



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102685655 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 25

(21) 申请号 201110463308. 6

审查员 叶伟

(22) 申请日 2011. 12. 09

(30) 优先权数据

12/965391 2010. 12. 10 US

(73) 专利权人 英飞凌科技股份有限公司

地址 德国瑙伊比贝尔格市坎茨昂 1-12 号

(72) 发明人 A·德黑

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 王岳 朱海煜

(51) Int. Cl.

H04R 17/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101803401 A, 2010. 08. 11,

US 2006125348 A1, 2006. 06. 15,

CN 101356852 A, 2009. 01. 28,

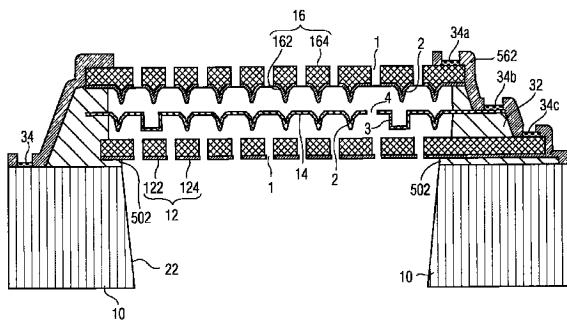
权利要求书2页 说明书12页 附图21页

(54) 发明名称

微机械数字扬声器及其操作方法

(57) 摘要

本发明涉及微机械数字扬声器。一种数字扬声器包括：基板，关于基板固定的第一定片，关于基板固定且与第一定片分隔一定距离的第二定片，以及在第一定片和第二定片之间的薄膜。薄膜在其中薄膜与第一定片机械接触的第一位置和其中薄膜与第二定片机械接触的第二位置之间是可移置的。第一定片和第二定片被布置为将薄膜从与第一位置和与第二位置分隔开的静止位置分别向第一位置和与第二位置静电移动。也公开了一种用于制造数字扬声器的方法以及一种用于操作数字扬声器的方法。



1. 一种数字扬声器,包括:  
基板;  
关于基板固定的第一定片;  
关于基板固定且与第一定片分隔一定距离的第二定片;  
薄膜,在第一定片和第二定片之间且在其中薄膜与第一定片机械接触的第一位置 and 其中薄膜与第二定片机械接触的第二位置之间可移置;  
其中第一定片和第二定片被布置为将薄膜从与第一位置和第二位置分隔开的静止位置分别向第一位置和第二位置静电移动,  
其特征在于,其中第一定片、第二定片和薄膜中的至少一个分别包括用于对第一定片、第二定片或薄膜的第一主表面处的第一腔体与第二主表面处的第二腔体进行连接的开口。
2. 依照权利要求 1 的数字扬声器,其中第一定片与第二定片基本上与基板的主表面平行地延伸。
3. 依照权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中第一定片与处在其静止位置的薄膜之间的第一间隙和第二定片与处在其静止位置的薄膜之间的第二间隙基本上具有相同的间隙宽度。
4. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,进一步包括用于第二定片的连接半导体基板和第二定片的支撑结构。
5. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中当分别处在第一位置或第二位置中时薄膜与第一定片或第二定片之间的机械接触在薄膜的总区域的 30% 与 90% 之间的外切区域内发生,所述外切区域分别在薄膜和第一定片或第二定片之间包括一个接触点或多个接触点。
6. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中第一定片和第二定片中的至少一个包括从第二定片的面向薄膜的表面突出的至少一个隆起,其中薄膜基本上在隆起处机械接触第一定片和第二定片。
7. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中薄膜包括在第一定片或第二定片的方向上从薄膜表面突出的至少一个隆起。
8. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中第一定片和第二定片中的至少一个包括定片材料的主层和拉应力层。
9. 依照权利要求 8 的数字扬声器,其中定片材料为多晶硅而拉应力材料包括氮化硅材料。
10. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中第一定片、第二定片和薄膜中的至少一个包括掺杂半导体材料。
11. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中基板包括与第一定片相邻的空腔。
12. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中第一定片、薄膜和第二定片被布置在半导体基板的主表面上的堆叠中。
13. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,其中薄膜包括用于促进薄膜向第一位置和第二位置偏转的波纹。
14. 依照在前权利要求 1 或 2 的数字扬声器,进一步包括适于向第一定片提供第一电位、向第二定片提供第二电位和向薄膜提供第三电位的电位供给结构,这些电位彼此之间

至少暂时不同。

15. 一种包括数字扬声器阵列的数字扬声器装置,每个数字扬声器包括:

为数字扬声器阵列公用的基板;

关于基板固定的第一定片;

关于基板固定且与第一定片分隔一定距离的第二定片;

薄膜,在第一定片和第二定片之间且在其中薄膜与第一定片机械接触的第一位置和其中薄膜与第二定片机械接触的第二位置之间可移置;

其中第一定片和第二定片被布置为将薄膜从与第一位置和第二位置分隔开的静止位置分别向第一位置和第二位置静电移动,

其特征在于,其中第一定片、第二定片和薄膜中的至少一个分别包括用于对第一定片、第二定片或薄膜的第一主表面处的第一腔体与第二主表面处的第二腔体进行连接的开口。

16. 一种数字扬声器,包括:

具有第一主表面且被布置在声音换能区域中的薄膜;

具有与薄膜的第一主表面平行的、在第一自由腔体的与第一主表面相对一侧上的第二主表面的第一定片;

具有与薄膜的第一主表面平行的、在与第一主表面相邻的第二自由腔体一侧上的第三主表面的第二定片;

其中薄膜具有与第一定片和第二定片分隔开的静止位置,并且其中第一定片和第二定片适于将薄膜分别朝向第一定片或第二定片静电吸引直到薄膜机械接触第一定片或第二定片,

其特征在于,其中第一定片、第二定片和薄膜中的至少一个分别包括用于对第一定片、第二定片或薄膜的第一主表面处的第一腔体与第二主表面处的第二腔体进行连接的开口。

17. 一种用于操作数字扬声器的方法,包括:

将第一电位施加到第一定片;

将第二电位施加到第二定片;

将第三电位施加到薄膜;

其中第一电位、第二电位和第三电位之间的差导致薄膜被分别吸引至第一定片或第二定片,直到薄膜达到其中薄膜机械接触第一定片或第二定片的第一末端位置或第二末端位置;以及

其特征在于,所述方法进一步包括在第一定片、第二定片和薄膜中的至少一个上分别形成用于对第一定片、第二定片或薄膜的第一主表面处的第一腔体与第二主表面处的第二腔体进行连接的开口。

18. 依照权利要求 17 的方法,其中第一电位、第二电位与第三电位中的至少一个基本上对应于薄膜共振频率的频率而随时间变化。

## 微机械数字扬声器及其操作方法

### 技术领域

[0001] 依照本发明的若干实施例涉及数字扬声器。依照本发明的若干实施例涉及用于制造数字扬声器的方法。依照本发明的若干实施例涉及用于操作数字扬声器的方法。

### 背景技术

[0002] 今天所制造和使用的大部分扬声器是电动类型的。电动扬声器的普遍设计包括永磁体、由该永磁体产生的磁场内的可移动线圈以及附连到该可移动线圈的薄膜(membrane)。流经线圈的交变电流导致线圈在磁场内振荡,因而驱动薄膜,该薄膜进而产生声音。电动扬声器典型地在薄膜后面,即在与从其向环境传播声波的薄膜侧相对的薄膜侧,具有相对大的后腔体(volume)。电动扬声器的后腔体的大小典型地与扬声器的预计频率范围相反地相关,就是说,低频率范围的扬声器典型地具有相对大的后腔体。

[0003] 电动扬声器的著名替代品是压电扬声器和静电扬声器。

[0004] 除了用于(电动、压电、静电等等)扬声器中的基础物理现象以外,扬声器也可以通过它们的结构和它们的制造方法来区分。近年来,提出了各种以制造基于微机械构造的扬声器为目标的解决方案。这些解决方案中的一些解决方案提出在由硅制成的微机械薄膜上使用压电或铁电材料。为了制造这样的微机械扬声器,一种新的材料系统被整合到半导体制造过程中。典型地,以这一方式制造的扬声器是模拟换能器,正如今天的大部分扬声器一样。

[0005] 与模拟扬声器相比,数字扬声器使用具有离散声压级(SPL)的压力波。为此,数字扬声器内的声音产生元件执行预定义振幅的预定义移动。典型地在许多现代电子装置中的模拟扬声器的电子输入上游且电气地执行的数模转换,实际被移动至数字扬声器的声音或压力变化侧。收听者的耳朵也可以参与数字声音信号的数模转换。数字扬声器典型地包括相对大的基本换能器元件阵列。

### 发明内容

[0006] 依照本发明的一些实施例提供了包括基板、第一定片、第二定片和薄膜的数字扬声器。第一定片和第二定片关于基板固定,并且第二定片与第一定片分隔一定距离。薄膜被布置在第一定片和第二定片之间,并且在薄膜机械接触第一定片所处的第一位置与薄膜机械接触第二定片所处的第二位置之间是可移置的。第一定片和第二定片被布置为将薄膜从静止位置静电分别移动至第一位置和第二位置。该静止位置与第一位置和第二位置分隔开,典型地在第一位置和第二位置之间。

[0007] 在依照此处公开的教导的另一实施例中,数字扬声器包括薄膜、第一定片和第二定片。薄膜具有第一主表面并被布置在数字扬声器的声音换能区域中。第一定片在与薄膜的第一主表面相对的第一自由腔体一侧具有与薄膜的第一主表面平行的第二主表面,即第一自由腔体在薄膜除第一主表面的另外一侧。第二定片在与第一主表面相邻的第二自由腔体一侧具有与薄膜的第一主表面平行的第三主表面。薄膜具有与第一定片和第二定片分隔

开的静止位置,例如在第一定片和第二定片之间。第一定片和第二定片适于将薄膜分别朝向第一定片或第二定片静电吸引直到薄膜机械接触第一定片或第二定片。

[0008] 依照此处公开的教导的数字扬声器的另一实施例包括:用于响应于静电激励而从静止位置向第一末端位置和第二末端位置偏转的装置;基本上位于第一末端位置的第一邻接装置;以及基本上位于第二末端位置的第二邻接装置。用于偏转的装置适于在第一末端位置中时机械接触第一邻接装置。用于偏转的装置也适于在第二末端位置中时机械接触第二邻接装置。

[0009] 依照此处公开的教导的用于制造数字扬声器的方法包括:将第一定片材料施加到基底结构的第一主表面上;将具有第一牺牲材料厚度  $t_1$  的牺牲材料施加到与基底结构的第一主表面相对的定片材料的第一主表面上;将薄膜材料施加到与定片材料的第一主表面相对的牺牲材料的第一主表面上;将具有第二牺牲材料厚度  $t_2$  的另外牺牲材料施加到与牺牲材料的第一主表面相对的薄膜材料的第一表面上;以及移除数字扬声器的声音换能区域中的牺牲材料和另外牺牲材料。第一牺牲材料厚度  $t_1$  和第二牺牲材料厚度  $t_2$  被适当地选择为在移除牺牲材料后允许薄膜材料在静电偏转时机械接触第一定片材料或第二定片材料。

[0010] 依照此处公开的教导的用于操作数字扬声器的方法包括:将第一电位施加到第一定片,将第二电位施加到第二定片;以及将第三电位施加到薄膜。第一电位、第二电位和第三电位之间的差导致薄膜被分别吸引到第一定片或第二定片直到该薄膜达到第一末端位置或第二末端位置。在第一末端位置中,薄膜机械接触第一定片,而在第二末端位置中,薄膜机械接触第二定片。

#### 附图说明

[0011] 图 1 示出了依照此处公开的教导的微机械数字扬声器的示意横截面;

[0012] 图 2 示出了依照此处公开的教导的数字扬声器的功能元件的概念图;

[0013] 图 3 示出了扬声器的示意横截面和用于在模拟或数字域中驱动扬声器的电路的第一可能布置;

[0014] 图 4 示出了扬声器的示意横截面和用于在模拟或数字域中驱动模拟扬声器的电路的第二选择;

[0015] 图 5 示出了依照此处公开的教导的实施例的数字扬声器的示意横截面;

[0016] 图 6A 至 6E 示出了在制造过程的不同阶段的数字扬声器的顶视图;

[0017] 图 7A 至 7N 和图 7P 示出了在依照此处公开的教导的基板和在扬声器的制造过程的不同阶段施加到基板的各种层的示意横截面;

[0018] 图 8 示出了数字扬声器阵列的示意横截面;

[0019] 图 9 是示出了数字扬声器的配置和操作方面的依照此处公开的教导的数字扬声器的横截面概念图;

[0020] 图 10 是示出了用于限定在薄膜与第一定片或第二定片之间的接触区域的选择的数字扬声器的薄膜的示意顶视图;

[0021] 图 11A 和 11B 是在两种不同激励状态下依照此处公开的教导的数字扬声器的功能元件的示意横截面的概念图;和

[0022] 图 12 是用于操作数字扬声器的方法的示意流程图。

### 具体实施方式

[0023] 图 1 示出了依照此处公开的教导的实施例的微机械扬声器的示意横截面。数字扬声器包括基板 10、第一定片 12、第二定片 16 和薄膜 14。第一定片 12、薄膜 14 和第二定片 16 被固定到支撑结构 32，支撑结构 32 进而被固定到基板 10。术语“被固定”可以意指“安装至”、“附连至”等等。典型地，第一定片 12 和第二定片 16 基本上是刚性的，这可以通过适当地选择第一和第二定片 12、16 的厚度和 / 或材料来实现。薄膜 14 是可变形的，使得尤其是薄膜 14 的中央部分可以从静止位置分别移置至第一末端位置和第二末端位置。薄膜 14 在薄膜 14 的圆周部分处机械连接至支撑结构 32。薄膜 14 或其中央部分朝向第一或第二定片 12、16 的移置可以通过在薄膜 14 上施加静电力来实现。特别地，第一和第二定片 12、16 之一可以静电吸引薄膜 14，而另一定片可以排斥薄膜 14。通常，如果吸引力或排斥力作用在薄膜 14 上使得在给定的时间定片 12、16 之一可以关于薄膜 14 是静电中性的则将足以。定片 12、16 和薄膜 14 之间的静电效应通过向第一定片 12、第二定片 16 和薄膜 14 施加不同的电位而实现。为此，第一薄膜与连接垫 34c 电连接，薄膜 14 与连接垫 34b 电连接，而第二定片 16 与连接垫 34a 电连接。连接垫 34a-34c 可以用于借助于例如接合线将数字扬声器与扬声器驱动器或放大器电连接。支撑结构 32 也充当第一定片 12、薄膜 14、和第二定片 16 与它们相应的连接垫 34a-34c 之间的电绝缘体。

[0024] 基板 10 具有在第一定片 12 之下的空腔 22，空腔 22 充当数字扬声器的后腔体并允许薄膜 14 朝向第一定片 12 相对自由地移动，因为薄膜 14 和第一定片 12 之间的任何空气可以通过第一定片 12 中形成的多个空气孔 1 而逃逸至空腔 22。因而，薄膜 14 不必克服在朝向第一定片 12 移动时强大的反压或在从第一定片 12 移开时的负压（真空）。同样地，第二定片 16 也包括相似的空气孔 1，由薄膜 14 产生的压力波通过这些空气孔可以传播至环境。在图 1 所示的实施例中，就图 1 的表示而言空腔 22 在关于薄膜 - 定片布置的相对侧（例如在空腔 22 的下端）是敞开的。空腔 22 在支撑结构 32 中以基本上相似的方式延续，使得第一自由腔体存在于薄膜 14 之上而第二自由腔体存在于薄膜 14 之下，或者更确切地说在薄膜 14 的中央部分之上 / 之下。这些自由腔体允许薄膜 14 的中央部分上下移动以及由此移置在自由腔体中包含的空气。由于自由腔体中的空气的周期性移置导致声波的产生，通过支撑结构 32 的空腔 22 的延长部可以被视为数字扬声器的声音换能区域。

[0025] 通常，静电扬声器包括至少一个电容器，其中板之一（即，薄膜）是可移动的。当操作诸如扬声器这样的结构时，电容器典型地被电偏置，并且表示待被换能的音频数据的电输入信号对电场进行调制。在电容器内的这一电场调制导致薄膜振荡。典型地，这一结构具有平方律的力 / 电压特性，并由于该平方律的力 / 电压特性，特别是对于音频输入信号的高输入电压来说可能发生显著的失真。在低频下这些失真可能特别令人不愉快，即便对于相对弱的声级而言。静电换能器结构的这一倾向特别影响模拟扬声器以产生相对强的失真。比较而言，由于数字扬声器的固有操作原理，薄膜的这一倾向较少地影响数字扬声器以产生失真。特别地，数字扬声器的薄膜被设计为在大部分时间内处于多个离散状态或位置之一。与薄膜保持在多个离散状态之一所处的持续时间相比，从多个离散状态中的第一个到多个离散状态中的第二个的任何转变在理想上是非常短的持续时间。因而，薄膜的平方律的力 / 电压特性可以通过例如确保薄膜锁定于多个离散状态之一而在数字扬声器中得

以处理。因此,对数字扬声器来说,如图 1 所示的静电换能器结构被相信是非常适合的。此外,诸如例如图 1 所示的静电结构非常适合于借助于半导体制造过程进行制造。半导体制造过程促进制造精细、高度集成的电子和 / 或微机械结构,诸如微机械系统 (MEMS)。对于其他类型的扬声器诸如电动扬声器来说,情况未必如此。电动扬声器典型地需要特定类型的材料,例如用于薄膜的塑料或纸板以及永磁材料。这些材料经常不能经受烘箱焊接过程 (典型地为 260℃) 而不受损害。这样的烘箱焊接过程例如在印刷电路板 (PCB) 的组装中使用。因此,当使用电动扬声器时,需要附加的组装和连接过程。

[0026] 数字扬声器非常适合于使用静电操作原理,且这样的静电换能器相对非常适合于借助于半导体制造过程或相似的过程进行制造。

[0027] 在数字扬声器的数字操作中,借助于电压脉冲,薄膜 14 可以被吸引至上定片 16 或下定片 12。电压可以被选择得足够高以使得薄膜邻接相应的定片 12 和 16,从而产生了薄膜 14 的两个稳定状态。这可以通过施加大于或至少等于所谓吸合 (pull-in) 电压的电压而实现。吸合电压由吸引 / 排斥的机械恢复力和静电力之间的平衡来确定。根据数字扬声器的使用情况,薄膜 14 可以在对应于或接近于薄膜 14 的共振频率的时钟频率处操作,以便基本上使电能向机械能 (即,声压) 的转换最大化。图 1 中作为示意横截面所示出的数字扬声器可以概括如下:数字扬声器包括静电换能器,该静电换能器包括夹在两个定片 12、16 之间的薄膜 14。除非另外具体指示,术语“接触”可以被理解为“机械接触”、“触及”或“邻接”。

[0028] 依照此处公开的教导,薄膜 14 被配置为由于作用在薄膜 14 上的静电力而偏转到它机械接触第一定片 12 或第二定片 16 的程度。已发现,这可以通过选择薄膜 14 以及薄膜 14 与第一和第二定片 12、16 之间的间隙的合适尺寸来实现。对于测定数字扬声器及其可选元件的大小的任务来说,以下的信息可能是有用的:

[0029] 如下面在对用于制造数字扬声器的过程的描述的背景将解释的那样,薄膜 14 与定片 12、16 之一之间的间隙宽度对应于第一牺牲材料厚度  $t_1$  和第二牺牲材料厚度  $t_2$ 。 $t_1$  和  $t_2$  的典型值可以在  $0.5\mu\text{m}$  与  $10\mu\text{m}$  之间,优选地在  $0.8\mu\text{m}$  与  $5\mu\text{m}$  之间,且更优选地在  $1\mu\text{m}$  与  $3\mu\text{m}$  之间。典型地, $t_1$  与  $t_2$  近似相等。

[0030] 薄膜的厚度  $t_m$  典型地在 50nm 和 2000nm 之间,优选地 100nm 和 1000nm 之间,且更优选地在 200nm 和 500nm 之间。通过将薄膜厚度  $t_m$  的示例性值与示例性牺牲材料厚度  $t_1$  和  $t_2$  比较,可以看到间隙宽度  $t_1$  或  $t_2$  是薄膜厚度  $t_m$  的 2 倍和 15 倍之间。

[0031] 数字扬声器的声音换能区域的直径可以在 0.1mm 和 10mm 之间,优选地在 0.4mm 和 3mm 之间,且更优选地在 0.8mm 和 2mm 之间。这些值是针对圆形的声音换能区域指示的。然而它们也可以应用于其他形状的声音换能区域和 / 或薄膜 13,诸如方形、六角形等等,在这种情况下直径对应于例如方形的边长、方形的对角线长度、或六角形的边到边尺寸。照此,术语“直径”可以更通常视为声音换能区域的特性尺寸。

[0032] 如果波纹槽 3 形成于薄膜 14 中 (例如参见图 2),则波纹槽 3 的尺寸可以如下选择 (仅为示例性):波纹槽 3 的宽度和深度可以是薄膜厚度  $t_m$  的 1 倍与 5 倍之间,更优选地在  $1.5t_m$  与  $4t_m$  之间,并且甚至更优选地在  $2t_m$  与  $3t_m$  之间。如果防粘突起 2 形成于薄膜中 (例如参见图 2),防粘突起的深度可以在  $2t_m$  与  $5t_m$  之间,且更优选地在  $2t_m$  与  $3t_m$  之间。

[0033] 通过在指示的范围内选择数字扬声器的尺寸,可以实现薄膜 14 的所期望属性,即

薄膜 14 在被静电力吸引和 / 或排斥时偏转直到它接触第一定片 12 或第二定片 16 的能力。

[0034] 图 2 示出了作为概念图的数字扬声器的横截面。图 2 所示的实施例包括一些可以提高数字扬声器性能的附加特征。薄膜 14 包括用于压力均衡和 / 或低频带限制的一个或多个压力均衡孔 4。压力均衡孔 4 主要预计用于均衡薄膜 14 之上的腔体与薄膜 14 之下的腔体之间的静态压力差。压力均衡孔 4 的区域典型地被选择为比薄膜 14 的区域小得多,使得压力均衡孔 4 对发生于数字扬声器的操作期间的动态压力差仅有可忽略的影响。原因在于,相对小的压力均衡孔 4 具有相对低的流量,使得在薄膜 14 的一次振荡期间只有很少量的空气可以从上腔体流到下腔体,或者反之亦然。这一影响典型地为数字扬声器的薄膜 14 所期望,因为它确保了薄膜 14 能够移置相对大量的空气,同时避免了薄膜 14 由于上自由腔体与下自由腔体之间的静态压力差而机械偏置。因此,压力均衡孔 4 可以视为在低频下具有相对低的流阻而在高频下具有相对高的流阻,就是说,压力均衡孔 4 可以被理解为从上腔体到下腔体以及从下腔体到上腔体的空气流的低通滤波器。

[0035] 为了增加薄膜 14 的灵敏度,薄膜可以被提供有一个或若干个波纹槽 3。

[0036] 波纹槽 3 可以具有与薄膜 14 的形状相似的形状,例如圆形、矩形、方形、椭圆形等等。波纹槽 3 的边缘形成了薄膜 14 的优选弯曲区域。在图 2 所示的实施例中,波纹槽 3 位于相对接近于薄膜 14 的圆周,使得由波纹槽 3 包围的区域对应于薄膜 14 的全部区域的相对大部分。由波纹槽 3 包围的区域受益于在此区域中薄膜 14 的大移置。因此,可以提供波纹槽 3 以便增加薄膜 14 在一次振荡期间所移置的空气体积。图 2 中的波纹槽 3 具有方形横截面,但它可以有另一形状,诸如三角形、半圆形或椭圆形横截面。此外,波纹槽 3 也可以在第二定片 16 的方向上延伸,在图 2 中第二定片 16 向上。

[0037] 图 2 中示出的但图 1 中未示出的另一附加结构是防粘突起 2,其分别形成于薄膜 14 和第二定片 16 的下表面。为了防止薄膜 14 粘到定片 12、16 上,可以为薄膜 14 或对应的定片 12、16 提供显著减小薄膜 14 与定片 12、16 之间的接触区域的结构。薄膜 14 的表面之一或对应的定片 12、16 的相对表面具有防粘突起 2 就足以。因此,只对薄膜 14 的下表面和第二定片 16 的下表面提供防粘突起 2,而第一定片 12 不具有防粘突起 2。因此显然:在替换的实施例中,薄膜 14 可以在其上表面和其下表面上具有防粘突起 2,或者薄膜 14 不具有任何防粘突起 2,其被改为提供于第一和第二定片 12、16 的对应表面。

[0038] 尽管此处公开的教导主要覆盖数字扬声器,但下面提供了关于模拟、静电扬声器的图 3 和图 4 以及对应的描述以便提供对静电扬声器及其操作的更完整的理解。

[0039] 图 3 示出了静电扬声器结构以及与其连接的模拟驱动电路。第一定片 12 借助于相应的连接垫 34c、34a 连接到第二定片 16 和 DC 电压源 312、316。因而,向定片 12、16 施加恒定电压,其中第一定片 12 处于较低电位(负极)而第二定片 16 处于较高电位(正极)。薄膜 14 经由连接垫 34b 和交变电压源 310 连接到两个 DC 电压源 312、316 之间的节点。AC 电压源 310 典型地对应于扬声器的信号输入。以这种方式,薄膜 14 电连线至第一定片 12 的负电位与第二定片 16 的正电位之间的电位。典型地,薄膜 14 电偏置至第一定片 12 和第二定片 16 之间的近似中间电压。在图 3 所示的模拟扬声器的操作期间,AC 电压源 310 依照待被换能的音频信号以交替的方式将更正的电位和更负的电位施加到薄膜 14。在更正的电位施加到薄膜 14 时,薄膜 14 被第一定片 12 吸引而被第二定片 16 排斥。由于薄膜 14 是可变形的并且因而是部分可移置的,吸引力和排斥力导致薄膜 14 朝向第一定片 12 向



下移动。同样地,在借助于 AC 电压源 310 将更负的电位施加到薄膜 14 时,导致薄膜 14 朝向第二定片 16 向上移动。由 AC 电压源 310 产生的薄膜 14 的变化电位导致了薄膜 14 的对应机械移动,这进而产生声波。理想的模拟扬声器将在声压和由 AC 电压源 310 产生的音频信号电压之间具有线性特性,即扬声器产生的声压与 AC 电压源 310 的电压例如按照单位为 Pa/V(帕/伏)的因数  $k$  成比例。声压也可以与输入功率成比例,使得比例因数将具有单位 Pa/W。如上所述,使用静电换能器结构来实现足够高的线性度可能是一个挑战。一种选择将是增加薄膜和定片之间的距离以及驱动电压,使得所致动的薄膜移动关于电容器间隙变得更小,这导致更多处于该换能器的电容器/电压特性的线性范围中的致动。然而,由  $>> 5 \mu\text{m}$  的间隙大小导致的过大拓扑结构在表面微加工的 MEMS 结构中导致大量努力。很高的供电电压也在此种装置的驱动电路中导致困难。

[0040] 以图 3 的配置的扬声器也可以用数字输入信号来驱动。于是,进入致动器的非线性状况 (regime) 的致动对于扬声器元件的性能来说不是问题。

[0041] 图 4 示出了模拟、静电扬声器的驱动电路的另一种选择。图 4 所示的驱动电路实现了用于当向扬声器施加强输入信号时使扬声器线性化的推挽操作。音频输入信号经由连接到变压器 413 的初级侧的两个输入端口 410、411 提供给驱动电路。变压器 413 的次级侧具有三个抽头,就是说两个端抽头和一个中央抽头。两个端抽头分别经由连接垫 34c、34b 连接到第一定片 12 和第二定片 16。中央抽头经由连接垫 34b、电阻 418 和 DC 电压源 420 连接到薄膜 14。DC 电压源 420 选择性地将薄膜 14 偏置为与第一和第二定片 12、16 相比的正电位。因而在静止时,薄膜 14 被第一与第二定片 12、16 同等地吸引,即只要音频输入信号为零,就保持静电吸引力与机械反动 (retroactive) 力之间的平衡状态。在时变音频输入信号施加到输入端口 410、411 的情况下,在变压器 413 的次级侧内产生时变电压。这导致施加到第一和第二定片 12、16 的电位的变化,因而也导致吸引力的变化——一个力变弱而另一个力变强。在薄膜 14 与定片 12、16 之间的吸引力的这一不同导致了薄膜移动并产生声波。

[0042] 高欧姆电阻器 418 对于模拟驱动原理来说是可选的,因为它使薄膜上的电荷保持恒定从而支持针对大移动的线性化(在相同电荷下的大移动增加了电容但减小了电压)。对于数字驱动来说,不需要这一电阻。如上所述,关于图 3 所示的配置,当扬声器操作于数字域时,进入致动器的非线性状况的致动对于扬声器元件的性能来说不是问题。

[0043] 图 5 示出了数字微扬声器的示意性横截面。注意到,尺寸不是按比例绘制的,并且没有(一直)绘制出阴影线。数字扬声器包括基板 10 作为基底,在其上布置数字扬声器的另外层。基板 10 包括如上面已经解释的空腔 22。与基板 10 的上主表面相邻的第一层是用于可靠地停止空腔 22 的蚀刻的蚀刻停止层 502。在数字扬声器的制造期间,蚀刻停止层 502 已在由空腔 22 的垂直延长部所限定的区域内移除。蚀刻停止层 502 的其余部分仍存在于基板 10 的上主表面的一些区域,尤其是围绕空腔 22 的边缘区域。蚀刻停止层 502 可以是氧化物或正硅酸乙酯 (TEOS) 并且典型地具有  $0.5$  到  $1.0 \mu\text{m}$  的厚度。

[0044] 如图 5 的实施例中所示,第一定片 12 包括两个层。第一层是具有高拉应力(近似 1GPa)的化学计量的氮化硅 (SiN) 层 122。第二层是高掺杂(或高注入)的多晶硅层 124。多晶硅层 124 典型地厚于化学计量的 SiN 层 122。多晶硅层 124 也用作由第一定片 12 与薄膜 14 形成的电容器的电极。第一定片 12 的两个层都包括用于允许空腔 22 和第一定片 12

上方的腔体之间的空气的相对快速交换的多个穿孔或空气孔 1。第一定片 12 主要提供在数字扬声器的声音换能区域中以及也提供在空腔 22 右边的用作第一定片 12 与连接垫 34c 的电连接的区域中。

[0045] 与第一定片 12 的左边相邻的是支撑结构 32 的一部分。支撑结构 32 也向上延伸（远离基板 10）。支撑结构 32 提供在围绕数字扬声器的声音换能区域的基本上角形区域中。在图 5 所示的实施例中，支撑结构 32 的径向外表面具有截头圆锥体的形状。这一截头圆锥体的形状在图 5 的右部所示的数字扬声器的区域中沿圆周中断，因为电连接垫 34a-c 提供在这一区域中并且需要展开。因此，支撑结构 32 在这一区域中具有台阶或阶梯式形状。

[0046] 薄膜 14 位于第一定片 12 之上。图 5 示出了处于静止位置的薄膜 14，其中薄膜 14 距第一定片 12 有一定距离，因此没有机械接触第一定片 12。薄膜 14 在薄膜 14 的径向外区域处由支撑结构 32 所支撑，或者悬挂到或固定到支撑结构 32。薄膜 14 可以包括由沉积的非晶硅而获取的结晶硅层。先前非晶硅的结晶化发生在数字扬声器的制造期间的受控烘箱过程期间。薄膜 14 的所期望拉应力可以经由受控烘箱过程的温度预算来控制。硅层的磷掺杂用于使薄膜 14 导电。

[0047] 薄膜 14 包括很多结构特征，诸如防粘突起 2、波纹槽 3 以及压力均衡孔 4。下面将解释如何可以在薄膜 14 的形成期间获取这些结构特征。

[0048] 在距薄膜 14 的静止位置的一定距离处，第二定片 16 被支撑结构 32 的上边缘所支撑。这一距离对应于薄膜 14 与第二定片 16 之间的间隙。在图 5 所示的实施例中，这一间隙宽度基本上与第一定片 12 和薄膜 14 之间的间隙宽度相同。支撑结构 32 典型地在一个或多个沉积步骤中沉积。例如，在第一定片 12 形成之后可以执行第一沉积步骤，而在薄膜 14 形成之后可以执行第二沉积步骤。支撑结构 32 的每个层的厚度  $t_1$ 、 $t_2$  典型地在 1 与  $3\mu\text{m}$  之间。为了具有数字扬声器的对称结构，图 5 中支撑结构 32 的两个单独沉积层的层厚度是近似相等的。支撑结构典型地包括从下列材料中选择材料：氧化物、TEOS、BPSG（硼磷硅玻璃）或碳。

[0049] 第二定片 16 包括两个层，因而具有与第一定片 12 的结构相似的结构。第二定片 16 包括化学计量的氮化硅层 162 和更厚的、高掺杂（或高注入）的多晶硅层 164。多晶硅层 164 用作由第二定片 16 和薄膜 14 形成的电容器的电极。第二定片 16 包括多个空气孔 1 以及多个防粘突起 2。正如第一定片 12，第二定片 16 或者具有抗偏转的高刚度或者经受显著的拉应力，或者两者。高刚度和 / 或拉应力的目的可以是向第一和第二定片 12、16 赋予稳定性。如果存在的话，高拉应力主要由化学计量的氮化硅层 122、162 来提供。

[0050] 钝化层 562 覆盖了基板 10 的仍然暴露的部分、支撑结构 32 以及第一和第二定片 12、16 的所选择部分。钝化层 562 可以包括等离子体氮化物（氧氮化物）。作为替换方案，钝化层 562 也可以获取自聚酰亚胺或基于聚酰亚胺。数字扬声器的一些区域免除钝化层 562，诸如连接垫 34a-c 和声音换能区域中的第二定片 16 的上表面。

[0051] 在图 5 的示例性配置中，薄膜区域或声音换能区域的延伸为直径是 0.4mm 到 3mm 的圆形。其他形状诸如方形、矩形或椭圆形薄膜同样是可想到的。

[0052] 图 6A 到图 6E 示出了圆形微扬声器在其制造过程的不同阶段期间的示意性布局。图 6A 到 6E 也可以理解为图 5 所示的结构在不同垂直位置处的横截面。注意到，图 6A 到 6E 示出了数字扬声器结构的简化布局。

[0053] 图 6A 示出了在用至连接垫 34c 及空气孔或穿孔 1 的连接来限定第一定片之后从上方看到的基板 10。第一定片 12 以基本上圆形的形状沉积在基板 10 上。空气孔 1 例如通过在第一定片材料的沉积期间适当地遮蔽基板表面而同时形成。第一定片 12 包括图 6A 中的左下方向上的终止于矩形连接区域 612 的延伸。

[0054] 图 6B 示出了结构化薄膜 14 之后的阶段。薄膜 14 包括圆点形或点形的防粘突起 2 以及例如用于提高数字扬声器灵敏度的一个波纹环 3。薄膜 14 通过终止于矩形连接区域 614 的导电带而延伸到右边。压力均衡孔 4 也形成于薄膜 14 中。典型地需要压力均衡孔 4 以确保静态压力均衡。

[0055] 图 6C 示出了也包括防粘突起 2 的结构化第二定片 16。第二定片 16 通过终止于矩形连接区域 616 的导电带而延伸到右上方。注意到,为了清晰起见,在图 6A 到 6E 中没有示出支撑结构 32 的结构化。

[0056] 图 6D 示出了在金属化部沉积在连接区域 612、614 和 616 上后数字扬声器的状态。此外,金属化部也沉积在基板 10 上,这可以在图 6D 所示的基板的左上角上看到。这些金属化部分别形成了基板 10、第二定片 16、薄膜 14 以及第一定片 12 的连接垫 34 和 34a-c。

[0057] 图 6E 示出了在钝化层 562 沉积在基板 10 的上表面上以及沉积在将第一定片 12、薄膜 14 和第二定片 16 分别与连接垫 32a、32b 和 32c 连接的导电带上后的基板以及基板 10 的上主表面上的结构。此外,在图 6D 和 6E 所示的状态之间发生了垫开口动作。虚线圆圈指示了基板 10 中空腔 22 的位置,该空腔 22 借助于背部蚀刻过程而形成。因此,现在可以穿过第二定片 16 内的空气孔 1、压力均衡孔 4 以及第一定片 12 中的多个空气孔 1 之一而一直看到空腔 22 (图 6E 中圆形薄膜的右下区域)。

[0058] 图 7A 到 7P 示出了在依照此处公开的教导的数字扬声器的制造过程的各个阶段或步骤期间晶片的一部分的示意横截面。

[0059] 图 7A 示出了在制造过程开始时的基板。基板 10 可以是硅晶片,其中硅以单晶结构布置。至少晶片的上主表面以及因而基板 10 已借助于抛光和 / 或蚀刻过程进行处理以便获取光滑的表面。典型地,基板的下主表面用相同的方式进行 处理。

[0060] 在图 7B 中,下蚀刻停止层 502 已沉积在基板 10 的上主表面处。下蚀刻停止层 502 确保发生在制造过程的稍后阶段的用于形成空腔 22 的蚀刻过程的可靠停止。下蚀刻停止层 502 典型地由氧化物或 TEOS 制成。其厚度典型地在 0.5 和 1  $\mu\text{m}$  之间。

[0061] 图 7C 示出了在下定片或第一定片 12 的两个层已沉积在下蚀刻停止层 502 上后晶片的示意横截面。期望的是第一定片 12 具有关于偏转的相对高刚度和 / 或经受显著的拉应力以便获得所需的稳定度,从而达到其作为数字扬声器中的定片的预计目的。例如,第一定片 12 应当足够刚性,使得其在由薄膜 14 搅动并流经在制造过程的稍后阶段形成于第一定片 12 中的多个空气孔 1 的空气的影响下没有开始振荡。此外,薄膜 14 被设计为周期性地机械接触第一定片 12。第一定片 12 应当足够刚性以避免在薄膜的电容致动期间自弯曲 (自弯曲应当小于薄膜致动的 10%)。一种实现这些所期望规范的方法是通过具有高拉应力 (近似 1GPa) 的化学计量的氮化硅层 122 与更厚的高注入多晶硅层 124 的结合来构建第一定片 12。

[0062] 图 7D 示出了在光刻 (由化学计量的氮化硅层 122 和多晶硅层 124 形成的) 第一定片 12 之后且也在向下至下蚀刻停止层 502 结构化这些定片层 122、124 之后晶片的示意

横截面。凹陷 71 形成在定片层 122、124 的左边和右边。注意到,当第一定片 12 例如是圆形或方形时,凹陷 71 典型地围绕定片层 122、124。同时,在第一定片层 122、124 中形成多个空气孔 1。

[0063] 在图 7E 中,牺牲层 32 已沉积并且可能已回火。牺牲层 32 限定了第一定片 12 和薄膜 14 之间的间隙宽度。牺牲层 32 的厚度典型地在  $1\mu\text{m}$  和  $3\mu\text{m}$  之间。牺牲层 32 可以由氧化物、TEOS、BPSG 或碳制成。注意到,在稍后阶段,牺牲层 32 的至少一些部分将在完成的数字扬声器中形成支撑结构(例如参看图 5)。因此,相同的参考标志“32”表示牺牲层和支撑结构二者。

[0064] 在牺牲层 32 的沉积期间,可以插入对防粘突起 2 与波纹槽 3 的前身形式执行光刻的过程。防粘突起 2 的前身形式由例如锥形凹陷 72 来给出,而波纹槽 3 的前身形式由环状槽 73 来给出。这可以在单个步骤期间完成。前身形式 72、73 可以通过对牺牲层 32 蚀刻或通过在牺牲层 32 的沉积期间施加掩模而获取。然而,前身形式 72、73 的创建是可选的,并且如果未来的薄膜 14 不包括防粘突起 2 和波纹槽 3 的话则可以省略。

[0065] 图 7G 对应于在薄膜 14 已沉积在牺牲层 32 顶部上之后的过程阶段。薄膜层 14 可以沉积为非晶硅,随后用磷注入或掺杂,然后在受控的烘箱过程中结晶。借助于温度预算,薄膜层 14 内的拉应力可以被控制。同时,掺杂也用来使得薄膜导电。在受控的烘箱过程之后,对薄膜层 14 执行光刻,因而薄膜层 14 被结构化向下至牺牲层 32,如在薄膜层 14 的左边和右边可以看到的那样。对薄膜层 14 的光刻也用来形成压力均衡孔 4。

[0066] 图 7H 示出了在执行以下步骤之后的晶片。牺牲层 32 的另一部分层沉积在薄膜层 14 的顶部上以及在已经沉积的牺牲层 32 上。可能地,牺牲层 32 的附加层已被回火。附加牺牲层 32 限定了薄膜 14 与第二定片 16 之间的未来间隙宽度。附加牺牲层的厚度  $t_2$  典型地在  $1\mu\text{m}$  和  $3\mu\text{m}$  之间,并且为了对称起见典型地被选择为与在第一定片 12 和薄膜 14 之间先前沉积的牺牲层 32 的厚度  $t_1$  相同。再次,附加牺牲层 32 可以包括氧化物、TEOS、BPSG 或碳。

[0067] 以与在图 7F 的背景下所描述的相似的方式,在附加牺牲层 32 的沉积期间可以插入一种过程以便对防粘突起 2 的前身形式执行光刻。附加牺牲层 32 的沉积和前身形式的限定可以在单个步骤期间执行。

[0068] 随后,第二定片 16 的层被沉积。再次,可以使用具有高拉应力(近似 1GPa)的化学计量的氮化硅层 162 与更厚的高注入多晶硅层 164 的结合。因而,第二定片 16 由于抗偏转的高刚度而具有高稳定性,并且经受显著的拉应力。多晶硅层 164 也用作由第二定片 16 和薄膜 14 所形成的电容器的电极。

[0069] 然后对第二定片 16 执行光刻,因而第二定片层 162、164 被结构化向下至牺牲层 32。

[0070] 图 7I 示出了如何对牺牲层 32 的氧化物层结构化以使连接区域 612、614、616(参见图 6A 到 6E)和基板 10 暴露。

[0071] 图 7J 示出了在连接垫 34 已形成于连接区域 612、614 和 616 上之后的晶片。在晶片 10 上也形成了连接垫 34,使得晶片 10 可以连接至限定的电位,例如以便使基板 10 电接地。通过对图 7I 的晶片的暴露表面执行光刻并通过然后在光刻后仍然暴露的区域中执行金属化,形成连接垫 34。导电带或线也可以借助于金属化来形成。

[0072] 钝化层 562 的沉积步骤的结果在图 7K 中示出。钝化层 562 可以由等离子体 氮化物（氧氮化物）组成，但也可以从聚酰亚胺获取。为了提供向连接垫 34 的接入，钝化层 562 在对应的区域中被蚀刻，其中蚀刻的空间动作由对钝化层 562 先前执行的光刻来控制。所谓的 MEMS 区域也由光刻来限定并通过钝化层 562 的随后蚀刻而暴露。MEMS 区域基本上是声音换能区域，即在未来薄膜 14 的偏转部分上方和下方的区域。

[0073] 在图 7K 所示的中间过程结果之后，基板 10 可以可选地薄化。然后，背部遮蔽借助于光致抗蚀剂或氧化物掩模来限定。背部掩模控制背部蚀刻过程，借助于该过程来创建空腔 22。这一蚀刻预计停止在下蚀刻停止层 502 处。蚀刻可以是直接的、各向同性的干法蚀刻过程（例如，Bosch 过程）。替换地，具有适当掩模设计的各向异性的或各向同性的湿法蚀刻过程也是可能的。这些步骤的结果在图 7L 中示出。

[0074] 如在图 7M 中可以看到的那样，在执行随后步骤之前，在 MEMS 区域外部的区域借助于在晶片正面的光致抗蚀剂 765 而得到保护。

[0075] 然后，如图 7N 中所示，牺牲层 32 和下蚀刻停止层 502 经由空腔 22 和光致抗蚀剂 765 借助于蚀刻过程而移除。蚀刻过程适于作用于所采用的牺牲层 32，并且针对薄膜层 14 与定片层 122、124、162 和 164 具有高选择性。同时，对蚀刻过程的控制应当确保不同的层彼此没有粘连。可以用氢氟酸来蚀刻牺牲层 32 并充分清洗牺牲层 32。然后如图 7P 所示，光致抗蚀剂 765 可以被移除，整个晶片利用合适的溶剂再清洗一次并使之变干。尤其，在薄膜层 14 和第二定片层 16 处防粘突起 2 的存在防止了干燥过程期间 MEMS 区域的粘连。

[0076] 图 7P 基本上对应于图 5 并且示出了用于创建依照此处公开的教导的数字扬声器的过程的最终产品。数字扬声器现在可以经由连接垫 34a-c 与驱动电路电连接。

[0077] 由于依照图 7A 到 7P 的数字扬声器的制造过程在晶片过程的背景下执行，基本数字扬声器元件的大批数字扬声器可以相对容易地组合，以便提高声辐射功率或提供音频信号的期望幅值分辨率。在后一种情况下，音频信号的幅值控制了给定时间驱动扬声器阵列的多少基本扬声器元件：如果音频信号具有相对低的幅值，则只有一些基本扬声器元件被驱动。在不同的时间，如果音频信号具有相对大的幅值，则大量的或甚至全部的基本数字扬声器元件都可以被驱动。以这一方式，若干基本数字扬声器元件的阵列可以接近原始音频信号的波形，使得对于收听者而言残余的区别可能是觉察不到的。

[0078] 图 8 示出了在共同的晶片或基板 10 上形成的若干基本扬声器元件阵列的横截面。阵列中的基本扬声器元件可以例如以矩形或方形的方式布置有  $m$  行和  $n$  列，因而形成了  $m \times n$  阵列，其中  $m > 1$  和 / 或  $n > 1$ 。典型的阵列可以包括几百个基本数字扬声器元件上至数十万个基本数字扬声器元件。基本数字扬声器元件的数量取决于使用该基本数字扬声器元件阵列的数字扬声器的期望分辨率、期望声压级以及预计频率范围。

[0079] 图 9 示出了依照此处公开的教导的数字扬声器的操作概念。当薄膜 14 处于其静止位置时，薄膜 14 被布置在第一定片 12 和第二定片 16 之间。位于静止位置的薄膜 14 用实线绘出。当不同的电位施加到第一定片 12、薄膜 14 和第二定片 16 时，薄膜 14 可以被吸引至例如第二定片 16，就是说，薄膜 14 由于薄膜 14 与第二定片 16 之间的静电力而被上拉。另外，如果连接到数字扬声器的驱动电路将电荷施加到薄膜 14 和第一定片 12 而导致薄膜 14 和第一定片 12 内同号的电荷（或者都带正电，或者都带负电），则薄膜 14 与第一定片 12 之间可以创建排斥的静电力。依照此处公开的教导，薄膜 14 的中央部分被向上拉直到其接

触第二定片 16 (在图 9 中处于上末端位置的薄膜 14 以虚线示出)。当薄膜 14 的中央部分机械接触第二定片 16 时,达到了稳定的状态,因为薄膜 14 和第二定片 16 之间的静电吸引力将薄膜 14 的中央部分维持在此位置中,只要静电力持续即可。因此,由驱动电路提供的驱动信号仅仅必须确保足够高的电压施加在薄膜 14 和两个定片 12、16 的至少一个之间。

[0080] 薄膜 14 的中央部分没有机械接触第二定片 16 的平坦区域,而是仅仅接触位于第二定片 16 的对应于薄膜 14 中央部分的区域中的防粘突起 2 的尖端。在图 9 所显示的示例性配置中,薄膜 14 没有机械接触第二定片 16 的最左边的防粘突起和最右边的防粘突起。

[0081] 当薄膜 14 被朝向第一定片 12 向下拉时,情况基本上相同(在图 9 中处于下末端位置的薄膜 14 以虚线绘制)。在这一情况下,防粘突起 2 被提供在薄膜 14 的下主表面。在两种情况下,防粘突起 2 都防止了薄膜 14 与第二定片 16 或第一定片 12 之间的粘着力变得过大,这将防止薄膜 14 回到其中央静止位置,因而潜在地使得数字扬声器不可用。

[0082] 在第二定片 16 和薄膜 14 的下主表面上形成的防粘突起形成了从所述表面突出的隆起。因而,薄膜基本上在这些隆起中的至少一个即(一个或多个)防粘突起处机械接触第一定片 12 及第二定片 16。

[0083] 图 10 示出了薄膜 14 当在其第一末端位置中时即当薄膜机械接触第一定片 12 时的示意顶视图。薄膜 14 的防粘突起 2 可以细分为两组:防粘突起 2 的第一组参与薄膜 14 与第一定片 12 之间的机械接触。这些参与的防粘突起或突出的隆起 2 包含于外切区域 145 中。外切区域 145 通过连接最外面的参与机械接触的防粘突起而被限定,使得外切区域 145 典型地是多边形。在替换方案中,外切区域 145 可以是外切圆或外切椭圆。在这一外切区域 145 的外部,只有非参与的防粘突起 29。注意到,一些非参与的防粘突起 29 也可以位于外切区域 145 内。然而,如果有参与的防粘突起 2 在外切区域 145 内处于更外,则外切区域 145 的限定不因(一个或多个)非参与的防粘突起 29 的存在而改变。也可以采用外切区域 145 的其他限定。

[0084] 依照此处公开的教导的可选方面,当分别处在第一位置或第二位置中时,薄膜 14 与第一定片 12 或第二定片 16 之间的机械接触在薄膜的总自由区域的 30% 与 90% 之间的外切区域内发生。外切区域 145 包括分别在薄膜和第一定片 12 或第二定片 16 之间的接触点或多个接触点(即参与的防粘突起 2)。薄膜的总区域典型地为由薄膜 14 上方和下方的自由腔体所限定的区域。因而,例如依照这一限定,薄膜 14 的总区域排除了夹在支撑结构 32 内的任何圆周区域。

[0085] 图 11A 和 11B 示出了用于操作数字扬声器的方法。在图 11A 中,薄膜 14 和第一定片 12 二者都被充以负电荷,而相比而言,第二定片 16 被充以正电荷。这通过将第一电位施加到第一定片 12、将第二电位施加到第二定片 16 以及将第三电位施加到薄膜 14 而实现。典型地,第一、第二和第三电位彼此不同。第一电位、第二电位与第三电位之间的差导致薄膜 14 被吸引至第二定片 16,直到其达到其中薄膜 14 机械接触第二定片 16 的第二末端位置。薄膜 14 与第二定片 16 之间的机械接触包括薄膜 14 的上主表面 141 和第二定片 16 的下主表面 161。

[0086] 图 11B 示出了当薄膜 14 被第一定片 12 吸引时的数字扬声器。薄膜 14 然后在上主表面 121 处机械接触第一定片 12。

[0087] 依照用于操作数字扬声器的方法的可选方面,第一电位、第二电位和第三电位中

的至少一个可以基本上对应于薄膜 14 共振频率的频率而随时间变化。薄膜 14 的机械共振频率可以相对高,远高于人类的听觉频率范围。然而,数字扬声器可以被操作,使得声波由空间上和 / 或时间上分布的许多小压力脉冲的重叠而创建。因而,如果基本数字扬声器元件阵列的驱动信号例如借助于阵列控制器而适当地控制,音频信号可以通过这样的重叠来重构。

[0088] 图 12 示出了用于操作依照此处公开的教导的数字扬声器的方法的示意流程图。在 1202 处,向第一定片 12 施加第一电位。在 1204 处,向第二定片 16 施加第二电位。在 1206 处,向薄膜 14 施加第三电位。动作 1202、1204 和 1206 可以以任何其他的顺序来执行并且典型地同时执行,使得不同的电位在特定的时刻施加到定片 12、16 和薄膜 14。

[0089] 不同的电位导致了第一定片 12 或第二定片 16 吸引薄膜 14,直到薄膜 14 分别达到第一末端位置或第二末端位置。在第一位置中,薄膜 14 机械接触第一定片 12。在第二末端位置中,薄膜 14 机械接触第二定片 16。

[0090] 典型地,第一电位、第二电位和第三电位中的至少一个随时间而变化,以便导致薄膜交替地呈现第一末端位置和第二末端位置,如可选块 1210 中所指示的。例如,振荡器可以连接到第一定片 12、第二定片 16 和薄膜 14 中的至少一个。另一选择将是例如把第一定片连接到一对进而连接到不同电位的开关。这对开关可以交替地操作,使得第一定片 12 被交替地连接到不同电位中的一个。当然,可以使用相似的结构来将交替变化的电位施加到第二定片 16 或薄膜 14。用于驱动第一定片、第二定片和薄膜中的至少一个的驱动电路的示例性实施可以包括 H 桥。

[0091] 尽管在设备的背景下已描述了一些方面,但是显然,这些方面也表示对应方法的描述,其中块或装置对应于方法步骤或方法步骤的特征。相似地,在方法步骤的背景下描述的方面也表示了对应设备的对应块或项目或特征的描述。

[0092] 对于本发明的原理,上面描述的实施例仅仅是说明性的。要理解,对此处所描述的布置与细节的修改和变化对于本领域的其他技术人员来说将是显而易见的。因此,意图是仅由待决专利权利要求的范围而不是由借助于此处的实施例的描述和解释而呈现的特定细节来限制。

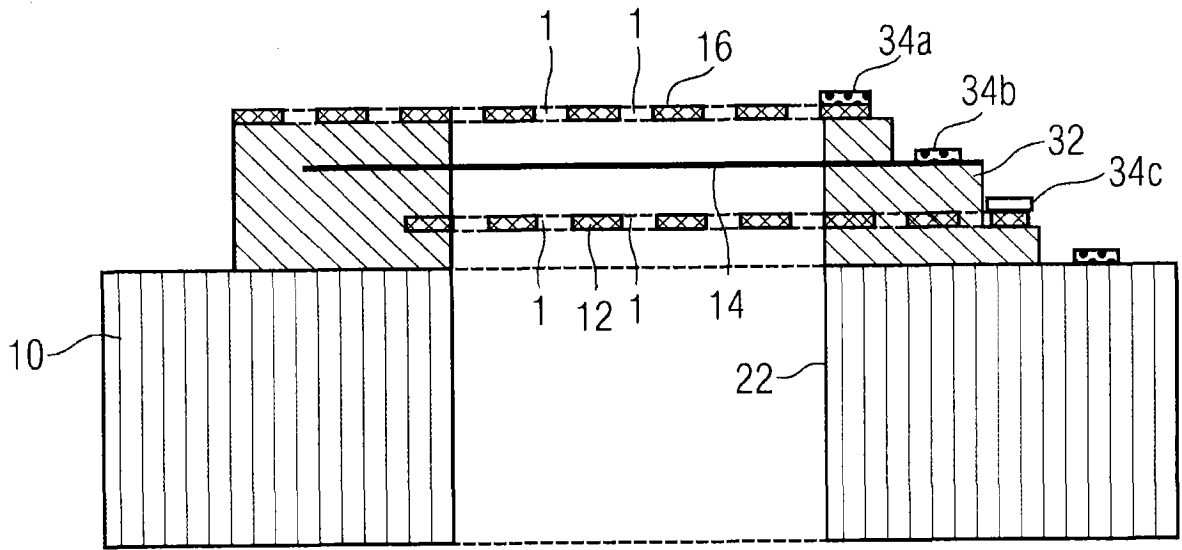


图 1

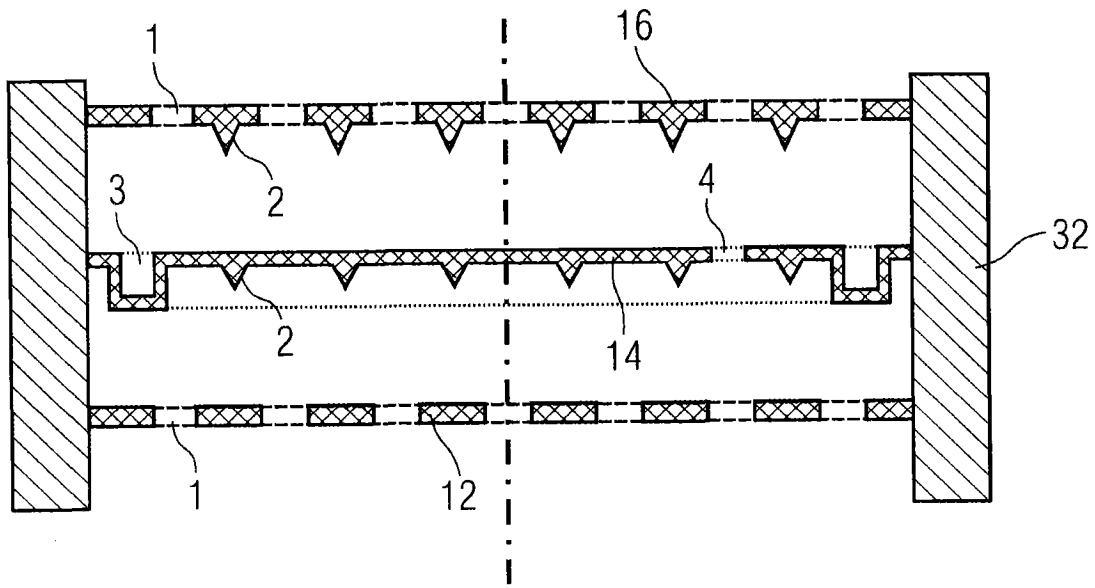


图 2



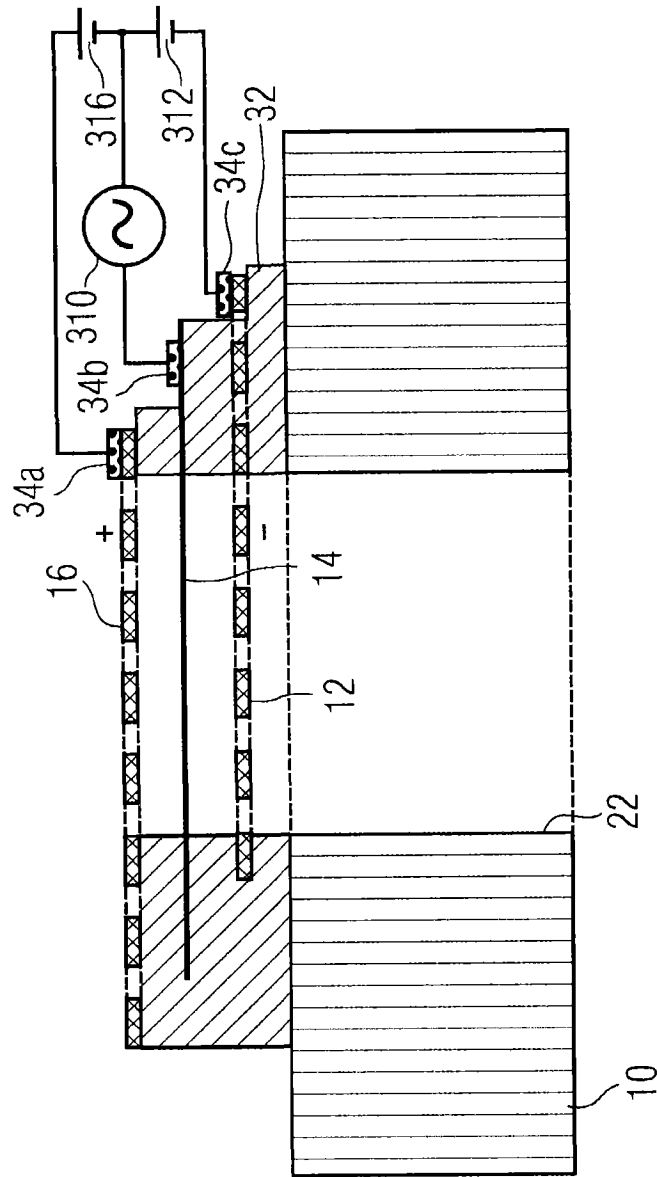


图 3



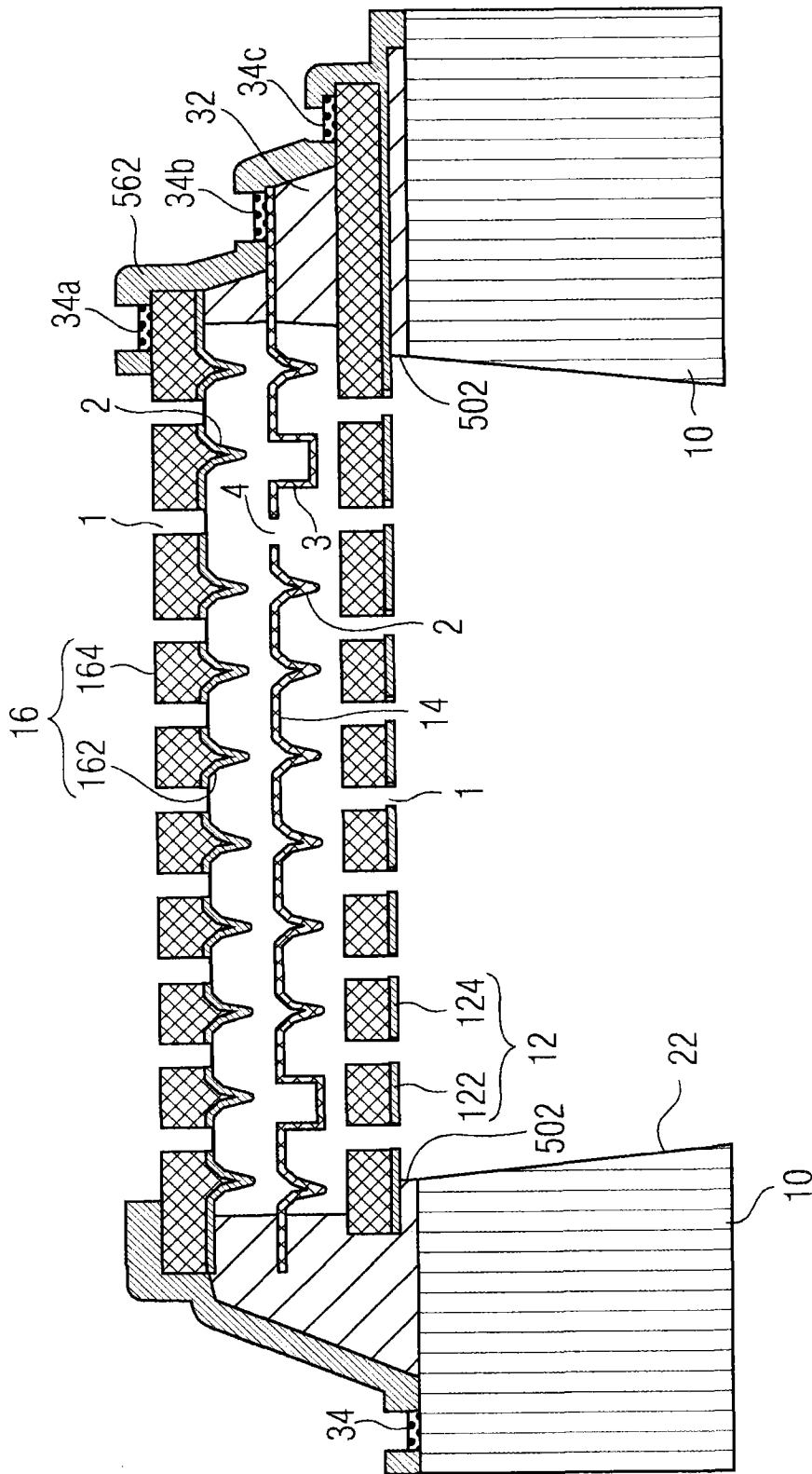


图 5

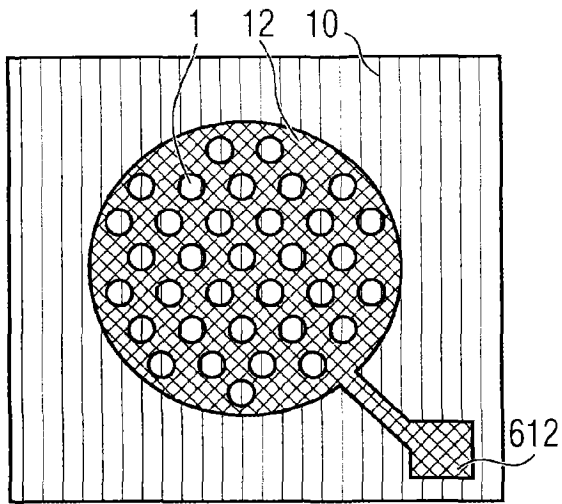


图 6A

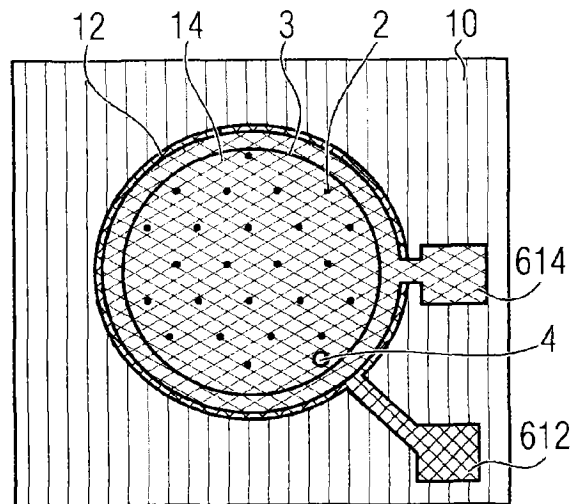


图 6B

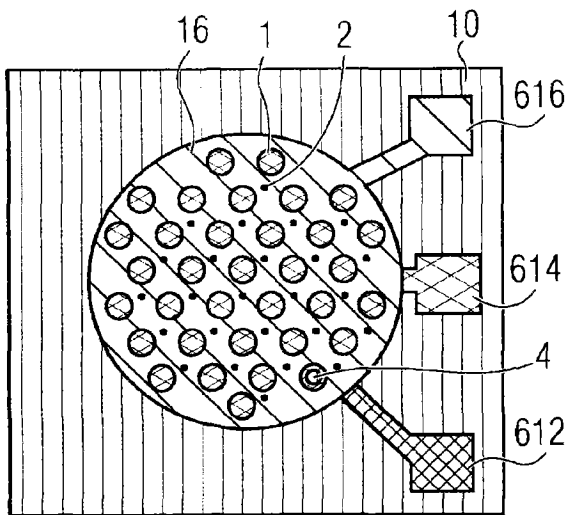


图 6C

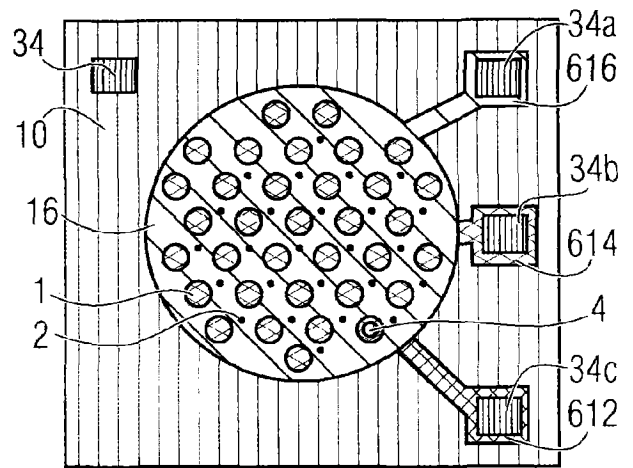


图 6D

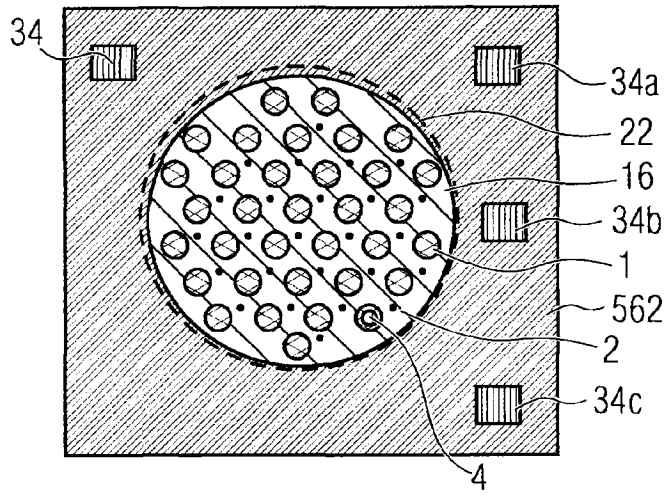


图 6E

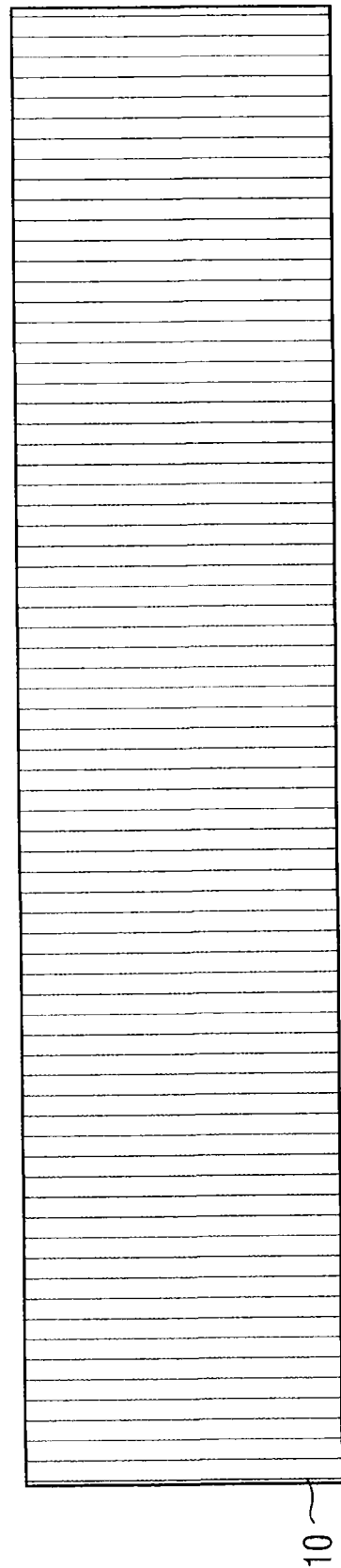


图 7A

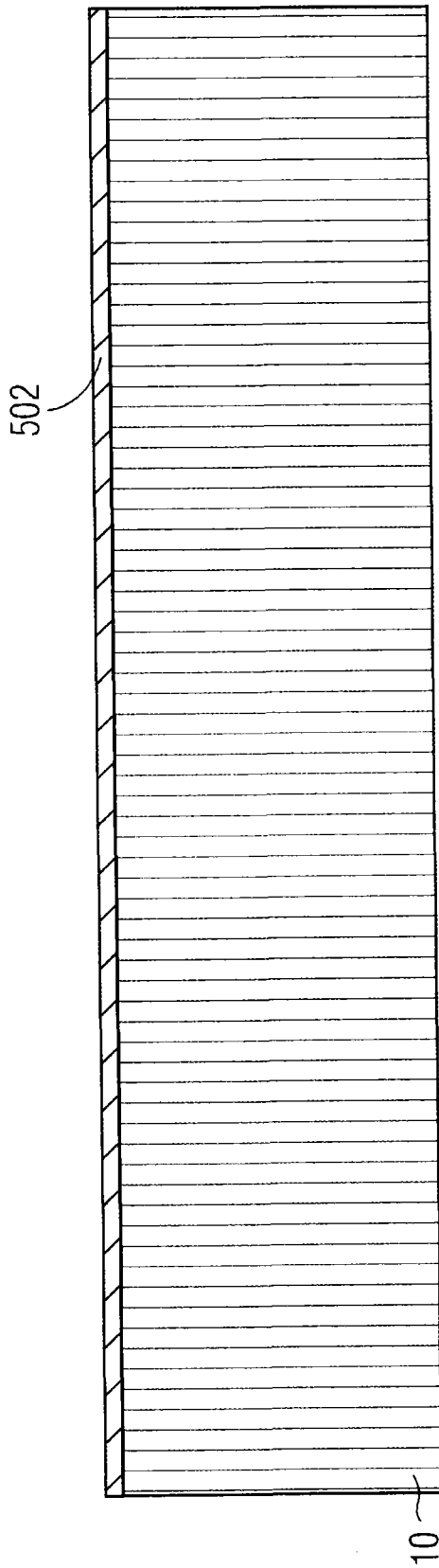


图 7B

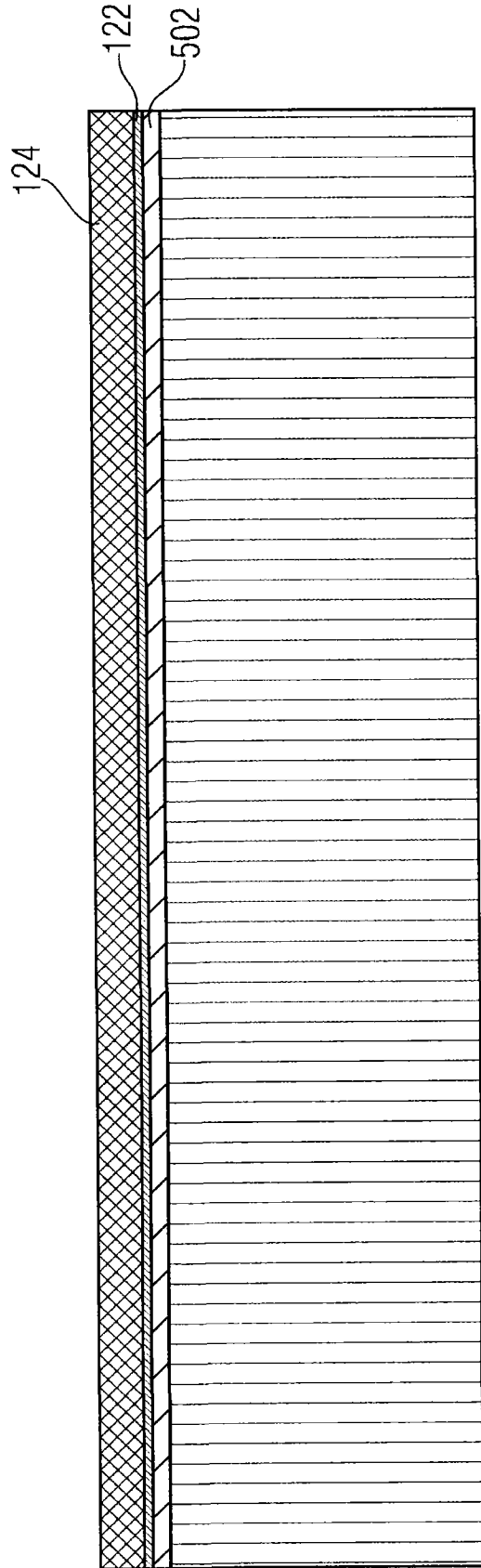


图 7C

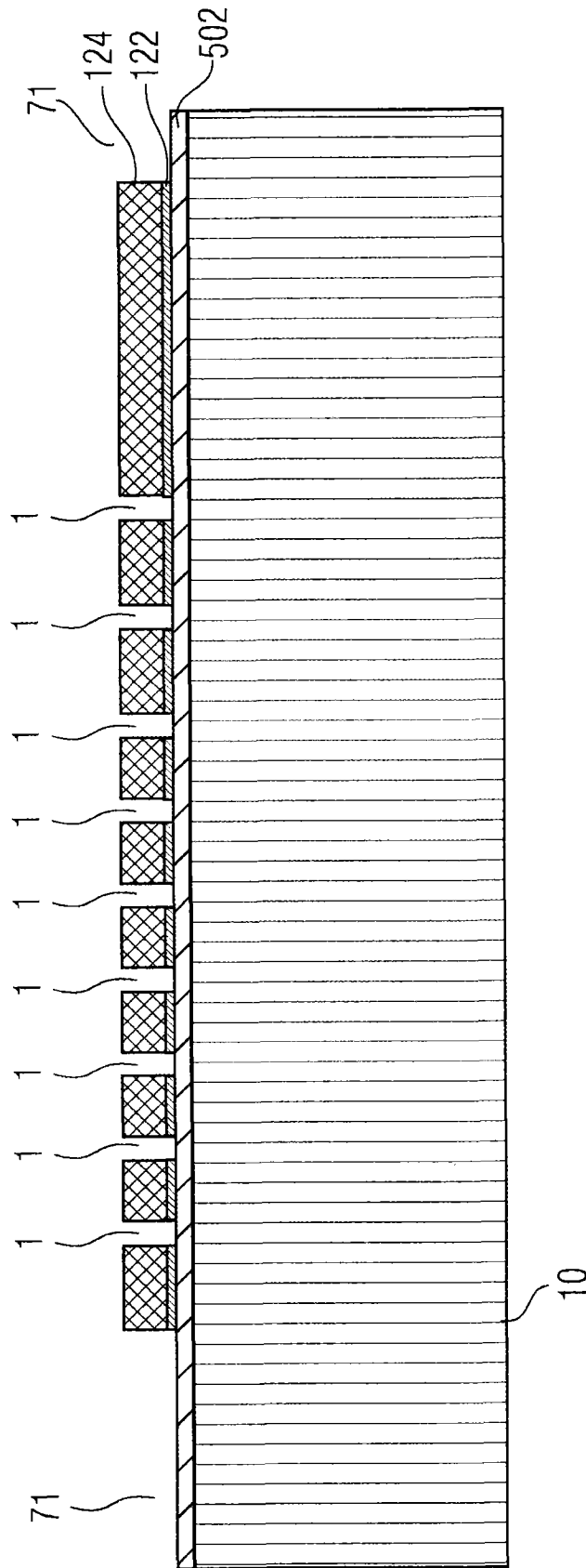


图 7D

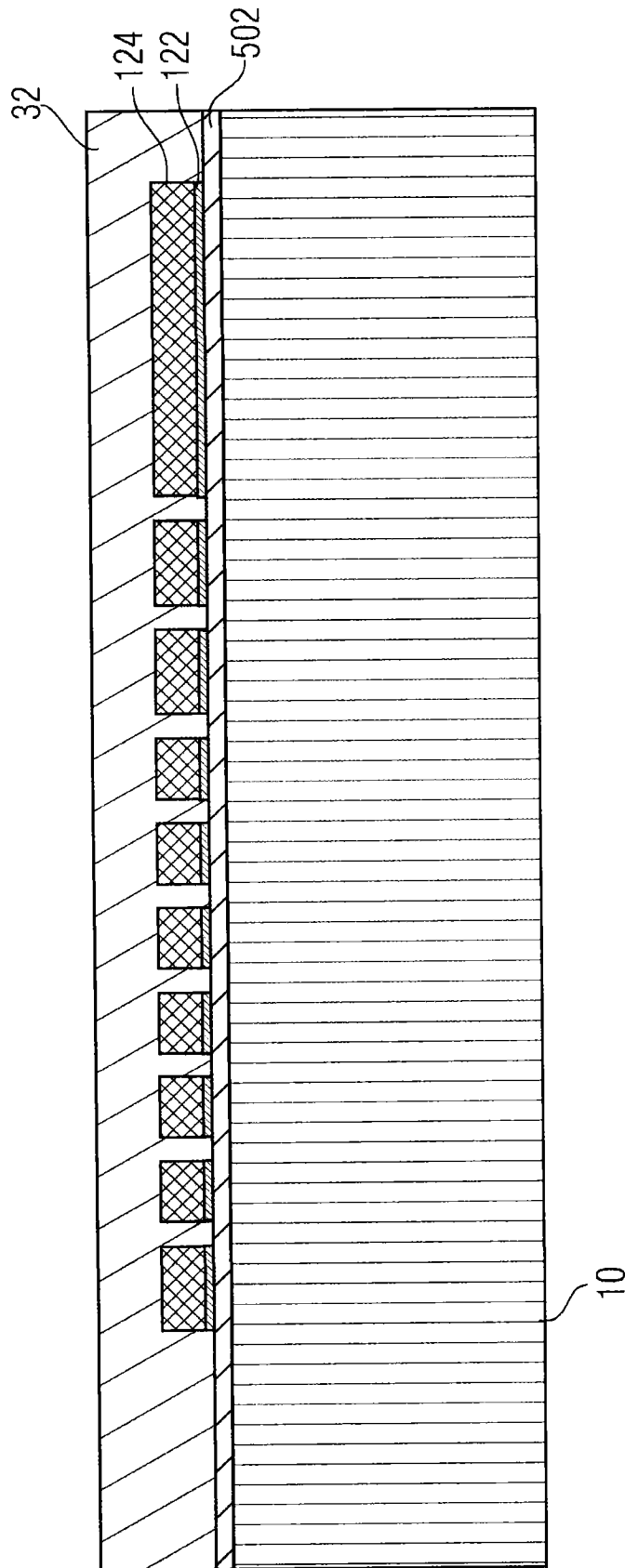


图 7E



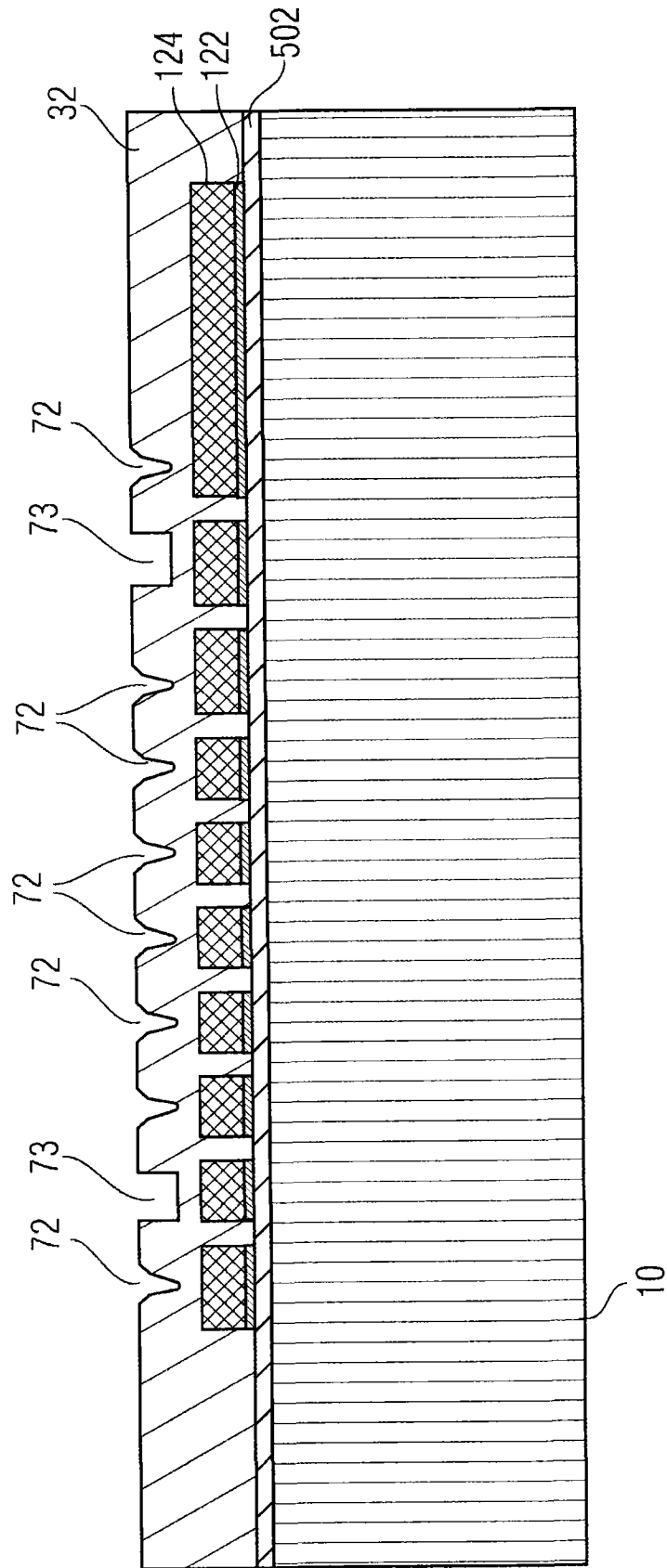


图 7F

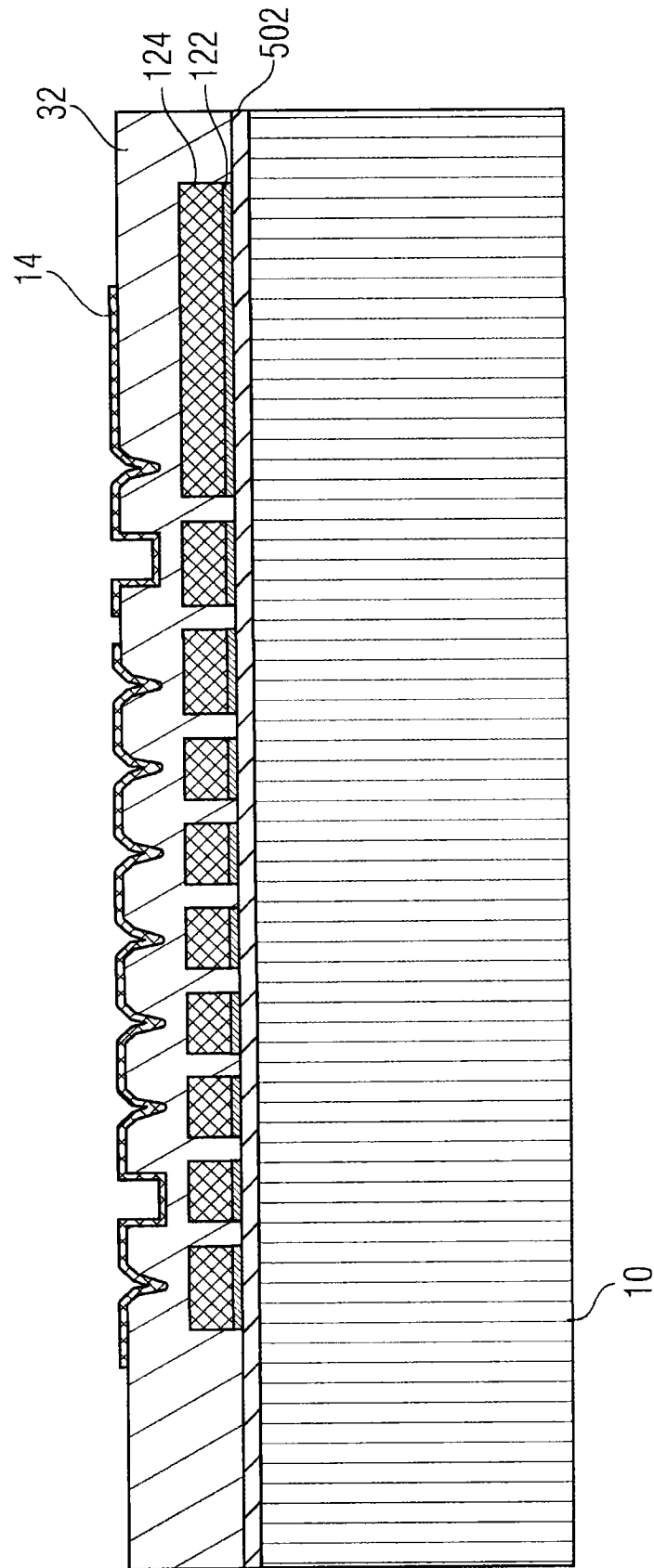


图 7G

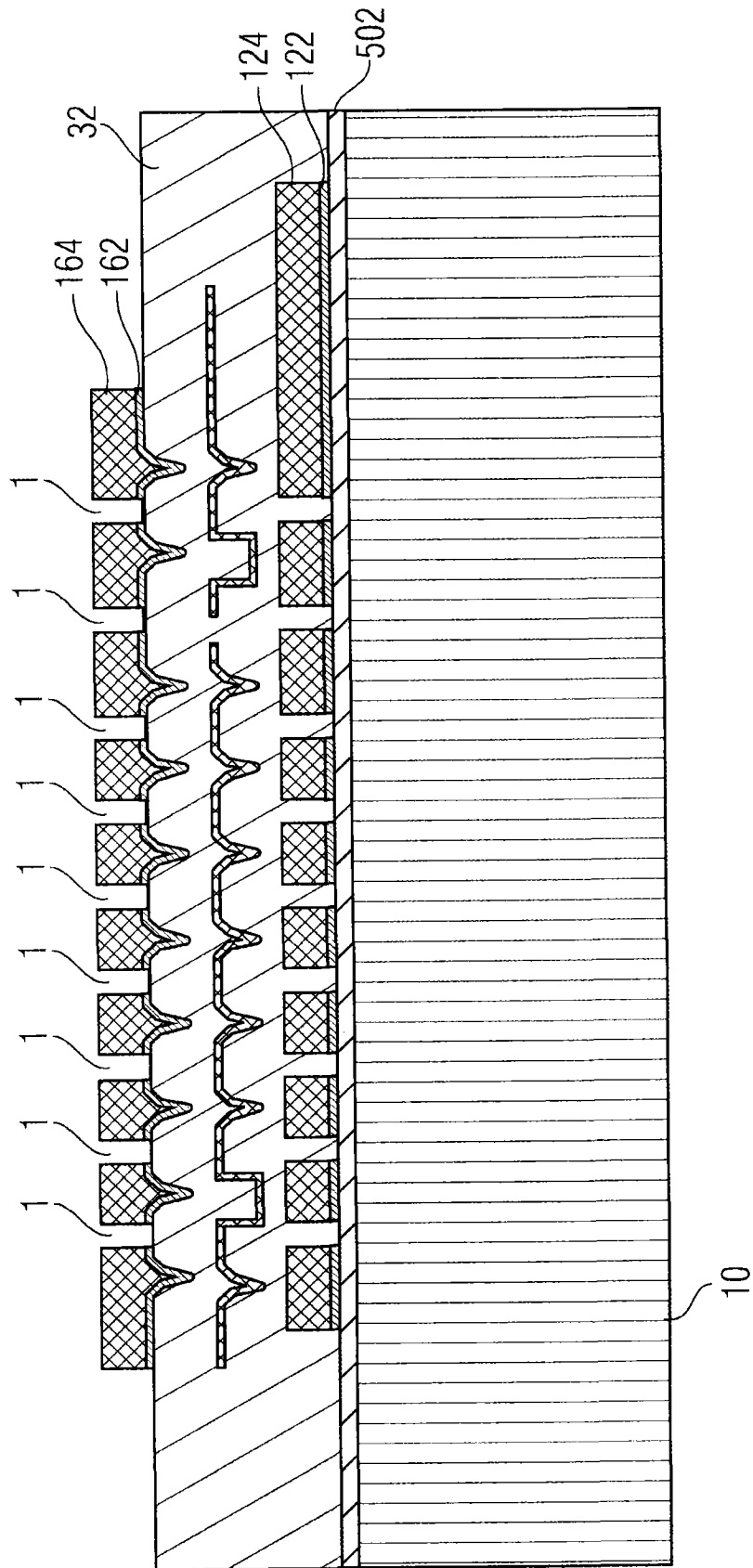


图 7H

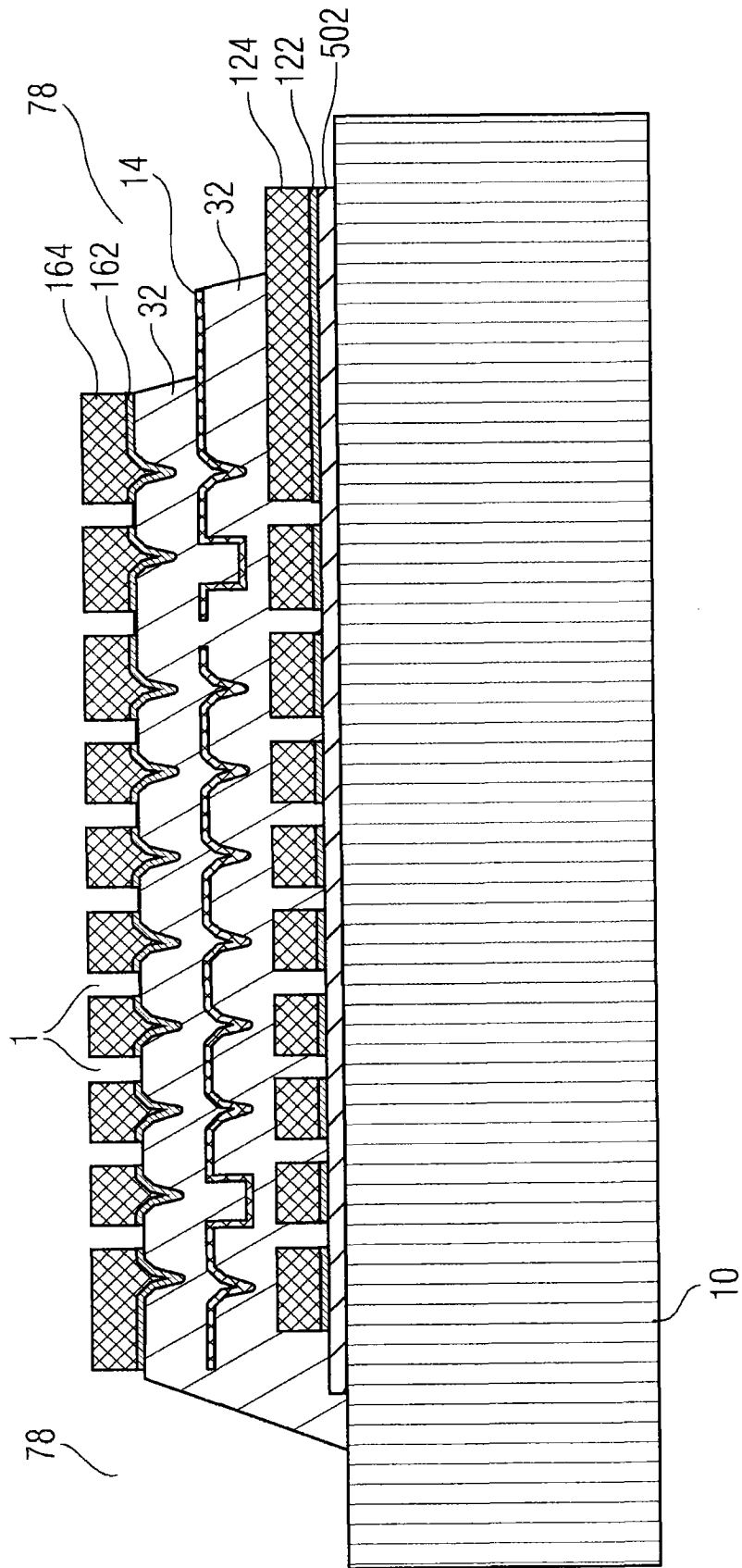


图 71

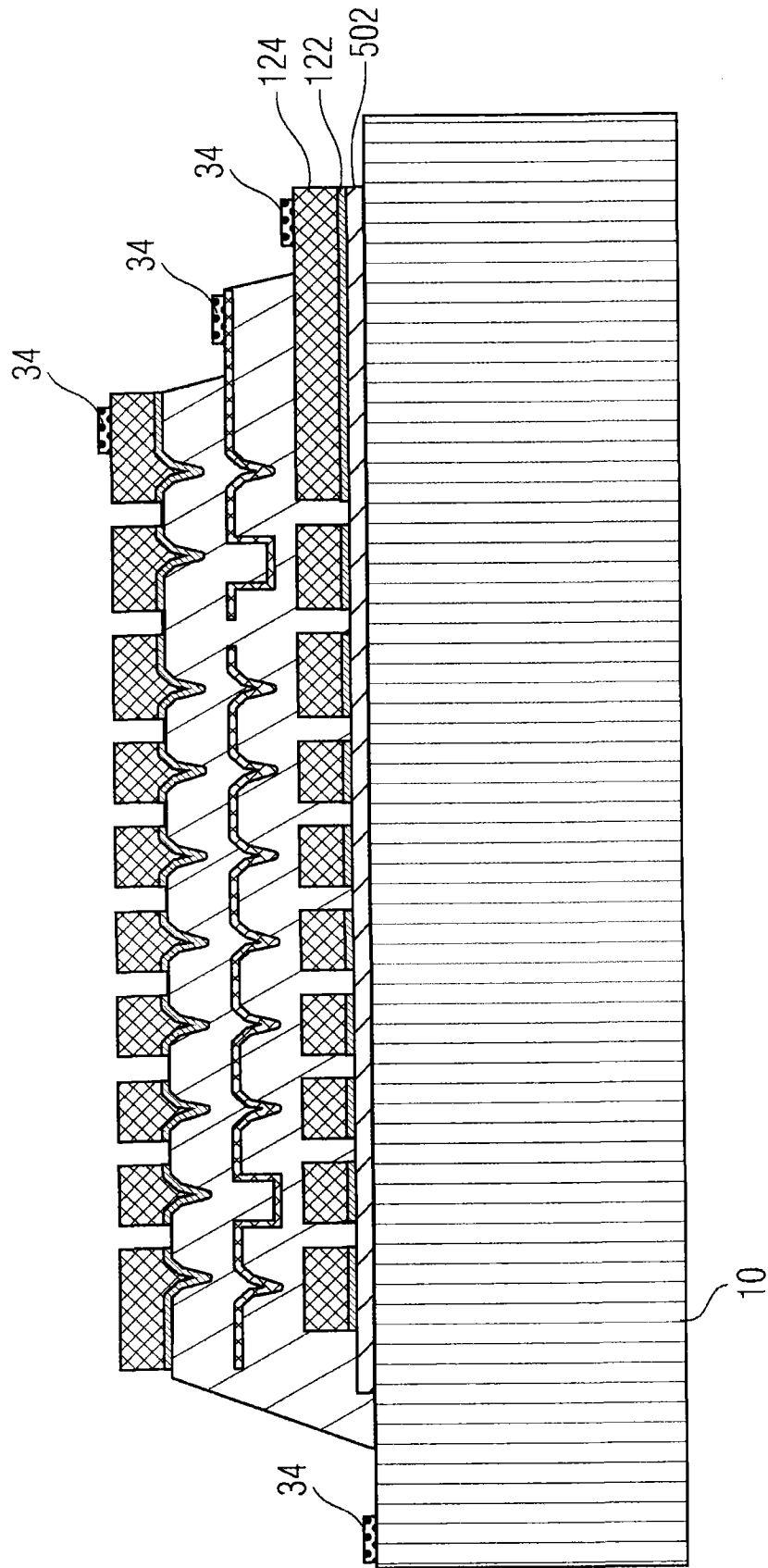


图 7J

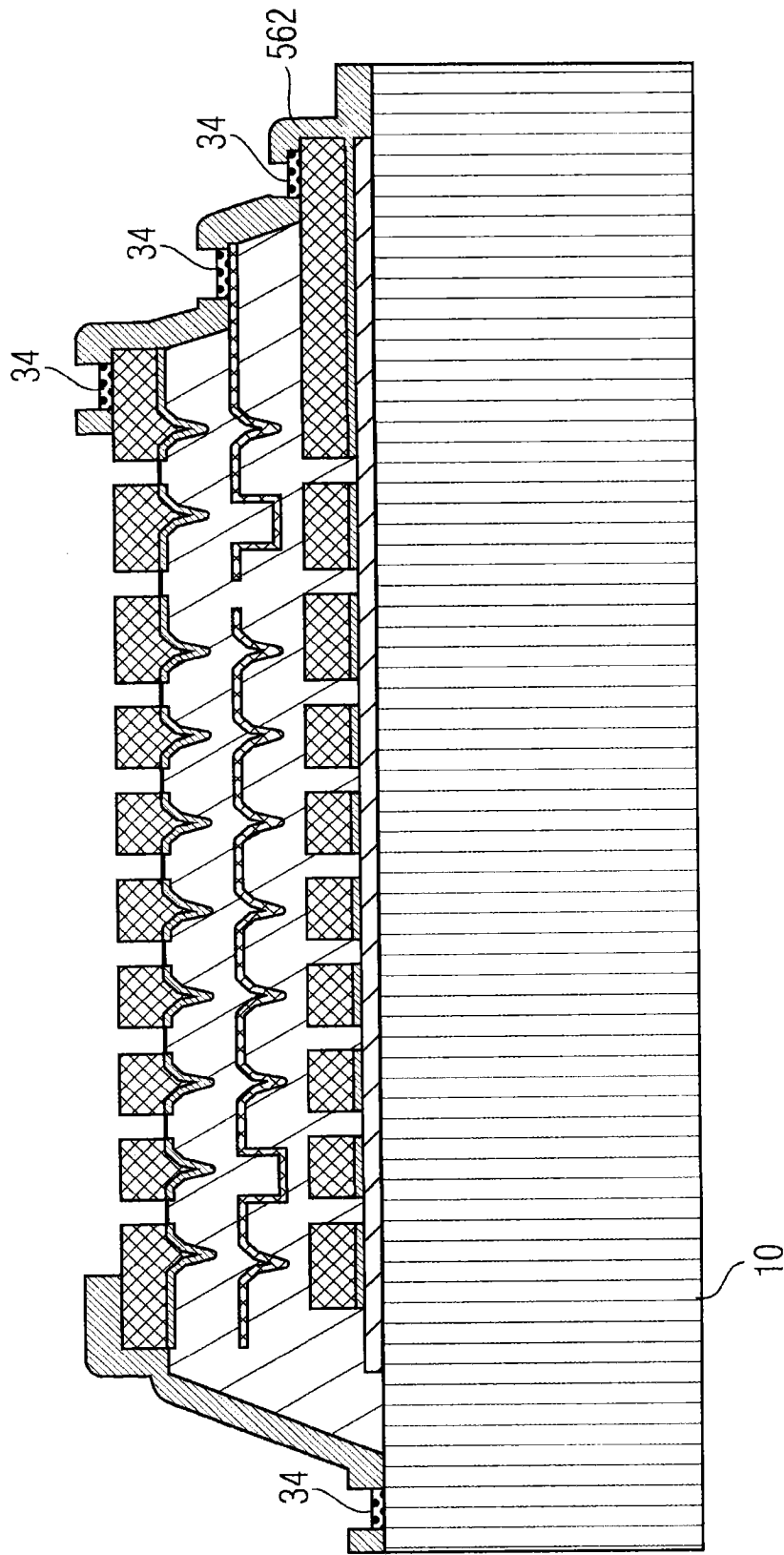


图 7K

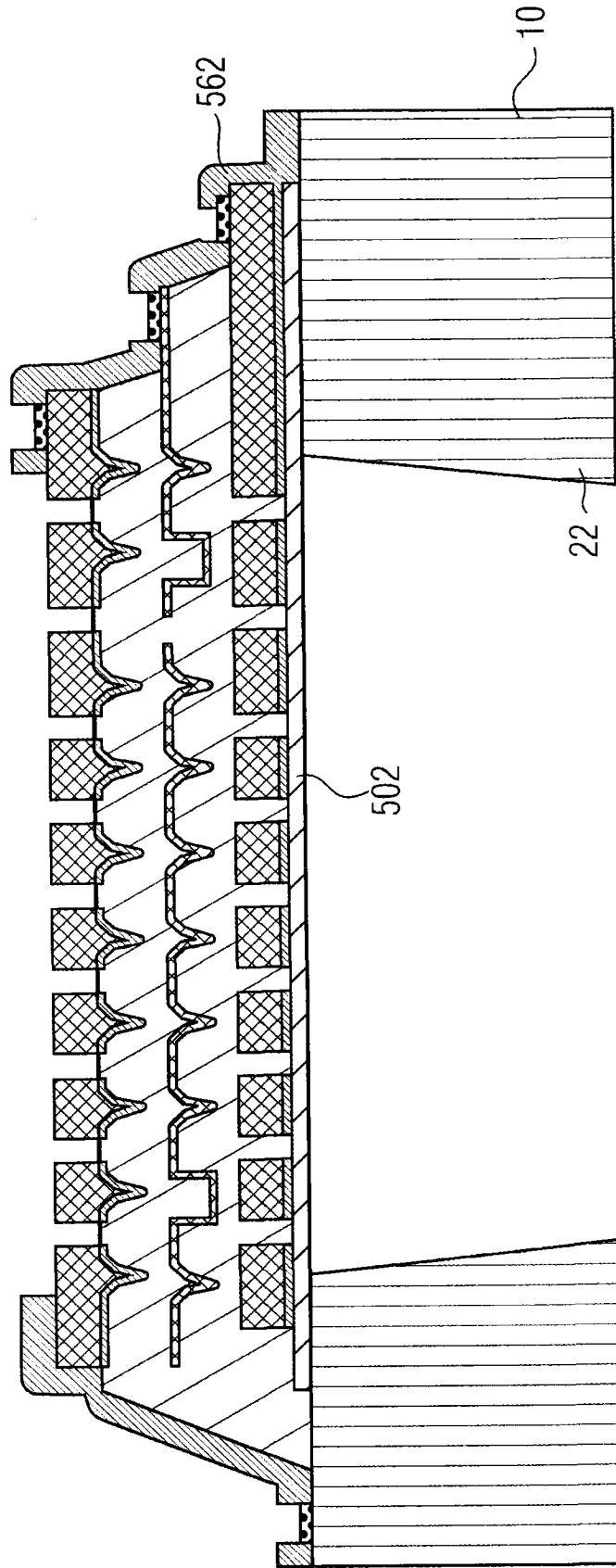


图 7L

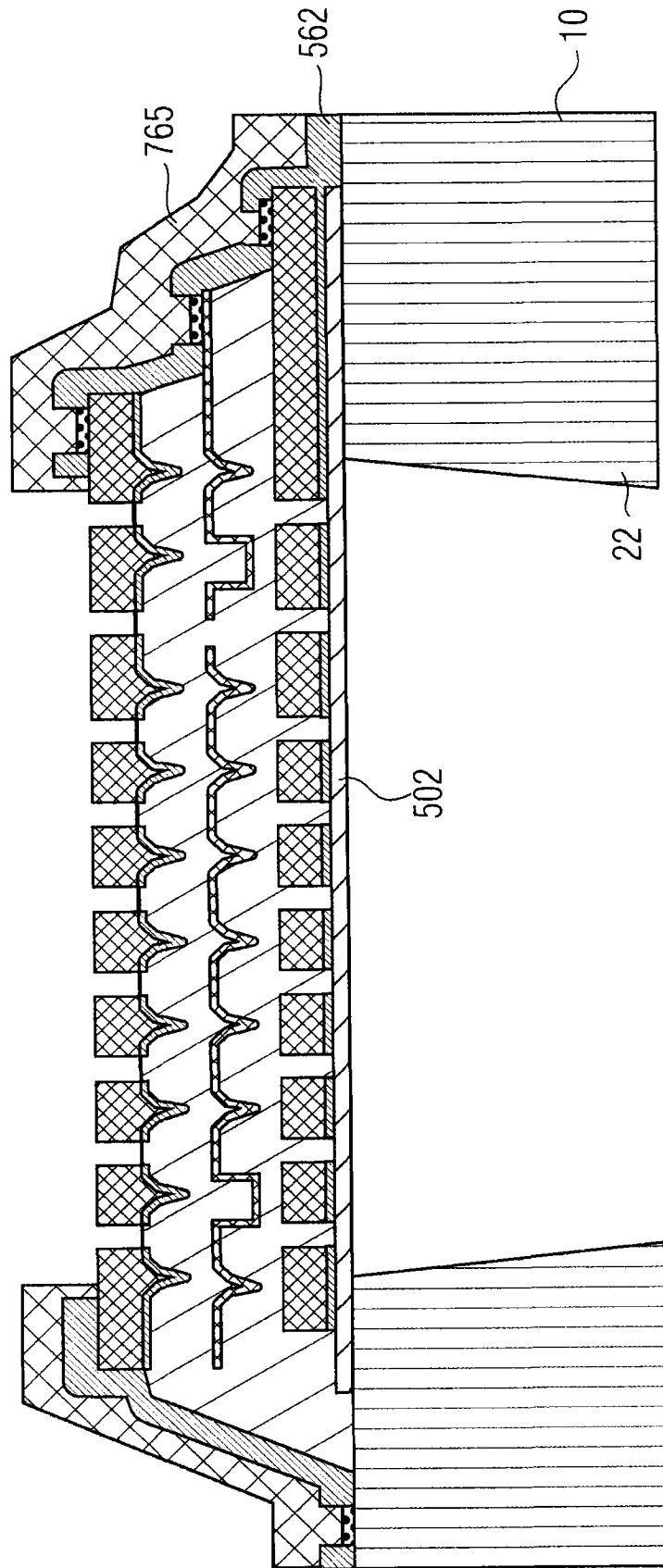


图 7M



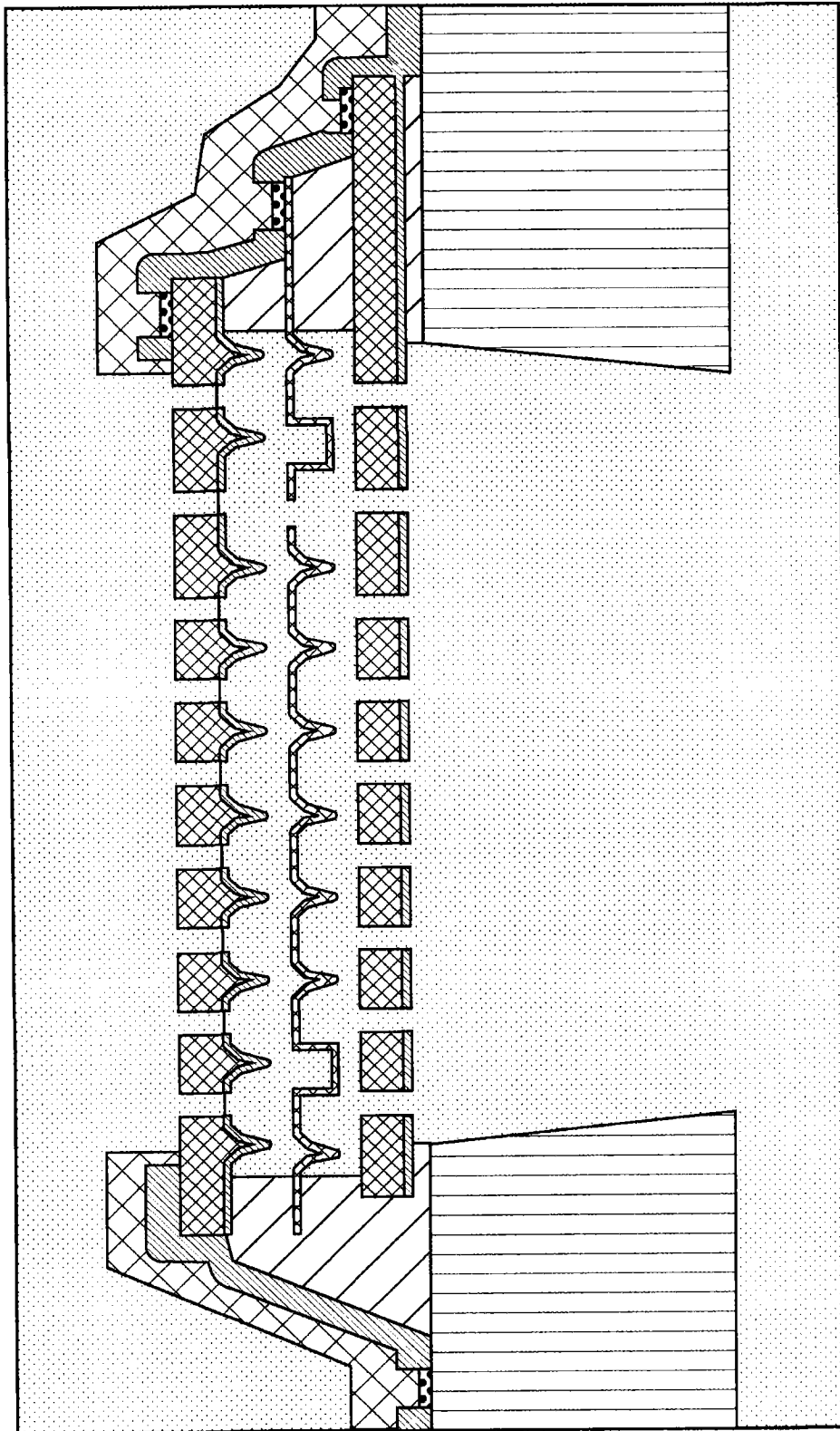


图 7N

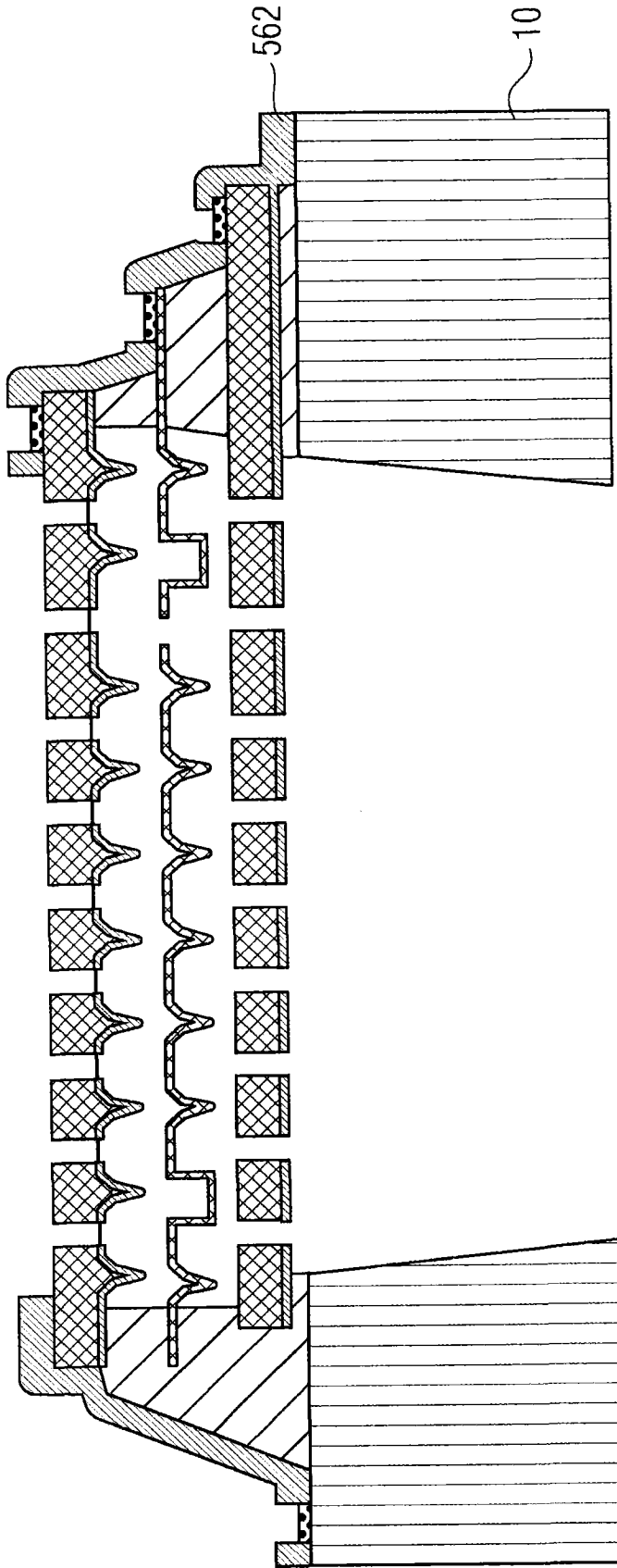


图 7P

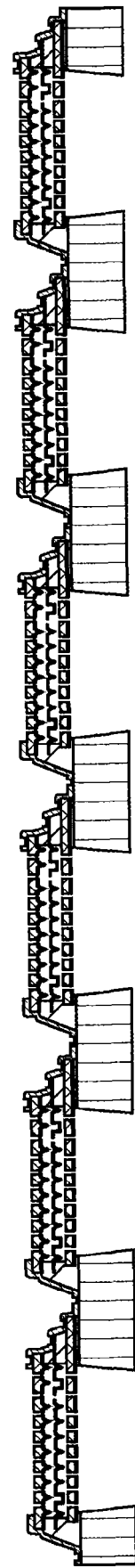


图 8

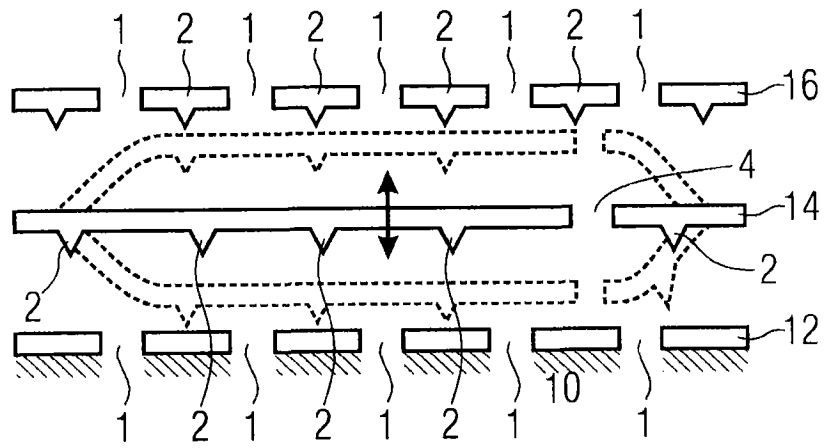


图 9

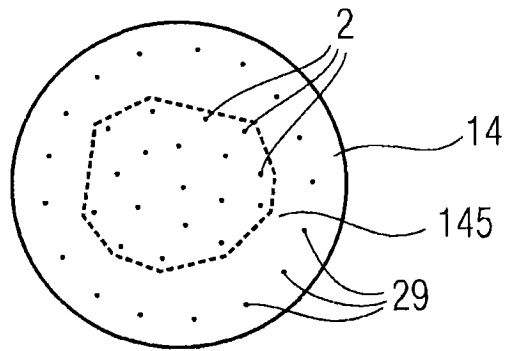


图 10

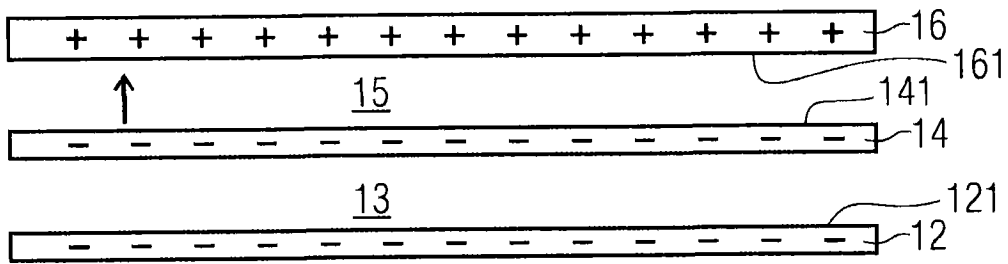


图 11A

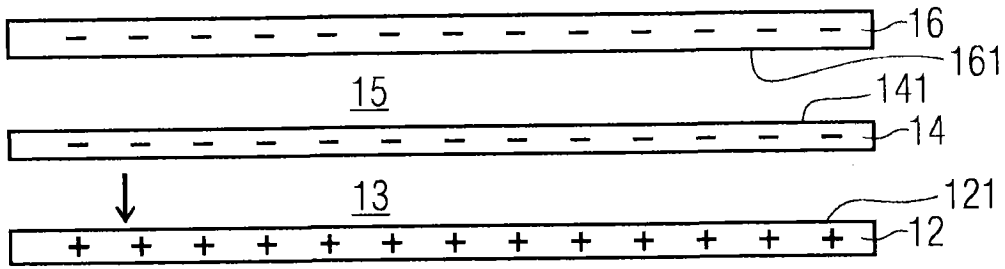


图 11B

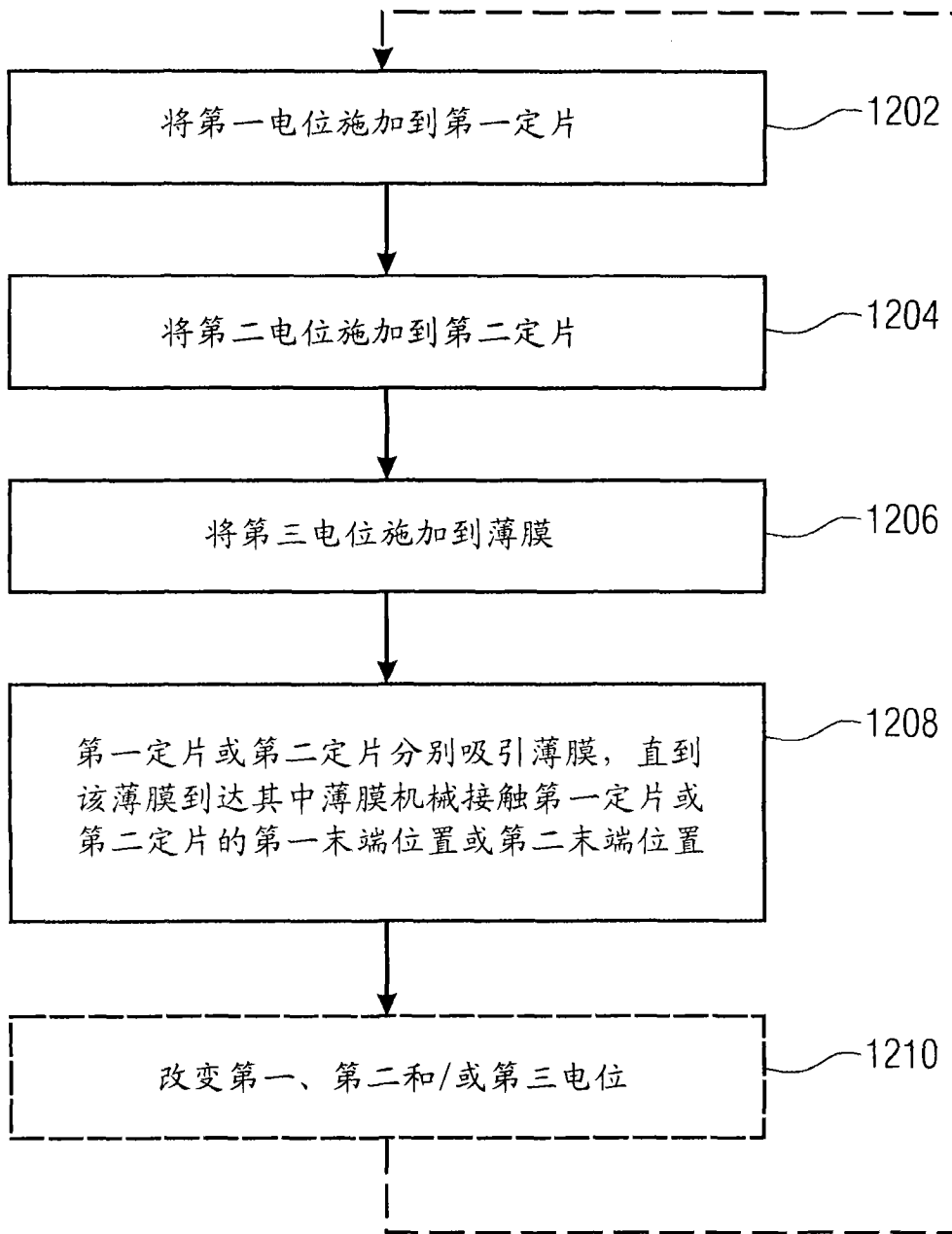


图 12