

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

G02B 3/12

G02B 5/18 G02B 5/08



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410031498.4

[43] 公开日 2004年10月6日

[11] 公开号 CN 1534312A

[22] 申请日 2004.3.30

[21] 申请号 200410031498.4

[30] 优先权

[32] 2003.3.31 [33] US [31] 10/403, 159

[71] 申请人 朗迅科技公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 阿维诺姆·科恩布利特

季莫费·N·克劳片金

玛丽·L·曼迪奇

托比亚斯·M·施奈德

约瑟夫·A·泰勒 杨 澍

[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

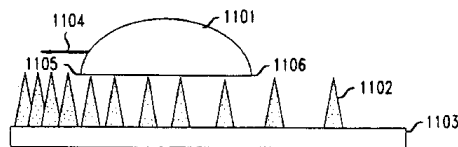
代理人 郑修哲

权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 14 页

[54] 发明名称 在一个超微结构或显微结构的表面上控制一种液体的运动用的方法和装置

[57] 摘要

公开一种方法和装置，其中设置在一个超微结构或显微结构的表面上的一个液滴的运动是取决于超微结构的特征图案的至少一个特征，或者液滴的至少一个特征。在一个实施例中，液滴的横向的运动取决于超微结构的特征图案的至少一个特征，这样使液滴在一个希望的方向上沿着一个超微结构的特征图案运动。在另一个实施例中，液滴的运动取决于或者超微结构特征图案的至少一个特征，或者液滴的至少一个特征，以这样一种方式使液滴在一个希望的区域渗透特征图案以及变成基本上不移动的。



ISSN 1008-4274

1. 一种装置，包括一个具有一个特征图案的表面，上述的表面包括：  
一组具有图案内特征的超微结构显微结构，至少一个上述的图案内特征适合产生在上述的表面上设置的一个液滴在一个预定的方向上的控制的运动。

2. 按照权利要求 1 的装置，其特征在于，上述的至少一个上述的图案内特征是上述的超微结构或显微结构中至少一个相对于上述的液滴的一个电压。

3. 按照权利要求 1 的装置，其特征在于，上述的至少一个上述的图案内特征是上述的一组超微结构或显微结构的每个至少一部分之间的一个距离。

4. 按照权利要求 1 的装置，其特征在于，上述的至少一个上述的图案内特征是上述的一组超微结构或显微结构的至少一部分的一个形状。

5. 一种装置，包括：

一个具有超微结构或显微结构的一个图案的表面，超微结构或显微结构的上述的图案的至少一部分的空间密度是可以改变的；和

一个液滴设置在上述的表面上；

其中，上述的图案的空间密度适合在一个预定的方向上产生上述的液滴的控制的运动。

6. 一种装置，包括：

一个具有超微结构或显微结构的一个图案的表面，超微结构或显微结构的上述的图案的至少一部分的空间密度是可以改变的；以及

一个液滴设置在上述的表面上；

其中，上述的表面和上述的液滴之间的接触区域适合在一个预定的方向上产生上述的液滴的控制的运动。

7. 一种装置，包括：

一个具有超微结构或显微结构的一个图案的表面；

一个液滴设置在上述的表面上；以及

用于引起上述的液滴以渗透上述的表面的器件。

8. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，上述的用于引起渗透的器件包括用于施加一个电压至上述的液滴的器件。

9. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，上述的用于引起渗透的器件包括用于减少上述的液滴的表面张力的器件。

10. 按照权利要求 9 的装置，其特征在于，上述的用于减小表面张力的器件包括用于引入至少一种化学或生物元素进入上述的液滴的至少一部分的器件。

11. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，入射在上述的表面上的至少一部分光束前进通过上述的表面，上述的一部分光束取决于是否上述的液滴渗透进入上述的表面。

12. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，入射在上述表面上的至少一部分光束反射出上述的表面，上述的一部分光束取决于是否上述的液滴渗透进入上述的表面。

13. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，一个光束的一个第一波长是在一个第一预定的方向上反射出上述的表面。

14. 按照权利要求 13 的装置，其特征在于，当上述的液滴渗透上述的图案时，光线的一个第二波长是在一个第二预定的方向上反射出上述的表面。

15. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，上述的用于引起渗透的器件包括用于提高上述的液滴的温度的器件。

16. 按照权利要求 7 的装置，其特征在于，上述用于引起渗透的器件包括用于提高上述的表面的温度的器件。

17. 一种装置，包括一个表面，上述的表面适合在一个预定的方向上产生一个液滴的控制的运动，上述的液滴设置在上述的表面上，上述的表面包括一组超微结构或微米结构，其中，上述的一组结构具有来自上述一组结构的至少一个第二部分的不同的空间密度。

18. 一种装置，包括一个表面，上述的表面适合在一个预定的方向上产生一个液滴的控制的运动，上述的液滴设置在上述的表面上，上述的

表面包括一组超微结构或显微结构，其中，每个超微结构或显微结构在上述的一组结构的至少一个第一部分具有一个预定的不对称形状。

19. 按照权利要求 18 的装置，其特征在于，每个超微结构或显微结构在上述的一组结构的至少一个第二部分具有一个改变的空间密度。

20. 一种使用一个探测器探测化学或生物元素存在的方法，上述的探测器具有一个表面，上述的表面包括超微结构或显微结构的一个图案，以及一个液滴设置在上述的表面上，上述的方法包括暴露上述的探测器至一个介质的步骤，

其中，上述的液体是用这样一种方式选择，使上述的液滴渗透上述的表面以响应被引入上述的液滴内的上述的介质内的一种化学或生物元素。

21. 按照权利要求 20 的方法，其特征在于，还包括产生响应上述的液滴渗透上述的表面的一个指示。

22. 按照权利要求 21 的方法，其特征在于，上述的指示包括在上述的表面的至少一部分的颜色的一个改变。

23. 按照权利要求 21 的方法，其特征在于，上述的指示包括一个电信号。

24. 一种显微流体混合器，包括：

一个第一沟槽，适合容纳一种第一液体；

一个第二沟槽，适合容纳一种第二液体；

一个第三沟槽，适合容纳一种第三液体；

其中，上述的第三液体包括上述的第一液体和上述的第二液体；

用于合并上述的第一沟槽和上述的第二沟槽进入上述的第三沟槽的器件；和

用于借助引起至少一个上述的第一液体和上述的第二液体渗透上述的第三沟槽的一个表面而干扰上述的第三沟槽内的流动的器件。

25. 一种可调节的热散逸器件，包括：

适合容纳一种液体的一个沟槽，

其中，一个热产生器件设置在上述的沟槽的一个表面上；和

---

用于借助引起上述的液体渗透上述的沟槽的一个表面而干扰上述的沟槽内的流动的器件。

在一个超微结构或显微结构的表面上  
控制一种液体的运动用的方法和装置

### 技术领域

本发明一般地涉及在带有极微细的预定的表面特征的一个表面上设置的液体的运动，以及更具体地说，涉及在带有预定的超微结构或显微结构特征的一个表面上控制一种液体的运动。

### 背景技术

在无数的用途之中许多有利的器件或结构至少部分地是以具有一种液体与至少一种固体表面相接触作为特征，例如，设置在表面上或沟槽内的液体小滴是许多显微流体器件，生物/化学传感器，化学反应器，光学部件，热散逸器件以及制图案用途的检验标记。许多这些器件和用途的特征在于，液体运动或引起运动，而这时与一个表面接触。由于液体和表面两者的特征确定了液体和表面之间的相互反应，它经常希望了解和控制这些特征，以达到控制液体与这些表面的相互反应。当这个用途由于怀疑含有较小数量的液体时这点就尤其重要。

图 1 示出小液滴 102 放置在一个表面上的一个说明性的现有技术的实施例，其放置的方式使它形成一个液体的微距镜 101。这种微距镜是下列同时待审的申请的主题：美国专利申请系列号 No. 09/884,605, (申请日：2001, 7, 19; 发明名称：“可调节的液体微距镜”)和美国专利申请系列号 No. 09/951,637, (申请日：2001, 9, 13; 发明名称：“具有润滑辅助的电润湿的可调节的微距镜”)。此两文件的全部内容结合作为本申请的参考。图 1 的微距镜实施例可以有用地显示任何液体的小滴与放置它的表面之间的相互反应，无论小滴和表面是否是微距镜或其它用途的一部分。在图 1 中，小滴 102 是一种透明液体（如水）的小滴，典型地（但不是必需要）具有一个直径为数微米至数毫米。小滴设置在一个透明的基片 103 上，该基片典型地是憎水性的，包括一个憎水性涂层。小滴和

基片之间的接触角  $\theta$  取决于界面表面张力 (也称为界面能 “ $\gamma$ ”, 通常以  $\text{mN/m}$  (毫牛顿/米) 测量。这里使用的  $\gamma_{S-V}$  是基片 103 和围绕基片的空气, 气体和其它液体之间的界面张力,  $\gamma_{L-V}$  是液滴和围绕液滴的空气, 气体或其它液体之间的界面张力, 以及  $\gamma_{S-L}$  是基片 103 和液滴之间的界面张力。接触角  $\theta$  可以由公式 (1) 确定:

$$\text{公式 (1) } \cos \theta = \gamma_{S-V} - \gamma_{S-L} / \gamma_{L-V}$$

公式 (1) 使用于任何情况, 其中液滴是设置在一个表面上, 无论液滴是否用作一个微距镜。

在图 1 的微距镜的实施例以及在一液体设置在一个表面上的其它的情况下, 经常希望能够改变液滴的形状。图 2 示出一个现有技术的微距镜 201, 与图 1 的微距镜类似, 其中电浸湿现象使用于改变液滴的形状, 它借助可反向地改变一种导电的液体的液滴 202 和一个介电绝缘层 203 之间的接触角  $\theta$ , 介电绝缘层 203 具有一个厚度 “ $d$ ” 和一个介电常数  $\epsilon_r$ 。一个电极 (如一金属电极 204) 定位在介电层 203 的下面, 以及借助此介电层与液滴 202 绝缘。液滴 202 可以是, 例如一个水滴, 以及介电绝缘层 203 可以是, 例如聚四氟乙烯/聚对二甲苯 (Teflon/Parylene) 表面。

当一个电压差存在于液滴 202 和电极 204 之间时, 液滴 202 保持它的形状, 取决于液滴的体积和接触角  $\theta$ , 其中  $\theta_1$  取决于界面张力  $\gamma$ , 如以上所述。当一个电压  $V$  施加至电极 204 时, 在电极 204 和液滴 202 之间的电压差引起液滴扩散。虚线 205 示出液滴 202 相对于电极 204 从它的中心位置相等地扩散跨过绝缘层 203。特殊的是, 当电压施加至电极 204 和液滴 202 之间时, 接触角  $\theta$  减小由  $\theta_1$  至  $\theta_2$ 。借助使用位于液滴不同部分下面的单独的电极以及改变至这些单独的电极的电压, 能够达到液滴的扩散, 这样使液滴移动由中心位置至另一个希望的位置。这种运动在上述的、同时待审的美国专利申请 09/884,605 和 09/951,637 中说明。无论为了改变液滴的形状或它的位置, 达到这种扩散需要的电压  $V$  可由数伏改变至数百伏。分散的数量, 即由  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的差别确定的, 是施加电压  $V$  的一个函数。接触角  $\theta_2$  可以由公式 (4) 确定:

$$\text{公式 (4) } \cos(V) = \cos \theta (V=0) + V^2 (\epsilon_0 \epsilon_r) / (2d \gamma_{L-V})$$

式中  $\cos \theta (V=0)$  是绝缘层 203 和液滴 202 之间的接触角，这时没有电压施加在液滴 202 和电极 204 之间； $\gamma_{L-V}$  是上面所述的液滴界面张力； $\epsilon_r$  是绝缘层 203 的介电常数；以及  $\epsilon_0$  是  $8.85 \times 10^{-12} \text{F/M}$  一个真空的介电常数。

在器件中，比如上述的液体微距镜中，当设置液滴的表面是憎水性的时，表面的特征是这样的，在液滴进入与表面接触的区域，液滴显著地变平。因此，由于在表面和液滴之间最终的大的接触面积，一个显著数量的流动阻力存在于表面和液滴之间。这点在上述的微距镜中是希望的，因为如果这里有太小的流动阻力存在，液滴将自由地移动以及将变得不可能在没有其它器件用于控制液滴的情况下保持液滴在它的希望的静止位置或形状。然而，在许多情况下，经常希望减小一个表面上一种液体经受的流动阻力。

因此，现在的用途是依赖于在此种表面上设置的液体，其中心的企图是减小液体经受的上述的流动阻力。许多器件，比如上述的那些器件能够由这种减小的流动阻力获益，这是因为这些器件的工作功率消耗的显著的降低。一种这样的用途在下列文件中说明：“Nanostructured Surfaces for Dramatic Reduction of Flow Resistance in Droplet-based Microfluidics”，J.Kim and C.J.Kim, IEEE Conf. MEMS, Las Vegas, NV, Jan, 2002, PP. 479-482。该文件整个内容结合本申请作为参考。此文件一般地说明如何借助使用带有预定的超微结构特征的表面使与表面接触的液体的流动阻力极大地减小。

Kim 的参考文件教导，借助于液体接触的表面精细的图案化以及使用液体表面张力的上述的原理，有可能极大地减少表面和液体之间的接触面积。跟随的是在表面上的液体的流动阻力相应地减小。

图 3A-F 示出非常不同的极精细的特征的显微结构和超微结构的表面图案导致的最终的表面和一种液体液滴之间不同的接触角。图 3A 和 3B 分别地示出一个显微线表面和一个显微柱表面。在图 3A 中每个线 301 为宽度约  $3-5 \mu\text{m}$ ，以及在图 3B 中每显微柱 302 在它们的最宽点为直径约



3-5  $\mu\text{m}$ 。对于设置在每个表面上一个给定尺寸的液滴对比显微线图案和显微柱图案，带有显微线图案的液滴的接触面积大于带有显微柱图案的液滴的接触面积。图 3D 和 3E 分别地示出相对于图 3A 的显微线表面和图 3B 的显微柱表面的一个液滴的接触角。在显微线图案上的液滴 305 的接触角 303 ( $\sim 145^\circ$ ) 小于带有显微柱图案的液滴 306 的接触角 ( $\sim 160^\circ$ )。如以上所述，直接地跟随的是，被显微线图案施加在液滴上的流动阻力高于被显微柱图案施加在液滴上的流动阻力。图 3C 示出一个比显微线和显微柱图案还更精细的图案。尤其是，图 3C 示出一个超微柱图案，带有每个超微柱 309 具有直径小于  $1\ \mu\text{m}$ 。虽然图 3C 示出的超微柱 309 形成为稍带锥形，其它的形状和尺寸也是可以达到的。事实上，已生产圆柱形的超微柱阵列，每个超微柱具有直径小于  $10\text{nm}$ 。特别地，图 4A-4E 示出使用不同的方法生产的超微柱的说明性的排列，以及还示出这种不同直径的超微柱能够成形为不同的规律性程度。并且，这些图显示，有可能生产超微柱，具有不同的直径和不同的间距。一种生产超微柱的说明性的方法可在下列专利发现：美国专利 No. 6, 185, 961, (2001, 1, 13 授予 Tonucci 等人的发明名称为“超微柱阵列和制造方法”的美国专利) 在此处列出其整个内容供参考。超微柱已经使用各种方法生产，比如使用一个模板以形成柱子，借助各种石印方法和各种浸蚀方法生产。

参见图 3F，设置在图 3C 的超微柱表面上的一个液滴 307 是接近球形的，带有在表面和液滴之间一个接触角 308 等于  $175^\circ$  和  $180^\circ$  之间。设置在表面上的液滴 307 经受接近零的流动阻力。作为一个结果，如 Kim 的参考文献所指出，在这种表面上设置一个液滴的现有的企图是有问题的，因为这种极低的流动阻力使得几乎不可能在超微结构的表面上保持水滴静止不动。如图 5 所示，这种低流动阻力的原因是，一种适当的液体的液滴 501 的表面张力（取决于表面结构）能使液滴 501 悬浮在超微柱的顶上，在液滴和底层固体表面之间没有接触。这样导致在液滴和表面之间极低的接触面积（即液滴仅与每个柱 502 的顶面接触）以及因此低的流动阻力。

因此，如 Kim 的参考文献的教导，通过使用超微结构以减小流动阻

力的现有企图被限制于设置液滴在一个狭窄的沟槽、管子或其它的包皮内，以便在一个规定的区域内控制液滴的自由运动。

### 发明内容

虽然在一个超微结构或显微结构的特征图案上有利地设置一个液滴的现有的企图被局限于设置液滴在一个限定的沟槽内，我们已实现应极为有利地能够可变地控制在一个超微结构或显微结构表面上设置的一个液滴的运动，而不需要将液滴放置在一个沟槽内。我们还实现应特别有利地控制一个液滴与一个超微结构或显微结构表面的界面的性能，这样使施加在液体上的流动阻力的数量作为在超微结构或显微结构表面之间接触面积的一个结果。此外我们还实现在许多用途中应高度有利地能够控制超微结构或显微结构表面内部液滴的渗透程度。

我们已发明一种方法和装置，在其中在一个超微结构或显微结构表面上设置的一个液滴的运动取决于此表面上的超微结构或显微结构特征图案的至少一个图案内特征，其定义见下文，或者至少一个液滴的特征。在一个实施例中，液滴的横向运动取决于超微结构或显微结构特征图案的至少一个特征，这样使液滴在沿特征图案的一个希望的方向上运动。为了达到这样的运动，例如，超微结构或显微结构的尺寸、形状、密度或电性能是这样设计的，使液滴前缘的接触角小于液滴后缘的接触角，以达到希望的运动。

在另一个实施例中，液滴的运动取决于或者特征图案的至少一个图案内特征，或者至少一个液滴的特征，这样使在一个希望的区域液滴渗透特征图案以及变成不动的。这个特征能够是，例如液滴的表面张力，液滴或图案之一的温度，液滴和特征图案之间的电压差。

本发明的一个或两个实施例在各种用途中是可使用的，比如，生物或显微化学探测器，化学反应器，制图案用途，可调谐的衍射光栅，全内反射镜，显微流体混合器，显微流体泵以及热散逸器件。

### 附图说明

图 1 示出一个现有技术的微距镜器件，它说明在一个基片上设置的一种液体的相互作用；

图 2 示出使用图 1 的微距镜的现有技术的电浸湿原理能够使用于在一个预定的方向上移动液滴跨过一个基片；

图 3A 示出一个现有技术的显微线表面；

图 3B 示出一个现有技术的显微柱表面；

图 3C 示出一个现有技术的超微柱表面；

图 3D 示出设置在图 3A 的现有技术的表面上的一个液滴，以及在液滴和表面之间导致的相应的接触角；

图 3E 示出设置在图 3B 的现有技术的表面上的一个液滴，以及在液滴和表面之间导致的相应的接触角；

图 3F 示出设置在图 3C 的现有技术的表面上的一个液滴，以及在液滴和表面之间导致的相应的接触角；

图 4A, 4B, 4C, 4D 和 4E 示出各种现有技术的预定的超微结构的超微特征图案，它适合使用于本发明；

图 5 示出一个说明性的现有技术器件，其中一个液滴设置在一个超微结构特征的图案上；

图 6 示出图 4C 的现有技术的超微结构特征图案的更详细的图；

图 7A, 7B, 7C 和 7D 示出设置在图 6 的超微特征图案上的具有不同的表面张力的不同的液体滴；

图 8A 示出图 7A 的液滴和超微结构特征图案的剖面图；

图 8B 示出图 7C 的液滴和超微结构特征图案的剖面图；

图 9A 和 9B 示出按照本发明的原理的一个器件，在其中图 2 的电浸湿原理使用于引起一个液滴渗透一个超微结构特征图案；

图 10 示出图 9A 和 9B 的超微结构特征图案的说明性的超微柱细节；

图 11 示出如何借助放置一个液滴在一个具有可变密度的超微柱的一个超微结构特征图案上，液滴将移动朝向超微柱的较高密度区；

图 12 示出如何借助放置一个液滴在带有超微柱排列为锯齿形图案的一个超微结构特征的图案上，液滴将在相对于图案的一个已知的方向上移动；

图 13A 和 13B 示出按照本发明的原理的一个化学或生物探测器；

图 14 示出如何使图 13A 和 13B 的探测器能够排列为一个阵列，以便能够探测多数的元素或化合物；

图 15 示出如何按照本发明的原理制造一个图案；

图 16A 和 16B 示出按照本发明的原理的一个衍射光栅；

图 17A 和 17B 示出按照本发明的原理的一个全内反射 (TIR) 镜；

图 18A, 18B 和 18C 示出按照本发明的原理的一个显微流体混合器；

以及

图 19 示出按照本发明的原理的一个热散逸器件。

### 具体实施方式

图 6 示出一个说明性的已知的表面 601, 带有设置在表面上的一个超微柱 602 的超微结构特征图案。通过这里的说明, 本专业技术人员可以理解, 使用超微柱或超微结构的相同的原理可以等同地使用在一个特征图案的显微柱或其它较大的特征。图 6 的表面 601 和超微柱 602 例如是用硅制造的。图 6 的超微柱 602 例如是直径约 350nm, 高度约 6  $\mu\text{m}$  和中心至中心的间距约 4  $\mu\text{m}$ 。对于本专业技术人员可以理解, 这样的阵列可以制造为带有规则的间距, 或者代替地, 带有不规则的间距。

图 7A、7B、7C 和 7D 示出当设置在图 6 的说明性的表面 601 上液体的行为如何不同, 图 7A 示出当带有表面张力 ( $\gamma$ ) 为 72mN/m 的一个水滴 701 设置在表面 601 上时, 由于以上所述的原因保持一个接近球形的形状。图 7B、7C 和 7D 分别地示出带有逐渐减小的表面张力的液滴 702, 703 和 704 (分别为乙二醇 [ $\gamma=47\text{mN/m}$ ], 环戊醇 [ $\gamma=33\text{mN/m}$ ] 和辛醇 [ $\gamma=27\text{mN/m}$ ]), 液滴以逐渐增加的数量扩散越过较大的区域, 并且具有最低的表面张力的液滴 (液滴 704) 扩散至最大的程度。

如没有其它规定, 这里使用的术语“超微结构”是一种预定的结构, 具有至少一个尺寸小于 1  $\mu\text{m}$ , 以及术语“显微结构”是一种预定的结构, 具有至少一个尺寸小于 1mm。术语“特征图案”或者涉及一个显微结构图案, 或者涉及一个超微结构图案。此外, 术语“液体”“小滴”和“液滴”在这里可以互换地使用。这些术语中的每个涉及一种液体或液体的一部分, 无论是否是液滴形的。再者, 这里使用的术语“介质”是一种气体

或液体，在其中可能存在一种生物的元素，详见下文的讨论。最后，这里使用的术语“图案内特征”定义为：a) 单独的特征图案元素相对于其它的元素的特征，作为与图案内特征相对的特征，它们是特征图案的宏观的特征，比如整个图案的取向，或者 b) 单独的特征图案元素的某种特征，比如形状、尺寸、高度和电特性。

图 8A 和 8B 示出图 6 的超微结构表面 601 和不同液体的液滴之间的相互作用的剖面图。图 8A 代表例如图 7A 的一个水滴 701。由于水的较高的表面张力以及超微结构的图案内特征，水滴 701 是悬浮在超微柱 602 的顶部上（在图 6 示出其细节）以及如以前所讨论，具有一个与超微结构表面 601 很高的接触角。作为其结果，水滴 701 经受非常低的流动阻力。图 8B 代表，例如图 7C 的环戊醇液滴 703。与图 8A 的水滴 701 比较，环戊醇液滴 703 在超微柱 602 的顶部上没有扩散。代替的是，由于液体较低的表面张力，液滴 703 完全地渗透表面 601，从而进入与超微柱 602 下面的固体表面接触。相对于图 8A 的液滴 701 此液滴具有一个低的接触角，以及由于完全地渗透超微结构的表面 601，它经受较高的流动阻力。

本发明人已认识到，希望的是能够控制一种给定的液体渗透进入一种给定的超微结构或微米结构的表面，从而控制施加在液体上的流动阻力，以及固体表面的浸湿性能。图 9A 和 9B 示出按照本发明的原理的一个实施例，其中电浸湿与图 2 的说明性显微透镜使用的类似，使用于控制一种液体渗透进入一种超微结构的表面。

参见图 9A，一种导电液体的液滴 901 设置在锥形超微柱 902 的超微结构的特征图案上，如以上所述，这样使液滴 901 的表面张力导致液滴悬浮在超微柱 902 的上部分上面。在这种排列中，液滴覆盖每个超微柱的表面的面积  $f_1$ 。超微柱 902 被一个导电的基片 903 的表面支承。液滴 901 通过具有电源 905 的导线 904 电连接至基片 903。一个说明性的超微柱的细节示于图 10 内。在此图内，超微柱 902 是与液体（图 9A 中的液滴 901）用一种材料 1001 电绝缘的，比如用一种介电材料绝缘层电绝缘。超微柱进一步用一种低表面能材料 1002 与液体隔离，比如用众所周知的含氟聚合物。这种低表面能材料允许获得在液体和超微柱的表面之间一

个正确的接触角。对于本专业技术人员明显的是，代替使用不同材料的两个单独的绝缘层，可以使用具有足够低的表面能和足够高的绝缘性能的一个单独的材料层。

图 9B 示出借助施加一个低电压（例如 10-20V）至导电的液滴 901，在液滴 901 和超微柱 902 之间产生一个电压差。液体和超微柱的表面之间的接触角减小，以及在足够低的接触角时液滴 901 沿着超微柱 902 的表面在 Y-方向上移动向下，以及渗透超微结构的特征图案，直到它完全地围绕每个超微柱 902，以及进入与基片 903 的上表面接触。在此种形状中，液滴覆盖每个超微柱的表面面积  $f_2$  由于  $f_2 > f_1$ ，在液滴 901 和超微柱 902 之间的总接触面积是相当高的，以及因此，液滴 901 经受的流动阻力大于在图 9A 的实施例中的。因此，如图 9B 所示，液滴 901 有效地变成相对于超微结构特征图案是静止的，没有其它的力足以从特征图案移动液滴 901。

图 11 示出按照本发明的原理的一个说明性的器件，在这里代替液滴在 Y-方向上移动以渗透超微结构的特征图案，超微结构（在本说明性实施例中的超微柱 1102）是这样排列的，使液滴 1101 在 X-方向 1104 上横向地移动。特殊地，超微柱 1102 是这样排列的，使超微柱 1102 的密度在 X-方向 1104 上增加。这种增加的密度将导致在前边缘 1105 处的接触角相对于液滴在后边缘 1106 处的接触角较低。在边缘 1105 处较低的接触角导致在 X-方向上施加至液滴 1101 的力比在边缘 1106 处较高的接触角施加的力低。因此，液滴 1101 将在 X-方向 1104 上“漂移”接近超微柱 1102 的较高密度区，因为液滴 1101 企图达到平衡。因此，借助放置超微柱的较高密度在这样的位置，在该处希望有液体设置在表面上，一个液体滴能够开始时设置在表面上其它的位置，以及它将自主地移动接近较高密度的那个区域。

虽然借助图 11 的说明性实施例达到了移动，以允许液滴移动至最高超微结构密度的区域内的一个最终平衡位置，也可能希望反转该移动离开最高密度的区域。图 12 示出按照本发明的原理的一个实施例，它能够进行这样的可反向的运动。特殊地，图 12 示出一个液滴 1201 设置在具

有超微结构 1202 的一个表面上，排列为锯齿形状。在平衡状态，液滴将保持静止在位置 B，正如图 8A 例举的那种超微柱特征图案。然而，当一个时间周期激励施加至液滴 1201 时，它将在方向 1204 上漂移。这样一个周期的激励可以例如借助一个交变的电压施加至特定的超微结构 1202 产生，或者代替地，借助超声产生，其幅度和频率可以干扰液滴 1201 的平衡。本专业技术人员可以理解，许多不同的电压，声波的频率和幅度可以使用于产生需要的力以干扰液滴 1201 的平衡。此外，本专业技术人员也可以理解，这种激励可以借助许多不同的方法产生。

当干扰时，液滴 1201 的运动开始，液滴将周期地改变尺寸和它的接触点，以及因此，液滴 1201 的边缘 1205 和 1206 将向前和向后移动越过特征图案内的超微结构 1207。然而，由于超微结构 1207 的不对称的形状，在液滴边缘 1206 处的接触角滞后相对于表面将低于边缘 1205 处的接触角滞后。换句话说，在向前和向后移动越过表面方面，对于液滴 1201 移动向上至（例如特征 1208 的）垂直表面 1211 比对于液滴 1201 移动向上至特征 1208 的表面 1212 困难得多。因此，一旦液滴在方向 1204 上横跨越过一个特定的超微结构，它将倾向不会在相对的方向上移动返回，以及将建立一个新的平衡位置，比如位置 D。如果时间周期的激励（比如超声）继续，液滴将继续向前和向后移动越过表面，直到它横跨越过在方向 1204 上的下一个超微结构 1213。再一次，液滴将倾向在横跨超微结构 1213 之后不会移动返回，以及将获得在方向 1204 上另一个新的平衡位置。作为一个结果，借助继续的周期的激励，液滴将在方向 1204 上随机地移动。

借助将图 12 的实施例与图 11 所示的超微结构的较高的密度区域相结合，可以达到液滴 1201 的可反向的横向移动。例如，再参见图 12，如果超微结构 1202 的较高密度区域位于表面上的位置 A，液滴 1201 如以上所述，倾向于移动接近位置 A，而没有任何反作用力。然而，如果图 12 的说明性的锯齿形图案与借助超声产生的干扰力相结合使用，以干扰液滴 1201 的平衡，倾向于移动液滴接近位置 A 的力（超微结构的较高的密度）将被克服，以及液滴 1201 将在方向 1204 上移动接近表面上的位置 C。

如果这个力被取消（即超声源断开），液滴 1201 将再次倾向于移动接近超微结构的最高密度位置 C 处。因此，达到可反向的横向的移动。

累积地，图 9A、9B、10、11 和 12 示出，有可能借助本发明的原理，沿着一个表面按希望地横向地移动一个液滴，几乎没有带有流动阻力，以及也可以垂直地移动液滴，从而使液滴在一个预定的位置渗透此表面以及变成实际上不移动的。许多用途能够发现适用于这种移动的可能性。例如，图 13A 和 13B 示出一个生物或化学探测器的一个实施例，它使用本发明的原理。参见图 13A，液滴 1301 设置在超微结构 1302 上，与图 9A 所示的类似。能够探测希望的生物或化学的化合物 1303 的探测器 1306 设置在表面 1304 上。液滴 1301 用的液体和超微结构 1302 是这样选择的，当希望数量的希望的化合物 1303 进入液体时，液体的表面张力下降，以及如图 13B 所示，液体 1301 渗透超微结构图案，以及进入与探测器 1306 接触。当化合物 1303 进入与探测器 1306 接触时，这种接触的一个指示能够借助已知的方法产生。比如，通过产生一个电信号或探测器的颜色的改变。

对于本专业技术人员可以理解，除了作为一个探测器使用之外，图 13A 和 13B 的实施例还可以作为达到一种希望的化学反应的一种方法。例如，再次参见图 13A，它有可能选择一种液滴 1301 用的液体，使这种液体包含有一种化学化合物 1303。在此实施例中的探测器 1306 是用一种希望的试剂化合物制成，当它与元素或化合物 1303 接触时，它将达到一种希望的反应。这些探测器/试剂 1306 设置在超微结构之间，从而使当液滴渗透图 13B 所示的超微结构的特征图案时，两种化学试剂进入相互接触，以及希望的反应产生。如以上所述（例如，有关图 9A 和 9B 的上面的讨论），能够通过或者借助施加电压至液滴，或者代替地，借助某些方法以降低液滴 1301 的表面张力（以及因此与超微结构的表面形成接触角），这样，例如增加液滴 1301 的温度，使液滴渗透特征图案。

图 14 示出图 13A 和 13B 的说明性的实施例的一种可能的排列，无论是用作一个化学/生物探测器或者在化学反应用途中使用。特殊地，能够使一种液体在方向 1401 上流动，跨过阵列 1402 的表面，该阵列具有超



微结构的图案化的预定的排列在它的表面上。每个区域 1403，例如具有探测器/试剂（比如，图 13A 和 13B 中的 1306）设置在超微结构之间，这些结构适合，例如探测或与不同的化学/生物化合物反应。因此，如果用作一个探测器，图 14 的阵列 1402 能够使用于探测多数的不同的化合物。如果用作一个化学反应器，每个区域能够设计为仅与某一种化合物反应，以达到希望的反应。

本发明的原理的其它使用说明性地示于图 15。特殊的是图 15 示出借助使用本发明的原理，如何能够达到在一个表面上选择地制出一个希望的图案。在图中一个希望的图案（在此种情况下是星形的图案 1503, 1504 和 1505）是限定在一个基片 1506 上，该基片以超微结构为特征。在此种制图案用途中的一个希望的目的是引起液体在图案 1202-1205 内移动以及保持在这些图案中。实现这个目的的一种方法是使用以上说明的已知的电压差电浸湿，用在方向 1501 上流动越过基片的一个液体和在星形图案 1503 和 1505 内的超微结构之间。当液体前进跨过表面时，液体仅渗透在这两个星形图案之内的超微结构之间，因此，变成部分不移动的。由于这种最终的不移动性，当液体移走后，液体仅保留在星形图案 1503 和 1505 之内。

在制图案用途中引起液体移动至星形图案的一种代替的方法，是使用一个改变密度的图案，比如图 11 所示的那种，以移动液体至一个较高密度的图案，比如星形图案 1502，以及随后借助电浸湿保持就位。电浸湿还能使用于制图案（以及其它的用途）以更充分地浸湿图 15 的星形图案。特殊的是，使用以上所述的改变密度的图案以移动液滴至一个复杂的图案（如星形图案 1502）可能是困难的，难以引起液体整体地移动至图案的末端 1507。然而，借助施加足够的浸湿电压，可以获得全浸湿。

因此，有可能在一个基片上（如基片 1506 上）特定的和复杂的区域内制出一种液体的图案。借助选择一种众所周知的对聚合反应敏感的液体（例如一种丙烯酸基单体的液体，包括，但不局限于由 Norland, Inc. 制造的 NA72 光学粘接剂）以及施加，例如紫外线至此液体，能够获得一种与图案 1503 和 1505 一致的聚合的硬化的材料。对于本专业技术人员

可以理解,这种聚合反应过程能够使用于这里的任何说明性的实施例,以便移动一种液体至一个希望的位置,以引起液体渗透超微结构的特征图案,以及随后将在聚合反应状态下的液滴固定在此位置。

图 16A 和 16B 示出本发明的原理的另一个有用的用途。特殊地,在图 16A 内示出一个光学衍射光栅,其中至少在某些光线波长下是透明的一种液体的液滴 1601 设置在超微结构 1602 上。超微结构 1602 依次又设置在一个表面 1603 上,该表面例如是一个硅基片,如以上所述。当光束 1604 投射到液滴 1601 上时,至少某些波长前进通过液滴 1601 以及反射出表面 1603,以这样一种方式使光线沿着路径 1606 前进,通过液体滴返回。借助前进通过液滴 1601,随后通过区域 1605 (具有介电常数  $\epsilon_1$ ),以及反射出下层的基片 1603,光线的不同的频率被过滤掉(由于液体和区域 1605 之间反射指数的差别),仅有波长  $\lambda_1$  出射以便在预定的方向上传播。图 16B 示出,借助引起液滴 1601 渗透超微结构 1602 (通过使用以上所述的一种方法),区域 1605 的介电常数改变至  $\epsilon_2$ ,因此,改变光线前进通过的介质的反射指数,以及因此仅有  $\lambda_2$  将出射以便在预定的方向上传播。所以,本专业技术人员可以理解与当液滴 1601 不能渗透进入特征图案的情况比较,当液滴 1601 渗透超微结构的特征图案时,出现一种可调谐的衍射光栅,允许光线的不同的波长前进通过此光栅。

图 17A 和 17B 示出本发明的原理的另一个说明性的光学使用,特别是作为一个全内反射 (TIR) 镜,参见图 17A,至少在光线的一种波长下是透明的一个基片 1701 (例如一个玻璃基片),支承超微结构 1702 的一个特征图案。液滴 1703 是悬浮在超微结构 1702 上,如以上所述。基片 1701 是这样定位,当光束在方向 1704 上前进,以一个特定的入射角(它是根据光线波长的一个已知的角度)前进通过基片时,在光束与上表面 1705 和气体 1706 的边界遭遇时,光束被反射。这种反射的实现是因为气体(例如空气)具有一个介电常数  $\epsilon_1$ ,它导致气体的反射指数比基片 1701 的低。

图 17B 示出,一个液滴 1703 已渗透超微结构的特征图案 1702 (再次通过以上所述的方法)。超微结构的特征图案的渗透区域具有一个介电常

数  $\varepsilon_2$ ，它导致反射指数比基片 1701 的高。作为其结构，光线前进通过液滴 1703 和不会反射。本专业技术人员可以理解，当与一个正确的基片材料，气体和液滴相结合时，特定的波长的光束的特定的入射角，将会实现如这里所说的可调谐的反射性能，和图 17A 和 17B 所示。

图 18A、18B 和 18C 示出按照本发明的原理的另一实施例，其中一个超微结构的特征图案设置在一个沟槽的壁内，比如一个显微流体管 1802 内。图 18A 示出，如果没有超微结构使用于管子的内表面，如现有的显微流体管，由于内壁和液体之间的摩擦引起的流动阻力导致当液体前进通过沟槽时接近内壁的液体的速度降低。距沟槽内壁不同距离处的液体的速度借助速度矢量型面 1801 表示。速度矢量型面 1801 示出，在沟槽中心的液体前进最快（较长的速度矢量），以及紧邻内壁的液体前进最慢（较短的速度矢量）。作为在内壁处这种流动阻力的结果，需要消耗较高功率量的较大的泵，以泵送液体通过显微流体沟槽 1802。图 18B 示出借助设置一个超微结构的特征图案 1803 在一个显微流体沟槽 1802 的内壁上，施加在液体上的流动阻力如何有利地降低。这点可以用液体的速度矢量型面 1804 表示，它示出邻接沟槽 1802 壁的液体的速度大致等于沟槽中心处液体的速度。由于使用超微结构的特征图案 1803 导致的流动阻力降低，泵送液体通过沟槽所需的泵是较小的和有利地要求较低的工作功率。

在显微流体的用途中，经常希望将流动通过两个或多个沟槽前进的不同的液体混合，例如它对混合 DNA 与在集成的显微流体生物化学分析系统中使用的在单独的沟槽中前进的一种试剂是有用的。在此系统中，混合先于电泳过程，通过该过程由 DNA 样品导出遗传信息。现有的混合多个沟槽的努力不利地具有较长的距离以完全地实现此种混合。图 18C 示出按照本发明的原理的一个混合器。这个混合器可以使用于，例如，如果希望组合在方向 1809 和 1810 上流动地不同的两种液体的流动。如以上讨论，借助设置一个超微结构的特征图案在沟槽的内壁上，可以达到通过沟槽的较低的流动阻力。如以上所述，借助选择地引起液体渗透超微结构的特征图案，例如，它借助超微结构的特征图案的不连续区域

1806 的温度的提高, 或者代替地, 在液体和特征图案的区域 1806 之间产生一个电压差, 在一定区域内, 比如区域 1806, 沿着壁的流动阻力能够增加。因此通过图 18C 的混合器的流动 1805 的特征是低流动阻力区域, 并且邻接显微流体沟槽 1802 的区域 1806 有高流动阻力区域。因此, 产生强烈的干扰流动, 比如图中的流动 1808。这种干扰流动极大地增强了混合过程, 以及实现越过一个较短的距离混合两种或多种液体。此外, 由于图 18 的混合器能够动态地控制液体和表面之间的界面性能, 比如流动阻力, 图 18 的混合器能够有效地调节。

图 19 示出本发明的另一实施例, 其中一个超微结构的特征图案设置在一个沟槽的内壁上, 这样使其有利地使用在一个热散逸器件内。在许多用途中热散逸是一个首要的关心, 比如电子器件产生的热量的散逸。一个电子器件的性能和全寿命经常受到过渡热量的有害的作用。器件 1901 是热产生器件的一个实例, 比如一个计算机内的一个中央处理单元或其它的处理器。沟槽 1902 设置为邻接或最好为与器件 1901 接触。当没有热量从器件 1901 产生时, 沟槽 1902 内的液体经受低的流动阻力, 如图 18B 中所示。举例来说, 液体这样选择, 当经受预定的热量时, 液体的表面张力下降, 并且液体浸湿壁 1904 的表面。本专业技术人员可以理解, 超微结构表面的浸湿的其它的方法也可以使用, 比如图 9A 和 9B 上面所述的电浸湿方法。

当器件 1901 产生足够的热量时, 热通过沟槽壁 1904 转移。在沟槽内在方向 1903 上前进的液体的表面张力下降, 以及作为其结构, 液体渗透在超微结构的特征图案的沟槽区域 1905 的内壁上的超微结构特征图案。这样一来, 在区域 1905 内的液体进入与壁 1904 的直接接触, 以及更有效地由壁转移热量至在方向 1903 上流动的液体。本专业技术人员可以理解, 由于液体渗透区域 1905 导致的干扰流动 1906 比一个未干扰的层流动可以更多地传导热散逸。虽然现有的以液体为根据的热散逸企图 (不是根据超微结构的特征图案) 是适合热散逸至一定的程度, 图 19 的实施例有利地能够散逸显著多的热量。

以上仅说明了本发明的原理。应该理解, 虽然在这里没有清晰地说明

明和示出，本专业技术人员可以在本发明的精神和范围内设计实施本发明的原理的各种安排。例如，本专业技术人员根据这里不同的实施例的说明将会理解，本发明的原理能够使用于广泛不同的领域和用途。例如，移动一个液滴和引起它保持在一个希望的静止的位置在各种器件（如显微镜透镜）的自身装配中是有用的。借助使用这里公开的原理，一个显微镜透镜能够放置在一个表面上，以及将自主地移动至一个希望的位置，在此位置使它保持静止。在本发明的另一个潜在的实施例中，本发明的超微结构的或显微结构的表面使用在一个显示器件内。通过使用这里公开的原理，借助控制在显示器件内一种或多种液体的运动，可以显示不同的影像。

这里叙述的实例和条件的语言有意地表达为仅为了教学的目的，以帮助读者了解本发明的原理，以及规定为不局限于这些特别叙述的实例和条件。再者，这里叙述的本发明的各个方面和实施例，以及特定的实例有意地包括功能等同的等同物。

图1  
(现有技术)

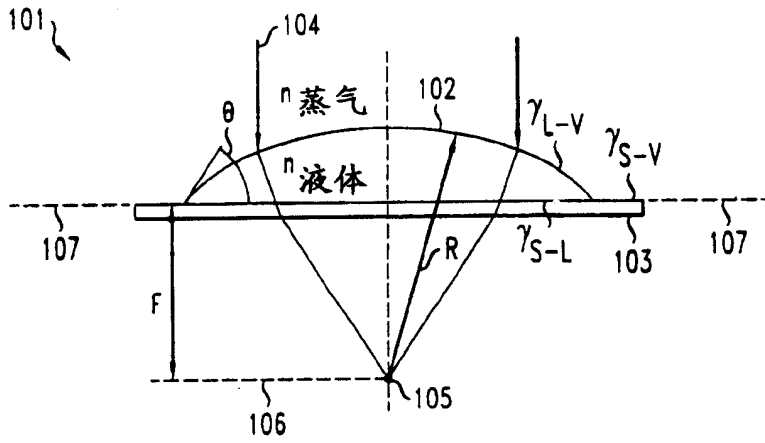


图2  
(现有技术)

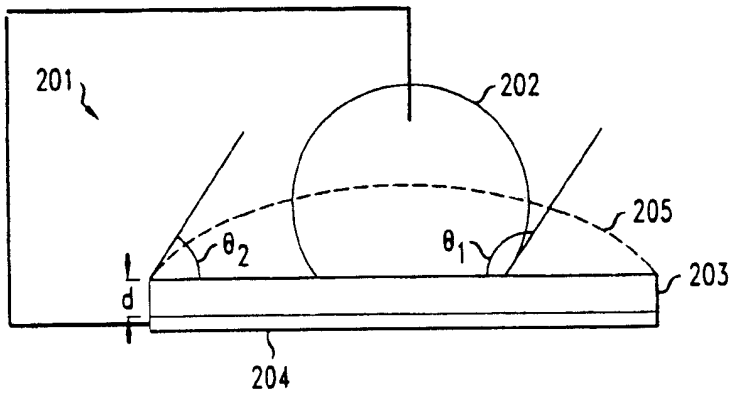


图 3A  
(现有技术)

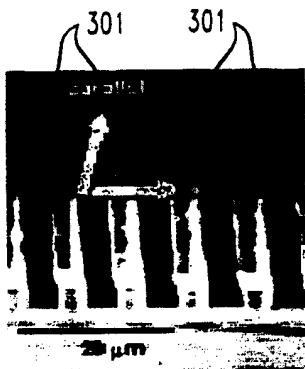


图 3B  
(现有技术)

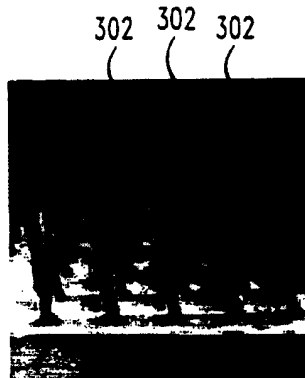


图 3C  
(现有技术)

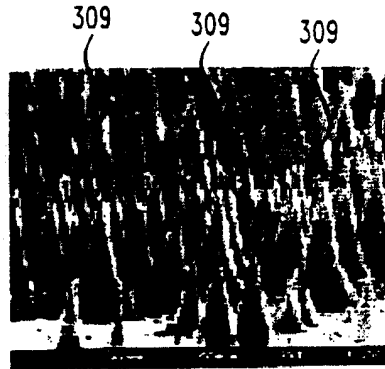


图 3D  
(现有技术)

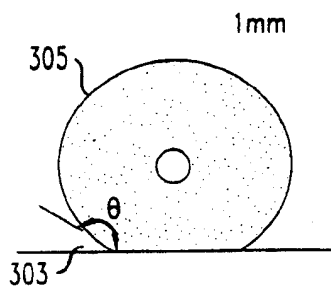


图 3E  
(现有技术)

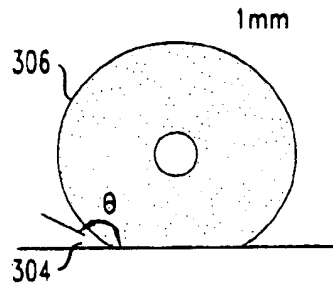


图 3F  
(现有技术)

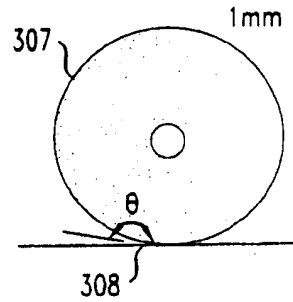


图4A  
(现有技术)

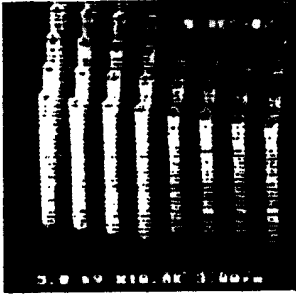


图4B  
(现有技术)

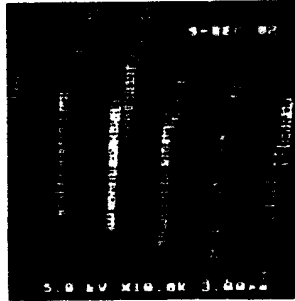


图4C  
(现有技术)

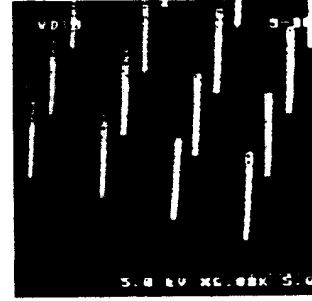


图4D  
(现有技术)

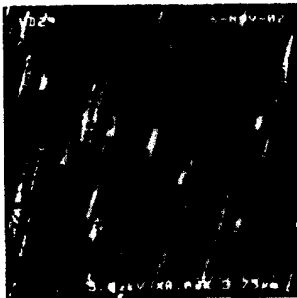


图4E  
(现有技术)





图5  
(现有技术)

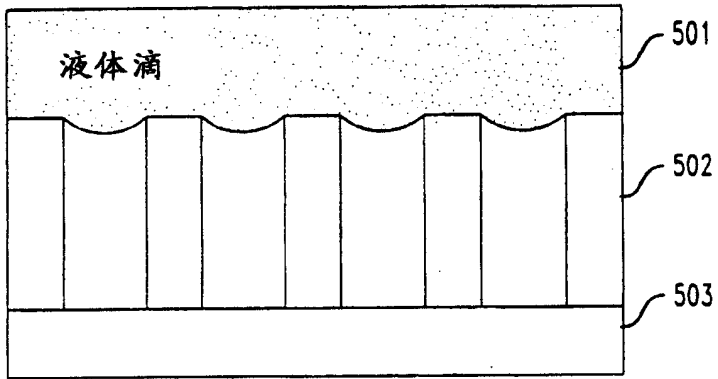


图6  
(现有技术)

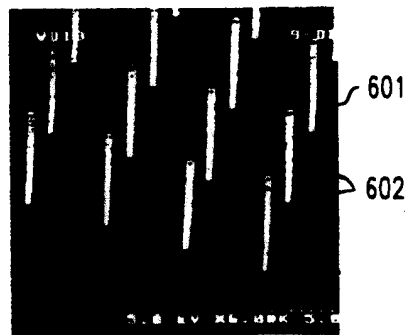


图 7A

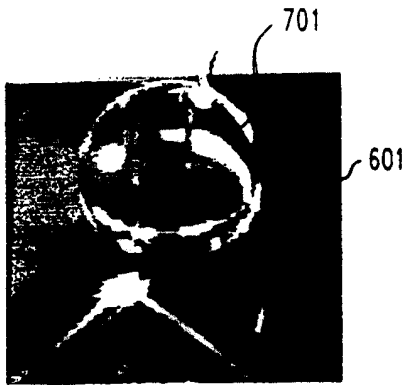


图 7B

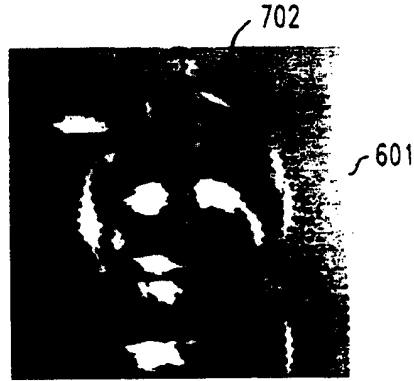


图 7C

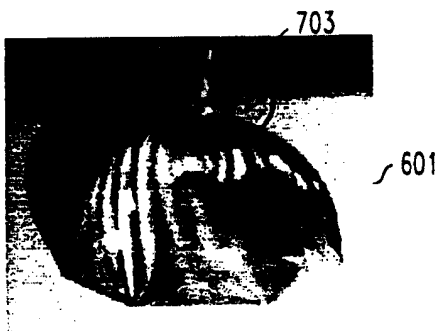


图 7D

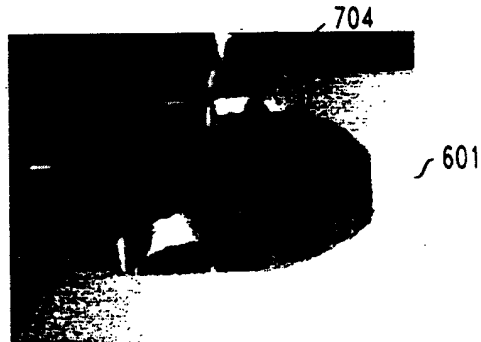


图 8A

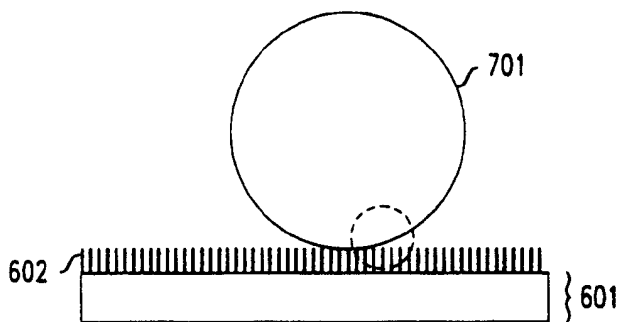


图 8B

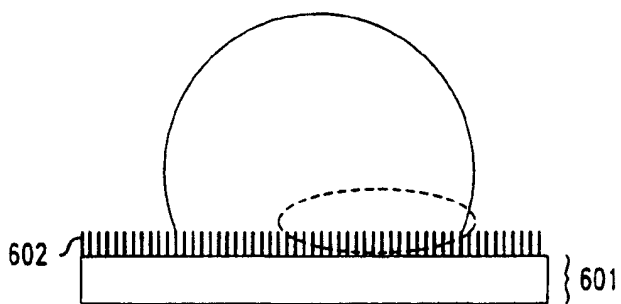


图9A

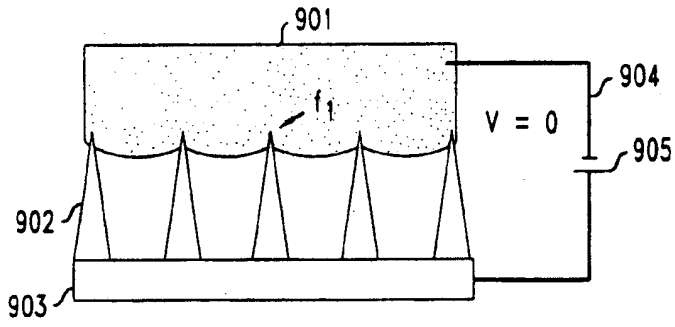


图9B

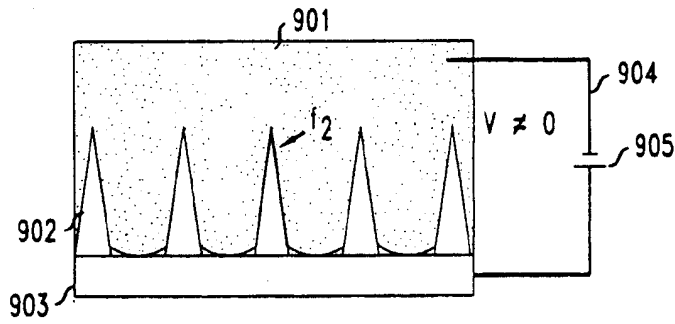


图 10

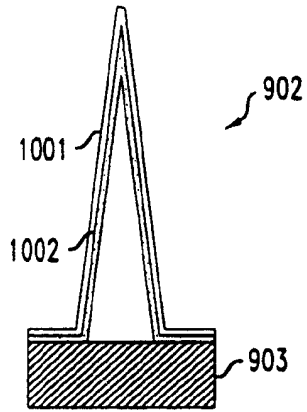


图 11

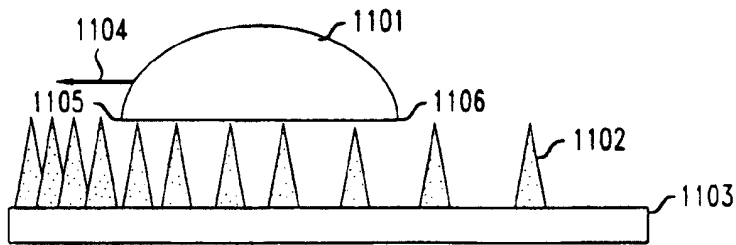


图 12

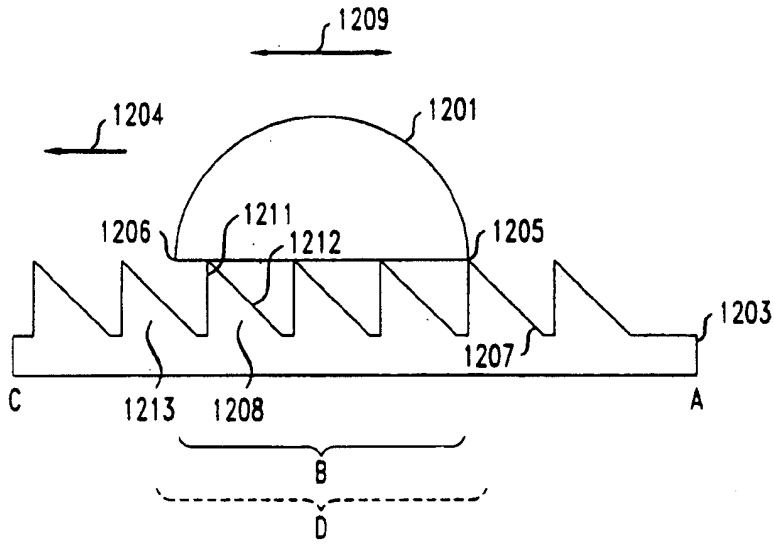


图 13A

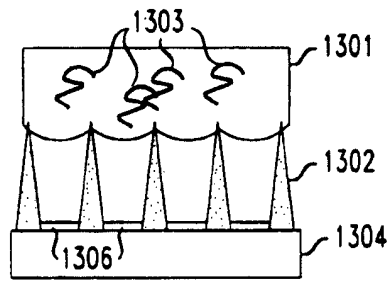


图 13B

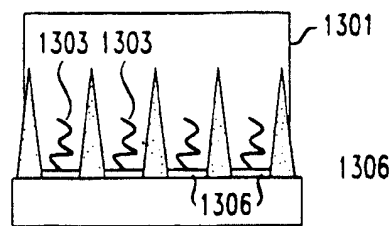


图14

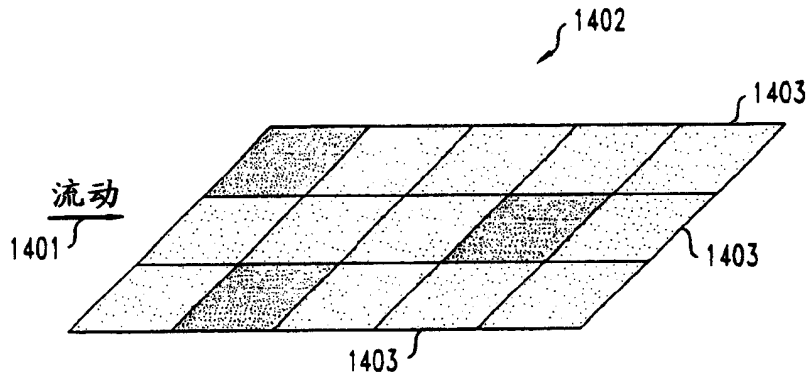


图15

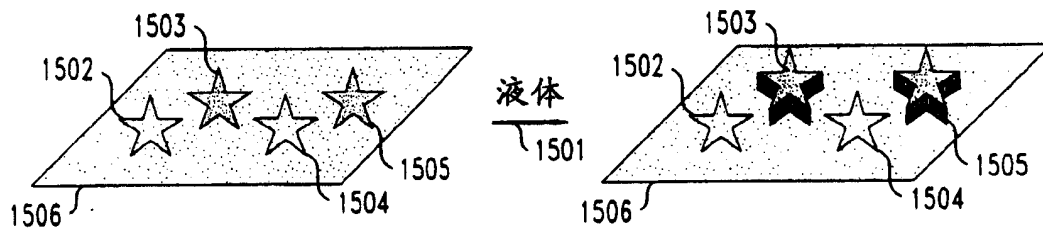


图 16A

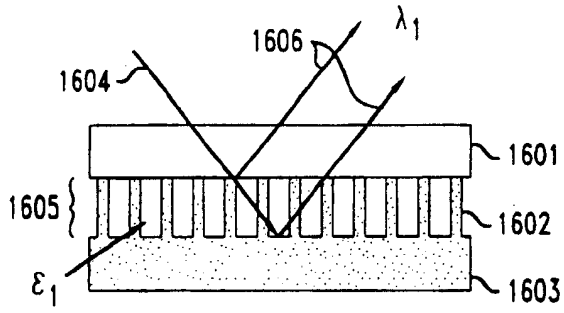


图 16B

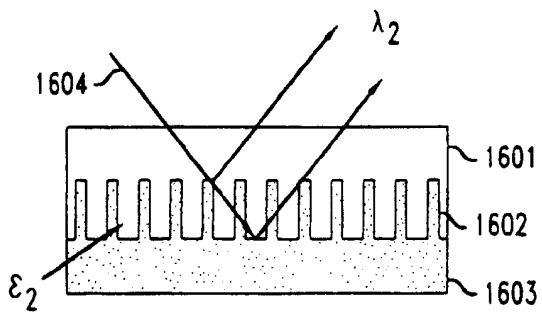




图17A

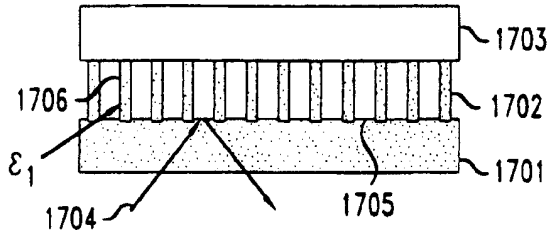


图17B

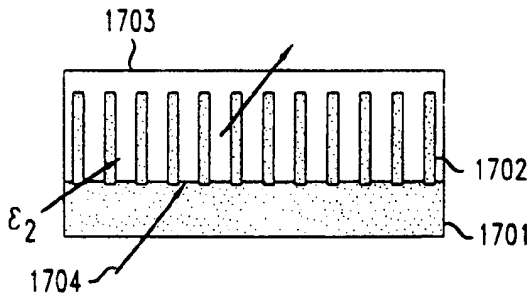


图 18A



图 18B

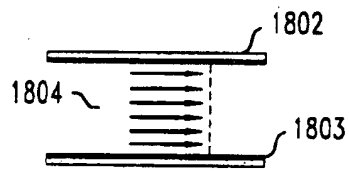


图 18C

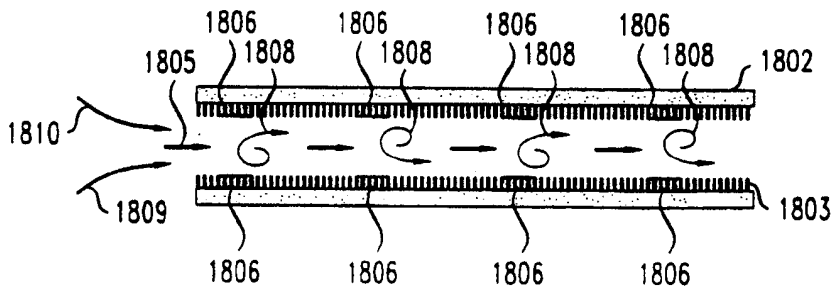


图19

