



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101945767 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 30

(21) 申请号 200880127254. 2

(22) 申请日 2008. 12. 23

(30) 优先权数据

61/016, 480 2007. 12. 23 US

61/016, 618 2007. 12. 26 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 08. 20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/088205 2008. 12. 23

(87) PCT申请的公布数据

W02009/086403 EN 2009. 07. 09

(73) 专利权人 先进液体逻辑公司

地址 美国北卡罗来那州

(72) 发明人 维杰·斯里尼瓦桑 迈克尔·波拉克

万希·帕穆拉 华智山

阿尔琼·苏达山 菲利普·派克

(74) 专利代理机构 北京德恒律师事务所 11306

代理人 陆鑫 熊须远

(51) Int. Cl.

B41J 2/06 (2006. 01)

B41J 29/38 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1496308 A, 2004. 05. 12, 全文.

CN 2735342 Y, 2005. 10. 19, 全文.

US 2005/0056569 A1, 2005. 03. 17, 全文.

US 2004/0211659 A1, 2004. 10. 28, 全文.

JP 特开 2006-125900 A, 2006. 05. 18, 全文.

S. K. CHO et al.. Creating, Transporting, Cutting, and Merging Liquid Droplets by Electrowetting-Based Actuation for Digital Microfluidic Circuits. 《Journal of microelectromechanical systems》. 2003, 第 12 卷 (第 1 期), 摘要, 正文第 I-IV 节、图 1-12.

审查员 张忠俊

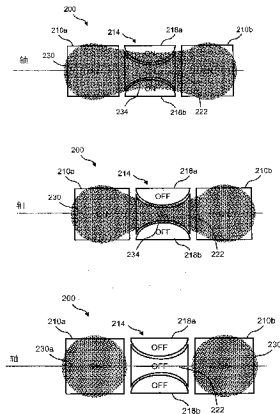
权利要求书12页 说明书26页 附图15页

(54) 发明名称

液滴致动器配置以及引导液滴操作的方法

(57) 摘要

一种具有与液滴操作表面相关联的液滴形成电极配置的液滴致动器,其中,电极配置包括被配置为在液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴体积的一个或多个电极。还提供了制造和使用液滴致动器的方法。



CN 101945767 B

1. 一种液滴致动器,包括与液滴操作表面相关联的液滴形成电极配置,其中,电极配置包括一个或多个电极,所述一个或多个电极被配置为在所述液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴的边缘的位置;在形成液滴期间控制的液滴的边缘包括所述液滴的颈缩区域的边缘;

其中,(a) 所述电极配置包括:

(i) 中间电极配置,包括:

(1) 一个或多个内部电极;和

(2) 两个或更多个外部电极,相对于所述内部电极横向布置;以及

(ii) 在所述中间电极配置侧面的电极;以及

(b) 所述中间电极配置和在所述中间电极配置侧面的电极被布置,使得在存在液滴的情况下所述中间电极配置和在所述中间电极配置侧面的电极的激活使得液滴横跨所述液滴形成电极配置而伸长。

2. 根据权利要求 1 所述的液滴致动器,其中,所述控制通过控制施加到电极配置的电压来执行。

3. 根据权利要求 1 所述的液滴致动器,其中,在存在伸长液滴的情况下施加到所述两个或更多个外部电极上的电压的减小开始所述伸长液滴的颈缩。

4. 根据权利要求 3 所述的液滴致动器,其中,在施加到所述两个或更多个外部电极上的电压减小之后施加到所述一个或多个内部电极的电压的减小断开所述伸长液滴,形成一个或多个子液滴。

5. 根据权利要求 1 所述的液滴致动器,其中,在存在伸长液滴的情况下所述两个或更多个外部电极的去激活开始所述伸长液滴的颈缩。

6. 根据权利要求 3 所述的液滴致动器,其中,在所有外部电极的去激活之后所述一个或多个内部电极的去激活断开所述伸长液滴,形成一个或多个子液滴。

7. 根据权利要求 1 所述的液滴致动器,其中,相对于内部电极横向布置的所述两个或更多个外部电极被电耦合并用作单个电极。

8. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的液滴致动器,包括:与所述液滴形成电极配置相邻的储存电极。

9. 根据权利要求 2 所述的液滴致动器,包括:与所述液滴形成电极配置相邻的储存电极。

10. 根据权利要求 1 至 7、9 中任一项所述的液滴致动器,包括:与所述液滴形成电极配置相邻的液滴操作电极。

11. 根据权利要求 2 所述的液滴致动器,包括:与所述液滴形成电极配置相邻的液滴操作电极。

12. 根据权利要求 8 所述的液滴致动器,包括:与所述液滴形成电极配置相邻的液滴操作电极。

13. 根据权利要求 1 至 7、9、11 至 12 中任一项所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

14. 根据权利要求 2 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

15. 根据权利要求 8 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

16. 根据权利要求 10 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

17. 根据权利要求 1 至 7、9、11 至 12、14 至 16 中任一项所述的液滴致动器,其中:

- (a) 所述电极配置被插入到电极路径中;
- (b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置;
- (c) 所述电极配置包括:
  - (i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极;以及
  - (ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

18. 根据权利要求 2 所述的液滴致动器,其中:

- (a) 所述电极配置被插入到电极路径中;
- (b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置;
- (c) 所述电极配置包括:
  - (i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极;以及
  - (ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

19. 根据权利要求 8 所述的液滴致动器,其中:

- (a) 所述电极配置被插入到电极路径中;
- (b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置;
- (c) 所述电极配置包括:
  - (i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极;以及
  - (ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

20. 根据权利要求 10 所述的液滴致动器,其中:

- (a) 所述电极配置被插入到电极路径中;
- (b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置;
- (c) 所述电极配置包括:
  - (i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极;以及
  - (ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

21. 根据权利要求 13 所述的液滴致动器,其中:

- (a) 所述电极配置被插入到电极路径中;
- (b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置;
- (c) 所述电极配置包括:
  - (i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极;以及
  - (ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

22. 根据权利要求 17 所述的液滴致动器,进一步包括:在第一组颈缩电极侧面的第二组颈缩电极。

23. 根据权利要求 18 至 20 中任一项所述的液滴致动器,进一步包括:在第一组颈缩电极侧面的第二组颈缩电极。

24. 根据权利要求 17 所述的液滴致动器,其中,所述颈缩电极具有远离所述轴凸出的

形状。

25. 根据权利要求 18 至 20 中任一项所述的液滴致动器,其中,所述颈缩电极具有远离所述轴凸出的形状。

26. 根据权利要求 17 所述的液滴致动器,其中,所述颈缩电极包括相对于所述中心电极沿基本平行的方向定向的电极棒。

27. 根据权利要求 18 至 20 中任一项所述的液滴致动器,其中,所述颈缩电极包括相对于所述中心电极沿基本平行的方向定向的电极棒。

28. 根据权利要求 18 至 22、24、26 中任一项所述的液滴致动器,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。

29. 根据权利要求 17 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。

30. 根据权利要求 23 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。

31. 根据权利要求 25 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。

32. 根据权利要求 27 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。

33. 根据权利要求 1 至 7、9、11 至 12、14 至 16、18 至 22、24、26、29 至 32 中任一项所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

34. 根据权利要求 2 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

35. 根据权利要求 8 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

36. 根据权利要求 10 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

37. 根据权利要求 13 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

38. 根据权利要求 17 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

39. 根据权利要求 23 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

40. 根据权利要求 25 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

41. 根据权利要求 27 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

42. 根据权利要求 28 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

43. 根据权利要求 1 所述的液滴致动器,其中,所述电极配置包括产生在子液滴形成期间控制所述液滴的边缘位置的电场梯度的电极。

44. 根据权利要求 43 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极在子液滴形成期间控制所述液滴的颈缩区域的边缘。

45. 根据权利要求 44 所述的液滴致动器,其中,所述电极产生:

- (a) 处于导致液滴颈缩的第一电压的电场梯度;以及
- (b) 处于导致液滴分离的第二电压的电场梯度。

46. 根据权利要求 44 所述的液滴致动器,其中,所述电极产生:

- (a) 处于导致液滴拉伸的第一电压的电场梯度;
- (b) 处于导致液滴颈缩的第二电压的电场梯度;以及
- (c) 处于导致液滴分离的第三电压的电场梯度。

47. 根据权利要求 43 至 46 中任一项所述的液滴致动器,其中,通过电极顶部的组成来建立所述场梯度。

48. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,所述组成包括介电组成。

49. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,所述组成包括图案化的材料,所述图案化的材料包括具有不同厚度的区域。

50. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,所述组成包括图案化的材料,所述图案化的材料包括具有不同相对静态电容率或介电常数的区域。

51. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,所述组成包括两种或更多种图案化的材料,每一种图案化的材料都具有不同的相对静态电容率或介电常数。

52. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,所述组成包括:

- (a) 具有第一介电常数的介电材料;以及
- (b) 具有与所述第一介电常数不同的第二介电常数的介电材料。

53. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,所述组成包括:以图案化的方式掺杂的介电材料,一种或多种物质改变所述介电材料的介电常数。

54. 根据权利要求 43 至 46、48 至 53 中任一项所述的液滴致动器,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极的形状的装置来建立所述场梯度。

55. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极的形状的装置来建立所述场梯度。

56. 根据权利要求 43 至 46、48 至 53、55 中任一项所述的液滴致动器,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。

57. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。

58. 根据权利要求 54 所述的液滴致动器,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。

59. 根据权利要求 43 至 46、48 至 53、55、57 至 58 中任一项所述的液滴致动器,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。

60. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。

61. 根据权利要求 54 所述的液滴致动器,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动

器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。

62. 根据权利要求 56 所述的液滴致动器,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。

63. 根据权利要求 43 至 46、48 至 53、55、57 至 58、60 至 62 中任一项所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

64. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

65. 根据权利要求 54 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

66. 根据权利要求 56 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

67. 根据权利要求 59 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

68. 根据权利要求 63 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同的导电材料。

69. 根据权利要求 64 至 67 中任一项所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同的导电材料。

70. 根据权利要求 43 至 46、48 至 53、55、57 至 58、60 至 62、64 至 66 中任一项所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

71. 根据权利要求 47 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

72. 根据权利要求 54 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

73. 根据权利要求 56 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

74. 根据权利要求 59 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

75. 根据权利要求 63 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

76. 根据权利要求 67 所述的液滴致动器,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

77. 一种液滴操作系统,包括根据前述权利要求中任一项所述的液滴致动器以及被编程以控制提供给被配置为在子液滴形成期间控制液滴的边缘位置的一个或多个电极的电压的处理器。

78. 根据权利要求 77 所述的液滴操作系统,还包括:用于在子液滴形成期间监控所述液滴的边缘的传感器。

79. 根据权利要求 78 所述的液滴操作系统,其中,所述处理器进一步被配置为调整被配置为在子液滴形成期间控制所述液滴的边缘位置的一个或多个电极的电压。

80. 根据权利要求 77 所述的液滴操作系统,还包括:用于监控与子液滴的体积相关联的参数的传感器。

81. 根据权利要求 80 所述的液滴操作系统,其中,所述处理器进一步被配置为调整被配置为在子液滴形成期间控制所述液滴的边缘位置的一个或多个电极的电压。

82. 根据权利要求 78 至 81 中任一项所述的液滴操作系统,其中,所述传感器被选择,以检测所述液滴的一个或多个电特性、化学特性和 / 或物理特性。

83. 根据权利要求 78 至 81 中任一项所述的液滴操作系统,其中,所述传感器包括被配置为产生所述液滴的图像的成像装置。

84. 根据权利要求 83 所述的液滴操作系统,其中,所述传感器包括被配置为产生所述液滴的图像的成像装置。

85. 一种在子液滴形成期间控制液滴的边缘位置的方法,所述方法包括:

(a) 提供包括与液滴操作表面相关联的液滴形成电极配置的液滴致动器,其中,所述电极配置包括一个或多个电极,所述一个或多个电极被配置为在所述液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴的边缘的位置;以及

(b) 在使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘时,形成所述子液滴;

所述方法进一步包括:在形成子液滴时控制所述液滴的颈缩区域的边缘,其中 (a) 所述电极配置包括:

(i) 中间电极配置,包括:

(1) 一个或多个内部电极;和

(2) 两个或更多个外部电极,相对于所述内部电极横向布置;以及

(ii) 在所述中间电极配置侧面的电极;以及

(b) 所述中间电极配置和在所述中间电极配置侧面的电极被布置,使得在存在液滴的情况下所述中间电极配置和在所述中间电极配置侧面的电极的激活使得液滴横跨所述液滴形成电极配置伸长。

86. 根据权利要求 85 所述的方法,包括:在形成子液滴时控制所述子液滴的体积。

87. 根据权利要求 85 所述的方法,其中,形成所述子液滴包括将电压施加到所述电极配置。

88. 根据权利要求 85 所述的方法,其中,在存在伸长液滴的情况下施加到所述两个或更多个外部电极上的电压的减小开始所述伸长液滴的颈缩。

89. 根据权利要求 88 所述的方法,其中,在施加到所述两个或更多个外部电极上的电压的减小之后施加到所述一个或多个内部电极的电压的减小断开所述伸长液滴,形成一个或多个子液滴。

90. 根据权利要求 85 所述的方法,其中,在存在所述伸长液滴的情况下所述两个或更多个外部电极的去激活开始所述伸长液滴的颈缩。

91. 根据权利要求 90 所述的方法,其中,在所有外部电极的去激活之后所述一个或更多个内部电极的去激活断开所述伸长液滴,形成一个或多个子液滴。

92. 根据权利要求 85 所述的方法,其中,相对于内部电极横向布置的所述两个或多个外部电极被电耦合并用作单个电极。

93. 根据权利要求 85 至 92 中任一项所述的方法,其中:

(a) 所述电极配置包括与所述液滴形成电极配置相邻的储存电极 ; 以及

(b) 形成所述子液滴包括从较大体积的液滴中分配较小体积的液滴。

94. 根据权利要求 85 至 92 中任一项所述的方法, 包括与所述液滴形成电极配置相邻的液滴操作电极。

95. 根据权利要求 93 所述的方法, 包括与所述液滴形成电极配置相邻的液滴操作电极。

96. 根据权利要求 85 至 92、95 中任一项所述的方法, 其中, 所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

97. 根据权利要求 93 所述的方法, 其中, 所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

98. 根据权利要求 94 所述的方法, 其中, 所述电极配置包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

99. 根据权利要求 85 至 92、95、97 至 98 中任一项所述的方法, 其中 :

(a) 所述电极配置介于电极路径中 ;

(b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置 ;

(c) 所述电极配置包括 :

(i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极 ; 以及

(ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

100. 根据权利要求 93 所述的方法, 其中 :

(a) 所述电极配置介于电极路径中 ;

(b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置 ;

(c) 所述电极配置包括 :

(i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极 ; 以及

(ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

101. 根据权利要求 94 所述的方法, 其中 :

(a) 所述电极配置介于电极路径中 ;

(b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置 ;

(c) 所述电极配置包括 :

(i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极 ; 以及

(ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

102. 根据权利要求 96 所述的方法, 其中 :

(a) 所述电极配置介于电极路径中 ;

(b) 所述电极配置和所述电极路径沿公共轴布置 ;

(c) 所述电极配置包括 :

(i) 围绕所述公共轴对称布置的中心电极 ; 以及

(ii) 在所述中心电极侧面的颈缩电极。

103. 根据权利要求 99 所述的方法, 还包括在第一组颈缩电极侧面的第二组颈缩电极。

104. 根据权利要求 100 至 102 中任一项所述的方法, 还包括在第一组颈缩电极侧面的第二组颈缩电极。

105. 根据权利要求 99 所述的方法,其中,所述颈缩电极具有远离所述轴凸出的形状。
106. 根据权利要求 100 至 102 中任一项所述的方法,其中,所述颈缩电极具有远离所述轴凸出的形状。
107. 根据权利要求 99 所述的方法,其中,所述颈缩电极包括相对于所述中心电极沿基本平行的方向定向的电极棒。
108. 根据权利要求 100 至 102 中任一项所述的方法,其中,所述颈缩电极包括相对于所述中心电极沿基本平行的方向定向的电极棒。
109. 根据权利要求 99 所述的方法,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。
110. 根据权利要求 100 至 103、105、107 中任一项所述的方法,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。
111. 根据权利要求 104 所述的方法,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。
112. 根据权利要求 106 所述的方法,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。
113. 根据权利要求 108 所述的方法,其中,所述电极配置具有与在所述电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相同的尺寸。
114. 根据权利要求 85 至 92、95、97 至 98、100 至 103、105、107、109、111 至 113 中任一项所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
115. 根据权利要求 93 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
116. 根据权利要求 94 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
117. 根据权利要求 96 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
118. 根据权利要求 99 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
119. 根据权利要求 104 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
120. 根据权利要求 106 中任一项所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
121. 根据权利要求 108 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
122. 根据权利要求 110 所述的方法,其中,所述电极配置包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。
123. 根据权利要求 85 所述的方法,其中,所述电极配置包括产生在子液滴形成期间控制所述液滴的边缘位置的电场梯度的电极。
124. 根据权利要求 123 所述的方法,包括:通过使用所述电极配置以建立在子液滴形成期间控制所述液滴的颈缩区域的边缘位置的电场梯度来控制所述液滴的边缘的位置。

125. 根据权利要求 124 所述的方法,包括:控制施加到所述电极配置的电压,以建立
- (a) 处于导致液滴颈缩的第一电压的电场梯度;以及
  - (b) 处于导致液滴分离的第二电压的电场梯度。
126. 根据权利要求 124 所述的方法,包括控制施加到所述电极配置的电压,以建立
- (a) 处于导致液滴拉伸的第一电压的电场梯度;
  - (b) 处于导致液滴颈缩的第二电压的电场梯度;以及
  - (c) 处于导致液滴分离的第三电压的电场梯度。
127. 根据权利要求 123 至 126 中任一项所述的方法,其中,通过电极顶部的组成来构建所述场梯度。
128. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,所述组成包括介电组成。
129. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,所述组成包括图案化的材料,所述图案化的材料包括具有不同厚度的区域。
130. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,所述组成包括图案化的材料,所述图案化的材料包括具有不同相对静态电容率或介电常数的区域。
131. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,所述组成包括两种或更多种图案化的材料,每一种图案化的材料都具有不同的相对静态电容率或介电常数。
132. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,所述组成包括:
- (a) 具有第一介电常数的介电材料;以及
  - (b) 具有与所述第一介电常数不同的第二介电常数的介电材料。
133. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,所述组成包括:以图案化的方式掺杂的介电材料,一种或多种物质改变所述介电材料的介电常数。
134. 根据权利要求 123 至 126、128 至 133 中任一项所述的方法,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极的形状的装置来建立所述场梯度。
135. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极的形状的装置来建立所述场梯度。
136. 根据权利要求 123 至 126、128 至 133、135 中任一项所述的方法,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。
137. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。
138. 根据权利要求 134 所述的方法,其中,通过包括产生所述电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。
139. 根据权利要求 123 至 126、128 至 133、135、137 至 138 中任一项所述的方法,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。
140. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。
141. 根据权利要求 134 所述的方法,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。
142. 根据权利要求 136 所述的方法,其中,通过包括电极在相对于所述液滴致动器的

液滴操作表面的  $z$  方向上的空间定向的装置来建立场梯度。

143. 根据权利要求 123 至 126、128 至 133、135、137 至 138、140 至 142 中任一项所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

144. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

145. 根据权利要求 134 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

146. 根据权利要求 136 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

147. 根据权利要求 139 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括在所述电极内建立的导电图案。

148. 根据权利要求 143 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同的导电材料。

149. 根据权利要求 144 至 147 中任一项所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同的导电材料。

150. 根据权利要求 123 至 126、128 至 133、135、137 至 138、140 至 142、144 至 148 中任一项所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

151. 根据权利要求 127 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

152. 根据权利要求 134 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

153. 根据权利要求 136 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

154. 根据权利要求 139 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

155. 根据权利要求 143 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

156. 根据权利要求 149 所述的方法,其中,产生所述电场梯度的电极包括金属线轨迹,其中,在不同区域中,产生所述电场梯度的电极包括不同密度的金属线间隔。

157. 根据权利要求 85 至 92、95、97 至 98、100 至 103、105、107、109、111 至 113、115 至 126、128 至 133、135、137 至 138、140 至 142、144 至 148、151-156 中任一项所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

158. 根据权利要求 93 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

159. 根据权利要求 94 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

160. 根据权利要求 96 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

161. 根据权利要求 99 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

162. 根据权利要求 104 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

163. 根据权利要求 106 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

164. 根据权利要求 108 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

165. 根据权利要求 110 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

166. 根据权利要求 114 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

167. 根据权利要求 127 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

168. 根据权利要求 134 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

169. 根据权利要求 136 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

170. 根据权利要求 139 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

171. 根据权利要求 143 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

172. 根据权利要求 149 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

173. 根据权利要求 150 所述的方法,包括:使用系统来控制形成子液滴,以及使用所述电极配置来控制所述液滴的边缘。

174. 根据权利要求 157 所述的方法,其中,所述系统包括被编程以控制提供给所述电极配置的一个或多个电极的电压。

175. 根据权利要求 158 至 173 中任一项所述的方法,其中,所述系统包括被编程以控制提供给所述电极配置的一个或多个电极的电压。

176. 根据权利要求 174 所述的方法,包括:使用耦合至处理的传感器,用于在子液滴形成期间监控所述液滴的边缘。

177. 根据权利要求 175 所述的方法,包括:使用耦合至处理的传感器,用于在子液滴形成期间监控所述液滴的边缘。

178. 根据权利要求 176 所述的方法,其中,所述处理器被配置为在子液滴形成时通过响应于液滴边缘的感测位置调整所述电极配置的一个或多个电极的电压来控制分配子液滴的体积,以将所述液滴的边缘定位在表示期望子液滴体积的预定位置处。

179. 根据权利要求 177 所述的方法,其中,所述处理器被配置为在子液滴形成时通过响应于液滴边缘的感测位置调整所述电极配置的一个或多个电极的电压来控制分配子液

滴的体积, 以将所述液滴的边缘定位在表示期望子液滴体积的预定位置处。

## 液滴致动器配置以及引导液滴操作的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通过电极调解 (mediate) 液滴操作的液滴致动器 (droplet actuator), 具体地, 涉及用于增强液滴的装填、分配、分离和 / 或布置的液滴致动器以及液滴致动器上的电极配置的改进。本发明还涉及改进的液滴致动器, 其中电场梯度被用于引导或增强液滴操作。

[0002] 相关申请

[0003] 本申请要求于 2007 年 12 月 23 日提交的题为 “Staged and Analog Dispensing” 的美国专利申请第 60/988, 138 号以及于 2007 年 12 月 26 日提交的题为 “Reservoir Configuration for a Droplet Actuator” 的美国专利申请第 61/016, 618 号的优先权。

[0004] 政府利益

[0005] 利用政府支持根据由美国国家健康协会授予的 GM072155 和 DK066956 提出本专利。美国具有本专利的几项权利。

### 背景技术

[0006] 液滴致动器用于引导各种液滴操作。液滴致动器通常包括由间隙隔离的两个基板。基板包括用于引导液滴操作的电极。典型地, 利用与将由液滴致动器操作的液体不融合的填充液体来填充空间。通过用于引导各种诸如液滴运输和液滴分配的液滴操作的电极来控制液滴的形成和移动。由于存在为样本和试剂生产具有更精确和 / 或准确体积的液滴的需要, 因此需要在液滴致动器中计量液滴的替换方法。还需要将诸如样本和 / 或试剂的液滴操作液体装填到液滴致动器或从液滴致动器中将其去除的改进方法。

### 发明内容

[0007] 本发明提供了一种包括液滴形成电极配置的液滴致动器。液滴形成电极配置可与液滴操作表面相结合。电极配置可包括一个或多个电极, 其被配置为在液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴边缘的位置。电极配置可以包括一个或多个电极, 其被配置为在液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴的体积。电极配置可包括一个或多个电极, 其被配置为在液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴的印迹 (footprint) 或液滴的区域。

[0008] 在液滴形成期间控制的液滴的边缘可包括液滴的颈缩 (necking) 区域的边缘。在液滴形成期间控制的液滴的边缘可包括被形成的子液滴的边缘。液滴边缘位置的控制可控制子液滴的体积。液滴印迹的控制可控制子液滴的体积。液滴印迹区域的控制可控制子液滴的体积。液滴印迹的颈缩区域的控制可控制子液滴的体积。控制可通过控制施加到电极的电压来实现。

[0009] 电极配置可包括中间电极配置。中间电极配置可包括: 一个或多个内部电极; 两个或多个外部电极, 相对于内部电极侧面布置; 以及在中间电极配置侧面的电极。中间电极配置以及在中间电极配置侧面的电极可以被布置, 使得在有液滴的情况下中间电极配置和在中间电极配置侧面的电极的激活导致液滴穿过液滴形成电极配置拉长。在存在拉长

液滴的情况下施加到两个或多个外部电极的电压的减小可以被实现,以开始拉长液滴的颈缩。在施加到两个或多个外部电极的电压减小之后施加到一个或多个内部电极的电压的减小可以被实现,以分开拉长的液滴,从而形成一个或多个子液滴。在存在拉长液滴的情况下两个或更多个外部电极的去激活可以被实现,以开始拉长液滴的颈缩。在所有外部电极去激活之后一个或多个内部电极的去激活可以被实现,以分开拉长的液滴,从而形成一个或多个子液滴。相对于内部电极侧面布置的外部电极可以电耦合并用作单个电极。

[0010] 液滴致动器可包括与液滴形成电极配置相邻的储存电极。液滴致动器可包括与液滴形成电极配置相邻的液滴操作电极。

[0011] 电极配置可包括一个或多个中心定位电极以及一个或多个与液滴形成电极配置的边缘相邻的颈缩电极。中心定位电极和颈缩电极可被配置为在通过从颈缩电极开始且持续到中心定位电极的电极组的顺序去激活所影响的液滴分离过程中来控制液滴的颈缩和分离。

[0012] 液滴致动器中的电极配置可包括通常为 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。电极配置可插入到电极路径中。电极配置和电极路径可以沿公共轴布置。电极配置可包括关于公共轴对称布置的中心电极以及在中心电极侧面的颈缩电极。电极配置可包括在第一组颈缩电极侧面的第二组颈缩电极。

[0013] 颈缩电极具有远离轴凸出的形状。颈缩电极可包括在相对于中心电极基本平行的方向上定向的电极棒。电极配置可具有与在电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸基本相等的尺寸。电极配置可包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。

[0014] 电极配置可包括产生在子液滴的形成期间控制液滴边缘位置的电场梯度的电极。产生电场梯度的电极可以在子液滴的形成期间控制液滴的颈缩区域的边缘位置。产生电场梯度的电极可以在子液滴的形成期间控制液滴的颈缩区域的直径。产生电场梯度的电极可以在子液滴的形成期间控制液滴的颈缩区域的印迹。

[0015] 电极可以产生处于导致液滴颈缩的第一电压的电场梯度以及处于导致液滴分离的第二电压的电场梯度。电极可以产生处于导致液滴拉伸的第一电压的电场梯度;处于导致液滴颈缩的第二电压的电场梯度;以及处于导致液滴分离的第三电压的电场梯度。

[0016] 可以通过电极顶部的组成来建立场梯度。该组成可包括介电组成。组成可包括图案化材料,其包括具有不同厚度的区域。该组成可包括图案化材料,其包括具有不同相对静态电容率或介电常数的区域。该组成可包括两种或多种图案化材料,每种图案化材料都具有不同的相对静态电容率或介电常数。该组成可包括具有第一介电常数的介电材料和具有可与第一介电常数不同的第二介电常数的介电材料。该组成可包括以图案化方式掺杂的介电材料,具有改变介电材料的介电常数的一种或多种物质。

[0017] 可通过包括产生电场梯度的电极的形状的装置来建立场梯度。可通过包括在产生电场梯度的电极中的电极厚度的变量的装置来建立场梯度。可通过包括电极在相对于液滴致动器的液滴操作表面的 z 方向上的空间定向的装置来建立场梯度。产生电场梯度的电极可以包括在电极中建立的导电图案。产生电场梯度的电极可以包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同的导电材料。产生电场梯度的电极可以包括金属线轨迹(wiretrace),在不同区域中,产生电场梯度的电极可以包括不同密度的金属线间隔。

[0018] 本发明提供了一种系统,其包括液滴致动器以及被编程以控制向被配置为在子液

滴形成期间控制液滴边缘的位置的一个或多个电极的电压供给的处理器。该系统可包括用于在子液滴形成期间监控液滴边缘的传感器。该系统可包括用于在子液滴形成期间监控液滴印迹的传感器。该系统可包括用于在子液滴形成期间监控液滴区域的印迹的传感器。通过系统监控的液滴区域可以对应于被分配子液滴的体积。传感器可以检测与子液滴的体积相关的参数。传感器可以被选择以检测液滴的一个或多个电特性、化学特性和 / 或物理特性。传感器可以包括被配置为形成液滴图像的成像装置。处理器可以被配置为调节一个或多个电极的电压,其中电极被配置为在子液滴形成期间控制液滴边缘的位置。处理器可以被配置为调节一个或多个电极的电压,该电极被配置在子液滴形成期间控制液滴边缘的位置。

[0019] 本发明提供了一种包括基板的液滴致动器,该基板包括电极的路径或阵列,路径或阵列包括使用金属线轨迹形成的一个或多个电极。金属线轨迹配置可以包括呈曲折路径的金属线。曲折路径中的每个转弯均可以与该路径中的其他转弯基本相同。金属线轨迹配置可包括不同金属线密度的区域。金属线轨迹配置可以包括可具有比外部区域更大的金属线密度的中心轴区域。金属线轨迹配置可包括具有第一末端区域和第二末端区域的伸长电极。第一末端区域可具有比第二末端区域更大的金属线密度。金属线密度可以沿从第二末端区域到第一末端区域拉伸的长度逐渐增大。

[0020] 本发明提供了一种包括用于形成液滴的液滴形成电极配置的液滴致动器。液滴形成电极配置可包括液滴源、中间电极和终端电极 (terminalelectrode)。当在液滴源处存在液体时,中间电极和终端电极的激活可以使液滴拉伸流过中间电极并流到终端电极上。施加到终端电极的增大电压可以增大液滴拉伸的长度。中间电极的去激活可以将液滴分为两个子液滴。

[0021] 液滴源可以包括液滴源电极。液滴源电极可包括储存器。液滴源电极可包括储存电极。液滴源电极可包括液滴操作电极。终端电极可以相对于中间电极伸长。终端电极可以基本上呈锥形。终端电极可以从液滴源电极开始逐渐变细。终端电极可以朝向液滴源电极逐渐变细。终端电极可以基本上呈三角形。终端电极的顶点可以插入到中间电极的凹槽中。终端电极可以从相对于中间电极末端定向的最宽区域到相对于中间电极接近定向的窄区域逐渐变细。终端电极可以从相对于中间电极接近定向的最宽区域到相对于中间电极末端定向的窄区域逐渐变细。最宽区域在宽度上大约等于沿电极配置轴截取的中电极的直径。窄区域可以比沿电极配置的轴截取的中电极的直径更窄。

[0022] 液滴致动器可以被设置为包括液滴致动器和处理器的系统的组件。处理器可以被编程以控制施加到电极配置的电极的电压。处理器可以被编程以通过调节施加到终端电极的电压来控制液滴体积。

[0023] 本发明提供了一种包括被配置以引导液滴操作的电极的液滴致动器。电极可以被配置为产生通过影响施加到电极的电压改变来影响液滴操作的电场梯度。液滴致动器可包括在电极顶部的介电材料,被配置为构建根据影响施加到电极的电压改变来控制液滴操作的介电图形 (topography)。

[0024] 可以通过包括电极顶部的图案化材料的装置来建立场梯度。电极顶部的图案化材料可包括具有不同厚度的区域的介电材料。电极顶部的图案化材料可包括具有不同介电常数的区域的介电材料。电极顶部的图案化材料可包括具有两种或多种图案化材料的介电材

料,每种图案化材料均具有不同的介电常数。电极顶部的图案化材料可包括具有可改变以产生电场梯度的组成的介电材料。电极顶部的图案化材料可包括在电极上被图案化的第一介电常数的第一介电材料以及层叠在第一介电材料上的第二介电常数的第二介电材料。

[0025] 场梯度可以被配置为根据施加给电极的电压降低来控制液滴颈缩和分离。可通过施加到电极配置的电压的第一降低来导致颈缩,以及通过施加到电极配置的电压的第二降低来导致分开。可通过包括电极形状的装置来建立场梯度。可通过包括电场厚度的装置来建立场梯度。可通过包括在电极中建立的导电图案的装置来建立场梯度。电极可包括被图案化以产生预定场梯度的两种或多种不同导电材料。场梯度可通过包括金属线轨迹的装置来建立,其中,电极配置的不同区域具有不同密度的金属线间隔。场梯度可通过包括电极中导电材料的图案的装置来建立。场梯度可通过包括电极中的绝缘材料图案的装置来建立。场梯度可通过包括电极中的不同导电材料的图案的装置来建立。

[0026] 电极可产生图案化的场梯度,其根据电压的激活、去激活或调整来影响液滴操作。电压的降低可以影响液滴操作。电压的升高可以影响液滴的拉伸。在液滴在电极上的情况下电压的升高可以影响液滴的拉伸。

[0027] 本发明提供了一种在形成子液滴期间控制液滴边缘的位置的方法。本发明提供了一种在形成子液滴期间控制液滴的印迹的方法。本发明提供了一种在形成子液滴期间控制液滴的区域的印迹的方法。

[0028] 本发明的方法包括:提供包括与液滴操作表面相关联的液滴形成电极配置的液滴致动器,其中,电极配置可包括一个或多个电极,被配置为在液滴操作表面上形成子液滴期间控制液滴边缘的位置。本发明的方法包括在使用电极配置以控制液滴的边缘时,形成子液滴。

[0029] 该方法可包括在形成子液滴时控制液滴的颈缩区域的边缘。该方法可包括在形成子液滴时控制液滴的颈缩区域的印迹。该方法可包括在形成子液滴时控制液滴的颈缩区域的印迹区域。该方法可包括在形成子液滴时控制液滴的颈缩区域的直径。该方法可包括在形成子液滴时控制液滴的颈缩区域的体积。该方法可包括在形成子液滴时控制液滴的颈缩区域的排水。

[0030] 该方法可包括在形成子液滴时控制子液滴的边缘。该方法可包括在形成子液滴时控制子液滴的体积。该方法可包括在形成子液滴时控制子液滴的印迹。该方法可包括在形成子液滴时控制子液滴的区域的印迹。

[0031] 形成子液滴可包括将电压施加到电极配置。形成子液滴可包括将电压施加到中间电极配置。形成子液滴可包括将电压施加到终端电极配置。形成子液滴可包括将电压施加到电极配置的中间电极。形成子液滴可包括将电压施加到电极配置的终端电极。

[0032] 电极配置可包括中间电极配置。中间电极配置可包括:一个或多个内部电极;相对于内部电极侧面布置的两个或更多个外部电极;以及在中间电极配置侧面的电极。中间电极配置和中间电极配置侧面的电极可以被布置,从而在存在液滴的情况下中间电极配置和中间电极配置侧面的电极的激活使得液滴穿过液滴形成电极配置伸长。在存在伸长液滴的情况下施加到外部电极中的两个或更多个电极的电压降低可开始伸长液滴的颈缩。在施加到两个或更多个外部电极的电压降低之后施加到一个或多个内部电极的电压降低可分开伸长液滴,形成一个或多个子液滴。在存在伸长液滴的情况下,两个或更多个外部电极的

去激活可以开始伸长液滴的颈缩。在所有外部电极去激活之后一个或多个内部电极的去激活可分开伸长液滴,形成一个或多个子液滴。相对于内部电极侧面布置的两个或更多个外部电极可以电耦合并用作单个电极。

[0033] 电极配置可包括与液滴形成电极配置相邻的储存电极。形成子液滴可包括从较大体积液滴中分出较小体积液滴。可在液滴形成电极配置附近包括液滴操作电极。电极配置可包括一个或多个中心定位电极以及与液滴形成电极配置的边缘相邻的一个或多个颈缩电极。形成子液滴可包括从颈缩电极开始并持续到中心定位电极顺序地去激活电极组。电极配置可包括通常呈 I 型和 / 或沙漏型的中心定位电极。

[0034] 电极配置可以插入到电极的路径中。电极配置和电极路径可以沿公共轴布置。电极配置可包括在公共轴周围对称布置的中心电极以及在中心电极侧面的颈缩电极。第二组颈缩电极可以被设置在第一组颈缩电极的侧面。颈缩电极可具有远离轴凸出的形状。颈缩电极可包括以相对于中心电极基本平行的方向定向的电极棒。电极配置可具有基本等于电极路径中的一个或多个相邻电极的尺寸的尺寸。电极配置可包括被布置以形成正方形或矩形的四个三角形。电极配置可包括产生电场梯度的电极,该电场梯度在子液滴形成期间控制液滴边缘的位置。

[0035] 该方法可包括通过将电极配置用于建立在子液滴形成期间控制液滴颈缩区域的边缘位置的电场梯度来控制液滴边缘的位置。该方法可包括控制液滴的印迹。电场配置可建立在子液滴形成期间控制液滴颈缩区域的印迹的电场梯度。印迹可通过控制施加到电极配置的电压来建立处于导致液滴颈缩的第一电压的电场梯度以及处于导致液滴分离的第二电压的电场梯度来进行控制。

[0036] 该方法可包括控制施加到电极配置的电压,来建立处于导致液滴拉伸的第一电压的电场梯度;处于导致液滴颈缩的第二电压的电场梯度;以及处于导致液滴分离的第三电压的电场梯度。

[0037] 可通过电极顶部的组成来建立场梯度。组成可包括介电组成。组成可包括具有不同厚度的区域的图案化材料。组成可包括具有不同的相对静态电容率或介电常数的区域的图案化材料。组成可包括两种或多种图案化材料,每种图案化材料均具有不同的相对静态电容率或介电常数。组成可包括:具有第一介电常数的介电材料和具有可以不同第一介电常数的第二介电常数的介电材料。具有不同介电常数的材料可以被图案化,以根据施加到电极的电压改变来产生影响液滴操作的场梯度。组成可包括以图案化方式掺杂的介电材料,具有改变介电材料的介电常数的一种或多种物质。场梯度可通过包括产生电场梯度的电极的装置的装置来建立。场梯度可通过包括在产生电场梯度的电极中电极厚度不同的装置来建立。场梯度可通过包括电极以相对于液滴致动器的液滴操作表面的 z 方向空间定向的装置来建立。

[0038] 如已论述的,产生电场梯度的电极可包括在电极中建立的导电图案。产生电场梯度的电极可包括被图案化以产生预定场梯度的两种或多种不同导电材料。产生电场梯度的电极可包括金属线轨迹,在不同区域中,产生电场梯度的电极可包括不同密度的金属线间隔。

[0039] 该方法可以通过系统来控制。该系统可控制形成子液滴。该系统可控制液滴的颈缩区域的直径。该系统可控制液滴的颈缩区域的印迹。该系统可控制液滴的颈缩区域的一

部分的印迹。该系统可包括被编程以控制提供给电极配置的一个或多个电极的电压的处理器。该系统可包括耦合到处理器的传感器。该方法可包括使用耦合到处理器的传感器监控在子液滴形成期间液滴的边缘。该方法可包括基于传感器感测的参数来调整施加到电极或电极配置的电压。处理器可以被配置为通过在形成子液滴时响应于感测的液滴边缘位置调整电极配置的一个或多个电极的电压来控制分配的子液滴的体积,以使液滴的边缘位于表示期望子液滴体积的预定位置处。

[0040] 本发明提供了一种从液滴中形成子液滴的方法,该方法包括可控地减小液滴在颈缩和分离过程中颈缩区域的直径。子液滴可以具有预定的体积。

[0041] 本发明提供了一种从液滴中形成子液滴的方法,该方法包括在终端电极的顶部可控地拉伸液滴的体积,以及一旦在终端电极的顶部达到预定体积则在中间电极处开始分离过程。子液滴可以具有预定体积。

[0042] 本发明提供了一种形成子液滴的方法,该方法包括提供横跨包括第一电极和第二电极的电极配置的伸长液滴,伸长液滴包括第一电极顶部的液体体积以及第二电极顶部的液体体积。该方法可包括可控地扩展第二电极顶部的伸长液滴的体积。该方法可包括分离第一电极处的液滴以生成子液滴。子液滴可以具有预定体积。

[0043] 本发明提供了一种形成子液滴的方法,该方法包括提供横跨电极的伸长液滴,该电极被配置为产生包括需要相对较高的电压以在中间区域顶部实现电湿润的中间区域的场梯度。该方法可包括将电压施加到电极,以足以使液滴穿过中间区域扩展。该方法可包括充分地减小电压,以使液滴在中间区域分开。可通过包括电极形状的装置来建立场梯度。可通过包括电极厚度的装置来建立场梯度。可通过包括在电极中建立的导电图案的装置来建立场梯度。电极可包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同导电材料。可通过包括金属线轨迹的装置来建立场梯度,电极配置的不同区域具有不同密度的金属线间隔。可通过包括电极中的导电材料的图案的装置来建立场梯度。可通过包括电极中的绝缘材料图案的装置来建立场梯度。可通过包括电极中的不同导电材料的图案的装置来建立场梯度。电极或电极配置可产生根据激活、去激活或电压的调整来影响液滴操作的图案化的场梯度。

[0044] 本发明提供了形成子液滴的方法,该方法包括提供横跨电极配置的伸长液滴,电极配置包括被配置以产生场梯度的终端电极区域,其中,终端电极区域顶部的液滴体积可以通过增大施加到终端区域的电压来逐渐增大。该方法可包括将电压施加到电极,以足以使液滴扩展到末端区域顶部的预定体积。该方法可包括使液滴分开,从而在终端区域的顶部形成子液滴。终端区域可以被配置为允许终端区域顶部的液滴体积增大到比相邻单元尺寸的液滴操作电极的体积更大的体积。可以通过包括电极形状的装置来建立场梯度。可以通过包括电极厚度的装置来建立场梯度。可以通过包括在电极中建立的导电图案的装置来建立场梯度。电极可包括被图案化以产生预定场梯度的两种或更多种不同导电材料。可以通过包括金属线轨迹的装置来建立场梯度,电极配置的不同区域具有不同密度的金属线间隔。可以通过包括电极中的导电材料的图案的装置来建立场梯度。可以通过包括电极中的绝缘材料的图案的装置来建立场梯度。可以通过包括电极中的不同导电材料的图案的装置来建立场梯度。

[0045] 本发明提供了一种液滴致动器,包括:包括储存器的顶部基板部件;独立于顶部

基板以形成间隙的底部基板部件；电极，与顶部基板部件和 / 或底部基板部件相关联，并被配置为引导一个或多个液滴操作；以及液体路径。液体路径可被配置为使液体从储存器流入间隙，其中，液滴可以经历由电极中的一个或多个调解的一个或多个液滴操作；和 / 或使用电极将液体传输到与开口接触，并使液体充分地排出间隙并进入储存器。

[0046] 顶部基板部件可包括顶部基板以及与顶部基板相关联并包括形成于其中的储存器的储存器基板。液滴致动器可包括与底部基板相关联的储存电极。开口可以与储存电极的边缘重叠。液滴致动器可以包括与底部基板相关联并与储存电极相邻的第一液滴操作电极，其中，开口与第一电极的边缘以及液滴操作电极的边缘重叠。液滴致动器可以包括与底部基板相关联并至少部分地插入储存电极中的第一液滴操作电极，其中，开口与第一电极的边缘以及液滴操作电极的边缘重叠。液滴致动器可以被配置为促进液滴从间隙流入储存器。储存器可具有大于约 1mm 的直径。储存器可以具有大于约 2mm 的直径。储存器可以具有足以容纳范围从约 100 到约 300mL 的液体体积的体积。储存器具有足以容纳范围从大约 5  $\mu$  L 到大约 5000  $\mu$  L 的液体体积的体积。储存器可以具有足以容纳范围从大约 10  $\mu$  L 到大约 2000  $\mu$  L 的液体体积的体积。储存器可以具有足以容纳范围从大约 50  $\mu$  L 到大约 1500  $\mu$  L 的液体体积的体积。储存器可以具有基本呈圆柱形的尺寸。开口可以基本上与储存器的圆柱尺寸的轴对准。间隙可以包括填充物流体。填充物流体可以包括油。储存器可以包括具有相对于储存器的主要体积减小直径的区域，具有减小直径的区域在储存器的主要体积与开口之间提供流体路径。储存器的限定区域可以具有在底部基板上的高度，其超过相对于储存器的限制区域的闭死 (dead) 体积的闭死高度。储存器的主要体积可具有在底部基板上的高度，其超过相对于储存器的主要体积的闭死体积的闭死高度。储存器的限制区域可以具有第一直径和在底部基板上的第一高度；储存器的主要体积可以具有第二直径、在底部基板上的第二高度；以及第一直径、第一高度、第二直径和第二高度可被选择以使基本等于储存器主要体积的所有体积的液体体积可以被用于分配。储存器的主要体积可以相对于圆柱主体积伸长，而基本上不会相对于对应圆柱主体积增大闭死体积。

[0047] 本发明提供了一种将液滴传输出液滴致动器间隙的方法。该方法可包括设置液滴致动器，该液滴致动器包括：包括储存器的顶部基板部件；独立于顶部基板以形成间隙的底部基板部件；电极，与顶部基板部件和 / 或底部基板部件相关联，并被配置为引导一个或多个液滴操作；以及流体路径，被配置为使流体从间隙流入储存器。该方法可以包括使用电极将液体传输到与开口接触，并使流体完全排出间隙并进入储存器。顶部基板部件可以包括顶部基板和与顶部基板相关联并包括形成于其中的储存器的储存器基板。储存电极可以与顶部基板相关联。开口可以与储存电极的边缘重叠。第一液滴操作电极可以与底部基板相关联并与储存电极相邻。开口可以与第一电极的边缘以及液滴操作电极的边缘重叠。第一液滴操作电极可以与底部基板相关联并至少部分地插入到储存电极中。开口可以与第一电极的边缘和液滴操作电极的边缘重叠。

[0048] 包括在发明内容中的实施例仅是示例性的。根据上述发明内容以及随后的段落和权利要求，其他实施例对于本领域技术人员是显而易见的。

[0049] 定义

[0050] 如文中所述的，以下术语具有指出的含义。

[0051] 关于一个或多个电极的“激活”是指影响在存在液滴的情况下导致液滴操作的一

个或多个电极的电状态的改变。

[0052] 关于液滴致动器上的液珠的“液珠 (bead)”是指能够与在液滴致动器上或液滴致动器附近的液滴相互作用的任何液珠或微粒。液珠可以为诸如球形、一般球形、蛋形、圆盘形、立方体和其他三维形状的各种形状中的任一种。例如,液珠能够在液滴致动器的液滴中传输或者还可以对应于液滴致动器以允许液滴致动器上的液滴接触到液珠的方式配置到液滴致动器上和 / 或离开液滴致动器。可以使用包括例如树脂和聚合物的各种材料来制造液珠。液珠可以是包括例如微型液珠、微型微粒、纳米液珠和纳米微粒的任何适当尺寸。在一些情况下,液珠为有磁性反应的;在另一些情况下,液珠为基本没有磁性反应的。对于有磁性反应的液珠,磁性反应材料可以基本构成液珠的所有组成或者液珠中的仅一种组成。液珠的剩余物可以包括聚合物材料、涂层和允许检测试剂附着的部分。适于磁性反应液珠的实例在 2005 年 11 月 24 日公开的题为“Multiplex flow assays preferably with magnetic particles as solid phase”的美国专利公开第 2005-0260686 号中进行描述,其全文中教导的关于磁性反应材料和液珠的内容结合与此作为参考。液体可以包括一种或多种磁性反应液珠和 / 或非磁性反应液珠。在 2006 年 12 月 15 日提交的题为“Droplet-Based Particle Sorting”的美国专利申请第 11/639,566 号;2008 年 3 月 25 日提交的题为“Multiplexing Bead Detection in a Single Droplet”的美国专利申请第 61/039,183 号;2008 年 4 月 25 日提交的题为“Droplet Actuator Devices and Droplet Operations Using Beads”的美国专利申请第 61/047,789 号;2008 年 8 月 5 日提交的题为“Droplet Actuator Devices and Methods for Manipulating Beads”的美国专利申请第 61/086,183 号;2008 年 2 月 11 日提交的题为“Droplet Actuator Devices and Methods Employing Magnetic Beads”的国际专利申请第 PCT/US2008/053545 号;2008 年 3 月 24 日提交的题为“Bead-based Multiplexed Analytical Methods and Instrumentation”的国际专利申请第 PCT/US2008/058018 号;2008 年 3 月 23 日提交的题为“Bead Sorting on a Droplet Actuator”的国际专利申请第 PCT/US2008/058047 号;以及 2006 年 12 月 11 日提交的题为“Droplet-based Biochemistry”的国际专利申请第 PCT/US2006/047486 号中描述了用于固定磁性反应液珠和 / 或非磁性反应液珠和 / 或用于使用液珠引导液滴操作的液滴致动器技术的实例,其全部内容结合与此作为参考。

[0053] “液滴”是指液体在液滴致动器上的体积,其至少部分地通过填充物流体来限定。例如,液滴可以被填充物流体完全包围或者可以由填充物流体和液滴致动器的一个或多个表面来限定。例如,液滴可以是水的或非水的,或者可以是包括水和非水组合物的混合物或乳状液。液滴可以完全或部分地位于液滴致动器的间隙中。液滴可以呈各种形状,非限定性的实例包括一般圆盘型、条形、截取的球形、椭圆体、球形、局部压缩的球形、半球形、卵形、圆柱形以及在诸如合并或分离的液滴操作期间形成的各种形状或者作为这种形状与液滴致动器的一个或多个表面接触的结果而形成的各种形状。对于经历使用本发明的方法经历液滴操作的液滴液体的实例,参见 2006 年 12 月 11 日提交的题为“Droplet-Based Biochemistry”的国际专利申请第 PCT/US 06/47486 号。在各个实施例中,液滴可以包括生物样本,例如,全血、淋巴液、血清、血浆、汗、泪、唾液、痰、脑脊髓液、羊水、精液、阴道分泌物、浆液、滑液、心包液、腹膜液、胸膜液、渗出液、分泌液、囊液、胆汁、尿、胃液、肠液、粪便样本、包括单个或多个细胞的液体、包括细胞器官、液化组织、液化有机体的液体、包括多细胞

有机体、生物试样和生物废液的液体。此外，液滴可以包括试剂，例如，水、去离子水、盐溶液、酸性溶液、碱性溶液、清洁剂溶液和 / 或缓冲液。液滴内容的其他实例包括试剂，例如，用于诸如核酸放大试验方案、基于姻亲关系的化验的试验方案、顺序试验方案和 / 或用于分析生物液体的试验方案的生物化学试验方案。

[0054] “液滴致动器”是指用于处理液滴的设备。关于液滴致动器的实例，参见 Pamula 等人 2005 年 6 月 28 日提交的题为“Apparatus for Manipulating Droplets by Electrowetting-Based Techniques”的美国专利第 6,911,132 号；2006 年 1 月 30 日提交的题为“Apparatuses and Methods for Manipulating Droplets on a Printed Circuit Board”的美国专利申请第 11/343,284 号；由 Shenderov 等人 2004 年 8 月 10 日提交的题为“Electrostatic Actuators for Microfluidics and Methods for Using Same”的美国专利第 6,733,566 号和 2000 年 1 月 24 日提交的题为“Actuators for Microfluidics Without Moving Parts”的美国专利第 6,565,727 号；Pollack 等人 2006 年 12 月 11 日提交的题为“Droplet-Based Biochemistry”的国际专利申请第 PCT/US2006/047496 号，其全部内容结合与此作为参考。本发明的方法可以使用诸如在 2007 年 5 月 9 日提交的题为“Droplet manipulation systems”的国际专利申请第 PCT/US2007/009379 号中描述的液滴致动器系统来执行。在各个实施例中，由液滴致动器执行的液滴操作可以是电极调解，例如电湿润调解或介电电泳调解。可用在本发明的液滴致动器中的控制液体流动的其他方法的实例包括导致水利液体压力的设备，例如，基于机械理论（例如，外部注射泵、气动隔膜泵、振动隔膜泵、真空器件、离心力和毛细作用）；电磁理论（例如，电渗流、电动泵、压电 / 超声波泵、磁流体插座、电流体动力泵和磁流体动力泵）；热力学理论（例如，气泡生成 / 状态改变引起的体积膨胀）；其他种类的表面变湿理论（例如，电湿润和光电湿润，以及化学、热和放射性引起的表面张力梯度）；重力；表面张力（例如，毛细作用）；静电力（例如，电渗流）；离心流（沉积到压缩盘上并旋转的基板）；磁力（例如，振动离子产生流）；磁流体动力；以及真空或压力差来操作的设备。在特定实施例中，上述技术中的两个或多个的组合将被用在本发明的液滴致动器中。

[0055] “液滴操作”是指液滴致动器上的液滴的任何操作。液滴操作可包括例如：将液滴加载到液滴致动器中；分配来自原液滴的一个或多个液滴；将液滴分离、分隔或划分为两个或多个液滴；在任一方向上将液滴从一个位置传送到另一位置；将两个或多个液滴合并或组合为单个液滴；混合液滴；搅拌液滴；使液滴变形；使液滴保留适当位置；蕴藏液滴；加热液滴；蒸发液滴；冷却液滴；处置液滴；将液滴传送到液滴致动器之外；文中描述的其他液滴操作；和 / 或上述的任意组合。术语“合并”、“正在合并”、“组合”、“正在组合”等用于描述由两个或多个液滴生成一个液滴。应当理解，当参照两个或多个液滴使用该术语时，可以使用足以将两个或多个液滴组合成一个液滴的液滴操作的任意组合。例如，“将液滴 A 与液滴 B 合并”可以通过将液滴 A 传送到与固定的液滴 B 接触，将液滴 B 传送到与固定的液滴 A 接触，或者将液滴 A 和 B 传送到与彼此接触来实现。术语“分离”、“分隔”和“划分”不用于暗示关于生成液滴的体积的任何特定结果（即，生成液滴的体积可以相同或不同）或者生成液滴的数量（生成液滴的数量可以是 2、3、4、5 或更多）。术语“混合”是指在导致液滴中一种或多种成分的均匀分布的液滴操作。“加载”液滴操作的实例包括微量渗析加载、压力辅助加载、机器人加载、被动加载和吸液管加载。液滴操作可以是电极调解。在一些情

况下,可通过使用表面上的吸水区域或疏水区域和 / 或通过物理阻碍来进一步促进液滴操作。

[0056] “填充物流体”是指与液滴致动器的液滴操作基板相关联的液体,该液体与液滴状态充分的不溶合,以使液滴状态经历电极调解的液滴操作。例如,填充物流体可以是诸如硅油的低粘度油。在 2006 年 12 月 11 日提交的题为“Droplet-Based Biochemistry”的国际专利申请第 PCT/US2006/047486 号以及 2008 年 8 月 8 日提交的题为“Use of additives forenhancing droplet actuation”的国际专利申请第 PCT/US2008/072604 号提供了填充物流体的其他实例。填充物流体可以填充液滴致动器的整个间隙,或者可以覆盖液滴致动器的一个或多个表面。

[0057] 关于磁性反应液珠的“不溶合”是指液珠基本保持在液滴致动器上的液滴或填充物流体中的适当位置。例如,在一个实施例中,不溶合的液珠基本保持在适当位置处,以允许在液滴上执行分离操作,产生具有基本所有液珠的一个液滴和在液珠中基本不存在的一个液滴。“磁性反应”是指对磁场的反应。“磁性反应液珠”包括磁性反应材料或由其组成。磁性反应材料的实例包括顺磁性材料、铁磁材料和变磁性材料。适当的顺磁材料的实例包括铁、镍和钴,以及诸如 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>、CoO、NiO、Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 CoMnP 的金属氧化物。

[0058] 关于清洁磁性反应液珠的“清洁”是指从与磁性反应液珠接触的液滴中减少与磁性反应液珠接触或暴露于磁性反应液珠的一种或多种物质的量和 / 或浓度。物质的量和 / 或浓度的减少可以是部分的、基本完全的或者恰好完全的。物质可以是以下各种物质中的任一种;例如包括:用于进一步分析的目标物质、诸如样本、污染物和 / 或过量试剂的成分的不期望物质。在一些实施例中,清洁操作开始于与磁性反应液珠接触的开始液滴,其中液滴包括物质的初始量和初始浓度。可以使用各种液滴操作来进行清洁操作。清洁操作可以产生包括磁性反应液珠的液滴,其中,液滴具有小于物质的初始量和 / 或初始浓度的物质的总量和 / 或总浓度。在 Pamula 等人的于 2008 年 10 月 21 日授权的题为“Droplet-Based Surface Modification and Washing”的美国专利申请第 7,439,014 号中描述了适当的清洁技术的实例,其全部内容结合与此作为参考。

[0059] 术语“顶部”、“底部”、“上方”、“下方”和“上”在通篇说明书中指示液滴致动器的组件的相对位置,例如,液滴致动器的顶部基板和底部基板的相对位置。应当清楚,液滴致动器是起作用的,而不论其在空间的定向。

[0060] 当呈任何形式的液体(例如,移动或静止的液滴或连续主体)被描述为在电极、阵列、基底或表面“上”、“处”或“之上”时,这种液体可以与电极 / 阵列 / 基底 / 表面直接接触,或者可以与介于液体与电极 / 阵列 / 基底 / 表面之间一个或多个层或膜接触。

[0061] 当液滴被描述为在液滴致动器“上”或“加载到”液滴致动器上时,应当理解液滴以便于将液滴致动器用于引导对液滴的一个或多个液滴操作的方式布置到液滴致动器上,液滴被以方便液滴的特性感测或来自液滴的信号的方式布置到液滴致动器上,和 / 或液滴在液滴致动器上经历液滴操作。

## 附图说明

[0062] 图 1A、图 1B、图 1C、图 1D 和图 1E 示出了电极配置以及分配具有预定体积的液滴的过程的俯视图;

[0063] 图 2A、图 2B 和图 2C 示出了电极配置以及通过控制在液滴形成过程期间的液滴的排出来分配具有更高准确度和 / 或精确度的体积的液滴的过程的俯视图；

[0064] 图 3A 和图 3B 示出了包括中间电极的电极配置或者用于可控地分配具有更高准确度和 / 或精确度的体积的液滴的电极配置的俯视图；

[0065] 图 4A 和图 4B 分别示出了液滴致动器电极配置及其在分阶段的液滴分配的过程中使用的俯视图和侧视图；

[0066] 图 5 示出了将物理结构用于辅助液滴致动器中的液滴分离操作的电极配置的俯视图；

[0067] 图 6A 和图 6B 示出了改进液滴致动器中的液滴分配的电极配置的俯视图和侧视图；

[0068] 图 7A 和图 7B 示出了被配置以通过重新配置指定的目标电极处的间隙布局来提供改进的液滴分配的液滴致动器的侧视图；

[0069] 图 8A 和图 8B 示出了用于在分离或分配过程期间控制颈缩和分离的本发明的另一实施例,其中颈缩和分离电极包括金属线轨迹；

[0070] 图 9 示出了包括由液滴操作电极从侧面包围的中间颈缩和分离电极配置的电极配置；

[0071] 图 10 示出了包括由液滴操作电极从侧面包围的中间颈缩和分离电极配置的电极配置；

[0072] 图 11A 和图 11B 分别示出了被配置以包括与用于加载 / 卸载操作液体的顶部基板相关联的储存器的液滴致动器的部分的侧视图和俯视图；

[0073] 图 12A、图 12B、图 12C 和图 12D 示出了包括用于输入 / 输出操作液体的储存器的另一液滴致动器配置的侧视图；

[0074] 图 13 示出了包括用于输入 / 输出操作液体的储存器的另一液滴致动器配置的侧视图；

[0075] 图 14A 和图 14B 示出了包括用于输入 / 输出操作液体的储存器的另一液滴致动器配置的侧视图；以及

[0076] 图 15 示出了包括用于输入 / 输出操作液体的储存器的另一液滴致动器配置的侧视图。

## 具体实施方式

[0077] 本发明提供了液滴致动器和用于引导液滴致动器上的液滴操作的方法。例如,本发明提供了用于改进液滴致动器中的液滴加载、分离和 / 或分配的液滴致动器配置和技术。在一些情况下,本发明的液滴致动器可以包括各种改进的电极配置。在一些实施例中,本发明的液滴致动器和方法可用于分配具有各种体积(例如,液滴的模拟计量)的液滴。在一些实施例中,本发明的液滴致动器可用于通过控制在液滴形成过程期间的液滴排出来分配具有更高准确度和 / 或精确度的液滴。在一些实施例中,本发明的液滴致动器和方法被用于促进分阶段的液滴分配。特定实施例利用电极配置,其采用用于辅助液滴分离操作的一个或多个物理结构。还提供了填充操作。本发明还提供了将与顶部基板相关联的储存器用于操作液体的输入 / 输出(I/O)的液滴致动器。本发明的操作液体 I/O 机构的实施例的

实例可以包括液滴致动器,其具有提供电极布置的储存电极(例如,电湿润电极);顶部基板,具有相对于储存电极定位的开口;以及储存器基板,具有相对于顶部基板中的开口定位的储存器。根据以上提供的定义,根据以下论述,本发明的其他实施例将是显而易见的。

[0078] 用于液滴的模拟计量的电极配置

[0079] 图 1A 和图 1B 示出了电极配置 100 以及分配具有预定体积的液滴的过程的俯视图。被分配液滴的体积可以以模拟或数字方式来选择。电极配置 100 相对于液滴操作表面来配置,使得电极配置 100 中的电极可被用于引导液滴操作表面上的液滴操作。电极配置 100 包括储存电极 110,其用作液滴分配操作的液体源,位于分配电极 114、118、122 的配置附近。

[0080] 分配电极 114、118、122 可被配置为分配特定液滴体积范围内的液滴。在示出的实施例中,分配电极包括具有标准液滴操作电极几何形状的电极 114、具有其中带有凹槽或凹口的标准液滴操作几何形状的电极 118 以及通常呈三角形的电极 122。三角形电极 122 的窄端朝向储存电极定向,并处于电极 118 的凹槽或凹口中。三角形电极 122 的宽端在诸如电极 126 和 130 的液滴操作电极(例如,介电泳电极或电湿润电极)附近。电极配置沿通过配置中每个电极中心的轴排列,通过其可以理解,直线轴是有帮助的但不是本发明操作必须的。

[0081] 图 1A 示出了位于储存电极 110 顶部的液体 134 的体积。当电极 114、电极 118 和三角形电极 122 被激活时,液滴拉伸 138 在储存电极 110 处流出液体 134 的体积到达激活电极上。液滴拉伸 138 通常遵循激活的液滴操作电极的形状。

[0082] 液滴拉伸 138 的长度取决于施加到三角形电极 122 的电压。施加的电压增大,则液滴拉伸 138 的长度也增大。例如,当电压 V1 被施加到三角型电极时,液滴拉伸 138 延伸了某一距离。当大于电压 V1 的电压 V2 被施加到三角形电极 122 时,液滴拉伸 138 延伸了某一更大的距离。当大于电压 V2 的电压 V3 被施加到三角形电极 122 时,液滴拉伸 138 延伸了某一进一步更大的距离。电压可以在离散步骤中和/或以模拟的方式改变。

[0083] 参考图 1B,一旦液滴拉伸 138 延伸到液滴操作表面上的期望距离,电极 114 和 118 中的一个或两个将被去激活,而三角形电极 122 保持激活。中间电极的去激活使液滴 138 形成在三角形电极 122 的顶部。液滴 138 的体积取决于施加到三角形电极 122 的电压。例如,当电压 V1 被施加到三角形电极 122 时,液滴 138 为某一体积。当大于电压 V1 的电压 V2 被施加到三角形电极 122 时,液滴 138 具有某一更大的体积。当大于电压 V2 的电压 V3 被施加到三角形电极 122 时,液滴 138 具有某一进一步更大的体积。

[0084] 图 1A 和图 1B 所示本发明的方面提供了一种改变在液滴致动器上分配液滴的体积的方法。体积可以以模拟方式或数字方式来改变。该方法利用一组液滴分配电极,其包括一个或多个中间电极和伸长的终端电极。通过改变施加到伸长的终端电极的电压,分配液滴的体积将被可控地改变。伸长的终端电极可以以允许液滴拉伸的长度在伸长的电极顶部被控制的方式来配置。例如,可以通过控制视角的伸长的电极的电压来实现该控制。在可选实施例中,终端电极可以被横向地伸长或者横向且轴向地(相对于电极路径的轴)伸长。

[0085] 伸长的电极通常可以为三角形,其具有指向在分配期间液滴从母液滴中分离的区域的顶点。可以使用其他逐渐变细的电极形状,例如,梯形(例如,等腰梯形)、不等边四边形、拉长的五边形、拉长的六边形以及其他拉长的多边形(例如,通常相对于沿拉长多边形

的长度延伸的中心定位轴中心对称的拉长的多边形)。在示出的三角形的实施例中,增大施加到三角形电极的电压使得液滴拉伸从顶点向三角形的宽端延伸。因此,通过相似地控制分配电极上的电压,可以形成较长或较短的液滴拉伸,并且可以控制被分配液滴的体积。

[0086] 图 1C 示出了可选实例,其中,锥形电极被一系列电极棒替代。电极配置 101 包括分配电极、液滴操作电极 114 和 118 以及棒配置 123,其由一系列电极棒 124 组成。电极棒 124 可以以任何方式进行定向,其中,从相对于电极 118 附近的棒开始并在相对于棒 118 的远端的电极棒 124 的方向延续的电极棒的顺序激活将逐渐延伸电极配置 123 顶部的体积。一旦达到电极配置 123 顶部的预定体积,就可以通过去激活诸如电极 118 和 114 的中间液滴操作电极来形成液滴。在一个实施例中,电极棒 124 具有与相邻的液滴操作电极 118 的横向尺寸相似的横向到轴尺寸。在一个实施例中,电极棒 124 具有与相邻的液滴操作电极 118 的横向尺寸几乎相同的横向到轴的尺寸。在一个实施例中,电极棒的轴向尺寸的范围从相邻液滴操作电极 118 的轴向尺寸的大约 0.75% 到大约 0.01%。在另一实施例中,电极棒的轴向尺寸的范围从相邻液滴操作电极 118 的轴向尺寸的大约 0.5% 到大约 0.1%。在另一实施例中,电极棒的轴向尺寸的范围从相邻液滴操作电极 118 的轴向尺寸的大约 0.25% 到大约 0.1%。

[0087] 在一些情况下,控制可以通过横跨电极产生的场梯度来实现。例如,场梯度可引起液滴拉伸随着电压的增加而变长。用于横跨电极建立场梯度的其他技术的实例为使用各种电极图案或者形状通过介电材料的掺杂或厚度引起的电极顶部的介电材料的介电常数的梯度。以下论述实例。终端电极可以被设置在任何配置中,或者可以包括使液滴拉伸的长度取决于诸如施加到终端电极的电压的终端电极特征的任何结构或形状。例如,电极在一端可以比在其他端在垂直方向更厚。进一步,可以提供各种实施例,其中,一个或多个对电极也可以被用于控制横跨终端电极的液滴拉长的长度。

[0088] 通过文中描述的创新分配技术促进的体积控制具有广泛的各种应用。在一个实例中,液滴体积控制促进可变比率的混合。代替以二进制混合树执行多重复杂的液滴操作以产生具有期望混合比率的液滴,具有期望体积的液滴可以被简单地分配和组合。例如,如果期望混合比率为 1.7 比 1,则具有 1.7 单位体积的液滴可被分配并与具有 1 单位体积的液滴组合。

[0089] 在一些实施例中,沿伸长电极的液滴拉伸的延伸可以通过检测液滴拉伸的程度以及在液滴拉伸达到某一预定长度时影响液滴形成来进一步控制。这种检测形式的实例包括视觉检测、基于成像的检测以及基于液滴拉伸的电特性(例如,液滴拉伸相对于周围填充物流体的电特性)的各种检测技术。例如,在一些实施例中,电容检测技术可以被用于确定或监控液滴拉伸长度。

[0090] 反馈机构可用于控制诸如液滴分离或分配的液滴形成。例如,反馈机构可以在液滴形成过程中使用,以控制子液滴的体积。新液滴的形成需要连接两个液体主体的弯月面的形成和分开,这通常在文中被分别称为“颈缩”和“分离”。反馈机构可用于监控液滴和/或弯月面的形状和位置,以确定分开是否将导致不等或不规范的液滴体积。然后可以对电压和/或电压调整的定时进行调整。例如,阻抗感测可用于监控电湿润电极的电容性负载以推断液滴的交叠,以及通过参考来推断电极分离过程中由每个电极支持的体积。反馈可用于在幅值、频率和/或形状方面动态地改变施加的电压,以导致更多的受控液滴形成。

[0091] 在一个实施例中,伸长终端电极处的电容可以被监控,以确定液滴拉伸的体积,并且在拉伸达到足以产生具有期望液滴体积的液滴的预定长度时,一个或多个中间电极可以被去激活。适当电容检测技术的实例参见 Sturmer 等人 2008 年 8 月 21 日公开的题为“Capacitance Detection in a Droplet Actuator”的国际专利公开第 W0/2008/101194 号以及 Kale 等人 2002 年 10 月 17 日公开的题为“System and Method for Dispensing Liquids”的国际专利公开第 W0/2002/080822 号,其全部内容结合与此作为参考。在另一实施例中,可以通过使用独立于用于液滴操作的电极的电极来监控推进接触线的阻抗。例如,沿电极 114、118、122 和 126 的侧面的伸长电极可以用于监控推进液滴的阻抗。这些伸长的阻抗检测电极可以专用于阻抗的检测,并且它们可以与液滴操作电极严格地共面、或者基本共面、或者在诸如顶部板的另一平面中。

[0092] 在一些实施例中,使用中间电极或电极部件而不是使用终端电极来建立液滴体积的可变性。例如,参考图 1D 和图 1E,分配配置 150 或 151 包括分配电极 155;中间电极 160,用于使液滴分离(在一些实施例中,可以具有文中描述的任何其他中间或液滴分离电极配置);横向延伸的电极 167 或电极配置 165;以及终端电极 170。电极 167 或电极配置 165 相对于分配配置 150 或 151 中的其他电极横向配置。分配配置 150 可以与一个或多个附加液滴操作电极 175 相关联。在可选实施例中,电极 122 的定向可以被翻转,即,顶点远离对应储存电极 110 定向以及宽端接近于储存电极 110 定向。

[0093] 在所示实施例中,该组中的电极被激活,以使液滴沿分配配置 150 的电极且在终端电极 170 上延伸。在分配配置 150 中,可以通过选择性地电压施加到电极配置 165 的一个或多个子电极 166 来控制液滴体积。在分配配置 151 中,可以通过改变施加到电极 167 的电压来控制液滴体积;增大电压则由液滴覆盖的横向延伸电极的面积也增大。当例如根据观察或计算达到预定体积时,中间电极 160 被去激活,使得在横向延伸电极 167 或电极配置 165 以及终端电极 170 上形成液滴。横向延伸电极可以具有任何形状。例如,它可以为圆形、卵形、矩形、菱形、星形、沙漏型等。用于相对于终端电极构建文中描述的场梯度的各种技术中的任一种还可以相对于横向延伸的中间电极来使用。各种技术还可以被结合到单个电极配置中和/或关于单个电极。例如,可以利用介电掺杂、介电厚度、电极掺杂、电极厚度和/或电极形状来控制电场。横向延伸的中间电极可以以相对于电极组的轴的一个或两个方向延伸。在不背离本发明的情况下,附加电极可以被插入到在具体示出的实例中描述的电极之间。

[0094] 在另一可选实施例中,代替为了构建电场梯度来改变电极处的电压,通过施加预定时间周期的预定电压来产生梯度。当然,两种方法的组合也在本发明的范围内。该方法适用于终端伸长电极技术以及中间横向延伸电极技术。施加电压的定时可以在液滴形成之前建立特定液滴拉伸长度。以这种方式,具有预定体积的液滴可以被分配。由于可以预定液滴拉伸的传输时间,因此定时可以被用于分配具有预定体积的液滴。作为实例,施加到伸长或横向延伸电极的电压的定时可用于确定液滴拉伸体积,其确定液滴体积。由于液滴拉伸从拉伸电极的一端到另一端的传输时间可以被预定,因此定时可用于分配具有预定体积的液滴。类似地,由于液滴覆盖横向延伸电极的时间随着时间而改变,因此可以基于电极激活的持续时间来预测体积。在各种其他实施例中,施加电压的定时可以与电压改变相结合,以确定液滴拉伸的长度,从而确定分配的液滴的体积。

[0095] 本发明提供了相关实施例,其中,电场梯度通过电极形状和 / 或除电极形状之外的手段来构建。除形状之外,可以通过电极的电特性和 / 或与电极相关联的材料(例如,电极顶部的电介质和 / 或其他涂层)的电特性来调解图案化的场梯度。电极本身可以被图案化,例如,如图 8 中的电极 805 所示。电极可以由被图案化以提供期望图案化场梯度的不同导电材料来组成。具有不同电导率的导电材料和 / 或绝缘材料可以被图案化,以形成产生图案化场梯度的单个电极。相似地,具有不同电导率的导电材料可以被图案化,以形成产生图案化场梯度的单个电极。

[0096] 与电极相关联的材料可以以产生图案化场梯度的方式进行图案化。位于电极顶部的介电材料可以被图案化,以建立电极顶部的各个区域具有不同的介电常数的介电图形。因此,介电图形可以产生图案化场梯度。电极顶部的介电材料的图案化可以基于在介电材料中建立的厚度图案。具有不同介电常数的材料可以在电极顶部被图案化,以建立介电图形。

[0097] 在其他情况下,用于建立图案化场梯度的技术可用于模拟在电极组上引导液滴操作或者由特定性状的电极产生的液滴操作的效果。图案化场梯度可以呈现模拟由具有特定形状的电极产生的电场的特性,该电极的实例不限于包括图 1A 的电极 122、图 1C 的电极配置 123、图 1D 的电极 166、图 1E 的电极 167、图 8 的电极 805。图案化场梯度可以呈现例如图 1C 的电极配置 165、图 2A 的电极配置 214、图 3A 的电极配置 314、图 3B 的电极配置 356、图 3C 的电极配置 165 以及图 6A 的电极 614a、614b、614c 和 618 的各种组合的模拟电极配置的特性。类似地,用于引导文中描述以及本领域人员已知的液滴操作的各种标准电极配置可以用诸如这里描述的影响图案化场梯度的技术来代替或补充。例如,场梯度可以产生,其影响将液滴加载到液滴致动器中;分配来自源液滴的一个或多个液滴;将液滴分离、分隔或划分为两个或更多个液滴;在任一方向上将液滴从一个位置传输到另一位置;将两个或更多个液滴合并或组合成单个液滴;稀释液滴;混合液滴;搅动液滴;使液滴变形;将液滴保持在特定位置;孵化液滴;加热液滴;蒸发液滴;冷却液滴;布置液滴;将液滴传输出液滴致动器;以及上述操作的各种组合。作为实例,在液滴分离操作中,横跨三个电极的场梯度可以被建立,使得在第一较高的电压处,将沿伸长电极形成伸长的液滴,以及在第二较低的电压处,液滴将被分离,产生两个子代液滴。

[0098] 在一个实施例中,场梯度被图案化,以随着时间或利用施加到电极(例如,参照图 1A 和图 1B 的电极 122 所描述的)的电压改变来影响可控液滴拉伸。例如,终端电极处的场梯度可以以随着时间或利用施加到电极的电压改变影响可控液滴拉伸的方式来改变。在另一实例中,终端电极可使用诸如参照图 8 的电极 805 描述的轨迹技术来配置,其随着时间或利用施加到电极的电压改变影响可控液滴拉伸。

[0099] 图 2A、图 2B 和图 2C 示出了电极配置 200 以及通过在液滴形成过程期间控制液滴的排出来分配具有更高准确度和 / 或精度体积的液滴的过程的俯视图。电极配置 200 包括电极 210a 和 210b(例如,电湿润电极),它们之间配置有中间液滴分离电极配置 214。在所示实施例中,中间电极配置 214 由两个横向电极 218(例如,具有半圆形几何形状的横向电极 218a 和 218b)以及布置在两个横向电极之间的颈缩电极 222(例如,具有沙漏型几何形状)形成,如图 2A、2B 和 2C 所示。

[0100] 图 2A、图 2B 和图 2C 示出了使用电极配置 200 执行液滴分离操作的一系列步骤。

首先,如图 2A 所示,通过激活电极 210a、电极配置 214 的所有部分和电极 210b 横跨电极配置 200 形成伸长的液滴 230。然后,如图 2B 所示,去激活电极 218a 和 218b,而电极配置 200 中的所有其他电极都保持激活。电极 218a 和 218b 的去激活开始了颈缩过程,其中,中间电极配置 214 顶部的液滴 230 的中间区域的宽度被缩小。液滴 230 仍然从电极 218a 到电极 218b 横跨电极配置 200;然而,可拉长体(slug)230 的颈部 234 的宽度通过遵照颈缩电极 222 的形状可控地缩小。第三,如图 2C 所示,颈缩电极 222 被去激活,而电极 218a 和 218b 保持激活。在过程中的该点处,整个中间电极 214 被去激活,使得颈部 234 被分开,产生两个子代液滴 230a 和 230b。电极 210a 和 210b 中的每一个都可以被较大的储存电极所替代。附加电极可以被插入到在具体示出的实例中描述的电极中,而不背离本发明。

[0101] 图 2 所示的实施例示出了在液滴分配期间控制颈缩以产生具有预定体积的一个或多个子代液滴的各个实施例。在这些实施例中,提供了液滴操作电极的路径。路径包括一个或多个中间电极配置。液滴分离发生在中间电极配置处。中间电极配置被配置为允许多步液滴颈缩和分离的操作。一般而言,通过顺序去激活从液滴边缘附近的电极开始的电极(例如,电极 218a 和 218b)并持续到中心定位的电极(例如,电极 222)来影响受控的颈缩和分离。

[0102] 本发明提供了相关实施例,其中,电场被可控地操作,以从液滴的颈部区域的外部边缘到液滴的颈部的中心区域缩小电场,从而产生相似的受控颈缩和分离过程。例如,在一些实施例中,可以设置单个中心电极,并且中心电极顶部的介电材料可以建立介电外形,其随着中心电极处电压的减小而实现可控的颈缩和分离。在另一实施例中,可以设置单个中间电极,电极本身可以以随着中心电极处电压的减小影响可控的颈缩和分离的方式来进行掺杂、图案化、成形和/或空间定向。在又一实施例中,分离电极可使用如参照图 8 描述的轨迹技术来配置,以随着电极上电压的减小来提供可控颈缩。

[0103] 文中描述的图案化场梯度技术可用于实现与通过电极配置 214 实现的过程相似的逐步受控的颈缩和分离过程。例如,电极 214 可以被诸如电极 210a 的标准液滴操作电极来代替。图案化的场梯度技术可以产生一个场梯度,其中,如图 2A 所示,在第一较高的电压处使液滴可以横跨三个电极。然后,在第二降低的电压处使液滴遵循与如图 2B 所示图案相似的第二电湿润图案。如图 2C 所示的,在第三进一步降低或去激活的电压处,使颈部分开,在侧面电极上形成 2 个子代液滴。类似地,可以将图案化场梯度用于模拟或基本模拟的颈缩和分离过程,其中,液滴颈部逐渐变窄,然后随着施加到电极的电压以模拟或基本模拟的方式减小时分开。

[0104] 图 3A 示出了包括用于可控地分配具有更高准确度和/或精确度体积的液滴的中间电极配置 314 的电极配置 300 的俯视图。中间电极配置 314 通过在液滴形成过程期间控制从伸长液滴的颈部区域的液体排出来增强液滴体积的准确度和/或精度。电极配置 300 包括电极 310a 和 310b(即,电湿润电极)和布置于其间的中间液滴分离电极配置 314。中间电极配置 314 包括一组颈缩电极 322。

[0105] 颈缩电极 322 通常以允许其模拟在分离操作期间液滴颈部的边缘曲线的方式来成形。在所示实施例中,三个颈缩电极 322A、322B、322C 被设置在中心颈缩电极 318 的每一侧。颈缩电极 322 通常在液滴颈部的边缘方向上凸出。在存在中心颈缩电极 318 的情况下,颈缩电极 322 通常将在远离颈缩电极 318 的方向上凸出。在不存在中心颈缩电极 318 的情

况下,颈缩电极 322 通常以远离从电极 310A 的中心定位点到电极 310B 的中心定位点延伸的中心轴地突出。中心颈缩电极 318 通常是对称的并且相对于颈缩电极 322 中心定位。在所实施例中,中心颈缩电极 318 通常是直线的;然而,应当清楚,在本发明的范围内,其他几何形状是可能的。例如,中心颈缩电极 318 可以具有类似于图 2 中的电极 322 的沙漏形状。中心颈缩电极 318 也可以为以下如图 9 所示的 I 型。

[0106] 相比于图 2 的中间电极配置 214,图 3A 的中间电极配置 314 示出了电极更好的图案化(即,更好的梯度)。中间电极配置 314 的每个电极段被独立控制,或者可选地,匹配组可以被一起独立控制。例如,中间电极 318 每一侧上的电极 322A 可被一起控制,电极 322B 可被一起控制,以及电极 322C 可被一起控制。结果,在液滴形成期间每个电极对的去激活可以以被选择以控制伸长液滴(未示出)的颈部体积(即,排出)的去激活顺序来实现。

[0107] 在操作中,所有电极 310A 和 310B 以及中间电极 314 中的一些或所有可被激活,以横跨电极配置 300 伸长液滴。中间电极可被顺序地去激活,以可控地引起颈缩和分离液滴形成操作。例如,去激活电极 322A,接着去激活电极 322B;然后去激活电极 322C,然后去激活中心颈缩电极 318。随着每组电极被顺序地去激活,伸长液滴的颈部直径逐渐变窄并分开。在分离操作期间控制液体从液滴颈部排出将提高分配液滴体积的准确度和/或精度。电极 310a 和 310b 中的每一个都可以被较大的储存电极代替。在不背离本发明的情况下,附加电极可被插入到在具体示出的实例中描述的电极之间。

[0108] 图 3B 示出了包括被配置用于分配液滴的中间电极配置 354 的电极配置 350 的俯视图。由于在液滴形成期间对中间电极 354 进行的颈缩过程的控制,因此使用电极配置 350 分配的液滴可具有更高准确度和/或精度的体积。

[0109] 电极配置 350 包括电极 310A 和 310B(例如,电湿润电极)。中间电极配置 354 布置在电极 310A 和 310B 之间。中间电极配置 354 包括一组几何形状相似的三角形电极 354。电极 354 被布置以形成正方形。应当理解,各种可选布置是可能的。可以使用多于四个的三角电极。三角电极可以相对于图 3B 所示的三角电极伸长或缩短,例如,图 3C 中所示的伸长的电极 356。

[0110] 如图所示,中间电极配置包括电极 354A 和电极 354B。电极 354A 被配置以在液滴分离操作期间帮助控制伸长液滴的颈缩。电极 354A 包括通常彼此平行并与伸长液滴的外部边缘相邻的外部边缘。每个电极 354A 均具有指向中间电极配置 354 中的一般中心点的顶点。电极 354B 的配置与电极 354A 的配置通常相同,除了电极 354B 以相对于电极 354A 的直角布置。电极 354A 和 354B 一起形成了中间电极配置 354,其通常为正方形。在可选实施例中,配置的整体形状可以为沙漏型(例如,类似于图 2A 中的电极 222)或 H 型(例如,类似于图 9 中的电极 905a)。

[0111] 中间电极配置 354 的每个电极都可以被单独控制。可选地,电极 354A 可以被一起控制,而电极 354B 可以被一起控制。在液滴形成期间电极 354A 的去激活帮助控制液滴颈缩和分离。在分离操作中,电极 310A、310B 和电极配置 354 可以被激活,以使伸长液滴横跨电极配置 350 延伸。电极 354A 可以被去激活,以开始颈缩。电极 354B 可以被去激活以实现液滴分离,生成两个子代液滴。本领域技术人员根据本公开可以容易地想到具有更多三角形电极的类似实施例。

[0112] 图 3C 示出了与图 3B 所示配置基本相同的电极配置,除了中间电极配置 354 沿着

液滴路径的方向伸长。

[0113] 如其他实例,可以通过检测被形成液滴的体积、颈缩范围或其他参数并以精确控制生成液滴的体积的方式影响液滴形成来进一步控制横向排出和液滴形成。这种检测形式的实例包括视觉检测、基于成像的检测以及基于液滴拉伸的电特性(例如,液滴拉伸相对于周围填充物流体的电特性)的各种检测技术。例如,电容检测技术可用在用于确定或监控横向排出和/或液滴形成的一些实施例中。例如,可以基于分配液滴的检测体积来控制施加到颈缩电极或电极配置的电压。

[0114] 尽管参照形成具有基本相同体积的两个子代液滴的液滴分流操作描述了如图3所示的配置,但相似的配置可用于液滴分配操作。一般而言,在液滴分配操作中,横向电极(例如,310A和310B)将具有不同的尺寸。例如,一个外部电极可以具有储存电极的尺寸和形状,而其他电极可以是标准液滴操作电极。

[0115] 此外,虽然示出了具有单个中间电极配置的实例,但也可以是多个中间电极配置。例如,在一个实施例中,电极路径包括散布有一个或多个中间电极配置的多个液滴操作电极。组中的所有电极都可以被激活,以使液滴沿电极路径延伸。然后,可以以分段方式将诸如参照图3描述的中间电极配置去激活,以可控地形成多个液滴。如其他配置,诸如电极掺杂、介电掺杂、电极厚度、介电厚度、轨迹电极、对电极和其他技术的可选技术可被用于模拟通过所描述电极配置实现的可控分离。

[0116] 图4A和图4B分别示出了液滴致动器电极配置400的俯视图和侧视图。电极配置400提供了“分段的”液滴分配过程。液滴致动器400包括底部基板410和顶部基板414。基板410和414以基本平行的方式布置并被分开以在其间提供间隙416。包括与一组分配电极426(例如,电湿润电极)相邻的储存电极422的第一液滴分配配置418与底部基板410相关联。第一液滴分配配置418的电极426被布置在第二液滴分配配置430附近,使得可以使用液滴操作将通过第一液滴分配配置418分配的液滴传输到第二液滴分配配置430中。附加液滴操作电极(未示出)可以被插入到位置B。

[0117] 在一个实施例中,第二液滴分配配置430具有不同于第一液滴分配配置418的特征的一个或多个特征。例如,第二液滴分配配置430可以包括具有相对于第一液滴分配配置418的储存电极的尺寸不同的尺寸的储存电极。类似地,第二液滴分配配置430可以包括具有与第一液滴分配配置418的液滴操作电极的尺寸不同的尺寸的液滴操作电极。作为另一实例,第二液滴分配配置430可以包括具有与第一液滴分配配置418的间隙高度不同的高度的间隙417。在各个实施例中,都存在这些尺寸不同的一些或全部。

[0118] 类似地,在特定实施例中,第二液滴分配配置430具有小于第一液滴分配配置418的对应特征的一个或多个特征。例如,第二液滴分配配置430可以包括具有相对于第一液滴分配配置418的储存电极的尺寸更小的尺寸的储存电极。类似地,第二液滴分配配置430可以包括具有相对于第一液滴分配配置418的液滴操作电极的尺寸更小的尺寸的液滴操作电极。作为另一实例,第二液滴分配配置430可以包括具有相对于第一液滴分配配置418的间隙的高度更小的高度的间隙417。在各个实施例中,都存在这些尺寸不同的一些或全部。

[0119] 在另一实施例中,第二液滴分配配置430具有与第一液滴分配配置418基本相同的特征。

[0120] 在第二液滴分配配置 430 的间隙高度不同于第一液滴分配配置 418 的间隙高度的情况下,可以使用不同方式来实现高度的不同。在一个实例中,可以通过改变顶部基板 414 的外形来改变间隙 416 的外形。例如,顶部基板 414 的厚度可以在转变点 442(例如,台阶)处改变,使得顶部基板 414 在第一液滴分配配置 418 的区域中具有特定厚度,以及在第二液滴分配配置 430 的区域中具有不同的厚度。在该实例中,间隙 416 的高度可以与顶部基板 414 的厚度成反比。因此,间隙 416 在第一液滴分配配置 418 的区域中具有特定高度,以及在第二液滴分配配置 430 的区域中具有不同的高度。

[0121] 由于在液滴致动器 400 中分配的液滴的体积与诸如液滴操作电极尺寸和 / 或间隙高度的液滴分配配置的特征成比例,因此可以根据不同尺寸的液滴分配配置来分配具有不同体积的液滴。例如,在一个实施例中,第一液滴分配配置 418 被配置为分配具有比由第二液滴分配配置 430 分配的液滴更大的体积的液滴。以这种方式,可以由第一液滴分配配置 418 分配大液滴,并传输到第二液滴分配配置 430 的储存电极 434。相对较小的液滴可以由第二液滴分配配置 430 来分配。

[0122] 以这种方式,液滴致动器 400 提供了用于“阶段”液滴分配的机构,其中,在该实例中,每个连续的阶段产生比前一阶段更小的液滴。液滴致动器 400 不仅限于两个液滴分配阶段。液滴致动器 400 可以包括任意数量的液滴分配阶段,从而提供逐渐越来越小的液滴的多个阶段。以这种方式,从较大液体体积和较大液滴到较小液体体积和较小液滴的缩放可以在同一液滴致动器中实现。

[0123] 此外,被分配液滴的体积可以取决于分配电极顶部的液滴的体积。本发明的阶段分配方法可用于将第二分配电极顶部的液体体积保持在预定范围内,以将由第二分配电极分配的液滴保持在预定液滴体积内。将由第二分配电极分配的液滴保持在预定液滴体积内可以导致使用第二分配配置 430 分配的液滴的更高准确度和 / 或精度。

[0124] 在操作中,电极 422 和 426 可用于从液滴 450 中分配具有第一体积的子代液滴。可以使用利用储存电极和液滴分配电极从父代液滴中分配子代液滴的各种技术。在一种这样的技术中,电极 422 和 426 被激活,以使父代液滴沿电极 426 的路径延伸。电极 426 中间的一个或多个可以被去激活,以在电极 426 的路径上产生一个子代液滴。在该实施例中也可以使用为可控地颈缩和分离设计的中间电极。还可以包括为控制分配的体积设计的终端电极。可以使用液滴操作在储存电极 434 上传输子代液滴。

[0125] 以这种方式,储存电极 434 可以可控地提供液体。因此,可以将液滴 454 的体积建立在预定范围内,以提高由液滴分配配置 438 分配的液滴的准确度和 / 或精度。类似地,在间隙 416 和 / 或液滴操作电极 438 沿第二液滴分配配置 430 相对于沿液滴分配配置 418 的液滴操作电极 426 变小的实施例中,可以由液滴分配配置 430 来分配较小体积的液滴。在一个实例中,沿第一液滴分配配置 418 形成的液滴可以具有几微升的体积,以及沿第二液滴分配配置 430 形成的液滴可以具有几纳升的体积。

[0126] 图 5 示出了将物理结构用于辅助液滴致动器中的液滴分离操作的电极配置的俯视图。液滴配置 500 可以包括诸如阵列或格栅的电极(例如,电湿润电极)配置 510。如图所示,电极配置 500 包括电极 510 的通道 1、通道 2 和通道 3。附加物理阻挡物 514 在通道 2 处被集成到电极配置 500 中,来代替通道 2 中的电极 510。在一个实例中,阻挡物 514 可以由例如干膜焊接掩模的衬垫材料构成。

[0127] 在操作中,当伸长的液滴 518 沿着电极 510 的格栅传输时,阻挡物 514 与伸长的液滴 518 相交,使得伸长的液滴 518 被分成两个液滴 522。更具体地,在第一步骤中,形成横跨三个电极 510 的伸长的液滴 518。在第二步骤中,伸长的液滴 518 经由电湿润操作沿电极 510 向阻挡物 514 传输。在第三步骤中,阻挡物 514 与伸长的液滴 518 相交。在第四步骤中,伸长的液滴 518 沿电极 510 的传输继续,直至由于阻挡物 514 的动作而产生分离,这导致两个子代液滴 522 的形成。阻挡物 514 产生可再生的分离操作,该操作产生每一个均具有基本同样体积的子代液滴。

[0128] 在可选实施例中,伸长的液滴 518 可以横跨任意数量的电极 510 和 / 或电极可以具有各种尺寸中的任一个,使得伸长的液滴可以经由阻挡物 514 在沿伸长液滴 518 的任意点范围内分开。换句话说,液滴分开的点可以被改变,以产生子代液滴,例如,2 : 1 的分离比、3 : 1 的分离比、4 : 1 的分离比等。物理分隔物可以是如图 5 所示的伸长分隔物,或者例如从底部基板向液滴致动器的顶部基板延伸的柱状物的较短分隔物。物理分隔物可以从底部基板向物理分隔物的顶部基板延伸,或者可以在其间填充任何足够的空间以使液滴分离。如图 5 所示,电极可以从物理分隔物的区域省略,在其他情况下,电极可以位于物理分隔物之下。

[0129] 图 6A 示出了与分配液滴相结合的填装操作在液滴致动器中的电极配置 600 的俯视图。图 6A 示出了为装载液体 608 而定位在储存电极 610 处的填装入口 606,其在电极 614(例如,电湿润电极)的路径附近。此外,如图 6A 所示,沿电极 614 的路径布置有两个侧面电极 618。两个侧面电极 618 用于:(1) 在液滴分离操作期间辅助液体的“拉”回,以及(2) 在液滴颈缩和分离操作期间增强排出。可选地,应当理解,电极 618 可用于控制分配液滴的体积,而电极 614a 用于分离液滴。

[0130] 在操作中,首先电极 614(例如,电极 614a、614b、614c 和 614d) 的路径全部被激活,并且液滴延伸 608 从储存电极 610 沿电极 614a、614b、614c 和 614d 流动。侧面电极 618 首先被去激活。一旦形成了液滴延伸,就通过激活作为中间电极的中间电极 614c 以及激活两个侧面电极 618 在电极 614 处分配液滴。各种激活顺序都是可能的。侧面电极 618 可以随着中间电极 614c 的去激活而激活。侧面电极 618 可以与中间电极 614c 的去激活基本同步地激活。根据本发明可以使用在电极 630 处可靠地产生液滴的任何激活顺序。

[0131] 侧面电极 618 可以在电极 614a 处提供辅助液滴形成的“拉”动作。侧面电极 618 可以提供液体可排出的位置,还辅助液滴分离操作。在液滴分离操作期间控制液体从液滴的颈部排出可以提高分配液滴体积的准确度和 / 或精度。在可选配置中,电极 618 可以与电极 614b 连接作为单个侧面排出电极。

[0132] 如其他实例,可以通过横跨侧面排出电极产生的场梯度来实现排出的控制。例如,场梯度可以随着电压的增大而导致横跨侧面排出电极的液滴拉伸的变长。用于建立横跨侧面电极的场梯度的另一技术的实例是使用各种电极图案或形状由介电材料的掺杂或厚度引起的电极顶部的介电材料的介电常数的梯度。可以以任何配置来提供侧面排出电极,或者侧面排出电极可以包括使液滴延伸的长度取决于诸如施加到终端电极的电压的终端电极的特性的任何结构或形状。例如,电极可以是垂直中心较厚而朝向侧面延伸变薄。此外,可以提供各种实施例,其中,一个或多个对电极也用于控制横跨终端电极的液滴延伸的长度。

[0133] 如其他实例,可以进一步通过检测液滴延伸范围并在液滴延伸达到某一预定长度时实现液滴形成来控制侧面排出和液滴形成。这种检测形式的实例包括视觉检测、基于成像的检测和基于液滴延伸的电特性(例如,液滴延伸相对于周围填充物流体的电特性)的各种检测。例如,电容检测技术可用在用于确定和/或监控侧面排出和/或液滴形成的一些实施例中。例如,可以基于分配液滴的检测电压来控制施加到侧面排出电极的电压。

[0134] 图 6B 示出了电极配置 640 的俯视图。图 6B 示出了被配置以在储存电极 650 处加载液体 648 的填装入口 646。例如,填装入口 646 可以被设置在液滴致动器的顶部基板中。储存电极 650 位于第二储存电极 654 附近,以形成储存电极对。在一些实施例中,储存电极 650 和 654 可以具有互锁的榫舌(656)凹口(657)几何结构或者沿它们的公共边缘交错对插。储存电极 654 在被配置用于从储存电极 645 分配液滴的电极 658(例如,电湿润电极)的路径附近。

[0135] 在操作中,电极 658(例如,电极 658a、658b 和 658c)被激活,以随着来自储存电极 650 和储存电极 654 的液体沿着电极 658a、658b 和 658c 流动来形成液滴延伸 648。一旦形成了液滴延伸,就可以通过去激活中间电极 658a 使液滴在电极 658b 处分配。电极 658c 可以保持被激活,以提供辅助液滴分离操作的“拉”动作。因此,“液滴”(未示出)可以在电极 658b 和 658c 处形成。

[0136] 图 7A 示出了被配置用于通过修改指定目标电极处的间隙布局来提供改进的液滴分配的液滴致动器 700 的侧视图。液滴致动器 700 包括顶部基板 710 和底部基板 722。通过间隙 723 隔开顶部基板 710 与底部基板 722。顶部基板 710 与被配置以用作设置在间隙中的液滴接地的接地电极 714 相关联。底部基板 722 包括液滴操作电极 726,以适当的方式配置用于在间隙中引导一个或多个液滴操作。两个基板均包括面向间隙的介电层 718,作为液滴致动器的典型方式,介电层可以疏水的或者可以被疏水涂层(未示出)覆盖。位于间隙 723 中的液滴 740(图 7B)可以在液滴操作表面 719 上进行液滴操作。

[0137] 本发明在液滴操作表面 719 和/或上表面 720 中设置了凹陷区域 734,例如,凹陷区(divot)。凹陷区域 734 可以位于一个或多个液滴操作电极的顶部。例如,所图所示,凹陷区域 734 位于电极 726d 顶部。凹陷区域 734 可以以稳定电极顶部液滴的方式来配置。例如,凹陷区域 734 可以以液滴分离期间稳定电极顶部液滴的方式来配置。

[0138] 凹陷区域 734 可以以相对于缺少凹陷区域的对应配置提高液滴在电极处的稳定性的方式在通常电极顶部的基板的表面处呈现物理外形的任何改变。提供足以提高液滴在电极处稳定性的凹陷区域的任何配置都将满足要求。凹陷区域的尺寸和形状可以改变。凹陷区域通常可以与相关电极的形状和尺寸相对应;然而,与相关电极的形状和尺寸严格对应的凹陷区域的形状和尺寸不是必须的。提供液滴在电极处增强稳定性的充分重叠将满足要求。凹陷区域的尺寸和形状可以被选择,以提高分配液滴体积的准确度和/或精度。

[0139] 图 7B 示出了液滴分配操作期间使用的液滴致动器 700 的侧视图。在操作中,与凹陷区域相关联的电极相邻的电极可以被激活,并且中间电极可以被去激活,以使位于凹陷区域的液滴形成。如图所示,电极 726a、726b、726c 和 726d 被激活,以使液滴延伸流过被激活的电极。电极 726c 被去激活,以使位于电极 726d 顶部的凹陷区域 734 中的液滴形成。由于凹口 734 处具有较大间隙,因此液体固有地趋向于保持在凹口 734 中。此外,凹口 734 处的压力差有助于拉住液滴或者使液滴流入凹口 734。

[0140] 可以设置多个凹陷区域。例如,凹陷区域可以被设置在电极 726b 的顶部(未示出)或 726d 的顶部(如图所示)。液滴可以设置在激活的电极 726b、726c 和 726d 的顶部。电极 726c 可以去激活,以使液滴分离,产生子液滴,一个在电极 726b 顶部的凹陷区域 734 中,另一个在电极 726b 顶部的凹陷区域(未示出)中。凹陷区域的尺寸和形状可以被选择,以提高子代液滴体积的准确度和 / 或精度。

[0141] 本领域技术人员考虑到文中提供的公开应当了解各种可选配置。例如,在一些实施例中,凹陷区域可以与多个电极相关联。凹陷区域可以与 2、3、4 或更多个电极相关联。液滴分离操作可以在拉伸的凹陷区域中产生位于 2、3、4 或更多个电极顶部的液滴。在另一实施例中,单个液滴致动器可以包括具有不同尺寸和 / 或与不同数量电极相关联的各种凹陷区域。凹陷区域可以被设置作为介电层中的缺口。区域可以被设置为介电层和电极中的缺口。区域可以被设置为介电层、电极以及基板材料中的缺口。区域可以被设置为介电层和基板材料中的缺口。凹陷区域可设置在底部基板、顶部基板或顶部基板和底部基板中。

[0142] 图 8 示出了液滴分离或分配过程期间控制颈缩和分离的另一实施例。在该实施例中,颈缩和分离电极包括金属线轨迹,其中,金属线在中心区域间隔更密且在外围区域间隔更稀疏。随着施加到颈缩和分离电极的电压被较小,颈部直径被可控地缩小,从而提高子代液滴体积的准确度和 / 或精度。图中还示出了用于布置中间颈缩和分离电极的可选配置,其可用于文中描述的任何其他实施例。电压可施加到沿轨迹的任一点。在一个实施例中,将电压施加到轨迹的接触通常中心定位。

[0143] 图 8A 示出了适用于液滴分离的布置。电极配置 800 包括在颈缩和分离电极 805 侧面的液滴操作电极 810a 和 810b。在操作中,所有三个电极可以被激活,以使液滴横跨电极配置 800 拉伸。施加到电极 805 的电压可以逐步地减小,以控制液滴的颈缩和分离,在电极 810a 和 810b 的顶部生成两个子代液滴。

[0144] 图 8B 示出了适于液滴分配的布置。电极配置 880 包括储存电极 816、插入液滴操作电极 810a、颈缩和分离电极 805 以及配对操作电极 810b。储存电极 816 与液滴操作电极 810a 相邻,该液滴操作电极与液滴操作电极 810b 附近的颈缩和分离电极 805 相邻。在操作中,液滴可以被提供到储存电极 816 顶部。配置 840 中的所有电极都可以被激活,使液滴延伸从储存电极 816 开始拉伸,流过电极 805 和 810b。施加到电极 805 的电压可以逐步减小,以控制液滴的颈缩和分离,在电极 810b 顶部生成液滴。

[0145] 应当理解,这些配置中的轨迹电极可以被文中描述的用于控制颈缩和分离的其他电极所代替。文中描述的用于创建场梯度的其他技术可用于代替轨迹电极。此外,作为其他实例,可以监控液滴形成和相关参数,并且可以控制施加到分离电极的电压,以提高分配液滴体积的准确度和 / 或精度。

[0146] 图 9 示出了与图 2 所示电极配置 200 相似的电极配置 900。配置 900 包括与两个液滴操作电极 910 侧面相邻的中间颈缩和分离电极配置 905。颈缩和分离电极配置 905 包括内部 I 型电极 905a 和外部电极 905b。在操作中,电极配置 900 的所有电极都可以被激活,以形成横跨电极配置顶部的伸长液滴。电极 905b 可以被去激活,以开始伸长液滴的颈缩。电极 905a 可以被去激活,以开始伸长液滴的分离,在电极 910 顶部产生两个子代液滴。液滴分离操作期间控制液体从液滴颈部的排出可以提高液体液滴的准确度和 / 或精度。

[0147] 图 10 示出了与图 3 所示电极配置 300 相似的电极配置 1000。配置 1000 包括与两

个液滴操作电极 1010 侧面相邻的中间颈缩和分离电极配置 1005。颈缩和分离电极配置包括一系列通常为直线或伸长的电极,其包括中心电极 1005a、中间侧面电极 1005b 和外部侧面电极 1005c。在操作中,电极配置 1000 的所有电极可以被激活,以形成横跨电极配置顶部的伸长液滴。外部侧面电极 1005c 可以被去激活,以开始颈缩过程。中间侧面电极 1005b 可以被去激活,以继续颈缩过程。中心电极 1005a 可以被开始,以完成分离过程,在电极 1010 顶部生成两个液滴。在液滴分离操作期间控制从液滴颈部的液体排出可以提高液滴体积的准确度和 / 或精度。

[0148] 图 11A 和图 11B 分别示出了液滴致动器 1100 的一部分的侧视图和俯视图。液滴致动器 1100 包括与顶部基板 1122 相关联的用于操作液滴 I/O 的储存器基板 1130。储存器基板 1130 可以与顶部基板 1122 相结合或耦合到顶部基板 1122。液滴致动器 1100 包括具有储存电极 1114 的底部基板 1110。储存电极 1114 提供电极 1118 (例如,电湿润电极 1118a 和 1118b) 的布置。顶部基板 1122 包括开口 1126,其提供适于将来自储存器 1134 的液体传输到电极 1114 附近或与电极 1114 接触的路径。储存器基板 1130 包括储存器 1134 (其可以闭合,部分闭合或打开)。一些样本液体 1138 (操作液体 1138) 可以被容纳在储存器 1134 中。

[0149] 配置中的各种参数可以被调整,以控制分配结果。这种参数的实例包括:在底部基板 110 和顶部基板 122 之间的间隙  $h$ ; 储存电极 114 的宽度  $w$ ; 顶部基板 122 中开口 126 的直径  $D1$ ; 储存器 134 的直径  $D2$  和储存器的一般几何形状; 储存器 134 中操作液体 138 的高度  $H$ ; 填充物流体的表面张力  $\gamma_o$ ; 操作液滴 138 的表面张力  $\Gamma_l$ ; 操作液滴 138 与填充物流体的界面张力  $\gamma_{LO}$ ; 液滴致动器表面的临界表面张力  $\gamma_{solid}$ ; 液滴致动器表面上的液体接触角度  $\theta_s$ ; 储存器基板壁的临界表面张力  $\gamma_{well}$ ; 储存器基板壁上的液体接触角度  $\theta_w$ ; 施加电压  $V$ ; 施加电压处的接触角度  $\theta_V$ ; 施加电压的类型,即, AC 或 DC; 油月牙面; 顶部基板中的开口相对于储存电极的位置; 以及电极切换顺序。

[0150] 根据储存器的动作 (即,输入或输出),有利地相对于储存电极来调整底部基板 (和储存器) 的开口。例如,为了作为废液储存器,优选地开口与临近储存电极的第一电极重叠地定位,例如如图 12 所示。这种开口位置与在“布置”操作中使用的电极切换顺序的组合防止从储存器进行分配的任何疏漏。

[0151] 废液储存器可以做的尽可能大,以容纳大量废液。将储存器做的较大降低了储存器处的压力,这使得丢弃的液滴容易流入储存器,并防止从废液储存器进行分配的任何疏漏。将参照图 12A、图 12B、图 12C 和图 12D 更详细地描述储存器位置的一个实例。

[0152] 图 12A、图 12B、图 12C 和图 12D 示出了液滴致动器 1200 的侧视图。液滴致动器 1200 包括顶部基板之上的用于操作液体 I/O 的储存器基板。液滴致动器 1200 与图 1A 和图 1B 的液滴致动器 1100 基本相同,除了液滴致动器 1200 具有适于通过使用特定电极切换顺序处置液滴 (例如,液滴 1210) 的特定储存器 (1134) 至开口 (1126) 位置。优选地,废液滴为单位尺寸 (直径通常为单位电极的尺寸) 或单位尺寸的两倍 ( $2\times$ )。在一些实施例中,废液滴可以是单位尺寸的几倍。对于处置  $2\times$  液滴,改变切换顺序,使得两个电极同时保持 ON; OFF, ON, ON; ON, ON, OFF; ON, OFF, OFF; OFF, OFF, OFF。

[0153] 在类似的实施例中,顶部基板中的开口与第一电极和储存电极基本重叠是不必要的。在这种情况下, $1\times$  液滴的切换顺序为: OFF, ON; ON, OFF; OFF, OFF; 以及  $2\times$  液滴的切

换顺序为 :ON, ON ;ON, ON ;OFF, OFF。可选地,  $1\times$  或  $2\times$  液滴切换顺序可以被用于更大的液滴。该实施例还可以利用四个电极(未示出)来分配液滴,例如,使用切换顺序 :ON, ON, OFF, OFF ;ON, ON, ON, OFF ;ON, OFF, OFF, ON。

[0154] 图 12A 示出了顺序的第一步,其中,储存电极 114 关闭,电极 1118a 关闭,以及电极 1118b 关闭。在这个步骤中,一些操作液体 1138 保持在储存器 1134 中。图 12B 示出了顺序的第二步骤,其中,储存电极 1114 打开,电极 1118a 关闭以及电极 1118b 关闭。在这个步骤中,一些操作液体 1138 通过开口 1126 从储存器中拉出到储存电极 1114 上。图 12C 示出了顺序的第三步骤,其中,储存电极 1114 关闭,电极 1118a 打开以及电极 1118b 关闭。在这个步骤中,由于电极 1118a 的拉动作,从储存电极 1114 分配液滴 1210 到电极 1118a 上。图 12D 示出了顺序的第四步骤,其中,储存电极 1114 关闭,电极 1118a 关闭以及电极 1118b 打开。在这个步骤中,由于电极 1118b 的拉动作,将液滴 1210 从电极 1118a 传输到电极 1118b。

[0155] 另一实例切换顺序为 :ON, ON, OFF, OFF ;ON, ON, ON, OFF ;OFF, ON, ON, ON ;ON, OFF, OFF, ON。储存电极关闭的第三状态“OFF, ON, ON, ON”允许指状物容易地延伸到第四电极。在典型操作中,这种状态仅保持一秒中的一段时间(例如,大约  $1/4$  或大约  $1/8$  秒)。

[0156] 为了进入废液井 1134,液滴必须首先克服在储存器和顶部基板开口之间的压力差,然后克服开口与液滴致动器内部之间的压力差。这些压力差可以通过由液体产生的静水压头来克服。

[0157] 本发明还提供了储存器直径足够大以接受小、中和大体积吸管管嘴,而不必使用专用小直径凝胶涂覆管嘴的实施例。在一些实施例中,储存器直径应当大于大约 1 毫米(mm)。为了进一步避免储存器基板的顶部表面潮湿,储存器的直径可以根据例如将装载的液体的体积而变得更大。大于等于约 2mm 的储存器直径满足大范围的输入体积,例如,从大约  $5\mu\text{l}$  到大约  $5000\mu\text{l}$ ,或者从大约  $10\mu\text{l}$  到大约  $2000\mu\text{l}$ ,或者从大约  $50\mu\text{l}$  到大约  $1500\mu\text{l}$ 。

[0158] 在一个配置中,储存器为圆柱体。储存器可以以顶部基板中的开口为中心,如图 11A 和图 11B 的液滴致动器 1100 所示。顶部基板中的开口直径通常在大约 1mm 到大约 2mm 之间。储存器基板直径通常大于等于大约 1.5mm。所需的静水压头随着直径而增大,但渐进地接近恒定值,该值为液体-油界面张力、液体-固体接触角度、施加的压力和顶部基板与底部基板之间间隙的函数。还存在当超过时使液体自然地流入底部基板和顶部基板之间的间隙的静水压头。优选地,保持压头低于该值。

[0159] 图 16 所示的曲线图示出了在改变储存器井的直径时静水压头需求的典型状态。所要求的压头随着直径的增大渐进地接近恒定值。两条曲线(有电压和没有电压)之间的区域是分配的优选区域。比下部曲线更小的压头将阻碍液体装载入液滴致动器,以及比上部曲线更大的压头将导致液体自然的流入。闭死体积随着直径增大;然而,液体每增加 1mm,液滴的数量也随着相应的增加。对于给定储存器基板的高度,这意味着液滴数量的增多。

[0160] 下表 1 示出了对于免疫测定洗涤缓冲器(例如,用于导电珠洗涤操作)的两个不同开口直径的试验数据。顶部基板中的开口大约 2mm。顶部基板与底部基板之间的间隙为大约 200 $\mu\text{m}$ 。油为 2cSt 硅油中大约 0.1% 氚核 X-15 且被过量添加。储存器基板的厚度为大约 0.250 英寸。

[0161]

表 1			
储存器直径	装载的体积	闭死体积	液滴数
2 mm	20 $\mu\text{L}$	10-15 $\mu\text{L}$	15-25
3 mm	40 $\mu\text{L}$	20-25 $\mu\text{L}$	50-60

[0162] 图 13 示出了液滴致动器 1300 的侧视图。液滴致动器 300 与图 11A 和图 11B 的液滴致动器 1100 基本相同,除了液滴致动器 1100 的储存器基板 1130 被储存器基板 1310 代替。储存器基板 1310 包括储存器 1318,储存器 1318 包括具有直径 D1 的较大直径和具有限制直径 D2 的限制直径区域。储存器 1318 还包括锥形传输区域 1319,其中,储存器直径从直径 D3 逐渐变细到直径 D2。

[0163] 限制区域 1314 的高度 (H1) 可以大于对应于储存器具有直径 D2 的闭死体积的“闭死高度”。储存器基板 1310 的高度 (H3) 可以大于储存器具有直径 D3 的“闭死高度” (H2)。由于 D2 小于 D3,因此整个闭死体积变小。由于 D3 较大,因此生成的液滴数量将变多。例如,使用 H1 = 0.125 英寸、H3 = 0.250 英寸、D1 = 1.5mm 以及 D3 = 4mm,最终闭死体积从大约 5  $\mu\text{L}$  到大约 10  $\mu\text{L}$ ,并且能够从大约 40  $\mu\text{L}$  的初始操作液体体积中分配大约 100 个液滴。

[0164] 尽管最终闭死体积从大约 5  $\mu\text{L}$  到大约 10  $\mu\text{L}$ ,但液体的初始“激活”体积需要克服 D3 与 D2 之间的压力差。对于 D3 = 4mm 且 D1 = 1.5mm 的情况,发现该“激活”体积从大约 15  $\mu\text{L}$  到大约 20  $\mu\text{L}$ 。通过减小 D3 或增大 D2 来减小“激活体积”。

[0165] 再次参考图 13,作为这种设计的特定实施例,H1 约等于需要较大直径储存器 1318 的“闭死高度”H2。然后,较大体积储存器 1318 的整个容积可用于分配液滴。在另一实施例中,H1 等于如上所述的“闭死高度”的渐进值。

[0166] 图 14A 和图 14B 分别示出了液滴致动器 400 的侧视图和俯视图。液滴致动器 400 与图 13 的液滴致动器 1300 基本相同,除了液滴致动器 1300 的储存器基板 1310 被具有在储存器主体积 1138 与开口 1126 之间提供液体传递的狭窄开口 1414 的储存器基板 1410 代替。在一些实施例中,开口 1414 可以为具有直径 D2 的圆柱体。在一些实施例中,储存器 1418 可以被伸长(例如,椭圆形)具有第一直径 D3a 和第二直径 D3b,如图 4A 和图 4B 所示。该配置可以进一步增加井的容积以及可用液滴的生成数量,而完全不会增加闭死体积。与图 13 的液滴致动器 1300 相比,较大储存器的尺寸的一个维度(例如,D3b)被增加,并保持另一维度(例如,D3a)基本与液滴致动器 1300 的 D3 相同。

[0167] 图 15 示出了液滴致动器 1500 的俯视图。液滴致动器 1500 与图 14A 和图 14B 的液滴致动器 1400 基本相同,除了液滴致动器 1400 的储存器基板 1410 被储存器基板 1510 代替。储存器基板 1510 包括限制体积区域 1514 和主体积区域,其被伸长使得体积的横截面在相对于限制体积区域 1514 的末端方向逐渐变细。限制体积区域 1514 提供了从储存器 1518 经由开口 1514 到液滴致动器的间隙中的液体路径。

[0168] 参照图 11A 至图 15,可以使用间隔物,以防止液体自然地流入液滴致动器。例如,向附近一个电极开口向下变窄的储存器周围的间隔物图案减少液体以不受控方式自然流

入液滴致动器的机会。顶部基板和储存器基板可以单独制造或作为一块材料来制造。本发明可选实施例可以使用液体围绕玻璃边缘装载到其中的“混合”顶部基板来实现。

[0169] 增大间隙  $h$  减小了“闭死高度”，并且对应地减小闭死体积。然而，增大间隙将不利地影响其他过程，诸如分离，并且使液滴体积增大。储存器的宽度  $w$  优选地大于单位电极的宽度。间隙高度不应过大，以致对液滴致动器进行的液滴操作（例如，液滴分配和液滴分离）被不适当地干扰。

[0170] 降低填充物流体表面张力  $\gamma_o$  可通过减低液体与填充物流体的界面张力来有效地改进装载过程。因为其改进了所有操作液体的装载，因此是降低闭死体积的最有效的方式。然后，表面张力的超低值将导致液滴在填充物流体中的乳化作用。填充物流体的表面张力不应低至液滴在填充物流体中的任何产生的乳化作用足以导致对液滴致动器进行的液滴操作被不适当地干扰的程度。

[0171] 降低液滴的表面张力  $\gamma_L$  可通过将于液体与油的界面张力来有效地改进装载过程。然而，较低的表面张力还会导致液体使固体表面更湿。液滴的表面张力不应充分地较小，以致液滴致动器进行的液滴操作被不适当地干扰。

[0172] 储存器基板壁上的较大接触角度  $\theta_w$  提高装载。较小接触角度有助于布置。施加较高的电压  $\theta V$  导致较大接触角的改变且有助于装载。使用 AC 电压减小接触角度滞后现象，并且提高装载。

[0173] 油弯月面在装置过程方面具有重要影响。将井中的油弯月面减小到储存器中的液体具有与空气的界面的点处将充分改进装载。这是因为液体空气界面具有比液体油界面更高的界面张力和对应较高的拉普拉斯压力。储存器处的拉普拉斯压力降低了需要克服的压力差。

[0174] 总结注释

[0175] 实施例的上述详细描述参考示出本发明特定实施例的附图。具有不同结构和操作的其他实施例没有偏离本发明的范围。本说明书被分为几个部分，仅为了方便阅读。标题不应认为是对于本发明范围的限定。定义被认为是本发明描述的一部分。应当理解，本发明的各种描述将在不背离本发明的范围的情况下改变。此外，上述描述仅出于示例性的目的，而不是限定的目的，而本发明通过后附的权利要求进行限定。

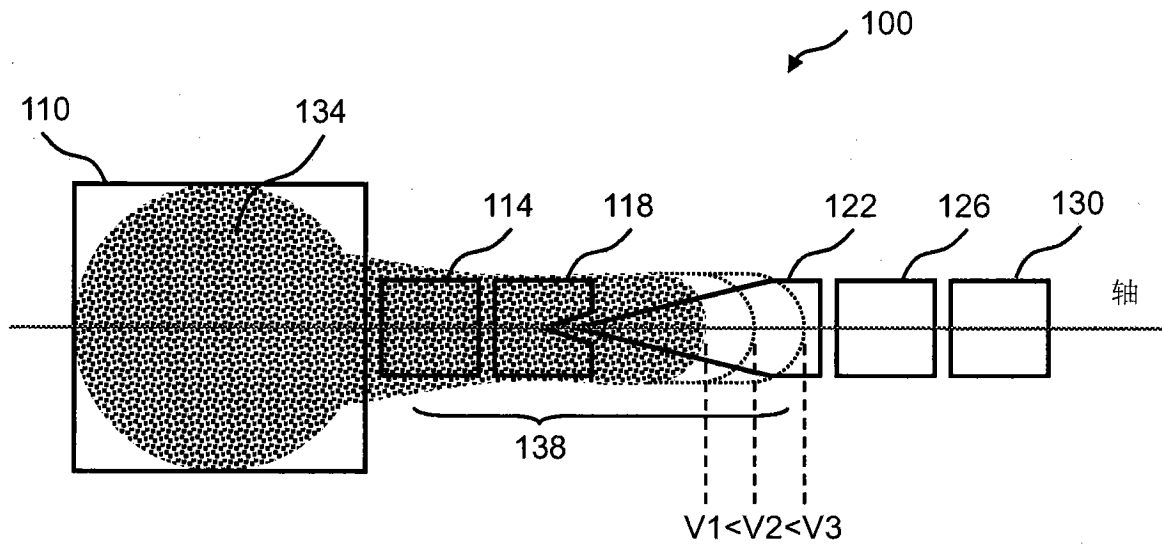


图 1A

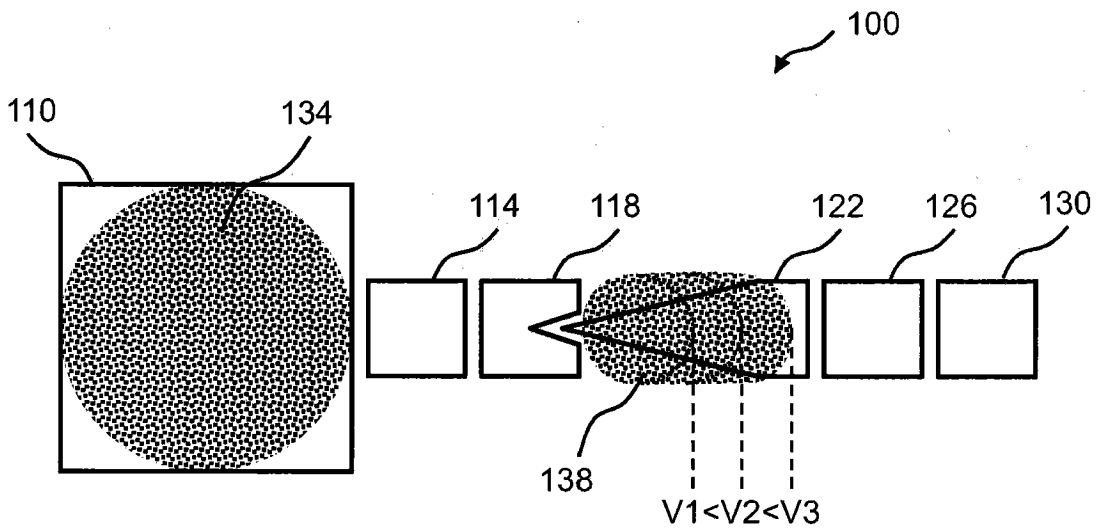


图 1B

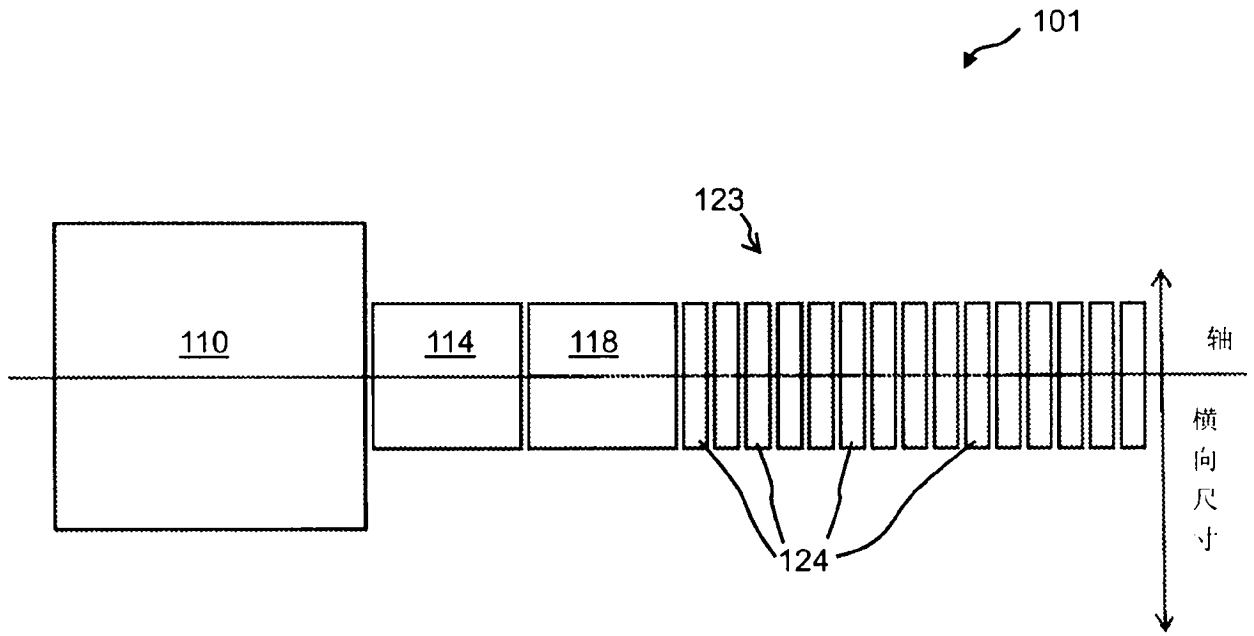


图 1C

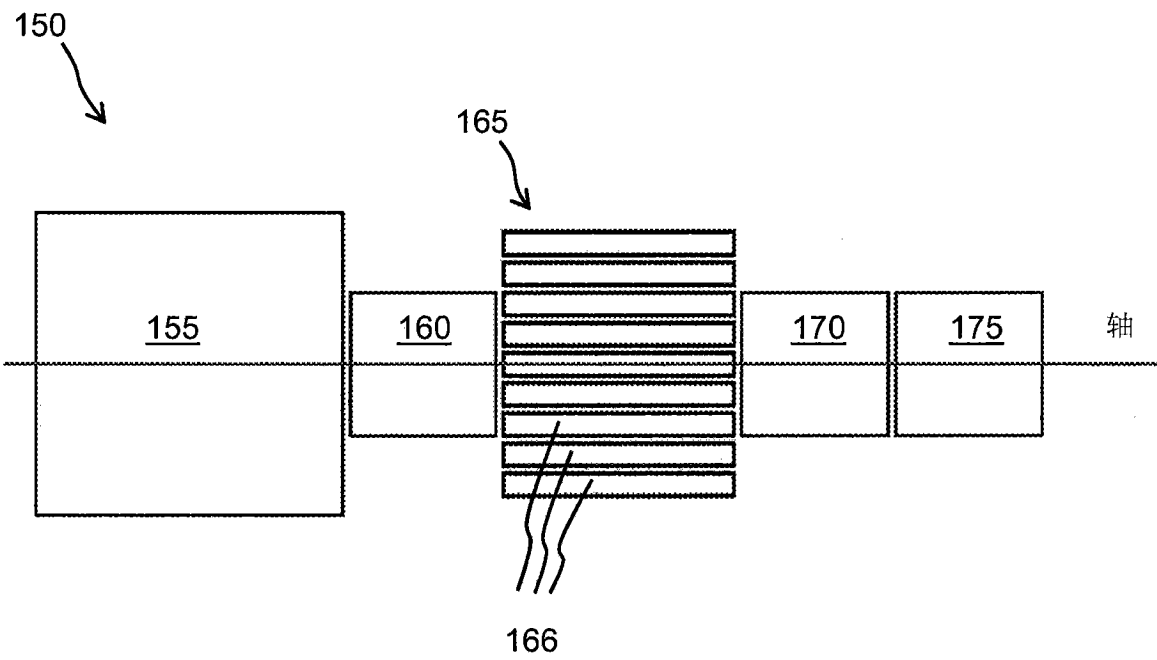


图 1D

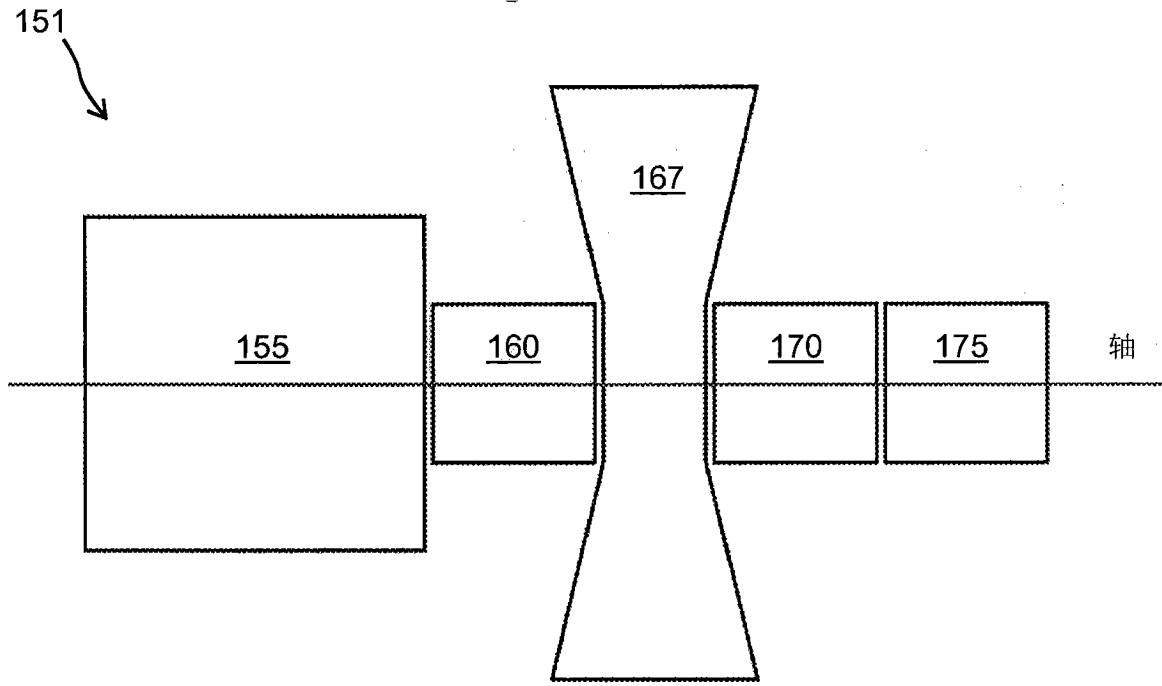


图 1E

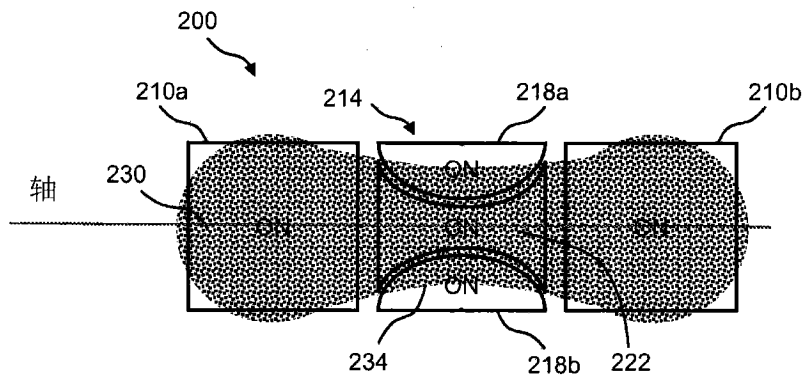


图 2A

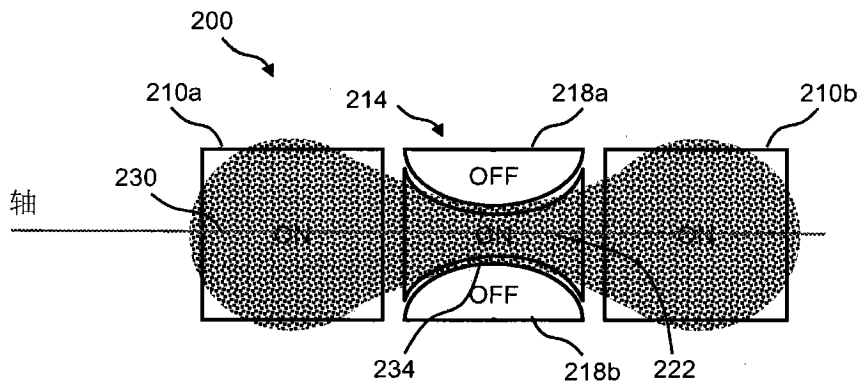


图 2B

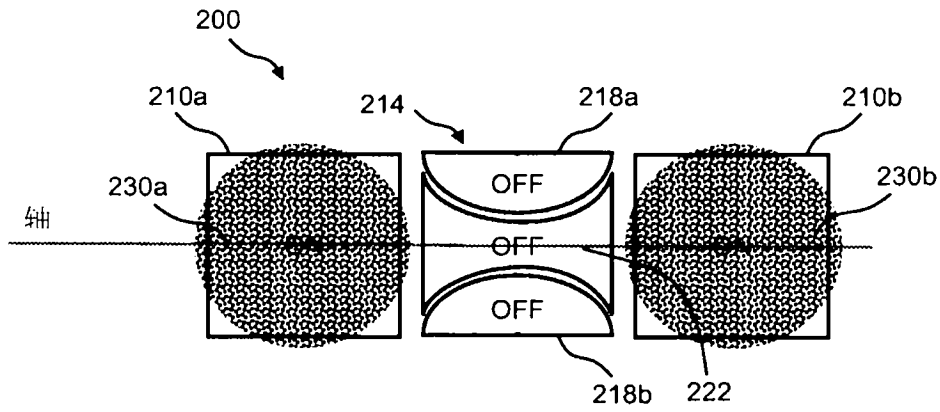


图 2C

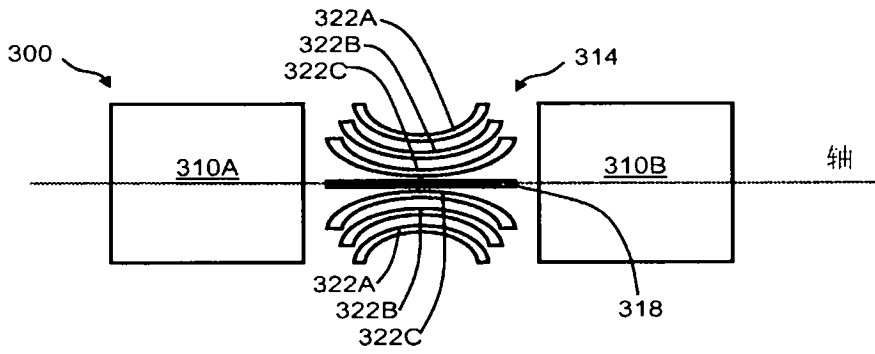


图 3A

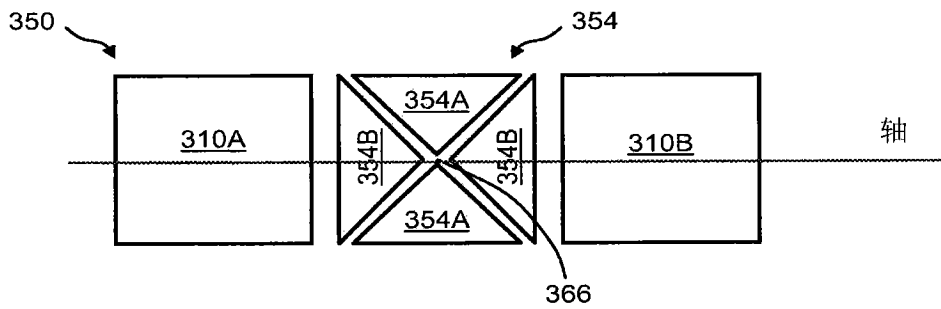


图 3B

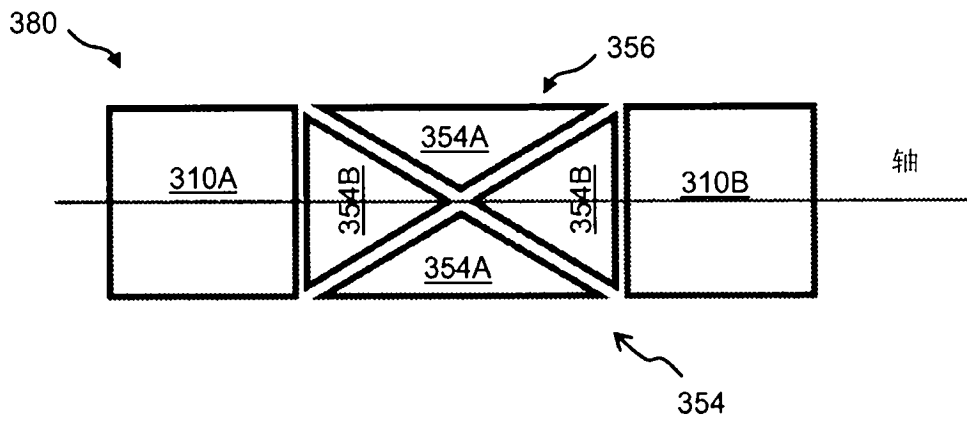


图 3C

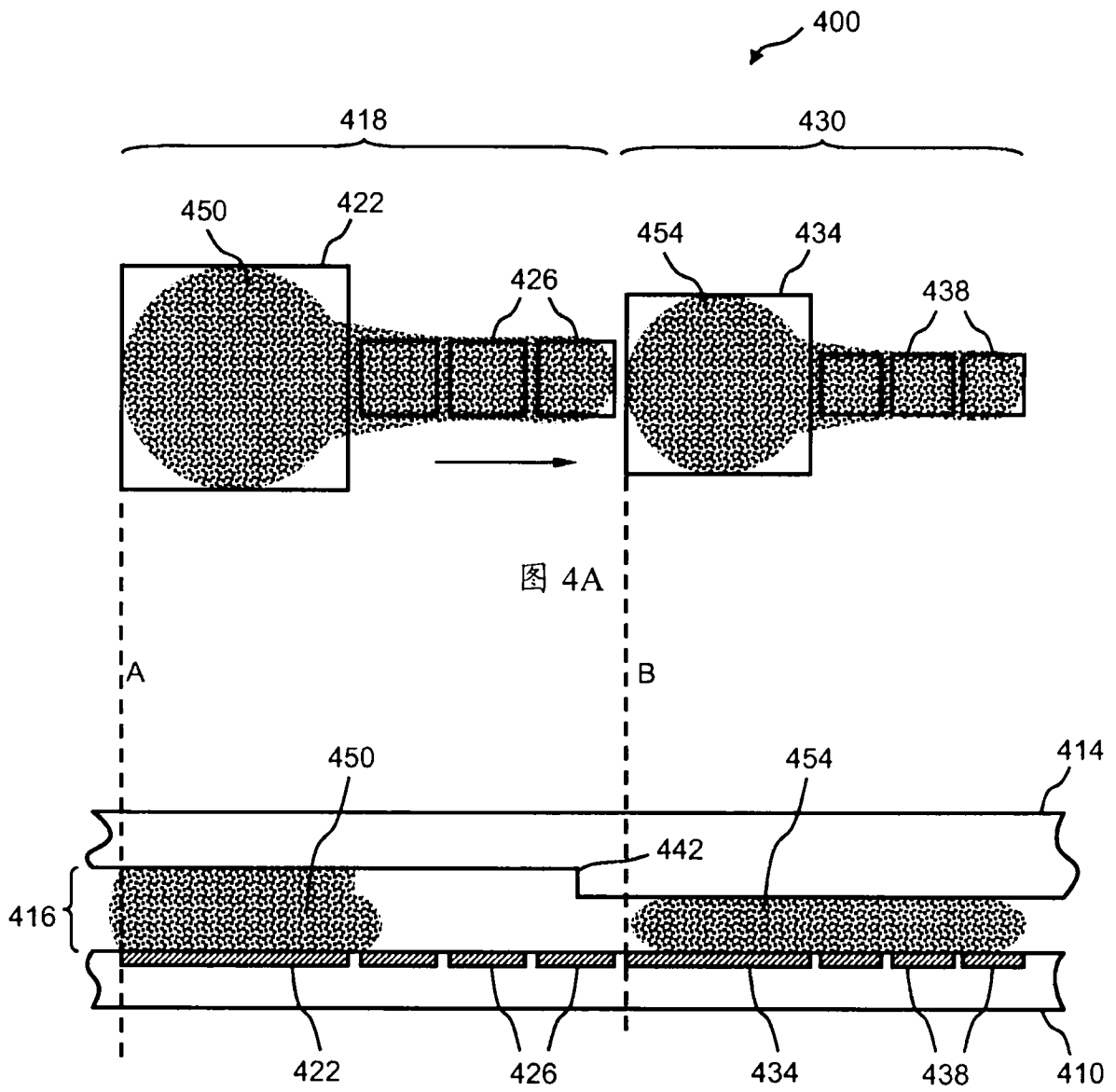


图 4A

图 4B

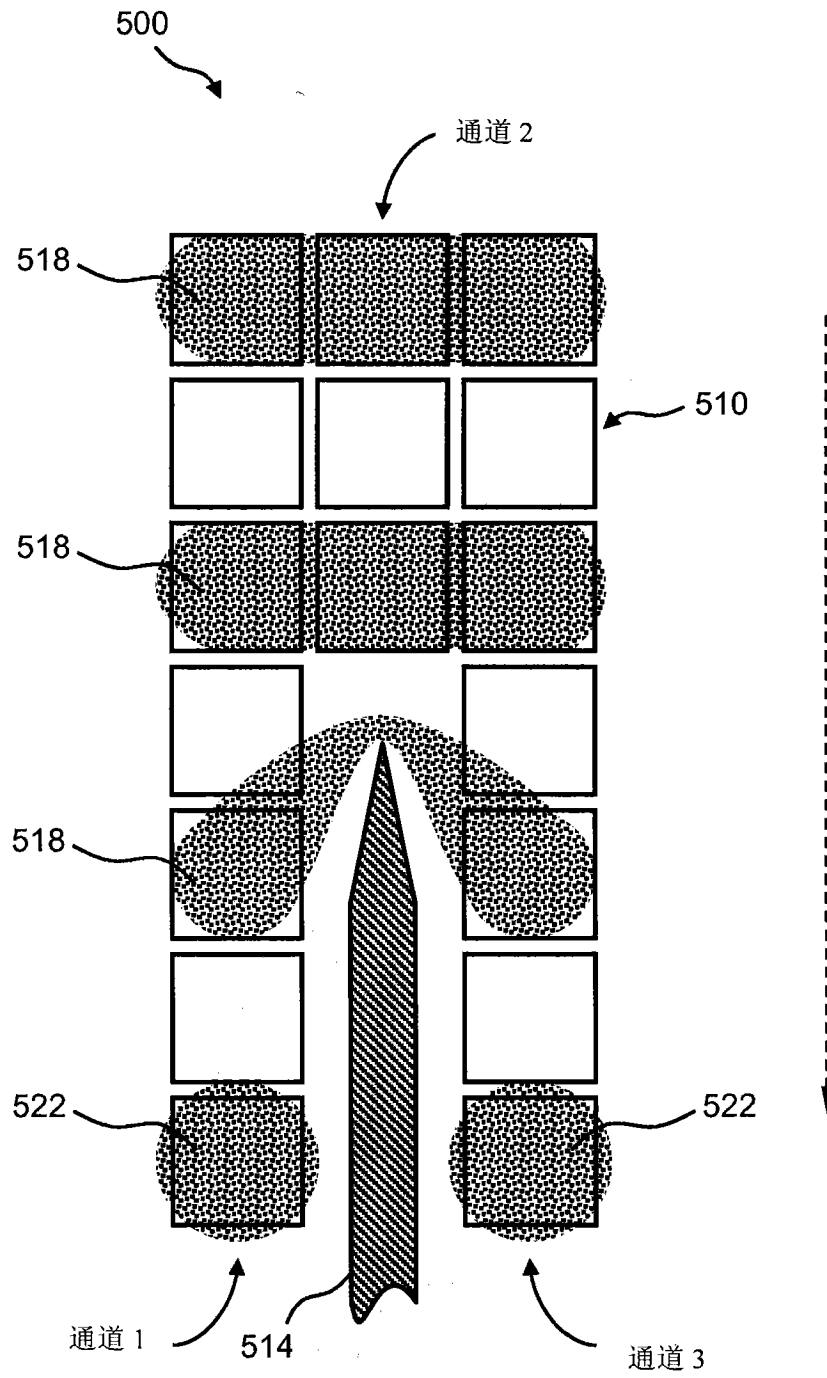


图 5

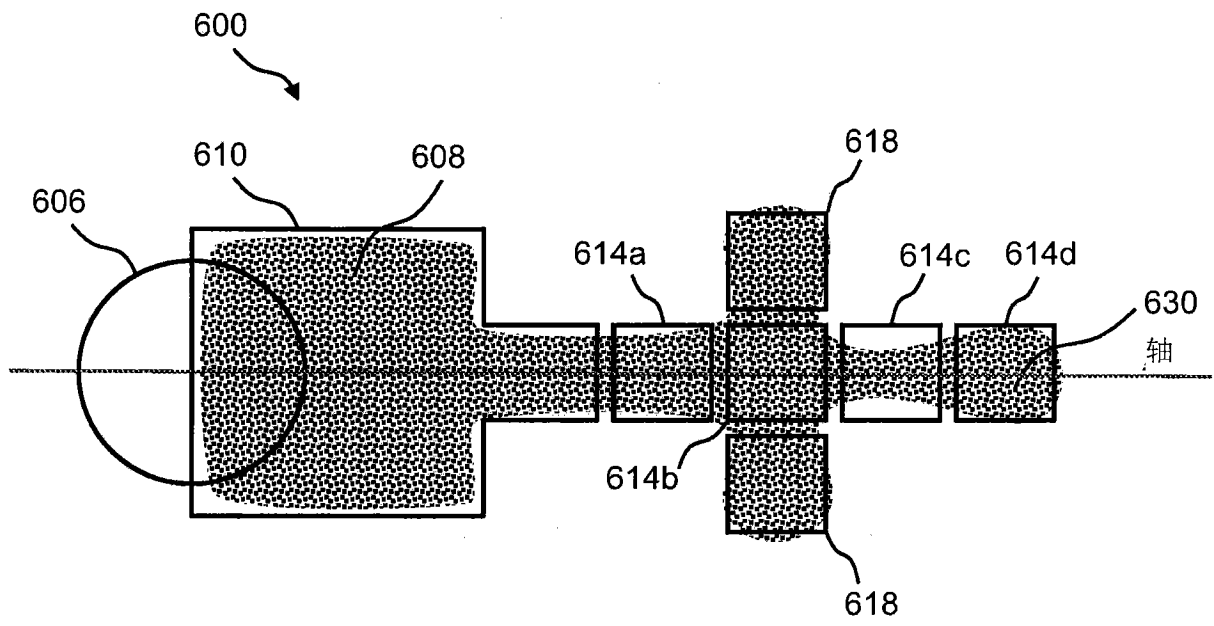


图 6A

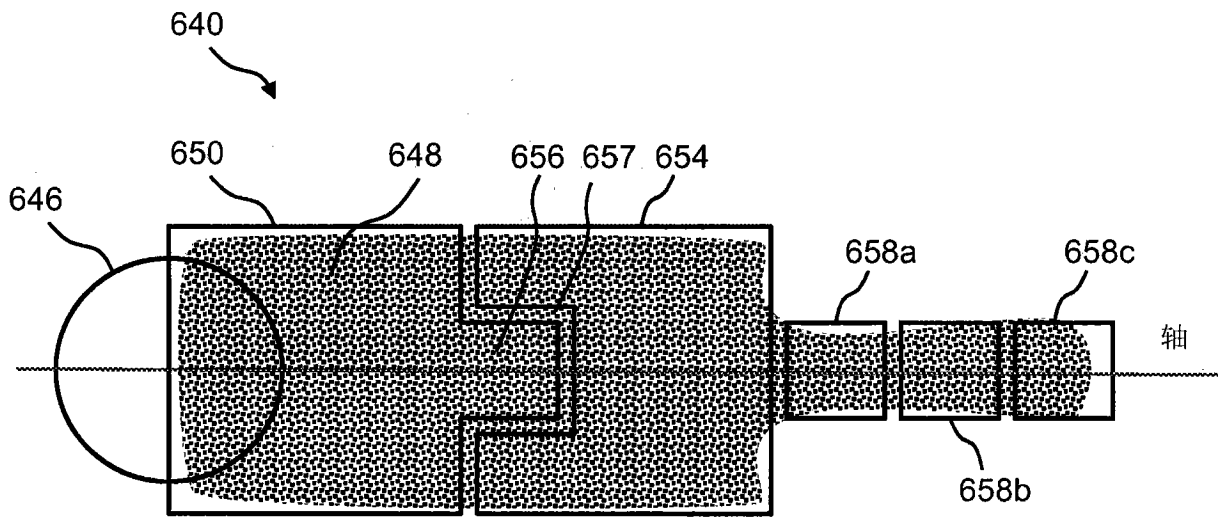


图 6B

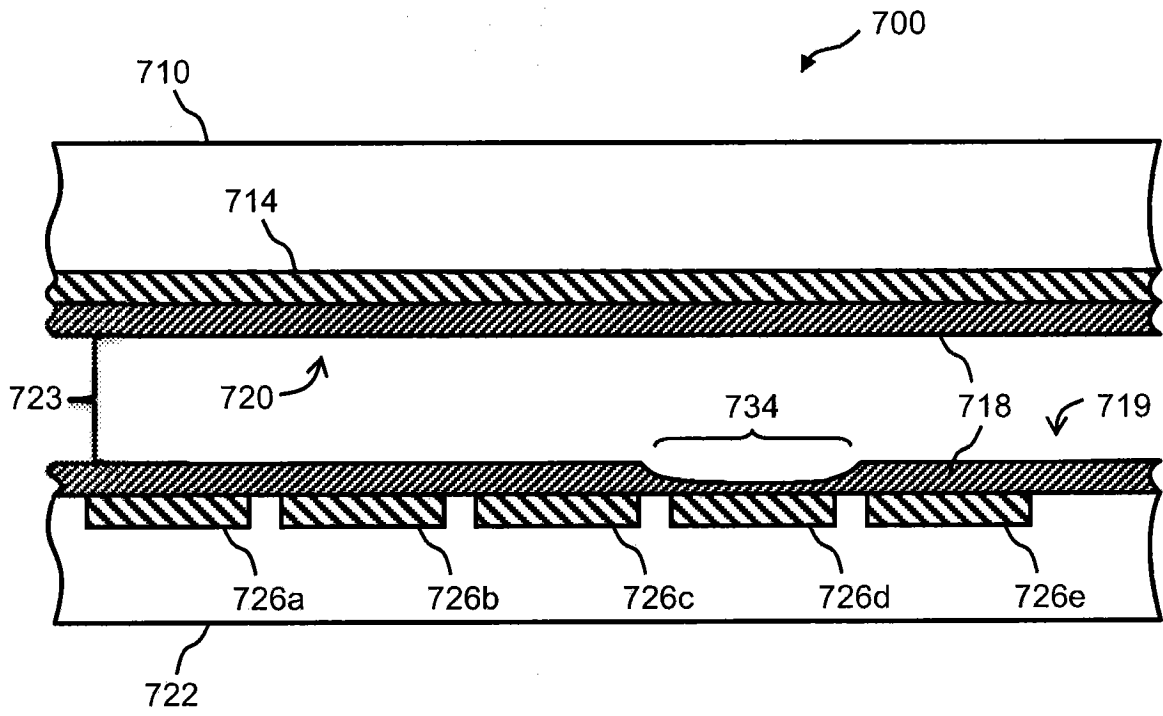


图 7A

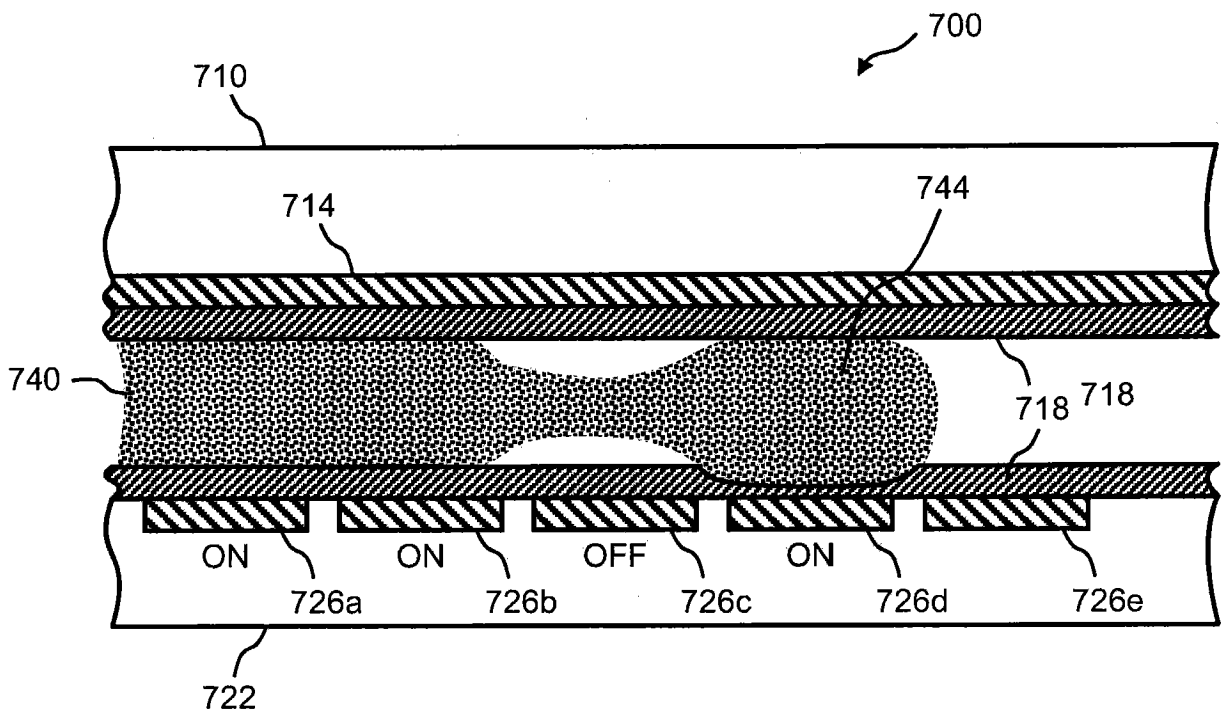


图 7B

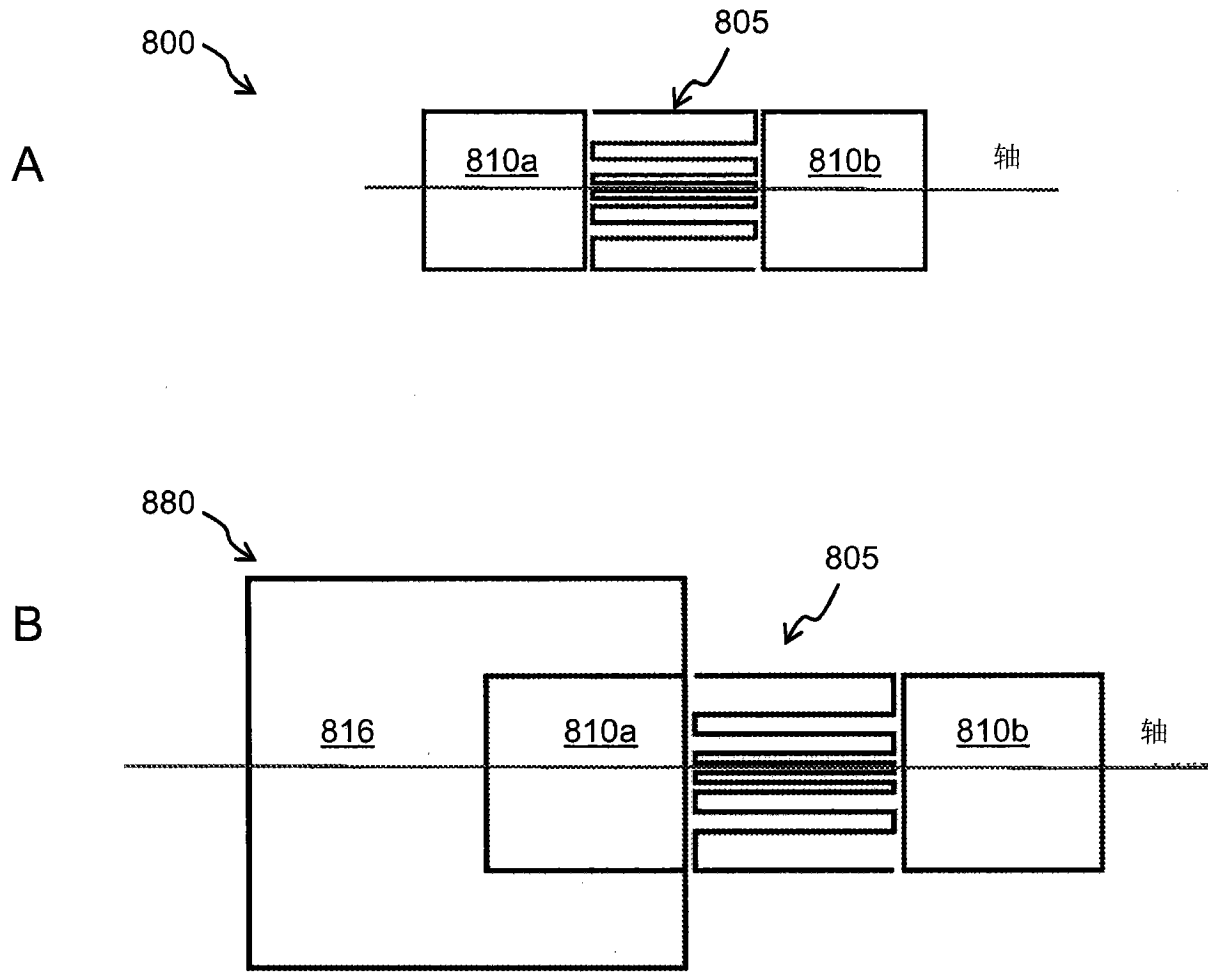


图 8

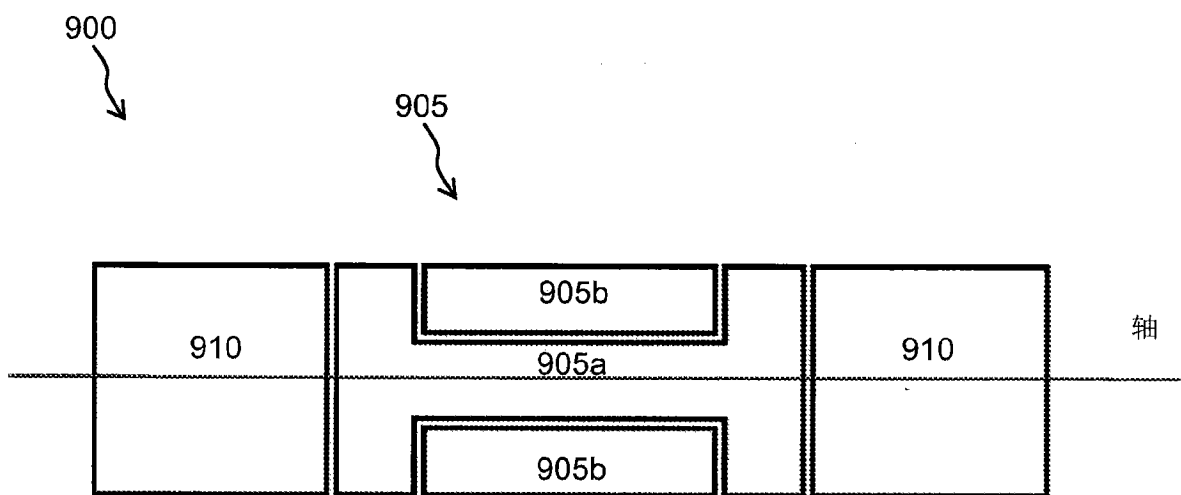


图 9

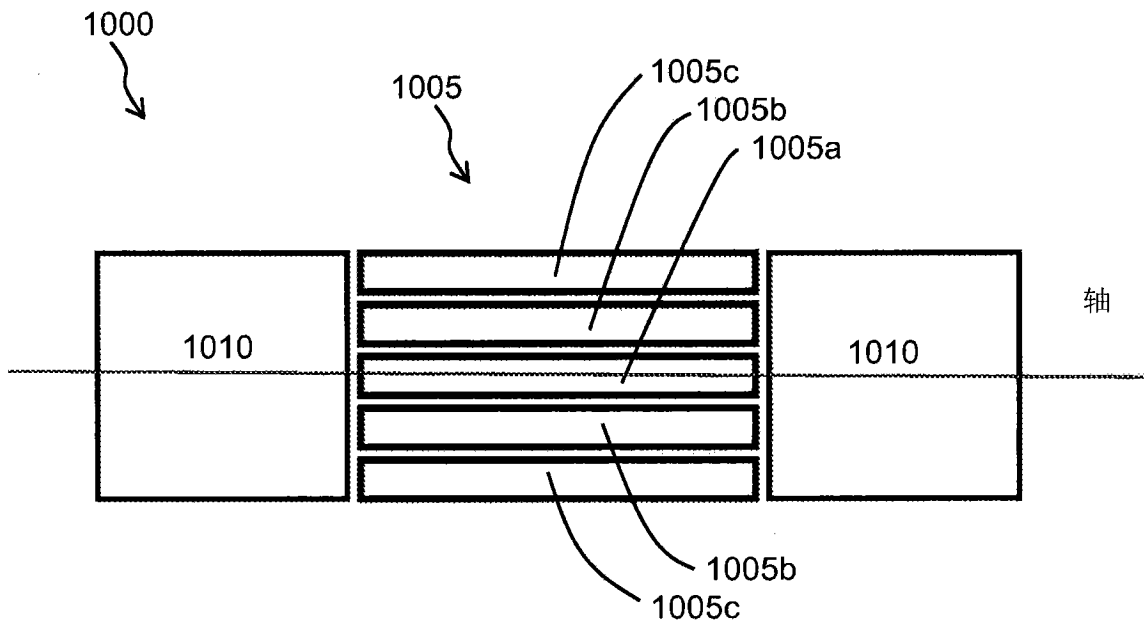


图 10

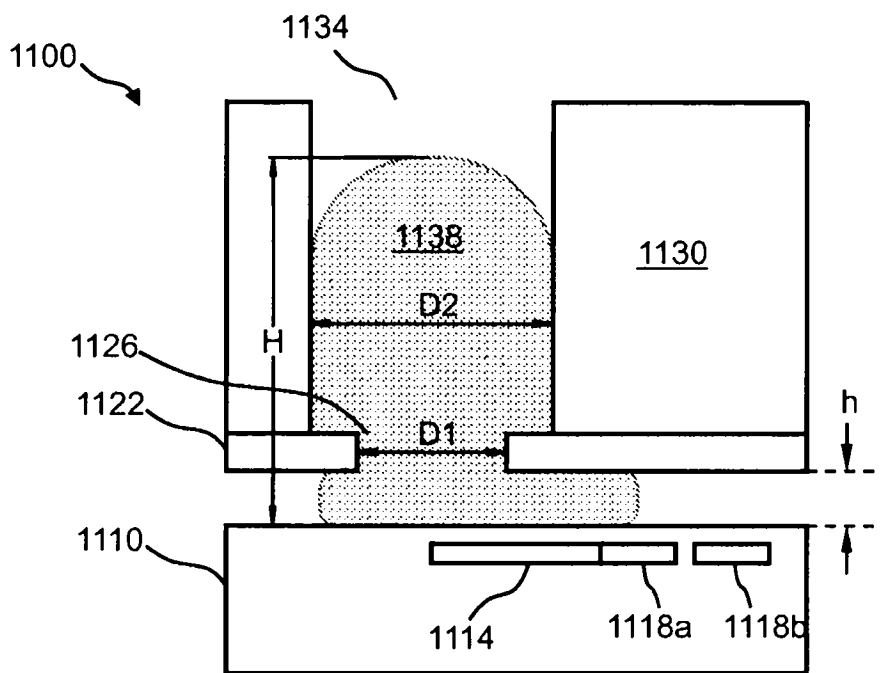


图 11A

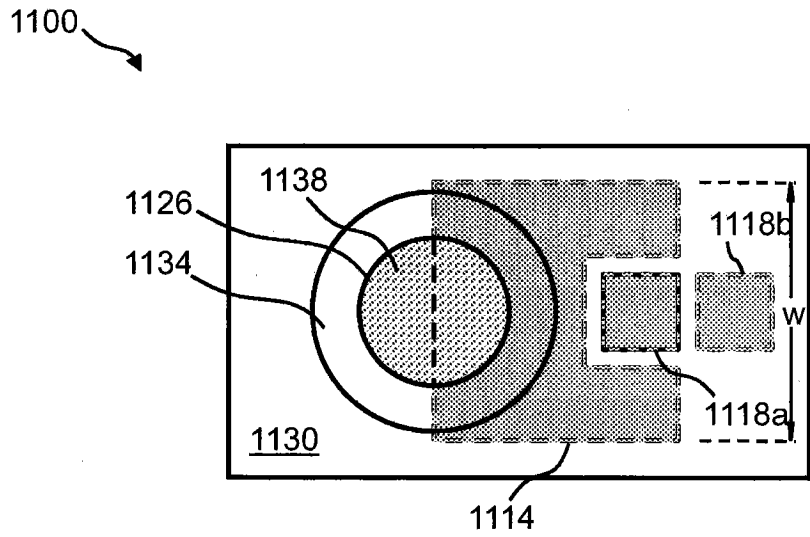


图 11B

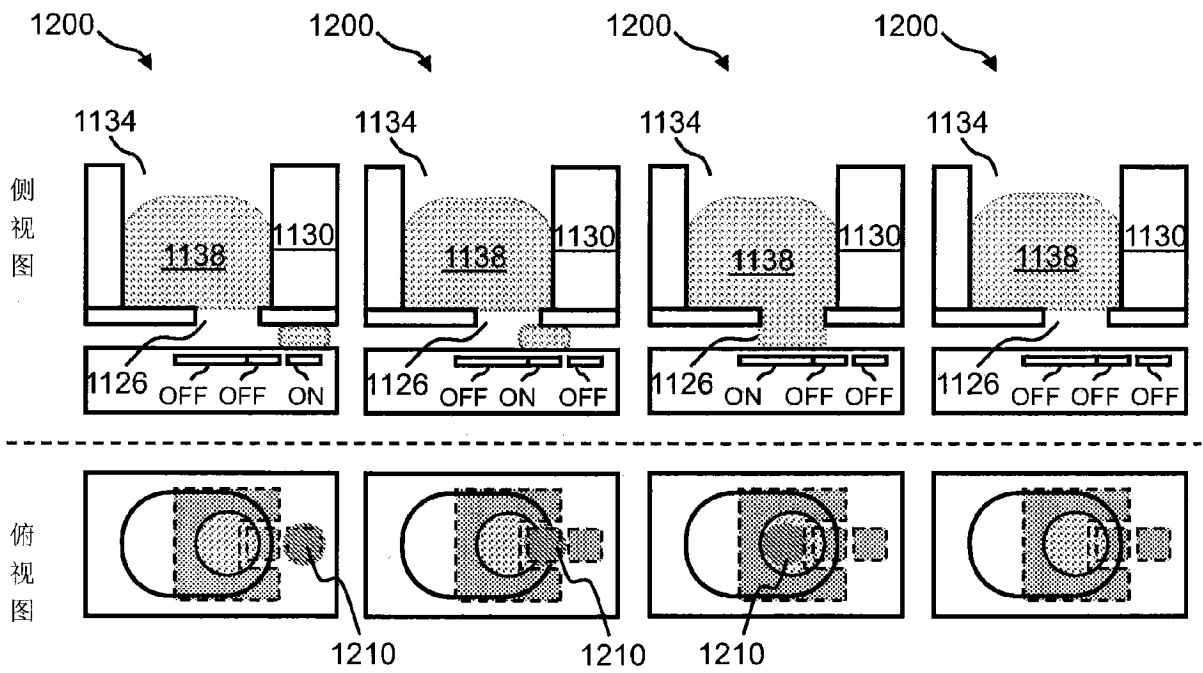


图 12A

图 12B

图 12C

图 12D

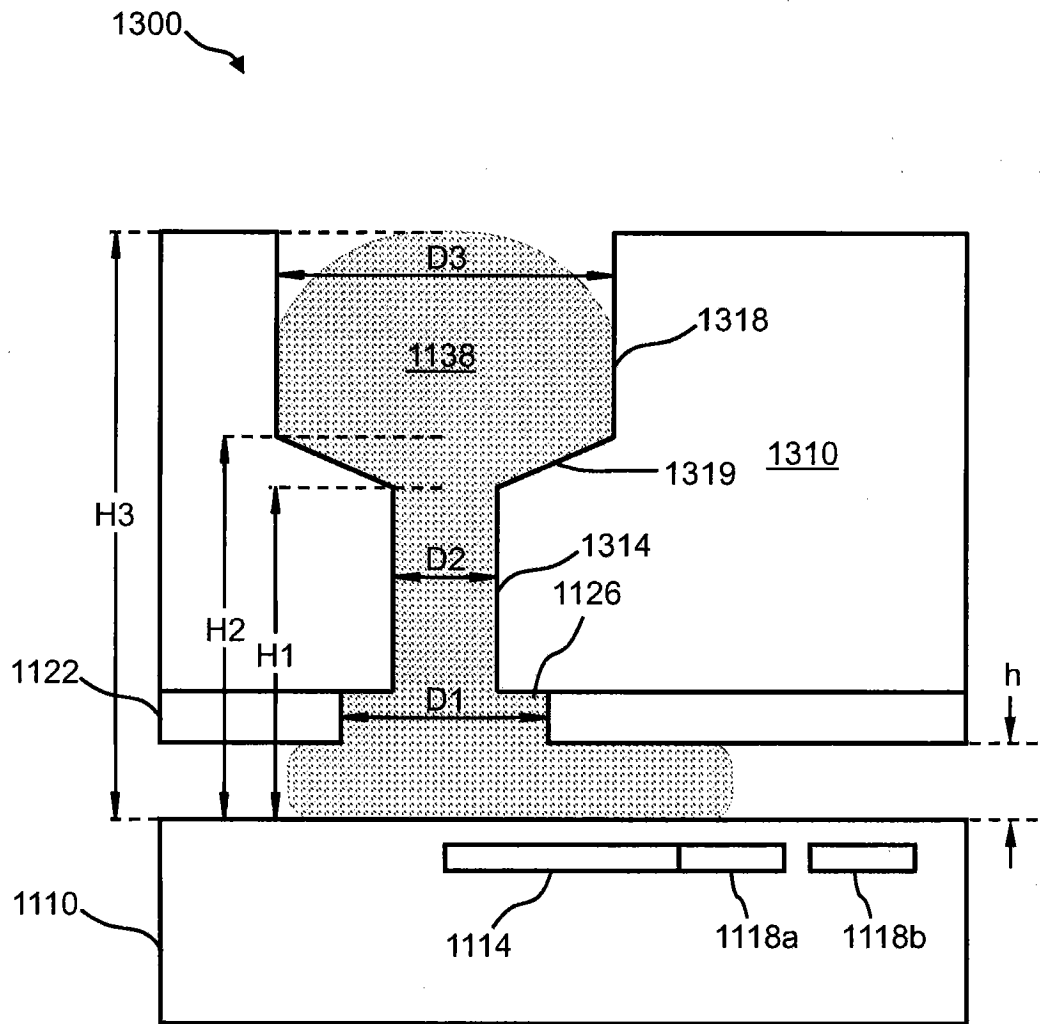


图 13

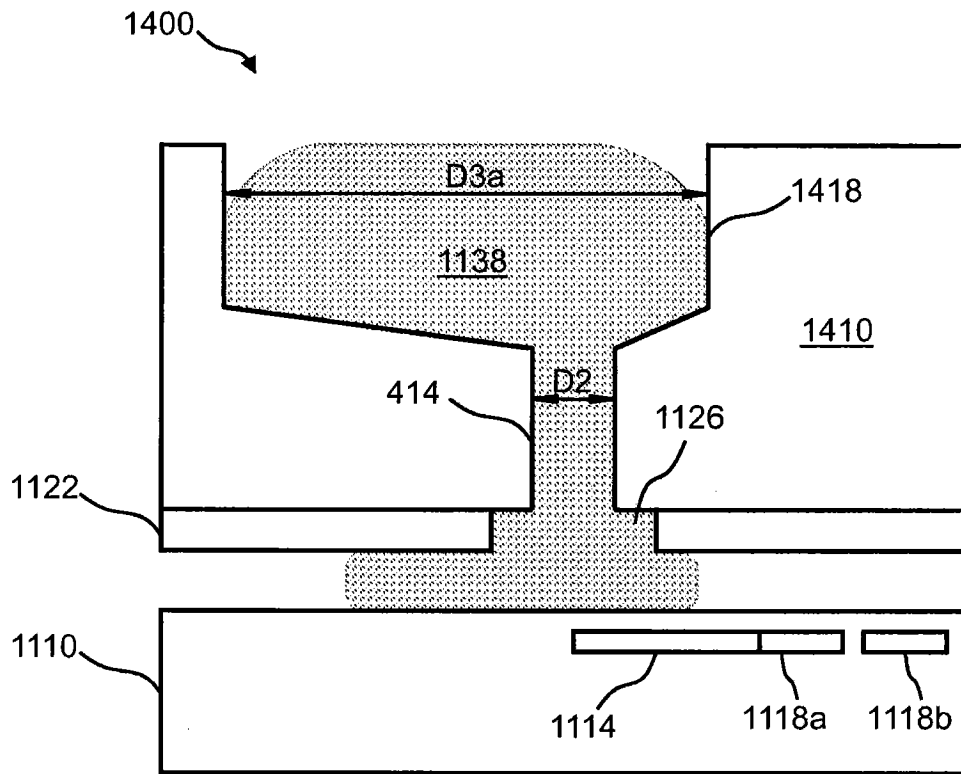


图 14A

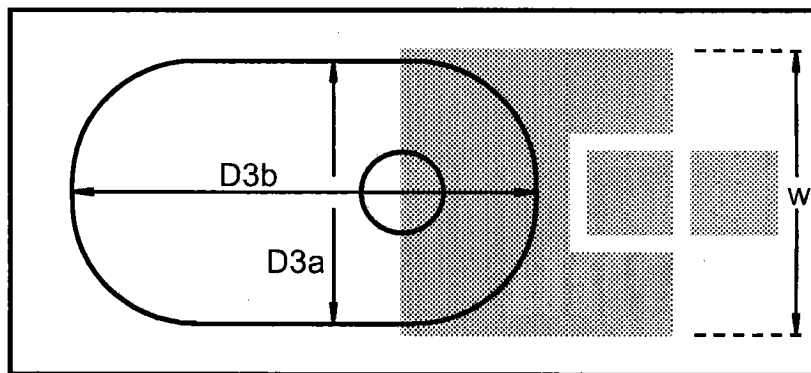


图 14B

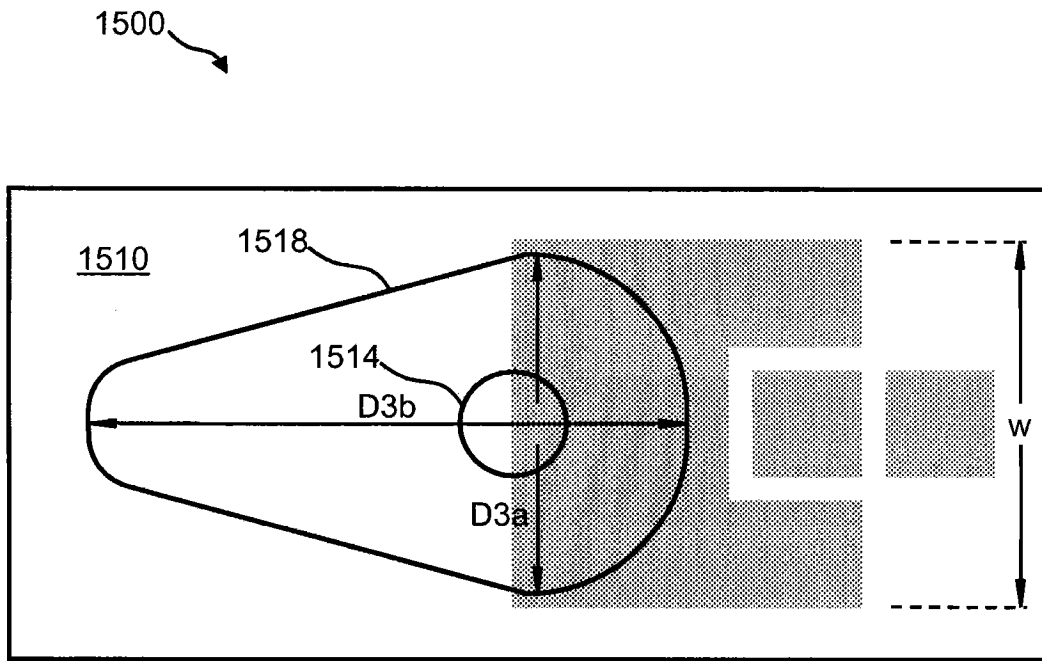


图 15

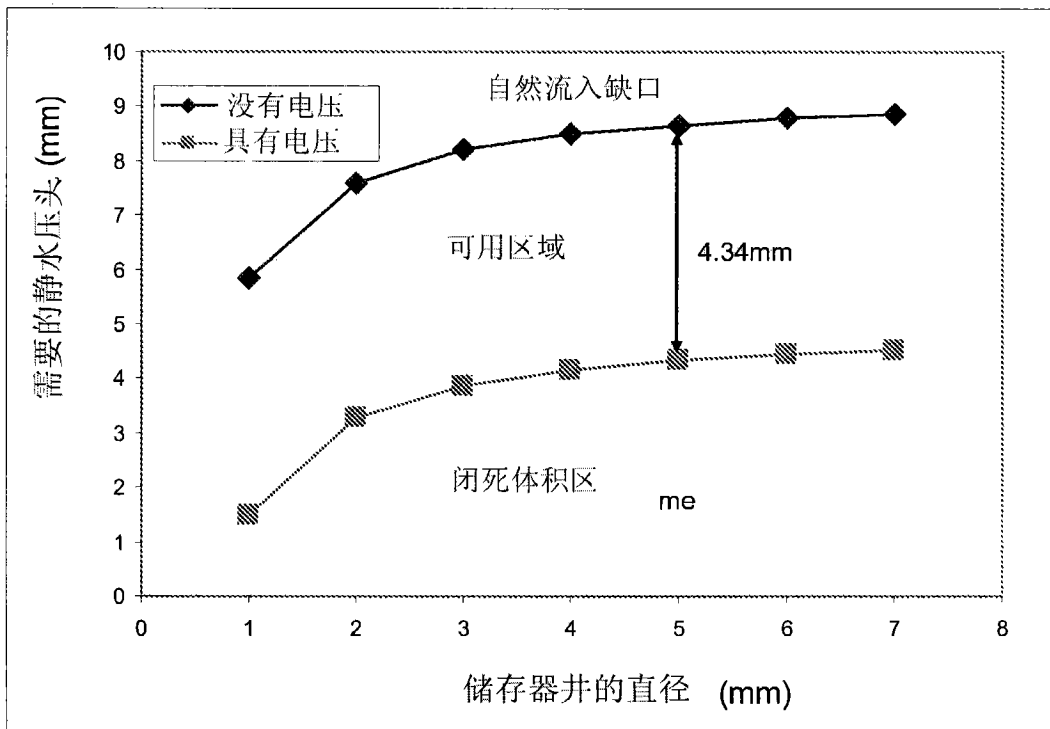


图 16