



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101084061 B

(45) 授权公告日 2012.04.25

(21) 申请号 200580039620.5

卡伊·托德·保罗·雅罗施

(22) 申请日 2005.09.30

托马斯·尤斯查克

(30) 优先权数据

60/615,509 2004.10.01 US

(74) 专利代理机构 北京邦信阳专利商标代理有限公司 11012

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007.05.18

代理人 王昭林 南霆

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2005/035330 2005.09.30

(51) Int. Cl.

B01J 19/00 (2006.01)

(87) PCT申请的公布数据

W02006/039568 EN 2006.04.13

A61K 8/06 (2006.01)

(73) 专利权人 万罗赛斯公司

A61Q 19/00 (2006.01)

地址 美国俄亥俄州

B01F 3/08 (2006.01)

(72) 发明人 安娜·利·通科维奇

B01F 5/04 (2006.01)

劳拉·J·席尔瓦

B01F 13/00 (2006.01)

戴维·约翰·赫西

B01F 15/06 (2006.01)

迈克尔·艾伦·马尔基安多

F28D 9/00 (2006.01)

迈克尔·杰伊·拉蒙特 邱东明

(56) 对比文件

特伦斯·安德鲁·德里茨

US 6281254 B1, 2001.08.28, 附图1、6, 以及
说明书第1栏5-10行。

克里斯蒂娜·M·帕尼奥托

EP 1362634 A, 2003.11.19, 第0003-0067
段。

里克·史蒂文森 史蒂文·T·佩里

EP 1358931 A, 2003.11.05, 第0030-0116
段, 说明书附图。

马达莱纳·法内利 拉维·阿罗拉

审查员 徐雪峰

杨斌 肖恩·菲茨杰拉德

权利要求书 9 页 说明书 29 页 附图 20 页

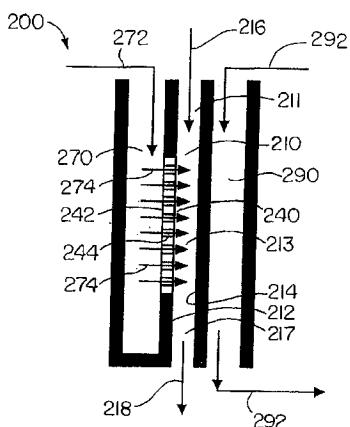
蒂姆·沙利文

(54) 发明名称

使用微通道工艺技术的多相混合方法

(57) 摘要

本发明涉及一种制造多相混合物的方法，包括：使第一流体流(216)流过工艺微通道(210)，第一流体流(216)包括至少一种液体和/或至少一种气体，工艺微通道(210)具有有孔区(244)；使第二流体流(272)流过有孔区(244)进入工艺微通道(210)与第一流体流(216)接触以形成多相混合物(218)，第二流体流(272)包括至少一种气体和/或至少一种微体形成材料，第一流体流(272)形成在连续相中分散的非连续相。还可在工艺微通道(210)与热源或冷源(290)之间发生热交换。



1. 一种制造多相混合物的方法,所述方法包括:

使第一流体流在工艺微通道中流动,第一流体流包括至少一种液体和 / 或至少一种气体,工艺微通道具有有孔区;

使第二流体流流过有孔区进入工艺微通道与第一流体流接触以形成多相混合物,第二流体流包括至少一种气体和 / 或至少一种微体形成材料,第一流体流在多相混合物中形成连续相,第二流体流形成在连续相中分散的非连续相;以及

在工艺微通道和热源和 / 或冷源之间交换热量。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第二流体在操作微通道中与第一流体混合。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第二流体溶解在第一流体中。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在工艺微通道中第二流体溶解在第一流体中。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在多相混合物排出工艺微通道之后,第二流体溶解在第一流体中。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,多相混合物进一步包括在第一流体流分散的固体颗粒。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,有孔区沿工艺微通道的轴向长度的至少一部分延伸。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第二流体流从第二流体流通道流过有孔区。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在工艺微通道与热源和 / 或冷源之间、第二流体流通道与热源和 / 或冷源之间、或工艺微通道和第二流体流通道和与热源和 / 或冷源之间都发生热量交换。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第一流体流和第二流体流在工艺微通道中的混合区中相互接触。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其特征在于,在热源和 / 或冷源与混合区中的工艺微通道的至少一部分之间交换热量。

12. 根据权利要求 10 所述的方法,其特征在于,在热源和 / 或冷源与混合区上游中的工艺微通道的至少一部分之间交换热量。

13. 根据权利要求 9 所述的方法,其特征在于,在热源和 / 或冷源与在混合区下游中的工艺微通道的至少一部分之间交换热量。

14. 根据权利要求 10 所述的方法,其特征在于,工艺微通道在混合区中具有限定的剖面。

15. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道具有隔开的壁和在各隔开的壁中的有孔区,第二流体流流过各有孔区进入工艺微通道。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其特征在于,在各隔开的壁中的有孔区包括许多孔,在一个壁的有孔区中的孔正对于另一个壁的有孔区中的孔排列。

17. 根据权利要求 15 所述的方法,其特征在于,在各隔开的壁中的有孔区包括许多孔,在一个壁的有孔区中的至少一些孔与另一个壁的有孔区中的孔正好偏移排列。

18. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 工艺微通道位于多相混合物形成单元中, 所述多相混合物形成单元包括第一工艺微通道、第二工艺微通道、以及位于第一工艺微通道和第二工艺微通道之间的第二流体流通道, 各工艺微通道具有带有孔区的壁, 第一流体流流过第一工艺微通道和第二工艺微通道, 第二流体流从第二流体流微通道流过第一工艺微通道中的有孔区与第一流体流接触, 并且流过第二工艺微通道中的有孔区与第一流体流接触。

19. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第三流体流在第三流体流通道中流动, 第三流体流通道具有带另一有孔区的另一个壁, 所述方法进一步包括:

使第二流体流流过另一个有孔区与第三流体流接触以形成另一多相混合物; 以及使另一多相混合物流过有孔区进入工艺微通道与第一流体流接触。

20. 根据权利要求 19 所述的方法, 其特征在于, 另一多相混合物在第一流体流中分散为非连续相。

21. 根据权利要求 19 所述的方法, 其特征在于, 至少一部分的第三流体流以液滴形式在第一流体流中分散, 至少一部分的第二流体流以泡沫形式位于第三流体流的液滴内。

22. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 工艺微通道由平行隔开的片和 / 或板形成。

23. 根据权利要求 22 所述的方法, 其特征在于, 第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道, 第二流体流通道由平行隔开的片和 / 或板形成, 第二流体流通道毗邻于工艺微通道。

24. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 工艺微通道和第二流体流通道使用热交换通道进行热交换, 热交换通道由平行隔开的片和 / 或板形成, 热交换通道毗邻于工艺微通道、第二流体流通道、或于工艺微通道和第二流体流通道都毗邻。

25. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中实施所述方法, 微通道混合器包括许多工艺微通道和第二流体流通道, 各工艺微通道具有带有孔区的壁和毗邻的第二流体流通道, 第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道与第一流体流接触, 工艺微通道和第二流体流通道由平行隔开的片和 / 或板形成, 工艺微通道和第二流体流通道彼此毗邻并且在交错的并列的平面中或在交错的层层叠加的平面中排列。

26. 根据权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 微通道混合器进一步包括由平行隔开的片和 / 或板形成的许多热交换通道, 热交换通道毗邻于工艺微通道、第二流体流通道、或与工艺微通道和第二流体流通道都毗邻。

27. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道, 工艺微通道和第二流体流通道包括同心排列的圆管。

28. 根据权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 工艺微通道在环形空间中, 并且第二流体流通道在中心空间或在毗邻的环形空间中。

29. 根据权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 工艺微通道在中心空间中, 第二流体流通道在毗邻的环形空间中。

30. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中实施所述方法, 微通道混合器包括许多工艺微通道, 其中各自的多相混合物在各工艺微通道中形成, 多相混合物在彼此不同的至少两个工艺微通道中形成。

31. 根据权利要求 30 所述的方法,其特征在于,在至少两个工艺微通道中形成的多相混合物在组分上是不同的。

32. 根据权利要求 30 所述的方法,其特征在于,在至少两个工艺微通道中形成的多相混合物具有一种或多种不同的物理性质。

33. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道包括两个或多个有孔区,并且各自的第二流体流流过各有孔区。

34. 根据权利要求 33 所述的方法,其特征在于,流过各有孔区的各自的第二流体具有不同的组分。

35. 根据权利要求 33 所述的方法,其特征在于,流过各有孔区的各自的第二流体具有一种或多种不同的特性。

36. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道具有混合区,所述混合区毗邻于有孔区和从工艺微通道入口延伸至混合区的非孔区域。

37. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,有孔区包括片和 / 板,在所述片和 / 板中具有许多孔。

38. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,有孔区包括覆盖在较厚片或板的较薄片,较薄片包括许多较小孔,较厚片或板包括许多较大孔,较小孔与较大孔排成直线足以允许气体从较大孔流过较小孔。

39. 根据权利要求 37 所述的方法,其特征在于,涂层覆盖在至少一部分的片和 / 或板上面并且填充部分的孔。

40. 根据权利要求 37 所述的方法,其特征在于,片和 / 或板被热处理。

41. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,有孔区具有壁厚度和沿流过工艺微通道的第一流体流的流程的长度,壁厚度与沿流程的长 度之比在 0.001 至 100 的范围内。

42. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,有孔区由多孔材料制成。

43. 根据权利要求 42 所述的方法,其特征在于,多孔材料是金属。

44. 根据权利要求 42 所述的方法,其特征在于,多孔材料是非金属。

45. 根据权利要求 42 所述的方法,其特征在于,多孔材料是被氧化的。

46. 根据权利要求 42 所述的方法,其特征在于,使用铝、镍或其结合物涂覆多孔材料。

47. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,有孔区由多孔材料制成,通过使用液体填充物填充表面上的孔、固化填充物、磨光和 / 或抛光表面以及除去填充物来处理多孔材料的表面。

48. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,非连续相为气泡形式,所述气泡具有在 25 微米至 25 微米范围以下的基于体积的平均直径,并且跨度在 1.9 至 2.5 的范围内。

49. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,非连续相包括微体,所述微体具有在 5 微米至 5 微米范围以下的基于体积的平均直径,并且跨度在 1.8 至 2.5 的范围内。

50. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第一流体流包括水。

51. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第一流体流包括有机液体。

52. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第一流体流包括至少一种气体。

53. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第二流体流包括至少一种气体。

54. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第二流体流包括空气、氢气、氮气、二氧

化碳、或其中的两种或多种混合物。

55. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,第二流体流包括微体形成材料。

56. 根据权利要求 55 所述的方法,其特征在于,微体形成材料包括玻璃微体形成材料或聚合物微体形成材料。

57. 根据权利要求 56 所述的方法,其特征在于,聚合物微体形成材料包括一种或多种的丙烯酸树脂、硅树脂、聚氨酯树脂、醋酸乙烯树脂、聚四氟乙烯树脂、聚酰胺树脂、氯乙烯树脂、苯乙烯树脂、酚醛树脂、环氧树脂、苯乙烯 - 丁二烯 - 苯乙烯嵌段共聚物树脂、苯乙烯 - 乙烯 - 丁烯 - 苯乙烯嵌段共聚物树脂、苯乙烯 - 异戊二烯 - 苯乙烯嵌段共聚物树脂、正丁基橡胶、氯丁二烯橡胶、天然橡胶,或其中的两种或多种结合物。

58. 根据权利要求 56 所述的方法,其特征在于,聚合物微体形成材料包括 1 个至 14 个碳原子的醇的(甲基)丙烯酸酯。

59. 根据权利要求 56 所述的方法,其特征在于,聚合物微体形成材料包括至少一个(甲基)丙烯酸烷基酯。

60. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道具有垂直于通过工艺微通道的第一流体流的流动的,在达到 50mm 和 50mm 以下范围内的内部尺寸。

61. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道具有垂直于通过工艺微通道的第一流体流的流动的,在达到 10mm 和 10mm 以下范围内的内部尺寸。

62. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道具有垂直于通过工艺微通道的第一流体流的流动的,在达到 2mm 和 2mm 以下范围内的内部尺寸。

63. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,工艺微通道由下述材料制成,所述材料包括:钢;蒙乃尔合金;因科镍合金;铝;钛;镍;铜;黄铜;任意上述金属的合金;聚合物;陶瓷;玻璃;包括聚合物和玻璃纤维的复合物;石英;硅;或其中的两种或多种的结合物。

64. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,第二流体流通道具有垂直于通过第二流体流通道的第二流体流的流动的,在达到 100cm 和 100cm 以下范围内的内部尺寸。

65. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,第二流体流通道具有垂直于通过第二流体流通道的第二流体流的流动的,在达到 10mm 和 10mm 以下范围内的内部尺寸。

66. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,第二流体流通道具有垂直于通过第二流体流通道的第二流体流的流动的,在达到 2mm 和 2mm 以下范围内的内部尺寸。

67. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,第二流体流通道由下述材料制成,所述材料包括:钢;蒙乃尔合金;因科镍合金;铝;钛;镍;铜;黄铜;任意上述金属的合金;聚合物;陶瓷;玻璃;包括聚合物和玻璃纤维的复合物;石英;硅;或其中的两种或多种的结合物。

68. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,热源和 / 或冷源包括至少一个热交换通道。

69. 根据权利要求 68 所述的方法,其特征在于,热交换通道具有垂直于通过热交换通道的热交换流体的流动的,在达到 50mm 和 50mm 以下范围内的内部尺寸。

70. 根据权利要求 68 所述的方法,其特征在于,热交换通道具有垂直于通过热交换通道的热交换流体的流动的,在达到 10mm 和 10mm 以下范围内的内部尺寸。

71. 根据权利要求 68 所述的方法,其特征在于,热交换通道具有垂直于通过热交换通

道的热交换流体的流动的，在达到 2mm 和 2mm 以下范围内的内部尺寸。

72. 根据权利要求 68 所述的方法，其特征在于，热交换通道由下述材料制成，所述材料包括：钢；蒙乃尔合金；因科镍合金；铝；钛；镍；铜；黄铜；任意上述金属的合金；聚合物；陶瓷；玻璃；包括聚合物和玻璃纤维的复合物；石英；硅；或其中的两种或多种的结合物。

73. 根据权利要求 68 所述的方法，其特征在于，热交换流体在热交换通道中。

74. 根据权利要求 73 所述的方法，其特征在于，热交换流体在热交换通道中经历相变。

75. 根据权利要求 68 所述的方法，其特征在于，在热交换通道中进行吸热过程。

76. 根据权利要求 68 所述的方法，其特征在于，在热交换通道中进行放热过程。

77. 根据权利要求 73 所述的方法，其特征在于，热交换流体包括空气、蒸汽、液态水、一氧化碳、二氧化碳、气态氮、液氮、至少一种气态烃类、至少一种液态烃类、或其中的两种或多种的结合物。

78. 根据权利要求 73 所述的方法，其特征在于，热交换流体包括第一流体流、第二流体流、或第一流体流和第二流体流的混合物。

79. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，热源包括电加热元件和 / 或电阻加热器。

80. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，冷源包括非流体冷却元件。

81. 根据权利要求 79 所述的方法，其特征在于，电加热元件和 / 或电阻加热器位于工艺微通道的一个或多个壁中。

82. 根据权利要求 80 所述的方法，其特征在于，非流体冷却元件位于工艺微通道的一个或多个壁中。

83. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，热源和 / 或冷源毗邻于工艺微通道。

84. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，热源和 / 或冷源远离工艺微通道。

85. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括水。

86. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括至少一种有机液体。

87. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括至少一种液态烃。

88. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括至少一种天然油、合成油、或其混合物。

89. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括来源于植物源、矿物源、或其混合物的至少一种液体。

90. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括至少一种脂肪醇、脂肪酸酯、或其混合物。

91. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括微体。

92. 根据权利要求 91 所述的方法，其特征在于，微体是空心的。

93. 根据权利要求 91 所述的方法，其特征在于，微体是实心的。

94. 根据权利要求 91 所述的方法，其特征在于，微体包括玻璃微球。

95. 根据权利要求 91 所述的方法，其特征在于，微体包括聚合物微球。

96. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括至少一种乳化剂和 / 或表面活性剂。

97. 根据权利要求 96 所述的方法，其特征在于，乳化剂和 / 或表面活性剂包括烷基芳基磺酸酯、氧化胺、羧基化醇乙氧基化合物、乙氧基化醇、乙氧基化烷基酚、乙氧基化胺、乙氧

基化酰胺、乙氧基化脂肪酸、乙氧基化脂肪酯、乙氧基化脂肪油、脂肪酯、甘油酯、乙二醇酯、脱水山梨糖醇酯、咪唑啉衍生物、卵磷脂、卵磷脂衍生物，木质素、木质素衍生物，甘油一酸酯、甘油一酸酯衍生物，烯烃磺酸酯，磷酸酯、磷酸酯衍生物，丙氧基化脂肪酸、乙氧基化脂肪酸、丙氧基化醇或烷基酚、乙氧基化醇或烷基酚、脱水山梨糖醇衍生物，蔗糖酯、十二烷基或十三烷基苯磺酸酯、萘磺酸酯、石油磺酸酯、十三烷基或十二烷基苯磺酸、磺基丁二酸酯、磺基丁二酸酯衍生物、或其中的两种或多种混合物。

98. 根据权利要求 96 所述的方法，其特征在于，乳化剂和 / 或表面活性剂包括：至少一种聚烷撑二醇；甘油和 / 或脱水山梨糖醇和一种或多种脂肪酸的至少一种偏酯；或其混合物。

99. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，多相混合物包括一种或多种：紫外防护因子；蜡；稠度因子；增稠剂；富脂剂；稳定剂；阳离子、阴离子、两性离子、两性或非离子聚合物；有机硅化合物；脂肪；卵磷脂；磷脂；生物营力剂；抗氧化剂；除臭剂；止汗剂；去屑剂；溶胀剂；驱虫剂；自鞣剂；酪氨酸抑制剂；增溶剂；防腐剂；芳香油；或染料；或其中的两种或多种混合物。

100. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，固体分散在多相混合物中。

101. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，颜料分散在多相混合物中。

102. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，催化剂分散在多相混合物中。

103. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在工艺微通道中调节多相混合物的光学或热 - 光学特性。

104. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括液体流，并且第二流体流包括一种或多种的空气、氧气、氮气、二氧化碳、氢气、氨、氯气、臭氧、一种或多种气态烃、或其中的两种或多种的结合物。

105. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括液体废物流，并且第二流体流包括空气。

106. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括有害废物流，并且第二流体流包括空气。

107. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括色拉调料或芥末，并且第二流体流包括氮气。

108. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括液体饮料，并且第二流体流包括二氧化碳。

109. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括啤酒，并且第二流体流包括二氧化碳。

110. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括漂白浆，并且第二流体流包括氯气。

111. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括在水中的煤分散体，并且第二流体流包括空气。

112. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括含残留水的电动机润滑油，并且第二流体流包括氮气。

113. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体流包括用于发酵反应的细胞，

并且第二流体流包括氧气或空气。

114. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括液体反应基质, 并且第二流体流包括空气或氧气。

115. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括用于进行氢化反应的反应基质, 并且第二流体流包括氢气。

116. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括油和水的混合物, 并且第二流体流包括空气或天然气。

117. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括漂白浆, 并且第二流体流包括氧气。

118. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括食用油、酒, 第二流体流包括氮气。

119. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括汁液, 第二流体流包括氮气。

120. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括用于养鱼场的水, 并且第二流体流包括氧气。

121. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括水, 并且第二流体流包括臭氧。

122. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括废物流或工艺流, 并且第二流体流包括二氧化碳或氨。

123. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括空气, 并且第二流体流包括蒸汽。

124. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括含有挥发性有机物的废物流, 并且第二流体流包括空气。

125. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 第一流体流包括气体或液体, 并且第二流体流包括微体形成材料。

126. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述方法产生每分钟至少 1 升的多相混合物。

127. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中 实施所述方法, 微通道混合器包括至少 2 个工艺微通道。

128. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中实施所述方法, 微通道混合器包括至少 10 个工艺微通道。

129. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中实施所述方法, 微通道混合器包括至少 100 个工艺微通道。

130. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中实施所述方法, 微通道混合器包括至少 1000 个工艺微通道。

131. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在微通道混合器中实施所述方法, 微通道混合器包括连接到至少一个第一流体流歧管的许多工艺微通道, 第一流体流流过至少一个第一流体流歧管流向工艺微通道。

132. 根据权利要求 131 所述的方法, 其特征在于, 第二流体流通道毗邻于工艺微通道,

并且微通道混合器进一步包括连接到第二流体流通道的至少一个第二流体流歧管，第二流体流流过至少一个第二流体流歧管流向第二流体流通道。

133. 根据权利要求 132 所述的方法，其特征在于，热交换通道毗邻于工艺微通道和 / 或第二流体流通道，并且微通道混合器进一步包括连接到热交换通道的至少一个热交换歧管，热交换流体流过至少一个热交换流体歧管流向热交换通道。

134. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述方法在微通道混合器中进行，所述微通道混合器包括并列或层层叠加排列的许多多相混合物形成单元，各多相混合物形成单元包括工艺微通道和毗邻的第二流体流通道，工艺微通道和毗邻的第二流体流通道具有共用壁，在所述共用壁中带有有孔区，有孔区适于使第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道，各工艺微通道和第二流体流通道由平行隔开的片、板或这些片和板的结合物形成，第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道。

135. 根据权利要求 134 所述的方法，其特征在于，各多相混合物形成单元进一步包括毗邻于工艺微通道、第二流体流通道、或与工艺微通道和第二流体流通道两者都毗邻的热交换通道。

136. 根据权利要求 134 所述的方法，其特征在于，第一流体流流过顶管进入工艺微通道。

137. 根据权利要求 134 所述的方法，其特征在于，第二流体流流过顶管进入第二流体流通道。

138. 根据权利要求 134 所述的方法，其特征在于，多相混合物通过底管流出工艺微通道。

139. 根据权利要求 134 所述的方法，其特征在于，微通道混合器进一步包括热交换歧管，热交换流体从热交换歧管流过热交换通道然后返回到热交换歧管。

140. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，工艺微通道包括在一个或多个内壁之中和 / 或之上形成的表面特性，所述表面特性用于调整工艺微通道内的流动。

141. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，第二流体流通道包括在一个或多个内壁之中和 / 或之上形成的表面特性，所述表面特性用于调整通道内的流动。

142. 根据权利要求 68 所述的方法，其特征在于，热交换流体通道包括在一个或多个内壁之中和 / 或之上形成的表面特性，所述表面特性用于调整热交换流体通道内的流动。

143. 根据权利要求 140 所述的方法，其特征在于，表面特性是在一个或多个内壁中凹入和 / 或从一个或多个内壁凸起的形式，表面特性相对于流体流过工艺微通道的方向成斜角定向。

144. 根据权利要求 140 所述的方法，其特征在于，表面特性是至少两个表面特性区域的形式，其中第一流体和第二流体的混合在第一表面特性区域进行，随后流入第二流体流区中，其中在第二表面特性区域中的流型与在第一表面特性区域中的流型不同。

145. 根据权利要求 144 所述的方法，其特征在于，在第二表面特性区域中的流动用于将第一流体和第二流体分开。

146. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，有孔区包括形成工艺微通道的一个或多个内壁的内部，并且表面特性片覆盖在有孔区的内部上面，表面特性在表面特性片之中和 / 或之上。

147. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 多相混合物包括在第一和 / 或第二流体流中分散的固体颗粒, 并且是流化床的形式, 工艺微通道包括在一个或多个其内壁之中和 / 或之上形成的表面特性, 所述表面特性用于调整工艺微通道内的流动。

148. 根据权利要求 140 所述的方法, 其特征在于, 表面特性包括在彼此之上堆叠和 / 或以三维式样缠绕的两层或多层。

149. 根据权利要求 140 所述的方法, 其特征在于, 表面特性是圆形、椭圆形、正方形、矩形、钩形、V 形、波形、或其结合的形式。

150. 根据权利要求 140 所述的方法, 其特征在于, 表面特性包括子特性, 其中在表面特性的主壁进一步包含较小的表面特性, 所述较小的表面特性是槽口、波浪、锯齿状、孔洞、毛口、钩子、扇形、或其结合的形式。

151. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 多相混合物是泡沫的形式。

使用微通道工艺技术的多相混合方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用微通道工艺技术的多相混合方法。

背景技术

[0002] 液体中气泡的分散可用于有化学反应或无化学反应的气体 - 液体接触以促进吸收或解析, 或用于泡沫或泡产生。这些例子包括 : 空气喷射以满足废物流的 BOD (生物需氧量) 要求 ; 空气注射用于在容器中混合液体 ; 空气喷射刺激微生物的生长以用于有害废物处理 ; 氮气喷射用于罐装色拉调料或芥末, CO₂ 喷射用于碳酸饮料和啤酒 ; 氯气喷射用于漂白在纸制造中的纸浆 ; 空气喷射用于煤浮选和其它固体分离 ; 氮气喷射以从机油中除去残留的水 ; 氧气或空气喷射以在发酵反应中促进细胞的生长 ; 将空气、氧气或其它气体喷射到反应器内用于改善性能 ; 氢气喷射用于广谱的化学氢化反应 ; 空气或天然气喷射用于从油井产生的水中除去油 ; 氧气喷射用于漂白在纸制造中的纸浆 ; 氮气喷射以从食用油、酒以及果汁中除去氧气 ; 在养鱼场中氧气喷射用于刺激鱼的生长 ; 过硫酸氢钾制剂喷射以清洁在制药工厂中的超纯水系 ; CO₂ 或 NH₃ 喷射以调节废物或工艺流中的 pH 值 ; 直接蒸汽注射用于有效加热并且消除蒸汽锤 ; 空气喷射用于从废物流中除去 VOC (挥发性的有机化合物) ; 等等。许多这些操作具有的问题在于气体的分散是低效率的。

发明内容

[0003] 本发明提供一种解决该问题的办法。在一实施方案中, 本发明使具有较高表面积的较小的气泡分散到液体中。这导致较高的气体 / 液体接触面积。较小的气泡和较高的表面积可将气体更有效地溶解于液体中。这可降低气体的消耗量。这还可缩短气体溶解于液体中所需的时间, 导致更快的工艺过程和较高的生产量。

[0004] 本发明涉及一种制造多相混合物的方法, 包括 : 使第一流体流在工艺微通道流动, 第一流体流包括至少一种液体和 / 或至少一种气体, 工艺微通道具有有孔区 ; 使第二流体流过有孔区进入工艺微通道与第一流体流接触以形成多相混合物, 第二流体流包括至少一种气体和 / 或至少一种微体形成材料, 第一流体流在多相混合物中形成连续相, 第二流体流在连续相中形成分散的非连续相。

[0005] 在一实施方案中, 第二流体溶解在第一流体中。这可在工艺微通道中或在多相混合物排出工艺微通道之后出现。在至少一个实施方案中, 本发明方法的优点在于, 同不使用微通道技术的传统技术所形成的较大大气泡相比, 多相混合物中的第二流体可包括更有效地溶解于第一流体中的较小气泡。

[0006] 在一实施方案中, 多相混合物进一步包括在第一流体流中分散的固体颗粒。

[0007] 在一实施方案中, 在工艺微通道和热源和 / 或冷源之间交换热量。在一实施方案中, 热源和 / 或冷源包括至少一个热交换通道。

[0008] 在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少一部分沿伸。在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少约 10% 沿伸, 在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长

度的至少约 20% 沿伸，在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少约 35% 沿伸，在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少约 50% 沿伸，在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少约 65% 沿伸，在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少约 80% 沿伸，以及在一实施方案中有孔区沿微通道的轴向长度的至少约 95% 沿伸。

[0009] 在一实施方案中，第二流体流从第二流体流通道流过有孔区。

[0010] 在一实施方案中，在工艺微通道和热源和 / 或冷源之间、第二流体流通道和热源和 / 或冷源之间、或工艺微通道和第二流体流通道两者和热源和 / 或冷源之间交换热量。热源和 / 或冷源可用于加热、冷却、或兼有冷却和加热。热源可包括热交换通道和 / 或加热元件。冷源可包括热交换通道和 / 或冷却元件。在一实施方案中，热源和 / 或冷源可毗邻于工艺微通道、第二流体流通道、或与工艺微通道和第二流体流通道两者都毗邻。在一实施方案中，热源和 / 或冷源可远离工艺微通道和 / 或第二流体流通道，但充分地接近于工艺微通道和 / 或第二流体流通道以将热量传至工艺微通道和 / 或第二流体流通道或从工艺微通道和 / 或第二流体流通道中传出。

[0011] 在一实施方案中，方法在多相混合器中实施，其中采用一个或多个顶管 (header) 或歧管以使流体流入工艺微通道、第二流体流通道以及热交换通道内，并且采用一个或多个底管 (footer) 或歧管以使流体流出工艺微通道和热交换通道。

[0012] 在一实施方案中，第一流体流和第二流体流在工艺微通道中的混合区内相互接触。在一实施方案中，在热源和 / 或冷源和在混合区中的工艺微通道的至少一部分之间交换热量。在一实施方案中，在热源和 / 或冷源和在混合区上游中的工艺微通道的至少一部分之间交换热量。在一实施方案中，在热源和 / 或冷源和在混合区下游中的工艺微通道的至少一部分之间交换热量。

[0013] 在一实施方案中，工艺微通道在混合区中具有限定的剖面。

[0014] 在一实施方案中，工艺微通道具有隔开的壁和在每个隔开的壁中的有孔区，第二流体流流过各有孔区进入工艺微通道。在一实施方案中，在每个隔开的壁中的有孔区包括许多孔，在一个壁的有孔区中的孔正对于另一个壁的有孔区中的孔排列。在一实施方案中，在每个隔开的壁中的有孔区包括许多孔，在一个壁的有孔区中的至少一些孔与另一个壁的有孔区中的孔正好偏移排列。

[0015] 在一实施方案中，工艺微通道位于多相混合物形成单元中，该多相混合物形成单元包括第一工艺微通道、第二工艺微通道、以及位于第一工艺微通道和第二工艺微通道之间的第二流体流通道，各工艺微通道具有带有孔区的壁，第一流体流流过第一工艺微通道和第二工艺微通道，第二流体流从第二流体流通道流过第一工艺微通道中的有孔区与第一流体流接触并流过第二工艺微通道中的有孔区与第一流体流接触。

[0016] 在一实施方案中，第三流体流在第三流体流通道中流动，第三流体流通道具有带另一个有孔区的另一个壁，该方法进一步包括：使第二流体流流过另一个有孔区与第三流体流接触以形成另一多相混合物；使另一多相混合物流过有孔区进入工艺微通道与第一流体流接触。

[0017] 在一实施方案中，工艺微通道由平行隔开的片和 / 或板形成。在一实施方案中，第二流体流通道由平行隔开的片和 / 或板形成，并且第二流体流通道毗邻于工艺微通道。在一实施方案中，热交换通道由平行隔开的片和 / 或板形成，并且热交换通道毗邻于工艺微

通道、第二流体流通道或与工艺微通道和第二流体流通道两者都毗邻。

[0018] 在一实施方案中，在微通道混合器中实施本方法，微通道混合器包括许多工艺微通道和第二流体流通道，各工艺微通道具有带有孔区的壁和毗邻的第二流体流通道，第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道与第一流体流接触，工艺微通道和第二流体流通道由平行隔开的片和 / 或板形成，工艺微通道和第二流体流通道彼此毗邻并且在交错的并列的平面中或在交错的层层叠加的平面中排列。

[0019] 在一实施方案中，工艺微通道包括两个或更多的有孔区并且分开的第二流体流流过各个有孔区。在一实施方案中，流过各有孔区的分开的第二流体流具有不同的组分。在一实施方案中，流过各有孔区的分开的第二流体流具有不同的特性。

[0020] 在一实施方案中，在微通道混合器中实施本方法，微通道混合器包括至少 2 个工艺微通道，在一实施方案中包括至少约 10 个工艺微通道，在一实施方案中包括至少约 100 个工艺微通道，以及在一实施方案中包括至少约 1000 个工艺微通道。

[0021] 在一实施方案中，在微通道混合器中实施本方法，工艺微通道包括连接到至少一个第一流体流歧管的许多工艺微通道，第一流体流流过至少一个第一流体流歧管流向工艺微通道。在一实施方案中，第二流体流通道毗邻于工艺微通道，并且微通道混合器进一步包括连接到第二流体流通道的至少一个第二流体流歧管，第二流体流流过至少一个第二流体流歧管流向第二流体流通道。在一实施方案中，热交换通道毗邻于工艺微通道和 / 或第二流体流通道，微通道混合器进一步包括连接到热交换通道的至少一个热交换歧管，热交换流体流过至少一个热交换流体歧管流向热交换通道。

[0022] 在一实施方案中，第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道，工艺微通道和液体通道包括同心排列的圆管。

[0023] 在一实施方案中，在微通道混合器中实施本方法，微通道混合器包括许多工艺微通道，其中分开的多相混合物在各个工艺微通道中形成，在至少两个工艺微通道中形成的多相混合物彼此不同。这些多相混合物可具有不同的组分和 / 或不同的特性。该微通道混合器可被称作组合合成和筛选设备。本发明的该实施方案的优点在于它可以使用相同的设备同时进行多种产物多相混合物的生成和评价。当需要筛选多种配方作为可能的新产物时，此举会为有利。

[0024] 在一实施方案中，在微通道混合器中实施本方法，微通道混合器包括并列或层层叠加排列的许多多相混合物形成单元，各多相混合物形成单元包括工艺微通道和毗邻的第二流体流通道，工艺微通道和毗邻的第二流体流通道具有在共用壁，在所述共用壁中具有有孔区，有孔区适于使第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道，各工艺微通道和第二流体流通道由平行隔开的片、板或这些片和板的结合制成，该方法包括：使第一流体流在工艺微通道中流动；使第二流体流从第二流体流通道流过有孔区进入工艺微通道；以及在工艺微通道中将第一流体流和第二流体流混合以形成多相混合物。

[0025] 在一实施方案中，可使用较低的供第一流体流流过工艺微通道的压降来操作本发明的方法。在一实施方案中，可使用较低的供第二流体流通过有孔区进入工艺微通道的压降来操作本发明的方法。

[0026] 在一实施方案中，可通过使用在工艺微通道的一个或多个内壁上形成的表面特性来改善工艺微通道内的混合。在一实施方案中，第二流体可在工艺微通道内接触第一流体，

然后流过工艺微通道内的区域，在该区域中可在工艺微通道的一个、两个或多个内壁上形成表面特性。表面特性可以采取凹入和 / 或从一个或多个工艺微通道内壁凸出的形式，所述表面特性相对于流体流过工艺微通道的方向成斜角定向。成角度的特性可朝着或对着流动方向排列。表面特性可以相对于流动方向成一定角度（例如，从约 1° 至约 89°，在一实施方案中从约 30° 至约 75°）排列。流体流的流动与表面特性相接触可迫使部分流体流进入凹部或表面特性中，同时部分流体流在表面特性上继续流动。表面特性内的流动可与表面特性一致并且与总体流动成一定角度。当流体离开表面特性时，它可在 x、y、z 坐标系的 x 和 y 方向上施加动量，其中总流体在 z 方向上流动。该效果可以是流体流动的搅动或旋转。该模式可特别有助于两相流动的混合，因为所赋予的速度梯度可产生使第二流体碎裂成小的并且充分分散的气泡或颗粒的流体剪切力。

[0027] 在一实施方案中，工艺微通道内的表面特性区域可串联设置，这样可使用第一表面特性区域后随着产生不同流型的至少一个第二表面特性区域来完成第一流体和第二流体的混合。第二流型可用于将第一流体和第二流体分离或分开。该步骤可用于辅助气体或液体回收。本发明的该实施方案可对气液反应特别有用，其中将气体引入液体，然后使得到的混合物流过包含不均一催化剂或均一催化剂或不含催化剂的第一表面特性区域。然后混合物可选择地流过第二表面特性区域，在该第二表面特性区域中流型产生离心力驱动流体以环形流型流向工艺微通道的内壁，同时气体保持在流体核心中。所述后者的分布特征可帮助从反应混合物中分离或分开未反应的气体。一个可在流体中产生强的向心涡流的表面特性的模式可以是一对位于工艺微通道顶部和底部上的成角度的槽。可以制造向心涡流的流型。在一实施方案中，多泡沫的混合物释出液体使其流向工艺微通道的壁并且迫使气体流向工艺微通道的中心。

[0028] 在一实施方案中，有孔区可包括内部，所述内部形成工艺微通道的一个或多个内壁的一部分。表面特性片可位于有孔区的内部之上。表面特性可在表面特性片之中和 / 或之上形成。第二流体可流过有孔区和表面特性片。流体通过有孔区的流入，在位于表面特性片的表面特性内时，是可以从表面特性片的表面分开的。表面特性可包含具有相对于总流程长度的较小宽度或跨度的成角度特性。表面特性片可为有孔区提供机械支撑。另外，由表面特性产生的流动涡度或成角度的流动可优选地进一步将剪切力赋予流过有孔区的第二流体流，因而缩小总体流动路径中的第二流体颗粒或泡沫的尺寸。

[0029] 在一实施方案中，多相混合物可包括液体 - 固体流或气体 - 液体 - 固体流。第二流体流可包括在气体或液体中的固体分散物。第一流体流可包括在气体或液体中分散的气体、液体或固体。通过工艺微通道中的表面特性部分的多相混合物的流动可以是有利的，因为所赋予的非流动方向的动量可产生使混合物充分混合或分散的效果。该应用对于在液体反应物内的固体催化剂的分散是有用的。

[0030] 在一实施方案中，多相混合物可包括在第一和 / 或第二流体流中分散的固体颗粒并且采以流化床的形式，工艺微通道包括在其一个或多个内壁之中和 / 或之上形成的表面特性以用于改变在工艺微通道内的流动。这可涉及将气体流混合入含有流体流的固体颗粒中。固体可被吹入或通过载体流载送。表面特性可增强多相混合物的混合。

[0031] 在一实施方案中，固体可由于化学反应和 / 或沉淀而在多相混合物中形成。

[0032] 在一实施方案中，多相混合物是泡沫的形式。在一实施方案中，多相混合物可选择

地包括一种或多种表面活性剂。虽然对于一些泡沫不要求表面活性剂的存在,但是可以将这些表面活性剂包括进来以形成泡沫。

附图说明

- [0033] 在附图中,相同的部分和特征具有相同的标记。
- [0034] 图 1 是可用于本发明方法的微通道的示意图。
- [0035] 图 2 是以特别形式说明本发明方法的流程图,其中微通道混合器用于形成多相混合物。
- [0036] 图 3 是说明用于本发明方法的多相混合物形成单元的流程图,其中第一流体流流过工艺微通道并且与第二流体流混合,该第二流体流从毗邻的第二流体流通道通过工艺微通道中的有孔区进入工艺微通道。
- [0037] 图 4- 图 9 是说明用于本发明方法的多相混合物形成单元的流程图。
- [0038] 图 10 是说明双多相混合物的示意图。
- [0039] 图 11 是可用于根据本发明方法的微通道通风设备的示意图。
- [0040] 图 12 是可用于图 11 所说明的通风设备的微通道多相混合物形成单元的示意图。
- [0041] 图 13 是热处理前多孔不锈钢基片的扫描电子显微镜 (SEM) 图。
- [0042] 图 14 是热处理后图 8 所说明的基片的 SEM 图。
- [0043] 图 15 是有益于本发明方法的修整的多孔基片的 SEM 图。
- [0044] 图 16 是有孔片的俯视图,该有孔片用于制成以本发明方法使用的工艺微通道的有孔区。
- [0045] 图 17 是有孔片或板的俯视图,该有孔片或板用于制成以本发明方法使用的工艺微通道的有孔区。
- [0046] 图 18 是对覆盖在较厚的有孔片或板上面的较薄的有孔片的说明,其用于制成以本发明方法使用的工艺微通道的有孔区。
- [0047] 图 19 说明覆盖在较厚的有孔片或板上面的较薄的有孔片,其用于制成以本发明方法使用的工艺微通道的有孔区。
- [0048] 图 20 是对可用于以本发明方法使用的工艺微通道的有孔区的孔的一个选择实施方案的说明,该孔具有将其部分填充并且覆盖在其侧壁上的涂层。
- [0049] 图 21 是表示在本发明方法操作期间气泡或微体的形成的示意图。
- [0050] 图 22- 图 26 是可在以本发明方法使用的微通道中配置的表面特性的示意图。
- [0051] 图 27 是如实施例 5 所示的由计算流体动力学 (CFD) 模拟的表面特性的几何平面图,在上壁和下壁上都可以看见表面特性。
- [0052] 图 28 是具有如实施例 5 所示的由 CFD 模拟的表面特性的微通道的等角投影图。
- [0053] 图 29 说明从如实施例 5 所示的入口平面俯视流动轴,沿入口平面的水平中心线 (在箭头之间流动) 开始的在工艺微通道中流动的轨迹线。
- [0054] 图 30 表示从如实施例 5 所示的一侧来看,沿入口平面的水平中心线 (箭头显示流动的方向) 开始的在工艺微通道中流动的轨迹线。
- [0055] 图 31 表示从如实施例 5 所示的入口俯视流动轴,沿入口平面的水平中心线开始的在工艺微通道中流动的轨迹线 (在箭头之间流动)。

具体实施方式

[0056] 术语“微通道”是指具有高度或宽度的至少一个内部尺寸达到约 10 毫米 (mm) 的通道,在一实施方案中达到约 5mm,在一实施方案中达到约 2mm,以及在一实施方案中达到约 1mm。通过该微通道的流体的流动可沿垂直于该微通道的高度和宽度的微通道轴向长度向前流动。在图 1 中说明了本发明方法可作为工艺微通道、以及可选择的第二流体流通道、第三流体流通道和 / 或热交换通道使用的微通道的一个例子。图 1 说明的微通道 10 具有高度 (h)、宽度 (w) 以及轴向长度 (l)。流体沿着微通道的长度以箭头 12 和 14 表示的方向流过微通道 10。微通道的高度 (h) 或宽度 (w) 可在约 0.05mm 至约 10mm 范围内,在一实施方案中可在约 0.05mm 至约 5mm 范围内,在一实施方案中可在约 0.05mm 至约 2mm 范围内,在一实施方案中可在约 0.05mm 至约 1.5mm 范围内,在一实施方案中可在约 0.05mm 至约 1mm 范围内,在一实施方案中可在约 0.05mm 至约 0.75mm 范围内,以及在一实施方案中可在约 0.05mm 至约 0.5mm 范围内。其它的高度或宽度尺寸可以是任何尺寸,例如达到约 3 米 (m),在一实施方案中约 0.01m 至约 3m,以及在一实施方案中约 0.1m 至约 3m。微通道的轴向长度 (l) 可以是任何尺寸,例如达到约 10m,在一实施方案中约 0.1m 至约 10m,在一实施方案中约 0.2m 至约 6m,以及在一实施方案中约 0.2m 至约 3m。虽然图 1 说明的微通道 10 具有矩形的剖面,应当理解为微通道可具有任何形状的横截面,例如正方形、圆形、半圆形、梯形等。微通道的横截面的形状和 / 或尺寸可在其长度上变化。例如,高度或宽度可在微通道的长度上从较大的尺寸逐渐变为较小的尺寸,或反之亦然。

[0057] 当述及一个通道的位置相对于另一个通道的位置时,术语“毗邻”意思是直接邻接使得壁将两个通道分隔开。该壁可在厚度上变化。但是,“毗邻”的通道不被插入通道分隔开,所述插入通道将干扰通道之间的热交换。

[0058] 术语“表面特性”是指调整微通道内的流动的在微通道壁中的凹入和 / 或从微通道壁的凸起。表面特性可以是圆形、椭圆形、正方形、矩形、钩形、V 形、波形,以及类似形式。表面特性可包含子特性,其中表面特性的主壁进一步包含较小的表面特性,该较小的表面特性可采用槽口、波浪、锯齿状、孔洞、毛口、钩形、扇形,以及类似形式。表面特性具有深度、宽度以及对于非圆形的表面特性的长度。这些例子在图 22- 图 26 中说明。表面特性可在用于本发明方法的微通道的一个或多个内侧壁之上或之中形成。表面特性可在用于本发明方法的第二流体流通道和 / 或热交换通道的一个或多个内侧壁之上或之中形成。表面特性可以被称作被动的表面特性或被动的混合特性。

[0059] 术语“上游”和“下游”是指用于本发明方法中的在包括微通道的通道内相对于通过通道的流体流动方向的位置。例如,流体流经该通道朝向某位置流动,其中的一部分流体还没有达到该通道内的所述位置将是流体所述部分的下游。流体流经该通道离开某位置流动,其中的一部分流体已经通过该通道内的所述位置将是流体所述部分的上游。由于用于本发明方法的通道可被水平、垂直或倾斜角度定向,术语“上游”和“下游”没有必要涉及垂直位置。

[0060] 术语“微体”是指具有约 200 微米 (μm) 和 200 μm 以下范围内的平均尺寸(例如直径、高度、宽度、长度)的三维物体,在一实施方案中从约 0.01 μm 到约 200 μm 的范围内,在一实施方案中约 0.01 μm 到约 100 μm 的范围内,在一实施方案中约 0.01 μm 到约 50 μm 的

范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $25 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $10 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $5 \mu\text{m}$ 范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $2 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $1 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $0.5 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $0.2 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $0.1 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $0.08 \mu\text{m}$ 的范围内,在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $0.05 \mu\text{m}$ 的范围内,以及在一实施方案中约 $0.01 \mu\text{m}$ 到约 $0.03 \mu\text{m}$ 的范围内。这些微体包括具有圆形和 / 或椭圆形形式的剖面的物体。微体可以是球体、椭圆体、卵形体以及类似形式。微体可具有针样的形状。微体可以是空心的或实心的。微体可以是微球体。微体可具有大型的尺寸(例如直径、长度)和小型的尺寸(例如直径、高度、宽度),大型尺寸与小型尺寸之比在约 $10 : 1$ 至约 $1 : 1$ 的范围内,在一实施方案中在约 $5 : 1$ 至约 $1 : 1$ 的范围内,以及在一实施方案中在约 $2 : 1$ 至约 $1 : 1$ 的范围内。

[0061] 术语“流体”是指气体、液体、含有分散固体的气体或液体、含有液滴的气体、含有气泡的液体、含有液滴和分散固体的气体、或含有气泡和分散固体的液体,以及类似物质。

[0062] 术语“热源”是指放热并且可用于加热另一物体或设备的物体或设备。热源可以是在其中具有热交换流体的热交换通道的形式,以将热传到另一物体或设备;另一物体或设备例如是毗邻于或充分接近热交换通道以接收从热交换通道传递的热量的通道。热交换流体可包含在热交换通道中和 / 或其可流过热交换通道。热源可以是加热元件的形式,例如电加热元件或电阻加热器。术语“冷源”是指吸热并且可用于冷却另一物体或设备的物体和设备。冷源可以是在其中具有热交换流体的热交换通道的形式,以接收从另一物体或设备传递的热;另一物体或设备例如是毗邻于或充分接近热交换通道以将热传到热交换通道的通道。热交换流体可包含在热交换通道中和 / 或其可流过热交换通道。冷源可以是冷却元件的形式,例如非流体冷却元件。

[0063] 术语“热源和 / 或冷源”是指可放热或吸热的物质和设备。热源和 / 或冷源可以是在其中具有热交换流体的热交换通道的形式,当毗邻或接近于热交换通道的另一物质或设备需要加热时以便将热传到所述另一物质或设备,或当毗邻或接近于热交换通道的另一物质或设备需要冷却时以便接受所述另一物质或设备传递的热。作为热源和 / 或冷源的热交换通道可以在一个时间作为加热通道,在另一个时间作为冷却通道。热交换通道的一个部分或一些部分可起加热通道的作用,同时热交换通道的另一部分或一些部分可起冷却通道的作用。

[0064] 术语“热交换通道”是指在其里面具有热交换流体的通道,该通道放出热量和 / 或吸收热量。

[0065] 术语“热交换流体”是指可放热和 / 或吸热的流体。

[0066] 参见图 2,可使用微通道混合器 100 实施本方法,所述微通道混合器 100 包括微通道混合器芯 102、工艺流体顶管 104、产物底管 106 以及热交换歧管 108。微通道混合器芯 102 包括许多的工艺微通道、毗邻的第二流体流通道和热交换通道。第二流体流通道和 / 或热交换通道可以是微通道。工艺微通道、第二流体流通道以及热交换通道可以叠加或并排地多层排列。工艺顶管 104 对管道进行均匀或基本上均匀地流动分配,为第一流体流流入工艺微通道和第二流体流流入第二流体流通道提供通路。产物底管 106 为多相混合物以较

高流速从工艺微通道流出提供通路。如箭头 110 所示,第一流体流通过工艺顶管 104 流入微通道混合器 100。如箭头 112 所示,第二流体流通过工艺顶管 104 流入微通道混合器 100。第一流体流和第二流体流流入微通道混合器芯 102 并且混合以形成多相混合物。多相混合物从微通道混合器芯 102 流过产物底管 106,然后如箭头 114 所示流出产物底管 106。在一实施方案中,多相混合物可通过微通道混合器芯 102 反向循环任意次数,例如一次、两次、三次、四次等。如箭头 116 所示热交换流体流入热交换歧管 108,然后从热交换歧管 108 流过在微通道混合器芯 102 中的热交换通道,然后返回到热交换歧管 108,然后如箭头 118 所示从热交换歧管 108 流出。微通道混合器 100 可与贮存罐、泵、阀门、流量控制装置,以及类似装置结合使用,这些未在图中示出,但是这对于本领域的技术人员来说是显而易见的。

[0067] 微通道混合器芯可包括许多的多相混合物形成单元。在图 3- 图 9 以及图 12 中说明了多相混合物形成单元的有益的实施方案。参照图 3,可使用包括工艺微通道 210 的多相混合物形成单元 200 实施本发明的方法,该工艺微通道 210 包括具有相对的侧壁 212 和 214 以及在侧壁 212 中的有孔区 240。有孔区 240 可被称作多孔区或多孔基片。有孔区 240 可包括具有贯穿其中的孔 244 排列的片或板 242。毗邻于侧壁 212 的是第二流体流 270,其通过有孔区 240 中的孔 244 对工艺微通道 210 开放。工艺微通道 210 具有非孔或非多孔区域 211 和 217 以及混合区 213。非孔区域 211 从工艺微通道的入口延伸至混合区 313 的入口。非孔区域 211 位于混合区 213 的上游。混合区 213 邻接于有孔区 240。非孔区域 217 从混合区 213 的末端延伸至工艺微通道 210 的出口。非孔区域 217 位于混合区 213 的下游。毗邻于侧壁 214 的是热交换通道 290。在操作中,如箭头 216 所示,第一流体流流入工艺微通道 210,并通过非孔区域 211 进入混合区 213。如箭头 272 所示,第二流体流流入第二流体流通道 270,并如箭头 274 所示流过有孔区 240,进入混合区 213。在混合区 213 中,第二流体流与第一流体流接触并且混合以形成多相混合物。第二流体流可在第一流体流内形成不连续相。第一流体流可形成连续相。多相混合物从混合区 213 流过非孔区域 217,然后如箭头 218 所示流出工艺微通道 210。加热或冷却是可选择的。当需要加热或冷却时,如箭头 292 所示,热交换流体流过热交换通道 290,加热或冷却工艺微通道 210 和第二流体流通道 270 中的流体。可在工艺微通道 210 和第二流体流通道 270 的长度上改变加热或冷却的程度。在工艺微通道和第二流体流通道的一些区域中加热或冷却是可忽略的或不存在的,而在其它区域中是适中的或较高的。可选择地,加热或冷却可使用非热交换通道实现。例如,可使用电加热元件或电阻加热器实现加热。电加热元件或电阻加热器可用于形成工艺微通道 210 和 / 或第二流体流通道 270 的一个或多个壁。电加热元件或电阻加热器可位于工艺微通道 210 和 / 或第二流体流通道 270 的一个或多个壁中。可使用非流体冷却元件实现冷却。可沿工艺微通道 210 的长度使用多重加热或冷却区。类似地,可沿工艺微通道 210 和 / 或第二流体流通道 270 的长度使用一个或多个热交换通道中的不同温度的热交换流体。

[0068] 除工艺微通道 210 的侧壁 210 包括与有孔部分 240 相对排列的锥形区 220 外,图 4 说明的多相混合物形成单元 200A 与图 3 说明的多相混合物形成单元 200 相同。在混合区 213 中锥形区 220 缩减了的工艺微通道 210 的宽度或高度,因而为在混合区 213 中的工艺微通道 210 提供了受限制的横截面。宽度或高度可在约 0.001mm 至约 5mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.01mm 至约 2mm 的范围内。锥形区 220 的存在使得流过混合区 213 的流体的速度加快。流过混合区 213 的流体的加速导致作用于流过孔 244 进入混合区 213 的

第二流体流的剪切力增加。这使得第二流体流易于流过孔 244。流过工艺微通道 210 的受限制横截面通过混合区 213 的流体速度可在每秒约 0.005 米至约每秒约 100 米 (m/s) 的范围内,在一实施方案中在约 0.01m/s 至约 50m/s 的范围内。

[0069] 除了多相混合物形成单元 200B 还包括第二流体流通道 270a 和有孔部分 240a 外,图 5 说明的多相混合物形成单元 200B 与图 3 说明的多相混合物形成单元 200 相同。第二流体流通道 270a 位于工艺微通道 210 和热交换通道 290 之间。在侧壁 214 中形成有孔部分 240a。第二流体流通道 270a 通过有孔区 240a 对工艺微通道 210 开放。有孔区 240a 可包括具有贯穿其中的孔 244a 排列的片或板 242a。工艺微通道 210 具有非孔或非多孔区域 211 和 217 以及混合区 213。非孔区域 211 从工艺微通道的入口延伸至混合区 213 的入口并且位于混合区 213 的上游。混合区 213 位于有孔区 240 和 240a 之间。非孔区域 217 从混合区 213 的末端延伸至工艺微通道 210 的出口。非孔区域 217 位于混合区 213 的下游。在操作中,如箭头 216 所示,第一流体流流入工艺微通道 210,并通过非孔区域 211 进入混合区 213。分别如箭头 272 和 272a 所示,第二流体流流入第二流体流通道 270 和 270a。分别如箭头 274 和 274a 所示,第二流体流流过有孔区 240 和 240a,进入混合区 213。在混合区 213 中,第二流体流与第一流体流接触并且混合以形成多相混合物。第二流体流可在第一液体内部形成不连续相。第一流体流可形成连续相。多相混合物流过非孔区域 217,并如箭头 218 所示流出工艺微通道 210。加热或冷却是可选择的。当需要加热或冷却时,如箭头 292 所示,热交换流体流过热交换通道 290,加热或冷却工艺微通道 210 以及第二流体流通道 270 和 270a 中的流体。可在工艺微通道和第二流体流通道的长度上改变加热或冷却的程度。在工艺微通道和第二流体流通道的一些区域中加热或冷却是可忽略的或不存在的,而在其它区域中是适中的或较高的。

[0070] 除了图 5 说明的有孔区 244 和 244a 彼此正好相对排列,而图 6 说明的有孔区 244 和 244a 偏离这种正对排列外,图 6 说明的多相混合物形成单元 200C 与图 5 说明的多相混合物形成单元 200B 相同。在图 5 中,流过孔 244 和 244a 的第二流体流彼此直接碰撞,因而促进第二流体流分散到第一流体流内。另一方面,在图 6 中,流过孔 244 和 244a 的第二流体流彼此偏离,因而在混合区 213 内通过提供涡流效应来促进分散。

[0071] 图 7 说明的多相混合物形成单元 200D 包括工艺微通道 210 和 210a、有孔区 240 和 240a、第二流体流通道 270 以及热交换通道 290。在侧壁 212 中形成有孔区 240,并且在侧壁 212a 中形成有孔区 240a。有孔区 240 和 240a 可被称作多孔区或多孔基片。第二流体流通道 270 分别通过有孔区 240 和 240a 对工艺微通道 210 开放。有孔区 240 可包括具有贯穿其中的孔 244 排列的片或板 242。同样地,有孔区 240a 可包括具有贯穿其中的孔 244a 排列的片或板 242a。工艺微通道 210 和 210a 分别具有非孔或非多孔区域 211 和 217、和 211a 和 217a、以及混合区 213 和 213a。非孔区域 211 和 211a 分别从工艺微通道 210 和 210a 的入口延伸至混合区 213 和 213a 的入口。非孔区域 211 和 211a 分别位于混合区 213 和 213a 的上游。混合区 213 和 213a 分别邻接于有孔区 240 和 240a。非孔区域 217 和 217a 分别从混合区 213 和 213a 的末端延伸至工艺微通道 210 和 210a 的出口。非孔区域 217 和 217a 分别位于混合区 213 和 213a 的下游。毗邻于工艺微通道 210 的是热交换通道 290。在操作中,分别如箭头 216 和 216a 所示,第一流体流流入工艺微通道 210 和 210a,并通过非孔区域 211 和 211a 进入混合区 213 和 213a。如箭头 272 所示,第二流体流流入第二流体流通道 270,

然后如箭头 274 和 274a 所示分别流过有孔区 240 和 240a，进入混合区 213 和 213a。在混合区 213 和 213a 中，第二流体流与第一流体流接触并且混合以形成多相混合物。第二流体流可在第一流体流内形成不连续相。第一流体流可形成连续相。多相混合物分别流过非孔区域 217 和 217a，并如箭头 218 和 218a 所示分别流出工艺微通道 210 和 210a。加热或冷却是可选择的。当需要加热或冷却时，如箭头 292 所示热交换流体流过热交换通道 290，加热或冷却通道 210、210a 以及 270 中的流体。可在通道长度上变化加热或冷却的程度。在工艺微通道 210 和 210a 以及第二流体流通道 270 的一些区域中加热或冷却是可忽略的或不存在的，而在其它区域中是适中的或较高的。

[0072] 在一实施方案中，多相混合物配方和 / 或工艺条件的设定可用于在单独微通道混合器内产生不同的多相混合物。例如，单独微通道混合器可使用两个或多个工艺微通道和相关联的第二流体流通道以及热交换通道以在单独微通道混合器中制成二、三、四、五、六、七、八、九、十、几十、几百、几千、几万、几十万等不同的多相混合物。该混合器类型可被称作组合的合成设备。这在图 8 中示出，其中说明了多相混合物形成单元 300。多相混合物形成单元 300 使用 4 个工艺微通道，因此可能够产生达 4 个不同的多相混合物。多相混合物形成单元 300 可被重复任意所需的次数，例如二、三、四、五、六、七、八、九、十、几十、几百、几千、几万次等，以提供上述指出的多种不同多相混合物的可能性。多相混合物形成单元 300 包括工艺微通道 310、320、330 以及 340，第二流体流通道 350 和 360，以及热交换通道 370 和 380。在侧壁 312 中形成有孔区 311。在侧壁 322 中形成有孔区 321。在侧壁 332 中形成有孔区 331。在侧壁 342 中形成有孔区 341。孔 313、323、333 以及 343 分别位于并且贯穿有孔区 311、321、331 以及 341。工艺微通道 310、320、330 以及 340 分别包括位于混合区 315、325、335 以及 345 上游的非孔区 314、324、334 以及 344。混合区 315、325、335 以及 345 分别与有孔区 311、321、331 以及 341 邻接分布。工艺微通道 310、320、330 以及 340 还分别包括位于混合区 315、325、335 以及 345 下游的非孔区 316、326、336 以及 346。在操作中，如箭头 317、327、337 以及 347 所示，第一流体流分别流入工艺微通道 310、320、330 以及 340。进入工艺微通道 310、320、330 以及 340 的第一流体流可具有彼此相同的组分或彼此不同的组分。第一流体流分别流过非孔区 314、324、334 以及 344 进入混合区 315、325、335 以及 345。如箭头 351 和 361 所示，第二流体流流入第二流体流通道 350 和 360。进入第二流体流通道 350 的第二流体流可与进入第二流体流通道 360 的第二流体流相同或可不同。进入第二流体流通道 350 的第二流体流和进入液体通道 360 的第二液体的差别可以是基于组分或工艺条件、物理性质（例如，粘度、密度、表面张力等）和 / 或操作参数。如箭头 351 所示第二流体流进入第二流体流通道 350，如箭头 352 和 353 所示分别流过有孔区 311 和 321，进入混合区 315 和 325。在混合区 315 和 325 中，第二流体流与第一流体流接触并且混合以形成多相混合物。同样地，如箭头 361 所示第二流体流流入第二流体流通道 360，然后如箭头 362 和 363 所示分别流过有孔区 331 和 341，进入混合区 335 和 345。在混合区 315、325、335 以及 345 中，第二流体流与第一流体流接触并且混合以形成多相混合物。在混合区 315、325、335 以及 345 中形成的多相混合物可以是相同的或不同的。如果不同，多相混合物可根据组分和 / 或物理性质或操作参数（例如，分散和 / 或连续相的组分、粒度、粒度分布、粘度、密度、表面张力、温度、压力、流速等）而彼此不同。多相混合物分别从混合区 315、325、335 以及 345 流过非孔区 316、326、336 以及 346，并如箭头 318、328、338 以及 348 所示流出工艺

微通道 310、320、330 以及 340。使用热交换通道 370 和 380 加热或冷却是可选择的。当需要加热或冷却时,如箭头 371 和 372 以及箭头 381 和 382 所示热交换流体流过热交换通道 370 和 380,加热或冷却通道 310、320、330、340、350 以及 360 中的流体。可在各通道的长度上变化加热或冷却的程度。在工艺微通道和 / 或液体通道的一些区域中加热或冷却是可忽略的或不存在的,而在其它区域中是适中的或较高的。本发明的该实施方案的优点在于可使用相同的设备同时形成和评估多种产物多相混合物。当需要筛选多种配方作为可能的新产物时,这可以是有利的。

[0073] 在一实施方案中,本发明方法适于产生双多相混合物。可使用图 9 说明的多相混合物形成单元 400 制成这些双多相混合物。在图 9 中,多相混合物形成单元 400 位于中心线 402 和 404 之间。多相混合物形成单元 400 包括工艺微通道 410 以及流体流通道 420、430、440 和 450。流体流通道 420 和 430 毗邻于工艺微通道 410。流体流通道 440 毗邻于工艺微通道 420,流体流通道 450 毗邻于流体流通道 430。包括粗糙的有孔区 415 的共用壁 412 将工艺微通道 410 和流体流通道 420 分开。包括粗糙的有孔区 425 的共用壁 422 将工艺微通道 410 和流体流通道 430 分开。有孔区 415 和 425 分别包含孔 416 和 426。包含孔 436 的精制的有孔区 415 位于流体流通道 440 和流体流通道 420 之间并且将流体流通道 440 和流体流通道 420 分开。包含孔 446 的精制的有孔区 445 位于流体流通道 450 和流体流通道 430 之间并且将流体流通道 450 和流体流通道 430 分开。在粗糙的有孔区 415 和 425 中的孔 416 和 426 大于在精制的有孔区 435 和 445 中的孔 436 和 446。工艺微通道 410 具有非孔或非多孔区域 411 和混合区 413。非孔区域 411 从工艺微通道的入口延伸至混合区 413 的入口。混合区 413 毗邻于有孔区 415 和 425。可选择地,可在由中心线 402 和 / 或 404 所示的位置中可插入热交换通道以为流体提供所需的加热或冷却。

[0074] 另外在图 9 中也说明的毗邻的多相混合物形成单元 400a 的一部分位于中心线 402 的下面。多相混合物形成单元 400a 包括工艺微通道 410a、粗糙的有孔区 415a 和 425a、流体流通道 430a 以及精制的有孔区 445a。这些与上面论述的工艺微通道 410、粗糙的有孔区 415 和 425、流体流通道 430 以及精制的有孔区 445 相同。此外,在图 9 中说明的毗邻的多相混合物形成单元 400b 的一部分位于中心线 404 的上面。多相混合物形成单元 400b 包括精制的有孔区 435b 和流体流通道 420b。这些与上面论述的精制的有孔区 435 和流体流通道 420 相同。当按照本发明方法使用于工艺微通道混合器时,在图 9 中包括多相混合物形成单元 400a 和 400b 的一部分说明了多相混合物形成单元 400 的重复特征。

[0075] 在操作中,参见图 9,如箭头 414 所示第一流体流进入工艺微通道 410,并流过非孔区 411 进入混合区 413。如箭头 423 和 433 所示第二流体流分别进入流体流通道 420 和 430。如箭头 442 和 452 所示第三流体流分别进入液体通道 440 和 450。第三流体流从流体流通道 440 流过有孔区 435 进入流体流通道 420,在那里,第三流体流与第二流体流混合并且形成另一多相混合物。另外,第三流体流从流体流通道 450 流过有孔区 445 进入流体流通道 430,在那里,第三流体流与第二流体流混合并且形成另一多相混合物。第三流体流形成非连续相,并且在流体流通道 420 和 430 中形成的另一多相混合物中,第二流体流形成连续相。在流体流通道 420 和 430 中形成的另一多相混合物分别流过有孔区 415 和 425,进入混合区 413,在那里,另一多相混合物与第一流体流混合。在混合区 413 中,另一多相混合物在第一流体流中分散为非连续相,第一流体流是连续相的形式。在混合区 413 中形成的多

相混合物可被称作双多相混合物。在双多相混合物中，至少部分的第三流体流可包裹于第二流体流的泡沫或微体（例如微球）内。被包裹的泡沫或微体可在第一流体流中分散为非连续相，所述第一流体流可以是连续相的形式。如箭头 418 所示双多相混合物排出工艺微通道 410。在一实施方案中，可采以图 10 中所示意说明的形式的双多相混合物，如多相混合物 490，包括被包裹于第二流体流 494（例如，液体或微体）内的第三流体流 492（例如气体），所述第二流体流 494 分散于第一流体流 496（例如，气体或液体）中。

[0076] 在一实施方案中，本发明方法可用于曝气工艺。这在图 11 和图 12 中说明。在该实施方案中，使用包括微通道混合器 502 的曝气罐 500 来实施本方法。在操作中，被曝气的流体包含在罐 500 内，并且如箭头 504 所示，作为第一流体流进入微通道混合器 502。可被曝气的流体的例子是细胞液体培养基 (cell broth)。如箭头 506 所示第二流体流进入微通道混合器 502。第二流体流可包括空气或氧气。在微通道混合器中，第一流体流（例如细胞液体培养基）和第二流体流（例如空气或氧气）混合，结果形成多相混合物（例如曝气的细胞液体培养基）。微通道混合器 502 可包括许多多相混合物形成单元 510。多相混合物形成单元 510 包括工艺微通道 520、第二流体流通道 530 和 540、可以采以精细陶瓷膜形式的有孔区 550 和 560、可以采以大孔载体形式的有孔区 570 和 580、以及热交换通道 590。在操作中，如箭头 522 所示第一流体流进入工艺微通道 520。如箭头 532 和 542 所示第二流体流分别进入第二流体流通道 530 和 540。第二流体流从第二流体流通道 532 流过有孔区 570，然后通过有孔区 550 进入工艺微通道 520。同样地，如箭头 542 所示另一第二流体流进入第二流体流通道 540，流过有孔区 580，然后通过有孔区 560 进入工艺微通道 520。第一流体流和第二流体流在工艺微通道 520 中混合，结果形成多相混合物。如箭头 524 所示多相混合物排出工艺微通道 520。在多相混合物中，第一流体流可形成连续相，并且第二流体流可形成非连续相。在一实施方案中，多相混合物可包括在其整体中分散的氧或空气的水平得到提高的细胞液体培养基。如箭头 507 所示，可通过使热交换流体流入微通道混合器 502，通过热交换通道 590，然后流出微通道混合器 502 来冷却或加热流体。

[0077] 虽然在图 3-9 中的每一个图以及图 12 中只说明了一个多相混合物形成单元，但是对于可在实施方案本发明方法的工艺微通道中使用的多相混合物形成单元的数量实际上是没有上限的。例如，可使用一、二、三、四、五、六、八、十、二十、五十、一百、几百、一千、几千、一万、几万、十万、几十万、几百万个等数量的上述多相混合物形成单元。在一实施方案中，每个多相混合物形成单元可以是被多歧管化的。可通过将大管、配管或导管连接到各单元来实现多歧管化。可选择地，可通过在各单元之间产生相对均等的压降环流而在含有多相混合物形成单元的微通道混合器内使许多多相混合物形成单元被内地多歧管化。另一方面，在各单元之间的压降可不相等，因为某些流动分布不均可不影响产品质量。在一实施方案中，在使用本发明方法形成多相混合物中，达到约 50% 的流动分布不均是可接受的。工艺微通道、相关联的第二和第三流体流通道、以及热交换通道可并排地排列或层层叠加。对于多相混合物形成单元 200 和 200A，例如，工艺微通道 210 可在一个平面中平行排列，第二流体流通道 270 可在工艺微通道 210 一侧上的毗邻平面中平行排列，以及热交换通道 290 可在工艺微通道 210 的另一侧上的另一平面中平行排列。对于多相混合物形成单元 200B 和 200C，例如，工艺微通道 210 可在一个平面中平行排列，第二流体流通道 270 和 270a 可在工艺微通道 210 的各侧上的毗邻的平面中平行排列，以及热交换通道 290 可在毗邻于第二流

动流通道 270a 的平面中平行排列。对于多相混合物形成单元 200D, 第二流体流通道 270 可在一个平面中平行排列, 工艺微通道 210 和 210a 可在液体通道 270 的各侧上的毗邻的平面中平行排列, 以及热交换通道 290 可在毗邻于工艺微通道 210 的平面中平行排列。这些多相混合物形成单元可具有合适的顶管、底管、阀门、管道线、管道、控制装置等以控制工艺液体的输入和输出, 这些未在图 3-9 以及图 12 中示出, 但是可由本领域的技术人员来提供。例如, 在包括多相混合物形成单元的微通道混合器的入口和出口处, 呈斜面的顶管和底管可用于连接管道线或管道以避免与工艺微通道的尺寸有关的不必要的压降。

[0078] 在一实施方案中, 许多多相混合物形成单元 (200, 200A, 200B, 200C, 200D, 300, 400, 510) 可层层叠加以形成被放大的单元芯以用于所需要的大生产能力。被放大的单元可具有呈斜面的顶管和底管作为用于形成多相混合物的液体的歧管以及作为多相混合物产物的歧管。还可通过在工艺或分散相或热交换通道的入口处增加孔板或其它有孔区来促进更均匀的流动分布。框架区可用于支撑和密封多相混合物形成单元。

[0079] 各工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 可具有任何构形的横截面, 例如, 正方形、矩形、圆形、环形、椭圆形、梯形等。工艺微通道可以是管状的。工艺微通道可由并排或层层放置的平行隔开的片和 / 或板形成。术语“片”是指达到约 5mm 的壁厚度。术语“板”是指约 5mm 或更大的壁厚度。这些片可以卷状形式提供给使用者, 而这些板可以材料的平片形式提供给使用者。各工艺微通道可具有在达到约 50mm 和约 50mm 以下范围内的垂直于流体通过工艺微通道的流动的内部尺寸 (例如高度、宽度或直径), 在一实施方案中达到约 10mm, 在一实施方案中达到约 2mm。该尺寸可在约 0.05mm 至约 50mm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.05mm 至约 10mm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.05mm 至约 5mm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.05mm 至约 2mm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.05mm 至约 1.5mm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.05mm 至约 1mm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.05mm 至约 0.5mm 的范围内。垂直于流体通过工艺微通道的流动的另一内部尺寸 (例如高度或宽度) 可以是任意值, 例如它可在约 0.01cm 至约 100cm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.01cm 至约 75cm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.1cm 至约 50cm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.2cm 至约 25cm 的范围内。各工艺微通道的长度可以是任意值, 例如在约 0.1cm 至约 500cm 的范围内, 在一实施方案中在约 0.1cm 至约 250cm 的范围内, 在一实施方案中在约 1cm 至约 100cm 的范围内, 在一实施方案中在约 1cm 至约 50cm 的范围内, 以及在一实施方案中在约 2cm 至约 25cm 的范围内。

[0080] 在一实施方案中, 工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 可在混合区 (213, 213a, 315, 325, 335, 345, 413) 的上游在其入口中具有非孔或非多孔区域 (211, 211a, 314, 324, 334, 344, 411) 以提供工艺微通道中的第一液体的流动的均匀分布。当多个工艺微通道并排和 / 或层叠排列并且进入多个工艺微通道的第一流体流的流动是非均匀时, 这是有益的。配置这些非孔区域可使第一流体流在到达混合区之前的流动稳定。当工艺微通道具有圆形横截面 (即管状的几何结构) 时, 使用非孔或非多孔区域可以是有利的。在一实施方案中, 从工艺微通道的入口到混合区的入口的非孔区域的长度相对于在非孔或非多孔区域中的工艺微通道的最小内部尺寸的比率可在约 0.0001 至约 10000 的范围内, 在一实施方案中在约 0.001 至约 1000 的范围内。

[0081] 工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 的一个或多个内壁可具有表

面特性以调整工艺微通道内的流动。在图 22-26 中说明了这些表面特性的例子。表面特性可具有在彼此之上叠加的或以三维式样缠绕的两层或更多层。在各个分离的层中的式样可以是相同或不同的。流动可在各层或仅在一层中旋转或平流。可不毗邻于总体流动通道的子层可用于产生额外的表面积。例如,这些可用于沉积催化剂。流动可在表面特性的第一水平面旋转并且以分子状态分散进入第二或更多的子层以促进反应。三维特性可通过金属铸造或其它方法制成,其中,变化的式样可不进入分离的平面,如同在彼此之上叠加。可见三维改变表面特性毗邻于总体流动通道,其中,这些特性具有不同的深度、形状以及位置并伴以具有变化的深度、形状以及位置的式样的子特性。对于需要另外表面积用于催化剂沉积的化学反应或诸如蒸馏的化学分离,这些表面结构可以是有利的。

[0082] 图 23 示意说明三维表面特性结构的俯视图。三维表面特性结构的后视图的例子在图 24 中说明,其中,在总体流动微通道的界面毗邻处可见凹入的 V 形,并且在 V 形之下是与毗邻于总体流动通道的特性连接的一系列的三维结构,但所述三维结构由不同形状、深度以及位置的结构制成。其进一步的优点是产生子层通路,所述子层通路没有正好凹入毗邻于总体流动微通道的开放的表面特性之下,而是连接通过一个或多个弯曲的二维或三维通路。对于在反应器中产生经调节的停留时间分布而言,该方法可以是有益的,在反应器中,可能需要具有较宽或更窄的停留时间分布。

[0083] 图 25 是三维表面特性的正视图,在那里凹入的 V 形邻接总体流动微通道并且在它们后面具有不同形状的深度和位置改变了的其它特性。

[0084] 表面特性可具有小于约 2mm 的深度,在一实施方案中小于约 1mm 的深度,在一实施方案中在约 0.01mm 至约 0.5mm 的范围内。表面特性的横向宽度可足以几乎横跨微通道宽度(如人字形设计所示),但在一实施方案中(例如填充特性)可横跨微通道宽度的约 60% 或更低,在一实施方案中约 40% 或更低,在一实施方案中从约 0.1% 至约 60%,在一实施方案中从微通道宽度的约 0.1% 至约 50%。

[0085] 表面特性的横向宽度可在约 0.05mm 至约 100cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.5mm 至约 5cm 的范围内,在一实施方案中在约 1cm 至约 2cm 的范围内。

[0086] 表面特性的长度和宽度可以与用于微通道的长度和宽度同样的方式来定义。深度可以是表面特性陷入微通道表面的距离;它与微通道的高度或微通道的间隙的方向相同。这可相当于被堆叠结合的微通道装置的堆叠方向,所述微通道装置具有在片表面之上或之中形成的表面特性。表面特性的这些尺寸是指表面特性的最大尺寸;例如圆形凹槽的深度可指最大深度,即在凹槽底部的深度。

[0087] 多表面特性或表面特性的区域可包括在微通道内,包括凹入一个或多个微通道壁内不同深度的特性。凹部之间的间隔可在约 0.01mm 至 10mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1mm 至 1mm 的范围内。表面特性可存在于遍及微通道的整个长度或存在于微通道的部分或区域中。具有表面特性的部分或区域可以是间断的以便在修整区中促进所需的反应或单元操作。例如,1 英寸区的微通道可具有紧密隔开的表面特性排列,接着是 4 英寸的没有表面特性的平坦通道,接着是 2 英寸区的松散隔开的表面特性。松散隔开的表面特性是指具有 5 倍于表面特性的延伸宽度的间距或特性之间的距离的表面特性。

[0088] 在一实施方案中,表面特性可在微通道的整个轴向长度上充分地延伸。在一实施方案中微通道可在其轴向长度的约 50% 或以下的长度上具有表面特性,在一实施方案中在

其轴向长度的约 20%或以下的长度上。在一实施方案中,表面特性可在微通道的轴向长度约 10%至 100%的长度上。

[0089] 图 26 显示可用于表面特性的大量的不同式样。这些式样不是用来限制本发明,仅用来说明大量的可能性。如同任何表面特性一样,可在工艺微通道的不同的轴向或横向区使用这些式样。

[0090] 虽然可具有不表现出微通道特征的较大的尺寸不具有,但是第二流体流通道(270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540) 和第三流体流通道(440, 450) 可以是微通道。这些通道的每一个都可具有任意构形的剖面,例如,正方形、矩形、圆形、环形、椭圆形、梯形等。这些通道可包含上述的表面特性。第二和第三流体流通道可以是管状的。第二和第三流体流通道可由并排或层叠放置的平行隔开的片和 / 或板制成。各第二和第三流体流通道可具有垂直于流体通过第二和第三流体流通道的流动的在约 100cm 和约 100cm 以下范围内的内部尺寸(例如高度、宽度或直径),在一实施方案中在约 0.05mm 至约 100cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 50cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 10cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 5cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 10mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 5mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 2mm 的范围内,以及在一实施方案中在约 0.05mm 至约 1mm 的范围内。垂直于流体通过第二和第三流体流通道的流动的另一内部尺寸(例如高度或宽度)可在约 0.01cm 至约 100cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.01cm 至约 75cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1cm 至约 50cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.2cm 至约 25cm 的范围内。第二和第三流体流通道的长度可以是任意值,例如在约 0.1cm 至约 500cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1cm 至约 250cm 的范围内,在一实施方案中在约 1cm 至约 100cm 的范围内,在一实施方案中在约 1cm 至约 50cm 的范围内,以及在一实施方案中在约 2cm 至约 25cm 的范围内。各工艺微通道与下一个毗邻的第二流体流通道之间或毗邻的第二流体流通道与第三流体流通道之间的间隔可在约 0.05mm 至约 50mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1mm 至约 10mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.2mm 至约 2mm 的范围内。

[0091] 热源和 / 或冷源可用于冷却、加热、或兼有冷却和加热。热源和 / 或冷源可包括一个或多个热交换通道。热源可包括一个或多个电加热元件或电阻加热器。冷源可包括一个或多个非流体冷却元件。这些可毗邻于工艺微通道和 / 或第二或第三流体流通道。在一实施方案中,热源和 / 或冷源可不接触或不毗邻于工艺微通道和 / 或第二或第三流体流通道,而是可远离工艺微通道和 / 或第二或第三流体流通道以在热源和 / 或冷源与工艺微通道和 / 或第二或第三流体流通道之间传热。电加热元件、电阻加热器和 / 或非流体冷却元件可用于形成工艺微通道(210, 310a, 310, 320, 330, 340, 410, 520)、第二流体流通道(270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540) 和 / 或第三流体流通道(440, 450) 的一个或多个壁。可将电加热元件、电阻加热器和 / 或非流体冷却元件配置在工艺微通道、第二流体流通道和 / 或第三流体流通道一个或多个壁内。电加热元件和 / 或电阻加热器可以是嵌入到工艺微通道和 / 或液体通道的壁中的薄片、棒、金属丝、盘或其它形状的结构。电加热元件和 / 或电阻加热器可以是附着于工艺微通道壁和 / 或液体通道壁的金属薄片或金属丝形式。可使用帕尔帖(Peltier)型热电冷却和 / 或加热元件实现冷却和 / 或加热。可沿工艺微通道、第二流体流通道和 / 或

第三流体流通道的长度使用多个加热和 / 或冷却区。同样地,可沿工艺微通道、第二流体流通道和 / 或第三流体流通道的长度使用一个或多个热交换通道中不同温度的热交换流体。可使用热源和 / 或冷源在工艺微通道、第二流体流通道和 / 或第三流体流通道内提供精确的温度控制。

[0092] 虽然可具有不表现出微通道特征的较大的尺寸,但是热交换通道 (290, 370, 380, 590) 可以是微通道。这些通道的每一个可具有任意构形的横截面,例如,正方形、矩形、圆形、环形、椭圆形、梯形等。热交换通道可以是管状的。热交换通道连同第二或第三流体流通道一起可由并排或层叠放置的平行隔开的片和 / 或板形成。这些通道可包含上述的表面特性。各热交换通道可具有垂直于热交换流体通过热交换通道的流动的在约 50mm 和约 50mm 以下范围的内部尺寸 (例如高度、宽度或直径),在一实施方案中在约 10mm 和约 10mm 以下范围内,在一实施方案中在约 2mm 和约 2mm 以下范围内。该尺寸可在约 0.05mm 至约 50cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 10mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 5mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.05mm 至约 2mm 的范围内,以及在一实施方案中在约 0.5mm 至约 1mm 的范围内。垂直于热交换流体通过热交换通道的流动的另一内部尺寸,例如高度或宽度,可以是任意值,例如在约 0.01cm 至约 100cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.01cm 至约 75cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1cm 至约 50cm 的范围内,以及在一实施方案中在约 0.2cm 至约 25cm 的范围内。热交换通道的长度可以是任意值,例如在约 0.1cm 至约 500cm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1cm 至约 250cm 的范围内,在一实施方案中在约 1cm 至约 100cm 的范围内,在一实施方案中在约 1cm 至约 50cm 的范围内,以及在一实施方案中在约 2cm 至约 25cm 的范围内。各工艺微通道或第二或第三流体流通道与下一个毗邻的热交换通道之间的间隔可在约 0.05mm 至约 50mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.1mm 至约 10mm 的范围内,在一实施方案中在约 0.2mm 至约 2mm 的范围内。

[0093] 热交换通道 (290, 370, 380, 590) 可适合于热交换流体以平行的并且与通过毗邻的工艺微通道或第二或第三流体流通道的流体的流动呈并流的方向流过通道。可选择地,热交换流体可以与通过工艺微通道或第二或第三流体流通道的流体的流动呈逆流的方向流过热交换通道。可选择地,可根据工艺微通道或第二或第三流体流通道定向热交换通道,以提供与通过工艺微通道或第二或第三流体流通道的流体的流动呈错流方向的热交换流体的流动。热交换通道可具有蛇形构形以提供错流和并流或逆流流动的组合。

[0094] 在一实施方案中,工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520)、第二流体流通道 (270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540)、第三流体流通道 (440, 450)、和 / 或热交换通道 (290, 370, 380, 590) 具有正方形或矩形的剖面并且由平行隔开的片或板形成。这些通道可在并列垂直定向的交错平面中或在被层层叠加的水平定向的平面中排列。可被称作平行的板构形的这些构形具有许多优点。与圆管比较,例如,平行板构形导致较低的压降,同时对于相同的连续相质量通量的高度或宽度或直径产生相同的剪切力。当矩形通道长宽比例接近,例如约 10,即,接近平行片或板构形,其压降仅为在相同条件下在圆形通道中的压降的约 50%。可容易地将具有平行板构形的工艺微通道、第二流体流通道、第三流体流通道以及热交换通道安装在挤压设备中用于放大。而且,相对于圆管,使用平行板构形可获得用于多相混合物形成方法的单位体积较高的生产能力。

[0095] 使用平行板构形的优点在于这些构形具有相对于圆管较大的流体 / 壁材料之比,

因而更能被紧压以具有较高的生产能力或产量的潜能。

[0096] 在一实施方案中，工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520)、第二流体流通道 (270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540)、以及可选择的第三流体流通道 (440, 450)、和 / 或热交换通道 (290, 370, 380, 590) 可以是同心排列的圆管形式。工艺微通道和第二流体流通道可以彼此毗邻，其中，一个通道位于环形空间内，而另一个通道位于中央空间或毗邻于环形空间。在一实施方案中，用于本发明方法的微通道混合器可包括许多相互交替的向心的管状工艺微通道、第二流体流通道以及可选择的第三流体流通道和 / 或热交换通道，微通道混合器是圆柱形的形式。

[0097] 孔 (244, 244a, 313, 323, 333, 343, 416, 426, 436, 446) 可具有足够的尺寸以使所示的流体流过有孔区。这些孔可被称作微孔。有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 可具有在约 0.01mm 至约 50mm 的范围内的厚度，在一实施方案中在约 0.05mm 至约 10mm 的范围内，以及在一实施方案中在约 0.1mm 至约 2mm 的范围内。这些孔可具有在约 50 μm 和约 50 μm 以下范围的平均直径，在一实施方案中在约 0.001 μm 至约 50 μm 的范围内，在一实施方案中在约 0.05 μm 至约 50 μm 的范围内，以及在一实施方案中在约 0.1 μm 至约 50 μm 的范围内。在一实施方案中，这些孔可具有在约 0.5 纳米 (nm) 至 10nm 的范围内的平均直径，在一实施方案中在约 1nm 至 10nm 的范围内，以及在一实施方案中在约 5nm 至 10nm 的范围内。有孔区中的孔数量可在每平方厘米约 10 个至 5×10^8 个孔的范围内，并且在一实施方案中在每平方厘米约 1 个至 1×10^6 个孔的范围内。这些孔彼此可以被或不被隔离。部分的或所有的这些孔可与有孔区内的其它孔以流体连通。有孔区的厚度与沿着流体流过工艺微通道 (210, 310a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 的流径的有孔区的长度之比可在约 0.001 至约 100 的范围内，在一实施方案中在约 0.01 至约 50 的范围内，在一实施方案中在约 0.03 至约 25 的范围内，在一实施方案中在约 0.05 至约 10 的范围内，在一实施方案中在约 0.08 至约 5 的范围内，以及在一实施方案中在约 0.1 至约 1 的范围内。可由保证足够的强度和尺寸稳定性的任何材料构成有孔区以可实施本发明方法。这些材料包括：钢（例如，不锈钢、碳钢、以及类似物）；蒙乃尔合金；因科镍合金；铝；钛；镍；铂；铑；铜；铬；黄铜；任意上述金属的合金；聚合物（例如，热固性树脂）；陶瓷；玻璃；包括一种或多种聚合物（例如，热固性树脂）和玻璃纤维的复合物；石英；硅；微多孔的碳，其包括碳纳米管或碳分子筛；沸石；或其中的两种或多种的组合物。可使用已知的技术形成这些孔，如激光钻孔、微电子机械加工系统 (MEMS)、光刻电沉积和制模 (LIGA)、电火花、或者电化学蚀刻。可使用用于制造结构塑料的技术，如挤压技术，或制造膜的技术，如定向碳纳米管 (CNT) 膜的技术形成这些孔。可使用如烧结或压缩金属粉末或颗粒的技术以形成弯曲互连的毛细管通道的技术和膜制造的技术来形成这些孔。通过在这些孔的内侧壁之上涂覆涂层以部分填充孔可将由这些方法中的任一方法所生成的孔尺寸减小。这些选择性的涂层也可在孔体的外部形成薄层以提供毗邻于连续流动路径的最小孔尺寸。最小的平均孔间隙可在约 1 纳米至约几百微米的范围内，这取决于用于多相混合物所需的液滴尺寸。可通过热处理以及通过在孔的内侧壁上形成氧化层或涂层的方法来减小这些孔的尺寸。这些技术可用于部分地堵塞这些孔以减小用于流动的开口尺寸。图 13 和图 14 显示了在相同的放大率和相同的位置下热处理之前或之后，不锈钢多孔基片的 SEM 表面结构的比较。图 13 显示在热处理前的表面。图 14 显示在热处理后的表面。在热处理后多孔材料的表面具有相当小的间隙和

开口尺寸。开口之间的平均距离相应增加。

[0098] 有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 可由金属或非金属多孔材料制成, 该金属或非金属多孔材料具有相互连通的通道或平均孔径尺寸在约 $0.01 \mu m$ 至约 $200 \mu m$ 的范围内的微孔。这些微孔可起到孔 (244, 244a, 313, 323, 333, 343, 416, 426, 436, 446) 的作用。孔材料可由粉末或颗粒制成, 以便平均孔间距离近似于平均孔径。当使用非常小的孔径时, 孔间距离也可非常小并且液滴在工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 或第二流体流通道 (420, 430) 一侧的表面上融合以形成不必要的较大液滴。可通过在约 $300^\circ C$ 至约 $1000^\circ C$ 的高温下约 1 小时至约 20 天的持续时间的氧化而修整多孔材料, 或通过在微孔的表面上或微孔的内部涂覆另一种材料的薄层以阻塞较小的微孔、减小较大微孔的孔径, 结果增加了孔间距离而修整多孔材料, 所述的另一种材料诸如使用溶胶涂层法的铝或使用化学汽相淀积的镍。同样地, 可被降低或消除液滴的融合, 并且可以允许形成较小的液滴。在图 15 中示出了修整的基片或有孔区的 SEM 图。

[0099] 孔 (244, 244a, 313, 323, 333, 343, 416, 426, 436, 446) 可在整个混合区 (213, 213a, 315, 325, 335, 345, 413) 中由规则地隔开。这些孔可优选被隔开, 以便较小的孔或较大的孔更接近于混合区的前面或后面被使用。这些孔可在混合区的起点附近处更靠拢, 并且进一步在混合区的末端附近处分隔开以帮助阻止液滴的聚结。用作有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 的基片制作会有问题, 所述有孔区具有足够小的微型孔或微孔以提供具有小于约 $1 \mu m$ 的泡沫或微球尺寸的多相混合物。原因之一基于的事实是, 高的表面粗糙度会与未处理的正常孔材料例如通过压缩和 / 或烧结由粉末 / 颗粒制成的金属多孔基片一起出现。在指定的标称孔尺寸低于一确定值时, 这些金属多孔基片在表面区域通常不具有所需的孔尺寸。当该批多孔性材料可具有特定的标称孔尺寸时, 表面区域经常以被合并的较大尺寸的孔和洞为特征。可通过修整这些基片以在表面区域中提供所需的孔尺寸和孔间距离来克服该问题。可通过从多孔基片中除去表面层并且暴露或加入具有较小开口的光滑新表面来实施。使用这些经修整的基片可形成的在反应混合物中的泡沫或微球尺寸可以被降低而无需增加基片横断面的压降。由于直接磨光或加工孔表面可导致表面结构的污点和孔的堵塞, 孔结构可使用液体填充物填充, 随后固化和机械磨光 / 抛光。然后, 除去填充剂以重新获得该材料的多孔结构。填充剂可以是具有低熔点的金属, 如锌或锡, 或者是聚合物的前体如环氧树脂。液体的填充和除去步骤可借助于使用真空。可使用磨床和磨光粉来实现磨光 / 抛光。可通过熔化和真空吸引、或通过酸蚀刻除去金属填充剂。可通过溶剂溶解或在空气中烧尽来除去环氧树脂或其它聚合物。

[0100] 参照图 16-19, 在一实施方案中, 有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 可由包含较小孔 602 的较薄片 600, 和包含较大孔 612 阵列的较厚片或板 610 构成, 所述较大孔 612 可与孔 600 同轴排列或连接。较薄片 600 覆盖并且与较厚片 610 结合, 较薄片 600 面向工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410) 或第二流体流通道 (420, 430) 的内部, 并且较厚片 610 面向第二流体流通道 (270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540) 或第三流体流通道 (440, 450) 的内部。可使用任何适合的方式 (例如扩散结合) 将较薄片 600 结合到较厚片 610 以提供具有增强的机械强度的复合结构 620。较薄片 600 可具有在约 $0.001mm$ 至约 $0.5mm$ 的范围内的厚度, 在一实施方案中在约 $0.05mm$ 至约 $0.2mm$ 的范围内。较小孔 602 可具有任何形状, 例如圆形、三角形或矩形。较小孔 602

可具有在约 $0.05 \mu\text{m}$ 至约 $50 \mu\text{m}$ 的范围内的平均直径,在一实施方案中在约 $0.05 \mu\text{m}$ 至约 $20 \mu\text{m}$ 的范围内。较厚片或板 610 可具有在约 0.1mm 至约 5mm 的范围内的厚度,在一实施方案中在约 0.1mm 至约 2mm 的范围内。较大孔 612 可具有任何形状,例如圆形、三角形或矩形。较大孔 612 可具有在约 $0.1 \mu\text{m}$ 至约 $4000 \mu\text{m}$ 的范围内的平均直径,在一实施方案中在约 $1 \mu\text{m}$ 至约 $2000 \mu\text{m}$ 的范围内,以及在一实施方案中在约 $10 \mu\text{m}$ 至约 $1000 \mu\text{m}$ 的范围内。片 600 中的孔 602 的数量和较厚片或板 610 中的孔 612 的数量各自可在每平方厘米约 2 个至 10000 个孔的范围内,在一实施方案中在每平方厘米约 2 个至 1000 个孔的范围内。可由上述有益于构建有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 的任何材料制成片 600 和片或板 610。孔 602 和 612 可同轴排列或连接,以这样的方式流过有孔区的液体起初流过孔 612 然后流过孔 602 如果孔中的通路长度等于孔 602 和 612 的结合长度,与这种情况下发生的压降相比,为流过较小孔 602 的液体提供的较短通路可以使液体能够以较低的压降流过孔 602。

[0101] 在图 19 中说明的实施方案中,除了使较薄片 600 的凸起部分 604 覆盖孔 612 外,复合结构 620a 与图 18 所说明的设计相同。凸起部分 604 在毗邻的通道中提供增加的局部剪切力。在图 19 中的方向箭头 630 显示在毗邻于孔 602 的通道中的流体的流动。较高的剪切力导致流过孔 602 的流体的较小的泡沫或微球尺寸。

[0102] 在图 20 中说明的实施方案中,表面涂层 642 沉积在片或板 640 的表面上和孔 646 的内侧壁 644 上。该涂层提供了减小孔 (244, 244a, 313, 323, 333, 343, 416, 426, 436, 446) 的直径的便利方法。用于形成涂层 642 的涂料可包括铝、镍、金或聚合材料(例如特氟隆)。可使用包括化学汽相沉积、金属溅射、金属电镀、烧结、溶胶涂覆、聚合物涂覆、以及类似的已知技术将涂层 642 涂覆于片或板 640。可通过控制涂层 642 的厚度来控制孔的直径。

[0103] 在一实施方案中,有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 可由非对称的多孔材料形成,例如具有多层烧结颗粒的多孔材料。层的数量可以是两层、三层或更多层。这些多层基片的优点在于它们提供增强的耐久性和粘附性。例子包括在一侧上具有较大微孔并且在另一侧具有较小微孔的烧结陶瓷。较小孔可具有在约 2nm 至约 10hm 的范围内的直径。较小孔可位于多层基片的较薄层中。较薄层可具有在约 $1 \mu\text{m}$ 至约 $10 \mu\text{m}$ 的范围内的厚度。具有较小孔的一侧可面向工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 或第二流体流通道 (420, 430) 的内部放置,以利用较高的剪切力除去刚形成的较小的多相混合物泡沫或微球。

[0104] 工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410)、第二流体流通道 (270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540)、第三流体流通道 (440, 450) 以及热交换通道 (290, 370, 380, 590) 连同关联的顶管、底管、歧管等,可由提供足够强度、尺寸稳定性、耐蚀性以及传热特性的任何材料构成以可以实施本发明方法。这些材料包括:钢(例如,不锈钢、碳钢、以及类似物);蒙乃尔合金;因科镍合金;铝;钛;镍;铂;铑;铜;铬;黄铜;任意上述金属的合金;聚合物(例如,热固性树脂);陶瓷;玻璃;包括一种或多种聚合物(例如,热固性树脂)和玻璃纤维的复合物;石英;硅;或其中的两种或多种的组合物。

[0105] 第一流体流可包括气体或液体。第二流体流可包括气体或微体形成材料。第三流体流可包括气体。

[0106] 气体可包括任何气体。在一实施方案中,气体可包括一种或多种的空气、氧气、氮

气、二氧化碳、蒸汽、氨、臭氧、氯气、氢气、以及类似物。气体可包括一种或多种的气态烃，例如含有1个至约5个碳原子的烃。这些包括饱和烃和不饱和烃。这些烃包括甲烷、乙烷、乙烯、丙烷、异丙烷、丙烯、丁烷、丁烯、戊烷、环戊烷、戊二烯、亚环戊基、以及类似物。

[0107] 液体可包括任何液体。液体可包括水、有机液体或其结合物。液体可包括一种或多种的液态烃。这些包括含有1个至约24个碳原子的烃化合物，在一实施方案中约5个至约24个碳原子，在一实施方案中约6个至约18个碳原子，在一实施方案中约6个至约12个碳原子。术语“烃”是指具有烃或主要为烃特性的化合物。这些烃化合物包括如下：

[0108] (1) 纯烃化合物：即，脂肪族化合物（例如，烷烃或烯属烃）、脂环族化合物（例如，环烷，环烯）、芳香族化合物、脂肪族和脂环族取代的芳香族化合物、芳香族取代的脂肪族化合物和芳香族取代的脂环族化合物，以及类似物。例子包括己烷、1-己烯、十二烷、环己烯、环己烷、乙基环己烷、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯等。

[0109] (2) 取代的烃化合物：即，含有不改变化合物的主要烃特性的非烃取代基的烃化合物。非烃取代基的例子包括羟基、酰基、硝基、卤代基等。

[0110] (3) 杂原子取代的烃化合物：即，烃化合物在具有主要烃特性的同时，而在由碳原子构成的链或环中包含非碳的原子。杂原子包括例如氮、氧以及硫。

[0111] 液体可包括天然油、合成油、或其混合物。天然油包括动物油和植物油（例如蓖麻油、猪油）以及矿物油如液体石油和经溶剂处理或酸处理的石蜡型、环烷型或石蜡-环烷混合型的矿物油。天然油包括衍生于煤或页岩的油。油可以是来自甘油三酸酯族的皂化油，例如大豆油、芝麻油、棉籽油、红花油，以及类似物。油可以是硅油（例如环甲硅脂，甲基硅氧烷 (silicon methicones) 等）。油可以是脂肪族烃或环烷烃如凡士林、角鲨烷、角鲨烯、或一种或多种的二烷基环己烷、或其中的两种或多种混合物。合成油包括烃油如聚合和共聚合的烯烃（例如聚丁烯、聚丙烯、丙烯-异丁烯共聚物等）；聚(1-己烯)、聚(1-辛烯)、聚(1-癸烯)等及其混合物；烷基苯（例如十二烷基苯、十四烷基苯、二壬基苯、二(2-乙基己基)苯等）；聚苯（例如联苯、三联苯、烷基化聚苯等）；烷基化二苯醚和烷基化二苯硫及其衍生物、类似物和同系物，以及类似物。末端羟基基团通过酯化作用、醚化作用修饰的烯化氧聚合物和共聚物及其衍生物是可被使用的合成油。合成油可包括聚 α -烯烃或费-托(Fischer-Tropsch)合成的烃。

[0112] 液体可包括通常的液态烃类燃料，例如，馏分燃料如由美国材料标准目录 (ASTM) 规范 D439 定义的动力汽油、或由 ASTM 规范 D396 定义的柴油或燃料油。

[0113] 液体可包括脂肪醇、脂肪酸酯、或其混合物。脂肪醇可以是格雷伯特 (Guerbet) 醇。脂肪醇可包含约6个至约22个碳原子，在一实施方案中约6个至约18个碳原子，在一实施方案中约8个至约12个碳原子。脂肪酸酯可以是约6个至约22个碳原子的直链脂肪酸与约6个至约22个碳原子的直链或支链脂肪醇的酯、约6个至约13个碳原子的支链脂肪酸与约6个至约22个碳原子的直链或支链脂肪醇的酯、或其混合物。例子包括肉豆蔻酸十四烷基酯、棕榈酸十四烷基酯、硬脂酸十四烷基酯、异硬脂酸十四烷基酯、油酸十四烷基酯、山嵛酸十四烷基酯、芥酸十四烷基酯、肉豆蔻酸十六烷基酯、棕榈酸十六烷基酯、硬脂酸十六烷基酯、异硬脂酸十六烷基酯、油酸十六烷基酯、山嵛酸十六烷基酯、芥酸十六烷基酯、肉豆蔻酸十八烷基酯、棕榈酸十八烷基酯、硬脂酸十八烷基酯、异硬脂酸十八烷基酯、油酸十八烷基酯、山嵛酸十八烷基酯、芥酸十八烷基酯、肉豆蔻酸异十八烷基酯、棕榈酸异十八烷基

酯、硬脂酸异十八烷基酯、异硬脂酸异十八烷基酯、油酸异十八烷基酯、山嵛酸异十八烷基酯、油酸异十八烷基酯、肉豆蔻酸油烯酯、棕榈酸油烯酯、硬脂酸油烯酯、异硬脂酸油烯酯、油酸油烯酯、山嵛酸油烯酯、芥酸油烯酯、肉豆蔻酸二十二烷酯、棕榈酸二十二烷酯、硬脂酸二十二烷酯、异硬脂酸二十二烷酯、油酸二十二烷酯、山嵛酸二十二烷酯、芥酸二十二烷酯、肉豆蔻酸二十二碳烯酯、棕榈酸二十二碳烯酯、硬脂酸二十二碳烯酯、异硬脂酸二十二碳烯酯、油酸二十二碳烯酯、山嵛酸二十二碳烯酯、芥酸二十二碳烯酯。脂肪酸酯可包括：约 18 个至约 38 个碳原子的烷基羟基羧酸与约 6 个至约 22 个碳原子的直链或支链脂肪醇的酯（例如马来酸二辛酯）；约 6 个至约 22 个碳原子的直链或支链脂肪酸与多元醇（例如丙二醇、二聚物二醇或三聚物三醇）和 / 或格尔伯特醇的酯；基于约 6 个至约 18 个碳原子的一种或多种脂肪酸的甘油三酸酯；基于约 6 个至约 18 个碳原子的一种或多种脂肪酸的甘油一酸酯、甘油二酸酯和 / 或甘油三酸酯的混合物；约 6 个至约 22 个碳原子的一种或多种脂肪醇和 / 或格尔伯特醇与一种或多种芳香族羧酸（例如苯甲酸）的酯；约 2 个至约 12 个碳原子的一种或多种二羧酸与含 1 个至约 22 个碳原子的一种或多种直链或支链醇、或与含有 2 个至约 10 个碳原子和 2 个至约 6 个羟基的一种或多种多元醇、或与这些醇和多元醇的混合物的酯；2 个至约 12 个碳原子的一种或多种二羧酸（例如邻苯二甲酸）与 1 个至约 22 个碳原子的一种或多种醇（例如丁醇、己醇）的酯；苯甲酸与约 6 个至约 22 个碳原子的直链和 / 或支链醇的酯；或其中的两种或多种混合物。

[0114] 液体可包括：约 6 个至约 22 个碳原子的一种或多种支链伯醇；约 6 个至约 22 个碳原子的一种或多种直链和 / 或支链脂肪醇碳酸酯；基于约 6 个至约 22 个碳原子的一种或多种脂肪醇的一种或多种格尔伯特醇碳酸酯；一种或多种萘二甲酸二烷基（例如二乙基己基）酯，其中各烷基包含 1 个至约 12 个碳原子；每个烷基包含约 6 个至约 22 个碳原子的一种或多种直链或支链、对称或非对称的二烷基醚；与包含 2 个至约 10 个碳原子和 2 个至约 6 个羟基多元醇的约 6 个至约 22 个碳原子的环氧化脂肪酸酯的一种或多种开环产物；或其中的两种或多种混合物。

[0115] 水可取自任何方便的来源。可以使用渗透或蒸馏法去离子或纯化水。

[0116] 微体形成材料可包括任何微体形成材料。微体形成材料可以是液体或固体熔化形式。微体形成材料可包括玻璃，例如玻璃微体（例如微球）形成材料，聚合物，例如聚合物微体（例如聚合物微球）形成材料。聚合物微体形成材料可包括一种或多种的丙烯酸树脂、硅树脂、聚氨酯树脂、醋酸乙烯树脂、聚四氟乙烯树脂、聚酰胺树脂、氯乙烯树脂、苯乙烯树脂、酚醛树脂、环氧树脂、苯乙烯 - 丁二烯 - 苯乙烯嵌段共聚物树脂、苯乙烯 - 乙烯 - 丁烯 - 苯乙烯嵌段共聚物树脂、苯乙烯 - 异戊二烯 - 苯乙烯嵌段共聚物树脂、正丁基橡胶、氯丁二烯橡胶、天然橡胶，或其中的两种或多种结合物。在一实施方案中，聚合物微体形成材料可包括 1 个至约 14 个碳原子的醇的（甲基）丙烯酸酯。在一实施方案中，聚合物微体形成材料可包括至少一个（甲基）丙烯酸烷基酯。

[0117] 虽然本发明的一个或多个实施方案不需要乳化剂和 / 或表面活性剂，但是通过本发明方法形成多相混合物中，可以使用一种或多种的乳化剂和 / 或表面活性剂。可将乳化剂和 / 或表面活性剂和液体预混合。乳化剂和 / 或表面活性剂可包括在格里芬（Griffin）体系中具有 0 至约 18 范围内的亲水性亲油性平衡（HLB）值的离子或非离子化合物，在一实施方案中约 0.01 至约 18。离子化合物可以是阳离子或两性化合物。例子包

括在 McCutcheons Surfactants and Detergents, 1998, North American & International Edition (McCutcheons 表面活性剂和清洁剂, 1998, 北美和国际版) 中公开的那些物质。North American Edition (北美版) 的第 1-235 页和 International Edition (国际版) 的第 1-199 页通过引用这些乳化剂的公开内容被并入本文。可使用的乳化剂和 / 或表面活性剂包括链烷醇胺、烷基芳基磺酸酯、氧化胺、聚(氧化烯)化合物, 包括包含氧化烯重复单元的嵌段共聚物、羧基化醇乙氧基化合物、乙氧化醇、乙氧基化烷基酚、乙氧基化胺、乙氧基化酰胺、乙氧基化脂肪酸、乙氧基化脂肪酯和油、脂肪酯、脂肪酸酰胺、甘油酯、乙二醇酯、脱水山梨糖醇酯、咪唑啉衍生物、卵磷脂及其衍生物、木质素及其衍生物、甘油一酸酯及其衍生物、烯烃磺酸酯、磷酸酯及其衍生物、丙氧基化和乙氧基化脂肪酸或醇或烷基酚、脱水山梨糖醇衍生物、蔗糖酯及其衍生物、硫酸盐或醇或乙氧基化醇或脂肪酯、十二烷基和十三烷基苯或稠合的萘或石油的磺酸酯、磺基丁二酸酯及其衍生物、十三烷基和十二烷基苯磺酸。乳化剂和 / 或表面活性剂可包括 : 一种或多种的聚烷撑二醇 ; 甘油或脱水山梨糖醇和包含约 12 个至约 22 个碳原子的脂肪酸的一种或多种偏酯 ; 或其混合物。乳化剂和 / 或表面活性剂可包括制药学可接受的物质如卵磷脂。由本发明方法方法制成的多相混合物中的这些乳化剂和 / 或表面活性剂的浓度可以是在以多相混合物重量计的约 20% 至约 20% 以下范围内, 在一实施方案中在以重量计的约 0.01% 至约 5% 的范围内, 在一实施方案中在以重量计的约 0.01% 至约 2% 的范围内。在一实施方案中该浓度可达到以重量计的约 2%, 在一实施方案中可达到以重量计的约 1%, 在一实施方案中可达到以重量计的约 0.5%。

- [0118] 在一实施方案中, 第一流体流包括液体流, 并且第二流体流包括空气。
- [0119] 在一实施方案中, 第一流体流包括液体废物流, 并且第二流体流包括空气。
- [0120] 在一实施方案中, 第一流体流包括有害废物流, 并且第二流体流包括空气。
- [0121] 在一实施方案中, 第一流体流包括色拉调料或芥末, 并且第二流体流包括氮气。
- [0122] 在一实施方案中, 第一流体流包括液体饮料或啤酒, 并且第二流体流包括二氧化碳。
- [0123] 在一实施方案中, 第一流体流包括用于造纸的漂白浆, 并且第二流体流包括氯气。
- [0124] 在一实施方案中, 第一流体流包括在水中的煤分散体, 并且第二流体流包括空气。
- [0125] 在一实施方案中, 第一流体流包括含残留水的电动机润滑油, 并且第二流体流包括氮气。
- [0126] 在一实施方案中, 第一流体流包括用于发酵反应的细胞, 并且第二流体流包括氧气或空气。
- [0127] 在一实施方案中, 第一流体流包括液体反应基质, 并且第二流体流包括空气或氧气。
- [0128] 在一实施方案中, 第一流体流包括用于实施氢化反应的反应基质, 并且第二流体流包括氢气。
- [0129] 在一实施方案中, 第一流体流包括油和水的混合物, 并且第二流体流包括空气或天然气。
- [0130] 在一实施方案中, 第一流体流包括用于造纸的漂白浆, 并且第二流体流包括氧气。
- [0131] 在一实施方案中, 第一流体流包括食用油、酒或汁液, 并且第二流体流包括氮气。
- [0132] 在一实施方案中, 第一流体流包括用于养鱼场的水, 并且第二流体流包括氧气。

- [0133] 在一实施方案中,第一流体流包括水,并且第二流体流包括臭氧。
- [0134] 在一实施方案中,第一流体流包括废物流或工艺流,并且第二流体流包括二氧化碳或氨。
- [0135] 在一实施方案中,第一流体流包括空气,并且第二流体流包括蒸汽。
- [0136] 在一实施方案中,第一流体流包括废物流或含有挥发性有机化合物的工艺流,并且第二流体流包括空气。
- [0137] 在一实施方案中,第一流体流包括气体或液体,并且第二流体流包括微体形成材料。
- [0138] 在一实施方案中,第一流体流包括水性组合物,并且第二流体流包括氢气和 / 或氧气。这可用于直接结合以生成过氧化氢。
- [0139] 在一实施方案中,第一流体流包括 2- 烷基蒽醌,并且第二流体流包括氢气。这可用于过氧化氢的生产。
- [0140] 第一流体流物质可以在以重量计的约 0.1% 至约 80% 范围内的浓度存在于由本发明方法制成的多相混合物中,在一实施方案中从以重量计的约 1% 至约 50%,在一实施方案中从以重量计的约 1% 至约 20%。第二流体物质可以在以重量计的约 1% 至约 95% 范围内的浓度存在于由本发明方法制成的多相混合物中,在一实施方案中从以重量计的约 10% 至约 50%,在一实施方案中从以重量计的约 10% 至约 25%。第三流体物质,在使用时,可以在以重量计的约 0.01% 至约 50% 范围内的浓度存在于由本发明方法制成的多相混合物中,在一实施方案中从以重量计的约 1% 至约 15%,在一实施方案中从以重量计的约 0.1% 至约 1%。
- [0141] 在一实施方案中,第二流体可在第一流体中溶解。这可在工艺微通道中发生或多相混合物流出工艺微通道之后发生。在一实施方案中,在与第一流体混合之后,第二流体可在第一流体中溶解达到约 10 小时的时间段,在一实施方案中达到约 1 小时的时间段。
- [0142] 本发明多相混合物可包含一种或多种的微粒固体。其可与第一、第二和 / 或第三液体预混合。微粒固体可以是有机的、无机的或其结合物。微粒固体可包括催化剂(例如燃烧催化剂如 $\text{CeO}_2/\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}$, $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 等、聚合催化剂、以及类似物),颜料(例如 TiO_2 、炭黑、氧化铁等),填充剂(例如云母、硅石、滑石、硫酸钡、聚乙烯、聚四氟乙烯、尼龙粉末、甲基丙烯酸甲酯粉末)等。微粒固体可包括纳米尺寸的微粒。微粒固体可具有在约 0.001 微米至约 10 微米的范围内的平均粒径,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 1 微米。多相混合物中的微粒固体的浓度可基于多相混合物的重量在约 70% 或约 70% 以下范围内,在一实施方案中从约 0.1% 到约 30%。
- [0143] 在一实施方案中,由本发明方法制成的多相混合物包括在连续相中分散的非连续相。非连续相可包括具有在约 200 微米或约 200 微米以下范围内的基于体积的平均尺寸(例如直径、高度、宽度、长度),在一实施方案中从约 0.01 微米至约 200 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 100 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 50 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 25 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 10 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 5 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 2 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 1 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 0.5 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 0.2 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 0.1 微米,在一实施

方案中从约 0.01 微米至约 0.08 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 0.05 微米,在一实施方案中从约 0.01 微米至约 0.03 微米。本发明的方法的优点在于至少在一个实施方案中泡沫或微体可以具有较窄分布的平均直径(或高度、宽度或长度)为特征。

[0144] “相对跨度”经常被称为“跨度”。它是由体积分布计算出的无因次参数。同体积中值泡沫或微体尺寸(VMD)一样,D[v,0.1] 和 D[v,0.9] 代表相应位点上的直径(或高度、宽度或长度),在所述位点,分散的泡沫或微体体积的 10% 和 90% 分别属于较小直径的泡沫或微体。跨度可被定义为 D[v,0.9] 减去 D[v,0.1] 的差值再除以 VMD(D[v,0.5])。在一实施方案中,由本发明方法制成的多相混合物中的泡沫或微体的跨度可在约 1.3 至约 5 的范围内,在一实施方案中在约 1.8 至约 2.5 的范围内。在一实施方案中,可以在单工艺微通道中实施本发明的方法,并且跨度可在约 1.3 至约 2.5 的范围内。在一实施方案中,可以在采用多工艺微通道的扩大规模的多相混合工艺中实施本发明的方法,并且跨度可在约 1.3 至约 5 的范围内。

[0145] 在一实施方案中,由本发明方法制成的多相混合物中的泡沫或微体的基于体积的平均直径可在约 0.1 微米至约 100 微米的范围内,并且跨度可在约 1 至约 25 的范围内。在一实施方案中,基于体积的平均直径(或高度、宽度或长度)可在约 1 微米至约 10 微米的范围内,并且跨度可在约 1.8 至约 2.5 的范围内。

[0146] 在一实施方案中,形成气体泡沫,这些气体泡沫具有在约 25 微米至约 250 微米范围以下的基于体积的平均直径,并且跨度可在约 1.9 至约 2.5 的范围内。

[0147] 在一实施方案中,形成微体,这些微体具有在约 5 微米至约 50 微米范围以下的基于体积的平均直径(或高度、宽度或长度),并且跨度可在约 1.8 至约 2.5 的范围内。

[0148] 由本发明方法形成的微体具有许多应用。这些包括用作铸粉以减小密度的玻璃微球,用于固定在流化床反应器中选择种类的玻璃微球,以及类似物。其它例子包括微球聚合物、凝胶或胶悬产物用于免疫试验和治疗。微体(例如微球)可在下一步骤中被处理以形成聚集体、包裹固体以供几种应用,所述应用包括催化流化或填充床、药物传递系统(例如蛋白质酶促反应)、以及高级分离和流化床应用(例如可优选地被分离或通过磁振动被激发的被涂覆的磁性载体)。

[0149] 至少在一个实施方案中,本发明方法的优点在于,该方法无论是打算用于实验室或中试工厂规模或全能力生产规模,工艺微通道、第二流体流通道和可选择的第三流体流通道和/或热交换通道之间的间隙可以是相同的。结果,无论是根据实验室或中试工厂规模,或全能力生产规模建立微通道混合器,使用本发明的方法通过微通道混合器产生的多相混合物的粒径分布可基本上是相同的。

[0150] 在速度 u 的方向上作用在液体控制元件(以离散的形式)的剪切力可通过公式 $F_x = \mu u * du/dy$ 来计算,其中 μ 是速度, du/dy 是用于液体垂直有孔区流动的速度梯度。但是,由于在液体的位置中(由控制元件代表)速度通常具有三个分量,剪切力也具有三个分量。对于在表面和其附近的通道流动,可作出一维的假定, F_x 可近似于在液体的元件表面的净剪切力。使用计算流体动力学,包括商业软件包如 Fluent 或 FEMLAB,可用于解出所需的输运方程以便计算出表面剪切力。可沿平行于流动的方向的通道长度计算表面剪切力。也可在平行通道之间计算剪切力,在该处。将流动分布效果包括进来以确定进入各平行通道的质量通量作为详细的通道和流形几何学的函数。其它的计算方法例如可在“Fundamentals

of Fluid Mechanics(流体机械基础)" 3rdEd. , B. R. Munson, D. F. Young 和 T. H. Okiishi, John Wiley & Son, Inc. , Weinheim, 1998 中得知。

[0151] 在一实施方案中,对于使用单工艺微通道的方法的剪切力偏差因数 (SFDF) 可在用于包括多工艺微通道的扩大规模方法的 SFDF 的约 50% 之内。SFDF 可使用公式 $SFDF = (F_{\max} - F_{\min}) / (2F_{\text{mean}})$ 计算, 其中 F_{\max} 是一具体液体的工艺微通道中的最大剪切力 ; F_{\min} 是该液体的工艺微通道中的最小剪切力 ; F_{mean} 是该液体在工艺微通道内的有孔区 (240, 240a, 311, 321, 331, 341, 415, 425, 435, 445, 550, 560, 570, 580) 表面上的算术平均剪切力。在根据本发明的方法操作的单独工艺微通道内, SFDF 可小于约 2, 在一实施方案中小于约 1, 在一实施方案中小于约 0.5, 在一实施方案中小于约 0.2。

[0152] 在一实施方案中,在使用多工艺微通道时,本发明的方法可提供较均匀的剪切力。为了测定多工艺微通道中的剪切力的均匀性,计算各通道的平均剪切力被并比较。 F_{\max} 是平均通道剪切力的最大值, F_{\min} 是平均剪切力的最小值。 F_{mean} 是所有通道的平均剪切力的平均值。可由这些值计算 SFDF。多工艺微通道之中,至少本发明方法的一个实施方案中, SFDF 可小于约 2, 在一实施方案中小于约 1, 在一实施方案中小于约 0.5, 在一实施方案中小于约 0.2。

[0153] 热交换流体可包括任何流体。其包括空气, 蒸汽, 液态水, 气态氮, 液氮, 包括惰性气体的其它气体, 一氧化碳, 二氧化碳, 熔盐、油如矿物油、气态烃类、液态烃类, 以及热交换流体如道氏热载体 A (Dowtherm A) 和可由 Dow-Union Carbide 获得的特米诺 (Therminol)。

[0154] 热交换流体可包括在制造多相混合物中使用的第一、第二和 / 或第三流体。这可提供工艺预加热或预冷却并提高工艺的总热效率。

[0155] 在一实施方案中,热交换通道包括工艺通道,在其中进行吸热或放热过程。这些热交换工艺通道可以是微通道。可在热交换通道中进行的吸热过程的例子包括蒸汽重整和脱氢反应。在一实施方案中,引入同时发生的吸热反应以提供改进的冷源可使热通量粗略高于对流冷却热通量一个数量级或更高。可在热交换通道中进行的放热过程的例子包括水 - 气体变换反应、甲醇合成反应以及氨合成反应。

[0156] 在一实施方案中,热交换流体在热交换通道中经历相变。相对于对流加热或冷却, 该相变提供额外的热增加或从工艺微通道或液体通道中除去额外的热量。对于被蒸发的液体热交换流体, 将因为热交换流体所需要的蒸发潜热带来由工艺微通道传来的额外热量。这种相变的例子是经历泡核沸腾的油或水。在一实施方案中, 相变流体的沸腾物的蒸发质量分数质量可达到约 100%, 在一实施方案中达到约 75%, 在一实施方案中达到约 50%。

[0157] 当在工艺微通道中多相混合物产生与化学反应协同出现时, 使用由相变或化学反应提高的传热可更有优势。在一实施方案中, 多相混合物, 例如可以是用于聚合反应的反应单体, 或其它物质并且一样需要额外的热交换。

[0158] 在微通道混合器中用于对流加热或冷却的热通量可在微通道混合器中在每平方厘米的工艺微通道表面积从约 0.01 瓦至约 125 瓦 (W/cm^2) 的范围内, 在一实施方案中从约 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $50\text{W}/\text{cm}^2$, 在一实施方案中从约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $25\text{W}/\text{cm}^2$, 在一实施方案中从约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 。用于加热或冷却的相的热通量可在从 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $250\text{W}/\text{cm}^2$ 的范围内, 在一实施方案中从约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $100\text{W}/\text{cm}^2$, 在一实施方案中从约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $50\text{W}/\text{cm}^2$, 在一实施方案中从约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $25\text{W}/\text{cm}^2$, 在一实施方案中从约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 。

[0159] 在使用本发明方法形成多相混合物的期间,热交换通道可用于提供无菌条件。不同于间歇式混合器,本发明方法可接近于环境并且不需要用于隔离环境的惰性气体保护。可毗邻于工艺微通道或液体通道的热交换通道可提供较短的热转运和扩散距离,允许以减少的温度梯度快速加热和冷却在微通道混合器中的液体。因此,对于不适于延长加热或将在较大温度梯度下降解的多相混合物可使用本发明的方法制备。在一实施方案中,在工艺微通道壁和在工艺微通道中与工艺微通道轴位置相同的方向的总体流动之间的温度梯度可小于约 5°C,在一实施方案中小于约 2°C,在一实施方案中小于约 1°C。

[0160] 紧接近于工艺微通道和 / 或第二或第三流体流通道,加热和 / 或冷却被控制的热交换通道可在多工艺通道之间提供均匀的温度分布。这比使用传统的加工设备如混合槽所能够获得均匀加热和冷却的速度更快。在多通道微通道混合器中,至少在沿工艺流动长度上的某些轴线位置,工艺微通道之间的温差可小于约 5°C,在一实施方案中小于约 2°C,在一实施方案中小于约 1°C。

[0161] 毗邻于工艺微通道和 / 或第二或第三流体流液体通道的热交换通道可沿这些通道的长度上使用温度区。在一实施方案中,在工艺微通道入口附近的第一温度区中的温度维持在高于在工艺微通道末端附近的第二温度区中的第二温度。可将冷却或淬火区引入工艺微通道以快速冷却和稳定多相混合物。可以进行热量分布的许多组合,可以延微通道的长度定制热量分布,包括可以在工艺微通道中的混合区之前和 / 或之后的区域定制热量分布以加热和 / 或冷却进料和或多相混合物产物。

[0162] 通过工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 的流体流动速度可在约 0.011pm 至约 501pm 的范围内,在一实施方案中在约 0.011pm 至约 101pm 的范围内。流过工艺微通道的流体速度可在约 0.1m/s 至约 100m/s 的范围内,在一实施方案中在约 0.1m/s 至约 10m/s 的范围内。流过工艺微通道的流体的雷诺数 (ReynoldsNumber) 可在约 25 至 10000 的范围内,在一实施方案中在约 250 至 5000 的范围内。进入工艺微通道的流体的温度可在约 10°C 至约 550°C 的范围内,在一实施方案中在约 25°C 至约 400°C 的范围内。在工艺微通道内的绝对压力可在约 1 个大气压至约 20 个大气压的范围内,在一实施方案中在约 1 个大气压至约 5 个大气压的范围内。

[0163] 通过第二流体流通道 (270, 270a, 350, 360, 420, 430, 530, 540) 的第二流体流和通过第三流体流通道 (440, 450) 的第三流体流的流动速度可在约 0.01ml/s 至约 10ml/s 的范围内,在一实施方案中在约 0.1ml/s 至约 2ml/s 的范围内。第二流体流和第三流体流的速度可在约 0.1m/s 至约 100m/s 的范围内,在一实施方案中在约 0.1m/s 至约 10m/s 的范围内。第二流体流和第三流体流的雷诺数可在约 50 至 5000 的范围内,在一实施方案中在约 50 至 500 的范围内。进入第二流体流通道的第二流体流和进入第三流体流通道的第三流体流的温度可在约 -10°C 至约 650°C 的范围内,在一实施方案中在约 25°C 至约 450°C 的范围内。在第二流体流通道和第三流体流通道内的绝对压力可在约 1 个大气压至约 25 个大气压的范围内,在一实施方案中在约 1 个大气压至约 5 个大气压的范围内。流过孔 (244, 244a, 313, 323, 333, 343, 416, 426, 436, 446) 的流体的压降可在约 0.005 个大气压至约 0.5 个大气压的范围内,在一实施方案中在约 0.05 个大气压至约 0.1 个大气压的范围内。

[0164] 在图 21 中示意显示使用本发明方法的气泡或微体的形成。参见图 21, 气泡或微体 650 从微通道 654 中的孔 652 出现并且在第一流体流 656 中分散。当附着于孔 652 内的气

体或微体形成材料茎部 658 时,气泡或微体可在尺寸上可增大,例如约为孔尺寸的 10 倍或更大。最后,位于气体或微体形成材料茎部 658 的基部的剪切力将泡沫或微体从孔中分开并且泡沫或微体在第一流体流 656 中分散。在一实施方案中,为实现第二流体流分散在第一流体流中,可不需要有孔区横断面较高的压降或第二流体流通过第二流体流通道的相应较高的。低压降或低流速可导致较小的泡沫或微体,由于流过有孔区的第二流体流的低惯性可在泡沫或微体从孔中分开之前降低泡沫或微体的增大。

[0165] 排出工艺微通道 (210, 210a, 310, 320, 330, 340, 410, 520) 的多相混合物可具有在约 10°C 至约 600°C 的范围内的温度,在一实施方案中在约 25°C 至约 450°C 的范围内。

[0166] 进入热交换通道 (290, 370, 380, 590) 的热交换流体可具有在约 -40°C 至约 300°C 的范围内的温度,在一实施方案中在约 25°C 至约 100°C 的范围内。排出热交换通道的热交换流体可具有在约 -30°C 至约 550°C 的范围内的温度,在一实施方案中在约 30°C 至约 200°C 的范围内。当热交换流体流过热交换通道时,热交换流体的压降可在约 0.005 个大气压至约 5 个大气压的范围内,在一实施方案中在约 0.05 个大气压至约 1 个大气压的范围内。流过热交换通道的热交换流体的雷诺数可在约 10,000 至约 10,000 以下的范围内,在一实施方案中在约 5000 至约 5000 以下的范围内,在一实施方案中在约 100 至约 5000 的范围内,在一实施方案中在约 500 至约 2000 的范围内。

[0167] 可使用包括微通道加热器或加热管的任何类型的热交换设备在微通道混合器中预加热或在进入微通道混合器之前预加热流体流。在一实施方案中,可在混合区上游的工艺微通道非孔区域中预加热第一流体流。可使用包括微通道热交换器的任何类型的热交换设备在微通道混合器中冷却微通道混合器中产生的多相混合物或在其排出微通道混合器就冷却。在一实施方案中,多相混合物可被淬火以稳定多相混合物或将它锁定。在一实施方案中,多相混合物可被冷却至室温或淬火约 0.01 秒至约 100 秒的范围内的时段间,在一实施方案中约 0.01 秒至约 10 秒的范围内。

[0168] 本发明的方法可用于以至少约 0.01 升 / 分钟的速度制造多相混合物,在一实施方案中至少约 1 升 / 分钟。在一实施方案中,该方法可用于以至少约 10 升 / 秒的速度制造多相混合物。

[0169] 在一实施方案中,可在工艺微通道中调节光学或热 - 光学特性。用于测定和 / 或调节这些光学或热 - 光学特性的技术的例子包括 : 用于包括平均液滴尺寸和跨度的多相混合物质量控制和分析的轴向 LSD(激光散射衍射) 检测 ; 用于评价产品粘性和固相装填的粘度计 ; 用于气泡或微体尺寸测量的使用照片的光学测量 ; 包括通过调节多相混合物特性的干涉量度法的全息成像 ; 以及类似技术。

[0170] 实施例 1

[0171] 制造出包括具有矩形横截面和 $0.040 \times 1.25 \times 3$ 英寸 ($1.02 \times 31.75 \times 76.2\text{mm}$) 内部尺寸的丙烯酸工艺微通道的多相混合器。在工艺微通道一侧壁中具有有孔区。有孔区具有标称孔或 0.1 微米的孔径尺寸和 $0.010 \times 1 \times 1.5$ 英寸 ($0.254 \times 25.4 \times 38.1\text{mm}$) 的内部尺寸。有孔区由不锈钢 316L 构成,并且由 Farmington, CT 的 Mott 公司根据目录第 1110-12-12-018-01-A 号供应。有孔区与气体供应箱分布气和管道连接以使气体流过有孔区进入工艺微通道。工艺微通道与管道连接以使液体流过工艺微通道。气体流过有孔区进入工艺微通道与流过工艺微通道的液体接触。当气体流过有孔区的孔时,气体在工艺微通

道中形成泡沫。使用空气作为气体和使用去离子水作为液体实施该方法。空气的流速在每分钟 2 标准立方厘米至 20 标准立方厘米 (SCCM) 之间变化, 水的流速在每分钟 10 毫升至 80 毫升 (ml/min) 之间变化。形成具有在 5 微米至 15 微米范围内的直径的泡沫。

[0172] 实施例 2

[0173] 使用 2SCCM 的气体流速和 60ml/min 的液体流速来实施实施例 1 所描述的方法。

[0174] 实施例 3

[0175] 使用氢气作为气体和 1- 己烯作为液体来实施实施例 1 所描述的方法。

[0176] 实施例 4

[0177] 高速度的气体 (流速大于 1SCCM) 和液体 (流速大于每分钟 0.1 升) 在流过表面特性区域之前在工艺微通道的入口附近被混合。表面特性区域在一侧壁上具有 0.01" 深度和 45° 角度的特性。表面特性内的总体流动通道是 0.0065"。以平均直径低于 25 微米的均匀气泡产生泡沫。流动长度是 1.5 英寸, 并且通道的宽度和跨度是 0.5 英寸。工艺微通道处于室温下并且接近于环境压力。观察到非常小的泡沫在表面特性区域上移动并流过表面特性区域。

[0178] 实施例 5

[0179] 使用 Fluent™ 通过计算流体力学 (CFD) 模拟进行研究, 在微通道两侧加入表面特性以引起通道中的层流变成通道中的强混合流动,。对于所述模拟, 假定流体特性为常数, 具有 5.067 kg/m^3 的密度和 $3.62e-5 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 的粘度。施加 12.13 m/s 的均匀入口速度和在所有壁上的无滑移的流动条件作为限制条件。使用 315,174 个单元的网格尺寸。

[0180] 连续通道的假定几何形状为矩形剖面, 具有 4.06mm 的宽度, 0.318mm 的高度, 以及 63.5mm 的长度。从入口下游的 0 至 3.5mm 的区域和出口上游的 5 至 0mm 的区域不包括混合表面特性 (简单的矩形微通道)。混合表面特性 (或凹槽) 切入到两个相对的壁内, 各特性为大致的矩形横截面。微通道的中间区域 (入口下游从 3.5mm 至 58.5mm) 包括混合表面特性。如图 27 和 28 所示, 表面特性从平均总层流的方向以 63° 的对角跨过通道壁中的一个。各表面特性为约 0.25mm 的深度, 0.48mm 的宽度, 9mm 的长度。表面特性以特性之间 0.48mm 的间隔彼此平行地设置。在相对壁上的表面特性与第一壁上的表面特性相同, 绕通道中心线旋转 180° (通道几何结构围绕从入口平面的中心线至出口平面的中心线沿伸的流动轴是对称的)。

[0181] 图 27 表示由 CFD 模拟的表面特性的几何形状的平面图, 其中, 在上壁和下壁上的混合特性都是是有层理的。图 28 显示具有由 CFD 模拟的表面特性的微通道的等角投影图, 表示流动进入通道的方向。图 29 显示从入口平面俯视流动轴, 沿入口平面的水平中心线 (在箭头之间流动) 开始的流动的通常路径。在典型的层流中, 路径在入口和出口平面之间以直线流动 (对于图 29 所示的视图, 典型的层流路径将不偏离箭头之间的中心线)。在图 30 中, 显示了沿入口平面的水平中心线开始的流动的相同路径的侧视图 (箭头表示流动的方向) 未示出。在图 30 中, 从中心线的流动路径的扩展和表面特性的旋涡运动, 显示出相比于层流的被改善的混合和被减少的热量以及传质阻力。图 31 表示从入口平面的轴向俯视沿入口平面的垂直中心线开始的流动的路径 (箭头之间的流动)。在图 31 中, 流动的旋涡运动显示出相比于典型的层流的被增强的混合和被减少的热量以及传质阻力。

[0182] CFD 模拟的结果显示出, 不同于在微通道中的层流, 混合表面特性引起在连续通道

中的流动的路径扭转和旋涡，快速向壁蔓延，快于层流情况下所期望的速度。计算的压降为 5.2kPa。

[0183] 可以预见向包含表面特性的微通道内加入气体或第二流体流将产生一种流型，借此多相混合物接近活塞流动并且泡沫小且充分分散。小泡沫可定义为小于微通道间隙的至少 25%。

[0184] 虽然根据各种实施方案已对本发明进行了说明，但是应当理解为，其中的各种变型对于依据阅读本说明书的本领域的技术人员来说是显而易见。因此，应当这样理解，在此公开的本发明意在覆盖落入所附权利要求范围的各种变型。

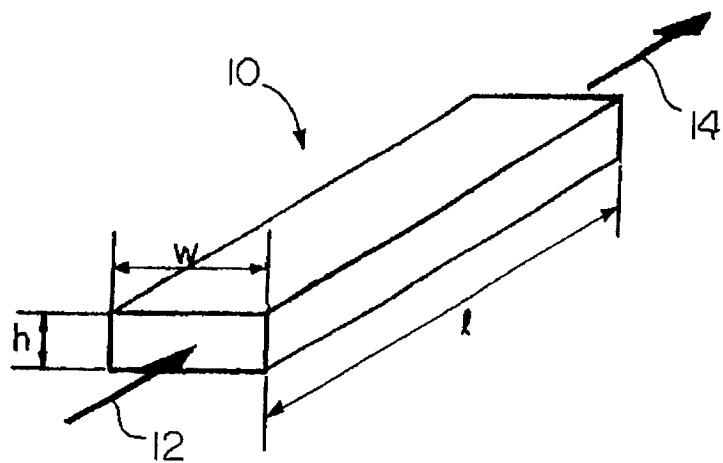


图 1

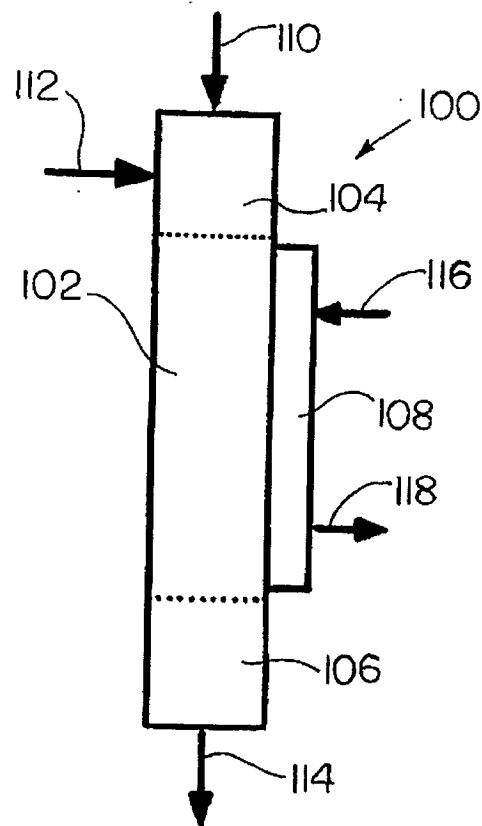


图 2

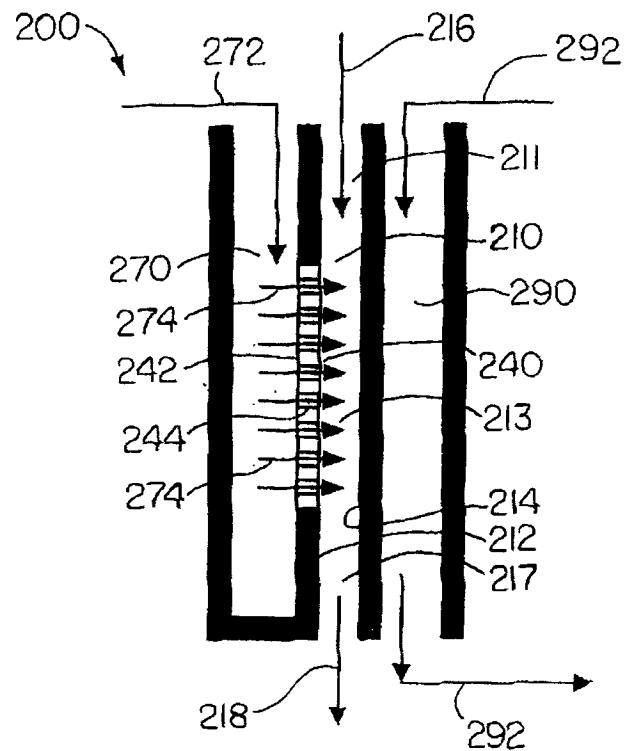


图 3

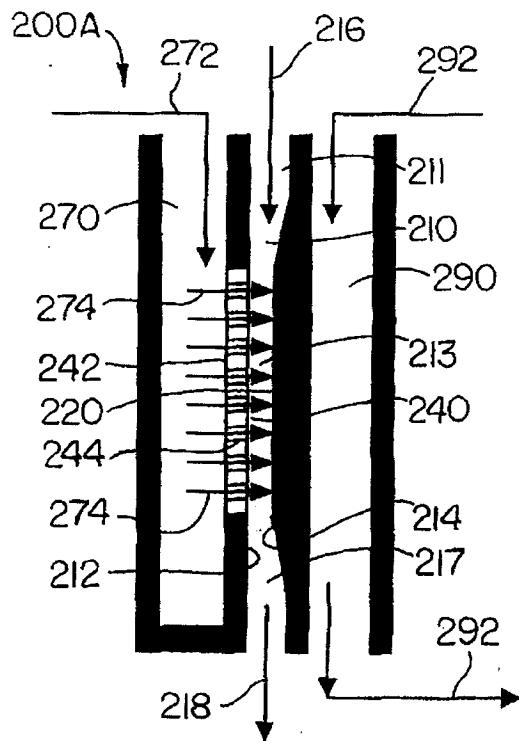


图 4

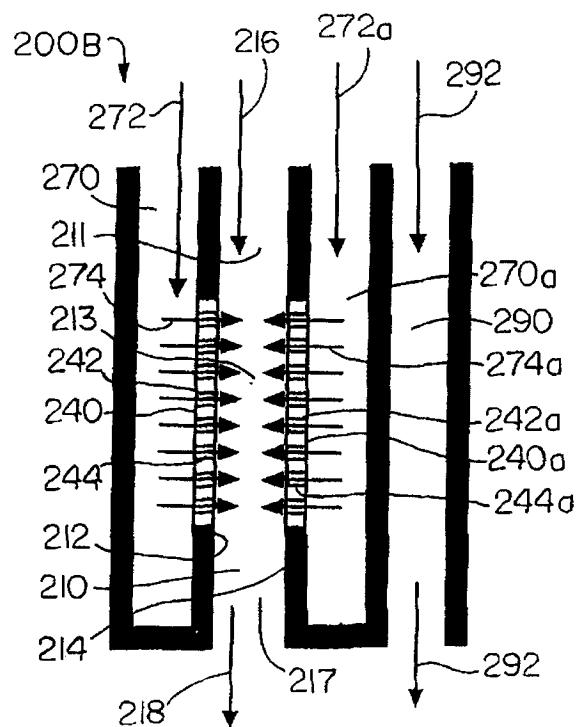


图 5

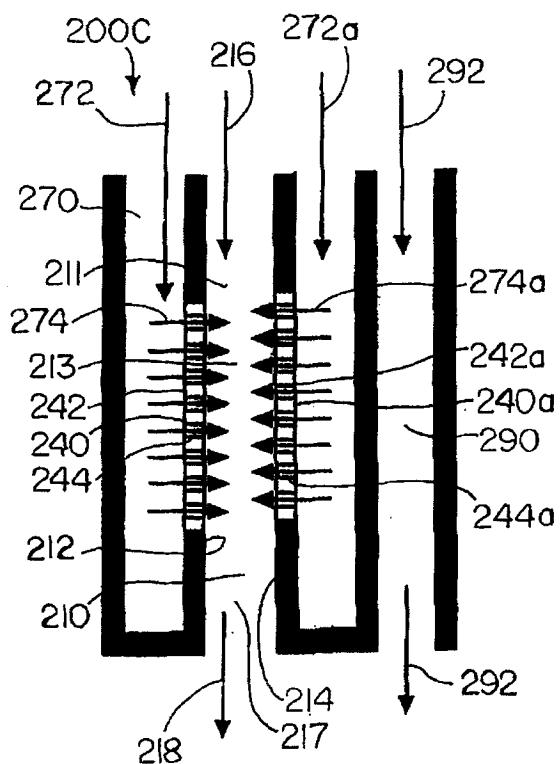


图 6

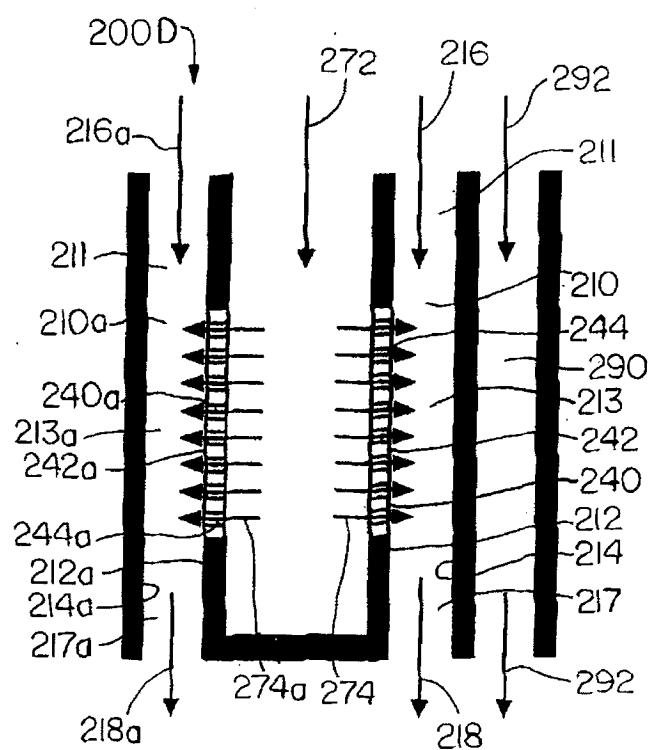


图 7

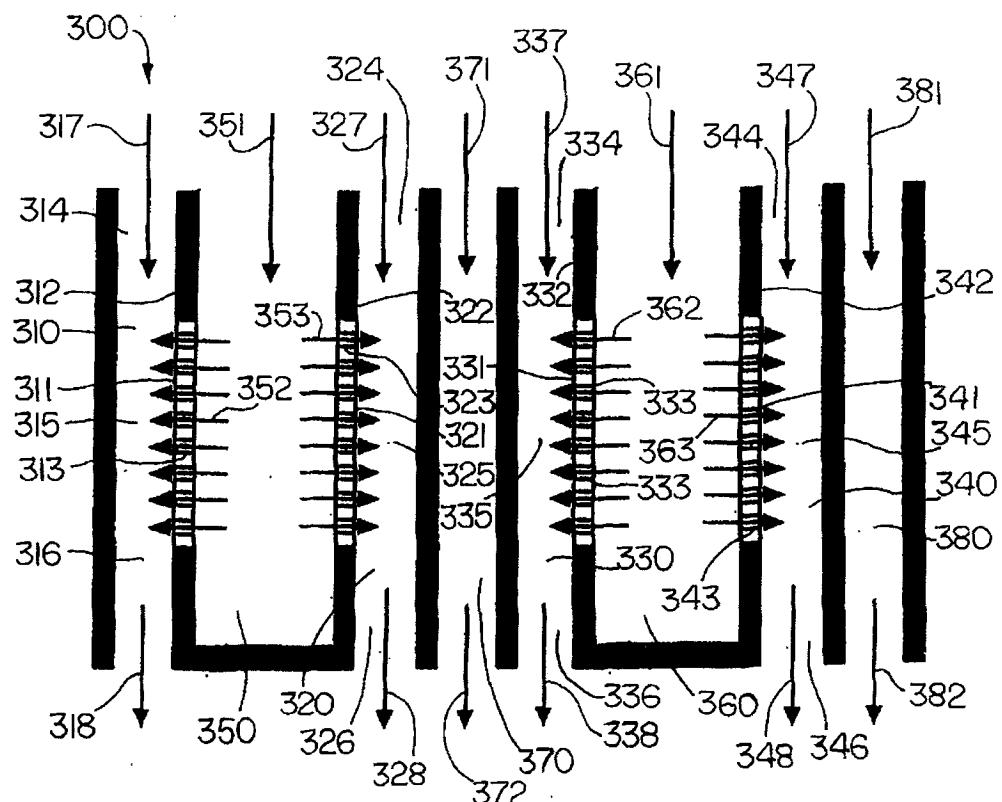


图 8

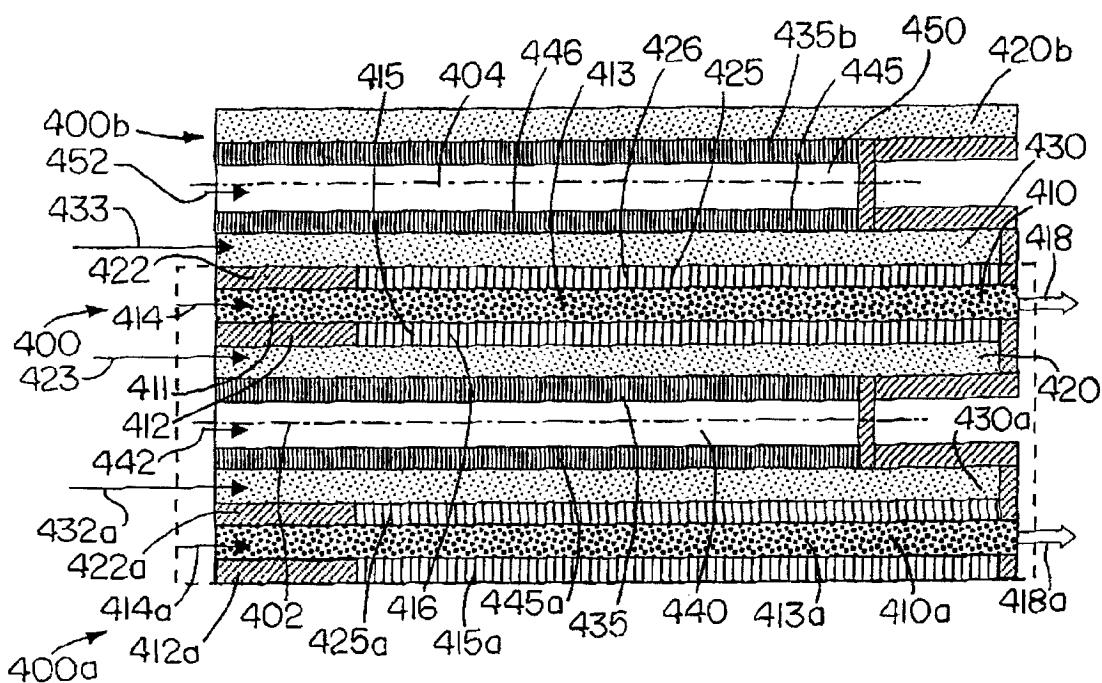


图 9

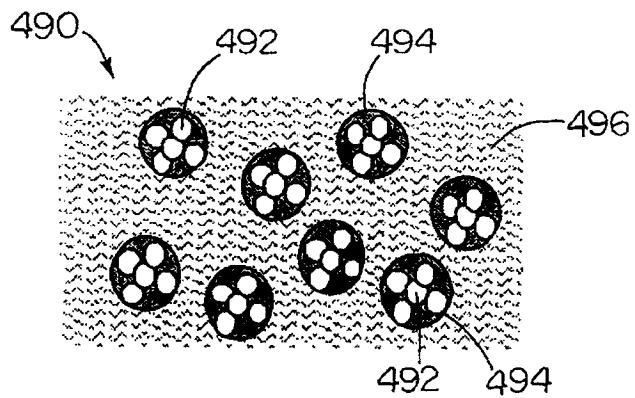


图 10

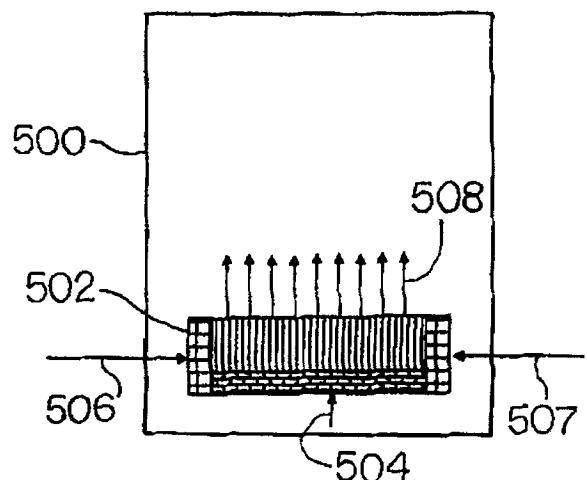


图 11

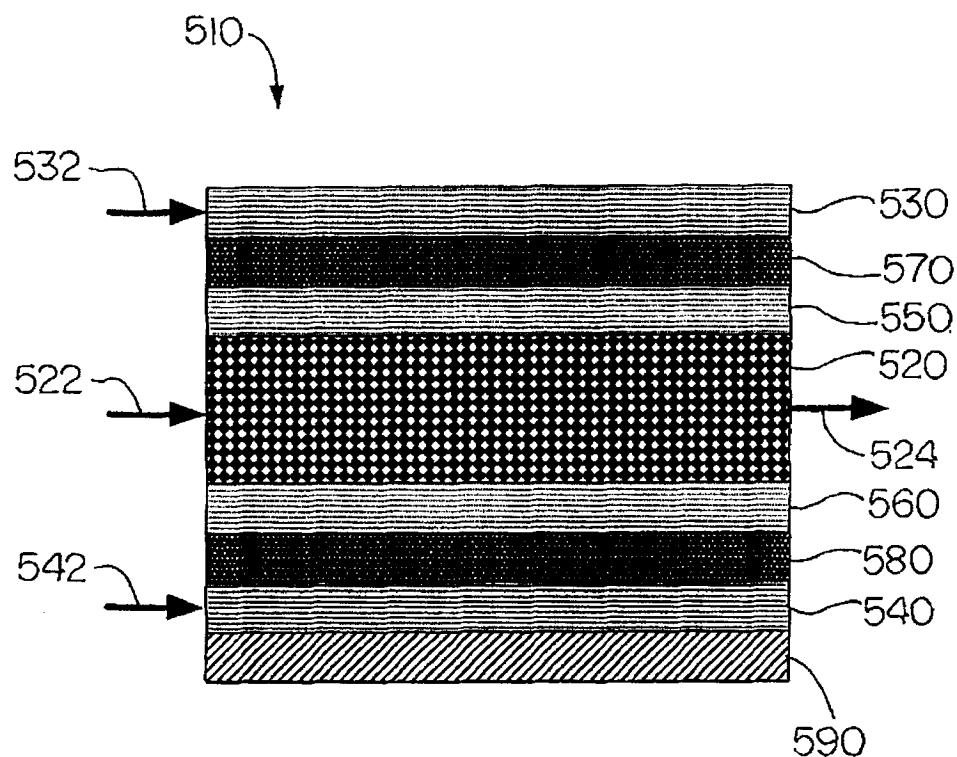


图 12

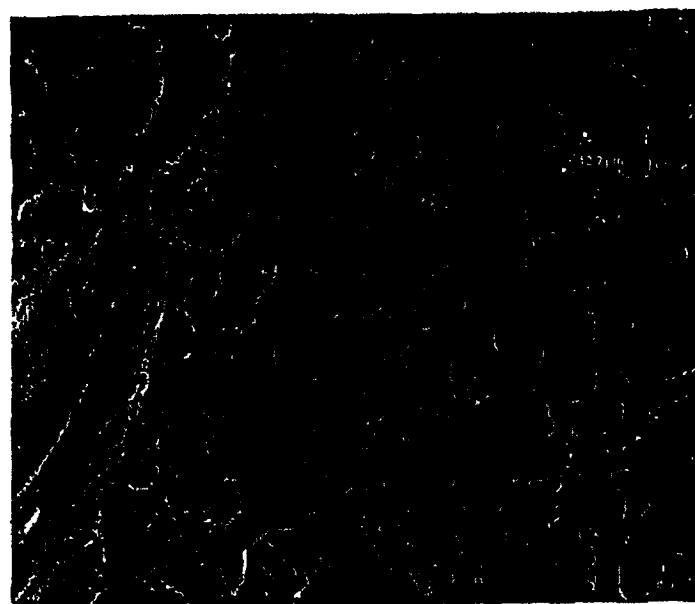


图 13



图 14

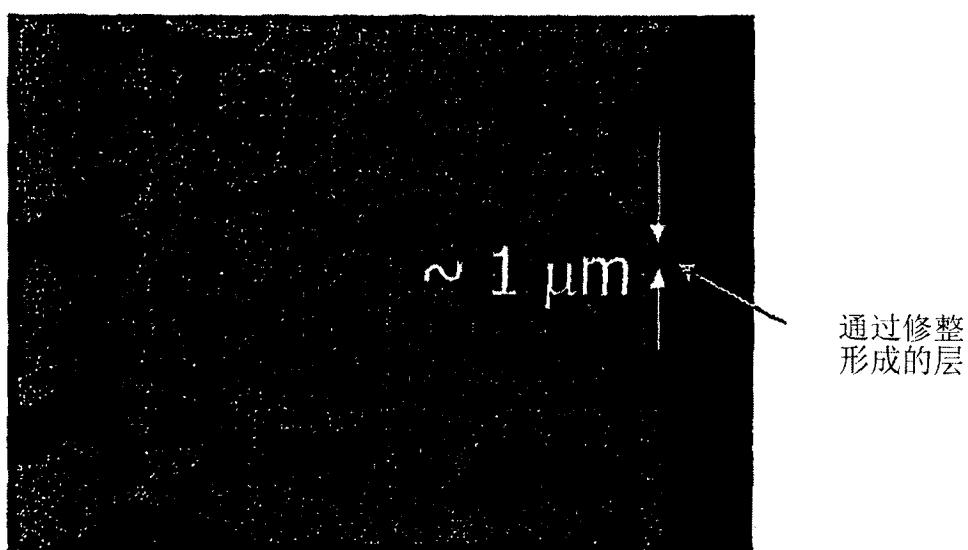


图 15

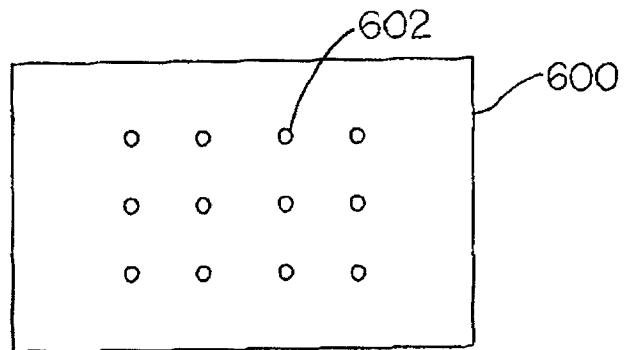


图 16

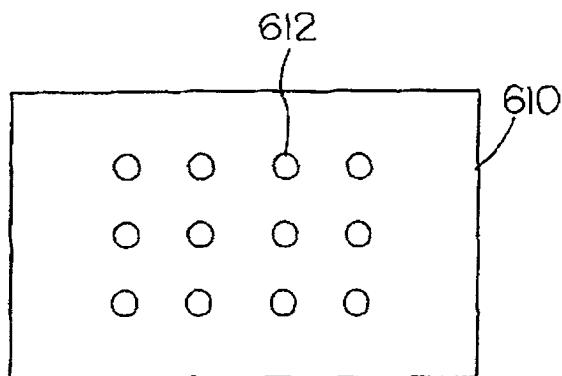


图 17

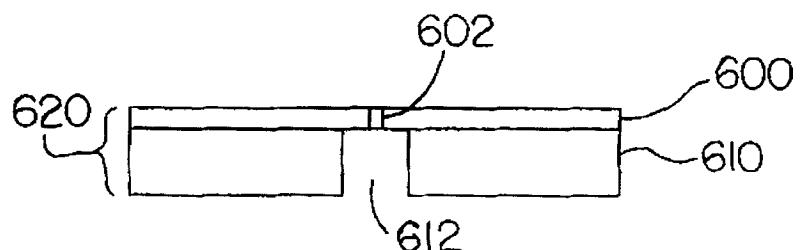


图 18

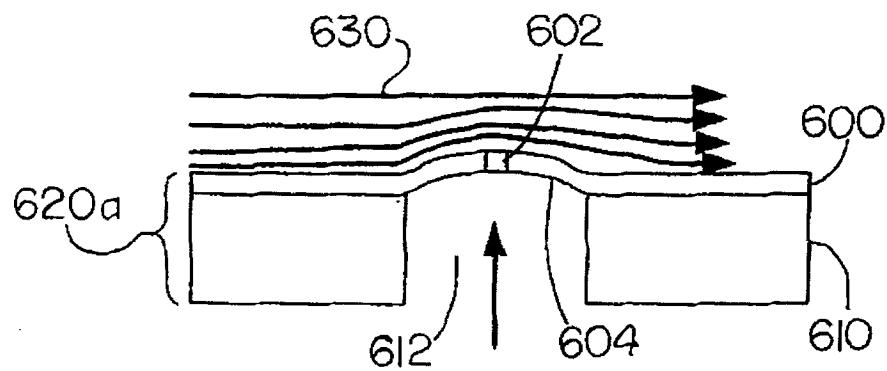


图 19

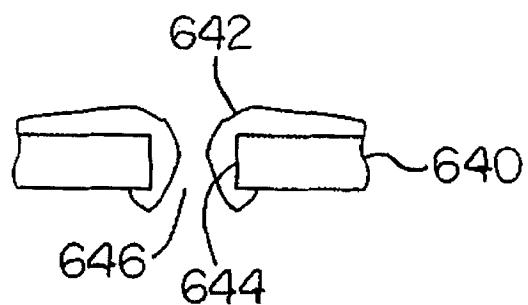


图 20

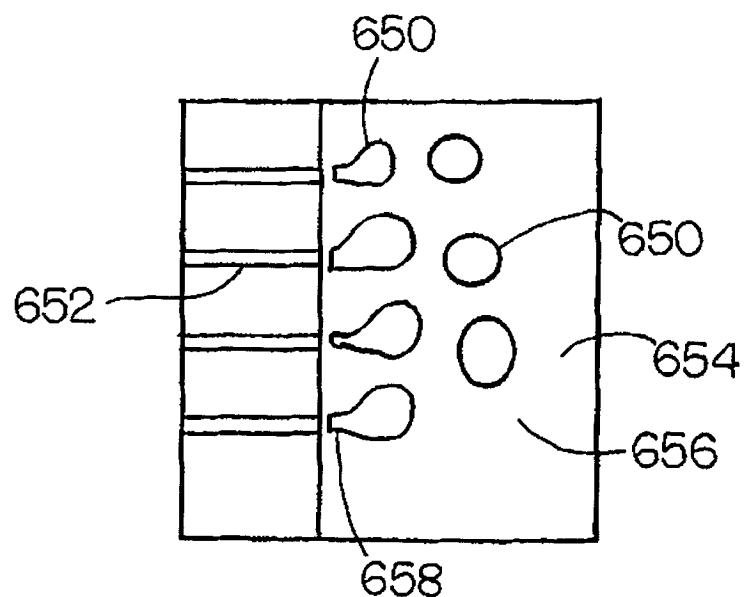


图 21

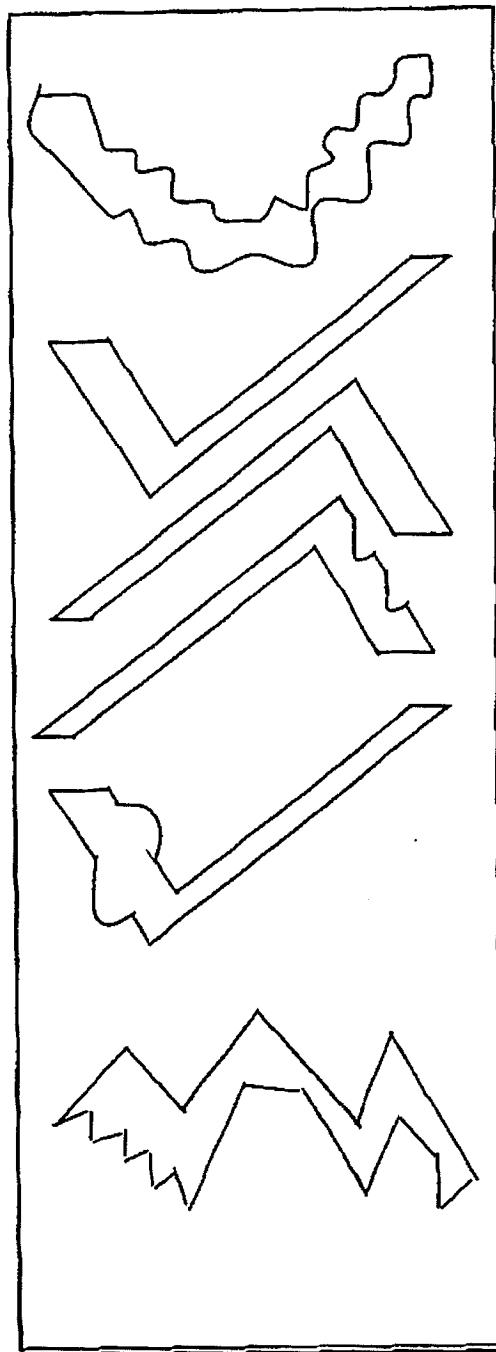


图 22

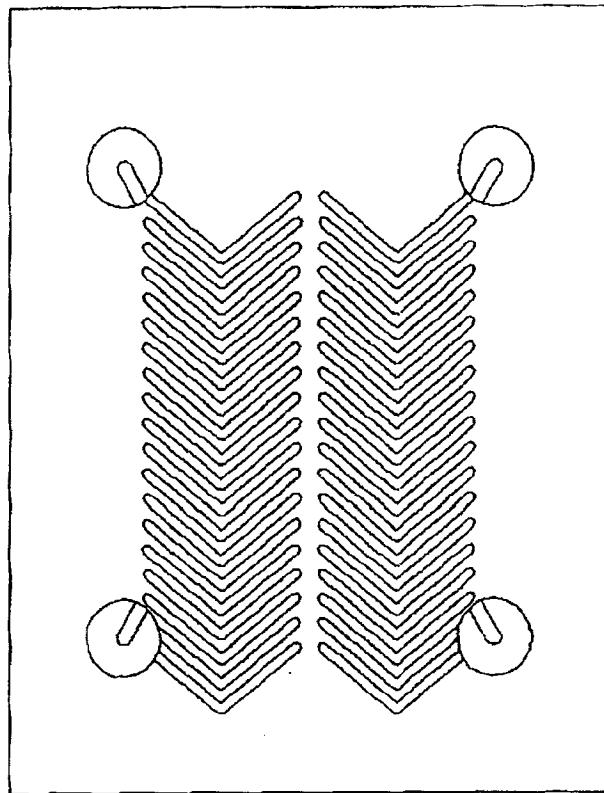


图 23

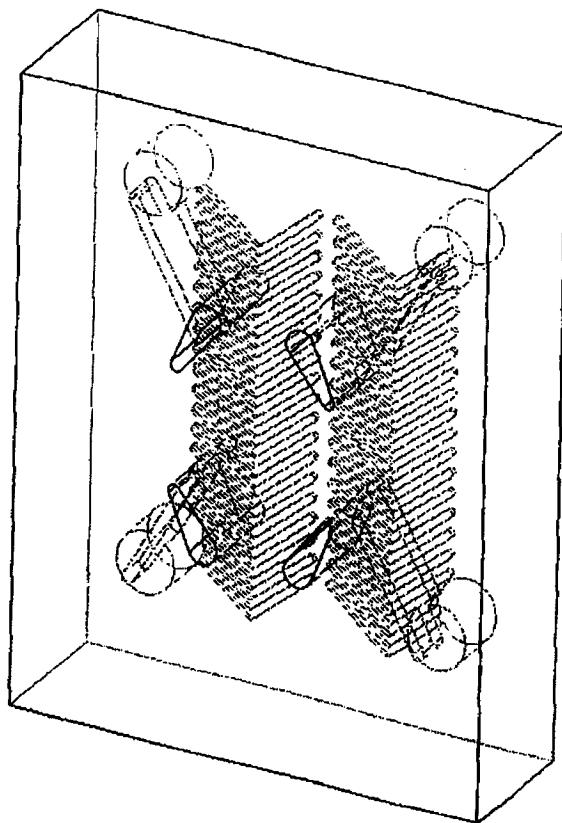


图 24

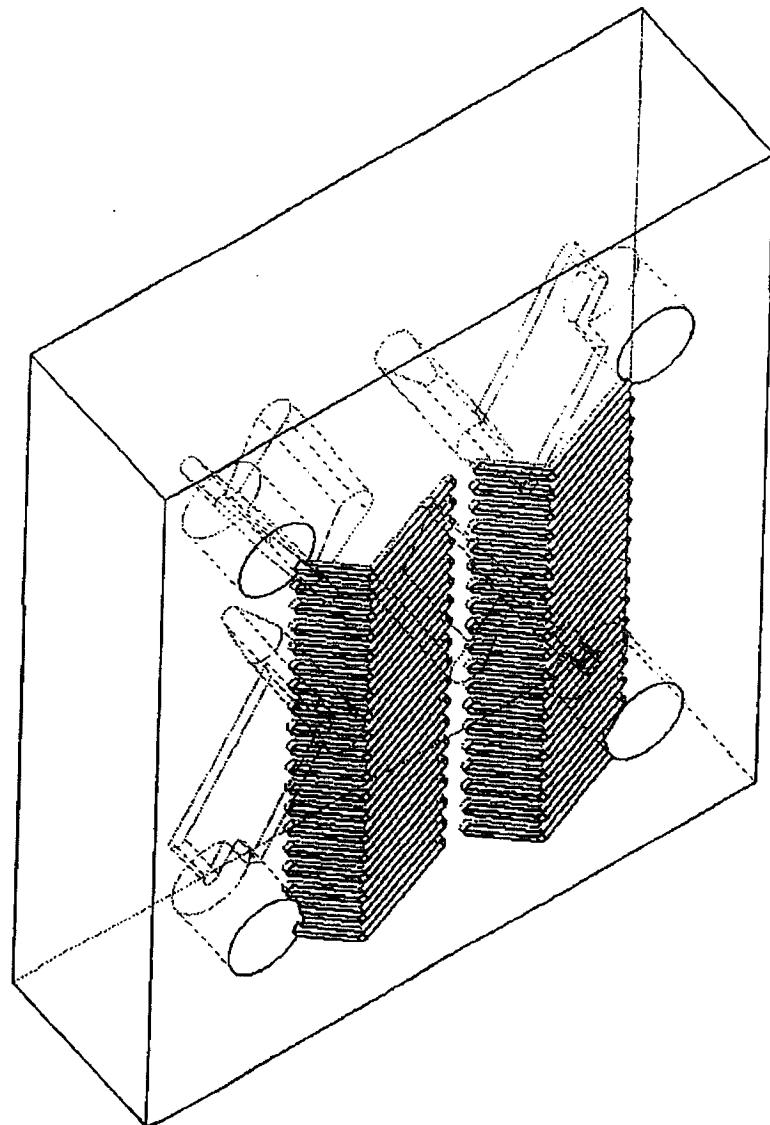


图 25

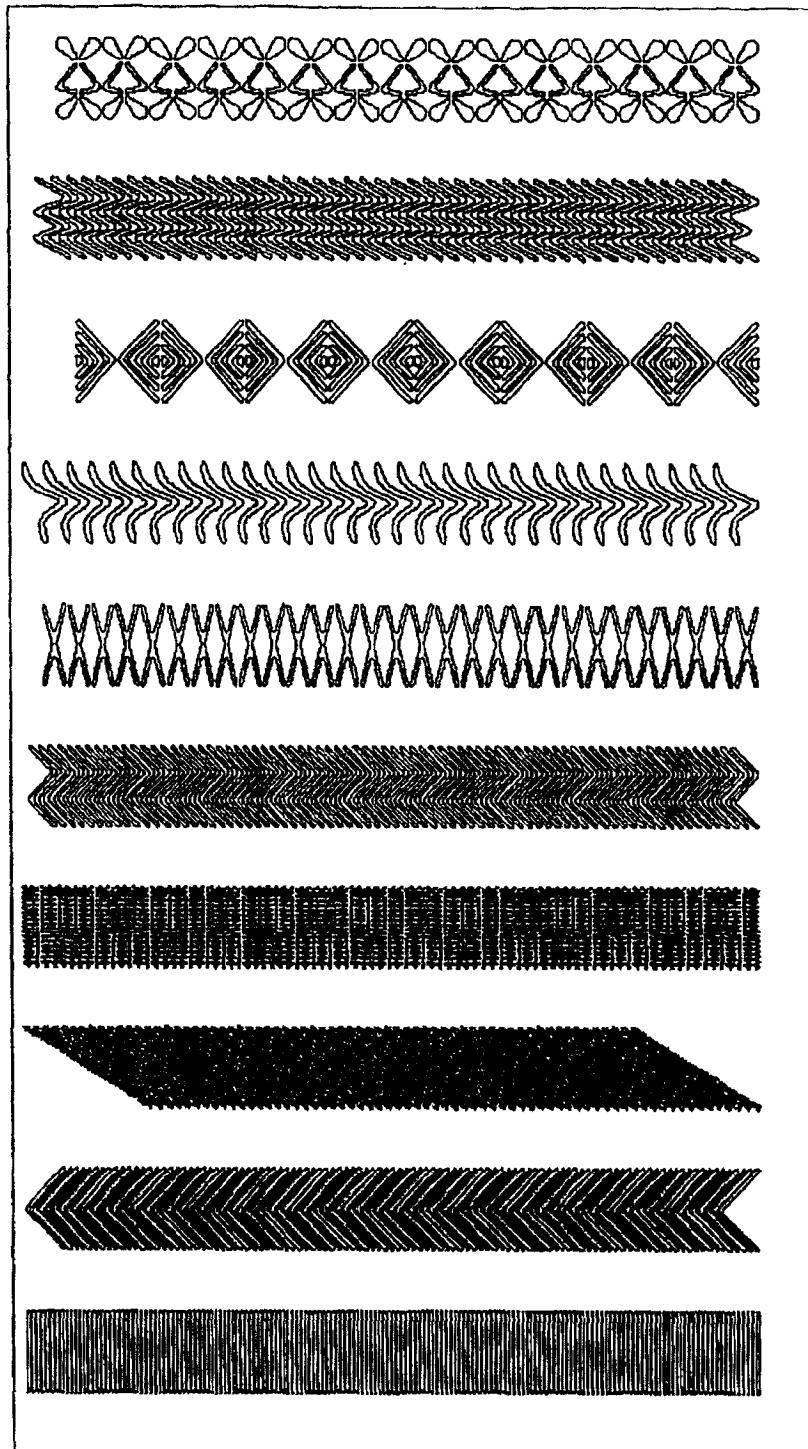


图 26

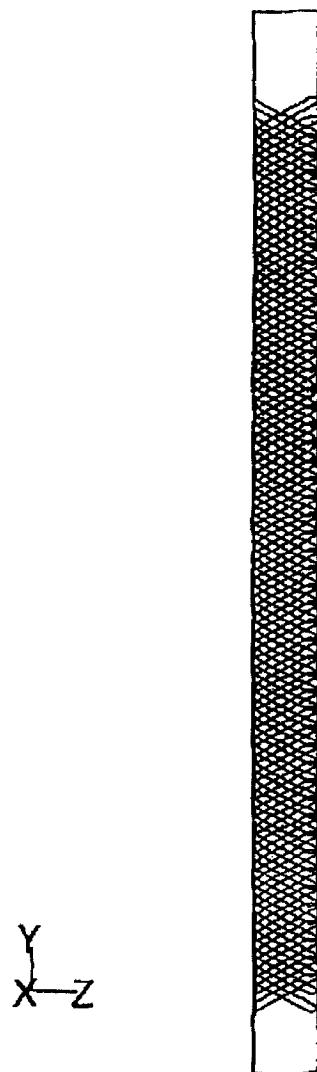


图 27

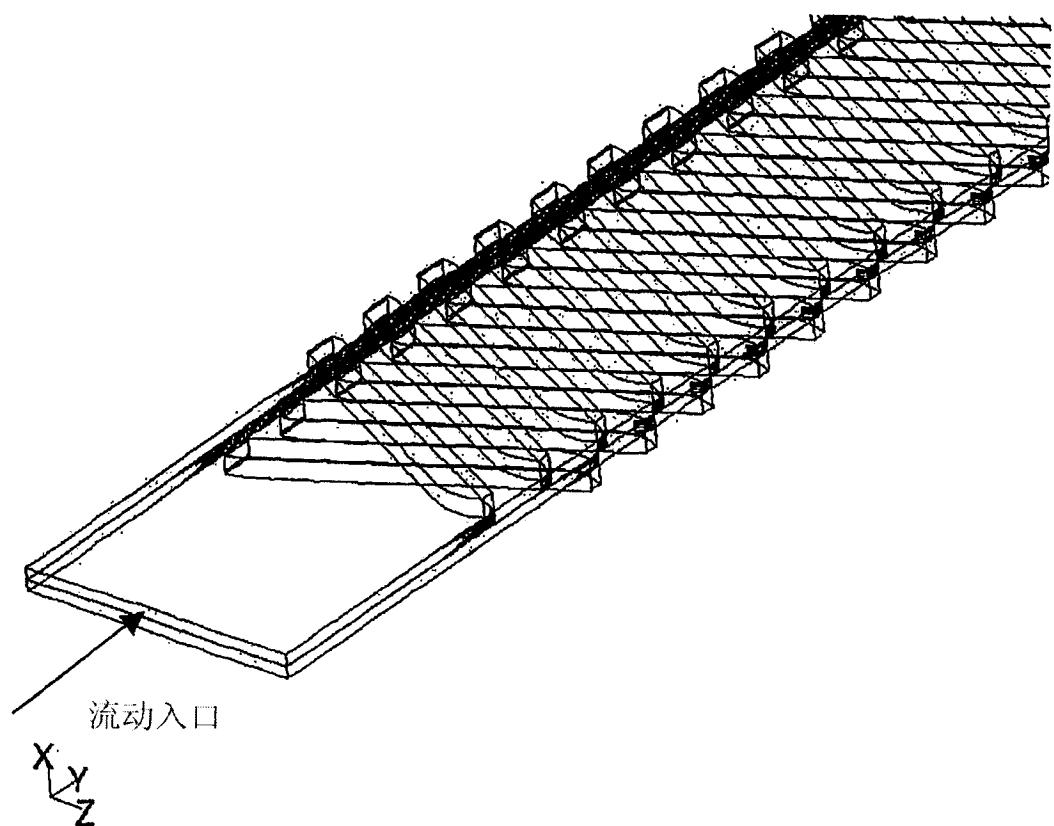


图 28

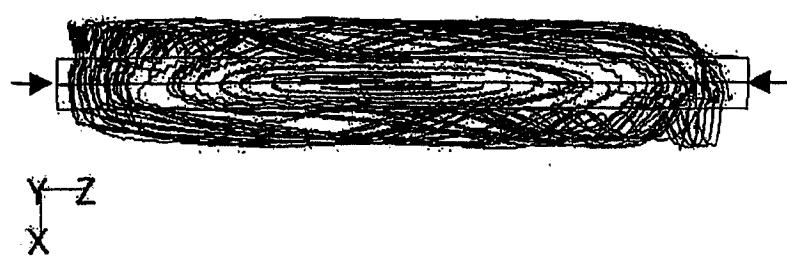


图 29

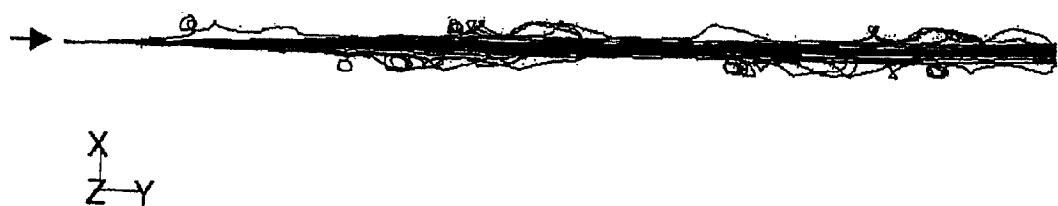


图 30

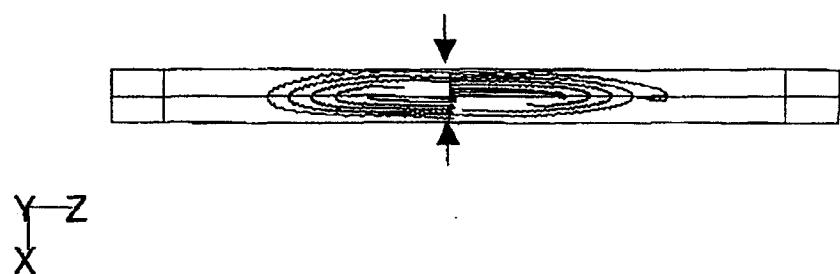


图 31