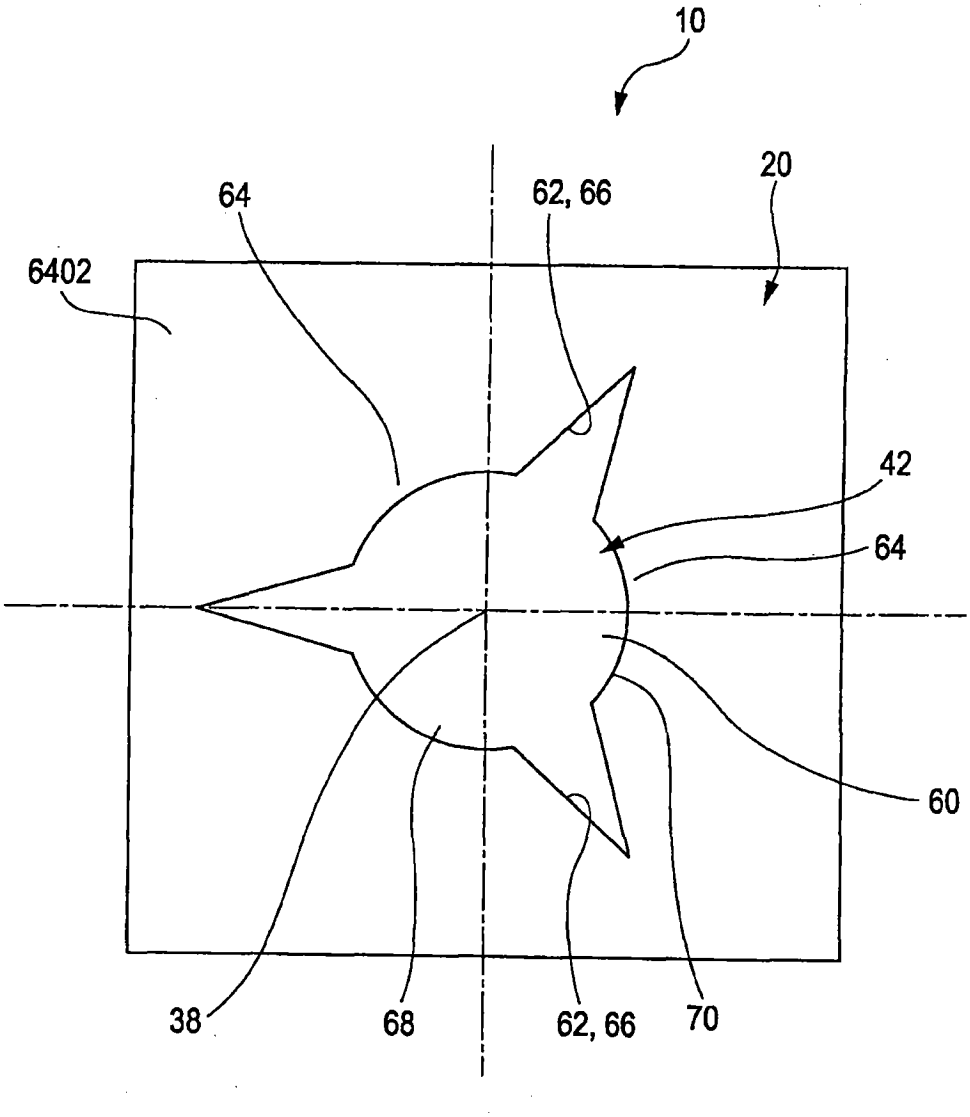


图 18

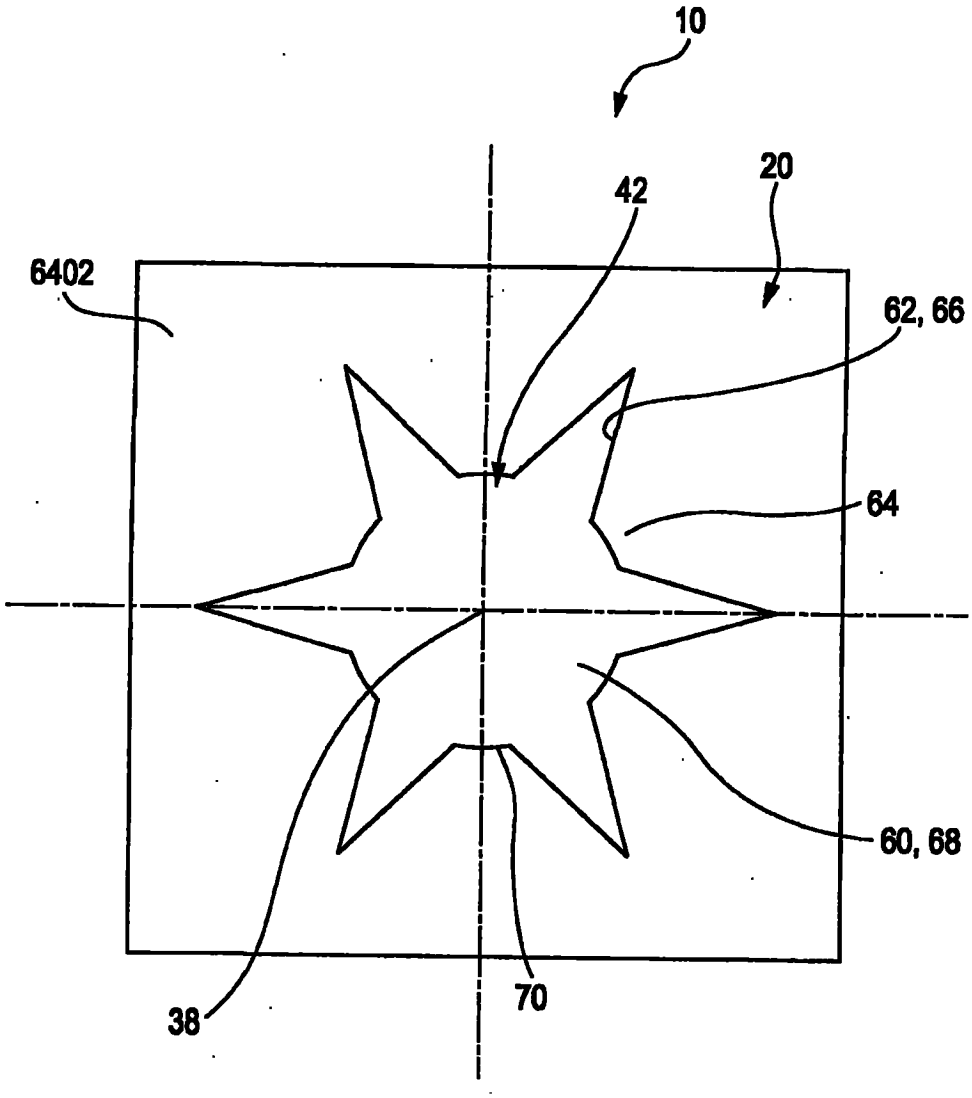


图 19

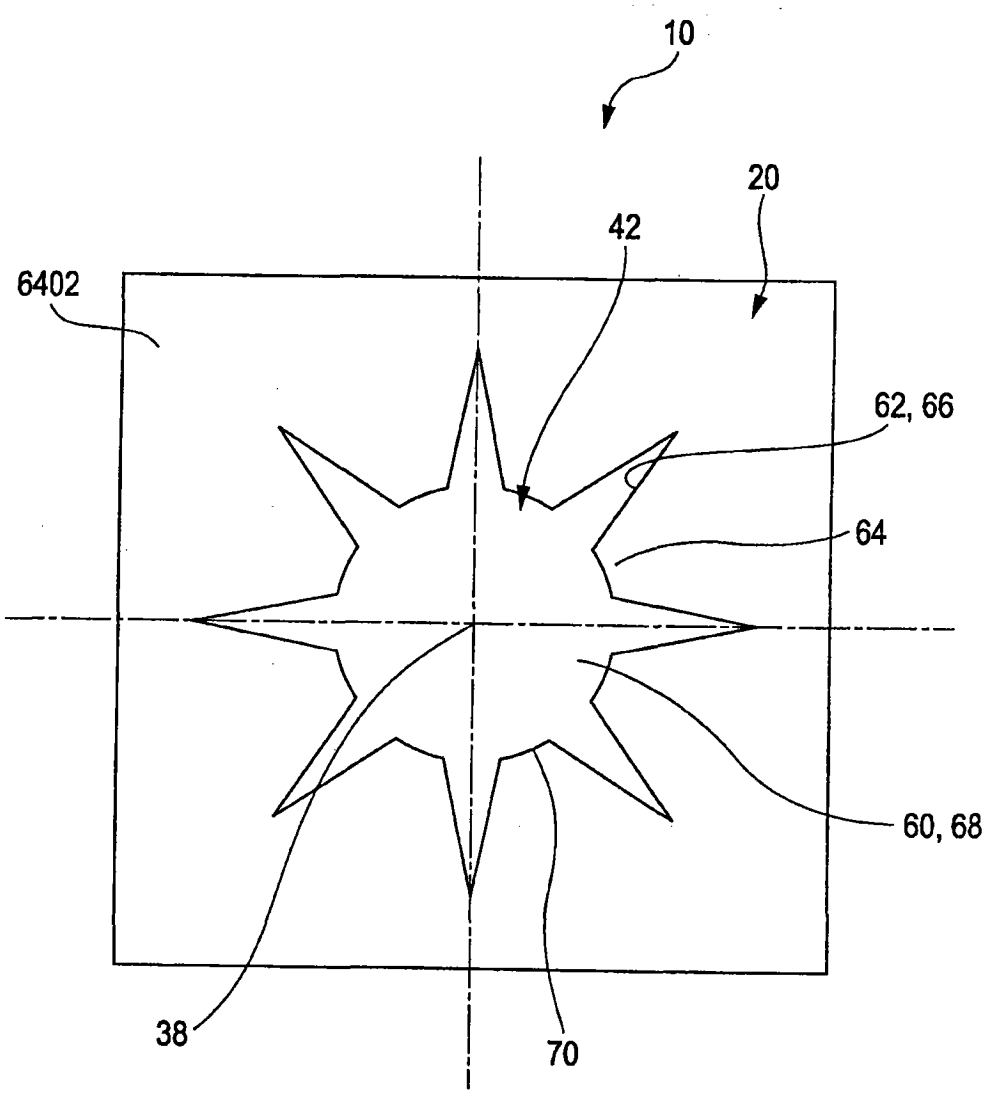


图 20

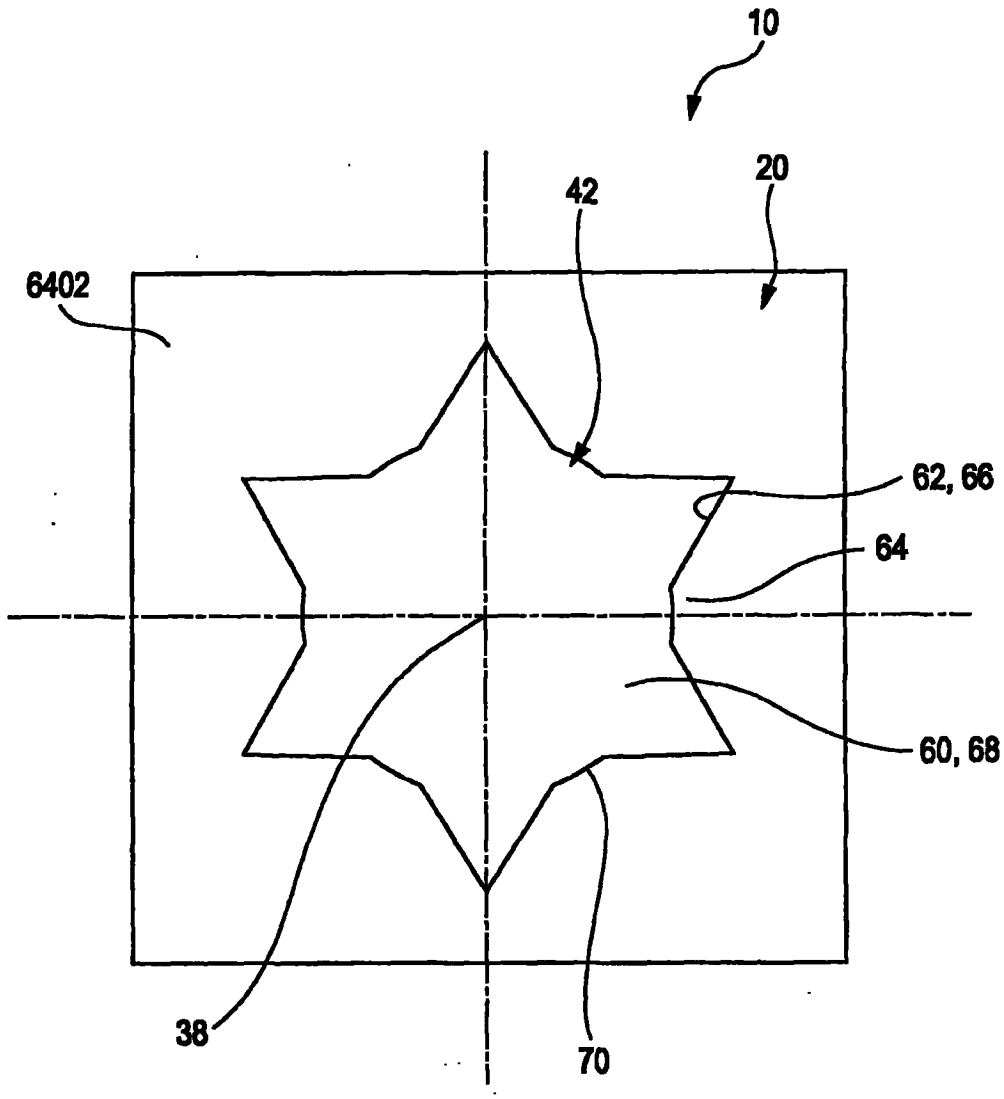


图 21

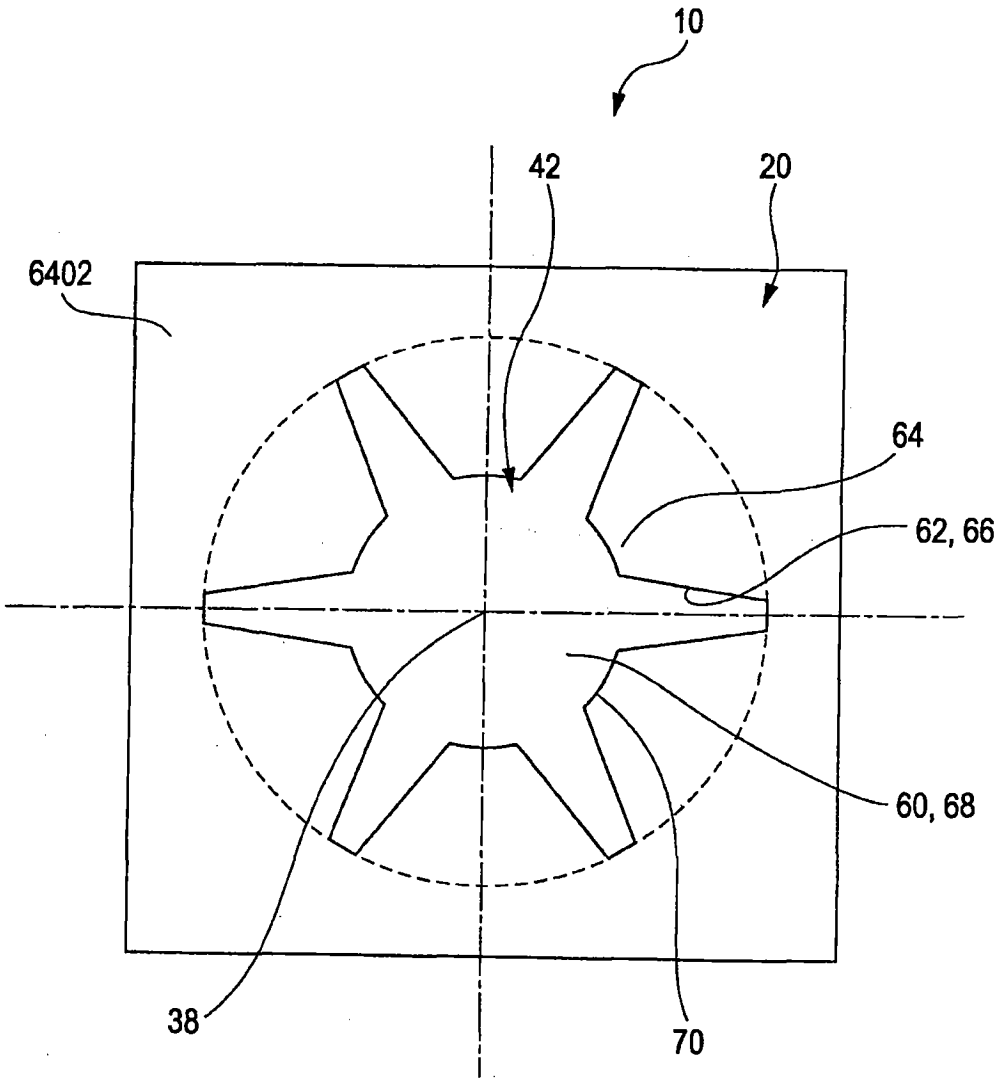


图 22

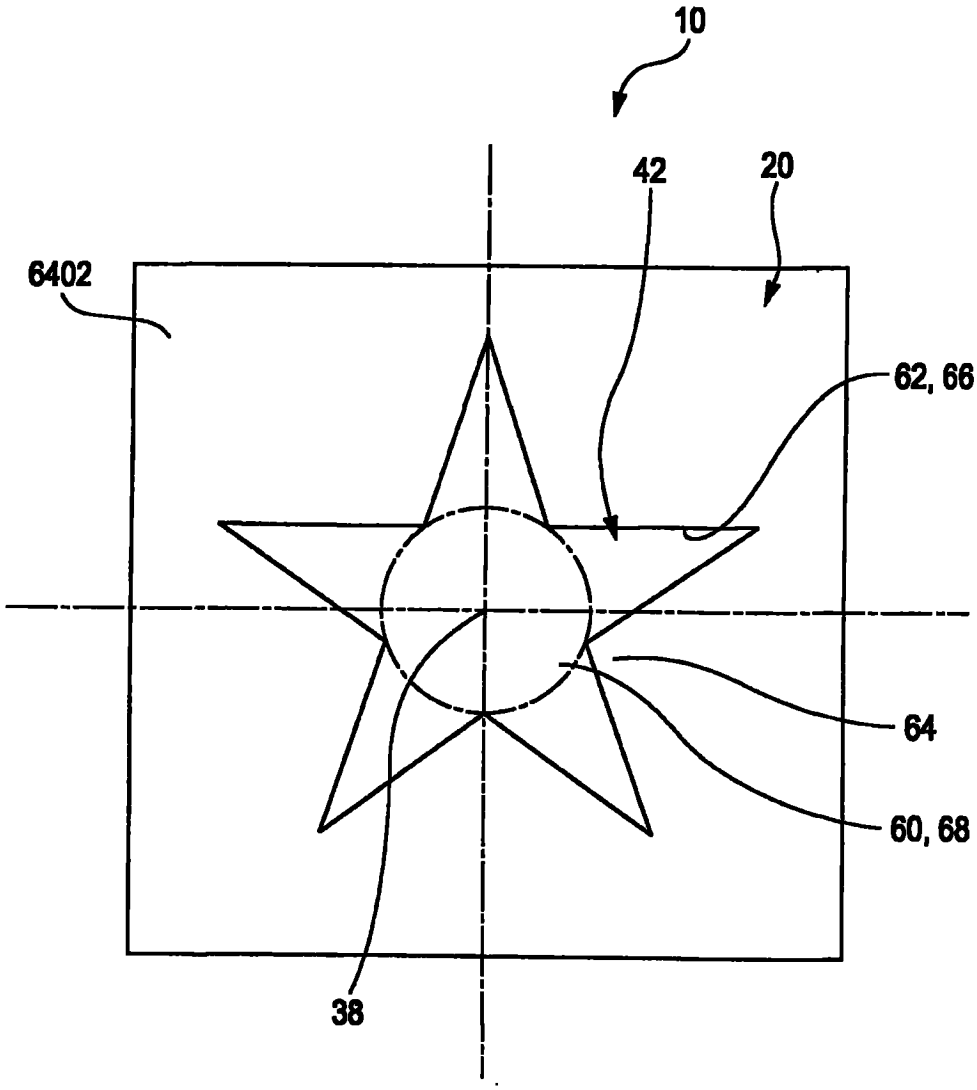


图 23

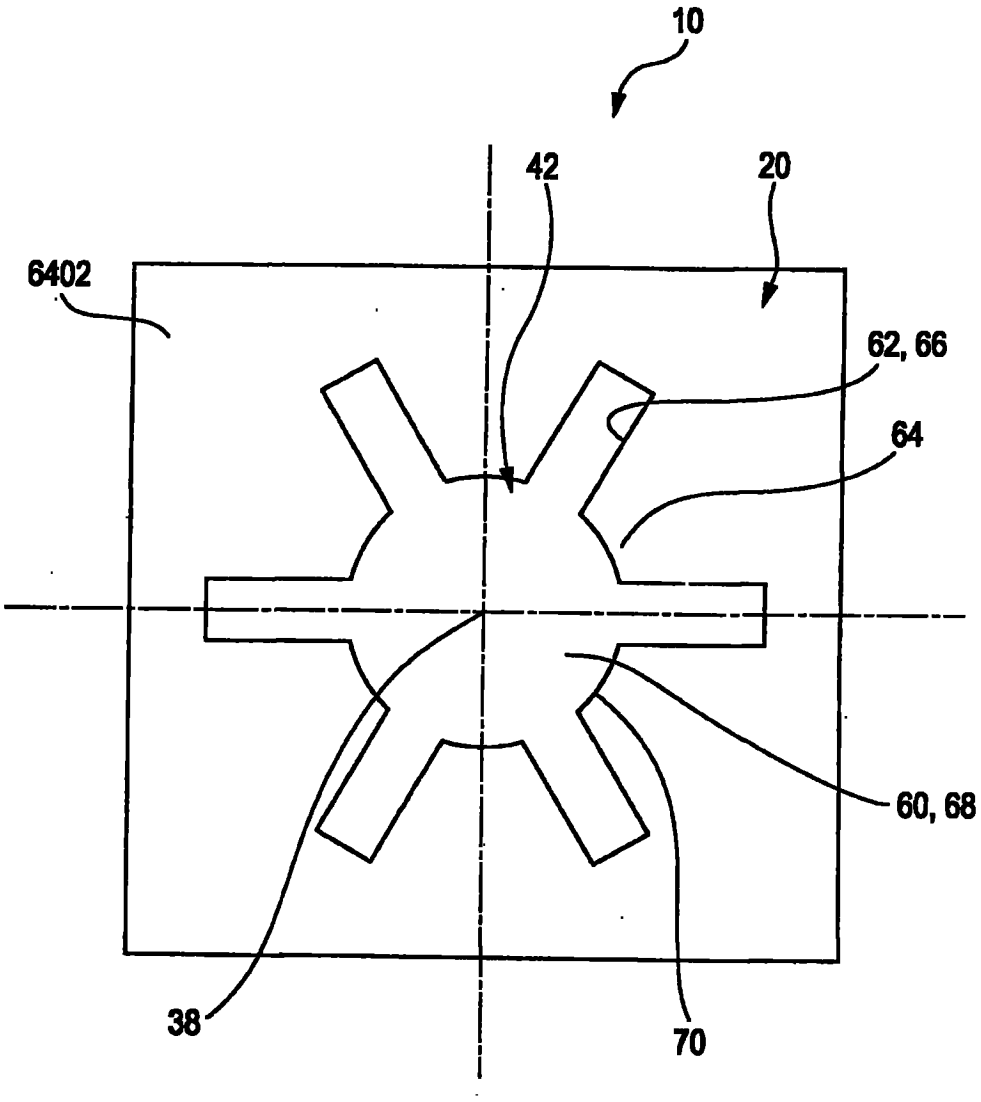


图 24

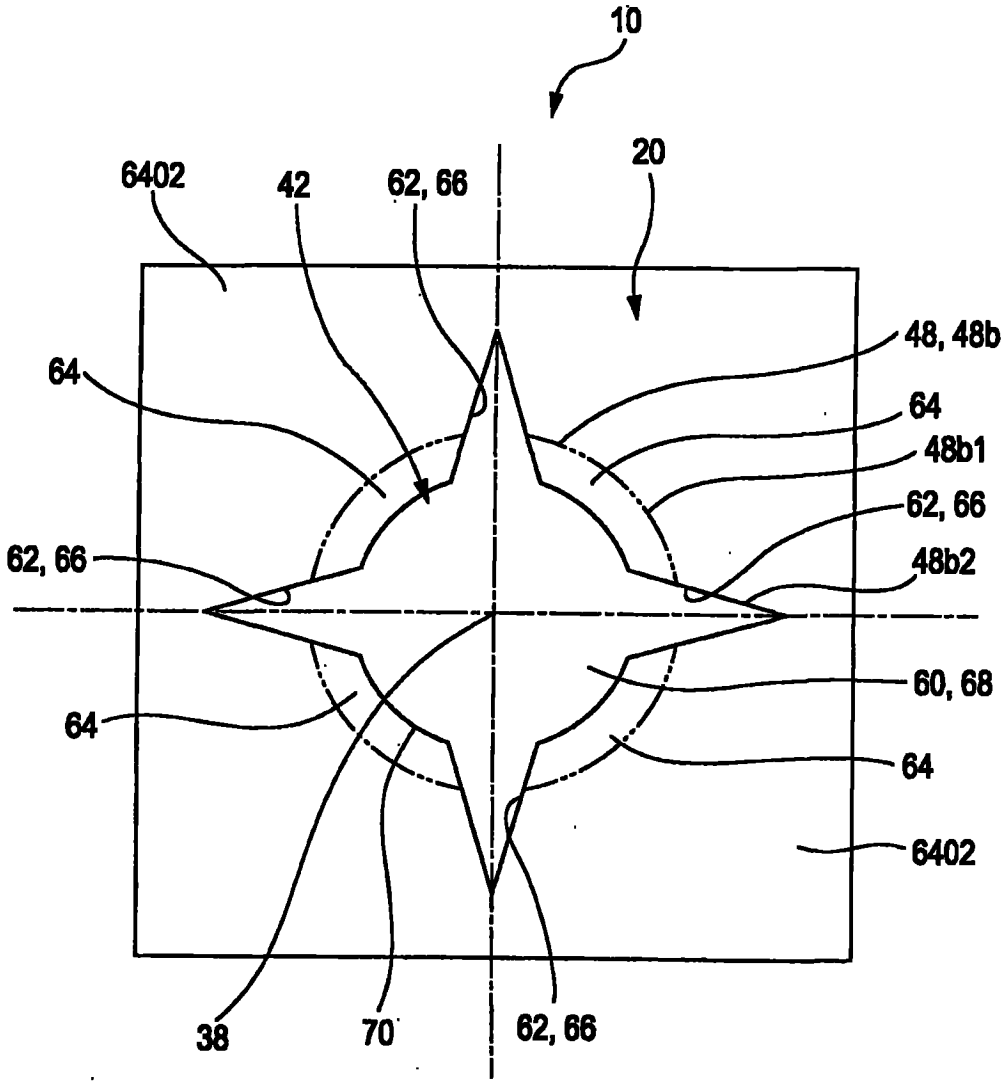

10
20
6402
42
62, 66
48, 48b
64
64
48b1
62, 66
62, 66
48b2
60, 68
64
64
6402
38
70
62, 66

图 25

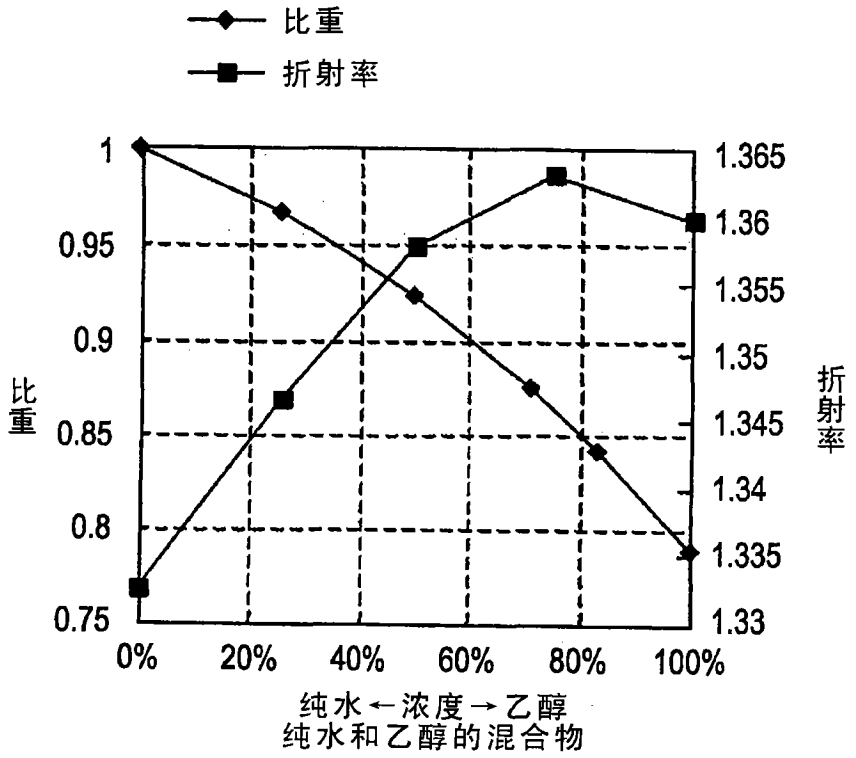

比重
折射率
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
比重
1.365
1.36
1.355
1.35
1.345
1.34
1.335
1.33
折射率
0%
20%
40%
60%
80%
100%
纯水←浓度→乙醇
纯水和乙醇的混合物

图 26

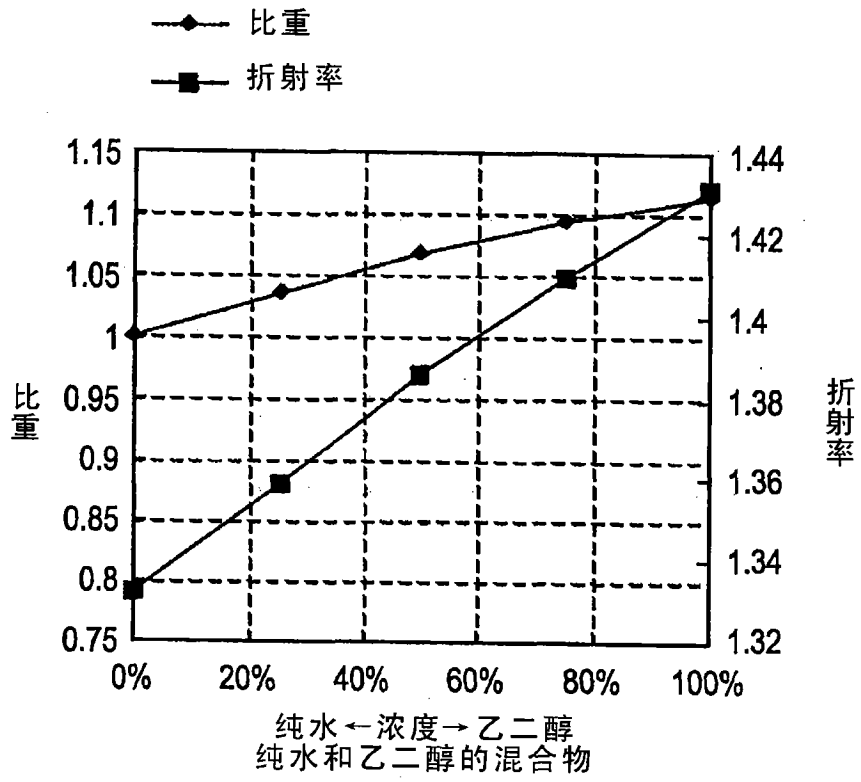

比重
折射率
1.15
1.1
1.05
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
比重
1.44
1.42
1.4
1.38
1.36
1.34
1.32
折射率
0%
20%
40%
60%
80%
100%
纯水←浓度→乙二醇
纯水和乙二醇的混合物

图 27

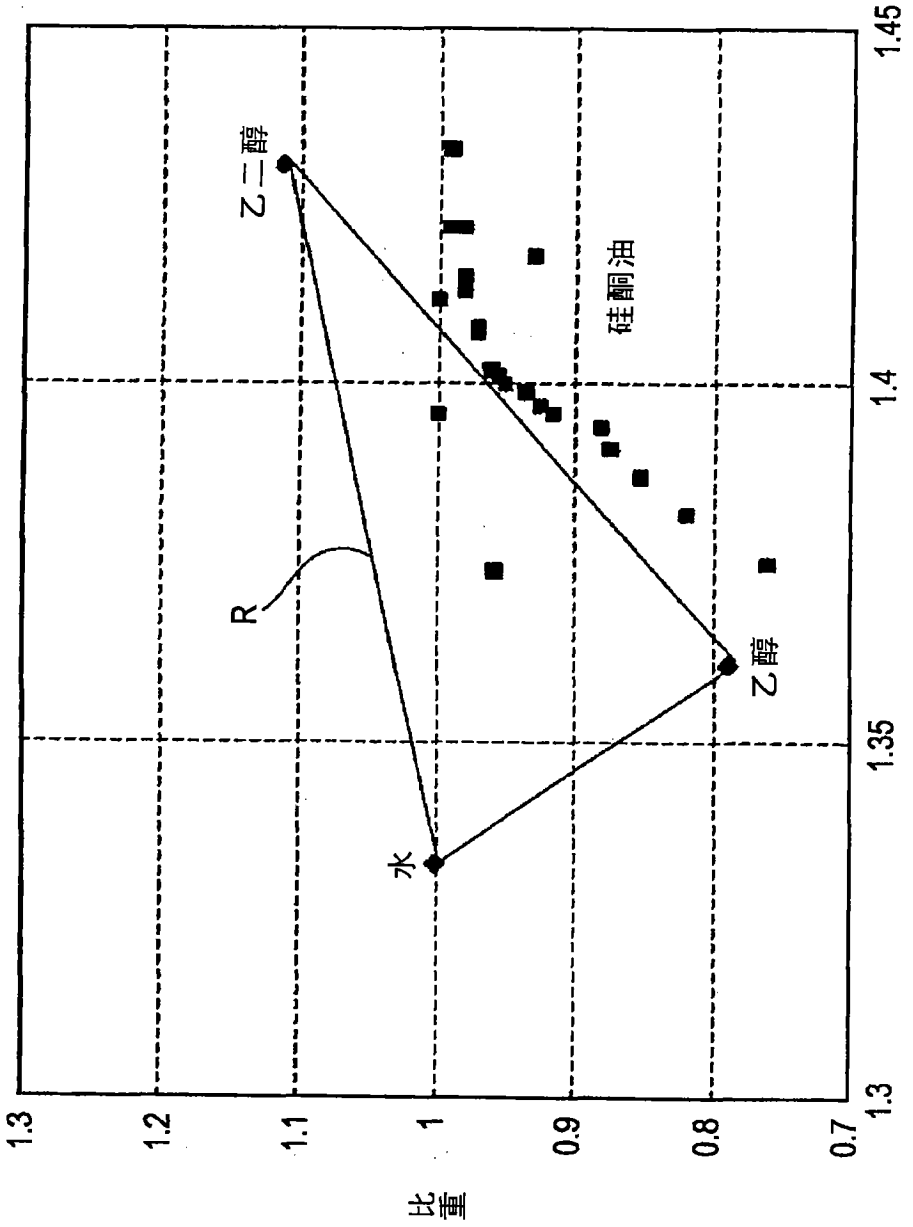
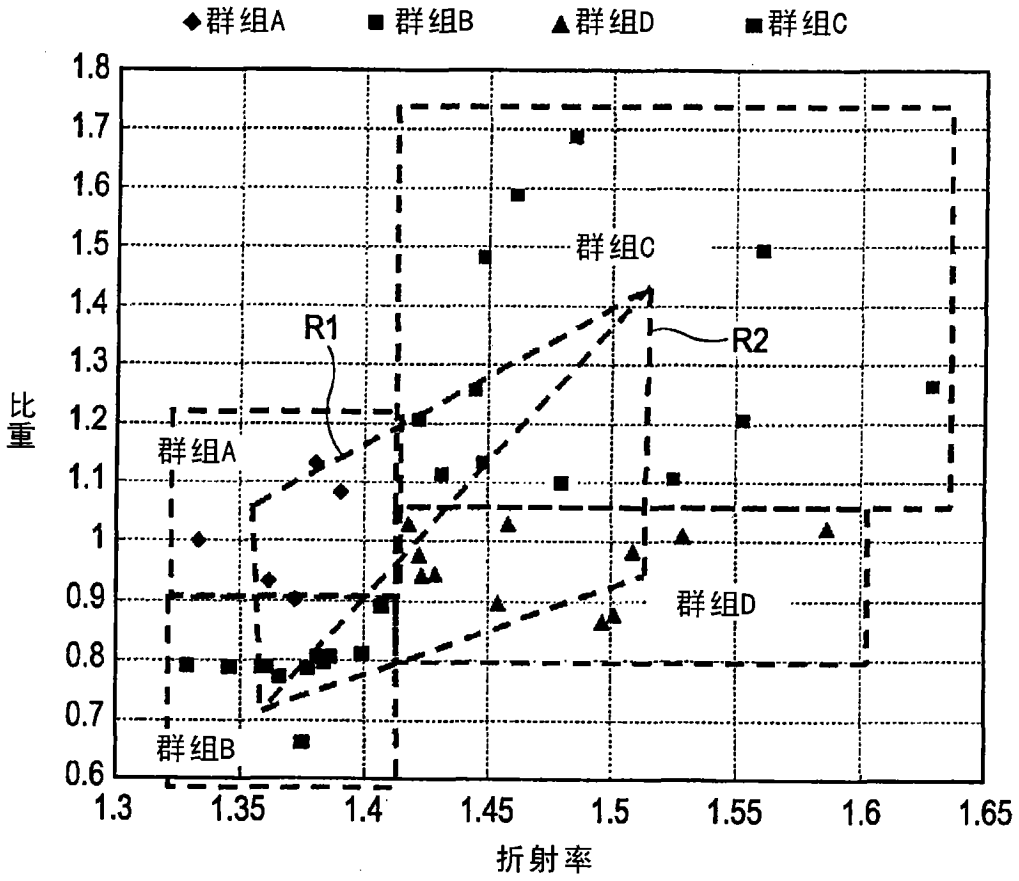


图28



	群组A	群组B	群组C	群组D
折射率	1.32 至 1.41	1.32 至 1.41	1.41 至 1.63	1.41 至 1.6
比重	0.9 至 1.2	0.6 至 0.9	1.05 至 1.7	0.8 至 1.05

图 29

		折射率	比重
群组A	水	1.333	1
	硝基甲烷	1.38056	1.1322
	乙酸酐	1.3904	1.082
	乙酸甲酯	1.3614	0.9342
	乙酸乙酯	1.3719	0.902
群组B	甲醇	1.3292	0.7915
	乙腈	1.34604	0.78745
	丙酮	1.3591	0.788
	乙醇	1.361	0.789
	乙基氰	1.36585	0.7718
	四氢呋喃	1.407	0.8892
	正己烷	1.375	0.66
	2-丙醇	1.37723	0.78505
	2-丁醇	1.3814	0.805
	正丁腈	1.38385	0.7954
	1-丙醇	1.3862	0.8053
	1-丁醇	1.3993	0.81
群组C	二甲基亚砜	1.4795	1.1
	氯苯	1.5248	1.107
	乙二醇	1.43063	1.1135
	甲酰胺	1.44754	1.1334
	硝基苯	1.5529	1.205
	碳酸丙烯	1.4209	1.2065
	1,2-二氯乙烷	1.4443	1.2569
	二硫化碳	1.62803	1.2632
	氯仿	1.4476	1.484
	溴苯	1.5602	1.4952
	四氯化碳	1.4607	1.589
	三氯乙酸酐	1.484	1.69
群组D	甲苯	1.4967	0.866
	苯	1.50108	0.8787
	乙二胺	1.454	0.898
	N,N-二甲基乙酰胺	1.423	0.9429
	N,N-二甲基甲酰胺	1.42803	0.9445
	磷酸三丁酯	1.4215	0.976
	吡啶	1.5092	0.98272
	氰苯	1.5289	1.01
	苯胺	1.5863	1.022
	1,4-二氧杂环乙烷	1.4175	1.029
	六甲基磷酰	1.4579	1.0295

图 30