

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 10 月 29 日 (29.10.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/215523 A1

- (51) 国际专利分类号:
B01L 3/00 (2006.01) **G01L 19/00** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/098775
- (22) 国际申请日: 2019 年 8 月 1 日 (01.08.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910331289.8 2019 年 4 月 24 日 (24.04.2019) CN
- (71) 申请人: 山东科技大学(SHANGDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。
- (72) 发明人: 王刚(WANG, Gang); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。陈建强(CHEN, Jianqiang); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。刘义鑫(LIU, Yixin); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。刘昆轮(LIU, Kunlun); 中国山东省青岛市黄岛区

前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。刘学麟(LIU, Xuelin); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。刘旭东(LIU, Xudong); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。唐翔宇(TANG, Xiangyu); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。

(74) 代理人: 青岛智地领创专利代理有限公司(QINGDAO ZHIDILINGCHUANG PATENT AGENCY CO., LTD); 中国山东省青岛市黄岛区江山路 480 号青岛研创中心 4 号楼 602 室联系人: 雷钰, Shandong 266555 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: EXPERIMENT SYSTEM AND EXPERIMENT METHOD BASED ON MICROFLUIDIC CONTROL AND JAMIN EFFECT OBSERVATION

(54) 发明名称: 基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统及其实验方法

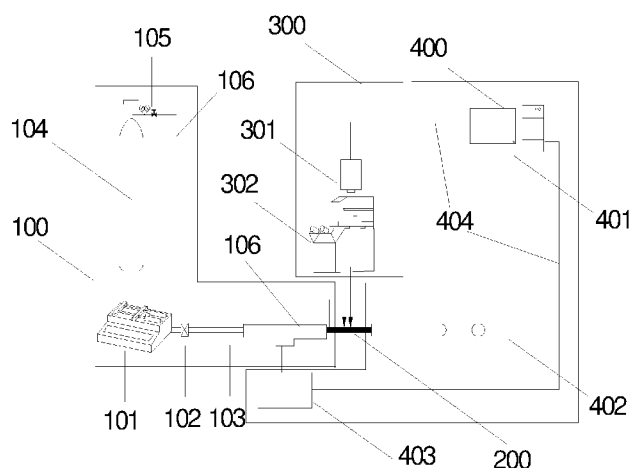


图 1

(57) Abstract: An experiment system and experiment method based on microfluidic control and Jamin effect observation. The experiment system comprises a pressure drive device (100), a data acquisition device (400), a pattern capturing device (300), and a micro silicon chip (200) internally provided with a photoetching micro-sized passage. One side of the micro silicon chip (200) is connected to the pressure drive device (100), and the other side is connected to the data acquisition device (400). The pattern capturing device (300) is located right above the micro silicon chip (200). The pressure drive device (100) is used for fluid injection and pressure control of the experiment system. The data acquisition device (400) is used for the acquisition and processing of auxiliary data. The pattern capturing device (300) is used for photographing and recording deformation images of a fluid droplet in the micro-passage, and observing the two-phase interface. The experiment method comprises the steps of experiment preparation, experiment, and data acquisition. In the micro silicon chip (200), a cross-shaped passage model is used, the size of droplets and bubbles generated is controlled by controlling the pressure, and a throat is provided to observe the deformation, so as to implement the research on the Jamin effect. The two-phase microfluidic control can be implemented by a simple method.

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统及其实验方法, 实验系统包括压力驱动装置(100)、数据采集装置(400)、图形采集装置(300)和内有光刻微米级通道的微硅芯片(200), 微硅芯片(200)的一侧连接压力驱动装置(100), 另一侧连接数据采集装置(400), 图形采集装置(300)位于微硅芯片(200)的正上方; 压力驱动装置(100)用于实验系统的流体注入与压力控制; 数据采集装置(400)用于辅助数据的收集与处理; 图形采集装置(300)用于拍摄记录流体的液滴在微通道内的变形图像, 并观察其两相界面情况; 实验方法包括实验准备和实验及数据收集的步骤; 微硅芯片(200)采用十字形通道模型, 通过控制压力, 控制生成的液滴与气泡尺寸, 并通过设置喉道观测变形实现对贾敏效应的研究, 能够通过简单的方法实现两相微流体控制。

说明书

发明名称: 基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统及其实验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于微流体控制与贾敏效应观测的微米通道实验系统及其实验方法，尤其涉及一种基于两相流动的微流体控制与贾敏效应观测的微米通道实验系统及其实验方法。

背景技术

[0002] 微流体技术，是上世纪90年代兴起的一门多学科交叉的科技前沿工程技术，着重研究特征尺寸在数百微米以下的通道中的流动规律。带动了化学、生物、岩土等学科从宏观现象研究到微观现象分析的革命性进展。对微流体的控制一直是微流体技术最为重要的一个环节，由于不同行业的研究需要不同，控制的精度要求也不相同。现有微流体实验装置的控制大多用于化学及生物领域，其控制精度大，但同时也复杂，难操作，成本高。现有微流体实验装置的观测装置主要技术方案一是依靠PIV（图像离子测速）或LDV（激光测速）方法，这两种方法都采用了粒子跟踪技术，对粒子以及粒子运动的观察设备要求十分高。二是直接观测流体运动，这种方法简单，设备要求低，但获得的数据单一，并没有太高的实际研究意义。

[0003] 贾敏效应是一种阻力效应，液体中气泡或者气体中的液滴由于界面张力而力图保持成球形。当这些气泡或者液滴通过细小的孔隙喉道时，由于孔道和喉道的半径差使得气泡或油滴两端的弧面毛细力表现为阻力，若要通过半径较小的喉道必须拉长并改变形状，这种变形将消耗一部分能量，从而减缓气泡或液滴运动，增加额外的阻力，这种现象称为贾敏效应。贾敏效应对石油的采集率、煤层的注水效果等工程问题有着重要的影响。

发明概述

技术问题

问题的解决方案

技术解决方案

- [0004] 本发明的目的在于提供一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统及其实验方法，其操作方便，能较好的实现对微流体液滴的尺寸控制。
- [0005] 本发明的任务之一在于提供一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其采用了如下技术方案：
- [0006] 一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其包括压力驱动装置、数据采集装置、图形采集装置，还包括内有光刻微米级通道的微硅芯片，所述的微硅芯片的一侧连接所述压力驱动装置，另一侧连接所述数据采集装置，所述的图形采集装置位于所述微硅芯片的正上方；
- [0007] 所述的压力驱动装置用于实验系统的流体注入与压力控制；
- [0008] 所述的数据采集装置用于辅助数据的收集与处理；
- [0009] 所述的图形采集装置用于拍摄记录流体液滴在微通道内的变形图像，并观察其两相界面情况。
- [0010] 上述技术方案直接带来的有益技术效果为：
- [0011] 实验所获得参数全面、真实、可靠；且整个实验装置结构简单、操作简便。这主要是由于采取了图像采集与辅助数据采集两类装置，其工作原理各不相同，所采集的数据类型也不相同，图像采集获得的是液滴变形的直观图像，界面弧度等图形信息，辅助数据采集获得的是注入压力以及流速等相关数值信息。两类数据是互补的，通过将这些数据处理后代入公式计算，最终能获得表面张力等重要数据，同时两数据还能起到相互检验的效果。
- [0012] 作为本发明的一个优选方案，上述的微硅芯片分为上、中、下三层，上、下层为透明的上盖和下垫，中层为光刻微米级通道的通道层；所述的通道层，分为前后两部分，前半部分为十字形通道，十字的上下两端为气体进出口，十字左侧为液体进出口，十字右侧连接后半部分，后半部分为一条直通道，通道前段为直径为10微米的圆形截面通道，中段缩小为直径为5微米的圆形截面通道，后段又扩张为直径为10微米的圆形截面通道。
- [0013] 上述技术方案直接带来的有益技术效果为：

- [0014] 前半部分十字形微通道与有压气体相互配合实现对不同大小尺度液珠的生成的控制，后半部分直径从10微米缩小到5微米的微通道喉道，可模拟贾敏效应的条件，同时注水口、微通道和出水口处以同一水平，排除因重力差造成的影响。
- [0015] 上述技术方案中采用十字形微通道来实现液滴大小的控制的方法，适用于各种流体，也可以替换成上下注加压水控制左端注入的气体的气泡尺寸，或者上下加加压水，控制左端注入的油生成所需要尺寸的油滴来满足实验需要。
- [0016] 作为本发明的另一个优选方案，上述的数据采集装置包括压力传感器、测量毛细管及计算机，上述通道层后半部分的后段圆形截面通道的出口与上述的测量毛细管连通，上述的压力传感器与上述的计算机连接。
- [0017] 进一步的，上述的压力驱动装置包括注射泵、气体钢瓶、止逆阀、三通、压力控制阀及软管，上述的注射泵通过上述软管与上述三通的一个端口相连，上述的三通的另一端口与微硅芯片中的液体入口相连，上述的三通的再一端口连接上述压力传感器；上述钢瓶与上述的微硅芯片的气体入口相连，上述的微硅芯片固定在显微镜工作台上。
- [0018] 进一步的，上述的图形采集装置包括显微镜和摄像机，上述的摄像机安装在上述的显微镜的摄影接筒上，并且与上述的计算机连接。
- [0019] 本发明的另一任务在于提供一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验方法，其包括以下步骤：
- [0020] a、实验准备：
- [0021] 根据实验需求，预先制备去离子水、一定浓度的表面活性剂溶液、含有纳米材料的纳米流体三种液体，取等体积的三种液体放入压力驱动装置的注射泵中；将各个实验装置连接好，并接通注水泵电源，注入流体，检查连接处的密封情况完好后，用注水泵注入空气，排空管道中的液体；用注射器针头在测量毛细管中间部位注入一滴水珠，封闭测量毛细管与外界的联系；接通各个实验装置电源，将注射泵数据归零；显微镜对准十字形通道中心位置，自动对焦，调整画面清晰度，使其清晰的投影到计算机显示器；
- [0022] b、实验步骤及数据收集：
- [0023] 实验开始时，设置注射泵使其按一定流量开始注入配置好的液体，通过压力传

感器观测其注入压力数据，并记录在计算机里；通过显微镜观察配置好的液体在十字通道中的运动，调整气体注入压力，使十字形通道上下通道中注入的气体将液体掐断，形成液滴，不断控制气体和液体压力，得到多个不同大小的液滴；

[0024] 得到液滴后，停止液体与气体注入，调整显微镜观察点至喉道处，自动对焦，使喉道处液滴运动情况呈现在计算机的显示器上，继续注射液体；

[0025] 液滴在喉道处由于通道直径的变化会产生变形，其变形过程被显微镜捕捉，并被摄像机拍摄下来显示在计算机的显示器上，通过液滴的界面弧度可以分析其表面张力的变化情况；

[0026] 流经通道的流体最后流入水平放置的测量毛细管，秒表从液体流入测量毛细管开始计时，通过毛细管内液体的体积与时间，可以得出其流量数据；

[0027] 注射泵内更换成内有空气的注射器，注入空气，排空其中的流体，然后换下一种液体重复上述实验并记录相关数据。

[0028] 上述技术方案直接带来的有益技术效果为：

[0029] 实验操作简便，获取的流体运动参数较为全面，完全能够满足大部分研究需要，真实重现了微通道中贾敏效应的产生，且实验成本低，实验数据真实、可靠。

[0030] 上述技术方案中“用注射器针头在测量毛细管中间部位注入一滴水珠，封闭毛细管与外界的联系”的目的是为了隔绝测量流体与外界大气接触，从而杜绝其因液面蒸发而产生的误差

发明的有益效果

有益效果

[0031] 与现有技术相比，本发明带来了以下有益技术效果：

[0032] （1）实验装置简单、成本低、操作方便，本发明实验系统采用十字形通道模型，通过控制压力，控制生成的液滴与气泡尺寸，并通过设置喉道观测变形实现对贾敏效应的研究，相对于现有技术，能够通过简单的方法实现两相微流体控制；

[0033] （2）本发明的实验方法，通过更换实验所用流体，进而实现多种流体在喉道

处变形的观测与受力的分析，具有可视程度高，计算结果真实、可靠，且操作简单，成本低等优点，可以较好的实现对微流体液滴的尺寸控制，并且这种方法还可以用来控制油滴、气泡等的尺寸。

[0034] (3) 形成的液滴与喉道的设置，满足了贾敏效应的发生条件，能够实现贾敏效应的观察与研究。

对附图的简要说明

附图说明

[0035] 下面结合附图对本发明做进一步说明：

[0036] 图1为本发明一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统的整体结构示意图；

[0037] 图2为本发明微硅芯片的结构示意图；

[0038] 图3为本发明微硅芯片的俯视图；

[0039] 图中：100、压力驱动装置，101、微量注射泵，102、止逆阀，103、软管，104、气体钢瓶，105、压力控制阀，106、三通，200、微硅芯片，210、上层，220、中层，230、下层，221、垂直通道出口，222、水平通道入口，223、通道交叉口，224、垂直通道入口，225、通道缩口，226、水平窄通道，227、水平通道出口，300、图形采集装置，301、高速摄像机，302、显微镜，400、数据采集装置，401、计算机，402、测量毛细管，403、压力传感器，404、数据线。

发明实施例

本发明的实施方式

[0040] 本发明提出了一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统及其实验方法，为了使本发明的优点、技术方案更加清楚、明确，下面结合具体实施例对本发明做详细说明。

[0041] 结合图1至图3所示，本发明一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，包括压力驱动装置100、数据采集装置400和图形采集装置300和微硅芯片200，其中，作为主要改进点的微硅芯片200，其中光刻有十字形微通道，与有压气体相互配合实现对不同大小尺度液珠的生成的控制，其中有直径从10微米缩小到5微米的微通道喉道，可模拟贾敏效应的条件；该微硅芯片的一侧连接压力驱动

装置，另一侧连接数据采集系统，正上方为图形采集装置。

[0042] 具体的，微硅芯片的结构详见图2和图3所示，其包括上层210、中层220、下层230，其中上、下层为透明的上盖和下垫，中层为刻有通道的通道层，该通道层，可分为前后两部分，前半部分为十字形通道，十字上下两端为气体进出口，十字左侧为液体进出口，十字右侧连接后半部分，后半部分为一条直通道，通道前段为直径为10微米的圆形截面通道，中段缩小为直径为5微米的圆形截面通道，后段又扩张为直径为10微米的圆形截面通道，最终流出通道，进入测量毛细管。前半部分十字形微通道与有压气体相互配合实现对不同大小尺度液珠的生成的控制，后半部分直径从10微米缩小到5微米的微通道喉道，可模拟贾敏效应的条件，同时注水口、微通道和出水口处以同一水平，排除因重力差造成的影响。如图3所示，该通道层包括垂直通道出口221、水平通道入口222、通道交叉口223、垂直通道入口224、通道缩口225、水平窄通道226、水平通道出口227。

[0043] 压力驱动装置包括微量注射泵101、气体钢瓶104、止逆阀102、三通106、压力控制阀105及软管103，注射泵通过软管与三通106的一个端口相连，三通的另一端端口与微硅芯片中的液体进出口相连，三通的再一端端口连接压力传感器；钢瓶与微硅芯片的气体进出口相连，微硅芯片固定在显微镜工作台上。本发明优选选用自动对焦、自动扫描的显微镜，能够使得实验更加方便，简单，可操作性强，同时也是为了能够及时观测并记录流体界面流经微通道这一比较快速的过程。

[0044] 上述数据采集装置由压力传感器403、测量毛细管402、秒表、计算机401组成，用于辅助数据的收集与处理，压力传感器通过数据线404与计算机相连。

[0045] 图形采集装置包括显微镜302和高速摄像机301，用于拍摄记录流体液滴在微通道内的变形图像，观察其两相界面情况。高速摄像机301接在高倍显微镜的摄影接筒上并通过数据线与计算机相连接。

[0046] 本发明试验系统，通过高倍显微镜与高速摄像机相互结合，实现流体在微米通道中变形情况的观测；实验装置通过十字形微通道与气、液压力的控制，能达到控制生成液滴或者气泡的大小尺寸的目的；通过设置一个由直径10微米的通

道向直径5微米的通道过度的喉道模拟贾敏效应条件，能够通过肉眼观测和图像处理分析液滴或气泡在5微米通道到10微米通道过度处的变形情况，配合辅助测量得到的各项参数，能够计算分析出液滴或气泡的表面张力变化情况。

[0047] 下面结合上述实验系统，来对本发明一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验方法做具体介绍。

[0048] 具体实验方法为：

[0049] 第一步，实验准备：

[0050] 跟据实验需求，预先制备去离子水、有一定浓度的表面活性剂溶液、含有纳米材料的纳米流体三种液体。用三个相同型号的注射器分别吸取上述溶液适量，放入实验室注射泵。用软管将各个实验装置连接好，并接通注水泵电源，注入流体，检查连接处的密封情况完好后，用注水泵注入空气，排空管道中的液体。用注射器针头在测量毛细管中间部位注入一滴水珠，封闭毛细管与外界的接触。

[0051] 先接通各设备电源，将注射泵数据归零。

[0052] 显微镜对准十字通道中心位置，自动对焦，调整画面清晰度，使其清晰的投影到电脑显示器上。

[0053] 第二步，实验步骤及数据收集：

[0054] 实验开始时，设置注射泵使其按一定流量开始注入配置好的液体，压力传感器能观测其注入压力数据，并记录在计算机里。通过显微镜观察配置好的液体在十字通道中的运动，调整气体注入压力，使十字通道上下通道中注入的气体将液体掐断，形成液滴，不断控制气体和液体压力，得到多个不同大小的液滴。

[0055] 得到液滴后，停止液体与气体注入，调整显微镜观察点，自动对焦，使喉道处液滴运动情况呈现在显示器上，继续注射。

[0056] 液滴在喉道处由于通道直径的变化会产生变形，其变形过程就会被显微镜捕捉到并被高速摄像机拍摄下来显示在电脑上，通过液滴的界面弧度可以分析其表面张力的变化情况。

[0057] 流经通道的流体最后流入水平放置的测量毛细管，秒表从液体流入测量毛细管开始计时，通过毛细管内液体的体积与时间，可以得出其流量数据。

- [0058] 注射泵内更换成内有空气的注射器，注入空气，排空其中的流体。然后换下一种液体重复上述实验并记录相关数据。
- [0059] 本发明采用十字形微通道来实现液滴大小的控制的方法，适用于各种流体，也可以替换成上下注加压水控制左端注入的气体的气泡尺寸，或者上下加加压水，控制左端注入的油生成所需要尺寸的油滴来满足实验需要。
- [0060] 本发明中未述及的部分借鉴现有技术即可实现。
- [0061] 需要说明的是，在本说明书的教导下本领域技术人员所做出的任何等同方式，或明显变型方式均应在本发明的保护范围内。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其包括压力驱动装置、数据采集装置、图形采集装置，其特征在于：
还包括内有光刻微米级通道的微硅芯片，所述的微硅芯片的一侧连接所述压力驱动装置，另一侧连接所述数据采集装置，所述的图形采集装置位于所述微硅芯片的正上方；
所述的压力驱动装置用于实验系统的流体注入与压力控制；
所述的数据采集装置用于辅助数据的收集与处理；
所述的图形采集装置用于拍摄记录流体液滴在微通道内的变形图像，并观察其两相界面情况。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其特征在于：所述的微硅芯片分为上、中、下三层，上、下层为透明的上盖和下垫，中层为光刻微米级通道的通道层；所述的通道层，分为前后两部分，前半部分为十字形通道，十字的上下两端为气体进出口，十字左侧为液体进出口，十字右侧连接后半部分，后半部分为一条直通道，通道前段为直径为10微米的圆形截面通道，中段缩小为直径为5微米的圆形截面通道，后段又扩张为直径为10微米的圆形截面通道。
- [权利要求 3] 根据权利要求2所述的一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其特征在于：所述的数据采集装置包括压力传感器、测量毛细管及计算机，所述通道层后半部分的后段圆形截面通道的出口与所述的测量毛细管连通，所述的压力传感器与所述的计算机连接。
- [权利要求 4] 根据权利要求3所述的一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其特征在于：所述的压力驱动装置包括注射泵、气体钢瓶、止逆阀、三通、压力控制阀及软管，所述的注射泵通过所述软管与所述三通的一个端口相连，所述的三通的另一端口与微硅芯片中的液体进出口相连，所述的三通的再一端口连接所述压力传感器；所述钢瓶与所述的微硅芯片的气体进出口相连，所述的微硅芯片固定在显微镜工作

台上。

[权利要求 5] 根据权利要求4所述的一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，其特征在于：所述的图形采集装置包括显微镜和摄像机，所述的摄像机安装在所述的显微镜的摄影接筒上，并且与所述的计算机连接。

[权利要求 6] 一种基于微流体控制与贾敏效应观测的实验方法，其特征在于，其采用权利要求5所述的基于微流体控制与贾敏效应观测的实验系统，所述实验方法依次包括以下步骤：

a、实验准备：

根据实验需求，预先制备去离子水、一定浓度的表面活性剂溶液、含有纳米材料的纳米流体三种液体，取等体积的三种液体放入压力驱动装置的注射泵中；将各个实验装置连接好，并接通注水泵电源，注入流体，检查连接处的密封情况完好后，用注水泵注入空气，排空管道中的液体；用注射器针头在测量毛细管中间部位注入一滴水珠，封闭测量毛细管与外界的联系；接通各个实验装置电源，将注射泵数据归零；显微镜对准十字形通道中心位置，自动对焦，调整画面清晰度，使其清晰的投影到计算机显示器；

b、实验步骤及数据收集：

实验开始时，设置注射泵使其按一定流量开始注入配置好的液体，通过压力传感器观测其注入压力数据，并记录在计算机里；通过显微镜观察配置好的液体在十字通道中的运动，调整气体注入压力，使十字形通道上下通道中注入的气体将液体掐断，形成液滴，不断控制气体和液体压力，得到多个不同大小的液滴；

得到液滴后，停止液体与气体注入，调整显微镜观察点至喉道处，自动对焦，使喉道处液滴运动情况呈现在计算机的显示器上，继续注射液体；

液滴在喉道处由于通道直径的变化会产生变形，其变形过程被显微镜捕捉，并被摄像机拍摄下来显示在计算机的显示器上，通过液滴的界

面弧度可以分析其表面张力的变化情况；

流经通道的流体最后流入水平放置的测量毛细管，秒表从液体流入测量毛细管开始计时，通过毛细管内液体的体积与时间，可以得出其流量数据；

注射泵内更换成内有空气的注射器，注入空气，排空其中的流体，然后换下一种液体重复上述实验并记录相关数据。

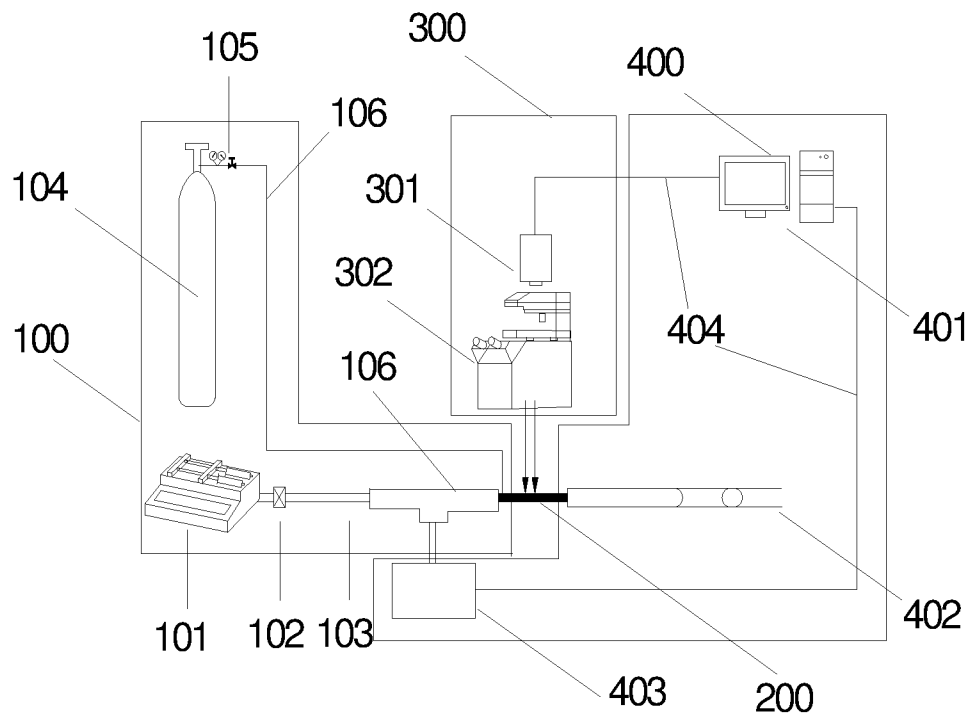


图 1

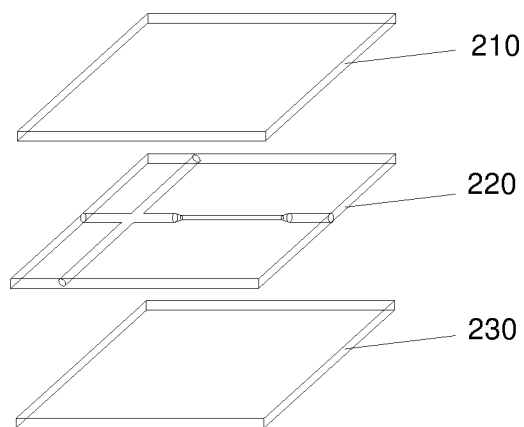


图 2

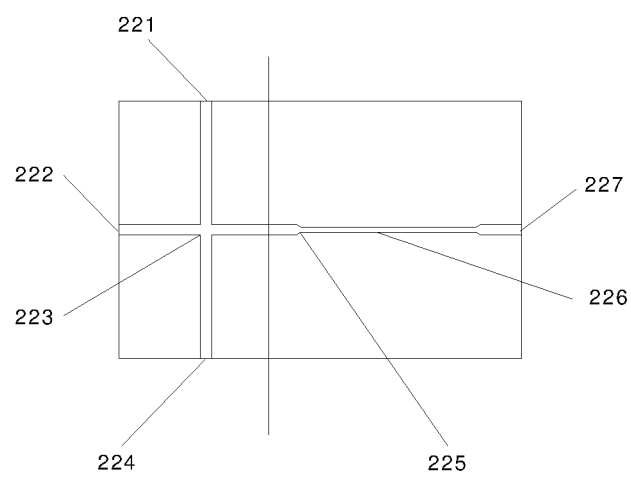


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/098775

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01L 3/00(2006.01)i; G01L 19/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B01L3/-,G01L19/-,G01N13/-,G01N33/-,G01N21/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 微流体, 贾敏, 通道, 微米, 芯片, 界面, 两相, 图像, 图形, 张力, 光刻, way?, passage?, channel?, chip, interface, imag+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 110302851 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 08 October 2019 (2019-10-08) claims 1-6	1-6
X	CN 109443993 A (PETROCHINA CO., LTD.) 08 March 2019 (2019-03-08) description, paragraphs [0041]-[0071], and figures 3 and 4	1
Y	CN 109443993 A (PETROCHINA CO., LTD.) 08 March 2019 (2019-03-08) description, paragraphs [0041]-[0071], and figures 3 and 4	2-6
Y	CN 101294886 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 29 October 2008 (2008-10-29) description, pages 2-5, and figures 1 and 2	2-6
A	CN 102507528 A (XUZHOU LEO MEDICAL EQUIPMENT CO., LTD.) 20 June 2012 (2012-06-20) entire document	1-6
A	CN 201166670 Y (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 17 December 2008 (2008-12-17) entire document	1-6
A	CN 109142675 A (INSTITUTE OF MECHANICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 04 January 2019 (2019-01-04) entire document	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 January 2020

Date of mailing of the international search report

23 January 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/098775

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 9534997 B2 (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE) 03 January 2017 (2017-01-03) entire document	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/098775

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110302851	A	08 October 2019	None			
CN	109443993	A	08 March 2019	None			
CN	101294886	A	29 October 2008	CN	101294886	B	17 August 2011
CN	102507528	A	20 June 2012	None			
CN	201166670	Y	17 December 2008	None			
CN	109142675	A	04 January 2019	None			
US	9534997	B2	03 January 2017	US	2014305225	A1	16 October 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/098775

A. 主题的分类 B01L 3/00(2006.01)i; G01L 19/00(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) B01L3/-, G01L19/-, G01N13/-, G01N33/-, G01N21/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNKI, CNPAT, WPI, EPDOC:微流体, 贾敏, 通道, 微米, 芯片, 界面, 两相, 图像, 图形, 张力, 光刻, way?, passage?, channel?, chip, interface, imag+																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>CN 110302851 A (山东科技大学) 2019年 10月 8日 (2019 - 10 - 08) 权利要求1-6</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 109443993 A (中国石油天然气股份有限公司) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 说明书第 [0041] - [0071] 段, 图3-4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 109443993 A (中国石油天然气股份有限公司) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 说明书第 [0041] - [0071] 段, 图3-4</td> <td>2-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 101294886 A (清华大学) 2008年 10月 29日 (2008 - 10 - 29) 说明书第2-5页, 图1-2</td> <td>2-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102507528 A (徐州雷奥医疗设备有限公司) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 201166670 Y (西安交通大学) 2008年 12月 17日 (2008 - 12 - 17) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109142675 A (中国科学院力学研究所) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	E	CN 110302851 A (山东科技大学) 2019年 10月 8日 (2019 - 10 - 08) 权利要求1-6	1-6	X	CN 109443993 A (中国石油天然气股份有限公司) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 说明书第 [0041] - [0071] 段, 图3-4	1	Y	CN 109443993 A (中国石油天然气股份有限公司) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 说明书第 [0041] - [0071] 段, 图3-4	2-6	Y	CN 101294886 A (清华大学) 2008年 10月 29日 (2008 - 10 - 29) 说明书第2-5页, 图1-2	2-6	A	CN 102507528 A (徐州雷奥医疗设备有限公司) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 全文	1-6	A	CN 201166670 Y (西安交通大学) 2008年 12月 17日 (2008 - 12 - 17) 全文	1-6	A	CN 109142675 A (中国科学院力学研究所) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文	1-6
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
E	CN 110302851 A (山东科技大学) 2019年 10月 8日 (2019 - 10 - 08) 权利要求1-6	1-6																								
X	CN 109443993 A (中国石油天然气股份有限公司) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 说明书第 [0041] - [0071] 段, 图3-4	1																								
Y	CN 109443993 A (中国石油天然气股份有限公司) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 说明书第 [0041] - [0071] 段, 图3-4	2-6																								
Y	CN 101294886 A (清华大学) 2008年 10月 29日 (2008 - 10 - 29) 说明书第2-5页, 图1-2	2-6																								
A	CN 102507528 A (徐州雷奥医疗设备有限公司) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 全文	1-6																								
A	CN 201166670 Y (西安交通大学) 2008年 12月 17日 (2008 - 12 - 17) 全文	1-6																								
A	CN 109142675 A (中国科学院力学研究所) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文	1-6																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td style="vertical-align: top;"> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																						
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																									
国际检索实际完成的日期 2020年 1月 11日		国际检索报告邮寄日期 2020年 1月 23日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 孙世新 电话号码 86-(10)-53962612																								

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 9534997 B2 (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE) 2017年 1月 3日 (2017 - 01 - 03) 全文	1-6

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/098775

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110302851	A	2019年 10月 8日	无	
CN	109443993	A	2019年 3月 8日	无	
CN	101294886	A	2008年 10月 29日	CN 101294886 B	2011年 8月 17日
CN	102507528	A	2012年 6月 20日	无	
CN	201166670	Y	2008年 12月 17日	无	
CN	109142675	A	2019年 1月 4日	无	
US	9534997	B2	2017年 1月 3日	US 2014305225 A1	2014年 10月 16日