

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G10F 1/02

G10C 3/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01145175.0

[45] 授权公告日 2005 年 3 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1193339C

[22] 申请日 2001. 11. 17 [21] 申请号 01145175.0

[30] 优先权

[32] 2000. 11. 17 [33] JP [31] 351192/2000

[71] 专利权人 雅马哈株式会社

地址 日本静冈县

[72] 发明人 村松繁 佐佐木力 加藤忠晴

审查员 杨艳兰

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

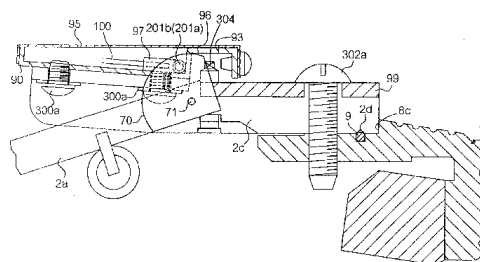
代理人 李晓舒 马高平

权利要求书 3 页 说明书 21 页 附图 16 页

[54] 发明名称 产生音调的键盘乐器和模拟音锤的物理参数的音锤传感器

[57] 摘要

一种音锤传感器包括一个可以与音锤组件(2)一起运动的滤光板(70)，滤光板具有一个固定到音锤柄(2a)上的基板，并且在基板上形成有一个弧形图案，而且弧形图案的透光率与基板不同；一个向弧形图案发射光束的光电发射元件(201a)和一个设置在光束的光路径上的光电检测元件(201b)，用于把透射光的大小转变为电信号，其中，滤光板把音锤组件的转动角度转换为光检测元件上入射光的大小，并且光电发射元件和光电检测元件形成为固定的以便一个合适的光保护装置可以保护光电元件不受干扰光的影响。



ISSN 1008-4274

1. 一种用于产生音调的键盘乐器，包括：

5 多个键(1; 41)，它们可在各自的静止位置到各自的终止位置之间独立运动；

多个动作机构(3; 42)，它们分别连接到所述多个键(1; 41)上，以便键的运动驱动相应的动作机构；

多个音锤(2; 43)，分别对应于所述多个动作机构(3; 42)，并且在所述相应的动作机构驱动下转动；以及

10 一个音乐数据生成系统，其包括：

多个音锤传感器(21; 45)，它们分别监测所述多个音锤(2; 43)，用于检测分别相对于一个部分(8)在平面上可转动的所述多个音锤的物理参数，用于产生音锤信号，所述多个音锤传感器(21; 45)中每一个包括：

15 光电发射元件(201a/100/202; 201a/100/204)，其相对于所述部分(8)静止，并沿在穿过相应的音锤的平面的方向上延伸的光路径而发射光束，

光电接收元件(201b/100/202; 201b/100/206)，其相对于所述部分(8)静止并设置在所述光路径上，以用于产生代表入射光大小的音锤信号，以及

20 转换器(70)，其可以与所述相应的音锤(2; 43)一起转动，并被所述光束照射，用来把所述物理参数的变化转变为入射光大小的变化；和

数据处理子系统(21/28/29/13; 46)，其连接到所述多个音锤传感器(21; 45)上，用于接收所述音锤信号，并分析由对应每个所述音锤(2; 43)的入射光的光量变化所表示的音锤的运动，以便产生代表通过所述音锤的运动将要产生的音调的音频信号，其特征在于：

25 所述转换器(70)包括一个基底元件，该基底元件具有在所述相应的音锤转动过程中相对于所述光路径可运动的一个表面，以便所述光束沿所述表面上的一轨迹相对运动，以及

在光学特性上不同的图案(73)，该光学特性影响所述基底元件的入射光量，该图案在与所述轨迹平行的方向上发生几何改变。

30 2. 如权利要求1所述的键盘乐器，其特征在于，所述的光学特性是指对所述光束的透光率。

3. 如权利要求1所述的键盘乐器, 其特征在于, 所述基底元件在透光度上大于所述图案。

4. 如权利要求1所述的键盘乐器, 其特征在于, 所述图案是由多个弧形(73-1, ..., 73-m)实现的, 这些弧形具有与所述相应音锤的转动轴(71a)相对应的圆心, 并且随着所述相应音锤的转动角度改变所述图案(73)面积与所述表面的暴露面积之比。

5. 如权利要求1所述的键盘乐器, 其特征在于, 所述图案(73)使所述音锤信号随着所述相应音锤的转动角度线性地变化。

6. 如权利要求1所述的键盘乐器, 其特征在于, 所述音乐数据生成系统还包括一个光屏蔽部分(90/95/97), 其保护所述音锤传感器(219)不受干扰光的影响。

7. 如权利要求1所述的键盘乐器, 还包括多组分别由所述多个音锤(2)击打的琴弦(4), 用来产生所述音调, 以及多个断音装置(6), 它们分别与所述多个键(1)相连接, 用于有选择地允许所述多组琴弦(4)在对应的键动作后产生振动。

8. 如权利要求7所述的键盘乐器, 还包括一个自动演奏子系统, 这个子系统包括多个螺线管控制的致动器(14), 这些致动器分别移动所述多个键; 以及一个数据处理单元(10/11/12), 其从所述数据处理子系统输出表示要被生成的所述音调的音乐数据代码, 用于给与能够产生所述音调的琴弦相关的螺线管致动器供能。

9. 一种用于检测音锤(2; 43)的物理参数的音锤传感器, 其相对于一个部分(8)在一平面中可转动, 该传感器包括:

光电发射元件(201a/100/202; 201a/100/204), 其相对于所述部分(8)静止, 并且沿在穿过所述平面的方向上延伸的光路径发射光束;

25 光电接收元件(201b/100/202; 201b/100/206), 其相对于所述部分(8)静止, 并且设置在所述光路径上, 用于产生代表入射光大小的电信号;

转换器(70), 其可以与所述音锤一起转动, 并被所述光束照射, 用于把所述物理参数的变化转变为所述入射光量的变化;

30 所述转换器(70)包括一个基底元件, 该基底元件具有在所述相应的音锤转动过程中相对于所述光路径可运动的一个表面, 以便所述光束沿所述表面上的一轨迹相对运动, 以及

在光学特性上不同的图案(73)，该光学特性影响所述基底元件的入射光量，该图案在与所述轨迹平行的方向上发生几何改变。

产生音调的键盘乐器和
模拟音锤的物理参数的音锤传感器

5

技术领域

本发明涉及一种键盘乐器，更具体地说，涉及一种装备有音锤的键盘乐器，例如，一个自动演奏钢琴和一个静音钢琴，以及应用于其中的一个音锤传感器。

10

背景技术

自动演奏钢琴是一个基于声学钢琴构成的合成键盘乐器，一排由螺线管控制的键驱动装置和一排键传感器与键相对应地设置，并且一个电子控制系统被连结到螺线管控制的键驱动装置阵列和键传感器阵列，当一个演奏者在键上弹奏一个曲调时，墨键和白键被演奏者分别地压下，而相关联的键传感器向电子控制系统报告键的动作情况。电子控制系统确定被压下的黑/白键和被释放的黑/白键，并确定黑/白键被压下和释放的持续时间，而且，电子控制系统计算键的速度。这些音乐数据信息以一组音乐数据代码被存贮，以便重放。

当用户指令电子控制系统去再现演奏情况时，电子控制系统读出音乐数据信息段。控制系统以与原来的演奏相同的周期向螺线管控制的键传动装置输出驱动信号，螺线管控制的键传动装置驱动相关的黑/白键，而在键上无需做任何弹奏。从而，自动演奏钢琴记录最初的演奏，并且再现最初的演奏而无需在键上做任何弹奏。

静音钢琴是另一种合成的键盘乐器，一排键传感器对应于键而设置，而一个电子音调生成系统被连结到键传感器阵列上，一个音锤制动器在自由位置和停止位置之间是可变的。当音锤制动器被变换到自由位置时，音锤制动器被移出音锤的轨迹。演奏者通过在键上弹奏选择性地用音锤击打琴弦，就通过琴弦的振动而产生了声学钢琴的音调。如果演奏者把音锤制动器改变到停止位置，音锤制动器就被移入音锤的轨迹中。即使演奏者在键上弹奏一个音调，音锤也会在击打到琴弦之前被音锤制动器弹回，并且任何声学钢琴的

音锤调都不能从琴弦上产生。然而，键传感器监控相关的黑/白键，并向电子音调生成系统报告键的运动情况。电子音调生成系统确定按下的黑/白键和释放的黑/白键，并确定键的速度。电子音调生成系统产生一个代表所要生成的音调的电子信号，电子音调是由一个声音系统产生的。

- 5 因此，键传感器在自动演奏钢琴和静音钢琴中都是不可缺少的。当一个演奏者简单地把黑/白键从静止位置按到终点位置时，键传感器精确地向电子控制/电子音调生成系统报告键的运动情况，而再现音调/电子音调完全等同于原来的音调，这是因为相关的音锤被以与键的速度相称的音锤速度加以轮流驱动。然而，演奏通常不是由单个键的运动构成的。一个黑/白键可以被演奏者重复地按下时，其他的黑/白键可能在返回终点位置的途中。在这种情况下，键的运动并不引起音锤以与键的运动相称的音锤速度运动。结果，再现的音调/电子音调被以与原来的钢琴音调/所要生成的钢琴音调不同的音量产生出来。因此，键传感器几乎不能反应出复杂的键的运动情况。

- 15 为了精确地确定音锤的运动，建议直接地检测音锤的运动。一排音锤传感器被装设在钢琴外壳内。音锤传感器直接地检测相应的音锤，并且报告相应音锤的当前位置。根据这些位置信息，电子控制系统/电子音调生成系统精确地确定音锤的运动，并以音乐数据代码存储这些音乐数据信息。

- 20 现在已知有若干种音锤传感器。第一种音锤传感器是一个遮光板和一个光电耦合器的组合。遮光板上被形成一个窗口。另外，光电耦合器产生多个光束。遮光板呈现出具有窗口，遮光板被固定在音锤柄上，并且由此可以与音锤组件一起运动。比如，光电耦合器由动作托架支承，并产生穿过遮光板轨迹的光束。当相应的黑色和白色键被压下时，动作机构驱动音锤组件转动，并且遮光板沿着其轨迹运动。当遮光板接触到光束时，遮光板遮断光束。遮光板持续地遮断光束直到到达窗口。遮光板允许光束通过窗口，并再次遮断光束。电子控制系统/电子音调生成系统根据从最开始遮断光线至光线穿过窗口的持续时间计算音锤的速度。遮光板被适当地设计以便电子控制系统/电子音调生成系统测定音锤击打琴弦的时间。

- 30 第二种音锤传感器如图 1 所示，且是一个反射光电耦合器 500 和一个反射片 502 的组合。反射光线耦合器 500 被固定在一个静止的托架 501 上，并且向音锤组件 503 射出一个光束。另一方面，反射片 502 固定在音锤柄 504 上，并与音锤组件 503 一起沿着音锤柄 504 的运动轨迹运动。光束始终在反

射片 502 上反射，并折回到反射式光电耦合器 500。反射光的量随着音锤当前位置而变化，并且反射式光电耦合器 500 向电子控制系统/电子音调生成系统报告反射光的量。电子控制系统/电子音调生成系统确定音锤的当前位置，并计算音锤的速度。当反射光的量达到一个预定值时，电子控制系统/电子音调生成系统确定单锤击打琴弦 505 的时刻。

第三种音锤传感器是一个霍尔效应元件和一个永磁体元件的组合。反射式光电耦合器 500 被霍尔效应元件所取代，永磁体元件固定在音锤柄 504 上。磁场强度随着霍尔效应元件与永磁体元件之间的距离而变化，而霍尔元件在由永磁体元件引起的磁场中产生电流。元件电流的大小代表了磁场的强度，从而代表了霍尔元件与永磁体之间的距离。电子控制系统/电子音调生成系统根据电流的大小确定音锤的当前位置，并计算音锤的速度，当电流达到一个预定值时，电子控制系统/电子音调生成系统决定应当击打琴弦的时刻。因此，这几种音锤传感器与电子控制系统/电子音调生成系统合作，并在记录或生成代表在键上的演奏过程的音乐数据信息的过程中协助电子控制系统/电子音调生成系统。然而，在上述几种音锤传感器中遇到下面的一些问题。

在第一种音锤传感器中的一个固有的问题是音锤传感器阵列易受到偏离正常位置的影响。电子控制系统/电子音调生成系统根据光束通过窗口的时间决定击打琴弦的时刻，这意味着电子控制系统/电子音调生成系统决定击打琴弦的时刻是建立在假定光电耦合器和遮光板是被放置在适当的目标位置上的。如果光电耦合器或遮光板偏离了目标位置。电子控制/电子音调生成系统不能够精确地决定击打琴弦的时刻。对第一种音锤传感器要求仔细的装配工作，并定期地进行调整。

在第一种音锤传感器中固有的另一个问题是可探测范围狭窄。可探测范围等于遮光板的最边缘和其中所形成的窗口之间的距离，而音锤组件的运动轨迹比可探测范围要长得多。然而，光电耦合器的光电流在可探测范围之外是不改变的，电子控制系统/电子音调生成系统在可探测范围之外不能获得任何位置信息。

在第二种音锤传感器中固有的一个问题是叠加在代表音锤当前位置的电信号上的严重噪声分量。如果第二种音锤传感器被置于背景亮度不变的理想环境中，第二种音锤传感器将产生精确地代表音锤当前位置的电信号。然而，自然光和/或室内光会入射到光电耦合器中。遗憾地是，自然光/室内光的亮

度是随着季节和合成键盘乐器的位置而变化的。这意味着制造者不能够预测背景的亮度。由于这个原因，噪声分量是严重的，并且使电子控制系统/电子音调生成系统错误地决定音锤的当前位置和击打琴弦的时刻。

5 在第三种音锤传感器中固有的一个问题也是严重的噪声分量。这是因为霍尔元件所处的磁场既由对应的永磁体所产生又由邻近的永磁体产生。音锤组件被独立驱动而旋转，并且每个霍尔效应元件的磁场强度是不仅随着对应的音锤组件的当前位置变化而且也随着邻近的音锤组件的当前位置而变化。邻近永磁体元件的磁场影响是产生噪声分量的原因。

10 在第二种和第三种音锤传感器中固有的另一个问题是由一种近似引起的误差分量。光电耦合器/霍尔效应元件的输出电压从静止位置到终点位置如非线性曲线 PL1 所表示(如图 2A)那样变化。电子控制系统/电子音调生成系统把非线性曲线 PL1 近似为线性曲线 PL2(如图 2B)，并且根据线性曲线 PL2 确定音锤的当前位置。电子控制系统/电子音调生成系统根据位置的数据信息产生音乐的数据信息，而误差分量被遗留在音乐数据信息中。

15

发明内容

因此，本发明的一个重要目的是提供一种键盘乐器精确地产生音调。

本发明的另一个重要目的是提供一种音锤传感器，它具有一个宽的可探测范围，并产生精确代表音锤当前位置的输出信号方面具有良好的可靠性。

20 根据本发明的一个方面，提供了用于产生音调的键盘乐器，包括：多个键，它们可在各自的静止位置到各自的终止位置之间独立运动；多个动作机构，它们分别连接到所述多个键上，以便键的运动驱动相应的动作机构；多个音锤，分别对应于所述多个动作机构，并且在所述相应的动作机构驱动下转动；以及一个音乐数据生成系统，其包括：多个音锤传感器，它们分别监
25 测所述多个音锤，用于检测分别相对于一个部分在平面上可转动的所述多个音锤的物理参数，用于产生音锤信号，所述多个音锤传感器中每一个包括：光电发射元件，其相对于所述部分静止，并沿在穿过相应的音锤的平面的方向上延伸的光路径而发射光束，光电接收元件，其相对于所述部分静止并设置在所述光路径上，以用于产生代表入射光大小的音锤信号，以及转换器，
30 其可以与所述相应的音锤一起转动，并被所述光束照射，用来把所述物理参数的变化转变为入射光大小的变化；数据处理子系统，其连接到所述多个音

锤传感器上，用于接收所述音锤信号，并分析由对应每个所述音锤的入射光的光量变化所表示的音锤的运动，以便产生代表通过所述音锤的运动将要产生的音调的音频信号，所述转换器包括：一个基底元件，该基底元件具有在所述相应的音锤转动过程中相对于所述光路径可运动的一个表面，以便所述光束沿所述表面上的一轨迹相对运动，以及在光学特性上不同的图案，该光学特性影响所述基底元件的入射光量，该图案在与所述轨迹平行的方向上发生几何改变。

根据本发明的另一方面，提供一种用于检测音锤的物理参数的音锤传感器，其相对于一个部分在一平面中可转动，该传感器包括：光电发射元件，其相对于所述部分静止，并且沿在穿过所述平面的方向上延伸的光路径发射光束；光电接收元件，其相对于所述部分静止，并且设置在所述光路径上，用于产生代表入射光大小的电信号；转换器，其可以与所述音锤一起转动，并被所述光束照射，用于把所述物理参数的变化转变为所述入射光量的变化；所述转换器包括：一个基底元件，该基底元件具有在所述相应的音锤转动过程中相对于所述光路径可运动的一个表面，以便所述光束沿所述表面上的一轨迹相对运动，以及在光学特性上不同的图案，该光学特性影响所述基底元件的入射光量，该图案在与所述轨迹平行的方向上发生几何改变。

附图说明

本键盘乐器和音锤传感器的特性和优点通过结合下面附图的说明将更易于理解，其中：

- 图 1 是示出现有技术的检测当前音锤位置的音锤传感器的侧视图；
- 图 2A 是示出当前音锤位置和输出电压关系的曲线；
- 图 2B 是示出经过线性近似后的音锤位置与输出电压之间关系的曲线；
- 图 3 是示出根据本发明的自动演奏钢琴的示意图；
- 图 4 是示出在分解状态的音锤传感器的透视图；
- 图 5 是示出形成音锤传感器一部分的滤光板的前视图；
- 图 6A 和 6B 是示出处于不同角度的滤光板的前视图；
- 图 7 是示出音锤传感器的布置的平面示意图；
- 图 8 是示出连接到组合光电器件上的光电组件的示意图；
- 图 9A 是示出与外壳分离的光电组件的透视图；

图 9B 是沿线 I-I 截取的剖面图，示出组装有外壳的光电组件；

图 10 是示出从基板上拆下的一排光电组件的透视图；

图 11 是示出由一个锤柄凸缘导轨(shank flange rail)支撑的传感器托架的平面图；

5 图 12 是沿线 J-J 截取的剖面图，示出装在大三角钢琴中的音锤传感器；

图 13 是示出传感器支架的透视图；

图 14 是示出音锤组件运动轨迹的示意图；

图 15 是示出根据本发明的供练习使用的键的结构侧视图；

图 16 是示出根据本发明的一个静音钢琴的结构侧视图；以及

10 图 17 是示出另一种光电器件的结构示意图。

具体实施方式

第一种实施例

键盘乐器

15 参见图 3，一个体现本发明的自动演奏钢琴主要包含一个声学钢琴和一个电子控制系统。在这种情况下，大三角钢琴被用作声学钢琴。然而，立式钢琴也可以被用作自动演奏钢琴。在下面的说明中，“前面”这个词是指靠近演奏者的一端，即那个坐在凳子上弹奏钢琴的人的一端，与之相对的是“后面”。

20 “纵向”这个词是指平行于前面位置与后面位置之间的连线的方向，而“横向”是指垂直于纵向的方向。

声学钢琴包括一个键或一排黑色和白色的键 1、音锤组件 2、动作机构 3、多组琴弦 4 和断音装置 6。黑色和白色键 1 被以众所周知的式样排列，并被横向地放置在一个键床 7 上。当一个演奏者按下每个黑/白键的前部时，键的前部下沉，并且黑/白键围绕一个平衡梁 7a 转动。

25 音锤组件 2 被分别地与黑/白键 1 相连，并也是横向布置的。多个动作托架 9 被以一定的间隔安放在键床 7 上，并且音锤组件 2 通过锤柄凸缘导轨 8 由动作托架 9 可旋转地加以支撑。动作机构 3 也由动作托架 9 加以支撑，并且在黑/白键 1 和音锤组件 2 之间设置。黑/白键 1 的向下动作引起相应动作机构 3 的动作，以便通过摆脱动作机构 3 而驱动相应的音锤组件 2 进行转动。

30 琴弦 4 被按音阶的音律加以布置，并被与音锤组件 2 相对应的放置也即与黑/白键 1 相对应。当黑/白键 1 处于静止位置时，音锤组件 2 与相关组的

弦 4 分离, 音锤组件 2 在脱离相应的动作机构 3 后开始自由转动, 并击打相对应组的琴弦 4。然后该组琴弦 4 振动以产生音调。另一方面, 音锤组件 2 被琴弦 4 弹回, 并返回静止位置。音锤组件 2 被一个回程制动装置 (back check) 3a 轻轻地接收, 并在被按下的黑/白键 1 释放后达到静止位置。

- 5 断音装置 6 分别地为琴弦 4 而设置。每个断音装置 6 通过压下黑/白键 1 而与相应组的琴弦 4 离开一定距离, 并在释放黑/白键 1 后接触到琴弦 4。当断音装置 6 离开该组琴弦 4 时, 琴弦 4 被允许振动。然而, 当断音装置 6 被靠到相应的琴弦 4 时, 琴弦 4 不能振动。

- 10 电子控制系统被分成二个子系统。其中一个子系统被用于重放, 并在下文中被称为“自动演奏子系统”。另一个子系统产生代表在键上演奏情况的音乐数据代码, 并在下文中被称为“音乐数据生成子系统”。

- 自动演奏子系统被连结到一个录音机或通信系统上, 而音乐数据代码被输入到自动演奏子系统中, 用来有选择地转动黑/白键而无需弹奏。自动演奏子系统包括一个数据处理器 10、一个运动控制器 11、一个伺服控制器 12、一个电子音调生成器 13 和一排螺线管控制的键致动器 14, 螺线管控制的键致动器 14 被分别地安装在黑/白键 1 的后部下面, 并且装备有内置的速度传感器, 音乐数据代码被连续地输入到数据处理器 10, 而数据处理器 10 指令运动控制器 11, 通过伺服控制器 12 伸出或收回螺线管控制的键致动器 14 的活塞。当一个驱动信号从伺服控制器 12 输入到一个螺线管控制的键致动器中时, 螺线管控制的键致动器 14 向上从螺线管中伸出活塞, 而内置速度传感器向伺服控制器 12 反馈一个反馈信号, 用来报告当前的活塞速度。

- 具体而言, 音乐数据代码被分成二类, 第一类音乐数据代码存储代表事件的音乐数据信息, 比如音符出现事件/音符终止事件、代表将被转动的黑/白键的键编码、转动速度、将产生的音调的音高等等。第二类音乐数据代码存储代表从事件发生的演奏开始所经历的时间的控制数据信息。

- 现在假设一个音乐数据代码表示相应的音符出现事件发生的时刻, 数据处理器 10 根据键编码确定要转动的黑/白键 1, 并确定黑/白键 1 的运动轨迹。数据处理器 10 通知运动控制器 11 开始转动的时间 t 和初始速度 V_r 等, 即座标 (t, V_r) 。运动控制器 11 确定在轨迹上的一系列座标, 并连续地向伺服控制器 12 提供目标速度。伺服控制器 12 确定驱动信号的大小, 并向相应的螺线管控制的键致动器提供驱动信号。通过该驱动信号, 螺线管产生磁场, 并

向上推出活塞。活塞推动相应的黑/白键 1 的后部。由活塞如此地推动的黑/白键 1 把断音装置 6 从琴弦 4 上分开,并使黑/白键 1 围绕平衡导轨 7a 转动。黑/白键 1 起动动作机构 3,并且音锤 2 通过摆脱动作机构 3 而被驱动作自由转动。音锤 2 击打琴弦 4,而琴弦 4 产生音调。因此,自动演奏子系统演奏一首音乐而无需在键上弹奏。

当用户选择电子音调生成器 13,数据处理器 10 以适当的时序向电子音调生成器传送音乐数据代码,而电子音调生成器 13 从音乐数据代码中产生一个模拟的音频信号。电子音调生成器 13 从一个适当的声源比如一个扬声器和/或耳机中辐射出与钢琴音调一致的电子音调。自动演奏子系统可以在螺线管控制的键致动器 14 和电子音调生成器 13 之间演出一种重奏。

音乐数据生成子系统包括一排音锤传感器 21、一个数据处理器 28 和一个音乐数据代码生成器 29。音锤传感器 21 分别监测各音锤组件 2,并产生代表音锤组件 2 在其运动轨迹中的当前物理参数的音锤信号。在这种情况下,音锤传感器 21 确定静止位置与当前音锤位置之间的一个夹角,并由此音锤信号描述相应的音锤组件 2 的角度或当前音锤位置。音锤信号被送到数据处理器 28 的一个数据输入端口,并通过一个适当的模-数转换器(未示出)转变为数字信号。数据处理器 28 定期地扫描数据输入端口,并在一个动态存储器(wording memory)(未示出)中存储所有的音锤组件的音锤数据。因此,数据处理器 28 以一定的时间间隔重复数据扫描和数据采集,以使关于每个黑/白键 1 的一系列的音锤数据被存储到动态存储器中。音乐数据代码生成器 29 分析代表音锤在其运动轨迹中运动的音锤数据。音乐数据代码生成器 29 确定具体的压下的黑/白键 1,并确定从演奏开始到每个事件的终止时刻。音乐数据代码生成器 29 根据角度的变化计算速度。因此,音乐数据代码生成器 29 根据音锤数据获得音乐数据信息,并把音乐数据信息存储在一组音乐数据代码中。音乐数据代码被存储到一个适当的信息存储介质中(未示出)。此外,音乐数据代码通过公众的或私有的通信网络被传送到另一个乐器或一个数据存储器。

音锤传感器

参看图 4,音锤传感器 21 与音锤组件 2 相关联地设置。音锤组件 2 在音锤柄 2a 的前端具有一个成形的毛毡(manner felt),并且音锤柄 2a 通过一个销 71 可转动地连结到一个音锤柄凸缘 2b 上。这个销为音锤柄 2a 提供了一个

转动的轴线，并且音锤柄 2a 被驱动绕着销 71 转动。

各音锤传感器 21 彼此相似。每个音锤传感器 21 包括一个光电滤光板 70、一个光电发射口 201a 和一个光电接收口 201b。滤光板 70 被通常制成一个弧形图案，并具有一个中心轴。滤光板 70 被以如下方式固定在音锤柄 2a 的一个侧表面上，即，音锤柄 2a 的转动轴与中心轴成一直线。在这种情况下，滤光板 70 通过一种双面涂层的压敏胶带粘着在音柄 2a 的侧表面。每个音锤传感器 21 的光电发射口 201a 与相邻的音锤传感器 21 的光接收口成为一体。相邻的音锤传感器的光电发射口 201a 和光电接收口 201b 与棱镜 75 组装，形成一个光电装置，并被指向相对的方向。因此，每个音锤传感器 21 的光电接收口 202b 与相邻的音锤传感器 21 的光电发射口 201a 成一体，并且光电接收口 202b、相邻音锤传感器 21 的光发射口 201a 和棱镜 75 与下一个光电装置结合形成。光电发射口 201a 的光路径与光电接收口 201b 的光路径成一条线。滤光板 70 与光电装置交替排列，并且光电装置排列成光发射/光电接收口 201a/201b 的光路径偏离滤光板 70 的中心轴。

滤光板 70 具有一个扇形部分 70r 和延伸部分 70s 和 70t。扇形部分 70r 的中心由一个圆 71a 表示，并且中心 71a 与销 71 成一直线。延伸部分 70s 从扇形部分 70r 的两个径向表面中的一个伸出，而另一个延伸部分 70s 从另一个径向表面伸出。延伸部分 70s 与另一个延伸部分 70t 在一个角 70u 处接合在一起。

滤光板 70 是用一种透明材料比如聚乙烯对酞酸盐制造的，而弧形图案 73 形成在滤光板 70 的主表面上。弧形图案 73 由若干个弧 73-1、73-2、... 和 73-m 组成，并且它们是不透明的。弧 73-1、73-2、... 和 73-m 围绕着扇形部分 70r 的中心共轴地排列的，并且在宽度上变化，弧 73-1、73-2、... 和 73-m 在最左端最宽，而在最右端最窄。其宽度逐渐地改变以便相邻的两个弧之间的透明间隙从最左端向最右端增大。于是，不透明部分对透明部分之比随着角度而改变。在这种情况下，不透明部分与透明部分之比是沿逆时针方向增加的。

图 6A 显示了固定在音锤柄 2a 上的滤光板 70。延伸部分 70s 的径向表面与音锤柄 2a 的下表面在一个平面上，而另一个延伸部分 70t 的径向表面与音锤柄 2a 的终止表面在一个平面上。角 70u 与下表面和终止表面相交的线 2a_r 对齐。滤光板 70 的中心线 71a 和销 71 的中心线相互重合，并且那些中心线都垂直于音锤柄 2a 的中心线。因此，滤光板 70 被设计成易于组装到音锤柄

2a 上。当音锤组件 2 处于静止位置，光电发射口 201a 的光路径 80s 如图 6A 所示的穿过弧形图案 73。附图标记“S”指在中心线 71a 和光路径 80s 的中心之间的一条虚拟线。

假设演奏者压下了相关的黑/白键 1。动作机构 3 引起音锤组件 2 转动，而音锤柄 2a 改变位置，从 2a 至 2a'，如图 6A 所示。2a 至 2a' 之间的夹角用 θ 表示。光电发射口 201a 和光电接收口 201b 之间的光路径在 80s' 处穿过滤光板 70。80s 和 80s' 之间的夹角等于 2a 和 2a' 之间的夹角，且也用 θ 表示。

如上所述，不透明部分与透明部分之比沿逆时针方向增加。这意味着在光电接收口 201b 光的强度是沿逆时针方向减小。换言之，在音锤柄 2a 从静止位置转动到击打点的过程中，在光电接收口 201b 处的光强度是逐渐地减小的。单位角度的衰减量任意设计。由于这个原因，角度 θ 可以通过计算不同光强度加以确定。

光电接收口 201b 与一个光电检测元件相连，比如一个光电二极管，并且光电检测元件通过一个合适的转换器，连接到一个信号输出端口上。光电检测元件把光能转变为光电流，而光电流的大小是与光的强度成比例。转换器有效地把光电流转换为一个直流电压，并且直流电压与光电流的大小成反比。由于这个原因，光电检测元件的输出电压反比于光强度而线性增加，如图 2B 中的曲线 PL2 所示。因此，音锤传感器 21 表现出线性的光强度相对电压的特性，并且由此非线性原因带来的误差是不会进入到音锤信号中。

光电装置与滤光板 70 交错排列，并且光电装置包括光电发射口 201a、光电接收口 201b 和一个棱镜 75，如图 7 和 8 所示。光电发射口 201a 和光电接收口 201b 上分别装有凸透镜。棱镜 75 是由透明的合成树脂制成的，比如丙烯酸脂，并且在一对彼此平行的平面之间具有一个刻槽。光电发射口 201a 被固定在这对平面中的一个上，而光电接收口 201b 被固定在另一个平面上。刻槽由倾斜表面所限定，并且光束分别地在倾斜表面所反射，以便改变光路径，如箭头所示。棱镜 75 是由一对定位槽 203 和一个小孔构成，对其将在下文中说明。

光电装置被连接到一个组合光电元件 201 上，这个组合光电元件具有一个光电发射元件和一个光电检测元件，而光纤 100 在组合光电元件 201 和光电装置之间传输光线。光纤 100 被插入到小孔中，并且光纤 100 的前端到达小孔的底面。组合光电元件 202 交替地发出光并把光信号转换成音锤信号，

象一种时分模式。在这种情况下，组合光电元件 202 随之从最右端的元件 202 向最左端的元件 202 发射光，如图 7 所示，光束分别在左侧入射到组合光电元件上。

如上所述，光电装置的光电发射口 201a 与相邻的光电装置的光电接收口 201b 是成对的，而在它们之间建立通过滤光板 70 的光路径。现在假设一束光在分配给光 - 电流转换的一个时隙内，入射到如图 8 所示的光电装置的光电接收口 201b 或凸透镜，入射光被右侧的倾斜面反射，反射光被会聚到光纤 100 的末端 100a。光线通过光纤 100 被传输到组合光电元件 202。组合光电元件 202 中的光检测元件把光线转换为光电流，并且适当的转换器从光电流中产生音锤信号。

在下一个分配给光电发射的时隙中，组合光电元件 202 中的光电发射元件发射光线，光线通过光纤 100 的另一个末端 100b 传播。光线被从末端 100a 发射到棱镜 75。光线继续向倾斜面前进，并在其上被反射。光线分成二个光束，并且这些光束指向光电发射口 201a 和光电接收口 201b。平行的光线被从光电发射口 201a 或凸透镜发射到相邻的光电装置。

光电装置与一个光屏蔽罩 97 集成在一起。光屏蔽罩 97 是用不透明的合成树脂制成的。光屏蔽罩 97 可能被染成黑色。在光屏蔽罩 97 内形成一个中空的空间，并且在光屏蔽罩 97 的侧壁上形成有通孔 98a/98b。矩形孔 98c 也被形成在光屏蔽罩 97 的侧壁上，而另一个矩形孔 98d 被形成在光屏蔽罩 97 的前壁上。一个狭缝(未示出)被形成在光屏蔽罩 97 的后壁上。光电装置紧贴地安置到中空的空间中，而光屏蔽罩 97 遮挡棱镜 75 上表面使其不受干扰光的影响，定位凹槽 203 被暴露，因为棱镜 75 的下表面没有被光屏蔽罩 97 覆盖。图 10 所示是光屏蔽罩 97 被从光电装置上移开的情况。

当光电装置与光屏蔽罩 97 组装时，光纤 100 通过狭缝，并且通孔 98a/98b 分别对准光电发射口 201a 和光电接收口 201b。由于这个原因，从光电发射口 201a 发射出来的光束通过通孔 98a 射向滤光板 70，而入射光束通过另一个通孔 98b 到达光电接收口 201b。

一个底板 90 和一个顶板 95 组成一个传感器托架。与光屏蔽罩 97 组装在一起的光电装置被安装在底板 90 上(见图 10)。底板 90 由不透明材料制造，比如一个铝板、一个铁板或一个黑色合成树脂板制成。底板 90 具有一个平面部分 90a 和一个凸起部分 90b。凸起部分 90b 具有倒 U 字形状。狭缝 91 以一

定间隔形成在底板 90 上, 并且每个狭缝 91 从平面部分 90a 延伸到凸起部分 90b。狭缝 91 分别地被分配给滤光板 70。当底板 90 通过传感器支架 99 固定到锤柄凸缘导轨 8 上(见图 11), 滤光板 70 被设置到狭缝 91 中, 并且可以不受任何阻碍地运动。调节孔 93 也被设置在凸起部分 90b 上, 并且重复调整螺

5 丝被露出在调节孔 93 中。

多对定位凸片 92 被设置在平面部分 90a 上, 并且紧贴地容纳在多对定位凹槽 203 中。当一个工人向底板 90 上安装光电装置时, 工人只需把每对定位凹槽 203 对准每对定位凸片 92, 并推动光电装置。然后, 每对定位凸片 92 被每对定位凹槽 203 紧贴地接收, 而棱镜 75 的下表面与平面部分 90a 的上表面

10 相接触。棱镜 75 的倾斜面与凸起部分 90b 的垂直壁相对。从而, 平面部分 90a 和垂直壁保护了棱镜 75 的倾斜面不受那些不期望的光线的干扰。当光电装置被安装到平面部分 90a 上时, 光路径在狭缝 91 上垂直延伸。

安装在底板 90 上的光电装置被顶板 95 所覆盖。顶板 95 象底板 90 一样, 是由不透明的材料制成的。顶板 95 具有两个从其剩余部分向下弯曲的端部

15 95a/95b。平面部分 90a 相对水平面 B 成 α 夹角的方向从凸起部分 90b 向后延伸, 并且其后端部向上弯曲。当顶板 95 落在底板 90 上时, 前端部分 95a 与凸起部分 90b 的上表面相接触, 而后端部分 95b 与平面部分 90a 的后端部相接触。顶板 95 通过一种适当的固定方法被固定在底板 90 上。因此, 组装了光屏蔽罩 97 的光电装置被容纳在底板 90 与顶板 95 之间的空间中。

20 在顶板 95 上以一定的间隔设有调节孔 96。当顶板 95 被固定到底板 90 上时, 调节孔 96 分别对准调节孔 93。调节孔 93 和 96 允许一个工具接近重复调节螺丝 304(见图 12)而不需要从传感器支架 99 上拆开顶板 95 和底板 90。

由上文的说明可知, 传感器托架 90/95 和光屏蔽罩 97 保护光电装置不受环境光的干扰, 从而噪声不会进入到音锤信号中。而且, 成对的定位凹槽 203

25 和成对的定位凸片 92 使装配工作更容易, 并且使光电发射口 201a 对准相应的光电接收口 201b。因此, 从这些观点看使用传感器托架 90/95 是更优选的。

下面的描述说明音锤传感器 21 是如何与音锤组件 2 相关联地安装。图 11 和 12 显示了由锤柄凸缘导轨 8 支撑的传感器托架 90/95。琴弦 4 被分成 4 或 5 组。传感器支架 99 被连结到锤柄凸缘导轨 8 上, 并且向后伸入到琴弦组之间的间隙之下、音锤组件的缺口中。传感器托架 90/95 被连接到传感器支架

30 99 的后端部。

首先,参考图 13 对传感器支架 99 进行详细说明。传感器支架 99 被分为两个部分 99a 和 99b。前端部分 99a 在剖面上是一个倒 U 字形形状,而后端部分在剖面上为倒 L 字形形状。前端部分 99a 是与后端部分 99b 分开一定距离的,并且后端部分 99b 相对于前端部分 99a 向上弯曲。一个通孔 302 形成在前端部分 99a 上,并允许一个螺钉 302a 向下插入其中。另一方面,两个通孔被形在后端部分 99b 上,并允许二个螺钉 300a 分别地向上插入其中。一对切口 99d 被设置在前端部分 99a 的垂直壁上,并与前部端表面分隔一定距离,这一距离等于锤柄凸缘导轨 8 的垂直面 8c 和一个插在锤柄凸缘导轨的一个凹槽中的导引索 9 之间的距离(见图 12)。

- 10 导引索 9 被用作精确地将音锤组件 2 定位在锤柄凸缘导轨 8 上。音锤柄 2a 可转动地连接在音锤柄凸缘 2c 上,并且切口 2d 被设置在音锤柄凸缘 2c 上。锤柄凸缘导轨 8 形成有一台阶,而垂直面 8c 与凹槽分隔开并由此与导引索分隔一个预定的距离。音锤柄凸缘 2c 的端面和切口 2d 之间的距离并调节为预定的距离。当一个工人把音锤组件 2 固定到锤柄凸缘导轨 8 上时,工人把切口 2d 对准导引索 9,并且通过螺钉把音锤柄凸缘 2c 固定到锤柄凸缘导轨 8 上。因此,导引索 9 为精确地在锤柄凸缘导轨 8 上定位音锤组件 2 的目的而设置。

- 20 传感器托架 90/95 被如下地安装到大三角钢琴中,如下所述,滤光板 70 固定到音锤柄 2a 的侧面。传感器支架 99 通过螺钉 300a 固定到底板 90 上。然后,传感器支架 99 被移入音锤组件 2 中的间隙中,并且其前端面与垂直面 8c 接触。切口 99d 与导引索啮合在一起。当传感器支架 99 被精确地定位在锤柄凸缘导轨 8 上时,滤光板 70 被设置到槽 91 中,并在其中可无阻碍地运动。因此,传感器支架 99 被容易地定位到锤柄凸缘导轨 8 上,并使滤光板 70 对准底板 90 上的狭缝 91。螺钉 302a 被插入通孔 302 中,并被拧入锤柄凸缘导轨 8 上,如图 11 和 12 所示。

- 25 光屏蔽罩 97 被固定到光电装置上,并且通过定位凹槽 203 和定位凸片 92 而将光电装置被精确地定位在预定位置。光电装置可以在传感器支架 99 被固定到锤柄凸缘导轨 8 之前被安放在底板 90 上。最后,在底板 90 上的光电装置被顶板 95 所覆盖,而顶板 95 通过适当的方式被固定在底板 90 上。

- 30 如此,切口 99d、垂直面 8c 和导引索 9 使底板 90 固定在音柄 2a 上的适合的位置处,并且滤光板 70 被设置在狭缝 91 的适当位置。定位凹槽 203 和定位凸片 92 使光电装置被适当地相对于滤光板 70 定位。因此,制造者通过

使用传感器托架 90/95 和传感器支架 99 而轻易把音锤传感器安装到大三角钢琴中。

自动演奏钢琴的工作情况

一个演奏者通过自动演奏钢琴产生代表一次演奏的音乐数据代码，并指令自动演奏钢琴演奏一段音乐而无需在键做任何的弹奏。这样，自动演奏钢琴选择性处于一种音乐数据代码生成模式和一种自动演奏模式。在音乐数据代码生成模式中，音乐数据代码被写入一个适当的信息存储设置中，比如一个半导体存储器、一个磁盘或一个光盘中。要不然，音乐数据代码通过一个公共或私有的通信线路被传送到一个数据存储设备或另一个乐器上。另一方面，一组音乐数据代码通过公共/私有通信线路被送到自动演奏钢琴或者从信息存储装置中读出，并且钢琴的音调和/或电子音调基于这组音乐数据代码而产生的。

假设演奏者选择音乐数据生成模式。音乐数据代码生成子系统被启动，当演奏者弹奏一段乐曲时，他或她假设压下白键 1，如图 3 所示，然后释放它。

当演奏者在白键 1 的前部施加一个力时，其前部向其终止位置下沉，并且被压下的白键 1 导致断音装置 6 和动作机构 3 启动。断音装置 6 离开琴弦 4，而琴弦 4 准备振动。动作机构 3 推动音锤柄 2a，而音锤柄 2a 开始转动。当支撑柱接触到调节钮时，支撑柱旋转，并且音锤组件 2 从支撑柱中脱离出来。音锤组件被驱动而自由转动，并且击打琴弦 4。琴弦 4 振动，并产生一种钢琴音调。在琴弦上，音锤组件 2 被琴弦 4 弹回，并且向相反方向转动。音锤组件 2 被回程制动器 3a 捕获，并且回程制动器 3a 保持音锤组件 2。当演奏者释放被压下的白键 1 时，白键 1 返回到静止位置，而回程制动器 3a 倒下。因此，音锤组件 2 返回静止位置。在返回静止位置的过程中，断音装置 6 被再次接触到琴弦 3 上，并且断音装置 6 吸收了弦的振动。然后，钢琴音调消失。音锤组件 2 到达静止位置，此后，白键 1 到达静止位置。音锤的运动如图 14 所示。

为了重放钢琴音调，要求获得代表下列时刻的时钟数据。

1. 白键 1 开始向下运动的时刻 T10，
2. 音锤组件 2 开始转动的时刻 T1，
3. 音锤组件 2 击打琴弦 4 的时刻 T2，
4. 回程制动器 3a 捕获音锤组件 2 的时刻 T3，

5. 回程制动器 3a 开始返回静止位置的时刻 T_4 ,
6. 断音装置 6 接触到琴弦 4 的时刻 T_D ,
7. 音锤组件 2 返回到静止位置的时刻 T_5 , 以及
8. 白键 1 返回到静止位置的时刻 T_{11} .

5 音乐数据生成器 29 确定:

9. 音锤击打前瞬间的音锤速度 V_1 和音锤击打后的瞬间速度 V_2 , 及
10. 音锤从回程制动器 3a 释放后的瞬间速度 V_3 .

音乐数据代码生成器 29 需要代表向琴弦 4 运动过程中的时刻 T_{s1} 和时刻 T_{s2} 的时钟数据和代表 D_1 部分长度的数据信息, 以用来计算音锤速度 V_1 。同样地, 音乐数据代码生成器 29 需要代表静止位置运动过程中的时刻 T_{s3} 和 T_{s4} 的时钟数据和代表 D_2 部分的长度的数据信息, 以用来计算音锤速度 V_2 。然而, 音锤速度 V_2 可能是不需要的。音乐数据代码生成器 29 也需要代表时刻 T_{s5} 和时刻 T_{s6} 的时钟数据和代表距离 d_3 和部分 D_3 长度的数据信息。

详细地说, 与白键 1 结合在一起的音锤传感器 21 通过光束一直监测音锤组件 2。当音锤组件 2 保持在静止位置时, 光束 80S 通过弧形图案 73 (见图 6A), 并且入射到光电接收口 201b 的光量不变。光量处于最大值, 而音锤信号的电平是最小的。当音锤组件 2 开始转动, 滤光板 70 的转动引起入射到光电接收口 201b 的光束强度的减少, 音锤信号电平增加。由于数据处理器 28 定期地检验数据输入端, 看看任何音锤传感器 21 是否改变音锤信号的电平, 音乐数据代码生成器 29 容易地确定时刻 T_1 。

白键 1 在时刻 T_1 之前运动。 D_{11} 表示虚线部分的长度, 并且音乐数据代码生成器 29 把虚线部分 D_{11} 的长度除以音锤速度 V_1 , 所得的商数等于键开始运动和音锤开始运动之间的时间间隔。然后, 音乐数据代码生成器 29 把时钟向回拨等于商数的时间, 而确定时刻 T_{10} 。音乐数据生成器 29 可以存储一组关于虚线部分 D_{11} 的长度的值以便选取适合的值去除音锤速度 V_1 。

当重放钢琴音调时, 螺线管控制的键致动器 14 在与时刻 T_{10} 相应的时刻处, 开始推动白键的后部。换言之, 伺服控制器 12 在时刻 T_{10} 时向螺线管控制的键致动器 14 提供驱动信号。音乐数据代码生成器 29 在时刻 T_{10} 确定键的起始, 并把它存储到一个音乐数据代码中。

在时刻 T_1 之后, 音锤组件 2 向琴弦 4 转动, 并且光束 80s 沿逆时针方向在弧形图案 73 上运动 (见图 6A 和 6B)。入射到光电接收口 201b 的光量逐渐减

小，并由此音锤信号的大小增加。数据处理器 28 定期地检验数据输入端，看看音锤信号的大小是否仍在增加。当音锤组件 2 击打琴弦 4 时，音锤组件 2 从其上弹回，并向回转动。由于这个原因，光束沿顺时针方向在弧形图案 73 上运动，而入射到光电接收口 201b 上的光量是增加的。由此，音锤信号的大小减少。则结论变为否定的，从而音乐数据代码生成器 29 确定了转折点的时刻 T2。音乐数据代码生成器 29 确定在时刻 T2 是音调起始事件，并将其存储在音乐数据代码中。在回放时，电子音调生成器 13 在对应于 T2 的时刻产生电子音调，而数据处理器 10 根据时间 T10 和时间 T2 确定轨迹(t, Vr)。

在已有技术的自动演奏钢琴中，音乐数据代码生成器根据键传感器报告的时间 T10 来判断音调起始时刻 T2，而这样判断的时刻 T2 有可能与实际的音调起始定时有偏差。另一方面，音乐数据代码生成器 29 直接根据音锤传感器 21 报告的音锤运动来确定音调起始情况。由此这个原因，在根据本发明的自动演奏钢琴中产生的音乐数据代码精确地描述了原来的演奏。

此外，在时刻 T2 时，转折点是音锤组件 2 的轨迹的实际终止位置，而在终止位置的光量是实际测量的。T1 时刻的位置是实际的静止位置，而在静止位置的光量是容易确定的。即使滤光板 70 由于例如是由于污染而改变了透光率，组合光电元件 202 由于诸如象老化和/或光纤 100 改变了光传播性质而改变了光发射特性，音乐数据代码生成子系统容易地根据在终止/静止位置光的大小的测量值校准电平与角度/音锤位置之间的关系。

音乐数据代码生成器 29 以如下方法计算音锤速度 V1。虚线部分 D1 和 D1 部分的远端点与琴弦之间的差值 d1 被存储到音乐数据代码生成器 29 中。虚线部分 D1 的长度和差值 d1 比如分别是 5 毫米和 0.5 毫米。音乐数据代码生成器 29 计算 D1 部分所有的端点，并由此通过比较在端点的音锤信号的实际值与音锤信号的期望值而确定时间 Ts1 和 Ts2。然后，音锤速度 V1 由下式得出：

$$V1=D1/(Ts2-Ts1)$$

在需要音锤速度 V2 的情况下，音乐数据代码生成器 29 同样地根据 D2 部分的长度计算它，其中 D2 部分与转折点相距 d2，并且时刻 Ts3/Ts4 是在 D2 部分的两个端点。因此，音乐数据代码生成器 29 根据实际测量的时间 T2 确定 D1/D2 部的各端点的时间 Ts1/Ts2 和 Ts3/Ts4。由于这个原因，即使琴弦出现扭曲和/或音锤传感器 21 偶然地出现运动，音乐数据代码生成器 29 精确地

确定音锤的速度。钢琴音调的音量是与音锤的速度 $V1$ 成正比的。此外，弧形图案 73 被设计成使音锤信号的电平是线性变化的，由于这个原因，音乐数据代码生成器 29 精确地确定钢琴音调的音量。音量或速度被存储至音乐数据代码中。

- 5 音锤组件 2 在向静止位置返回的过程中于时刻 $T3$ 时被回程制动器 3a 捕获，并在从时刻 $T3$ 至时刻 $T4$ 期间，静止在回程制动器 3a 上。由于音锤组件在回程制动器 3a 上是不移动的，音锤信号保护电平不变。音乐数据代码生成器 29 检查存储器，看看音锤信号是否在一定的时间周期内没有改变电平。如果结果是肯定的，音乐数据代码生成器 29 确定在时刻 $T3$ ，音锤组件 2 被回程
10 制动器 3a 所捕获。

音乐数据代码生成器 29 还检验存储器，看看音锤组件 2 是否重新开始向回转动。当音乐数据代码生成器 29 发现音锤组件 2 开始向回转动时，音乐数据代码生成器 29 确定时刻 $T4$ 。

- 在确定时刻 $T4$ 以后，音乐数据代码生成器 29 确定时刻 $Ts5$ 和 $Ts6$ 。距离
15 $d3$ 和部分 $D3$ 的长度是已知的，音乐数据代码生成器 29 用与确定时刻 $Ts1$ 和时刻 $Ts2$ 同样的方法确定时刻 $Ts5$ 和 $Ts6$ 。然后，音乐数据代码生成器 29 把部分 $D3$ 的长度除以时间 $Ts5$ 和时间 $Ts6$ 之间的时间段，而确定音锤速度 $V3$ 。

- 当演奏者释放白键 1 时，白键 1 开始返回静止位置，并允许断音装置落下。断音装置 6 在时刻 TD 与琴弦 4 相接触，并吸收琴弦 4 的振动。在这种情况下，部分 $D3$ 的长度被调整为覆盖断音装置 6 下落的距离。当音锤组件 2 到达 $D3$ 部分的远端位置时，音乐数据代码生成器 29 假设断音装置 6 接触到琴
20 弦 4，并判定时间 TD 等于时间 $Ts6$ 。音乐数据代码生成器 29 确定音调消失状态出现在时间 TD ，并把其存储到音乐数据代码中。

- 在一个实际的演奏中，一个演奏者灵敏地控制释放键 1 的速度，以表达
25 他或她的情感。当演奏者让黑/白键慢慢地返回时，断音装置 6 也是慢慢地下落，而琴弦 4 的振动被延长。详细地说，假设一个琴弦 4 产生一个低频音调。如果演奏者慢慢地释放黑/白键 1，振动的琴弦 4 在断音装置 6 达到琴弦 4 之前就开始接触到断音装置 6。当演奏者保持黑/白键 1 并由此保持了断音装置 6 时，振动被继续，但是振幅逐渐减小。因此，演奏者能够通过返回静止位置的过程中保持黑/白键而延长音调。在这种情况下，时间 TD 根据音锤速度
30 $V3$ 而改变。部分 $D3$ 的长度可能根据音键速度 $V3$ 而改变，以便使得钢琴音调

的衰减时刻与实际演奏的音调衰减完全相同。

释放之后，白键 1 向静止位置返回，并在时刻 T5 达到静止位置。白键 1 在静止位置处停止运动，而音锤信号维持电平不变。音乐数据代码生成器 29 检验存储器看看音锤信号电平是否在一个确定的时间保持不变。如果答案是肯定的，音乐数据代码生成器 29 判定白键 1 在时间 T5 到达静止位置。

最后，音乐数据代码生成器 29 判断时间 T11。音乐数据代码生成器 29 具有一组 D12 部分的值，并根据音锤速度 V3 选择其中的一个值。音乐数据代码生成器 29 根据部分 D12 的长度、音锤速度 V3 和时刻 T5 计算时间 T11。音乐数据代码生成器 29 判定键运动结束事件发生在时刻 T11，并将它存储在音乐数据代码中。

在一个演奏者简单地把黑/白键 1 的前部从静止位置压下到终止位置，并然后释放它的过程中，音锤组件 2 沿图 14 所示的曲线运动。在演奏中演奏者仅仅简单地从静止位置到终止位置压下所有的黑/白键是很少见。在一个实际的演奏中，演奏者在到达静止位置前释放一些键，并按压下其他的键。如果演奏者重复一个键 15 次/秒或更多，音锤趋于偏离图 14 所示曲线，这是因为一个间隙瞬时出现在振动底脚和驱动轴螺钉之间。如果演奏者以不规则的时间间隔重复地按下键，再现音锤的运动是困难。由于这个原因。音乐数据代码生成器 29 修改音乐数据信息以便使再现音锤运动成为可能。在根据立式钢琴制作自动演奏钢琴的情况下，如果演奏者重复一个键 7 次/秒或更多，做出修正量是必要的。然而，电子音调生成器 13 对代表高速重复的音乐数据代码是敏感的。音乐数据代码生成器 29 并不修正音乐数据信息，并产生代表实际音乐数据信息的音乐数据代码。

如上所述，根据本发明的音锤传感器 21 在整个运动轨迹上监测相应的音锤组件 2，并向数据处理器 28 提供代表轨迹中代表音锤当前位置的音锤信号。音乐数据代码生成器 29 从时钟数据中选取音乐数据信息，并确定时刻 T1-T5 和速度，用来存储音乐数据代码。因此，音乐数据代码生成器 29 精确地确定键运动起始事件、音调起始事件、音调终止事件和键运动停止事件和产生的音调的音量。

特别地，弧形图案 73 被任意地确定的。这意味着制造者可以设计音锤位置与入射到光电接收口的光量之间的关系。当制造者将其关系设计为线性时。数据处理器 28 通过应用线性关系确定音锤的实际位置，而任何近似都是不需

要的。因此，任何误差分量都不会进入到时钟数据中，而最初的演奏情况从音乐数据代码中被如实地再现出来。

滤光板 70 通过固定地安装在几乎垂直于音锤组件 2 的转动平面的虚拟线上的光电装置可以探测到物理参数的变化。滤光板 70 和光电装置的距离是不变的。由于这个原因，可以在一个狭窄的空间中容纳光电装置。实际上，音锤传感器 21 被光屏蔽罩 97 所覆盖，并且被放在一个传感器托架 90/95 中。光屏蔽罩 97 和传感器托架 90/95 保护光电装置不受环境光的影响。这意味着音锤传感器 21 不受噪声分量的影响。这使得任何噪声分量都不能进入到时钟数据中。

10 音乐数据生成子系统还可以包括一排键传感器，这些键传感器在附图 3 以附图标记 21a 标识。在这种情况下，键传感器 21a 检测键运动结束事件，并且根据键传感器 21a 向数据处理器 28 传送的信号确定演奏者释放键的时刻。键传感器阵列 21a 可以与音锤传感器阵列 21 并行工作。在这种情况下，如果音锤传感器不能检测到音调起始事件。音乐数据代码生成器 29 则根据由
15 键传感器提供的信号决定击打琴弦 4 的时间。

第二实施例

参见图 15，是一个根据立式钢琴制作的体现本发明的一个练习使用的键。黑/白键 40 和动作机构 41 是与那些立式钢琴是同样的，而音锤组件和琴弦被哑音锤 43 和一个振动吸收器 44 所代替。当一个受训者在黑/白键 41 上弹奏
20 一个音调时，动作机构 42 被起动。并且哑音锤 43 被驱动而转动。哑音锤 43 在振动吸收器 44 上弹回，而任何音调都没有产生。

练习使用的键还包括一个电子音调生成系统。电子音调生成系统包括一排音锤传感器 45、一个控制器 46 和一个声音系统 47。音锤传感器 45 与音锤传感器 21 一样，并且分别监测哑音键 43。音锤传感器 45 产生代表哑音锤在
25 运动轨迹中的当前位置的音锤位置信号，并把音锤信号送到控制器 46。控制器 46 和声音系统 47 对应于数据处理器 28、音乐数据代码生成器和电子音调生成器 13。控制器 46 产生音乐数据代码，而一个从音乐数据代码中产生的音频信号被送到声音系统 47，用来生成电子音调。

音锤传感器 45 具有比音锤柄的角度范围更宽的可检测范围，以便控制器
30 46 产生的音乐数据的代码精确地代表音锤的运动。该键体现了自动演奏钢琴的另一个优点。

第三实施例

图 16 示出一个体现了本发明的静音钢琴。静音钢琴是一个介于一个声学钢琴和一个电子音调生成器系统之间的中间产物，并且一个音锤制动器 51 被安装到音锤组件 2 阵列上。声学钢琴的组成部分以自动演奏钢琴中相应部分的附图标记加以标识，并且电子音调生成系统包括音锤传感器 21、数据处理器 28、音乐数据代码生成器 29 和电子音调生成器 13。这些系统部件 21、28、29 和 13 的工作过程与那些在音乐数据代码生成子系统中的相应部分是一样的。由于这个原因，在下文中没有对声学钢琴和电子音调生成系统更进一步的描述。

- 10 音锤制动器 51 横向在音锤柄上延伸，并且在一个自由位置和一个阻挡位置之间可转动，当音锤制动器 51 处于自由位置时，如图 16 所示，音锤组件 2 被允许击打相应的琴弦 4，而振动的琴弦 4 产生钢琴音调。当一个使用者把音锤制动器 51 改变到阻挡位置时，音锤制动器顺时针方向转动 90 度，并被移动到音锤柄的运动轨迹中。当使用者按下黑/白键 1 时，动作机构 3 被起动，
- 15 并驱动相应的音锤组件 2，以通过摆脱动作机构而转动。然而，音锤柄在击打琴弦 4 之前在音锤制动器 51 上弹回。由于这个原因，任何钢琴音调都没有产生。音锤传感器 21 监测相应的音锤组件 2，并且向数据处理器 28 提供音锤信号。数据处理器 28 把位置数据存储在存储器中，并且音乐数据代码生成器 29 生成代表音乐数据信息的音乐数据代码。电子音调生成器 13 接收到音乐数据
- 20 代码，并从音乐数据代码中产生音频信号。音频信号被送到一个耳机(未示出)，以用于把音频信号转换成电子音调。

静音钢琴实现了自动演奏钢琴的全部优点。

- 在第一到第三实施例中，光电发射口 201a、光纤 100 和组合光电元件 202 作为整体而构成光电发射元件，而光电接收口 201b、光纤 100 和组合光电元件 202 作为整体而构成光电接收元件，滤光板 70 由弧形图案 73 构成，作为一个转换器。锤柄凸缘导轨 8 与一个部分相对应。
- 25

虽然本发明特定的实施例已经被展示和描述，对于本领域技术人员，显而易见，在不离开本发明的精神和范围的情况可以进行各种各样的变化和改进。

- 30 物理参数可以是音锤速度或加速度。

滤光板可以由具有一个带狭缝图案的不透明材料构成。不透明材料是铝，

并且多个弧形狭缝形成狭缝图案。狭缝图案可以通过一种蚀刻来形成。否则，狭缝图案可以通过一种冲压来形成。滤光板可以通过一对偏振板来实现。

在时间 T_1 和时间 T_{10} 之间的一个时间段中音乐数据代码生成器 29 可能存储负的值。在这种情况下，音乐数据代码生成器 29 根据音锤速度 V_1 选择一个负的值，并把它与时刻 T_1 相加。

音乐数据代码生成器 29 可以存储一组关于一个时间段 Δt (见图 14) 的值，以便直接地根据音锤速度 V_1/V_3 判断时间 T_{10} /时间 T_{11} 。

任何图案都能够用作滤光板的图案，只要该图案根据音锤位置改变光量即可。点状图案、方格状图案和格栅图案都是可采用的图案的例子。

10 音锤位置和光量之间的关系可以是非线性的。在上述的实施例中，透射的光是被入射到光电接收口。然而，反射的光可以被入射到光电接收口。

光电装置可以交替连结到光电发射元件 204 和光检测元件 206 上，如图 17 所示。

15 成对的光发射/光检测元件可以被设置在与光电发射口 201a 和光电接收口 201b 成一直线的位置上。

音锤传感器 21/45 可以检测相应的音锤组件在其运动轨迹中的任何位置。

不只一个物理参数，比如音锤位置，音锤速度和音锤加速度也可以被检测和/或计算以用来分析音锤的运动。音锤速度可以在不只一个区间上被计算。在这种情况下，音锤速度的值被求平均以便从定时数据中消除测量误差。

20 当然，位置数据可以被分析用作其他的时钟数据。某些时钟数据在产生音乐数据代码中可以被忽略。换言之，即使音锤传感器的探测范围大于音锤组件的角度变化范围，音锤传感器在预先确定的区段内监测相应的音锤组件以产生音锤信号。

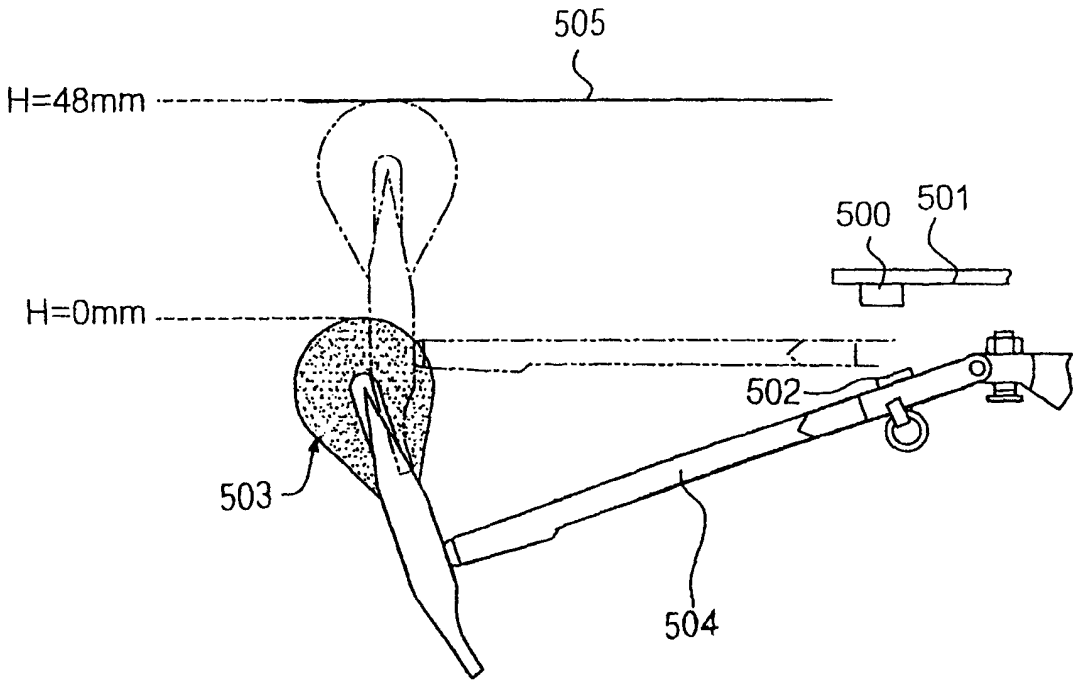


图 1

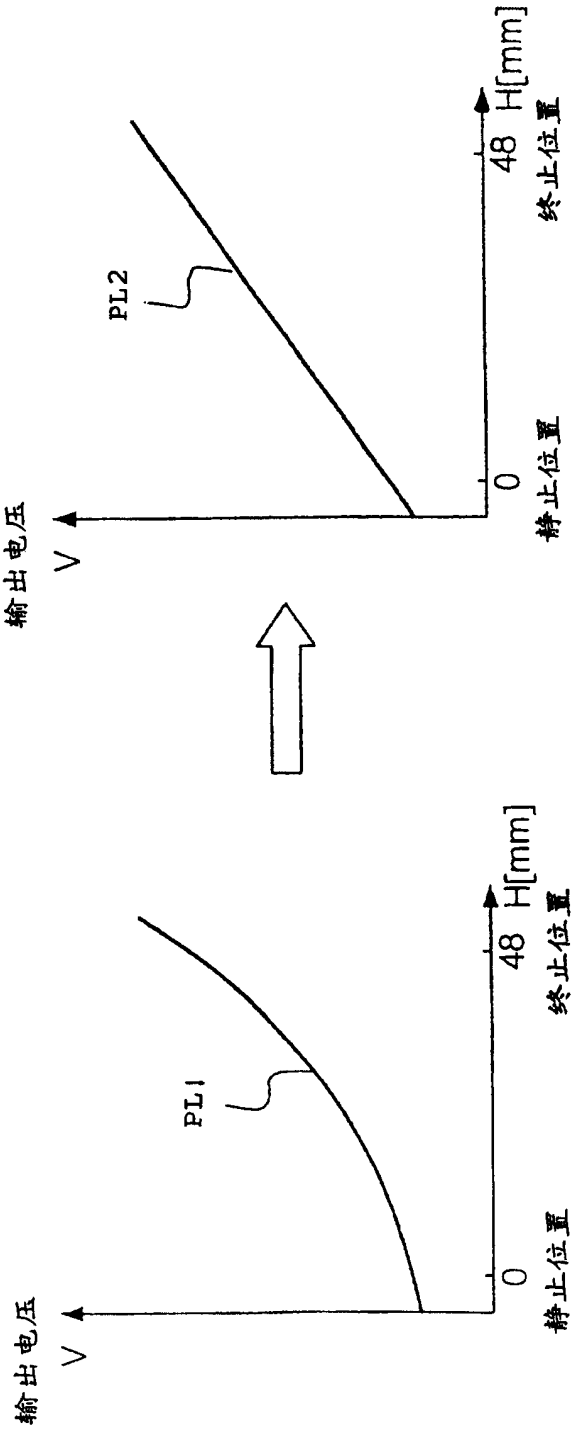


图 2A

图 2B

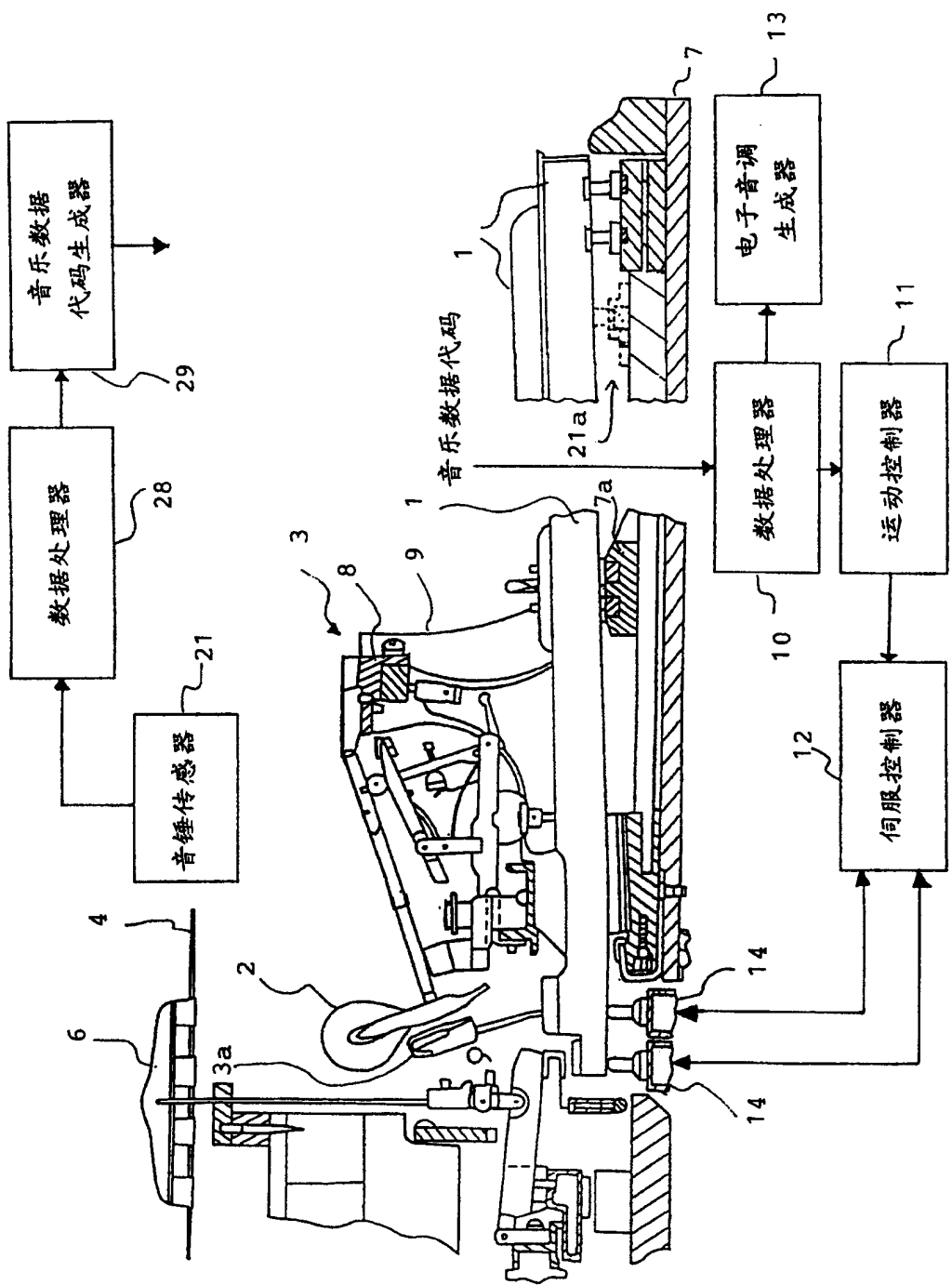
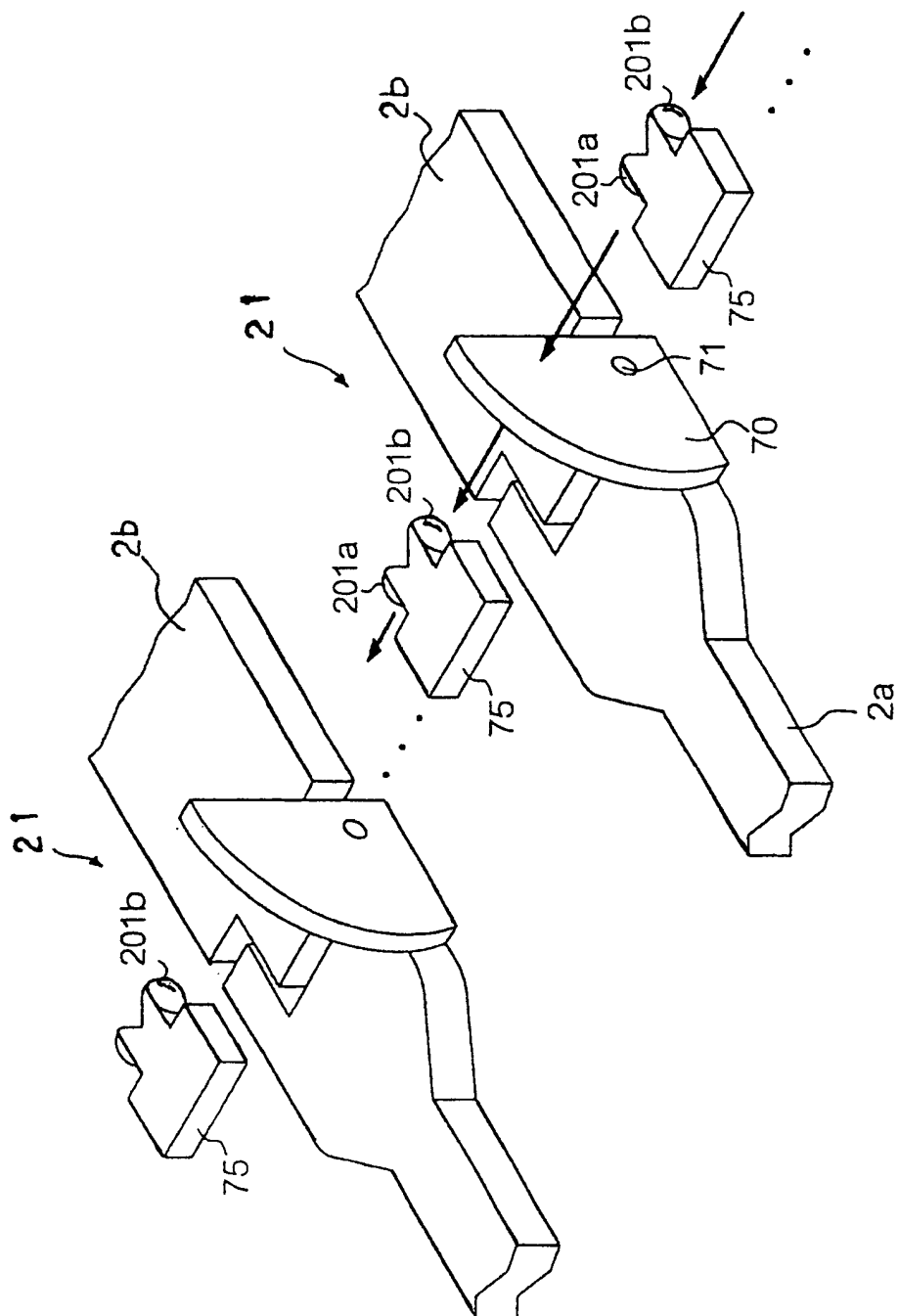


图 3

4

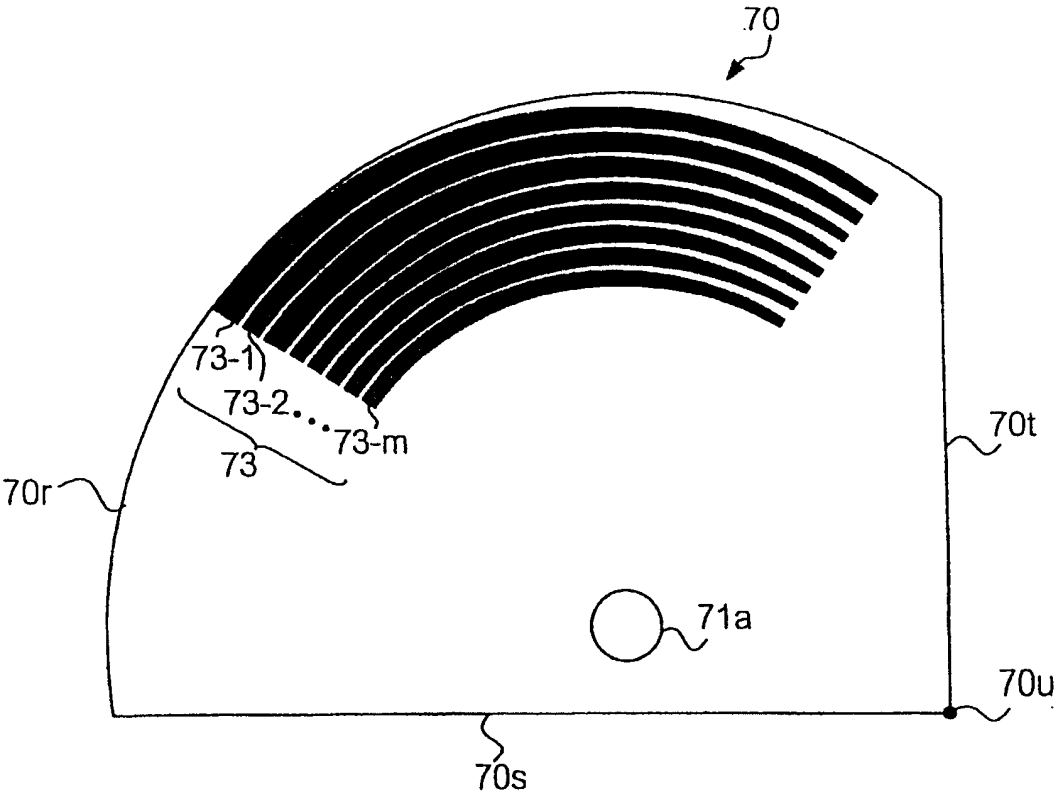



图 5

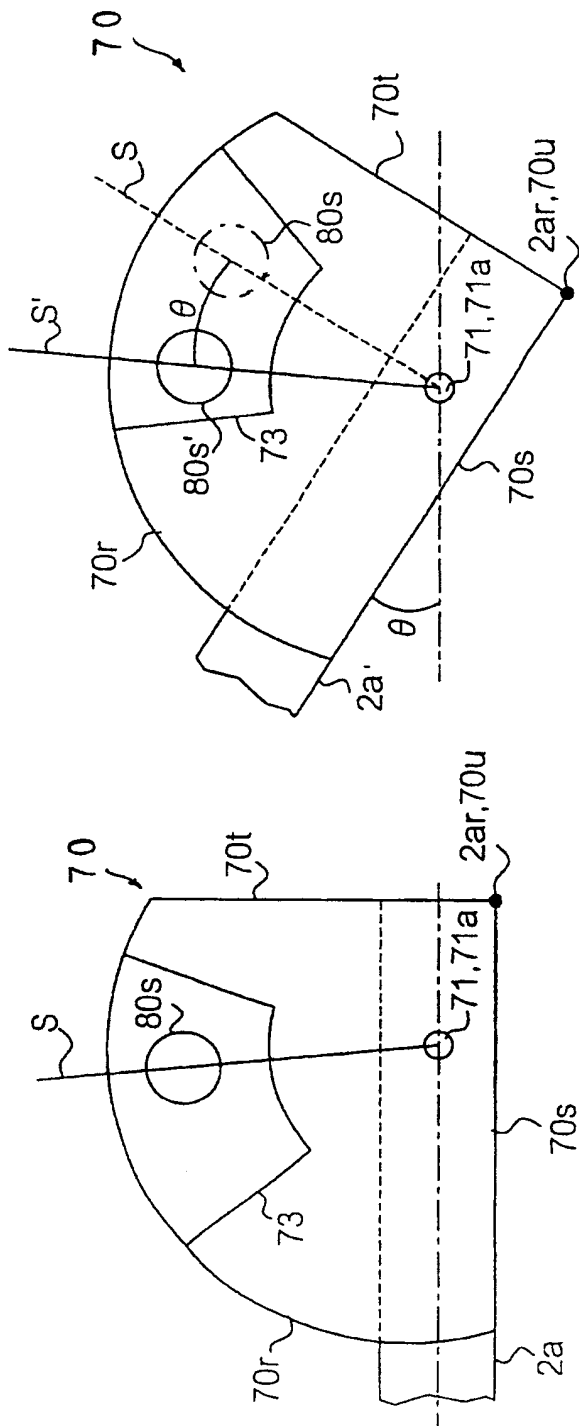
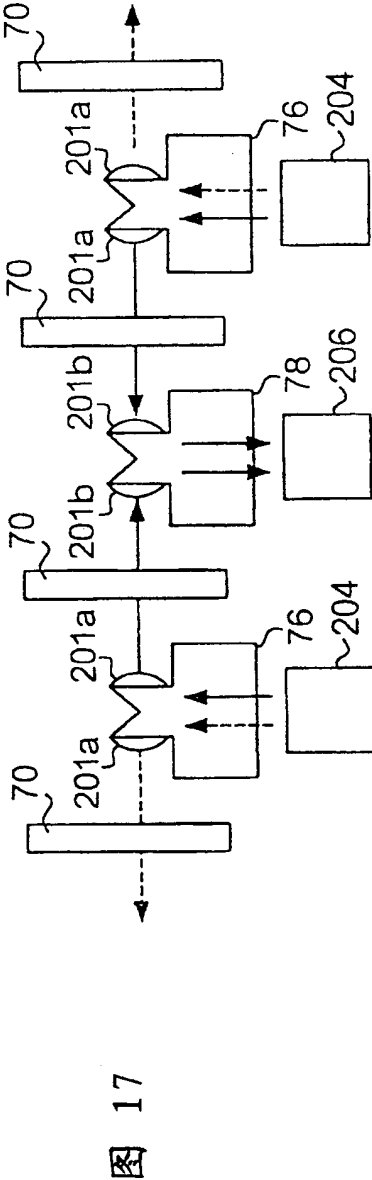
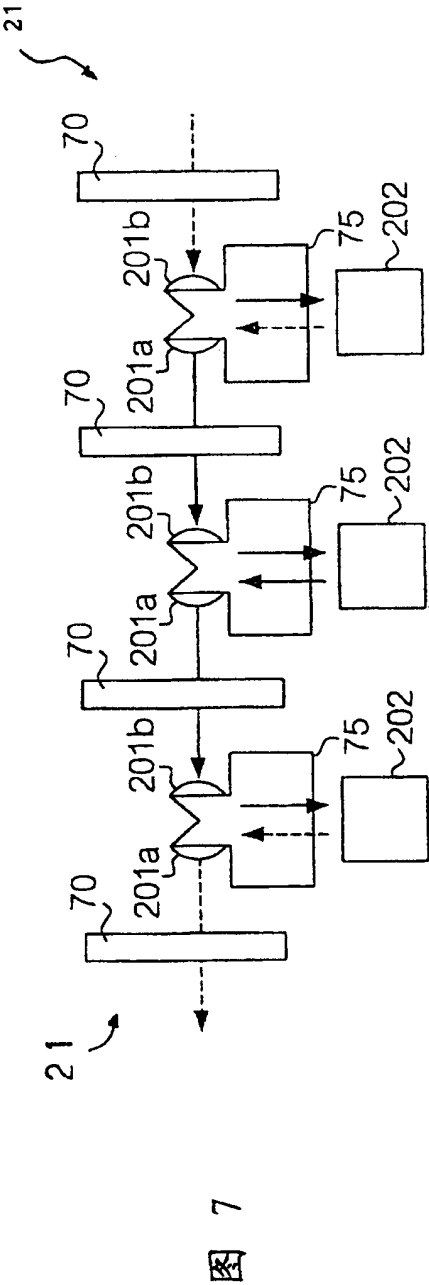


图 6B

图 6A



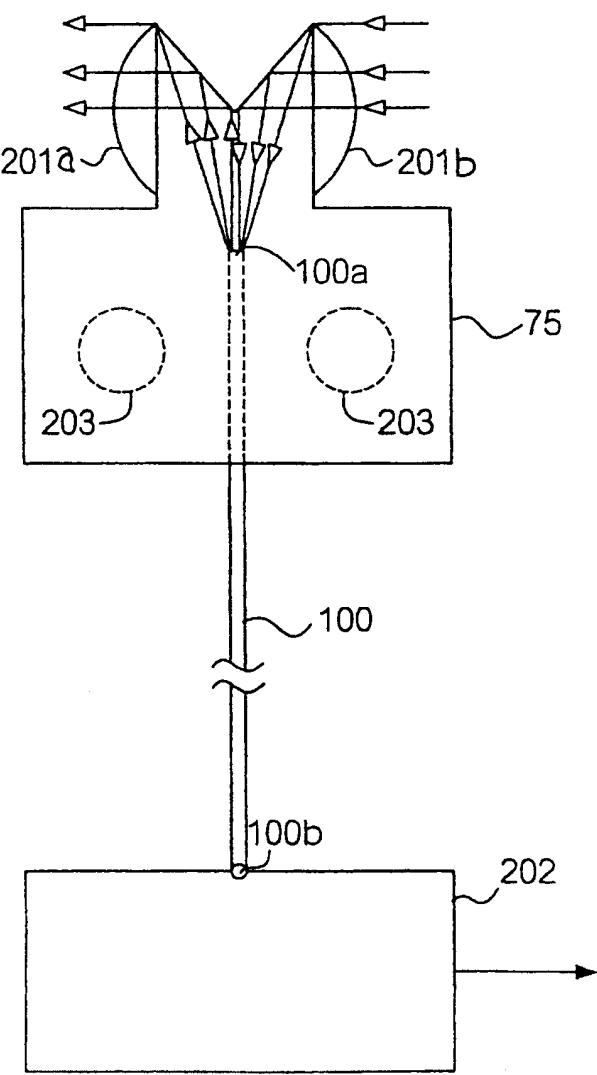


图 8

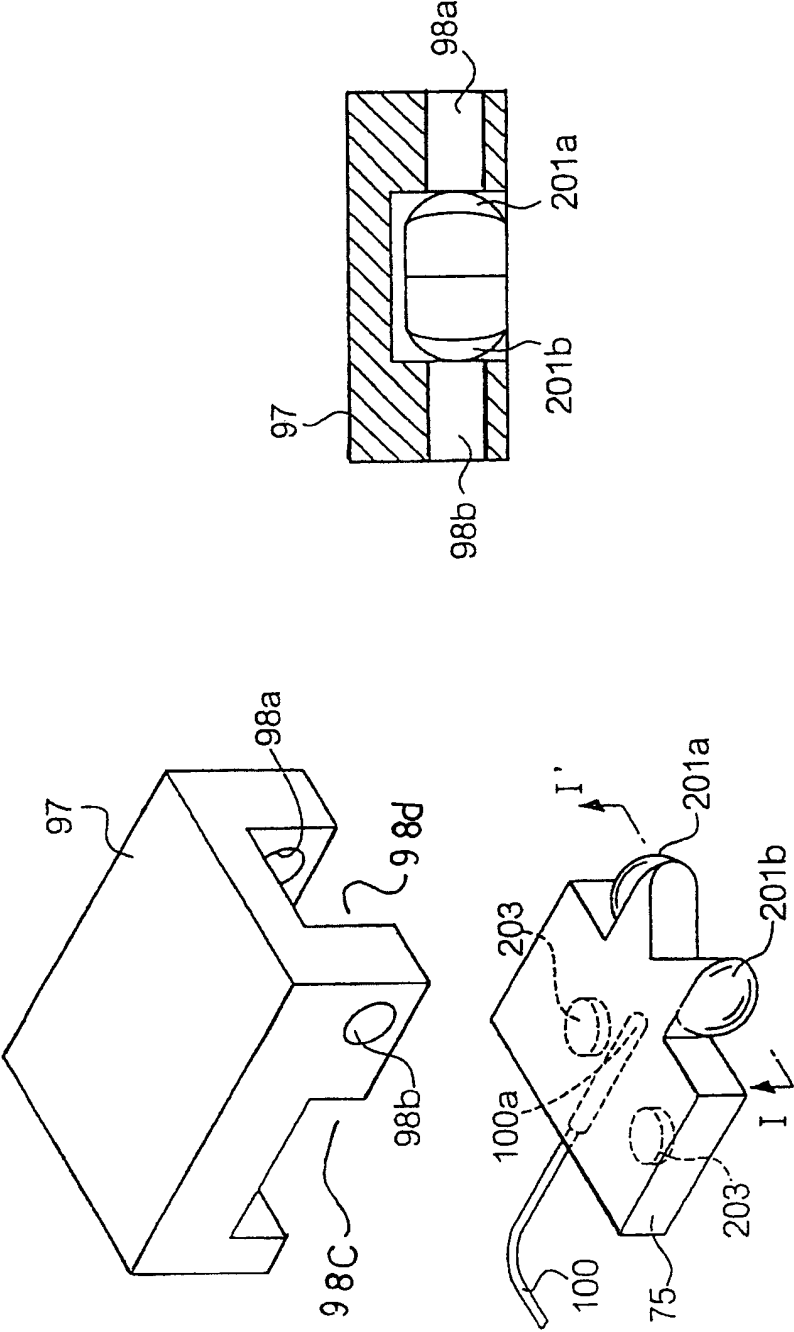


图 9B

图 9A

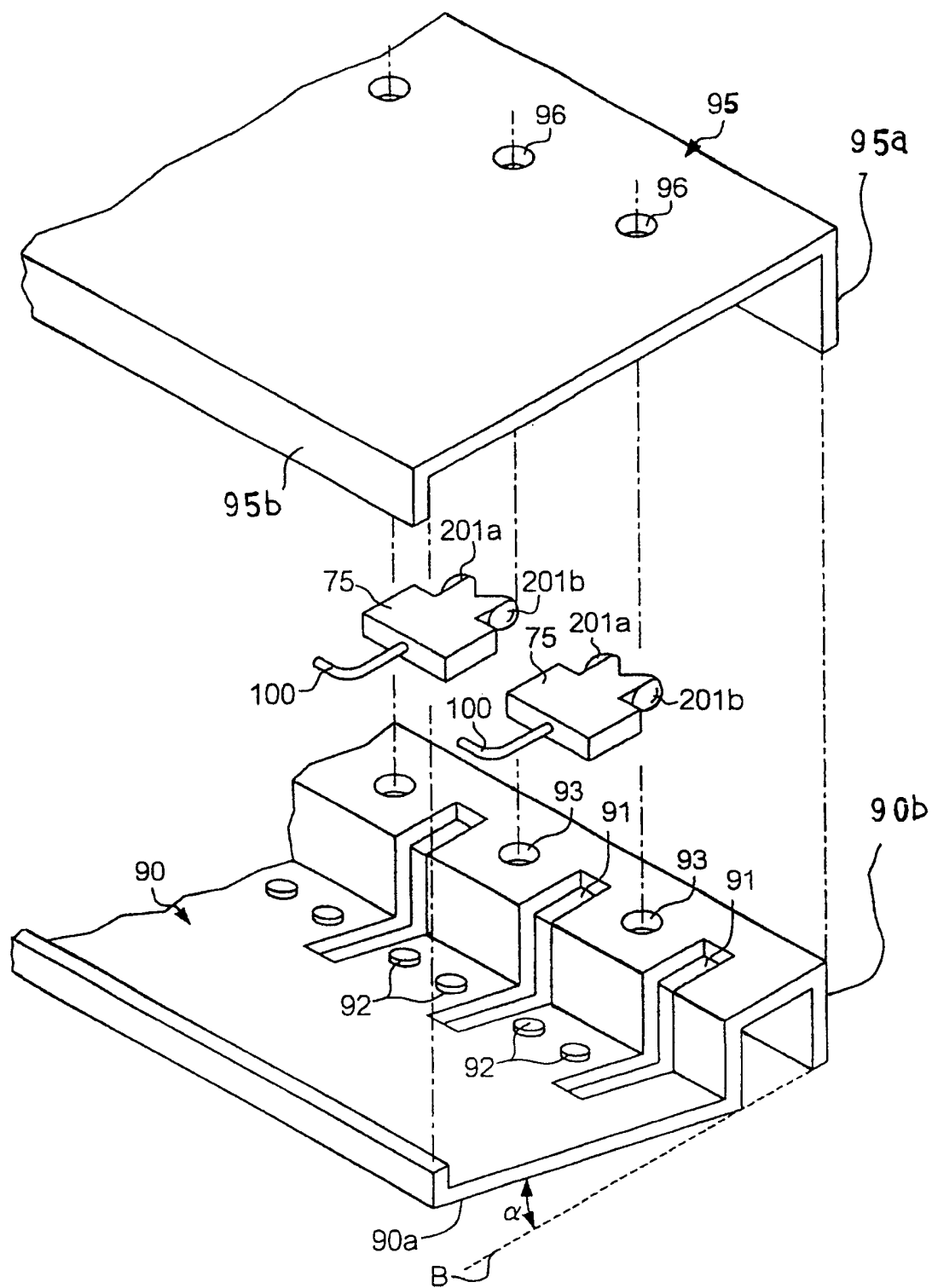


图 10

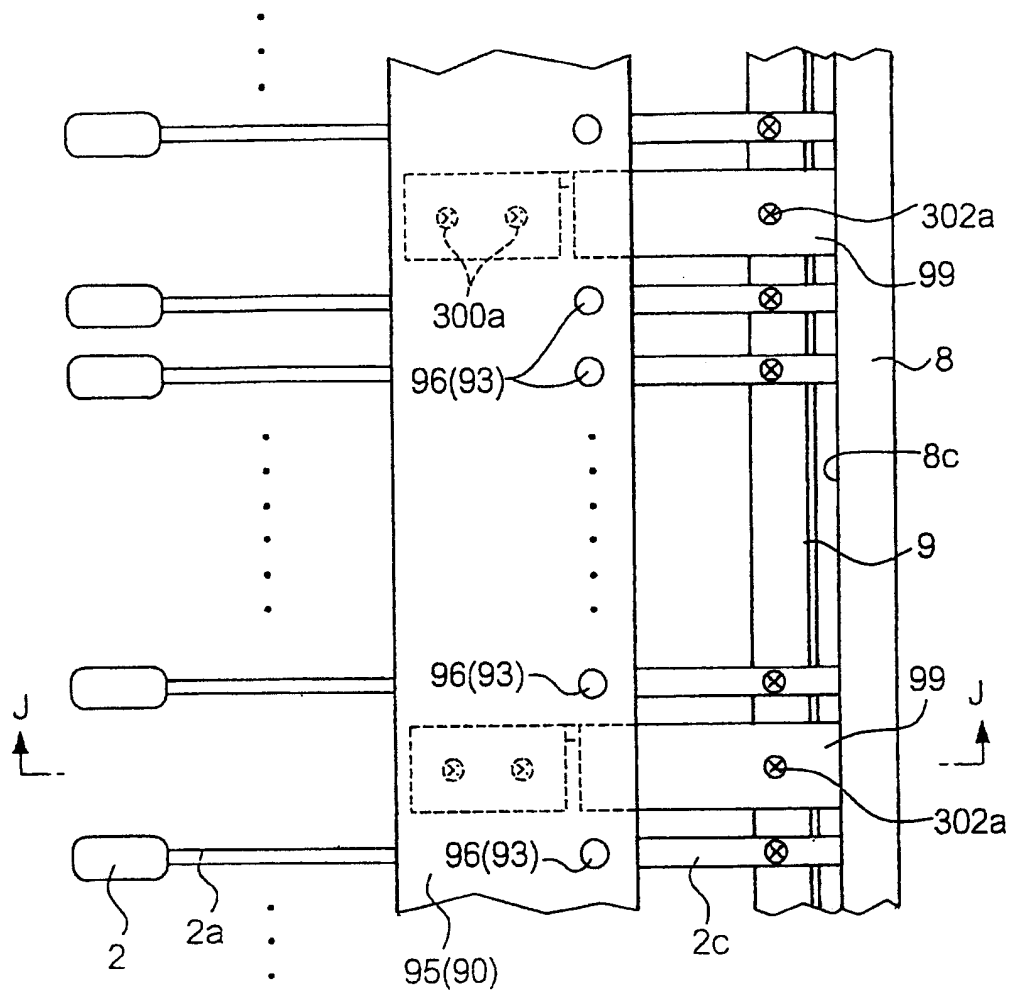


图 11

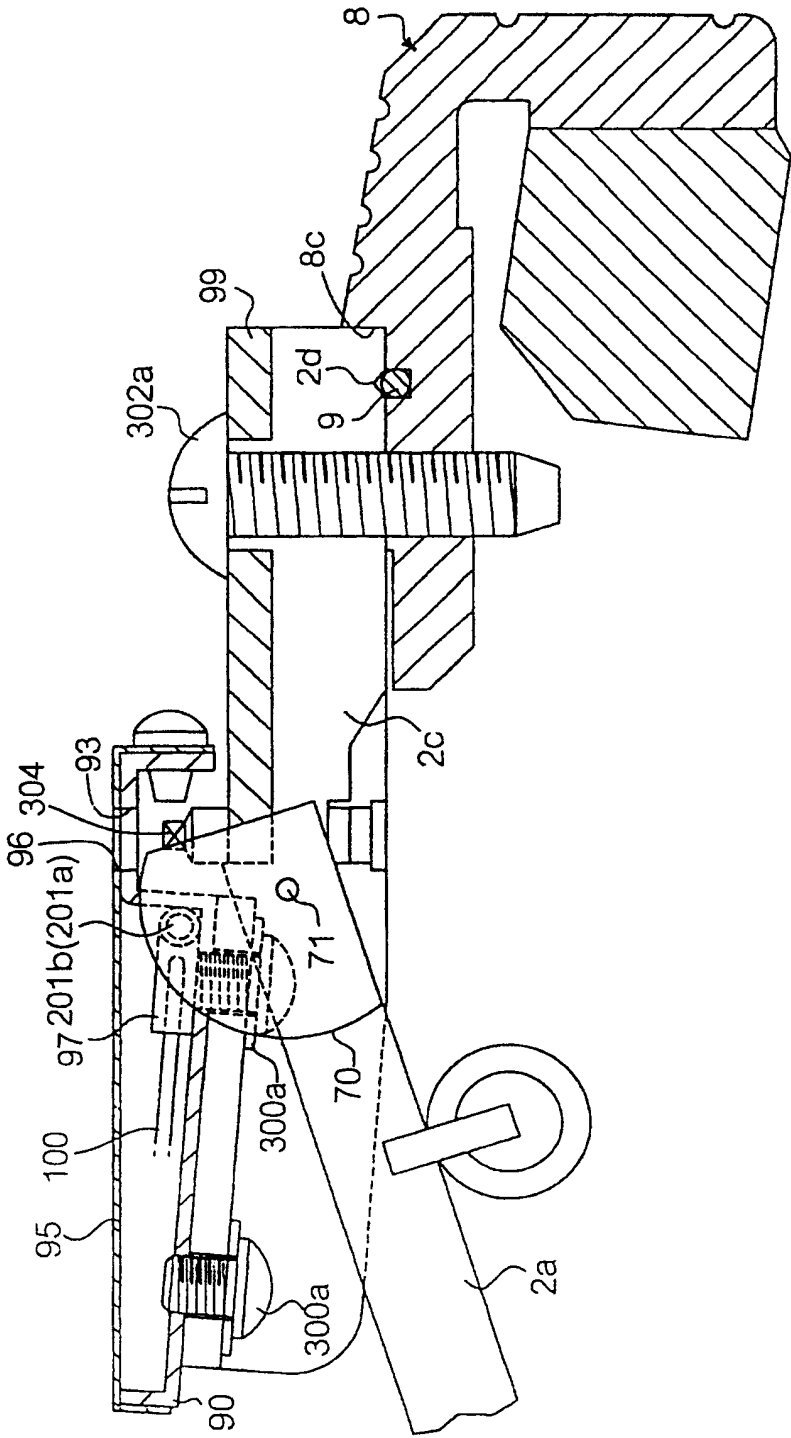


图 12

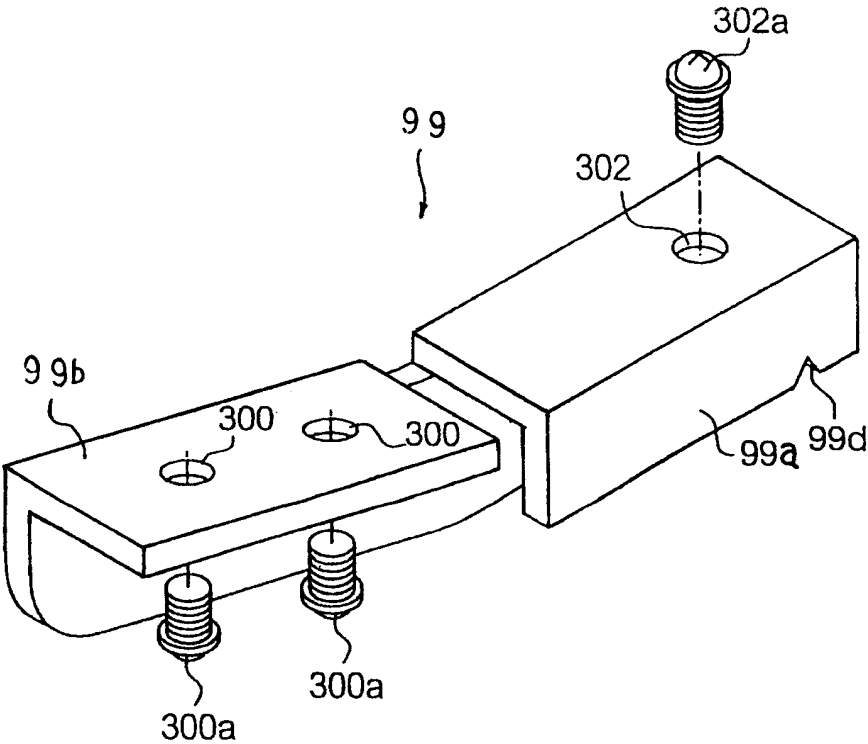


图 13

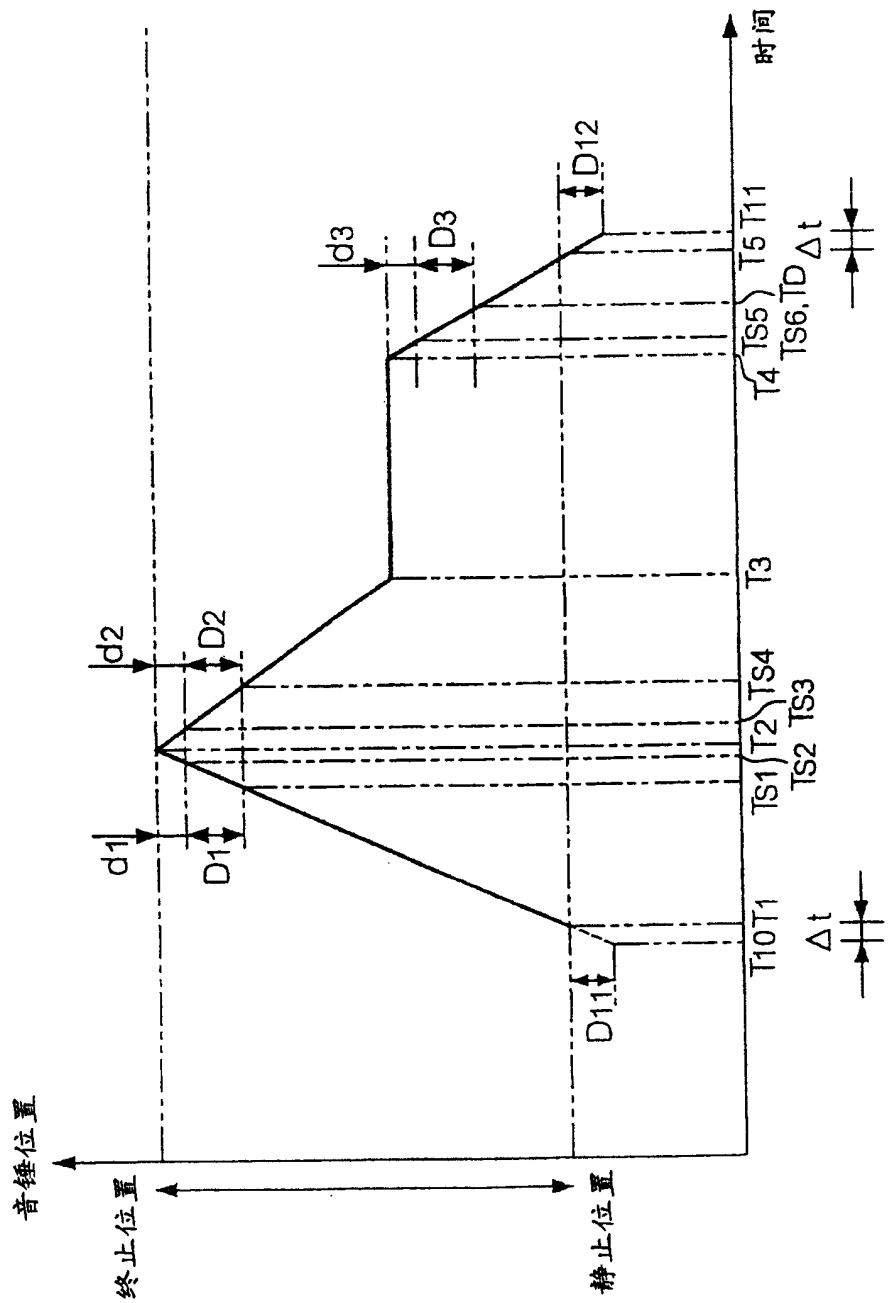


图 14

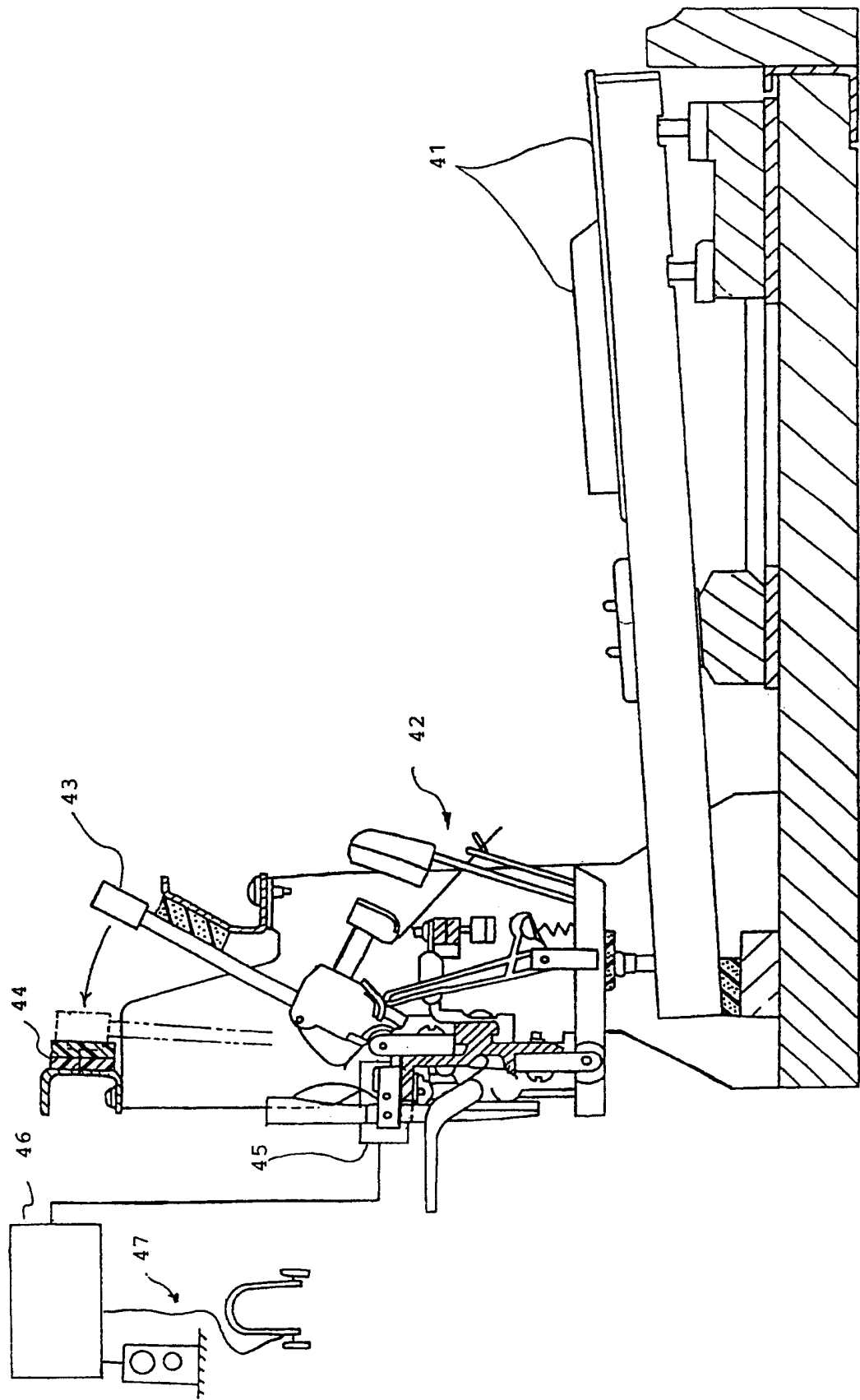


图 15

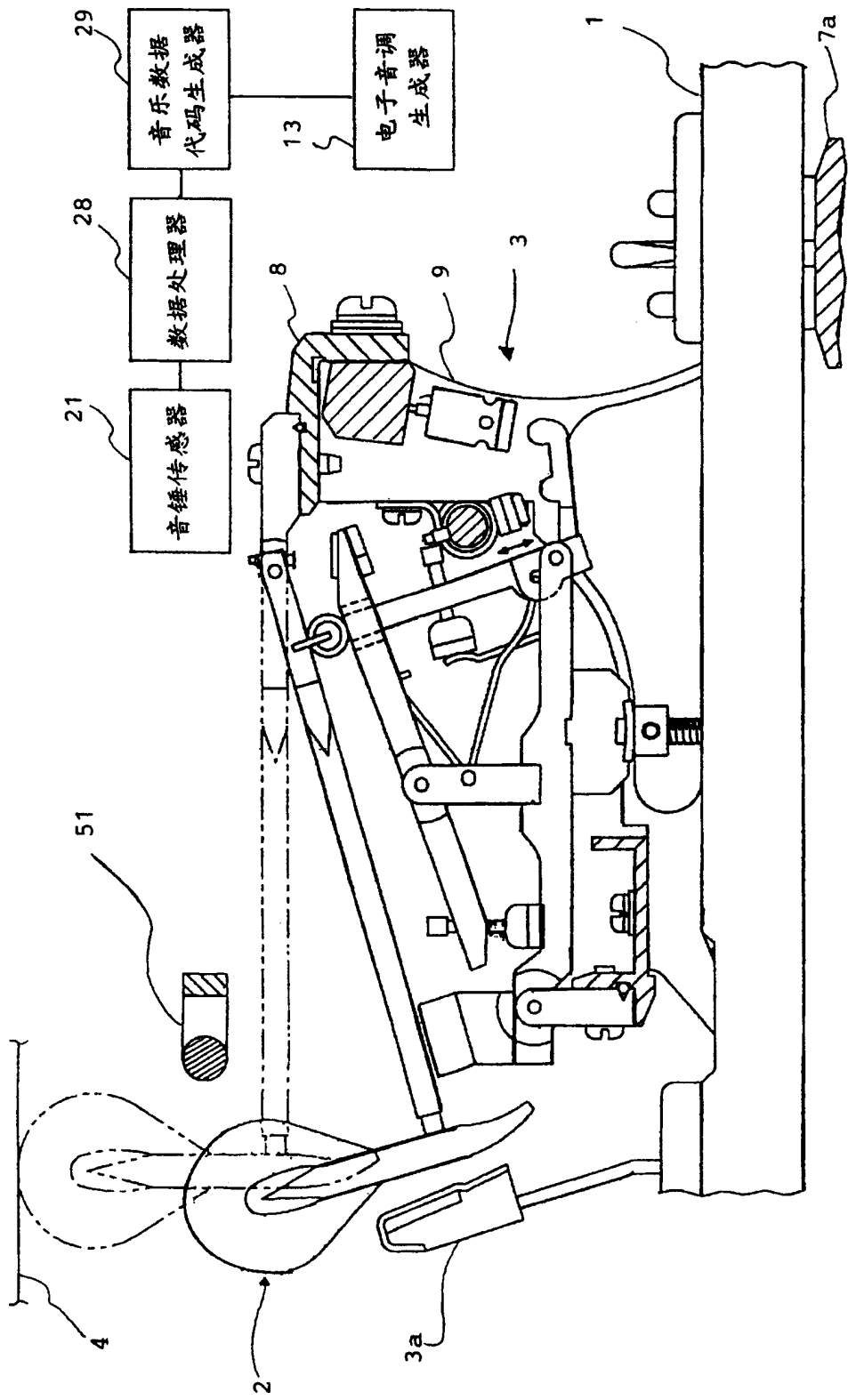


图 16