

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880016463.X

[51] Int. Cl.

B05B 5/025 (2006.01)

B05B 5/047 (2006.01)

B05B 5/053 (2006.01)

G01N 30/72 (2006.01)

H01J 49/04 (2006.01)

[43] 公开日 2010年3月24日

[11] 公开号 CN 101678373A

[22] 申请日 2008.5.19

[21] 申请号 200880016463.X

[30] 优先权

[32] 2007.5.17 [33] GB [31] 0709517.7

[32] 2007.6.6 [33] GB [31] 0710879.8

[86] 国际申请 PCT/GB2008/001708 2008.5.19

[87] 国际公布 WO2008/142393 英 2008.11.27

[85] 进入国家阶段日期 2009.11.17

[71] 申请人 玛丽皇后与西田学院

地址 英国伦敦

[72] 发明人 约翰·P·W·施塔克

马修·S·亚历山大

马克·D·佩因 凯特·L·史密斯

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 杜 诚 李春晖

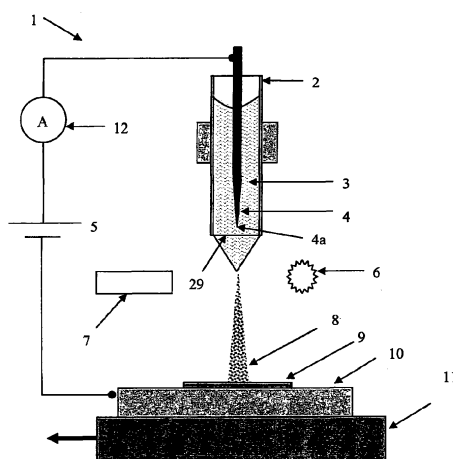
权利要求书9页 说明书21页 附图25页

[54] 发明名称

静电喷射设备和静电喷射方法

[57] 摘要

一种静电喷射设备(1)和方法,用于使用具有喷射区(29)的发射器(2)和用于向液体中注入电荷的装置以脉冲方式分配体积受控制的液体,其中所述液体从该喷射区喷射,由此,在使用中,当所述电荷注入时,所述液体(3)由静电力传送到所述喷射区,并且静电喷射以一个或多个脉冲的方式发生。所述电荷可以通过时变的或恒定非零电场进行注入,使得在某个阈值之上发生静电喷射。



1. 一种静电喷射设备，用于以脉冲方式分发受控体积的基本上非导电的液体，

所述设备包括：

发射器，具有喷射区，所述液体能够从所述喷射区喷射，

用于将电荷注入所述液体中的装置，由此，在使用中，当注入所述电荷时，所述液体由静电力传送到所述喷射区，并且静电喷射以一个或多个脉冲的方式发生。

2. 根据权利要求1所述的静电喷射设备，其中，所述发射器包括用于接收液体的空腔，且所述喷射区是与所述空腔流体相通的孔。

3. 根据权利要求2所述的静电喷射设备，其中，所述发射器是管子。

4. 根据权利要求1所述的静电喷射设备，其中，所述发射器是具有凸起点的表面，且所述喷射区位于所述凸起点的一个或多个上。

5. 根据前述权利要求中的任一个所述的静电喷射设备，其中，所述用于注入电荷的装置包括电极和连接到所述电极的电压源，所述电极具有与所要喷射的液体相接合的尖端部分。

6. 根据权利要求5所述的静电喷射设备，其中，所述电极的尖端部分基本上浸入所使用的液体内。

7. 根据权利要求5或6所述的静电喷射设备，其中，所述电极的尖端部分位于所述发射器内。

8. 根据从属于权利要求2或3的权利要求7所述的静电喷射设备，其中，所述电极朝着所述孔延伸。

9. 根据权利要求5所述的静电喷射设备，其中，所述电压源为压电充电器。

10. 根据权利要求5到9中任一个所述的静电喷射设备，其中，所述设备被配置为使得当电荷注入速率恒定时，以恒定频率产生所述静电喷射脉冲。

11. 根据权利要求5到9中任一个所述的静电喷射设备，其中，所述电极与所述喷射区间隔开并对齐。

12. 根据权利要求 1 到 4 中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述用于注入电子的装置是能够通过摩擦带电并与所述发射器相接触的材料。

13. 根据权利要求 2 或 3 所述的静电喷射设备, 还包括用于容纳液体的储液器, 所述储液器经由通道连接到所述空腔。

14. 根据权利要求 13 所述的静电喷射设备, 其中, 由测流装置监视从所述储液器到所述发射器的液体流, 所述装置优选测量一对间隔开的压力传感器之间的压力差。

15. 根据权利要求 2 或 3 所述的静电喷射设备, 其中, 所述孔的直径在 0.1 和 1000 微米之间。

16. 根据权利要求 2 或 3 所述的静电喷射设备, 其中, 所述孔的直径在 0.1 和 50 微米之间。

17. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 与所述喷射区相间隔开地提供基底, 使得所述喷射的液体沉积在所述基底的表面上, 由此在其上形成特征。

18. 根据权利要求 17 所述的静电喷射设备, 其中, 所述基底是硅。

19. 根据权利要求 17 或 18 所述的静电喷射设备, 包括用于提供所述基底和所述喷射区之间的相对移动的装置。

20. 根据权利要求 19 所述的静电喷射设备, 其中, 所述基底和所述喷射区之间的距离能够变化, 使得在所述基底上形成的特征的大小可以变化。

21. 根据权利要求 19 或 20 所述的静电喷射设备, 其中, 所述基底和所述喷射区之间的相对移动在平行于所述基底平面的平面内。

22. 根据权利要求 17 所述的静电喷射设备, 其中, 所述基底覆盖有预组装的单层颗粒或分子, 且/或所述基底覆盖有预组装的亚单层的颗粒或分子。

23. 根据权利要求 15 所述的静电喷射设备, 其中, 所述基底为绝缘体、或半导体或导体。

24. 根据权利要求 16 到 22 中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述液体包含能够改变所述基底的润湿性质的表面改性材料。

25. 根据权利要求 17 所述的静电喷射设备, 其中, 所述基底表面是

多孔的或非多孔的。

26. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 由单个脉冲喷出的液体的体积是在 0.1 飞升和 1 飞升之间, 或是在 1 飞升和 1 皮升之间, 或是在 1 皮升和 100 皮升之间, 或是在 100 皮升和 10 纳升之间, 或是在 10 纳升和 1 微升之间。

27. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 由多个脉冲的相继喷射沉积的液体的总体积是在 0.1 飞升和 0.1 皮升之间, 或是在 0.1 皮升和 1 纳升之间, 或是在 1 纳升和 1 微升之间。

28. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述喷射发生的频率在 1kHz 和 10kHz 之间, 或在 1Hz 和 100Hz 之间, 或在 10kHz 和 100kHz 之间, 或在 100Hz 和 1000Hz 之间, 或在 100kHz 和 1MHz 之间。

29. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述设备被配置为进行打印。

30. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述设备被配置为使用墨水作为要喷射的液体。

31. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述设备被配置为使用导电率小于 10^{-6} s/m、优选是小于 10^{-8} s/m 的液体。

32. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述喷射区位于与要进行静电喷射的液体不混溶或部分混溶的第二流体内。

33. 根据权利要求 27 所述的静电喷射设备, 其中, 所述第二流体是静止的或是流动相的。

34. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述喷射区位于壳体内, 所述壳体包含任何气体环境, 所述气体环境包括但不限于空气、提高压力的气体、真空、二氧化碳、氩气或氮气。

35. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 包括多个发射器, 每个发射器具有用于向所述喷射区附近的液体施加电场或充电电流的装置。

36. 根据权利要求 33 所述的静电喷射设备, 其中, 所述发射器排列成阵列。

37. 根据权利要求 33 或 34 所述的静电喷射设备, 其中, 所述用于施

加电场或充电电流的装置能够来独立地控制每个喷射区处的电场或充电电流。

38. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 还包括连接到所述用于施加电场或充电电流的装置的快速开关, 使得利用所述快速开关断开或接通电压或充电电流, 以精确地控制所述静电喷射设备喷射液体的时间。

39. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 在使用中, 所述液体是不受压力的。

40. 根据前述权利要求中任一个所述的静电喷射设备, 其中, 所述设备不包括机械泵或用于对液体施压的任何其它装置。

41. 一种静电喷射方法, 包括:

提供发射器, 用于容纳基本上非导电的液体, 所述发射器具有喷射区, 所述液体能够从所述喷射区喷射,

将电荷注入所述液体中;

由此, 所述基本上非导电的液体由静电力传送到所述喷射区, 并且

其中, 对所述电场强度或充电电流、液体粘度和电极形状和发射器形状进行选择, 使得当施加所述电场或充电电流时以脉冲方式进行静电喷射。

42. 根据权利要求 41 所述的静电喷射方法, 其中, 所述发射器包括用于容纳液体的空腔, 并且所述喷射区是与所述空腔流体相通的孔。

43. 根据权利要求 42 所述的静电喷射方法, 其中, 所述发射器是管子。

44. 根据权利要求 41 所述的静电喷射方法, 其中, 所述发射器是具有凸起点的表面, 而所述喷射区位于所述凸起点的一个或多个上。

45. 根据权利要求 41 到 44 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 提供多个发射器, 并且独立地控制施加到每个发射器的电场或充电电流。

46. 根据权利要求 41 到 45 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 与所述喷射区相间隔地提供基底, 所述基底接收所喷射的液体, 从而在所述基底上形成特征。

47. 根据权利要求 46 所述的静电喷射方法, 其中, 所述液体包含能

够改变所述基底的润湿性质的表面改性材料。

48. 根据权利要求 41 所述的静电喷射方法, 其中, 当在所述基底上形成所述特征之后, 流体从所述特征蒸发, 以允许所述表面改性材料改变所述特征位置处的所述基底表面的润湿性质。

49. 根据权利要求 46 到 48 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 在平行于所述基底平面的平面内存在所述基底和所述喷射区之间的相对移动。

50. 根据权利要求 36 到 49 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 在所述基底和所述喷射区之间存在使得所述基底和所述喷射区之间的距离改变的相对移动。

51. 根据权利要求 41 到 50 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 所述方法包括通过喷射墨水来进行打印。

52. 根据权利要求 41 到 51 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 由电源、压电型充电器或摩擦起电装置注入所述电荷。

53. 根据权利要求 41 到 52 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 所述液体的导电率小于 10^{-6} s/m、优选小于 10^{-8} s/m。

54. 根据权利要求 41 到 53 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 所述静电喷射脉冲以恒定的频率进行喷射。

55. 根据权利要求 36 到 54 中任一个所述的静电喷射方法, 其中, 所述液体是不受压力的。

56. 一种静电喷射设备, 包括:

用于容纳液体的发射器, 所述发射器具有喷射区, 所述液体能够从所述喷射区喷射;

用于向所述液体施加时变电场或充电电流的装置;

其中, 当所述时变电场或充电电流的强度大于阈值强度时, 在施加所述电场或充电电流时发生脉冲式静电喷射; 以及

其中, 当发生静电喷射时, 液体被静电力拉到所述喷射区; 以及

其中, 在使用中, 所述时变电场或充电电流强度是非零的。

57. 根据权利要求 56 所述的静电喷射设备, 其中, 所述时变电场或充电电流的强度能够改变, 使得在第一时段期间喷放一个或多个静电喷射

脉冲，而在第二时段期间不喷放静电喷射。

58. 根据权利要求 56 所述的静电喷射设备，其中，所述时变电场或充电电流的强度能够改变，使得在第一时段期间喷放一个或多个静电喷射脉冲，在第二时段期间喷放一个或多个静电喷射脉冲；

其中，在所述第一时段内的脉冲喷放速率不同于在所述第二时段内的脉冲喷放速率。

59. 根据权利要求 2 或 58 所述的静电喷射设备，其中，所述第一时段的长度基本上与所述第二时段的长度相同。

60. 根据权利要求 56 到 59 中任一个所述的静电喷射设备，其中，所述时变电场或充电电流的波形为方波、正弦波、锯齿波或三角波的形式。

61. 根据权利要求 56 到 60 中任一个所述的静电喷射设备，其中，所施加的电场或充电电流在周期内工作。

62. 根据权利要求 56 到 61 中任一个所述的静电喷射设备，其中，用于向所述液体施加时变电场或充电电流的装置包括：

用于产生恒定的偏置电场或充电电流分量的装置；

用于产生时变分量的装置；以及

用于结合所述恒定分量和时变分量的装置。

63. 根据权利要求 56 到 62 中任一个所述的静电喷射设备，包括：用于改变所述电场或充电电流的强度在所述阈值强度之上的时间长度的装置。

64. 根据权利要求 63 所述的静电喷射设备，其中，所述电场或充电电流的强度当在所述阈值强度之上时基本上恒定。

65. 根据权利要求 63 或 64 所述的静电喷射设备，包括：用于在恒定时段的周期内改变所述电场或充电电流的强度以使得所述占空比可变的装置。

66. 根据权利要求 56 到 65 中任一个所述的静电喷射设备，包括：用于向所述液体施加电场以静电喷射导电率大于 10^{-6} S/m 的导电液体的装置，或用于向所述液体施加充电电流以静电喷射导电率小于 10^{-6} S/m 的基本上非导电的液体的装置。

67. 根据权利要求 56 到 66 中任一个所述的静电喷射设备，包括：与

所述喷射区间隔开的基底，使得喷射的液体沉积在所述基底的表面上，从而在所述基底上形成特征。

68. 根据权利要求 67 所述的静电喷射设备，包括用于提供所述基底和所述喷射区之间的相对移动的装置。

69. 根据权利要求 56 到 68 中任一个所述的静电喷射设备，被配置为用于导电轨的制造。

70. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，被配置为用于显示屏的制造。

71. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于将静电喷射脉冲喷射到质谱仪中或喷射到基底上。

72. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于打印图像。

73. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于静电喷射含有一种或多种蛋白质的液体。

74. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于静电喷射到塑料基底上，优选是柔性的塑料基底。

75. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于静电喷射包含一种或多种发光聚合物或一种或多种导电聚合物的液体。

76. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于为组织工程的目的进行静电喷射。

77. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于用作雾化器，或用作经过皮肤的注入器。

78. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置为分配器，用于将液体分配到芯片或生物传感器上实验室上。

79. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于无掩膜光刻。

80. 根据权利要求 56 到 69 中任一个所述的静电喷射设备，配置用于超材料或光学器件、优选是光栅或全息图的制造。

81. 一种静电喷射方法，包括：

提供用于容纳液体的发射器，所述发射器具有喷射区，所述液体能够

从所述喷射区喷射;

向所述发射器提供液体;

向所述液体施加时变电场或充电电流;

其中,当所述时变电场或充电电流大于阈值强度时,所述电场或充电电流引起脉冲式静电喷射的发生;以及

其中,当发生静电喷射时,液体被静电力拉到所述喷射区;以及

其中,在使用中,所述时变电场或充电电流强度是非零的。

82. 根据权利要求 81 所述的静电喷射方法,其中,所述时变电场或充电电流的强度改变,使得在第一时段期间喷放一个或多个静电喷射脉冲,而在第二时段期间不喷放静电喷射。

83. 根据权利要求 81 所述的静电喷射方法,其中,所述时变电场或充电电流的强度改变,使得在第一时段期间喷放一个或多个静电喷射脉冲,在第二时段期间喷放一个或多个静电喷射脉冲;

其中,在所述第一时段内的脉冲喷射速率不同于在所述第二时段内的脉冲喷射速率。

84. 根据权利要求 82 或 83 所述的静电喷射方法,其中,所述第一时段的长度基本上与所述第二时段的长度相同。

85. 根据权利要求 81 到 84 中任一个所述的静电喷射方法,包括:改变所述电场或充电电流的强度在所述阈值强度之上的时间长度。

86. 根据权利要求 81 到 85 中任一个所述的静电喷射方法,其中,所述电场或充电电流的强度当在所述阈值强度之上时基本上是恒定的。

87. 根据权利要求 81 到 86 中任一个所述的静电喷射方法,包括:在恒定时段的周期内改变所述电场或充电电流的强度,所述强度大于所述阈值时的占空比是可变的。

88. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法,用于导电轨的制造。

89. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法,用于显示屏的制造。

90. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法,用于将静电喷射脉冲喷放到质谱仪中。

91. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于打印图像。

92. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，其中，所述静电喷射的液体包含一种或多种蛋白质。

93. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于在塑料基底、优选是在柔性的塑料基底上进行静电喷射。

94. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于对包含一种或多种发光聚合物或一种或多种导电聚合物的液体进行静电喷射。

95. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于组织工程的目的。

96. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用作雾化器，或用作经过皮肤的注入器。

97. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于将液体分配到芯片或生物传感器上实验室上。

98. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于无掩膜光刻。

99. 根据权利要求 81 到 87 中任一个所述的静电喷射方法，用于超材料或光学器件、优选是光栅或全息图的制造。

静电喷射设备和静电喷射方法

本发明涉及一种静电喷射设备和静电喷射方法。

在常规的静电雾化或静电喷射技术中,导电率通常大于 10^{-8} S/m 的电解溶液的表面由所施加的通常在大约 10^6 V/m 级的电场充电。当作用在液体表面上的静电力克服所述液体的表面张力时,发生喷射。最稳定的喷射状态是锥射流模式状态,其中,静电力和表面张力之间的平衡产生 Taylor 锥,从该锥的顶点发射出液体喷射。这种稳定的锥射流只在液流速率和施加电压的特定范围内发生。当电压和/或流速在稳定的锥射流所要求的之下时,会出现其它的喷射状态,包括滴落、静电滴落和纺锤模式。

如在 Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes 1994, 136, 167-180 中所描述的,一般在静电喷射电离质谱法中所使用的特定的静电喷射方法是为人所知的纳电喷射法。纳电喷射法的特征是:所述流速可以由所施加的电压和管子形状(特别是出口直径)来决定。其好处是:在不使用泵或阀来迫使液体从储液器流到出口的情况下就可以实现静电喷射。在 J. Aerosol Sci. 2007, 38, 315-324 中,已经将使用该方法可控制地喷射或沉淀小体积液体的能力确认为用于利用流体在表面上形成图形的有前途的技术。

在绝缘流体的静电喷射中,由于导电率小于 10^{-8} S/m,该固有导电率不足以与在上述具有较高导电率的流体的情况下所观察到的常规的静电喷射行为的方式相似的方式在所施加的电压下产生足够多的表面电荷。然而,已经表明,如果使用特定的电极形状,例如使用尖针作为浸入所述流体的电极,则有可能将电荷注入绝缘流体中,以使得可以对液体进行喷涂和喷射,如在 J. Appl. Phys., 1976, 47, 5, 1964-1969 中所描述的。这样,就可能形成足够的表面电荷,从而以与在常规静电喷射中所观察到的模式相似的模式来喷射电介质液体。电荷注入的机制不限于高压电源,且包括但不限于摩擦起电以及压电设备。

从 J. Appl. Phys. 1998, 64, 4278-4284 也已经知道:对于绝缘流体,当电压低于产生锥射流类型的模式所要求的值时,液体的弯月面可能在准稳定的锥射流和变形的液滴之间摆动。这导致来自流体表面的脉冲式喷射,间歇地喷放液滴。所述脉冲的产生要求有恒定的流体流速,由泵或受压的

流体来提供。

在其它已知的静电雾化或静电喷射技术中，当电压或充电电流施加到要喷射的液体时，静电喷射连续地发生。因此，对能够进行静电喷射的液体体积的控制相对有限，因为施加所述电压或充电电流的时间内的任何变化都直接影响喷射的液体的体积。

对绝缘流体进行静电喷射的已知方法的不利之处在于：为了启动和停止喷射，需要启动和停止泵浦方法。不可能准确地控制所述泵的启动和停止。在这种设备中，即使断开电场或充电电流，所述泵将会继续向管子出口或喷射区传送液体，这就导致滴液。这意味着：不可能进行液体喷射的精细控制。

根据本发明的第一方面，提供一种静电喷射设备，用于以脉冲方式分配体积受控制的基本上非导电的液体，所述设备包括发射器，该发射器具有喷射区，所述液体可以通过喷射区进行喷射。用于将电荷注入所述液体的装置，由此，在使用中，当所述电荷注入时，所述液体由静电力传送到所述喷射区，并且静电喷射以一个或多个脉冲的方式发生。所述设备优选不包括机械泵或任何其它加压所述液体的装置。

其优点是：所述静电喷射设备提供所喷射的非导电液滴的可靠的脉冲，可以使其准确地启动和停止。

根据本发明的第二方面，提供一种静电喷射方法，包括：提供发射器，用于容纳基本上非导电的液体。所述发射器具有喷射区，液体可以从所述喷射区喷射；将电荷注入所述液体；由此，所述液体优选在不使用机械泵或用于加压所述液体的装置的情况下由静电力传送到所述喷射区；其中，对所述电场强度或充电电流、液体粘度和电极形状和发射器形状进行选择，使得当施加上所述电场或充电电流时能够以脉冲方式进行静电喷射。

既可以将正电荷也可以将负电荷注入所述液体或流体中。

可选地，用于将电荷注入所述液体或流体中的装置是尖头导体，诸例如金属针，其具有渐细的或削尖的尖端。这有助于特别是非导电流体或液体的电荷注入。

选择性地，所述尖端可以完全浸入所述液体中。所述尖端也可以位于所述发射器内。因此，所述尖端不会穿出所述发射器的孔。所述发射器可以是具有孔或开口的空腔或毛细管。所述尖端也可以位于所述空腔内，于是不会伸出空腔的孔，即，到达所述孔洞的前方。这改善了电荷注入，从

而改善了脉冲或所喷射液滴的规整性和可靠性,也可以减少喷射或液滴破裂成较小的、更多的不规则液滴这种情况的发生。这对于非导电流体或液体来说特别重要。

根据本发明的第三方面,提供一种静电喷射设备,包括:用于容纳液体的发射器,该发射器具有喷射区,所述液体可以从所述喷射区喷射;用于向所述液体施加时变电场或充电电流的装置;其中,当所述时变电场或充电电流的强度大于阈值强度时,在施加所述电场或充电电流时以脉冲形式产生静电喷射;以及其中,当发生静电喷射时,液体通过静电力被拉到所述喷射区;以及其中,在使用中,时变电场或充电电流强度是非零的。

其优点是:所述静电喷射设备提供可靠的喷射液滴脉冲,形成可准确控制的喷射液体体积。

优选地,所述时变电场或充电电流的强度可以变动,使得在第一时段内喷射一个或多个静电喷射脉冲,在第二时段期间喷射一个或多个静电喷射脉冲;其中,在所述第一时段内的脉冲喷放速率不同于在所述第二时段内的脉冲喷放速率。

优选地,所述第一时段的长度基本上与所述第二时段的长度相同。

优选地,提供用于改变所述电场或充电电流的强度在所述阈值强度以上的时间长度的装置。

优选地,所述电场或充电电流的强度在位于所述阈值强度以上时基本上恒定。

根据本发明的第四方面,提供一种静电喷射方法,包括:提供用于容纳液体的发射器,所述发射器具有喷射区,所述液体可以从喷射区喷射;向发射器提供液体;向所述液体施加时变电场或充电电流;其中,当所述时变电场或充电电流大于阈值强度时,所述电场或充电电流强度使脉冲式静电喷射发生;以及其中,当发生静电喷射时,液体通过静电力被拉到所述喷射区;以及其中,在使用中,所述时变电场或充电电流强度是非零的。

可选地,所述方法可以用于导电路径的制造。

有利的是:所述时变电场或充电电流的强度改变,使得在第一时段期间喷放一个或多个静电喷射脉冲,在第二时段期间喷射一个或多个静电喷射脉冲;其中,在所述第一时段期间的脉冲喷放速率不同于在所述第二时段期间的脉冲喷放速率。

选择性地,所述方法包括在恒定时段的周期内改变所述电场或充电电流的强度,强度大于所述阈值的占空比是可变的。

下面将参考附图描述本发明的实施例,其中:

图 1 是根据本发明第一方面的设备的示意侧面正视图;

图 2A 是根据本发明第一方面的在液体的静电喷射期间拉出的玻璃喷嘴的侧视图;

图 2B 是根据本发明第一方面的接收到液体的静电喷射之后的基底的平面图;

图 3 示出对于使用本发明的第一方面的特定注射式电极和喷嘴形状,液滴喷射频率对施加电压的依赖关系的图;

图 4 示出根据本发明第一方面的在喷射时利用不同的喷嘴尺寸可以获得的液滴喷射频率范围的图;

图 5 是根据本发明第二实施例的设备的示意侧面正视图;

图 6A、图 6B 和图 6C 是根据本发明第三实施例的设备的示意侧面正视图;

图 7 是使用根据本发明第三实施例的设备所产生的液体的静电喷射的图像;

图 8 是根据本发明第四实施例的设备的示意侧面正视图;

图 9 是根据本发明第五实施例的设备的示意侧面正视图;

图 10 是根据本发明第六实施例的设备的示意侧面正视图;

图 11 是根据本发明第七实施例的设备的示意侧面正视图;

图 12 是根据本发明第八实施例的设备的示意侧面正视图;

图 13 示出一系列喷射液滴,说明了对于同一喷嘴发射器形状由所施加的电场或充电电流的变化引起的发射液滴体积的变化;

图 14 是根据本发明第九实施例的设备的示意侧面正视图;

图 1b 是仅由例子的方式给出的根据本发明第十实施例的示意侧面正视图;

图 3a 和图 3b 示出在第一模式中电流(指示静电喷射的脉冲)相对时间的图;

图 15 示出在第一模式中电流（指示静电喷射的脉冲）相对时间的图；

图 16 示出在第一模式中电流（指示静电喷射的脉冲）相对时间的图；

图 17 示出在第二模式中电流（指示静电喷射的脉冲）相对时间的图；

图 7a、图 7b 和图 7c 示出在第三模式中电流（指示静电喷射的脉冲）相对时间的图；

图 18 示出具有整合的电极的本发明的第十一实施例；

图 19 示出在纸质基底上的液滴沉积的照片；

图 20 示出在醋酸纤维基底上的液滴沉积的照片；

图 21 示出在硅基底上的液滴沉积的照片。

图 1 示出静电喷射设备 1。发射管 2 能够保持要进行静电喷射的液体 3。管 2 具有圆形孔洞或开口 29，从中能够喷出液体 3。管 2 用作液体 3 的储液器。液体 3 是低导电率液体或者基本上非导电的（即，基本上是绝缘的）液体。可选择地，液体 3 也可以是导电的液体。然而，在下面的例子中讨论基本上非导电的液体的使用。

发射管 2 能够保持要进行静电喷射的液体 3。管 2 具有从中能够喷出液体 3 的孔洞或开口 29。所述孔洞优选是圆形的。管 2 用作液体 3 的储液器。液体 3 是低导电率液体或者基本上非导电的（即，基本上是绝缘的）液体。

所述基本上非导电的液体的导电率优选小于 10^{-8} S/m，其导电率可以是小于 10^{-6} S/m。液体 3 可以是一种电介质液体。术语“基本上非导电的以及绝缘的”应该用来指具有小于 10^{-6} S/m（或者可选择地小于 10^{-8} S/m）的低导电率的液体。

针状电极 4 与要喷射的液体 3 相接触。针 4 具有削尖的尖端 4a。尖端 4a 在所述管中邻近于开口 29。针 4 与管 2 的纵轴平行，并且尖端 4a 位于开口 29 的中心。针 4 优选由金属制成。当对针 4 施加电压时，尖端 4a 可以将正电荷或负电荷发射到液体 3 中。所述电荷可以是电子（带负电），也可以通过捕获电子来形成（带正电）。可以认为电荷向液体 3 中的注入形成充电电流。

基底电极 10 被置于距发射管 2 的开口 29 合适的距离处，该距离通常在 1 mm 的量级。基底电极 10 是厚 0.5 cm、尺寸为 2 cm × 2 cm 的固体方块，与发射管 2 的纵轴对齐。基底电极 10 接地。

能够提供任意极性的电压的高压电源 5 连接到金属电极 4。高压电源 5 能够向液体提供常压（即，直流电压 DC）。所提供的电压可以变为选定值。

收集器基底 9 被置于基底电极 10 的上部。收集器基底 9 接收来自发射管 2 的脉冲式静电喷射的液滴。

由计算机控制的高精度平移台 11 支撑收集器基底 9 和基底电极 10，它能够垂直于喷射方向移动电极 10。

可以用预组装的单层颗粒或分子覆盖所述基底表面，和/或用预组装的亚单层颗粒或分子来覆盖。所述基底可以是绝缘体、半导体或导体。具体说，所述基底可以是硅。

可以将发射管 2、基底电极 10 和收集器基底 9 装在接地的不锈钢真空腔内，以允许环境气压变化，具体说是减小。

液体 3 在开口 29 处具有弯月面，在静电喷射期间，所述弯月面发生振荡。所述弯月面可以是在开口 29 下面延伸的锥形形式，如图 1 所示。在冷光源 6 的照射下，通过高速电荷耦合器件（CCD）照相机 7，可以观察到振荡的液体弯月面和静电产生的液滴。

注入流体中的电荷量可以通过连接到发射管 2 的电流监视设备 12 来测量，从而测量通过所述液体的电流。

静电喷射设备 1 是一种非受迫性系统，意思是当所述设备在使用中时，在所述孔洞 29 和所述储液器之间并无泵或阀连接。来自所述储液器的液体流只由静电力引起。所述静电力由所述流体中的注入电荷来产生，并且由于自由电荷，在流体的表面和流体自身内部均存在电场。

静电喷射设备 1 被配置为以离散脉冲喷射液体 3，对针 4 施加电压期间喷射一个或多个脉冲的液体 3。当恰当配置设备 1 时，所述脉冲喷射自动地发生，而并不是通过开始和停止施加电压来直接产生的。

为了使脉冲式喷射发生，选取液体粘度、电极和发射器形状，使得以接近最小稳定喷射流速的流速来静电泵浦所述液体所需要的力不要太大。也基于液体粘度、电极和发射器形状来选取电场强度或充电电流。所述电场强度的选取使得在没有持续的电晕放电的情况下以脉冲形式发生静电喷射。对于特定的发射管孔径或流体阻力来说，对于大液体粘度，所述电场强度或注入电荷速率可以比较高。对于低液体粘度，可以使用较低的充电电流。对于较小的发射器孔径或较大的流体阻力来说，对于特定粘度，

所述电场强度或注入电荷的量应该比较大,或者说,对于特定的场强或注入充电电流,所述粘度应该较低。这些关系适用于所描述的所有实施例。

在静电喷射设备 1 中可以使用许多不同的液体。室温导电率的范围可以从可忽略到 10^{-6} S/m。也可以使用低导电率的低温液体,诸如液氮、液氨、液氢或液氧。可以使用的粘度范围为从 1×10^{-4} 到 100 Pa.s。

静电喷射设备 1 可以用作打印机,以便在芯片或基底上进行喷墨或打印。

静电喷射设备 1 的具体优点是:可以非常准确地控制液体脉冲的开始和停止。这是因为,当电荷被注入流体 3 中时,液体只从毛细管出口流出,并从管 1 中喷放出来。

可以用许多方式将电荷注入低导电率或绝缘流体中,其中包括但不限于:在高压下从尖锐的金属电极注入、从压电电荷注入设备或通过摩擦起电机注入。可以非常准确地控制所述电荷注入过程的开始和停止。

这些不同的充电机制可以用于所描述的任何实施例。

在施加恒定的(即非脉冲式)充电电流或电场时,产生喷射流体的离散脉冲。每个喷射脉冲中的液体量与所述电场或充电电流的施加时间无关。可以接通或断开所述恒定的电场或充电电流以控制所述离散脉冲应该何时喷放,当所述电场或充电电流被接通时,设备 1 喷放一系列静电喷射脉冲。所述电场或充电电流的接通或断开自身并不直接引起所述脉冲。所述设备的配置使得当施加恒定的电场或充电电流时,其处于自动产生脉冲的模式。所述静电喷射脉冲的形成不依赖于任何机械控制装置或者电场或充电电流控制装置。这提供非常一致而均匀的静电喷射流体的脉冲,即液滴。

静电喷射设备 1 还有这样的优点:每个喷射脉冲都以离散的喷射发生,每个喷射包含小且可预测的液体体积。如果在所述管和被喷射表面之间有相对移动,则所述表面将接收一系列离散的点,这些点可以彼此相隔。提供所述一系列点对打印或其它应用可能是有利的。这优选通过被喷射表面的移动来实现,但也可以通过所述发射器的移动来实现。

所述静电喷射设备可以产生脉冲式电场或充电电流。电场或充电电流的每个脉冲可以包含一个或多个喷射流体的脉冲。所述静电喷射脉冲一般不在所述电场或充电电流脉冲开始时开始,一般也不在所述电场或充电电流脉冲结束时结束。所述喷射脉冲不依赖于所施加的电场或施加的充电电

流的脉冲长度。所以，由静电喷射脉冲喷放的体积取决于在所述电场或充电电流脉冲中所发生的静电喷射脉冲的数目，而不直接与电场或充电电流脉冲的长度相关。这在不影响在喷射脉冲中所喷放的液体的量的情况下允许所述电场或充电电流脉冲的长度有偏差。

例如，如果希望重复喷射的体积等于一个静电喷射脉冲的体积，则可以将所述电场或充电电流以脉冲的形式施加到针 4。在施加所述电场或充电电流时，所述静电喷射可以以预定的频率以脉冲的形式发生，但一般不马上就开始，就是说，所述设备不会在所述电场或充电电流一接通时就自动地进行喷射。电场或充电电流的每个脉冲的接通时间必须足够长，以允许喷放一个喷射脉冲，但又必须足够短，以防止喷放两个（或所需数目的）静电喷射脉冲。当没有施加电场或充电电流时，可以移动电极和/或基底，以便将相继的喷射脉冲施加到基底上的不同位置。在减小电场或充电电流以抑制更多脉冲之前，可以喷射任意数目的液体脉冲。增加充电电流会增加脉冲的频率，允许进一步控制所述液体的沉积。

现在将参考图 1 来描述所述设备的使用。相同的方法也适用于图 1b 和图 18 的设备。对所述液体施加电势，使得所述液体以脉冲的方式从管 1 中喷射出来，作为喷射 8。喷射 8 撞在基底 9 上。平移台 11 垂直于喷射 8 的方向移动收集器基底 9 和基底电极 10。所述平移台可以保持不动，以允许喷射 8 的一个或多个脉冲在同一点处撞在基底 9 上。

该系统 1 不具有与发射管分开的储液器。管 2 自身存储着要喷射的液体 3。本实施例允许通过由电源 5 正确地施加电势使液体 3 沉积在基底 9 上。

可选择地，所述液体可以存储在与所述发射管相连的储液器中。

可以改变基底 9 和发射器 2 之间的距离，以使沉积区更小或更大。依据喷射液滴上的电荷水平，所述喷射液滴 8 在其离开发射器 2 后可以展开，所以基底 9 和发射器 1 之间的距离越大，所能提供的沉积区就越大。电极 10 和/或收集器基底 9 优选置于平移台 11 上，而平移台 11 可以由计算机来控制。平移台 11 提供电极 10 和/或基底 9 与喷射液滴 8 之间的相对移动，从而使喷射液滴 8 沉积在基底 9 的选定区域上。

在参考图 1 的示例性设备中，发射管 2 由无涂层的硅硼酸盐玻璃毛细管制成，其外径为 2 mm，内径为 0.86 mm，并且朝着直径为 42 微米的开口 29 逐渐变细。静电喷射设备 1 中作为要喷射的液体 3 而使用的液体是

基于充碳黑的油制成的墨水，其导电率约为 10^{-12} S/m，粘度为 10 mPa.s。

选择针 4 的末端到管 2 的开口 29 的适当距离，在本例中，使用 4 mm 的距离，而管开口 29 和基底材料 9 之间的距离通常在 1 mm 的量级。所用的收集器基底 9 是高质量的相纸，其被置于接地的钢制基底电极 10 的上面。

当没有对金属针 4 或其它电荷注入装置施加电压的情况下，从所述毛细管中没有液体墨水流出。当施加到针 4（或其它装置）的电压从零增加到 900 V 的电压时，墨水滴就以稳定的频率（在几百赫兹的范围内）从所述毛细管中喷放出来。当所述电压增至 900 V 以上时，从毛细管出口喷放液滴的喷放频率和液流速率增加。当所述设备的所有其它参数恒定时，在恒定电压下（即，恒定的电荷注入速率），喷射液滴的频率是恒定的。

通过使用计算机控制的平移台 11 在脉冲喷射 8 之下以已知的恒定速度移动收集器基底 9，可以通过基底的沉积后成像来确定液滴喷放的频率。

图 2A 中示出了从毛细管出口喷放出的脉冲墨水喷射的示例性图像。图 2B 中示出了收集器基底 9 的示例性显微图像，其中示出在不同的喷放频率下的一系列墨水沉积点的线。使用计算机控制的平移台 11 选择所述基底的移动速度为 50 mm/s。通过改变施加到金属注入电极 4 的电压改变喷放的液体脉冲的频率。

如图 3 的曲线图中所示，当所施加的电压为 4.0 kV 时，所述液滴喷放频率从 900 V 时的约 300 Hz 增加到 80 kHz 左右。在 900 V 到 4000 V 的范围上，喷射脉冲和液滴喷放的频率连续地增加，且没有观察到稳定的锥形喷放喷射情况（cone-jet spraying regime）。当电压超过 4.0 kV 时，开始出现放电并伴有周期性的火花。

使用在相纸基底上产生的残余点大小与沉积的原始脉冲体积之间的已知关系，计算出在每个静电喷射脉冲中所喷放的液体体积在 1-3 皮升（picolitre）的量级。

图 4 示出发射器/喷嘴尺寸的变化对由所施加的电场的改变所实现的液滴喷放频率的范围的影响。从图中可以看到，当使用较大发射器/喷嘴出口直径时，最小和最大液滴喷放频率通常较低。所述液体是如上所述的相同的基于充碳黑的油的墨水，包括采用比前述 42 微米喷嘴更大的喷嘴进行喷射的数据。

图 5 示出图 1 中所示本发明的静电喷射设备的实施例的变型。图 5 中所示的静电喷射设备 21 包括两个发射管 13a、13b，每个管 13a、13b 基本上都与上述管 2 相同。可选择地，可以使用任何数目的发射器。第一管 13a 包含要喷射的第一液体 15a。第二发射管 13b 包含要喷射的第二液体 15b。第一尖端电极 4b 被置于第一发射管 13a 内，并与管 13a 的纵轴对齐。第二尖端电极 4c 被置于第二管 13b 内，并与第二发射管 13b 的纵轴对齐。电源被连接到第一电极 4b。同一电源 14 或不同的电源被连接到第二电极 4c。

静电喷射设备 21 还包括液体 15a、15b 可以喷射到上面的基底 9a。基底 9a 被安装在接地的电极 10a 上。电极 10a 可以被连接到每个电源。可以将基底 9a 和接地电极 10a 安装在平移台 11a 上，以便在保持到发射管 13a、13b 的距离恒定的情况下移动基底 9a。每个发射管 13a、13b 都具有开口，通过该开口能够喷射液体 15a、15b。第二电源 14 连接在电极 10 和浸入金属电极 4B 之间。图 5 的其余特征参见对图 1 的描述。当对与各自的发射管 13a、13b 中的流体相接触的第一和/或第二金属电极施加电势时，从各个管 13a、13b 产生脉冲式静电喷射。

图 5 示出两个发射管，然而，可以一起使用多于两个的发射管。可以将这些管排列成二维阵列。

图 6A、图 6B、图 6C 示出本发明的静电喷射设备的另一个实施例。发射管 18 由连接到绝缘储液器 16 的毛细管构成，在储液器 16 中包含有要喷射的液体。摩擦电荷 17 被转移到毛细管 18 以启动液体的喷射。所述液体喷射的持续时间和喷射脉冲的特性取决于注入电荷的量。

要喷射的液体为 Dow Corning FS1265 硅油。在毛细管 18 中提供有开口，通过该开口可以进行静电喷射。与图 1 的实施例相反，在毛细管 18 中没有尖端电极。该整个系统由绝缘支撑体 39 托住，在支撑体 39 的下面是可选择的绝缘基底 22。然后用橡胶部分 17 通过摩擦起电将电荷转移到硅石毛细管 18，如图 6B 中所示。一旦电荷被转移到硅石毛细管，就会从所述毛细管中喷放出锥 19 和喷射 20，如图 6C 所示。所述喷射的特性和持续时间取决于转移到毛细管的电荷量，并持续 5 秒和 30 秒之间不等，并且呈现脉冲和连续的锥形喷射模式喷射二者。例子之一示于图 7 中，其中，在所述硅石毛细管的尖端处示出硅油的锥形喷放喷射图像。

在应用摩擦电荷期间或之后喷射液滴的频率会变化，因为所述电荷耗散了。

图 8 示出本发明的静电喷射设备的其它实施例, 其中, 发射管 30 为连接到储液器 24 的毛细管的形式, 在储液器 24 中盛有要喷射的液体。充电电流由压电型充电设备 26 通过压电效应提供给至少部分地浸入要喷射的流体中的金属注入电极 28。由于压电生成电荷在针端 32 处所产生的电场使所述流体流动并以流体的脉冲喷射形式从毛细管 30 流出。对电极 (counter electrode) 34 可以是接收所述流体的基底或者可以具有开口孔径以允许从毛细管流出的流体喷射到周围的气体环境或真空中。

参考图 8, 要喷射的液体为 Dow Corning FS1265 硅油。所述液体被保持在绝缘储液器 24 中, 所述容器优选是非承压的。连接到储液器 24 的是硅石毛细管 30 形式的绝缘发射管。所述毛细管由绝缘支撑体支持。

具有尖端形状部分 32 的电极 28 伸进毛细管 30 中, 并且至少部分地浸入要喷射的流体中。压电型充电器 (PCD) 26 被电气连接到电极 28。在压电设备 26 被激励时, 电荷通过电极 28 传递到流体, 产生喷射脉冲 35。

本实施例可以包括具有孔 34 的电极、通过孔 34 喷出的喷射 35。当由 PCD 26 传送到流体的充电电流足够高时, 能够从毛细管 30 中喷放出稳定的流体的锥形喷放喷射。

可选择地, 图 8 中示出的结构可以用来将流体发送到位于所述孔的与发射管 30 相对的另一侧的基底 (图 8 中未示出) 上。例如, 在不要求在纸或其它可以打印的材料的下侧有电极, 即, 不要求将所述可打印材料放置在发射管 30 和电极 34 之间的情况下, 这种结构可以用来将墨水沉积在纸上或其它可以打印的材料上。

图 9 示出基本上如图 1 所述的本发明的另一个实施例。如图 8 中所述的 PCD 26 用来提供电荷。

图 10 示出对图 8 中所示的本发明的静电喷射设备的变型, 其中, 所述电荷注入电极的形式是: 在容纳要喷射液体的毛细管 38 的外表面上的金属涂层 40。所述充电电流通过压电型充电器 26 由压电效应传送到金属制的注入电极 40, 而金属注入电极 40 至少部分地与要喷射的液体流体相通。由于压电注入电荷产生的场使所述流体流动并以带电的液体喷射形式排出毛细管 38。收集器基底 9 和基底电极 10 可以被置于由计算机进行控制的平移台 11 上, 以允许所述收集器表面和所述液体喷射之间的相对移动。

图 11 示出对图 1 或图 5 中所示的本发明的静电喷射设备的实施例的变型。在图 11 中，发射器不是毛细管的形式，而是由可以限定储液器以存储液体 46 的任何材料 42 形成。在所述储液器中形成有口，液体可以从该孔中喷射。该实施例可以通过微制造技术来完成。高压电源 48 可以被连接到材料 42 或位于所述储液器中的尖头金属电极 44，以便将电荷注入液体 46 中。图 11 的实施例与图 1 和图 5 以同样的方式工作。

上述任何实施例可以具有至少是位于空气基本上排空的真空腔中的发射器和基底。

图 12 示出本发明的静电喷射设备的另一个实施例。发射管 2、液体 3、尖端电极 4 和电源 5 基本上如图 1 或图 5 或图 11 中所示。基底 9、接地电极 10 和平移台 11 也如上所述。

在发射管 2 的周围同轴安装管 50，发射管 50 的开口环绕着发射管 2 的开口。发射管 50 容纳有第二流体 54，使得发射管 2 的开口处于第二流体 54 内，通过所述发射管 2 的开口从发射管 2 进行静电喷射。

第二流体 54 不同于进行静电喷射的流体。第二流体 54 既可以是液体也可以是气体，它被盛在容器 52 内。容器 52 可以是密封的，或连接到流体的储放器。

第二流体 54 优选不能与要静电喷射的流体混合，但可以是能部分地与要喷射的流体混合。第二流体 54 可以是静止或流动的。

第二流体 52 优选不能与要静电喷射的流体 3 混合，但可以是能部分与要喷射的流体混合。第二流体 52 可以是静止或流动的。

穿过第二流体进行喷射允许使所产生的的第一流体的液滴包在第二流体 56 的涂层或薄膜内。这可以允许封装的流体雾化到气体、液体或真空环境中，或者允许封装的液滴沉积到接收基底材料 9 上。

图 13 示出在相似于图 1 所示的结构中施加到注入电极的电场的变化所导致的基于充碳黑的油的墨水的喷射液滴的体积的变化。当施加到金属针的电压增加时，液滴喷放频率和每个液滴的体积两者在所示的电压范围上都增加。

图 14 示出本发明的另一个实施例。发射管 60 盛有要进行静电喷射的第一液体 61。管 60 具有连接到电源 68 的尖端电极，基本上如图 1 所述。发射管 60 具有开口 65，液体 61 的静电喷射脉冲通过该开口 65 喷放。开口 65 位于容器 62 内。容器 62 容纳与所述静电喷射液体不同的第二流体

64。第二流体 64 既可以是液体，也可以是气体。容器 64 可以是密封的，或可以连接到流体的储放器。

第二流体 64 优选不能与要静电喷射的流体混合，但可以能部分地与要喷射的流体混合。第二流体 64 可以是静止或流动的。

基底和接地电极以及/或前述平移台也可以位于所述容器 62 内。

穿过第二流体进行喷射允许进行静电喷射的液体的液滴可控制地分散在第二流体中。这就允许形成乳状液，例如油/水乳状液或纳米乳状液。也能够用来形成这样的颗粒：这些颗粒具有包含在第二流体的固化壳内的所述静电喷射液体。另外，挥发性液体可以在非挥发性第二流体中进行喷射。

所有所述实施例配置为在将电荷注入要进行喷射的基本上非导电的或者导电的液体或流体中时产生静电喷射脉冲。所述脉冲并不直接由电荷注入的开始或终止来产生，而是属于所配置的系统的内在特性。

图 1B 示出本发明的静电喷射设备的另一个实施例。该设备配置为喷射导电液体。

毛细发射管 70 包含要进行喷射的液体 74。高压电源 79 被连接在引出电极（extractor electrode）78 和发射管 70 之间。通过导电配件 72 可以将电势施加到发射管 70 的导电表面。高压电源 79 提供电极 78 和发射管 70 之间的电势差。

引出电极 78 被保持距发射器顶端合适的距离处。在电极 78 的面对发射管 70 的侧表面上可以放置目标基底 77。

所述基底可以覆盖预组装的单层颗粒或分子，和/或覆盖预组装的亚单层（pre-assembled sub-monolayer）的颗粒或分子。所述基底可以是绝缘体、半导体或导体。

在使用中，电势由电源 79 产生，使得液体以脉冲形式从管 70 中喷射出来，形成喷射 76。喷射 76 撞在基底 77 上。由计算机进行控制的高准确度平移台 80 支撑着基底 77 和电极 78，并能垂直于喷射 76 的方向移动电极 78。

图 18 示出本发明的静电喷射设备的与图 1 和图 1b 所示的实施例不同的实施例的例子。在图 18 中，发射器不是毛细管的形式，而是由能够限定储放器以存储液体 86 的任何材料 85 形成。在所述储放器中形成有口，

所述液体可以从该口进行静电喷射。该实施例可以通过微制造技术完成。

在材料 85 和层 89 之间夹着一层材料 87。材料层 87、89 在所述口的周围限定凹窝。材料 85、89 优选是导电的，或者嵌有导电元件。材料 87 优选是非导电的。

高压电源 79 被连接到材料 85，并且优选也连接到材料 89。高压电源 79 的配置使得在液体 86 中产生电场，以产生静电喷射脉冲，如上所述。这示出集成电极的例子。

为了使用图 1、图 1b 或图 18 的设备产生脉冲式喷射，选择液体粘度、电极和发射管形状，使得以接近最小稳定喷射流速的流速来静电泵浦所述液体所需要的力不要太大。也基于液体粘度、电极和发射器形状来选择电场强度或充电电流。选择所述电场强度，使得在没有恒定的电晕放电的情况下以脉冲形式发生静电喷射。对于特定的发射器孔径或流体阻力来说，当液体粘度较大时，所述电场强度或注入电荷速度可能比较高。当液体粘度较低时，可以使用较低的充电电流。对于较小的发射器孔径或较大的流体阻力来说，对于特定的粘度，所述电场强度或注入电荷量应该比较大，或者说，对于特定场强或注入充电电流，所述粘度应该较低。这些关系适用于所描述的所有实施例，特别是既适合于导电液体也适合于非导电液体的静电喷射。

当所述充电电流或电场在产生静电喷射脉冲的电压范围的部分上增加时发现：每滴中的液体体积也增加。例如，发现当施加电压在 900 V 和 3000 V 之间时，随着电压的增加，液滴体积也增加。因此，增加充电电流或电场既能增加喷放液滴的频率也能增加每个液滴中液体的体积。

上面的描述适用于使用基于图 1、图 1b 或图 18 的设备进行的导电和非导电液体的静电喷射。基于图 1、图 1b 或图 18 的设备可以有多个发射器，这些发射器可以排列成阵列。可以提供独立的储放器，与发射器流体相通。

所述发射管可以不是毛细管的形式，而是由能够限定储放器以存储液体的任何材料形成。在所述储放器中形成有口，所述液体可以从该口中喷射。该实施例可以通过微制造技术完成。高压电源或用于电荷注入的其它装置可以被连接到所述材料或位于储放器中的尖头金属电极，从而向所述流体注入电荷。

所喷放的液滴体积由于施加到注入电极的场的变化而变化。施加到金

属针或用于电荷注入的其它装置的电压或充电电流增加时,在发生静电喷射的范围的部分上,液滴喷放频率和每个液滴的体积都增加。每个液滴的体积可以先达到一个峰值,然后再下降。液滴体积与施加电压的关系可以取决于所述液体和发射器形状的性质。

使用图 1、图 1b 或图 18 的设备能够准确地控制静电喷射脉冲。或许要求在所述基底上的同一点处沉积一个液滴或沉积预定数目的液滴。所以,需要控制在停止静电喷射之前被静电喷射的液体的体积,以允许所述平移台移动。可选择地,或许需要控制对移动的或静止的平移台进行静电喷射的速率。

现在将描述两种主要的静电喷射控制形式(尽管可以使用其它的形式),它们是:

1) 改变用来控制在预定时间内所喷放的液滴数目的电压或充电电流,如将作为第一和第二模式描述的,以及如图 3a、图 3b、图 14、图 15、图 16 和图 17 所示;以及

2) 改变所述电压或充电电流按预定的电压或充电电流施加时的时间长度,如将作为第三模式描述的,以及如图 7a 到 7c 所示的。

下面的操作和使用模式可以用于这里所述或示出的任何设备。所述操作和使用模式也可以用于喷放这种静电喷射脉冲的任何设备。

图 3a 和图 3b 示出本发明的第一模式。要进行静电喷射的液体既可以是导电的也可以是非导电的液体,这对于所述所有模式来说都成立。所使用的设备将基于图 1 或图 1b 的合适的一个。所述静电喷射设备将电压或充电电流施加到所述液体。所施加的电压在两个电压或充电电流之间切换,优选是以 5 kHz 的速率重复这个循环。所述两个电压中的每个电压可以施加等量的时间(在这种情形中为 0.0001 秒),也可以是,这两个电压中的一个电压可以比另一个施加更长的时间段。

在时段 110 期间施加第一电压。选择第一电压在喷放静电喷射脉冲的最小阈值之下。因此,在第一时段 110 期间没有脉冲喷放。示范性电压为 350 V。

在第二时段 112 中,将施加的电压切换为较高的电压。在整个第二时段 112 中,较高的第二电压是恒定的,并使以恒定的频率从所述设备中喷放 6 个静电喷射液滴。示例性第二电压为 400 V。然后,将电压切换回第一电压,并且重复该循环。在第一时段和第二时段中的所述电压或充电电

流优选基本上都是恒定的，施加以形成方波，或者可选择地形成锯齿波或三角波或正弦波。

图 3b 示出第一时段 110 和第二时段 112 的放大图。静电喷射脉冲由峰 114 来指示。注意：所示的饱和方形关断正电流和负电流不表示被喷放的静电喷射脉冲，而只是由施加电压的变化所引起的。时段 110、112 的长度是不同的，具体说，“开/脉冲喷放”时段 112 的长度比“关断”时段 110 长。可选择地，时段 110、112 的长度可以是相同的。

图 15 示出本发明的第一方面的变化。所施加的电压以 5 kHz 的频率在第一电压和第二电压之间循环。在时段 120 期间施加第一电压。所述第一电压的选取使得不喷放静电喷射脉冲。在第二时段 122 中施加第二电压。图 3 示出电压的选取如何影响所喷放的液滴的频率。所述第二电压的选取使得在该时段 122 期间喷放一个静电喷射脉冲 124。然后，可以重复该循环，在所述第一和第二电压之间交替变化。

图 16 示出如上所述的在两个电压之间的切换。在第一时段 130 中，施加第一电压，这导致没有静电喷射液滴被喷放出来。在第二时段 132 中，施加第二电压。第二电压的选取使得静电喷射以某个频率发生，导致在时段 132 期间喷放 3 个静电喷射液滴 134。

当不喷放静电喷射时，将所述电场或充电电流减小到非零的强度。当从喷放静电喷射的时段移动到不喷放静电喷射的时段时，可以将电压下降小于 100 V，优选在 20 到 50 V 之间。可选择地，当不喷放静电喷射时，所述电场或充电电流可以基本上为零。

通过产生直流（或者恒定的）电场或充电电流分量，可以在所有的实施例中产生时变的电场或充电电流。也产生通常较小的时变分量，并将其叠加在所述恒定分量上。

已经将所述时变电场或充电电流描述为方波，其中，所述电场或充电电流的强度在两个值之间交替变化。所述交替变化的两个值优选都是非零的，即使其中之一上不喷放静电喷射。任何实施例的波形都可以交替地不规则，或者甚至在部分波形上也不是恒定的。具体说，所述波形可以是正弦波、锯齿波或三角波形式。

图 17 示出本发明的第二方面。在第一时段 140 期间，对所述液体施加恒定的第一电压。所述第一电压的选择使得液滴以这样的频率进行喷放：在该频率下，在第一时段 140 中喷放 2 个液滴。所述设备切换到第二

电压, 该电压在第二时段 142 期间施加。所述第二电压选择得较高, 使得在第二时段 142 期间喷放 6 个静电喷射脉冲。所述设备以 5 kHz 的频率在第一和第二电压之间循环。第一和第二时段的长度相等, 均为 0.0001 秒。通过在喷放 2 个静电喷射脉冲的第三时段 148 期间重复第一电压, 所述循环得以继续。所以, 取决于所施加的电压或充电电流的所述脉冲喷放频率在第一和第二时段中是不同的。

如上所述的第一和第二时段示出为具有相同的时长。可选择地, 第一和第二时段的时长可以不同。每个时段的电压以及其所施加的时长可以自由地变动, 从而以要求的频率喷放所要求的液体体积, 或者具有预定的不喷射时段。

所述设备可以在两个、三个或更多个时段间循环, 每个时段具有不同的施加电压。

图 7a、图 7b 和图 7c 示出本发明的第三方面, 该方面提供了不同于所述第一和第二方面的另一种控制手段。在第三方面中, 施加到所述液体的电压的开时间可以变化。施加恒定的电压以便喷放静电喷射脉冲。所述电压或充电电流施加选定的时长, 以允许喷放了所需数目的脉冲。然后减小所述电压, 使得不再进一步喷放静电喷射脉冲。然后可以再次接通所述电压, 并重复所述循环。

可以将所述电压减小到恰好在不喷放静电喷射的最小阈值之下, 或者可以减小到零。当不喷放静电喷射时, 优选将所述电场或充电电流减小到非零的强度。可以将所述电压降低小于 100 V, 优选在 20 到 50 V 之间。

图 7a 示出在时段 150 中被接通的电压。时段 150 的选择使得只有供一个脉冲 151 喷放的时间。然后, 在所述循环的余下时间中减小所述电压, 使得不再喷放脉冲。

图 7b 示出在时段 152 中被接通的电压。时段 152 足以允许喷放三个脉冲 153。

图 7c 示出在时段 154 中被接通的电压。时段 154 足以允许喷放 14 个液滴 155。

在这个方面, 所述电压依据静电喷射的使用来选择, 从而给出供应用的合理的喷射速率, 这可以得到准确的控制。

所述设备可以在一个周期中以第三模式操作中。所述周期可以具有一个恒定时段, 该时段可以被选取得长于要进行静电喷射的预期的最长时

长。当所述电场或充电电流强度在阈值强度大小之上时，将出现静电喷射脉冲。所述电场或充电电流强度在阈值强度之上的时长可以变化。波形的占空比为该波形处于“高”或“开”时所占周期的比例，所以，波形的占空比将依据与无静电喷射发生相比静电喷射发生的时间长度而变化。

用于在恒定时段周期中改变所述电场或充电电流强度的手段可以提供可变的占空比。

所述设备可以工作在这样的模式中：其中，电压和该电压所施加的时长均可以变化，以便控制静电喷射液滴的喷放。

所述任何特性均可以与所述任何其它特性相结合。根据上述实施例所述的静电喷射有许多用途。下面将描述一些可能的用途、以及如何为这些用途优化所述静电喷射。这些用途以及使用方法适用于所有的实施例。

导电轨

电子电路依赖于对各部件进行电链接的导电轨的制造。作为直接写过程的例子，本发明可以用作打印机。所喷射的液体可以是金纳米颗粒的悬浮液，或者可以是基于硝酸银的导电墨水。可选择地，可以使用金属有机分解墨水，例如包括溶解在甲苯中的新癸酸银（silver neodecanoate）。所述基底可以是硅、醋酸纤维（acetate）、玻璃、塑料、纸张或其它材料。这种导电墨水可以具有 10 cP 左右的粘度。本设备优选使用的喷嘴直径为 10 到 50 微米。其它屏幕可打印墨水的粘度大于 100 cP，在本方法中使用这种墨水时，喷嘴直径大于 100 微米。

塑料电子学

使用电子学塑料基底允许在柔性塑料基底上制造电子电路。塑料基底呈现的问题是：其表面粗糙并且熔点低。这些问题可以通过溶液处理来克服，要求在合适的温度下以溶液形式将材料打印在塑料上。这种技术可能能够打印该应用期望的材料。可以如上所述在塑料基底上打印导电轨。

发光聚合物（例如，PEDOT-Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)）和导电聚合物

这些材料可以混合在水或电介质液体中。可以依据要进行静电喷射的液体的导电性（即，其可被认为是导电的还是非导电的）使用上述合适的设备。所述喷嘴直径可以选择得适合所要求的特征的大小和溶液粘度。特征大小较小并且粘度相似于水时，喷嘴直径可以为 5 或 10 微米。

显示屏

所述设备可以用来打印薄膜晶体管 (TFT) 屏幕。所用基底可以是玻璃, 且可以静电喷射导电液体。可以使用集成电极, 如图 18 中所示。

屏幕的制造可以利用在无掩膜光刻、导电路径或塑料电子学中所描述的任何特征。

组织工程

所述设备和方法可以用于组织工程的目的, 例如, 通过在水溶液中喷射蛋白质。蛋白质的范围可以从简单的氨基酸到大的非共价键的大分子 (诸如蛋白体)。蛋白质的质量可以高达 1 Mda 左右, 这也允许将一些病毒进行静电喷射。可以使用水作为溶剂, 因为水有合适的粘度。可以使用宽范围的喷嘴直径, 所用喷嘴直径优选为 10 到 30 微米。

所述基底可以由生物可降解的聚合物 (例如, PLGA) 制成的台架, 刻度约为 10 微米。所述设备可以使用集成电极。被喷射的蛋白质可以是功能蛋白质, 诸如纤粘蛋白、清蛋白或胶原质 (collagen)。这样就允许在所述台架上在微观尺度上来控制细胞生长和移植。

本设备可以用来产生油脂双层 (lipid bilayers), 或蛋白质的台架。所述设备可以用于液体的准确分配, 例如, 用于药物研制的目的。

雾化器 (nebuliser)

本设备可以用来替代雾化器, 例如将液体药物或含有生物活性制剂的液体汽化, 以在 0.4 到 6 微米的优选区域中产生液滴。然后就可以由用户吸入所述汽化的雾状液体。

经过皮肤的注入

本设备可以用来将液体药物或含有生物活性制剂的液体汽化。然后可以局部地或透过皮肤对用户施用该汽化物。

分配

该设备可以与质谱仪联合使用。本设备适合于将非常少量的分子分配到例如质谱仪中。所述基底可以是玻璃或塑料。该设备可以配置为将飞升 (femtolitre) 体积分配到高皮升体积的水溶液。该溶液可以包含要测试的分子。

本设备和方法可以用于将被分析物喷射到芯片上的实验室中。本设备

可以用于快速成形 (rapid prototyping), 或用于产生生物微阵列。本方法也可以用到微吸液管溶液, 或产生微阵列。

本发明的设备可以用于将蛋白质或其它被分析物静电喷射到生物传感器上。

无掩膜光刻

本发明的设备可以用来将图案转印到表面上。光刻中使用刻蚀掩膜, 该掩膜通常由称作光致抗蚀剂的聚合物制成, 在该掩膜上通过曝光产生图案。

本发明能够通过直接将蚀刻抗蚀剂材料打印到期望图案中的所述表面上, 或者通过将蚀刻剂或抗蚀显影液打印到所述表面上以从不需要的地方去除所述抗蚀剂或不想要的有用薄膜来产生蚀刻掩膜。

打印抗蚀剂材料可以使用聚合物或蜡作为要进行静电喷射的液体。这种液体很可能是介电的 (即, 不导电的), 所以可以使用基于图 1 的设备。可以使用直径大于 100 微米的喷嘴。所述基底优选是硅, 或者也可以是任何其它材料。蚀刻剂或显影液可以是低粘度的有机溶剂。

超材料

超材料是具有周期结构或蜂巢结构的人造材料, 通常被称作“超晶格”或“光子晶体”。所述单元的周期必须和与其相互作用的光的波长相当。对于可见光来说, 要求波长小于一微米。本发明中的技术能够在该尺度上进行打印。

光学器件

光学器件可以用具有微米尺度特征的聚合物来制造。可以利用上述光刻材料的沉积和刻蚀过程来实现波导和反射镜装置的微制造。要进行静电喷射的液体优选是聚合物, 要喷射到的基底为硅或玻璃。

本发明所述的设备可以用来制造光学器件, 诸如光栅或全息图。本发明所述的设备可以用来制造包含有机发光二极管 (OLED) 的屏幕或用于制造 Liquavista (RTM) 屏。

本设备也可以用于制造传感器, 或利用墨水或任何其它液体作为要进行喷射的液体来打印图像。本发明可以用来制造图形以安置粘合剂或制造电子部件。所述静电喷射设备可以用作打印机, 以便将墨水喷射到芯片或基底上。

所述用途和应用适用于本质上要利用脉冲式静电喷射的任何设备或方法，不限于这里所描述的示范性设备或操作方法。例如，当所述电场或充电电流大小减小到零（或某个非零值）以便终止静电喷射时，可以使用所述用途和应用。

本发明所述的设备和方法可以用来在基底上的一个点处喷射多个液滴，然后在所述基底和所述发射管之间提供相对移动以便在所述基底上的另一个点处继续进行喷射。通过将所述电场大小减小到阈值水平之下，可以在所述相对移动发生的时候终止静电喷射。所述设备和方法也可以用来在所述基底上的任何点处只喷射一个液滴，这一点可以这样来实现，即，连续地相对移动所述基底，或者一次只喷放一个液滴，然后通过将电场大小减小到阈值水平之下来终止静电喷射，同时移动所述基底。

技术人员会明白，上述实施例的细节可以变动而不偏离由附属权利要求书所定义的本发明的范围。

例如，所述基底可以是纸张、硅、半导体、绝缘体、导体、卡、食物、包裹、塑料以及皮肤。图 19-图 21 用照片示出在各种示范性基底上的液滴沉积的结果。这些图指示出用来产生各种结果（包括液滴体积和频率）的参数（电压、毛细管直径）。

对于图 8 所示的实施例，当要求在发射管处为净零压时，储液器 24 内的液体的自由面可以与例如所述毛细管的出口平面处于同一水平。

上面所提供的这些例子示出由平移台所移动的基底。另一方面，所述打印头可以移动而所述基底固定。

至少是当使用非导电液体时，所述电压可以基本上不依赖于喷嘴或发射管出口的直径。

所述喷放频率（具体说所述最大喷放频率）可以依赖于喷嘴或发射管出口的直径。所以，可以通过改变此直径来改变这个参数。图 19-图 21 提供了这种依赖性的例子。

对于技术人员来说，对上述实施例的特征进行许多组合、修正或改变是很容易做到的，这些组合、修正或改变应该构成本发明的一部分。

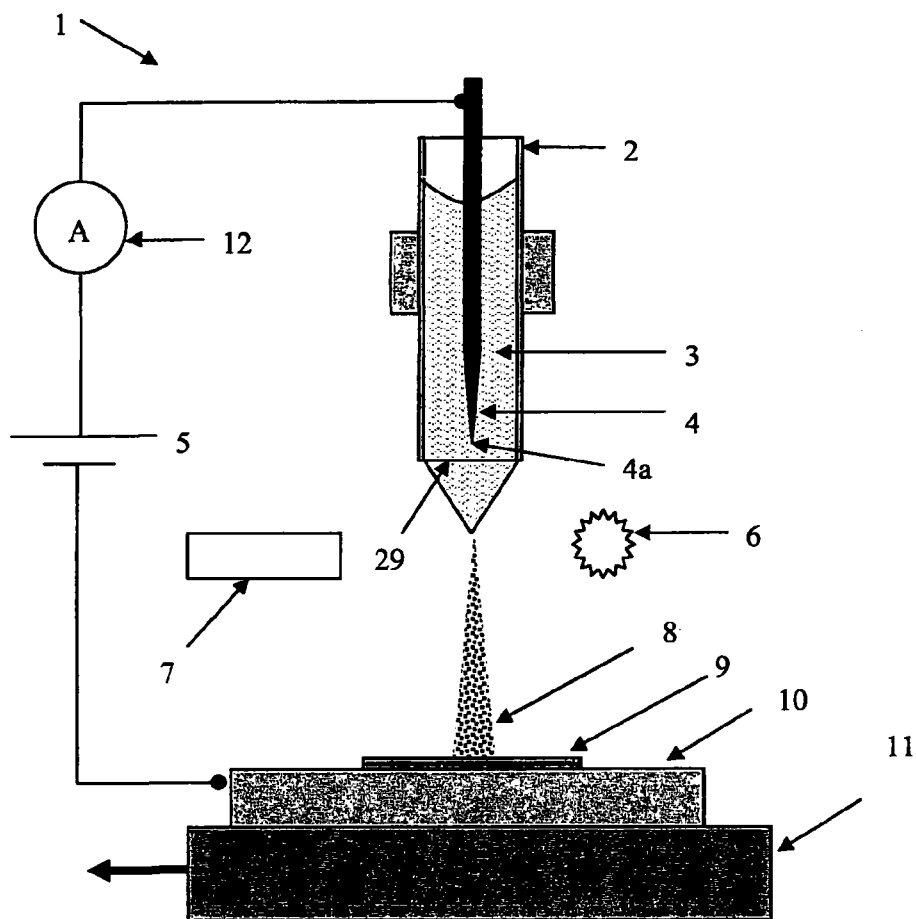


图1

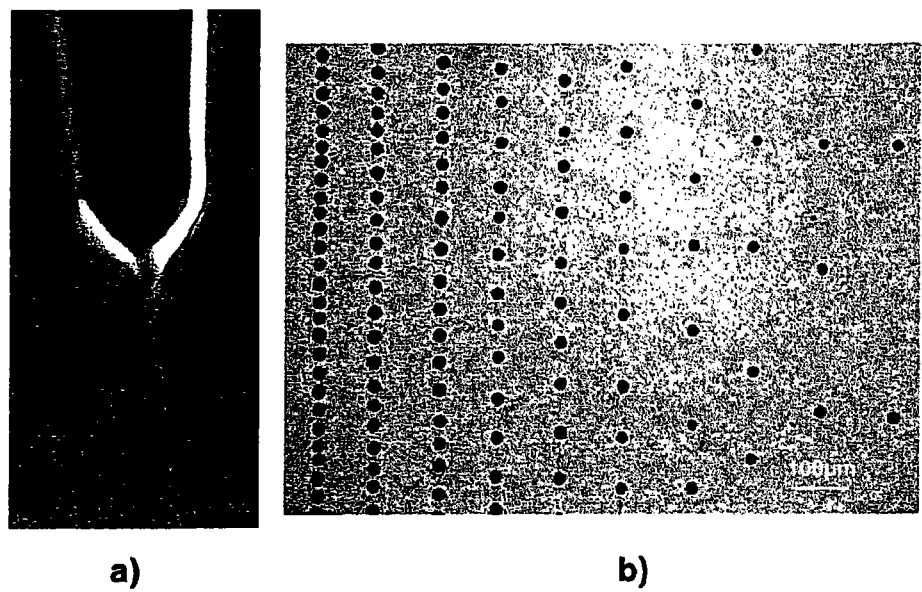


图 2

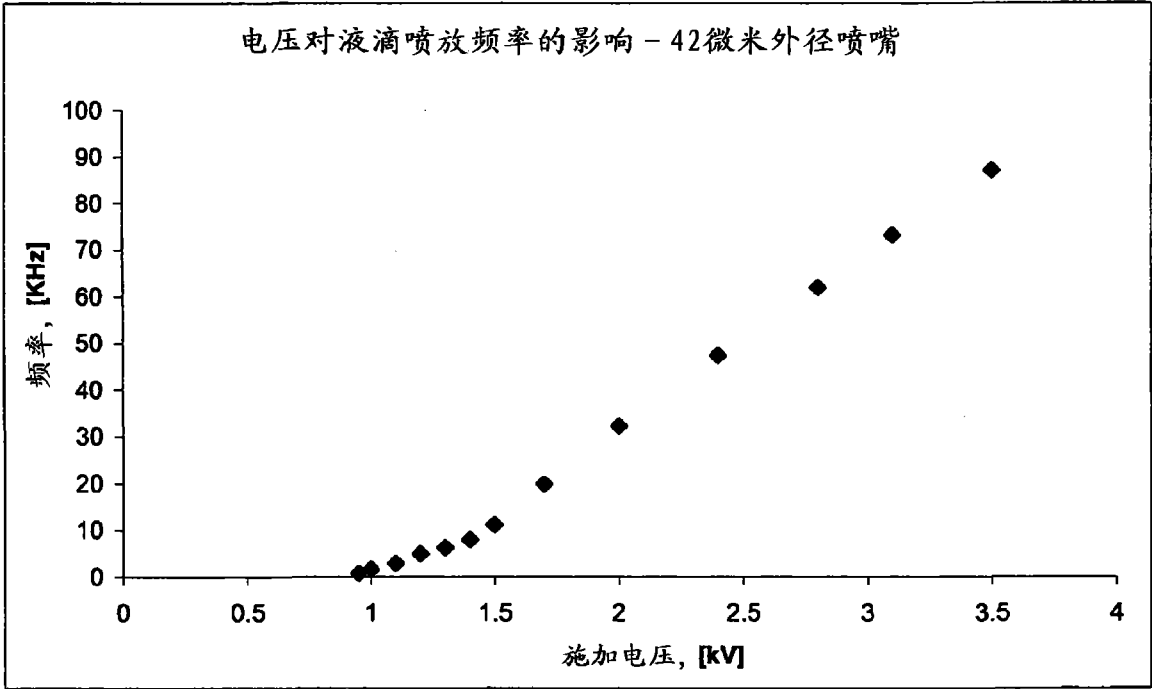


图 3

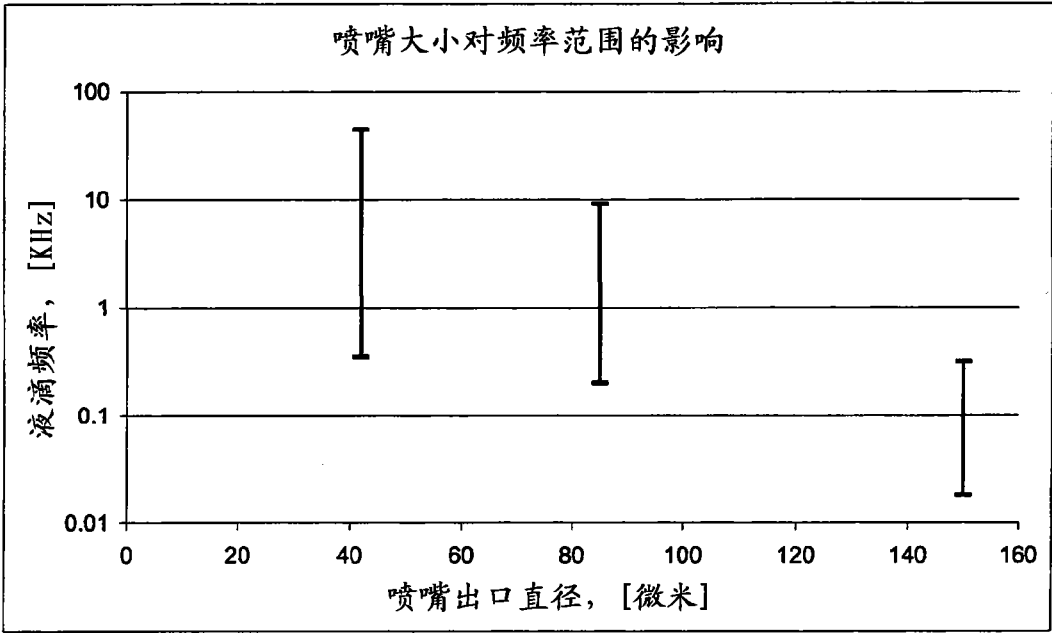


图 4

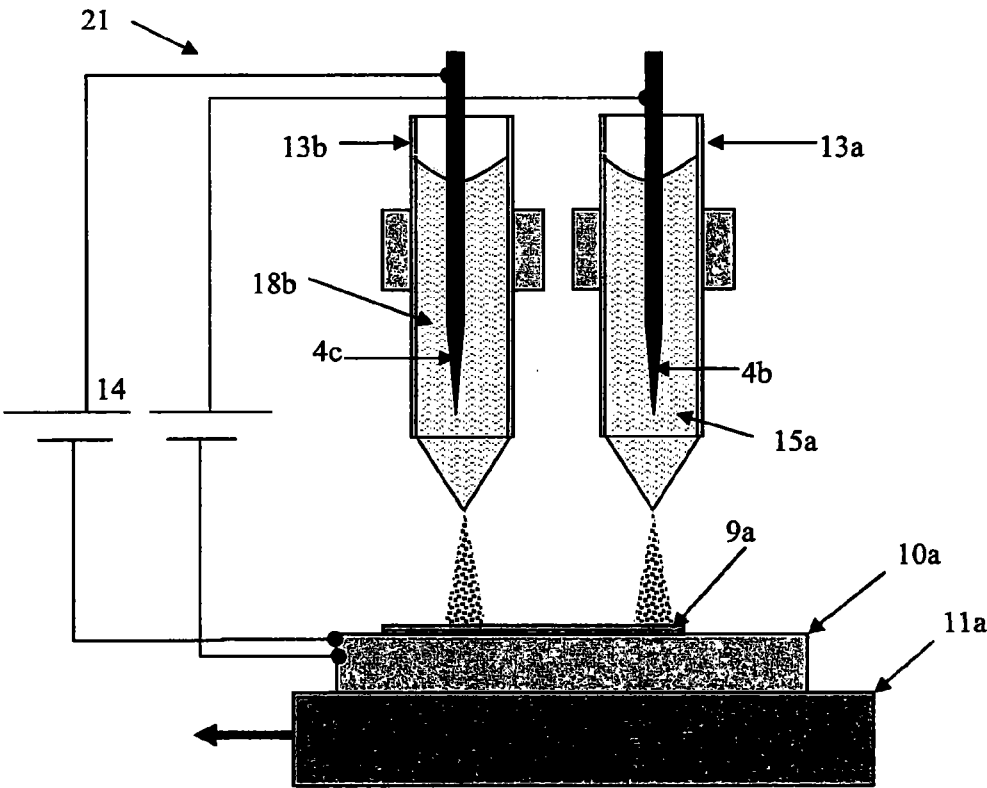
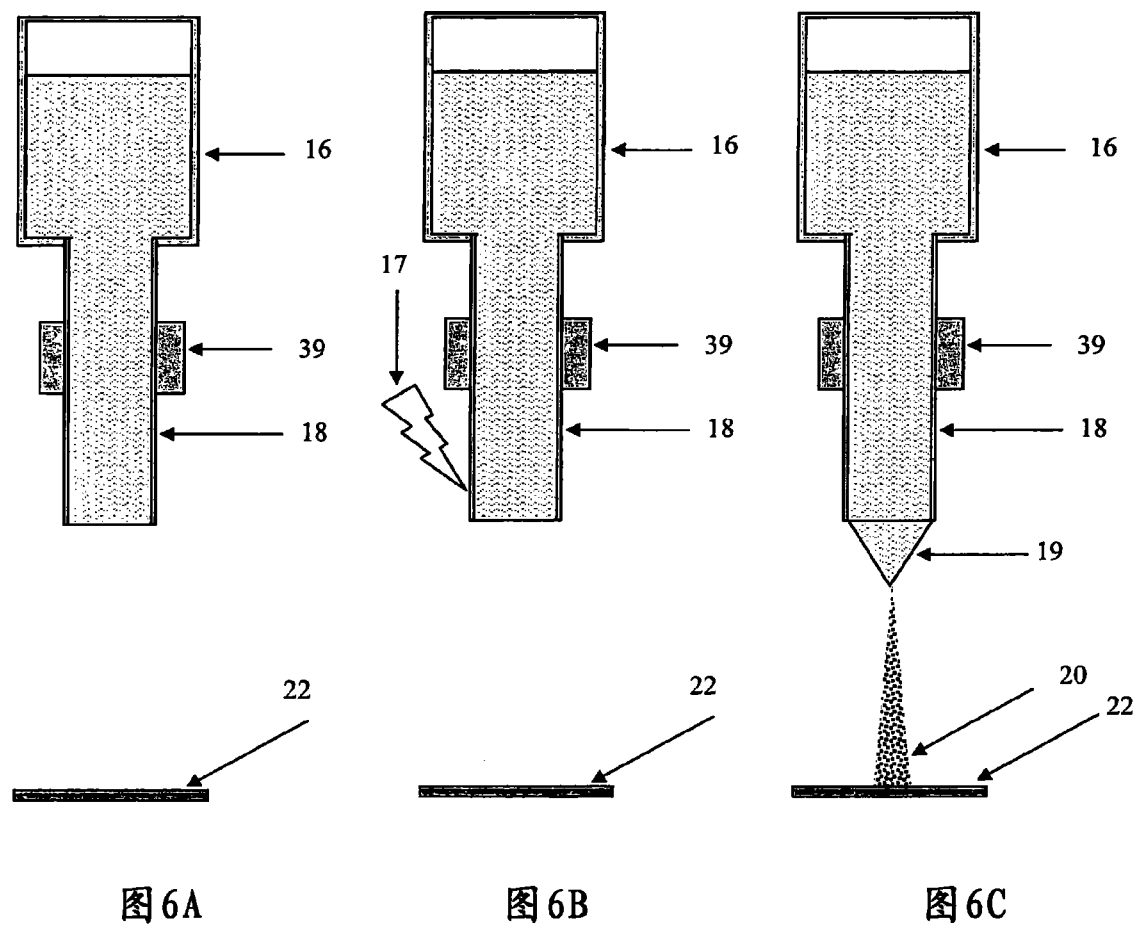


图 5



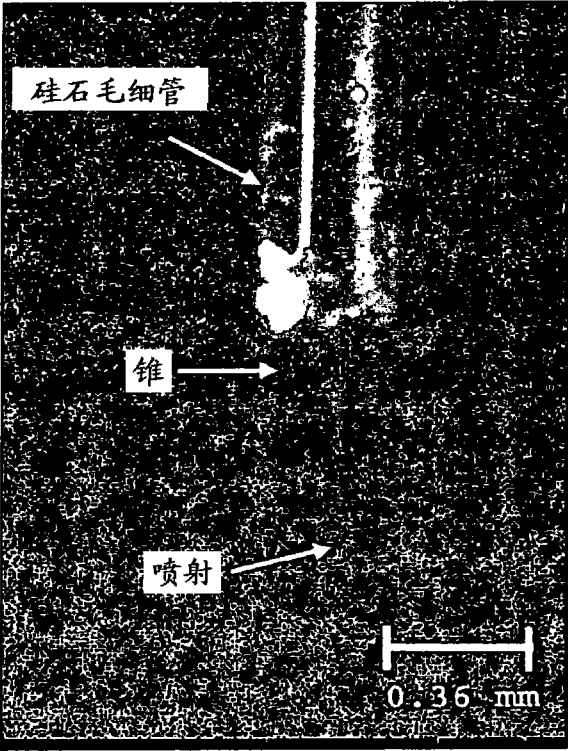


图 7

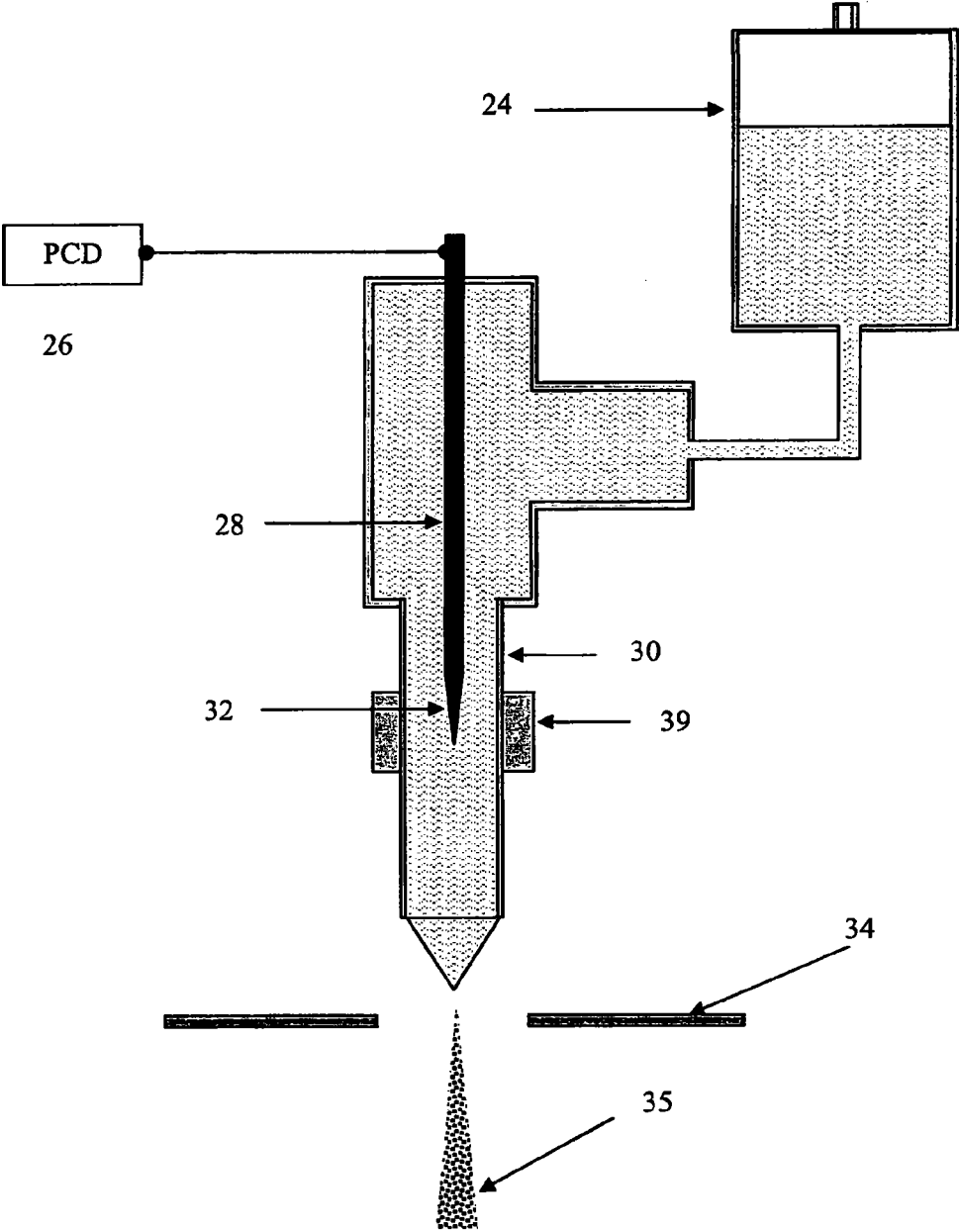


图8

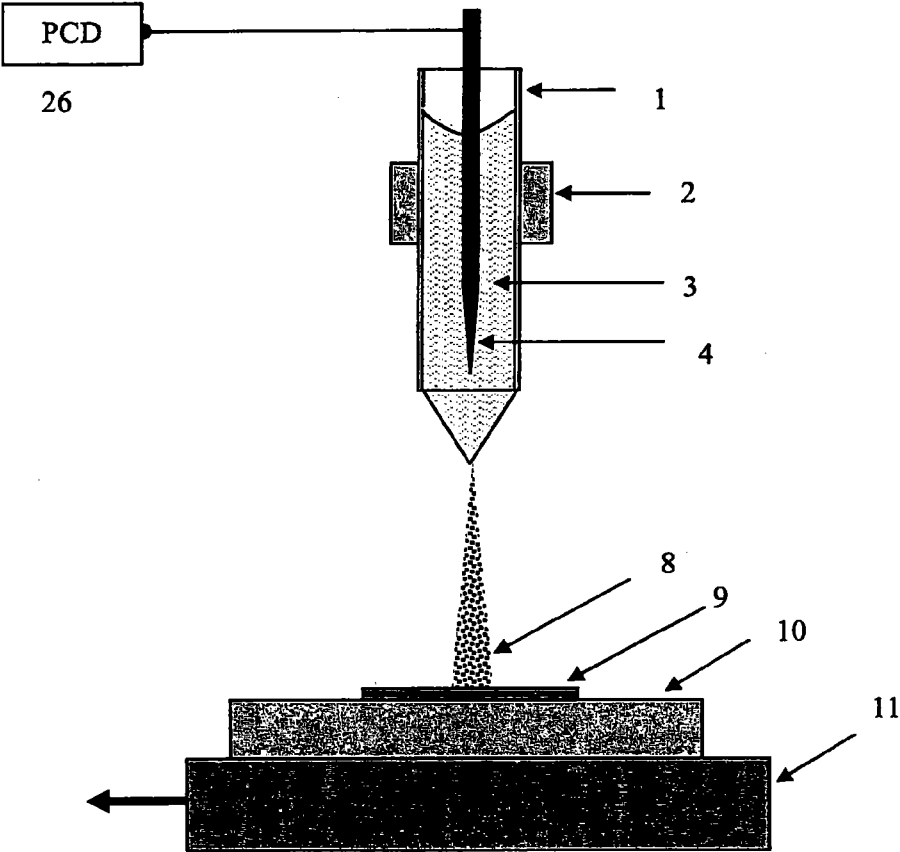


图9

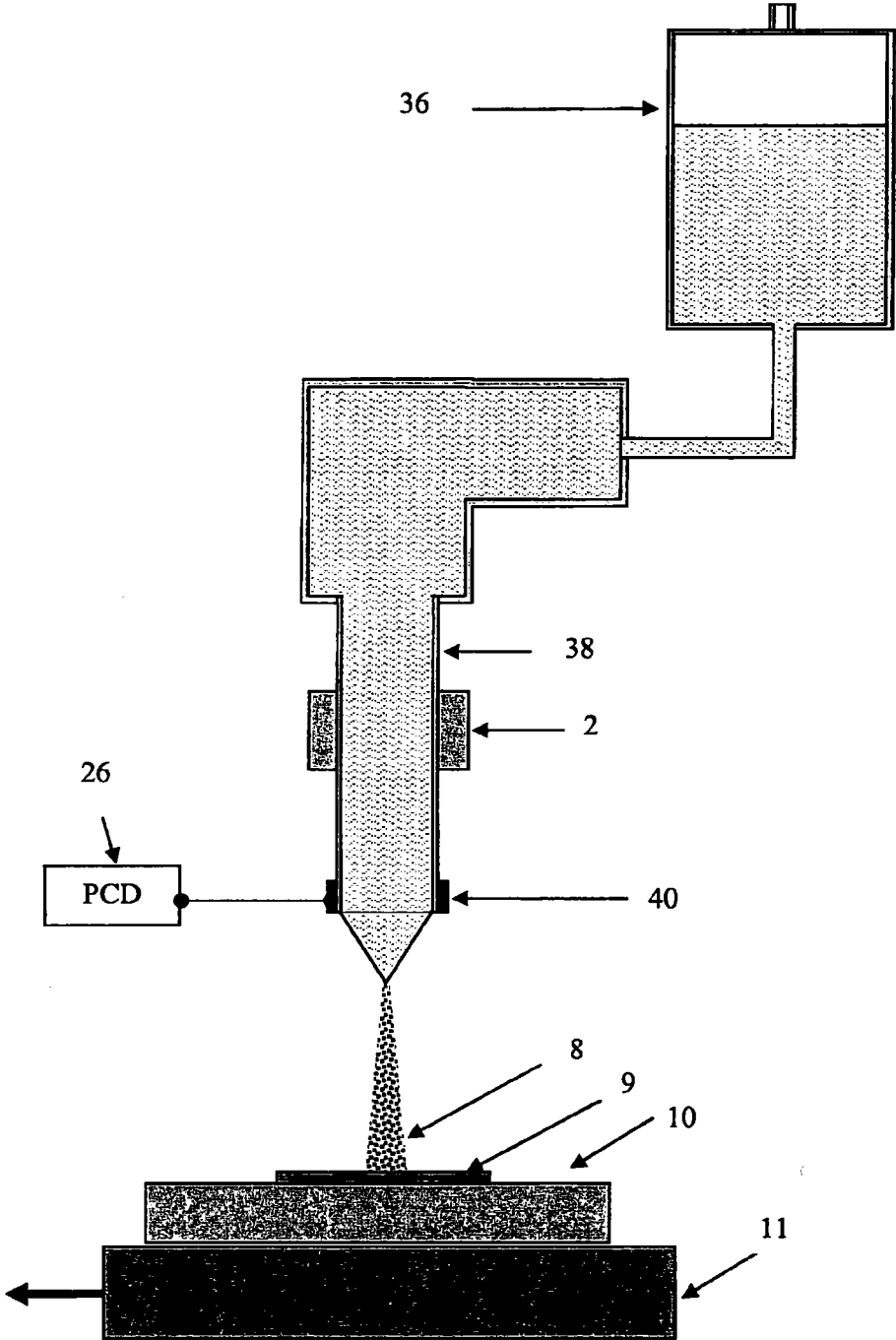


图10

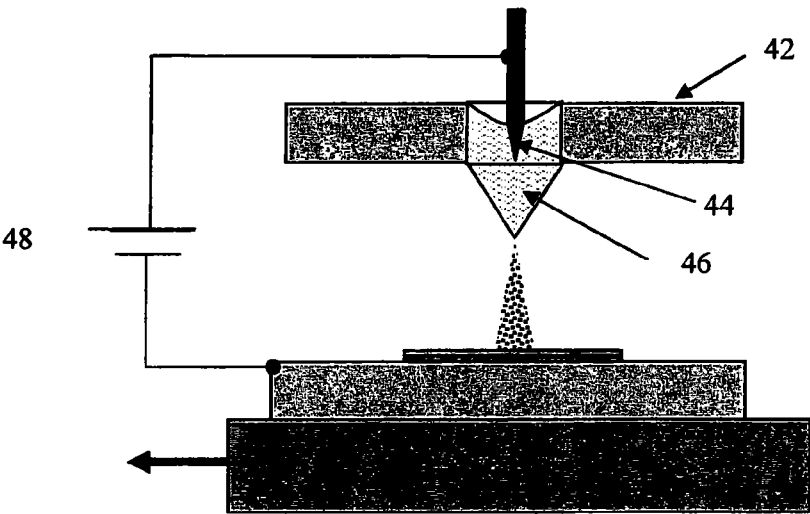


图11

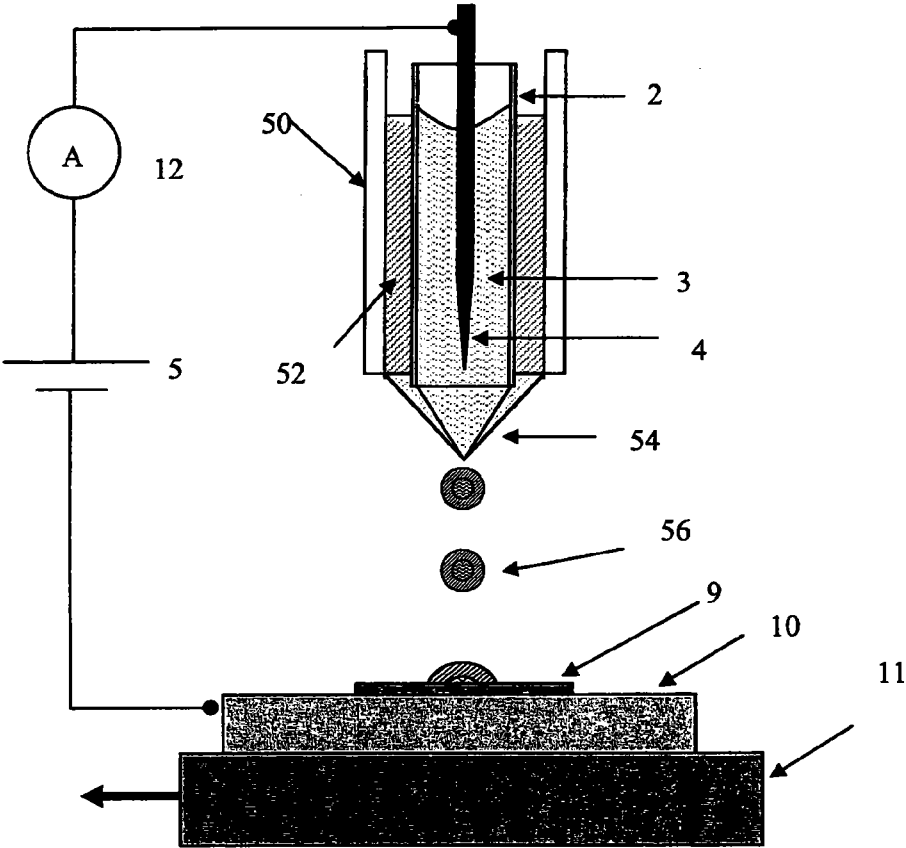


图12

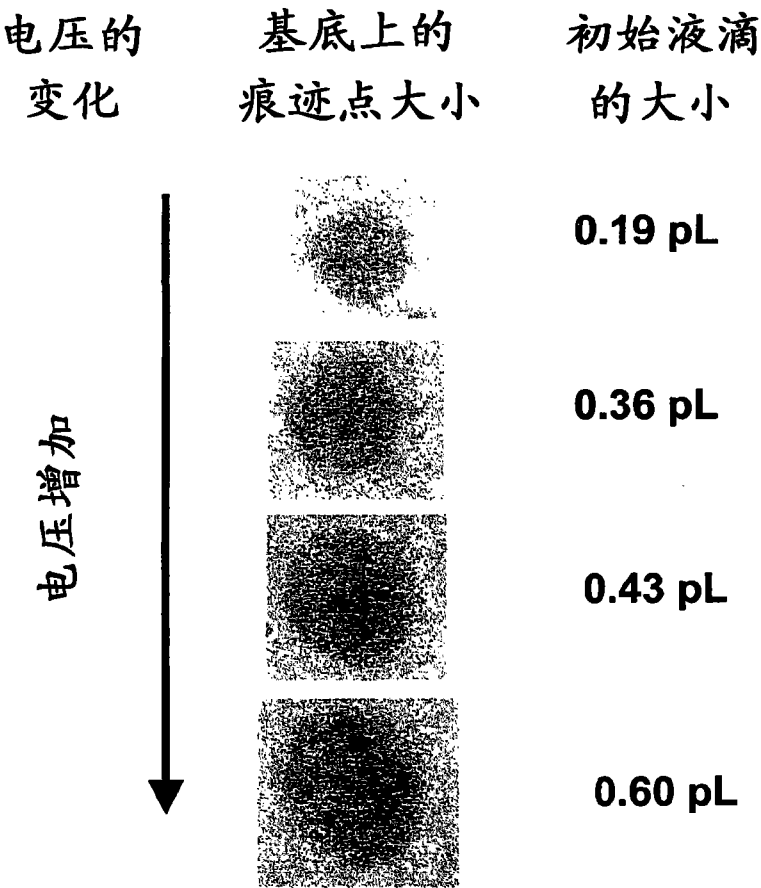


图13

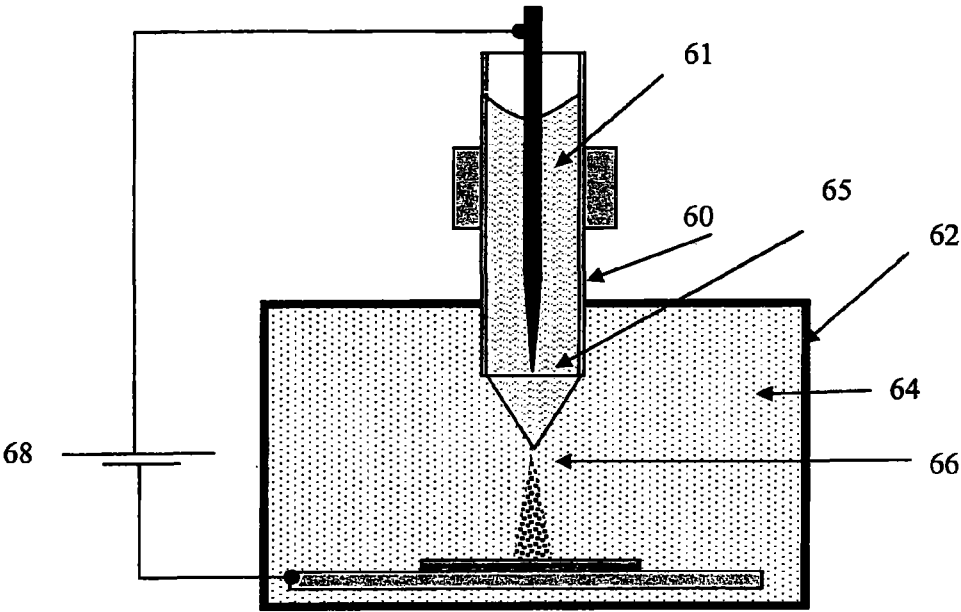


图14

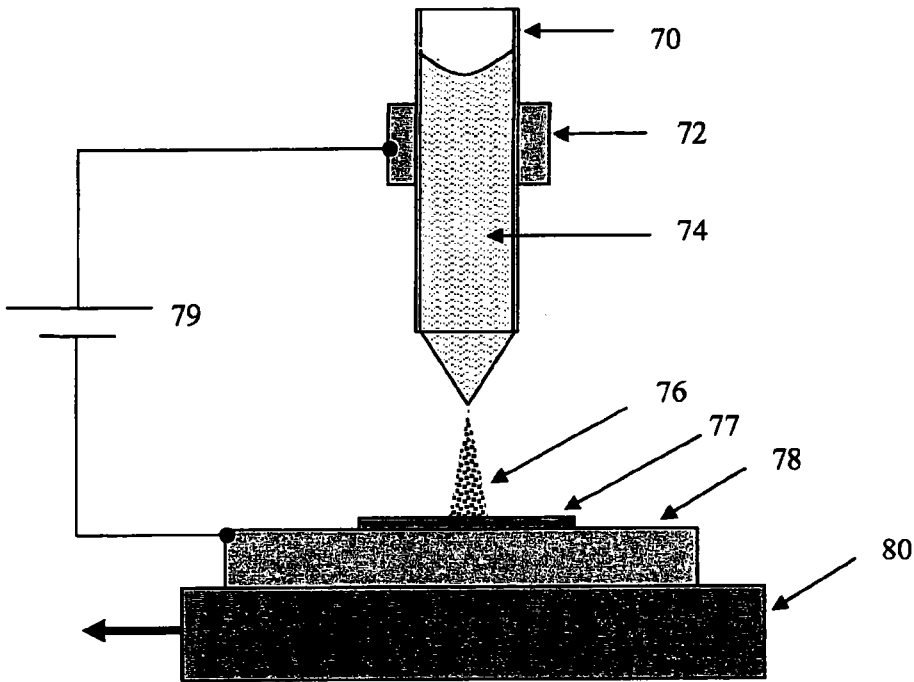


图1b

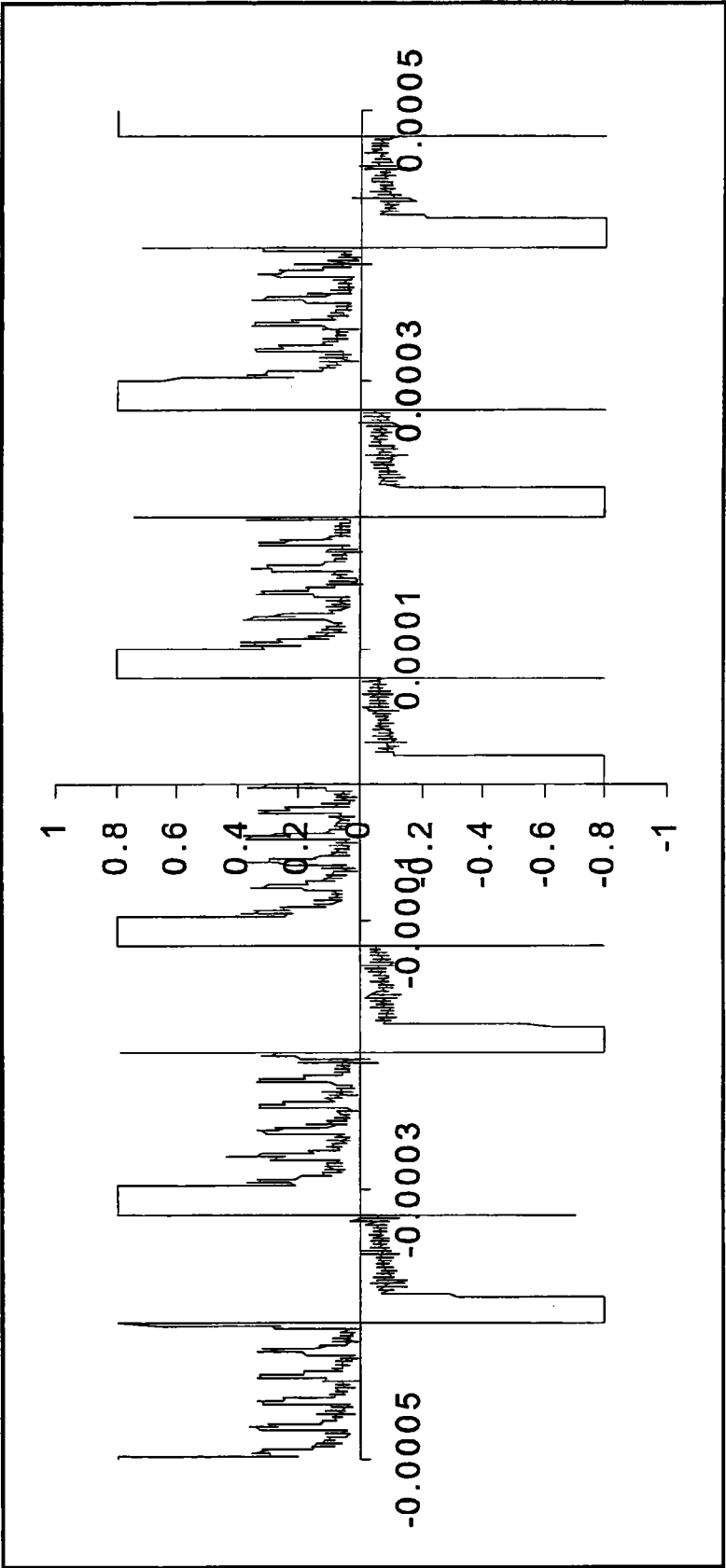


图 3a

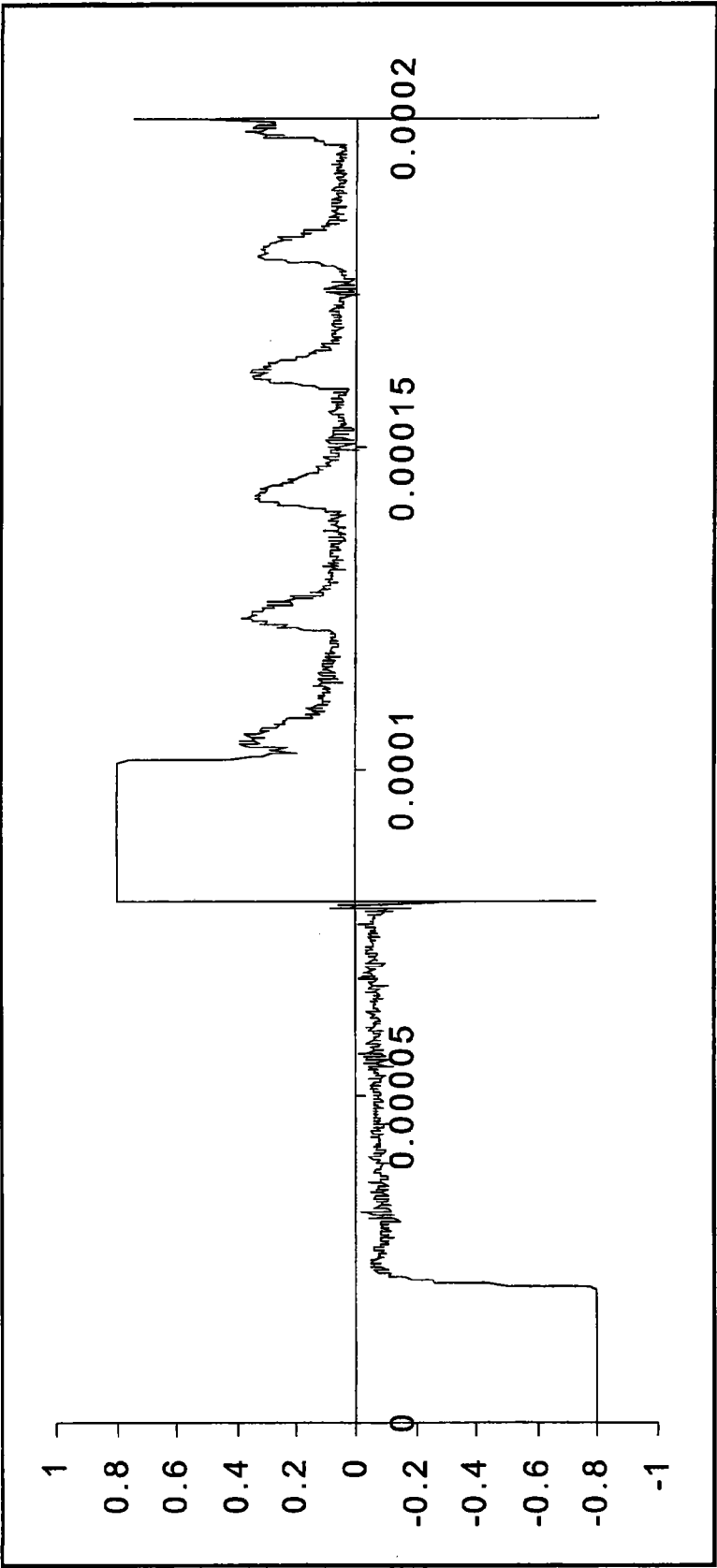


图 3b

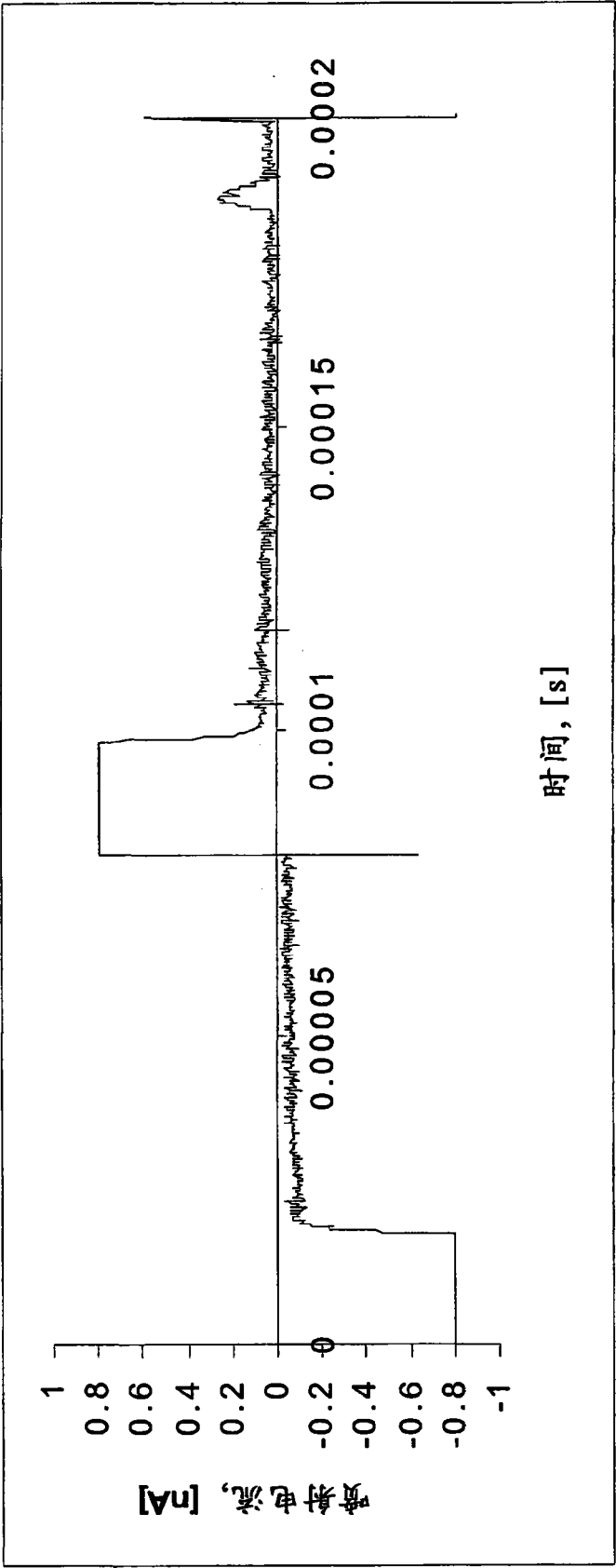


图15

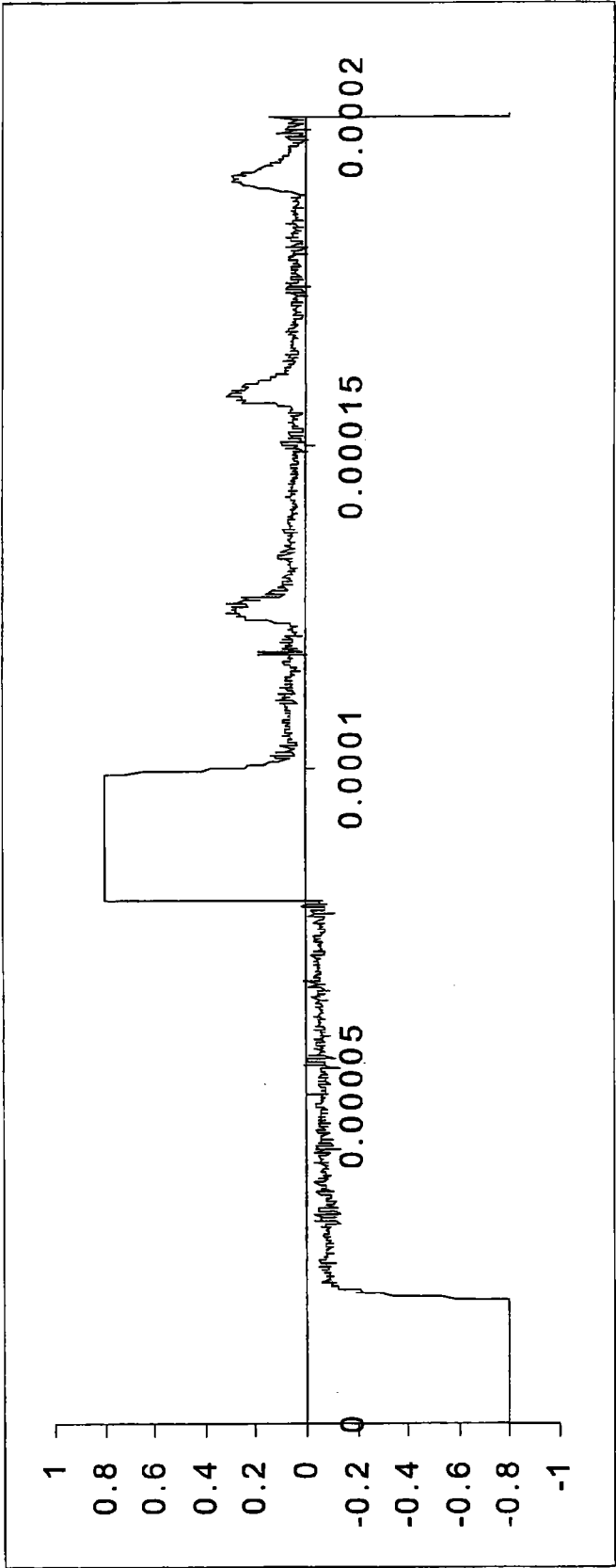


图16

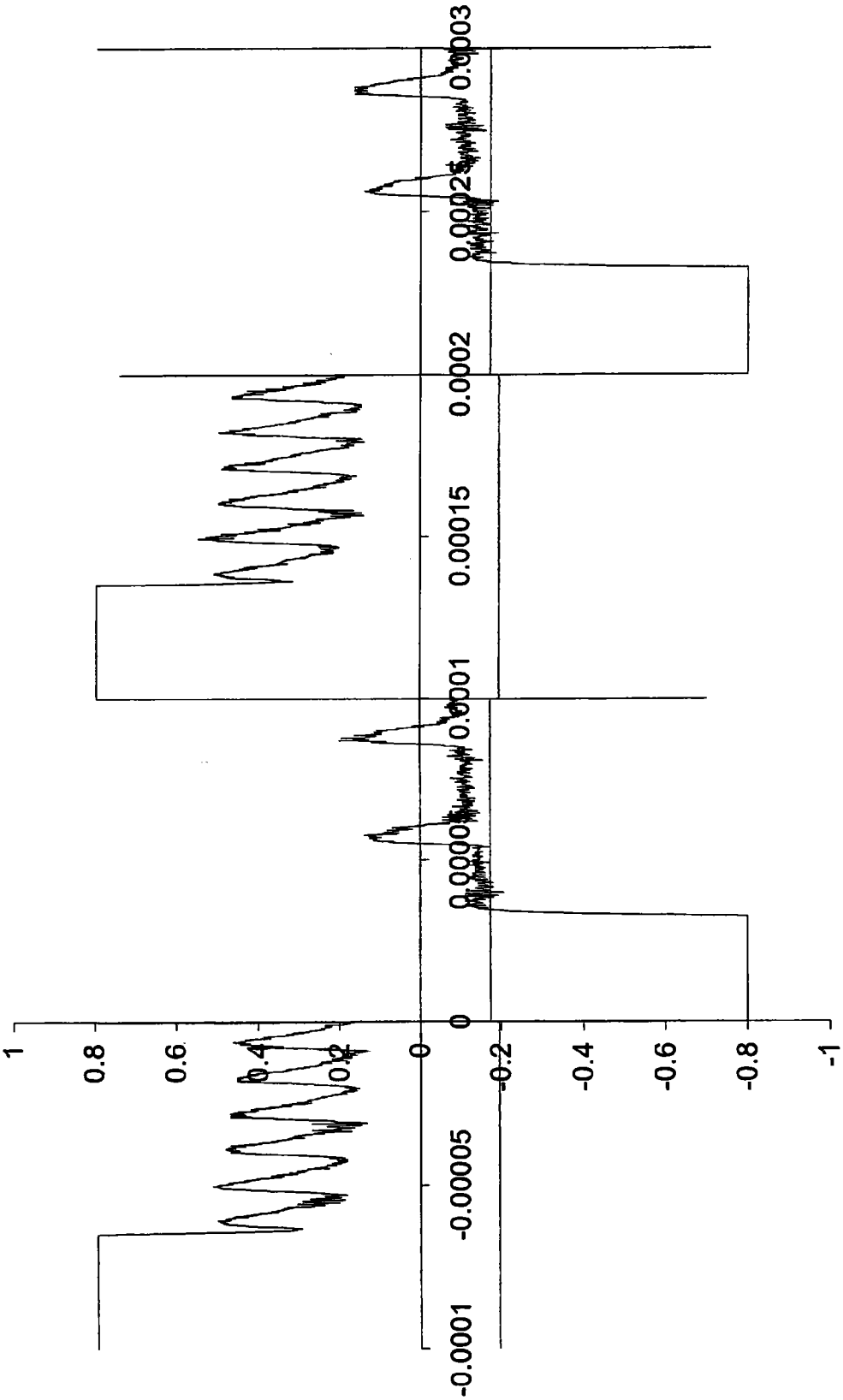


图17

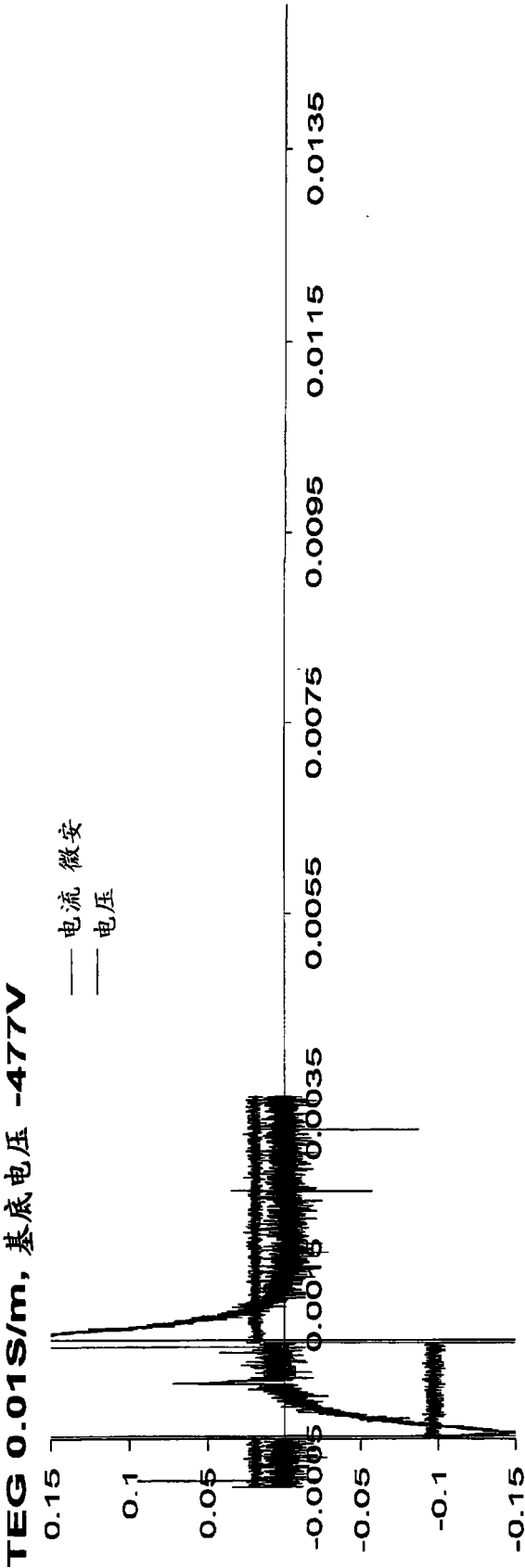


图7a

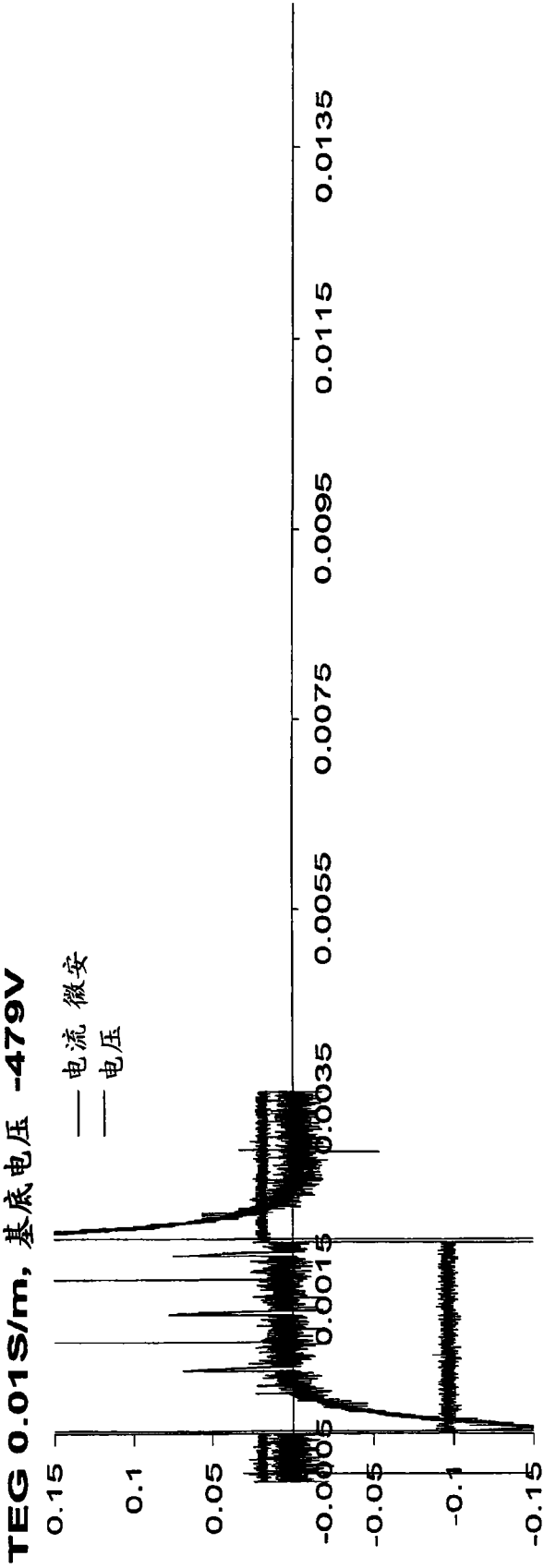


图 7b

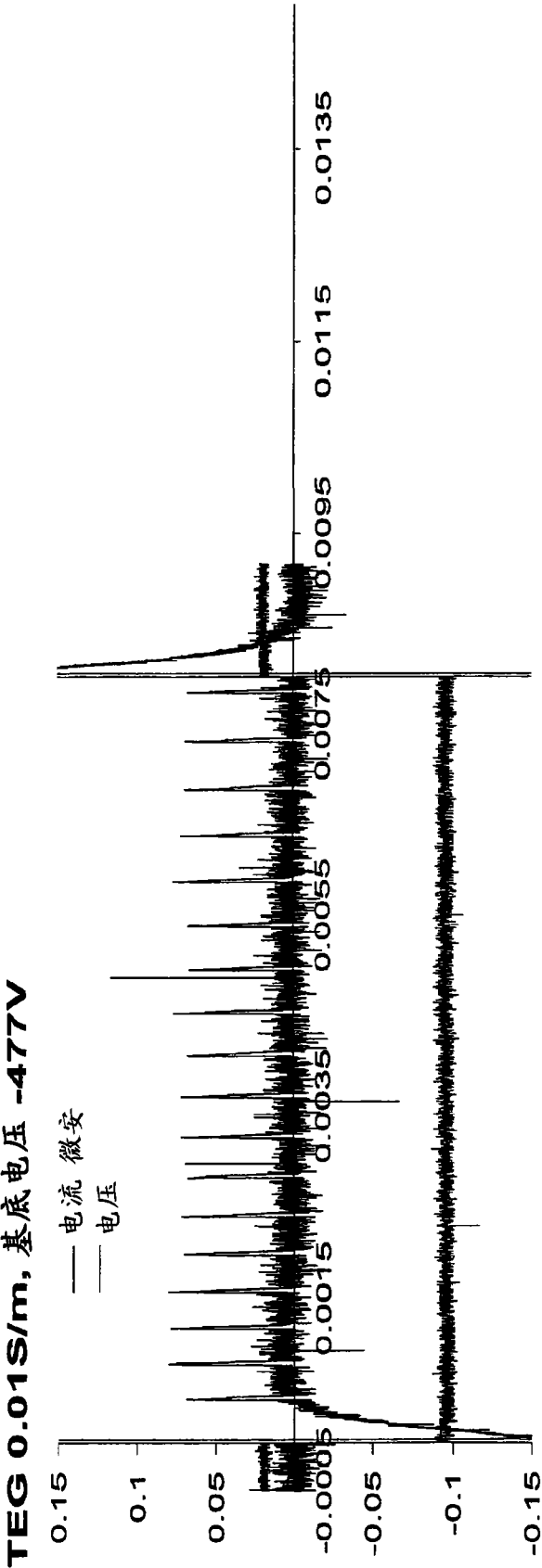


图7c

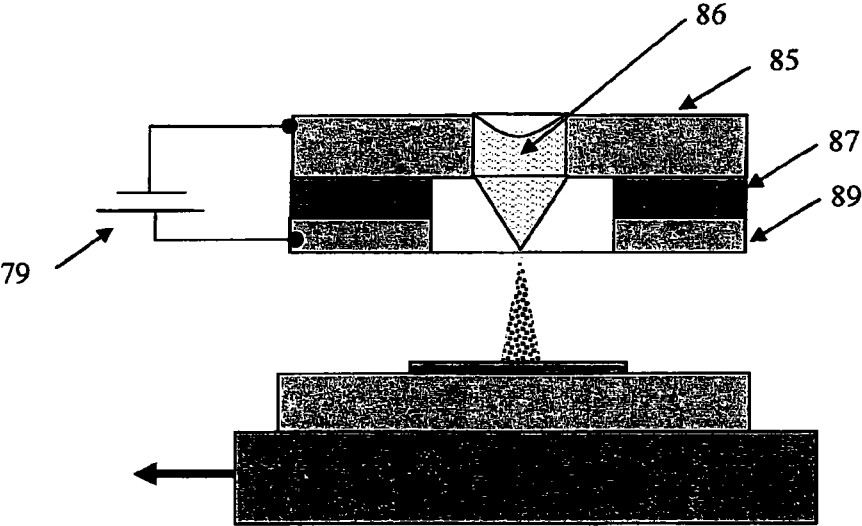


图18

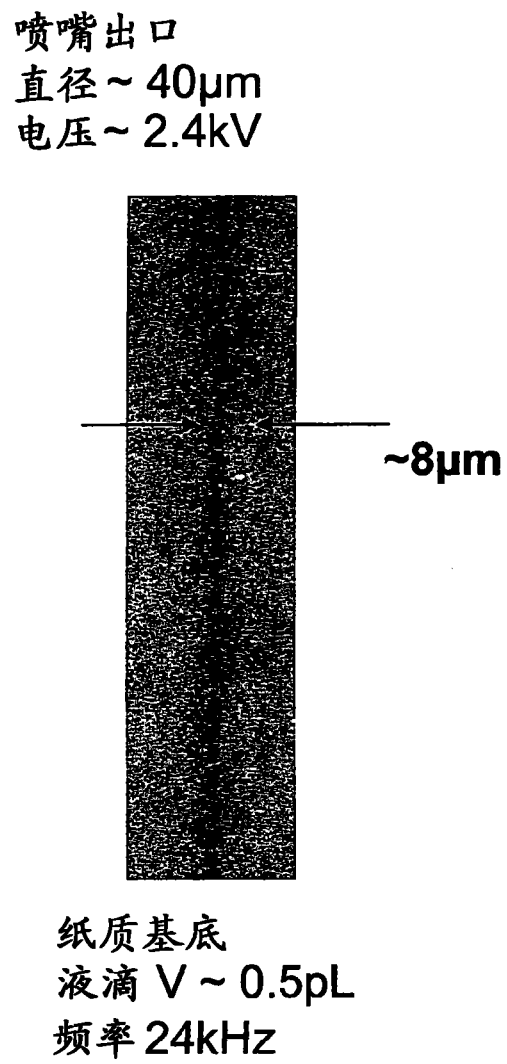
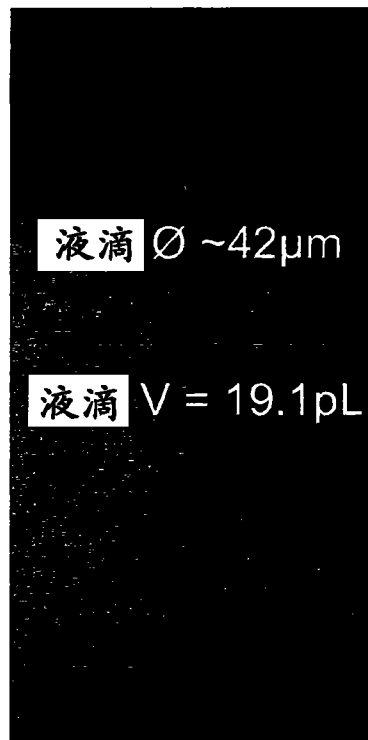


图19

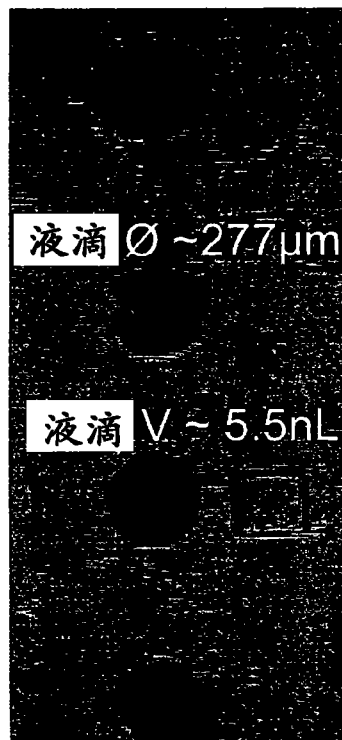
喷嘴出口
直径~90 μm
电压~2.0kV



醋酸纤维基底
频率 267Hz

图20

喷嘴出口
直径~ 200 μm
电压~ 2.1kV



硅基底
频率 30Hz

图21