



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102753971 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 24

(21) 申请号 201080042976. 5

B01L 3/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 09. 03

E21B 49/08 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日
2012. 03. 26

(86) PCT申请的申请数据
PCT/IB2010/053984 2010. 09. 03

(87) PCT申请的公布数据
W02011/013112 EN 2011. 02. 03

(71) 申请人 普拉德研究及开发股份有限公司
地址 英属维京群岛多多拉岛

(72) 发明人 F·蒙斯陶菲 Y·贝拉内什

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256

代理人 苏娟 朱利晓

(51) Int. Cl.
G01N 33/28 (2006. 01)

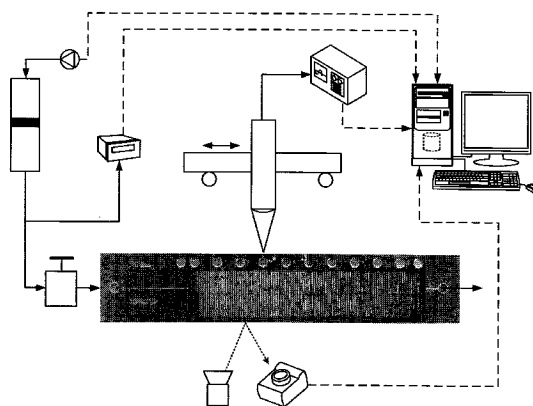
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 17 页

(54) 发明名称

利用微流体平台的相特性分析

(57) 摘要

本发明描述用于分析微流体装置中的相特性的方法和相关系统。流体在压力下被引入到微通道中,在沿着微通道的多个位置处对流体的相状态进行光学检测。流体的气相和液相基于微通道内流体的多幅数字图像进行区分。基于数字图像可以生成二值图像,并且可以基于二值图像对流体中的液相率或气相率随压力的变化进行评估。对于流体的特性,例如泡点值和 / 或相体积分布比随压力的变化关系,可以基于检测到的流体相状态进行评估。



1. 一种用于分析微流体装置中的相特性的系统,包括:
微通道,其能够运送流体且具有进入通道和排出通道;
流体引入系统,其与所述进入通道流体连通并且能够在压力下经由所述进入通道将流体引入;以及
光学传感系统,其能够定位为在沿着微通道的多个位置处检测流体的相状态。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述光学传感系统包括处理系统,该处理系统能够被编程为基于微通道中流体的多幅数字图像在沿着微通道的多个位置处区分微通道中的流体的气相和液相。
3. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述处理系统基于微通道中的流体的数字图像生成多幅二值图像。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述处理系统还被编程为至少部分基于多幅二值图像针对多个压力对与流体中的液相率或气相率有关的值进行估计。
5. 根据权利要求2所述的系统,其中,数字图像中的每一幅都具有大于20比1的高宽比。
6. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述数字图像利用被引向微通道多个部分的光纤阵列生成。
7. 根据权利要求1所述的系统,还包括压力测量系统,其能够被定位为在沿着微通道的多个位置处测量流体的压力。
8. 根据权利要求7所述的系统,其中,所述压力测量系统包括:
一个或多个可变形的薄膜,其能够被定位为在微通道中的流体压力下变形;以及
第二光学传感系统,其能够被定位为检测所述一个或多个柔性薄膜的变形。
9. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述流体是从包括储层流体、生物医学流体和与环境监控相结合进行监控的流体的组中选出的类型的流体。
10. 根据权利要求1所述的系统,还包括处理系统,该处理系统能够被编程为至少部分基于检测到的流体的相状态对流体的泡点值进行估计。
11. 根据权利要求1所述的系统,还包括处理系统,该处理系统能够被编程为至少部分基于检测到的流体的相状态对流体的相特性与压力的关系进行估计。
12. 根据权利要求1所述的系统,还包括处理系统,该处理系统能够被编程为至少部分基于检测到的流体的相状态对流体的相体积分布比进行估计。
13. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述微通道具有大体上呈矩形的横截面。
14. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述微通道至少部分由蚀刻到透明的硅基底和玻璃基底中的通道限定,使得光学传感系统能够生成微通道中的流体的多幅数字图像。
15. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述微通道呈现出蛇形弯曲的形状并且具有至少一米的长度。
16. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述微通道具有在两微米至几百微米范围内的宽度。
17. 一种用于分析微流体装置中的相特性的方法,包括:
提供能够运送流体且具有进入通道和排出通道的微通道;
在压力下经由进入通道将流体引入微通道中;以及

在沿着微通道的多个位置处以光学方式感测流体的相状态。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,以光学方式感测的步骤包括生成微通道中的流体的多幅数字图像以及基于多幅数字图像区分微通道中的流体的气相和液相。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,其中,以光学方式感测的步骤包括基于微通道中的流体的多幅数字图像生成多幅二值图像。

20. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,以光学方式感测的步骤进一步包括至少部分基于多幅二值图像针对多个压力对与流体中的液相率或气相率有关的值进行估计。

21. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括在沿着微通道的多个位置处测量流体的压力。

22. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,所述压力通过以光学方式感测一个或多个柔性薄膜的变形进行测量,所述薄膜被定位为在微通道中的流体压力下变形。

23. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,所述流体是从包括储层流体、生物医学流体和与环境监控相结合进行监控的流体的组中选出的类型的流体。

24. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括至少部分基于检测到的流体的相状态对流体的泡点值进行估计。

25. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括至少部分基于检测到的流体的相状态对流体的相特性与压力的关系进行估计。

26. 根据权利要求 17 所述的方法,还包括至少部分基于检测到的流体的相状态对流体的相体积分布比进行估计。

27. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,所述微通道具有大体上呈矩形的横截面。

28. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,所述微通道至少部分由蚀刻到透明的硅基底和玻璃基底中的通道限定,使得光学传感系统能够生成微通道中的流体的多幅数字图像。

29. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,所述微通道呈现出蛇形弯曲的形状并且具有至少一米的长度。

30. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,所述微通道具有在两微米至几百微米范围内的宽度。

利用微流体平台的相特性分析

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请是 2009 年 2 月 7 日提交的申请号为 PCT/IB09/50500 的国际专利申请的部分继续申请,通过引用将该国际专利申请合并于此。

技术领域

[0003] 本专利说明书涉及用于测量流体热物理属性的设备和方法。更特别地,本专利说明书涉及用于分析在微流体装置中流动的储层流体的相特性的设备和方法。

背景技术

[0004] 储层流体属性的测量是规划和开发潜在油田中的关键步骤。经常希望的是,在生产井上频繁地执行这种测量以提供性能的指示和生产过程的特性。这种测量的例子有压力、体积和温度测量,经常称为“PVT”测量,这些有助于预测储层流体的复杂热物理特性。PVT 测量的一项重要使用是构造描述储层流体中油状态的状态方程式。可以利用 PVT 测量确定的其他感兴趣的属性包括流体粘滞性、密度、化学成分、油气比等。一旦 PVT 分析完成,状态方程式和其他参数可以输入储层建模软件中以预测油田地层的特性。

[0005] 常规的 PVT 测量利用包含储层流体的缸体进行。置于缸体内的活塞在流体上保持希望的压力,而液相和气相的高度例如利用高差计进行测量。

[0006] 尽管应用范围很广,常规的 PVT 测量遭受几项非常重要的限制。首先,常规的 PVT 分析通常需要长达几个星期来完成。另外,储层流体的相当大的体积,经常是 4 公升那么多的体积,必须从井场到测试实验室维持在高达大约 1400 千克/平方厘米(20000 磅/平方英寸)的压力。在此高压下运送和处理这么大的样品成本很高且造成不可忽视的安全问题。

[0007] 尽管本领域已知多种描述储层流体属性的方法,但仍留有不可忽视的缺陷。

发明内容

[0008] 根据实施例,提出用于分析微流体装置中的相属性的系统。所述系统包括适于运送流体且具有进入通道和排出通道的微通道。与进入通道流体连通的流体引入系统在压力下经由进入通道将流体引入。光学传感系统适于定位为在沿着微通道的多个位置检测流体的相状态。

[0009] 光学传感系统优选地包括处理系统,该处理系统适于和编程为基于微通道中流体的多个数字图像在沿着微通道的多个位置处区分微通道中流体的气相和液相。优选地基于微通道中流体的数字图像生成多个二值图像,并且优选地至少部分基于多个二值图像针对多个压力估计与流体中液相率或气相率有关的值。

[0010] 对于流体像泡点值和 / 或相体积分布比与压力的关系这种属性优选地至少部分基于检测到的流体相状态进行估计。

[0011] 另外,根据一些实施例提出在微流体装置中分析相属性的方法。设有适于输送流体的微通道,其具有进入通道和排出通道。流体在压力下经由进入通道被引入到微通道内,

并且在沿着微通道的多个位置以光学方式检测流体的相状态。

[0012] 由下文结合附图的详细描述,本发明的其他特征和优点将会更显而易见。

附图说明

[0013] 通过本发明示例性实施例的非限制性例子,参照所提到的多幅附图,在下文详细的描述中进一步对本发明进行描述,附图中相似的附图标记在附图的多个视图中代表相似的部件,并且其中,

[0014] 图 1 是用于测量储层流体热物理特性的、第一说明性实施例的微流体装置的程式化立体分解图;

[0015] 图 2 是当储层流体流经图 1 的微流体装置时储层流体的反应的程式化图示;

[0016] 图 3 是图 1 的微流体装置的俯视图,描绘了三种储层流体流态;

[0017] 图 4 是储层流体测量系统的程式化前视图,该测量系统包括图 1 的微流体装置和用于在使用中生成微流体装置图像的照相机;

[0018] 图 5 是用于测量储层流体热物理特性的、第二说明性实施例的微流体装置的俯视图;

[0019] 图 6 是图 5 的微流体装置的前侧视图;

[0020] 图 7-9 描绘了图 5 的微流体装置的示例性微通道收缩部;

[0021] 图 10 是根据一些实施例的相特性分析系统的程式化图示;

[0022] 图 11 示出了根据一些实施例的、从流经微流体装置的流体捕捉的一帧视频的例子;

[0023] 图 12A 是根据一些实施例的、针对 C_1 和 C_{10} 的混合物,微通道中的压降与通道长度的关系图;

[0024] 图 12B 是根据一些实施例的、针对 C_1 和 C_{10} 的混合物,相体积分布与压力的关系图;

[0025] 图 13A 是根据一些实施例的、针对多组分气体和 C_{10} 的混合物,微通道中压降与通道长度的关系图;

[0026] 图 13B 是根据一些实施例的、针对多组分气体和 C_{10} 的混合物,相体积分布与压力的关系图;

[0027] 图 14A 是根据一些实施例的、针对轻质油和 C_1 的混合物,微通道中压降与通道长度的关系图;

[0028] 图 14B 是根据一些实施例的、针对轻质油和 C_1 的混合物,相体积分布与压力的关系图;

[0029] 图 15 示出了根据一些其它实施例的、用于测量微流体装置中液相率的行扫描方法的例子;

[0030] 图 16 示出了根据一些实施例的、相状态矩阵的例子;

[0031] 图 17A 和图 17B 是根据一些实施例的、示出行扫描视频结果的图;

[0032] 图 18A 和图 18B 示出了根据替代实施例的微通道;以及

[0033] 图 19 示出了根据替代实施例的、螺旋微通道的设计图案的例子。

[0034] 本发明容许各种修改和替代方式,其特定的实施例已经在此通过附图中的例子详

细示出。但应该理解的是,在此特定实施例的描述并没有想要将本发明限制于所公开的特殊方式,而是正好相反,本发明要覆盖落在本发明由附上的权利要求书所限定的范围内的所有修改、等同方案和替代方案。

具体实施方式

[0035] 下面对本发明的说明性实施例进行说明。为了清楚,本说明书中没有描述实际实施方案的所有特征。应理解在任何这种实际实施例的研发过程中,必须做出许多根据实施而特定的决定,以实现研发者的特定目标,例如符合与系统相关和与商业相关的约束,一种实施方案与另一种实施方案的这些约束都不同。此外,应理解这种研发努力是复杂的且耗费时间的,但仍然是保证本领域普通技术人员享有本公开益处的常规程序。此外,各附图中类似的附图标记表示类似的元件。

[0036] 根据实施例,提出用于测量气液混合物的相特性的技术。该技术利用由微通道制成的微加工芯片,所述微通道与在流体压力下变形的薄的硅酮膜连接。利用在共同待授权的题目为“PRESSURE MEASUREMENT OF A RESERVOIR FLUID IN A MICROFLUIDIC DEVICE”、律师卷号 117.0037 US NP、与本申请同日提交且通过引用合并入本文的美国专利申请 12/533292、专利申请 US 2010/0017135 中进一步描述的薄膜来测量通道内的压力。根据一些实施例,通过捕捉流动的视频并用 Matlab 程序对视频进行处理来测量沿着通道的液相率。通过绘制液相率随压力变化的图得到相特性曲线。

[0037] 根据一些实施例,提出用于测量微流体装置中的储层流体压力的系统和方法。出于本发明的目的,术语“储层流体”意思是储存在渗透性岩石的地下本体中的流体或者从其中输送出的流体。因此,“储层流体”可以包括碳氢化合物流体、例如盐水的盐性流体以及其他地层水和例如超临界相二氧化碳的其他流体,但不局限于此。此外,出于本发明的目的,术语“微流体”意思是具有呈现出几微米到几百微米范围内宽度但长度比通道的宽度长很多倍的流体运输通道。类似地,术语“微通道”意思是呈现出几微米至几百微米范围内的宽度的流体运输通道。尽管由于实际制造技术在此描述的许多微通道的横截面是矩形,但微通道的横截面可以是任意形状,包括圆形、卵形、椭圆形、方形等等。

[0038] 图 1 示出了根据本发明一些实施例的、用于研究相特性的微流体装置 101 的程式化立体分解图。在说明性实施例中,微流体装置 101 包括限定微通道 105、进入井 107 和排出井 109 的第一基底 103。微通道 105 在进入井 107 和排出井 109 之间延伸并且与进入井 107 和排出井 109 流体连通。微通道 105 在第一基底 103 中形成蛇状弯曲的图案,因此使得微通道 105 能够延伸相当长的长度但仅占据相对小的面积。根据一种实施例,微通道 105 呈现一米或多米的长度、大约 100 微米的宽度和大约 50 微米的深度,但对于微通道 105 本发明也可预期有其他的尺寸。微流体装置 101 还包括第二基底 111,其具有与第一基底 103 的上表面 115 结合的下表面 113。当第二基底 111 与第一基底 103 结合时,除了在进入井 107 处的进口 117 和在排出井 109 处的出口 119 之外,微通道 105 被密封。第二基底 111 限定了从中经过的进入通道 121 和排出通道 123,其分别与第一基底 103 的进入井 107 和排出井 109 流体连通。在图 1 中还示出了多个空腔,例如空腔 150,每个空腔利用小的侧面通道与主要的微通道 105 连接。如下文进一步详细解释的,每个空腔(例如空腔 150)部分地由可变形的薄膜限定,该薄膜使得能够进行压力测量。根据优选的实施例,基底 103 制造有圆

形的开口,空腔在侧面由基底 103 内的开口的壁限定,在底部通过可变形的薄膜限定,并且在顶部由第二基底 111 限定。

[0039] 在图 1 中,第一基底 103 优选地由硅制成并且大约 500 微米厚,第二基底 111 由玻璃,例如硅硼酸盐玻璃制成,但如在此要更详细讨论的,本发明可预期有其他的材料用于第一基底 103。根据一些优选的实施例,基底 103 是传统的绝缘体上硅 (SOI) 晶片。示例性的硅硼酸盐玻璃由美国纽约的 Schott North America, Inc. of Elmsford 以及美国纽约的 Corning Incorporated of Corning 制造。

[0040] 在操作中,促使增压的储层流体经过进入通道 121、进入井 107 和进口 117 流入微通道 105。储层流体经过出口 119、排出井 109 和排出通道 123 离开微通道 105。微通道 105 对经过它的储层流体的流动提供很大的阻力,因为微通道 105 的横截面相对于微通道 105 的长度非常小。当在微通道 105 的进口 117 和出口 119 之间形成流体流动时,微通道 105 内的储层流体的压力从进口 117 处的输入压力(例如储层压力)下降到出口 119 处的输出压力(例如大气压力)。流速是进口 117 和出口 119 之间的总压降以及粘滞性的函数。经过微通道 105 的流体流动是层流,因此当储层流体呈现单相流动时,进口 117 和出口 119 之间的压降是线性的。对于用于测量储层流体的热物理属性的微流体装置和方法的进一步细节,例如参阅 2009 年 2 月 7 日提交的国际专利申请 PCT/IB09/50500,其通过引用合并在此。一旦形成流动,每个空腔(例如空腔 150)中的薄膜由于流体压力而变形,并且可以通过光学方式检测此变形,如在共同待授权的题目为“PRESSURE MEASUREMENT OF A RESERVOIR FLUID IN A MICROFLUIDIC DEVICE”序列号为 12/533292、专利申请公布号为 US 2010/0017135、律师卷号为 117.0037 US NP 的同日提交的美国专利申请中更全面描述的。

[0041] 图 2 示出了根据一些实施例的、当储层流体沿整体上对应于箭头 202 的方向流经微通道 105 时储层流体 201 的反应的程式化图示。当储层流体进入微通道 105 的进口 117 时,储层流体的压力在储层流体的“泡点压力”之上。流体的泡点压力是在该压力时或在低于该压力时在给定温度下流体开始沸腾即起泡的压力。当储层流体离开微通道 105 的出口 119 时,储层流体的压力在储层流体的泡点压力之下。因此,“第一个”泡 203 在微通道 105 内储层流体处于泡点压力的某一位置(例如图 2 中的 205 处)在储层流体中形成。在位置 205 的下游,在微通道 105 中发生储层流体 201 的多相流动,例如气相和液相流动。之前形成的泡,例如泡 207、209、211、213、215 等的大小随着储层流体 201 在微通道 105 内流动超过对应于第一个泡形成的位置而变大,因为微通道 105 的这部分中的压力下降且更多储层流体 201 的较轻成分汽化。这些泡通过例如液体块 217、219、221、223、225 等的液体块隔开。泡(例如泡 207、209、211、213、215)的膨胀引起这些泡和液体块(例如液体块 217、219、221、223、225)在微通道 105 内的流动速度增加。储层流体 201 的质量流速沿着微通道 105 大体上是恒定的;然而储层流体 201 的体积流速随着储层流体沿着微通道 105 流动而增加。储层流体也经过小的通道 152 进入空腔 150。根据一些实施例,小的侧面通道 152 的宽度为大约 50 微米或微通道 105 宽度的大约一半,以及为大约 50 微米深。

[0042] 储层流体(例如图 2 的储层流体 201)的热物理属性(例如油气比、相包络线、状态方程式)可以通过测量微通道 105 内的泡的大小和浓度来确定。现在参照图 3,以三种流态描绘了经过微通道 105 的储层流体的流动。第一个泡,例如图 2 的第一个泡 203,在沿着微通道 105 的 301 处形成。从微通道 105 的进口 117 到第一个泡的位置 301,在图 3 中指示

为第一区域 303, 储层流体的压力在泡点之上。在第一区域 303 内没有观察到泡。在第一区域 303 中, 由于低雷诺数, 储层流体的流动为层流, 并且在此区域中压力线性下降。一旦形成泡, 泡沿着在微通道 105 内朝向出口 119 移动并且泡的体积增大。在第二区域 305 中, 储层流体的含气率 (即气体的体积与总体积的比) 小于 1。在第三区域 307 中, 储层流体的流动由高速气体流动所主导。气泡由液体 (例如水) 的小液滴分隔开。储层流体的压力在第三区域 307 内迅速下降。气泡在第二区域 305 内以比在第三区域 307 中低的速度流动, 在第二区域中以肉眼经常几乎不能跟随所述气泡。

[0043] 一旦在微通道 105 中形成储层流体的稳定流动, 使用照相机 401 来捕捉流动的快照, 如图 4 所示。需注意, (图 1 和图 3 中示出的) 储层流体流入进口 117 的流动由箭头 403 表示, 并且 (图 1 和图 3 中示出的) 储层流体从出口 119 流出的流动由箭头 405 表示。在一种实施例中, 照相机 401 是电荷耦合器件 (CCD) 类型的照相机。由照相机 401 产生的图像利用图像分析软件, 例如可从美国马里兰州贝塞斯达的美国国家卫生院获得的 ImageJ 1.38x 以及可从美国马萨诸塞州 Xcitex, Inc. of Cambridge 获得的 ProAnalyst 进行处理, 以测量置于微通道 105 中的储层流体内的泡的大小和浓度。利用这项技术, 可以确定储层流体的许多热物理属性, 例如油气比、相包络线和状态方程式。

[0044] 图 5 和图 6 描绘了根据一些实施例的微流体装置 501。如同图 1 的微流体装置 101, 微流体装置 501 包括限定微通道 505、进入井 507 和排出井 509 的第一基底 503。微通道 505 在进入井 507 和排出井 509 之间延伸并且与进入井 507 和排出井 509 流体连通。在所示的实施例中, 第一基底 503 由硅制成; 然而, 第一基底 503 可以由玻璃制成。在一种实施例中, 首先利用光刻技术将微通道 505、进入井 507 和排出井 509 摹制到第一基底 503 上, 然后利用深反应离子蚀刻技术将其蚀刻到第一基底 503 中。如图 1 所示的第一实施例那样, 在优选的实施例中, 微通道 505 呈现一米或多米的长度、大约 100 微米的宽度和大约 50 微米的深度, 但对于微通道 105 本发明也预期有其他的尺寸。多个小的侧面通道 (例如侧面通道 552 和 556) 从主要的微通道 505 通向圆形的空腔, 例如空腔 550 和 554。还示出了通向空腔 558 的侧面通道 560。根据一些实施例, 沿着微通道 505 的长度间隔开十二个空腔, 每个空腔的直径大约为 2mm, 尽管本发明也预期有其他数量的空腔且对于每一空腔也预期有其他的直径。每个空腔部分地由在装置 501 底侧上的柔性薄膜限定。薄膜在局部静压力下发生变形。利用共聚焦多色传感器 (CCS) 来测量变形, 并且在校准之后给出通道内的压力值。

[0045] 微流体装置 501 还包括第二基底 511, 其限定了与进入井 507 和排出井 509 流体连通的进入通道 513 和排出通道 515。第二基底 511 由玻璃制成, 如在此关于 (在图 1 中所示的) 第二基底 111 所讨论的。通过使装置 501 的前部成为透明的, 可以观察流动并且提供捕捉微通道 505 内流动的视频。在一种实施例中, 利用水射流或磨料水射流技术在第二基底 511 中形成进入通道 513 和排出通道 515。优选地, 在仔细地对基底 503 和 511 的结合表面进行清洁后, 利用阳极键合方法将第一基底 503 和第二基底 511 熔合。

[0046] 本发明预期微流体装置 501 具有对于特定的实施方式所需的任意适合大小和 / 或形状。在一种实施例中, 微流体装置 501 呈现出大约 80 毫米的总体长度 A 和大约 15 毫米的总体宽度 B。在这种实施例中, 通道 513 和 515 被隔开大约 72 毫米的距离 C, 空腔 558 和 550 被隔开大约 3 毫米的距离 D, 并且沿着微通道 505 呈蛇状弯曲部分的空腔 (例如空腔

550 和 554) 被隔开大约 5 毫米的距离 E。应注意的是,微流体装置 101 也可以呈现与微流体装置 501 相对应的尺寸。但并不是对本发明范围的限制。

[0047] 参照图 7,微通道 505 的一个或多个部分包括横截面面积减小的区域,以在储层流体中引起形成泡核。例如,如在图 7 和图 8 中所示,将微文丘里管 701 并入到微通道 505 的进口中。微文丘里管 701 包括喷嘴口 801,其宽度 W_1 小于微通道 505 的宽度 W_2 。由微文丘里管 701 所提供的收缩使得在喷嘴口 801 处储层流体中有很大的压降并且储层流体的流动速度增大。压降和增大的速度的结合效应引起储层流体中形成泡核。优选地,微通道 505 还包括一个或多个附加的收缩部 703,如图 7 和图 9 所示。收缩部 703 呈现出比微通道 505 的宽度 W_4 小的宽度 W_3 。优选地,喷嘴口 801 的宽度 W_1 和收缩部 703 的宽度 W_3 为大约 20 微米,而微通道 505 的优选宽度 W_2 和 W_4 为 100 微米。这些限制条件使储层流体的速度增加最多大约 500%。

[0048] 图 10 是根据一些实施例的、相特性分析系统的程式化图示。大容量注射泵 1054 由计算机系统 1030 电子控制并且推动在压力下储存在样品瓶 1052 中的测试流体。使流体从样品瓶 1052 经过阀 1050 流入微流体装置 501 的蛇形弯曲的通道。维持恒定的输入压力,并且通过压力计 1056 对恒定的输入压力进行测量。强光 1062 照射微流体装置 501 的透明面 511,并且照相机 1060 捕捉微通道内的流动的视频。当气泡和液体块在通道中在同一时间出现时,这两相之间在亮度方面有很大的区别。然后,由照相机 1060 捕捉的图像提供液体块和气泡沿着流动的分布。光学传感器 1010 安装在高精度平台 1014 上。光学传感器 1010 沿着微流体装置 501 的背面运动,并且针对装置 501 上的每一空腔测量薄膜的变形。分光仪 1020 经由光纤链路 1012 从光学传感器 1010 接收信号。分光仪的结果供给计算机系统 1030,由此给出在装置 501 上的空腔位置处的通道内压力的记录。计算机系统 1030 包括一个或多个处理器、储存系统 1032(该储存系统包括接受计算机可读介质的一个或多个可移动储存装置)、显示器 1036 和一个或多个个人输入装置 1034,例如键盘和 / 或鼠标。计算机系统 1030 还包括用于从分光仪 1020 收集数据的数据采集系统。

[0049] 利用例如可从美国 EPIX 公司获得的视频采集程序,将来自照相机 1060 的视频储存在计算机系统 1030 中。根据一些实施例,微通道的完整图像的视频由接近 300 帧组成。根据一些实施例,泵 1054 的控制器、压力计 1056、平台 1014 和光学传感器 1012 都与计算机系统 1030 上的控制应用程序连通,该控制应用程序控制所有装置并记录测量,例如美国国家仪器公司的 LabVIEW 程序。

[0050] 图 11 示出了根据一些实施例的、从流经微流体装置的流体捕捉的一帧视频的例子。测量由一个或多个流动视频以及利用光学传感器在微流体装置的不同空腔处测量的压力值组成。帧 1102 是捕捉的流动视频中的一帧,而帧 1104 是由其转换为二进制产生的图像或者黑白图像。如在此所使用的,术语“二进制图像”或“二值图像”意思是对于每一像素只具有两个可能值的数字图像。在第一片段处(在帧的左侧附近),正好在输入之后,压力仍然很高并且不多的气体从液体中逸出。然而,进一步向下游(到帧的右侧),随着压力下降,越来越多的气体从液体中出来。

[0051] 在计算机系统 1030 上运行的例如在 Matlab 下编程的图像处理程序将原始的灰度图像(例如 1102)转换为二进制图像(例如 1104)。该过程包括合理地选择一些图像处理参数。然后,二进制图像本身通过计算程序进行分析,例如也在 Matlab 下进行编程的程序。

计算的输出是组成微通道的各片段中的每一片段中的液相率。然后，液相率在捕捉到的视频的所有帧上进行平均，因此给出更精确的测量值和标准偏差值。因此，该过程提供液相率沿着通道的演变。

[0052] 图 12A 是根据一些实施例的、对于 C_1 和 C_{10} 示出微通道中压降与通道长度关系的图。图 12B 是根据一些实施例的、针对 C_1 和 C_{10} 混合物示出相体积分布与压力关系的图。图 12A 和图 12B 描绘了在图 5 所示的微流体装置中的流动流体和图 10 所示的机构上进行的测量结果。流体是在 500psig 饱和的甲烷和癸烷的混合物。曲线 1210 的压力测量示出了装置内的线性压降。将压力测量与通道内的相体积分布相结合，提供了流体在不同压力下的相体积分布，如图 12B 所示。图 12B 中，圆圈（例如点 1212）描绘了利用图 10 所示机构中的微流体装置进行的测量，而实心正方形（例如点 1214）示出了由传统的 PVT 设备执行的测量。

[0053] 图 13A 是根据一些实施例的、针对多组分气体和 C_{10} 的混合物示出微通道中的压降与通道长度关系的图。图 13B 是根据一些实施例的、针对多组分气体和 C_{10} 示出相体积分布与压力关系的图。在图 13A 和图 13B 中，示出了在 600psig 与癸烷重新组合的多组分气体上的测量结果。在图 13A 中，曲线 1310 的压力测量示出了装置内的线性压降。在图 13B 中，圆圈（例如点 1312）描绘了利用图 10 所示机构中的微流体装置进行的测量，而实心正方形（例如点 1314）示出了由传统的 PVT 设备进行的测量。

[0054] 图 14A 是根据一些实施例的、针对轻质油和 C_1 的混合物示出微通道中的压降与通道长度关系的图。图 14B 是根据一些实施例的、针对轻质油和 C_1 示出相体积分布与压力关系的图。在图 14A 和图 14B 中，示出了在 500psig 饱和压力下与甲烷重新组合的轻质油上的测量结果。在图 14A 中，曲线 1410 的压力测量示出了装置内的线性压降。在图 14B 中，圆圈（例如点 1412）描绘了利用图 10 所示机构中的微流体装置进行的测量，而实心正方形（例如点 1414）示出了由传统的 PVT 设备进行的测量。如由图 12B、图 13B 和图 14B 可见，在用微流体装置和传统的 PVT 进行的测量之间达成良好的一致。

[0055] 图 15 示出了根据其他一些实施例的、用于测量微流体装置中液相率的行扫描方法的一个例子。照相机（例如图 10 的照相机 1060）可以设置成仅捕捉通道图像中选定的行。在某种程度上，照相机以与条形码识别器类似的方式工作。通过长方形虚线框高亮的每一帧实质上是将在蛇形弯曲的微通道的所有片段内同一位置处的相状态重组的行。对于给定的片断，框起来的位置实质上是一个点，并且相状态可以是液态，在该情况下行上的对应于所述片断的点是亮的（并且被赋予值 1），或者相状态可以是气态，在该情况下相同的点是暗的（并且被赋予值 0）。由单帧产生的赋值的简化例子如二进制字串 1510。

[0056] 每一测量到的行首先是灰度图像，然后经历与以上参照图 11 所描述的相同的图像处理过程。然后类似的计算为经过处理的帧的每一片断给出行位置处的相状态（0 或 1）。最后，在所有视频帧上对该二进制值进行平均以获得沿着通道的液相率。该行扫描技术使得能够捕捉接近 20000 帧，因此改进了在视频帧上的求平均并且降低了误差。根据替代的实施例，代替传统的照相机，使用与光电二极管阵列连接的光纤阵列。阵列中的每一光纤被引向蛇形弯曲的微通道 505 的单个垂直片断。

[0057] 图 16 示出了根据一些实施例的、相状态矩阵的例子。如参照图 15 描述的行扫描视频的帧，在转换为二进制图像后，可以放入垂直序列以形成矩阵 1610。获得的矩阵 1610

显示在视频所有瞬间在所有片断中的相状态。Y轴为时间并且向前向下移动 - 帧周期将两行分开。X轴是出现在全图像中的片断数量。微通道输入在左侧,输出在右侧。这个表示形成一种类型的“指纹”,该指纹对于通道中的流动来说是特定的并且在该指纹上面给出有价值的信息,如可以在矩阵中观察到的频率。

[0058] 图 17A 和图 17B 是根据一些实施例的、示出行扫描视频结果的图。行扫描技术给出与通过全图像视频获得的测量值非常接近的液相率测量值。这里再次绘出了液相率与通道中的压力分布的关系图,并且所获得的曲线再次与传统的测量相匹配。在图 17A 中,在 500psig 饱和的甲烷 - 癸烷混合物上的行扫描测量结果以实心正方形示出,例如点 1710,并且传统测量的数据以空心三角形示出,例如点 1712。在图 17B 中,在 600psig 饱和有癸烷的多组分气体上的行扫描测量结果以空心圆示出,例如点 1720,并且传统测量的数据以实心正方形示出,例如点 1722。

[0059] 图 18A 和图 18B 示出了根据替代实施例的微通道。尽管在此的讨论多涉及由传统的硅蚀刻工艺制成的微通道,但其他类型的微通道也可以与本文描述的微流体装置和相关技术一起使用。例如,微通道 1805 由蛇形形状的玻璃管制成。图 18B 示出了玻璃管微通道的横截面,其是圆形的。此外,除了蛇形之外,微流体装置可以使用其他的微通道设计图案。图 19 示出了根据替代实施例的、螺旋形的微通道设计图案例子。微通道 1905 可以通过传统的硅处理制造或者可以使用其他技术制成,例如可以是如图 18A 和图 18B 所示的玻璃管。

[0060] 尽管在此参照层流体的分析描述了多种实施例,本发明也适用于许多其他类型流体的分析。根据一些实施例,提供对一种或多种类型的生物医学流体的分析,所述流体包括但不限于体液,例如血液、尿液、血清、粘液和唾液。根据其它实施例,与环境监测相关地提供对一种或多种流体的分析,所述环境监测包括但不限于水的净化、水的质量、废水处理、饮用水和 / 或海水处理和 / 或分析。根据其他的实施例,提供对其他流体化学成分的分析。

[0061] 鉴于对于本领域普通技术人员来说在阅读过前面的描述后本发明的多种替代方案和修改方案毫无疑问是显而易见的,易于理解的是,通过附图示出和描述的特殊实施例绝不能认为是限制性的。此外,已经参照特别优选的实施例对本发明进行了描述,但本领域技术人员可以想到在本发明的精神和范围内的变型方案。需注意的是,仅仅为了解释才提出前述例子,因此绝不能理解为是对本发明的限制。已经参照示例性实施例对本发明进行了描述,易于理解的是,在此所使用的措辞是描述性和说明性的措辞,而不是局限性的措辞。如目前陈述和修正的,可以在附上的权利要求书的范围内作出改变,而不会在本发明方面脱离本发明的范围和本质。尽管在此已参照特殊的装置、材料和实施例描述了本发明,但不是要将本发明局限于在此所公开的细节;而是,本发明延伸到例如在所附权利要求书范围内的所有功能上等等的结构、方法和用途。

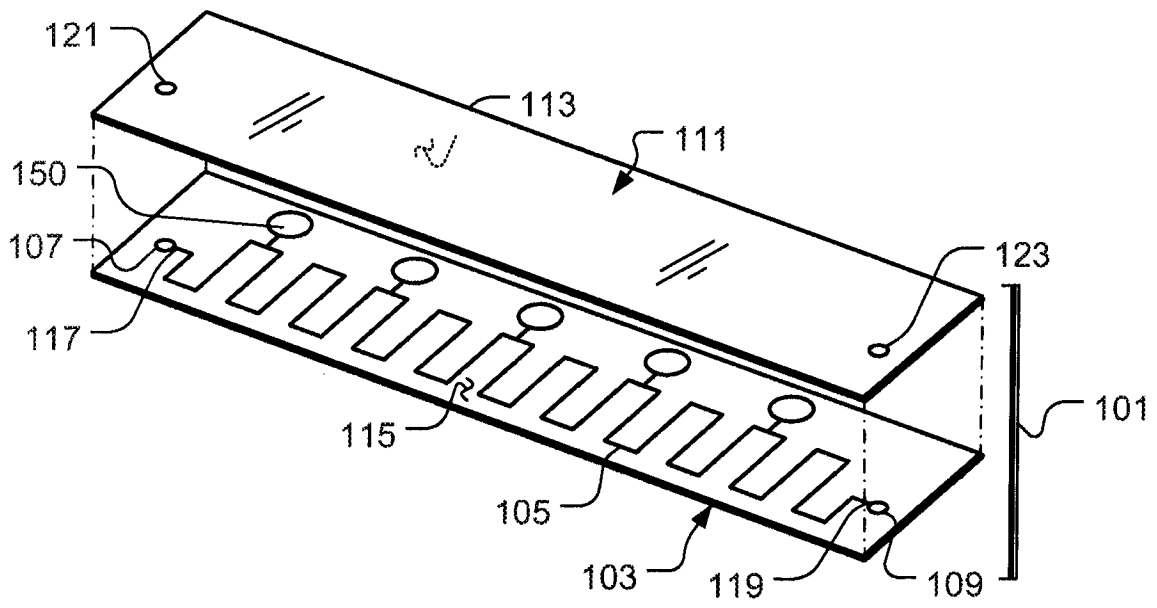


图 1

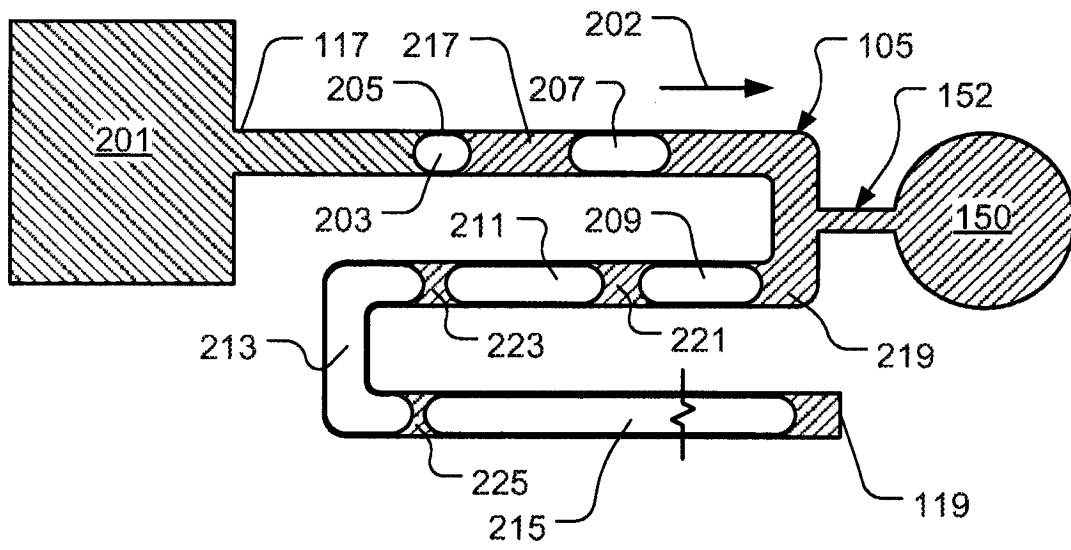


图 2

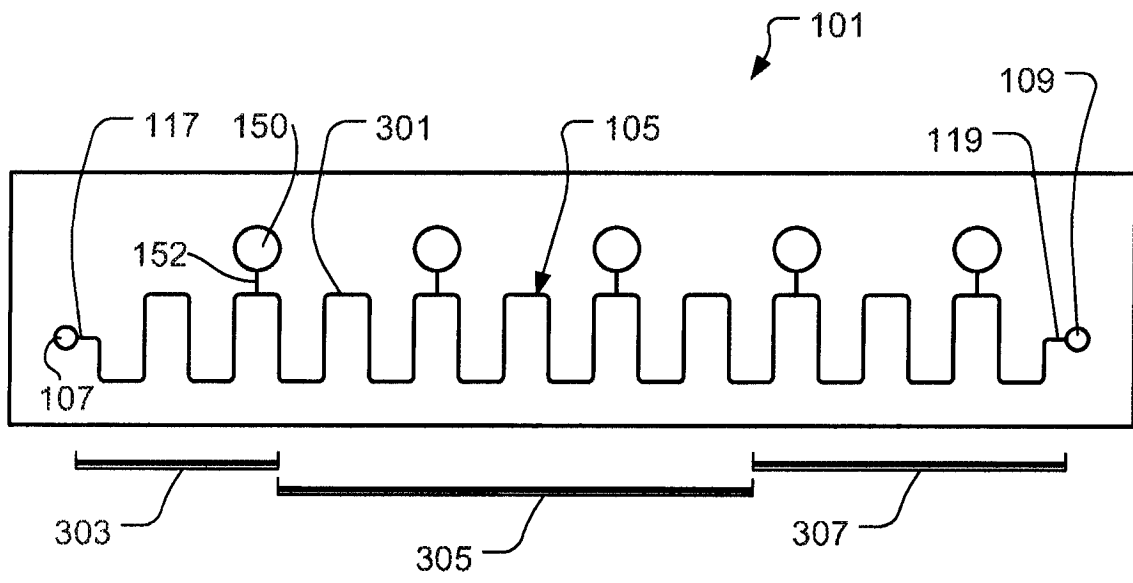


图 3

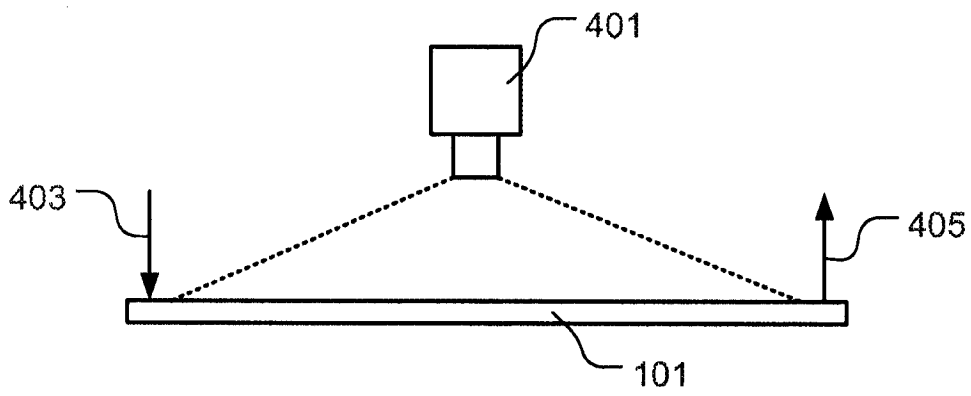


图 4

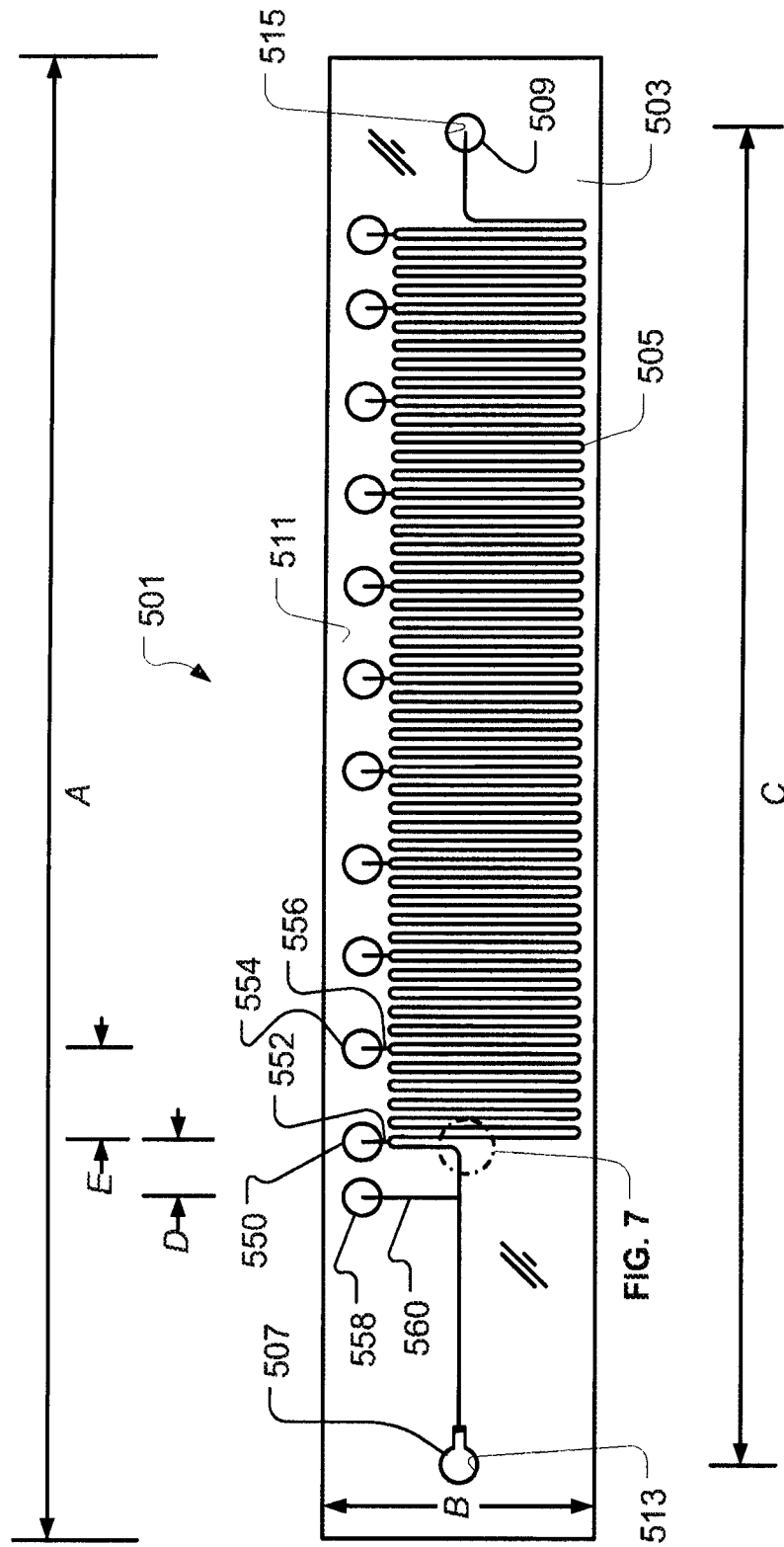


图 5

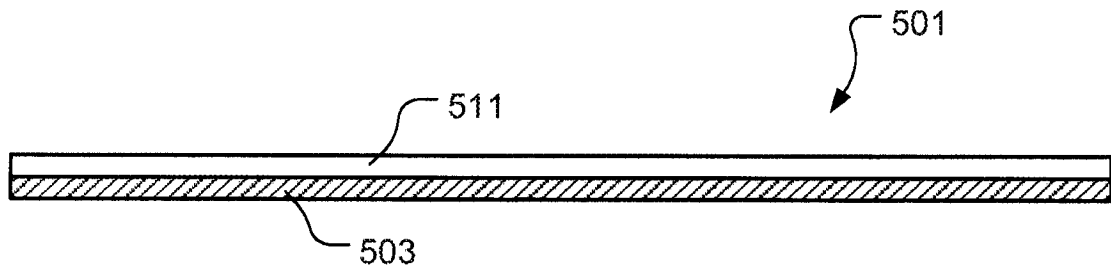


图 6

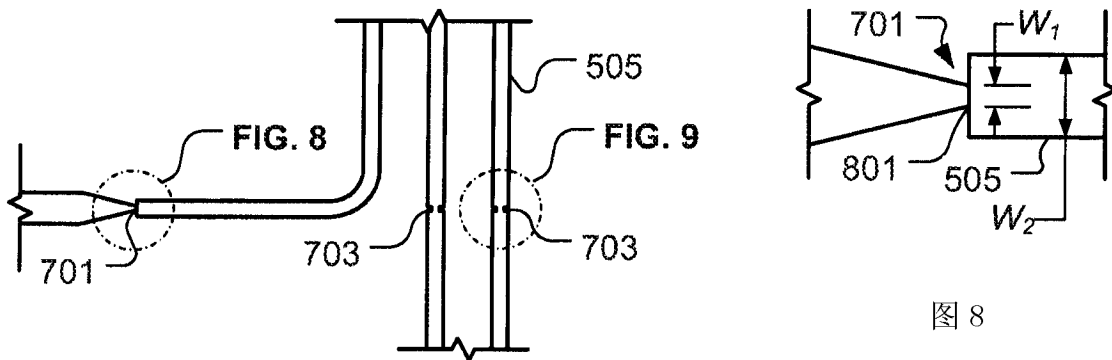


图 7

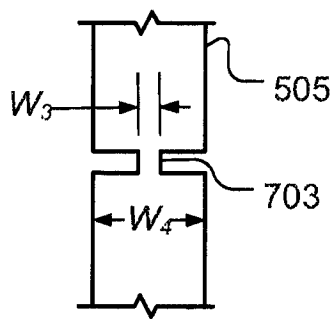


图 9

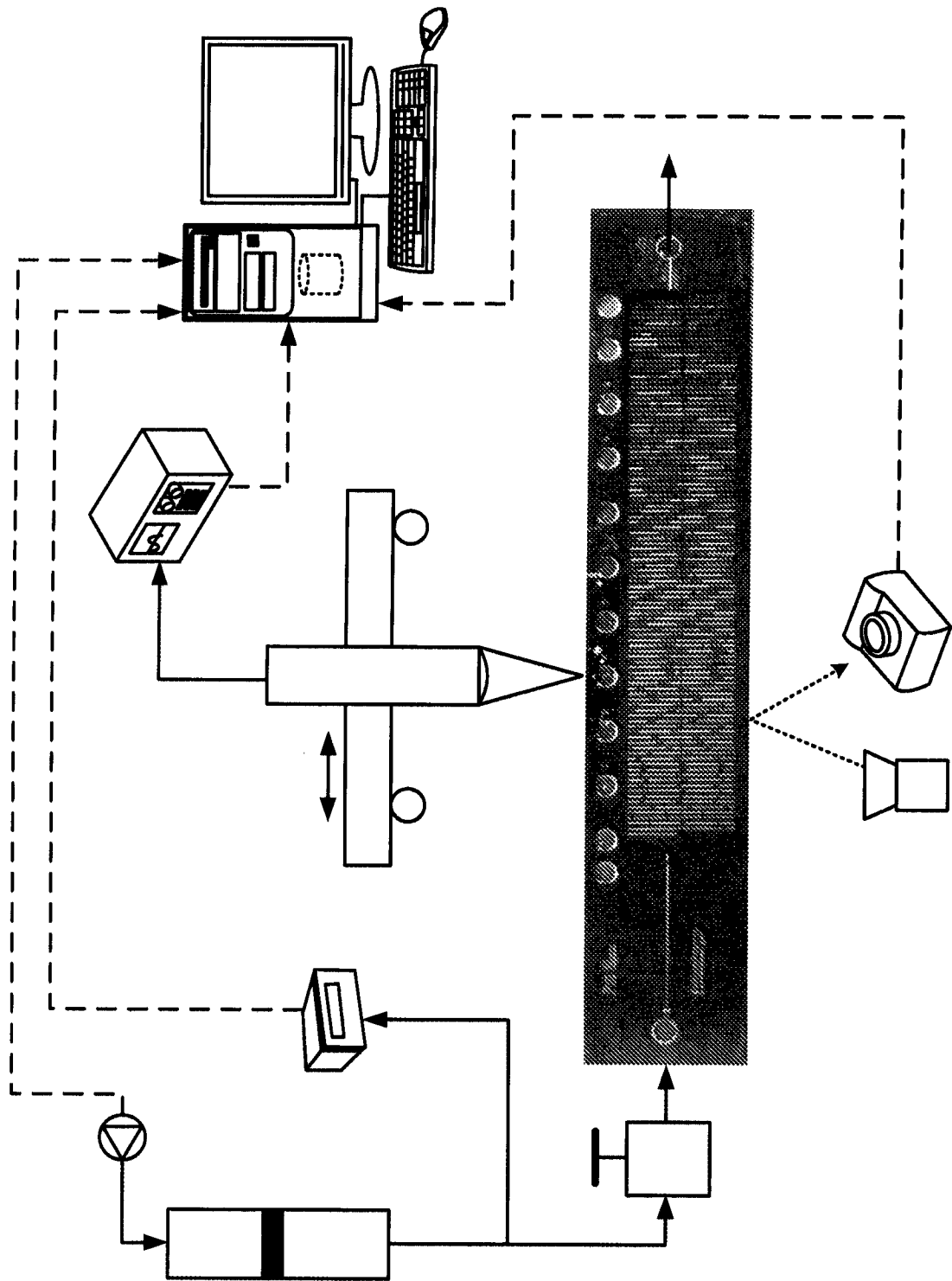


图 10

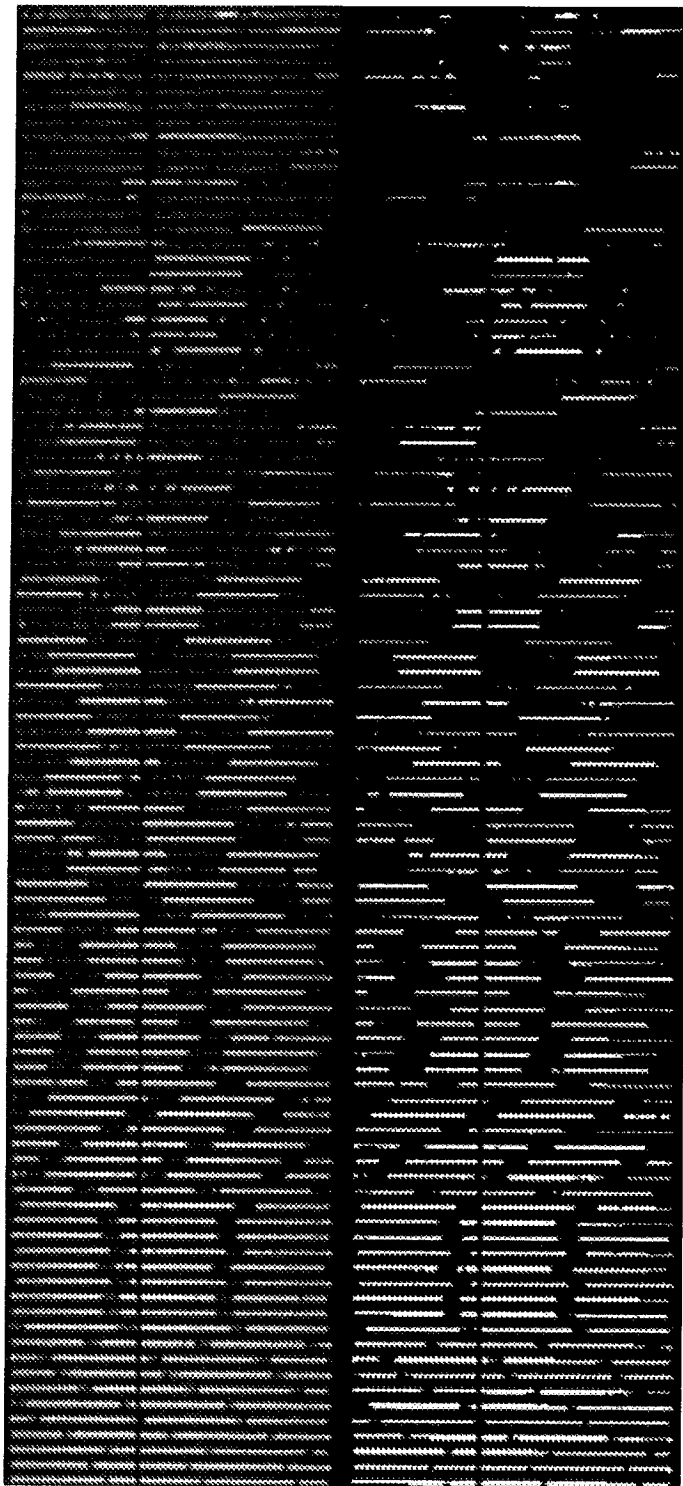


图 11

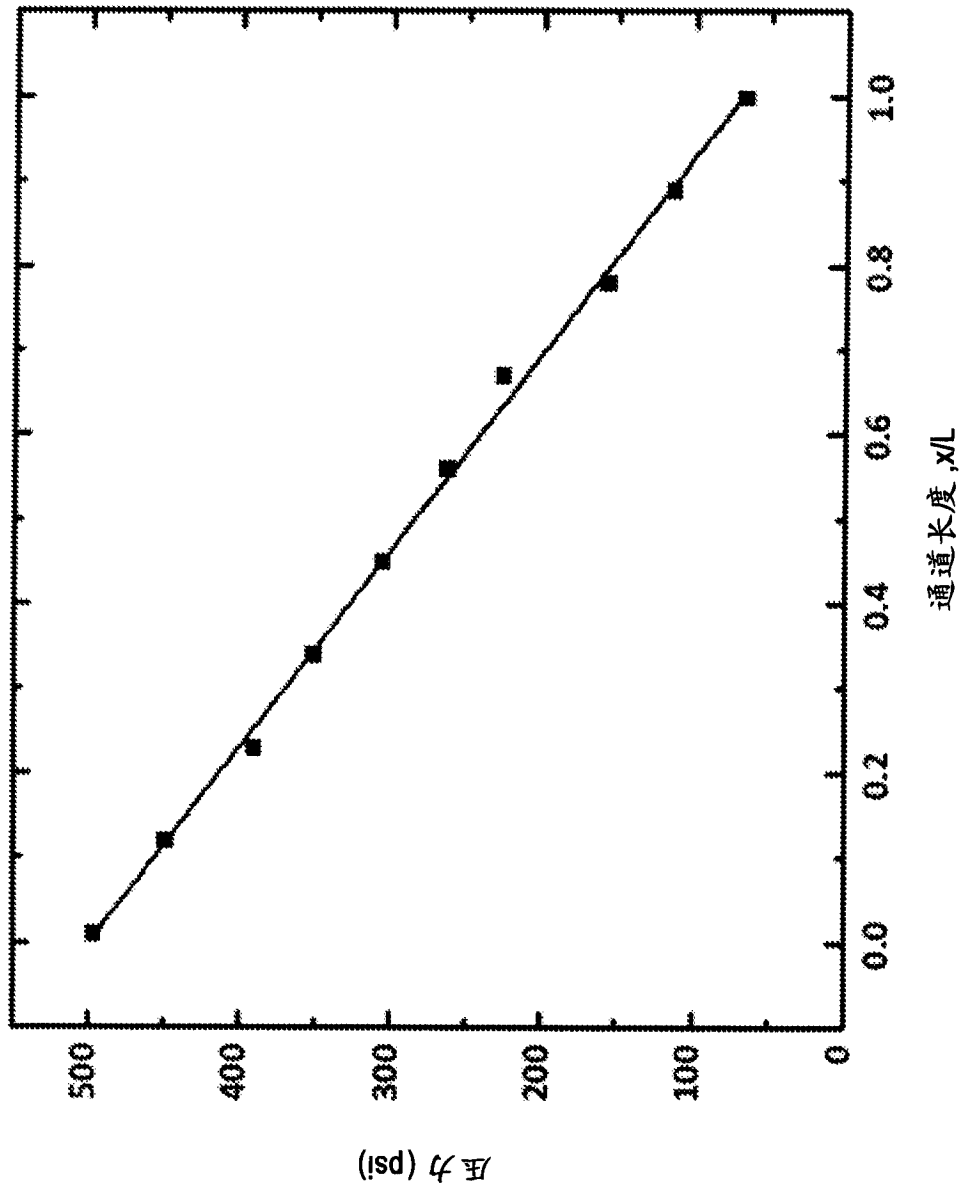


图 12A

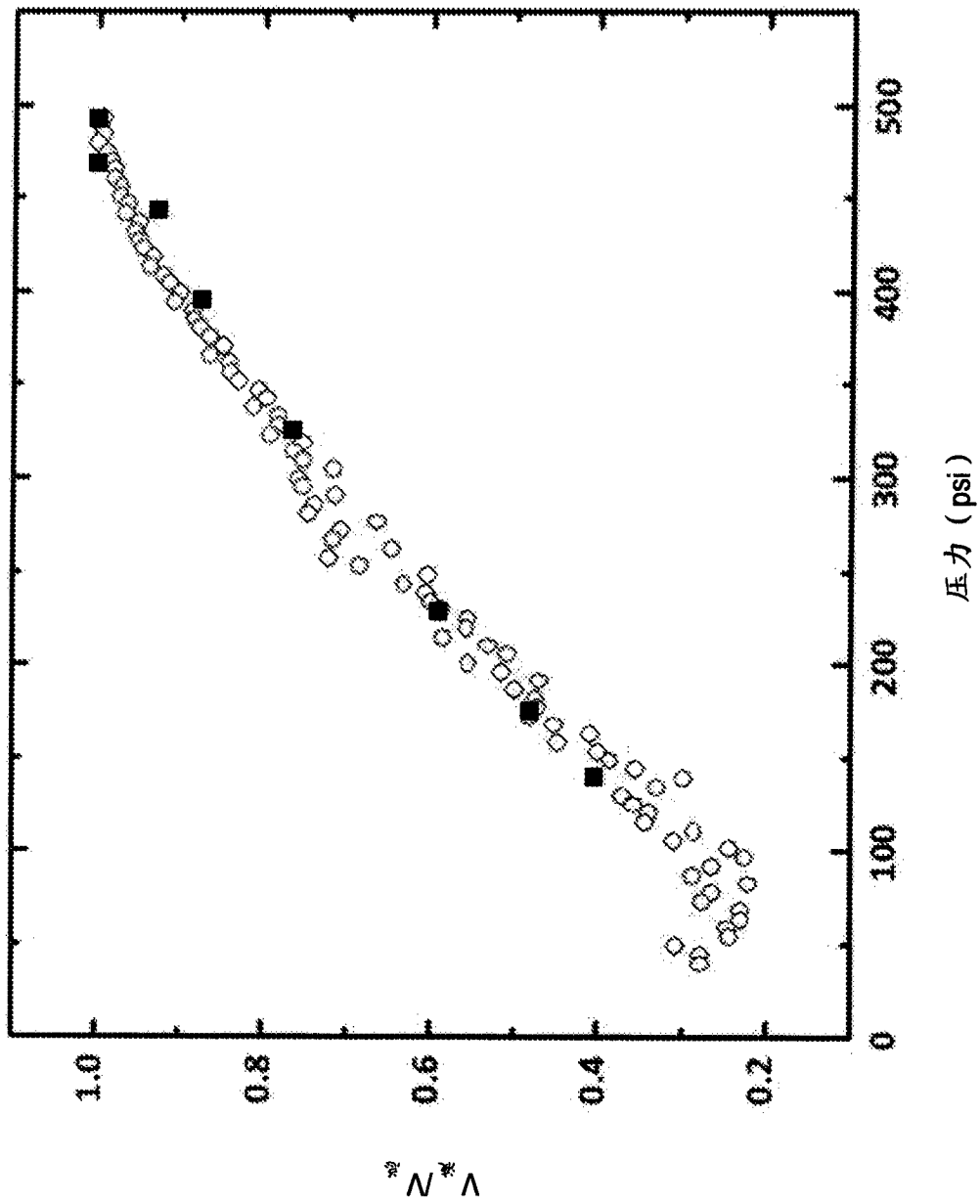


图 12B

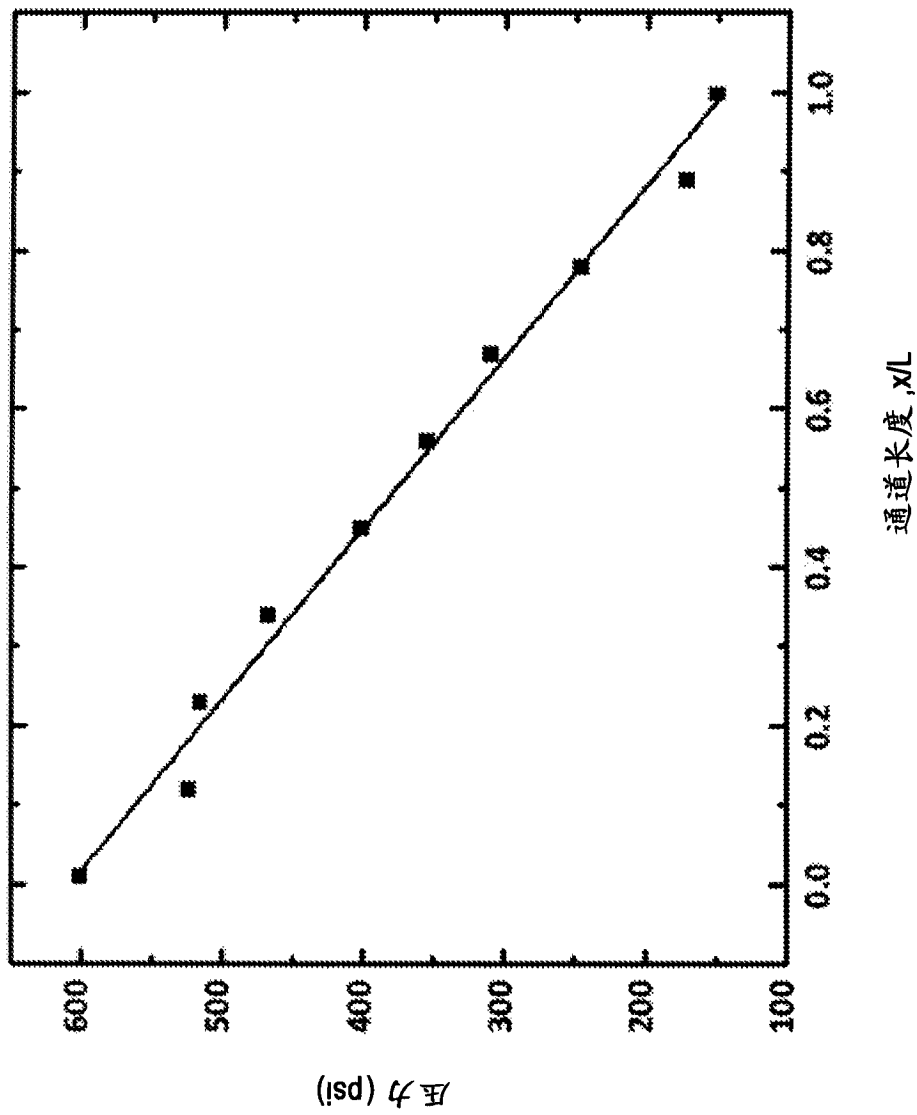


图 13A

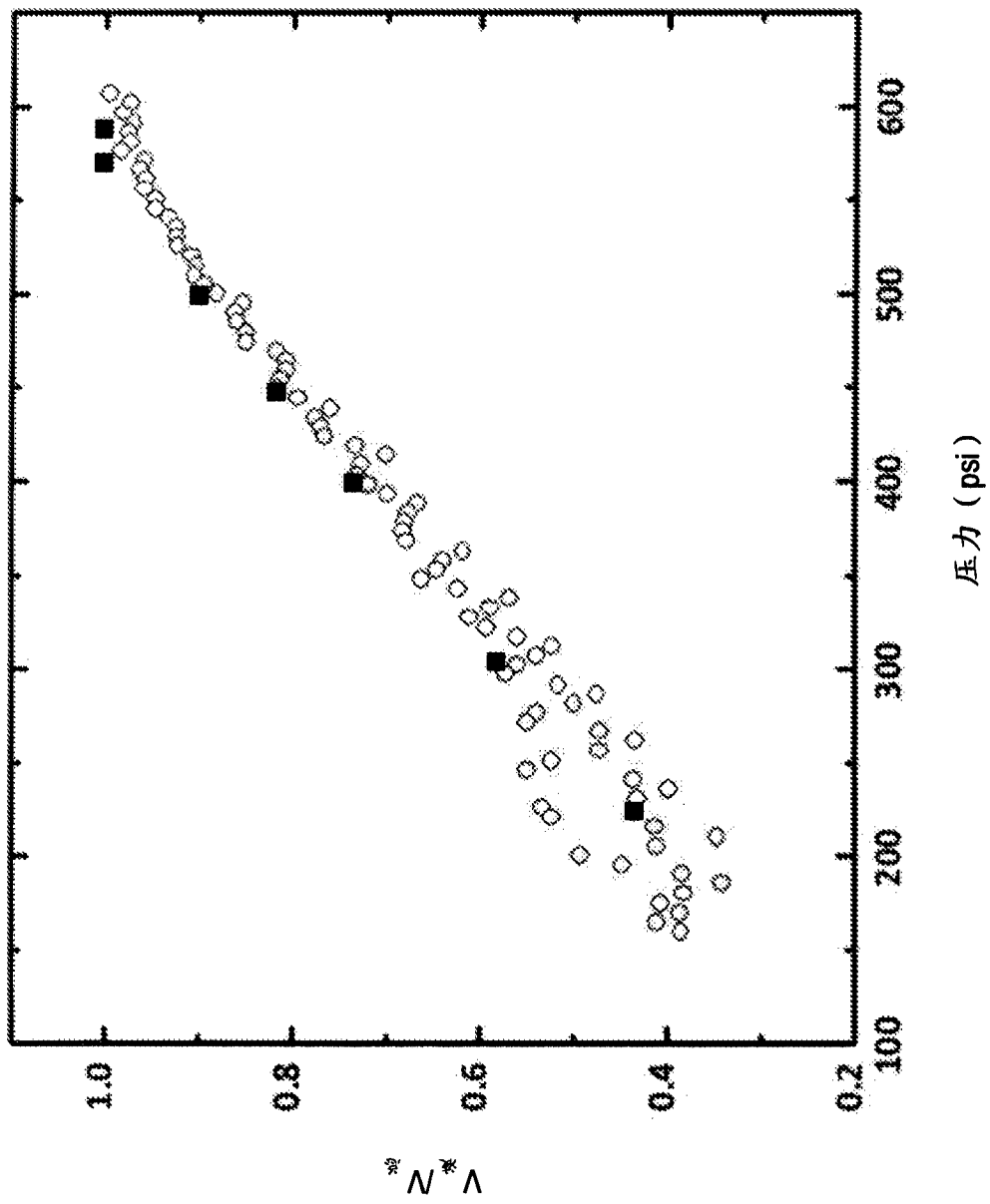


图 13B

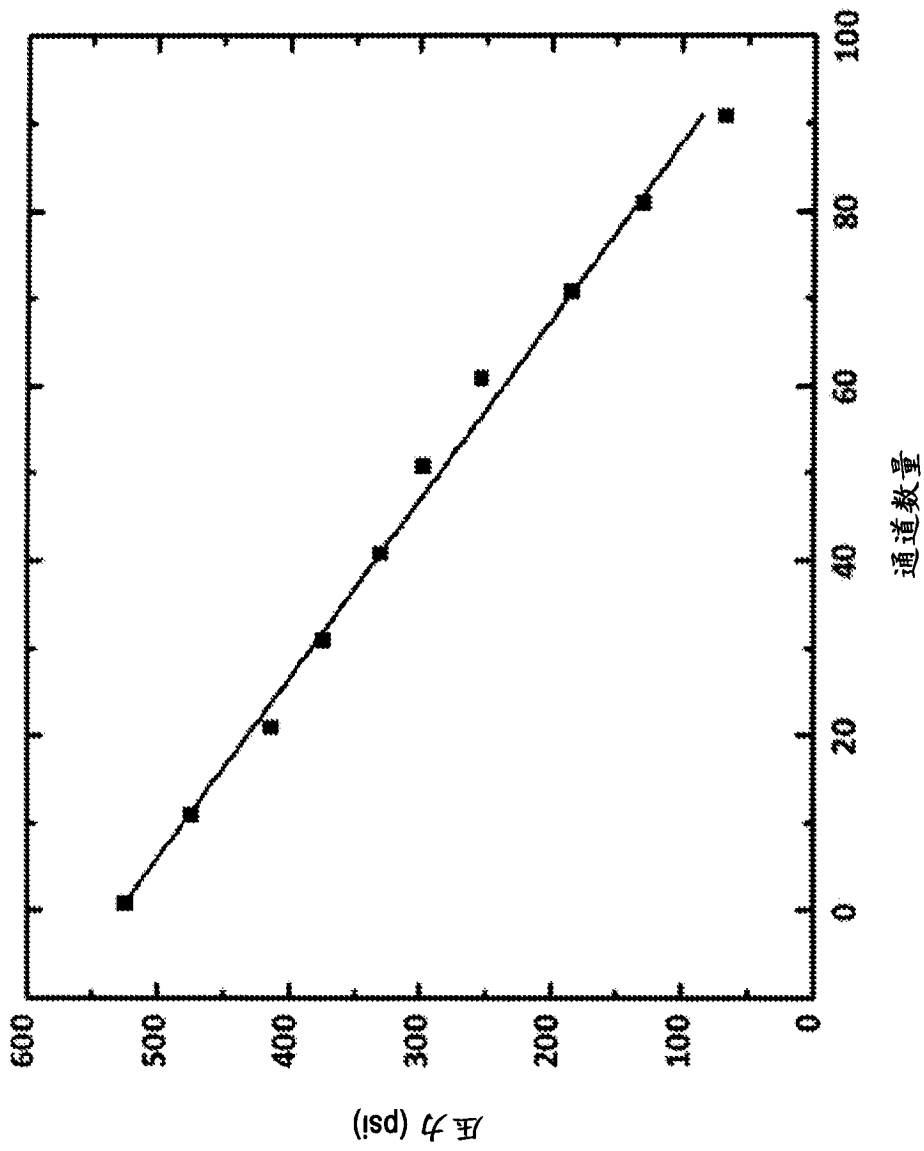


图 14A

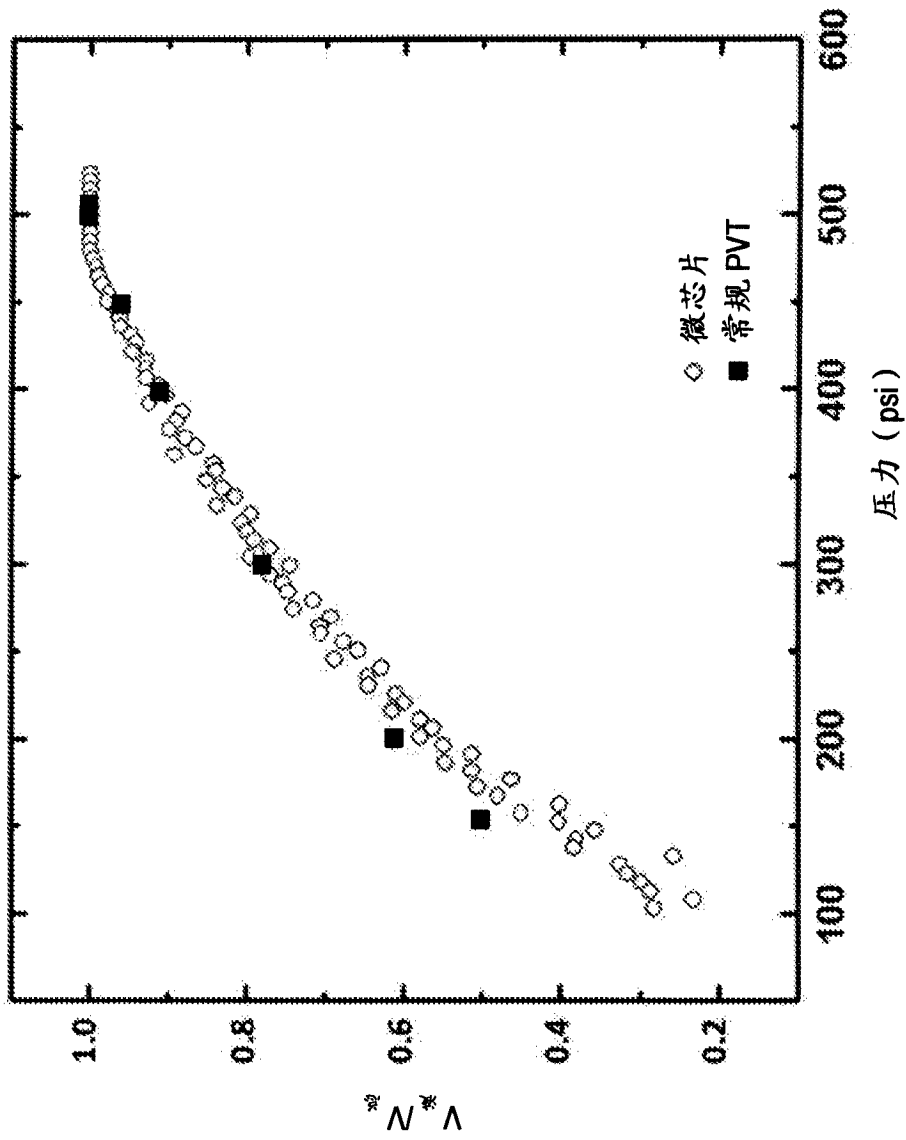


图 14B

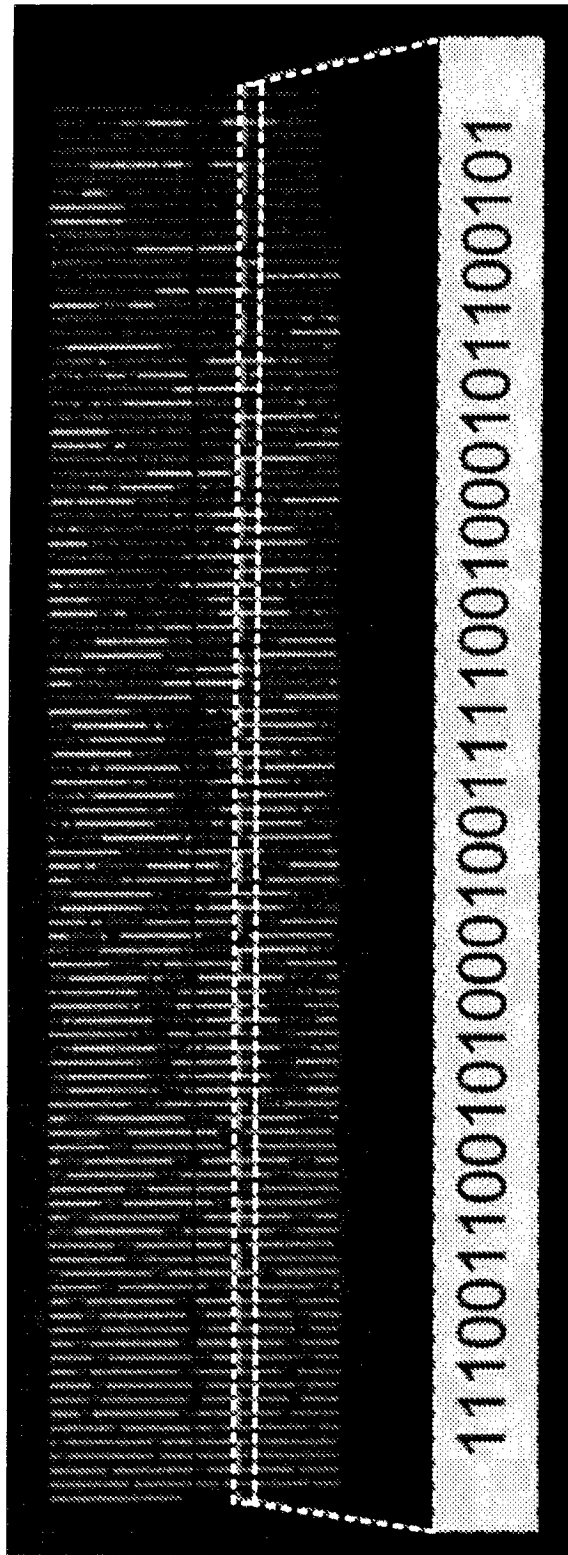


图 15



图 16

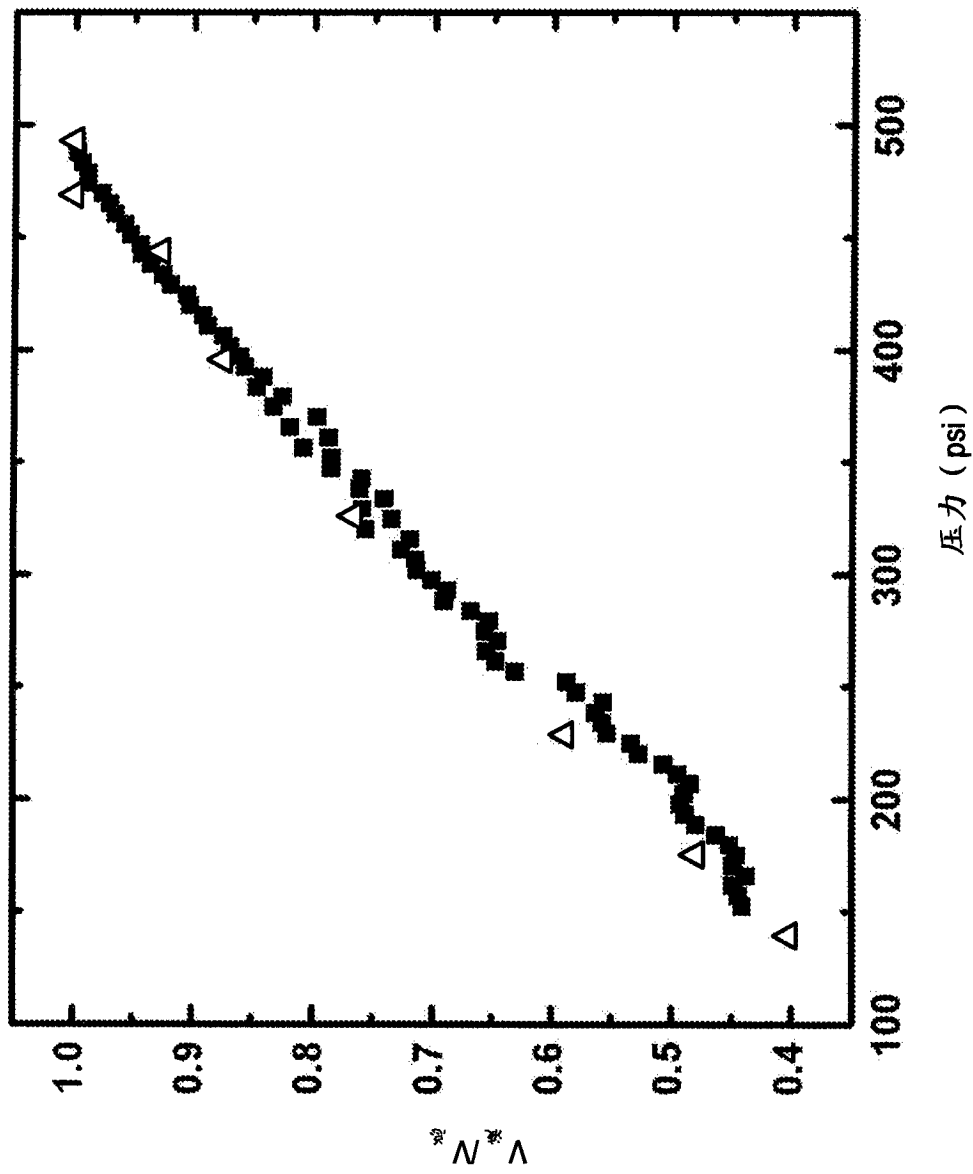


图 17A

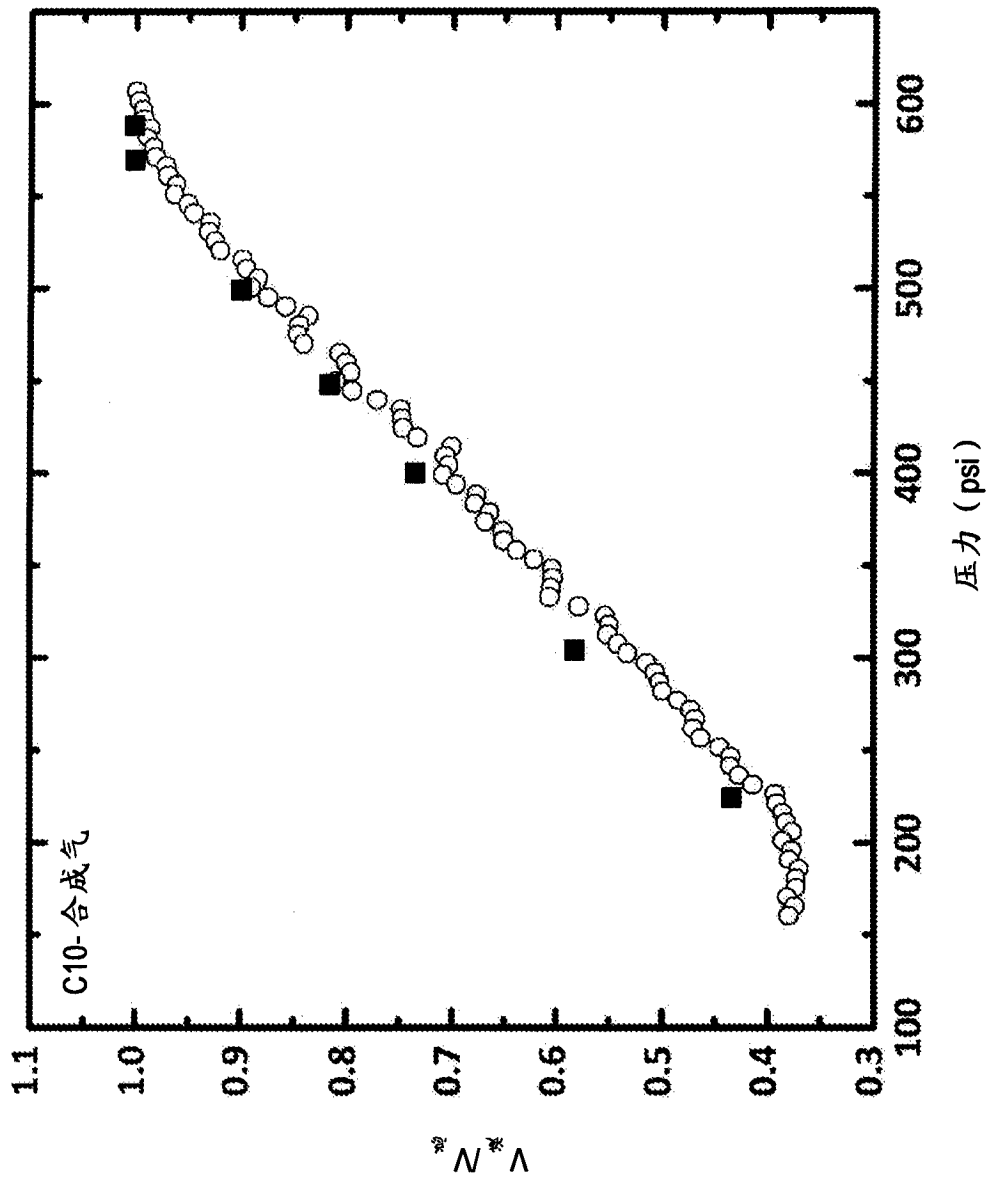


图 17B

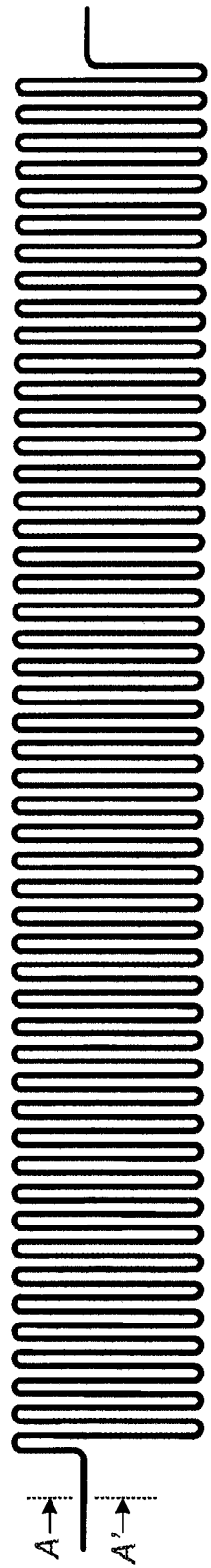


图 18A

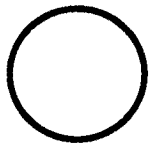


图 18B(A-A')

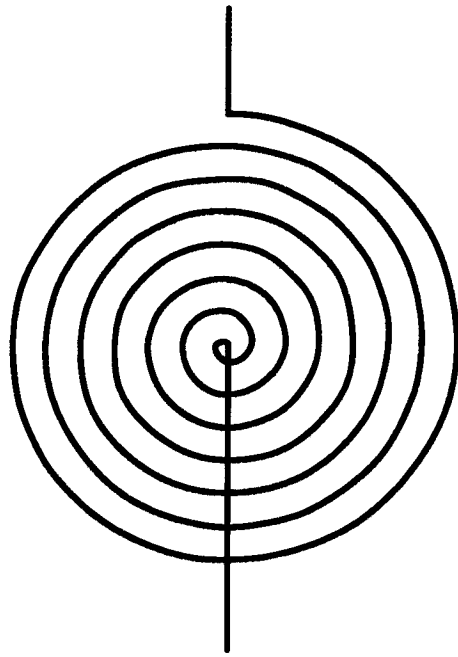


图 19