



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101421113 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 30

(21) 申请号 200780013181. X

(22) 申请日 2007. 04. 06

(30) 优先权数据

11/279, 496 2006. 04. 12 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 10. 13

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/066159 2007. 04. 06

(87) PCT申请的公布数据

W02007/121120 EN 2007. 10. 25

(73) 专利权人 富士胶卷迪马蒂克斯股份有限公司

地址 美国新罕布什尔州

(72) 发明人 保罗·A·霍伊辛顿

罗伯特·A·哈森贝因

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 马高平

(51) Int. Cl.

B41J 29/38 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004/0027405 A1, 2004. 02. 12, 全文.

US 4523200 A, 1985. 06. 11, 全文.

US 5903286 A, 1999. 05. 11, 全文.

US 6099103 A, 2000. 08. 08, 全文.

US 6572210 B2, 2003. 06. 03, 全文.

审查员 生明煜

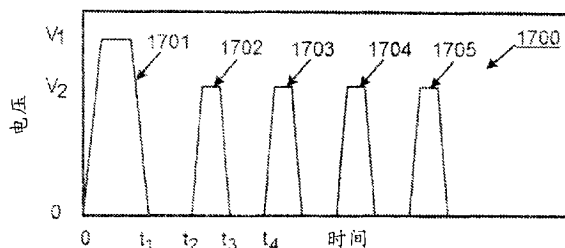
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 18 页

(54) 发明名称

滴喷射装置和方法

(57) 摘要

一种用于驱动具有致动器 (38) 的滴喷射装置 (10) 的方法, 包括: 对所述致动器施加主驱动脉冲 (1701), 使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴; 以及对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲 (1702-1705), 所述次级驱动脉冲减少所述滴在所述喷出方向上的长度而基本不改变所述滴的体积。



1. 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法,包括:

对所述致动器施加主驱动脉冲,使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴;以及

对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲,所述次级驱动脉冲减少滴在所述喷出方向上的长度而不改变滴的体积,其中所述滴喷射装置包括至少 100KHz 的自然频率  $f_j$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述一个或多个次级驱动脉冲是在所述主驱动脉冲之后施加。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中在所述主驱动脉冲之后,第一个次级驱动脉冲延迟比与滴喷射装置的自然频率  $f_j$  相应的周期更长的时间。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述一个或多个次级驱动脉冲是在所述主驱动脉冲之前施加。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中次级驱动脉冲是在所述主驱动脉冲之前和之后施加。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述一个或多个次级驱动脉冲具有比所述主驱动脉冲的幅度小的幅度。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述一个或多个次级驱动脉冲具有比所述主驱动脉冲的脉冲宽度小的脉冲宽度。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述流体包括高分子量材料。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述高分子量材料包括聚合物。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述聚合物包括发光聚合物。

11. 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法,包括:

对所述致动器施加主驱动脉冲,使得滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴;以及

对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲,所述次级驱动脉冲改变滴的形状而不改变滴的体积,

其中所述次级驱动脉冲的频率大于滴喷射装置的自然频率  $f_j$ 。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述次级驱动脉冲改变滴在所述喷出方向上的长度。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中所述次级驱动脉冲减少滴在所述喷出方向上的长度。

14. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述流体滴包括高分子量材料的一流体滴,其中次级驱动脉冲的频率大于 30KHz。

15. 根据权利要求 11 所述的方法,其中次级驱动脉冲的频率大于 30KHz,并且流体包括具有  $10^3$  或更高的分子量的材料。

16. 根据权利要求 11 所述的方法,其中

所述流体滴包括高分子量材料的一流体滴,其中滴质量的至少 60% 包括在滴内一点的半径  $r$  内,其中  $r$  对应于由下式给出的球形滴的半径:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{m_d}{\rho}},$$

其中  $m_d$  是滴质量,而  $\rho$  是流体密度。

17. 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法,包括:

对所述致动器施加主驱动脉冲,使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴;以及

对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲,以减少滴在所述喷出方向上的长度而不改变滴的体积,滴在所述喷出方向上的长度减少 10%或更大。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中滴在所述喷出方向上的长度减少 25%或更大。

19. 根据权利要求 17 所述的方法,其中滴在所述喷出方向上的长度减少 50%或更大。

20. 根据权利要求 17 所述的方法,其中流体包括高分子量材料。

21. 根据权利要求 17 所述的方法,其中所述滴喷射装置包括至少 100KHz 的自然频率  $f_j$ 。

22. 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法,包括:

对所述致动器施加主驱动脉冲,使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴;以及

对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲,所述次级驱动脉冲减少所述滴拖尾而不改变滴的体积,滴质量的少于 20%的质量位于所述拖尾中。

23. 根据权利要求 22 所述的方法,其中滴质量的少于 10%的质量位于所述拖尾中。

24. 根据权利要求 22 所述的方法,其中滴质量的少于 5%的质量位于所述拖尾中。

25. 根据权利要求 22 所述的方法,其中滴具有大于 4m/s 的速度。

26. 根据权利要求 22 所述的方法,其中滴具有大于 6m/s 的速度。

## 滴喷射装置和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2006 年 4 月 12 日申请的美国申请 11/279,496 号的优先权,其为 2004 年 3 月 15 日申请的标题为“HIGH FREQUENCY 滴 INJECTION DEVICE AND METHOD (高频滴喷射装置和方法)”的美国申请 10/880,467 的继续申请并要求其优先权,其公开内容在此全部引用作为参考。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及滴喷射装置和用于驱动滴喷射装置的方法。

### 背景技术

[0004] 滴喷射装置用于各种目的,最常见的是在各种介质上打印图像。它们通常被称作墨喷头或喷墨打印机。由于其灵活性和经济性,按需送墨(drop-on-demand)滴喷射装置被用在各种领域。按需送墨装置响应特定信号(通常是电波形(波形))而喷射一个滴。

[0005] 滴喷射装置通常包括从流体源到喷嘴通路的流动通路。喷嘴通路在喷嘴开口处截止,滴从所述喷嘴开口喷出。通过用致动器对流动通路中的流体施压来控制滴喷射,所述致动器例如可为压电偏转器,热气泡喷射发生器,或静电偏转单元。

[0006] 典型的打印头,例如喷墨打印头,具有流动通路阵列,该阵列具有相应的喷嘴开口和相关致动器,并且可独立控制从每个喷嘴开口喷射滴。在按需送墨头中,随着打印头和基板相对彼此移动,每个致动器被促动而选择性地在特定目标像素位置喷出滴。在高性能打印头中,喷嘴开口通常具有 50 微米或更小,例如,大约 25 微米的直径,以 100-300 喷嘴/英寸的间距分开,具有 100 到 300dpi 或更高的分辨率,并提供大约 1 到 100 微微升(pL)的滴大小。滴喷射频率通常是 10-100kHz 或更高,但在某些应用中可降低。

[0007] Hoisington 等的 US5265315——其全部内容在此引用作为参考——说明了一种具有半导体打印头本体和压电致动器的打印头。该打印头本体由硅制成,其被蚀刻而限定出流体室。喷嘴开口由附接到该硅本体的独立的喷嘴板限定。压电致动器具有一压电材料层,响应施加的电压而改变几何形状或弯曲。压电层的弯曲对沿墨通路放置的泵室内的墨施压。沉积(deposition)精度受到多个因素影响,包括由一个打印头内以及装置中多个打印头之间的喷嘴喷射的滴的大小和速度均匀性。滴大小和滴速度均匀性又受到例如墨通路的尺寸均匀性、声干涉效应、墨流动通路中的污染和致动器的致动均匀性这样的因素的影响。

[0008] 由于按需送墨喷射器通常通过移动目标物或移动喷射器来操作,滴速度上的变化导致滴落在介质上的位置的变化。这些变化会在成像应用中降低图像质量,并会在其它应用中降低系统性能。滴体积和/或形状上的变化会导致图像中点大小的变化,或在其它应用中降低性能。因此,优选地,在喷射器的整个操作范围中,滴速度、滴体积和滴成形特征应尽可能恒定不变。

[0009] 滴喷射器制造商应用各种技术改进频率响应,但是,在按需送墨喷射器中促动滴的物理要求会限制频率响应可提高的程度。“频率响应”指的是由喷射器的固有的物理性

质所决定的喷射器的特征行为,它决定在整个滴喷射频率范围上的喷射器性能。通常,滴速度、滴质量和滴体积作为操作频率的函数而变化;滴成形也经常受到影响。常见的提高频率响应的努力可包括:减少喷射器中流动通路的长度以提高谐振频率,提高流动通路的流体阻力以增加阻尼,以及对喷嘴和限制器这样的内部元件进行阻抗调节 (impedancetuning)。

## 发明内容

[0010] 按需送墨滴喷射装置可以以喷射装置最大能力范围内的任何频率或频率组合喷射滴。但是当在一个宽频率范围操作时,其性能会受到喷射器的频率响应的影响。

[0011] 提高滴喷射器的频率响应的一个方式是采用具有足够高频的多脉冲波形以响应该波形形成一个滴。注意,多脉冲波形频率通常指的是波形中脉冲周期的倒数,与前述滴喷射频率不同,“频率响应”属于这种。由于脉冲频率高而脉冲之间时间相对滴成形时间参数较短,这种类型的多脉冲波形在许多喷射器中形成单个滴。

[0012] 为了提高频率响应,所述波形应产生一个大的滴,与可响应多脉冲波形形成的多个小的滴不同。当形成一个大的滴时,从各个脉冲输入的能量被平均在多脉冲波形中。结果是从每个脉冲传到流体的能量的波动效应被减少。如此,在整个操作范围内滴速度和体积保持得更均匀。

[0013] 另外,在一些实施例中,多脉冲波形可用于改善滴的形状,例如通过减少滴拖尾长度,获得更球形的滴。例如,采用多脉冲波形喷出包括高分子量成分的流体或者具有相对大延展粘度的流体可减少滴拖尾的长度。在一些实施例中,多脉冲波形可包括一个主脉冲、和不显著影响响应主脉冲喷出的流体的体积却减少所喷出滴的拖尾长度的一个或多个次级脉冲。次级脉冲可在主脉冲之前和/或之后施加。

[0014] 可优化几个脉冲设计参数以确定响应一个多脉冲波形形成一个滴。通常,这包括每个脉冲各个部分的相对幅度,每个部分的相对脉冲宽度,以及每部分波形的转换速率。在一些实施例中,在每个脉冲的电压幅度渐进增大时,可从多脉冲波形产生一个滴。替代地,或另外地,在相邻脉冲之间的时间相对于总脉冲宽度短的情况下,可从多脉冲波形产生一个滴。多脉冲波形在与喷头自然频率及其谐波相应的频率上很少具有或者不具有能量。

[0015] 在一个方面,一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法,包括:对所述致动器施加主驱动脉冲,使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴;以及对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲,所述次级驱动脉冲减少所述滴在所述喷出方向上的长度而基本不改变所述滴的体积。

[0016] 其它实施方式可包括一个或更多以下特征。所述用于驱动滴喷射装置的方法包括在所述主驱动脉冲之后施加的一个或多个次级驱动脉冲。所述方法还可包括跟随所述主驱动脉冲,并延迟比与滴喷射装置的自然频率  $f_j$  相应的周期更长的时间的第一个次级脉冲。所述一个或多个次级驱动脉冲可在所述主驱动脉冲之前施加,或者所述多个次级驱动脉冲是在所述主驱动脉冲之前和之后施加。所述一个或多个次级驱动脉冲可具有比所述主驱动脉冲的幅度较小的幅度。

[0017] 其它实施方式可包括一个或更多以下特征。所述方法可包括所述一个或多个次级驱动脉冲具有比所述主驱动脉冲的脉冲宽度小的脉冲宽度。所述流体可包括高分子量材料(即,聚合物,例如发光聚合物)。所述滴在所述喷出方向上的长度减少大约 10% 或更大,大

约 25% 或更大, 或者大约 50% 或更大。

[0018] 在另一方面, 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法, 包括: 对所述致动器施加主驱动脉冲, 使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴; 以及对所述致动器施加一个或多个次级驱动脉冲, 所述次级驱动脉冲改变所述滴的形状而基本不改变所述滴的体积, 其中所述次级驱动脉冲的频率大于所述滴喷射装置的自然频率  $f_j$ 。

[0019] 其它实施方式可包括一个或更多以下特征。所述方法可使所述次级脉冲改变滴在所述喷出方向上的长度, 或者所述次级脉冲减少滴在所述喷出方向上的长度。

[0020] 在另一方面, 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法, 包括: 对所述致动器施加包括两个或更多驱动脉冲的多脉冲波形, 使得所述滴喷射装置喷射包括高分子量材料的一流体滴, 其中所述驱动脉冲的频率比所述滴喷射装置的自然频率  $f_j$  高。

[0021] 在另一方面, 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法, 包括: 对所述致动器施加多个驱动脉冲, 使得所述滴喷射装置在喷出方向上喷射一流体滴, 其中至少部分所述脉冲具有比所述滴喷射装置的自然频率  $f_j$  更高的频率, 并且所述流体包括具有大约  $10^3$  或更高的分子量的材料。

[0022] 在另一方面, 一种用于驱动具有致动器的滴喷射装置的方法, 包括: 对所述致动器施加包括两个或更多驱动脉冲的多脉冲波形, 使得所述滴喷射装置喷射包括高分子量材料的一流体滴, 其中所述滴质量的至少大约 60% 包括在滴内一点的半径  $r$  内, 其中  $r$  与如下给出的球形滴的半径相应

$$[0023] \quad r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{m_d}{\rho}},$$

[0024] 其中  $m_d$  是滴质量而  $\rho$  是流体密度。

[0025] 本发明的实施例可具有一个或更多以下优点。

[0026] 这里所公开的技术可用于提高滴喷射装置的频率响应性能。作为促动速率的函数, 从滴喷射器或喷头喷出的滴的速度的变化可明显减少。作为促动速率的函数, 从滴喷射器喷出的滴的体积的变化可明显减少。速度误差的减少会减少滴位置误差, 并改善成像应用中的图像。体积变化的减少会改进非成像应用中的质量, 改善成像应用中的图像。

[0027] 这些方法还可用于提高应用中频率相关喷射器性能, 借助于产生比应用中所需 (体积) 小 1.5-4 或更多倍的滴的特殊滴喷射器构造。然后应用这些技术, 喷射器可产生应用所需滴大小。因此, 这里所公开的技术可用于从小的滴喷射装置提供大的滴大小, 并可用于从滴喷射装置产生大的滴大小范围。可用所公开的技术实现大的滴大小范围可有利于在喷墨打印领域中具有大范围的灰度级的灰度图像。

[0028] 在一些实施例中, 技术可减少滴拖尾尺寸, 从而减少会因与例如在喷墨打印领域中大的墨滴尾相关的滴位置不准确所造成的图像质量下降。这些技术不用多滴就实现大的滴体积, 从而可减少不准确, 这是因为单个大的滴会将全部流体放在移动的基板的一个位置上, 与相对喷射装置移动基板时全部流体放在多个位置的情况不同。因为单个大的滴可比几个小的滴走的更远更直, 还可获得另外的好处。

[0029] 在以下附图和说明中阐释本发明一个或更多实施例的细节。本发明的其它特性和优点可从说明和附图, 以及从权利要求中显见。

## 附图说明

- [0030] 图 1 是打印头的实施例的示意图。
- [0031] 图 2A 是墨喷头的实施例的剖视图。
- [0032] 图 2B 是图 2A 中所示墨喷头的致动器的剖视图。
- [0033] 图 3 是在从滴喷射器以恒定速度促动的滴喷射促动脉冲之间的归一化的滴速度 / 时间图。
- [0034] 图 4A 是用于驱动滴喷射器的双极波形的电压 / 归一化时间图。
- [0035] 图 4B 是用于驱动滴喷射器的单极波形图。
- [0036] 图 5A-5E 是示出响应多脉冲波形从墨喷头的喷孔喷墨的示意图。
- [0037] 图 6A-6I 是示出响应多脉冲波形从墨喷头的喷孔喷墨的照片。
- [0038] 图 7 是用波形的傅立叶变换确定的单个四微秒梯形波形的幅值 / 频率成分图。
- [0039] 图 8 是示出用于 80 微微升滴喷射器的频率响应图, 示出了当用单个梯形波促动时滴速度 / 从 4 到 60 千赫的喷射促动频率的变化。
- [0040] 图 9 是用于示例的 80 微微升滴喷射器的计算的电压等效时间响应图。
- [0041] 图 10 是用于示例的 80 微微升滴喷射器的喷射器时间响应和四脉冲波形的傅立叶变换图。
- [0042] 图 11 是比较形成相似大小滴的两个喷射器的频率响应的图。
- [0043] 图 12 是多脉冲波形的电压 / 时间图, 其中在相邻脉冲之间有一延迟周期。
- [0044] 图 13 是包括多个多脉冲波形的驱动信号的电压 / 时间图。
- [0045] 图 14 是示出使用多脉冲波形从墨喷头喷孔喷射多个滴的照片。
- [0046] 图 15A 是示出使用多脉冲波形喷射滴的照片, 喷射频率是 10kHz, 滴速度是大约  $8\text{ms}^{-1}$ 。
- [0047] 图 15B 是示出使用单脉冲波形喷射滴的照片, 喷射频率是 10kHz, 滴速度是大约  $8\text{ms}^{-1}$ 。
- [0048] 图 16A 是示出使用多脉冲波形喷射滴的照片, 喷射频率是 20kHz, 滴速度是大约  $8\text{ms}^{-1}$ 。
- [0049] 图 16B 是示出使用单脉冲波形喷射滴的照片, 喷射频率是 20kHz, 滴速度是大约  $8\text{ms}^{-1}$ 。
- [0050] 图 17A 是包括主脉冲和次级脉冲的多脉冲波形的电压 / 时间图。
- [0051] 图 17B 是包括主脉冲和次级脉冲的另一多脉冲波形的电压 / 时间图。
- [0052] 图 17C 是包括主脉冲和次级脉冲的另一多脉冲波形的电压 / 时间图。
- [0053] 图 18 是用于打印头喷射包含发光聚合物的流体的作为次级脉冲宽度的函数的滴拖尾长度图。
- [0054] 在各个附图中, 相似的附图标记表示相似的元件。

## 具体实施方式

[0055] 参照图 1, 打印头 12 包括多个 (例如, 128、256 或更多) 墨喷头 10 (图 1 中只示出一个), 该墨喷头 10 由在信号线 14 和 15 上提供并由板上控制电路 19 分配以控制墨喷头 10 促动的电驱动脉冲驱动。外部控制器 20 在信号线 14 和 15 上提供驱动脉冲, 并在另外的

线 16 上向板上控制电路 19 提供控制数据和逻辑电源 (logic power) 以及定时。由墨喷头 10 喷出的墨可被输送以在相对打印头 12 移动 (例如在箭头 21 所示方向上) 的基板 18 上形成一个或更多打印线。在部分实施例中, 基板 18 以一遍模式移动经过静止的打印头 12。或者, 打印头 12 也可以以扫描模式移动通过基板 18。

[0056] 参照图 2A (是示意性的垂直剖面), 每个墨喷头 10 包括在打印头 12 的半导体模块 21 的上表面中的细长泵室 30。泵室 30 从入口 32 (沿该边到墨源 34) 延伸到下降通道 36 中的喷嘴流动通路, 所述喷嘴流动通路从半导体模块 21 的上表面下降到下层 29 中的喷嘴 28 开口。喷嘴大小可根据需要改变。例如, 喷嘴直径可在几微米的量级 (例如, 大约 5 微米, 大约 8 微米, 10 微米) 或可为几十或几百微米的量级 (例如, 大约 20 微米, 30 微米, 50 微米, 80 微米, 100 微米, 200 微米或更高)。限流元件 40 设置在每个泵室 30 的入口 32。覆盖每个泵室 30 的平的压电致动器 38 被从信号线 14 提供的驱动脉冲致动, 该驱动脉冲的定时由来自板上控制电路 19 的控制信号控制。驱动脉冲使压电致动器形状变化, 从而改变泵室 30 内的容积, 从入口将流体吸入泵室内并迫使墨通过下降通道 36 而排到喷嘴 28 外。在每个打印循环, 多脉冲驱动波形被传输以激励喷头, 使这些喷头中的每一个与基板 18 的相对移动经过打印头 12 同步地在需要的时间从其喷嘴喷射一个滴。

[0057] 还参照图 2B, 平的压电致动器 38 包括位于驱动电极 42 与地电极 44 之间的压电层 40。地电极 44 通过粘结层 46 结合到膜 48 (例如, 硅石、玻璃或硅膜)。在操作期间, 通过在驱动电极 42 与地电极 44 之间施加电势差, 驱动脉冲在压电层 40 内产生电场。压电层 40 使致动器 38 响应该电场而变形, 从而改变泵室 30 的容积。

[0058] 每个墨喷头具有与传播通过喷射器 (或喷头) 长度的声波的周期的倒数相关的自然频率  $f_j$ 。喷头自然频率可影响喷墨性能的许多方面。例如, 喷头自然频率通常影响打印头的响应频率。通常在从显著小于自然频率 (例如小于自然频率的大约 5%) 直到喷头自然频率的大约 25% 的频率范围内, 喷射速度保持常数 (例如, 在平均速度的 5% 内)。当频率增加超过该范围时, 喷射速度开始增量变化。一般认为这一变化部分起因于之前驱动脉冲的残余压力和流动。这些压力和流动与当前驱动脉冲相互影响, 并可造成相长性或相消性干扰, 导致滴促动的速度比其应当促动的速度或快或慢。相长性干扰增加驱动脉冲的有效幅度, 增加滴速度。相反, 相消性干扰减少驱动脉冲的有效幅度, 从而降低滴速度。

[0059] 由驱动脉冲产生的压力波在喷头中以喷头的自然频率或谐振频率来回反射。这些压力波名义上从其泵室内的初始点传播到喷头的端部, 并在泵室下返回, 在该点它们会影响接下来的驱动脉冲。但是, 喷头的各个部件会产生部分反射, 增加了响应的复杂性。

[0060] 通常, 墨喷头的自然频率作为墨喷头构造和被喷射墨的物理性能的函数而变化。在一些实施例中, 墨喷头 10 的自然频率大于大约 15kHz。在另外的实施例中, 墨喷头 10 的自然频率大约是 30 到 100kHz, 例如大约 60kHz 或 80kHz。在另外的实施例中, 自然频率等于或大于大约 100kHz, 例如大约 120kHz 或大约 160kHz。

[0061] 一个确定喷头自然频率的方式是从易于测量的喷射速度响应来确定。滴速度变化的周期相应于喷头的自然频率。参照图 3, 滴速度变化的周期可通过绘制滴速度比脉冲频率倒数、然后测量峰间时间而测得。自然频率是  $1/\tau$ , 其中  $\tau$  是速度 / 时间曲线的局部极点 (即相邻最大或相邻最小) 之间的时间。该方法可应用电子数据还原技术 (electronic data reduction technique), 而无需实际绘制数据。

[0062] 滴速度可用各种方式测量。一个方法是通过频闪光 (strobe light) 例如 LED 照明并在高速相机前促动墨喷头。频闪与滴促动频率同步,使得滴在图像视频中表现为静止。图像用常规的图像分析技术处理,以确定滴头的位置。这些与从滴被促动起的时间进行比较以确定有效滴速度。典型的系统将作为频率函数的速度的数据存储在文件系统中。该数据可用算法进行分析而拾取峰值,或分析性导出可拟合到该数据的曲线(以例如频率、阻尼和/或速度为参数)。傅立叶分析也可用于确定喷头自然频率。

[0063] 操作期间,每个墨喷头可响应一个多脉冲波形喷出一个滴。一个多脉冲波形的例子在图 4A 中示出。在该例中,多脉冲波形 400 具有四个脉冲。每个多脉冲波形可通常与接下来的波形分离与喷射周期整数倍相应的周期(即,与喷射频率相应的周期)。每个脉冲可定性为具有与泵送元件体积增加时刻相应的“装填”坡,以及与泵送元件体积减少时刻相应的“促动”坡(与装填坡相反的斜率)。在多脉冲波形 400 中,有一系列装填和促动坡。通常,泵送元件的体积的膨胀与收缩在泵室内产生倾向于将流体驱动出喷嘴的压力变化。

[0064] 每个脉冲具有与从单个脉冲片断开始到该脉冲片断截止的时间相应的脉冲周期  $\tau_p$ 。多脉冲波形的总周期是四个脉冲周期之和。波形频率可由脉冲数除以总多脉冲周期而近似确定。替代地,或者额外地,傅立叶分析可用于提供脉冲频率的值。傅立叶分析提供多脉冲波形的谐波成分的量度。脉冲频率与谐波成分最大的频率  $f_{\max}$  相应(即,傅立叶频谱中最高的非零能量峰)。优选地,驱动波形的脉冲频率大于喷头的自然频率  $f_j$ 。例如,脉冲频率可在喷头自然频率的大约 1.1 到 5 倍之间,例如大约 1.3 到 2.5 倍  $f_j$  之间(例如,大约 1.8 到 2.3 倍  $f_j$ ,例如大约两倍  $f_j$ )。在一些实施例,脉冲频率可等于喷头自然频率的倍数,例如大约两倍、三倍或四倍喷头自然频率。

[0065] 在本实施例中,脉冲是双极的。换句话说,多脉冲波形 400 包括负极(例如,410 部分)和正极(例如,420 部分)的部分。某些波形可仅具有一个极性的脉冲。一些波形可包括 DC 偏置。例如,图 4B 示出仅包括单极脉冲的多脉冲波形。在该波形中,脉冲幅度和宽度随每个脉冲而渐进增加。

[0066] 喷射响应多脉冲波形而喷出的一个墨滴的体积随着每个后续的脉冲而增加。在图 5A-5E 中示出来自喷嘴的墨响应多脉冲波形而积累和喷射。在初始脉冲之前,墨喷头 10 内的墨在从喷嘴 28 的喷孔 528(见图 5A)略向回弯(因为内部压力作用)的弯液面 510 处截止。喷孔 528 具有最小尺寸 D。在喷孔 528 是例如圆形的实施例中,D 是喷孔直径。通常,D 可根据喷头设计和滴大小要求而改变。典型地,D 在大约  $10\ \mu\text{m}$  到  $200\ \mu\text{m}$  之间,例如大约  $20\ \mu\text{m}$  到  $50\ \mu\text{m}$  之间。第一脉冲将初始体积的墨压入喷孔 528,使得墨表面 520 从喷嘴 28 略微突出(见图 5B)。在第一部分滴可分离或收回之前,第二脉冲将另一体积的墨压入通过喷嘴 28,加入到从喷嘴 28 突出的墨中。来自第二和第三脉冲的墨分别如图 5C 和图 5D 所示增加滴体积,并增加动量。通常,可看到来自后续脉冲的墨体积在正在形成的滴中形成凸出部分,如图 5C 和图 5D 所示。最后,喷嘴 28 用第四脉冲喷出一个滴 530,弯液面 510 回到其初始位置(图 5E)。图 5E 还示出连接滴头到喷嘴的非常细的拖尾 544。该拖尾的大小可明显小于使用单次脉冲和更大喷嘴形成的滴所产生的拖尾的大小。

[0067] 在图 6A-6I 中示出一系列示出滴喷射的照片。在本例中,墨喷头具有直径  $50\ \mu\text{m}$  的圆形喷孔。墨喷头由四脉冲的多脉冲波形以大约 60kHz 的脉冲频率驱动,产生 250 微微升的滴。每六微秒捕捉图像。从喷孔突出的墨体积随着每个连续脉冲而增加(图 6A-6G)。

图 6H-6I 示出所喷射滴的轨迹线。注意墨喷射表面是反射性的,导致在每个图像的上半部中产生滴的镜像图像。

[0068] 用多个促动脉冲形成一个大的滴可减少拖尾中的流体体积。滴拖尾指的是直到拖尾中断时连接滴头或滴前部到喷嘴的流体丝。滴拖尾常常比滴前部前进得慢。在某些情况下,滴拖尾可形成不落在与滴主体相同的位置的星形或独立滴。这样,滴拖尾会降低整体喷射器性能。

[0069] 由于后续流体体积的装填改变了滴成形特性,所以通过多脉冲滴促动可减少滴拖尾。多脉冲波形的较后脉冲将流体驱动到在喷嘴出口由多脉冲波形的较早脉冲驱动的流体中,使得流体体积因其不同的速度混合并扩展。这样的混合和扩展可防止在滴头全部直径上连接回喷嘴的宽流体丝。与在单脉冲滴中观察到的锥形拖尾相反,多脉冲滴通常没有拖尾或具有非常细的丝。图 15A 和 15B 比较了在 10kHz 的促动速率和 8m/s 的滴速度下,用 20 微微升喷头构造的多脉冲与 80 微微升喷头构造的单脉冲形成 80 微微升滴的滴成形。类似地,图 16A 和 16B 比较了在 20kHz 的促动速率和 8m/s 的滴速度下,用 20 微微升喷头设计的多脉冲与 80 微微升喷头设计的单脉冲形成 80 微微升滴的滴成形。这些图示出多脉冲滴形成的拖尾减少。

[0070] 如前所述,确定喷头自然频率的一个方法是进行喷头频率响应数据的傅立叶分析。由于滴喷射器的滴速度响应的非线性特性,频率响应如后文所述被线性化,以提高傅立叶分析的准确性。

[0071] 在机械致动滴喷射器中,例如压电驱动按需送墨打印机中,频率响应表现通常被假设是起因于喷头中来自之前促动滴的残余压力(和流动)。在理想条件下,在通道中传播的压力波随着时间以线性方式衰减。在可由速度数据来近似压力波的幅度时,可导出等效的频率响应,代表喷头内更接近线性表现的压力波。

[0072] 有许多确定室内压力变化的方法。在一些滴喷射器中,例如压电驱动喷射器中,所施加的电压和泵室内产生的压力之间的关系经常可假设为线性的。当存在非线性时,可通过例如测量压电偏转使其特征化。在一些实施例中,可直接测量压力。

[0073] 替代地,或者额外地,喷头中的残余压力可由喷头的速度响应确定。在这种方法中,速度响应通过由预定函数确定以所测量速度促动滴所需的电压而被转换成电压等效频率响应。这种函数的一个例子是多项式,例如

$$V = Av^2 + Bv + C,$$

[0075] 其中  $V$  是电压,  $v$  是速度,而  $A$ 、 $B$ 、 $C$  是可由实验确定的系数。这种转换提供可与实际促动电压相比的等效促动电压。等效促动电压与实际促动电压之间的差是喷头内残余压力的量度。

[0076] 当被以任何具体喷射频率连续驱动时,喷头内残余压力是被以促动周期(即,促动频率的倒数)时间分隔的一系列脉冲输入的结果,最近一个脉冲在过去的一个促动周期。相对波形频率的倒数绘制频率响应的电压等效幅度。这等效于将速度响应与从促动起的时间相比。因而脉冲之间的电压等效/时间图表示喷头内压力波作为时间函数的衰减。在电压等效响应/时间图中,每个点上的实际驱动函数是在等于该点的时间的倍增倒数的频率上的一系列脉冲。如果以适当的频率间隔取频率响应数据,该数据可被校正而表示对单个脉冲的响应。

[0077] 该响应可数学表示为：

$$[0078] \quad R(t) = P(t) + P(2t) + P(3t) + \dots,$$

[0079] 其中  $R(t)$  是以周期  $t$  分开的一系列脉冲的喷射响应，而  $P(t)$  是在时间  $t$  对单个脉冲输入的喷射响应。假设  $R(t)$  是输入的线性函数，该响应等式可被代数运算，以在给出测量的  $R(t)$  时解出  $P(t)$ 。典型地，由于喷头内的残余能量随时间衰减，计算有限数量的响应次数就提供足够精确的结果。

[0080] 以上分析可基于在使用频闪光照明滴并且喷头被连续促动使得成像 / 测量系统测量以给定频率促动的一系列脉冲的测试支架上获取的频率响应数据。或者，可用以以特定时间增量隔开的成对脉冲重复促动喷头。所述成对脉冲在其间有足够延迟的情况下被促动，使得喷头内的残余能量在下一对促动前显著减少。这种方法中，在导出单个脉冲响应时可不考虑较早脉冲。

[0081] 所导出的频率响应通常是转换函数的合理近似。对于这些测试，输入到喷头的脉冲相对必须测量的频率要窄。通常，脉冲的傅立叶变换示出在低于脉冲宽度倒数的任何频率下的频率成分。假设脉冲具有对称的形状，这些频率的幅度在等于脉冲宽度倒数的频率上减小为零。例如，图 7 示出四微秒梯形波形的傅立叶变换，其在大约 250kHz 衰减到零。

[0082] 为了用傅立叶变换确定喷射器的频率响应，应获得作为频率的函数的喷射器滴速度的数据。喷射器应由简单的促动脉冲驱动，其脉冲宽度相对等于喷射器自然频率的倒数的预先的喷射器自然周期尽可能得短。促动脉冲周期短确保了促动脉冲的谐波成分延伸到高频，从而喷头将如同被冲击驱动而响应，而频率响应数据不会被促动脉冲本身显著影响。图 8 示出对于 80 微微升滴喷射器的具体构造的频率响应曲线的例子。

[0083] 还应获得与作为滴速度函数的促动滴的所需电压有关的数据。该数据用于使喷射器响应线性化。在多数滴喷射器中，滴速度与电压之间的关系是非线性的，尤其是在低速时（即，对于低速）。如果在速度数据上直接进行傅立叶分析，频率成分易于因滴速度和喷头内压力能量之间的非线性关系而失真。例如多项式的曲线拟合可被用来表示电压 / 速度关系，而所得等式可用于将速度响应变换成电压等效响应。

[0084] 在将速度频率响应变换到电压后，减去基线（低频）电压。所得值表示喷头内的残余驱动能量。这还被变换成时间响应，如前所述。图 9 示出作为脉冲延迟时间的函数的电压等效响应的例子。该曲线证实了频率响应的指数衰减包络（envelope）。

[0085] 电压等效时间响应数据可用傅立叶变换进行分析。图 10 示出对喷射器时间响应上的傅立叶分析结果和对四脉冲波形的傅立叶分析结果。黑线表示滴喷射器（喷射）时间响应的傅立叶变换。在本例中，在 30kHz 示出强响应，这是该喷射器的基础自然频率。它还示出 60kHz 的明显的第二谐波。

[0086] 图 10 还示出设计为驱动同一喷射器的四脉冲波形的傅立叶变换。如图所示，该波形在喷射器的基础自然频率具有低能量。由于波形中的能量在喷射器的自然频率上较低，喷射器的谐振响应不会明显受到该波形的激励。

[0087] 图 11 示出两个不同喷射器的频率响应数据。该喷射器促动相似大小的滴。较深的线是在上例中由四脉冲波形促动的喷射器的数据。较浅的线示出使用单脉冲波形促动相似大小滴喷射器的数据。单脉冲波形响应比多脉冲波形改变得更明显。

[0088] 一些采用特殊墨的墨喷头构造不会产生容易确定自然频率的速度 / 时间曲线。例

如,高阻尼反射压力波的墨(例如,高粘性墨)会将残余脉冲的幅度减小到在速度/时间曲线中能观察到很少或没有振荡的程度。在某些情况下,高阻尼喷头只在非常低的频率下促动。一些喷头促动条件产生很不规则的频率响应曲线,或示出两个相互作用的强频率使得难以识别主自然频率。在这种情况下,必须用另外的方法确定自然频率。一个这种方法是

[0089] 计算自然频率涉及确定喷头每部分中的声速,然后根据每部分长度计算声波的传输时间。总传输时间  $\tau_{\text{travel}}$  由将所有时间加在一起、然后考虑到压力波通过每部分的全程将总数乘 2 来确定的。传输时间的倒数  $\tau_{\text{travel}}^{-1}$  是自然频率  $f_j$ 。

[0090] 流体中声速是流体密度和体积模量的函数,可由以下等式确定:

$$[0091] \quad c_{\text{sound}} = \sqrt{\frac{B_{\text{mod}}}{\rho}}$$

[0092] 其中  $c_{\text{sound}}$  是以米/秒表示的声音速度,  $B_{\text{mod}}$  是以帕斯卡表示的体积模量,  $\rho$  是以千克/立方米表示的密度。或者,体积模量可从更易于测量的声音速度和密度中推导。

[0093] 在结构挠性 (compliance) 大的墨喷头部分中,应在声音速度计算中包括挠性以确定流体的有效体积模量。通常,由于泵送元件(例如致动器)通常必须具有挠性,因此高挠性部分包括泵室。还可包括具有薄壁或流体周围其它挠性结构的喷头其它部分。可用例如有有限元程序计算,例如 ANSYS 软件(可从 Ansys Inc., Canonsburg, PA 购买获得),或通过仔细的人工计算。

[0094] 在流道中,流体的挠性  $C_F$  可由流体的实际体积模量和通道容积  $V$  计算,其中:

$$[0095] \quad C_F = \frac{V}{B_{\text{mod}}}$$

[0096] 流体挠性的单位是立方米/帕斯卡。

[0097] 除了流体挠性外,通道内声音有效速度应调整到考虑通道结构的任何挠性。通道结构(例如,通道壁)的挠性可由各种标准的机械工程公式计算。有限元方法也可用于这种计算,特别是在结构复杂的情况下。流体的总挠性  $C_{\text{TOTAL}}$  如下给出:

$$[0098] \quad C_{\text{TOTAL}} = C_F + C_s$$

[0099] 其中  $C_s$  是结构的挠性。在墨喷头的每部分中流体中的声音的有效速度  $c_{\text{soundEff}}$  可如下确定:

$$[0100] \quad c_{\text{soudEff}} = \sqrt{\frac{B_{\text{modEff}}}{\rho}},$$

[0101] 其中  $B_{\text{modEff}}$  是有效体积模量,可由流体通道的总挠性和容积计算:

$$[0102] \quad B_{\text{modEff}} = \frac{V}{C_{\text{TOTAL}}}。$$

[0103] 滴喷射器的频率响应可通过适当设计用于驱动喷射器的波形而得到提高。提高频率响应可通过用调节到减少或消除滴喷出后喷射器内的残余能量的促动脉冲驱动滴而实现。一个实现方法是用基础频率是喷射器谐振频率倍数的一系列脉冲驱动喷射器。例如,多脉冲频率可被设置成大约两倍于喷头的谐振频率。脉冲频率是喷头谐振频率的两到四倍的一系列脉冲(例如,2-4个脉冲)在喷头的谐振频率上具有非常低的能量成分。在喷头的谐振频率上的波形的傅立叶变换的幅度,如图 10 所示,是波形中相对能量的良好指标。在

这种情况下,多脉冲波形在喷头自然频率上具有由傅立叶变换的峰值确定的包络幅度的大约 20%。

[0104] 如前所述,多脉冲波形优选地形成一个滴。形成一个滴确保各个脉冲独立的驱动能量在所形成的滴中被平均。平均脉冲驱动能量导致部分地展平滴喷射器的频率响应。当脉冲被倍增到喷射器谐振周期的倍数(例如谐振周期的 2-4 倍)时,多个脉冲占用的周期是喷射器谐振周期的整数倍。由于这种定时,来自之前滴促动的残余能量被大大消除,从而很少影响当前滴成形。

[0105] 由多脉冲波形形成单个滴依赖于脉冲的幅度和定时。脉冲链的第一个脉冲不会喷出单独的滴,而被最后的脉冲驱动的最终流体体积应以足够能量与在喷嘴处形成的最初体积聚结,以确保滴从喷嘴分离并形成单个滴。各个脉冲宽度应相对短于各滴成形时间。脉冲频率应相对高于滴分离判定。

[0106] 脉冲链的第一脉冲的持续时间可短于较后的脉冲。较短的脉冲比相同幅度的较长脉冲具有更少的驱动能量。假设脉冲相对短于最佳脉冲宽度(与最大滴速度相应),被较后(较长)脉冲驱动的流体体积会比较前脉冲的具有更大能量。较后促动体积的能量较高意味着它们与较前促动体积聚结,产生一个滴。例如,在四脉冲波形中,脉冲宽度可具有如下定时:第一脉冲宽度 0.15-0.25;第二脉冲宽度 0.2-0.3;第三脉冲宽度 0.2-0.3;第四脉冲宽度 0.2-0.3,其中脉冲宽度表示整个脉冲宽度的十进制的分数。

[0107] 在一些实施例中,脉冲具有相等的宽度和不同的幅度。脉冲幅度可从第一脉冲到最后脉冲增加。这意味着分配到喷嘴的第一体积的流体的能量会低于较后体积流体的能量。每个流体体积可具有渐增的能量。例如,在四脉冲波形中,各个促动脉冲的相对幅度可具有如下值:第一脉冲幅度 0.25-1.0(例如 0.73);次级脉冲幅度 0.5-1.0(例如 0.91);第三脉冲幅度 0.5-1.0(例如 0.95);第四脉冲幅度 0.5-1.0(例如 1.0)。

[0108] 也可能是其它关系。例如,在一些实施例,较后的脉冲具有比第一脉冲低的幅度。

[0109] 脉冲宽度和幅度的值可用滴成形、电压和电流要求、喷射持续性、所得喷头频率响应和其它衡量波形的要求而实验地确定。还可采用分析方法来估计单个滴的滴成形时间,以及滴分离判定。

[0110] 优选地,拖尾中断时间显著长于促动脉冲之间的周期。这意味着滴成形时间显著长于脉冲时间,从而不会形成单独的滴。

[0111] 具体地,对于单个滴成形,两个判定可衡量估计拖尾中断时间或滴成形时间。时间参数  $T_0$  可从喷射器几何形状和滴特性计算(见例如 Fromm, J. E., "Numerical calculation of the Fluid Dynamics of 滴-on-demand Jets", IBM J. Res. Develop., Vol. 28 No. 3, May 1984)。该参数表示喷嘴几何形状和流体性质与滴成形时间相关的比例因数,并用滴成形的数值建模导出。

[0112]  $T_0$  由以下等式确定:

$$[0113] \quad T_0 = (\rho r^3 / \sigma)^{1/2}.$$

[0114] 这里,  $r$  是喷嘴半径(例如,50 微米),  $\rho$  是流体密度(例如 1 gm/cm<sup>3</sup>),  $\sigma$  是流体表面张力(例如 30 dyn/cm)。这些值相应于对于典型的测试流体(例如水和乙二醇的混合物)会产生 80 微微升滴的喷头的尺寸。通常,坍塌时间从大约两倍到四倍  $T_0$  变化,如 Fromm 参考文献所述。如此,通过这一判定,中断时间对于所述参数值示例来说可为 130-260 微

秒。

[0115] 拖尾中断时间的另一个计算,如 Mills, R.N., Lee F.C. 和 Talke F.E 在“滴-on-demand Ink Jet Technology for Color Printing”SID82Digest,13, 156-157(1982) 中所述,对于拖尾中断时间  $T_b$  采用实验导出参数,如下:

$$[0116] \quad T_b = A + B(\mu d) / \sigma,$$

[0117] 其中  $d$  是喷嘴直径,  $\mu$  是流体粘度,  $A$  和  $B$  是拟合参数。在一个例子中,  $A$  被确定为 47.71 而  $B$  为 2.13。在该例中,对于 50 微米的喷嘴直径,10 厘泊的粘度和 30dyn/cm 的表面张力,拖尾中断时间为大约 83 微秒。

[0118] 用于流体层流喷射稳定性的瑞利准则可用于估计使单个滴成形可被最优化的促动频率范围。该准则可数学表示为:

$$[0119] \quad k = \pi d / \lambda$$

[0120] 这里,  $k$  是由流体的柱形喷射的稳定方程所导出的参数。喷射的稳定性由表面摄动(例如脉冲造成的干扰)幅度是否会增加而确定。 $\lambda$  是喷射器上表面波的波长。对于分离的滴成形,参数  $k$  应在 0 和 1 之间。由于  $\lambda$  等于滴速度  $v$  除以脉冲频率  $f$ , 该方程可以频率和速度的形式重写。如此,为形成分离的滴

$$[0121] \quad f \leq v / (\pi d)$$

[0122] 例如,在  $d = 50$  微米,且  $v = 8\text{m/s}$  的喷射器中,根据该分析,对于有效的滴分离,  $f$  应小于大约 50kHz。在该例中,大约 60kHz 的多脉冲促动频率应有助于对多脉冲波形提供一个滴。

[0123] 每个滴的质量可通过改变多脉冲波形中的脉冲数量而改变。每个多脉冲波形可包括根据所喷射的每个滴所需的滴质量而选择的任意数量的脉冲(例如,两个、三个、四个、五个或更多脉冲)。

[0124] 通常,滴质量可根据需要改变。较大的滴可通过增加多脉冲波形中脉冲幅度、脉冲宽度和 / 或增加促动脉冲的数量而产生。在一些实施例,每个喷射器可喷射在一定体积范围上变化的滴,使得最小可能滴质量是最大可能滴质量的大约 10% (例如,大约 20%, 50%)。在一些实施例,喷射器可在从大约 10 到 40 微微升的滴质量范围内喷射滴,例如在大约 10 到 20 微微升之间。在另一些实施例,滴质量可在 80 和 300 微微升之间变化。在另一些实施例,滴质量可在 25 和 120 微微升之间变化。可能的滴大小的变化会尤其有利地在采用灰度级打印的领域中提供各种灰度级。在一些应用中,具有两个质量级的滴质量上大约 1 到 4 的范围对于有效的灰度级来说足够。

[0125] 可选择脉冲链轮廓而定制代替或除滴质量外的其它滴特性。例如,滴拖尾的长度和体积可通过选择适当的脉冲链轮廓而显著减少。滴拖尾指的是滴中在滴前边缘之后明显形成尾迹的一些墨体积(例如,在使得滴形状与基本的球形不同的任何量的流体),并易于导致性能下降。在滴前边缘之后多于两个喷嘴直径的流体通常在性能上具有有害影响。滴拖尾通常由滴被喷出后将最后量的流体拉出喷嘴的表面张力和粘性而造成。滴拖尾可由滴不同部分之间的速度变化而导致,这是因为与较快移动的墨相比同时或稍后从喷孔喷出的较慢移动的墨会拖曳较快移动的墨。在许多情况下,由于与滴前边缘相比落在了移动基板的不同部分,因此大的拖尾会降低打印图像的质量。

[0126] 在一些实施例,拖尾可得到充分减少,使得所喷出滴在喷孔的短距离内基本是

球形。例如,至少大约 60% (例如,至少大约 80%) 的滴质量可包括在滴中的一点的半径  $r$  内,其中  $r$  相应于完美球形滴的半径,并由以下给出:

$$[0127] \quad r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{m_d}{\rho}},$$

[0128] 其中  $m_d$  是滴质量,而  $\rho$  是墨密度。换句话说,至少大约 60% 的滴质量位于滴中一点的  $r$  内,少于 40% 的滴质量位于拖尾中。在一些实施例中,少于大约 30% (例如,少于大约 20%、10%、5%) 的滴质量位于滴拖尾中。对于滴速度多于大约  $4\text{ms}^{-1}$  的情况 (例如,高于大约  $5\text{ms}^{-1}$ 、 $6\text{ms}^{-1}$ 、 $7\text{ms}^{-1}$ 、 $8\text{ms}^{-1}$ ),少于大约 30% (例如,少于大约 20%、10%、5%) 的滴质量可位于滴拖尾中。

[0129] 滴拖尾的流体比例可由滴的照相图中确定,如在图 15A-B 和图 16A-B 中所示。具体地,滴拖尾中的流体比例可从图中滴体和滴拖尾的相对面积外推出。

[0130] 影响滴特性的脉冲参数通常相互关联。另外,滴特性还可取决于滴喷射器的其它特性 (例如,室容积) 和流体性质 (例如,粘度和密度)。因此,用于产生具有特定质量、形状和速度的滴的多脉冲波形在喷射器之间以及对于不同类型的流体会改变。

[0131] 尽管前述多脉冲波形由连续脉冲组成,在一些实施例中,喷射器可用包括不连续脉冲的多脉冲波形产生滴。参照图 12,包括不连续脉冲的多脉冲波形的例子是多脉冲波形 500,包括脉冲 510、520、530 和 540。总波形的第一脉冲 510 与总波形的第二脉冲 520 分开一空段 512。第二脉冲 520 与第三脉冲 530 分开一空段 522。类似地,第四脉冲 540 与第三脉冲 530 分开一空段 532。定性脉冲周期与延迟周期之间关系的一种方式是通过脉冲占空比。如这里所用的,每个脉冲的占空比指的是脉冲周期与脉冲之间周期 (即脉冲周期加上延迟周期) 的比率。例如占空比 1 对应于具有零延迟周期的脉冲,如图 4A 所示。当脉冲被有限的延迟周期分开时,占空比小于 1。在某些实施例中,多脉冲波形中的脉冲可具有小于 1 的占空比,例如大约 0.8、0.6、0.5 或更小。在一些实施例中,延迟周期可用在波形之间,以减少后续脉冲与较早脉冲之间的干扰效应。例如,当被反射脉冲的阻尼低时 (例如,当墨粘度低时),可能需要及时偏移相邻脉冲以减少它们的干扰效应。

[0132] 参照图 13 和图 14,在用喷墨打印头打印时,通过用多个多脉冲波形驱动喷头,从每个墨喷头喷出多个滴。如图 13 所示,多脉冲波形 810 和 820 后分别跟随有延迟周期 812 和 822。响应多脉冲波形 810 喷出一个滴,响应多脉冲波形 820 喷出另一个滴。通常,根据是否需要相似的滴,相邻多脉冲波形的轮廓可相同或不同。

[0133] 多脉冲波形之间的最小延迟周期通常取决于打印分辨率和多脉冲波形持续时间。例如,对于大约 1 米每秒的相对基板速度,多脉冲波形频率应为 23.6kHz 以提供 600dpi 的打印分辨率。如此,在这种情况下,相邻多脉冲波形应分开 42.3 微秒。因而每个延迟周期是 42.3 微秒与多脉冲波形持续时间之间的差。

[0134] 图 14 示出从直径  $23\mu\text{m}$  的圆形喷孔喷出多个滴的墨喷头的例子。在本实施例中,由于促动速率是 40kHz,驱动脉冲大约持续 16 微秒并分离 25 微秒。

[0135] 图 15A-B 和图 16A-B 示出两个喷头以两个不同频率促动 80 微微升滴的比较。在图 15A 和 16A 中示出的一个喷头是较小的喷头 (名义为 20 微微升),并用四脉冲波形喷出 80 微微升滴。图 15B 和 16B 示出的另一个喷头是用单脉冲波形喷出 80 微微升的喷头。用多脉冲波形形成的滴比用单脉冲波形形成的滴还表现出拖尾量减少。

[0136] 在一些实施例中,滴喷射装置可由包括一个或更多主脉冲以及一个或更多次级脉冲的多脉冲波形驱动,所述主脉冲影响所喷出流体体积,所述次级脉冲不显著影响所喷出流体体积。例如,参照图 17A,多脉冲波形 1700 可包括主脉冲 1701,跟随有四个次级脉冲 1702-1705。滴喷射装置响应主脉冲 1701 喷出一个流体体积。后续的次级脉冲 1702-1705 不显著改变所喷出的流体体积。但是,次级脉冲 1702-1705 可影响所喷出滴的形状。

[0137] 主脉冲 1701 是持续时间从  $t_0$  到  $t_1$  的梯形脉冲。主脉冲 1701 具有峰电压  $V_1$ 。延迟  $t_2-t_1$  将主脉冲 1701 与也是梯形的第一个次级脉冲 1702 分开。次级脉冲 1702 具有从  $t_2$  到  $t_3$  的持续时间,峰电压  $V_2$  和脉冲周期  $t_4-t_2$ 。次级脉冲 1703-1705 具有与次级脉冲 1702 相同的形状(即梯形)、周期和峰电压。

[0138] 通常,主脉冲 1701 与次级脉冲 1702 之间的延迟  $t_2-t_1$  可根据需要改变。在一些实施例中, $t_2-t_1$  足够长使得次级脉冲 1702 不显著改变所喷出的滴体积。延迟时间  $t_2-t_1$  可大于与喷头自然频率相应的周期(例如大约  $1.1f_j^{-1}$  或更大,大约  $1.2f_j^{-1}$  或更大,大约  $1.3f_j^{-1}$  或更大,大约  $1.5f_j^{-1}$  或更大,大约  $1.8f_j^{-1}$  或更大)。在一些实施例中,延迟时间  $t_2-t_1$  是大约  $10\mu s$  或更大(例如,大约  $15\mu s$  或更大,大约  $20\mu s$  或更大,大约  $30\mu s$  或更大,大约  $10\mu s$  或更大)通常,  $t_2-t_1$  应长于滴拖尾从喷嘴的残余流体中断所花费的时间。

[0139] 尽管多脉冲波形 1700 中  $V_1$  大于  $V_2$ ,通常,多脉冲波形中主脉冲和次级脉冲的相对峰电压可改变。主脉冲的峰电压应足以导致一个流体体积从喷嘴喷出,而次级脉冲的峰电压应不明显导致流体喷射(流体喷射还取决于脉冲持续时间,如下所述)。在一些实施例中,  $V_1$  可相对较高,例如大约 50V 或更高(例如,大约 60V 或更高,大约 70V 或更高,大约 80V 或更高,大约 90V 或更高)。  $V_2$  也可相对高(例如,大约 50V 或更高,大约 60V 或更高,大约 70V 或更高,大约 80V 或更高),或可相对低(例如,大约 30V 或更低,大约 20V 或更低)。另外,尽管每个次级脉冲 1702-1705 具有相同的峰电压  $V_2$ ,通常每个次级脉冲的相对峰电压可变化。

[0140] 在多脉冲波形 1700 中,主脉冲 1701 的持续时间大于后续的次级脉冲 1702-1705 的持续时间。但是,通常,主脉冲和次级脉冲的相对持续时间可根据需要改变。另外,通常,主脉冲和次级脉冲的频率可根据需要改变。主脉冲的频率可选择为提供具有所需量的滴。次级脉冲的频率可选择为使得次级脉冲引入对室内的流体的压力波,而不显著影响响应主脉冲从喷嘴喷出的流体体积。在一些实施例中,主脉冲的频率大约为喷头自然频率。或者,或额外地,次级脉冲的频率可为大约  $f_j$  或更高(例如大约  $2f_j$  或更高,大约  $3f_j$  或更高,大约  $3f_j$  或更高,大约  $5f_j$  或更高)。

[0141] 尽管多脉冲波形 1700 包括一个主脉冲和四个次级脉冲,通常主脉冲和次级脉冲的数量可根据需要改变。例如,多脉冲波形可包括被选择为提供所需滴体积的两个、三个、四个或更多脉冲。多脉冲波形可包括一个、两个、三个、四个、五个、六个、七个、八个或更多被选择为提供所需滴形状(例如,提供所需拖尾长度)的次级脉冲。

[0142] 在某些实施例中,次级脉冲可用于减少滴拖尾长度。例如,在流体包括高分子量材料(下文为高分子量流体)例如高分子量聚合物的领域,多脉冲波形可通过在所喷出流体体积中激发滴中断而减少拖尾长度。通常,高分子量材料具有大约 1000 或更高的分子量(例如,大约 5000 或更高,大约 10000 或更高,大约 50000 或更高)。在一些情况下,高分子量材料可包括具有大约 100000 或更高的分子量,例如大约 500000 或更高。

[0143] 高分子量流体包括分子液体, 聚合物熔体, 高分子量材料溶液, 胶质或乳剂。高分子流体的一个例子是 DOW Green K2, 一种发光聚合物 (DowChemical)。高分子量流体的其它例子包括有机流体 (即, DNA), PEDOT (聚 3,4- 乙烯二氧噻吩聚苯乙烯磺酸水分散体, poly(3,4-ethylenedioxythiophene)poly(styrenesulfonate)aqueous dispersion), 和其它聚酰亚胺或聚合物溶液。

[0144] 次级脉冲还可用于减少具有相对高延展粘度的流体中的滴拖尾的长度, 例如具有大约一个半到两倍或更高于喷射典型墨的流体粘度的延展粘度 (即, 2 到 20 厘泊), 例如 12 到 30 厘泊或 10 到 50 厘泊或更高的流体。具有相对高延展粘度的流体的例子包括各种高分子量流体, 例如前述发光聚合物溶液。

[0145] 理论分析可用于研究拖尾中断和滴成形。例如, 采用用于滴中断的瑞利准则的分析生成用于激励流体流而从该流体流中形成滴的最佳频率的公式。该公式可表示为:

$$[0146] \quad \lambda = 4.508D_j$$

[0147] 其中  $\lambda$  是加在流体喷射表面上的干扰的波长, 而  $D_j$  是喷射直径, 模拟流体从喷孔连续流动时的喷射, 其中流体具有与喷孔相同的直径。作为例子, 当喷孔直径为 25  $\mu\text{m}$ , 流体速度为 8m/s 时,  $\lambda$  是 112mm, 这意味着频率 71kHz。因此, 该计算提出在需要大约 0.25 倍于所形成滴的直径的拖尾时, 应采用大约  $4 \times 71\text{kHz}$ , 大约 285kHz 扰动频率 (例如, 次级脉冲频率)。

[0148] 参照图 18, 滴拖尾的长度作为次级脉冲宽度 (对应于次级脉冲频率) 的函数可用前述照相分析技术研究。在图 18 中, 对于不同的次级脉冲宽度绘出滴拖尾的长度, 该长度表示为所测量的拖尾长度与响应单个脉冲波形喷出的滴拖尾长度的比例。对于每个数据点, 相对单脉冲滴情况, 拖尾长度被减少。

[0149] 图 18 中示出的数据可用可从 Spectra, Inc. (Hanover, NH) 商业获得的 SX-128 打印头喷出 LEP 流体 (DOW Green K2, Dow Chemical) 而获得。用于驱动打印头的多脉冲波形包括单个梯形主脉冲, 跟随有四个梯形次级脉冲。主脉冲具有大约 75V 的最大电压, 而次级脉冲具有大约 70V 的最大电压。主脉冲具有 4.5  $\mu\text{s}$  的持续时间, 并跟随有大约 4.5  $\mu\text{s}$  的延迟。

[0150] 尽管在多脉冲波形 1700 中次级脉冲跟随主脉冲 1701, 通常次级脉冲可领先或跟随主脉冲。例如, 参照图 17B, 在某些实施例中, 多脉冲波形 1710 包括领先主脉冲 1711 的次级脉冲 1712。

[0151] 在一些实施例中, 多个次级脉冲可既有领先主脉冲, 也有跟随主脉冲。例如, 参照图 17C, 滴喷射装置中的流体中可由次级脉冲 1722 连续激励, 次级脉冲 1722 可在需要流体喷射时由一个或更多主脉冲, 例如主脉冲 1721 中断。

[0152] 通常所讨论的驱动方案可适于上述之外的其它滴喷射装置。例如, 驱动方案可适于由 Andreas Bibl 和合作者在 2003 年 7 月 3 日申请的题为“PRINthead”的美国专利申请号 10/189,947 中所述的墨喷头, 以及由 Edward R. Moynihan 及合作者在 1999 年 10 月 5 日申请的题为“PIEZOELECTRIC INK JET MODULE WITH SEAL”的美国专利申请号 09/412,827 中所述的墨喷头, 其全部内容在此引用作为参考。

[0153] 另外, 如前所述, 前述驱动方案可应用于通用的滴喷射装置, 而不仅仅是喷射墨。其它滴喷射装置的例子包括用于电子显示的沉积图案粘合剂或图案材料 (例如, 有机 LED

材料)。

[0154] 已说明了本发明的几个实施例。无疑,可理解在不背离本发明精神和范围的情况下可做各种修改。因此,其它实施例在所附权利要求的范围内。

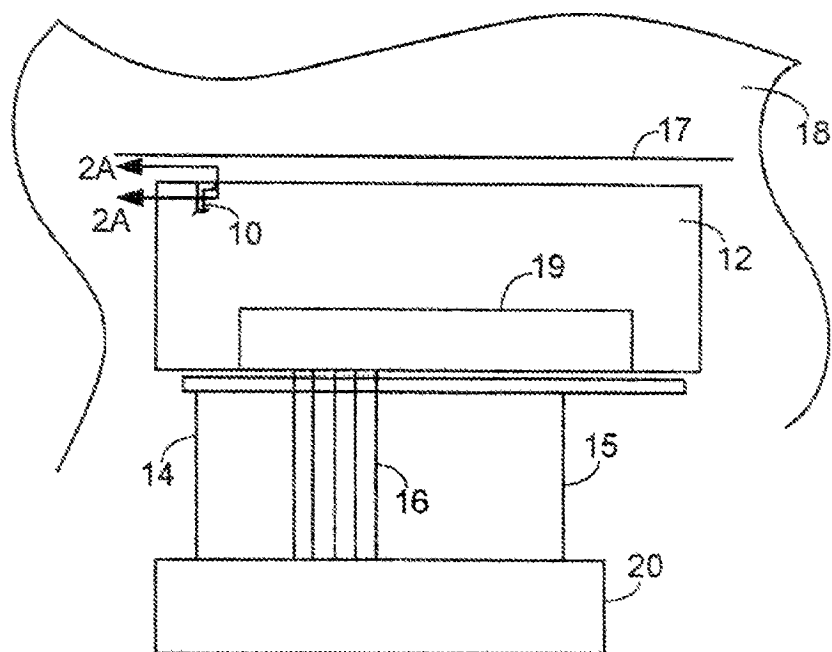


图 1

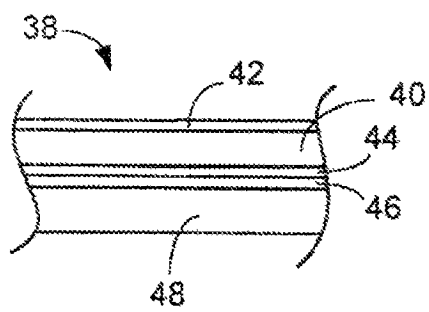


图 2B

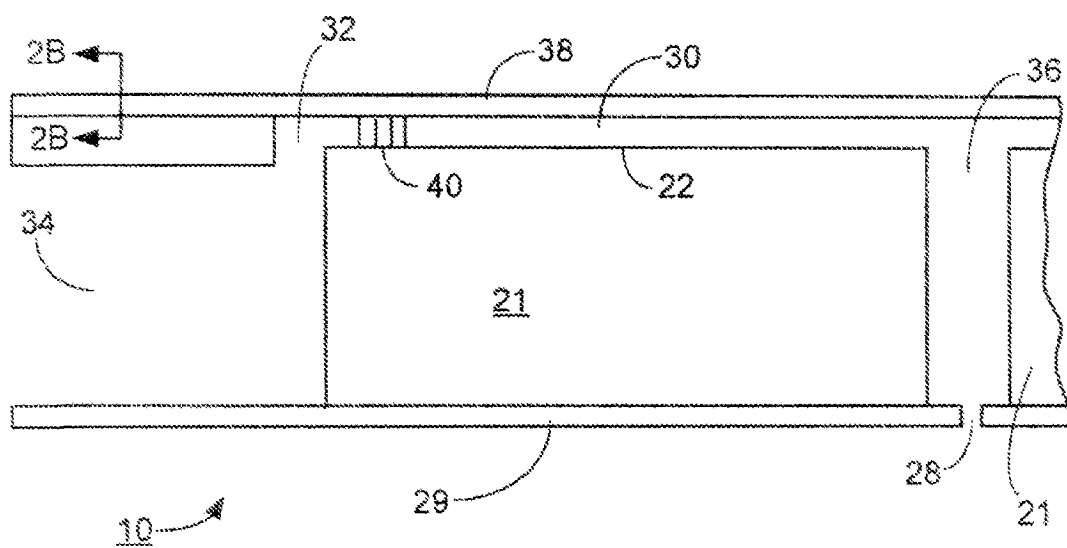


图 2A

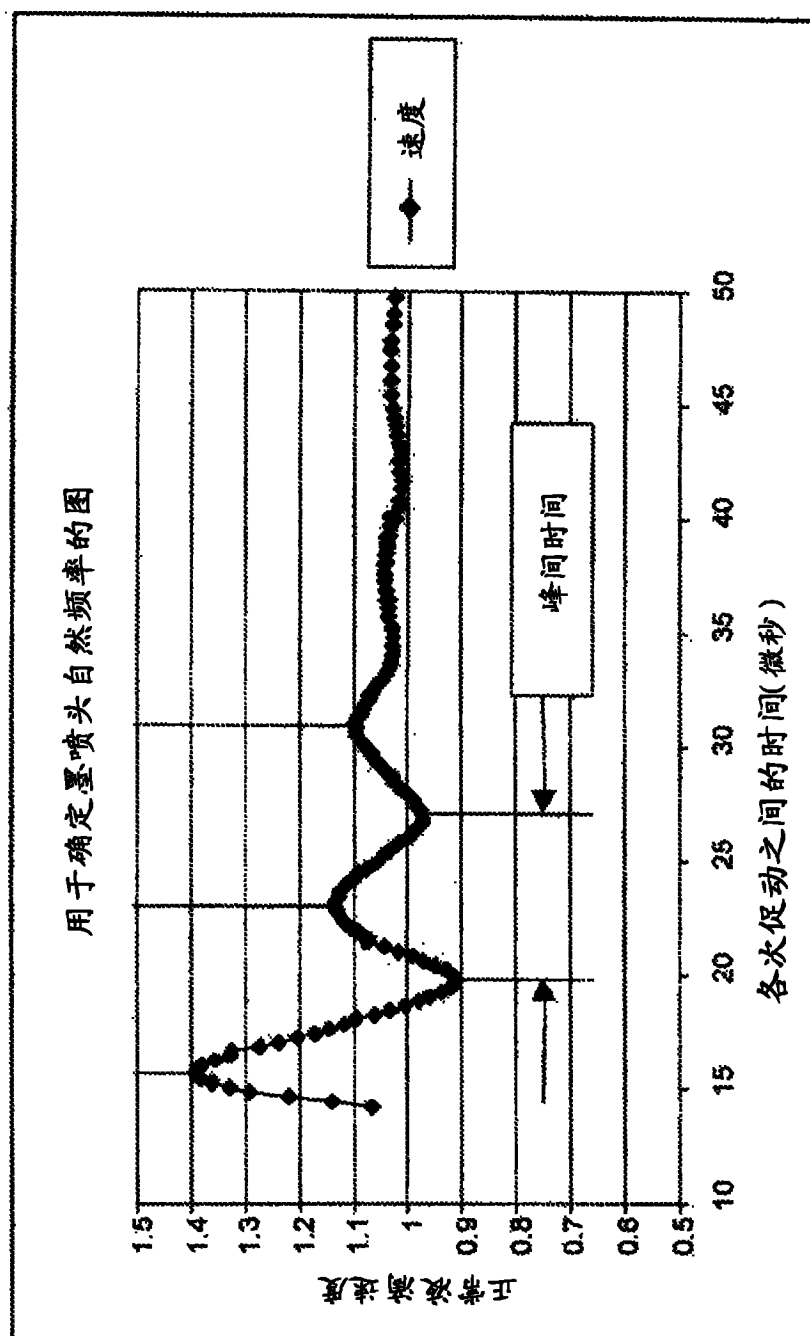


图 3

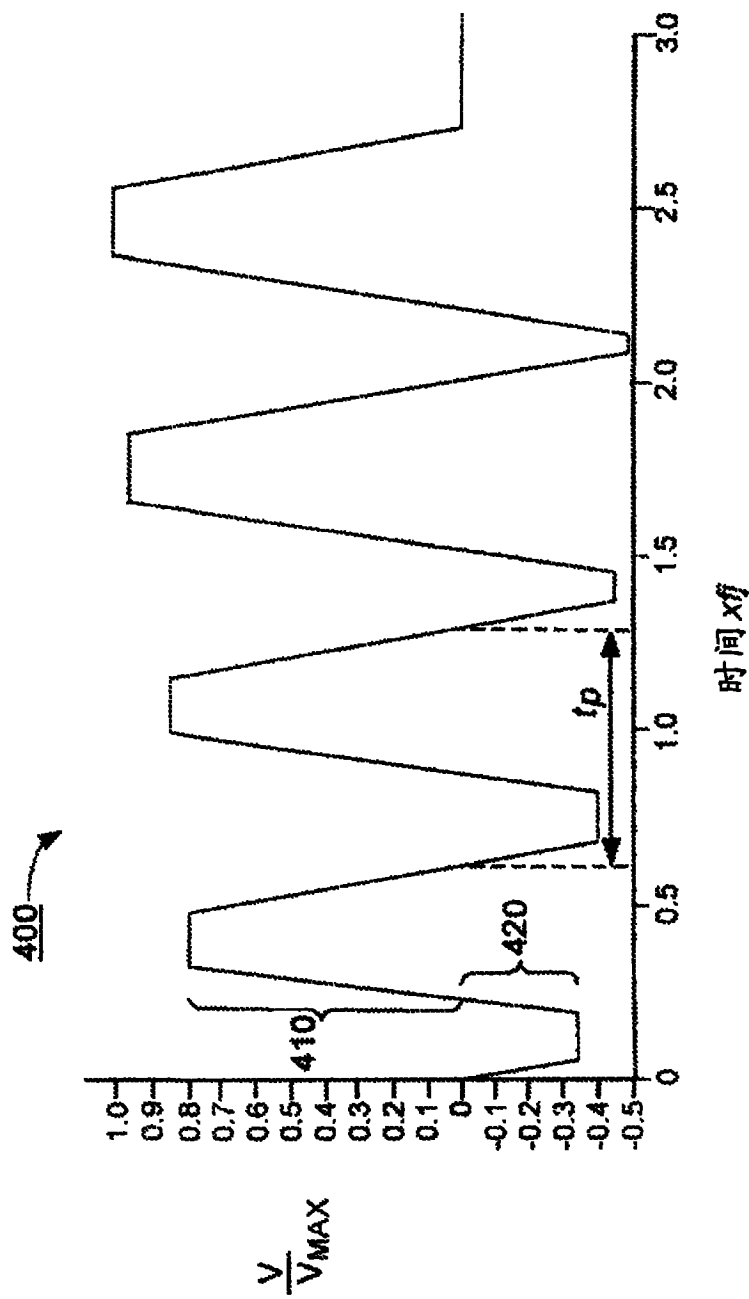


图 4A

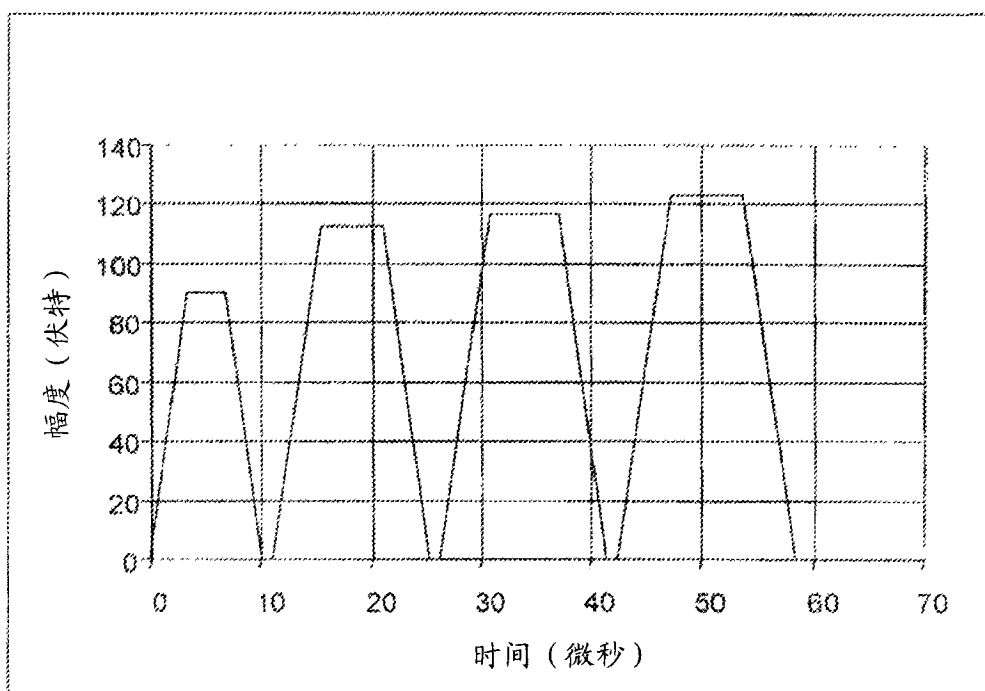


图 4B

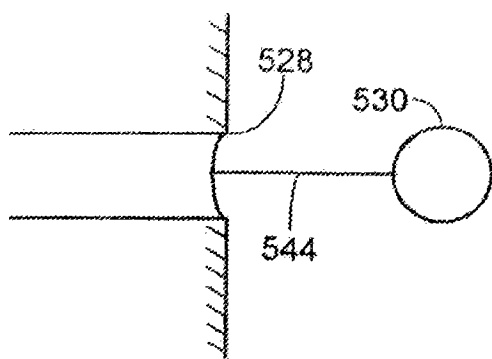


图 5E

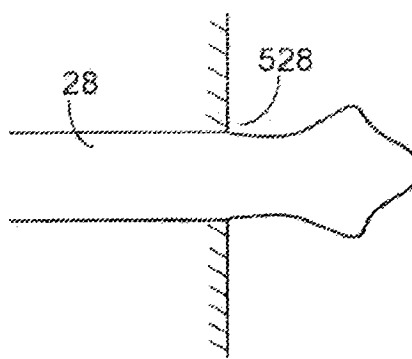


图 5C

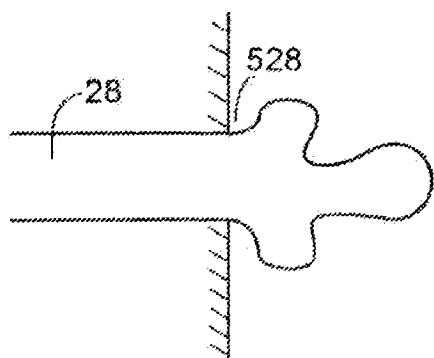


图 5D

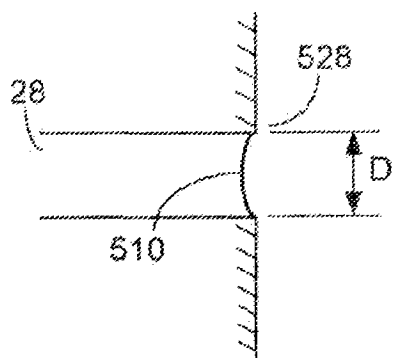


图 5A

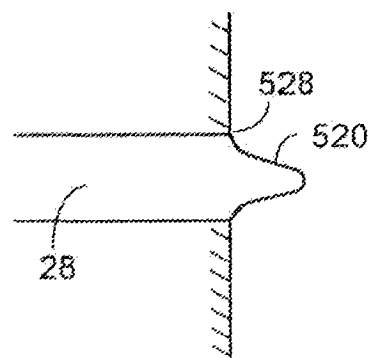


图 5B

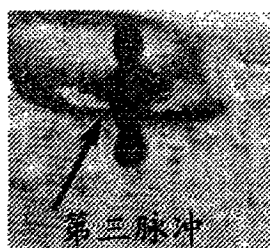
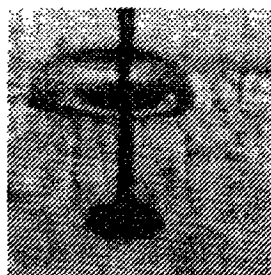
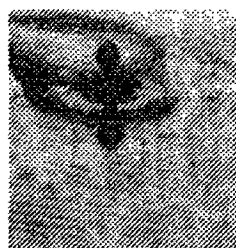
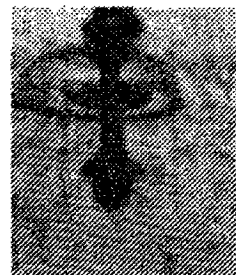
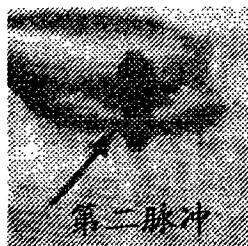
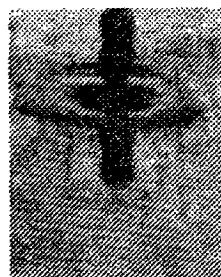
图 6D  
58usec图 6H  
84usec图 6C  
52usec图 6G  
76usec图 6I  
110usec图 6B  
46usec图 6F  
70usec

图 6A  
40usec



图 6E  
64usec



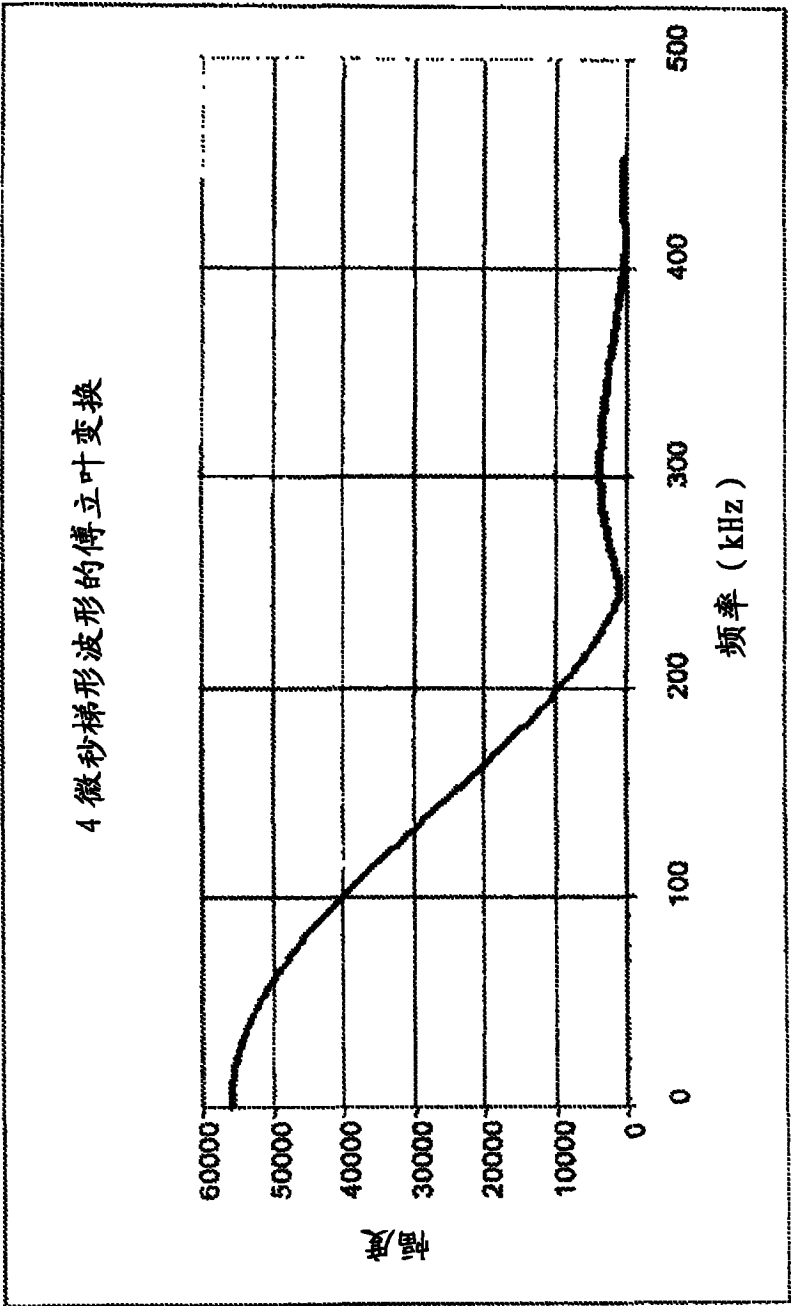


图 7

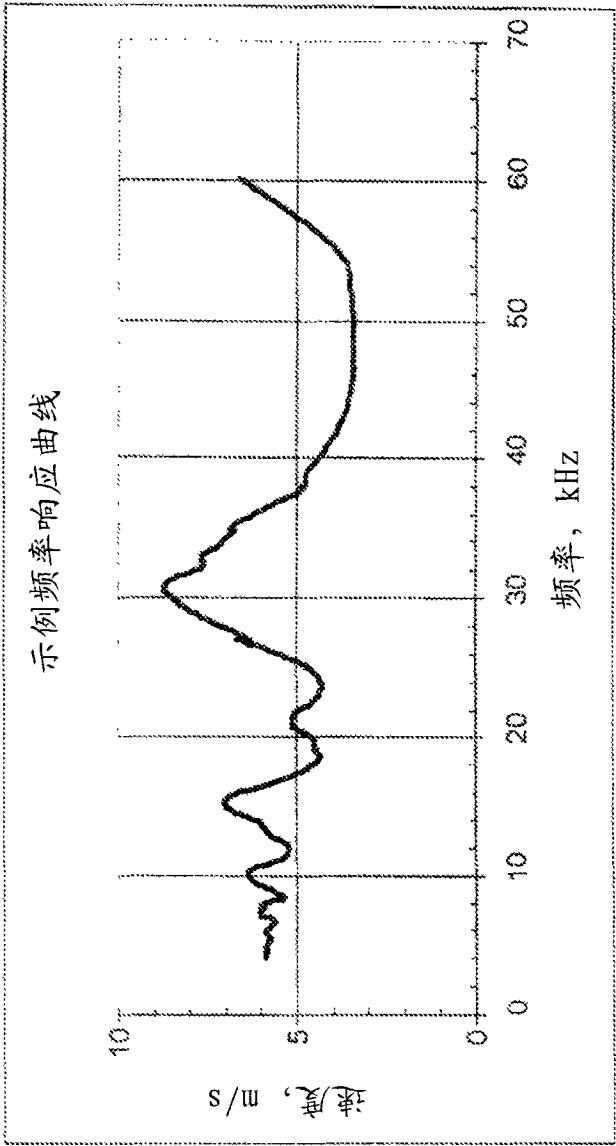


图 8

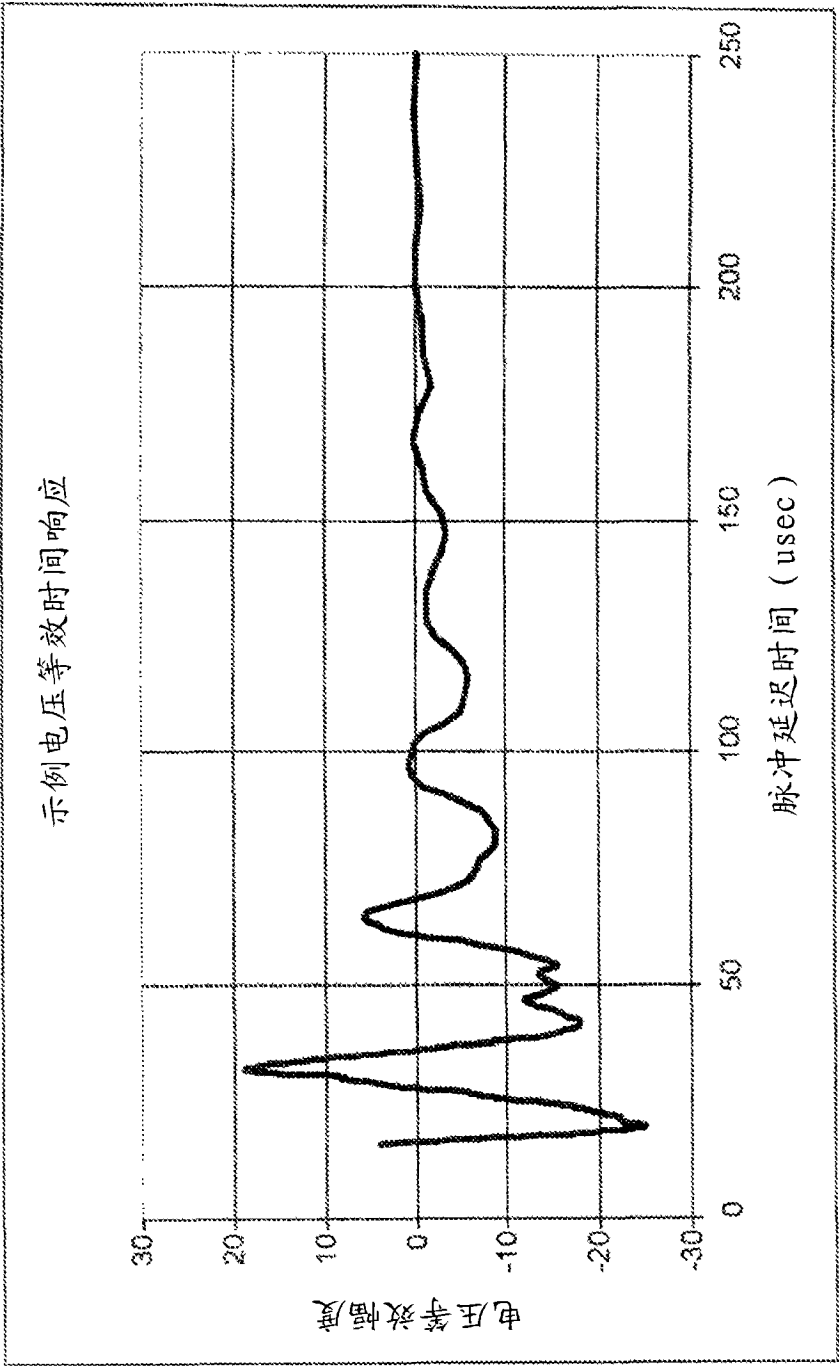


图 9

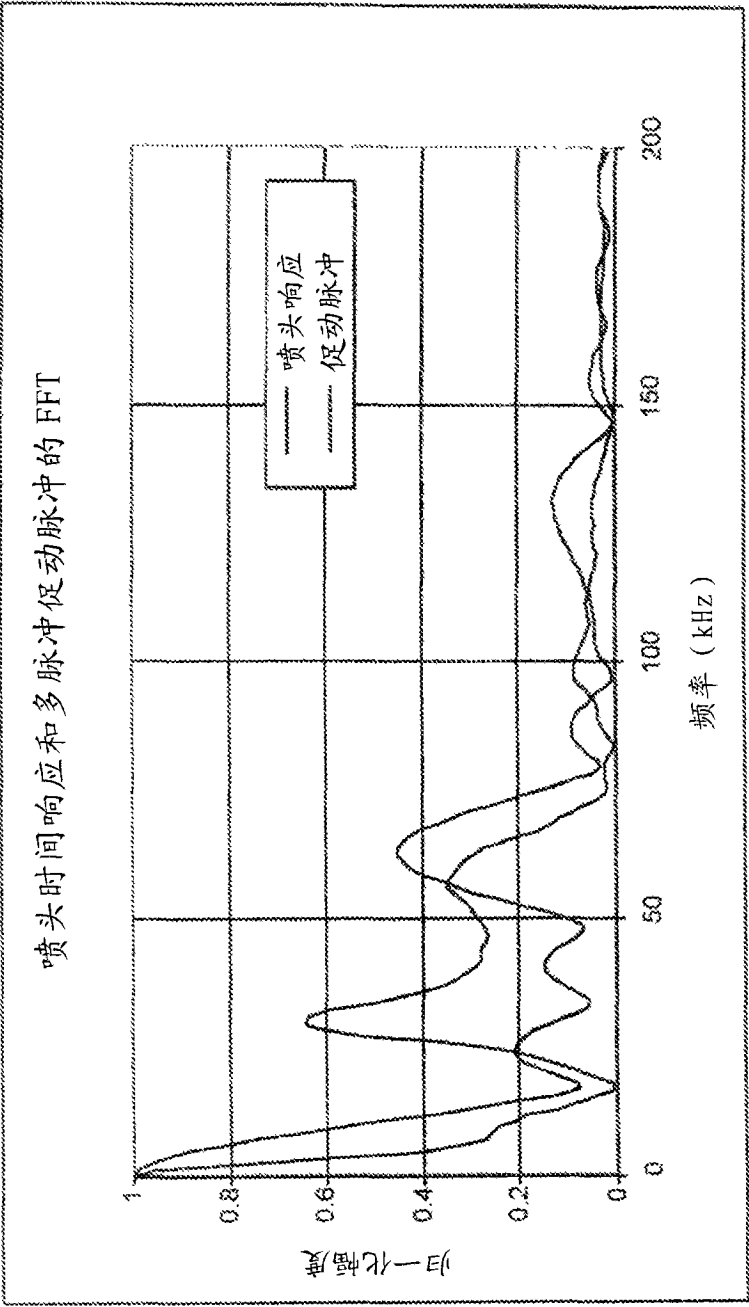


图 10

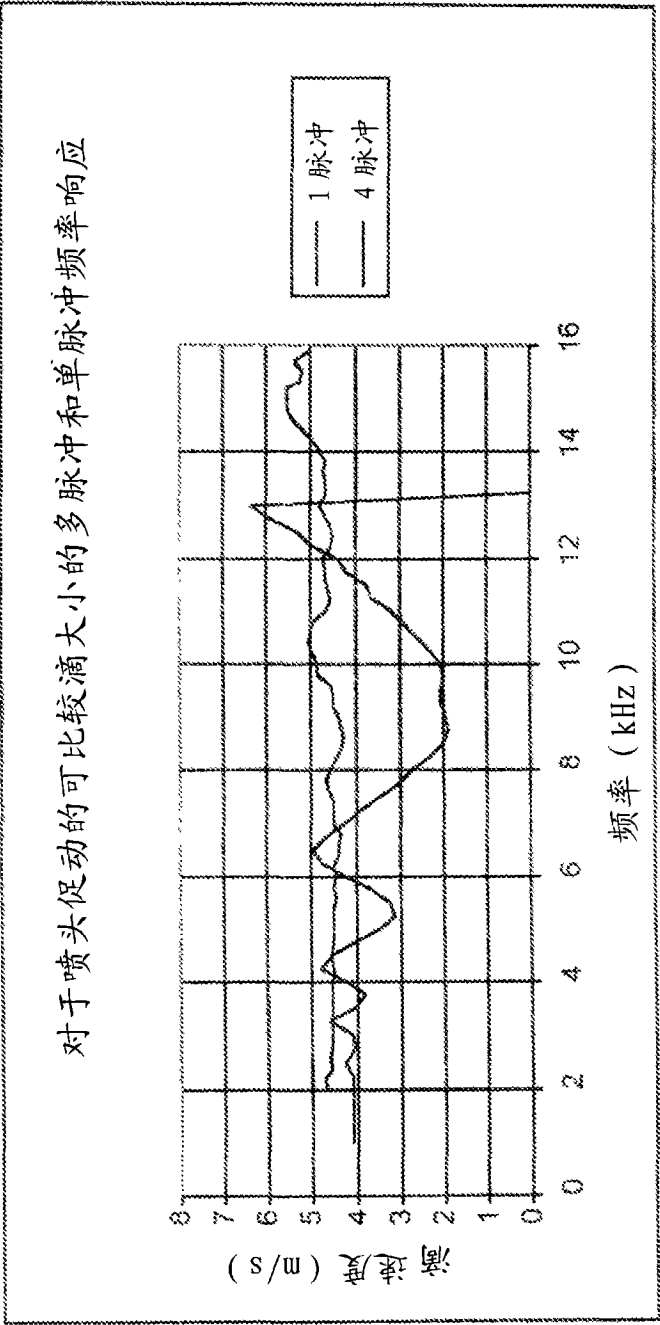


图 11

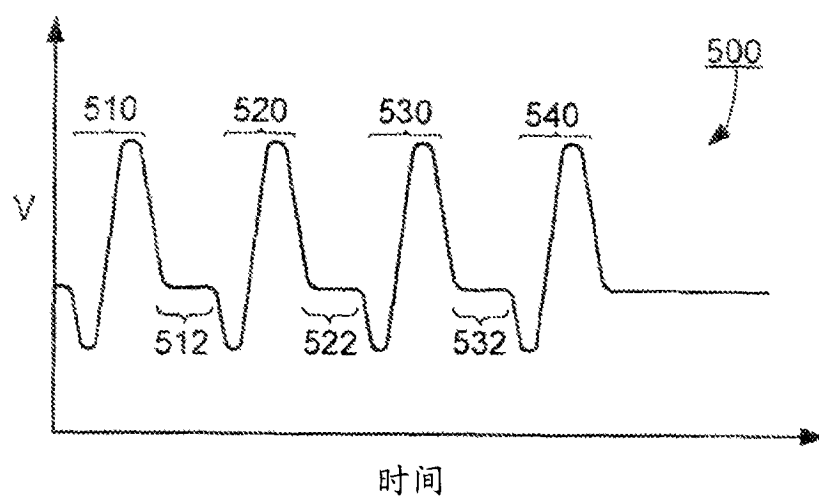


图 12

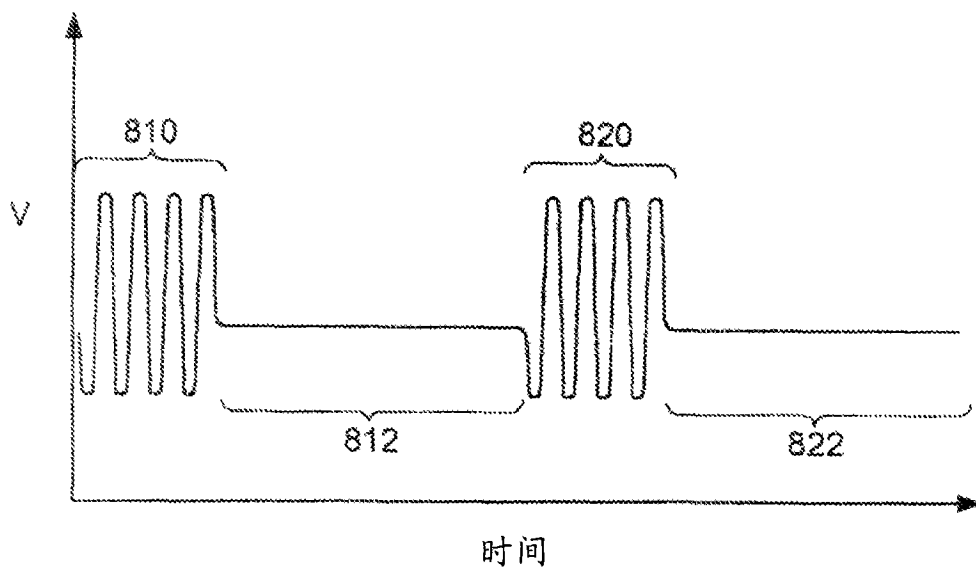


图 13

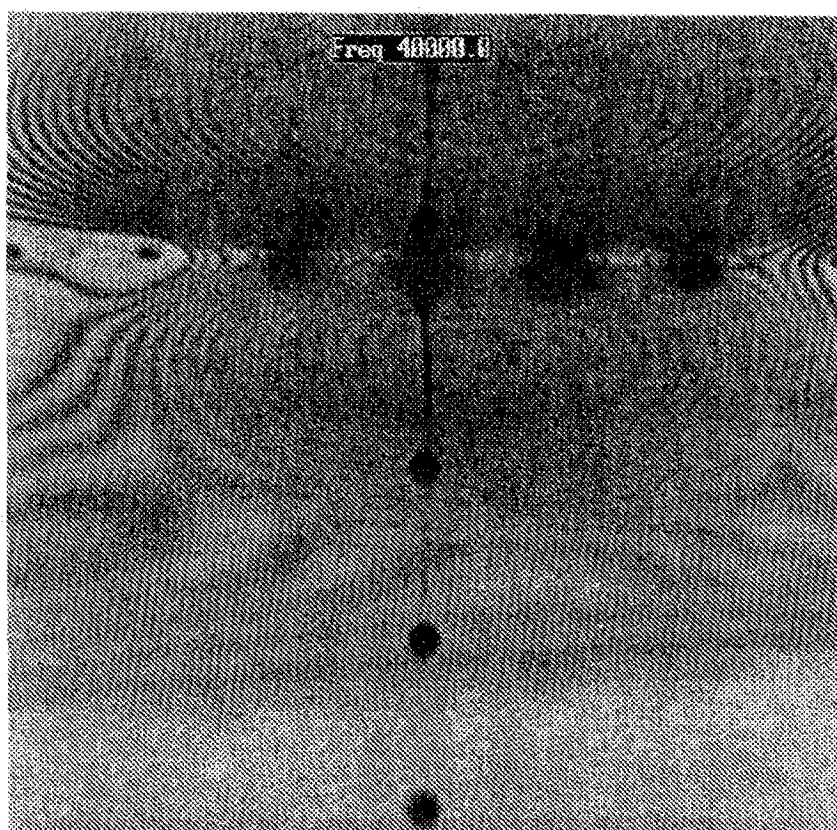


图 14

图 16A



图 16B

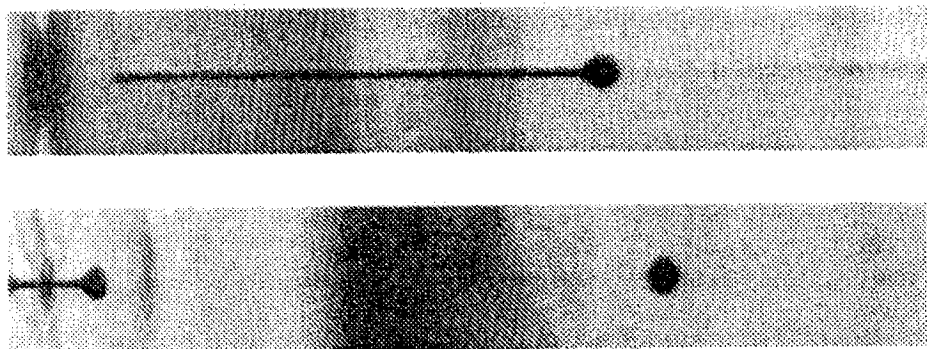


图 15A

图 15B

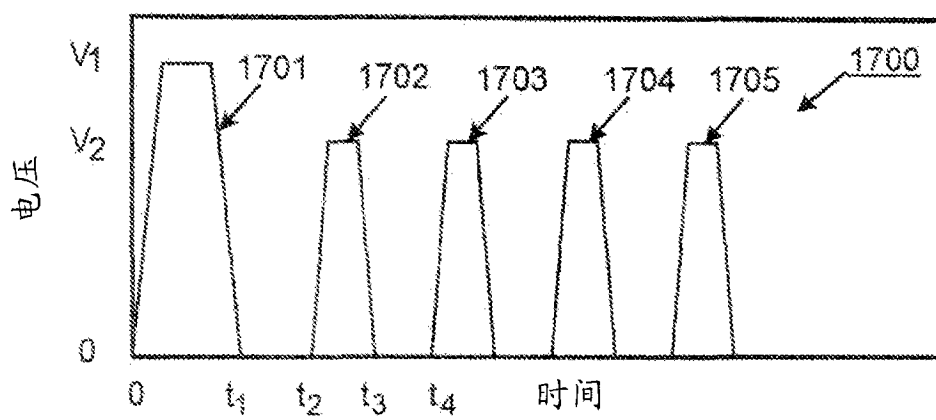


图 17A

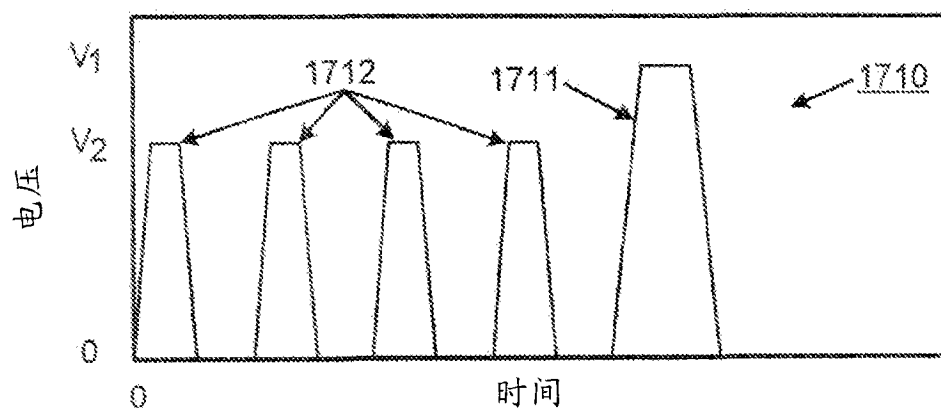


图 17B

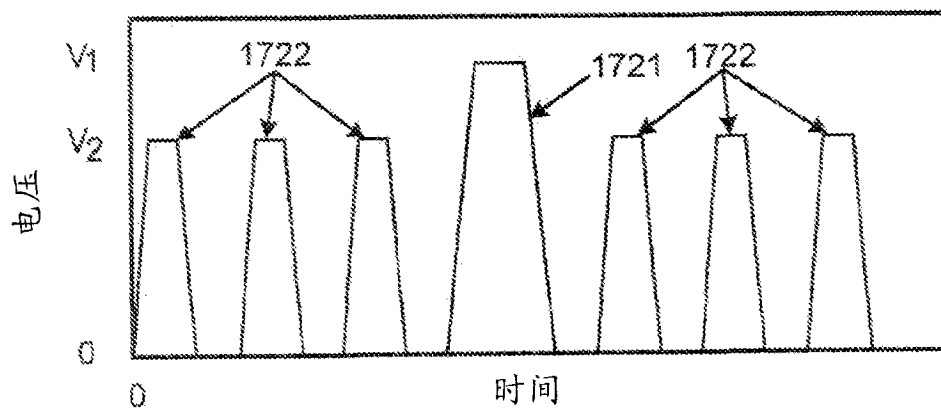


图 17C

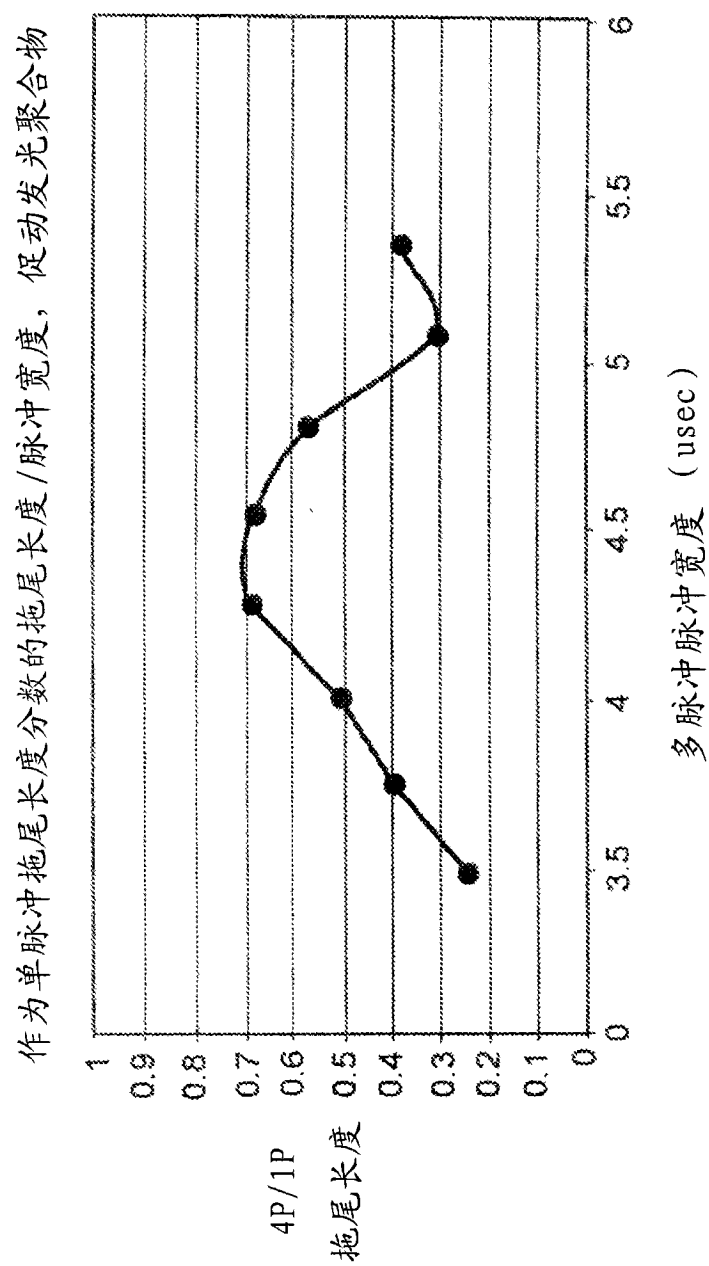


图 18