

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B41J 2/14 (2006.01)
B41J 2/045 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710085559.9

[45] 授权公告日 2009年10月21日

[11] 授权公告号 CN 100551702C

[22] 申请日 2007.3.12

[21] 申请号 200710085559.9

[30] 优先权

[32] 2006.3.10 [33] JP [31] 2006-065215

[73] 专利权人 兄弟工业株式会社

地址 日本爱知县名古屋市

共同专利权人 京瓷株式会社

[72] 发明人 日比学 佐武健一 石仓慎

[56] 参考文献

CN1328920A 2002.1.2

CN1313191A 2001.9.19

EP0648606A3 1995.4.19

JP2003-305852A 2003.10.28

US5381162A 1995.1.10

EP0775579A3 1997.5.28

审查员 王四珍

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 车文 代易宁

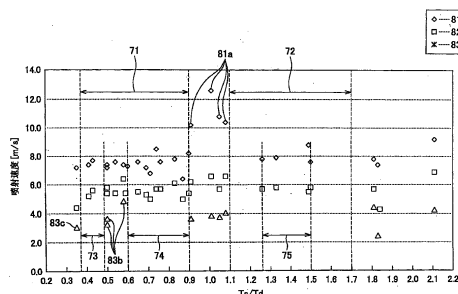
权利要求书 2 页 说明书 30 页 附图 12 页

[54] 发明名称

喷墨头

[57] 摘要

致动器能选择性地采取第一状态和第二状态，在该第一状态中，压力腔室的容积为 V_1 ，在该第二状态中，压力腔室的容积为比 V_1 大的 V_2 。致动器从第一状态变化为第二状态，然后返回到第一状态，从而将墨从喷墨口喷出。当从喷墨口喷出墨时由致动器和压力腔室的一体变形产生的振动的固有振动周期 T_s 、以及填充单独墨通路中的从压力腔室的出口通向喷墨口的第一部分通路的墨的固有振动周期 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.90、或者不小于 1.1 且不大于 1.7 的条件。



1. 一种喷墨头，该喷墨头包括：

通路单元，该通路单元包括公共墨腔室、和单独墨通路，该单独墨通路从公共墨腔室的出口通过压力腔室通向喷墨口；以及

致动器，该致动器能选择性地采取第一状态和第二状态，在该第一状态中，该压力腔室的容积为 V_1 ，在该第二状态中，压力腔室的容积为比 V_1 大的 V_2 ，致动器从第一状态变化为第二状态，然后返回到第一状态，从而将墨从该喷墨口喷出，

当从喷墨口喷出墨时由致动器和压力腔室的一体变形产生的振动的固有振动周期 T_s 、以及填充单独墨通路中的从压力腔室的出口通向喷墨口的第一部分通路的墨的固有振动周期 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.90、或者不小于 1.1 且不大于 1.7 的条件。

2. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中 T_s 和 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.48 的条件。

3. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中 T_s 和 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.60 且不大于 0.90 的条件。

4. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中 T_s 和 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 1.1 且不大于 1.7 的条件。

5. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中 T_s 、 T_d 、以及填充整个所述单独墨通路的墨的固有振动周期 T_c 满足 $T_s \times T_d/T_c^2$ 不小于 0.0060 且不大于 0.014 的条件。

6. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中从所述压力腔室的出口通向所述喷墨口的所述第一部分通路的在所述第一部分通路的区域中的与所述第一部分通路的纵向轴线垂直的截面的面积大于位于所述第一

部分通路与所述压力腔室之间的边界的面积、以及所述喷射口的面积中的任一个面积。

7. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中，所述单独墨通路中的从所述公共墨腔室的出口通向所述压力腔室的第二部分通路的在该第二部分通路的区域中的与第二部分通路的纵向轴线垂直的截面的面积小于位于第二部分通路与所述压力腔室之间的边界的面积、以及所述公共墨腔室的出口的面积中的任一个面积。

8. 根据权利要求 1 所述的喷墨头，其中所述致动器包括：与所述压力腔室相对的单独电极；压电层，该压电层具有与所述压力腔室相对的区域；和公共电极，该公共电极与所述单独电极相配合以夹着压电层的该区域。

9. 根据权利要求 8 所述的喷墨头，其中当所述单独电极与所述公共电极之间的电压具有不等于零的第一值时，所述致动器采取所述第一状态，而当所述单独电极与所述公共电极之间的电压具有比所述第一值小的第二值时，所述致动器采取所述第二状态。

10. 根据权利要求 8 所述的喷墨头，其中所述单独电极和所述公共电极夹着仅一个压电层。

11. 根据权利要求 8 所述的喷墨头，其中所述压力腔室和所述单独电极中的任何一个在平面图中具有沿一个轴线较长且在从该轴线的中心沿着该轴线的两个方向上都变细的形状。

喷墨头

技术领域

本发明涉及利用所谓喷射前填充方法（fill-before-fire method）的喷墨头。

背景技术

通过喷墨系统喷墨的喷墨头在其中包括：喷嘴，墨从这些喷嘴中的每个喷嘴喷出；公共墨腔室，该公共墨腔室供应将要从每个喷嘴喷出的墨；以及从公共墨腔室通向各个喷嘴的单独墨通路。当喷墨头喷墨时，对形成于每个单独墨通路的一部分处的压力腔室中的墨施加压力，从而从每个喷嘴喷出从公共墨腔室供应来的墨。此时，通过对压力腔室中的墨施加压力产生压力波，结果，在单独墨通路中产生压力腔室的固有振动。日本未审专利公开 No. 2003-305852、特别是在该公开的图 7 中公开了一种通过利用固有振动的峰值有效喷墨的喷墨头。该公开的喷墨头采用所谓喷射前填充方法，在该方法中，每个压力腔室的容积一度增加，然后在经过预定时间后使压力腔室恢复到其原始容积，从而对压力腔室中的墨施加压力。

然而，当利用如以上公开中的喷射前填充方法的喷墨头喷墨时，单独墨通路的一些形状可能引起如下的情况，在该情况中，墨滴的末端部分从墨滴的主体分离，从而形成高速小墨滴。即，单独墨通路的一些形状可能引起如下情况，在该情况中，分离的墨滴以与原始墨滴的定时不同的定时冲击打印纸张。这造成通过喷墨头在打印纸上形成的图像的再现性降低的问题。

发明内容

本发明的目的是提供一种喷墨头，在该喷墨头中，每个墨滴的末

端部分难以从墨滴主体分离，从而能以良好的再现性打印图像。

根据本发明，一种喷墨头包括：通路单元，该通路单元包括公共墨腔室、和单独墨通路，该单独墨通路从公共墨腔室的出口通过压力腔室通向喷墨口；以及致动器，该致动器能选择性地采取第一状态和第二状态，在该第一状态中，该压力腔室的容积为 V_1 ，在该第二状态中，压力腔室的容积为比 V_1 大的 V_2 。致动器从第一状态变化为第二状态，然后返回到第一状态，从而将墨从该喷墨口喷出。当从喷墨口喷出墨时由致动器和压力腔室的一体变形产生的振动的固有振动周期 T_s 、以及填充单独墨通路中的从压力腔室的出口通向喷墨口的第一部分通路的墨的固有振动周期 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.90、或者不小于 1.1 且不大于 1.7 的条件。

根据本发明，如从稍后将描述的分析中将理解的那样， T_s/T_d 已被控制成落入图 11 中的除包含点 81a 的范围之外的范围 71 或范围 72，这些点 81a 中的每个点代表通过使墨滴的末端部分从墨滴的主体分离而产生的高速墨滴。这样实现了一种喷墨头，在该喷墨头中，每个墨滴的末端部分难以分离，从而图像的再现性较高。

附图说明

本发明的其它和另外的目的、特征和优点将从以下结合附图的描述中更加完全地显现，在附图中：

图 1 示出作为根据本发明实施例的喷墨记录设备的打印机的总体构造；

图 2 为图 1 所示的头主体的上视图；

图 3 为图 2 中用点划线包围的区域的放大图；

图 4 为沿图 3 中的线 IV-IV 的垂直剖面图；

图 5 为图 4 所示的压电致动器附近的局部放大图；

图 6 为示出在图 1 所示的打印机中包括的构造的框图；

图 7 为曲线图，示出供应了电压脉冲信号的单独电极的电位变化

的实例；

图 8A、8B 和 8C 示出在通过供应电压脉冲信号从而单独电极的电位如图 7 所示变化时压电致动器的驱动方式；

图 9A、9B 和 9C 示出当对应于图 7 的脉冲电压供应到单独电极时从喷嘴喷出的墨滴；

图 10A 示出在本发明的发明人的分析中使用的等效电路，该等效电路是通过对图 4 所示的单独墨通路进行建模而获得的；

图 10B 示出图 10A 所示的流体分析单元中的第一部分通路的结构；

图 10C 示出图 10B 所示的第一部分通路中的喷嘴的结构；

图 11 为曲线图，示出通过利用图 10A 至图 10C 所示的模型而进行的数值分析的结果；而

图 12 为另一曲线图，示出通过利用图 10A 至图 10C 所示的模型而进行的数值分析的结果。

具体实施方式

以下将参照附图描述本发明的优选实施例以及本发明的发明人的分析结果。

图 1 示出根据本发明实施例的彩色喷墨打印机的总体构造。打印机 1 在其中包括四个喷墨头 2。喷墨头 2 在沿打印纸张 P 的输送方向布置的状态下固定到打印机 1 上。每个喷墨头 2 具有垂直于图 1 延伸的细长轮廓。

打印机 1 在其中包括沿打印纸张 P 的输送路径按照如下的顺序设置的馈纸单元 114、输送单元 120、以及纸张接收单元 116。打印机 1 还在其中包括控制器 100，该控制器对包括喷墨头 2 和馈纸单元 114 在内的打印机 1 的部件和单元的操作进行控制。

馈纸单元 114 包括纸盒 115 以及馈纸辊 145。纸盒 115 能在其中容

纳一叠打印纸张 P。馈纸辊 145 能一张接一张地把容纳在纸盒 115 中的打印纸张 P 中的最上面的一张送出。

在馈纸单元 114 和输送单元 120 之间，沿打印纸张 P 的输送路径设有两对馈送辊 118a 和 118b、以及 119a 和 119b。从馈纸单元 114 送出的每张打印纸张 P 被这些馈送辊引导送到输送单元 120。

输送单元 120 包括环形输送皮带 111、和两个皮带辊 106 及 107。输送皮带 111 卷绕在皮带辊 106 和 107 上。将输送皮带 111 的长度调节成使得：当输送皮带 111 张紧在皮带辊之间时，能获得预定的张力。因此，输送皮带 111 沿着彼此平行的两个平面没有松弛地张紧在皮带辊之间，这两个平面中的每个平面都包括皮带辊的公切线。在这两个平面中，比较靠近喷墨头 2 的平面包括输送皮带 111 的输送表面 127，打印纸张 P 在该输送表面 127 上输送。

如图 1 所示，一个皮带辊 106 连接到输送马达 174。输送马达 174 能使皮带辊 106 沿箭头 A 的方向旋转。另一皮带辊 107 能跟随输送皮带 111 而旋转。因此，通过驱动输送马达 174 而使皮带辊 106 旋转，使输送皮带 111 沿着箭头 A 的方向运动。

在皮带辊 107 附近，夹压辊 138 以及受夹压辊 139 设置成夹压输送皮带 111。夹压辊 138 被未示出的弹簧向下偏压。设置在夹压辊 138 下方的受夹压辊 139 通过输送皮带 111 接受被向下偏压的夹压辊 138 的力。夹压辊 138 和受夹压辊 139 二者都可自由旋转，并跟随输送皮带 111 而旋转。

从馈纸单元 114 送到输送单元 120 的每张打印纸张 P 介于夹压辊 138 和输送皮带 111 之间。因此，打印纸张 P 被压到输送皮带 111 的输送表面 127 上，从而附着到输送表面 127 上。然后通过输送皮带 111 的旋转向喷墨头 2 输送打印纸张 P。输送皮带 111 的外周表面 113 可以

已用粘性硅橡胶处理。在此情形下，打印纸张 P 能够确实地附着到输送皮带 111 的输送表面 127 上。

四个喷墨头 2 沿输送皮带 111 的输送方向彼此靠近地布置。每个喷墨头 2 在它的下端处具有头主体 13。如图 3 所示，在每个头主体 13 的下表面上形成有大量的喷嘴 8，墨从这些喷嘴 8 中的每个喷嘴喷出。从形成在一个喷墨头 2 上的喷嘴 8 喷出相同颜色的墨。四个喷墨头 2 分别喷出品红色 (M)、黄色 (Y)、青色 (C) 和黑色 (K) 的墨。每个喷墨头 2 设置成使得在它的头主体 13 与输送皮带 111 的输送表面 127 之间形成狭窄的空间。

由输送皮带 111 输送的每张打印纸张 P 通过每个喷墨头 2 与输送皮带 111 之间的空间。此时，墨从喷墨头 2 的头主体 13 向打印纸张 P 的上表面喷出。这样，在打印纸张 P 的上表面上形成基于通过控制器 100 的指令而存储在存储器中的图像数据的彩色图像。

在输送单元 120 和纸张接收单元 116 之间设有：剥离板 140；和两对馈送辊 121a 和 121b、以及 122a 和 122b。已经打印有彩色图像的每张打印纸张 P 由输送皮带 111 向剥离板 140 输送。打印纸张 P 然后被剥离板 140 的右边缘剥离输送皮带 111 的输送表面 127。打印纸张 P 然后被馈送辊 121a 至 122b 送到纸张接收单元 116。已经打印的打印纸张 P 这样依次被送到纸张接收单元 116，然后堆叠在纸张接收单元 116 上。

在夹压辊 138 和设置于打印纸张 P 的输送方向的最上游位置处的喷墨头 2 之间设置纸张传感器 133。纸张传感器 133 由发光元件和光接收元件构成，从而能检测输送路径上的每张打印纸张 P 的前缘。纸张传感器 133 的检测结果被发送到控制器 100。基于从纸张传感器 133 发送来的检测结果，控制器 100 能控制每个喷墨头 2、输送马达 174 等，使得每张打印纸张 P 的输送操作以及图像的打印操作彼此同步。

接着，将描述每个喷墨头 2 的头主体 13。图 2 为图 1 所示的头主体 13 的上视图。

头主体 13 包括通路单元 4 以及四个都结合到该通路单元 4 上的致动器单元 21。每个致动器单元 21 是大致梯形的。每个致动器单元 21 设置在通路单元 4 的上表面上，使得致动器单元 21 的梯形的一对平行对边沿通路单元 4 的纵向延伸。在沿通路单元 4 的纵向彼此平行延伸的两条直线中的每条直线上布置两个致动器单元 21。即，四个致动器单元 21 整体上呈 z 字形布置在通路单元 4 上。通路单元 4 上的致动器单元 21 的各个相邻斜边在通路单元 4 的横向上彼此部分重叠。

在通路单元 4 中形成有集管通道 5，这些集管通道 5 中的每个集管通道都是墨通路的一部分。每个集管通道 5 的开口 5b 形成在通路单元 4 的上表面上。在沿通路单元 4 的纵向彼此平行延伸的作为假想线的两条直线中的每条直线上布置五个开口 5b。即，形成总共十个开口 5b。开口 5b 形成为避开设有四个致动器单元 21 的区域。墨从未示出的墨容器通过每个集管通道 5 的开口 5b 而供应到该集管通道 5 中。

图 3 为图 2 中用点划线包围的区域的放大上视图。为了便于说明，在图 3 中以双点划线示出每个致动器单元 21。此外，以实线示出孔隙 12、喷嘴 8 等，尽管它们应该以虚线示出，因为它们形成在通路单元 4 中或通路单元 4 的下表面上。

形成在通路单元 4 中的每个集管通道 5 分支成多个副集管通道 5a。集管通道 5 沿着致动器单元 21 的斜边延伸，从而与通路单元 4 的纵向轴线交叉。在两个致动器单元 21 之间的区域中，相邻的致动器单元 21 共用一个集管通道 5。副集管通道 5a 从集管通道 5 的两侧分支出。副集管通道 5a 形成在通路单元 4 中，从而在与每个致动器单元 21 相对的区域中彼此相邻。

通路单元 4 在其中包括压力腔室组 9，每个压力腔室组 9 都由大量布置成阵列的压力腔室 10 构成。每个压力腔室 10 都形成为在平面图中具有大致菱形形状的中空区域，该中空区域的每个角部都是圆的。每个压力腔室 10 都在通路单元 4 的上表面处开口。压力腔室 10 大致布置在通路单元 4 的上表面的与每个致动器单元 21 对置的整个区域上。因此，由压力腔室 10 构成的每个压力腔室组 9 都占据具有与一个致动器单元 21 大致相同的大小及形状的区域。每个压力腔室 10 的开口都被结合到通路单元 4 的上表面上的对应致动器单元 21 覆盖。在该实施例中，如图 3 所示，以规则间隔沿通路单元 4 的纵向布置的十六排压力腔室 10 沿通路单元 4 的横向彼此平行地布置。这些压力腔室 10 设置成使得：属于每一排的压力腔室 10 的数量从对应的压电致动器 50 的轮廓的长边向短边逐渐减少。同样地设置喷嘴 8。这样在整体上实现具有 600dpi 的分辨率的成像。

如稍后将描述的单独电极 35 形成在每个致动器单元 21 的上表面上，从而与每个压力腔室 10 相对。单独电极 35 的形状稍小于且大致类似于压力腔室 10 的形状。单独电极 35 设置在致动器单元 21 的上表面的与压力腔室 10 相对的区域。

压力腔室 10 和单独电极 35 中的任何一个在图 3 中沿垂直方向较长。压力腔室 10 和单独电极 35 中的任何一个从其垂直中心向上和向下都变细。这实现了大量压力腔室 10 和大量单独电极 35 在相应平面中的密集布置。

在通路单元 4 上形成有作为喷口的大量喷嘴 8。这些喷嘴 8 设置成避开通路单元 4 的下表面的与副集管通道 5a 相对的区域。喷嘴 8 设置在通路单元 4 的下表面的与相应致动器单元 21 相对的区域。每个区域中的喷嘴 8 都以规则间隔布置在每个都沿通路单元 4 的纵向延伸的大量直线上。

喷嘴 8 设置成使得：通过将形成有相应喷嘴 8 的位置垂直于沿通路单元 4 的纵向延伸的假想直线而投影到该假想直线上所获得的投影点以与打印分辨率对应的规则间隔不间断地布置。因此，喷墨头 2 能够在通路单元 4 的形成有喷嘴 8 的区域的纵向上的大致整个区域上以与打印分辨率对应的间隔不间断地进行打印。

在通路单元 4 中形成有大量孔隙 12。这些孔隙 12 设置在与相应压力腔室组 9 相对的区域中。在该实施例中，孔隙 12 彼此平行地水平延伸。

在通路单元 4 中形成连接孔以便将每个对应孔隙 12、压力腔室 10、以及喷嘴 8 相互连接。如图 4 所示，这些连接孔相互连接以形成单独墨通路 32。每个单独墨通路 32 都与对应的副集管通道 5a 连接。供应到每个集管通道 5 的墨通过对应的副集管通道 5a 供应到每个单独墨通路 32，然后从对应的喷嘴 8 喷出。

接着，将描述头主体 13 的剖面构造。图 4 为沿图 3 中的线 IV-IV 的垂直剖面图。

头主体 13 的通路单元 4 具有将多个板分层放置的分层结构。即，按照从通路单元 4 的上表面开始的顺序设有空腔板 22、基板 23、孔隙板 24、供应板 25、集管板 26、27、28、盖板 29、以及喷嘴板 30。在每块板中形成有大量连接孔。在将这些板定位成使得穿过各块板形成的连接孔相互连接之后，将这些板分层放置，以形成每个单独墨通路 32 和每个副集管通道 5a。如图 4 所示，在头主体 13 中，构成每个单独墨通路 32 的部分彼此靠近地设置在不同的位置处，即，压力腔室 10 形成在通路单元 4 的上表面附近，副集管通道 5a 形成在通路单元 4 的中部的内部，而喷嘴 8 形成在通路单元 4 的下表面上。连接孔通过压力腔室 10 使副集管通道 5a 和喷嘴 8 连接。

将描述穿过各块板形成的连接孔。第一个是穿过空腔板 22 形成的压力腔室 10。第二个是作为从压力腔室 10 的一端通向副集管通道 5a 的第二部分通路而设置的连接孔 A。穿过从作为压力腔室 10 的入口的基板 23 到作为副集管通道 5a 的出口的供应板 25 的板而形成该连接孔 A。连接孔 A 包括穿过孔隙板 24 形成的孔隙 12。

第三个是作为从压力腔室 10 的另一端通向喷嘴 8 的第一部分通路而设置的连接孔 B。穿过从作为压力腔室 10 的出口的基板 23 到喷嘴板 29 的板而形成该连接孔 B。以下将把连接孔 B 称为下伸部分 33。第四个是穿过喷嘴板 30 形成的喷嘴 8。喷嘴 8 与连接孔 B 相配合从而形成作为第一部分通路的下伸部分 33。第五个是用于形成副集管通道 5a 的连接孔 C。穿过集管板 26 至 28 而形成该连接孔 C。

以上连接孔相互连接从而形成单独墨通路 32，该单独墨通路 32 从来自副集管通道 5a 的墨进口即副集管通道 5a 的出口通向喷嘴 8。供应到副集管通道 5a 的墨在以下通路中流动到喷嘴 8。首先，墨从副集管通道 5a 向上流动到孔隙 12 的一端。接着，墨沿孔隙 12 的纵向水平流动到孔隙 12 的另一端。墨然后从孔隙 12 的所述另一端向上流动到压力腔室 10 的一端。墨然后沿压力腔室 10 的纵向水平流动到压力腔室 10 的另一端。墨然后倾斜向下流动并通过三块板流动到位于连接孔 C 正下方的喷嘴 8。

包括位于下伸部分 33 和压力腔室 10 之间的边界 23b 的连接孔 23a、以及喷嘴 8 比下伸部分 33 的其它部分窄。即，在与下伸部分 33 的纵向轴线即图 4 中示出单独墨通路的双头箭头的对应部分垂直的截面中，连接孔 23a 和喷嘴 8 的截面积小于下伸部分 33 的其它部分的截面积。这是如下的一种结构，其中在填充下伸部分 33 的墨中相对易于产生两端在喷嘴 8 和连接孔 23a 附近的固有振动。

孔隙 12 的与孔隙 12 的纵向轴线即图 4 中示出单独墨通路的双头

箭头的对应部分垂直的截面的面积比连接孔 A 的在与压力腔室 10 的边界 23c 处的面积、以及副集管通道 5a 的出口 25a 的面积中的任一面积小。因此，孔隙 12 用作受限通路，这样实现了适于通过喷射前填充方法喷墨的结构。

如图 5 所示，每个致动器单元 21 都具有将四个压电层 41、42、43 和 44 分层放置的分层结构。压电层 41 至 44 中的每一压电层具有大约 15 微米的厚度。致动器单元 21 的整个厚度约为 60 微米。如图 3 所示，压电层 41 至 44 中的任何压电层设置在大量压力腔室 10 上。压电层 41 至 44 中的每一压电层由具有铁电性的锆钛酸铅 (PZT) 基陶瓷材料制成。

致动器单元 21 包括单独电极 35 和公共电极 34，单独电极 35 和公共电极 34 中的每一个由例如 Ag-Pd 基金属材料制成。如前所述，每个单独电极 35 都设置在致动器单元 21 的上表面上，从而与对应的压力腔室 10 相对。单独电极 35 的一端延伸到与压力腔室 10 相对的区域之外，并且在该延伸部分上形成焊盘 36。焊盘 36 由例如含有玻璃粉的金制成。焊盘 36 具有大约 15 微米的厚度，并凸出地形成。焊盘 36 电连接到设置于未示出的柔性印刷电路 (FPC) 上的触点。如稍后将描述的那样，控制器 100 通过 FPC 对每个单独电极 35 供应电压脉冲。

公共电极 34 介于压电层 41 和 42 之间，从而遍布到所述层之间的界面的大致整个区域上。即，公共电极 34 遍布到与致动器单元 21 相对的区域中的所有压力腔室 10 上。公共电极 34 具有大约 2 微米的厚度。公共电极 34 在未示出的区域中接地，以保持在地电位。在该实施例中，不同于单独电极 35 的未示出表面电极形成在压电层 41 上，从而避开单独电极 35 的组。表面电极通过在压电层 41 中形成的通孔而电连接到公共电极 34。与大量单独电极 35 同样，表面电极连接到 FPC50 上的另一触点和配线。

如图 5 所示, 每个单独电极 35 和公共电极 34 都设置成只夹着最上面的压电层 41。该压电层的被单独电极 35 和公共电极 34 夹着的区域称为活性部分。在该实施例的每个致动器单元 21 中, 只有最上面的压电层 41 在其中包括这样的活性部分, 而其余的压电层 42 至 44 在其中不包括活性部分。即, 致动器单元 21 具有所谓的单压电晶片结构。

如稍后将描述的那样, 当选择性地将预定电压脉冲供应到每个单独电极 35 上时, 将压力施加到与该单独电极 35 对应的压力腔室 10 中的墨上。因此, 墨通过对应的单独墨通路 32 从对应的喷嘴 8 喷出。即, 致动器单元 21 的与每个压力腔室 10 相对的部分用作与压力腔室 10 及对应的喷嘴 8 相对应的单独压电致动器 50。在由四个压电层构成的分层结构中, 针对每个压力腔室 10 形成如图 5 所示的作为单元结构的这种致动器。这样构造每个致动器单元 21。在该实施例中, 由一次喷射操作从喷嘴 8 喷出的墨量约为 5 至 7pl (皮升)。

基于上述结构, 每个压电致动器 50 以及对应的单独墨通路 32 设计成使得: 由于压电致动器 50 和对应的压力腔室 10 的一体变形而引起的振动的固有振动周期 T_s 、填充对应下伸部分 33 的墨的固有振动周期 T_d 、以及填充整个单独墨通路 32 的墨的固有振动周期 T_c 满足以下条件。即, T_s/T_d 在不小于 0.36 且不大于 0.90 的范围内, 或者在不小于 1.1 且不大于 1.7 的范围内, 而且 $T_s \times T_d/T_c^2$ 在不小于 0.0060 且不大于 0.014 的范围内。

在以上条件中, T_s 取决于如下参数: 对应单独电极 35 的面积、厚度和材料; 公共电极 34 的厚度和材料; 压电层 41 至 44 中的每个压电层的材料和厚度; 与相应压力腔室 10 及单独电极 35 相对的区域面积。此外, T_d 取决于诸如下伸部分 33 的形状、长度和截面积参数。而且, T_c 取决于诸如单独墨通路 32 的形状、长度和截面积参数。在设计单独墨通路 32 时, 例如为以上参数设定适当的数值; 然后通过利用流体分析等计算 T_s 、 T_d 和 T_c ; 然后判断计算出的 T_s 、 T_d 和 T_c 是否

满足以上范围。通过重复分析来确定满足以上范围的单独墨通路 32、下伸部分 33 和压电致动器 50 的最佳规格。基于这样确定的规格，形成该实施例的每个单独墨通路 32、每个下伸部分 33 以及每个压电致动器 50。在该实施例中，在流体分析中，每个下伸部分 33 都被认为是如稍后将描述的直管。然而，每个下伸部分 33 可根据该下伸部分 33 的实际形状被考虑成内径不同的管的组合。

接着，将描述致动器单元 21 的控制。为了控制致动器单元 21，打印机 1 在其中包括控制器 100 和驱动器 IC80。打印机 1 在其中包括：作为算术处理单元的中央处理单元（CPU）；只读存储器（ROM），在该只读存储器（ROM）中存储由 CPU 执行的计算机程序以及在这些程序中使用的数据；以及用于暂时存储计算机程序的执行中的数据的随机存取存储器（RAM）。这些部件构成具有如以下将描述的功能的控制器 100。

如图 6 所示，控制器 100 在其中包括打印控制单元 101 和操作控制单元 105。打印控制单元 101 在其中包括图像数据存储部分 102、波形图案存储部分 103、以及打印信号产生部分 104。图像数据存储部分 102 在其中存储从例如个人计算机（PC）133 传输来的用于打印的图像数据。

波形图案存储部分 103 在其中存储与大量喷射脉冲列波形对应的波形数据。每个喷射脉冲列波形都对应于根据图像的色调等的基本波形。经由对应的驱动器 IC80 将与波形对应的电压脉冲信号供应到单独电极 35，从而从每个喷墨头 2 喷出与每种色调对应的墨量。

打印信号产生部分 104 基于存储在图像数据存储部分 102 中的图像数据产生串行打印数据。打印数据对应于与存储在波形图案存储部分 103 内的相应喷射脉冲列波形对应的数据项中的一个数据项。打印数据用于指示以预定定时将喷射脉冲列波形供应到每个单独电极 35。

基于存储在图像数据存储部分 102 中的图像数据，打印信号产生部分 104 与图像数据对应地根据定时、波形、以及单独电极产生打印数据。打印信号产生部分 104 然后将所产生的打印数据输出到每个驱动器 IC80。

为每个致动器单元 21 都设置驱动器 IC80。驱动器 IC80 包括移位寄存器、多路复用器、以及驱动缓冲器，不过它们都没有示出。

移位寄存器将从打印信号产生部分 104 输出的串行打印数据转化为并行数据。即，移位寄存器按照打印数据的指示对与每个压力腔室 10 及对应的喷嘴 8 对应的压电致动器 50 输出单独数据项。

多路复用器基于从移位寄存器输出的每个数据项从存储在波形图案存储部分 103 中的波形数据项选择出适当的一个波形数据项。多路复用器然后向驱动缓冲器输出所选择的数据项。

驱动缓冲器基于从多路复用器输出的波形数据项产生具有预定电平的电压脉冲信号。驱动缓冲器然后通过 FPC 将电压脉冲信号供应至与每个压电致动器 50 对应的单独电极 35。

接着将描述电压脉冲信号和已接收到该信号的单独电极 35 的电位的变化。

将描述在包含于电压脉冲信号中的每个时刻的电压。图 7 示出供应了电压脉冲信号的单独电极 35 的电位的变化实例。图 7 所示的电压脉冲信号的波形 61 为用于从喷嘴 8 喷出一滴墨的波形的实例。

在时刻 t_1 ，开始向单独电极 35 供应电压脉冲信号。根据从与单独电极 35 对应的喷嘴 8 喷出墨的定时控制时刻 t_1 。在电压脉冲信号的波形 61 中，在到时刻 t_1 的时段中和在时刻 t_4 之后的时段中电压保持在

不等于零的 U_0 。在从时刻 t_2 到时刻 t_3 的时段中，电压保持在地电位。从时刻 t_1 到时刻 t_2 的时段为过渡时段，在该过渡时段中单独电极 35 的电位从 U_0 变化为地电位。从时刻 t_3 到时刻 t_4 的时段为过渡时段，在该过渡时段中单独电极 35 的电位从地电位变化为 U_0 。如图 5 所示，每个致动器 50 具有与电容器相同的构造。因此，当单独电极 35 的电位变化时，随着电荷的积累和放出而出现以上过渡时段。

接着将描述在向单独电极 35 供应以上电压脉冲信号时如何驱动压电致动器 50。

在该实施例的每个致动器单元 21 中，只有最上面的压电层 41 已沿着从每个单独电极 35 朝向公共电极 34 的方向极化。因此，当单独电极 35 设定在与公共电极 34 不同的电位从而沿着与极化方向相同的方向、更具体地说沿着从单独电极 35 朝向公共电极 34 的方向对压电层 41 施加电场时，已经施加有电场的部分即活性部分试图在厚度上即垂直于该层伸长。此时，活性部分试图平行于该层即在该层的平面内收缩。另一方面，其余的三个压电层 42 至 44 没有被极化，从而即使在对它们施加电场时它们也不自发变形。

因此在压电层 41 和压电层 42 至 44 之间产生歪曲差异。因此，每个压电致动器 50 作为整体而变形为向对应的压力腔室 10 即向压电层 42 至 44 侧凸出，这被称为单压电晶片变形。

接着将描述当将与波形 61 对应的电压脉冲信号供应到对应的单独电极 35 上时压电致动器 50 的驱动。图 8A 至图 8C 示出压电致动器 50 随时间的变化。

图 8A 示出压电致动器 50 在图 7 所示的至时刻 t_1 的时段中的状态。此时，单独电极 35 的电位为 U_0 。压电致动器 50 通过上述单压电晶片变形而突出到对应的压力腔室 10 中。此时压力腔室 10 的容积为 V_1 。

压力腔室 10 的该状态将被称为第一状态。

图 8B 示出压电致动器 50 在图 7 所示的从时刻 t_2 到时刻 t_3 的时段中的状态。此时，单独电极 35 在地电位。因此，施加到压电层 41 的活性部分上的电场消失，而且压电致动器 50 被解除它的单压电晶片变形。此时压力腔室 10 的容积 V_2 大于图 8A 所示的压力腔室 10 的容积 V_1 。压力腔室 10 的该状态将被称为第二状态。由于压力腔室 10 的容积的增加，从对应的副集管通道 5a 将墨吸入到压力腔室 10 中。

图 8C 示出压电致动器 50 在图 7 所示的时刻 t_4 之后的时段中的状态。此时，单独电极 35 的电位为 U_0 。因此，压电致动器 50 已经再次恢复到第一状态。通过压电致动器 50 这样使压力腔室 10 从第二状态改变为第一状态，将压力施加到压力腔室 10 中的墨上。因此将墨滴从对应的喷嘴 8 喷出。墨滴冲击打印纸张 P 的打印表面以形成点。

如上所述，在该实施例的压电致动器 50 的驱动中，首先，将压力腔室 10 的容积一度增加从而在压力腔室 10 内的墨中产生负压力波，如从图 8A 至图 8B 所示。该压力波被通路单元 4 中的墨通路的端部反射，从而作为向喷嘴 8 前进的正压力波返回。通过估计正压力波到达压力腔室 10 内部的定时，再次减小压力腔室 10 的容积，如从图 8B 至图 8C 所示。这就是所谓的喷射前填充方法。

为了通过上述喷射前填充方法实现喷墨，将如图 7 所示的具有用于喷墨的波形 61 的电压脉冲的脉冲宽度 T_0 调节为 $1AL$ （声学长度）。在该实施例中，每个压力腔室 10 都设置在对应的单独墨通路 32 的整个长度的中央附近，而且 AL 为压力腔室 10 中产生的压力波从对应的孔隙 12 前进到对应的喷嘴 8 的时间段的长度。在该构造中，如上所述反射的正压力波叠加到由于对应的压电致动器 50 的变形而产生的正压力波上，从而对墨施加更高的压力。因此，与其中压力腔室 10 的容积只减小一次来推出墨的情况相比，当喷出相同量的墨时，用于压电致

动器 50 的驱动电压保持较低。因此，在压力腔室 10 的高集成度、喷墨头 2 的紧凑化、以及驱动喷墨头 2 的运行成本等方面，喷射前填充方法是有利的。

接着将描述本发明的发明人进行的分析。

本发明的发明人确认了传统的喷墨头具有以下问题。图 9A 以示例的方式示出通过调节为 $T_0=AL$ 的电压脉冲而从喷墨头的喷嘴喷出的墨滴，该喷墨头具有如图 2 至图 5 所示的构造。为了确保将要基于图像数据打印的图像的再现性，适当量的墨滴必须根据图像数据在相应的适当位置处冲击。为此目的，任何喷嘴在每次喷墨操作中理想地以期望的喷射速度喷射期望的墨滴数。在以上实施例的喷墨头中，理想的条件是：在每次喷射中以预定速度接连喷射两个墨滴 L1 和 L2，如图 9A 所示。

图 9B 和图 9C 示出在相同条件下喷出的墨滴的其它情形。在图 9B 的情况中，产生另一墨滴 L4，而不是理想的两个墨滴。此外在图 9C 的情况中，产生三个墨滴 L5、L6 和 L7。这样总共产生三个墨滴是因为墨滴的一部分从原始的两个墨滴分离。在这样产生与理想的两个墨滴不同的墨滴时，其容积与期望的容积不同的墨滴在与图像数据的每个点不同的位置处冲击。这降低了将要通过喷墨头形成的图像的再现性。

应理解，以上问题主要由每个墨通路的结构引起，而且不特别依赖于致动器的种类等。

本发明的发明人认为如上所述从期望的墨滴分离出墨滴是由于以下原因。

在利用所谓喷射前填充方法的喷墨中，首先，负压被施加到每个

压力腔室 10 中的墨上。这样产生的负压力波被对应的孔隙 12 反射，从而变为正压力波。在正压力波返回到压力腔室 10 的定时，正压力被施加到压力腔室 10 上，如图 4 所示。通过这样将填充单独墨通路 32 的墨中产生的压力波叠加，从而有效地喷出墨。

另一方面，可想到的是通过压电致动器 50 而施加压力不仅可能引起单独墨通路 32 内的墨中的前进波，而且还可能引起单独墨通路 32 的区域内的墨中的局部固有振动。本发明的发明人认为该局部固有振动导致如上所述使墨滴分离。即，因为由于局部固有振动而产生的压力波的峰值与喷嘴 8 中的上述前进波的峰值重叠，从而与没有局部固有振动的情况相比，墨的喷射速度增加。结果，墨滴的末端部分从墨滴主体分离，从而产生高速的小墨滴。

以下为上述现象的更多细节。在喷墨中，当由于对应的压电致动器 50 的变形而在填充压力腔室 10 的墨中产生压力波时，该压力波在压力腔室 10 中向上游和下游前进。在喷射前填充方法中，压力腔室 10 的容积一度增加，然后在经过与脉冲宽度 T_0 对应的时间后再次使压力腔室 10 恢复到它的原始容积，从而从对应的喷嘴喷出墨。首先，在压力腔室 10 的容积增加时，压力腔室 10 内的墨中产生负压力波，该负压力波将被称为第一压力波。紧接着，当压力腔室 10 的容积减小时，产生正压力波，该正压力波将被称为第二压力波。

如上所述，这些压力波的一部分向下游前进到下伸部分 33 中。例如，已经前进到下伸部分 33 中的第一压力波被下伸部分 33 的两端反射，即，被位于压力腔室 10 与下伸部分 33 之间的边界、和喷嘴 8 附近的部分反射。这些反射波在填充下伸部分 33 的墨中诱发固有振动。在下伸部分 33 内产生的该固有振动是上述局部固有振动的实例。

另一方面，第一压力波的一部分向压力腔室 10 的上游朝着对应的副集管通道 5a 前进。第一压力波在通路的中途被孔隙 12 反射，从而变

为压力正负号已取反的压力波。压力符号已取反的该压力波通过压力腔室 10 和下伸部分 33 向喷嘴 8 前进。即，第一压力波在被孔隙 12 反射时使压力正负号取反，而且反射的压力波作为正压力波返回到压力腔室 10，该正压力波将被称为第三压力波。压电致动器 50 然后在压力腔室 10 内的墨中产生第二压力波。当其中第二压力波已经叠加到第三压力波从而形成前进波的复合波到达喷嘴 8 时，就将墨从喷嘴 8 喷出。

而且，第二和第三压力波的一部分叠加到由于第一压力波而在下伸部分 33 中产生的固有振动上。即，第一至第三压力波中的任何压力波都有助于下伸部分 33 中的固有振动。这样，在由第二和第三压力波构成的前进波到达喷嘴 8 时，在喷嘴 8 中观察到如下的振动，在该振动中，(1) 前行波本身的贡献、(2) 第一压力波对下伸部分 33 中的固有振动的贡献、以及 (3) 第二和第三压力波的一部分对下伸部分 33 中的固有振动的贡献都已经相互叠加。

可以想到的是：已经在喷嘴 8 中将上述贡献相互叠加的该振动引起从喷嘴 8 喷出的墨的喷射速度的增加，从而墨滴的末端部分从墨滴的主体分离。因此，如果在填充下伸部分 33 的墨中抑制固有振动，则在喷嘴 8 中不发生振动的叠加，从而防止墨增加它的喷射速度。

另一方面，在下伸部分 33 的墨内诱发的固有振动是由压电致动器 50 施加到压力腔室 10 内的墨上的压力引起的。因此，可预期到，在压电致动器 50 与压力腔室 10 一体变形时，下伸部分 33 内固有振动的诱发性随着振动的固有振动周期而变化。即，当从其中在压电致动器 50 与压力腔室 10 一体振动时的固有振动周期接近下伸部分 33 的固有振动周期的喷墨头喷出墨时，由于压电致动器 50 与压力腔室 10 的一体变形而产生的压力波易于诱发下伸部分 33 内的固有振动，即下伸部分 33 内的谐振。相反地，当在压电致动器 50 及压力腔室 10 一体振动时的固有振动周期与下伸部分 33 的固有振动周期大不相同，由于压电致动器 50 和压力腔室 10 的一体变形而产生的压力波难以诱发下伸部

分 33 中的固有振动。

为了确认以上所述，本发明的发明人进行了以下数值分析。图 10A 至图 10C 用于解释该数值分析。

在数值分析中，通过对如图 4 所示的单独墨通路即从来自副集管通道 5a 的墨进入口通向喷嘴 8 的通路的声学等效变换而构造电路。对该等效电路进行声学分析。图 10A 示出该等效电路。

如以下将描述的等效电路对应于如例如图 4 和图 5 所示的墨通路和致动器。因此，在以下描述中，将使用例如如图 4 和图 5 所示的下伸部分 33、压电致动器 50 等术语。然而，数值分析所必需的例如有关图 5 所示的致动器的信息是声顺。因此，在具有相同声顺的用于对压力腔室中的墨施加压力的任何致动器中，获得相同的数值分析结果。即，如通过以下将描述的数值分析获得的结果不仅能够应用到例如如图 4 和图 5 所示的通路单元 4 和压电致动器 50，而且还能够应用于满足该数值分析中所用条件的任何喷墨头。

孔隙 12 对应于图 10A 的电路中的线圈 212a 和电阻器 212b。压电致动器 50 和压力腔室 10 分别对应于图 10A 的电路中的电容器 250 和电容器 210。下伸部分 33 和喷嘴 8 对应于图 10A 的电路中的流体分析单元 233。流体分析单元 233 没有被认为是电路中纯粹的电容器或电阻器等。通过如以下将描述的流体分析而单独对流体分析单元 233 进行数值分析。

在数值分析中的声学分析中，利用了：压电致动器 50 的厚度；压力腔室 10 的面积和垂直于压电层的深度；孔隙 12 的宽度、长度、和垂直于压电层的深度；等等。已经通过有限元技术从压电致动器 50 等的以上数据预先获得压电致动器 50 的声顺、以及将要由压电致动器 50 产生的压力常数，该声顺是与等效电路中的电容器 250 的电容对应的

声容。压电常数已经通过利用测量压电元件的阻抗的谐振法而获得。

如上所述，流体分析单元 233 对应于下伸部分 33。图 10B 示出如图 4 所示的下伸部分 33 的整体结构，其呈现为在流体分析单元 233 的流体分析中所采用的形式。图 10C 示出下伸部分 33 中的喷嘴板 30 的一部分的结构。图 10B 的左端与压力腔室 10 相连接。

在流体分析中，制备了六个喷墨头，这些喷墨头在下伸部分 33 的内径及长度、和在压电致动器 50 中包括的振动板的厚度方面不同。在喷墨头 a 至 f 中的每个喷墨头中，在以下将给出的表 1 和表 2 中示出下伸部分 33 的各部分的内径 D1 及 D2、和长度 L1、L2 及 L3。内径 D1 对应于下伸部分 33 的在除了喷嘴板 30 之外的板中形成的部分的内径。内径 D2 对应于喷嘴 8 的内径。在数值分析中，如图 10B 所示，下伸部分 33 的在除了喷嘴板 30 之外的板中形成的该部分在任何位置处都具有相同的内径。如图 10C 所示，在喷嘴板 30 中形成的部分具有向喷嘴 8 变细的结构。在喷嘴 8 附近在长度 L3 的范围内的部分在任何位置处都具有相同的内径 D2。变细部分的内表面和喷嘴 8 附近的部分的内表面在图 10C 的剖面图中形成 8 度的角，如表 2 所示。

在喷墨头 a 至 f 中的每个喷墨头中，在表 1 中示出振动板的厚度。振动板对应于图 5 所示的压电层 42 至 44。从振动板的厚度计算压电致动器 50 和压力腔室 10 的一体振动的固有振动周期 T_s 。在表 1 中以微秒示出喷墨头 a 至 f 中的每个喷墨头的固有振动周期 T_s 。在每个喷墨头中，分析了其中长度 L1 设定为 200 微米、400 微米、600 微米、800 微米和 1000 微米（1 微米= 10^{-6} m）的情形。表 3 以微秒示出填充下伸部分 33 的墨的根据各长度 L1 值的固有振动周期 T_d 。

假设喷墨头 a 至 f 中的每个喷墨头在表 1 所示的驱动电压的作用下喷墨。驱动电压对应于供应到压电致动器 50 的单独电极 35 上的电压脉冲的高度。即，驱动电压表示在单独电极 35 和公共电极 34 之间

的最大电位差 U_0 ，如图 7 所示。

表 1

	振动板的厚度 [μm]	T_s [μsec]	L1 [μm]	驱动电压 [V]
喷墨头a	60	0.774	200, 400, 600, 800, 1000	26.7
喷墨头b	55	0.940		23.5
喷墨头c	50	1.10		21.4
喷墨头d	45	1.31		20.3
喷墨头e	40	1.56		19.2
喷墨头f	35	1.96		17.9

表 2

D1	D2	L2	L3	θ
220 μm	20 μm	50 μm	10 μm	8度

表 3

L1	200 μm	400 μm	600 μm	800 μm	1000 μm
T_d [μsec]	0.520	1.04	1.44	1.89	2.20

下表 4 示出根据每个喷墨头和每个 L1 值的 T_s/T_d 。下表 5 以微秒示出根据每个喷墨头和每个 L1 值的填充整个单独墨通路 32 的墨的固有振动周期 T_c 。

表 4

	L1=200 μ m	400 μ m	600 μ m	800 μ m	1000 μ m
喷墨头a	1.49	0.74	0.54	0.41	0.35
喷墨头b	1.81	0.90	0.65	0.50	0.43
喷墨头c	2.11	1.05	0.76	0.58	0.50
喷墨头d	2.52	1.26	0.91	0.69	0.60
喷墨头e	3.00	1.50	1.09	0.83	0.71
喷墨头f	3.67	1.84	1.33	1.01	0.87

表 5

	L1=200 μ m	400 μ m	600 μ m	800 μ m	1000 μ m
喷墨头a	12.6	12.8	13.0	13.2	13.5
喷墨头b	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7
喷墨头c	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1
喷墨头d	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7
喷墨头e	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4
喷墨头f	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3

通过作为由拟似压缩性公式化的流体分析方法的拟似压缩法在流体分析单元 233 中进行流体分析。拟似压缩法是用于通过使 Navier-Stokes 方程、和已经加入表示密度的拟似时间变化的项的连续方程联立而获得速度和压力的方法。

通过关系式 $C=W/E_v$ 获得压力腔室 10 的声顺, 该声顺是与等效电路中的电容器 210 的电容对应的声容 C, 其中, W 表示压力腔室 10 的容积, 而 E_v 表示墨的体积弹性。

通过关系式 $m=\rho \times l/A$ 获得孔隙 12 的与等效电路中的线圈 212a 的电感对应的声质量, 其中, ρ 表示墨密度; A 表示孔隙 12 的与孔隙的纵向轴线垂直、即在图 4 的水平方向上的截面的面积; 而 l 表示孔

隙 12 的在图 4 的水平方向上的长度。

如下获得孔隙 12 的与电阻器 212b 的电阻 R 对应的通路阻力。在上述实施例中，每个孔隙 12 都在与孔隙的纵向轴线垂直、即图 4 的水平方向上的剖面图中具有长方形形状，该长方形形状具有长度为 2a 的边以及长度为 2b 的边。在此情形中，通过下式 1 获得在孔隙 12 中流动的墨的量。在将要施加到孔隙 12 中的压力 Δp （其对应于压力波的强度）、与孔隙 12 中流动的墨的量 Q 之间的关系由 $Q = \Delta p / R$ 表示。从关系式 1 计算电阻 R。在式 1 中，l 表示孔隙 12 的长度，如上所述。

式 1

$$Q = \frac{4ab^3 \Delta p}{3\mu l} \left[1 - \frac{192b}{\pi^5 a} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5} \tanh\left(\frac{n\pi a}{2b}\right) \right]$$

在流体分析单元 233 中的流体分析中，获得通过流体分析单元 233 的墨的体积速度。作为与将要施加在压电致动器 50 内的单独电极 35 和公共电极 34 之间的电压相对应的条件，假设与电压对应的压力 P 是由电路中的压力源 299 施加的。在上述条件下，基于压力 P、声容、声质量、及电阻、和在流体分析单元中通过单独的数值分析获得的分析结果，通过数值分析获得流动通过电路的墨的体积速度。下表 6 示出对墨的体积速度的数值分析的结果。

表 6

	Ts/ Td	第一	第二	第三		Ts/ Td	第一	第二	第三
		滴的 速度 [m/sec]	滴的 速度 [m/sec]	滴的 速度 [m/sec]			滴的 速度 [m/sec]	滴的 速度 [m/sec]	滴的 速度 [m/sec]
喷 墨 头 a	1.49	8.7	5.6	—	喷 墨 头 d	2.52	—	—	—
	0.74	8.5	5.7	—		1.26	7.8	5.7	—
	0.54	7.6	5.4	—		0.91	10.2	6.2	3.7
	0.41	7.4	5.2	—		0.69	7.2	5.3	—
	0.35	7.2	4.4	3.1		0.60	7.3	5.4	—
喷 墨 头 b	1.81	7.8	5.7	4.4	喷 墨 头 e	3.00	—	—	—
	0.90	8.2	5.4	—		1.50	7.6	5.8	—
	0.65	7.6	5.5	—		1.09	10.4	6.6	4.1
	0.50	7.4	5.7	3.6		0.83	7.8	6.1	—
	0.43	7.7	5.6	—		0.71	6.9	5.0	—
喷 墨 头 c	2.11	9.2	6.9	4.3	喷 墨 头 f	3.67	—	—	—
	1.05	10.7	5.7	3.8		1.84	7.4	4.3	2.4
	0.76	7.5	5.7	—		1.33	7.9	5.8	—
	0.58	7.4	6.4	4.8		1.01	12.5	6.6	3.9
	0.50	7.2	5.4	3.2		0.87	6.4	5.0	—

表 6 以 m/sec 示出与表 4 所示的各个 Ts/Td 值相对应的从喷墨头喷出的墨的喷射速度。如表 6 所示, 这些 Ts/Td 值导致两种不同的情形, 即, 其中喷出两个墨滴的情形以及其中喷出三个墨滴的情形。

图 11 为表示表 6 的结果的曲线图。在图 11 中, 横坐标轴代表 Ts/Td, 而纵坐标轴代表墨滴的喷射速度, 以 m/sec 为单位。图 11 的曲线图中绘制的点 81、82 和 83 分别对应于第一、第二和第三墨滴。

如图 11 的点 81a 所示, 在 Ts/Td 从 0.90 至 1.1 的范围内, 总共产

生三个墨滴，而且第一墨滴的喷射速度与任何其它范围内的第一墨滴的喷射速度相比相当高。即，每个点 81a 代表如图 9B 所示通过与原始墨滴分离而产生的高速墨滴。

上述分析表明：当喷墨头构造成使得 T_s 和 T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.90、或者不小于 1.1 且不大于 1.7 的条件时，就解决了上述问题。在该条件中， T_s 代表由于致动器和压力腔室的一体变形而引起的振动的固有振动周期。 T_d 代表填充从压力腔室的出口到单独墨通路内的喷射口的第一部分通路的墨的固有振动周期。

由于致动器和压力腔室的一体变形而引起的振动如下。当驱动致动器时，致动器与对应的压力腔室一体变形。此时，当致动器在第一状态和第二状态之间逐步变化时，致动器和压力腔室一体振动，并且该一体振动由于致动器和压力腔室的弹性而逐渐衰减。

振动的平衡状态对应于其中振动的衰减已经完成、而且致动器及压力腔室未变形的状态，即其中致动器未变形的状态。例如，在如图 5 所示的压电致动器 50 的情形下，振动的平衡状态对应于其中单独电极 35 和公共电极 34 之间的电位差为零的状态，即，图 8B 所示的状态。这是因为，当电极之间的电位差为零时，压电致动器 50 内不产生压电歪曲，从而压电致动器 50 不变形。

当致动器在第一状态和第二状态之间变化时，压力施加到压力腔室中的墨上。在喷墨操作中，产生致动器和压力腔室的上述一体振动。因此，由致动器和压力腔室的一体振动引起的固有振动强烈影响对压力腔室中的墨施加的压力。此外，压力腔室内的墨中产生的压力波诱发第一部分通路中的墨的固有振动。因此，由致动器和压力腔室的一体振动引起的固有振动也强烈影响第一部分通路中的墨的固有振动。即，如果致动器和压力腔室的一体振动的固有振动周期 T_s 接近第一部分通路中的墨的固有振动周期 T_d ，则易于产生第一部分通路中的墨的

固有振动。这易于引起从喷嘴喷出的墨滴分离。

基于上述分析，在上述实施例的每个喷墨头 2 中，已经将 T_s/T_d 的值控制成落入除包含每个都表示由于原始墨滴的末端部分从原始墨滴的主体分离而产生的高速墨滴的点 81a 的范围之外的范围 71 或范围 72，在该范围 71 中 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.90，在该范围 72 中 T_s/T_d 不小于 1.1 且不大于 1.7。这提高了将要由每个喷墨头 2 形成的图像的再现性。

当 T_s/T_d 小于范围 71 的下限时，第一部分通路中的墨的固有振动中的三阶和更高阶模式成为问题。然而，其中第一部分通路中的墨的固有振动中的三阶和更高阶模式成为问题的情形是其中致动器的声顺极低的情形、或者其中下伸部分极长的情形。这样，当 T_s/T_d 低于范围 71 时，压力效率下降。在设计中这是不合需要的。此外，如图 11 中的点 83c 所示，低于范围 71 的 T_s/T_d 可能导致产生第三墨滴，这可以认为是由于第一部分通路中的墨的固有振动的三阶和更高阶模式而产生的。为此，从该实施例的上述范围排除低于范围 71 的范围。

另一方面，当致动器和压力腔室的一体振动的固有振动周期超过第一部分通路的固有振动周期的 1.7 倍时，不能确保第一部分通路的足够容积，而且第一部分通路中的振动易于影响弯月面。相反地，当致动器和压力腔室的一体振动的固有振动周期低于第一部分通路的固有振动周期的 1.7 倍时，第一部分通路中的振动的衰减就防止振动直接影响弯月面。为此，在上述实施例中，致动器 50 和压力腔室 10 的一体振动的固有振动周期设定在比下伸部分 33 的固有振动周期的 1.7 倍低的范围内。

每个喷墨头都优选地构造成使得 T_s/T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.90、或者不小于 1.26 且不大于 1.5（图 11 所示的范围 75）的条件。在该构造中，如图 11 所示， T_s/T_d 落入更确实地只喷射两个墨

滴的范围内。

在另一情形中,每个喷墨头优选构造成使得 T_s/T_d 满足 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.48、不小于 0.60 且不大于 0.90、或者不小于 1.1 且不大于 1.7 的条件。图 11 所示的点 83b 表示在范围 73 与范围 74 之间的范围内由于从原始墨滴分离而产生的墨滴,在该范围 73 内 T_s/T_d 不小于 0.36 且不大于 0.48,在该范围 74 内 T_s/T_d 不小于 0.60 且不大于 0.90。即,在范围 73 和 74 之间的范围内,总共喷出三个墨滴,如图 9C 所示。将 T_s/T_d 控制成满足以上条件防止了喷出这样的三个墨滴。这提高了将要由每个喷墨头形成的图像的再现性。

即使在构造成使得从喷墨头喷出的每个墨滴不分离从而图像的再现性良好的喷墨头中,第一部分通路的某些设计也可能引起喷墨所需能量效率的降低。例如,第一部分通路中的墨的固有振动周期 T_d 相对于整个单独墨通路中的墨的固有振动周期 T_c 越小,则由于在第一部分通路中的压力波传播而引起的能量损失越小。另一方面,致动器和压力腔室的一体振动的固有振动周期 T_s 相对于 T_c 越小,则致动器的刚性在能量效率方面有效。

根据以上考虑,本发明的发明人从喷墨速度如何随着 $(T_d/T_c) \times (T_s/T_c)$ 而变化的观点重新排列了表 6 的结果。下表 8 示出从该观点重新排列表 6 的结果。下表 7 示出针对每个喷墨头的每个 $L1$ 值的 $T_d \times T_s/T_c^2$ 。表 7 中的数值是从表 1、3、和 5 获得的。

表 8 示出针对与表 6 中的 T_s/T_d 对应的每个 $T_d \times T_s/T_c^2$ 值的第一和第二墨滴的喷射速度。表 8 还示出在第一和第二墨滴之间的喷射速度差。在表 8 中,排除了其中喷出总共三个墨滴的情形数据。

表 7

	L1=200μm	400μm	600μm	800μm	1000μm
喷墨头a	0.0025	0.0049	0.0066	0.0084	0.0093
喷墨头b	0.0029	0.0057	0.0077	0.0097	0.0110
喷墨头c	0.0032	0.0063	0.0084	0.0108	0.0122
喷墨头d	0.0035	0.0069	0.0092	0.0118	0.0133
喷墨头e	0.0038	0.0074	0.0100	0.0128	0.0145
喷墨头f	0.0042	0.0083	0.0112	0.0143	0.0162

表 8

	$\frac{Td * Ts}{Tc^2}$	第一滴	第二滴	速度差		$\frac{Td * Ts}{Tc^2}$	第一滴	第二滴	速度差
	喷墨头 a	0.0025	8.7	5.6		3.1	喷墨头 d	—	—
	0.0049	8.5	5.7	2.8		0.0068	7.8	5.7	2.1
	0.0066	7.6	5.4	2.2		—	—	—	—
	0.0084	7.4	5.2	2.2		0.0118	7.5	5.3	2.2
	—	—	—	—		0.0133	7.3	5.4	1.9
喷墨头 b	—	—	—	—	喷墨头 e	—	—	—	—
	0.0057	8.2	5.4	2.8		0.0128	7.6	5.8	1.8
	0.0077	7.6	5.5	2.1		—	—	—	—
	—	—	—	—		0.0145	7.8	6.1	1.7
	0.0110	7.7	5.9	1.8		0.0157	6.9	5.0	1.9
喷墨头 c	—	—	—	—	喷墨头 f	—	—	—	—
	—	—	—	—		—	—	—	—
	0.0084	7.5	5.7	1.8		0.0112	7.9	5.8	2.1
	—	—	—	—		—	—	—	—
	—	—	—	—		0.0162	6.4	5.0	1.4

图 12 为示出表 8 的结果的曲线图。在图 12 中，横坐标轴表示 $Td \times Ts / Tc^2$ ，而纵坐标轴表示第一和第二滴的喷射速度、或喷射速度差。

图 12 中绘制的点 84、85 和 86 分别表示第一滴的喷射速度、第二滴的喷射速度、以及在第一和第二滴之间的喷射速度差。

在图 12 中，线段 84a 表示范围 77 内含有的点 84 所代表的喷射速度的平均值。如线段 84a 和点 84 所示，第一滴的喷射速度在范围 77 内大致恒定。另一方面，在 $T_d \times T_s / T_c^2 = 0.014$ （范围 77 的上限）以上的范围内，第一滴的喷射速度急剧下降，如线段 84b 所示。因此，在 $T_d \times T_s / T_c^2 > 0.014$ 的范围内，相对于所供应的能量而言，喷墨所消耗能量的效率是较差的。

另一方面，在 $T_d \times T_s / T_c^2 = 0.006$ （范围 77 的下限）以下的范围内，在第一滴和第二滴之间的喷射速度差与其它范围相比相当大。即，与第二滴的喷射速度相比，第一滴的喷射速度太高。这导致墨滴冲击打印纸张的定时的偏移。这降低了将要形成在打印纸张上的图像的质量。

根据以上分析，每个喷墨头还优选地构造成使得 T_s 、 T_d 和 T_c 满足 $T_d \times T_s / T_c^2$ 不小于 0.0060 且不大于 0.014 的条件。在该条件中， T_c 表示填充整个单独墨通路 32 的墨的固有振动周期。根据以上分析，该构造提高了喷墨所需能量的效率；并防止墨滴冲击打印纸张的定时的偏移，从而提高了将要形成在打印纸张上的图像的质量。

在上述实施例中，第一部分通路的在与压力腔室的边界附近的部分比第一部分通路的纵向中部窄。该结构易于使得在第一部分通路中产生局部固有振动。因此，与其中将本发明应用于具有原来难以导致产生这种固有振动的结构的喷墨头的情形相比，在将本发明应用到该结构时获得显著的效果。

在上述实施例中，第二部分通路的纵向中部比第二部分通路的在与压力腔室 10 的边界附近和在副集管通道 5a 附近的部分窄。该结构易于导致产生固有振动，其中第二部分通路的这些位置中的一个位置是

用于反射的一端。因此，上述实施例具有适于通过喷射前填充方法喷墨的结构。

在上述实施例中，压力腔室 10 和单独电极 35 中的任何一个在平面图中具有沿一个轴线较长且在从该轴线的中心沿着该轴线的两个方向上都变细的形状。这使得能够在相应平面内密集布置大量压力腔室和大量单独电极。这实现了分辨率高的喷墨头。

尽管已经结合以上概述的具体实施例描述了本发明，但显然对本领域技术人员而言将显而易见许多替换物、变型和变体。因此，如以上阐述的本发明优选实施例意图是说明性的，而不是限定性的。可以在不偏离如所附权利要求所限定的本发明的精神和范围的情况下作出各种变化。

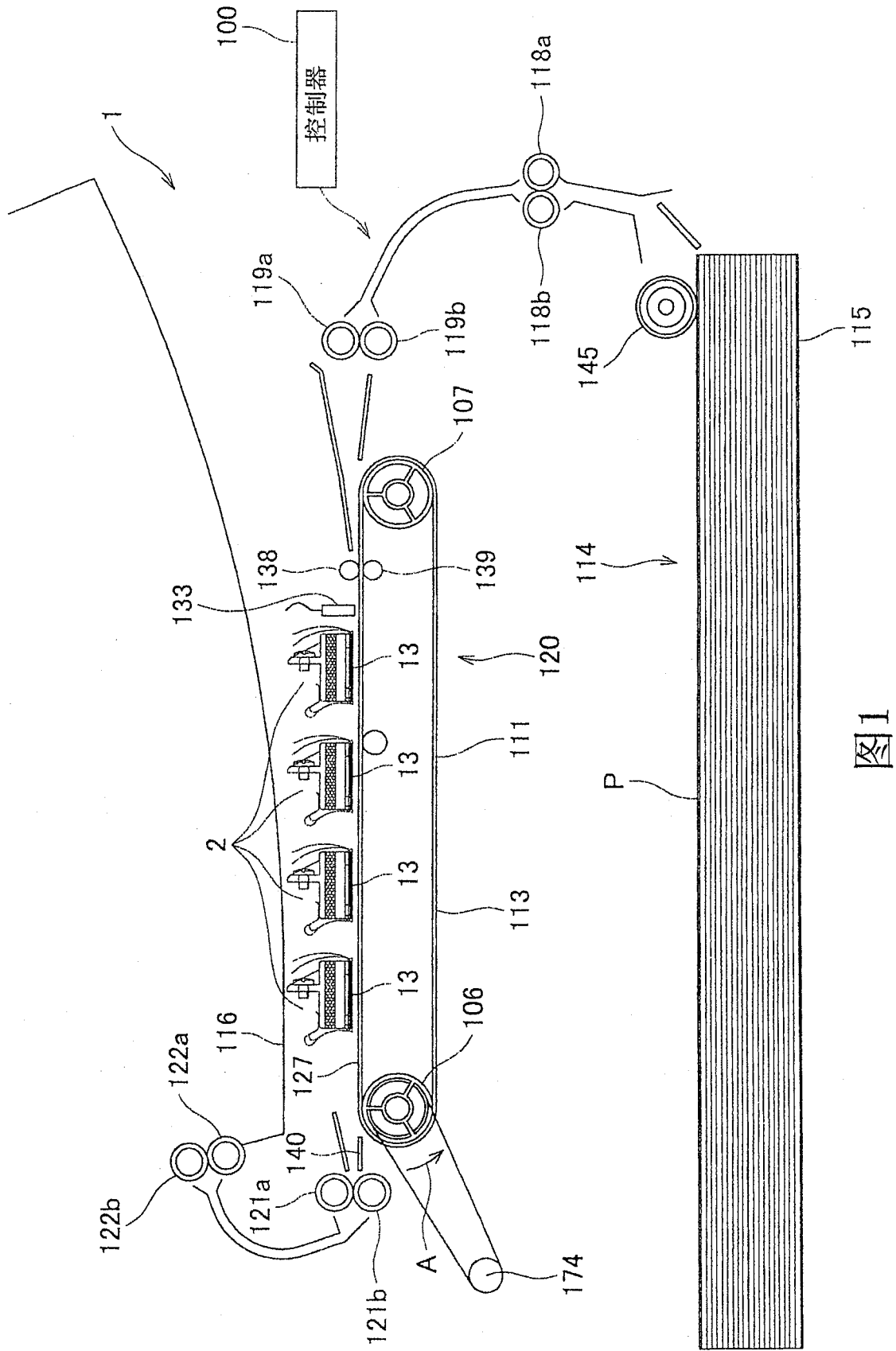


图1

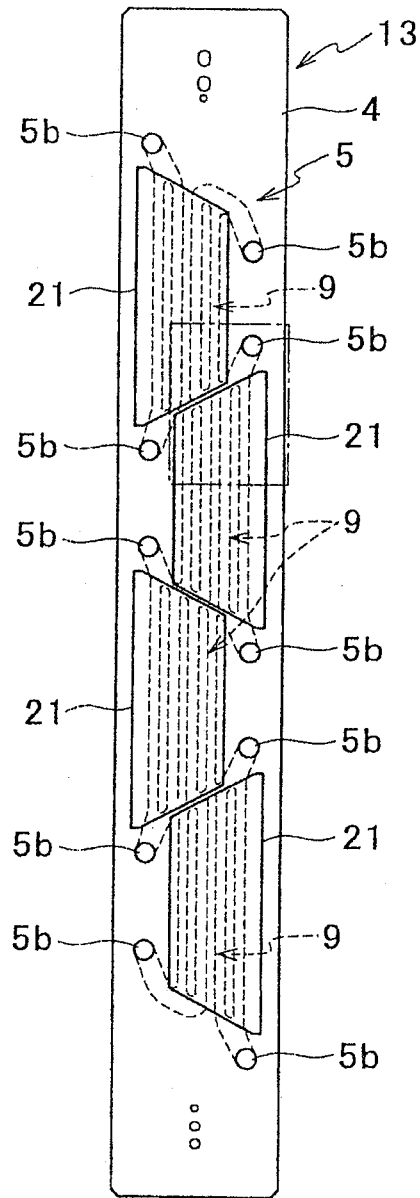


图2

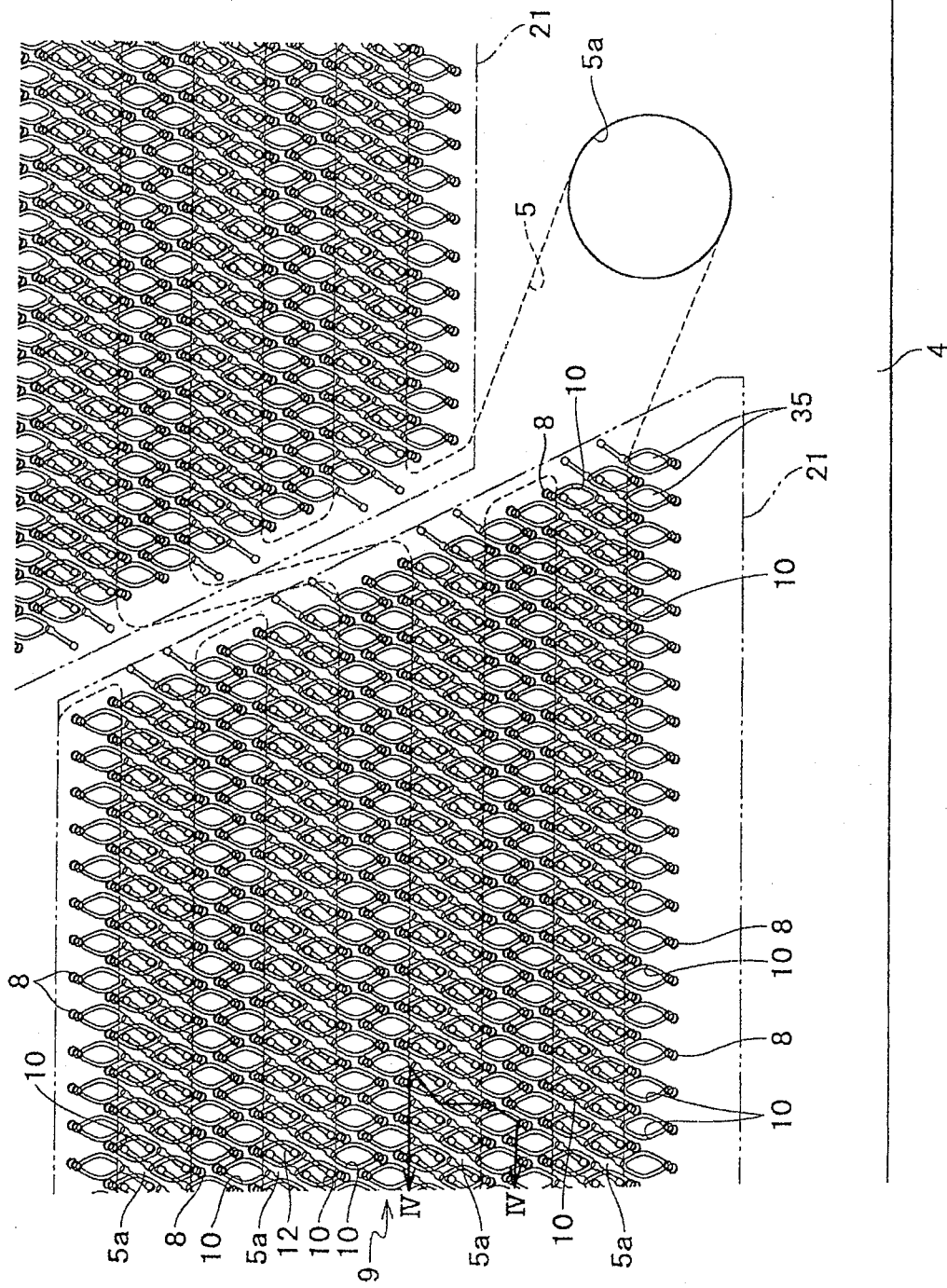


图3

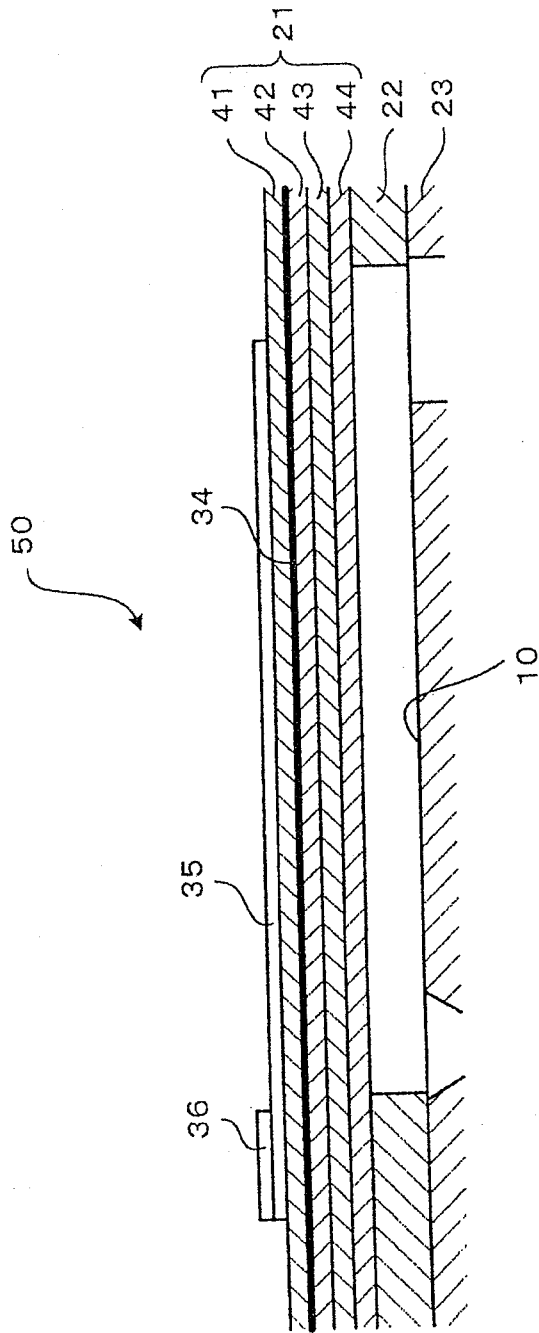


图5

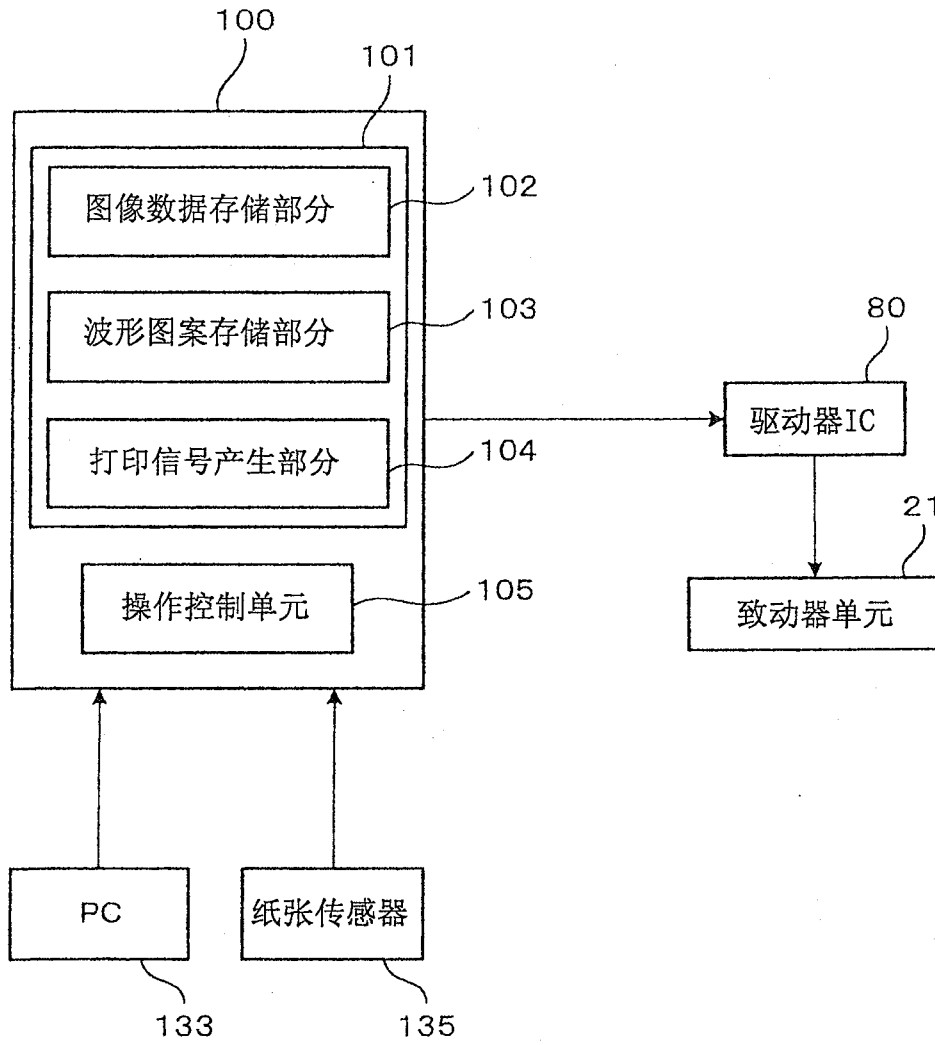


图6

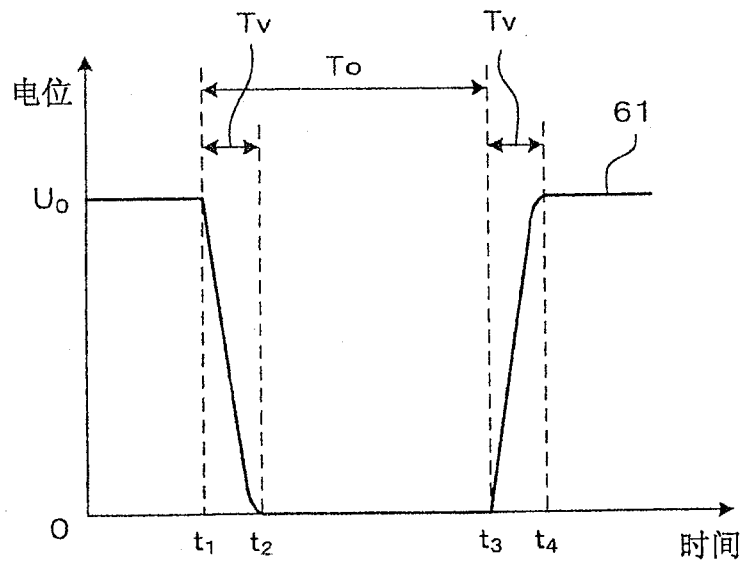


图7

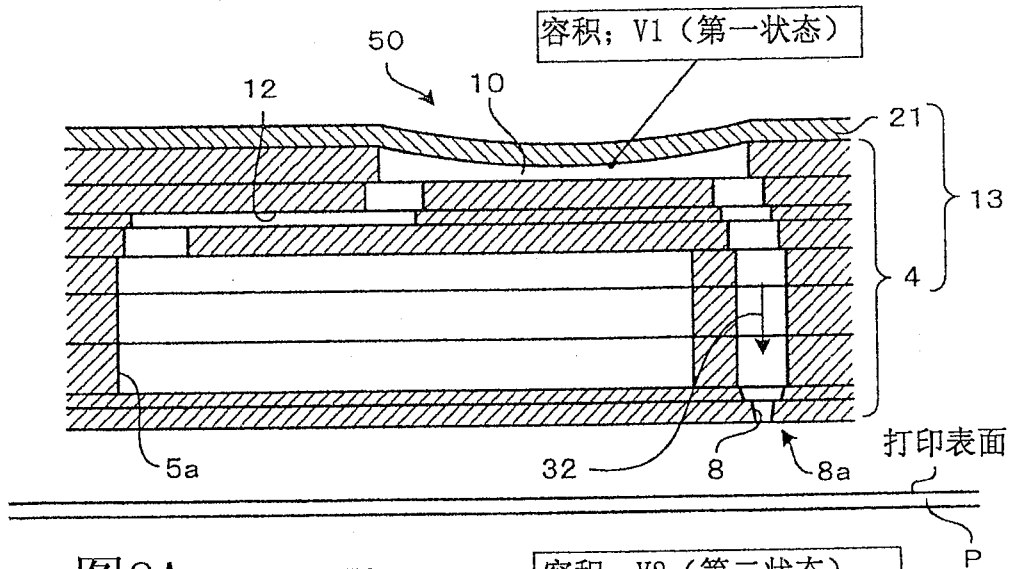


图8A

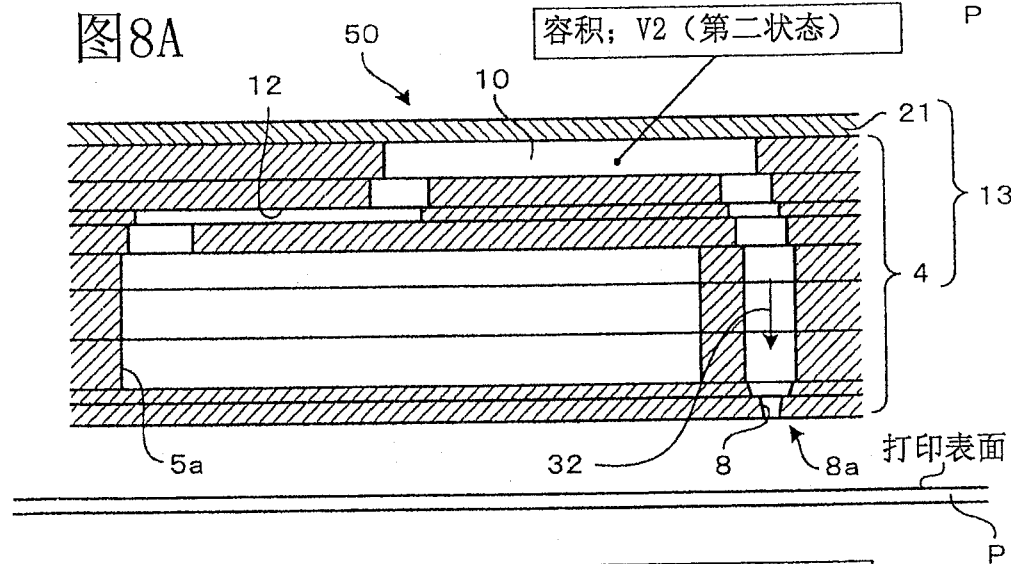


图8B

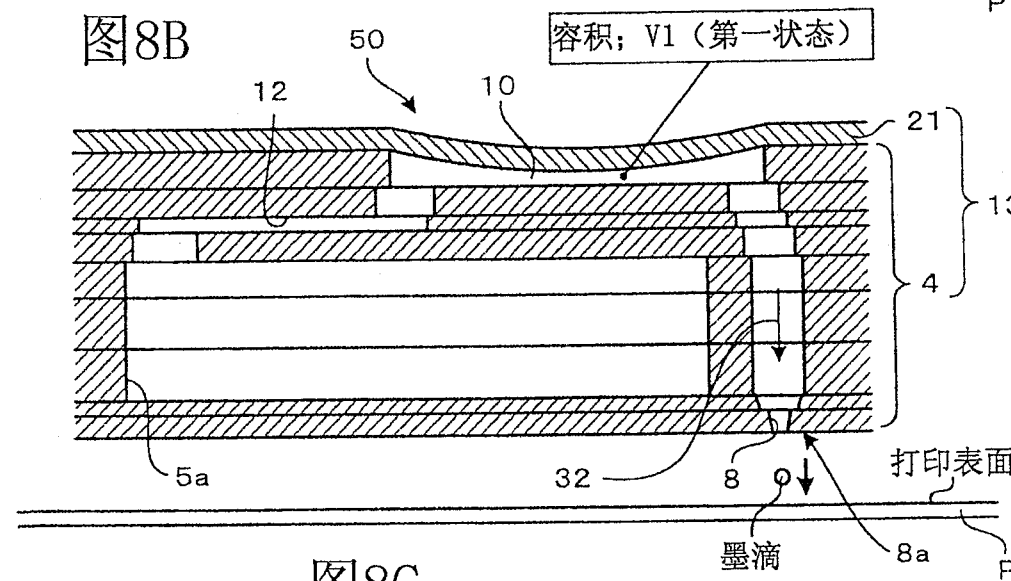


图8C

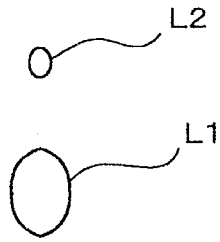


图9A

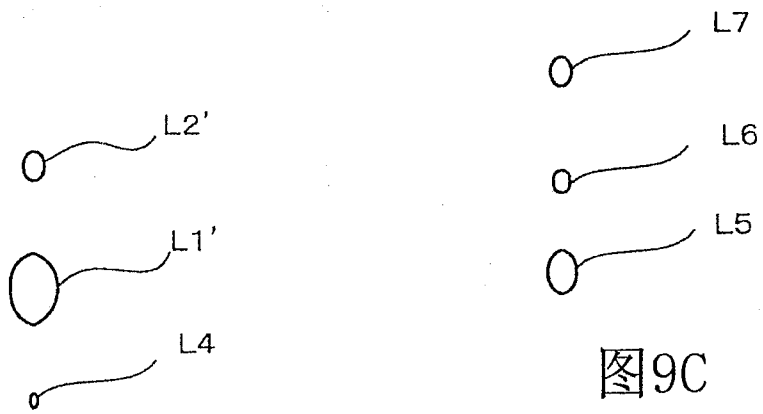


图9C

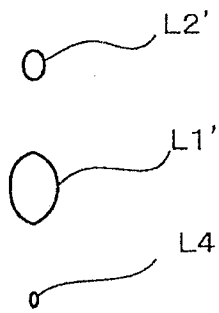


图9B

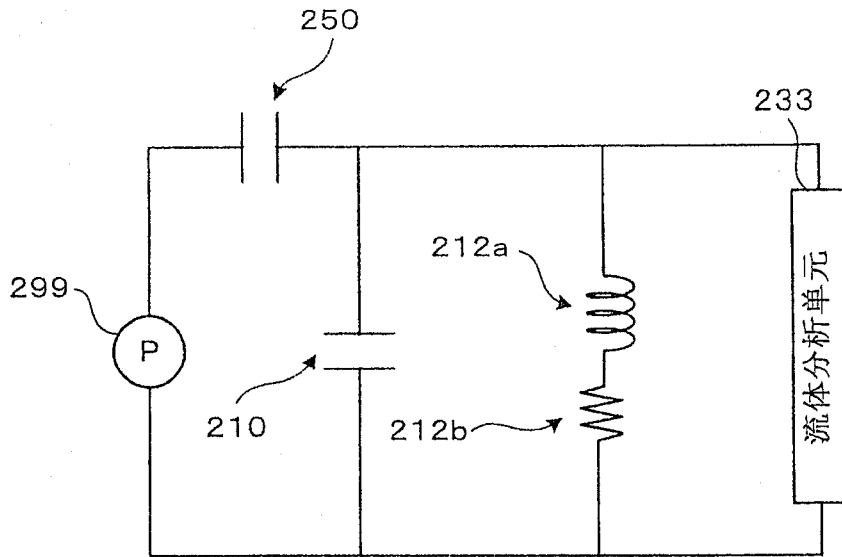


图10A

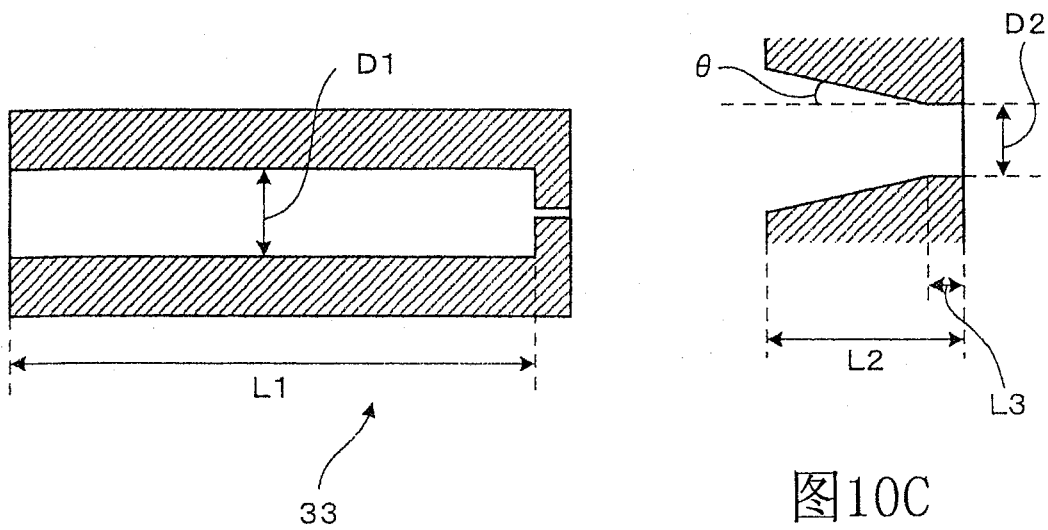


图10C

图10B

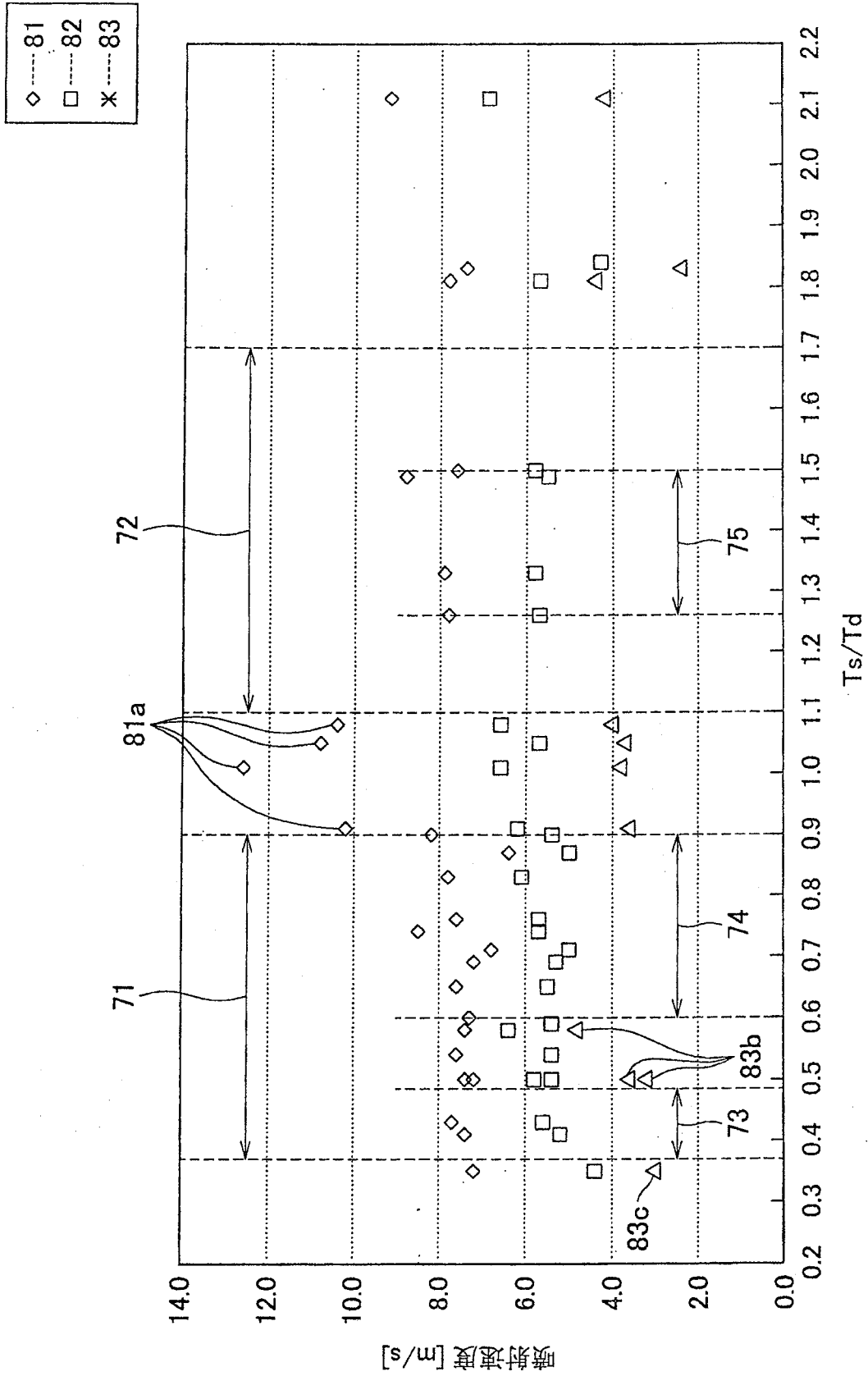


图11

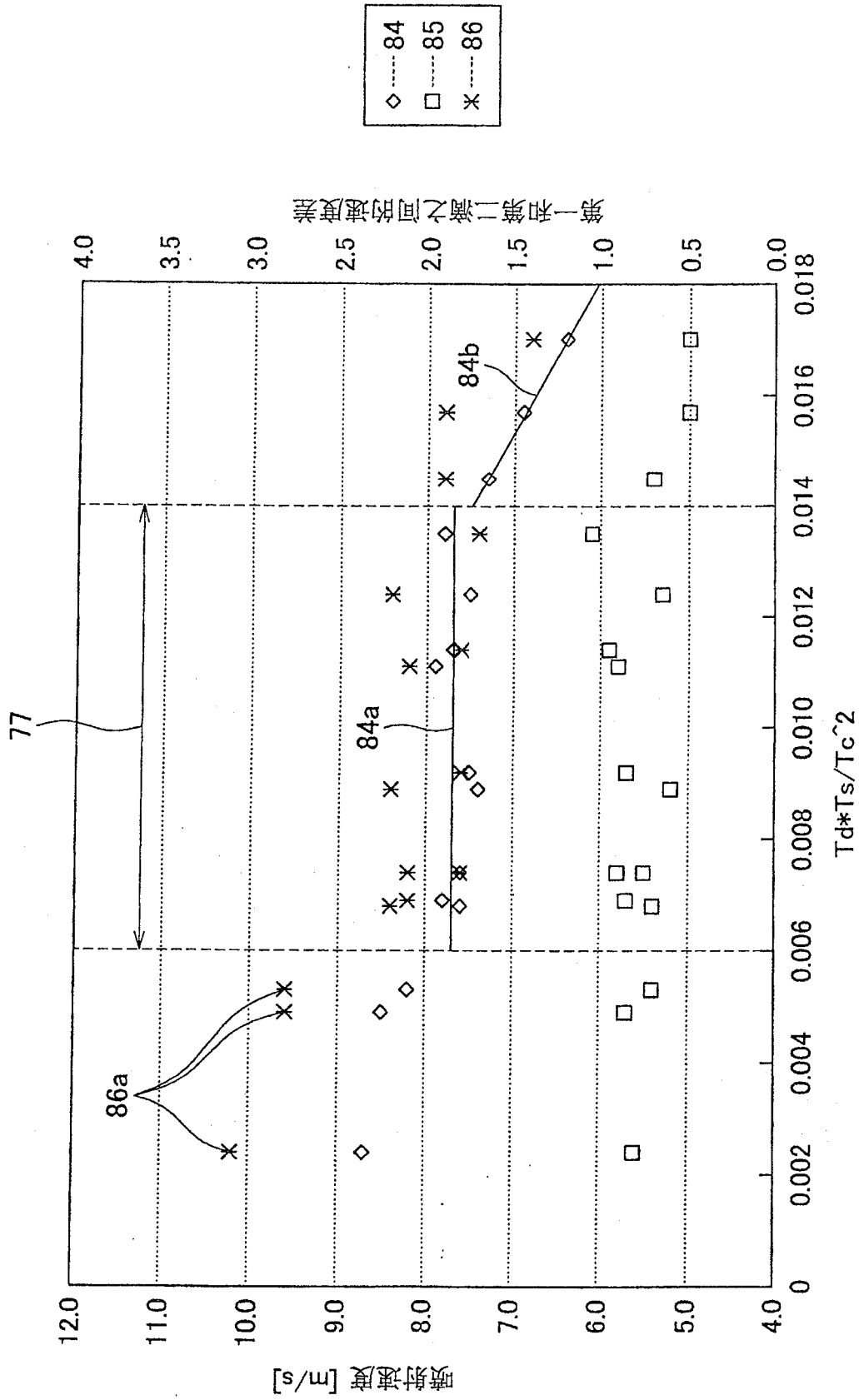


图12