

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 26/02 (2006.01)

G02B 3/14 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480012153.2

[45] 授权公告日 2008 年 4 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 100381860C

[22] 申请日 2004.5.4

US2001/0017985A1 2001.8.30

[21] 申请号 200480012153.2

审查员 刘冀

[30] 优先权

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

[32] 2003.5.6 [33] EP [31] 03076377.5

代理人 吴立明 张志醒

[86] 国际申请 PCT/IB2004/050576 2004.5.4

[87] 国际公布 WO2004/099845 英 2004.11.18

[85] 进入国家阶段日期 2005.11.4

[73] 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 C·A·伦德斯

B·H·W·亨德里克斯

S·库伊佩 R·A·哈耶斯

[56] 参考文献

WO03/069380A1 2003.8.21

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 1 页

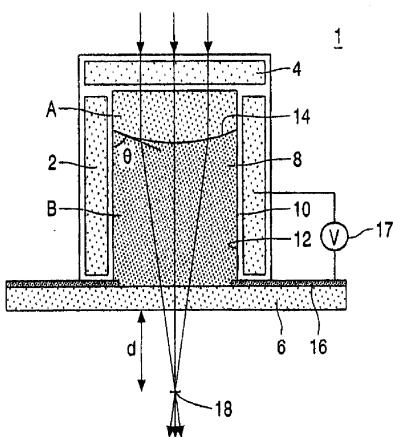
US6369954B1 2002.4.9

[54] 发明名称

电润湿模块

[57] 摘要

一种电润湿模块(20)，包括流体室(8)，其包含第一流体(A)和第二流体(B)，所述两个流体由界面(14)分开，还包括用于在至少一个流体上施加作用力以改变所述界面的位置和/或形状的装置(16、17)。通过向所述第二流体提供溶解的或混合的化合物，所述化合物不能溶解于或不能混合在所述第一流体中，和/或所述第一流体包括溶解的或混合的化合物，所述化合物不能溶解于或不能混合在所述第二流体中，其剂量足以将相应流体的凝固点降低至 -20℃ 以下，所述模块的性能可被提高，因而所述模块可在低温下使用。



1. 一种包括流体室的电润湿模块，包括至少第一导电和/或极性流体的第一体，和第二非导电和/或非极性流体的第二体，所述两个体由界面分开，以及用于在至少其中一个体上施加作用力以改变所述界面的位置和/或形状的装置，其中，所述第二流体的体包括溶解的或混合的化合物，所述化合物不能溶解于或不能混合于所述第一流体的体中，和/或所述第一流体的体包括溶解的或混合的化合物，所述化合物不能溶解于或不能混合于所述第二流体的体中，其特征在于，所述流体的体中的所述溶解化合物的浓度为至少 4M，所述溶解的化合物的量足以将相应流体的凝固点降低至-20℃以下，以及所述第一和第二流体的体之间的折射率之差为 0.01 到 0.3。

2. 如权利要求 1 中所述的电润湿模块，其中所述溶解的化合物的量足以将相应流体的凝固点降低至-30℃以下。

3. 如权利要求 2 中所述的电润湿模块，其中所述溶解的化合物的量足以将相应流体的凝固点降低至-40℃。

4. 如权利要求 1 中所述的电润湿模块，其中所述流体的体中的所述溶解化合物的浓度为至少 6M。

5. 如权利要求 1 中所述的电润湿模块，其中被溶解于或混合于第一流体的体中的所述化合物为包含具有低于 50u 的原子量的阳离子的无机盐。

6. 如权利要求 5 中所述的电润湿模块，其中所述无机盐包含具有低于 40u 的原子量的阳离子。

7. 如权利要求 5 或 6 中所述的电润湿模块，其中所述无机盐为氯盐。

8. 如权利要求 5 或 6 中所述的电润湿模块，其中所述无机盐为氯化锂、氯化铵或氯化钠。

9. 如权利要求 5 或 6 中所述的电润湿模块，其中所述无机盐为氯化锂。

10. 如权利要求 1 中所述的电润湿模块，其中被溶解于或混合于所述第一流体的体中的所述化合物为有机化合物。

11. 如权利要求 10 中所述的电润湿模块，其中所述有机化合物从甲醇、乙醇和乙二醇中选取。

12. 如权利要求 1-4 中任一项所述的电润湿模块，其中被溶解于或混合于所述第二流体的体中的所述化合物从四溴化碳、二溴代苯、三溴代苯、二氯代苯、三氯代苯、萘和联苯中选取。

13. 如权利要求 1-6 中任一项所述的电润湿模块，被配置成光学部件，所述第一和所述第二流体的体具有不同的折射率，其中被添加到所述第一流体中的化合物具有提高折射率差的效果。

14. 如权利要求 13 所述的电润湿模块，其中所述第一流体的体为导电和/或极性的，而所述第二流体的体为非导电和/或非极性的，所述模块配备有用于施加电力以改变弯月形界面的位置和/或形状的装置。

15. 如权利要求 13 所述的电润湿模块，其中折射率之差为 0.01 到 0.3，其中一种体的折射率大于 1.4。

16. 如权利要求 15 所述的电润湿模块，其中折射率之差为 0.1 到 0.2，其中一种体的折射率大于 1.5。

17. 如权利要求 13 所述的电润湿模块，其中所述第一和所述第二流体的体表现出相似的密度。

18. 如权利要求 13 所述的电润湿模块，配备有用于施加压力以改变所述界面的位置和/或形状的装置。

电润湿模块

技术领域

本发明涉及电润湿模块，包括流体室，其包括至少第一导电和/或极性流体的第一体，和第二非导电和/或非极性流体的第二体，所述体由界面分开，还包括用于在至少其中一体上施加作用力以改变该界面的位置和/或形状的装置。

背景技术

已观察到润湿技术使沿着预定路径操纵一个流体体积成为可能。运用这些技术，局部地改变（通常是减小）所述体积的表面张力，促使该体积沿其最小表面张力的方向流动。

此外，已观察到流体是响应于任何作用力而改变其形状的物质，包括气体、蒸汽、液体、以及能够流动的固体和液体的混合物。

某种流体对一个表面的“可润湿性”这个术语表示所述流体可润湿所述特定表面的难易程度，它可例如依赖于所述表面的性质和/或所述表面两端的电势。若一个表面具有被某种特定流体的“高可润湿性”，这表明与所述表面接触的所述流体的小滴将具有一个较为扩张的形状，具有一个相对较大的接触面积和一个相对较小的接触角，通常小于约 90° 。“低可润湿性”表明与所述表面接触的流体滴将具有一个较为紧缩的形状，具有一个相对较小的接触面积和一个相对较大的接触角，通常超过约 90° 。

术语“润湿”应理解为包括所有局部改变一个体积（例如一滴）的特定流体的表面张力，以影响所述流体相对于一特定表面的润湿性能的技术。

在利用可润湿性现象制作的模块中，两种流体必需具有所期望的特性，例如：尽可能接近的密度；低熔点；合适的粘度；良好的电润湿性能；无毒；并且，在光学模块情况下，具有某一预定的折射率差。

这样一种光学模块的例子为基于电润湿的透镜，也称为电润湿透镜，其焦距可改变。在电润湿透镜中，两种流体之间的界面为弯月面。在这样的一个模块中，第一流体为导电和/或极性液体，且第二流体

为非导电和/或非极性液体。第一液体为例如盐水，第二液体为例如有机非极性、与水不混溶的液体，比如癸烷和硅油。电润湿光学模块配备有用于施加电力的装置，借助于该电力，可塑造弯月面的形状和/或位置。电润湿光学模块的其它例子为变焦透镜、光阑、衍射光栅、滤光器和光束偏转器。这些模块的实施例在 PCT 专利申请号 IB03/00222 和欧洲专利申请号 020789309.2、02080387.0 和 02080060.3 中有描述。电润湿光学模块非常紧凑，因而可很有利地用于诸如光盘扫描装置、a/o 移动电话的微型相机、显示器等。

在光学电润湿模块中，模块可被使用的温度范围很大程度地依赖于所用流体的凝固点。对于光学电润湿模块有增长的需求，其在远低于 0℃ 的温度下（优选地在大约 -20℃ 的温度下）仍可工作。此外，存储温度应低至 -40℃。为防止对壳体造成损坏，液体优选地应在此温度以上不凝固。

已知的水溶液和一些非导电液体不满足这个要求。

因而，将流体凝固点降低到约 -20℃ 以下的问题仍尚待解决。

发明内容

本发明的一个目标是提供一种如开头段所定义的电润湿模块，该模块若用作光学模块，则允许在很大范围内改变屈光力（optical power），且在低温下仍可使用。

按照本发明，提供了一种包括流体室的电润湿模块，包括至少第一导电和/或极性流体的第一体，和第二非导电和/或非极性流体的第二体，所述两个体由界面分开，以及用于在至少其中一个体上施加作用力以改变所述界面的位置和/或形状的装置，其中，所述第二流体的体包括溶解的或混合的化合物，所述化合物不能溶解于或不能混合于所述第一流体的体中，和/或所述第一流体的体包括溶解的或混合的化合物，所述化合物不能溶解于或不能混合于所述第二流体的体中，其特征在于，所述流体的体中的所述溶解化合物的浓度为至少 4M，所述溶解的化合物的量足以将相应流体的凝固点降低至 -20℃ 以下，以及所述第一和第二流体的体之间的折射率之差为 0.01 到 0.3。凝固点优选地被降到 -30℃ 以下。甚至更优选地，应将凝固点降到 -40℃，以允许在所有环境情况下存储该装置。

值得注意的是，例如，B. Berge 和 J. Peseux 在 Eur. Phys. J. E3, 159-163 (2000) 中公开了一种具有由盐水组成的第一流体的电润湿透镜。更特别地，所述流体由百分之几的 Na_2SO_4 溶于水而组成。然而，这样的溶解盐剂量太低而基本上不能降低凝固点。

最好是，所述流体的体中的所述溶解化合物的浓度为至少 6M。

包含阳离子的无机盐，该阳离子的原子量低于 50u，优选地低于 40u，非常适合用在本发明的电润湿模块的导电流体中，这是由于这些化合物具有附加的优点：溶液的密度和折射率将仍具有较低的值。优选的化合物为氯盐，更特别地，为氯化锂、氯化铵或氯化钠。

已观察到，由 JP2001013306A 可知，利用重量百分比为 10% 的氯化钠水溶液作为电润湿透镜中的导电液体。如此剂量的盐相当于 1.83M 的溶液；利用这样的溶液，仅能获得凝固点下降到 -6.5°C。

最好是，其中被溶解于或混合于所述第一流体的体中的所述化合物为有机化合物，其中所述有机化合物从甲醇、乙醇和乙二醇中选取。

将用在第二、非极性流体中以降低所述流体凝固点的优选化合物从四溴化碳、二溴代苯、三溴代苯、二氯代苯、三氯代苯、萘和联苯中选取。

上述模块可配置成光学部件，所述第一和所述第二流体具有不同的折射率。在这样的光学模块中，添加到第一流体中的的化合物具有提高折射率差的功效。

在这样的模块中，第一流体的体可为导电和/或极性的，而第二流体的体可为非导电和/或非极性的，并且该模块可配备有用于施加电力或机械力以改变弯月形界面的位置和/或形状的装置。

折射率之差为从 0.01 到 0.3，优选地从 0.1 到 0.2；流体其中之一的折射率大于 1.4，优选地大于 1.5。

优选地，第一和第二流体表现出基本相似的密度。

该模块还可配备有用于施加压力的装置，以改变界面的位置和/或形状。

附图说明

参照下文描述的并在附图中示出的实施例，以非限定性实例的方式，本发明的这些和其它方面将变得显而易见并得以阐明。

在附图中：

图 1 以通过其光轴的横截面表示了处于非激活状态的已知电润湿透镜。

图 2 表示了处于激活状态的这种透镜。

具体实施方式

图 1 示出了构成可变焦点透镜的电润湿模块。该元件包括形成毛细管的第一圆柱形电极 2，通过透明的前部元件 4 和透明的后部元件 6 密封，以形成容纳两种流体的流体室 8。电极 2 可为涂覆在管内壁上的导电涂层。

在电润湿模块的本实施例中，该两种流体由两种不混溶的液体组成，即以电绝缘的第一液体 A 和导电的第二液体 B 的形式，第一液体 A 通常为例如硅油或烷烃，第二液体 B 通常为例如含盐水溶液。第一流体 A 具有比第二流体 B 更高的折射率。

第一电极 2 为内半径通常介于 1mm 和 20mm 之间的圆柱。该电极由金属材料形成，并涂覆有由例如聚对二甲苯 (parylene) 形成的绝缘层 10。该绝缘层具有介于 50nm 和 100 μm 之间的厚度。绝缘层涂覆有流体接触层 12，其减小了弯月面 14，即流体 A 和 B 之间的界面与流体室圆柱壁的接触角的滞后现象。该流体接触层优选地由非晶碳氟化合物，例如 DuPontTM 生产的 TeflonTM AF1600 形成。流体接触层 12 具有介于 5nm 和 50 μm 之间的厚度。也可以使用一个同时具有绝缘和疏水特性的层。

第二电极 16 布置在流体室的一侧，在本例中，邻近后部元件 6。第二电极布置成使其至少一部分处在流体室中，以使电极能够作用于第二流体 B。

两种流体 A 和 B 不混溶，因而倾向于分离成由弯月面 14 隔开的两个流体。当未在第一和第二电极之间施加电压时，流体接触层 12 相对于第一流体 A 比相对于第二流体 B 具有更高的可润湿性。图 1 示出了该透镜构形，即电润湿透镜的非激活状态。在该构形中，在流体 B 中测得的弯月面与流体接触层 12 之间的初始接触角 θ 大于 90° 。由于第一流体 A 的折射率大于第二流体 B 的折射率，因而由该弯月面形成的透镜，这里称为弯月形透镜，在此构形中具有负的光焦度

(negative power)。

由于电润湿作用，在第一电极和第二电极之间施加有电压的情况下，第二流体 B 的可润湿性有所变化，其倾向于改变接触角。图 2 示出了若由源 17 向该透镜提供这样一个电压，即若透镜处于激活状态时的透镜构形。在此例中，电压相对高，例如在 150V 和 250V 之间，且弯月面现在相对于电解液的主体具有凸形。弯月面与流体接触层 12 之间的最大接触角 θ 为例如 60° 的量级。由于流体 A 的折射率大于流体 B，弯月形透镜 1 在此构形中具有正的光焦度 (positive power)，它将入射光束 b 聚焦到距该透镜一定距离 d 处的焦点 18。

欲知关于可变焦点透镜构造的更多细节，可参照国际专利申请号 IB03/00222。一种变焦透镜，其包括位于高折射率液体和低折射率流体之间的至少两个独立可控的界面，这在欧洲专利申请号 02079473.1 (PHNL021095) 中有描述。

实际中，需要降低电润湿模块的导电液体的凝固点，以使模块在例如-20°C 的温度下仍能工作。

当然，在这样的低温下应保持模块的电润湿特性。

已知的降低液体凝固点的方法是在液体中溶解盐。由给定数量的盐（以每千克液体的离子摩尔数表示）而达到的理论凝固点下降可近似地由以下方程确定：

$$\Delta T_f = K_f c_m$$

其中 ΔT_f 为凝固点的变化， K_f 为凝固点下降常数， c_m 为溶液的离子的摩尔浓度。

由此方程得出，要实现凝固点的充分下降，需要大浓度的盐。然而，通过在液体中溶解太多的盐，液体密度可能过分增加，并且结果是，导电和非导电液体之间所需的密度匹配常常不能得到满足。

此外，在液体中溶解盐可引起折射率的变化。当加入盐使导电液体的折射率升高时，该液体和非导电液体之间的折射率降低（假设非导电液体比导电液体具有更高的折射率），这造成电润湿透镜屈光力的不希望的降低。

在电润湿透镜中，透镜的屈光力依赖于弯月面的曲率和导电液体

$$S = \frac{n_1 - n_2}{r}$$

与非导电液体之间的折射率之差，由以下方程可以看出：

其中 S 为弯月形透镜的屈光力， r 为弯月面的曲率半径， n_2 为非导电液体的折射率， n_1 为导电液体的折射率。

电润湿透镜中常用的非导电液体（例如烷烃或硅油）的折射率（ $n=1.37-1.43$ ）仅略高于常用的导电液体的折射率（例如水， $n=1.33$ ）。

根据本发明，将一定量的化合物，优选地为无机盐，添加到所述第一导电流体中，该化合物足以将第一导电流体的凝固点下降至大约-20℃，其中所述盐优选地包含具有 50u 以下的低分子量的阳离子。

该措施将保持导电液体的折射率和密度较低，而同时仍可满足对流体的其它要求，如高透明度、与其它液体或流体的不混溶性、以及良好的电润湿性能。

为得到-20℃的凝固点，某些流体及其凝固点下降常数的例子列在表 1 中。

表 1

溶剂	熔点 (℃)	K_f (℃/m)	对于-20℃的 c_m
水	0.000	1.858	10.8
乙酸	16.60	3.59	10.2
苯	5.455	5.065	5.0
莰醇	179.5	40	5.0
环己烷	6.55	20.0	1.3

表 1 中， c_m 是为了获得低于-20℃的凝固点溶液中离子的摩尔浓度。由于每个盐分子产生至少两个离子，因此，溶解在液体中所需的盐量比 c_m 至少小两倍。例如当用 LiCl 作为导电液体中的无机盐时，需要 5.4M 的 LiCl 溶液，以将水的凝固点降至-20℃。

由实验得出，对于用于电润湿模块的最合适的流体，需要浓度为 4M 的溶液，以将凝固点降至-20℃。尽管这里提到无机盐，也可使用有机化合物，例如乙二醇、乙醇或甲醇。实验再度表明需要 4M 的有机材料分子，以将凝固点降至-20℃。

已观察到，由 US 2003/0095336 A1 第 [0063] 段可知，利用酒

精、甘油、硅酮或矿物油来降低光学元件，更特别地是透镜的流体的凝固点。然而，该透镜并不基于电润湿作用；此外，该描述并未提及任何浓度，也未表明要用的化合物的一定浓度的优点。

如前所述，优选地，构成无机盐的阳离子具有低分子量，优选地低于 40u。

本发明中所用的优选化合物组包括 LiCl, NH₄Cl 和 NaCl，其中 LiCl 是最优选的化合物，与水一起用作导电溶剂。也可用氟盐，假使它们能提供期望的凝固点下降。

另一优选化合物组包括甲酸盐或乙酸盐作为阳离子的盐，例如甲酸铵或甲酸锂。

此外，可能有必要也降低第二、非极性流体的凝固点。用于该流体的优选化合物为四溴化碳、三氯代苯、萘和联苯。

当在电润湿光学模块中利用反向透镜时，导电液体具有比非导电液体更高的折射率。在这种情况下，期望提高导电液体的折射率。当使用其阳离子具有高分子量，即高于 40u 的盐，例如 Cs₂WO₄，其水溶液具有 $n=1.482$ 的折射率时，可以实现此目的。当与具有低折射率的非导电液体，如折射率为 $n=1.37$ 的硅油结合时，可制成具有大屈光力的光学电润湿模块。

要使反向透镜中导电液体与非导电液体的密度相匹配，需要导电液体应与具有低密度的化合物混合，以与通常为硅油的非导电液体的密度相匹配。

尽管本描述局限于作为光学电润湿模块实例的电润湿透镜，但是本发明并不以任何方式局限于这样的透镜。本发明可用于任何光学电润湿模块，例如可变焦点透镜、变焦透镜、光阑、滤光器和光束偏转器，还可用于机械电润湿模块，例如泵和电机中。

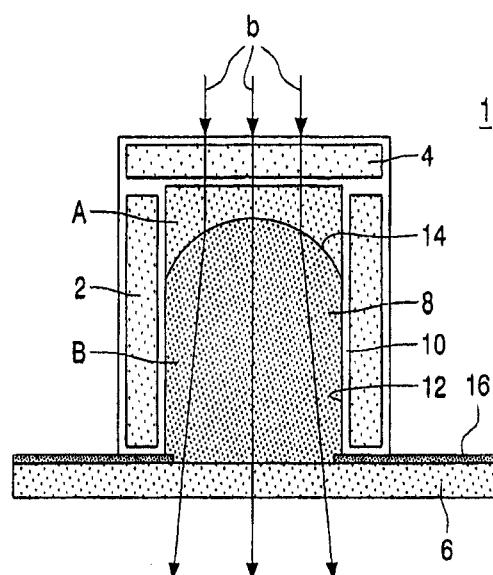


图 1

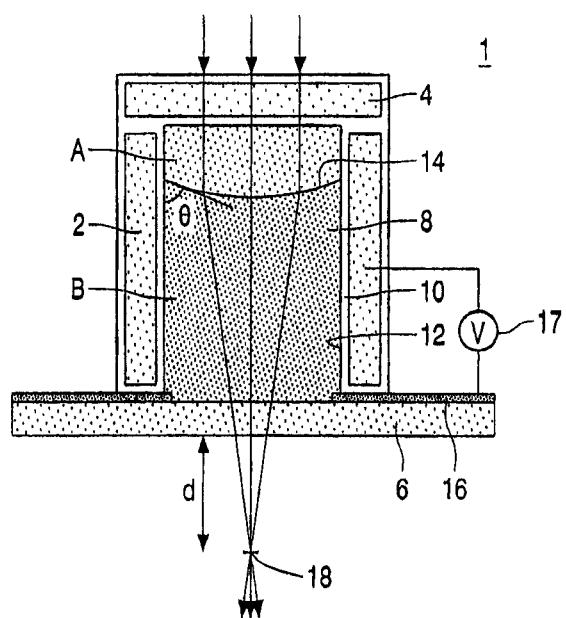


图 2