

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B81B 7/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410080348.2

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1278921C

[22] 申请日 2004.9.30

[21] 申请号 200410080348.2

[71] 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市 100084 - 82 信箱

[72] 发明人 岳瑞峰 曾雪峰 吴建刚 胡 欢

刘理天

审查员 黄军容

[74] 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司
代理人 李光松

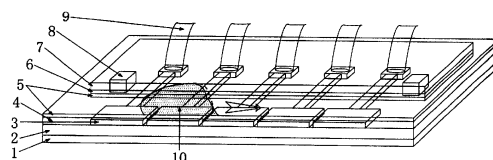
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

基于介质层上电润湿的微液滴驱动器

[57] 摘要

本发明公开了属于微全分析系统和微机电系统范围的一种基于介质层上电润湿的微液滴驱动器。在单晶硅上有一层热氧化 SiO_2 下极板衬底，在衬底上为 Ti/Pt 双层下电极阵列，一层薄膜介质层覆盖在下电极阵列上面，碳氟聚合物薄膜厌水层覆盖在介质层上，带厌水层和 ITO 的上极板玻璃片由支撑物支撑在下电极阵列的上方。本微液滴驱动器具有液滴驱动电压低、制作工艺简易、成本低、可进一步将液体的其他操作集成在一个芯片上。



1.一种基于介质层上电润湿的微液滴驱动器，其特征在于：所述微液滴驱动器的结构是在硅衬底（1）上有一层热氧化 SiO_2 （2）下极板衬底，在 SiO_2 衬底上为 Ti/Pt 双层下电极阵列（3），一层薄膜介质层（4）覆盖在下电极阵列（3）上面，碳氟聚合物薄膜厌水层（5）覆盖在介质层（4）上，带厌水层（5）和 ITO 层（6）的上极板玻璃片（7）由支撑物（8）支撑在下电极阵列（3）的上方，下电极阵列（3）与外部引线（9）连接。

2.根据权利要求 1 所述基于介质层上电润湿的微液滴驱动器，其特征在于：所述薄膜介质层为 Si_3N_4 薄膜或 SiO_2 薄膜。

3.根据权利要求 1 所述基于介质层上电润湿的微液滴驱动器，其特征在于：所述下电极阵列以低阻多晶硅下电极阵列代替 Ti/Pt 双层下电极阵列。

基于介质层上电润湿的微液滴驱动器

技术领域

本发明属于微全分析系统和微机电系统范围，特别涉及一种基于介质层上电润湿的微液滴驱动器。

背景技术

自从 Manz 和 Widmer 于 20 世纪 90 年代初首次提出微全分析系统 (miniaturized total analysis system, μ TAS) 的概念以来，在短短的十余年中已发展成为当前世界上最前沿的科技领域之一。 μ TAS 的目的是通过化学分析设备的微型化与集成化，最大限度地把分析实验室的功能转移到便携的分析设备中，甚至集成到方寸大小的芯片上。因此， μ TAS 又被称为芯片实验室 (LOC)。目前， μ TAS 在化学分析、生化检测、药物输运、分子分离、核酸分子的放大、排序或合成、环境检测以及其他方面都有广泛的应用前景。

对微量甚至痕量液体的操纵与控制是实现微全分析系统的基础和必须解决的关键问题。根据微全分析系统对液体的操作方式，可以将微全分析系统分为连续流系统和离散流系统两种。目前，已经报道过的微全分析系统大多基于连续流系统，液体在充满了样品或化学试剂水溶液的封闭沟道中流动，并利用微泵和微阀等器件来产生和控制流体的流动。但是，连续流系统的缺点在于：(1) 由于电极和溶液直接接触，会产生一些电化学反应；(2) 需要微泵和微阀等器件，制作工艺复杂，可靠性差；(3) 虽然可以通过减小沟道尺寸来减少沟道内残余的液体，但“死区”现象不可避免；(4) 液体的连续性限制了对液体的操作，沟道之间的相互影响严重。为了解决上述问题，近年来对离散化微液滴的操纵与控制在国际上日益成为研究的重点。由于与生化分析实验室中传统的操作概念非常类似，离散化微液滴系统可将现有的生化分析规程直接应用于芯片实验室中。与连续微流体不同，它只需要极少或不需要外加的液体来预处理或填充微管道，从而会大幅度提高对样品和试剂的利用率。目前采用气动、介电泳 (Dielectrophoresis)、介质上电润湿 (electrowetting on dielectric, EWOD) 等方法已

能实现离散化微液滴的产生和输运,但只有 EWOD(即通过改变介质膜下面微电极阵列的电势来控制上面液体与介质膜表面的润湿性)真正实现了液滴的产生、输运、融合和分割这四个基本操作的一体化和自动化,从而为制造基于微液滴的芯片实验室奠定了坚实的基础。

目前,国外基于 EWOD 驱动的微液滴系统都是由具有微电极阵列的玻璃衬底和带有氧化铟锡(ITO)透明导电玻璃盖板组成,液滴夹在它们之间;与液体接触的关键高厌水性介质膜材料都是采用 Teflon® AF1600(特氟隆),利用旋转涂敷法制备成薄膜结构。由于 Teflon® AF1600 的价格非常昂贵(约为黄金的 6 倍)并且消耗量较大,将其用于微全分析系统的研究和芯片实验室的产业化无疑会遇到很大的阻碍。另外,由于 Teflon® AF1600 的介电强度很低,必须在其下首先淀积 SiO₂ 等其它介质薄膜,而玻璃不耐高温,制备这些介质膜只能在较低的温度下进行,势必会造成介质膜结构比较疏松而绝缘性能较差,从而存在一定的漏电和击穿问题。

发明内容

本发明的目的在于提出一种基于介质层上电润湿的微液滴驱动器。基于介质层上电润湿(EWOD)的微液滴驱动器利用 EWOD 效应,在介质层下的一个或多个微电极上施加电势来改变此处液体和介质层表面的表面张力,从而改变两者之间的接触角。这个非对称的接触角变化在液滴两端形成了一个压力差,从而驱动液滴运动。

所述微液滴驱动器的结构是在硅衬底 1 上有一层热氧化 SiO₂ 2 作为下极板衬底,在 SiO₂ 衬底上为 Ti/Pt 双层下电极阵列 3,一层薄膜介质层 4 覆盖在下电极阵列 3 上面,碳氟聚合物薄膜厌水层 5 覆盖在介质层 4 上,带厌水层 5 和 ITO 层 6 的上极板玻璃片 7 由支撑物 8 支撑在下电极阵列 3 的上方,下电极阵列 3 与外部引线 9 连接。

所述薄膜介质层为 Si₃N₄ 薄膜或 SiO₂ 薄膜。

所述硅衬底为单晶硅或低阻多晶硅。

实现微液滴驱动器的结构有两种方案：

方案 1：在单晶硅上热氧化生长一层 SiO_2 作为下极板的衬底；在衬底上分别溅射金属 Ti 和 Pt 薄膜，并经过光刻和刻蚀形成 Ti/Pt 双层下电极阵列；在下电极上用低压化学气相淀积（LPCVD）工艺淀积 Si_3N_4 薄膜作为介质层；最后用 ICP-CVD 工艺淀积碳氟聚合物薄膜作为厌水层。上极板为带有 ITO 的玻璃片，并用 ICP-CVD 工艺淀积碳氟聚合物薄膜作为厌水层。

方案 2：在低阻多晶硅表面用热氧化方法生成 SiO_2 薄膜作为下极板的衬底；并以低阻多晶硅代替 Ti/Pt 下电极阵列；在方案 1 的工艺中将 Si_3N_4 薄膜介质层用在低阻多晶硅表面热氧化生成 SiO_2 薄膜代替，其余工艺相同。

本发明的有益效果是基于 EWOD 的微液滴驱动器采用单晶硅作为衬底，气体感应耦合等离子体化学气相淀积（ICP-CVD）工艺淀积的碳氟聚合物薄膜作为厌水层，具有液滴驱动电压低、制作工艺简易、成本低、可进一步将液体的其他操作集成在一个芯片上的特点。

附图说明

图 1. 我微液滴驱动器的结构示意图。

图 2. 摄像机捕捉到的在 EWOD 作用下去离子水液滴运动的图像（电压为 35V，频率为 2Hz，占空比为 1:1）。

具体实施方式

根据本发明提出的基于 EWOD 的微液滴驱动器，结合实施例及附图详细说明如下：

基于 EWOD 的微液滴驱动器的结构如图 1 所示，本实施例采用 Ti 和 Pt 作为下电极、双层下电极阵列 3 与外部引线 9 连接。LPCVD 淀积的 Si_3N_4 薄膜作为介质层。去离子水的液滴 10 被夹在两个平板电极中间，上电极作为地电极，而下电极由多个可独立控制的微电极阵列组成。每个电极为方形，电极之间的间距为 $20\mu\text{m}$ 。两个电极之间采用叉指状结构，使液滴能够更容易从一个电极运动到另一个电极。为了避免液体和电极之间的接触和获得良好的击穿特性，在下电极表

面都覆盖有一层作为介质层的 Si_3N_4 薄膜。为了能够顺利地驱动液滴，调整上下极板的间距及液滴的大小，使得初始的液滴至少跨在三个相邻的电极之上，并同时使液滴和上极板接触。为了避免液滴的挥发和减少液滴运动时的阻力，液滴周围是另外一种与其互不相溶的液体，本实施例中为硅油。

基于 EWOD 的微液滴驱动控制器利用 EWOD 原理，通过在介质层下的一个或多个微电极上施加电势来改变此处液体和介质层表面的表面张力，从而改变两者之间的接触角。初始时刻，去离子水液滴和带有碳氟聚合物薄膜的上下极板表面的接触角都相同，为 110° ，这里忽视重力对于液滴的影响。根据 Lippmann 方程，固体—液滴之间的接触角 θ 由介质层上施加的电势 V 决定，

$$\cos\theta(V) = \cos\theta(0) + \frac{1}{2} \frac{1}{\gamma_{\text{drop-oil}}} CV^2$$

其中 $\gamma_{\text{oil-drop}}$ 为油—液滴之间的表面张力， C 为介质层单位面积的电容。但是由于电容分压和接触角饱和等因素的影响，实际接触角变化所需要的电压大于理论值。假设施加一定电势后，两者之间的接触角变为 85° 。

如图 1 中所示，当液滴跨在三个相邻的电极上，当在液滴右侧对应电极上施加电势，而液滴中间和左侧对应电极接地时，施加的电势使液滴和固体之间的接触角从 110° 变为 85° 。而液滴左侧由于没有电势作用，和固体表面的接触角保持不变，仍然为 110° 。因此，液滴的这种非对称形变在液滴的两侧产生了一个压力差，使液滴向着右侧带电电极方向运动。

本实施例的制备工艺为：

1. 采用单晶硅作为下极板的衬底。
2. 在 1050°C 条件下热氧化生长 6000\AA 的 SiO_2 。
3. 溅射 200\AA 厚的钛和 1800\AA 厚的铂作为下电极，并利用正胶剥离工艺制作微电极阵列的图形。每个电极大小为 $1.4 \times 1.4\text{mm}^2$ ，电极之间的间距为 $20\mu\text{m}$ ；在方案 2 中以多晶硅下电极，替代方案 1 中的 Ti/Pt 双层下电极。
4. 在微电极阵列上利用 LPCVD 工艺覆盖一层 2800\AA 厚的 Si_3N_4 薄膜作为介质层。

5.利用 ICP-CVD, 在室温条件下在 Si_3N_4 薄膜上淀积一层 200\AA 厚的碳氟聚合物薄膜作为厌水层。淀积时采用英国 STS 公司的 Mesc Multiples ICP 设备, C_4F_8 作为反应气体, 流量为 80sccm , 压力为 9Pa , 射频功率为 600W 。

6.上极板的衬底为带有透明导电薄膜 ITO 的玻璃片。在上述相同的工艺条件下, 用 ICP-CVD 在 ITO 上淀积一层 200\AA 厚的碳氟聚合物薄膜作为厌水层。

7.在下极板上用双面胶带制作支撑物, 把上极板放在支撑物上, 上下极板之间的间隙由双面胶带制作的支撑物厚度决定, 厚度为 $150\mu\text{m}$ 。

测试时, 将去离子水液滴用注射器滴到下极板的电极表面, 然后将上极板放到支撑物上, 液滴的体积为 $2\mu\text{L}$ 。为了减小介质层被击穿的可能性, 我们在电极上施加频率和占空比可调的脉冲信号。采用我们自己研发的单片机系统来控制电极上的电压信号, 该系统由幅值可调的直流电源、光电继电器、单片机及外围电路组成。单片机输出频率和占空比都可调的脉冲信号, 再通过该信号控制光电继电器打开或关断电极和电源或地之间的通路, 在电极上施加合适的电压脉冲信号。当电压脉冲信号的频率为 2Hz , 占空比为 $1:1$ 时, 可以获得良好的驱动效果。

实验结果表明, 去离子水液滴在本实施例中测试时, 当电压加到 5V 时, 可以观察到明显的电润湿现象, 此时液滴振动频率和所加的电压脉冲信号的频率相同; 当电压超过 30V 时, 可以观察到迅速并且可重复的液滴运动。更高的电压可以使液滴的运动更加迅速, 但是也使得 Si_3N_4 薄膜介质层更容易击穿。图 2 中给出了在 35V , 频率为 2Hz , 占空比为 $1:1$ 的条件下, 用摄像机捕捉到的去离子水液滴在 EWOD 作用下运动的图像。

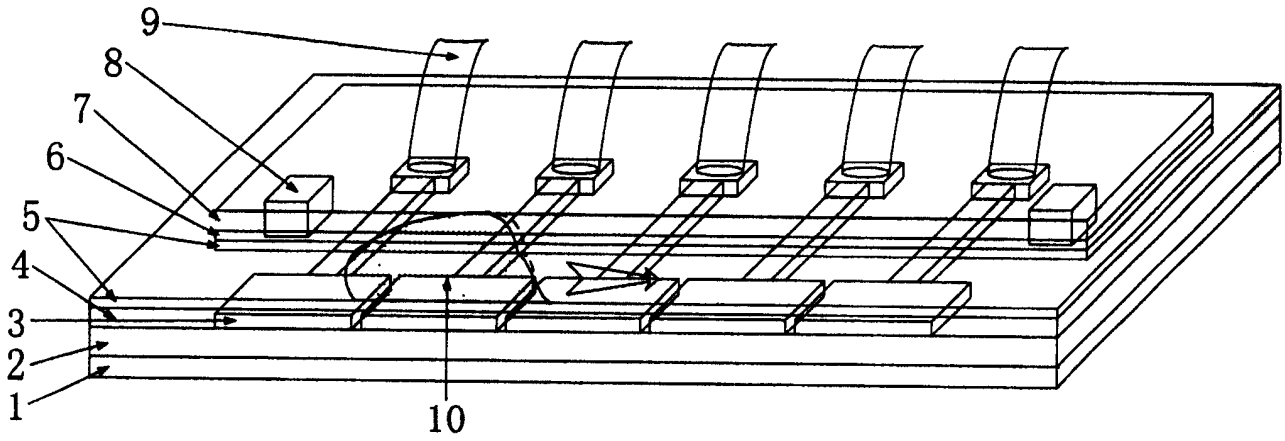


图 1



图 2.