



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106190829 B

(45)授权公告日 2018.07.03

(21)申请号 201610595568.1

(22)申请日 2016.07.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106190829 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(73)专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市咸宁路28号

(72)发明人 范亮亮 赵亮 者江 赵宏

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 何会侠

(51)Int.Cl.
C12M 1/42(2006.01)
C12M 1/34(2006.01)

(56)对比文件
CN 103642671 A,2014.03.19,说明书具体

实施方式,附图1-4.

CN 103614283 A,2014.03.05,说明书具体
实施方式,附图1-4.

CN 2821565 Y,2006.09.27,说明书实施例
1,附图1-2.

US 20140171343 A1,2014.06.19,全文.

CN 103191791 A,2013.07.10,全文.

CN 2821566 Y,2006.09.27,全文.

CN 103897981 A,2014.07.02,全文.

CN 101868730 A,2010.10.20,全文.

CN 105728070 A,2016.07.06,全文.

申峰等.基于微流控技术的微液滴融合研究
进展.《分析化学》.2015,第43卷(第12期),第
1946页第1-2段,图3.

金永龙等.基于准分子激光加工技术的内嵌
光纤型微流控器件的制备.《中国激光》.2008,第
35卷(第11期),第1821-1824页.

审查员 曾淑薇

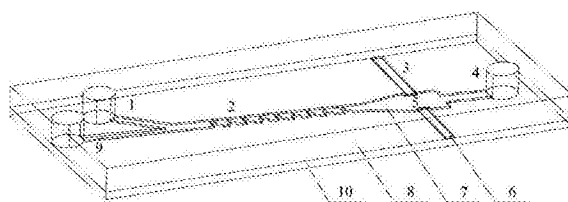
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种用于细胞高精度排列及检测的微流控
生物芯片

(57)摘要

一种用于细胞高精度排列及检测的微流控
生物芯片,由盖片层和载片组成,在盖片层上开
设有加液区、细胞排列微通道、入射光纤、导出光
纤或微型光电检测器、流体扩张区、细胞检测区
和液体排液区;经荧光染色的细胞由加液区进入
微通道,经过细胞排列微通道,高精度地排列在
一条直线上,经流体扩展区减速,依次通过细胞
检测区;激光由入射光纤引入细胞检测区,依次
照射待检测细胞,激发荧光,被激发的荧光经导
出光纤导出或由微型光电检测器进行光电转化
并导出,进行信号分析,实现对细胞精确检测,经
检测后的细胞样本液由液体排出区流出进行灭
活等处理;本发明可实现细胞的高精度排列及精
确、便携式检测,在生物医学及食品科学等领域
有重要应用潜力。



CN 106190829 B

1. 一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,由盖片层(8)和置于盖片层(8)下的载片(10)组成;其特征在于:所述盖片层(8)上开设有缓冲液加液区(1)、细胞样本液加液区(9)、细胞排列微通道(2)、入射光纤(3)、导出光纤或微型光电检测器(6)、流体扩张区(7)、细胞检测区(5)和液体排液区(4);所述细胞排列微通道(2)的一侧为平直壁面,另一侧带有向细胞排列微通道(2)内凸出的直角尖角结构;所述细胞排列微通道(2)入口为二分叉结构,用于与缓冲液加液区(1)和细胞样本液加液区(9)连通,其中细胞样本液加液区(9)的外侧壁面与细胞排列微通道(2)带有直角尖角结构的侧壁面位于同一平面;所述细胞排列微通道(2)出口与流体扩张区(7)连通;流体扩张区(7)用于扩张样本液,降低含有细胞的样本液流速,保证细胞安全和后续精确检测;流体扩张区(7)后端与细胞检测区(5)相连通;在细胞检测区(5)中细胞依次经过,实现对细胞的精确检测;细胞检测区(5)后端与液体排液区(4)相连通;所述入射光纤(3)与外部激光发生装置相连,用于将激光束引入细胞检测区(5),照射经荧光染色的细胞以激发荧光;所述导出光纤或微型光电检测器(6)用于导出被激发的荧光或对被激发的荧光进行光电转化并导出,与外部分析系统相连,实现信号分析;所述缓冲液加液区(1)、细胞样本液加液区(9)和液体排液区(4)为在盖片层(8)上开设的穿孔,所述细胞排列微通道(2)、流体扩张区(7)及细胞检测区(5)为在盖片层(8)与载片(10)相接触的表面开设的盲道;所述入射光纤(3)和导出光纤或微型光电检测器(6)为内嵌于盖片层(8)与载片(10)相接触表面的内嵌组件,底部与载片(10)表面相接触,端部与细胞检测区(5)内的流体直接接触;

所述细胞排列微通道(2)的宽度为 $350\mu\text{m}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述盖片层(8)和载片(10)通过等离子处理结合在一起。

3. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述细胞排列微通道(2)、流体扩张区(7)及细胞检测区(5)位于盖片层(8)和载片(10)相结合处的中央位置。

4. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述缓冲液加液区(1)、细胞样本液加液区(9)和液体排液区(4)均为圆柱形孔。

5. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述细胞排列微通道(2)内凸出的直角尖角结构为15-60个。

6. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述直角尖角结构在垂直流动方向上的直角边长度为 $310\mu\text{m}$,单个尖角结构及其后的扩张区在流动方向上长度之和为 $600\mu\text{m}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述细胞检测区(5)的宽度小于流体扩展区(7)末端通道宽度,其两侧壁面由入射光纤(3)和导出光纤或微型光电检测器(6)的端面构成。

8. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述入射光纤(3)和导出光纤或微型光电检测器(6)中所涉及的光纤直径为 $100\mu\text{m}$ - $200\mu\text{m}$ 。

9. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:对于尺寸大于 $9\mu\text{m}$ 的细胞进行高精度排列与检测时,保持缓冲液加液区(1)封闭,含有

经荧光染色的细胞样本液由细胞样本液加液区(9)以一定的流量注入微流控芯片;对于尺寸小于 $9\mu\text{m}$ 的细胞进行高精度排列与检测时,将缓冲液通过缓冲液加液区(1)注入微流控芯片,同时含有经荧光染色的细胞样本液由细胞样本液加液区(9)以一定的流量注入微流控芯片。

10. 根据权利要求1所述的一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,其特征在于:所述盖片层(8)的材料为聚甲基丙烯酸甲酯PMMA或聚二甲基硅氧烷PDMS;所述载片(10)的材料为玻璃或硅。

一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微流控生物芯片,具体涉及一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片。

背景技术

[0002] 微流控芯片又称微流控芯片实验室或芯片实验室,是一种以在微米尺度的空间中对流体、颗粒等进行操控与检测为主要特征的技术,在生物医学、分析化学及食品科学等领域有巨大的应用潜力,具有所需样品体积小、检测效率高、使用成本低且易于和其他技术设备集成、具有良好的兼容性、有望实现便携式检测等优点,成为当今的研究热点之一。例如中国专利申请ZL201310602808.2,名称为:一种用于细胞富集与提取的微流体生物芯片,利用突缩结构使流体及细胞加速经过突缩结构而产生侧向运动,实现细胞的富集与提取。但是其通道宽度较小(80 μm)、仅能在高流量条件下实现细胞富集与提取(最高至700微升每分钟)。高流量条件下,细胞受到流体的强烈剪切作用易造成结构变化,甚至破裂,从而对后续细胞的精确检测带来极大的影响。

[0003] 细胞的高精度排列及检测对于生物医学、临床诊断、药效分析等领域具有重要的意义。具体而言,通过将目标细胞高精度地排列成一条直线,使其依次经过检测区,获得目标细胞种类、尺寸及其他特征信息,可实现对目标细胞的高精度检测。如临床诊断中的血常规检测,通常需要将血细胞进行有序地排列,使其依次经过检测区,结合光学等检测手段实现对各类血细胞的高精度检测,获得各类血细胞的种类、数量等信息,对于疾病的早期诊断和病情监测有着重要的意义。另外,以对癌症的预防与治疗为例,病情发生早期,癌细胞处于扩散期,血液中的癌细胞含量只占到血液细胞总量的亿分之一,相当于一毫升血液中最多只有一个癌细胞。因此,将血液中浓度极低的癌细胞进行高精度地排列,对于癌细胞的准确精测与病情的早期诊断有着重要的意义。另一方面,通过对病变或目标靶细胞的高精度排列及检测,可获得用药前后血液中相应细胞的浓度变化信息,对药物开发和治疗效果的评估意义重大。

[0004] 对细胞进行排列与检测的传统手段主要是流式细胞仪,在流式细胞仪中,待检测细胞的有序排列主要在流动室中实现,流动室的两侧设有一对鞘液管,待检测细胞在鞘液的挤压作用下被高精度地排列在检测区域的中心,而后依次穿过激光检测区域,避免待测细胞在激光检测区的漏检,最终准确地得到待检细胞的类型、数量、大小等诸多信息。虽然流式细胞仪已被广泛用于生物医学、临床诊断等各领域,但具有以下缺点:1) 价格昂贵,成本高,限制了其在生物医学、临床诊断等领域中的应用;2) 体积大、不便携,无法被方便地应用于现场急救、家庭医疗及个人保健等方面;3) 仪器结构复杂,安装繁琐,维修与保养费用较高,后期使用成本较高;4) 不同的样本均需要在同一个检测通道中处理,存在不同样本间相互污染的风险,不利于样本的精确检测。此外,需要指出的是利用鞘流进行细胞有序排列,高流量条件下,细胞受到较为强烈的剪切作用易造成结构变化,甚至被破坏。因此,需要进一步研发安全性高、成本低、效率高、体积小、便携式的细胞排列及检测仪器,实现低流量

条件下细胞的高精度排列,保证细胞安全与准确检测。

发明内容

[0005] 为解决上述现有技术中存在的问题,本发明的目的在于提供一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,能对细胞等生物活性颗粒进行安全、高精度排列和检测,具有加工容易、结构简单、成本低、效率高、通量高、便于携带等优点,在生物医学、临床诊断与治疗等领域,具有很好的应用前景。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种用于细胞高精度排列及检测的微流控生物芯片,由盖片层8和置于盖片层8下的载片10组成;所述盖片层8上开设有缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9、细胞排列微通道2、入射光纤3、导出光纤或微型光电检测器6、流体扩张区7、细胞检测区5和液体排液区4;所述细胞排列微通道2的一侧为平直壁面,另一侧带有向细胞排列微通道2内凸出的由突缩和渐扩结构组成的直角尖角结构;所述细胞排列微通道2入口为二分叉结构,用于与缓冲液加液区1和细胞样本液加液区9连通,其中细胞样本液加液区9的外侧壁面与细胞排列微通道2带有直角尖角结构的侧壁面位于同一平面;所述细胞排列微通道2出口与流体扩张区7连通;流体扩张区7用于扩张样本液,降低含有细胞的样本液流速,保证细胞安全和后续精确检测;流体扩张区7后端与细胞检测区5相连通;在细胞检测区5中细胞依次经过,实现对细胞的精确检测;细胞检测区5后端与液体排液区4相连通;所述入射光纤3与外部激光发生装置相连,用于将激光束引入细胞检测区5,照射经荧光染色的细胞以激发荧光;所述导出光纤或微型光电检测器6用于导出被激发的荧光或对被激发的荧光进行光电转化并导出,与外部分析系统相连,实现信号分析;所述缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9和液体排液区4为在盖片层8上开设的通孔,所述细胞排列微通道2、流体扩张区7及细胞检测区5为在盖片层8与载片10相接触的表面上开设的盲道;所述入射光纤3和导出光纤或微型光电检测器6为内嵌于盖片层8与载片10相接触表面的内嵌组件,底部与载片10表面相接触,端部与细胞检测区5内的流体直接接触。

[0008] 所述盖片层8和载片10通过等离子处理结合在一起。

[0009] 所述细胞排列微通道2、流体扩张区7及细胞检测区5位于盖片层8和载片10相结合处的中央位置。

[0010] 所述细胞排列微通道2宽度为 $350\mu\text{m}$,可有效降低流体速度,减少流体剪切对细胞带来的破坏,在其扩张区细胞经过下一个直角尖角结构前,由于运动方向的突然改变,而向带有尖角结构一侧的壁面运动,同时受到惯性升力作用,最后高精度地排列在一条直线上。

[0011] 所述缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9和液体排液区4均为圆柱形孔。

[0012] 所述细胞排列微通道2内凸出的直角尖角结构为15-60个。

[0013] 所述直角尖角结构在垂流方向上的直角边长度为 $310\mu\text{m}$,单个尖角结构及其后的扩张区在流动方向上长度之和为 $600\mu\text{m}$ 。

[0014] 所述细胞检测区5宽度小于流体扩展区7末端通道宽度,其两侧壁面由入射光纤3和导出光纤或微型光电检测器6的端面构成。

[0015] 所述入射光纤3和导出光纤或微型光电检测器6中所涉及的光纤直径为 $100\mu\text{m}$ - $200\mu\text{m}$ 。

[0016] 对于尺寸大于 $9\mu\text{m}$ 的细胞进行高精度排列与检测时,保持缓冲液加液区1封闭,含有经荧光染色的细胞样本液由细胞样本液加液区9以一定的流量注入微流控芯片;对于尺寸小于 $9\mu\text{m}$ 的细胞进行高精度排列与检测时,将缓冲液通过缓冲液加液区1注入微流控芯片,同时含有经荧光染色的细胞样本液由细胞样本液加液区9以一定的流量注入微流控芯片。

[0017] 所述盖片层8的材料为聚甲基丙烯酸甲酯PMMA或聚二甲基硅氧烷PDMS。

[0018] 所述载片10的材料为玻璃或硅。

[0019] 本发明和现有技术相比较,具有如下优点:

[0020] 1) 安全、细胞排列精度高。中国专利公布号:CN 103642671A,中国专利申请号:201310602808.2,名称为:一种用于细胞富集与提取的微流体生物芯片,是利用突缩结构使流体及细胞加速经过突缩结构而产生侧向运动,高流量条件下才能实现细胞富集与提取(最高至700微升每分钟)。与之相比,本发明实现细胞高精度排列的几何结构和机理不同,本发明在宽度更大($350\mu\text{m}$)的微通道内引入直角尖角结构,利用细胞在微通道的扩张区经过下一个直角尖角结构前,由于运动方向的突然改变,而向带有尖角结构一侧壁面运动,同时结合细胞受到惯性升力作用,最后将细胞高精度地排列在一条直线上。本发明可在较低流体剪切作用条件下实现细胞的高精度排列与检测(小于200微升每分钟,最低可至20微升每分钟),可有效避免高流体剪切作用对细胞的破坏,保证细胞安全,为后续颗粒精确检测奠定重要基础。

[0021] 2) 体积小,便于携带,本发明基于微流体技术,细胞排列及检测等功能性组件尺寸为微米级别,均可被设计在芯片上,因此本发明可以方便地应用于现场急救、家庭医疗及个人保健等方面。

[0022] 3) 成本低,制作容易。本发明的微流控芯片通过简单的标准软光刻技术就可实现加工制作,因而本发明适合于大规模生产和市场推广。

[0023] 4) 结构简单,操作容易。本发明无需对较多的缓冲液进行精确的流量控制,操作简单,操作人员无需专业培训。

[0024] 5) 无相互污染的风险。与流式细胞仪相比,本发明成本极低。因此,对不同待测样本可使用不同的微流控芯片,可有效避免不同样本间的相互污染,保证样本检测的准确性。

附图说明

[0025] 图1为本发明用于细胞高精度排列及检测的微流控芯片俯视图。

[0026] 图2为图1沿A-A向的剖视图。

[0027] 图3为本发明用于细胞高精度排列及检测的微流控芯片的三维示意图。

[0028] 图4为本发明用于模拟细胞高精度排列的实验结果图。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明:

[0030] 如图1至图3所示,本发明一种用于细胞高精度排列及检测的微流控芯片,该芯片由标准软光刻技术加工,所述微流控芯片由盖片层8和置于盖片层8下的载片10组成;所述盖片层8上开设有缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9、细胞排列微通道2、入射光纤3、导出

光纤或微型光电探测器6、流体扩张区7、细胞检测区5和液体排液区4；所述细胞排列微通道2的一侧为平直壁面，另一侧带有向细胞排列微通道2内凸出的由突缩和渐扩结构组成的直角尖角结构；所述细胞排列微通道2入口为二分叉结构，用于与缓冲液加液区1和细胞样本液加液区9连通，细胞样本液加液区9的外侧壁面与细胞排列微通道2带有直角尖角结构的侧壁面位于同一平面；所述细胞排列微通道2出口与流体扩张区7连通；流体扩张区7用于扩张样本液，降低含有细胞的样本液流速，保证细胞安全和后续精确检测；流体扩张区7后端与细胞检测区5相连通；在细胞检测区5中细胞依次经过，实现对细胞的精确检测；细胞检测区5后端与液体排液区4相连通；所述入射光纤3与外部激光发生装置相连，用于将检测激光束引入细胞检测区5，照射经荧光染色的细胞以激发荧光；所述导出光纤或微型光电探测器6用于导出被激发的荧光或对被激发的荧光进行光电转化并导出，与外部分析系统相连，实现信号分析；所述缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9和液体排液区4为在盖片层8上开设的通孔，所述细胞排列区2、流体扩张区7及细胞检测区5为在盖片层8与载片10相接触的表面开设的盲道；所述入射光纤3和导出光纤或微型光电探测器6为内嵌于盖片层8与载片10相接触表面的内嵌组件，底部与载片10表面相接触，端部与细胞检测区5内的流体直接接触。本实施例缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9、液体排液区4腔体的直径皆为1-2mm，高度与盖片层8高度一致。缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9、细胞排列微通道2、入射光纤3、导出光纤或微型光电探测器6、流体扩展区7、细胞检测区5和液体排液区4形成的微通道位于盖片层8与载片10相结合的中央位置。细胞排列微通道2宽度为350 μm ，深度为40 μm ，前端连接二分叉结构，二分叉结构夹角 α 满足 $0^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ ，作为本发明的优选实施方式， $\alpha = 45^\circ$ 。细胞排列微通道2包括15-60个位于通道一侧的直角尖角结构，作为本发明的优选实施方式，尖角个数为30， $\theta = 90^\circ$ 。尖角角度 β 满足 $0^\circ < \beta < 90^\circ$ ，作为本发明的优选实施方式， $\beta = 60^\circ$ ，直角尖角结构在垂直流动方向上的直角边长度为310 μm ，单个尖角结构及其后的扩张区在流动方向上长度之和为600 μm 。流体扩展区7为对称渐扩结构，具体宽度可根据具体流速要求灵活设计，作为本发明的优选实施方式，流体扩展区7末端通道宽度为800 μm ；细胞检测区5宽度略小于流体扩展区7末端通道宽度，其两侧壁面由入射光纤3、导出光纤或微型光电探测器6的端面构成；也可设计多个导出光纤或微型光电探测器6实现对细胞多种性质的有效检测。

[0031] 作为本发明的优选实施方式，本发明中微流控芯片使用标准软光刻技术加工，所述盖片层8和载片10通过等离子处理结合在一起。也可以使用其他材料或方法，如干法、湿法刻蚀等在硅片等材料上加工本发明的微通道。

[0032] 作为本发明的优选实施方式，所述缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9和液体排液区4均为圆柱形孔。

[0033] 作为本发明的优选实施方式，所述细胞排列微通道2入口为二分叉结构，用于与缓冲液加液区1、细胞样本液加液区9连通，缓冲液加液区1对于较小尺寸的细胞实现挤压排列，细胞样本液加液区9的外侧壁面与细胞排列微通道2带有直角尖角结构的侧壁面位于同一平面，有利于减少流动阻力，便于细胞直接进入细胞排列微通道2实现高精度排列。

[0034] 作为本发明的优选实施方式，直角尖角结构在垂直流动方向上的直角边长度为310 μm ，单个尖角结构及其后的扩张区在流动方向上长度为600 μm ，扩张区在流动方向上长度较小可保证细胞在扩张区产生运动方向的突然改变而向带有尖角结构一侧壁面运动。

[0035] 作为本发明的优选实施方式,所述细胞排列微通道2内凸出的尖角结构 $\theta = 90^\circ$, $\beta = 60^\circ$,个数为30。

[0036] 作为本发明的优选实施方式,所述入射光纤3和导出光纤或微型光电检测器6中所涉及的光纤直径为 $100\mu\text{m}$ – $200\mu\text{m}$ 。

[0037] 作为本发明的优选实施方式,所述盖片层8的材料为聚甲基丙烯酸甲酯PMMA或聚二甲基硅氧烷PDMS。

[0038] 作为本发明的优选实施方式,所述载片10的材料为玻璃或硅。

[0039] 下面以一实施例说明本发明的实施过程:

[0040] 采用本发明微流控生物芯片对细胞高精度排列及检测的具体操作如下,对于尺寸大于 $9\mu\text{m}$ 的细胞高精度排列与检测时,保持缓冲液加液区1封闭,样本液由细胞样本液加液区9以一定的流量注入微流控芯片。经荧光染色后的细胞运动进入细胞排列微通道2,经过直角尖角结构进入其后的扩张区,细胞在扩张区由于运动轨迹的突然改变而产生显著的动量变化,而向带有尖角结构一侧壁面运动,同时细胞在微通道中还受到惯性升力的作用,颗粒最终被高精度地排列在一条直线上。而后经流体扩展区7,速度进一步变慢,有效保证后续检测精度与准确度。经高精度排列的细胞流依次进入细胞检测区5,通过入射光纤3导入特定波长的激光,激光照射到每个待检测细胞上,激发荧光通过导出光纤将光线导后出进行分析或通过微型光电检测器6转换成电信号再导出到外部分析系统,进而实现对细胞类型、数量、尺寸等属性的快速、准确、便携式检测。经检测后的细胞样本通过液体排出区4排出微流控芯片进行灭活等处理。

[0041] 对于尺寸小于 $9\mu\text{m}$ 的细胞高精度排列与检测时,将缓冲液(通常为磷酸缓冲液)通过缓冲液加液区1注入微流控芯片,同时含有经荧光染色的细胞样本液由细胞样本液加液区9以一定的流量注入微流控芯片,由于流量差异,样本细胞在缓冲液的挤压作用下将依次有序地排列在细胞排列微通道2带有尖角结构一侧壁面。而后经流体扩展区7,速度进一步变慢,有效保证后续检测精度与准确度。经高精度排列的细胞流依次进入细胞检测区5,通过入射光纤3导入特定波长的激光,激光照射到每个待检测细胞上,激发荧光通过导出光纤将光线导后出进行分析或通过微型光电检测器6转换成电信号再导出到外部分析系统,进而实现对细胞类型、数量、尺寸等属性的快速、准确、便携式检测。经检测后的细胞样本通过液体排出区4排出微流控芯片进行灭活等处理。

[0042] 由于本发明中细胞的高精度排列对后续细胞的准确的检测尤为重要,为验证本发明细胞排列的精度与效率,使用本发明对 $9.9\mu\text{m}$ 聚苯乙烯颗粒(模拟血液中细胞)的高精度排列进行实验验证。保持缓冲液加液区1封闭,采用注射泵以一定的流量将含有聚苯乙烯颗粒的样本液通过细胞样本液加液区9注入微流控芯片内,利用显微镜和CCD摄像机拍摄流体扩张区7中的颗粒排列情况。实验证明本发明在流量为20微升每分钟到200微升每分钟的范围内,可以将颗粒高精度地排列在一条直线。由于流量较低,流体对细胞的剪切作用较弱,可有效保证细胞的活性与安全。图4为流量为40微升每分钟及100微升每分钟时,流体扩展区7中的颗粒排列实验结果图。实验验证本发明可实现对细胞的高精度排列,通过结合后续光学等检测手段,可实现对细胞的精确、便携式检测,在生物医学、分析化学及食品科学等领域有着重要的应用潜力。

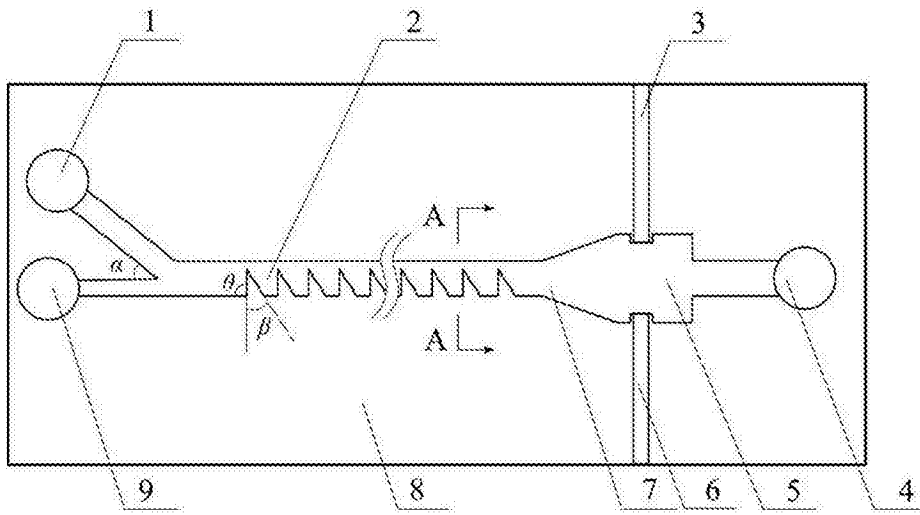


图1

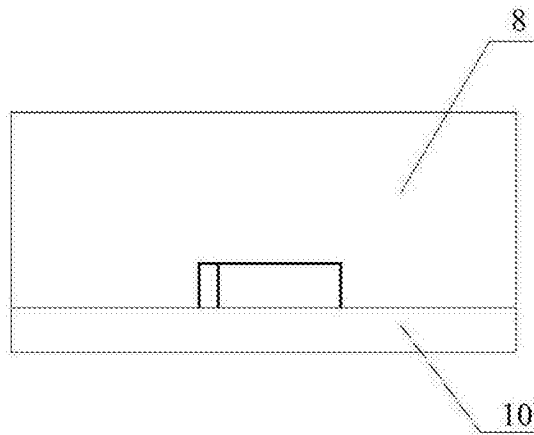


图2

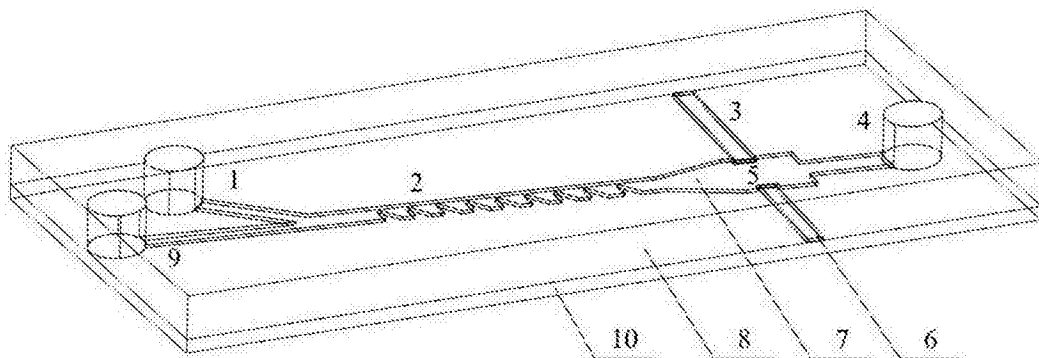


图3

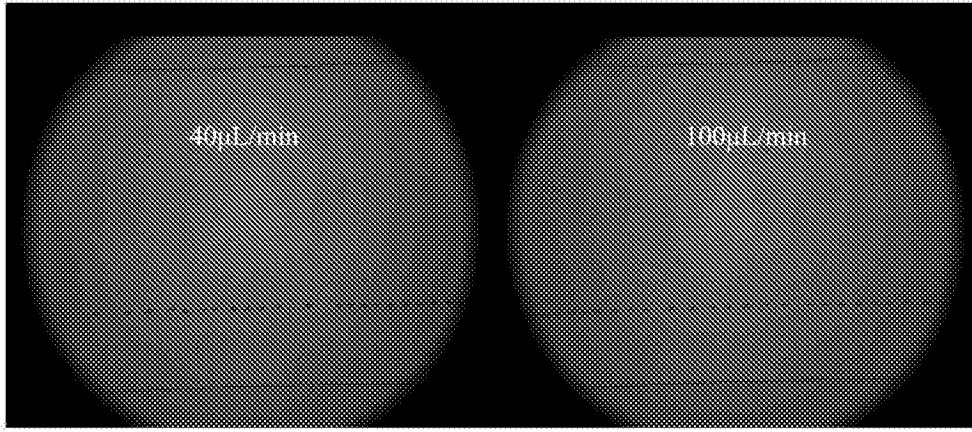


图4