



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103454763 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201210180545. 6

(22) 申请日 2012. 06. 04

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华大学清
华-富士康纳米科技研究中心 401 室
专利权人 鸿富锦精密工业(深圳)有限公司

(72) 发明人 李杰 姜开利 范守善

(51) Int. Cl.

G02B 26/02(2006. 01)

G02B 3/14(2006. 01)

审查员 杜乃锋

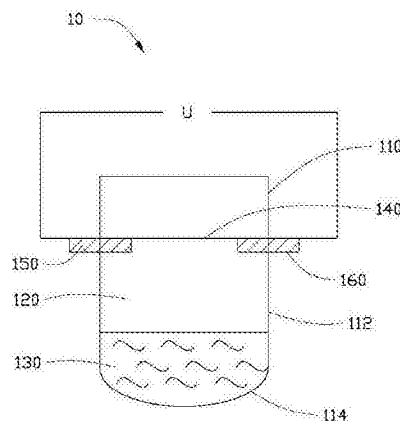
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

液体透镜

(57) 摘要

本发明提供一种液体透镜,包括一密封壳体、一液态介质、一气态介质、一碳纳米管拉膜结构以及至少两个电极,其中,所述液态介质、气态介质和碳纳米管拉膜结构均设置于所述密封壳体内,所述碳纳米管拉膜结构与所述气态介质接触,所述至少两个电极间隔设置并与所述碳纳米管拉膜结构电连接。本发明提供的液体透镜具有结构简单、变焦速度快、变焦精度高以及成本低廉的优点。



1. 一种液体透镜,包括一密封壳体、一液态介质、一气态介质、一碳纳米管拉膜结构以及至少两个电极,所述液态介质、气态介质和碳纳米管拉膜结构均设置于所述密封壳体内,所述碳纳米管拉膜结构与所述气态介质接触,所述至少两个电极间隔设置并与所述碳纳米管拉膜结构电连接,所述密封壳体由一刚性部分和一柔性部分组成。

2. 如权利要求 1 所述的液体透镜,其特征在于,所述刚性部分由硬性材料制成。

3. 如权利要求 2 所述的液体透镜,其特征在于,所述硬性材料包括玻璃、树脂中的一种或多种。

4. 如权利要求 1 所述的液体透镜,其特征在于,所述柔性部分由柔性材料制成。

5. 如权利要求 4 所述的液体透镜,其特征在于,所述柔性材料包括聚乙烯、聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯中的一种或多种。

6. 如权利要求 1 所述的液体透镜,其特征在于,所述液态介质为亲油性溶液。

7. 一种液体透镜,包括一密封壳体、一第一液态介质、一第二液态介质、一气态介质、一碳纳米管拉膜结构以及至少两个电极,所述第一液态介质、第二液态介质、气态介质和碳纳米管拉膜结构均设置于所述密封壳体内,所述碳纳米管拉膜结构与所述气态介质接触,所述至少两个电极间隔设置并与所述碳纳米管拉膜结构电连接。

8. 如权利要求 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述密封壳体由硬性材料制成。

9. 如权利要求 8 所述的液体透镜,其特征在于,所述硬性材料包括玻璃、树脂中的一种或多种。

10. 如权利要求 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述第一液态介质为亲油性溶液。

11. 如权利要求 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述第二液态介质为亲水性溶液。

12. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述气态介质为非氧化性气体。

13. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述电极由金属、氧化锡、金属性碳纳米管中的一种或多种材料制成。

14. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述碳纳米管拉膜结构紧贴所述密封壳体的内壁设置。

15. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述碳纳米管拉膜结构悬空设置于所述气态介质中。

16. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述碳纳米管拉膜结构包括多个均匀分布且有序排列的碳纳米管。

17. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述碳纳米管拉膜结构包括单层碳纳米管拉膜。

18. 如权利要求 1 或 7 所述的液体透镜,其特征在于,所述碳纳米管拉膜结构包括多层重叠设置的碳纳米管拉膜。

19. 如权利要求 18 所述的液体透镜,其特征在于,相邻的两层碳纳米管拉膜中的碳纳米管的排列方向形成一夹角 β , $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ 。

20. 如权利要求 18 所述的液体透镜,其特征在于,所述碳纳米管拉膜包括多个通过范德华力首尾相连且沿一固定方向择优取向排列的碳纳米管。

液体透镜

技术领域

[0001] 本发明涉及一种液体透镜,尤其涉及一种含碳纳米管拉膜结构的液体透镜。

背景技术

[0002] 液体透镜是一种新型的依据仿生学原理提出的光学元件,其由液体材料制作而成,可通过控制外部形状或改变内部折射率而变焦。

[0003] 根据工作原理和结构的不同,目前的液体透镜可分为三类:(1)基于电润湿(Electrowetting)原理的双液体透镜;(2)通过机械力改变透镜外形和体积的单液体透镜;(3)通过加电改变液晶分子排列状态而引起折射率变化的液晶透镜。其中,基于电润湿原理的双液体透镜是当前液体透镜发展的主流方向,法国的Varioptic公司和荷兰的Philps公司的产品都属此类。

[0004] 与传统的自动对焦镜头相比,液体透镜因为少了移动的机械结构,所以具有体积小、反应速度快、耗电量小、无磨损、寿命长等优点,因此在手机、数码相机、网络摄像头、内窥镜等追求轻、薄、短、小的光学系统中具有很好的应用前景。

[0005] 然而,对于基于电润湿原理的双液体透镜而言,由于其包含两种互不相容、性质各异的液体,且其密封腔内设置有需经过憎水处理的绝缘层,而且其对电极的设置也有特定的要求,因此,该种双液体透镜的结构较为复杂,其制备成本也较高。对于通过机械力改变透镜外形和体积的单液体透镜而言,由于机械力较难控制,因此,该种单液体透镜的变焦精度和工作稳定性均较差。对于通过加电改变液晶分子排列状态而引起折射率变化的液晶透镜而言,由于其制备成本较高,限制了其产业化发展。

[0006] 有鉴于此,确有必要提供一种结构简单、成本低廉、具有较高的变焦精度和工作稳定性的液体透镜,可方便应用于手机、数码相机、网络摄像头、内窥镜等多种电子、光学设备中。

发明内容

[0007] 本发明提供一种液体透镜,包括一密封壳体、一液态介质、一气态介质、一碳纳米管拉膜结构以及至少两个电极,其中,所述液态介质、气态介质和碳纳米管拉膜结构均设置于所述密封壳体内,所述碳纳米管拉膜结构与所述气态介质接触,所述至少两个电极间隔设置并与所述碳纳米管拉膜结构电连接。

[0008] 进一步地,所述密封壳体由一刚性部分和一柔性部分组成。

[0009] 进一步地,所述液体透镜包括一刚性的保护罩,用于保护所述密封壳体的柔性部分。

[0010] 进一步地,所述碳纳米管拉膜结构包括一层碳纳米管拉膜或多层重叠设置的碳纳米管拉膜。

[0011] 本发明还提供另一种液体透镜,包括一密封壳体、两种互不相容的液态介质、一气态介质、一碳纳米管拉膜结构以及至少两个电极,其中,所述液态介质、气态介质和碳纳米

管拉膜结构均设置于所述密封壳体内,所述碳纳米管拉膜结构与所述气态介质接触,所述至少两个电极间隔设置并与所述碳纳米管拉膜结构电连接。

[0012] 进一步地,所述两种互不相容的液态介质之间形成一个弧形的界面。

[0013] 进一步地,所述碳纳米管拉膜结构包括一层碳纳米管拉膜或多层重叠设置的碳纳米管拉膜。

[0014] 相对于现有技术,本发明所提供的液体透镜具有以下优点:其一,结构简单。本发明提供的液体透镜只包括密封壳体、液态介质、气态介质、碳纳米管拉膜结构和电极五个组件,因此结构简单易于制备,且成本低廉。其二,变焦精度高。本发明通过给碳纳米管拉膜结构通电来加热气态介质,通过热胀冷缩效应改变气态介质的体积,进而利用气体膨胀时增大的压强来改变液态介质的形状,最终达到液体透镜变焦的目的。由于碳纳米管拉膜结构通电时间,气态介质温度、体积,液态介质形状,和液体透镜焦距之间存在着既定的规律,因此,可以通过控制其中一个参数来精确控制液体透镜的焦距变化。其三,变焦速度快。由于碳纳米管拉膜结构具有很高的电导率和热导率以及很小的单位面积热容,因此,该碳纳米管拉膜结构具有升降温速度快(即热响应速度快)的优点,从而能快速调节液体透镜的焦距。

附图说明

[0015] 图1为本发明第一实施例提供的液体透镜的示意图。

[0016] 图2为本发明第二实施例提供的液体透镜的示意图。

[0017] 图3为图1和图2的液体透镜中第一种碳纳米管拉膜结构的爆破图。

[0018] 图4为图1和图2的液体透镜中第二种碳纳米管拉膜结构的爆破图。

[0019] 图5为图1和图2的液体透镜中第三种碳纳米管拉膜结构的爆破图。

[0020] 图6为本发明实施例提供的液体透镜中单层碳纳米管拉膜的扫描电镜照片。

[0021] 主要元件符号说明

[0022]	10, 20	液体透镜
[0023]	110, 210	密封壳体
[0024]	112	刚性部分
[0025]	114	柔性部分
[0026]	120, 220	气态介质
[0027]	130,	液态介质
[0028]	140, 240	碳纳米管拉膜结构
[0029]	142	碳纳米管拉膜
[0030]	144	碳纳米管
[0031]	150, 250	第一电极
[0032]	160, 260	第二电极
[0033]	230	第一液态介质
[0034]	232	第二液态介质

[0035] 如下具体实施方式将结合上述附图进一步说明本发明。

具体实施方式

[0036] 实施例一

[0037] 请参见图 1, 本发明实施例提供一种液体透镜 10, 该液体透镜 10 包括一密封壳体 110; 一液态介质 130 和一气态介质 120, 该液态介质 130 和气态介质 120 均设置于所述密封壳体 110 的内部; 一碳纳米管拉膜结构 140, 该碳纳米管拉膜结构 140 设置于所述气态介质 120 中, 且与所述液态介质 130 隔离; 以及一第一电极 150 和一第二电极 160, 该第一电极 150 与第二电极 160 间隔设置且与所述碳纳米管拉膜结构 140 电连接。

[0038] 所述密封壳体 110 用于盛装所述液态介质 130 和气态介质 120。所述密封壳体 110 由位于其上端的刚性部分 112 和位于其下端的柔性部分 114 组成。所述刚性部分 112 和柔性部分 114 结合的方式不限, 只要保证所述密封壳体 110 的密封性即可。本实施例中, 所述刚性部分 112 和所述柔性部分 114 通过粘结而组合在一起。所述刚性部分 112 和柔性部分 114 的形状不限, 本实施例中, 所述刚性部分 112 选用圆柱体形状, 所述柔性部分 114 选用直径与上述圆柱体相等的半凸透镜形状。

[0039] 所述刚性部分 112 由硬性材料制成, 硬性材料可保证所述刚性部分 112 不发生变形, 从而不会影响所述液体透镜 10 的变焦精度和工作稳定性。硬性材料可选玻璃、树脂、石英或塑料等。本实施例中, 所述刚性部分 112 优选为由高透明度、高绝缘性的玻璃制成。

[0040] 所述柔性部分 114 由柔性材料制成, 柔性材料可使该柔性部分 114 在微小压力下变形, 以达到改变所述液体透镜 10 的焦距的目的。柔性材料可选柔性高分子材料, 如聚乙烯、聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等, 本实施例中, 所述柔性部分 114 优选为由高透明度的聚甲基丙烯酸甲酯薄膜制成。所述刚性部分 112 和柔性部分 114 的尺寸(直径)可随该液体透镜 10 的用途在 1 毫米至 10 厘米之间调整。本实施例中, 所述刚性部分 112 和柔性部分 114 的直径均为 1 厘米。

[0041] 所述液态介质 130 的成分不限, 可选电解质溶液、非电解质溶液、有机溶液、无机溶液、亲水性溶液以及亲油性溶液中的一种或多种。优选地, 本实施例中, 所述液态介质 130 优选为粘度较大的液体, 如亲油性溶液, 当该液态介质 130 粘度较大时, 其与密封壳体 110 形成的接触角的最大值较大, 从而使该液体透镜 10 的焦距可调范围较大。

[0042] 所述液态介质 130 主要填充于所述密封壳体 110 的柔性部分 114, 所述液态介质 130 的体积可小于、等于或略大于所述柔性部分 114 的体积, 优选地, 本实施例中的液态介质 130 正好充满所述柔性部分 114。

[0043] 所述气态介质 120 为非氧化性气体, 如氮气、惰性气体、氢气等。本实施例中所述气态介质 120 优选氩气。选用非氧化性气体作为本发明中的气态介质 120, 可防止所述碳纳米管拉膜结构 140 在通电加热过程中发生氧化烧损。

[0044] 所述气态介质 120 在所述密封壳体 110 内的气压在 0.5 ~ 1.5 个大气压之间, 本实施例中优选 1 个大气压。

[0045] 所述第一电极 150 和第二电极 160 可由银、铜、铝等金属或其合金制成, 也可由氧化铟锡、金属性碳纳米管等材料制成。所述第一电极 150 和第二电极 160 的形状不限, 可以为片状、线状或其它任意形状。本实施例中, 优选使用金属性碳纳米管材料制成的电极。

[0046] 可以理解, 本发明可设置多个电极, 其数量不限, 只需确保任意两个相邻的电极均分别与所述碳纳米管拉膜结构 140 的两端电连接即可。

[0047] 所述碳纳米管拉膜结构 140 为一柔性自支撑结构,其既可悬空设置于所述气态介质 120 中,也可紧贴所述密封壳体 110 的内壁设置。当所述碳纳米管拉膜结构 140 紧贴所述密封壳体 110 的内壁设置时,其紧贴于所述密封壳体 110 的刚性部分 112 的内壁设置。本实施例中的碳纳米管拉膜结构 140 优选为悬空设置于所述密封壳体 110 内。当所述碳纳米管拉膜结构 140 悬空设置时,该碳纳米管拉膜结构 140 的两端通过导电胶分别与所述第一电极 150 和第二电极 160 固定,且所述第一电极 150 和第二电极 160 均固定于所述密封壳体 110 上。当所述碳纳米管拉膜结构 140 紧贴所述密封壳体 110 的内壁设置时,通过导电胶直接固定于内壁上。

[0048] 所述碳纳米管拉膜结构 140 为一具有较薄厚度的面状结构。所述碳纳米管拉膜结构 140 的横向尺寸可随所述密封壳体 110 的尺寸大小而调节。优选地,本实施例中,所述碳纳米管拉膜结构 140 的横向尺寸等于所述密封壳体 110 的直径。

[0049] 所述碳纳米管拉膜结构 140 包括多个均匀分布的碳纳米管,该多个碳纳米管有序排列。所谓有序排列是指碳纳米管的排列方向有规则。所述碳纳米管拉膜结构 140 中的碳纳米管包括单壁碳纳米管、双壁碳纳米管及多壁碳纳米管中的一种或多种。所述单壁碳纳米管的直径为 0.5 纳米~50 纳米,所述双壁碳纳米管的直径为 1.0 纳米~50 纳米,所述多壁碳纳米管的直径为 1.5 纳米~50 纳米。

[0050] 所述碳纳米管拉膜结构 140 的厚度为 1 纳米~100 微米。优选地,本实施例中,该碳纳米管拉膜结构 140 的厚度为 0.5 微米~5 微米。所述碳纳米管拉膜结构 140 的单位面积热容小于 2×10^4 焦耳每平方厘米开尔文。优选地,所述碳纳米管拉膜结构 140 的单位面积热容小于 1.7×10^6 焦耳每平方厘米开尔文。

[0051] 请一并参见图 3 至图 6,所述碳纳米管拉膜结构 140 可以是单层的碳纳米管拉膜 142,也可以由多层碳纳米管拉膜 142 重叠设置而成。所述碳纳米管拉膜 142 可通过拉取一碳纳米管阵列直接获得。该碳纳米管拉膜 142 包括多个择优取向排列的碳纳米管 144,且相邻的两个碳纳米管 144 之间通过范德华力首尾相连,形成一自支撑的结构。

[0052] 可以理解,通过将多个碳纳米管拉膜 142 重叠铺设,可以制备出不同面积与厚度的碳纳米管拉膜结构 140。当碳纳米管拉膜结构 140 包括多个重叠设置的碳纳米管拉膜 142 时,相邻的碳纳米管拉膜 142 中的碳纳米管 144 的排列方向形成一夹角 β , $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ 。多层重叠设置的碳纳米管拉膜 142,尤其是多层重叠交叉设置的碳纳米管拉膜 142 相对单层碳纳米管拉膜 142 具有更高的强度,故在将所述碳纳米管拉膜结构 140 放入所述气态介质 120 中时,可确保碳纳米管拉膜结构 140 的结构不被破坏或改变。然而,所述液体透镜 10 对该碳纳米管拉膜结构 140 的透光率有较高要求(大于等于 70%),当所述碳纳米管拉膜结构 140 中重叠设置了过多的碳纳米管拉膜 142 时,会导致整个碳纳米管拉膜结构 140 的厚度过大,从而影响该碳纳米管拉膜结构 140 的透光率。因此,所述碳纳米管拉膜结构 140 中并非设置越多层的碳纳米管拉膜 142 越好。优选地,所述碳纳米管拉膜结构 140 中的碳纳米管拉膜 142 的层数不大于 10 层。更优选地,所述碳纳米管拉膜结构 140 中包括两层碳纳米管拉膜 142。

[0053] 由于碳纳米管 144 的轴向导电性能远远大于其径向导电性能,当所述碳纳米管拉膜结构 140 包括多个重叠设置的碳纳米管拉膜 142,且相邻的碳纳米管拉膜 142 中的碳纳米管 144 的排列方向一致(即 $\beta = 0^\circ$) 时,可将所述碳纳米管拉膜结构 140 从第一电极

150 向第二电极 160 的方向延伸设置,从而使所述液体透镜 10 工作时,流经所述碳纳米管拉膜结构 140 的电流最大,整个装置的功耗最小,同时提高该液体透镜 10 的变焦速度。

[0054] 所述液体透镜 10 未通电时,可作为一普通的具有固定焦距的镜头使用。当通过所述第一电极 150 和第二电极 160 给所述液体透镜 10 通电时,该液体透镜 10 可作为一可变焦的镜头使用。其具体工作原理如下:首先,通过所述第一电极 150 和第二电极 160 给所述液体透镜 10 中的碳纳米管拉膜结构 140 通电,所述碳纳米管拉膜结构 140 通电后温度升高,所述碳纳米管拉膜结构 140 将热量快速传导给所述气态介质 120,所述气态介质 120 温度升高后体积增大,所述气态介质 120 施加于所述液态介质 130 的压强增大,改变所述液态介质 130 的形状,同时改变所述柔性部件 114 的形状(曲率半径),最终改变所述液体透镜 10 的焦距。可以理解,所述液体透镜 10 的焦距变化的幅度与通电时间有关,在其变化幅度的极限范围内,通电时间越长,焦距变化的幅度越大。另外,所述液体透镜 10 的焦距变化幅度的极限范围与所述液态介质 130 的性质有关,尤其是所述液态介质 130 的粘度。即,所述液态介质 130 的粘度越大,所述液体透镜 10 的焦距变化幅度的极限值越大,反之亦然。

[0055] 实施例二

[0056] 请参见图 2,本发明实施例提供另一种液体透镜 20,该液体透镜 20 包括一密封壳体 210;一第一液态介质 230、一第二液态介质 232 和一气态介质 220,该第一液态介质 230、第二液态介质 232 和气态介质 220 均设置于所述密封壳体 210 的内部;一碳纳米管拉膜结构 240,该碳纳米管拉膜结构 240 设置于所述气态介质 220 中,且与所述第一液态介质 230 和第二液态介质 232 隔离;以及一第一电极 250 和一第二电极 260,该第一电极 250 与第二电极 260 间隔设置且与所述碳纳米管拉膜结构 240 电连接。

[0057] 所述密封壳体 210 用于盛装所述第一液态介质 230、第二液态介质 232 和气态介质 220。与实施例一中的密封壳体 110 的结构不同,本实施例中的密封壳体 210 整体均由硬性材料制成,硬性材料可保证所述密封壳体 210 不发生变形,从而不会影响所述液体透镜 20 的变焦精度和工作稳定性。硬性材料可选玻璃、树脂、石英或塑料等。本实施例中,所述密封壳体 210 优选为由高透明度、高绝缘性的玻璃制成。

[0058] 所述密封壳体 210 的形状不限,本实施例中优选为圆柱体形状。所述密封壳体 210 的尺寸(直径)可随该液体透镜 20 的用途在 1 毫米至 10 厘米之间调整。本实施例中,所述密封壳体 210 的直径优选为 1 厘米。

[0059] 进一步地,可对所述密封壳体 210 的内壁做亲水憎油处理。

[0060] 所述第一液态介质 230 与所述第二液态介质 232 为互不相容的两种液体。所述第一液态介质 230 的密度小于所述第二液态介质 232 的密度。因此,在所述密封壳体 210 中,所述气态介质 220 位于最上端。所述第一液态介质 230 与所述气态介质 220 接触,位于中间部分。所述第二液态介质 232 与所述第一液态介质 230 接触且与所述气态介质 220 隔离,位于最下端。

[0061] 所述第一液态介质 230 为一亲油性溶液,所述第二液态介质 232 为一亲水性溶液。由于所述密封壳体 210 的内壁具有亲水憎油性质,所以所述第一液态介质 230 和第二液态介质 232 之间的界面呈一下凹的弧形。在本实施例中,所述第一液态介质 230 作为该液体透镜 20 中的工作液体,即在该液体透镜 20 工作时,通过改变所述第一液态介质 230 的形状(由第一液态介质 230 与第二液态介质 232 之间的界面决定)来改变该液体透镜 20 的焦

距。

[0062] 可以理解的,所述第一液态介质 230 和第二液态介质 232 均为透明液体。

[0063] 所述气态介质 220 为非氧化性气体,如氮气、惰性气体、氢气等。本实施例中所述气态介质 220 优选氩气。选用非氧化性气体作为本发明中的气态介质 220,可防止所述碳纳米管拉膜结构 240 在通电加热过程中发生氧化烧损。

[0064] 所述气态介质 220 在所述密封壳体 210 内的气压在 0.5 ~ 1.5 个大气压之间,本实施例中优选 1 个大气压。

[0065] 所述第一电极 250 和第二电极 260 可由银、铜、铝等金属或其合金制成,也可由氧化铟锡、金属性碳纳米管等材料制成。所述第一电极 250 和第二电极 260 的形状不限,可以为片状、线状或其它任意形状。本实施例中,优选使用金属性碳纳米管材料制成的电极。

[0066] 可以理解,本发明可设置多个电极,其数量不限,只需确保任意两个相邻的电极均分别与所述碳纳米管拉膜结构 240 的两端电连接即可。

[0067] 所述碳纳米管拉膜结构 240 的结构、位置、尺寸等参数与实施例一中碳纳米管拉膜结构 140 相同。

[0068] 所述液体透镜 20 未通电时,可作为一普通的具有固定焦距的镜头使用。当通过所述第一电极 250 和第二电极 260 给所述液体透镜 20 通电时,该液体透镜 20 可作为一可变焦的镜头使用。其具体工作原理如下:首先,通过所述第一电极 250 和第二电极 260 给所述液体透镜 20 中的碳纳米管拉膜结构 240 通电,所述碳纳米管拉膜结构 240 通电后温度升高,所述碳纳米管拉膜结构 240 将热量快速传导给所述气态介质 220,所述气态介质 220 温度升高后体积增大,所述气态介质 220 施加于所述第一液态介质 230 的压强增大,改变所述第一液态介质 230 的形状,最终改变所述液体透镜 20 的焦距。可以理解,所述液体透镜 20 的焦距变化的幅度与通电时间有关,在其变化幅度的极限范围内,通电时间越长,焦距变化的幅度越大。另外,所述液体透镜 20 的焦距变化幅度的极限范围与所述第一液态介质 230 和第二液态介质 232 的性质有关。即,所述第一液态介质 230 的粘度越大、亲油性越高,所述第二液态介质 232 的亲水性越高,则所述液体透镜 20 的焦距变化幅度的极限值越大,反之亦然。

[0069] 本发明所提供的液体透镜具有以下优点:其一,结构简单。本发明提供的液体透镜只包括密封壳体、液态介质、气态介质、碳纳米管拉膜结构和电极五个组件,因此结构简单易于制备,且成本低廉。其二,变焦精度高。本发明通过给碳纳米管拉膜结构通电来加热气态介质,通过热胀冷缩效应改变气态介质的体积,进而利用气体膨胀时增大的压强来改变液态介质的形状,最终达到液体透镜变焦的目的。由于碳纳米管拉膜结构通电时间,气态介质温度、体积,液态介质形状,和液体透镜焦距之间存在着既定的规律,因此,可以通过控制其中一个参数来精确控制液体透镜的焦距变化。其三,变焦速度快。由于碳纳米管拉膜结构具有很高的电导率和热导率以及很小的单位面积热容,因此,该碳纳米管拉膜结构具有升降温速度快(即热响应速度快)的优点,从而能快速调节液体透镜的焦距。

[0070] 另外,本领域技术人员还可在本发明精神内做其他变化,当然,这些依据本发明精神所做的变化,都应包含在本发明所要求保护的范围之内。

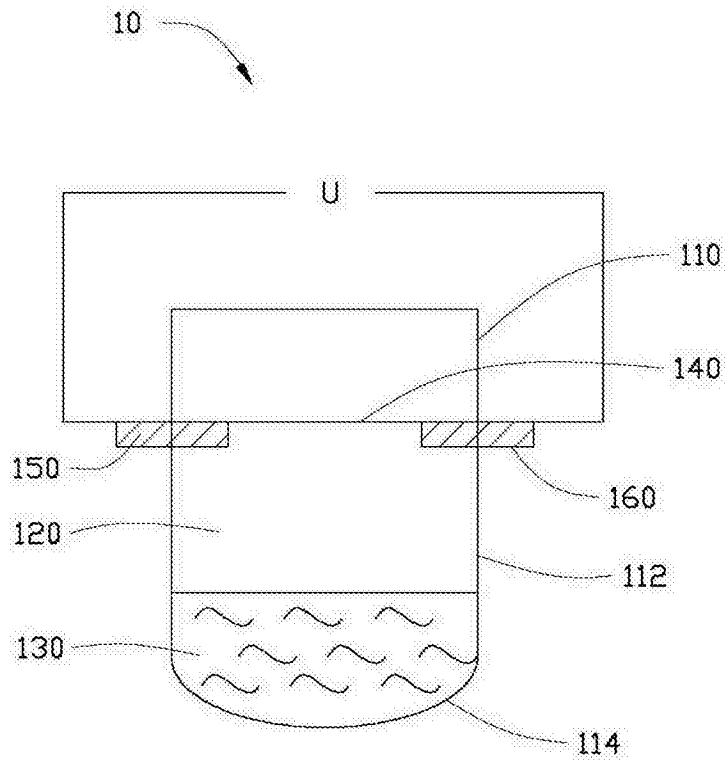


图 1

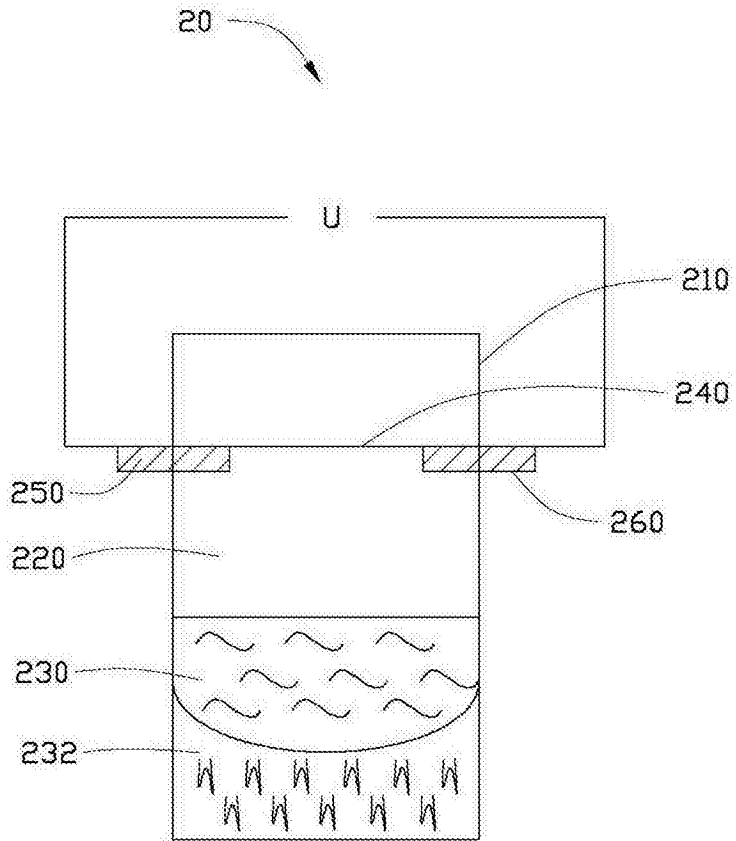


图 2

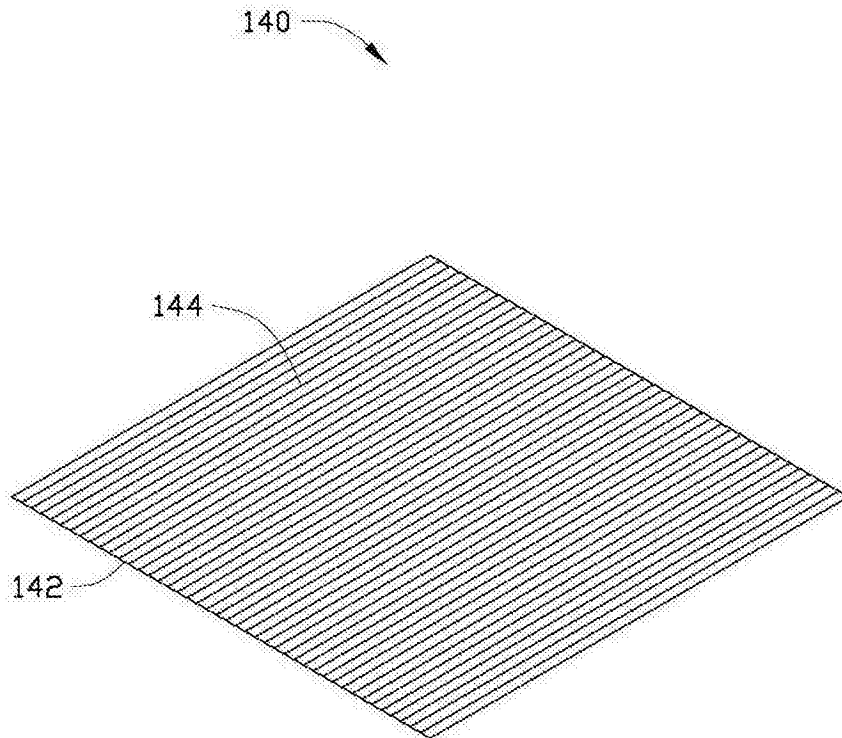


图 3

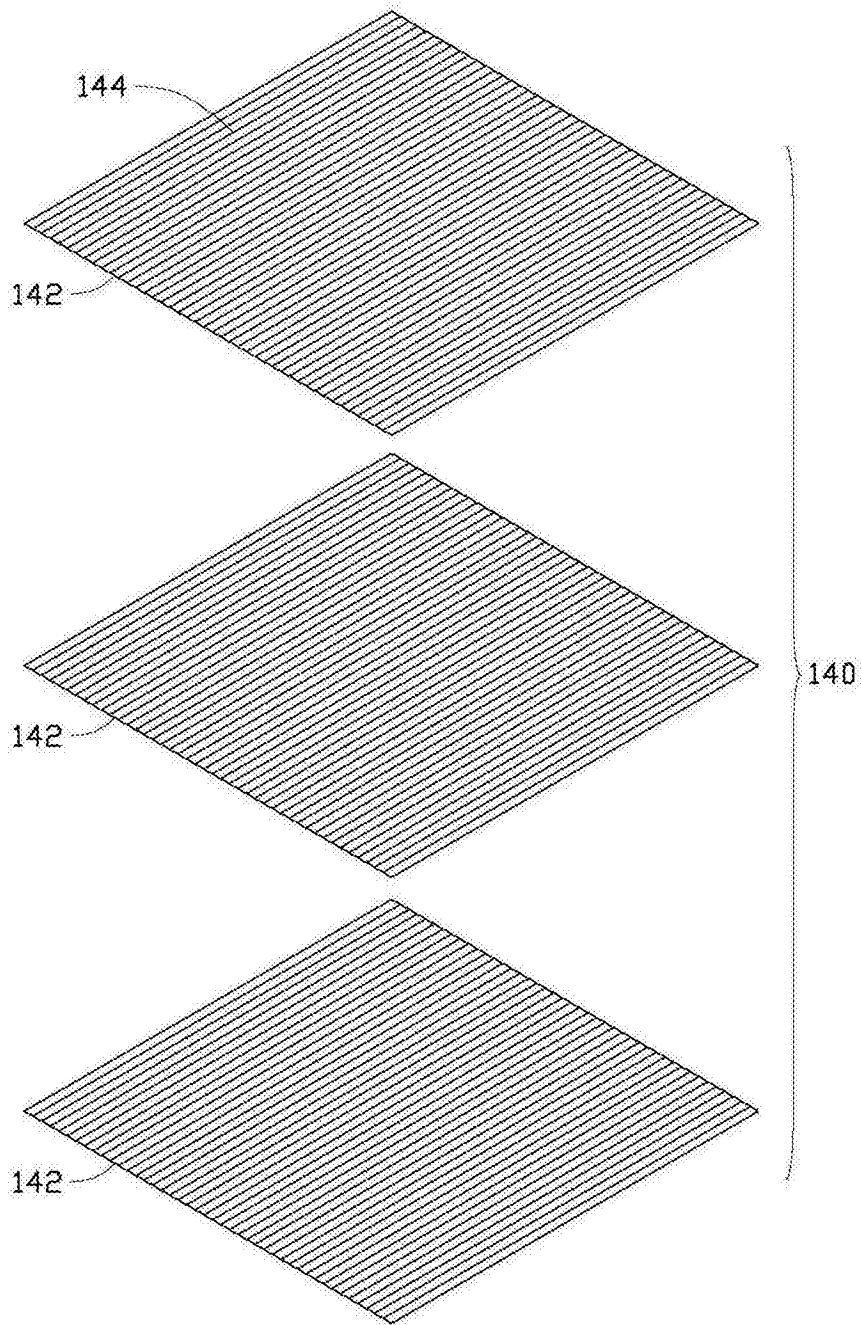


图 4

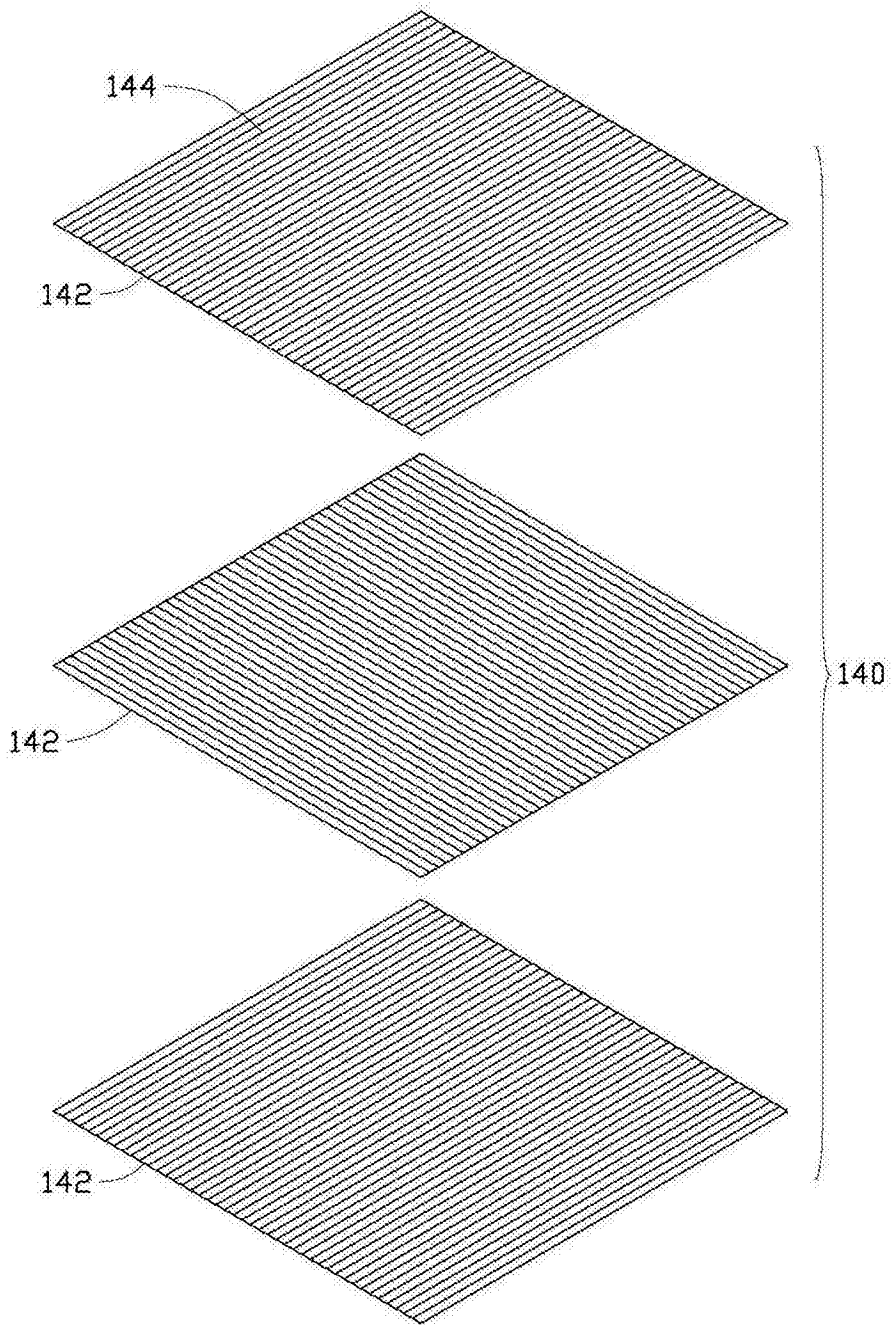


图 5

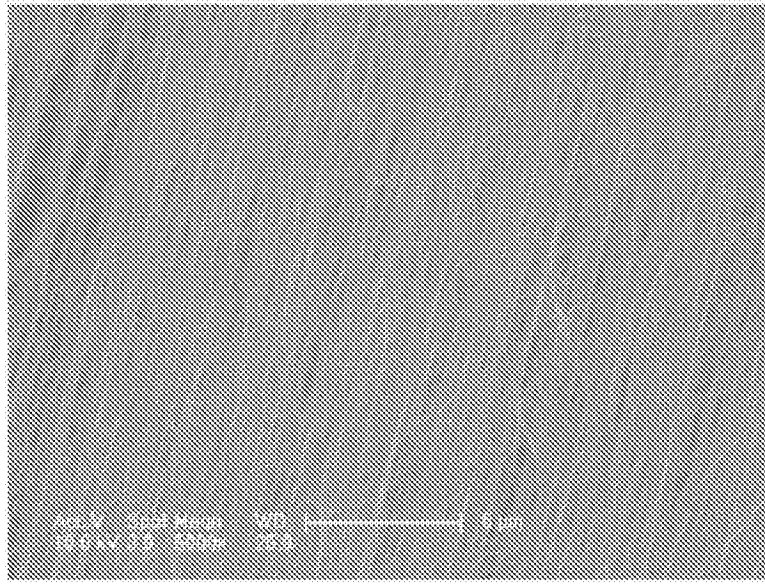


图 6