



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101472676 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 11

(21) 申请号 200780023303. 3

(22) 申请日 2007. 04. 20

(30) 优先权数据

60/793, 519 2006. 04. 20 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 12. 22

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/067060 2007. 04. 20

(87) PCT申请的公布数据

W02007/124409 EN 2007. 11. 01

(73) 专利权人 万罗赛斯公司

地址 美国俄亥俄州

(72) 发明人 安娜·利·通科维奇 拉维·阿罗拉

戴维·盖拉奥斯基 埃里克·戴莫

(74) 专利代理机构 北京邦信阳专利商标代理有

限公司 11012

代理人 王昭林 崔华

(51) Int. Cl.

B01J 19/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1822893 A, 2006. 08. 23, 说明书第 3 页第 3 段, 说明书第 8 页倒数第 4 段至第 9 页第 2 段, 说明书第 9 页倒数第 1 段至第 10 页第 1 段, 实施例 1.

DE 19920794 A1, 2000. 11. 09, 说明书第 2 栏第 2 至 32 行, 说明书第 7 栏第 33 行至第 8 栏第 57 行, 附图 2, 实施例 1.

US 6305834 B1, 2001. 10. 23, 说明书第 3 栏第 28 行至第 5 栏第 6 行; 说明书第 5 栏第 44 行至第 6 栏第 30 行附图 1a, 1b, 1c.

US 20060019333 A1, 2006. 01. 26, 说明书第 91, 114, 123, 132 段.

审查员 王义刚

权利要求书5页 说明书58页 附图36页

(54) 发明名称

利用微通道工艺技术处理和 / 或形成一种非牛顿流体的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种方法, 该方法包括: 在工艺微通道里的至少两个过程区内进行单元操作, 以处理和 / 或形成非牛顿流体, 在每个过程区进行一个不同的单元操作; 向非牛顿流体施加有效量的剪应力, 以降低每个过程区内非牛顿流体的粘度, 其中一个过程区的平均剪切率与另一个过程区的平均剪切率相差至少约 1.2 因子。通过使非牛顿流体流经具有收敛性横截面的微通道, 向非牛顿流体施加剪应力。也可通过所述流体流动与微通道表面特征、结构、突起或涂层相接触的方式, 施加剪应力。



1. 一种利用微通道工艺技术处理和 / 或形成非牛顿流体的方法, 所述方法包括:
在工艺微通道中进行化学反应以反应和 / 或形成非牛顿流体, 所述工艺微通道包含至少两个过程区, 所述化学反应在至少一个过程区内进行; 并且
向所述非牛顿流体施加有效量的剪应力以降低每个过程区内所述非牛顿流体的粘度, 在一个过程区内的平均剪切率与另一个过程区内的平均剪切率相差至少 1.2 的因子, 其特征在于, 在所述工艺微通道与热源和 / 或热沉之间交换热。
2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 至少一个过程区内的平均剪切率超过 100 秒^{-1} 。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 所述工艺微通道至少在一个过程区内具有收敛的横截面, 通过使所述非牛顿流体流过所述收敛的横截面向所述非牛顿流体施加剪应力。
4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述工艺微通道在至少一个过程区内的一个或多个内表面上和 / 或中包含表面特征, 通过使所述非牛顿流体流动并与所述表面特征接触向所述非牛顿流体施加剪应力, 所述表面特征为工艺微通道的一个或多个内壁的凹陷和 / 或突起。
5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述工艺微通道在至少一个过程区内包含一个或多个内部结构壁, 通过使所述非牛顿流体流动并与所述一个或多个结构内壁接触向所述非牛顿流体施加剪应力。
6. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述工艺微通道在至少一个过程区内包含一个或多个内部障碍物, 通过使所述非牛顿流体流动并与所述一个或多个内部障碍物接触向所述非牛顿流体施加剪应力。
7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述工艺微通道在至少一个过程区内的一个或多个内表面上面包含含有空隙和 / 或突起的涂层, 通过使所述非牛顿流体流动并与所述涂层接触向所述非牛顿流体施加剪应力。
8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 至少一个过程区内的所述非牛顿流体的粘度被降低至 105 厘泊。
9. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述非牛顿流体包含至少一种聚合物、聚合物组合物、多相流体混合物或乳液。
10. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述非牛顿流体包含至少一种聚合物, 所述聚合物包含重复单元, 所述重复单元源自可聚合的烯烃、醚、酯、胺、丙烯酸、烷基丙烯酸、丙烯腈中的一种或多种, 以及其中两种或多种的组合。
11. 根据权利要求 10 所述的方法, 其特征在于, 所述可聚合的烯烃选自环烯烃、二烯、苯乙烯、乙烯、偏二烯和四氟乙烯; 所述酯为羧酸酯。
12. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 所述羧酸酯选自醋酸酯、丙烯酸酯、烷基丙烯酸酯、乙烯基醋酸酯和氰基丙烯酸酯。
13. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述非牛顿流体包含至少一种聚合物, 所述聚合物包含聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、苯乙烯-丁二烯共聚物、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物、聚羧酸酯或者其中两种或多种的混合物。
14. 根据权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 所述聚苯乙烯为橡胶改性聚苯乙烯; 所

述乙烯聚合物选自聚乙烯和乙烯共聚物；所述聚羧酸酯为聚甲基丙烯酸甲酯。

15. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含至少一种聚合物，所述聚合物源自乙烯和 / 或丙烯以及包含丙烯酸酯、丙烯酸烷基酯、丙烯酸、烷基丙烯酸和 / 或乙烯基醋酸酯的一种或多种单体。

16. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含至少一种聚合物，所述聚合物包含天然橡胶、合成橡胶或者两种的混合物。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，所述聚合物包含再生橡胶。

18. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含至少一种聚合物，所述聚合物包含丙烯酸与一种或多种聚烯基聚醚交联的一种或多种聚合物。

19. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含多相混合物，所述多相混合物包含水和 / 或至少一种有机液体。

20. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含多相混合物，所述多相混合物包含至少一种液态烃。

21. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含多相混合物，所述多相混合物包含至少一种天然油、合成油或其混合物。

22. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含多相混合物，所述多相混合物包含下述物质中的一种或多种：乳化剂、表面活性剂、防紫外因子、蜡、稠度因子、增稠剂、富脂剂、稳定剂，阳离子、阴离子、两性离子、复合离子和非离子聚合物，有机硅化合物、脂肪、磷脂、生物试剂、抗氧化剂、除臭剂、止汗药、祛屑剂、膨胀剂、驱虫剂、自鞣剂、酪氨酸抑制剂、助溶剂、防腐剂、芳香油、或染料、或者其中两种或多种的混合物。

23. 根据权利要求 22 所述的方法，其特征在于，所述磷脂为卵磷脂。

24. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含多相混合物，固体分散于所述多相混合物中。

25. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第一流体和第二流体位于工艺微通道内；所述第一流体、第二流体、所述第一流体和第二流体的混合物、和 / 或由所述第一流体与所述第二流体反应制得的产物为非牛顿流体。

26. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述非牛顿流体包含至少一种第一流体和至少一种第二流体的混合物或由至少一种第一流体与至少一种第二流体反应制得的产物，至少一分批加入通道与所述工艺微通道相邻且至少一带孔部分置于所述至少一分批加入通道与所述工艺微通道之间，所述第一流体在所述工艺微通道内流动，所述第二流体自所述至少一分批加入通道流过至少一带孔部分而流入所述工艺微通道内的至少一过程区与所述第一流体接触。

27. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述工艺微通道由平行间隔的片和 / 或板形成。

28. 根据权利要求 26 所述的方法，其特征在于，所述工艺微通道和分批加入通道由平行间隔的片和 / 或板形成，所述工艺微通道和分批加入通道并排放置或彼此上下叠放。

29. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述工艺微通道与至少一热交换通道换热，所述工艺微通道和热交换通道由平行间隔的片和 / 或板形成，所述热交换通道与所述工艺微通道相邻和 / 或热接触。

30. 根据权利要求 26 或权利要求 28 所述的方法,其特征在于,所述带孔部分包含至少一种片和 / 或板,在所述片和 / 或板内有多孔。

31. 根据权利要求 26 所述的方法,其特征在于,所述带孔部分由多孔材料制成。

32. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述工艺微通道由下述材料制成:钢、蒙乃尔、英科乃尔、铝、钛、镍、铜、黄铜、任何上述金属的合金、聚合物、陶瓷、玻璃、含有聚合物和玻璃纤维的复合物、石英、有机硅或者两种或多种上述物质的组合物。

33. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述热源和 / 或热沉包含至少一热交换通道。

34. 根据权利要求 33 所述的方法,其特征在于,热交换流体位于所述热交换通道中。

35. 根据权利要求 34 所述的方法,其特征在于,所述热交换流体在所述热交换通道中经历相变。

36. 根据权利要求 33 所述的方法,其特征在于,在所述热交换通道中进行吸热过程或放热过程。

37. 根据权利要求 34 所述的方法,其特征在于,所述热交换流体包含空气、水蒸汽、液态水、一氧化碳、二氧化碳、气态氮、液态氮、至少一种气态烃、至少一种液态烃或者两种或多种上述物质的组合物。

38. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述热源和 / 或热沉包含电加热元件和 / 或非牛顿冷却元件。

39. 根据权利要求 38 所述的方法,其特征在于,所述电加热元件为电阻加热器。

40. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述表面特征设置为相对于流过通道的方向呈一定的角度。

41. 根据权利要求 4 或权利要求 40 所述的方法,其特征在于,所述表面特征为至少两个表面特征区域的形式,其中,在第一表面特征区域混合所述第一流体和第二流体,然后在第二表面特征区域内流动,其中第二表面特征区域内的流动模式不同于第一表面特征区域内的流动模式,每个表面特征区域包含多个工艺微通道内壁的凹陷和 / 或突起形式的表面特征。

42. 根据权利要求 26 所述的方法,其特征在于,所述至少一个带孔部分包含形成所述工艺微通道的一个或多个内壁的部分的内部和覆盖所述带孔部分的内部的表面特征片,表面特征位于所述表面特征片中和 / 或上。

43. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述表面特征包含彼此上下叠放和 / 或以三维模式交叉放置的两层或多层。

44. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述表面特征为圆形、椭圆形、正方形、矩形、方格型、V 形、波状或者其组合。

45. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述表面特征包含亚特征,所述表面特征的主壁进一步含有缺口形、波浪形、锯齿形、穴状、刺状、方格形、扇贝形或其组合的较小的表面特征。

46. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述非牛顿流体为化学反应中的反应物和 / 或产物,所述反应为气-液反应、液-液反应、气-液-液反应、气-液-固反应或者液-液-固反应。

47. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述非牛顿流体为化学反应中的反应物和 / 或产物,所述反应为氧化反应、加氢裂化反应、加氢反应、水合反应、羰基化反应、硫酸化反应、磺化反应、低聚反应或聚合反应。

48. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在催化剂存在的条件下进行所述化学反应。

49. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂包含均相催化剂,或者以固体颗粒物的形式存在,涂覆于所述工艺微通道的一个或多个内表面上面,或者在所述工艺微通道的一个或多个内表面上面生长。

50. 根据权利要求 48 或权利要求 49 所述的方法,其特征在于,所述催化剂包含载体、覆盖所述载体的选择性缓冲层、覆盖所述选择性缓冲层或载体的界面层以及分散于或沉积于所述界面层上的催化剂材料。

51. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂由载体承载,所述载体由含有一种或多种下述物质的材料制成:硅胶、发泡铜、烧结不锈钢纤维、钢丝绒、氧化铝、聚甲基丙烯酸甲酯、多磺酸盐、聚四氟乙烯、铁、镍海绵、尼龙、聚偏氟乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚乙烯基酮、聚乙烯醇、聚醋酸乙烯酯、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚苯硫醚、聚砜、聚丁烯或者其中两种或多种的组合物。

52. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂包含导热材料。

53. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂由具有旁流结构、流过结构、蜂窝结构或蛇形结构的载体承载,其中流过结构允许反应物流过催化剂载体并接触催化剂。

54. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂由载体承载,所述载体以泡沫、毡、填料、翅片、或者其中两种或多种的组合的形式存在。

55. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂由载体承载,所述载体包含含有至少一个翅片的翅片组件。

56. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂由载体承载,所述载体包含微槽承载带。

57. 根据权利要求 48 所述的方法,其特征在于,所述催化剂为梯度催化剂。

58. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法在包含一个或多个入口歧管和多个所述工艺微通道的微通道处理单元内实施,所述方法包括使牛顿流体和 / 或非牛顿流体流过所述一个或多个入口歧管,并分配所述牛顿流体和 / 或非牛顿流体至所述多个工艺微通道,质量指标因数小于 20%。

59. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法在包含多个所述工艺微通道的微通道处理单元内实施,所述方法包括使非牛顿流体在所述多个工艺微通道中流动,所述工艺微通道中的非牛顿流体的剪切率超过 100 秒^{-1} ,剪力偏差系数小于 2。

60. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法在包含入口歧管和多个所述工艺微通道的微通道处理单元内实施,所述方法包括使非牛顿流体流过所述歧管并分配所述非牛顿流体至所述多个工艺微通道,所述非牛顿流体直通式流过所述入口歧管,在所述歧管内不进行任何转向。

61. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法在包含入口歧管和多个所述工

艺微通道的微通道处理单元内实施,所述方法包括使牛顿流体流过所述歧管并分配所述牛顿流体至所述多个工艺微通道,所述牛顿流体流进所述入口歧管,并在进入所述工艺微通道之前在所述入口歧管内至少进行一次转向。

62. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法在包含入口歧管和多个所述工艺微通道的微通道处理单元内实施,所述方法包括使进料流流过所述入口歧管并分配所述流体至所述多个工艺微通道,所述流体流在所述入口歧管内接触流阻。

63. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法在包含入口歧管和多个所述工艺微通道的微通道处理单元内实施,所述方法包括使进料流流过所述入口歧管并分配所述进料流至所述多个工艺微通道,所述进料流流过流动分布特征。

64. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,过程区 3 至过程区 20 在所述工艺微通道内,在两种或多种过程区内发生化学反应。

利用微通道工艺技术处理和 / 或形成一种非牛顿流体的方法

[0001] 根据 35U.S.C. § 119(e), 本申请要求 2006 年 4 月 20 日提交的序列号为 60/793, 519 的美国临时申请的优先权。该临时申请的公开内容通过引用并入本发明中。

技术领域

[0002] 本发明涉及一种利用微通道工艺技术处理和 / 或形成非牛顿流体的方法。

背景技术

[0003] 非牛顿流体是粘度随着剪应力或者剪切率的变化而改变的液体。非牛顿流体可包含聚合物、聚合物溶液、乳液、多相液体混合物等等。这些非牛顿流体可用于药物、粘合剂、食品、个人护理用品、涂层组合物等等。在微通道里处理非牛顿流体时会涉及如下问题: 当非牛顿流体以高流率流动时, 在微通道壁上就产生高速度梯度。这将引起微通道里的高表观粘度和高压降。在本发明的至少一个实施方式中提供了该问题的解决方案。

发明内容

[0004] 本发明涉及一种方法, 该方法包括: 在工艺微通道 (process microchannel) 里的至少两个过程区内进行单元操作以处理和 / 或形成非牛顿流体, 在每个过程区进行一个不同的单元操作; 向非牛顿流体施加有效量的剪应力以减少每个过程区内非牛顿流体的粘度, 其中一个过程区内的平均剪切率与另一个过程区内的平均剪切率相差至少约 1.2 的因子。在至少一个过程区内, 其剪切率可超出约 100 秒^{-1} , 在一个实施方式中可超出约 1000 秒^{-1} 。

[0005] 在至少一个过程区内该工艺微通道可具有收敛性横截面, 通过使非牛顿流体流过收敛性横截面可向非牛顿流体施加剪应力。

[0006] 在至少一个过程区内的一个或多个内表面内和 / 或上, 该工艺微通道可包含表面特征, 通过非牛顿流体流动与表面特征相接触可向非牛顿流体施加剪应力。

[0007] 在至少一个过程区内, 该工艺微通道可包含一个或多个内部结构壁, 通过非牛顿流体流动与一个或多个结构内壁相接触可向非牛顿流体施加剪应力。

[0008] 在至少一个过程区内, 该工艺微通道可包含一个或多个内部障碍物, 通过非牛顿流体流动与一个或多个内部障碍物相接触向非牛顿流体施加剪应力。

[0009] 在至少一个过程区内的一个或多个内表面上, 该工艺微通道可包含含有空穴和 / 或突起的涂层, 通过非牛顿流体流动与该涂层相接触向非牛顿流体施加剪应力。

[0010] 在每个过程区内, 所述单元操作可包括化学反应、化学分离、浓缩、蒸发、加热、冷却、压缩、膨胀、相分离、混合或者上述两种或多种的组合。

[0011] 在两个或多个过程区内, 可进行相同的单元操作。但是, 通道几何形状可以不同以允许工艺流体具有优化的剪应力环境。

[0012] 在每个过程区内, 单元操作可包括加热非牛顿流体、冷却非牛顿流体、通过混合两

种或多种流体形成非牛顿流体、使非牛顿流体与一种或多种其他流体和 / 或固体颗粒物接触和 / 或混合、利用两种或多种流体进行反应以形成非牛顿流体、利用作为反应物的一种或多种非牛顿流体进行反应、压缩非牛顿流体、使非牛顿流体膨胀、浓缩非牛顿流体、蒸发非牛顿流体、从非牛顿流体中分离一种或多种成分或上述两种或多种的组合。

[0013] 在本发明方法中,至少一个过程区内的非牛顿流体的粘度可降至约 10^5 厘泊。

附图说明

[0014] 在所属附图中,相同的部分和特征具有相同的附图标记。许多附图为示意图,其比例可能不准确。

[0015] 图 1 为可用于本发明方法的微通道的示意图。

[0016] 图 2 为可用于本发明方法的微通道的替代实施方式的示意图。该微通道可被认为具有收敛性横截面。

[0017] 图 3 为可用于处理非牛顿流体的微通道处理单元的示意图。

[0018] 图 4-12 为可用于图 3 所示微通道处理单元内的微通道重复单元的示意图。这些重复单元包含工艺微通道和热交换通道,热交换通道与工艺微通道相邻并热接触(图 7 示出了两个相邻的工艺微通道,热交换通道与其中一个工艺微通道相邻并热接触、与另一个工艺微通道热接触。)。工艺微通道包含内表面特征和 / 或收敛性横截面,以向非牛顿流体施加剪应力。这些重复单元可用于与非牛顿流体交换热。利用均相催化剂可使它们用于进行化学反应,其中非牛顿流体作为反应物和 / 或产物。

[0019] 图 13 为可用于图 3 中示出的微通道处理单元的微通道重复单元的示意图。该重复单元包含工艺微通道、分批加入通道、位于工艺微通道与分批加入通道之间的带孔部分以及热交换通道。该重复单元可用于混合乳液或多相液体混合物,或利用均相催化剂进行化学反应。

[0020] 图 14 为图 13 所示微通道重复单元的替代实施方式的示意图,其中,第一重复部分和第二重复部分处于互邻位置,第一重复部分包含第一工艺微通道、第一分批加入通道和第一带孔部分,第二重复部分包含第二工艺微通道、第二分批加入通道和第二带孔部分。热交换通道与第一重复部分相邻并热接触,并与第二重复部分热接触。

[0021] 图 15 为包含工艺微通道和相邻的热交换通道的重复单元的示意图。该重复单元可用于图 3 所示的微通道处理单元内。该工艺微通道含有包含催化剂的反应区。位于催化剂上游的工艺微通道内壁包含将剪应力施加于非牛顿流体的表面特征。图 15 所示催化剂以固体颗粒物床层的形式存在。但是,本说明书中述及的任何催化剂形式均可用于图 15 所示的工艺微通道。

[0022] 图 16 为可用于图 3 所示的微通道处理单元的、包含工艺微通道和相邻的热交换通道的重复单元的示意图。该工艺微通道含有包含催化剂的反应区。催化剂置于工艺微通道的其中一个内壁之上。相对于催化剂的工艺微通道内壁包含用于向非牛顿流体施加剪应力的表面特征。

[0023] 除了其中置有催化剂的工艺微通道内壁还包括用于向非牛顿流体施加剪应力的表面特征、这些表面特征位于催化剂上游之外,图 17 为类似于图 16 所示的重复单元的重复单元示意图。

[0024] 除了图 18 不包括位于图 17 所示催化剂下游的表面特征之外,图 18 为类似于图 17 所示的重复单元的重复单元示意图。

[0025] 图 19 为可用于图 3 所示的微通道处理单元的、包含工艺微通道和相邻热交换通道的重复单元的示意图。该工艺微通道具有收敛性的横截面。以固体颗粒物床层形式存在的催化剂置于工艺微通道里。但是,本说明书中述及的任何催化剂形式,均可用于图 19 所示的工艺微通道。

[0026] 除了该工艺微通道包括两部分、其中一部分具有收敛性横截面、而另一部分具有非收敛性横截面之外,图 20 为类似于图 19 所示的重复单元的重复单元示意图。以固体颗粒物床层形式存在的催化剂,置于具有非收敛性横截面的工艺微通道的一部分中。二者择一地,该催化剂不是以固体颗粒物床层形式存在,而是以本发明中所述的其他任何形式存在。

[0027] 除了催化剂置于具有收敛性横截面的工艺微通道的一部分中之外,图 21 为类似于图 20 所示的重复单元的重复单元示意图。

[0028] 除了催化剂部分地置于具有收敛性横截面的部分中且部分地置于具有非收敛性横截面的部分中之外,图 22 为类似于图 20 所示的重复单元的重复单元示意图。

[0029] 图 23 为可用于图 3 所示微通道处理单元内的重复单元的示意图。该重复单元包含工艺微通道和分批加入通道。带孔部分置于工艺微通道和分批加入通道之间。热交换通道与工艺微通道相邻放置。工艺微通道含有反应区和混合区。混合区位于反应区的上游。工艺微通道包括向非牛顿流体施加剪应力的表面特征。表面特征位于沿工艺微通道的长度的其中一个工艺微通道的内壁上或中。催化剂置于反应区内。图 23 所示的催化剂以固体颗粒物床层的形式存在。但是,催化剂可以是本说明书中述及的任何形式。进料流在工艺微通道里流动。分批加入的流自分批加入通道流过带孔部分而进入工艺微通道里,在此,其与混合区内的进料流接触以形成反应混合物。反应混合物在反应区内流动,并反应形成产物。

[0030] 除了分批加入进料流的部分与混合区内的进料流相接触、部分与反应区内的进料流相接触之外,图 24 为与图 23 所示的重复单元相同的重复单元的示意图。

[0031] 除了分批加入进料流与反应区内的进料流相接触之外,图 25 为类似于图 23 所示的重复单元的重复单元的示意图。此外,表面特征位于催化剂上游的工艺微通道的相对内壁上和 / 或中。

[0032] 除了图 26 所示的重复单元含有两套相邻的工艺微通道、分批加入通道和带孔部分之外,图 26 为类似于图 25 所示的重复单元的重复单元示意图。其中的一套与热交换通道相邻并热接触,而另一套与热交换通道热接触。

[0033] 图 27 为热处理之前多孔不锈钢基板的扫描电镜 (SEM) 图像。该基板用于制作带孔部分,该带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。

[0034] 图 28 为热处理之后如图 27 所示基板的 SEM 图像。该基板用于制作带孔部分,该带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。

[0035] 图 29 为可用于制作带孔部分的特制的多孔基板的 SEM 图像,所述带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。

[0036] 图 30 为可用于制作带孔部分的带孔片的平面示意图。所述带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。

[0037] 图 31 为可用于制作带孔部分的带孔片或板的平面示意图。所述带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。

[0038] 图 32 为可用于制作带孔部分的覆盖相对厚的带孔片或板的相对薄的带孔片的示意图。所述带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。

[0039] 图 33 为可用于制作带孔部分的覆盖相对厚的带孔片或板的相对薄的带孔片的示意图。所述带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。该相对薄的片具有透过工艺微通道中的凸出部分。

[0040] 图 34 为可用于带孔部分的孔的替代实施方式的示意图。该带孔部分可用于提供位于分批加入通道和相邻工艺微通道之间的流动。该孔具有部分地填充该孔且覆盖其侧壁的涂层。

[0041] 图 35 为可用于本发明方法的工艺微通道的反应区的示意图,该反应区包含具有填充床结构的催化剂。

[0042] 图 36 为可用于本发明方法的工艺微通道的反应区的示意图,该反应区包含具有旁流结构的催化剂。

[0043] 图 37 为可用于本发明方法的工艺微通道的反应区的示意图,该反应区包含具有流过结构的催化剂。

[0044] 图 38 为可用于本发明方法的工艺微通道的示意图,该工艺微通道含有包含多个翅片的翅片组件,催化剂负载于翅片上。

[0045] 图 39 为图 38 所示的工艺微通道和翅片组件的一个替代实施方式的示意图。

[0046] 图 40 为图 38 所示的工艺微通道和翅片组件的另一个替代实施方式的示意图。

[0047] 图 41 为可用于承载本发明方法中所用的催化剂的微槽承载带的示意图,该承载带包含顶面、底面、前边、后边和侧边。微槽形成于顶面内。微槽可通过承载带部分地渗透或全部地渗透。微槽通过承载带的全部渗透可使得流体沿自顶面至底面的方向流过微槽,或流体沿自底面至顶面的方向流过微槽。

[0048] 图 42(a) 为可用于图 3 所示的微通道处理单元的工艺微通道的示意图。该工艺微通道含有如图 41 所示的微槽承载带,该微槽承载带适于承载催化剂。图 42(b) 为沿图 42(a) 所示的线 (b)-(b) 剖切的图 42(a) 所示的工艺微通道的剖面图。

[0049] 图 43 为可用于图 3 所示微通道处理单元的工艺微通道的示意图。除了图 43(a) 所示的工艺微通道含有相对的内壁和负载于置于各个相对的内壁之上的微槽承载带的催化剂之外,该工艺微通道类似于图 42(a) 所示的工艺微通道。图 43(b) 为沿图 43(a) 所示的线 (b)-(b) 剖切的图 43(a) 所示的工艺微通道的剖面图。

[0050] 图 44 为并排放置的形成复合载体结构的多个微槽承载带的示意图,每个微槽承载带的前边和后边开口,足以使流体流过这些边。在每个承载带中的微槽穿透承载带,足以使流体自一个承载带流过承载带至另一个承载带。复合载体结构可用于本发明所述的工艺微通道的反应区。

[0051] 图 45 为图 44 所示复合载体结构的分解图的示意图。图 45 所示的载体结构包含以交替次序并排放置的四个第一微槽承载带和四个第二微槽承载带。每个承载带中的微槽穿透承载带,足以使流体自一个承载带流过承载带至另一承载带。第一微槽承载带采用朝向承载带的前边和第一侧边、与承载带的中心轴形成一定角度的微槽,该角度大于约 0° 而小

于 90° , 例如, 介于自约 60° 至约 80° 的范围之内。第二微槽承载带采用朝向承载带的前边和第一侧边、与承载带的中心轴形成一定角度的微槽, 该角度大于 90° 而小于约 180° , 例如, 介于自约 100° 至约 120° 的范围之内。

[0052] 图 46 和图 47 为可用于本发明方法所使用的微通道内的表面特征的示意图。

[0053] 图 48 为具有前表面或第一表面和后表面或第二表面的垫片以及形成于每一表面内的槽或微槽的示意图。在前表面或第一表面内的槽或微槽与后表面或第二表面内的槽或微槽相交叉, 结果形成了通过垫片内的孔或开口的多个空穴。通过孔或开口的空穴可称之为表面特征。

[0054] 图 49 为包含图 48 所示的多个垫片的复合结构的分解图的示意图。

[0055] 图 50 和图 51 为可用于容纳根据本发明所提供的微通道处理单元的加压容器的示意图。

[0056] 图 52 为作为剪切稀化流体的剪切率的函数的粘度的图示。

[0057] 图 53 为用于下述预测压降的试验中的试验装置的示意图。

[0058] 图 54 为用于下述预测压降的试验中的、以表示压力传感器的校准曲线的图示。

[0059] 图 55 为利用 Brookfield 粘度计测量的作为非牛顿流体的剪切率的函数的粘度的图示。

[0060] 图 56 为去离子水、作为牛顿流体的去离子水的试验压降和预测压降进行比较的图示。

[0061] 图 57 为利用 Brookfield 粘度计所测得信息对低粘度非牛顿流体的试验压降和预测压降进行比较的图示。

[0062] 图 58 为利用 Brookfield 粘度计所测得信息对中粘度非牛顿流体的试验压降和预测压降进行比较的图示。

[0063] 图 59 为利用 Brookfield 粘度计所测得信息对高粘度非牛顿流体的试验压降和预测压降进行比较的图示。

[0064] 图 60 为利用新的 k 值和 n 值对低粘度流体的试验压降和预测压降进行比较的图示。

[0065] 图 61 为微通道内幂律流体的粘度与剪应力比值关系的理论行为的图示。

[0066] 图 62 和图 65-67 为可用于本发明方法的微通道处理单元的示意图。

[0067] 图 63 为可用于形成图 62 所示的微通道处理单元的、可用于制作重复单元的一对垫片和一个孔板的示意图。

[0068] 图 64 为可用于本发明方法的流动分配特征的示意图。

[0069] 图 68 为具有两个过程区的工艺微通道的示意图。

[0070] 图 69 为具有多个过程区的工艺微通道的示意图。

具体实施方式

[0071] 本说明书中的所有范围和比值限定均可进行组合。可以理解为, 除非有其他特别说明, “a”、“an” 和 / 或 “the” 所指代的可包括一或大于一, 单数的指代项也可包括复数的指代项。

[0072] 术语“微通道”可指至少一高或宽的内部尺寸达约 10 毫米 (mm) 的通道, 在一个实

实施方式中达约 5mm, 在一个实施方式中达约 2mm, 在一个实施方式中达约 1mm。该微通道可包含至少一个入口和至少一个出口, 其中所述至少一个入口不同于所述至少一个出口。该微通道可不仅仅是孔。该微通道可不仅仅是通过分子筛或介孔材料的通道。图 1 所示为可用于本发明方法的微通道的实例。参照图 1, 所示微通道具有高 (h)、宽 (w) 和长 (l), 或在相对的方向具有。流体可以沿箭头所示方向流过微通道。高 (h) 和宽 (w) 都垂直于微通道内流体的总体流动方向。该高度可称之为间隙。该微通道的高 (h) 或宽 (w) 可介于约 0.05 至约 10mm 的范围, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 5mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 2mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1.5mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.75mm, 在一个实施方式中自约 0.05 至约 0.5mm。高 (h) 或宽 (w) 的其他尺寸可为任何尺寸, 例如, 达约 3m, 在一个实施方式中约 0.01m 至约 3m, 在一个实施方式中约 0.1m 至约 3m。该微通道的长 (l) 可为任何尺寸, 例如, 达约 10m, 在一个实施方式中自约 0.1m 至约 10m, 在一个实施方式中自约 0.2m 至约 10m, 在一个实施方式中自约 0.2m 至约 6m, 在一个实施方式中自约 0.2m 至约 3m。虽然图 1 所示的微通道具有矩形的横截面, 但是可以理解为, 该微通道可以具有任何形状的横截面, 例如, 正方形、圆形、半圆形、梯形等。该微通道的横截面的形状和 / 或尺寸可以随其长度变化。例如, 其高或宽可随该微通道的长度由相对较大的尺寸逐渐变小为相对较小的尺寸, 也可随该微通道的长度由相对较小的尺寸逐渐变大为相对较大的尺寸。详述见图 2。

[0073] 图 2 所示的微通道可以是图 1 所示微通道的一种替代实施方式。图 2 所示微通道具有由最大值变为最小值的横截面面积。最小的横截面面积可在微通道的出口处, 最大的横截面面积可在入口处。该微通道可称之为具有“变窄的横截面”。该微通道可称之为具有“收敛的横截面”的微通道。图 2 所示的微通道可称之为梯形微通道。该微通道具有两个尺寸的高度, 一个是最小尺寸 (h^1), 而另一个是最大尺寸 (h^2)。该高度自 h^1 至 h^2 逐渐增大。二者择一地, 该微通道可具有形状为圆形、椭圆形、三角形等的横截面。该微通道具有介于约 0.05mm 至约 10mm 范围的至少一个尺寸的高 (h^1), 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 5mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 2mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1.5mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.75mm, 在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.5mm。宽 (w) 可为任何尺寸, 例如, 达约 3m, 在一个实施方式中自约 0.01m 至约 3m, 在一个实施方式中自约 0.1m 至约 3m。长 (l) 可为任何尺寸, 例如, 达约 10m, 在一个实施方式中自约 0.1m 至约 10m, 在一个实施方式中自约 0.2m 至约 6m。其最大横截面面积可至少约为其最小横截面面积的两倍 (2X), 在一个实施方式中为至少约 5 倍 (5X), 在一个实施方式中为至少约最小横截面面积的 20 倍 (20X)。当流体沿着图 2 所示方向的微通道内的线性流动路径流动时, 该微通道内流动流体的线速度 (或反应物与催化剂之间的局部接触时间) 可增大。沿箭头所示方向的该微通道内流动的非牛顿流体可能经受增大的剪切力, 结果导致粘度的降低。通过引用将 WO 03/099429A1 所公开的带有变化的横截面面积的微通道的内容合并于本发明中。

[0074] 术语“单元操作”可指进行下述操作时的工艺和 / 或装置或其两种或多种的组合: 化学反应、化学分离 (包括吸收、吸附、蒸馏、萃取)、浓缩、蒸发、蒸馏、加热、冷却、压缩、膨胀、相分离、混合。

[0075] 术语“微通道处理单元”可指包含处理非牛顿流体的至少一种工艺微通道的装置。

非牛顿流体的处理可包含进行一种或多种单元操作。其可包含加热流体、冷却流体、通过混合两种或多种流体形成流体（可以是非牛顿流体，也可以不是非牛顿流体）、使该流体与另一种流体接触（可以是非牛顿流体，也可以不是非牛顿流体），利用作为反应物的一种或多种非牛顿流体进行反应、通过一种或多种流体的反应形成非牛顿流体（可以是非牛顿流体，也可以不是非牛顿流体）、从非牛顿流体中分离该非牛顿流体的一种或多种成分，或者上述两种或多种的组合。该微通道处理单元可包含可平行操作的多个工艺微通道、供流体流入工艺微通道的集管或歧管、供流体流出工艺微通道的底管或歧管。该微通道处理单元可包含一个或多个分批加入通道，例如与一个或多个工艺微通道相邻放置的分批加入微通道。该微通道处理单元可包含一个或多个热交换通道，例如与工艺微通道相邻和 / 或热接触、以冷却和 / 或加热工艺微通道内含物的热交换微通道。

[0076] 术语“工艺微通道”可指在其中进行处理的微通道。该处理可涉及上述任何单元操作。

[0077] 术语“过程区”可指工艺微通道内的进行一个或多个单元操作的区域。

[0078] 术语“微通道反应器”可指包含用于进行反应的一个或多个工艺微通道的装置。该微通道反应器可包含可平行操作的多个微通道、供流体流入工艺微通道的集管或歧管、供流体流出工艺微通道的底管或歧管。该微通道反应器可包含一个或多个分批加入通道，例如与一个或多个工艺微通道相邻放置的分批加入微通道。该微通道反应器可包含一个或多个热交换通道，例如与工艺微通道相邻和 / 或热接触、以冷却和 / 或加热工艺微通道内含物的热交换微通道。

[0079] 术语“结构壁”或“SW”可指通道内壁，例如其表面上放置或固定有一个或多个带或垫片的微通道壁。该带或垫片可含有一个或多个空隙空间、开口或透孔。例如，参见图 48-49。这些可称之为表面特征。两层或多层带或垫片可一层叠于另一层之上或并排放置，以提供一种置于或固定于通道壁之上的多孔结构。开口的总体流动区域或间隙可置于与结构壁相邻的工艺微通道内。

[0080] 术语“结构壁反应器”可指包含至少一种工艺微通道的微通道反应器，其中所述工艺微通道含有一种或多种结构壁。可由一种或多种该结构壁承载催化剂。开口的总体流动区域或间隙可置于与结构壁相邻的工艺微通道内。

[0081] 关于工艺微通道内容积的术语“容积”可包括工艺流体可流过或旁流 (flow by) 的工艺微通道内的所有容积。该容积可包括微槽承载体的微槽内的容积，该承载体可置于工艺微通道内并适于流体以流过或流经的方式流动。该容积可包括表面特征内的容积，该表面特征可置于工艺微通道内并适于流体以流过或旁流的方式流动。

[0082] 术语“垫片”可指平的或基本上是平的薄片或板。该垫片的厚度可以是该垫片的最小尺寸并可达约 2mm，在一个实施方式中介于约 0.05mm 至约 2mm 的范围内，在一个实施方式中介于约 0.05mm 至约 1mm 的范围内，在一个实施方式中介于约 0.05mm 至约 0.5mm 的范围内。该垫片可具有任何的长和宽。

[0083] 术语“表面特征”可指微通道壁内的凹陷和 / 或从微通道壁伸出的突起，所述突起调节微通道内的流动和 / 或混合。该表面特征可以是圆形、球形、平截头体、椭圆形、正方形、矩形、带角矩形、方格型、V 形、叶片状、翼型、波状等。该表面特征可含有亚特征，其中该表面特征的主壁进一步含有较小的表面特征，所述较小的表面特征可以为切口形、波浪形、

锯齿形、穴状、刺状、方格形、扇贝状等。该表面特征可具有深度、宽度,对于非圆形表面特征来说可具有长度。图 46-47 中示出了实例。该表面特征可形成于本发明所使用的工艺微通道的一个或多个内壁的上面或里面。该表面特征可形成于本发明所使用的热交换通道的一个或多个内壁的上面或里面。该表面特征可称为钝化 (passive) 表面特征或钝化混合特征。该表面特征可用于干扰层流流线型,并产生与总体流动方向呈一个角度的平流。此可增强流体成分间或流体成分与催化剂之间的接触。该表面特征可包含形成于结构壁内的空穴和 / 或突起,例如,参见图 48-49。

[0084] 术语“微槽”可指深度达约 1000 微米的基板内的槽,在一个实施方式中介于约 1 至约 1000 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 1 至约 500 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 1 至约 100 微米的范围内。该微槽可经过该微槽的部分或全部长度而全部渗透通过基板。该微槽可仅部分地通过该基板。可在渗入该基板的最深点测得该微槽的深度。该微槽的宽度可达约 1000 微米,在一个实施方式中介于约 0.1 至约 1000 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 1 至约 500 微米的范围内。该宽度可以是该微槽最宽点测得的宽度。该微槽可以具有任何长度,例如达约 100cm,在一个实施方式中约 0.1 至约 100cm,在一个实施方式中约 0.1 至约 10cm。该微槽可具有任何形状的横截面。其实例包括正方形、矩形、V 形、半圆形、燕尾形、梯形等。该微槽的横截面的形状和 / 或尺寸可随微槽的长度变化。

[0085] 当术语“相邻的”用于描述一个通道的位置相对于另一通道的位置时,其可以指直接地相邻,从而一个壁将两个通道分开。该壁的厚度可变化。但是,“相邻的”通道不可由会干扰通道间热传递的介入通道分开。

[0086] 术语“热接触”可指两个主体,例如通道,二者不必相互接触或相邻,但仍可以相互换热。因此,例如与另一主体热接触的一个主体可加热或冷却该另一主体。

[0087] 术语“总体流动区域”可指工艺微通道内的开放区域。连续的 (contiguous) 总体流动区域可使得快速流体流过工艺微通道而不出现明显压降。在一个实施方式中,在总体流动区域内可以有层流。总体流动区域可包含至少约 5%,在一个实施方式中约 30% 至约 80% 的工艺微通道的内部容积或工艺微通道的横截面面积。

[0088] 术语“总体流动方向”可指流体在通道内的开路所流过的向量。

[0089] 术语“停留时间”,也可称之为“平均停留时间”,是指由流过通道的流体所占有的通道的内部容积除以在使用温度和压强下流过通道的流体的平均体积流量。

[0090] 术语“上游”和“下游”可指在通道内 (例如工艺微通道) 的相对于通道内流体流的流动方向的位置。例如,一部分流体流流向但仍未到达的通道内的位置为那部分流体流的下游。一部分流体流已流过的通道内的位置将是那部分流体流的上游。术语“上游”和“下游”不一定指的是垂直位置,因为本发明中所使用的通道可设置为水平方向、垂直方向或一定的倾斜角度。

[0091] 术语“标准立方英寸”或“标准立方米”可指在温度为 20℃ 和常压下所测得的体积。

[0092] 术语“标升”可指在温度为 20℃ 和常压下所测得的体积。

[0093] 术语“表压”可指绝对压强,其小于常压。例如,零大气压的表压对应于常压。但是,在该全文和所附权利要求中,除非有其他说明,所有的压强是指绝对压强。

[0094] 术语“周期”可指反应物通过工艺微通道的单次通过。

[0095] 术语“每小时每克催化剂的毫升数”可指每小时每克催化剂所生成的产物的体积

(ml), 其中催化剂的克数指的是催化剂中的催化物质而不是可能存在的任何载体。

[0096] 术语“收率”可指反应物转化为特定产物的摩尔数除以所转化的反应物的摩尔数。收率可由反应物的转化率乘以所涉及的 (in question) 产物的选择率计算得知。

[0097] 用于描述在通道内流动的流体的速率的术语“表观流速”可指在标准气压和温度下的体积流率除以通道的开口 (open) 横截面面积。

[0098] 术语“不混溶的”可指一种液体不溶于另一种液体, 或者在 25℃ 每升仅可溶至约 1 毫升的程度。

[0099] 术语“水不溶性”可指在 25℃ 不溶于水的材料, 或者在 25℃ 每升仅可溶至约 0.1g/ml 的浓度。

[0100] 术语“流体”可指气体、液体、含有固体分散体的气体或液体、含有液滴的气体、含有气泡的液体、含有液滴和固体分散体的气体, 或含有气泡和固体分散体的液体。

[0101] 术语“多相混合物”可指含有两相或多相的组分。该多相混合物可包含连续液相以及分散于该连续液相中的一种或多种不连续液相、气相和 / 或固相 (例如固体颗粒)。该多相混合物可以是乳液。

[0102] 术语“乳液”可指含有连续液相和分散于该连续液相中的一种或多种不连续液相的组分。该乳液可包括分散于一种或多种该液相中的一种或多种气相和 / 或固相。

[0103] 术语“热源”可指散发热量并可用于加热另一种物质或装置的物质或装置。该热源可以是其中含有热交换流体的热交换通道的形式, 所述热交换通道将热传递到另一种物质或装置; 例如, 所述另一种物质或装置可以是与热交换通道相邻或热接触的通道。该热交换流体可在热交换通道内和 / 或可流过该热交换通道。该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。

[0104] 术语“热沉”可指吸热并可用于冷却另一物质或装置的物质或装置。该热沉可以是其中含有热交换流体的热交换通道的形式, 所述热交换通道吸收从另一种物质或装置传递的热; 例如, 该另一种物质或装置可以是与热交换通道相邻或热接触的通道。该热交换流体可在热交换通道内和 / 或可流过该热交换通道。该热沉可以是冷却元件的形式, 例如非流体冷却元件。

[0105] 术语“热源和 / 或热沉”可指可以散热或吸热的物质或装置。该热源和 / 或热沉可以是其中含有热交换流体的热交换通道的形式, 当另一物质或装置待加热时所述热交换通道传热至与热交换通道相邻或热接触的该另一物质或装置, 或者当另一物质或装置待冷却时所述热交换通道吸收与热交换通道相邻或热接触的该另一物质或装置所传递的热。用作热源和 / 或热沉的热交换通道有时可用作加热通道而有时可用作冷却通道。热交换通道的一部分或数部分可用作加热通道, 同时热交换通道的另一部分或数部分可用作冷却通道。

[0106] 术语“热交换通道”可指可散热和 / 或吸热的其中含有热交换流体的通道。该热交换通道可以是微通道。

[0107] 术语“传热壁”可指工艺微通道与相邻的热交换通道间的共用壁, 其中热从一个通道通过共壁传递至另一个通道。

[0108] 术语“热交换流体”可指可以散热和 / 或吸热的流体。

[0109] 当术语“相邻的”用于描述一个通道的位置相对于另一通道的位置时可以指直接地相邻, 从而一个壁可把两个通道分开。该壁的厚度可变化。但是, “相邻的”通道不会由会

干扰通道间热传递的介入通道分开。

[0110] 术语“热接触”可指两个主体,例如通道,二者不必相互接触或相邻,但仍可以相互交换热。因此,例如与另一主体热接触的一个主体可加热或冷却该另一主体。

[0111] 术语“停留时间”,也可称作“平均停留时间”,是指由流过通道的流体所占有的通道的内部容积除以在使用温度和压强下流过通道的流体的平均体积流量。

[0112] 术语“梯度催化剂”可指具有一个或多个催化活性梯度的催化剂。该梯度催化剂可以具有变化的浓度或表面积的催化活性金属。该梯度催化剂可具有变化的周转率的催化活性位点。该梯度催化剂可具有物理性能和 / 或作为距离的函数而变化的形式。例如,该梯度催化剂在工艺微通道入口处可具有相对较低的活性金属浓度,而接近该工艺微通道出口处增至较高的浓度,或在工艺微通道入口处可具有相对较高的活性金属浓度,而接近该工艺微通道出口处降至较低的浓度;或者越接近工艺微通道的中心(即中点)催化活性金属的浓度越低,越接近工艺微通道壁催化活性金属的浓度越高,或越接近工艺微通道的中心(即中点)催化活性金属的浓度越高,越接近工艺微通道壁催化活性金属的浓度越低。梯度催化剂的热导率从工艺微通道内的一个位置至另一位置可以改变。通过改变恒定表面积载体上的催化剂活性金属部位的尺寸、或者通过改变该载体的表面积诸如改变载体类型或粒度可以改变梯度催化剂的表面积。梯度催化剂可具有多孔载体,在每处涂覆相同催化剂涂层之后,其中载体的表面积与其体积的比率在工艺微通道的不同部分更高或更低。可以组合使用两种或多种上述实施方式。该梯度催化剂可含有单一的催化成分或多重的催化成分(例如双金属或三金属催化剂)。作为距离的函数,该梯度催化剂自工艺微通道的一个位置至另一位置可逐渐改变其性能和 / 或成分。该梯度催化剂可包含在每一颗粒内有“蛋壳”分布的催化活性金属的凸缘式颗粒(rimmed particles)。该梯度催化剂可在轴向方向沿工艺微通道的长度或沿横向呈梯度分布。自工艺微通道的一个位置至另一位置,该梯度催化剂可含有不同的催化剂组分、不同负载和 / 或许多催化活性位。通过改变催化剂结构的孔隙度,可改变催化活性位的数目。这可通过利用涂覆变化量的催化物质的洗覆工艺完成。在一个实例中沿工艺微通道的长度使用不同厚度的多孔催化剂,由此所需活性越高的地方可存留的多孔结构越厚。也可利用厚度固定或变化厚度的多孔催化剂的孔隙度的变化。与用于流动的开放区域或间隙相邻处可使用第一孔尺寸,而与工艺微通道壁相邻处可使用至少一第二孔尺寸。

[0113] 术语“碳氢化合物”可指纯粹的碳氢化合物;即脂肪族化合物(例如烷烃或烯烃)、脂环族化合物(例如环烷烃、环烯烃)、芳香族化合物、脂肪烃和脂环烃取代的芳香族化合物、芳香烃取代的脂肪族化合物、芳香烃取代的脂环族化合物等。实例可包括甲烷、乙烷、乙烯、丙烷、丙烯、环己烷、乙基环己烷、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯等。术语“碳氢化合物”可指取代的碳氢化合物;即含有非碳氢化合物取代物的碳氢化合物。非碳氢化合物取代物的实例可包括羟基、酰基、硝基等。术语“碳氢化合物”可指杂取代碳氢化合物;即在链或环上含有非碳原子而在其他位置含有碳原子的碳氢化合物。杂原子的实例可包括,例如氮、氧和硫。在碳氢化合物中,每十个碳原子中存在的取代物或杂原子可以为:在一个实施方式中,不超过约 3 个,在一个实施方式中,不超过约 1 个。

[0114] 术语“mm”可指毫米。术语“nm”可指纳米。术语“ms”可指毫秒。术语“ μm ”可指微米或千分之一毫米。术语“微米”和“千分之一毫米”具有相同的意思,可以互用。

[0115] 本发明方法中所处理和 / 或所形成的非牛顿流体可包含呈现非牛顿特性的任何流体聚合物或聚合物组合物 (例如聚合物溶液)。该非牛顿流体可包含一种或多种聚合物或聚合物溶液。该非牛顿流体可包含一种或多种熔化的聚合物。该聚合物可与水或有机溶剂或分散介质组合。该非牛顿流体可包含呈现非牛顿特性的多相混合物或乳液。该多相混合物或乳液可包含一种或多种聚合物。该溶液、多相混合物和 / 或乳液可包含含水组合物。

[0116] 该聚合物可包含一种或多种均聚物、共聚物、三元共聚物等。该聚合物可包含源自一种或多种可聚合单体的重复单元,该单体包括烯烃 (例如乙烯、丙烯、异丁烯等)、环烯烃、二烯类 (例如丁二烯、异戊二烯、氯丁二烯)、醚类、酯类、胺类、羧酸酯类、醋酸酯类、丙烯酸类、甲基丙烯酸类、丙烯酸酯类、甲基丙烯酸酯类 (例如甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酸甲酯)、乙烯基醋酸酯、苯乙烯、乙烯类 (例如氯乙烯)、偏二烯类 (例如偏二氯乙烯、偏二氟乙烯)、丙烯腈、氰基丙烯酸酯 (例如甲基氰基丙烯酸酯)、四氟乙烯,以及其中两种或多种的组合物。该聚合物可包含一种或多种热塑性树脂。

[0117] 该聚合物可包含一种或多种聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、橡胶改性聚苯乙烯、苯乙烯-丁二烯共聚物、乙烯聚合物和共聚物、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS) 共聚物、聚甲基丙烯酸甲酯、聚羧酸酯类等。

[0118] 该聚合物可包含一种或多种共聚物、三元共聚物等,其源自乙烯和 / 或丙烯以及一种或多种功能性单体,例如丙烯酸烷基酯、丙烯酸、烷基丙烯酸、乙烯基醋酸酯等。这些实例可包括乙烯 / 丙烯醋酸酯共聚物、乙烯 / 甲基丙烯酸酯共聚物、乙烯 / 乙基丙烯酸酯共聚物、乙烯 / 丁基丙烯酸酯共聚物、乙烯 / 甲基丙烯酸共聚物、乙烯 / 丙烯酸共聚物、含有钠或锌的乙烯 / 甲基丙烯酸共聚物 (也称为离子聚合物),酸、酐或丙烯酸酯改性乙烯 / 乙烯醋酸酯共聚物、酸或酐改性乙烯 / 丙烯酸酯共聚物、酐改性聚乙烯,以及其中两种或多种的混合物。

[0119] 该聚合物可包含一种或多种天然橡胶、再生橡胶、合成橡胶等。该聚合物可包含一种或多种聚异戊二烯、聚氯丁二烯、苯乙烯丁二烯橡胶、增粘性天然或合成橡胶、苯乙烯丁二烯或苯乙烯异戊二烯嵌段共聚物,乙烯和乙烯基醋酸酯的无规共聚物、乙烯-乙烯-丙烯酸三元共聚物、聚异丁烯、聚 (乙烯醚)、聚 (丙烯酸) 酯等。

[0120] 该聚合物可包含丙烯酸与一种或多种聚烯基聚醚交联的一种或多种均聚物或共聚物。这些反应物可从美国诺誉公司 (Noveon) 得到,其商品名称为 Carbopol。

[0121] 应用本发明方法进行处理和 / 或所形成的非牛顿流体可包含呈现非牛顿特性的任何多相流体混合物。该多相流体混合物可以是乳液。该多相流体混合物可包含可不互溶的两种或多种液体。可包括与其它液体中的一种或两种不互溶的第三种液体。每种液体可以是有机、含水的或其组合物。例如,一种液体可包含苯而另一种液体可包含甘油。其中一种液体可以是离子液体 (例如 1-丁基-3-甲基咪唑啉) 而另一种可以是有机液体。其中一种液体可包含水,而另一种液体可包含诸如油的疏水性有机液体。该多相流体混合物可包含油包水型 (w/o) 或水包油型 (o/w) 乳液。该多相流体混合物可包含双重乳液,例如水 / 油 / 水乳液 (w/o/w) 或油 / 水 / 油 (o/w/o) 乳液。尽管该有机材料可以是或不是油,术语“油”可用作指代多相流体混合物的有机相。其中一种液体存于多相流体混合物中的浓度可介于约 0.1 重量%至约 99.9 重量%的范围内,在一个实施方式中为约 1 重量%至约 99 重量%,在一个实施方式中为约 5 重量%至约 95 重量%,另一种流体弥补其差额。第三

液体在使用时存于多相流体混合物的浓度可达至约 50 重量%，在一个实施方式中为约 0.1 重量%至约 20 重量%，在一个实施方式中为约 0.5 重量%至约 10 重量%。

[0122] 多相流体混合物中的液体的一种或多种可包含一种或多种液态烃。这些液态烃可包括天然油、合成油、或其混合物。该天然油可包括动物油和植物油（例如，蓖麻油、猪油）以及矿物油。该天然油可包括源自煤或页岩的油。该油可以是源自三酸甘油酯类的可皂化油，例如大豆油、芝麻油、棉籽油、红花油等。该油可以是硅油。该油可以是脂肪族或环烷烃碳氢化合物，诸如凡士林、海蛟、角鲨烯、或者一种或多种二烷基环己烷，或者上述两种或多种的混合物。合成油可包括烃油，诸如聚合和互聚烯烃（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）等和其混合物；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（例如二苯、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、类似物及其同类物等。通过酯化、醚化等进行端羟基改性的烯烃氧化物的聚合物和互聚物及其衍生物是可用的合成油。该合成油可包含聚- α -烯烃或费-托合成碳氢化合物。该油可包含正常的液态烃燃料，例如，诸如由美国试验材料协会标准规范 D439 (ASTM Specification D439) 所定义的车用汽油、或者由美国试验材料协会标准规范 D396 所定义的柴油或燃料油的蒸馏燃料。

[0123] 该多相流体混合物可包含一种或多种脂肪醇、脂肪酸酯或其混合物。该脂肪醇可以是格尔伯特 (Guerbet) 醇。该脂肪醇可含有约 6 至约 22 个碳原子，在一个实施方式中为约 6 至约 18 个碳原子，在一个实施方式中为约 8 至约 12 个碳原子。该脂肪酸酯可以是直链上含约 6 至约 22 个碳原子的直链脂肪酸的酯、或者是含约 6 至约 22 个碳原子的支链脂肪醇，直链上含约 6 至约 13 个碳原子的支链羧酸的酯、或者是含约 6 至约 22 个碳原子的支链脂肪醇，或其混合物。实例包括十四烷基肉豆蔻酸酯、十四烷基棕榈酸酯、十四烷基硬脂酸酯、十四烷基异硬脂酸酯、十四烷基油酸酯、十四烷基山萘酸酯、十四烷基芥酸酯、十六烷基肉豆蔻酸酯、十六烷基棕榈酸酯、十六烷基硬脂酸酯、十六烷基异硬脂酸酯、十六烷基油酸酯、十六烷基山萘酸酯、十六烷基芥酸酯、十八烷基肉豆蔻酸酯、十八烷基棕榈酸酯、十八烷基硬脂酸酯、十八烷基异硬脂酸酯、十八烷基油酸酯、十八烷基山萘酸酯、十八烷基芥酸酯、异十八烷基肉豆蔻酸酯、异十八烷基棕榈酸酯、异十八烷基硬脂酸酯、异十八烷基异硬脂酸酯、异十八烷基油酸酯、异十八烷基山萘酸酯、异十八烷基芥酸酯、肉豆蔻酸油醇酯、棕榈酸油醇酯、硬脂酸油醇酯、异硬脂酸油醇酯、油酸油醇酯、山萘酸油醇酯、芥酸油醇酯、二十二烷基肉豆蔻酸酯、二十二烷基棕榈酸酯、二十二烷基硬脂酸酯、二十二烷基异硬脂酸酯、二十二烷基油酸酯、二十二烷基山萘酸酯、二十二烷基芥酸酯、瓢儿菜醇肉豆蔻酸酯、瓢儿菜醇棕榈酸酯、瓢儿菜醇硬脂酸酯、瓢儿菜醇异硬脂酸酯、瓢儿菜醇油酸酯、瓢儿菜醇山萘酸酯、瓢儿菜醇芥酸酯。该脂肪酸酯可包含：含约 18 至约 38 个碳原子的羟基羧酸与含约 6 至约 22 个碳原子的直链或支链脂肪醇形成的酯（例如苹果酸二辛酯）；含约 6 至约 22 个碳原子的直链或支链脂肪酸与多羟基醇（例如丙二醇、二聚脂肪醇或三聚脂肪醇）和 / 或格尔伯特醇形成的酯；基于约 6 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 至约 18 个碳原子的一种或多种脂肪酸的甘油单酸酯、甘油双酸酯和甘油三酸酯的混合物；一种或多种脂肪醇和 / 或约 6 至约 22 个碳原子的格尔伯特醇与一种或多种芳香族羧酸（苯甲酸）形成的酯；一种或多种含 2 至约 12 个碳原子的二元羧酸与一种或多种含 1 至约 22 个碳原子的直链或支链醇、或与一种或多种含有 2 至约 10 个碳原子和 2 至约 6 个羟基的

多元醇、或与上述醇和多元醇的混合物而形成的酯；一种或多种含 2 至约 12 个碳原子的二元羧酸（例如邻苯二甲酸）与一种或多种含 1 至约 22 个碳原子的醇（例如丁醇、己醇）形成的酯；苯甲酸与含约 6 至约 22 个碳原子的直链和 / 或支链醇形成的酯；或者其中两种或多种上述物质的混合物。

[0124] 该多相流体混合物可包含：一种或多种含约 6 至约 22 个碳原子的支链伯醇；一种或多种含约 6 至约 22 个碳原子的直链和 / 或支链脂肪醇碳酸酯；基于一种或多种含约 6 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；一种或多种其中每个烷基含 1 至约 12 个碳原子的萘二甲酸二烷基（例如，二乙基己基）酯；其每个烷基含约 2 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；与含 2 至约 10 个碳原子和 2 至约 6 个羟基的多元醇形成的含约 6 至约 22 个碳原子的环氧脂肪酸酯的一种或多种开环产物；或者两种或多种上述物质的混合物。

[0125] 该多相流体混合物可包含一相或多相中的水。该水可取自任何便利资源。利用渗透或蒸馏可对水进行去离子化或纯化。

[0126] 该多相流体混合物可包含一种或多种乳化剂和 / 或表面活性剂。该乳化剂和 / 或表面活性剂可包含在 Griffin 体系中其亲水亲油平衡值 (HLB) 介于 0 至约 18 范围内的离子或非离子化合物，在一个实施方式中为约 0.01 至约 18。该离子化合物可以是阳离子或两性化合物。实例包括那些公开于 McCutcheons Surfactants and Detergents, 1998, 北美和国际版 (North American & International Edition) 中的离子化合物。北美版第 1-235 页和国际版第 1-199 页中所公开的乳化剂的内容通过引用并入发明中。可使用的乳化剂和 / 或表面活性剂包括烷醇胺（例如三乙醇胺）、烷基芳基磺酸盐、胺氧化物、聚（氧化烯）化合物、包括含有烯基氧化物重复单元的嵌段共聚物、羧基化醇乙氧基化物、乙氧基化醇、乙氧基化烷基酚、乙氧基化胺和酰胺、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、山梨醇酯、咪唑啉衍生物、卵磷脂及其衍生物、木质素及其衍生物、甘油单酯及其衍生物、烯基磺酸盐、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、山梨聚糖衍生物、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磺酸盐或浓缩的萘或石油、磺基琥珀酸盐及其衍生物、以及十三烷基和十二烷基苯磺酸。该乳化剂和 / 或表面活性剂可包含：一种或多种聚亚烷基乙二醇；含有约 12 至约 22 个碳原子的甘油或山梨聚糖和脂肪酸的一种或多种部分酯化物；或其混合物。该乳化剂和 / 或表面活性剂可包含药物上可接受的诸如卵磷脂的材料。乳液中这些乳化剂和 / 或表面活性剂的浓度可达至该乳液的 20 重量%，在一个实施方式中可介于自约 0.01 重量至约 5 重量%的范围，在一个实施方式中可介于自约 0.01 重量至约 2 重量%的范围。在一个实施方式中，其浓度可达至约 2 重量%，在一个实施方式中可达至约 1 重量%，在一个实施方式中可达至约 0.5 重量%。

[0127] 该多相流体混合物可含有一种或多种添加的功能添加剂。这些功能添加剂可与所用的任何液体预混合形成多相混合物或乳液。这些功能添加剂可包括：防紫外因子（例如，3-苯亚甲基樟脑及其衍生物、4-氨基苯甲酸衍生物、水杨酸酯、二苯酮的衍生物、亚苄丙二酸酯、三嗪衍生物、2-苯基苯并咪唑-5-磺酸及其盐、二苯基酮的磺酸衍生物及其盐、苯甲酰基甲烷的衍生物）；蜡（例如，小烛树蜡、棕榈蜡、日本蜡、软蜡、米油蜡、甘蔗蜡、蜂蜡、石油冻、聚亚烷基蜡、聚乙二醇蜡）；稠度因子（例如，脂肪醇、羟基脂肪醇、偏甘油酯、脂肪酸、

羟基脂肪酸);增稠剂(例如,诸如黄原胶、瓜尔胶(guar-guar)的多糖以及羧甲基纤维素、聚乙二醇单酯和双酯、聚丙烯酸酯、聚丙烯酰胺、聚乙烯醇、聚乙烯吡咯烷酮);富脂剂(例如,羊毛脂、卵磷脂、多元醇脂肪酸酯、甘油一酸酯、脂肪酸烷醇酰胺);稳定剂(例如,脂肪酸的金属盐,诸如镁、铝或锌的硬脂酸盐或蓖麻醇酸盐);聚合物(例如,阳离子聚合物,诸如阳离子纤维素衍生物、阳离子淀粉、二乙烯基铵盐和丙烯酰胺的共聚物、季铵化乙烯基吡咯烷酮/乙烯基咪唑聚合物、聚丙烯亚胺(polyethyleneimine)、阳离子有机硅聚合物、聚氨基聚酰胺;阴离子、两性离子、复合离子和非离子聚合物);有机硅化合物(例如,二甲基聚硅氧烷;甲基苯基聚硅氧烷;环状有机硅;氨基、脂肪酸、醇、聚醚、环氧、氟、葡糖苷和/或烷基改性有机硅化合物;二甲基硅油(simethicones);二甲聚硅氧烷(dimethicone);脂肪;蜡;卵磷脂;磷脂;生物试剂(例如,生育酚、抗坏血酸、脱氧核糖核酸、视黄醇、氨基酸、植物提取物、复合维生素);抗氧化剂(例如,氨基酸、咪唑、多肽、类胡萝卜素、胡萝卜素、脂酮酸及其衍生物、金硫葡萄糖、丙基硫氧嘧啶、硫代二丙酸二月桂酯、磺基脲化合物、诸如 α -羟基脂肪酸的金属螯合物、诸如柠檬酸或乳酸的 α -羟基酸、腐植酸、胆汁酸、EDTA、EGTA、叶酸及其衍生物、诸如维生素A、C或E的复合维生素、芪类及其衍生物);除臭剂;止汗药;祛屑剂;膨胀剂(例如蒙脱土、粘粒矿物);驱虫剂;自鞣剂(例如二羟丙酮);酪氨酸抑制剂(脱色剂);助水溶物(hydrotropes)(例如,乙醇、异丙醇和诸如用于改进流动特性的甘油和亚烷基二醇的多元醇);助溶剂;防腐剂(例如,苯氧乙醇、甲醛溶液、苯甲酸酯类、戊二醇、山梨酸)、芳香油(例如,花、果皮、根、木材、香草和牧草、针叶和枝、树脂和香脂的提取物以及包括酯、醚、醛、酮、类和烃在内的合成香料);染料等。多相流体混合物中的这些添加剂的浓度均可达约20重量%,在一个实施方式中自约0.01重量%至约10重量%,在一个实施方式中自约0.01重量%至约5重量%,在一个实施方式中自约0.01重量%至约2重量%,在一个实施方式中自约0.01重量%至约1重量%。

[0128] 该多相流体混合物可含有一种或多种固体颗粒物。该固体颗粒物可以是有机物、无机物或其组合物。该固体颗粒物可包含催化剂(例如,诸如 $\text{CeO}_2/\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}$ 、 $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的燃烧催化剂、聚合催化剂等)、色素(例如, TiO_2 、炭黑、氧化铁等)、填充剂(例如,云母、二氧化硅、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。该固体颗粒物可包含纳米尺寸的颗粒。该固体颗粒物可具有介于约0.001至约10微米的平均粒径,在一个实施方式中自约0.01至约1微米。在该多相流体混合物中,该固体颗粒物的浓度可达约70重量%的范围,在一个实施方式中,基于乳液的重量为自约0.1重量%至约30重量%。

[0129] 该多相流体混合物可包含一种或多种分散于连续相中的非连续相。该非连续相可包含气泡、液滴和/或具有达约200微米的基于体积的平均粒径的固体颗粒物,在一个实施方式中自约0.01微米至约200微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约100微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约50微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约25微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约10微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约5微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约2微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约1微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约0.5微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约0.2微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约0.1微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约0.08微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约0.05微米,在一个实施方式中自约0.01微米至约0.03微米。

[0130] 该非连续相可包含水,以及该连续相可包含有机液体。该非连续相可包含有机液体,以及该连续相可包含水或另一种有机液体。该连续相可含有分散于或悬浮于连续相中的固体颗粒物。该非连续相可含有气泡、固体颗粒物和 / 或包裹于非连续相的液滴内的液滴。本发明的优点是,在至少一个实施方式中,气泡、液滴或颗粒具有相对较窄的气泡尺寸、液滴尺寸或颗粒尺寸分布。在一个实施方式中,分散相中的气泡尺寸、液滴尺寸或颗粒尺寸可以被绘制成一正态分布曲线。

[0131] “相对间距”常被称作“间距”。它是由体积分布而计算出的无量纲参数。与体积平均液滴尺寸 (VMD) 一样, $D[v, 0.1]$ 和 $D[v, 0.9]$ 表示点的直径,在所述点 10% 和 90% 体积的分散的液体分别为较小直径的液滴。该间距可定义为 $D[v, 0.9]$ 减去 $D[v, 0.1]$ 然后除以 VMD ($D[v, 0.5]$)。气泡、液滴或颗粒物的间距可介于约 0.005 至约 10, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 10, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 5, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 2, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 1, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 0.5, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 0.2, 在一个实施方式中为约 0.01 至约 0.1。在一个实施方式中,本发明方法可在单个处理微通道中实施,该间距可介于约 0.01 至约 0.5。在一个实施方式中,本发明方法可在使用多个工艺微通道的放大工艺中实施,该间距可介于约 0.01 至约 1。

[0132] 在一个实施方式中,气泡、液滴和 / 或固体颗粒物的基于体积的直径可介于约 0.01 微米至约 200 微米,其间距可介于约 0.005 至约 10。在一个实施方式中,其基于体积的平均直径可介于约 0.01 微米至约 100 微米,其间距可介于约 0.01 至约 5。在一个实施方式中,其基于体积的平均直径可介于约 0.01 微米至约 50 微米,其间距可介于约 0.02 至约 5。在一个实施方式中,其基于体积的平均直径可介于约 0.01 微米至约 10 微米,其间距可介于约 0.05 至约 2.5。在一个实施方式中,其基于体积的平均直径可介于约 0.01 微米至约 5 微米,其间距可介于约 0.01 至约 2。在一个实施方式中,其基于体积的平均直径可介于约 0.01 微米至约 1 微米,其间距可介于约 0.005 至约 1。

[0133] 本发明方法中所处理和 / 或形成的多相流体混合物可具有如下优点:使制造者以浓缩的形式输送多相流体混合物,因此使终端使用者能够添加诸如水或油的附加成分,以得到完全按配方制造的终产物。

[0134] 由本发明方法而进行处理和 / 或所形成的多相流体混合物可具有许多应用。这些应用可包括希望其中乳化剂或表面活性剂的浓度得以降低的个人皮肤护理产品(例如,防水防晒霜、防水护手霜或防水润手露)。

[0135] 由本发明方法而进行处理和 / 或所形成的多相流体混合物可用作涂料或涂层。这些涂料或涂层可包括具有强耐气候性的防水乳胶漆。该多相流体混合物可用作粘合剂、胶、腻子胶、防水密封胶等。在这些成分中包括有水相,其可以减少这些产物中的挥发性有机化合物 (VOC) 的问题。

[0136] 本发明的方法可用于各种食品加工的应用中,特别是用于连续处理操作。

[0137] 本发明的方法可用于处理和 / 或生产农药,其中使用具有窄分布的液滴大小的分散相有利于在叶子上扩散化学药品,且使用较小浓度的化学品有利于提供的增强的防水性能。本发明的方法可用于处理和 / 或生产诸如杀虫剂的农药,其中希望使用的分散相的液滴尺寸小于可见光波长。

[0138] 本发明的方法可用于处理和 / 或生产乳化润滑剂和燃料。这些乳化润滑剂和燃料

可包括诸如那些可用于柴油机的车载燃料乳化系统。

[0139] 本发明的方法可用于乳化聚合过程。例如,可以把表面活性剂中的单体与催化剂一起溶解。

[0140] 本发明的方法可用于速凝含有沥青的乳液。这些乳液可用作水泥或者诸如道路、车道等的沥青表面的表面修琢。这些乳液可含有自约 60 重量%至约 70 重量%的沥青,其可被喷洒于进行处理的表面上。可在这些表面覆料的上方散布碎屑并进行碾压以确保适当的嵌入和对齐。此可提供一种不渗水表面密封剂,也可提供改良的表面纹理。

[0141] 应用本发明的方法处理和 / 或制备的多相流体混合物可包含有机硅乳液。这些乳液可用于处理纤维和其他基质以改变其抗水性能。

[0142] 本发明的方法可用于结晶工艺,例如连续结晶工艺。该方法可用于分离、提纯和 / 或制造特定尺寸的粉末。此类晶体的实例包括高精制糖。在乳化结晶中,熔体可在乳液液滴中结晶以使其均相成核的发生率比在熔融体中低。不用溶剂时可实施该工艺,因此可具有低资本成本和低运行成本的优点。

[0143] 本发明的方法可用于处理和 / 或制造液晶。由于分散相可“锁定”于合适的位置,因此该方法所形成的液晶有助于减少乳化剂和 / 或表面活性剂的使用。

[0144] 本发明的方法可用于处理和 / 或制备用于粘合剂的蜡乳液、液体肥皂、洗涤剂、织物涂层等。

[0145] 本发明的方法可用于制造药物,其中其优点是提供带有窄分布的液滴尺寸的分散油相。这些药物可包括口服或可注射组合物,以及皮肤病用乳膏、洗剂和眼科药品。本发明的方法所获得的液滴尺寸和分布可增强药物效能,并可使用于必需治疗的药物的使用量降低。这也具有避免或限制使用非水溶性溶剂成分的优点,所述非水溶性溶剂成分会溶解使用于包装材料中的有机物质。为了避免被脾或肝排泄出去,这些应用中的分散油相的液滴尺寸可达约 0.5 微米,在一个实施方式中为自约 0.01 至约 0.2 微米的范围,在一个实施方式中为自约 0.01 至约 0.1 微米。使用本发明的方法处理或制造的多相流体混合物可起到作为不溶性或难溶性药物(例如,布洛芬、安定、灰黄霉素、环孢素、可的松、普诺肯、依托泊苷、紫杉醇、细胞毒素、维生素 E、 α -生育酚等)的乳液载体的作用。公布号为 2003/0027858A1 的美国专利申请中公开的药物化合物或药物、油和表面活性剂中的多种可用于使用本发明的方法制备药物组合物;该专利出版物所公开的此类化合物或药物、油和表面活性剂通过引用被合并于本发明中。使用本发明的方法的优点涉及如下事实:可以避免许多与在保持无菌环境的同时使用常规高剪切混合设备以试图获得具有窄液滴尺寸分布的小液滴相关的问题。

[0146] 本发明涉及使用一种或多种处理微通道,其中每个工艺微通道具有两个或多个过程区,在每个过程区内进行一种或多种不同的单元操作。通过每一单元操作,处理和 / 或形成非牛顿流体。

[0147] 该单元操作可包含化学反应、化学分离(包括吸附(即吸收和 / 或吸附)蒸馏、提取)、浓缩、蒸发、加热、冷却、压缩、膨胀、相分离、混合或者上述两种或多种操作的组合。因此,例如,本发明的方法可包含在第一过程区内加热非牛顿流体,然后在第二或后续过程区中与非牛顿流体进行化学反应。在化学反应过程中可以加热或冷却该非牛顿流体。该方法可包含在第一处理区中混合各种不同成分以形成该非牛顿流体,然后在第二或后续过程区

内冷却该非牛顿流体。

[0148] 本发明的方法可用于加热该非牛顿流体、冷却该非牛顿流体、通过混合两种或多种流体（可以是或不是非牛顿流体）形成该非牛顿流体、将非牛顿流体与一种或多种其他流体（可以是或可以不是非牛顿流体）和/或固体颗粒物接触和/或混合、利用两种或多种流体（可以是或不是非牛顿流体）进行反应以形成非牛顿流体、利用作为反应物的一种或多种非牛顿流体进行反应、压缩该非牛顿流体、使该非牛顿流体膨胀、浓缩该非牛顿流体、蒸发该非牛顿流体、从该非牛顿流体中分离一种或多种成分、或者上述两种或多种的组合。

[0149] 本发明的方法包括向该非牛顿流体施加剪应力，该剪应力在每一单元操作之前和/或操作过程中足以降低其粘度。在实施该发明方法之前，该非牛顿流体可具有介于约 10^{-3} 至约 10^8 厘泊范围内的粘度，在一个实施方式中为自约 10^2 至约 10^5 厘泊。每一个过程区内的粘度可降至约 10^5 厘泊的水平，在一个实施方式中为自约 10^{-5} 至约 10^5 厘泊，在一个实施方式中为自约 10^{-3} 至约 10^3 厘泊，在一个实施方式中为自约 10^{-3} 至约 10 厘泊。

[0150] 在每一个过程区内，剪切率可超过约 100 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 250 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 500 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 750 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 1000 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 2500 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 5000 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 7500 s^{-1} ，在一个实施方式中超过约 $10,000 \text{ s}^{-1}$ ，在一个实施方式中超过约 $50,000 \text{ s}^{-1}$ ，在一个实施方式中超过约 $100,000 \text{ s}^{-1}$ 。一个过程区内的平均剪切率与另一个过程区内的平均剪切率相差至少约 1.2 的因子，在一个实施方式中相差至少约 1.5 的因子，在一个实施方式中相差至少约 2 的因子，在一个实施方式中相差至少约 3 的因子，在一个实施方式中相差至少约 4 的因子，在一个实施方式中相差至少约 5 的因子，在一个实施方式中相差至少约 7 的因子，在一个实施方式中相差至少约 10 的因子，在一个实施方式中相差至少约 20 的因子，在一个实施方式中相差至少约 30 的因子，在一个实施方式中相差至少约 40 的因子，在一个实施方式中相差至少约 50 的因子，在一个实施方式中相差至少约 75 的因子，在一个实施方式中相差至少约 100 的因子。

[0151] 本发明方法的优点涉及利用非牛顿流体的特性和在相同的工艺微通道中优化不同单元操作的通道尺寸。图 68 示出了具有不同过程区的工艺微通道：过程区 1 和过程区 2。可在过程区 1 中进行第一单元操作，可在过程区 2 中进行不同的单元操作。可利用非牛顿流体的粘度对剪切率的依赖性选择微通道尺寸，以使每一过程区内的工艺效率最大化。同样，图 69 示出了含有多个或“n”个过程区的工艺微通道。N 的值可以是任何数值，例如自 3 至约 20，在一个实施方式中自 3 至约 10，在一个实施方式中自 3 至约 5。

[0152] 过程区内的平均剪切率 $\gamma_{\text{平均}}$ 可由下式确定，其中 A 表示过程区内的湿表面积：

$$[0153] \quad \gamma_{\text{avg}} = \frac{\int_{\text{wall-surface}} \dot{\gamma} dA}{\int_{\text{wall-surface}} dA}$$

[0154] 该表面积 A 包含过程区内的工艺微通道的内表面积，所述内表面积包括在工艺微通道壁上和/或中的突起和/或空穴（例如，源自表面特征或结构壁）。该表面积 A 不包括催化剂或吸附材料的表面。

[0155] 在一个实施方式中，一个过程区内的平均剪切率比在工艺微通道内的至少约 25% 的过程区的平均剪切率要大至少约 1.2 的因子。在一个实施方式中，一个过程区内的平均

剪切率比在工艺微通道内的至少约 50% 的过程区的平均剪切率要大至少约 1.2 的因子。

[0156] 参照图 3, 可利用包括微通道处理单元核 102、工艺流体集管 104 和产物底管 106 在内的微通道处理单元 100 实施该方法。该微通道处理单元核 102 可含有多个工艺微通道, 所述工艺微通道用于进行两个或多个单元操作以处理和 / 或形成非牛顿流体。该微通道处理单元核 102 可选择性地含有与每一工艺微通道和 / 或一种或多种热交换通道相邻的一种或多种分批加入通道。该分批加入通道和 / 或热交换通道可以是微通道。该工艺微通道和选择性分批加入通道和 / 或热交换通道可以一层置于另一层之上的方式叠放各层或并排放置。该工艺集管 104 可为第一流体流提供通道以流进工艺微通道内。第一流体可以是牛顿流体或非牛顿流体。如箭头 110 所示, 该第一流体流可通过集管 104 流进该微通道处理单元 100。选择性地, 如箭头 112 所示, 该第二流体流可通过集管 104 流进该微通道处理单元 100。选择性地, 一种或多种附加流体流 (图 3 中未示出) 也可通过集管 104 流进工艺微通道里。第二流体和 / 或附加流体可以是牛顿流体或非牛顿流体。该流体流可在集管 104 内混合而流进该工艺微通道, 或者它们可流进微通道处理单元核 102 内和在该工艺微通道里混合。二者择一地, 该流体流可在集管 104 的上游混合, 然后流过集管 104 而进入该工艺微通道里。该产物底管 106 可为产物提供自该工艺微通道流动的通道中。该产物可以是牛顿的或非牛顿的。如箭头 114 所示, 该产物自微通道处理单元核 102 流经产物底管 106, 并从产物底管 106 流出。一种或多种第一流体流、第二流体流、附加流体流、流体流混合物和 / 或产物包含非牛顿流体。该产物可通过该微通道处理单元核 102 反向循环任何次数, 例如一次、两次、三次、四次等。如箭头 116 所示, 该热交换流体可流进工艺微通道处理单元核 102 内, 如箭头 118 所示, 通过工艺微通道处理单元核 102 内的热交换通道, 并从工艺微通道处理单元核 102 流出。该微通道处理单元 100 可用于连接储存器、泵、歧管、阀、流量控制器、导管等, 其在附图中未示出, 但对本领域技术人员而言是显而易见的。

[0157] 该微通道处理单元核 102 可包含对非牛顿流体进行一种或多种单元操作的多个微通道处理单元。该微通道处理单元核 102 可含有任何数量的这些重复单元, 例如一个、两个、三个、四个、五个、六个、八个、十个、几百个、几千个等。图 4-26 和图 42-43 中示出了这些数量的实例。

[0158] 在一个实施方式中, 该工艺微通道在至少一个过程区内可具有收敛的横截面 (参见图 2、图 8-12 或图 19-22), 并且通过使非牛顿流体流过收敛的横截面向该非牛顿流体施加剪应力。在一个实施方式中, 该工艺微通道在至少一个过程区内的一个或多个内表面上或其内可包含表面特征 (参见图 46-47), 并且通过使非牛顿流体与表面特征相接触的方式流动向该非牛顿流体施加剪应力。在一个实施方式中, 该工艺微通道在至少一个过程区内可包含一个或多个内部的结构壁 (参见图 48-49), 并且通过使非牛顿流体与一个或多个结构壁相接触的方式流动向该非牛顿流体施加剪应力。结构壁里面的空穴和 / 或突起可称之为表面特征。在一个实施方式中, 该工艺微通道在至少一个过程区内的一个或多个内表面上可包含含有空穴和 / 或突起的涂层, 并且通过使非牛顿流体与涂层相接触的方式流动向该非牛顿流体施加剪应力。在一个实施方式中, 该工艺微通道在至少一个过程区内可包含内部节流装置 (例如, 静态混合器、坝段 (monolith)、棱 (rib) 等), 并且通过使非牛顿流体与节流装置相接触的方式流动向该非牛顿流体施加剪应力。

[0159] 参照图 4, 重复单元 200 包含工艺微通道 210 和热交换区 270。该工艺微通道 210

可含有两个或多个过程区。热交换区 270 包含热交换通道 272。工艺流体按箭头 215 和 216 所示方向在工艺微通道内流动。在热交换通道 272 内的热交换流体以相对于在工艺微通道 210 内的流动为错流的方向流动。该热交换通道 272 可用于沿着工艺微通道 210 的长度提供特定的加热或冷却剖面。该工艺微通道 210 包括相对的侧壁 212 和 214。侧壁 212 可称作传热壁。表面特征 217 设置于侧壁 212 之上和 / 或里面。该工艺流体可包含第一流体流、或第一流体流和第二流体流的混合物,可选择地可包含一种或多种附加流体流。一种或多种该流体流和 / 或流体混合物可以是非牛顿流体。如箭头 215 所示,该工艺流体自该工艺流体集管 104 流进工艺微通道 210。工艺微通道内的流体的流动以及与表面特征 217 的接触提供了剪应力在非牛顿流体上的应用,所述剪应力足以降低非牛顿流体的粘度。在工艺微通道 210 内可以对非牛顿流体进行一个或多个单元操作。如箭头 216 所示,所得产物流出工艺微通道 210。该产物自重复单元 200 流向并流过产物底管 106。热交换流体在热交换通道 272 内流动并与工艺微通道 210 换热。热交换通道 272 与工艺微通道 210 之间的换热将导致冷却和 / 或加热该工艺微通道 210。

[0160] 除了表面特征 217 置于侧壁 214 而不是侧壁 212 上面之外,图 5 所示重复单元 200A 与图 4 所示重复单元 200 相同。

[0161] 除了表面特征 217 既置于侧壁 212 上面又置于侧壁 214 上面之外,图 6 所示重复单元 200B 与图 4 所示重复单元 200 相同。

[0162] 除了重复单元 200C 包括两个工艺微通道 210 和 210A 而不是一个工艺微通道之外,图 7 所示微通道重复单元 200C 与图 6 所示重复单元 200B 相同。重复单元 200C 包括工艺微通道 210、210A 和热交换区 270。如箭头 215 和 215A 所示,在操作中,第一流体流或第一流体流和第二流体流的混合物(以及可选择性的一种或多种附加流体流)自工艺流体集管 104 分别流进工艺微通道 210 和 210A 内。一种或多种工艺流体和 / 或流体混合物可以是非牛顿流体。如上所述,工艺流体接触表面特征 217 和 217A。这在非牛顿流体上施加了剪应力从而降低了粘度。该工艺流体在工艺微通道 210 和 210A 内流动。在工艺微通道 210 和 210A 内进行一种或多种单元操作。如箭头 216 和 216A 所示,所得产物从工艺微通道 210 和 200A 流出。如箭头 114 所示,该产物自工艺微通道 210 和 210A 流向并流过产物底管 106,并从工艺微通道处理单元 100 流出。在热交换通道 272 内流动的热交换流体在工艺微通道 210 和 210A 内与工艺流体进行换热。

[0163] 除了重复单元 200D 内的工艺微通道 210 具有收敛的横截面之外,图 8 所示重复单元 200D 与图 4 所示重复单元 200 相同。接近箭头 215、位于工艺微通道 210 入口处的横截面大于接近箭头 216、位于工艺微通道 210 出口处的横截面。基于如下事实:重复单元 200 的表面特征不包括于重复单元 200D 内,所以重复单元 200D 也不同于重复单元 200。操作中,通过使非牛顿流体流过收敛的横截面将剪应力施加于工艺微通道 210 内的非牛顿流体上。当流体流过工艺微通道 210 时,流体的速率增加。非牛顿流体的粘度降低。在工艺微通道 210 内流动的流体的压降减少。在工艺微通道 210 内进行一种或多种单元操作。

[0164] 除了重复单元 200E 内的工艺微通道 210 包括具有收敛的横截面的收敛区间 218 以及具有非收敛的横截面的非收敛区间 219 之外,图 9 所示的重复单元 200E 与图 8 所示的重复单元 200D 相同。通过使非牛顿流体在收敛区间 218 内流动将剪应力施加于非牛顿流体之上。这将导致粘度的降低。在非收敛区间 219 流动的过程中,非牛顿流体的黏度可以

增加。

[0165] 除了表面特征 217 形成于内壁 214 之上或里面之外,图 10 所示重复单元 200F 与图 8 所示重复单元 200D 相同。在该实施方式中,通过组合利用收敛的横截面和表面特征 217 可得到增加的剪应力。

[0166] 除了表面特征 217 设置于内壁 212 上而不是设置于内壁 214 上面之外,图 11 所示重复单元 200G 与图 10 所示重复单元 200F 相同。

[0167] 除了表面特征 217 既设置于内壁 212 上面又置于内壁 214 上面之外,图 12 所示重复单元 200H 与图 10 所示重复单元 200F 相同。

[0168] 参照图 13,微通道重复单元 200I 包含工艺微通道 210、分批加入通道 240、带孔部分 250 和热交换区 270。该工艺微通道 210 包括至少两个过程区和相对的侧壁 212 和 214。表面特征 217 设置于侧壁 212 之上。侧壁 212 也被称作传热壁。带孔部分 250 设置于侧壁 214 内,其为工艺微通道 210 和分批加入通道 240 的共壁。该带孔部分 250 可被称作多孔部分或多孔基质。该带孔部分 250 可包含有具有多个穿过其延伸的孔的片或板。下面将详述带孔部分 240 的其它的实施方式。分批加入通道 240 通过带孔部分 250 向工艺微通道 210 开口。该分批加入通道 240 可以是带有排出口 243 的流过通道或是末端封闭的通道。该工艺微通道 210 具有混合区 211,并自混合区 211 的上游和 / 或下游具有非孔区域 (附图中未示出)。该混合区 211 与带孔部分 250 相邻。该混合区 211 可具有限制的横截面以促进混合。如方向箭头 215 所示,在操作中,第一流体流流进工艺微通道 210 中,并流进混合区 211。如箭头 242 所示,第二流体流流进分批加入通道 240 中,然后如箭头 244 所示流过带孔部分 250,并流进混合区 211。在混合区 211 中,第二流体流与第一流体流接触并混合以形成多相混合物或乳液。第二流体流可在第一流体流内形成非连续相 (例如气泡、液滴)。第一流体流可形成连续相。流体与表面特征 217 相接触,从而将剪应力施加于流体之上。第一和 / 或第二流体流和 / 或所产生的多相混合物或乳液可以是非牛顿流体。所施加的剪应力降低了非牛顿流体的粘度。如箭头 216 所示,该多相混合物或乳液自混合区 211 由工艺微通道 210 流出。第一和 / 或第二流体流可含有均相催化剂,可在工艺微通道 210 内进行第一流体流和第二流体流之间的反应。如上所述,部分第二流体流可流过分批加入通道 240 内的开口 243 并反向循环至集管 104,而剩余的第二流体流可流过带孔部分 250。

[0169] 该微通道重复单元 200I 具有包括热交换通道 272 的热交换区 270。当需要加热或冷却时,热交换流体流过热交换通道 272,并加热或冷却工艺微通道 210 和分批加入通道 240 内的流体。加热或冷却的程度可以根据工艺微通道 210 和分批加入通道 240 的轴向长度变化。在工艺微通道 210 和分批加入通道 240 的一些区间内,加热或冷却可以忽略或不存在,而在其他区间为中等或较高。二者择一地,该热交换流体可以相对于工艺微通道 210 内流体的流动为逆流或错流的方向流动。二者择一地,利用加热或冷却介质而不用热交换流体可实现加热或冷却。例如,利用电加热元件可实现加热。利用非流体冷却元件可实现冷却。电加热元件和 / 或非流体冷却元件可用于形成工艺微通道 210 和 / 或分批加入通道 240 的一种或多种壁。沿着工艺微通道 210 的轴向长度可使用多种加热或冷却区。类似地,沿着工艺微通道 210 的长度可使用不同温度下的多种热交换流体。

[0170] 当流体自工艺微通道的入口流向工艺微通道的出口时,流过工艺微通道 210 的流体可经历压降。该压降使得工艺微通道 210 内的内压可自接近工艺微通道入口的高点逐渐

降至接近工艺微通道出口的低点。为了产生尺寸相对均匀的气泡或液滴,希望沿着带孔部分 250 的轴向长度能横越带孔部分 250 基本上保持恒压差。为此,分批加入通道 240 内的内压可沿着其轴向长度而降低,以适应因流体流过工艺微通道而导致的工艺微通道 210 内的内压降。此可通过提供微通道的形式的分批加入通道 240 来实现,从而在分批加入通道内流动的第二流体流所经历的压降类似于流体流过工艺微通道 210 经历的压降。

[0171] 在一个实施方式中,沿带孔部分 250 的轴向长度,该带孔部分 250 可包含第二流体流的多个离散的进料引入点而不是连续的引入点。该离散的进料引入点的数量可以是任何数字,例如,一个、两个、三个、四个、五个、六个、七个、八个、十个、二十个、五十个、一百个等。

[0172] 除了重复单元 200J 具有彼此相邻设置的第一重复部分 205A 和第二重复部分 205 之外,图 14 所示微通道重复单元 200J 与图 13 所示微通道重复单元 200I 相同。第一重复部分 205 包含第一工艺微通道 210、第一分批加入通道 240 和第一带孔部分 250。第二重复部分 205A 包含第二工艺微通道 210A、第二分批加入通道 240A 和第二带孔部分 250A。工艺微通道 210 包括表面特征 217,工艺微通道 210A 包括表面特征 217A。热交换通道 272 与第一重复部分 205 相邻并热接触,且远离第二重复部分 205A 但与其热接触。

[0173] 图 15 所示的微通道重复单元 200K 包含工艺微通道 210,工艺微通道 210 包括至少两个过程区,其中之一包括其中放置有催化剂 222 的反应区 220,以及包括热交换通道 272 的热交换区 270。图 15 所示的催化剂 222 为固体颗粒物床层的形式。但是,该说明书中所述的任何催化剂形式可用于图 15 中所示的工艺微通道。表面特征 217 置于反应区 220 上游的相对侧壁 212 和 214 上和 / 或中。如箭头 215 所示,在操作中,第一流体流或第一流体流和第二流体流的混合物、以及选择性的一种或多种附加的流体流进入反应区 220,其与催化剂 222 相接触并反应形成产物。一种或多种该流体和 / 或流体的混合物可以是非牛顿流体。通过使非牛顿流体流动与表面特征 217 相接触向非牛顿流体施加剪应力。此将降低非牛顿流体的粘度。如箭头 216 所示,产物流出反应区 220。

[0174] 图 16 所示的微通道重复单元 200L 包含工艺微通道 210,工艺微通道 210 包括至少两个处理区,其中之一包括其中放置有催化剂 222 的反应区 220,以及包括热交换通道 272 的热交换区 270。催化剂 222 置于内壁 214 上。表面特征 272 置于相对内壁 212 上。催化剂 222 可置于固定于内壁 214 之上的载体上。催化剂可以为本说明书中所述的任何形式。如箭头 215 所示,在操作中,第一流体流或第一流体流和第二流体流的混合物、以及选择性的一种或多种附加的流体流进入反应区 220,其与催化剂 222 相接触并反应形成产物。当非牛顿流体流过工艺微通道 210 并与表面特征 217 相接触时,向非牛顿流体施加剪应力,该非牛顿流体可以是一种或多种反应物流体流和 / 或产物。施加于非牛顿流体的剪应力降低了非牛顿流体的粘度。

[0175] 除了重复单元 200M 包括在催化剂 222 上游的内壁 214 上的附加表面特征之外,图 17 所示的重复单元 200M 与图 16 所示的重复单元 200L 相同。重复单元 200M 内的附加表面特征 217 提供附加的剪应力,因此进一步降低了反应区 220 上游的工艺微通道 210 内的粘度。

[0176] 除了在重复单元 200N 内已去除反应区下游的表面特征 217 之外,图 18 所示的重复单元 200N 与图 17 所示的重复单元 200M 相同。相比于重复单元 200M,此将使流出反应区

220 的产物上的剪应力降低。

[0177] 除了重复单元 2000 包括含有催化剂 222 的反应区 220 之外,图 19 所示的重复单元 2000 与图 8 所示的重复单元 200D 相似。图 19 所示催化剂 222 为固体颗粒物床层的形式。但是,本说明书中所述的任何催化剂形式均可用于反应区 220 内。该反应物和 / 或产物可以是非牛顿流体。该工艺微通道 210 具有收敛的横截面,该收敛的横截面将剪应力施加于在工艺微通道内流动的流体上。此将降低非牛顿流体的粘度。通过置于热交换区 270 内的热交换通道 272 提供热交换。

[0178] 除了重复单元 200P 包括含有催化剂 222 的反应区 220 之外,图 20 所示的重复单元 200P 与图 9 所示的重复单元 200E 相同。图 20 所示催化剂 222 为固体颗粒物床层形式。但是,可使用说明书中所述的任何催化剂形式。该工艺微通道 210 包括收敛区间 218 和非收敛区间 219。该反应区 220 置于非收敛区间 219 内。属于非牛顿流体且可包含第一流体或者第一流体和第二流体的混合物以及选择性的一种或多种流体的反应物,如箭头 215 所示在工艺微通道 210 内流动,其与催化剂 222 相接触,并形成如箭头 216 所示流出工艺微通道 210 的产物。将剪应力施加于在收敛区间 218 中流动的非牛顿流体上,从而非牛顿流体的粘度得以降低。在热交换区 270 内的热交换通道 272 与工艺微通道 210 之间可提供热交换。

[0179] 除了反应区 220 置于工艺微通道 210 的收敛区间 218 内而不是置于如图 20 所示的非收敛区间 219 内之外,图 21 所示的重复单元 200Q 与图 20 所示的重复单元 200P 相同。

[0180] 除了反应区 220 部分置于工艺微通道 210 的收敛区间 218 内和部分置于工艺微通道 210 的非收敛区间 219 内之外,图 22 所示的重复单元 200R 与图 20 所示的重复单元 200P 相同。

[0181] 图 23 中示出了微通道重复单元 200S。重复单元 200S 包含工艺微通道 210、分批加入通道 240 和带孔部分 250。共同侧壁 214 将工艺微通道 210 和分批加入通道 240 分开。带孔部分 250 置于共壁 214 内。带孔部分 250 含有可以使第二流体流流过带孔部分的多个孔。该工艺微通道 210 包括两个反应区,其中一个为混合区 211,另一个为反应区 220。催化剂 222 置于反应区 220 内。混合区 211 在反应区 220 的上游。表面特征 217 置于工艺微通道 220 的侧壁 212 上和 / 或中。侧壁 212 可称之为传热壁。如箭头 215 所示,第一流体流进工艺微通道 210 内,并流进混合区 211。如箭头 242 所示,第二流体流进分批加入通道 240 内,如箭头 244 所示,自分批加入通道 240 通过带孔部分 250 而流进混合区 211 内。如箭头 242 所示,分批加入通道 240 内的第二流体流的流动方向与如箭头 215 所示的工艺微通道 210 内的第一流体流的流动方向为平流关系。可选择地,分批加入通道 240 内的第二流体流的流动可相对于工艺微通道 210 内的第一流体流的流动为逆流或错流。第一流体流和第二流体流在混合区 211 内相互接触并形成反应混合物。该反应混合物自混合区 211 流进反应区 220,其与催化剂接触并反应以形成产物。如箭头 216 所示,产物从工艺微通道 210 流出。第一流体流、反应混合物和 / 或产物可以是非牛顿流体。当非牛顿流体与表面特征 217 相接触时,向非牛顿流体施加剪应力。施加于非牛顿流体上的剪应力降低了非牛顿流体的粘度。热交换区 270 内的热交换通道 272 与分批加入通道 240 和工艺微通道 210 内的工艺流体进行换热。

[0182] 在图 23 所示的重复单元 200S 的一替代实施方式中,可在混合区 211 与反应区 220

之间的工艺微通道 210 内设置附加的混合区。

[0183] 除了部分第二流体流与混合区 211 内的第一流体流混合、部分第二流体流与反应区 220 内的第一流体流混合之外,图 24 所示的重复单元 200T 与图 23 所示的重复单元 200S 相同。在混合区 211 内与第一流体流混合的第二流体流的量可以占第二流体流的约 1 体积%至约 99 体积%,在一个实施方式中占第二流体流的约 5 体积%至约 95 体积%,在一个实施方式中占第二流体流的约 10 体积%至约 90 体积%,在一个实施方式中占第二流体流的约 20 体积%至约 80 体积%,在一个实施方式中占第二流体流的约 30 体积%至约 70 体积%,在一个实施方式中占第二流体流的约 40 体积%至约 60 体积%。剩余的第二流体流在反应区 220 内与第一流体流混合。

[0184] 除了重复单元 200U 不含有独立的混合区 211 之外,图 25 所示的重复单元 200U 与图 24 所示的重复单元 200T 相同。此外,在重复单元 200U 内,工艺微通道 210 的侧壁 212 和 214 在反应区 220 的每个上游的表面上和 / 或里面具有表面特征 217。通过重复单元 200U,第二流体流流过带孔部分 250 而进入反应区 220 内,其与第一流体流在反应区 220 相接触并在催化剂 222 的存在下反应形成产物。如箭头 216 所示,该产物然后流出工艺微通道 210。

[0185] 除了重复单元 200V 包含两套相邻的工艺微通道、分批加入通道和带孔部分之外,图 26 所示的重复单元 200V 与图 25 所示的重复单元 200U 相同。其中一套与热交换通道 272 相邻而另一套远离热交换通道 272 但与其相接触。

[0186] 在一个替代实施方式中,该重复单元可包含两个工艺微通道和一个分批加入通道。在该实施方式中,该重复单元可包含第一工艺微通道、第二工艺微通道和位于第一工艺微通道和第二工艺微通道之间的分批加入通道。每一工艺微通道可具有带孔部分的壁。表面特征可置于每一工艺微通道内的一个或多个侧壁上和 / 或中。催化剂可置于每一工艺微通道内。第一流体在第一工艺微通道和第二工艺微通道内流动,其与催化剂相接触。第二流体自分批加入通道流过第一工艺微通道的带孔部分与催化剂和第一流体相接触,并通过第二工艺微通道的带孔部分与催化剂和第一流体相接触以形成反应产物。非牛顿流体在工艺微通道内流动并与表面特征相接触。其降低了非牛顿流体的粘度。

[0187] 微通道处理单元核 102 可由任何可提供足够强度、尺寸稳定性和热传递特性以便可进行本发明的方法的操作的任何材料成,所述微通道处理单元核 102 包括工艺微通道、分批加入通道和热交换通道以及任何工艺集管、工艺底管、热交换集管、热交换底管等,。这些材料可以包括钢;铝;钛;镍;铂;铑;铜;铬;黄铜;上述任何金属的合金;聚合物(例如,热固性树脂);陶瓷;玻璃;包含一种或多种聚合物的复合物(例如热固性树脂)和玻璃纤维;石英;硅;或其中两种或多种的组合物。

[0188] 可通过使用形成于此通道内一个、两个或多个内壁上的表面特征以调节工艺微通道 210、分批加入通道 240 和 / 或热交换通道 272 内的流动和 / 或混合。该表面特征可以作为一个或多个通道壁的凹陷和 / 或凸起物的形式。这些表面特征可设置成相对于流过通道的方向呈一定的角度。相对于流动方向,该表面特征可以自约 1° 至约 89° 的角度排列,在一个实施方式中自约 3° 至约 75° 的角度排列。该方位角可以是斜角。带角度的表面特征可以向流动的方向或背向流动的方向排列。与表面特征相接触的流体的流动可促使一种或多种流体流进表面特征内的凹陷中,而其他流体可在表面特征上流动。在表面特征内的流动可顺应表面特征并与通道内的总体流动方向呈一个角度。当流体离开表面特征时,其可

沿 x 、 y 、 z 坐标体系的 x 方向和 y 方向施加动量, 其中其总体流动在 z 方向上。这可能导致流体流动中的搅动或转动。当所引入的速率梯度可以产生使其中的一个相分裂成而易分散的液滴的流体剪切力时, 该模式有助于混合两相流动。

[0189] 工艺微通道 210 内两个或多个表面特征区域可串行放置, 从而利用第一表面特征区域、然后利用至少一个第二表面特征区域而实现形成多相混合物或乳液的流体的混合, 在所述第二表面特征区域可使用不同的流动模式。第二流动模式可用于从流体混合物中分离一种或多种液体或气体。在第二表面特征区域内, 流动模式可用于产生一种向工艺微通道的内壁驱动一种液体的离心力, 而另一种液体停留于流体核内。可产生强中心涡流的一种形式的表面特征可包含在工艺微通道顶端和底部上的一对角槽。表面特征的此模式可用于产生一个中心旋涡流动模式。

[0190] 该带孔部分 250 可包含形成每一工艺微通道 210 的一个或多个内壁的部分的内部。表面特征片可覆盖带孔部分的该内部。表面特征可形成于表面特征片中和 / 或上面。第二流体可流过带孔部分和表面特征片而进入工艺微通道内。部分第二流体从表面特征片的表面分开, 而部分第二流体在表面特征片的表面特征内流动。该表面特征片可含有相对于整个流动长度具有相对较小的宽度或间距的带角的表面特征。该表面特征片可为带孔部分提供机械支持。该表面特征可为工艺微通道内的流体引入旋涡流动模式, 并促使两相的良好混合或促使小乳液液滴的形成。该涡流流动模式可向流过带孔部分的第二流体引入剪切力, 并因此减小总体流动通路内液滴的尺寸。

[0191] 图 46-47 示出了表面特征的实例。该表面特征可具有一个置于另一个上面的方式叠放或以三维模式交织的两层或多层。每一分离的层的模式可以相同或不同。流动可在每层或仅一层内循环或平流输送。可与通道的总体流动通路不相邻的亚层可用于产生附加的表面区域。该流动可在第水平面的表面特征中循环, 并分子扩散至第二或更多亚层内以促进反应。可通过金属铸造、光化学机械加工、激光切割、蚀刻、消融或其他方法来制作三维表面特征, 其中不同的模式可分解成分离的平面就像一个置于另一个上面的方式叠放一样。三维表面特征可设置成与相邻微通道内的总体流动通路相邻, 其中所述表面特征具有不同的深度、形状和 / 或位置, 并伴随有具有不同深度、形状和 / 或位置的模式的亚特征。

[0192] 使用表面特征或具有模式的全蚀刻板可有利于为用于形成带孔部分的薄或不结实的带孔板或片提供结构支持。在一个实施方式中, 该带孔片可由聚合材料制成, 该聚合材料具有非常小的平均孔径 (小于 1 微米), 但不能经受迫使第二流体流过带孔部分进入工艺微通道所需的高压差 (大于约 10psi, 或大于约 50psi, 或大于约 100psi, 或者更大)。结构支持所需的无支架跨距可自工艺微通道的横截面减小至表面特征的无支架跨距, 并且沿表面特征的长度延伸。如果带孔片或板降低其机械完整性, 则该表面特征的间距可制作得如所需要的那样更小。该表面特征的优点之一是可在表面特征内出现对流, 从而可在带孔部分的壁处产生显著的剪应力, 以协助小液滴的分离。

[0193] 三维表面特征结构的一个实施例可包括在与微通道的总体流动通路相邻的界面处的带切槽的人字形纹 (chevrons)。在人字形纹下面, 可有与总体流动通路相邻的表面特征相连接的一系列三维结构, 但该三维结构由不同形状、深度和 / 或位置的结构物制成。可进一步有利地提供亚层通道, 该通道不直接处于与微通道内的总体流动通路相邻的开口表面特征之下, 但通过一种或多种弯曲的二维或三维通道连接。该方法有利于在微通道内产

生特定的停留时间分布,在此种情形下可期望具有较宽的而非更窄的停留时间分布。

[0194] 可以与定义微通道的长度和宽度相同方式来定义表面特征的长度和宽度。该深度可以是表面特征沉入微通道表面或从微通道表面伸出的距离。该表面特征的深度可对应于叠置的并且粘合的微通道装置的叠放方向,所述微通道装置具有形成于片表面上或中的表面特征。该表面特征的尺寸可指表面特征的最大尺寸;例如,圆形槽的深度可指最大深度,即槽底的深度。

[0195] 该表面特征可具有小于约 2mm 的深度,在一个实施方式中小于约 1mm,在一个实施方式中介于约 0.01mm 至约 2mm 的范围内,在一个实施方式中介于约 0.01mm 至约 1mm 的范围内,在一个实施方式中介于约 0.01mm 至约 0.5mm 的范围内。表面特征的宽度可几乎足以跨过微通道的宽度(例如,倒八字形设计),但在一个实施方式中(例如填充特征)可跨过约 60%或小于微通道的宽度,在一个实施方式中为约 50%或更小,在一个实施方式中为约 40%或更小,在一个实施方式中为微通道宽度的自约 0.1%至约 60%,在一个实施方式中为微通道宽度的自约 0.1%至约 50%,在一个实施方式中为微通道宽度的自约 0.1%至约 40%。该表面特征的宽度可介于自约 0.05mm 至约 100cm 的范围内,在一个实施方式中介于自约 0.5mm 至约 5cm 的范围内,在一个实施方式中介于自约 1cm 至约 2cm 的范围内。

[0196] 在微通道内可包括多个表面特征或表面特征的区域,所述微通道包括凹陷入一种或多种微通道壁中的不同深度的表面特征。凹陷之间的间距可介于自约 0.01mm 至约 10mm 的范围内,在一个实施方式中介于自约 0.1mm 至约 1mm 的范围内。在微通道的整个长度或微通道的部分或区域内均可存在有表面特征。具有表面特征的部分或区域可以是间断的,以促进特定区域内的所希望的混合或单元操作(例如,分离、冷却等)。例如,1cm 的微通道部分可具有密间距排布的表面特征,接着是 4cm 的不具有表面特征的平直通道部分,然后是 2cm 的疏间距表面特征部分。术语“疏间距表面特征”可用于指带有间距的表面特征或特征与特征之间的距离大于表面特征宽度约 5 倍的表面特征。

[0197] 在一个实施方式中,该表面特征可以是基本上沿通道的整个轴向长度延伸的一个或多个表面特征区域。在一个实施方式中,通道可具有沿其轴向长度约 50%或更少延伸的表面特征,在一个实施方式中具有沿其轴向长度约 20%或更少延伸的表面特征。在一个实施方式中,该表面特征可沿通道的轴向长度的约 10%至约 100%延伸,在一个实施方式中为通道轴向长度的约 20%至约 90%,在一个实施方式中为通道轴向长度的约 30%至约 80%,在一个实施方式中为通道轴向长度的约 40%至约 60%。

[0198] 图 46 和 47 示出了可用于表面特征的许多不同的模式。这些模式不用于限制本发明,仅用于举例说明其多种可能性。正如任何表面特征一样,该模式可用于微通道的不同轴向或横向部分。

[0199] 该工艺微通道可包含一种或多种结构壁。这些结构壁可由一种或多种垫片形成。一种或多种垫片可含有一种或多种空隙、开口或透孔。这些空隙、开口或透孔可被称作表面特征。该垫片可含有形成于垫片的一个表面或者既形成于垫片的前表面或第一表面也形成于垫片的后表面或第二表面的槽或微槽。源自第一表面的槽或微槽可与源自第二表面的槽或微槽交叉以在垫片内形成多个空穴、透孔或开口。图 48 和 49 示出了实例。图 48 示出了垫片 510,其具有前表面或第一表面 512 和后表面或第二表面 514、以及形成于各表面中的多个槽或微槽 530。形成于前表面 512 中的槽或微槽 530 相互平行并置于块模式方阵 550

中,其中在第一块模式 550 中,槽或微槽沿第一或水平方向排列,然后在相邻的第二块模式 550 中,槽或微槽沿第二或垂直方向排列。该块模式方阵 550 包括多个彼此联排放置排列的块模式 550,该联排形成了多个彼此并排放置的列。除了前表面 512 具有沿第一或水平方向排列的槽或微槽、后表面 514 具有沿第二或垂直方向排列的槽或微槽 530 之外,形成于后表面 514 内的槽或微槽 530 也相互平行,并置于与前表面 512 中的块模式 550 类似的块模式方阵 550 中。类似地,在前表面 512 具有沿第二或垂直方向排列的槽或微槽 530 之处,后表面 514 具有沿第一或水平方向排列的槽或微槽。在前表面 512 内的槽或微槽 530 和在后表面 514 内的槽或微槽 530 部分地穿透垫片 510。前表面和后表面内的槽或微槽 530 的穿透足以使前表面 512 内的槽或微槽 530 与后表面 514 内的槽或微槽 530 交叉,结果在槽或微槽交叉的点处的垫片 510 内形成一排空穴、透孔或开口 552。开口 552 可具有足够的尺寸以使流体流动或通过开口 552 扩散。开口的数量每平方厘米有介于约 1 至约 200,000 个,在一个实施方式中每平方厘米有介于约 10 至约 100,000 个。开口 552 可具有介于约 1 至约 2000 微米的平均尺寸(例如直径),在一个实施方式中介于约 10 至约 1000 微米。该块模式 550 可具有约 $0.01 \times$ 约 500mm 的尺寸,在一个实施方式中可具有约 $0.5 \times$ 约 20mm 的尺寸。每一块模式 550 与紧相邻的块模式之间的间距可介于约 0.01 至约 10mm 的范围内,在一个实施方式中为约 0.1 至 1mm。在该实施方式中,该模式以 A、B、A、B 的方式交替排布。在一个替代实施方式中,可以改变其几何形态,以使结构物的表面积与体积的比可以沿反应器的长度或在反应器的不同区域内不同。以此方式,通过使用接近反应器的中部或末端的具有较高的表面积与体积的比的结构,对接近反应器顶部的很高热释放率的反应有利,在所述反应器的中部或末端,动力学减慢且导热率降低。沿反应器长度的最终生热率或沿反应器长度的热流量分布可变得更加均匀或一致。可进一步优化该模式以使希望的反应产物的选择性最大化。沿着催化剂结构的长度也可优化该模式以在催化剂结构内产生特定的梯度,或者进行实现上述两种目的优化。

[0200] 在所述实施方式中,前表面或第一表面 512 内的槽或微槽 530 与后表面或第二表面 514 内的槽或微槽交叉成直角,但是,可以理解为,交叉角可以是任何值(例如约 30° 至约 120°),因此不限于仅为直角。

[0201] 图 49 示出了包含多个图 59 中示出的垫片 510 的复合结构 502,该垫片 510 可彼此上下叠放或并排放置。在复合载体结构 502 中,可以互相上下叠放或并排放置任何数量的垫片 510。例如,2、3、4、6、8、10、20、30、50、100 等,垫片 510 可以互相上下叠放。

[0202] 工艺微通道 210、分批加入通道 240 和/或热交换通道 272 可使其内壁涂覆有疏脂涂层(同一涂层也可提供疏水性能)。聚四氟乙烯可以是涂层材料的一个实例,其既呈现疏脂的趋势也呈现疏水的趋势。面向工艺微通道 210 内部的带孔部分 240 的表面可涂覆有疏水涂层,以减少液滴的牵引力并促进更小液滴的形成。带孔部分上的涂层可降低需要的使液滴从带孔部分的表面脱离的能量。另外,在液滴分开的过程中和在超出工艺微通道下游的带孔部分范围流动时,可降低施加于第二流体上的牵引力。在一个实施方式中,疏水涂层可被涂覆于带孔部分,以协助水滴的脱离而进入油相。流体可不浸润涂覆有疏脂涂层的表面。这样,流体可滑过该表面,而因此取消或降低靠壁流体的通常的无滑动边界条件。当流体滑动时,由于降低的牵引力则局部摩擦系数可减小,以及通道的每单元长度的相应压降可减小。由于经过涂层表面的强制对流相对于通过滞膜的热传导进行,局部导热率可以

提高。涂层的效果对不同类型的非牛顿流体具有不同的影响。对于无屈服点的假塑性（幂律）流体而言，可表现为高于剪切率的牛顿流体，所述剪切率是流体依赖性的。当剪切率低于一定值时，该流体的粘度可变高。如果因为涂层壁而剪切率局部较大时，则该流体比不用涂层时将能够更容易地剪切液滴，耗能更低（泵入需求更低）地移动，并具有较好的传热性能。对于具有屈服点的假塑性（幂律）流体而言，可仍具有屈服应力，使用疏脂涂层时壁上的屈服应力可大大减小。相比于不使用涂层时，使用涂层时如果表观屈服低则可提高其传热和摩擦性能。剪切相关效应对非牛顿流体比对牛顿流体更显著。

[0203] 可利用公知技术制造微通道处理单元核 102，该技术包括电火花线加工、普通切削加工、激光切割、光化学机械加工、电化学机械加工、模铸、水射流、冲压、蚀刻（例如，化学、光化学或等离子蚀刻）及其组合。

[0204] 可通过形成层或片以构成工艺微通道处理单元核 102，其部分被去除以留有流道。经过扩散焊、激光焊、扩散钎焊及其类似方法组装叠片以形成集成装置。组合使用片或薄层和部分片或带可组装该微通道处理单元核 102。在此方法中，可通过组装带或部分片形成通道或空穴区以减少所需材料的数量。

[0205] 在一个实施方式中，可使用如下组件以构成微通道处理单元核 102 的分段或模块化单元：带有熔封周界和工艺流程开口的顶端/底部的基质部件，和热交换部件。该基质部件和热交换部件可结合起来（熔合、粘合、焊接等）以形成无泄漏操作单元。可挤压该热交换部件。该基质部件和热交换部件可由塑料、金属或上述其他材料制成。

[0206] 在一个实施方式中，该微通道处理单元核 102 可通过一种方法而制得，该方法包含层压或扩散焊由任何上述材料（例如，金属、塑料或陶瓷）制成的垫片，以使每层均具有限定的通道的几何形状以及可通过其传送流体的开口。在已经产生个体层之后，可嵌入催化剂。可按规定的次序叠放这些层以建立层流。这些层可以并排叠放或上下叠放。然后，所述完成的叠放层可以扩散焊接以避免流体漏入或漏出微通道处理单元。焊接后，修整该装置至其最终尺寸并准备附属管和歧管。

[0207] 特征产生方法包括光化学蚀刻、铣削、钻孔、电火花机械加工、激光切割和模铸等。用于大量制造的有益方法可以是模铸。在模铸中，应当注意使材料变形最小化以及保持通道几何形态的紧密度容限。防止变形、保持垫片排布和确保层以适当次序叠放为在叠放过程中需要控制的因素。

[0208] 该叠放可通过扩散法焊接。在此方法中，可在一个精确的期间内使所述叠放升高的温度和压力以获得所希望的焊接质量。这些参数的选择需要进行模拟和试验验证，以找到能够在金属层之间进行充分颗粒生长的焊接条件。

[0209] 焊接后的下一步可以是机械加工装置。可以使用许多方法，包括带有高速切刀的常规铣削，也可以是高改性的电火花机械加工技术。一种已经历后焊接机械加工操作的全尺寸焊接的微通道反应器或微通道分离器单元或亚单元可包含例如十几个、几百个或几千个垫片。

[0210] 该工艺微通道 210 可具有介于自约 0.05mm 至约 10mm 的高度或宽度，在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 5mm，在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 2mm，在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1.5mm，在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1mm，在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.75mm，在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.5mm。高度或宽度的其他尺寸

可以为任何尺寸,例如达约 3m,在一个实施方式中自约 0.01m 至约 3m,在一个实施方式中自约 0.1m 至约 3m。该工艺微通道 210 的长度可以为任何尺寸,例如达至约 10m,在一个实施方式中自约 0.1m 至约 10m,在一个实施方式中自约 0.2m 至约 10m,在一个实施方式中自约 0.2m 至约 6m,在一个实施方式中自约 0.2m 至约 3m。该工艺微通道 210 可具有矩形的横截面,或者可选地,其可具有任何形状的横截面,例如正方形、圆形、半圆形、梯形等。该工艺微通道 210 的横截面的形状和 / 或尺寸可以根据其长度改变。例如,高度或宽度可以根据微通道的长度自相对大的尺寸逐渐变小至相对小的尺寸,或自相对小的尺寸逐渐变大至相对大的尺寸。

[0211] 该工艺微通道 210 可具有图 2 所示的结构。图 2 中所示的微通道具有自最大值变至最小值的横截面面积。在一个实施方式中,其最小的横截面积可位于该微通道出口处或其附近,而其最大的横截面积可位于其入口处或其附近。该微通道可称之为带有收敛横截面的微通道。该微通道可被称作梯形微通道。该微通道有两个尺寸的高度,一个是最小尺寸 (h^1) 而另一个是最大尺寸 (h^2)。其高度由 h^1 逐渐增至 h^2 。二者择一地,该微通道可具有形状为圆形、椭圆形、三角形等的横截面。该微通道具有介于约 0.05mm 至约 10mm 范围内的至少一高度 (h^1) 尺寸,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 5mm,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 2mm,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1.5mm,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 1mm,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.75mm,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.5mm。其宽度 (w) 可以是任何尺寸,例如约至 3m,在一个实施方式中自约 0.01m 至约 3m,在一个实施方式中自约 0.1m 至约 3m。其长度 (l) 可以是任何尺寸,例如达约 10m,在一个实施方式中自约 0.1m 至约 10m,在一个实施方式中自约 0.2m 至约 6m。其最大横截面面积可以是其最小横截面面积的至少约两倍 ($2X$),在一个实施方式中为至少约五倍 ($5X$),在一个实施方式中为其最小横截面面积的至少约二十倍 ($20X$)。当流体沿着微通道内的线流通道流动时,流体在该微通道内流动的线速度可以增加。当反应物沿着微通道内的线性通道流动时,反应物和催化剂之间的局部接触时间可以减少。

[0212] 该分批加入通道 240 和 240A 可以是微通道或者其可具有较大尺寸。该分批加入通道 240 和 240A 可具有任何形状的横截面,例如正方形、矩形、圆形、半圆形等。该分批加入通道 240 和 240A 可有达约 10mm 的内部高度或间隙,在一个实施方式中达约 6mm,在一个实施方式中达约 4mm,在一个实施方式中达约 2mm。在一个实施方式中,其高度或间隙可介于约 0.05mm 至约 10mm 的范围内,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 6mm,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 4mm,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 2mm。该分批加入通道 240 和 240A 的宽度可以是任何尺寸,例如达约 3m,在一个实施方式中为约 0.01m 至约 3m,在一个实施方式中为约 0.1m 至约 3m。各分批加入通道 240 和 240A 的长度可以是任何尺寸,例如达约 10m,在一个实施方式中为自约 0.1m 至约 10m,在一个实施方式中为自约 0.2m 至约 10m,在一个实施方式中为自约 0.2m 至约 6m,在一个实施方式中为自约 0.2m 至约 1m,在一个实施方式中为自约 0.2m 至约 3m。

[0213] 该热交换通道 272 可以是微通道或其具有较大尺寸。各热交换通道 272 可具有任何形状的横截面,例如正方形、矩形、圆形、半圆形等。各热交换通道 272 可有达约 10mm 的内部高度或间隙,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 10mm,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 5mm,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 2mm。这些通道中各通道的宽度可以是任何

尺寸,例如达约 3m,在一个实施方式中为约 0.01m 至约 3m,在一个实施方式中为约 0.1m 至约 3m。各热交换通道 272 的长度可以是任何尺寸,例如,达约 10m,在一个实施方式中为自约 0.1m 至约 10m,在一个实施方式中为自约 0.2m 至约 6m,在一个实施方式中为自约 0.2m 至约 3m。

[0214] 在一个实施方式中,用于微通道处理单元核 102 内的工艺微通道、选择性分批加入通道和热交换通道可具有矩形的横截面并且可以竖向并排排列或横向叠放排列。这些平面可自水平方向以一倾斜角倾斜。这些结构可被称作平行板结构。可以使用两种或多种工艺微通道、可选择的相邻的分批加入通道与单个的热交换通道的不同组合,或者两种或多种热交换通道与单个工艺微通道、可选择的相邻的分批加入通道的组合。这些矩形通道的阵列可以模块化致密单元的方式排列以扩大规模。

[0215] 工艺微通道的横截面形状和尺寸可以沿着其轴向长度改变,以适应通道内变化的流体动力学。例如,如果进行反应并且其中一种反应物过量,那么反应混合物的流体性质在该反应的整个过程中可以改变。表面特征可用于提供不同的几何形态、模式、角度、深度或沿着其轴向长度相对于工艺微通道的横截面的尺寸的比例,以适应这些流体动力学的变化。

[0216] 相邻工艺微通道、分批加入通道和 / 或热交换通道之间的间距可介于自约 0.05mm 至约 50mm 的范围内,在一个实施方式中为约 0.1mm 至约 10mm,在一个实施方式中为约 0.2mm 至约 2mm。

[0217] 工艺微通道和分批加入通道可由平行间隔的片和 / 或板、与工艺微通道相邻的分批加入通道形成。热交换通道可由平行间隔的片和 / 或板形成。热交换通道可与工艺微通道、分批加入通道相邻,或者既与工艺微通道相邻又与分批加入通道相邻。该工艺微通道和分批加入通道可交错并排排列或彼此交错叠放地排列。

[0218] 工艺微通道和分批加入通道可包含集中排布的圆管。工艺微通道可位于环形空间内,而分批加入通道可位于中心空间或相邻的环形空间内。工艺微通道可位于中心空间内,而分批加入通道可位于相邻的环形空间内。

[0219] 工艺微通道 210 中的反应区 220 可通过具有总体流动通道进行表征。术语“总体流动通道”指工艺微通道内的开放通道(相邻总体流动区域)。相邻总体流动区域使得流体快速流过工艺微通道而不产生大的压降。在一个实施方式中,总体流动区域内流体的流动为层流。每个工艺微通道 210 内的总体流动区域可具有介于约 0.05mm^2 至约 $10,000\text{mm}^2$ 的横截面积,在一个实施方式中介于约 0.05mm^2 至约 5000mm^2 ,在一个实施方式中介于约 0.1mm^2 至约 2500mm^2 。所述总体流动区域可包含工艺微通道横截面的约 5% 至约 95%,在一个实施方式中介于约 30% 至约 80%。

[0220] 带孔部分 250 和 250A 中的孔具有足够的尺寸以使得第二流体流可以流过带孔部分。该孔可被称作毛细孔(pores)。含有上述孔的带孔部分 250 和 250A 可具有的厚度介于约 0.01mm 至约 50mm 的范围内,在一个实施方式中介于约 0.05mm 至约 10mm,在一个实施方式中介于约 0.1mm 至约 2mm。该孔可具有达约 250 微米范围的平均直径,在一个实施方式中达约 100 微米,在一个实施方式中达约 50 微米,在一个实施方式中为约 0.001 微米至约 50 微米的范围内,在一个实施方式中为约 0.05 微米至约 50 微米,在一个实施方式中为约 0.1 微米至约 50 微米。在一个实施方式中,所述孔可具有的平均直径介于约 0.5 纳米至约 10

纳米 (nm) 的范围内,在一个实施方式中为约 1nm 至约 10nm,在一个实施方式中为约 5nm 至约 10nm。带孔部分内的孔的数量每平方厘米可介于约 1 至约 5×10^8 个孔的范围内,在一个实施方式中为每平方厘米可约 1 至约 1×10^6 个孔。该孔可以是相互分离的或者不分离的。孔的一部分或全部可与带孔部分内的其他孔流体连通。即,流体可自一个孔流向另一个孔。带孔部分 250 和 250A 的厚度与带孔部分沿着流体流过工艺微通道 210 的流道的长度之比可介于约 0.001 至约 1 的范围内,在一个实施方式中为约 0.01 至约 1,在一个实施方式中为约 0.03 至约 1,在一个实施方式中为约 0.05 至约 1,在一个实施方式中为约 0.08 至约 1,在一个实施方式中为约 0.1 至约 1。

[0221] 带孔部分 250 和 250A 可由具有足够强度和尺寸稳定性使得可以进行本发明的方法的操作的任何材料构成。这些材料包括:钢(例如不锈钢、碳钢等);蒙乃尔;英科乃尔;铝;钛;镍;铂;铈;铜;铬;黄铜;任何上述材料的合金;聚合物(例如热固性树脂);陶瓷;玻璃;含有一种或多种聚合物(例如热固性树脂)和玻璃纤维的复合物;石英;有机硅;包括碳纳米管或碳分子筛在内的微孔炭;沸石;或者其中两种或多种物质的组合物。可以利用已知技术形成所述孔,例如激光钻孔、微电子机械体系(MEMS)、光刻电镀和模铸(LIGA)、电打火、光化学机械加工(PCM)、电化学机械加工(ECM)、电化学蚀刻等。可利用用于制造结构塑料的技术形成孔,例如挤压、或薄膜,诸如排列的碳纳米管(CNT)薄膜。可利用诸如烧结或压缩金属粉末或颗粒以形成弯曲的互连毛细通道的技术和制备薄膜的技术来形成孔。通过在所述孔的内侧壁上涂覆涂层以部分地填充孔可以减少由任何这些方法提供的所述孔的尺寸。选择性的涂层也可在多孔体的外部形成薄层,所述多孔体提供与连续流动通道相近的最小孔径。最小的平均孔口可介于约 1 纳米至约几百微米的范围内,这取决于所希望的乳液液滴尺寸。既可通过热处理也可通过在孔的内侧壁上形成氧化膜或氧化涂层的方法减少孔的尺寸。这些技术可用于部分地咬合孔以减少流动开口的尺寸。图 27 和图 28 示出了在相同位置进行相同程度的热处理前后的不锈钢多孔底物的 SEM 表面结构的对比。图 27 示出了热处理前的表面,图 28 示出了热处理后的表面。热处理后的多孔材料的表面具有明显较小的间隙和开口尺寸。开口之间的平均距离相应地增加。

[0222] 带孔部分 250 和 250A 可由金属或非金属多孔材料制成,所述多孔材料含有互连通道或其平均孔径介于约 0.01 微米至约 1000 微米的毛细孔,在一个实施方式中介于约 0.01 微米至约 200 微米。这些毛细孔可用作孔。多孔材料可由粉末或颗粒制成以使平均孔间距类似于平均孔径。通过在自约 300℃ 至约 1000℃ 范围的高温下氧化约 1 小时至约 20 天,或者通过涂覆一薄层其它材料,例如通过溶胶涂覆的氧化铝或在孔的表面上和内侧利用化学气相沉积的镍,可以定制多孔材料以阻塞较小的孔、减少较大孔的孔径,从而增大孔间距。定制的底物或带孔部分的 SEM 图像如图 29 所示。

[0223] 制造用作如下带孔部分 250 和 250A 的基质可能是有问题的:所述带孔部分 250 和 250A 带有足够小的用于提供具有小于约 1 微米的泡或液滴尺寸的第二流体流的微尺度孔或毛孔。其中原因之一在于下述事实:使用诸如通过压缩和/或烧结粉末/颗粒制成的金属多孔基质的未处理的常规的多孔材料存在相对高的表面粗糙度,。当给定的标称孔径低于一定值时,这些金属多孔基质通常在表面区域中不含有所需要的孔径。虽然总体多孔材料可具有特定的标称孔径,但是经常通过合并的毛孔和更大尺寸的空腔表征该表面区域。通过特制这些基质以提供表面区域内的所希望的孔径和孔间距可克服该问题。其可通过从

多孔基质去除表面层和添加具有较小开口的光滑的新表面来完成。可利用这些特制底物形成的分批添加进料流的液滴尺寸或泡尺寸可减小而不会增加整个基质的压降。由于直接研磨或机械加工多孔表面可引起表面结构的涂抹和孔的堵塞,可用液体填充剂填充该多孔结构,接下来固化和机械研磨/抛光。然后去除填充剂以重新获得该材料的多孔结构。该填充剂可以是低熔点金属,例如锌或锡或诸如环氧树脂的聚合物的前体。可通过利用真空协助液体填充和去除步骤。使用磨床和磨粉可实现研磨/抛光。通过熔融和真空抽吸、或通过酸蚀可实现金属填充剂的去除。可通过溶剂溶解或通过空中烧尽去除环氧树脂或其他聚合物。

[0224] 参照图 30-32,在一个实施方式中,带孔部分 250 和 250A 可由含有相对小的孔 302 的相对薄的片 300、以及含有相对大的孔 312 的相对厚的片或板 310 构成。各片 300 和片或板 310 可被称作孔板。孔 312 可与孔 302 对准或者与孔 302 连接。该相对薄的片 300 可覆盖相对厚的片或板 310 和与其焊接,相对薄的片 300 面向工艺微通道 210 的内部,而相对厚的片 310 面向分批加入通道 250 或 250A 的内部。利用任何合适的可提供具有增强的机械强度的复合结构 320 的工艺(例如扩散焊接)可使相对薄的片 300 与相对厚的片 310 焊接。该相对薄的片 300 可具有介于约 0.001mm 至约 0.5mm 的范围的厚度,在一个实施方式中为约 0.05mm 至约 0.2mm。该相对小的孔 302 可具有任何形状,例如圆形、三角形或矩形。该相对小的孔 302 可具有介于约 0.05 微米至约 50 微米的范围的平均直径,在一个实施方式中为约 0.05 微米至约 20 微米。该相对厚的片或板 310 可具有介于约 0.01mm 至约 5mm 的范围的厚度,在一个实施方式中为约 0.1mm 至约 2mm。该相对大的孔 312 可具有任何形状,例如圆形、三角形或矩形。该相对大的孔 312 可具有介于约 0.01 微米至约 4000 微米的范围的平均直径,在一个实施方式中为约 1 至约 2000 微米,在一个实施方式中为约 10 微米至约 1000 微米。片 300 内的孔 302 的总数和片或板 310 内的孔 312 的总数可介于每平方厘米约 1 至约 10000 个孔,在一个实施方式中为每平方厘米约 1 至约 1000 个孔。片 300 和片或板 310 可由上述用于构建带孔部分 250 和 250A 的任何材料构建。孔 302 和 312 可以下述方式排列或连接:流过带孔部分 250 和 250A 的流体最初流过孔 312,然后流过孔 302。相比于如果孔内的通道的深度等于孔 302 和 312 的组合的深度时所出现的压降,用于流体流过相对小的孔 302 的相对短的通道使得流体可以相对较低的压降流过孔 302。

[0225] 在图 33 所示的实施方式中,除了提供了覆盖孔 312 的相对薄的片 300 的凸起部分 304 之外,复合结构 320a 具有如图 32 所示的相同设计。凸起部分 304 在相邻的通道内提供增强的局部剪力。分批加入进料流沿箭头 323 所示方向流过孔 312 和 302。图 33 中的方向箭头 322 示出了与孔 302 相邻的工艺微通道内的进料成分的流动。所述增加的局部剪力导致较小的液滴尺寸或流体流过孔 302 的气泡。

[0226] 在如图 34 所示的实施方式中,表面涂层 330 沉积于片或板 332 的表面上和孔 336 的内侧壁 334 上。该涂层提供了减小孔径的便利途径。用于形成涂层 330 的涂层材料可以是氧化铝、镍、金、或者聚合材料(例如聚四氟乙烯)。利用如下公知技术可将涂层 330 涂覆于片或板 332 上:化学气相沉积、金属溅射、金属镀、烧结、溶胶涂层等。可通过控制该涂层 330 的厚度控制孔径。

[0227] 可由不对称多孔材料形成带孔部分 250 和 250A,例如具有多层烧结颗粒的多孔材料。层数可以是两层、三层或更多。这些多层底物的优点是其提供了增强的耐久性和粘合

性。实例包括在一侧上具有相对大的孔而在另一侧上具有相对小的孔的烧结陶瓷。该相对小的孔可具有介于约 2nm 至约 10nm 的孔径。该相对小的孔可位于多层底物的相对薄的层中。该相对薄的层可具有的厚度介于约 1 微米至约 10 微米的范围内。带有相对小的孔的侧可面向工艺微通道 210 的内部放置,以充分利用相对高的剪力去除反应物中相对小的液滴和 / 或形成的液体催化剂。

[0228] 带孔部分 250 和 250A 可沿着工艺微通道 210 的至少约 5% 的轴向长度延伸,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 20% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 35% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 50% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 65% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 80% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 95% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 5% 至约 100% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 10% 至约 95% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道的至少约 25% 至约 75% 的轴向长度,在一个实施方式中为工艺微通道 210 的至少约 40% 至约 60% 的轴向长度。

[0229] 微通道处理单元 100 可包含一种或多种如图 4-26 和图 42-43 所示的重复单元 200-200X。在一个实施方式中,该微通道处理单元可包含自 1 至约 50,000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 50,000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 30,000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 10,000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 5000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 2000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 1000 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 500 个重复单元,在一个实施方式中为约 10 至约 100 个重复单元。

[0230] 本发明方法可包含用于形成非牛顿流体产品的非牛顿流体和 / 或牛顿流体进料流的应用。例如,当形成作为产物的非牛顿乳液时,可应用下述进料流的组合:

[0231]

实例	连续相 (进料 A)	分散相 (进料 B)	产物 / 乳液
1	牛顿流体	牛顿流体	非牛顿流体
2	牛顿流体	非牛顿流体	非牛顿流体
3	非牛顿流体	牛顿流体	非牛顿流体
4	非牛顿流体	非牛顿流体	非牛顿流体

[0232] 可采用两种方法设计工艺流体集管 104。该集管 104 可包含用于每一入口进料流的一种或多种入口歧管。当入口进料流是牛顿流体时,该入口进料流可在入口歧管内不进行任何转向而直接地流过所述入口歧管、流进工艺微通道,或者所述入口进料流在进入工艺微通道之前可在入口歧管内进行一次或多次转向。另一方面,当入口进料流是非牛顿流体时,所述入口进料流可在入口歧管内不进行任何转向而直接地流过该入口歧管、流进工艺微通道中。对于可包含出口歧管的产物底管 106 而言,同样如此。当形成于工艺微通道内的产物是非牛顿流体时,该产物可直接地流过底管 106、流出微通道处理单元 100。底管

106 可包含一种或多种直通出口歧管,流体流过该歧管而在出口歧管内不进行任何转向。美国专利出版物 2005/0087767A1、2006/0275185A1 和 2006/0289662A1 公开了可用于集管 104 和底管 106 内的各种歧管的设计,其通过引用合并于本发明中。

[0233] 图 62、66 和 67 中示出了上述表格中提及的实例 1-4 的流动模式。在各图 62、66 和 67 中,均使用微通道处理单元 100。除了这些图中所示出的集管不同之外,图 3 中示出的这些微通道处理单元 100 均是相同的。每一这些微通道处理单元包含微通道处理单元核 102、工艺流体集管 104 和产物底管 106。图 62 中示出了实例 1。参照图 62,进料流 A 和 B 均是进入集管 104 的牛顿流体。该集管 104 包括用于每一进料流的一种或多种入口歧管。每一进料流从集管的一侧进入集管,并且在入口歧管内进行一次或多次转弯以流入微通道处理单元核 102 内的工艺微通道中。属于非牛顿流体的产物乳液,自工艺微通道直接地流过底管 106、从微通道处理单元 100 流出。该产物可流过底管 106 内的一种或多种出口歧管,而在出口歧管内不进行转向。

[0234] 对于实例 2 和 3 而言,图 66 中示出了流动模式。参照图 66 中所示的实例 2,属于牛顿流体的进料流 A 自集管的一侧流进集管 104 内。该集管包括至少一用于各进料流的入口歧管。在进入工艺微通道内之前,进料流 A 在入口歧管内进行至少一次转向。属于非牛顿流体的进料流 B 在入口歧管内未进行任何转向而直接地流过集管 104 内的入口歧管而流进工艺微通道。进料流 A 和 B 在工艺微通道内混合以形成产物乳液,所述产物乳液直接地流过底管 106、从微通道处理单元 100 流出。该产物可流过底管 106 内的一个或多个出口歧管,而在出口歧管内未进行任何转向。

[0235] 除了进料流 B 是从集管的一侧流进集管 104 并流进一个或多个入口歧管的牛顿流体之外,图 66 中示出的实例 3 也与实例 2 相同。在进入工艺微通道之前,进料流 B 在入口歧管内进行一次或多次转向。属于非牛顿流体的进料流 A 直接地流过集管 104 内的一个或多个入口歧管,而在入口歧管内未进行任何转向。产物乳液直接地流过底管 106、从微通道处理单元 100 流出。产物可流过底管 106 内的一个或多个出口歧管,而在出口歧管内未进行任何转向。

[0236] 图 67 中示出的实例 4 包括入口进料流 A 和 B 的应用,所述进料流 A 和 B 均为非牛顿流体。所述两种流体流直接地流过集管 104 内的入口歧管,而在入口歧管内未进行任何转向。属于非牛顿流体的产物乳液直接地流过底管 106、从微通道处理单元 104 流出。该产物可流过底管 106 内的一个或多个出口歧管,而在出口歧管内未进行任何转向。

[0237] 使用图 63 所示的垫片和孔板可形成图 62 所示的微通道装置。左垫片提供进料流 A 的入口及其流动。右垫片提供进料流 B 的入口及其流动。这些垫片可彼此上下叠放,图 63 中心所示的孔板置于垫片之间。图 63 所示的该两个垫片和孔板可包含用于形成微通道处理单元 100 的单一的重复单元。与上述重复单元类似的附加重复单元可彼此上下叠放。提供热交换通道 272 的附加垫片可交织于重复单元之间。

[0238] 为了控制自入口歧管至工艺微通道的进料分布,可在歧管内提供流阻和 / 或流动分布特征,以控制自入口歧管至工艺微通道的流动分布。流阻可以是障碍物或者是减少通过歧管的质量流量的增加了通道壁粗糙度的区域。可用的流阻的实例公开于上述美国专利出版物 2005/0087767A1 和 2006/0275185A1 中。

[0239] 流动分布特征可以是使入口歧管与工艺微通道连接的微观尺寸通道。图 64 示出

了可使用的连接流动分布特征的实例。在图 64 所示出的各图解中,示出了用于流体自歧管流动至工艺微通道的微观尺寸通道。这些微观尺寸通道可具有介于约 0.05mm 至约 10mm 的范围的高度,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 5mm,以及约 0.05mm 至约 1mm 的范围的宽度,在一个实施方式中自约 0.05mm 至约 0.25mm。其高度和宽度可标配于微观尺寸通道内的流体流动。该流动分布特征的横截面面积可比与其连接的工艺微通道的横截面积小约 100 倍,在一个实施方式中比其小约 50 倍,在一个实施方式中比其小约 10 倍,在一个实施方式中比其小约 2 倍。当由自歧管流至工艺微通道的不同进料流所提供的压降不同时,这些微观尺寸通道可有用。例如,进料流 A 的压降可比进料流 B 的压降小 3 倍,并且流动分布特征可用于具有较小压降的进料。二者择一地,流阻可用于具有较低压降的进料流。

[0240] 利用如图 65 所示的横流取向,进料流可进入微通道处理单元 100 内。利用流过入口歧管的一种或多种直流进料流 A 和 B 都可进入微通道处理单元内。除了进料流直接地流进工艺微通道而不是通过歧管沿图 63 所示的流动方向需要至少一次转向之外,可利用图 63 所示的交替排布的垫片和孔板构建所述微通道处理单元。

[0241] 歧管内的流阻和 / 或流动分布特征可用于降低制造公差的灵敏度。该流阻和 / 或流动分布特征可降低整个压降的灵敏度至制造公差带。通过蚀刻由相同原料 (stock) 制成的垫片中的流阻和 / 或流动分布特征,可实现用于制造流阻和 / 或流动分布特征的紧密公差。

[0242] 许多微通道处理单元 100 可容纳于图 50 和 51 所示的容器 600 内。参照图 50 和 51,该容器 600 含有五个微通道处理单元 100。在图 50 和 51 中,这些微通道处理单元被标识为微通道处理单元 100-1、100-2、100-3、100-4 和 100-5。虽然附图中示出了五个微通道处理单元 100,但是可以理解:容器 600 可含有任何希望数量的微通道处理单元。例如,容器 600 可含有自 1 至约 1000 个微通道处理单元 100,在一个实施方式中自约 3 至约 500 个微通道处理单元 100,在一个实施方式中自约 3 至约 250 个微通道处理单元 100,在一个实施方式中自约 3 至约 150 个微通道处理单元 100,在一个实施方式中自约 5 至约 50 个微通道处理单元 100,在一个实施方式中自约 5 至约 12 个微通道处理单元 100。在一个实施方式中,该容器 600 可含有自 1 至约 50 个微通道处理单元 100,在一个实施方式中自 1 至约 20 个微通道处理单元 100。每一微通道处理单元 100 可包含自约 1 至约 50,000 个工艺微通道,在一个实施方式中为约 10 至约 50,000 可工艺微通道,在一个实施方式中为约 10 至约 30,000 可工艺微通道,在一个实施方式中为约 10 至约 10,000 可工艺微通道。该容器 600 可以是加压容器。该容器 600 包括入口 602 和 604 以及出口 606 和 608。该入口 602 与歧管连接,所述歧管可用于使第一流体流至微通道处理单元 100-1、100-2、100-3、100-4 和 100-5 内的工艺微通道。该入口 604 与歧管,所述歧管可用于使热交换流体流至微通道处理单元 100-1、100-2、100-3、100-4 和 100-5 内的热交换通道。该出口 706 与歧管连接,所述歧管可用于使产物自微通道处理单元 100-1、100-2、100-3、100-4 和 100-5 流出容器 600。入口 608 与歧管连接,所述歧管可用于使第二流体流至可位于微通道处理单元 100-1、100-2、100-3、100-4 和 100-5 内的分批加入通道。容器 600 还可包括用于来自微通道处理单元 100-1、100-2、100-3、100-4 和 100-5 的热交换流体的流动的出口 (图中未示出)。

[0243] 容器 600 可由任何合适的材料制成,所述材料足以在操作微通道反应器所需要的压强和温度下进行操作。例如,该容器 600 的外壳和顶端可由铸钢制成。法兰、管接头和管

可由不锈钢或其他合适的合金制成。该容器 600 可具有任何所希望的直径,例如自约 30cm 至约 500cm,在一个实施方式中自约 100cm 至约 300cm。该容器 600 的轴向长度可以是任何所希望的值,例如自约 0.5m 至约 50m,在一个实施方式中自约 0.5m 至约 15m,在一个实施方式中自约 1m 至约 10m。

[0244] 如上所述,该微通道处理单元 100 可包含多个彼此上下叠放或并排放置的工艺微通道、热交换通道和选择性地分批加入通道。微通道处理单元 100 可以是如图 50 和 51 所示的立方块的形式。每一这些立方块均可具有长度、宽度和高度。该长度可介于约 10cm 至约 1000cm 的范围内,在一个实施方式中为约 50cm 至约 200cm 的范围。该宽度可介于约 10cm 至约 1000cm 的范围,在一个实施方式中为约 50cm 至约 200cm 的范围。该高度可介于约 10cm 至约 1000cm 的范围,在一个实施方式中为约 50cm 至约 200cm 的范围。

[0245] 本发明方法可适于进行任何化学反应,其中一种或多种反应物和 / 或产物为非牛顿流体。这些反应可包括气-液反应、液-液反应、气-液-液反应、气-液-固反应、液-液-固反应等。根据本发明方法可进行的反应可包括任何流体反应,所述流体反应包括氧化反应、加氢裂化反应、加氢反应、水合反应、羰基化反应、硫酸化反应、磺化反应、低聚反应、聚合反应等。

[0246] 第一反应物可包括一种或多种液体。当该第一反应物包括多于一种的液体时,所得液体混合物可以是溶液或多相流体混合物(例如乳液)的形式。该第一反应物可包含分散于一种或多种流体中的固体。该固体可包含催化剂颗粒。二者择一地,固体可以不是用于催化的。可加入该固体以提供希望的产物结构、吸收所需要的或不需要的副产物、强化工艺微通道的剪切等。该固体可以是足够小的可以位于工艺微通道内的任何尺寸。例如,该固体可具有介于约 0.01 微米至约 200 微米范围内的平均粒径,在一个实施方式中为约 1 微米至约 40 微米。

[0247] 第二反应物可包含一种或多种液体,一种或多种气体或者其混合物。第二反应物可包含含有分散的液滴的一种或多种气体或者含有分散的气泡的一种或多种液体。当第二反应物以气体的形式被引进第一反应物以形成多相反应混合物时,第二反应物可在第一反应物内形成气泡。当第二反应物以液体的形式被引进第一反应物以形成多相反应混合物时,第二反应物可在第一反应物内形成液滴。当第二反应物为液体形式时,其可与第一反应物不混溶。二者择一地,该多相反应混合物可包含泡沫,其中薄液膜覆盖滞留的气体。该泡沫可包含连续或不连续的泡沫结构。

[0248] 虽然希望避免可能使催化剂中毒的化合物存在,但反应物的纯度并不是关键的。反应物可包含不与反应物反应的杂质。

[0249] 所述第一和 / 或第二反应物可与一种或多种稀释材料组合。此稀释剂的实例包括氮、氩、非活性烃稀释剂等。每一反应物的稀释剂的浓度可介于 0 至约 99 重量%的范围内,在一个实施方式中自 0 至约 75 重量%,在一个实施方式中自 0 至约 50 重量%。当反应物为气体形式时,稀释剂可与一种或多种反应物组合,并且希望将液体用作反应物。稀释剂可用于降低粘性液体反应物的粘度。本发明中的至少一个实施方式的优点是:不使用此类稀释剂却可提供一种更有效并紧凑的方法。

[0250] 该催化剂可以是氧化催化剂、加氢裂化催化剂、加氢催化剂、水合催化剂、羰基化催化剂、硫酸化催化剂、磺化催化剂、低聚催化剂、聚合催化剂,或者其中两种或多种的组合

物。

[0251] 在一种或多种氧化催化剂存在时,氧化反应包括一种或多种可进行氧化反应的碳氢化合物与氧气或氧气源的反应。可被称作第一反应物的所述碳氢化合物可为液体形式,或者可以为分散于一种或多种液体内的气体形式。可被称作第二反应物的氧气或氧气源可为气体的形式。

[0252] 可用于氧化反应中的碳氢化合物包括饱和脂肪族化合物(例如烷烃)、不饱和脂肪族化合物(例如烯烃、炔烃)、醛、烷基取代的芳香族化合物、烯烃取代的芳香族化合物等。该饱和的脂肪族化合物包括每分子中含有1至约25个碳原子的烷烃,在一个实施方式中为1至约20个碳原子,在一个实施方式中为1至约10个碳原子。这些饱和的脂肪族化合物包括直链烷烃、单个和多个支链烷烃、以及包括环上附有一个或多个烷基的环烷烃在内的环烷烃。这些饱和的脂肪族化合物包括甲烷、乙烷、丙烷、异丙烷、丁烷、异丁烷、戊烷、环戊烷、己烷、庚烷、辛烷、2-乙基己烷、壬烷、癸烷、十二烷等。该不饱和的脂肪族化合物包括烷烃或烯烃以及炔烃。该不饱和脂肪族化合物可包含自2至约25个碳原子,在一个实施方式中为约2至约20个碳原子,在一个实施方式中为约2至约10个碳原子。这些不饱和脂肪族化合物包括直链烯烃、单个和多个支链的烯烃、以及环上附有一个或多个烷基和/或烯基的环烯烃在内的环烯烃。这些不饱和脂肪族化合物包括乙烯;丙烯;1-丁烯;2-丁烯;异丁烯;1-戊烯;2-戊烯;3-甲基-1-丁烯;2-甲基-2-丁烯;1-己烯;2,3-二甲基-2-丁烯;1-庚烯;1-辛烯;1-壬烯;1-癸烯;1-十二烯等。

[0253] 不饱和脂肪族化合物可包含多烯。这些多烯包括二烯、三烯等。这些化合物的每分子可含有自3至约25个碳原子,在一个实施方式中为3至约20个碳原子,在一个实施方式中为3至约10个碳原子。实例包括1,2-丙二烯(也称作丙二烯);1,3-丁二烯;2-甲基-1,3-丁二烯(也称作异戊二烯);1,3-戊二烯;1,4-戊二烯;1,5-己二烯;2,4-己二烯;2,3-二甲基-1,3-丁二烯等。

[0254] 所述醛可以是饱和醛也可以是不饱和醛。它们可以是脂肪族的也可以是芳香族的。所述醛每分子中可含有自2至约25个碳原子,在一个实施方式中为约2至约20个碳原子,在一个实施方式中为约2至约10个碳原子。实例包括甲醛、乙醛、丙醛、正丁醛、正戊醛、己醛、丙烯醛、反式-2-顺式-6-壬二烯醛、正己醛、反式-2-壬二烯醛、十六醛(hexadecenal)、苯甲醛、苯乙醛、邻甲基苯甲醛、间甲基苯甲醛、对甲基苯甲醛、水杨醛、对羟基苯甲醛等。

[0255] 烷基或烯基取代的芳香族化合物可含有一种或多种烷基或烯基取代基。这些化合物可以是单环的(例如苯基)或者多环的(例如萘基)。这些化合物包括含1至约25个碳原子的一个或多个烷基的烷基取代的芳香族化合物,在一个实施方式中为1至约20个碳原子,在一个实施方式中为1至约10个碳原子。这些芳香族化合物也包括含2至约25个碳原子的一个或多个烯基的烯基取代的芳香族化合物,在一个实施方式中为2至约20个碳原子,在一个实施方式中为2至约10个碳原子。实例包括甲苯、邻二甲苯、间二甲苯、对二甲苯、半蜜蜡质、1,2,4-三甲苯、1,3,5-三甲苯、连四甲苯、异杜烯、杜烯、五甲基苯、六甲基苯、乙苯、正丙基苯、异丙基苯、正丁基苯、异丁基苯、仲丁基苯、叔丁基苯、对-聚伞花素、苯乙烯等。

[0256] 用于氧化反应的氧气或氧气源可包含分子氧、空气或其他氧化剂,诸如能够作为

氧气源的氮氧化物。该氧气源可以是二氧化碳、一氧化碳或过氧化物（例如过氧化氢）。可以使用含氧气的气体混合物，诸如氧气和空气的混合物、或氧气和惰性气体（例如氦气、氩气等）的混合物或稀释气体（例如二氧化碳、水蒸气等）的混合物。该氧气源可包含富含氧的空气。

[0257] 碳氢反应物与氧气的摩尔比可介于自约 0.2 : 1 至约 8 : 1 的范围内，在一个实施方式中为约 0.5 : 1 至约 4 : 1，在一个实施方式中为约 1 : 1 至约 3 : 1。在一个实施方式中所述摩尔比可以是约 2 : 1 或更高，在一个实施方式中可以是约 2.5 : 1 或更高。在一个实施方式中所述摩尔比可以是约 1.8 : 1 或更低。

[0258] 氧化催化剂可包含可用作氧化催化剂的任何催化剂。该催化剂可包含金属、金属氧化物或 Mo、W、V、Nb、Sb、Sn、Pt、Pd、Cs、Zr、Cr、Mg、Mn、Ni、Co、Ce 中一种或多种金属氧化物的混合物，或者其中两种或多种金属氧化物的混合物。这些催化剂也可包含碱金属、碱土金属、其他过渡金属、稀土金属或镧系金属的一种或多种。另外，也可含有诸如 P 和 Bi 的元素。催化剂可被支持，如果催化剂被支持，有用的载体材料包括金属氧化物（例如氧化铝、二氧化钛、氧化锆）、二氧化硅、介孔材料、分子筛、耐火材料、或者其中两种或多种物质的混合物。下文将更详述地描述这些催化剂的形式。

[0259] 由氧化反应形成的产物可包含一种或多种氧化物。本发明中使用的术语“氧化物”指的是含有至少一个氧的碳氢化合物。该氧化物包括醇、环氧化物、醛、酮、羧酸、羧酸酐、酯等。除了环氧化物和酯之外，该氧化物包括每分子中含有 1 至约 25 个碳原子的上述氧化物的一种或多种，在一个实施方式中为 1 至约 20 个碳原子，在一个实施方式中为 1 至约 10 个碳原子。该环氧化物和酯必须含有至少 2 个碳原子，在其它方面，其可包括上述范围内的化合物，例如 2 至约 25 个碳原子等。该醇包括单元醇和多元醇。具体的实例包括甲醇、乙醇、丙醇、丁醇、异丁醇、戊醇、环戊醇、巴豆醇、己醇、环己醇、烯丙醇、苯甲醇、甘油等。该环氧化物包括环氧乙烷、环氧丙烷、环氧丁烷、环氧异丁烷、环氧环戊烷、环氧环己烷、环氧苯乙烷等。所述醛包括甲醛、乙醛、丙醛、正丁醛、正戊醛、己醛、丙烯醛、反式-2- 顺式-6- 壬二烯醛、正庚醛、反式-2- 壬二烯醛、十六醛、苯甲醛、苯乙醛、邻甲基苯甲醛、间甲基苯甲醛、对甲基苯甲醛、水杨醛、对羟基苯甲醛等。所述酮包括丙酮、甲乙酮、2- 戊酮、3- 戊酮、2- 己酮、3- 己酮、环己酮、甲基异丁基酮、苯乙酮、苯丙酮、正苯丁酮、苯甲酮等。所述羧酸包括甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、己酸、辛酸、癸酸、丙烯酸、甲基丙烯酸、苯甲酸、甲基苯甲酸、邻苯二甲酸、水杨酸等。所述羧酸酐包括乙酸酐、马来酸酐、邻苯二甲酸酐、苯甲酸酐等。所述羧酸和酸酐包括烃取代的羧酸和酸酐（例如烃取代的琥珀酸和酸酐），其中该烃取代基含有自 1 至约 500 个碳原子，在一个实施方式中为约 20 至约 500 个碳原子。该酯类包括乙酸甲酯、乙酸乙烯酯、乙酸乙酯、乙酸正丙酯、乙酸正丁酯、乙酸正戊酯、乙酸异戊酯、乙酸苯甲酯、乙酸苯酯等。

[0260] 氢化裂解反应可包括大烃分子的破坏加氢（也称之为氢解作用），其中大或重烃分子被裂解为较小或较轻的分子并与氢反应。该烃反应物可被称作为第一反应物，而该氢可被称作为第二反应物在本发明中，术语“轻”和“重”以其在精炼工业中的常规意义上使用，其分别指的是相对较低和较高的沸点范围。该烃类反应物可包含需要氢化裂解的任何烃。该烃类反应物可变化于石脑油至重质原油残留馏分。5 体积% 的该烃类反应物的沸点高于约 350° F (177° C)，在一个实施方式中高于约 400° F (204° C)。在一个实施方式中，

至少约 90 体积%的该烃类反应物可落入约 300° F(149℃) 至约 1050° F(566℃) 的沸点范围内,在一个实施方式中在约 600° F(316℃) 至约 1000° F(538℃) 之间。该烃类反应物可包含一种或多种石油馏分诸如常压瓦斯油和减压瓦斯油 (AGO 和 VGO)。

[0261] 该烃类反应物可包含重烃矿物或合成油,或者其一种或多种馏分的混合物。该烃类反应物可包含直馏汽油、减压汽油、脱金属油、脱沥青减压渣油、焦化馏分、催化裂化馏分、页岩油、沥青砂油、煤液体的一种或多种,或者其中两种或多种物质的混合物。

[0262] 用于氢化裂解反应中的氢可以是氢气的形式或者可以是进一步包含水、甲烷、二氧化碳、一氧化碳和 / 或氮气的氢气进气流。所述氢可取自另一过程的过程流,诸如:流形成过程 (H_2 和 CO 的摩尔比为约 3 的产物流)、部分氧化过程 (H_2 和 CO 的摩尔比为约 2 的产物流)、换热式转化过程 (H_2 和 CO 的摩尔比为约 2.5 的产物流)、形成 CO_2 的过程 (H_2 和 CO 的摩尔比为约 1 的产物流)、煤气化过程 (H_2 和 CO 的摩尔比为约 1 的产物流) 以及其中的组合。使用各种这些氢源时,利用诸如膜分离或吸附的常规技术即可从剩余的成分中分离氢。

[0263] 在这些氢化裂解反应中,烃类反应物和氢的摩尔比可介于自约 0.1 : 1 至约 10 : 1 的范围内,在一个实施方式中为约 0.5 : 1 至约 5 : 1。

[0264] 所述氢化裂解催化剂可以是任何催化裂解催化剂。这些催化剂包括分子筛催化剂,所述分子筛催化剂包括 β 分子筛、 Ω 分子筛、L- 分子筛、ZSM-5 分子筛和 Y 型分子筛。该催化剂可包括耐火的无机氧化物,例如氧化铝、氧化镁、氧化硅、氧化钛、氧化锆和氧化硅-氧化铝。该催化剂可包含加氢成分。合适的加氢成分的实例包括周期表中 IVB 族和 VIII 族的金属和此类金属的化合物。钼、钨、铬、铁、钴、镍、铂、钯、铈、钕、铪、铪、铪、铪、铪和钨可用作加氢成分。美国专利 6,312,586B1 中描述了这些催化剂,其通过引用被并入本发明中。

[0265] 由氢化裂解工艺制得的产物可以是沸程为约 260 至约 700° F(127-371℃) 的中间馏分。该术语“中间馏分”确定为包括柴油、喷气燃料和煤油沸程的馏分。该术语“煤油”和“喷气燃料”的沸程确定为指温度范围为 260-550° F(127-288℃),而“柴油”的沸程确定为指烃类沸点自约 260 至约 700° F(127-371℃)。该馏分产物可以是汽油或石脑油馏分。这些馏分可被认为是 C5 至沸点终点为 400° F(204℃) 的馏分。

[0266] 该加氢反应可包括在一种或多种加氢催化剂存在时能够与氢进行加氢反应的一种或多种碳氢化合物的反应。该碳氢化合物可被称为第一反应物。这些碳氢化合物可以是液体的形式,或者它们可以是分散于液体中的气体的形式。该液体可包含反应物和一种或多种附加溶剂。该溶剂可以是用于一种或多种反应物和 / 或产物的溶剂。该氢可被称为第二反应物,并可以是气体的形式。该氢可源上述任何来源。

[0267] 可进行加氢反应的碳氢化合物包括上述不饱和碳氢化合物。该碳氢化合物包括不饱和脂肪和油。该脂肪和油可源自动物或植物资源。该脂肪和油包括甘油三酸酯,即甘油和脂肪酸的酯。该脂肪酸可以是单不饱和的或者多不饱和的。该脂肪和油中的脂肪酸的实例包括油酸、亚油酸、亚麻酸等。

[0268] 在这些加氢反应中,不饱和烃反应物与氢的摩尔比可以介于约 0.1 : 1 至约 10 : 1 的范围内,在一个实施方式中为约 0.5 : 1 至约 5 : 1。

[0269] 该氢化催化剂可以是任何氢化催化剂。这些催化剂包括周期表中 IVB 族和 VIII 族的金属和这些金属的化合物。可以使用钼、钨、铬、铁、钴、镍、铂、钯、铈、钕、铪、铪、铪、铪、铪和钨。在

一个实施方式中,该催化剂可包含涂覆于工艺微通道壁上或粘附于工艺微通道内的固定载体的钯。下文将详述这些催化剂的形式。

[0270] 由加氢工艺制得的产物可以是对应于用作第一反应物的不饱和烃的化合物的饱和的或部分饱和的烃。

[0271] 所述方法可以用于氢化植物油以增加其饱和度,以制备诸如人造黄油的食用脂肪产物。由于本发明方法产生的改良的传质也改善了该方法的选择性,以减少不希望的甘油三酸酯的顺式异构体向反式异构体转化的量。本发明可改善由利用常规技术(例如非微通道工艺技术)获得的反式异构体的形成物从约 30 重量%~约 50 重量%至小于约 15 重量%,在一个实施方式中小于约 10 重量%,在一个实施方式中小于约 8 重量%。该方法可使用加氢催化剂。该催化剂可以是浆液形式、固体颗粒物形式或固定床形式。

[0272] 在一个实施方式中,该加氢方法可包括使用固定于工艺微通道内壁上或固定于位于工艺微通道内的载体结构上的催化剂(例如,诸如钯的贵金属)。这可以排除过滤步骤的需要。这也可以获得更安全(没有催化剂污染)、更纯净的产物。诸如钯的贵金属催化剂可比现有技术中的镍催化剂更活泼,从而可在低于常规使用的温度进行所述加氢反应。将此与由本发明方法获得的改良的热传递进行组合可显著地减少通常因油和脂肪的热解而的副产物。这也可提高食品产物的质量。不像常规的镍催化剂,在降低的加氢温度下使用钯催化剂可降低危害性反式异构体的浓度,特别是利用根据本发明方法的在相对短的接触时间内可获得的高转化率。由本发明方法产生的改良的传质也可改善所述方法的选择性。改善的传热传质可提高催化剂的稳定性和转换频率。这可导致需求较少的催化剂。由于操作温度和压力低,当使用贵金属时这会有利。在一个实施方式中,该催化剂可包含纳米级尺寸的诸如钯的贵金属颗粒,所述金属颗粒分散于工艺微通道和/或表面特征的壁上,或分散于催化剂载体上,例如使用诸如胶态金属氧化物、炭黑、糠醇等分散剂/粘合剂的翅片组件嵌入物。可以使用涂覆有填充微通道空隙的催化剂金属的微观形态制备所述催化剂。

[0273] 该水合反应可包括在水合催化剂存在下的不饱和烃化合物与水反应形成醇或酯的反应。可被称作第一反应物的该不饱和烃化合物可以是上述不饱和烃化合物中的任何化合物。可被称作第二反应物的水可取自任何便利的资源。利用渗透或蒸馏可以对水进行去离子化或纯化。不饱和烃与水的摩尔比可以介于约 0.1 至约 10 的范围内,在一个实施方式中为约 0.5 至约 5。

[0274] 该水合催化剂可包含诸如分子筛的固体酸催化剂;含磺酸酯基或其类似物的酸性离子交换树脂;无机氧化物,例如水合氧化铌、水合氧化钽、二氧化锆、二氧化钛、氧化铝、二氧化硅或上述氧化物的混合物;或通过处理诸如蒙脱石、高岭石或蛭石的分层化合物与选自至少一铝、硅、钛和锆的金属氧化物而得到的离子交换型分层化合物。该催化剂可包含铝矽酸盐,例如发光沸石、八面沸石、斜发沸石(clinoptilite)、L 型分子筛、菱沸石、毛沸石和镁碱沸石,以及分子筛产物 ZSM-5、ZSM-4、ZSM-8、ZSM-11、ZSM-12、ZSM-20、ZSM-40、ZSM-35 和 ZSM-48。所述催化剂可包含含基本要素的分子筛,诸如硅硼酸盐、硅酸盐和铁铝硅酸盐。这些分子筛可含有钽、铜、银、钼、钨、钛、锆、钪及其类似金属。可使用质子交换型(H 型)分子筛,其一部分可与选自诸如 Na、K 和 Li 的碱金属、诸如 Mg、Ca 和 Sr 的碱土金属、诸如 Fe、Co、Ni、Ru 或 Pd 的 VIII 族元素的阳离子种类进行交换。下文将详述催化剂可使用的形式。

[0275] 该羰基化反应可包括在羰基化催化剂存在下饱和或不饱和烃与一氧化碳的反应。

可被称为第一反应物的饱和或不饱和烃反应物可以是上述任何饱和或不饱和烃。可被称为第二反应物的一氧化碳可取自任何来源。该一氧化碳可取自过程流,诸如蒸汽转化过程(H_2/CO 的摩尔比为约3的产物流)、部分氧化过程(H_2/CO 的摩尔比为约2的产物流)、换热式转化过程(H_2/CO 的摩尔比为约2.5的产物流)、 CO_2 转化过程(H_2/CO 的摩尔比为约1的产物流)、煤气化过程(H_2 和 CO 的摩尔比为约1的产物流)以及其中的组合。对于每一这些一氧化碳源而言,利用诸如膜或吸附的常规技术可将一氧化碳从剩余成分中分离。

[0276] 在这些羰基化反应中,烃反应物和一氧化碳的摩尔比可以介于自约0.5 : 1至约20 : 1的范围内,在一个实施方式中为约2 : 1至约10 : 1。

[0277] 该羰基化催化剂可以是任何羰基化催化剂。这些催化剂包括固体酸催化剂。该催化剂可以是包含相互作用的质子性和路易斯酸位点的固体。该催化剂可包含布朗斯特(质子的)酸和路易斯酸的组合物。实例包括硫酸化金属氧化物(例如硫酸化氧化锆)、氟碳磺酸盐($B(CF_3)_nBSO_3H$)与载体(例如金属氧化物和炭)的组合物、杂多酸、Ta、Sb、Ga和B的卤化物、卤化金属氧化物、硫酸化分子筛、Ta、Sb、Ga和B的卤化物与氟硅酸酯的组合物。金属氧化物既包括单一成分的氧化物也包括多成分氧化物,即混合金属氧化物。单一成分的金属氧化物包括氧化铝、二氧化硅、氧化锆、氧化钛及其混合物。该混合的金属氧化物可以是物理状态混合物,或者是在结构上相连接。混合金属氧化物的实例包括 $ZrCTi$ 、 $WCZr$ 、 $TiCCu$ 、 $TiCZn$ 、 $TiCSi$ 、 $AlCZr$ 、 $FeCZr$ 和 $TiCMn$ 氧化物。实例包括硫酸化氧化锆、硫酸化氧化钛、硫酸化氧化钨、氟代氧化铝上的 BF_3 、氯化氧化铝上的氯化铝、 $H_3PW_{10}O_{40}$ 、 $Cs_{2.5}H_{0.5}PW_{12}O_{40}$ 、 $H_4SiW_{12}O_{40}$ 等。下文将详述该催化剂的形式。

[0278] 该磺化反应可包括取代氢原子 $-SO_3H$ 基团(来自硫酸),例如苯 C_6H_6 转化为苯磺酸 $C_6H_5SO_3H$ 。可使用的磺化工艺包括芳香烃与硫酸、三氧化硫或氯磺酸的反应;有机卤化合物与无机亚硫酸盐的反应;以及几类有机含硫化合物,例如硫醇或二硫化物的氧化。

[0279] 通过在化合物的芳香环上引入磺酸基,浓硫酸、发烟硫酸、氯磺酸、三氧化硫、二氧杂环乙烷与 SO_3 的加合物、胺与 SO_3 的加合物等可用作使芳香族化合物磺化的试剂。通过由芳香胺化合物和化学计算量的硫酸制备胺的酸性硫酸盐可使芳香胺化合物磺化,并对其加热以得到氨基磺酸。

[0280] 该磺化反应可包括通过其形成磺酸(磺酸盐)的酯或盐的方法。通过处理乙醇与硫酸、三氧化硫、氯磺酸或氨基磺酸可制备酯。该磺化试剂可包括浓硫酸、发烟硫酸、三氧化硫、氯磺酸或氨基磺酸。

[0281] 该聚合反应可以是适于形成任何上述聚合物的任何聚合反应。这些反应中所用的催化剂可以是用于制备所述聚合物的任何合适的聚合催化剂。可使用的催化剂的实例可包括诸如 BF_3 的路易斯酸、诸如丁基锂的有机锂催化剂、格林试剂、齐格勒-纳塔催化剂等。

[0282] 用于进行根据本发明的方法的反应的催化剂可以是均相催化剂或异相催化剂。该均相催化剂可固定于载体上。该催化剂可具有与工艺微通道相匹配的任何尺寸和几何构型。该催化剂可以是梯度催化剂。

[0283] 该催化剂可以是平均粒度为约1至约1000微米的固体颗粒物的形式(例如,球团状、粉末状、纤维状等),在一个实施方式中为约10至约500微米,在一个实施方式中为约25至约250微米。

[0284] 该催化剂可以是介孔材料的形式,其中平均孔径可等于或大于约1纳米(nm),例

如,介于约 1 至约 100nm 的范围内,在一个实施方式中自约 1 至约 20nm。

[0285] 该催化剂可以是如图 35 所示的固定床固体颗粒物形式。参照图 35,该催化剂 350 可包含于工艺微通道 352 内。该反应物如箭头 354 和 356 所示流过催化剂床。

[0286] 该催化剂可负载于多孔载体结构上,例如泡沫、毛毡、填料或其组合物。本发明中所用的术语“泡沫”指的是带有限定整个结构的孔的连续壁的结构。本发明中所用的术语“毛毡”指的是在纤维之间带有空隙空间的纤维结构。本发明中所用的术语“填料”指的是具有如钢丝绒的交织股结构的载体。该催化剂可负载于具有蜂窝结构或蛇形结构的载体上。

[0287] 该催化剂可负载于旁流载体结构上,诸如带有相邻间隙的毛毡、带有相邻间隙的泡沫、带有间隙的翅片构造、在任何插入的底物上的罩面层、与用于流动的相应的间隙的流动方向平行的金属丝网。图 36 示出了旁流结构的一个实例。在图 36 中,该催化剂 360 包含于工艺微通道 362 内。如箭头 366 和 368 所示,开放的通路 364 允许反应物流过工艺微通道 362 与催化剂 360 相接触。

[0288] 催化剂可负载于流过载体结构上,例如泡沫、填料、球团、粉末或金属丝网上。图 37 所示为流过结构的实例。在图 37 中,该流过催化剂 370 包含于工艺微通道 372 内,如箭头 374 和 376 所示,该反应物流过催化剂 370。

[0289] 该载体可由以下材料形成:硅胶、发泡铜、烧结不锈钢纤维、钢丝绒、氧化铝、聚(甲基丙烯酸甲酯)、多磺酸盐、聚(四氟乙烯)、铁、镍海绵、尼龙、聚偏氟乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚乙烯乙基酮、聚乙烯醇、聚醋酸乙烯酯、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚苯硫醚、聚砜、聚丁烯,或者其中两种或多种的组合物。在一个实施方式中,该载体结构可由诸如金属的导热材料制成,以提高来自该催化剂的热传递。

[0290] 该催化剂可直接地涂覆(washcoat)于工艺微通道的内壁上,在溶液的壁上生长,或涂覆于翅片结构的原位上。该催化剂可涂覆于如图 48-49 所示的结构壁上。该催化剂可涂覆于如图 46-47 所示的那些表面特征上。该催化剂可以是单件多孔邻近材料形式或物理接触的多件材料形式。在一个实施方式中,该催化剂可包含相邻材料,并具有相邻孔隙度使得分子可以通过该催化剂扩散。在该实施方式中,该流体可流过该催化剂而不是绕其流过。在一个实施方式中,该催化剂的横截面面积可占该工艺微通道横截面面积的约 1% 至约 99%,在一个实施方式中为约 10% 至约 95%。如通过 BET 所测量的,该催化剂可具有大于约 $0.5\text{m}^2/\text{g}$ 的表面积,在一个实施方式中大于约 $2\text{m}^2/\text{g}$,在一个实施方式中大于约 $5\text{m}^2/\text{g}$,在一个实施方式中大于约 $10\text{m}^2/\text{g}$,在一个实施方式中大于约 $25\text{m}^2/\text{g}$,在一个实施方式中大于约 $50\text{m}^2/\text{g}$ 。

[0291] 该催化剂可包含多孔载体、覆盖该多孔载体的界面层以及分散或沉积于界面层上的催化剂材料。该界面层可以是沉积于载体上的溶液或者其可通过化学气相沉积或物理气相沉积而被沉积。在一个实施方式中,该催化剂包含多孔载体、覆盖该载体的选择性缓冲层、覆盖该载体或选择性缓冲层的界面层以及分散或沉积于界面层上的催化剂材料。任何上述层可以是连续的或不连续的,例如以斑点或圆点的形式存在或以带有间隙或孔的层的形式存在。

[0292] 该多孔载体可具有由水银孔隙度仪测定的至少约 5% 的孔隙度,以及约 1 至约 1000 微米的平均孔径(孔径的总和除以孔数)。该多孔载体可由上述确定的对制造载体结构有用的任何材料制成。该多孔结构可包含多孔陶瓷载体或泡沫金属。其他可用的多

孔载体包括碳化物、氮化物以及复合材料。该多孔载体可具有约 30% 至约 99% 的孔隙度, 在一个实施方式中为约 60% 至约 98%。该多孔载体可为泡沫、毛毡、填料或其组合物的形式。该泡沫金属的开孔可介于每英寸约 20 个孔 (ppi) 至约 3000ppi, 在一个实施方式中为约 20ppi 至约 1000ppi, 在一个实施方式中为约 40ppi 至约 120ppi。术语“ppi”指每英寸内孔的最大数目(在各向同性材料中与测量方向不相关;但是,在各向异性材料中,沿使孔数最大化的方向进行测量)。

[0293] 当存在缓冲层时,该缓冲层可具有既与该多孔载体不同又与界面层不同的的成分和/或密度,在一个实施方式中具有介于该多孔载体和该界面层的热膨胀系数之间的热膨胀系数。该缓冲层可以是金属氧化物或金属碳化物。该缓冲层可由 Al_2O_3 、 TiO_2 、 SiO_2 、 ZrO_2 或其组合物组成。 Al_2O_3 可以是 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 或其组合物。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 具有对氧扩散具有优异的耐受性的优点。该缓冲层具有两种或多种组分不同的子层。例如,当该多孔载体是金属例如不锈钢泡沫时,可以使用由两种组分不同的子层形成的缓冲层。第一子层(与该多孔载体接触)可以是 TiO_2 。第二子层可以是置于 TiO_2 上面的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。在一个实施方式中,该 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 子层是提供保护下面的金属表面的致密层。然后诸如氧化铝的较不致密的、高比表面的界面层可以作为沉积催化活性层的载体。

[0294] 该多孔载体可具有不同于界面层的热膨胀系数的热膨胀系数。此时,可能需要缓冲层以在所述两种热膨胀系数之间进行过渡。通过控制缓冲层的组分以得到可与多孔载体和界面层的膨胀系数兼容的膨胀系数,能够特制该缓冲层的热膨胀系数。该缓冲层应当不具有开口和塞孔,以提供对下面载体的较好保护。该缓冲层可以无孔。该缓冲层可具有小于多孔载体的平均孔径的一半的厚度。该缓冲层可具有约 $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 至约 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度,在一个实施方式中为 $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 至约 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0295] 在本发明的一个实施方式中,没有缓冲层也可得到足够的粘附力和化学稳定性。在该实施方式中,可以忽略缓冲层。

[0296] 该界面层可包含氮化物、碳化物、硫化物、卤化物、金属氧化物、炭或者其中的组合物。该界面层提供了高比表面和/或为所负载的催化剂提供了所希望的催化剂载体的交互作用。该界面层可由常规地用作催化剂载体的任何材料制成。该界面层可由金属氧化物组成。可用的金属氧化物的实例包括 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 SiO_2 、 ZrO_2 、 TiO_2 、氧化钨、氧化镁、氧化钼、氧化铬、氧化锰、氧化铁、氧化镍、氧化钴、氧化铜、氧化锌、氧化钨、氧化锡、氧化钙、氧化铝、镧的系列氧化物、分子筛及其上述物质的组合物。该界面层可用作在其上未沉积有任何进一步催化活性材料的催化活性层。然而,该界面层通常与催化活性层组合使用。该界面层也可由两种或多种组分不同的子层组成。该界面层具有小于多孔载体的平均孔径的一半的厚度。该界面层的厚度可介于自约 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 至约 $100\text{ }\mu\text{m}$, 在一个实施方式中自约 $1\text{ }\mu\text{m}$ 至约 $50\text{ }\mu\text{m}$ 。该界面层可以是结晶态的也可以是无定形态的。该界面层可具有至少约 $1\text{m}^2/\text{g}$ 的 BET 表面积。

[0297] 该催化剂可沉积于该界面层之上。二者择一地,该催化剂材料可与界面层同时沉积。该催化剂层可紧密分散于该界面层之上。所述催化剂层“分散于”或“沉积于”界面层上包括对微观催化剂颗粒分散的常规理解:分散于载体层(即界面层)面之上,分散于载体层内的裂缝里,分散于载体层内的开孔内。

[0298] 该催化剂可负载于置于工艺微通道内的一个或多个翅片的组件上。图 38-40 中示

出了实例。参照图 38, 翅片组件 380 包括固定于覆盖工艺微通道 388 的底壁 386 的翅片载体 384 之上的翅片 382。该翅片 382 自翅片载体 384 透进工艺微通道 388 的内部。该翅片 382 伸向工艺微通道 388 上壁 390 的内表面。翅片 382 之间的翅片通道 392 为流体提供了通道, 以使其平行于其长度而流过工艺微通道 388。每一翅片 382 在其各侧上均具有外表面, 此外表面为催化剂提供了支持底座。在本发明的方法中, 反应物流过翅片通道 392, 接触负载于翅片 382 外表面上的催化剂, 并反应形成产物。除了翅片 382a 未全部伸向微通道 388 的上壁 390 的内表面之外, 图 39 所示的翅片组件 380a 类似于图 38 所示的翅片组件 380。除了翅片组件 380b 内的翅片 382b 具有梯形的横截面形状之外, 图 40 所示的翅片组件 380b 类似于图 38 所示的翅片组件 380。每一翅片 (382、382a、382b) 的高度可介于自约 0.02mm 达至工艺微通道 388 的高度的范围, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 10mm, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 5mm, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 2mm。每一翅片 (382、382a、382b) 的宽度可介于自约 0.02mm 至约 5mm 的范围, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 2mm, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 1mm。每一翅片 (382、382a、382b) 的长度可以是达至工艺微通道 388 长度的任何长度, 在一个实施方式中达至约 10mm, 在一个实施方式中自约 1cm 至约 10m, 在一个实施方式中自约 1cm 至约 5m, 在一个实施方式中自约 1cm 至约 2.5m。各翅片 (382、382a、382b) 之间的间隙可以是任何值并可介于自约 0.02mm 至约 5mm 的范围内, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 2mm, 在一个实施方式中自约 0.02mm 至约 1mm。工艺微通道 388 内的翅片 (382、382a、382b) 的数量可为每厘米工艺微通道 388 的宽度约 1 至约 50 个翅片, 在一个实施方式中每厘米有自约 1 至约 30 个翅片, 在一个实施方式中每厘米有自约 1 至约 10 个翅片, 在一个实施方式中每厘米有自约 1 至约 5 个翅片, 在一个实施方式中每厘米有自约 1 至约 3 个翅片。沿其长度看去, 每一翅片 (382、382a、382b) 可以是直的、锥形的或具有蛇形结构。该翅片组件 (380、380a、380b) 可由提供工艺微通道足够强度、尺寸稳定性和传热特性以便可以进行所述工艺微通道的预期的操作的任何材料制成。这些材料包括: 钢 (例如不锈钢、碳钢等); 蒙乃尔; 英科乃尔; 铝; 钛; 镍; 铂; 铑; 铜; 铬; 黄铜; 任何上述金属的合金; 聚合物 (例如热固性树脂); 陶瓷; 玻璃; 含有一种或多种聚合物 (例如热固性树脂) 的组合物和玻璃纤维; 石英; 有机硅; 或者两种或多种上述物质的组合物。该翅片组件 (380、380a、380b) 可由诸如包含 Fe、Cr、Al 和 Y 的合金的形成 Al_2O_3 的材料制成, 或由诸如 Ni、Cr 和 Fe 的合金的形成 Cr_2O_3 的材料制成。

[0299] 该催化剂可由图 41 中所示的微槽承载带承载。参照图 41, 微槽承载带 400 包含其形状为矩形、具有长度 (l)、宽度 (w)、厚度 (t) 的承载带 410。该承载带 410 具有第一或顶面 412、第二或底面 414、第一侧边 416、第二侧边 418、前边 420 和后边 422。该承载带 410 具有沿承载带的长度 (l) 延伸的中心轴 424。多个平行的微槽 430 形成于第一表面 412 内。该微槽 430 可在承载带 410 的第一侧边 416 和第二侧边 418 之间延伸, 但不可透过该侧边。微槽承载带 400 包括可提供带有封闭的前边 420 和后边 422 的微槽承载带 400 的非微槽部分 434 和 436。即, 微槽承载带 400 的前边 420 和后边 422 被阻塞得足以防止流体流过前边 420 和后边 422。该微槽 430 可以相对于中心轴 424 的角度 425 定向, 所述角度足以使流体沿着总的方向在微槽 430 内自前边 420 流向后边 422。微槽承载带 400 的前边 420、后边 422 和侧边 416 和 418 是封闭的。这些封闭的边不允许流体流过前边、后边和侧边。

[0300] 图 41 所示的微槽 430 具有正方形的横截面。二者择一地, 每一微槽 430 均可具有

矩形的横截面、V型横截面、半圆形横截面、楔形横截面或梯形横截面。本领域技术人员可以认识到,可以使用具有其他横截面形状的微槽。每一微槽 430 均具有深度、宽度和长度。每一微槽 430 的深度可介于自约 0.1 微米至约 1000 微米的范围内,在一个实施方式中自约 1 微米至约 100 微米。每一微槽 430 的可在其最宽尺寸的宽度的宽度可介于约 0.1 微米至约 1000 微米的范围内,在一个实施方式中自约 0.1 微米至约 500 微米。每一微槽 430 的长度可以是任何尺寸,其取决于承载带 410 的宽度 (w)。每一微槽 430 的长度可介于约 0.1cm 至约 100cm 的范围内,在一个实施方式中自约 0.1cm 至约 10cm。微槽 430 之间的间距可达约 1000 微米的范围,在一个实施方式中自约 0.1 微米至约 1000 微米,在一个实施方式中自约 1 微米至约 1000 微米。每一微槽 430 可朝向后边 422 和第一侧边 416 并可与中心轴 424 形成一个角度 425,所述角度 425 足以使流体在微槽内沿总的方向流向第二侧边 418 和后边 422。该角 425 可以自约 0° 至约 90° 。该角 425 可以自约 50° 至约 80° ,在一个实施方式中自约 60° 至约 75° 。该微槽 430 可与中心轴 424 成约 90° 的角度或成直角排布,在一个实施方式中自第一侧边 416 延伸至第二侧边 418。该微槽 430 可与中心轴 424 平行排布,在一个实施方式中自前边 420 延伸至后边 422。通过任何合适的技术,该微槽 430 可形成于承载带 410 的第一表面 412 内,该技术包括光化学机械加工、激光蚀刻、水射机械加工等。

[0301] 该承载带 410 可具有介于自约 0.1 微米至约 5000 微米的厚度 (t),在一个实施方式中自约 1 微米至约 1000 微米。该承载带 410 可具有任何宽度 (w) 和任何长度 (l),其宽度和长度取决于承载带 410 所要用的微通道的尺寸。该承载带 410 可具有介于自约 0.01cm 至约 100cm 的宽度 (w),在一个实施方式中自约 0.1cm 至约 10cm。该承载带 410 的长度 (l) 可介于自约 0.01cm 至约 100cm 的范围,在一个实施方式中自约 0.1cm 至约 10cm。如图 30 中所述的承载带 410 为矩形的形式。但是,可以理解为,该承载带 410 可具有任何构形,例如正方形、圆形、椭圆形等,以符合所述承载带 410 所要用的微通道的设计。

[0302] 该承载带 410 可由提供足够强度、尺寸稳定性和热传递特性以便可在微通道内使用微槽承载带 400 以承载催化剂的任何材料制成。该承载带 410 可由金属、金刚砂、碳化物、石墨或其两种或多种的组合物制成。该金属可包含钢、铝、钛、镍、铂、铑、铜、铬、黄铜或者上述任何金属的一种合金。该承载结构 410 可由不锈钢或包含铁、铬、铝和钇的合金制成。

[0303] 微槽承载带 400 可用作微通道内的旁流载体结构。

[0304] 在一个实施方式中,多个微槽承载带可互相上下叠放或并排放置,以形成可用于承载用于本发明方法的催化剂的复合载体结构。在一个实施方式中,图 44 和 45 示出了所述复合载体结构。图 44 和 45 中示出的承载带 400A 和 400B 具有前开口 420 和后边 422、封闭的侧边 416 和 418 以及自顶面 412 全部透过承载带 410 至底面 414 的微槽 430。该前开口边 420、后边 422 和微槽 430 使得当流体流过复合载体结构时,所述流体流过微槽承载带而自复合载体结构内的一个承载带流至另一个承载带。在此复合载体结构内所用的微槽承载带的数目可以是任何数,例如达约 50 个,在一个实施方式中达约 30 个,在一个实施方式中达约 15 个,在一个实施方式中达约 10 个。该复合载体结构也包括防止流体流出复合结构侧边的端板。

[0305] 图 44 和 45 所示的复合载体结构 402 包含八 (8) 个微槽承载带、交替并排放置的各为四个的微槽承载带 400A 和 400B 和两个端板 405 (图 44 和 45 中仅示出一端板)。每一

微槽承载带 400A 和 400B 包含其形状为矩形、具有长度、宽度和厚度的承载带 410。承载带 410 具有沿承载带的长度延伸的中心轴。多个平行的微槽 430 形成于承载带 410 内,并穿过该承载带自顶面 412 突至底面 414。该前开口 420 和后边 422 和开口微槽 430 使得流体自复合载体结构 402 内的一个微槽承载带流至另一个微槽承载带。第一组平行的微槽自承载带 410 的第一侧边 416 延伸至第二侧边 418。第二组微槽 430 自前边 420 延伸至第二侧边 418。第三组微槽 430 自承载带 410 的第一侧边 416 延伸至后边 422。该微槽 430 延伸至侧边 416 和 418,但并不从这些侧边伸出。端板 405 防止流体流出复合载体结构 402 的侧边。附图中未示出的第二端板 405 与图 44 和 45 中左侧边上的第一微槽承载带 400A 相邻放置。承载带 400A 内的微槽 430 可与相对于承载带和侧边 416 的中心轴成一个角度定向,所述角度为约 90° 至约 180° ,在一个实施方式中介于约 100° 至约 150° 的范围内。承载带 400B 内的微槽 430 可与相对于承载带和侧边 116 的中心轴成一个角度定向,所述角度为约 0° 至约 90° ,在一个实施方式中介于约 50° 至约 80° 的范围内。通过进入承载带 400A 和 400B 的前边 420、流入并流过微槽 430 以及从一个承载带 (400A 或 400B) 内的微槽 430 转移至另一个承载带 (400A 或 400B) 内的微槽 430 直至流体到达承载带的后边 422 而后流出复合载体结构 402,流体可流过复合结构 402。图 45 示出了用于流体进入图 44 中示出的复合载体结构的开口 ‘A’ 的、通过复合载体结构 402 的流动通道的实例。通过复合载体结构 402 的流体的流动可以描述为从一层渗透、扩散和平流输送至另一层,直至流体自该复合载体结构的前端通过而至其后端。

[0306] 利用常规技术即可将催化剂沉积于微槽承载带 (400、400A、400B) 上。这些技术可包括将催化剂涂覆于微槽载体带上面、在微槽载体带上面生长催化剂或利用气相沉积将催化剂沉积于微槽承载带之上。该气相沉积可以是化学气相沉积或物理气相沉积。可通过浆料涂覆、溶胶涂覆或溶液涂覆将催化剂沉积。在一个实施方式中,该催化剂可以是沉积于和粘附于承载带或复合载体结构的微槽 430 上的微米颗粒的形式。每平方厘米微槽承载带的催化剂负载可介于约 0.1mg 至约 100mg 的范围内,在一个实施方式中每平方厘米微槽承载带的催化剂可介于约 1mg 至约 10mg 的范围内。该微米颗粒可具有介于约 0.01 微米至约 100 微米的范围的平均粒径,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 50 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 10 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 7 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 5 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 3 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 2 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 1 微米的范围内,在一个实施方式中介于约 0.1 微米至约 0.5 微米的范围内。

[0307] 该微槽承载带和复合结构的优点涉及如下事实:微米颗粒的催化剂可置于微槽内并粘附于微槽,由此减少由于工艺流体流过微通道而冲走颗粒的趋势。

[0308] 图 42 和图 43 所示为用于微通道处理单元核 102 内的重复单元 200W 和 200X,所述微通道处理单元核 102 使用了用于承载催化剂的微槽承载带 400。可用于微通道处理单元核 102 的这些重复单元的数目可以是任何数目,例如一个、两个、三个、四个、五个、六个、八个、十个、几百个、几千个等。参照图 42,重复单元 200W 包括带有固定于工艺微通道 210 内壁 230 上的微槽承载带 400 的工艺微通道 210。总体流动区域 234 是位于微槽承载带 400 上面的工艺微通道 210 内的空间。如箭头 215 和 216 所示,工艺流体流过工艺微通道 210。

在流过工艺微通道 210 期间,工艺流体流过与微槽承载带 400 承载的催化剂接触的总流动区域 234。该催化剂可以是置于微槽 430 内的微米颗粒的形式。该微槽承载带 400 是一种旁流承载带。但是,一些工艺流体可在微槽 430 内流动并接触催化剂。工艺流体通过微槽 430 的流动可以总体上沿自侧边 418 流向侧边 416 和后边 422 的方向。可提供热交换通道(附图中未示出)以加热和/或冷却工艺微通道 210。

[0309] 除了图 43 所示的工艺微通道 210 含有相对的内壁 230 和 232 和负载于固定在每一相对的内壁之上的微槽承载带 400 的催化剂之外,图 43 所示的重复单元 200X 类似于图 42 所示的重复单元 200W。

[0310] 至少在一个实施方式中,本发明方法的优点是:无论该方法是打算用于实验室或实验厂规模还是全规模生产,工艺微通道、分批加入通道和热交换通道之间的间距可以是相同的。结果,无论该微通道处理单元以实验室或实验厂的规模建立还是作为全规模工厂单元,通过使用本发明的方法的微通道处理单元所制得的多相流体混合物内的第二流体的粒径分布可以基本上相同。

[0311] 通过公式 $F_x = \mu u \cdot du/dy$, 可以计算出速度 u 方向的液体控制元件(以离散的形式存在)上的剪力或剪应力,其中 μ 为粘度, du/dy 为流体正常流向带孔部分的速度梯度。但是,正如在流体的位置(由控制元件表示),该速度通常具有三个分速度,剪力也具有三个分力。对于在其表面和附近的通道流动来说,能够作出一个尺寸假设,并且 F_x 能够接近在流体元件表面的净剪应力。利用计算流体力学,包括可使用诸如 Fluent 或 FEMLAB 的商业软件包以用于解所需输运方程式,从而计算出表面剪力。可沿通道的长度、平行于流动的方向计算出表面剪力或剪应力。也可计算平行通道之间的剪力或剪应力,其中包括流动分布效应,以确定进入各平行通道内的质量流量为具体化的通道和歧管几何形状的函数。例如,也可在《基础流体力学》,第三版, B. R. Munson, D. F. Young and T. H. Okiishi, John Wiley & Son, Inc., Weinheim, 1998 得知其他计算方法。

[0312] 在一个实施方式中,使用单一工艺微通道的工艺的剪力偏差系数(SFDF)可以在包括多个工艺微通道的放大工艺的 SFDF 的约 50% 的范围内。可利用下式计算 SFDF:

$$[0313] \quad SFDF = (F_{\max} - F_{\min}) / (2F_{\text{mean}})$$

[0314] 其中, $F_{\max}$ 为用于指定流体的工艺微通道内的最大剪应力; $F_{\min}$ 为用于所述流体的工艺微通道内的最小剪应力; F_{mean} 为位于工艺微通道 210 内带孔部分(250, 250A)的表面处流体的算术平均剪应力。在根据本发明方法操作的一工艺微通道内,该 SFDF 可小于约 2, 在一个实施方式中小于约 1, 在一个实施方式中小于约 0.5, 以及在一个实施方式中小于约 0.2。

[0315] 在一个实施方式中,本发明方法在使用多个工艺微通道的同时可提供相对均匀的剪应力。为测量多个工艺微通道中的剪力的一致性,计算出每个通道的平均剪力并进行对比。 $F_{\max}$ 为平均通道剪力的最大值, $F_{\min}$ 为平均剪力的最小值。 F_{mean} 为所有通道的平均剪力的平均值。由这些值可计算出 SFDF。在多个工艺微通道之中,至少在本发明方法所用的一个实施方式中, SFDF 可小于约 2, 在一个实施方式中小于约 1, 在一个实施方式中小于约 0.5, 在一个实施方式中小于约 0.2。

[0316] 工艺微通道内剪力的偏差也可定义为:

$$[0317] \quad SFDF' = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}}$$

[0318] 其中, $F_{\max}$ 、 $F_{\min}$ 如上述定义。在一个实施方式中, $SFDF'$ 可小于约 0.9, 在一个实施方式中小于约 0.5, 在一个实施方式中小于约 0.1。

[0319] 对于多个工艺微通道来说, 剪力偏差可定义为:

$$[0320] \quad SFDF'' = \frac{F'_{\max} - F'_{\min}}{F'_{\max}}$$

[0321] 其中, $F'_{\max}$ 定义为位于多个工艺微通道给定轴向位置的最大剪力, $F'_{\min}$ 定义为位于多个工艺微通道相同给定轴向位置的最小剪力。在一个实施方式中, 该 $SFDF''$ 可小于约 0.9, 在一个实施方式中小于约 0.5, 在一个实施方式中小于约 0.1。

[0322] 在放大装置中, 相对一定应用来说, 需要使工艺流体的质量在微通道内均匀分布。此应用可用于当需要一起加热或者冷却工艺流体与相邻的热交换通道的时候。通过改变自平行微通道至另一微通道的横截面积可获得均匀的质量流量分布。可通过下述质量指标因数 (Q- 因数) 定义质量流动分布的均匀性。0% 的 Q- 因数表示绝对均匀分布。

$$[0323] \quad Q = \frac{\dot{m}_{\max} - \dot{m}_{\min}}{\dot{m}_{\max}} \times 100$$

[0324] 横截面积的变化可引起壁上剪力的差异。

[0325] 在一个实施方式中, 工艺微通道的 Q- 因数可小于约 50%, 在一个实施方式中小于约 20%, 在一个实施方式中小于约 5%, 在一个实施方式中小于约 1%。

[0326] 在一个实施方式中, 工艺微通道的 Q- 因数可小于约 50%, $SFDF''$ 可小于约 0.8。在一个实施方式中 Q- 因数小于约 5%, $SFDF''$ 可小于约 0.5。在一个实施方式中 Q- 因数可小于约 1%, $SFDF''$ 可小于约 0.1。

[0327] 热源和 / 或热沉可用于冷却、加热或者既用于加热又用于冷却。该热源和 / 或热沉可包含一种或多种热交换通道。该热源可包含一种或多种非流体加热元件, 诸如一种或多种电热元件或电阻加热器。该热沉可包含一种或多种非流体冷却元件。这些元件可与工艺微通道和 / 或分批加入通道相邻。在一个实施方式中, 该热源和 / 或热沉可与工艺微通道和 / 或分批加入通道不接触或不相邻, 而是远离工艺微通道和 / 或分批加入通道的两者或其一, 但充分地接近工艺微通道和 / 或分批加入通道以在热源和 / 或热沉与工艺微通道和 / 或分批加入通道之间传递热。非流体加热和 / 或非流体冷却元件可用于形成工艺微通道 (210) 和 / 或分批加入通道 (240, 240A) 的一个或多个壁。可把该非流体加热和 / 或冷却元件建造成工艺微通道和 / 或分批加入通道的一个或多个壁。该非流体加热和 / 或冷却元件可以是薄片、条、丝网、圆板或者嵌入工艺微通道和 / 或分批加入通道的壁内的其他形状的结构。该非流体加热和 / 或冷却元件可以是粘附于工艺微通道和 / 或分批加入通道的薄片或丝网的形成。使用珀耳帖型 (Peltier-type) 热电冷却和 / 或加热元件可实现加热和 / 或冷却。沿着工艺微通道和 / 或分批加入通道的长度可使用多个加热和 / 或冷却区。类似地, 沿着工艺微通道和 / 或分批加入通道的长度可使用在一个或多个热交换通道内的不同温度下的传热流体。该热源和 / 或热沉可用于提供工艺微通道和 / 或分批加入通道内的准确的温度控制。

[0328] 该热交换流体可以是任何流体。这些流体包括空气、水蒸汽、液态水、气态氮、液态

氮、包括惰性气体在内的其它气体、一氧化碳、二氧化碳、诸如矿物油的油、气态烃、液态烃以及热交换流体,例如可从道氏-联合碳化物公司得到的道氏热载体 A 和美国 Therminol。

[0329] 该热交换流体可包含第一流体、第二流体和 / 或产物。此能提供工艺预加热和 / 或提高工艺的整体热效率。

[0330] 在一个实施方式中,该热交换通道包含进行吸热过程或放热过程的工艺微通道。这些热交换工艺通道可以是微通道。可在热交换通道内进行的吸热过程的实例包括水蒸气转化和脱氢反应。可在热交换通道内进行的放热过程的实例包括水-煤气转化反应、合成甲醇反应和合成氨反应。

[0331] 在一个实施方式中,热交换流体经历热交换通道内的相变。此相变提供超过由对流加热或冷却所提供的添加至或移自工艺微通道和 / 或第二反应物流通道的额外的热。此相变的实例是经沸腾的油或水。在一个实施方式中,相变流体的沸腾的蒸汽质量分数的量可达约 100%,在一个实施方式中达约 75%,在一个实施方式中达约 50%。

[0332] 在微通道处理单元内热交换的热通量在微通道处理单元内传热壁的每平方米表面积介于自约 0.01 瓦特至约 500 瓦特 (W/cm^2) 的范围内,在一个实施方式中自约 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $250\text{W}/\text{cm}^2$,在一个实施方式中自约 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $100\text{W}/\text{cm}^2$,在一个实施方式中自约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $100\text{W}/\text{cm}^2$,在一个实施方式中自约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $50\text{W}/\text{cm}^2$,在一个实施方式中自约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $25\text{W}/\text{cm}^2$,在一个实施方式中自约 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 至约 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 。

[0333] 在一个实施方式中,进入微通道处理单元 100 的流体流的温度可在离开微通道处理单元 100 的产物温度的约 200°C 的范围内,在一个实施方式中在约 100°C 的范围内,在一个实施方式中在约 50°C 的范围内,在一个实施方式中在约 20°C 的范围内。

[0334] 通过控制与工艺微通道和 / 或分批加入通道极接近或者相邻的热交换通道之间的热交换可允许工艺微通道和 / 或分批加入通道的均匀的温度分布。此将提供比由诸如搅拌槽的常规处理装置所得的更快速率的、更均匀的热交换的可能性。对于使用多个工艺微通道和选择性的多个分批加入第二通道的微通道处理单元来说,沿工艺微通道的长度至少一个共同位置的工艺微通道和 / 或分批加入通道之间的温差可小于约 5°C ,在一个实施方式中小于约 2°C ,在一个实施方式中小于约 1°C 。

[0335] 与任一工艺微通道和 / 或分批加入通道相邻的热交换区 270 沿此通道的长度可使用不同的温度区。例如,在一个实施方式中,接近工艺微通道入口的第一区的温度可维持在接近工艺微通道末端的第二区的第二温度之上或之下的一个温度。冷却区或淬火区可合并于工艺微通道内以冷却产物。可能有许多热分布的组合,以允许沿工艺微通道和 / 或分批加入通道的长度的特制热分布,包括在工艺微通道内反应区前和 / 或后具有加热区或冷却区以加热或冷却反应物和 / 或产物的可能。

[0336] 进入热交换通道的热交换流体的温度可介于约 -40°C 至约 400°C 的范围内,在一个实施方式中约 0°C 至约 400°C ,在一个实施方式中自约 20°C 至约 300°C ,在一个实施方式中自约 20°C 至约 250°C ,在一个实施方式中自约 20°C 至约 200°C 。离开热交换通道的热交换流体的温度可介于约 -40°C 至约 400°C 的范围内,在一个实施方式中约 0°C 至约 400°C ,在一个实施方式中自约 20°C 至约 300°C ,在一个实施方式中自约 20°C 至约 250°C ,在一个实施方式中自约 20°C 至约 200°C 。热交换通道内热交换流体的停留时间可介于自 5ms 至约 1min 的范围内,在一个实施方式中自 20ms 至约 1min,在一个实施方式中自 50ms 至约 1min,在

一个实施方式中自 100ms 至约 1min。当热交换流体流过热交换通道时其压降可达约 1atm/m 的范围,在一个实施方式中达至约 0.5atm/m,在一个实施方式中达至约 0.1atm/m,在一个实施方式中达约 0.01atm/m 至约 1atm/m。该热交换流体可以是蒸汽、液体或蒸汽和液体的混合物的形式。蒸汽流过热交换通道的雷诺数可介于自约 10 至约 5000 的范围内,在一个实施方式中为约 100 至约 3000。液体流过热交换通道的雷诺数可介于自约 10 至约 10000 的范围内,在一个实施方式中为约 100 至约 5000。

[0337] 沿其轴向长度的工艺微通道的设计可以改变,以适应工艺微通道内变化的流体力学。例如,如果其中一种反应物过量,那么反应混合物的流体性质在整个反应过程中可发生变化,如所表示的反应程度小于约 10% 至反应程度大于约 50%。对于氧气的输送接近化学计量输送速率的氧化反应来说,在工艺微通道的入口处,液体与气体的比例可以是适中的,但在工艺微通道的末端处,液体与气体的比例可高,对希望气体反应物趋于消失的反应而言,所述比例趋于无穷大。减少传质需要良好的相混合。当气体或可选择的液体几乎完成反应时,例如大于约 60% 的转化,在一个实施方式中大于约 90% 的转化,良好的相混合需要不同的设计。在工艺微通道内可有至少一个第二反应区,其中减小或增加与第一反应区中的微通道的横截面相应的微通道的横截面以产生不同的混合模式。当反应进程趋于完全时,如果使用表面特征,其可具有不同的几何形状、模式、角度、深度或者相对于微通道间隙的不同尺寸比。

[0338] 在本发明的一个实施方式中,通过限制催化剂所需的扩散通道可实现相对短的接触时间、所期望的产物的高选择性以及催化剂的相对较低的失活率。例如,当催化剂以位于所设计的诸如金属泡沫的载体之上或者工艺微通道的壁之上的薄层形式存在时,可实现此目标。此允许增加的空速。在一个实施方式中,可利用化学气相沉积制备该催化剂薄层。该薄层可具有达约 1 微米的厚度,在一个实施方式中自约 0.1 微米至约 1 微米,在一个实施方式中达约 0.25 微米。通过减少扩散通道,这些薄层可缩短反应物在活性催化剂结构内的时间。这缩短了反应物在催化剂活性部分所消耗的时间。结果可提高产物的选择性和减少不希望的副产物。此种方式配置催化剂的优点是,不像常规催化剂那样,其中催化剂的活性部分可被束缚于惰性低导热性的粘合剂内,该活性催化剂薄膜与所设计的结构或与工艺微通道的壁紧密接触。此可平衡微通道反应器内所得到的高热速率,并且可以紧密控制温度。结果是能够在升高的温度(更快的动力学)下进行反应,并且未促使不希望的副产物的形成,从而得到较高的产率和收率,并且延长了催化剂的寿命。

[0339] 在一个实施方式中,该催化剂可以再生。此可通过使再生流体流过工艺微通道 210 并接触催化剂来得以完成。该再生流体可包含氢或稀释的氢气流。该稀释剂可包含氮气、氩气、水蒸气、甲烷、二氧化碳、或其两种或多种的混合物。再生流体中 H_2 的浓度可达约 100 体积%的范围,在一个实施方式中自约 1 体积%至约 100 体积%,在一个实施方式中自约 1 体积%至约 50 体积%。该再生流体可自集管 104 流过工艺微通道而至底管 106,或按相对的方向自底管 106 流过工艺微通道而至集管 104。该再生流体的温度可自约 20°C 至约 600°C,在一个实施方式中为约 20°C 至约 400°C,在一个实施方式中为约 80°C 至约 200°C。在此再生步骤中,工艺微通道 210 内的压力可介于自约 1 个大气压至约 100 个大气压的绝对压力的范围内,在一个实施方式中为约 1 个大气压至约 10 个大气压。工艺微通道内再生流体的停留时间可介于自约 0.001 秒至约 10 秒的范围内,在一个实施方式中为约 0.01 秒至约 1

秒。

[0340] 工艺微通道 210 内反应物和产物与催化剂的接触时间可达约 100 秒的范围,在一个实施方式中可介于自约 1 毫秒至约 100 秒的范围内,在一个实施方式中可介于自约 1 毫秒 (ms) 至约 100 秒的范围,在一个实施方式中可介于自约 1 毫秒至约 50 秒的范围内,在一个实施方式中可介于自约 1 毫秒至约 25 秒的范围内,在一个实施方式中可介于自约 1 毫秒至约 10 秒的范围内,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 1 秒,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 500 毫秒,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 200 毫秒,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 100 毫秒,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 50 毫秒,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 20 毫秒,在一个实施方式中可自约 1 毫秒至约 10 毫秒。

[0341] 在工艺微通道 210 内流动的流体的流率可介于约 0.001lpm 至约 500lpm,在一个实施方式中为约 0.001lpm 至约 250lpm,在一个实施方式中为约 0.001lpm 至约 100lpm,在一个实施方式中为约 0.001lpm 至约 50lpm,在一个实施方式中为约 0.001lpm 至约 25lpm,在一个实施方式中为约 0.001lpm 至约 10lpm。流体在工艺微通道内流动的速度可介于自约 0.01m/s 至约 200m/s 的范围内,在一个实施方式中为约 0.01m/s 至约 75m/s,在一个实施方式中为约 0.01m/s 至约 50m/s,在一个实施方式中为约 0.01m/s 至约 30m/s,在一个实施方式中为约 0.02m/s 至约 20m/s。流体在工艺微通道内流动的雷诺数可以介于自约 0.0001 至约 100000 的范围内,在一个实施方式中为约 0.001 至约 10000。

[0342] 工艺微通道内反应物和产物流动的时空速度 (WHSV) 可以是至少约 0.1 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时)。该 WHSV 可以介于自约 0.1 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时) 至约 5000 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时) 的范围内,在一个实施方式中该 WHSV 可以介于自约 1 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时) 至约 500 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时) 的范围内,在一个实施方式中该 WHSV 可以介于自约 10 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时) 至约 500 (ml 进料)/(g 催化剂)(小时) 的范围内。

[0343] 流体在工艺微通道内流动的停留时间可介于自约 0.005 秒至约 100 秒的范围内,在一个实施方式中自约 0.03 秒至约 10 秒。

[0344] 虽然不希望受理论束缚,可以认为工艺微通道 210 内的高表观速度有利于反应,其中气相和液相在反应过程中均存在。这是因为流体的剪应力可作用于通常形成于催化剂表面上的液体薄层。较薄的液膜层可减小反应物对催化剂表面的传质阻力,并且促进了反应物在相对短的接触时间内的转化,例如接触时间小于约 500 毫秒。在一个实施方式中,流体流过工艺微通道的表观速度可以是至少约 0.01m/s,在一个实施方式中介于约 0.01m/s 至约 50m/s 的范围内,在一个实施方式中介于约 0.01m/s 至约 10m/s 的范围内,在一个实施方式中介于约 0.01m/s 至约 1m/s 的范围内,在一个实施方式中介于约 0.05m/s 至约 0.5m/s 的范围内。

[0345] 流体进入微通道处理单元 100 或者处理单元核 102 的温度可介于约 -40℃ 至约 400℃ 的范围内,在一个实施方式中为约 0℃ 至约 400℃,在一个实施方式中为自约 20℃ 至约 300℃,在一个实施方式中为自约 20℃ 至约 250℃,在一个实施方式中为自约 20℃ 至约 200℃。

[0346] 工艺微通道 210 内的温度可介于约 -40℃ 至约 400℃ 的范围内,在一个实施方式中为约 0℃ 至约 400℃,在一个实施方式中为自约 20℃ 至约 300℃,在一个实施方式中为自约

20℃至约 250℃,在一个实施方式中为自约 20℃至约 200℃。

[0347] 离开微通道处理单元 100 或处理单元 102 的产物的温度可介于约 -40℃至约 400℃的范围内,在一个实施方式中为约 0℃至约 400℃,在一个实施方式中为自约 20℃至约 300℃,在一个实施方式中为自约 20℃至约 250℃,在一个实施方式中为自约 20℃至约 200℃。

[0348] 工艺微通道 210 内的压力可达约 50 大气压的绝对压力的范围,在一个实施方式中达至约 40 大气压,在一个实施方式中达至约 30 大气压。在一个实施方式中其压力可达约 1 大气压至约 50 大气压的绝对压力的范围,在一个实施方式中为约 10 大气压至约 40 大气压,在一个实施方式中为约 20 大气压至约 30 大气压。

[0349] 当反应物和 / 或产物在工艺微通道 210 内流动时,其压降可达约每米工艺微通道长度 1 大气压 (atm/m) 的范围,在一个实施方式中达约 0.5atm/m,在一个实施方式中达约 0.1atm/m。

[0350] 流过带孔部分 (250, 250A) 的第二流体的压降可达约 0.1atm 的范围,在一个实施方式中自约 0.001atm 至约 0.1atm,在一个实施方式中自约 0.001atm 至约 0.05atm,在一个实施方式中自约 0.001atm 至约 0.005atm。在工艺微通道 210 内流动的反应物或产物可以是蒸汽、液体、或者蒸汽和液体的混合物的形式。在工艺微通道内的蒸汽的流动的雷诺数可介于自约 10 至约 10000 的范围内,在一个实施方式中为约 100 至约 3000。在工艺微通道内的液体的流动的雷诺数可介于自约 10 至约 10000 的范围内,在一个实施方式中为约 100 至约 3000。

[0351] 第一反应物的转化率可介于每周期约 5%或更高的范围内,在一个实施方式中自约 15%至约 100%。

[0352] 第二反应物的转化率可介于每周期约 25%或更高的范围内,在一个实施方式中每周期自约 25%至约 100%。

[0353] 产物收率可介于每周期约 20%或更高的范围内,在一个实施方式中每周期自约 20%至约 25%。

[0354] 微通道内乳液的形成使得更小的平均液滴尺寸可用于新的商业应用,除了别的以外,诸如个人护理产品、医疗产品和食品。当每通道以高流率进行操作时,所得乳液混合物沿窄微通道的壁产生高的壁剪应力。该通过透壁引入的、经过分散相的连续相材料的流体与壁面之间的高剪应力使得形成小乳液液滴 - 每次一滴。这些乳液可被称为非牛顿流体。该技术的放大的问题已经理解为非牛顿流体在高壁剪应力下的行为。当形成乳液时,沿着微通道长度的组分的流体性质的进一步复杂性已发生改变。

[0355] 非牛顿乳液流体的许多预测模式源自低剪切速率,并且已显示出预测情况与试验结果间的优异的一致性。在低剪切速率下所得的非牛顿乳液的幂律关系在由小的微通道里的高通量所产生的高剪切环境下受到破坏。该小尺寸在壁处产生更高的速度梯度,结果导致较大的表观黏度。在低剪切环境下所得的幂律的推理不能准确地预测在高流率时在微通道内可能出现的压降。

[0356] 下面述及在由常规关系所推知的高的壁剪应力微通道环境下产生较大压降的剪切稀化流体的结果,所用的术语如下:

[0357] f = 范宁摩擦系数

[0358] D = 通道的水力直径, m

[0359] k = 幂律常数

[0360] L = 通道长度, m

[0361] n = 幂律系数

[0362] R = 通道半径, m

[0363] Re = 雷诺数

[0364] V = 通道内流体的平均速率, m/s

[0365] X^+ = 无量纲传达长度 (dimensionless developing length)

[0366] ΔP = 压降, Pa

[0367] ρ = 通道内流体的密度, kg/m³

[0368] μ = 粘度, kg/m-s

[0369] T = 剪应力, N/m²

[0370] Y = 剪切率, sec⁻¹

[0371] 乳液可被称为含有影响流体与流体间界面稳定性的成分的分散系。在许多情况下, 这些乳液的成分和该乳液不遵循剪应力与剪切率之间的牛顿关系。剪应力与剪切率之间的关系在预测微通道处理单元的非牛顿流体的流体动力学和设计参数 (例如压降) 方面起到了重要作用。

[0372] 在预测宏观尺度管道内非牛顿流体的压降时, 结合使用诸如幂律常数的流变参数与速度分布的确认的理论的或经验的相互关系。经常由台式流变仪或试验室粘度计得知速度分布的流变参数。但是, 对于小尺寸体系来说, 因为没有得到确认的微通道内非牛顿流体的速度分布的相互关系, 将流变图中的流变参数转换为高剪切环境和最终的压降可能是不准确的。

[0373] 不用流变图作为设计计算的基础, 利用管线粘度计 (毛细管粘度计的一种形式) 测定微通道内所产生的高剪切环境下的流变参数在试验上可能更方便和更准确。下文述及微通道环境内剪切稀化型非牛顿流体的剪应力和剪切率关系的适用性。

[0374] 大多数工业上的应用都受所允许的压降的限制。流动建模的目的是理解和得到系统内的压降和影响它的参数。该部分描述可用于估算直线管道内压降的方程式。

[0375] 非牛顿流体

[0376] 对于非牛顿流体来说, 剪应力的变化与剪切率成比例。比例常数被称为动力粘度, 对给定流体来说, 该常数在恒温恒压下为定值。

[0377] $\tau = \mu Y$ (1)

[0378] 基于上述应力与应变的关系, 装有牛顿流体的直线管道内的压降方程式的一般形式为:

[0379] $\Delta P = 4f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$ (2)

[0380] 其中, 范宁摩擦系数 (f) 为无量纲数, 其代表通道壁上的剪应力。所述摩擦系数的值取决于流态 (或者雷诺数)、管道几何形态和壁表面粗糙度。圆形通道几何外形的范宁摩擦系数取决于雷诺数并列出如下。

[0381] 层流区 ($Re < 2200$): 层流区内的摩擦系数取决于无量纲传达长度, 并可由下式估

算：

$$[0382] \quad \text{当 } X^+ \leq 0.1 \text{ 时, } f = \frac{\left(\frac{3.44}{[x^+]^{0.5}}\right) + \frac{\left(\frac{1.25}{4[x^+]^{0.5}}\right) + 16 - \left(\frac{3.44}{[x^+]^{0.5}}\right)}{1 + 0.00021(x^+)^{-2}}}{\text{Re}}; \quad (3)$$

$$[0383] \quad \text{当 } X^+ > 0.1 \text{ 时, } f = \frac{16}{\text{Re}}; \quad (4)$$

[0384] 过渡区 ($2200 \leq \text{Re} < 4000$): 过渡区的圆形通道内的摩擦系数可由下式计算出:

$$[0385] \quad f = 0.00128 + \frac{0.1143}{\text{Re}^{3.2154}} \quad (5)$$

[0386] 湍流区 ($\text{Re} \geq 4000$): 过渡区的圆形通道内的摩擦系数可由下式计算出:

$$[0387] \quad f = 0.0054 + \frac{2.3 \times 10^{-8}}{\text{Re}^{-1.5}} \quad (6)$$

[0388] 雷诺数和无量纲长度可由下式计算出:

$$[0389] \quad \text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (7)$$

$$[0390] \quad x^+ = \frac{L}{D \text{Re}} \quad (8)$$

[0391] 非牛顿流体

[0392] 图 52 示出了剪切稀化非牛顿流体的剪应力和剪切率之间的传统关系。剪应力(或粘度)不随剪切率而改变的区域可称之为牛顿区。这些区域间的行为可以是重对数图尺上的直线,并被认为是幂律区域。

[0393] 幂律区域内的流体特性可近似为:

$$[0394] \quad \mu = k \dot{\gamma}^{n-1} \quad (9)$$

[0395] 圆形管道内层流区遵循幂律的剪切稀化流体的充分发展的速度分布和剪切率可由下式计算出:

$$[0396] \quad \frac{V}{\bar{V}} = \frac{3n+1}{n+1} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right) \quad (10)$$

$$[0397] \quad \dot{\gamma} = \bar{V} \left(\frac{3n+1}{n} \right) \frac{r^n}{R^{\frac{n+1}{n}}} \quad (11)$$

[0398] 一般情况下,涉及非牛顿流体的数学问题包括解 Navier-Stokes 方程式。不过,如由粘度计能确定 k 和 n 值,那么,通过利用如方程式 (9)、(10)、(11) 并结合方程式 (2) 至 (4) 所述的关系可开发出估算非牛顿流体的压降的简单方法。估算压降的此方法可被称之为 1-D 方法。

[0399] 图 53 所示为试验测定高剪切率环境内的粘度的试验装置。使用圆形横截面的不锈钢管。该管的标称直径为 1.59mm。该管壁的标称厚度为 0.43mm。该管的长度为 610mm。通过从卷材切割所需长度的管并利用除毛刺机(de-burrer)除去管两端的毛刺来制作试验装置。

[0400] 流体通过 Isco 模式 260D 注射泵进料。该泵准确至 0.001ml/min。该泵的最大输送压为 20,800kPa(205.3 个大气压)。利用 NOSHOK 系列(NOSHOK Series 100)的压力传感器来测定试验装置入口和出口处的液压。在自 0 至 136kPa(5psig,1.34 个大气压)的测

定范围内,在试验装置的出口处使用单个的压力传感器。在试验装置的入口处,使用两个压力传感器。其中一个传感器的测定范围为自 0 至 791kPa(100psig,7.81 个大气压),而另一个传感器的测定范围为自 0 至 7000kPa(1000psig,69.1 个大气压)。当入口压力小于 710kPa(7.01 个大气压)时,使用测定范围为自 0 至 791kPa(7.81 个大气压)的压力传感器,其他情况下使用测定范围为自 0 至 7000kPa(69.1 个大气压)的压力传感器。压力传感器的准确度为压力范围的 $\pm 0.5\%$ 。试验装置的出口处保持在围压条件下。利用准确度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的欧米茄型 k(Omega Type K) 热电偶测定试验装置的入口和出口流体的温度。整个试验装置维持在室温条件下。任何的粘性生成热(viscous heat generation) 均可消散于周围环境中。

[0401] 利用石墨卡套和卡套接头配件进行试验装置的连接,以防止管末端的受压。

[0402] 利用美国国家仪器公司的 LabVIEW 7.1 电子记录温度和压力数据。记录数据的时间间隔为 1 秒。

[0403] 进行任何试验之前,要校准压力传感器以准确测定压力。用于校准的标准是美国福禄克(Fluke)725w/700P07 压力校准模块。通过对比由 LabVIEW 数据记录软件读出的压力传感器原始输出电流(单位为 mA)和由配有压力校准模块(单位为 kPa)的美国福禄克 725 测定的压力来建立校准曲线。利用 Altech 368-600 高压手动泵引入压力。利用最小的六个点生成该校准曲线。对所有三个压力传感器来说,发现其外加压力与压力传感器信号之间呈线性关系。然后该校准曲线用于试验过程中的压力测定。图 54 示出了测定范围达至 136kPa(1.34 个大气压)、791kPa(7.81 个大气压)和 7000kPa(69.1 个大气压)的压力传感器的校准曲线。

[0404] 泵测定的准确度不超过 $\pm 0.5\%$ 。

[0405] 逐渐形成实验检验方案以既估算牛顿流体又估算非牛顿流体的压降。所用的牛顿流体为去离子水。利用溶于去离子水中的流变改性剂制备非牛顿流体。所用的流变改性剂为来自美国诺誉(Noveon)公司的 Carbopol SF-1。表 1 所示为该实验测试方案。

[0406] 表 1:牛顿流体和非牛顿流体的实验测试方案

[0407]

流程数	流率 (ml/min)	出口压力 (kPa)	测试温度 ($^{\circ}\text{C}$)
1	10.0	围压	周围温度
2	21.3	围压	周围温度
3	32.5	围压	周围温度
4	43.8	围压	周围温度
5	55.0	围压	周围温度
6	77.5	围压	周围温度
7	88.8	围压	周围温度
8	100.0	围压	周围温度

[0408] 去离子水可用作牛顿流体。通过利用英国威立雅 (ELGA) 公司制造的型号为 Medica 17R 的除离子器制备去离子水。整定值 (setting) 为 18M Ω 。

[0409] 使用 Noveon Carbopol 聚合物制备三种非牛顿溶液。Carbopol 聚合物为高分子量的丙烯酸与聚烯基聚醚交联的均聚物和共聚物。当其使用浓度低于 1% 时, 这些聚合物提供了一种宽范围的流变性质。通过把 4.2g Carbopol 聚合物混于 500g 去离子水中制得第一溶液。通过把 5.6g Carbopol 聚合物混于 500g 去离子水中制得第二溶液。通过把 8.4g Carbopol 聚合物混于 500g 去离子水中制得第三溶液。通过逐滴加入 0.1N NaOH 溶液, 搅拌的同时监控 pH 值, 使得所有溶液的 pH 值处于 6.8-7.2 之间。第一溶液称之为低粘度, 第二溶液称之为中粘度, 而第三溶液称之为高粘度。这些溶液的每一溶液均为非牛顿流体。

[0410] 利用配有 UL 适配器的 Brookfield RVDV-E 粘度计测定非牛顿流体的粘度。用于粘度测定的转子为 ULA-000。

[0411] 图 55 表明 Carbopol 溶液的所测粘度为由 Brookfield 粘度计测得的低、中和高粘度非牛顿流体的剪切率的函数。

[0412] 重对数图尺上粘度和剪切率之间的线性关系表明该流体是遵循常规幂律关系的剪切稀化非牛顿流体。

[0413] 泵的储存器里装有测试液。数据记录仪开始电子记录其压力和温度。在注射泵里设置试验装置所需流率, 然后启动注射泵。当压力传感器的入口压力的波动幅度小于 3.5kPa (0.035 个大气压) 时, 可认为该流动为稳态流动。维持该稳态流动 30 至 60 秒, 以收集入口和出口的压力与温度的数据信息。当完成流体的所有试运转后, 开始试验之前充入 50ml 空气清除系统, 并用 20ml 进行下一次流体冲洗。重复几个运行点以验证其再现性。通过入口和出口的所测压力差来计算试验装置的压降。

[0414] 图 56 示出了水的试验压降与预测压降的对照。利用方程式 (2) 至 (8) 预测其压降。正如图 56 中所示, 作为牛顿流体的水的所测压降和预测压降间是完全吻合的。该对照验证了选择的摩擦系数的相互关系。

[0415] 如图 55 所示, 由 Brookfield 粘度计测得的粘度值用于计算粘度与剪切率之间的幂律关系中的常数 k 和 n。表 2 汇总了低、中和高粘度非牛顿流体的 k 值和 n 值。

[0416] 表 2 : Brookfield 粘度计测得的非牛顿流体的 k 值和 n 值小结

[0417]

	k	n
低粘度	0.16	0.65
中粘度	0.55	0.49
高粘度	2.13	0.33

[0418] 利用方程式 (2)、(9-11) 以及表 2 中的 k 值和 n 值, 可预测试验装置内低、中、高粘度的非牛顿流体的压降。图 57-59 对比了低、中、高粘度的非牛顿流体的试验压降和预测压降。在所有情况下, 试验压降都大于由基于适于低剪切 Brookfield 粘度计所得幂律系数的 1-D 方法的预测压降。

[0419] 也可利用计算流体力学方法来验证 1-D 方法。优先 (in Gambit) 开发出一种

简易试验装置的网状物。用于计算流体力学的软件为 Fluent V6.2.16。如表 2 所示,由 Brookfield 粘度计所得幂律系数用于分析。如图 58 所示可看出,由计算流体力学方法所得的预测值与由 1-D 方法所得的预测值很好地相吻合。

[0420] 利用由低剪切 Brookfield 粘度计测得的 k 值和 n 值,由 1-D 方法和计算流体力学方法这两种方法所进行的非牛顿流体的压降预测值都明显地低于所测得的试验压降值(如图 57-59 所示)。同样,当非牛顿流体的粘度增大时,预测值与测得值之间的差异变大。

[0421] Brookfield 粘度计估测了 0.1 s^{-1} 和 100 s^{-1} 剪切率之间的该非牛顿流体的粘度。该范围内的剪切率用于估计粘度和剪切率之间的幂律关系。但是,如图 57-59 所示,试验装置内的剪切率介于 5000 s^{-1} 和 $50,000 \text{ s}^{-1}$ 的范围内。这些较高的剪切率通常为微通道乳化装置内的操作情况。预测压降和测得压降间的偏差表明,由粘度计所估算的幂律关系不足以准确预测微通道内的压降。

[0422] 重新计算所利用的试验压降数据、 k 值和 n 值,以使预测压降值与试验压降值相匹配。新的 k 值和 n 值明显地不同于由粘度计所估算的值,所述粘度计示出了在高剪切率下的不同的粘度与剪切率的关系。表 3 对其对比进行小结。图 60 示出了利用低粘度流体的新的 k 值和 n 值的试验压降和预测压降的比较。中粘度和高粘度流体的结果相类似,其预测误差小于 1%。

[0423] 此表观偏差归因于微通道尺寸下低剪切率环境至高剪切率环境之间的非牛顿流体的幂律关系的变化。虽然不希望受理论束缚,可以认为,微通道内的小通道尺寸和高通道通过量可引起层流流体分布的变化。增加的 n 值表明速度分布剖面变得进一步扁平。变扁平的流体分布剖面可导致壁表观粘度增大,并可在微通道内导致更高的压降。

[0424] 此外,如表 4 所示,低剪切下在管粘度计中进行了附加试验,所得的 k 值和 n 值与在该低剪切率区内由 Brookfield 粘度计所预测的 k 值和 n 值相匹配。图 61 所示为微通道内幂律非牛顿流体的粘度和剪切率之间的理论关系。在过渡剪切率的位置,粘度与剪切率间的关系出现变化。

[0425] 表 3:由 Brookfield 粘度计所估算的 k 值和 n 值与由高剪切实验数据所计算的 k 值和 n 值的比较

[0426]

	Brookfield 粘度计		实验数据的估算	
	k	n	k	n
低粘度	0.16	0.65	0.10	0.74
中粘度	0.55	0.49	0.28	0.68
高粘度	2.13	0.33	0.66	0.62

[0427] 表 4:由 Brookfield 粘度计所估算的 k 值和 n 值与由低剪切实验管数据所计算的 k 值和 n 值的比较

[0428]

	Brookfield 粘度计		实验数据的估算	
	k	n	k	n
中粘度	0.55	0.49	0.53	0.55

[0429] 由实验室粘度计所估算的剪切稀化非牛顿流体的粘度与剪切率之间的幂律关系通常存于低剪切率的范围内。高速剪切稀化非牛顿流体流过具有小特征尺寸的微通道会导致高剪切率。在这些高剪切率之中,由低剪切实验室粘度计所估算的幂律对于压降的预测可能不准确。对于非牛顿流体来说,通过研究区内上述流体的压降试验和流率可得到具有良好预测能力的微通道尺寸的压降模型。由此方法所开发的模型可用于准确预测和系统设计。此外,此结果表明在高剪切环境下窄通道内的流体分布会变化,从而表观粘度增大。

[0430] 对于剪切稀化流体来说,虽然可看出由粘度计测量值推算出的粘度和剪切率间的关系与微通道内高剪切率流动的实际粘度和剪切率间的关系之间的差异。但是对于诸如剪切增稠流体、时间相关流体(触变的、抗流变的)的其他类型的非牛顿流体来说,在低剪切率时的粘度计测量值可能不适用于微通道内的高剪切率流动。

[0431] 利用此处所述的准确的压降模型可用来设计使用微通道处理单元内的多个微通道的工艺和装置,或用来设计用于微通道处理单元的模块。被引入一个微通道处理单元的流体可流过歧管部分而后进入多个微通道。利用此模型可以选择微通道尺寸和节流,以得到在通道中充分的流动分布,以获得该装置内所进行的单元操作的所期望的结果。单元操作可包括反应、分离、加热、冷却、蒸发、浓缩、混合等。

[0432] 流动分布的一个度量为质量指标因数。质量指标因数“ Q_1 ”可衡量歧管在分配流量方面的有效性。它是连接通道流动的最大流率与最小流率的差除以最大流率的比。对于具有恒定通道尺寸的连接通道体系来说,希望每一通道具有相等的质量流率。该情况下的方程式可表示如下:

$$[0433] \quad Q_1 = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{m_{\max}} \times 100\%$$

[0434] 其中

[0435] $m_{\max}$ [千克/秒] = 连接通道的最大质量流率

[0436] $m_{\min}$ [千克/秒] = 连接通道的最小质量流率

[0437] 对于具有不同的连接通道尺寸的情况,希望通道与通道之间的停留时间、接触时间、速度或质量流量具有最小的变化,从而可得到所需要的单元操作的占空比(duty)。此时,质量指标因数可定义如下:

$$[0438] \quad Q_2 = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{G_{\max}} \times 100\%$$

[0439] 其中 G 为质量流率。当出现所有连接通道都具有相同横截面积的情况时, Q_2 的方程式可简化为 Q_1 。质量指标因数给出连接通道流率的范围,0%为完善分配,100%表示至少一个通道内的停滞(没有流动),而其值超过100%时表示至少一个通道内出现回流(沿与所希望的流动方向相反的方向流动)。基于含有约95%的通过连接通道的净流量的通道可定义 Q_1 和 Q_2 ,其中,如果通过那些通道的流量不必占通过连接通道的净流量的约95%,那么

不计算最低的流量通道。质量指标因数可以为约 20%或更少,在一个实施方式中为约 5%或更少,在一个实施方式中为约 1%或更少。在一个实施方式中质量指标因数可介于自约 0.5%至约 5%的范围内。

[0440] 虽然已经结合具体的实施方式说明了本发明,可以理解,在阅读本说明书后,所述实施方式的各种变型对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,可以理解,本申请所覆盖的发明确定包括可能落入所附权利要求的范围之内的此类修正。

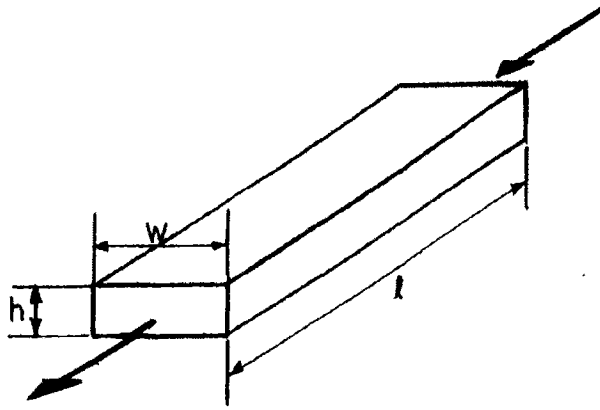


图 1

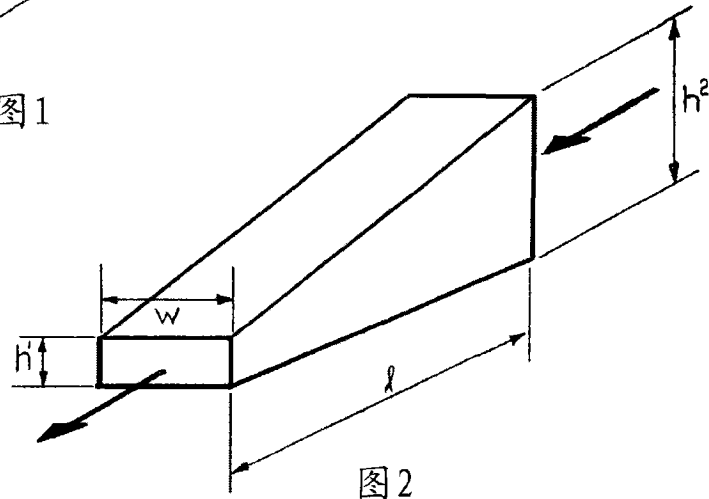


图 2

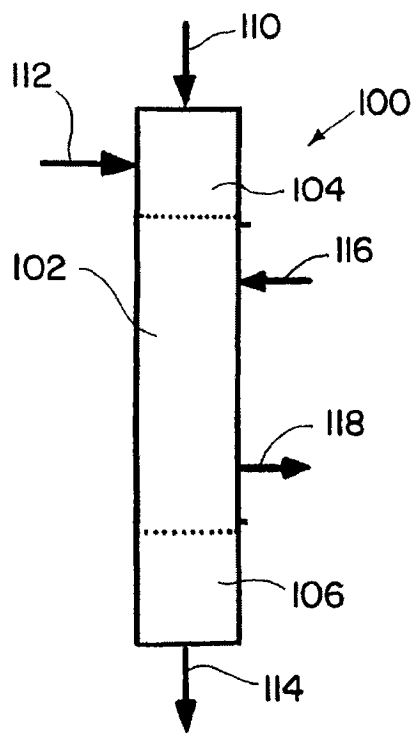


图 3

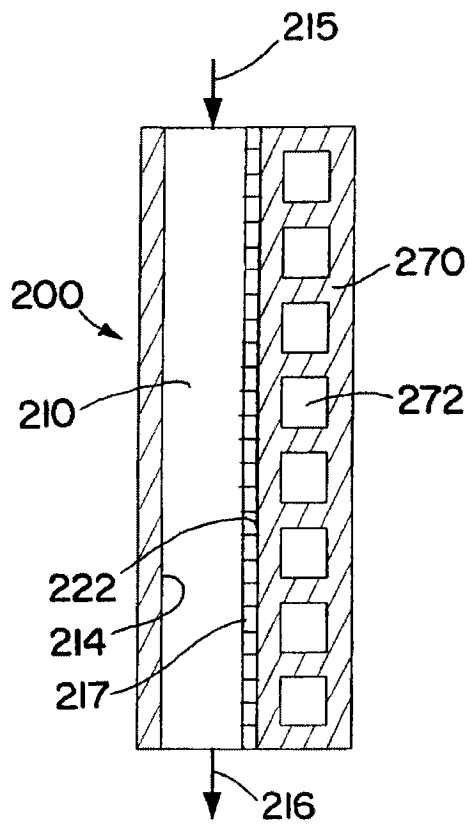


图 4

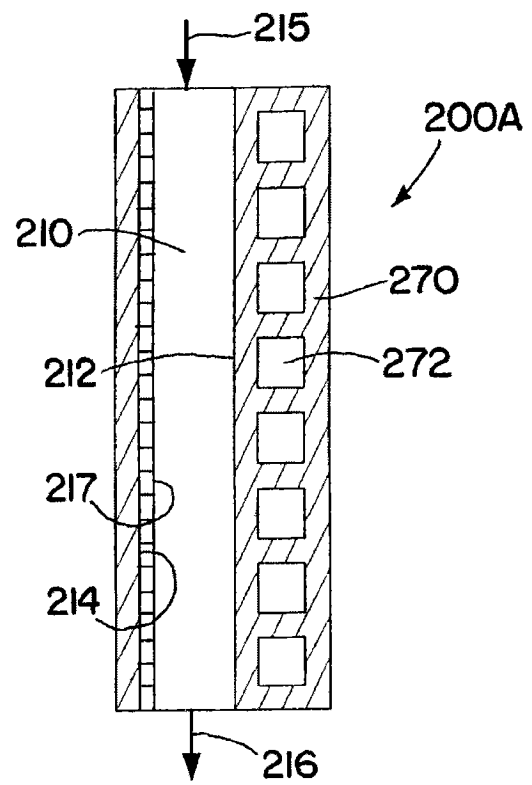


图 5

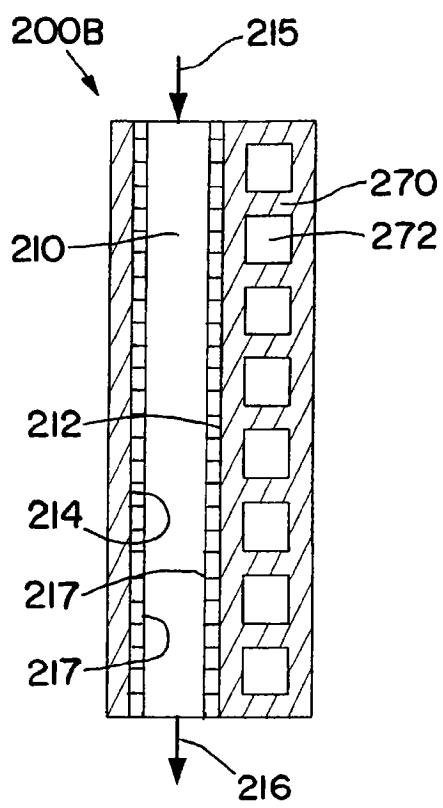


图 6

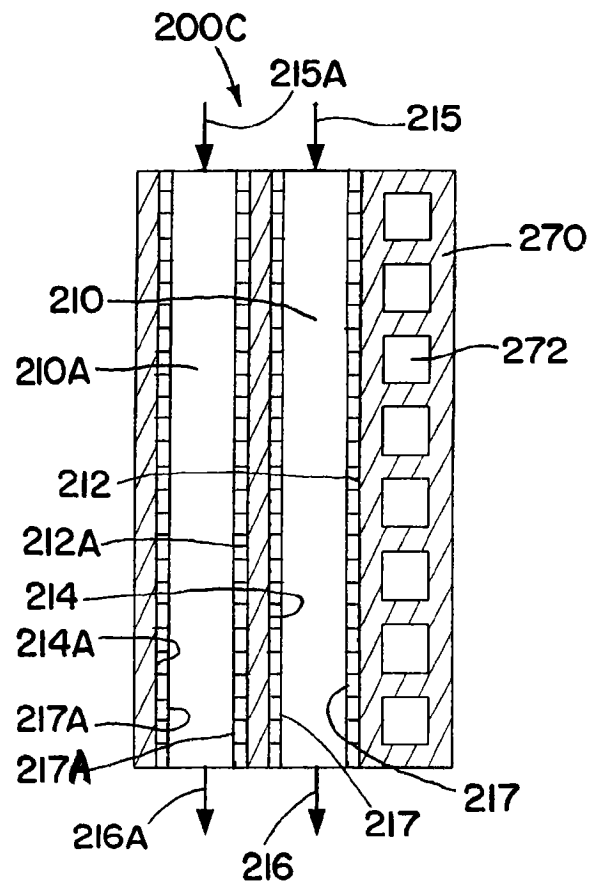


图 7

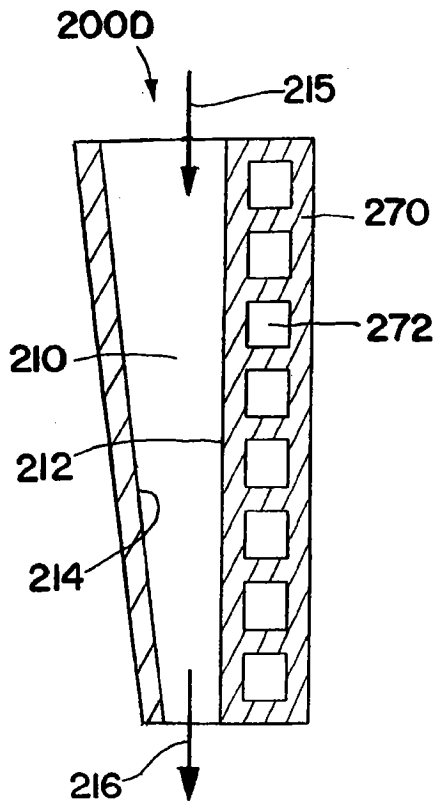


图 8

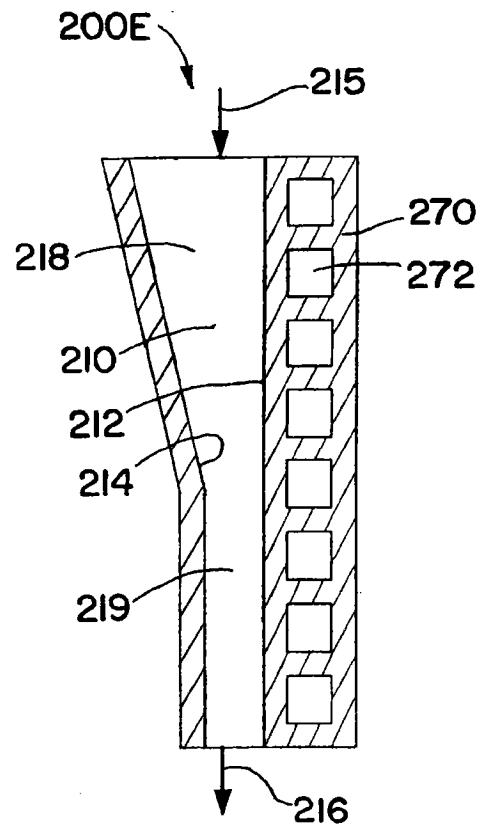


图 9

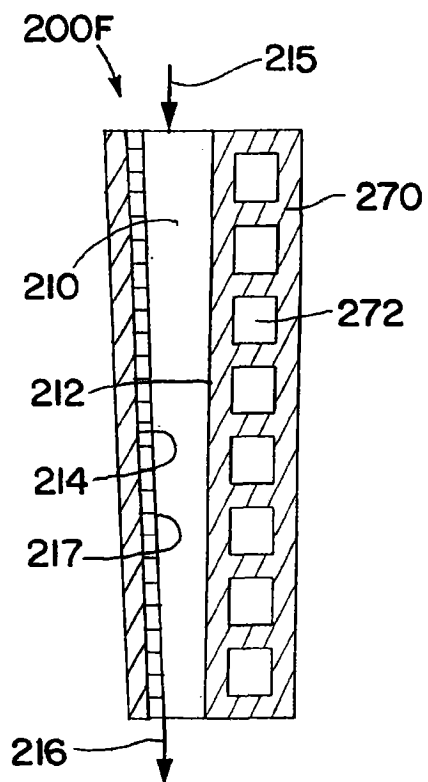


图 10

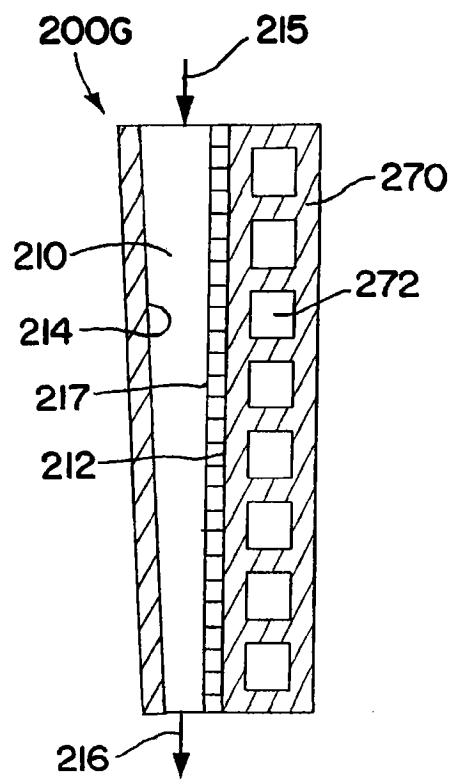


图 11

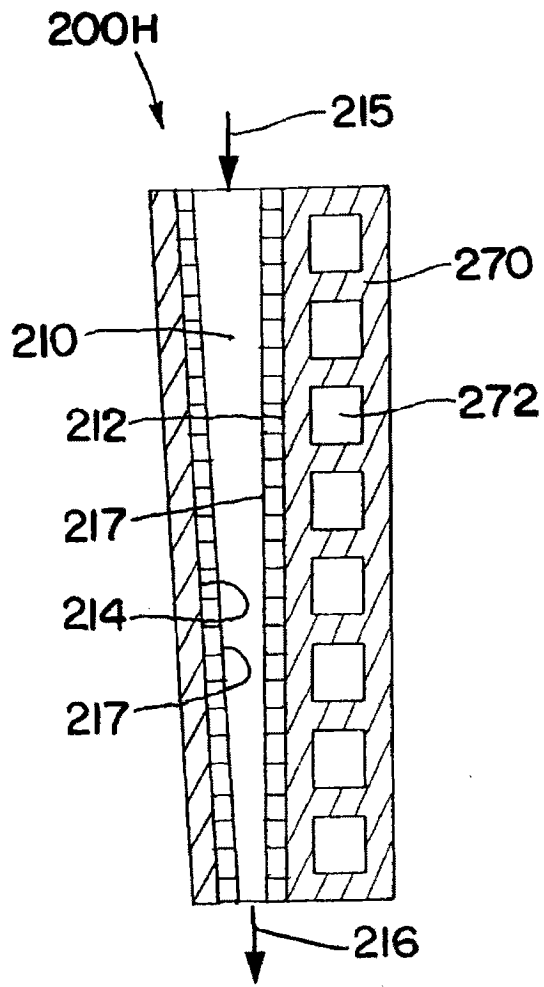


图 12

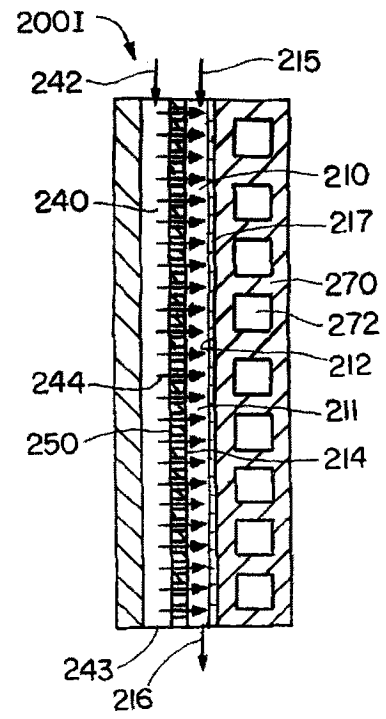


图 13

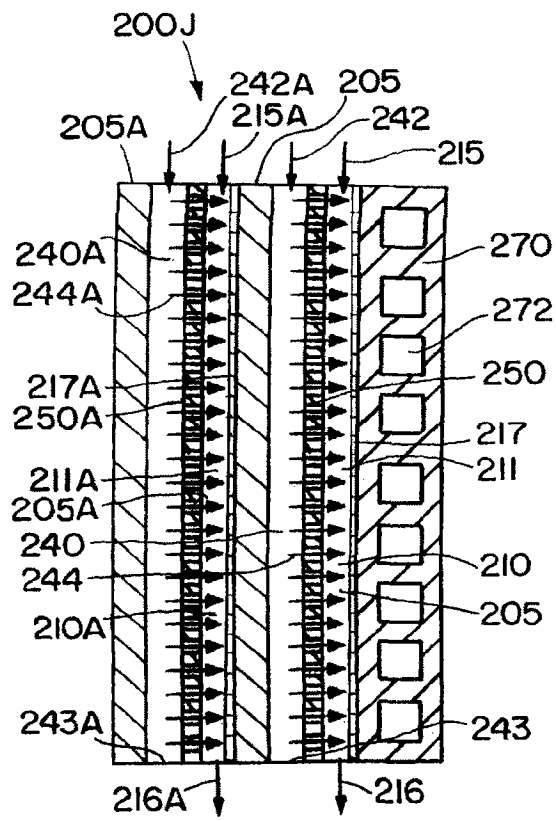


图 14

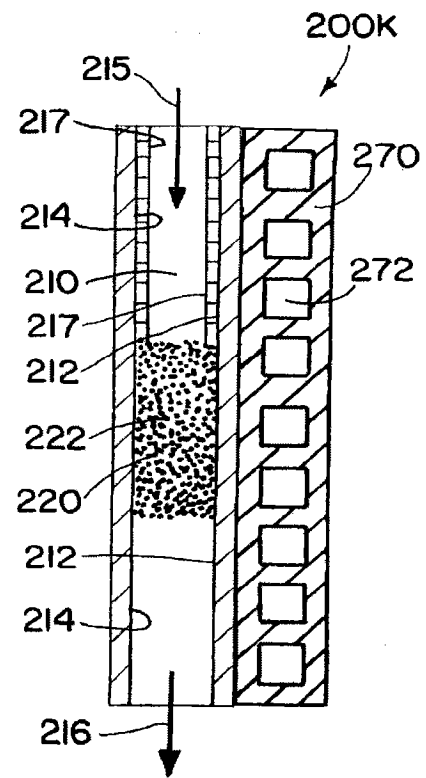


图 15

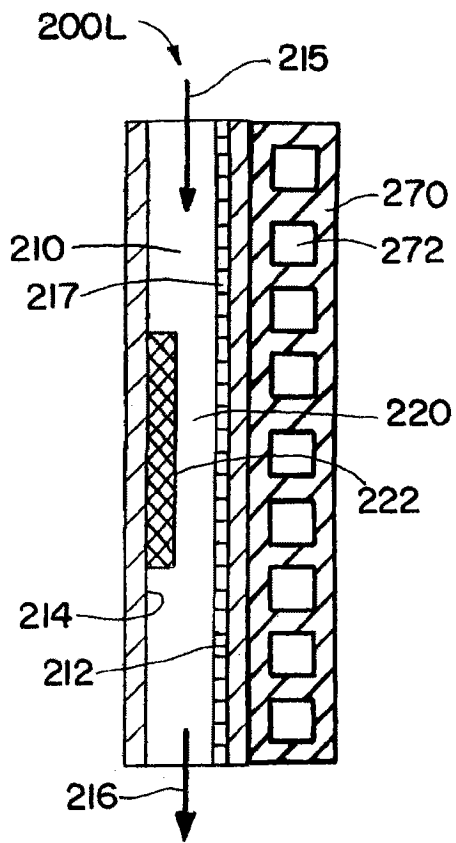


图 16

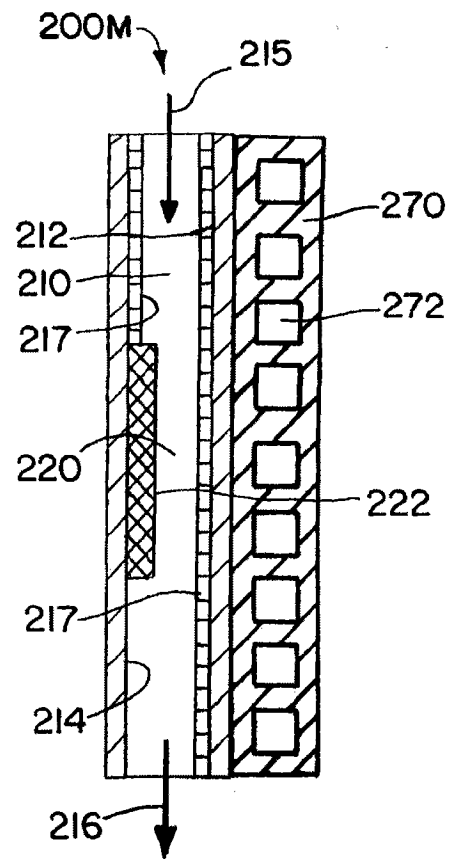


图 17

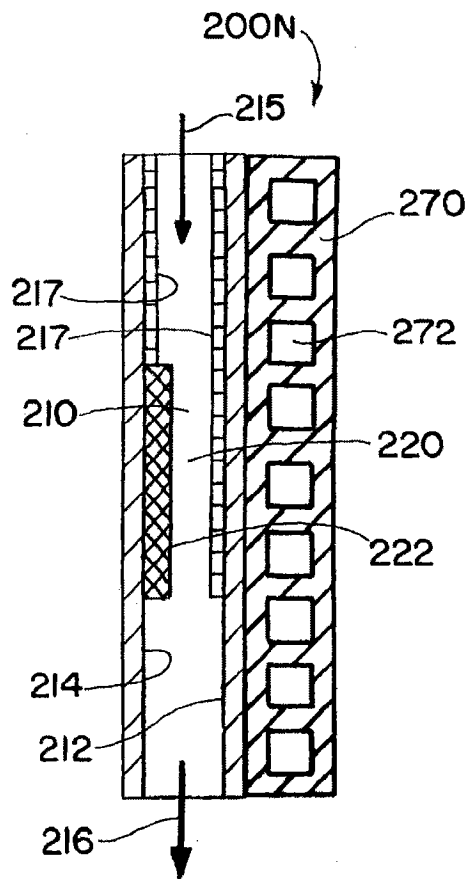


图 18

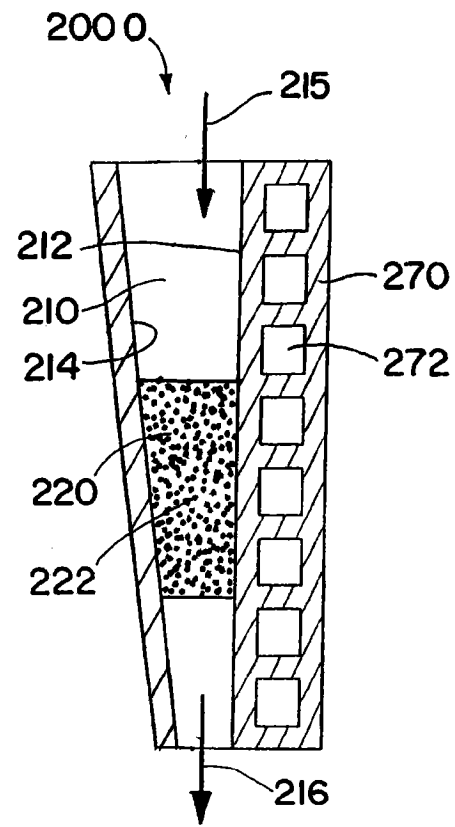


图 19

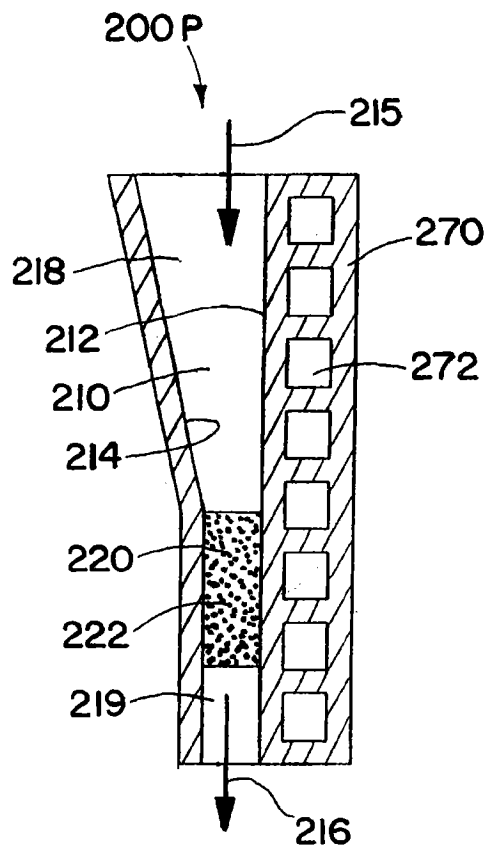


图 20

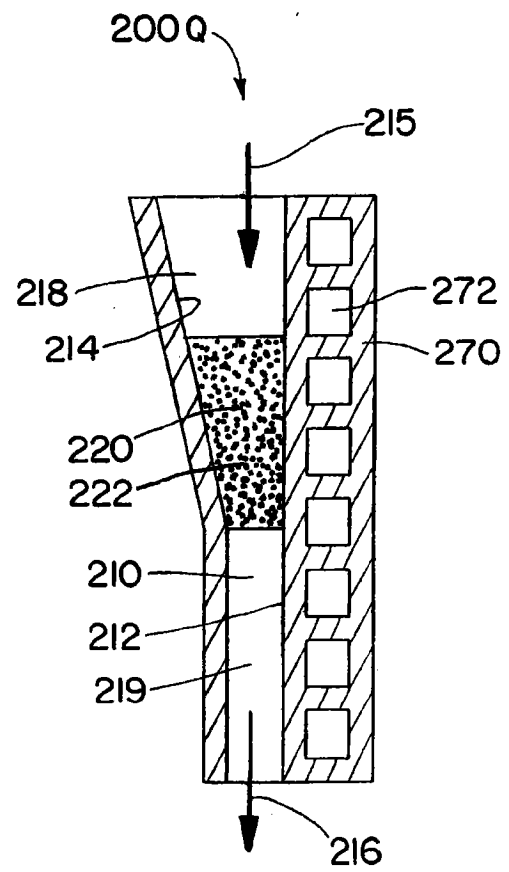


图 21

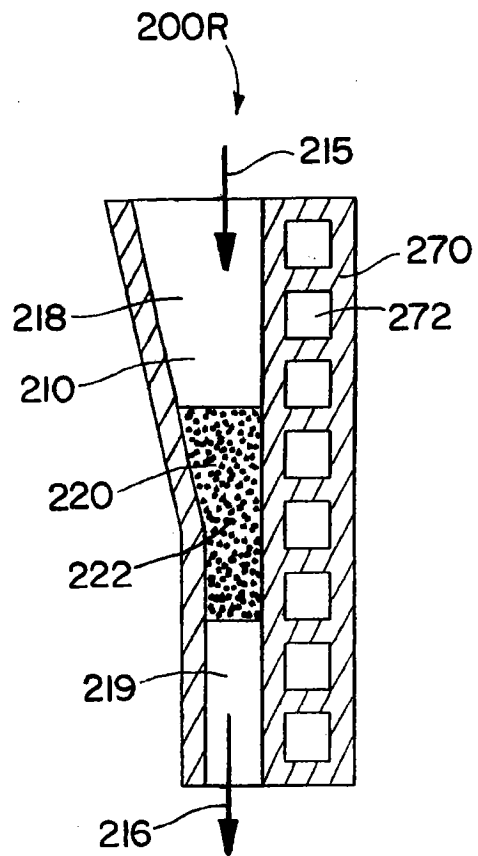


图 22

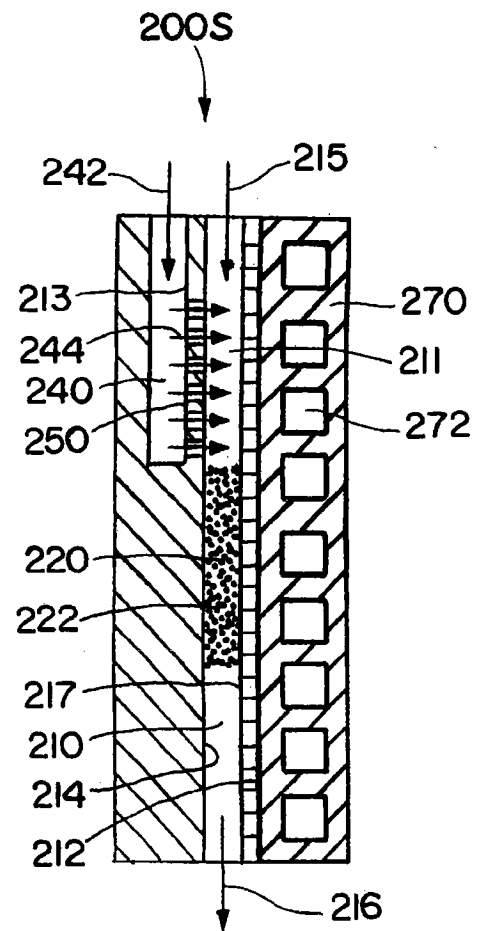


图 23

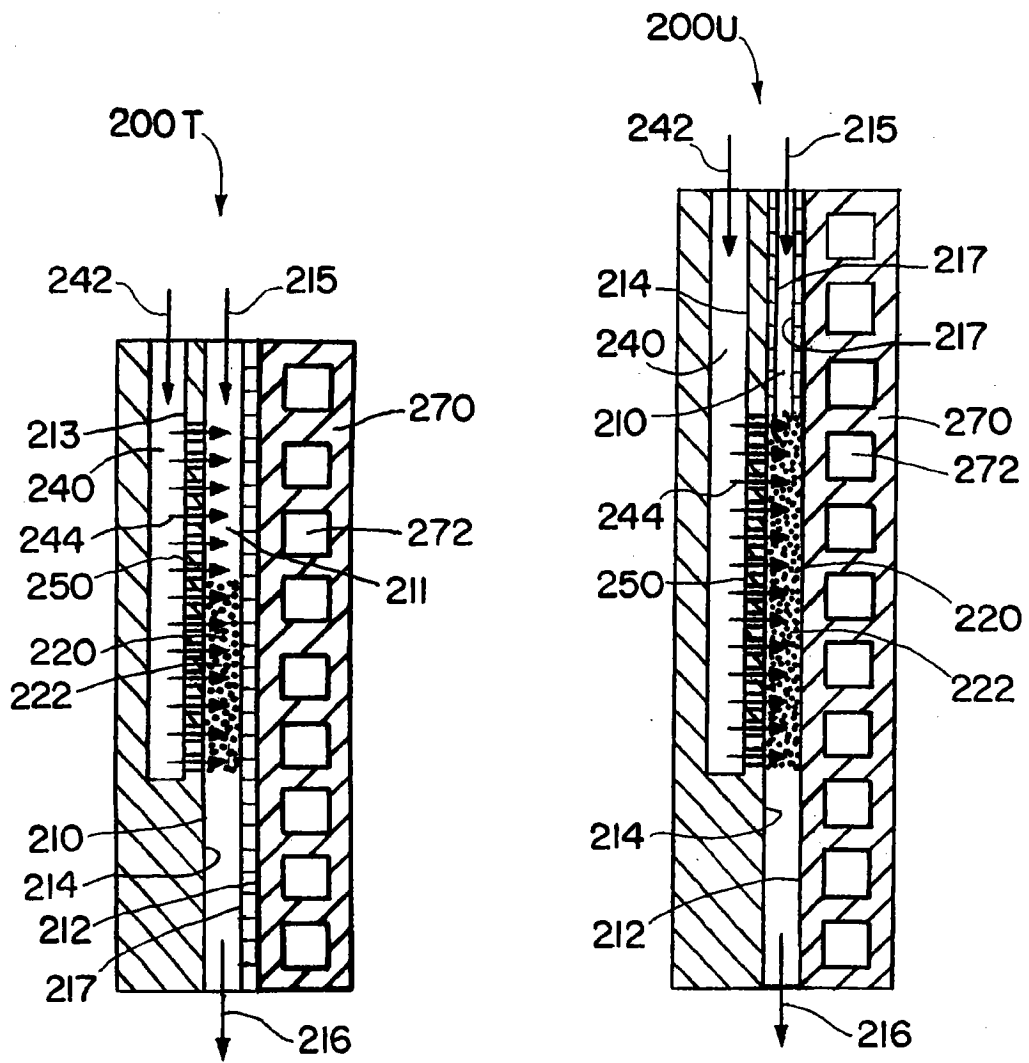


图 25

图 24

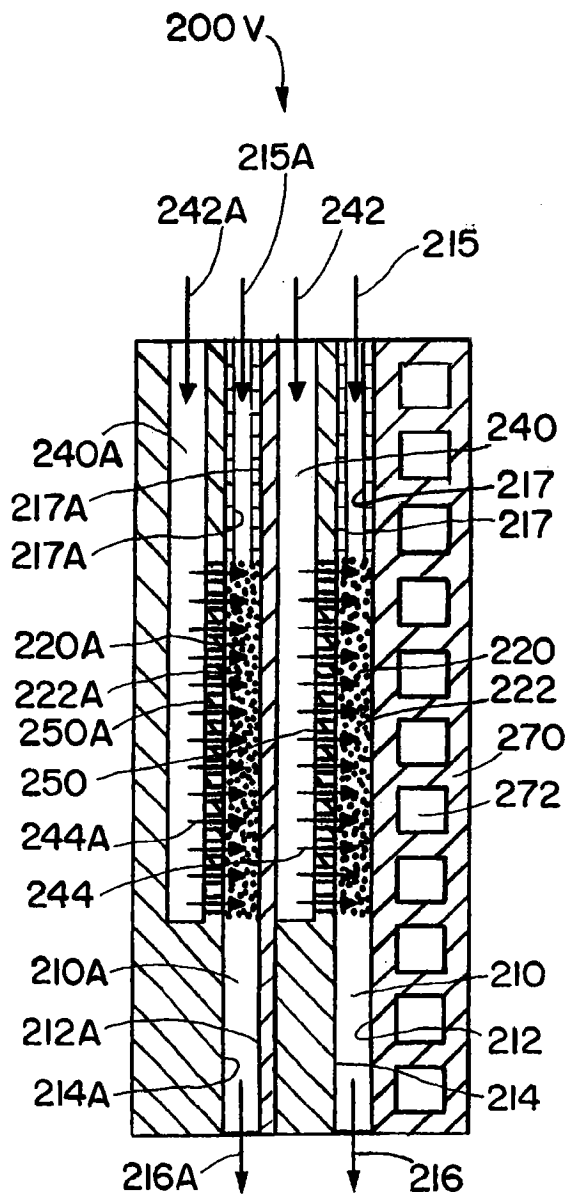


图 26

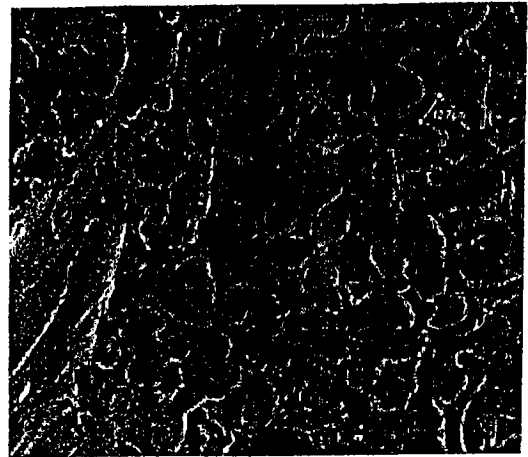


图 27

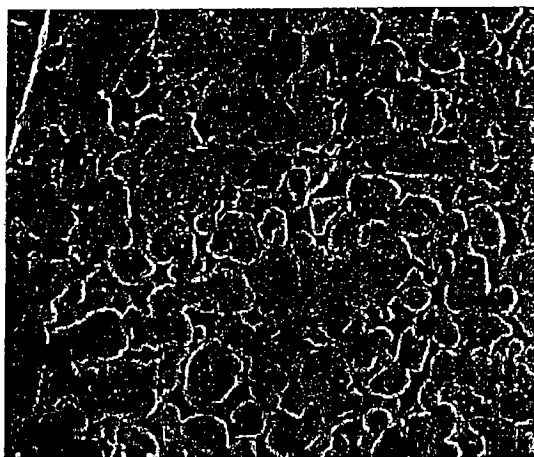


图 28

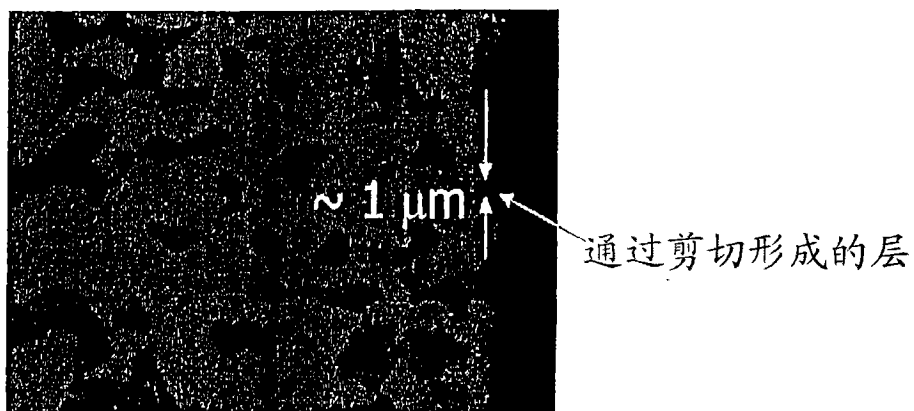


图 29

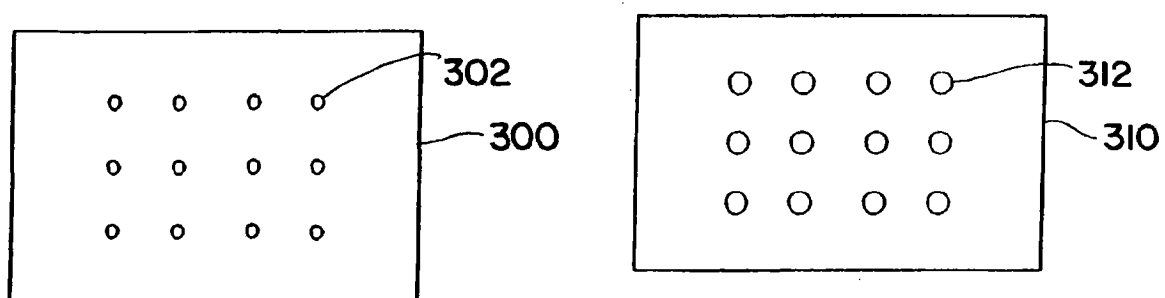


图 30

图 31

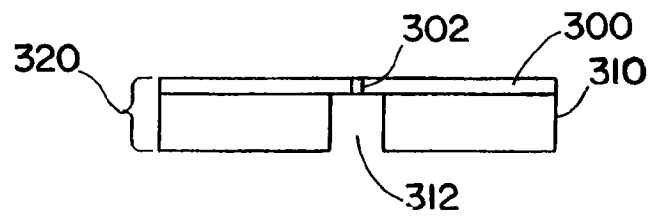


图 32

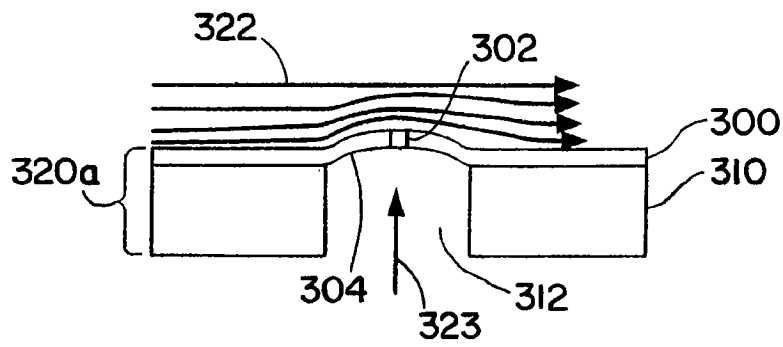


图 33

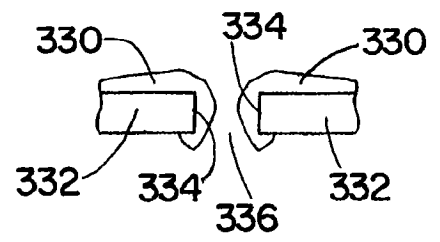
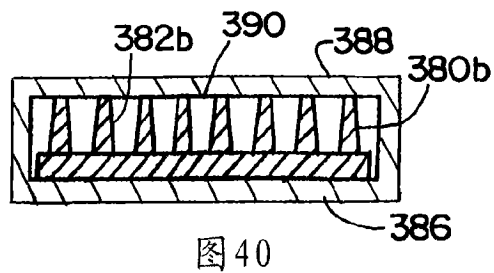
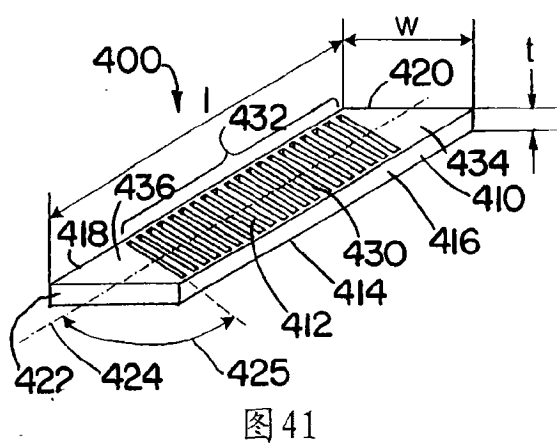
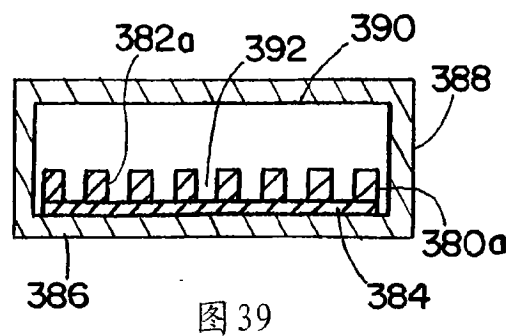
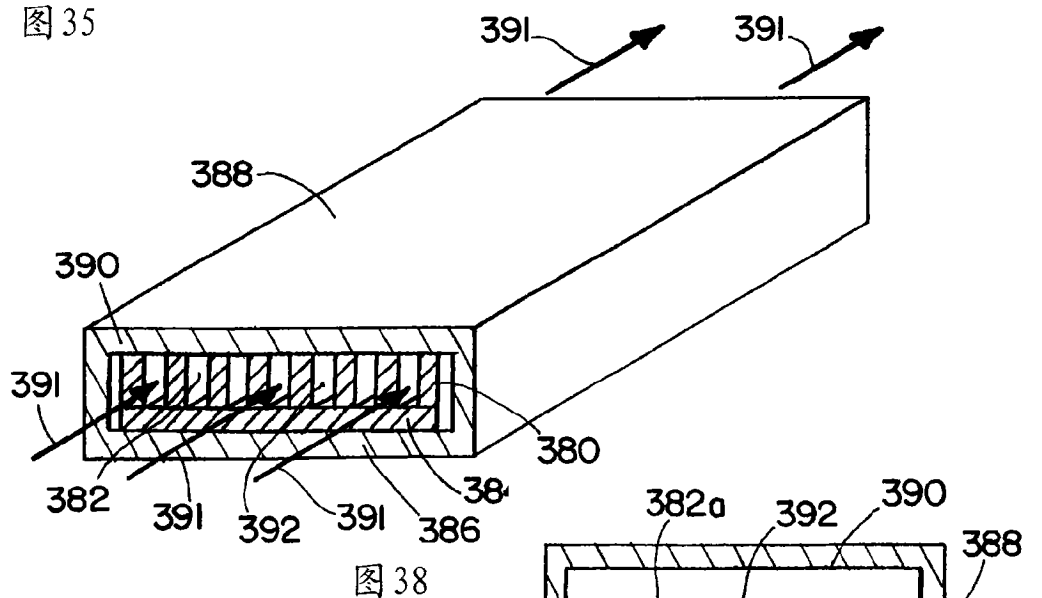
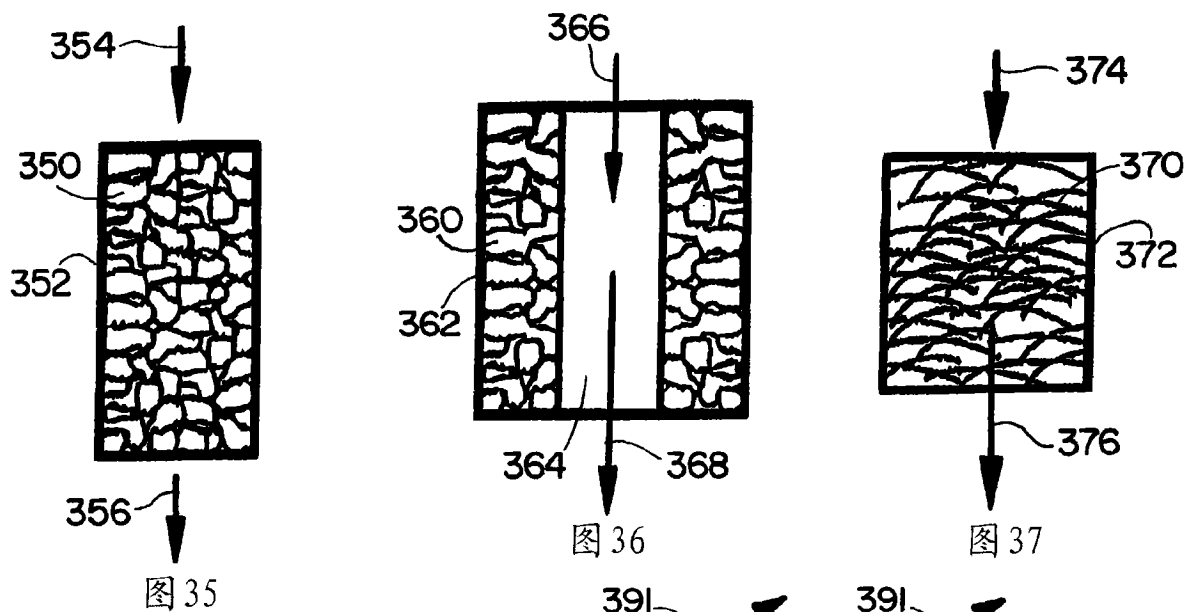
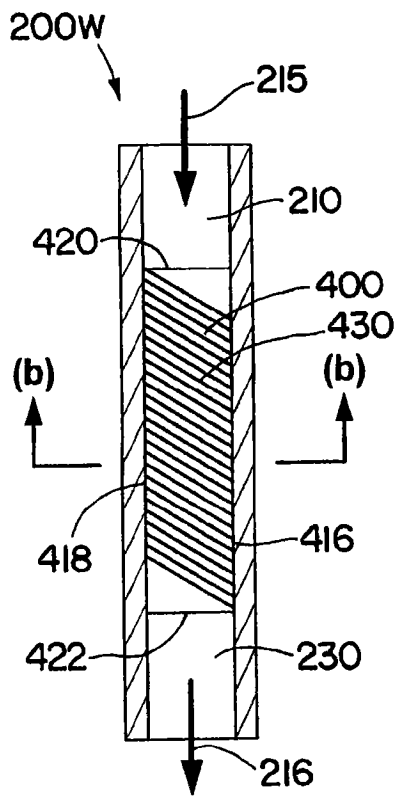
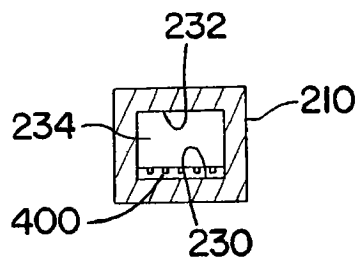


图 34



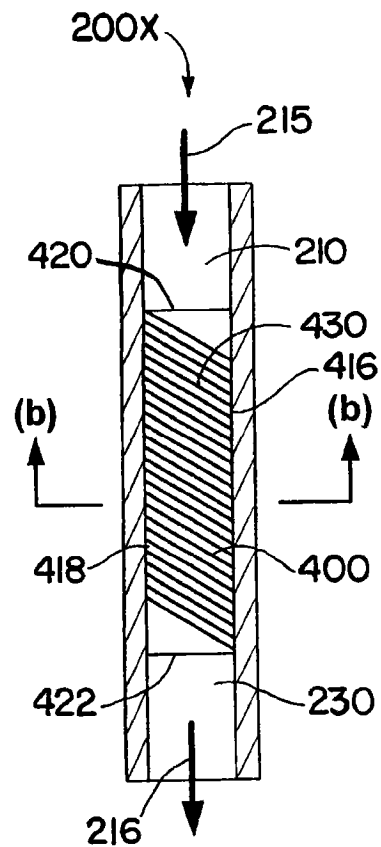


(a)

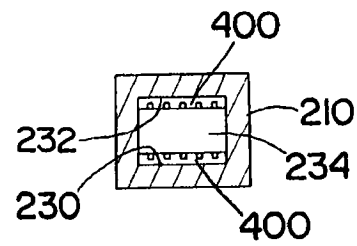


(b)

图 42



(a)



(b)

图 43

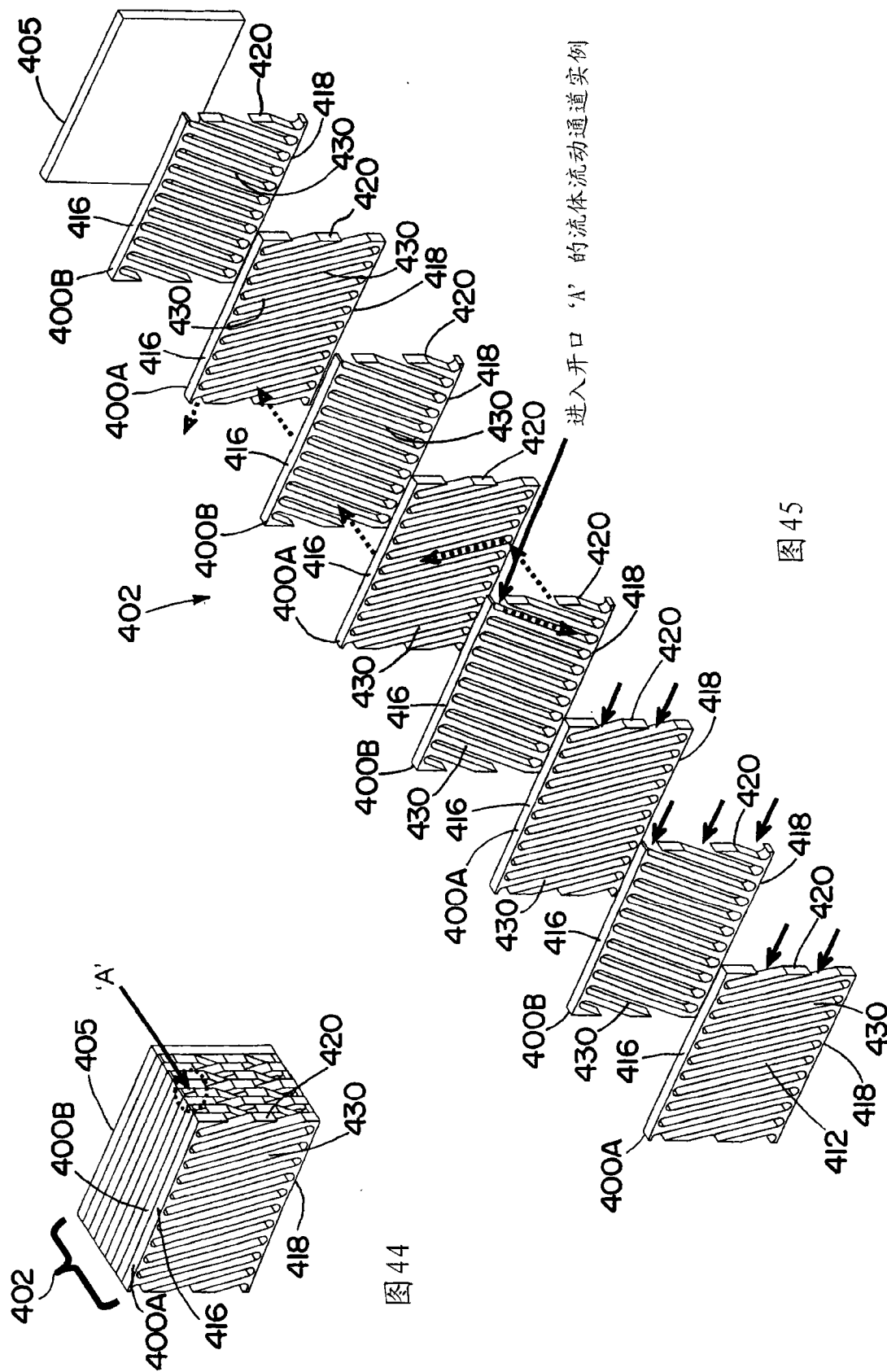


图 45

图 44

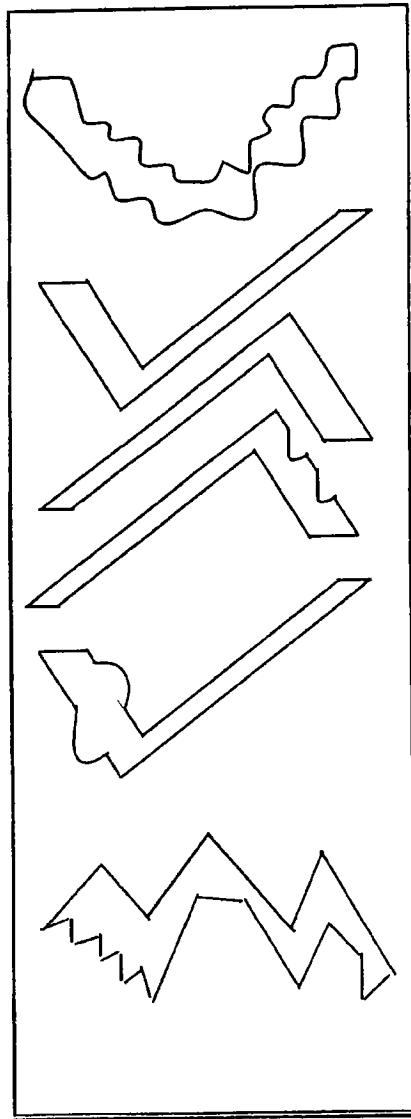


图 46

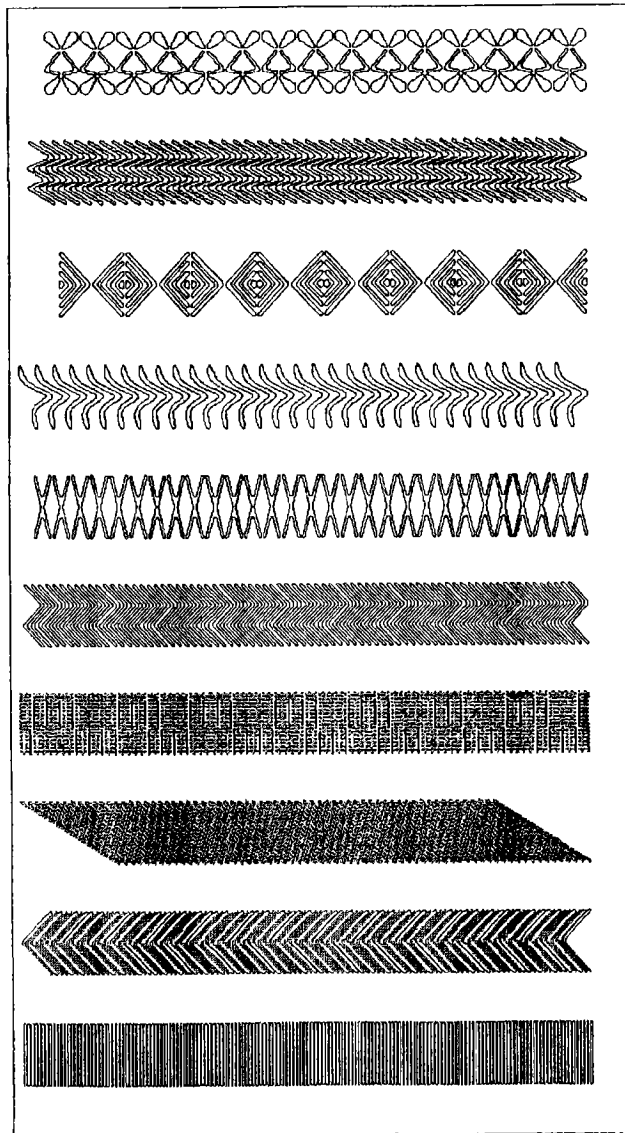


图47

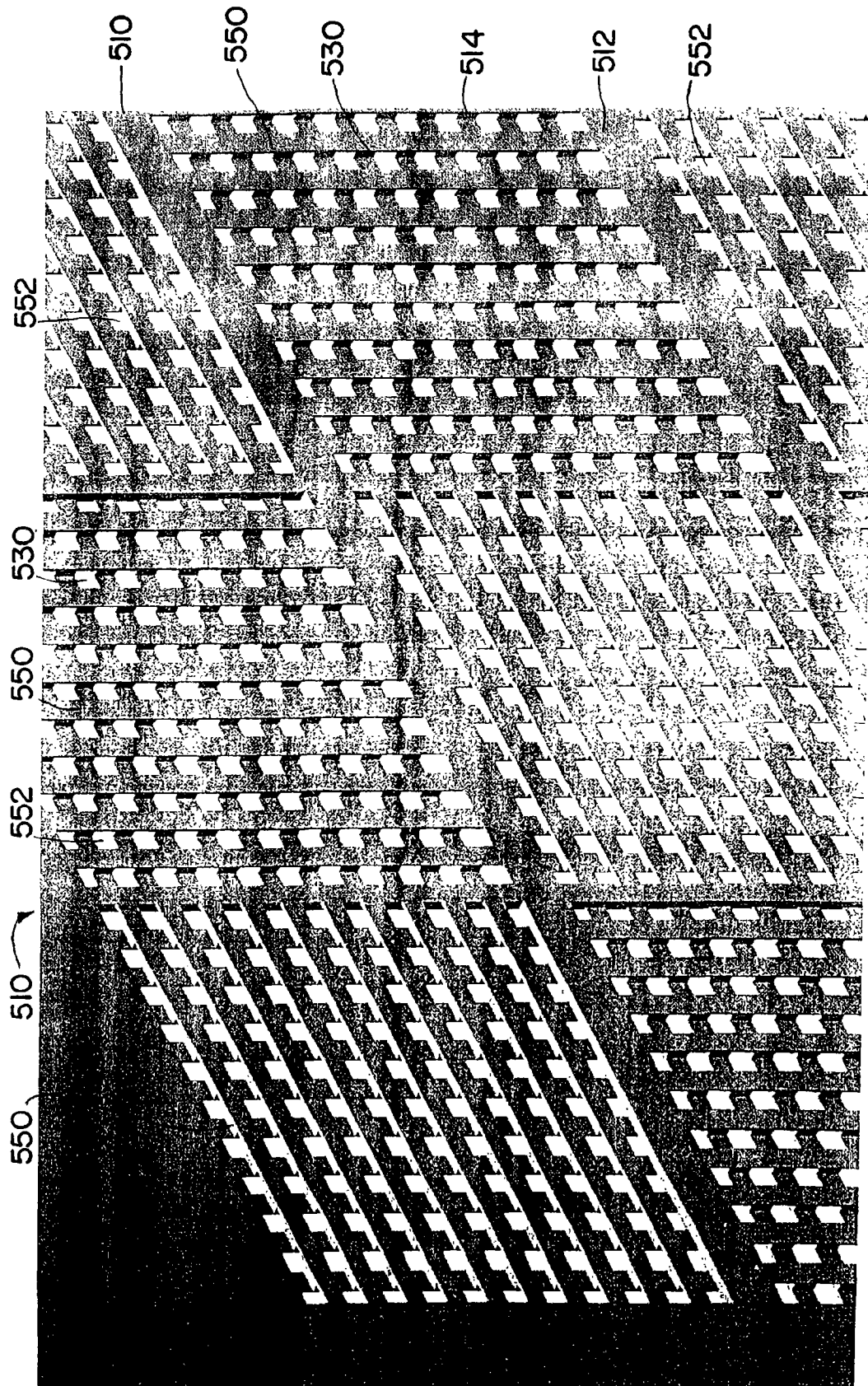


图 48

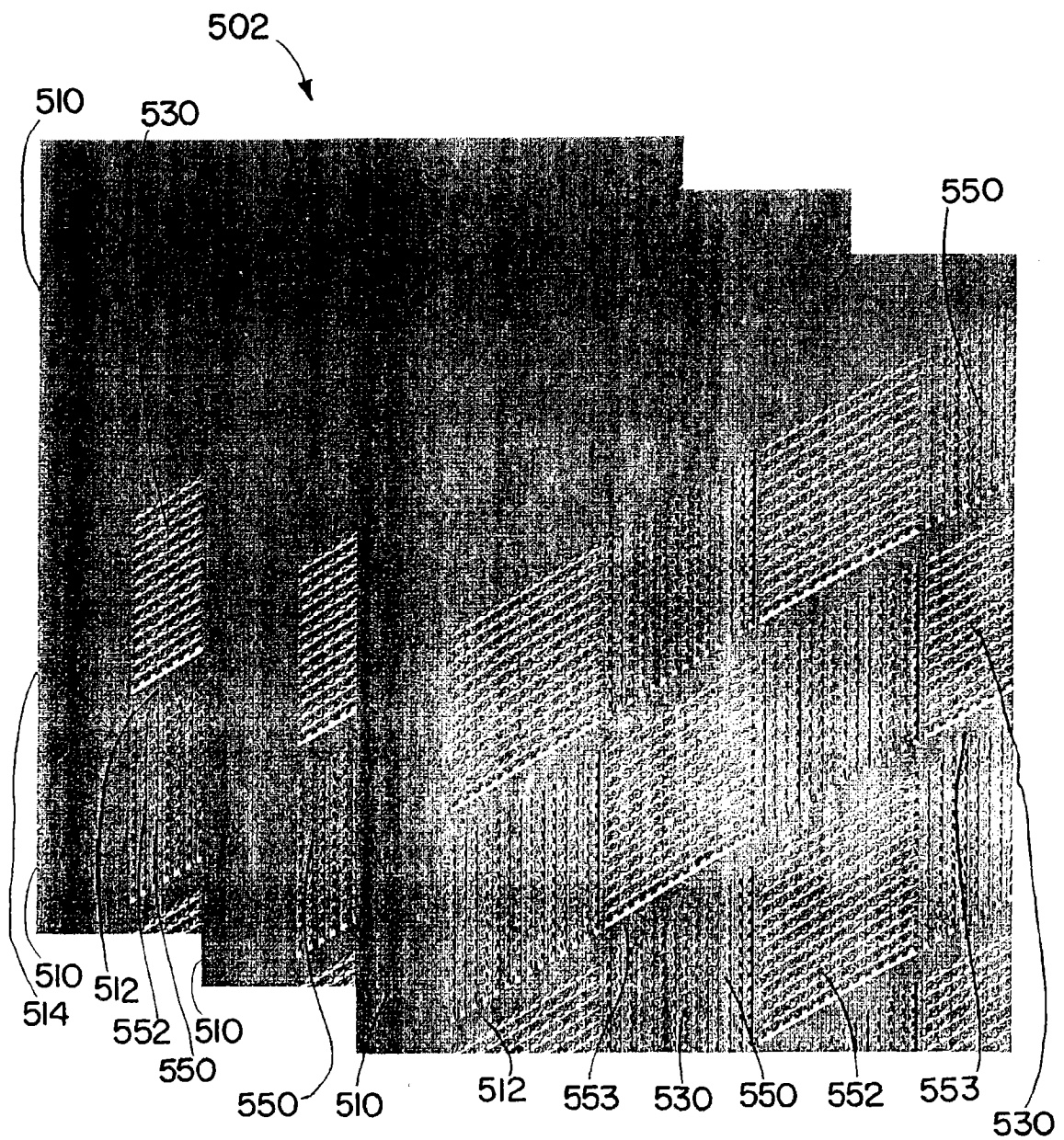
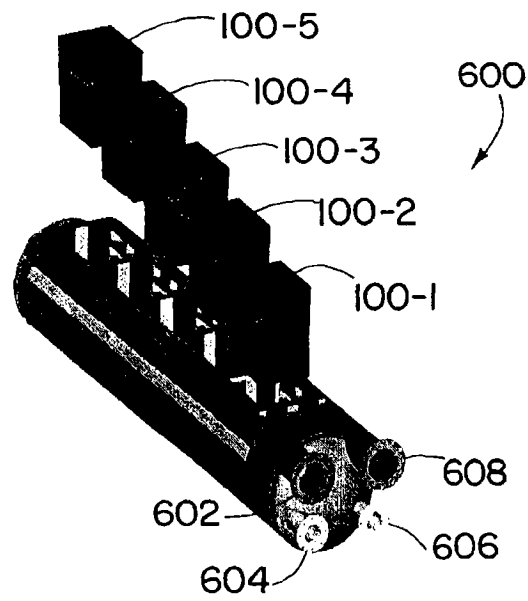
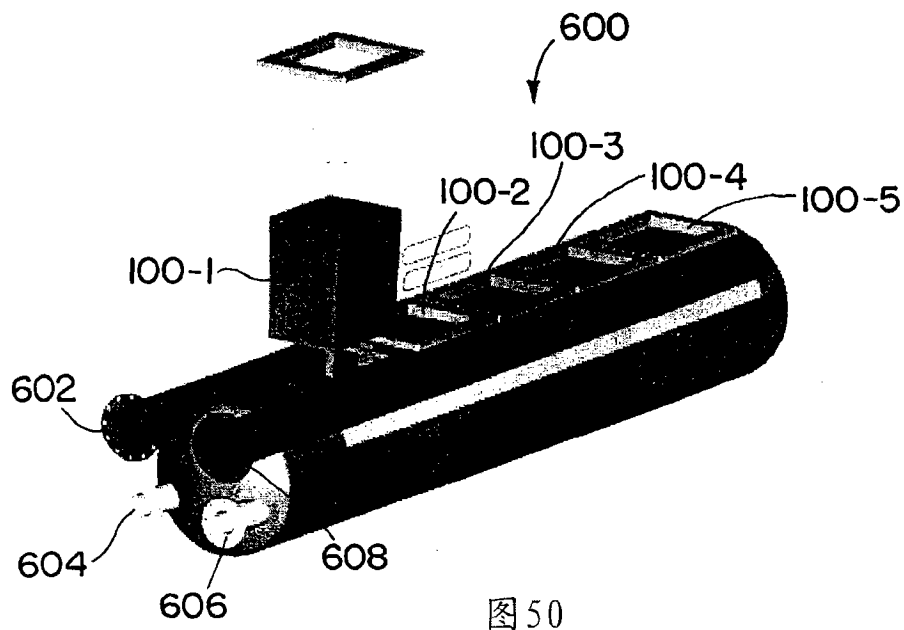


图 49



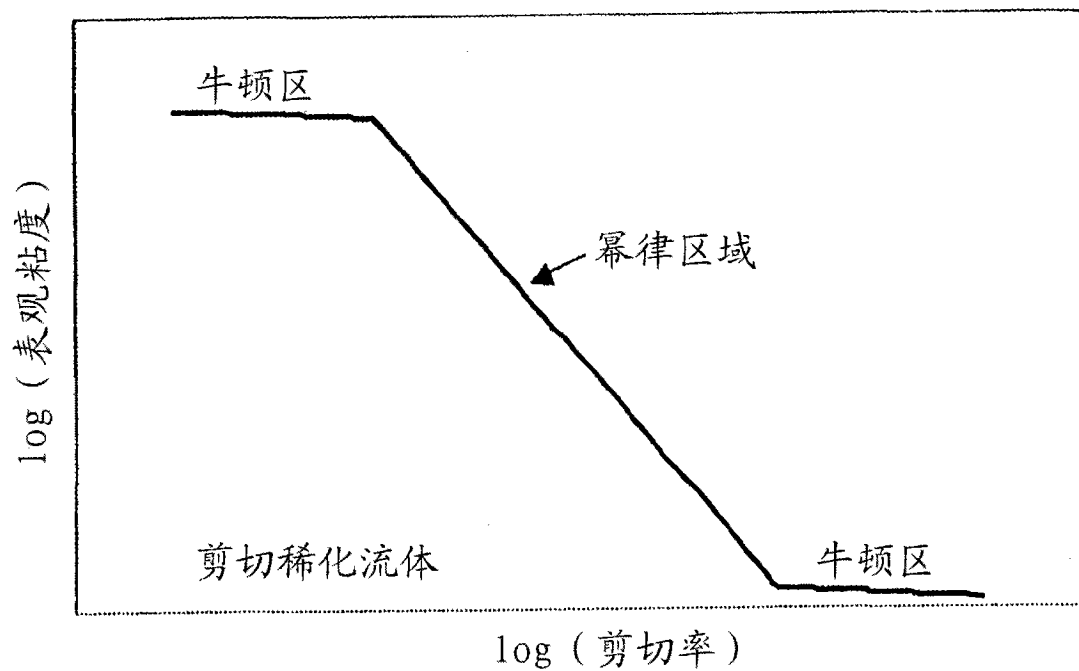


图 52

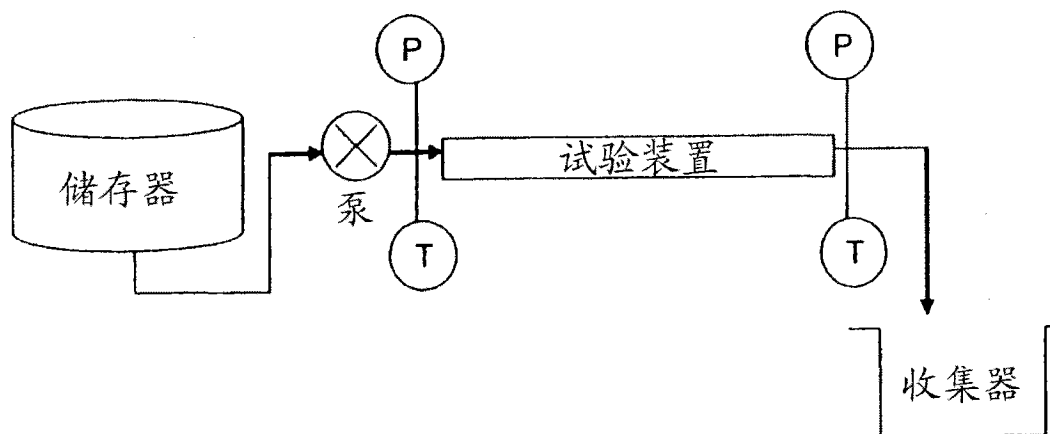
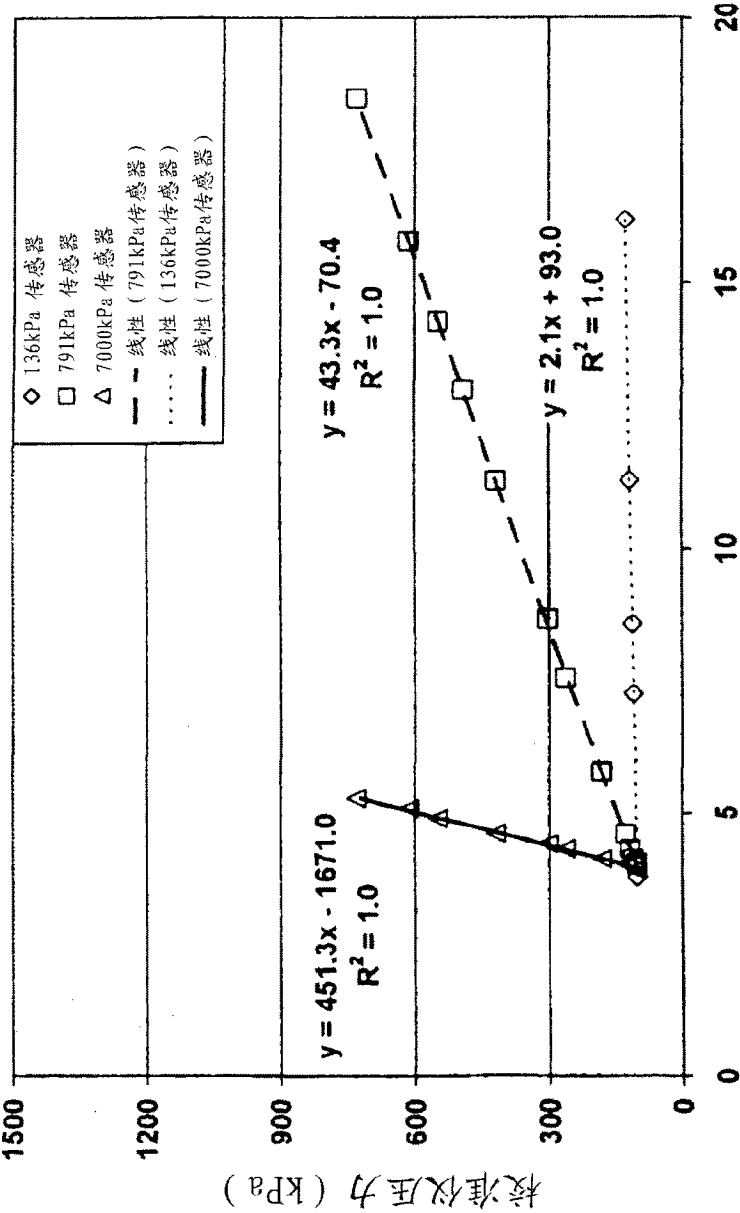


图 53



压力传感器输出电流 (mA)

图 54

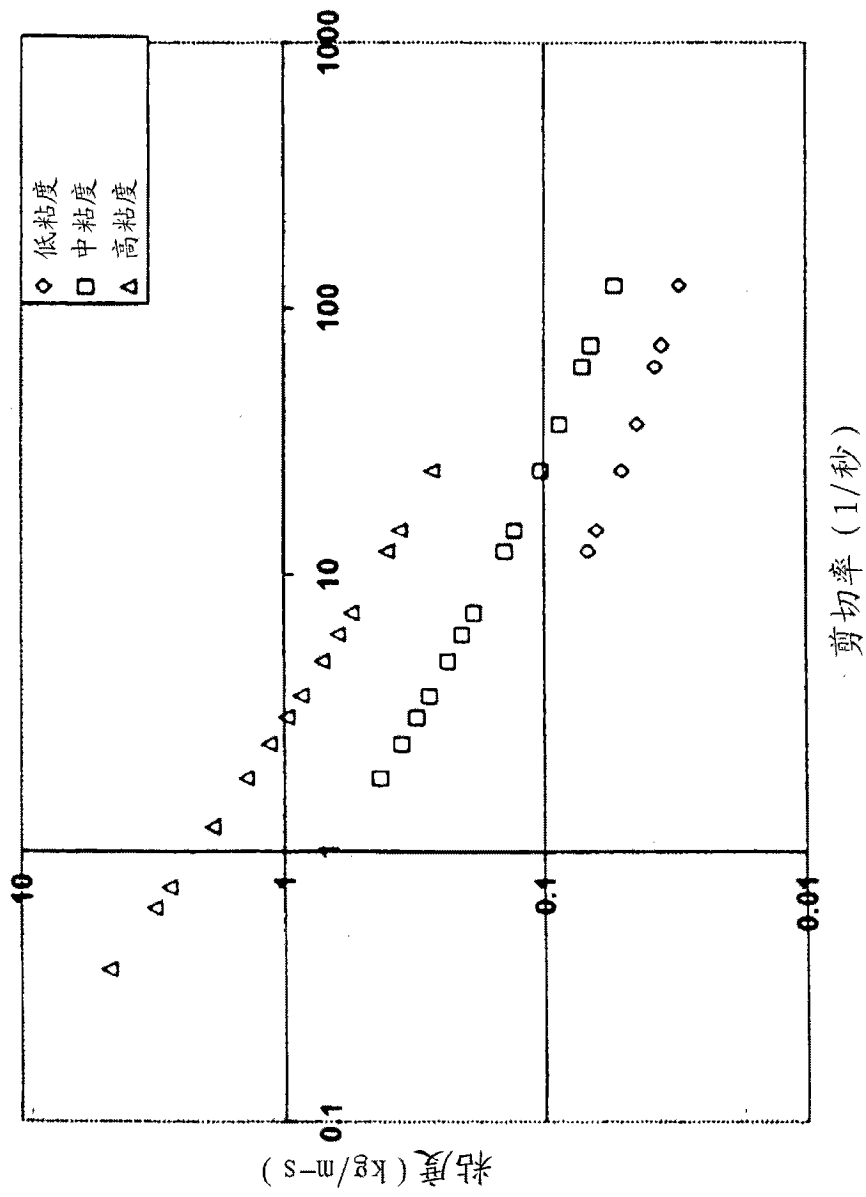


图55

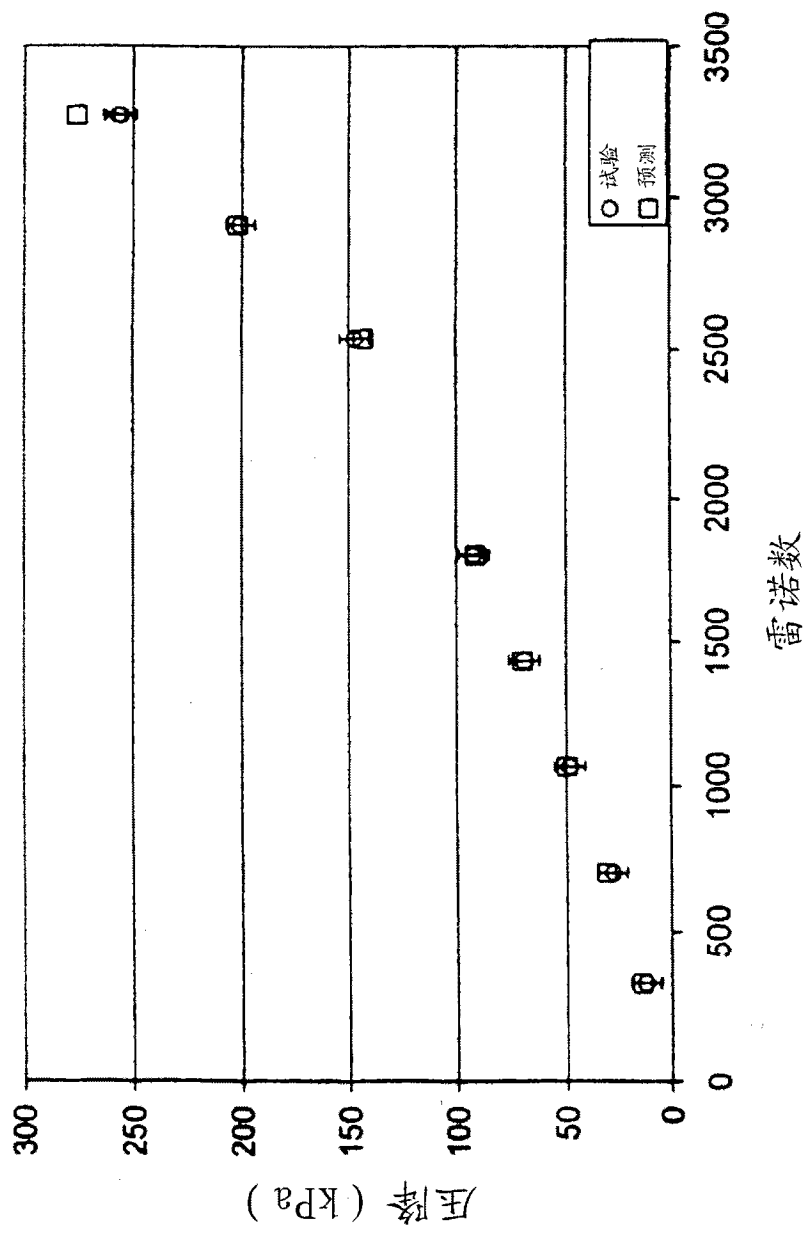


图 56

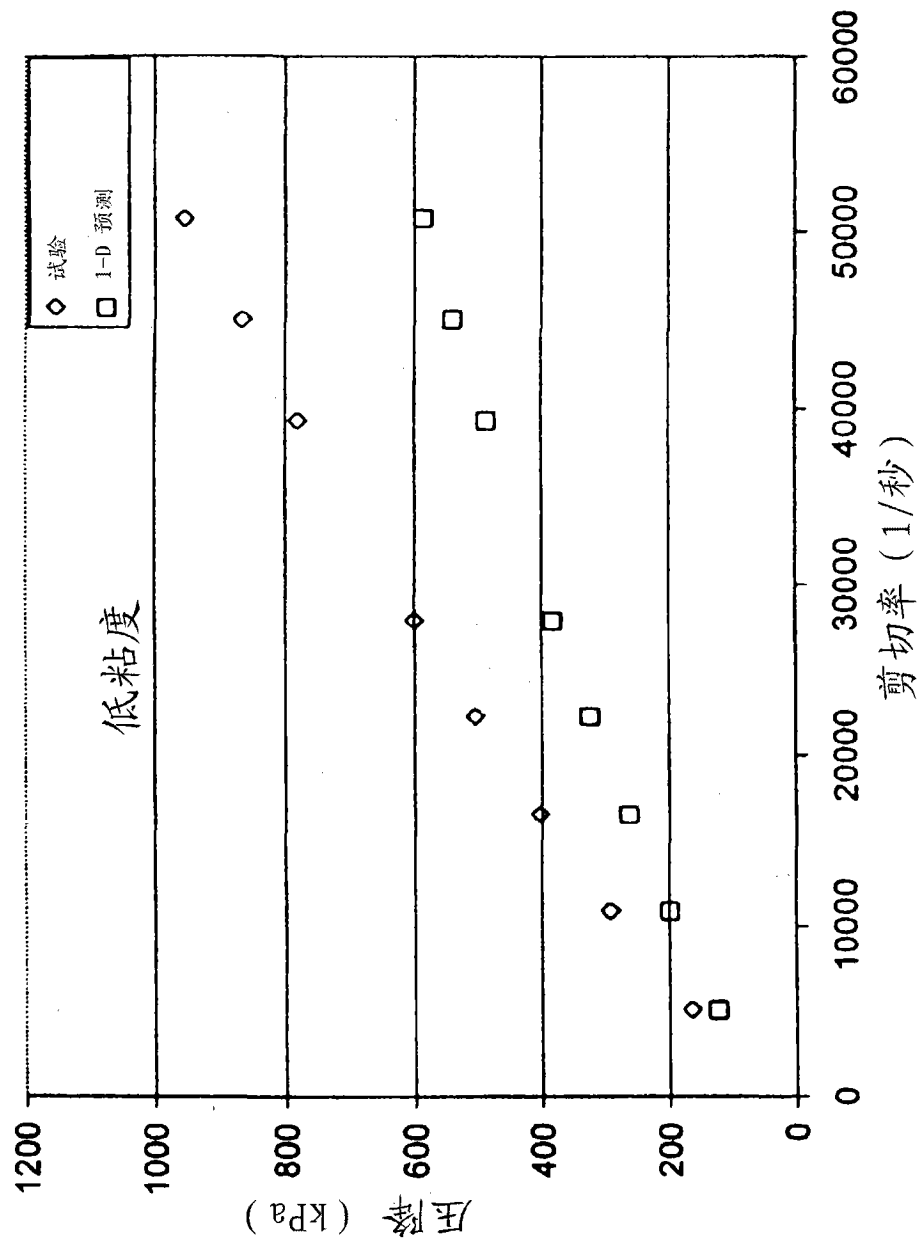


图 57

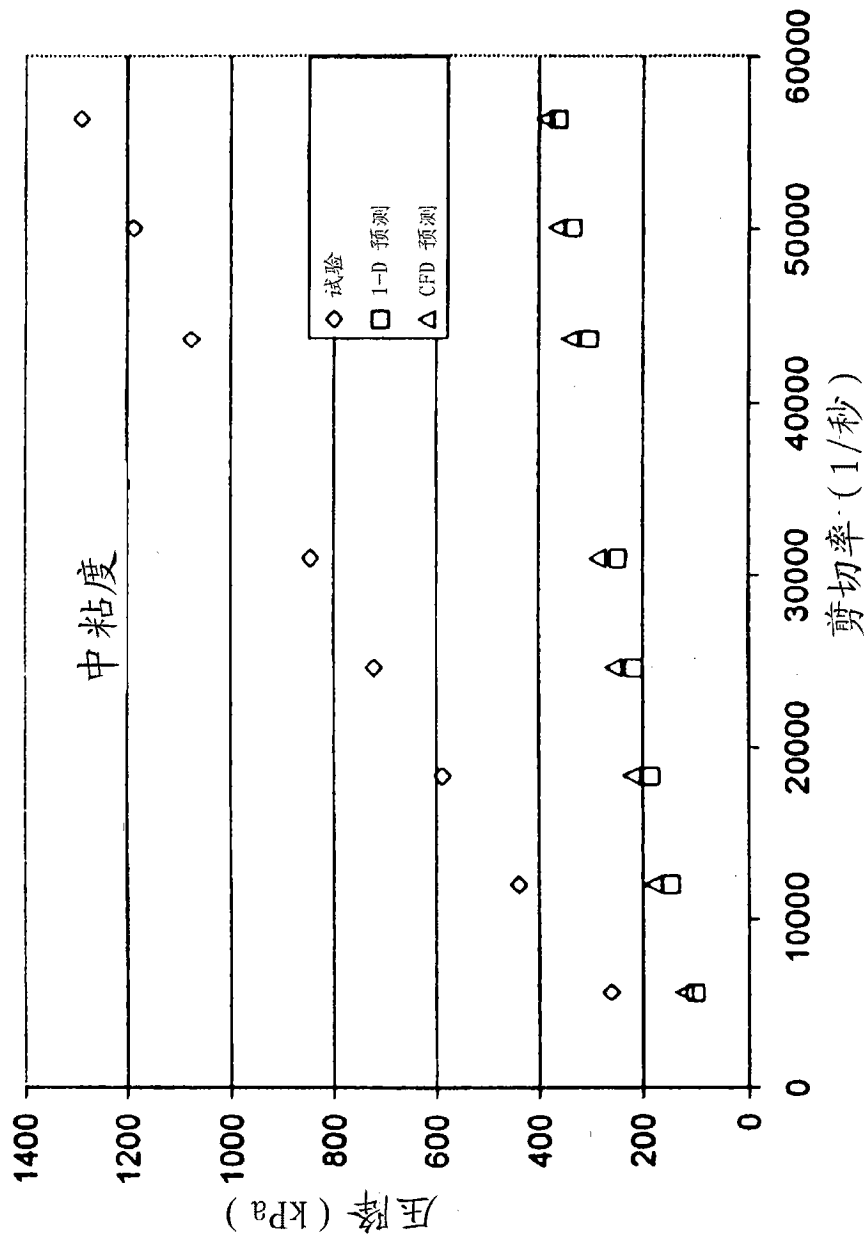


图 58

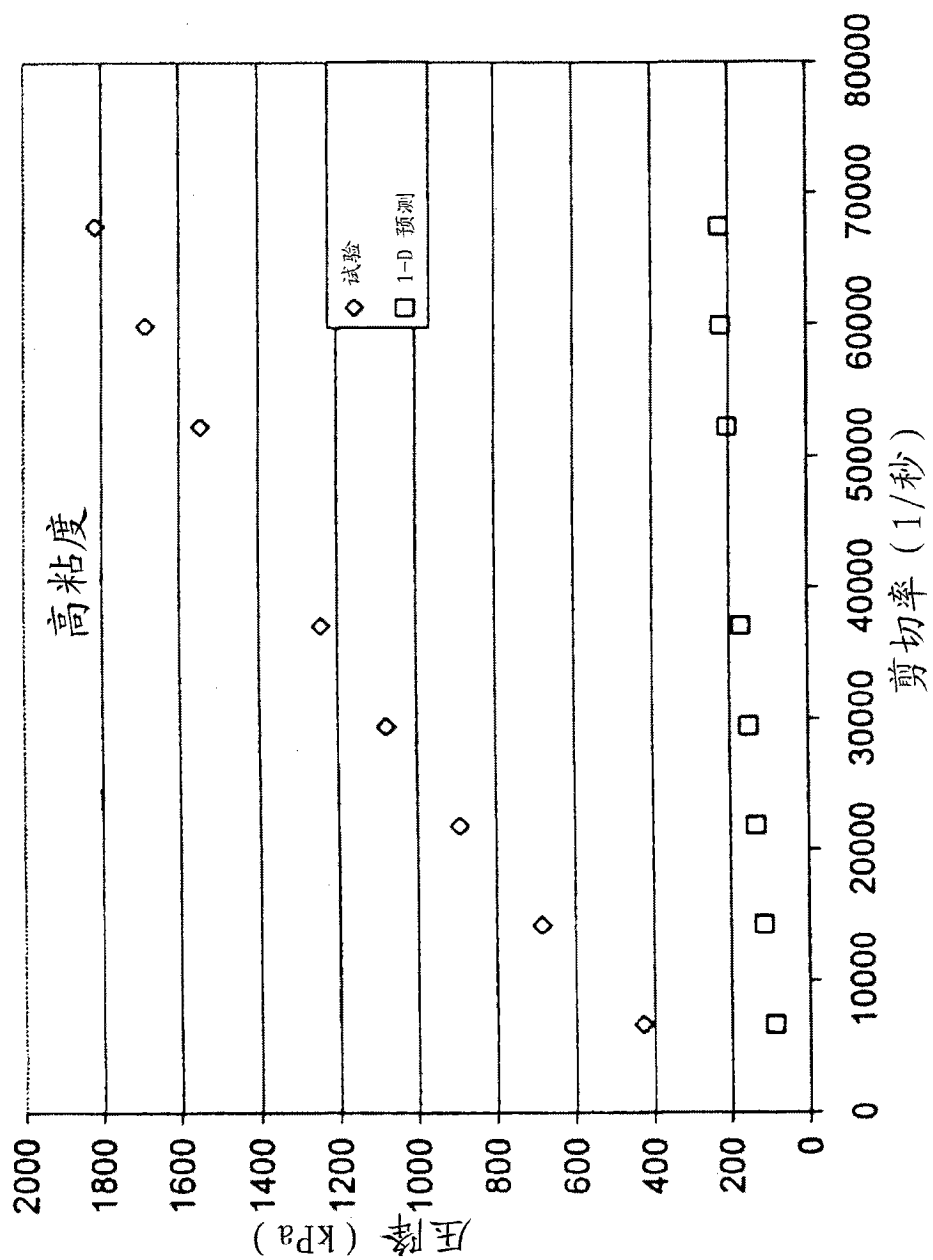


图 59

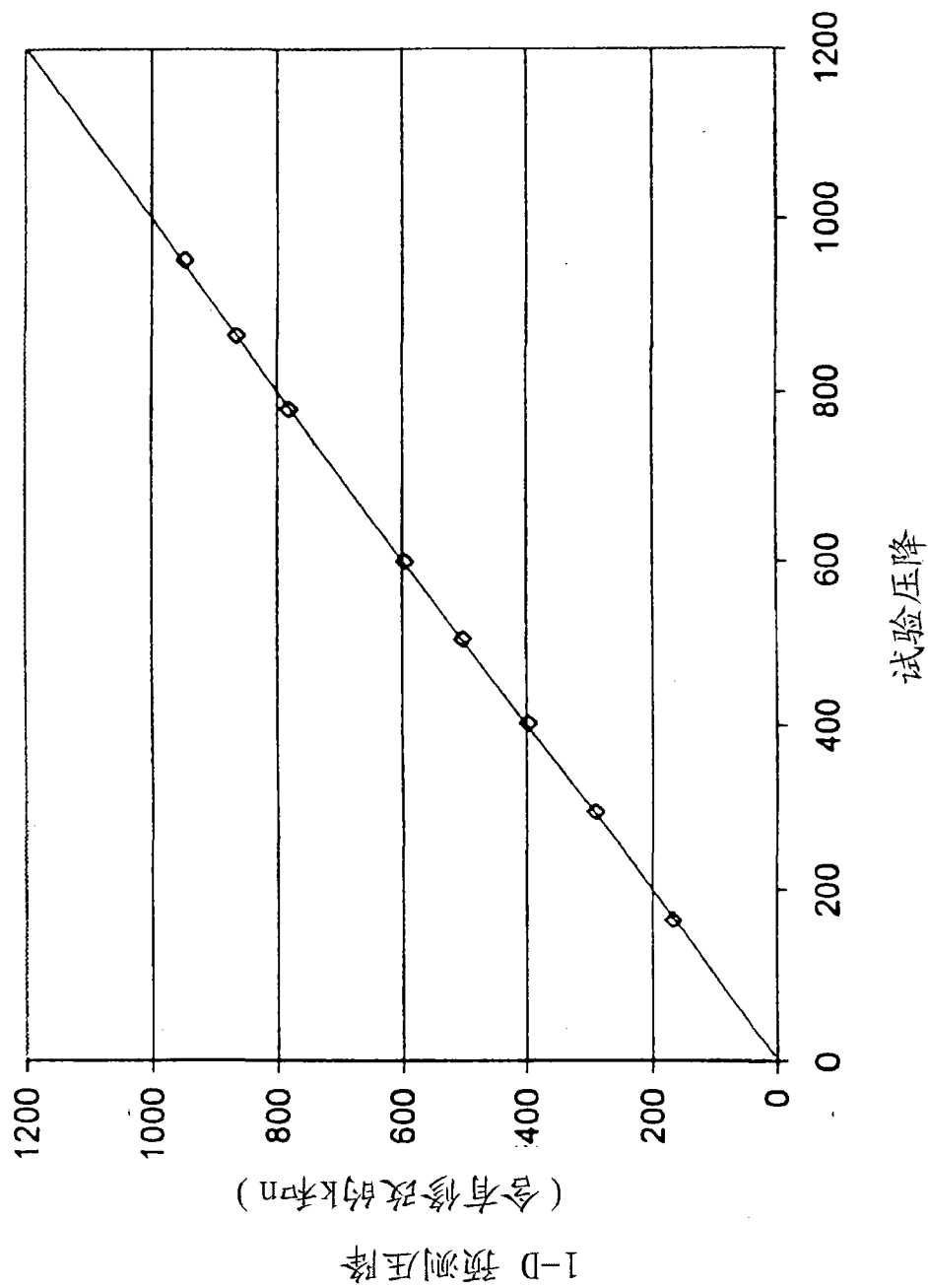


图 60

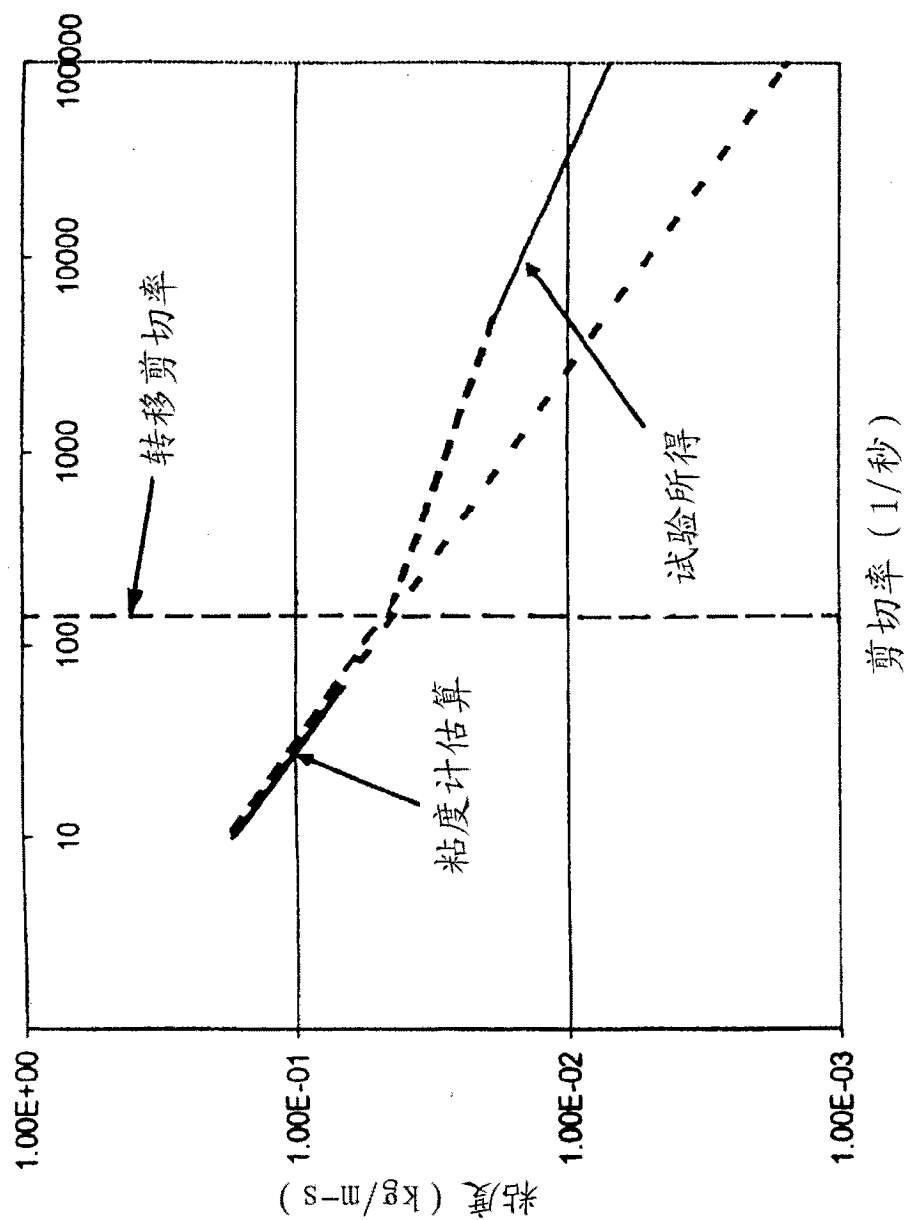


图61

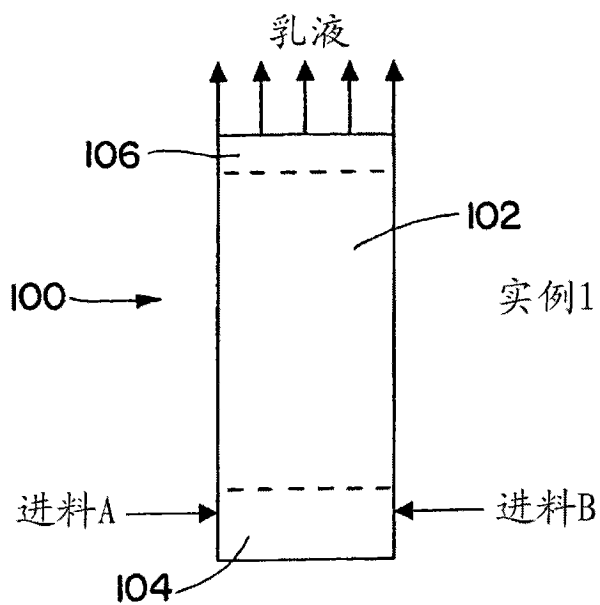


图 62

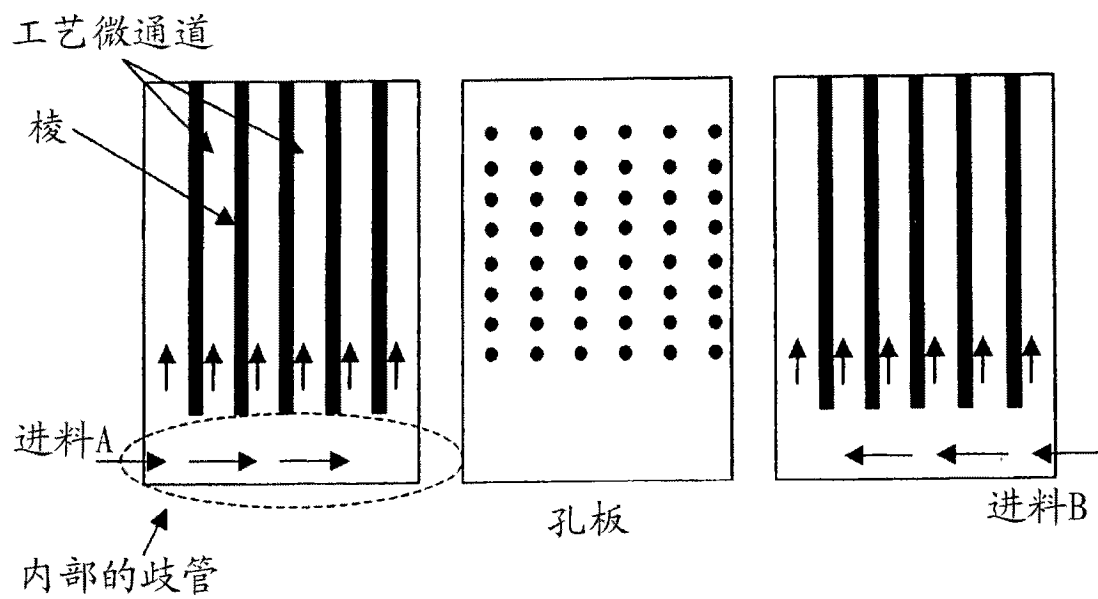


图 63

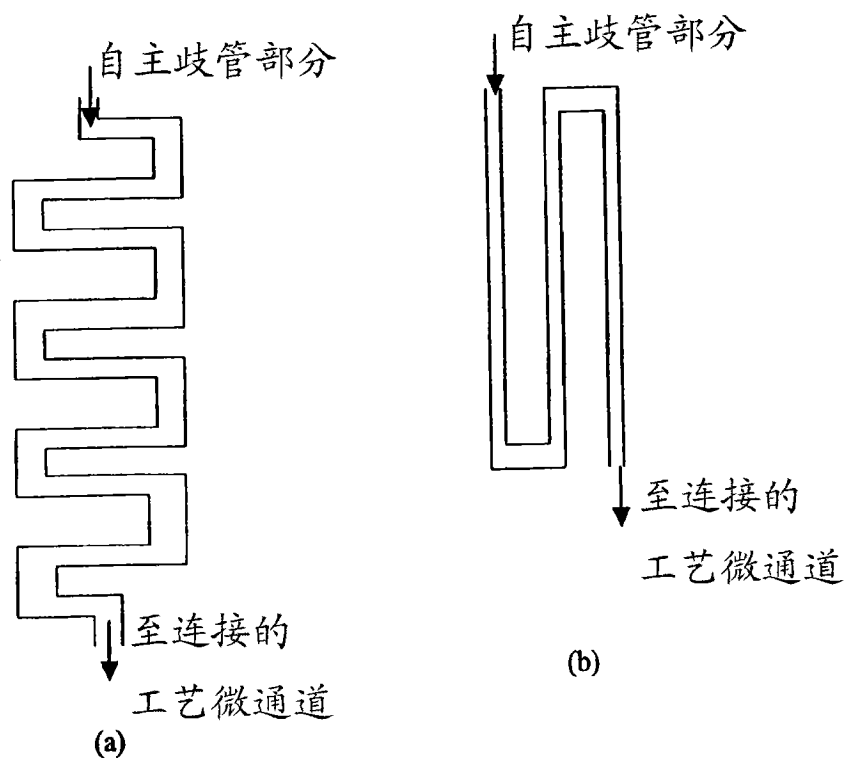


图 64

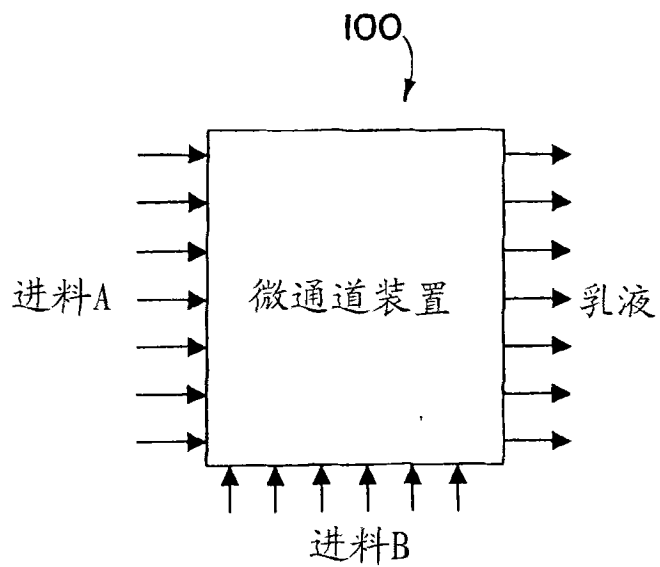


图 65

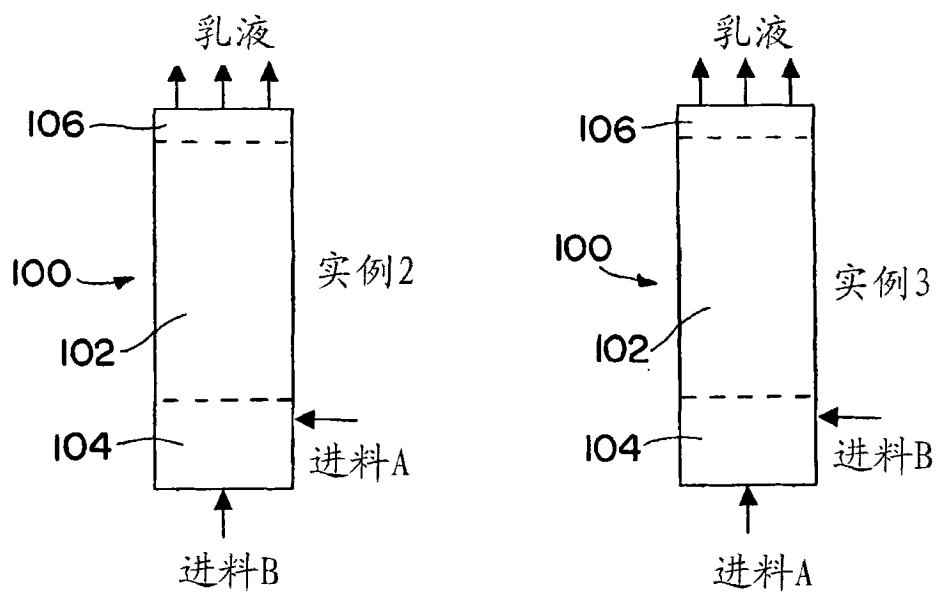


图 66

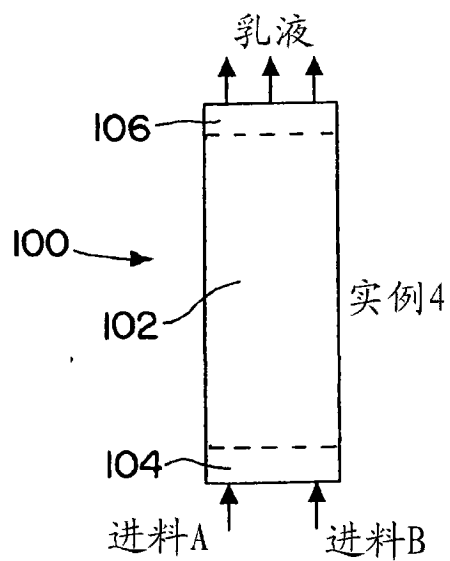


图 67

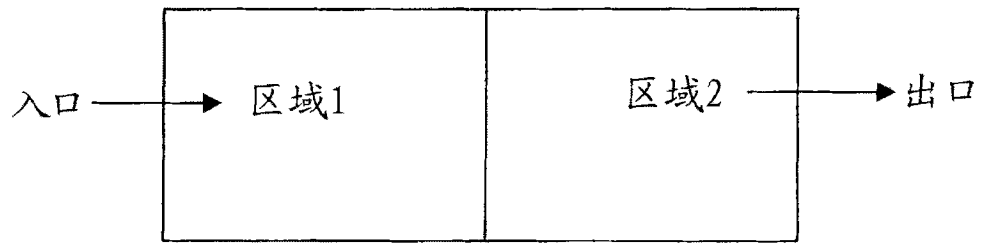


图 68

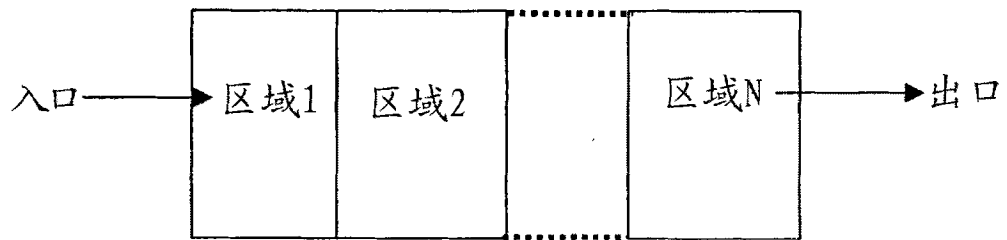


图 69