

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510089698. X

[51] Int. Cl.
A61B 8/00 (2006.01)
G01N 29/00 (2006.01)
G01N 29/22 (2006.01)
B81C 5/00 (2006.01)

[43] 公开日 2006年1月4日

[11] 公开号 CN 1714754A

[22] 申请日 2005.6.30
[21] 申请号 200510089698. X
[30] 优先权
 [32] 2004. 6. 30 [33] US [31] 10/881924
[71] 申请人 通用电气公司
 地址 美国纽约州
[72] 发明人 田维诚 李华伦 L·S·史密斯
 李业铭 孙 阶

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
 代理人 王 岳 梁 永

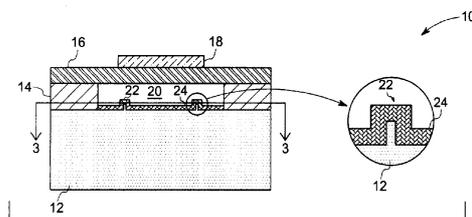
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 12 页

[54] 发明名称

高灵敏度的电容性显微机械加工的超声波传感器

[57] 摘要

一种电容性显微机械加工的超声波传感器 (cMUT) 包括下部电极。而且, cMUT 包括与下部电极相邻设置的隔板, 使得在隔板和下部电极之间形成具有第一间隙宽度的间隙。此外, cMUT 包括形成在间隙中的至少一个部件, 该至少一个部件设置为在隔板和下部电极之间具有第二间隙宽度。



- 1、 一种电容性显微机械加工的超声波传感器单元 (10)，包括：
下部电极 (12)；
- 5 与下部电极 (12) 相邻设置的隔板 (16)，使得在隔板 (16) 和下部电极 (12) 之间形成具有第一间隙宽度的间隙；以及
形成在间隙中的至少一个部件，其中该至少一个部件设置为在隔板 (16) 和下部电极 (12) 之间具有第二间隙宽度。
- 2、 权利要求 1 的电容性显微机械加工的超声波传感器单元 (10)，其中该至少一个部件包括突起部件。
- 10 3、 权利要求 1 的电容性显微机械加工的超声波传感器单元 (10)，其中该至少一个部件包括凹陷部件。
- 4、 一种电容性显微机械加工的超声波传感器单元 (10)，包括：
下部电极 (12)，包括顶部和底部；
- 15 多个支柱 (14)，设置在下部电极 (12) 的顶部上并限定出腔体 (20)；
隔板 (16)，设置在多个支柱 (14) 上以提供以隔板 (16) 和下部电极 (12) 为边界的间隙；
设置在隔板 (16) 上的上部电极 (18)；以及
至少一个部件，形成在腔体 (20) 中并且被构成为在下部电极 (12) 和上部电极 (18) 之间具有间隙宽度，该间隙宽度小于腔体 (20) 的深度。
- 20 5、 权利要求 4 的电容性显微机械加工的超声波传感器单元 (10)，还包括偏置电压源，其中该偏置电压源被构成为使隔板 (16) 朝向下部电极 (12) 扩张。
- 6、 一种用于制造电容性显微机械加工的超声波传感器单元的方法，该方法包括：
- 25 在下部电极 (12) 上形成多个支柱以在支柱 (14) 之间限定出腔体 (20)；
在腔体 (20) 中形成至少一个部件；
在多个支柱 (14) 上设置隔板以在下部电极 (12) 和隔板 (16) 之间形成间隙；以及
- 30 在隔板 (16) 上设置上部电极。

7、 一种电容性显微机械加工的超声波传感器单元结构 (28)，该结构包括：

形成为工作在接收模式下的第一单元 (30)，该第一单元 (30) 包括下部电极 (34) 和上部电极 (40)；

5 形成为工作在发射模式下的第二单元 (32)，该第二单元 (32) 包括下部电极 (42) 和上部电极 (46)；

多个支柱 (36)，被设置成在每个第一单元 (30) 和第二单元 (32) 之间形成腔体；

多个隔板 (38, 44)，设置在支柱 (36) 上；以及

10 突起部件和凹陷部件中的至少一个，其形成在第一单元 (30) 和第二单元 (32) 之一的腔体中。

8、 一种用于制造电容性显微机械加工的超声波传感器单元结构的方法，该方法包括：

15 制造在工作于接收模式下的单元中的第一单元，该第一单元 (30) 包括下部电极 (34) 和上部电极 (40)；以及

制造在工作于发射模式下的单元中的第二单元，该第二单元 (32) 包括下部电极 (42) 和上部电极 (46)。

9、 权利要求 8 的方法，还包括在第一单元 (30) 和第二单元 (32) 之一中形成突起部件和凹陷部件中的一个。

20 10、 一种系统 (118)，包括：

电容性显微机械加工的超声波传感器 (120)；

连接到电容性显微机械加工的超声波传感器 (120) 的电阻器 (122)；

连接到电阻器 (122) 的偏置电压组 (124)；

连接到电阻器 (122) 的多路复用器 (126)；

25 开关 (128)，其连接到多路复用器 (126) 并且控制电容性显微机械加工的超声波传感器 (120) 的工作模式；

控制电路 (134)，其连接到开关 (128) 并且控制偏置电压组 (124) 和开关 (128) 的操作；

脉冲发生器 (130)，其连接到开关 (128) 并且产生交流触发脉冲；以及

30 低噪声放大器 (132)，其连接到开关 (128) 并且放大信号。

高灵敏度的电容性显微机械加工的超声波传感器

5 技术领域

本发明总体涉及医学成像系统，并且尤其涉及电容性显微机械加工的超声波传感器（cMUT）。

背景技术

10 传感器是将一种形式的输入信号转换成不同形式的输出信号的设备。通常所用的传感器包括光传感器，热传感器和声传感器。声传感器的一个例子就是超声波传感器，其可以应用在医学成像，非破坏性测定和其它应用系统中。

当前，超声波传感器的一种形式就是电容性显微机械加工的超声波传感器（cMUT）。cMUT 单元通常包括包含有下部电极的衬底，通过支柱悬挂在衬底上方的隔板，和充当上部电极的镀金属层。下部电极，隔板和上部电极限定出腔体。常规的 cMUT 设备中，当 cMUT 收发器用作接收器时 cMUT 单元的上部和下部电极之间的间隙设计成均衡而且狭窄以便增加灵敏度。但是，cMUT 收发器用作发射器时小腔体的深度限制了隔板位移的最大幅值。因此，为了增加发射脉冲的幅值，希望发射 cMUT 在上部和下部电极之间具有较大的间隙以得到较大的隔板偏移。

20 此外，希望在作为发射器和接收器工作期间提高 cMUT 的灵敏度和性能。同样，希望能够有效控制 cMUT 的声音区域（间隙）和腔体深度。

发明内容

25 简单地说，根据本发明的一个实施例提供一种电容性显微机械加工的超声波传感器（cMUT）。cMUT 包括下部电极。此外，cMUT 包括与下部电极相邻设置的隔板，使得在隔板和下部电极之间形成具有第一间隙宽度的间隙。此外，cMUT 包括至少一个形成在间隙中的部件，其中该至少一个部件设置为在隔板和下部电极之间具有第二间隙宽度。

30 根据本发明的另一个实施例，提供一种 cMUT 单元。该 cMUT 包括由顶部和底部构成的下部电极。此外，多个支柱设置在下部电极的顶部并且构造成限定出一个腔体。此外，隔板设置在多个支柱上以提供由隔板和下部电极限定

的间隙。此外，cMUT 包括设置在隔板顶部的上部电极。此外，cMUT 包括至少一个形成在腔体中并构造在下部电极和上部电极之间具有间隙宽度的部件，其小于腔体的深度。

5 根据本发明的另一方面，提供一种制造 cMUT 的方法。该方法包括在下部电极上形成多个支柱以在支柱之间限定出腔体。此外，该方法包括在腔体中形成至少一个部件。此外，该方法包括在多个支柱上设置隔板以在下部电极和隔板之间形成间隙。此外，该方法包括在隔板上设置上部电极。

10 根据本发明的一个方面，提供一种 cMUT 单元结构。该 cMUT 单元结构包括形成为在接收模式下工作的第一单元，其中该第一单元包括下部电极和上部电极。此外，该 cMUT 单元结构包括形成为在发射模式下工作的第二单元，其中该第二单元包括下部电极和上部电极。此外，该 cMUT 单元结构包括排列成在每个第一单元和第二单元之间形成腔体的多个支柱。该 cMUT 单元结构还包括设置在支柱上的多个隔板。此外，该 cMUT 单元结构包括至少一个突起部件和形成在第一单元和第二单元的腔体中的凹陷部件。

15 根据本发明的还一方面，提供一种制造 cMUT 单元结构的方法。该方法包括制造构成为在接收模式下工作的第一单元，其中该第一单元包括下部电极和上部电极。此外，该方法包括制造构成为在发射模式下工作的第二单元，其中该第二单元包括下部电极和上部电极。

20 根据本发明的一个方面，提供一种包括 cMUT 和连接到 cMUT 的电阻器的系统。此外，该系统包括偏置电压组，其中该偏置电压组连接到该电阻器。此外，该系统包括多路复用器，其中该多路复用器连接到该电阻器。此外，该系统包括连接到多路复用器的开关，其中该开关构成为控制 cMUT 的工作模式。该系统还包括连接到开关的控制电路，其中该控制电路构成为控制偏置电压组和开关的工作。此外，该系统包括连接到开关的脉冲发生器，其中脉冲发
25 生器构成为产生交流触发脉冲。同样，该系统包括连接到开关的低噪声放大器，其中该低噪声放大器构成为增强信号。

附图说明

参考附图阅读下面的详细描述，本发明的这些和其它特征，方面和优点将得到更好的理解，其中整个附图中相同的符号表示相同的部件。

30 图 1 示出了根据本发明一个方面的包括环形螺柱并工作在发射模式下的

cMUT 收发器的示意性实施例的截面侧视图;

图 2 示出了根据本发明各个方面的包括环形螺柱并工作在接收模式下的图 1 的 cMUT 收发器的示意性实施例的截面侧视图;

图 3 是图 1 的 cMUT 收发器沿截面线 3-3 的截面顶视图;

5 图 4 示出了根据本发明各个方面的包括单个螺柱的图 1 的 cMUT 收发器的可替换示意性实施例的截面侧视图;

图 5 示出了根据本发明各个方面的包括螺柱阵列的图 1 的 cMUT 收发器的另一示意性实施例的截面侧视图;

10 图 6 示出了根据本发明各个方面的包括阱的图 1 的 cMUT 收发器的另一示意性实施例的截面侧视图;

图 7 示出了根据本发明各个方面的包括单个螺柱的图 2 的 cMUT 收发器的另一示意性实施例的截面侧视图;

图 8 示出了根据本发明各个方面的包括螺柱阵列的图 2 的 cMUT 收发器的另一示意性实施例的截面侧视图;

15 图 9 示出了根据本发明各个方面的包括阱的图 2 的 cMUT 收发器的另一示意性实施例的截面侧视图;

图 10 是图 4 的 cMUT 收发器沿截面线 10-10 的截面顶视图;

图 11 是图 5 的 cMUT 收发器沿截面线 11-11 的截面顶视图;

图 12 是图 6 的 cMUT 收发器沿截面线 12-12 的截面顶视图;

20 图 13 示出了根据本发明各个方面的双腔体 cMUT 单元的示意性实施例的截面侧视图;

图 14 示出了根据本发明各个方面的图 13 的双腔体 cMUT 单元的可替换构造的示意性实施例的截面侧视图;

图 15-20 示出了制造图 1 的 cMUT 单元的示意性流程;

25 图 21-26 示出了制造图 1 的 cMUT 单元的可替换示意性流程;

图 27-32 示出了制造图 1 的 cMUT 单元的另一示意性流程; 以及

图 33 是根据本发明的一个方面的采用 cMUT 收发器的系统的方框图。

具体实施方式

30 许多领域中, 如医学成像和非破坏性测定, 可利用能够产生高质量诊断图像的超声波传感器。可以借助超声波传感器如电容性显微机械加工的超声波传

传感器来得到高质量诊断图像，其在超声波频率下对低电平声音信号表现出高灵敏度。本文所讨论的技术是针对这些问题的一些或全部来说的。

现在参考图 1，所示为电容性显微机械加工的超声波传感器（cMUT）收发器 10 的实施例的截面侧视图。本领域技术人员将会理解，附图只是示意性目的而不是按照比率绘制的。图 1 示出了工作在发射模式下的 cMUT 收发器 10。cMUT 传感器 10 包括下部电极 12，其具有顶部和底部，可以设置在衬底（未示出）上。例如，下部电极 12 的厚度可以是大约 20 到 500 微米的范围内。包括顶部和底部的多个支柱 14 可以设置在下部电极 12 的顶部上。可替换地，多个支柱 14 可以直接设置在衬底上。支柱 14 可以构成为限定出腔体 20。通常，支柱 14 的高度为大约十分之一到几微米（ μm ）。同样，支柱 14 可以由例如氧化硅或氮化硅材料制成，但不限于这样的材料。此外，可以在多个支柱 14 的顶部设置隔膜或者隔板 16。此外，根据用于制造 cMUT 的显微机械加工方法，隔板 16 可以采用如氮化硅，氧化硅，单晶硅，外延硅，多晶硅以及其它半导体材料的材料制成，但不限于这些材料。隔板 16 的厚度可以是例如大约在 0.1 到 5 微米的范围内。cMUT 收发器 10 可以包括由顶部和底部组成的上部电极 18，其中上部电极 18 可以设置在隔板 16 的顶部。上部电极 18 的厚度可以是例如大约 0.1 到 1 微米的范围内。cMUT 收发器 10 可以包括由下部电极 12 和隔板 16 限定的间隙。腔体 20 可以是空气或者气体填充的或者全部或部分抽空的。但是，根据本发明的实施例，可以采用全部或部分抽空的腔体 20。此外，腔体 20 包括介电板 24。腔体 20 可以具有大约十分之一微米到几微米的深度。

根据本发明的代表性实施例，如下面进一步所描述，可以在腔体 20 中形成至少一个部件，如突起部件（如图 1-5）或凹陷部件（如图 6），并且构成为调节间隙，即间隙宽度，低于在某些工作模式中的下部电极 12 和上部电极 18 之间的腔体 20 的深度。尤其是，在第一代表性实施例中，至少一个部件包括突起部件，如螺柱 22。螺柱 22 可以设置在下部电极 12 的顶部。可替换地，螺柱 22 可以设置在隔板 16 的底部。

螺柱 22 可以包括两层。如图 1 的螺柱放大图所示，螺柱 22 的顶层可以包括绝缘材料如介电层以防止下部电极 12 和上部电极 18 之间短路。介电层可以包括但不限于如氧化硅，氮化硅，聚合体和其它非导电材料这样的材料。此外，螺柱 22 的底层可以包括导电材料，例如但不限于金属，外延硅，单晶硅，多

晶硅以及其它半导体材料。螺柱 22 可以表现出各种形状，如圆形，矩形和六边形，但不限于这些形状。此外，螺柱 22 可以为单个螺柱，环形形状螺柱，下文所指为环形螺柱，或者各种排列的螺柱，如螺柱阵列，但不限于螺柱阵列。同样，螺柱 22 的侧壁可以是垂直，锥形或者圆形的。

5 此外，可以形成在 cMUT 收发器 10 的腔体 20 中的至少一个部件可以是凹陷部件如阱 26。阱 26 可以被蚀刻在腔体 20 中（下面参考图 6 进行描述和讨论）此外，cMUT 收发器 10 可以包括螺柱 22 和阱（未示出）。可替换地，阱可以被蚀刻在下部电极 12 上，螺柱 22 可以形成在隔板 16 上。根据另一个构造，螺柱 22 可以形成在阱内。

10 可替换地，根据本发明的还一方面，cMUT 收发器 10 可以包括偏压源（未示出），其中该偏压源构成为使得隔板 16 向下部电极 12 扩张。根据本发明的一个实施例，下部电极 12 和上部电极 18 之间的间隙宽度可以通过改变螺柱 22 的高度和/或阱的深度，和通过根据 cMUT 收发器的工作模式改变偏压来进行改变。当 cMUT 收发器 10 作为发射器工作时，增大腔体的深度有利于隔板的
15 更大偏转以增强发射信号的幅值。但是，当 cMUT 收发器作为接收器工作时，有利的是在下部电极 12 和上部电极 18 之间设置较小的间隙以增强信号的接收。因此，cMUT 收发器 10 的灵敏度可以通过调节下部电极 12 和上部电极 18 之间的间隙大小得到提高，从而有利于优化 cMUT 收发器 10 的发射和接收信号的性能。

20 本领域技术人员将会理解，由腔体 20 隔开的下部电极 12 和上部电极 18 形成一个电容。对于工作在如图 1 所示的发射模式下的 cMUT 收发器 10，可以通过较深的腔体 20 得到隔板的大偏转以增强发射脉冲的幅值。在发射模式下，小直流电流（DC）偏压引起将要使用的大交流电流（AC）触发脉冲，这有利于得到 cMUT 收发器 10 的较大隔膜偏转和较高的信噪比。

25 但是，对于工作在接收模式下的 cMUT 收发器 10，可能希望在下部电极 12 和上部电极 18 之间具有较小的间隙以提高 cMUT 收发器 10 的灵敏度。图 2 示出了工作在接收模式下的 cMUT 收发器 10 的截面侧视图。如图 2 所示，腔体 20 的深度可以小于工作在发射模式的图 1 的 cMUT 收发器 10 的腔体深度。该较小的腔体深度可以引起较大的电容，其反过来有利于使得 cMUT 收发器 10
30 的灵敏度提高。如图 2 所示，当偏压源施加到 cMUT 收发器 10 时，隔板 16 可

以向下部电极 12 偏转。但是，由于腔体 20 中有螺柱 22，所以腔体 20 的深度明显减小。因此，具有减小的腔体深度的隔板 16 的偏转可以使得作为接收器的 cMUT 收发器 10 的灵敏度提高。

图 3 是沿线 3-3 的图 1 的 cMUT 收发器 10 的截面顶视图。在图 3 所示的
5 实施例中，所示为环形螺柱。但是，如上所述，螺柱可以是圆形，矩形，六边形或者任意其它形状。

图 4-6 示出了工作在发射模式下的 cMUT 收发器 10 的替换实施例的截面
10 图。特别参考图 4，示出了工作在发射模式下并具有设置在腔体 20 中的单个螺柱 22 的 cMUT 收发器 10 的替换实施例的截面侧视图。此外，图 5 还示出了工作在发射模式下并具有形成在腔体 20 中以阵列布置的多个螺柱 22 的 cMUT 收发器 10 的另一替换实施例。根据本发明的另外方面，可以在腔体 20 中形成凹陷部件。图 6 示出了工作在发射模式下并具有被蚀刻在腔体 20 中的凹陷部件如阱 26 的 cMUT 收发器 10 的实施例。

参考图 6，阱 26 可以包括两层。如图 6 中阱 26 的放大图所示，阱 26 的
15 顶层可以包括绝缘材料如介电层以防止下部电极 12 和上部电极 18 之间短路。介电层可以包括如氧化硅，氮化硅，聚合物和其它非导电材料这样的材料，但不限于这些材料。此外，阱 26 的底层可以包括如金属，外延硅，单晶硅，多晶硅以及其它半导体材料这样的导电材料，但不限于这些材料。阱 26 可以表现为各种形状如圆形，矩形和六边形，但不限于这些形状。此外，阱 26 可以
20 为单阱，环形形状阱，下文所指为环形阱，或者任何排列的阱，如阵列阱，但不限于此。同样，阱 26 的侧壁可以是垂直，锥形或者圆形的。

图 7-9 示出了工作在接收模式下的图 4-6 所示的 cMUT 收发器 10 的相应
25 截面图。图 7 所示为工作在接收模式下图 4 的 cMUT 收发器 10。类似地，图 8 所示为工作在接收模式下图 5 的 cMUT 收发器 10。同样的方式，图 9 所示为用作接收器的图 6 的 cMUT 收发器 10。

图 10-12 示出了图 4-6 所示的 cMUT 收发器 10 的相应的截面顶视图。尤
30 其参考图 10，所示为沿线 10-10 截取并具有设置在 cMUT 收发器 10 的腔体 20 中的单个螺柱 22 的图 4 的 cMUT 收发器 10 的顶视图。图 11 所示为沿线 11-11 截取的图 5 的 cMUT 收发器 10 的顶视图，其中 cMUT 收发器 10 的腔体 20 中设置有螺柱 22 阵列。类似地，示出了沿线 12-12 截取并具有被蚀刻在 cMUT

收发器 10 的腔体 20 中的阱 26 的图 6 的 cMUT 收发器 10 的顶视图。

螺柱 22 和阱 26 可以用于改变 cMUT 收发器 10 的腔体 20 的深度。另外，通过改变偏压，下部电极 12 和上部电极 18 之间的间隙的尺寸可以优化用于发射和接收信号。当 cMUT 收发器 10 工作在发射和/或接收模式下时，这种优化
5 可以通过采用偏压源来控制隔板 16 的偏转来实现。例如，当 cMUT 收发器工作在发射模式下时，如图 1 所示，可以采用偏压源施加低于崩溃电压（colltage voltage）的 DC 偏压，其有利于得到如图 1 所示的下部电极 12 和上部电极 18 之间的较大间隙。本领域技术人员将会理解，崩溃电压是当用于小隔膜偏转的隔膜偏转的机械恢复力不能与静电力平衡时的偏置电压。该小的 DC 偏压使得
10 将要施加的大 AC 触发脉冲有效，该脉冲使得工作在发射模式下的 cMUT 收发器 10 产生较大的隔膜偏转以及较高的信噪比。

此外，在接收模式，可以通过偏压源施加足以使隔板 16 坍塌到螺柱 22 上的 DC 偏压。施加的电压可以使隔板 16 偏转到螺柱 22 上，如图 2 所示。下部电极 12 和上部电极 18 之间减小的间隙宽度有利于对于给定的入射声波产生较
15 大的电容变化，其也可以使得 cMUT 收发器 10 的灵敏度提高。此外，工作在接收模式下的 cMUT 收发器 10 的下部电极 12 和上部电极 18 之间的间隙宽度小于工作在发射模式下的 cMUT 收发器 10 的间隙宽度。此外，当施加到用作接收器的 cMUT 收发器 10 的偏置电压足以将上部电极 18 吸引到螺柱 22 上时，偏置电压可以低于下部电极 12 和上部电极 18 的崩溃电压。

如上所述，螺柱 22 可以从腔体 20 的底部突起。因此，螺柱 22 的顶部与上部电极 18 之间的腔体 20 的有效深度（即“间隙”）可以较小，从而成为使得隔板 16 坍塌到螺柱 22 上的必要的较小偏置电压。例如，在一个实施例中，螺柱 22 的高度可以小于 0.2 微米。此外，螺柱可以设置在下部电极 12 或者上部电极 18 上。当隔板 16 坍塌到螺柱 22 上时用作接收器的 cMUT 收发器 10 的
20 腔体 20 的深度可以由螺柱 22 的高度来调节。较小的腔体深度有利于对于给定的入射超声波产生较大的电容变化，并因此可以使得工作在接收模式下的 cMUT 收发器 10 的灵敏度提高。

根据本发明的实施例，描述了一种 cMUT 收发器 10，其下部电极 12 和上部电极 18 之间的间隙可以通过采用螺柱和/或阱，并且通过改变偏置电压来进行
30 调节。根据当前实施例，cMUT 收发器 10 可以优化作为发射器和接收器的

性能。类似原理可以应用到具有单独的发射和接收单元的结构中，从而分别优化充当发射器和接收器的 cMUT 单元，如下面将描述的。

图 13 和 14 示出了双腔体 cMUT 单元 28 的替换实施例，其具有不同的发射器和接收器单元使得在每个发射和接收模式下可以采用具有不同深度的间隙。当前的结构中，图 13 和 14 所示的 cMUT 单元 28 包括第一单元（接收器单元 30），其构成为工作在接收模式。如下面的进一步描述，接收器单元 30 包括下部电极和上部电极以及具有第一间隙宽度的间隙。此外，cMUT 单元 28 包括构成为工作在发射模式的第二单元（发射器单元 32）。如接收器单元 30，发射器单元 32 也包括下部电极和上部电极，以及具有大于第一间隙宽度的第二间隙宽度的间隙，如下面的进一步描述。

首先参考图 13，接收器单元 30 包括下部电极 34。可以在下部电极 34 上设置多个支柱 36。而且，可以在该多个支柱 36 上设置隔板 38。此外，可以在隔板 38 上设置上部电极 40。接收器单元 30 包括在下部电极 34 和上部电极 40 之间具有第一间隙宽度的间隙。第一间隙宽度可以形成为当 cMUT 单元 28 工作在接收模式下时使得对于给定入射超声波信号的电容变化最优化。

cMUT 单元 28 还包括发射器单元 32，其可以与接收器单元 30 相邻设置，可以包括下部电极 42。可替换地，发射器单元 32 也可以设置为与接收器单元 30 隔离。如接收器单元 30，发射器单元 32 还包括设置在下部电极 42 上的多个支柱 36。此外，可以在该多个支柱 36 上设置隔板 44 并且可以在隔板 44 上设置上部电极 46。此外，根据本实施例，发射器单元 32 可以包括显微机械加工的阱 48。与接收器单元 30 的间隙宽度相比，阱 48 的出现在发射下部电极 42 和发射上部电极 46 之间提供了具有较大间隙宽度的间隙，当 cMUT 单元 28 工作在发射模式下时这反而有利于提高发射隔板 44 的位移。因此，当 cMUT 单元 28 工作在发射模式下时可以得到幅值增强的超声波。此外，可以在接收下部电极 34，发射下部电极 42 和阱 48 的底部上设置绝缘层 50。

进一步，虽然图 13 所示的本实施例示出了形成在发射下部电极 42 中的阱 48 用于在每个接收器单元 30 和发射器单元 32 中提供不同的间隙宽度，但是在图 14 所示的替换实施例中，可以在接收下部电极 34 上设置突起部件，例如螺柱 52。螺柱 52 可以形成为减小接收下部电极 34 和接收上部电极 40 之间的间隙宽度，从而使得对于给定入射超声波的电容变化最优。此外，可以在螺柱 52

上设置绝缘层。该绝缘层也可以设置在接收下部电极 34 上。可替换地，双腔体 cMUT 单元 28 可以形成为在发射器单元 32 中包括阱 48，在接收器单元 30 中包括螺柱 52，或者其中包括螺柱和阱的任意组合。

在图 13-14 所示的双腔体 cMUT 单元 28 的实施例中，接收器和发射器单元的横向尺寸可以不相同。这有利于将双腔体 cMUT 单元 28 应用于不同的领域。例如，可以发现双腔体 cMUT 单元 28 应用在谐波成像中，其中接收器单元 30 和发射器单元 32 的工作频率可以通过调节每个单元的各自尺寸而进行有利地改变。双腔体 cMUT 单元 28 可以与图 1 的 cMUT 收发器 10 尺寸相同。本领域技术人员将会理解，通过根据发射和接收的功能将 cMUT 单元分开，所以因发射器单元或接收器单元在工作的同时传感区域的减小而导致包括有多个不同发射器和接收器 cMUT 单元的传感区域可能出现信号损失。但是，如图 13-14 所示，将结构分成用于发射和接收的不同单元可能大大补偿了只有单组 cMUT 单元即发射器单元或接收器单元之一工作时所引起的信号损失。现在可以将发射器单元和接收器单元单独优化，从而使得超出有效传感区域中损失的灵敏度提高。

此外，如所述的 cMUT 收发器 10，双腔体 cMUT 单元 28 可以包括至少一个偏置电压源，其中偏置电压源形成为使接收隔板 38 和发射隔板 44 向它们相应的下部电极 34 和 42 扩张。

根据本发明的其它方面，提供一种用于制造 cMUT 收发器的一个实例的方法。图 15-20 示出了用于制造 cMUT 收发器的工艺流程，其中可以在隔板上设置螺柱。图 15 示出了在制造底部 54（低电阻率原始晶片）的过程中的最初步骤，其可以包括 cMUT 收发器的下部电极。如图 15 所示，可以通过氧化处理在衬底的相对侧例如高导电率硅层 58 上形成第一氧化物层 56 和第二氧化物层 60，该氧化处理可以是干氧化处理，湿氧化处理，或者二者的组合。第二氧化物层 60 限定下部电极和上部电极之间的间隙。如图 16 所示，可以采用光刻和湿法蚀刻将第二氧化物层的部分蚀刻掉，从而限定出多个支柱 62 以及可以由该支柱限定的腔体 64。接着。如图 17 所示，可以采用氧化处理在腔体 64 中形成电绝缘层 66。

用于制造 cMUT 收发器的方法还包括制造包括上部电极的顶部 68（绝缘体上硅（SOI）晶片）。可替换地，本领域技术人员将会理解，在 cMUT 收发

器的制造中可以采用包括有硅衬底，掩埋氧化物层和硅处理晶片的预制 SOI。如图 18 所示，顶部 68 包括可以设置在处理晶片 72 上的掩埋氧化物（“分隔”）层 70。此外，可以在氧化物分隔层 70 上设置导电或低电阻率层，例如，但不限于，外延硅，单晶硅，和多晶硅层，其中该导电层可以用作隔板 74。可替换地，可以在氧化物分隔层 70 上设置非导电或高电阻率层，例如，但不限于，外延硅，单晶硅，以及多晶硅层，其中该层可以形成为用作隔板 74。此外，可以在隔板 74 上形成至少一个部件，例如突起螺柱 76。螺柱 76 可以采用光刻处理而形成，随后是干法蚀刻程序，其之后进行热氧化处理以在螺柱 76 上形成绝缘层 78。如本领域技术人员所理解，也可以采用但不限于等离子体增强化学气相淀积（PECVD）和低压化学气相淀积（LPCVD）法来形成螺柱 76。可替换地，螺柱 76 可以通过在隔板 74 上沉积例如金属这样的材料而形成，之后通过介电沉积处理在螺柱 76 上形成绝缘层。此外，当 cMUT 收发器工作在接收模式下时所形成的螺柱 76 的高度可以形成为限定上部电极和下部电极之间的腔体 64 内部的间隙宽度。

此外，如图 19 所示，现在可以通过在 SOI 晶片和原始晶片 54 之间采取熔焊的方式将顶部 68（SOI 晶片）设置在底部 54（原始晶片）上而形成结构 80。可以采用机械抛光或者研磨，随后是利用化学药品的湿法蚀刻以去除处理晶片 72，其中该化学药品是例如但不限于四甲基氢氧化铵（TMAH），氢氧化钾（KOH）和乙二胺邻苯二酚（EDP）。去除处理晶片 72 之后，可以通过缓冲氢氟酸（BHF）去除氧化物分隔层 70。接着，如图 20 所示，可以在隔板 74 上设置上部电极 83 从而形成 cMUT 收发器 81。图 20 所示为隔板 74 上设置有螺柱 76 的 cMUT 收发器 81。此外，本领域技术人员将会理解，也可以采用表面显微机械加工来形成螺柱和/或阱。由于表面显微机械加工，沉积隔板，而替代如在整体显微机械加工处理中从 SOI 晶片的焊接。其随后是去除隔板下的任何牺牲层（如氧化物），真空密封腔体，和顶部电极沉积。

参考图 15-20 的工艺流程示出了制造在隔板 74 上设置有螺柱 76 的 cMUT 收发器的过程。本领域技术人员将会理解，也可以采用类似的技术来制造双腔体 cMUT 单元结构。以类似方式，图 21-26 示出了制造 cMUT 收发器的工艺流程，其中螺柱可以设置在下部电极上，如下面将要描述的，并且在先如图 1 所示。

图 21 示出了在制造 cMUT 收发器的底部 54（低电阻率原始晶片）的过程中的最初步骤，其中通过例如不限于干氧化处理，湿氧化处理，或者二者的组合这样的氧化处理来制造第一氧化物层 56 和第二氧化物层 60，并且可以设置 5 在高导电率硅层 58 上。第二氧化物层 60 限定下部电极和上部电极之间的间隙宽度。如图 22 所示。可以采用光刻和湿法蚀刻来将第二氧化物层的部分蚀刻掉，从而限定出多个支柱 62 以及可以由这些支柱限定的腔体 64。接着，如图 23 所示，可以在蚀刻处理之前进行光刻处理，从而在腔体 64 中形成螺柱 76。如图 24 所示，可以在螺柱 76 形成之后，进行氧化处理以在螺柱 76 上形成电绝缘层 78。可替换地，如上所述，可以通过在下部电极 54 上沉积例如金属 10 这样的材料来形成螺柱 76，之后是介电沉积处理以在螺柱 76 上形成绝缘层。

图 25 示出了本发明中在腔体 64 中设置螺柱 76 的替换实施例。本实施例用于制造 cMUT 收发器的方法还包括制造顶部 68（SOI 晶片）。可替换地，本领域技术人员将会理解，在 cMUT 收发器的制造中可以采用包括有硅衬底，掩埋氧化物层和硅处理晶片的预制 SOI。如图 25 所示，顶部 68 包括设置在处理 15 晶片 72 上的氧化物分隔层 70。此外，可以在氧化物分隔层 70 上设置导电或低电阻率层，例如，但不限于，外延硅，单晶硅，或多晶硅层，其中该层可以形成为用作隔板 74。可替换地，可以在氧化物分隔层 70 上设置非导电或高电阻率层，例如，但不限于，外延硅，单晶硅，和多晶硅层，其中该层可以形成为用作隔板 74。

此外，如图 25 所示，现在可以通过在 SOI 晶片和原始晶片之间采取熔焊的方式将顶部 68 设置在底部 54 上而形成结构 82。可以采用机械抛光或者研磨，随后是利用蚀刻剂的湿法蚀刻以去除处理晶片 72，其中该蚀刻剂是例如但不限于 TMAH，KOH 和 EDP。去除处理晶片之后，可以通过 BHF 去除氧化物分隔层 70。接着，如图 26 所示，可以在隔板 74 上设置上部电极 83 从而形成 cMUT 收发器 85。图 26 所示为下部电极 58 上设置有螺柱 76 的 cMUT 收发器 85。此外，本领域技术人员将会理解，也可以采用表面显微机械加工来形成螺柱和/或 25 阱。由于表面显微机械加工，沉积隔板，而取代如在整体显微机械加工处理中从 SOI 晶片的焊接。其随后是去除隔板下的任何牺牲层，如氧化物，真空密封腔体，和顶部电极沉积。

30 上文所描述的工艺流程描述了在 cMUT 收发器的腔体中形成螺柱的过程。

如前面所提到的，也可以采用类似的技术来制造双腔体 cMUT 单元结构。本领域技术人员将会理解，可以按照类似的技术在 cMUT 收发器的腔体中蚀刻例如阱的凹陷部件，如下面参考图 27-32 所作的进一步描述。这个原理允许隔板坍塌到突起的、重掺杂区域上同时维持了在接收模式下所希望的薄间隙，从而提高了灵敏度。本领域技术人员将会理解，也可以采用类似的技术来制造双腔体 cMUT 单元结构。

图 27-32 示出了根据本发明各方面用于制造 cMUT 单元的示意性工艺流程，其中在下部电极和上部电极之间的间隙中形成有例如阱的凹陷部件。图 27 示出了在制造可以包括下部电极的 cMUT 单元的底部 84（原始晶片）的过程中的最初步骤，其中通过例如不限于干氧化处理，湿氧化处理，或者二者的组合的氧化处理来制造第一氧化物层 86 和第二氧化物层 90，并且可以设置在低导电率硅层 88 上。

如图 28 所示。可以采用第一光刻和蚀刻处理来蚀刻掉第二氧化物层 90 的一部分，从而限定出多个支柱 92 以及可以由这些支柱 92 限定的腔体 94。此外，如图 28 所示，可以采用第二光刻和蚀刻步骤来限定形成在腔体 94 底部的例如阱 96 这样的凹陷部件。本实施例中，硅层 88 可以是重掺杂的，如在先提及的。可替换地，如图 29 所示，在与支柱 92 相邻的区域内可以重掺杂图 27 的轻掺杂硅层 88。可以通过另外的掺杂步骤加入标记 98 所指的这些重掺杂区域。重掺杂区域 98 也可以应用于例如螺柱这样的突起部件，如在先所讨论的。掺杂步骤之后，可以通过氧化处理得到电绝缘层 100，如图 30 所示。

此外，如上所述用于制造 cMUT 单元的方法还包括制造顶部 104（SOI 晶片）。可替换地，本领域技术人员将会理解，在 cMUT 收发器的制造中可以采用包括有硅衬底，掩埋氧化物层和硅处理晶片的预制 SOI。如图 31 所示，顶部 104 可以包括具有第一侧面和第二侧面的氧化物分隔层 106 而且可以设置在处理晶片 108 上。另外，可以在氧化物分隔层 106 的第二侧面上设置导电或低电阻率层，例如，但不限于，外延硅，单晶硅，或多晶硅层，其中该层可以形成为用作隔板 110。可替换地，可以在氧化物分隔层 106 的第二侧面上设置非导电或高电阻率层，例如，但不限于，外延硅，单晶硅，和多晶硅层，其中该层可以形成为用作隔板 110。

此外，如图 31 所示，现在可以通过在 SOI 晶片和原始晶片之间采取熔焊

- 的方式将顶部 104 设置在底部 84 上而形成结构 102。可以采用机械抛光或者研磨，随后是利用蚀刻剂的湿法蚀刻以去除处理晶片 108，其中该蚀刻剂是例如但不限于 TMAH, KOH 和 EDP。可以通过 BHF 去除氧化物分隔层 106。接着，如图 31 所示，可以在隔板 110 上设置上部电极 113 从而形成 cMUT 收发器 112。
- 5 图 32 所示为下部电极 88 上设置有阱 96 的 cMUT 收发器 112。此外，本领域技术人员将会理解，也可以采用表面显微机械加工来形成螺柱和/或阱。由于表面显微机械加工，沉积隔板，而取代如在整体显微机械加工处理中从 SOI 晶片的焊接。其随后是去除隔板下的任何牺牲层，（如氧化物），真空密封腔体，和顶部电极沉积。
- 10 上文所描述的工艺流程描述了在 cMUT 单元 112 的腔体中形成阱的过程。可以按照类似的过程在 cMUT 单元 112 的腔体中形成例如螺柱这样的突起部件。但是，根据本发明的示意性实施例，希望重掺杂区域依次位于螺柱的硅层中使得隔板优先被吸引到螺柱区，以得到减小的间隙宽度，从而改善接收模式的操作。
- 15 如前所述，根据本发明的其它实施例，可以制造如图 13 和 14 所示的双腔体单元这样的双腔体单元结构。如前所述，双腔体单元结构包括可以作为接收器工作的第一单元。此外，双腔体 cMUT 单元结构可以包括可以作为发射器工作的第二单元。根据本发明的其它方面，描述了用于制造双腔体 cMUT 单元结构的示意性方法。如前所述，可以采用参考图 15-32 所述的示意性方法来制造
- 20 双腔体 cMUT 单元结构。该方法包括制造可以作为接收器工作的第一单元，该接收器 cMUT 单元可以包括下部电极和上部电极。此外，该方法可以继续限定制造可以工作在发射模式下的第二单元，该发射器 cMUT 单元可以包括下部电极和上部电极。此外，该方法可以继续限定在第一单元和第二单元之一中形成突起部件和凹陷部件中的一个。
- 25 图 33 是可以包括根据本发明各方面制造的示意性 cMUT 单元 120 的 cMUT 收发器系统 118 的方框图。系统 118 可以包括电阻器组 122 并且可以连接到 cMUT 单元 120。此外，系统 118 可以包括可以连接到电阻器 122 的偏置电压组 124，其可以由至少一个外部电压供电。此外，可以存在于偏置电压组中的 DC-DC 变换器可以产生各种的预定偏置电压，其可以是不连续的或者连续的。
- 30 偏置电压组 124 可以采用设置在电路板上的分立电子元件来实现。可替换地，

偏置电压组可以作为专用集成电路 (ASIC) 来实现。通过采用 ASIC 来集成偏置电压组 124 和其它的功能块, 可以得到芯片上系统(SOC)。

模块 126 可以包括多路复用器电路并且可以连接到电阻器 122。可以连接到模块 126 的发射/接收 (T/R) 开关 128 典型地可以包括开关电路并且可以设计为在发射和接收信号之间进行转换。此外, 系统 118 可以包括脉冲发生器 130, 其可以连接到 T/R 开关 128 并且可以用于产生 AC 触发脉冲。可以连接到 T/R 开关 128 的低噪声放大器 (LNA) 132 可以用于增强信号。此外, 根据本发明的示意性实施例, 可以连接到 T/R 开关 128 的 T/R 控制块 134 可以用于协调偏置电压组 124 和 T/R 开关 128 的功能。可以采用可编程装置, 例如但不限于现场可编程门阵列 (FPGA) 和逻辑电路, 来实现 T/R 控制 134。可以采用成品部件来作为脉冲发生器 130 和 LNA 132。

当 cMUT 收发器 120 工作在发射模式下时, 可以对 cMUT 收发器 120 施加由偏置电压组 124 提供的 DC 偏置电压和由脉冲发生器产生的 AC 触发脉冲。可以利用 T/R 控制 134 将偏置电压组 124 和 T/R 开关 128 设置为发射模式以将 DC 偏置电压和超声波脉冲输送到 cMUT 120。这些超声波脉冲可以通过 cMUT 120 转换为声信号。

当工作在接收模式下时, 可以对 cMUT120 施加由偏置电压组 124 提供的较大 DC 偏置电压。可以利用 T/R 控制 134 将偏置电压组 124 和 T/R 开关 128 设置为接收模式。根据所接收的反射声信号, cMUT 120 可以将这些声信号转换为电信号。而且, 这些电信号被输送到 LNA 132 以将信号放大。

根据本发明的一个方面, 提供一种 cMUT 收发器。如上文参考附图所描述的, cMUT 收发器可以包括下部电极。而且, 隔板可以与下部电极相邻设置, 使得在隔板和下部电极之间形成具有第一间隙宽度的间隙。此外, 根据本发明的各方面, 在间隙中可以形成有至少一个部件。该部件设置为在隔板和下部电极之间具有第二间隙宽度。在一个实施例中, 第一间隙宽度大于第二间隙宽度。此外, 该部件可以包括例如螺柱这样的突起部件。该部件还可以包括例如阱这样的凹陷部件。cMUT 收发器可以包括连接到隔板的上部电极。此外, cMUT 收发器可以包括偏置电压源, 其可以在 cMUT 收发器工作期间用于使隔板向下部电极扩张。

上文所述的 cMUT 收发器 10 和制造 cMUT 收发器的方法能够制造出具有

灵敏度提高的 cMUT 收发器。可以大大提高 cMUT 收发器作为发射器和接收器工作时的性能。可以发现这些 cMUT 收发器应用于各种领域，如医学成像，非破坏性测定，无线通信，安全应用，气体检测，以及其它应用。

此外，上文所述的双腔体 cMUT 单元 28 以及制造双腔体 cMUT 单元的方法有利于优化用于发射和接收信号的单个单元的工作，这使得双腔体 cMUT 单元的灵敏度提高。可以发现这些双腔体 cMUT 单元应用于各种领域，如医学成像，非破坏性测定，无线通信，安全应用，气体检测，以及其它应用。

虽然这里仅仅示出并描述了本发明的某些特征，但是本领域技术人员可以进行许多修改和变化。因此，应该理解所附的权利要求旨在涵盖本发明的实质精神内的所有修改和变化。

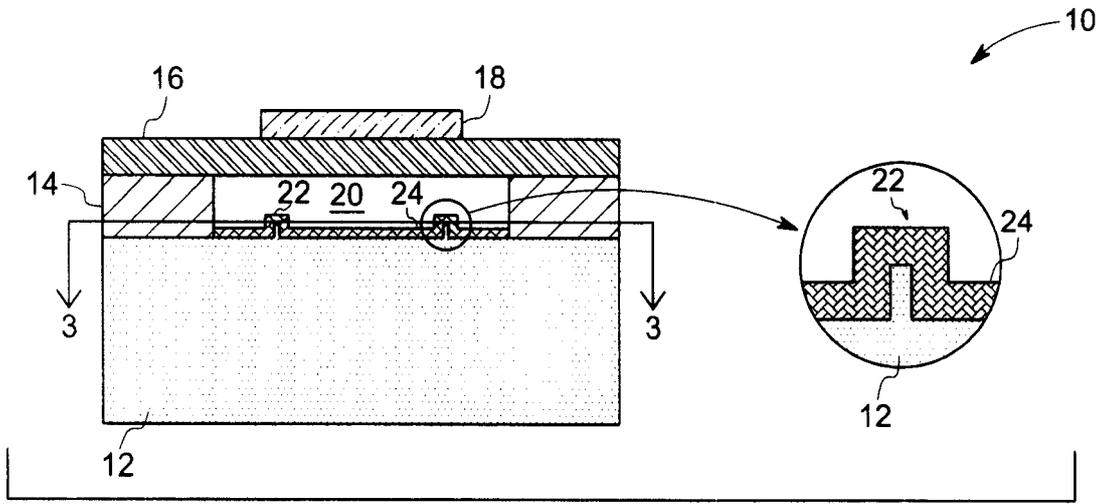


图 1

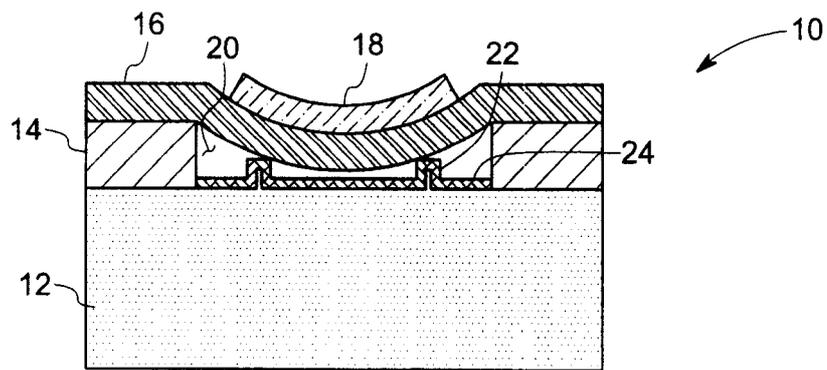


图 2

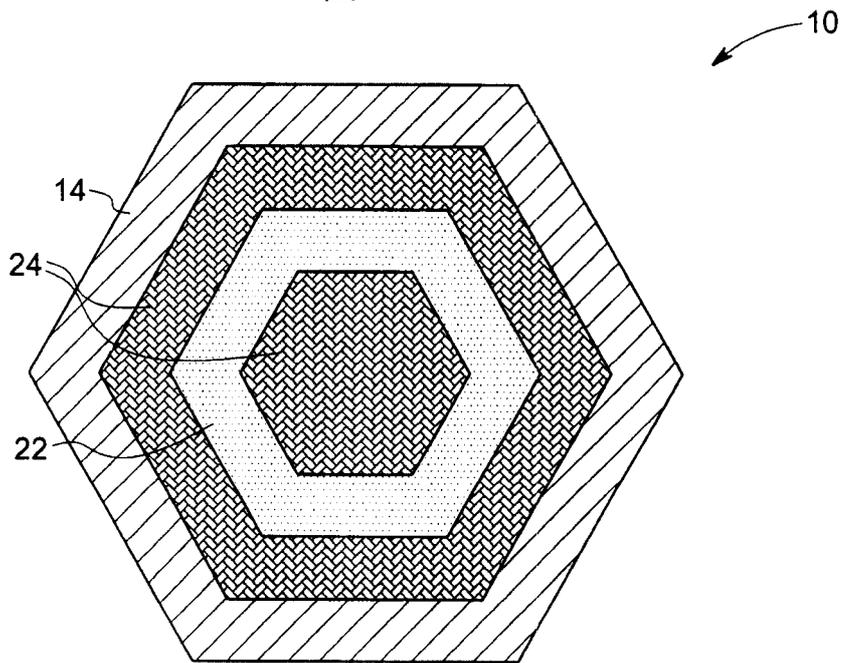


图 3

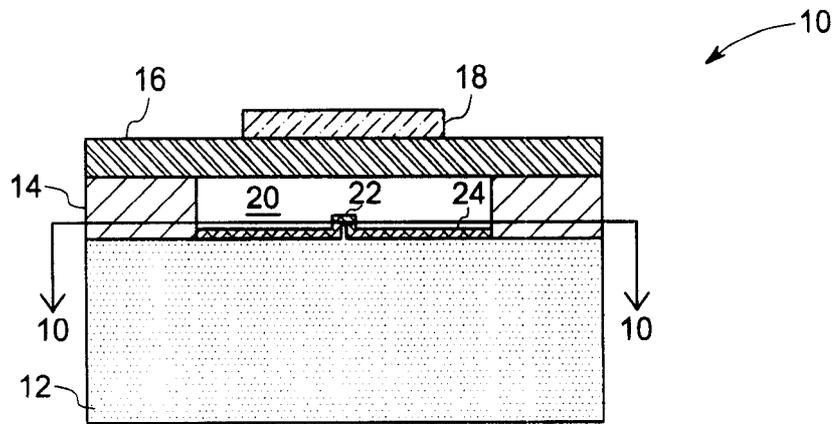


图 4

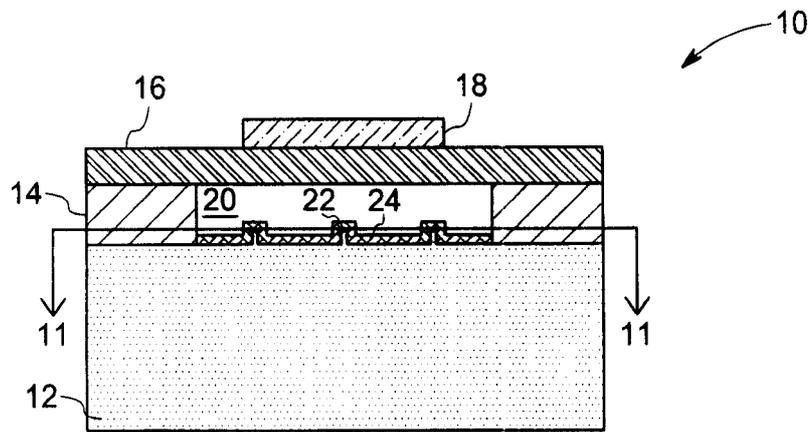


图 5

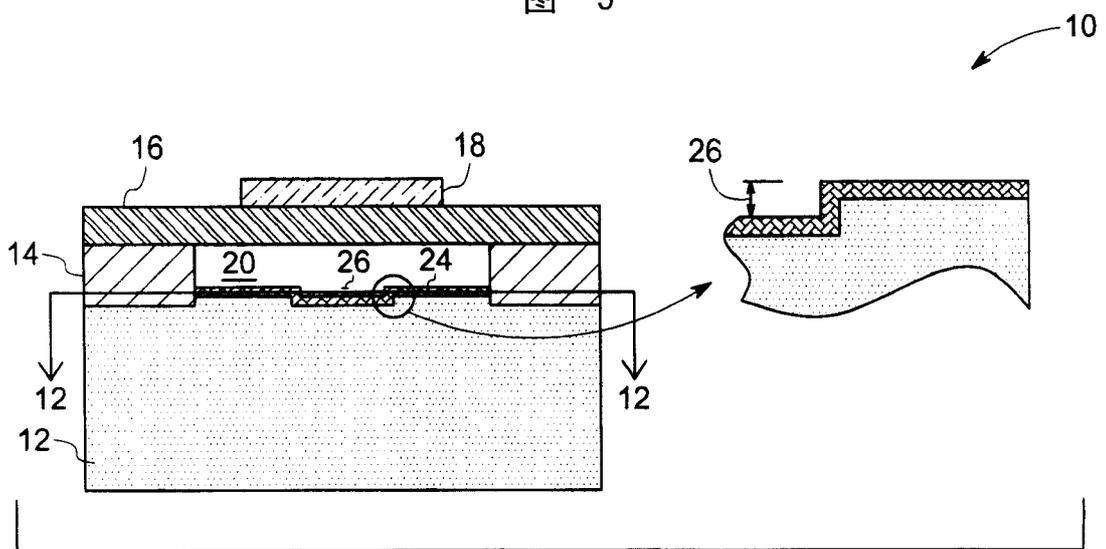


图 6

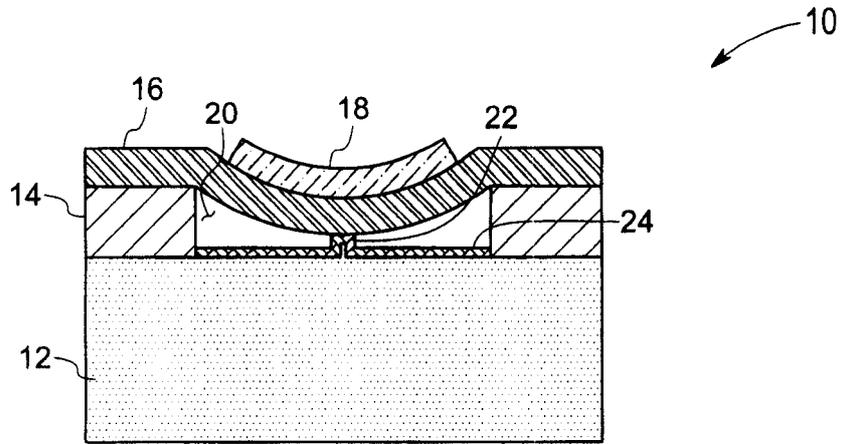


图 7

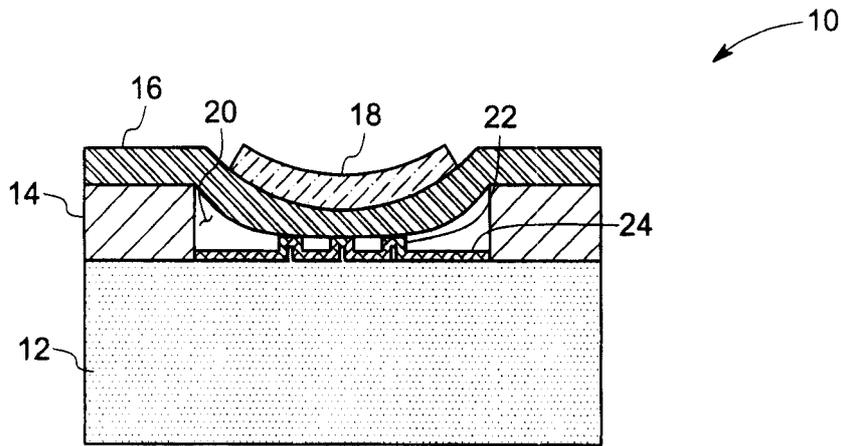


图 8

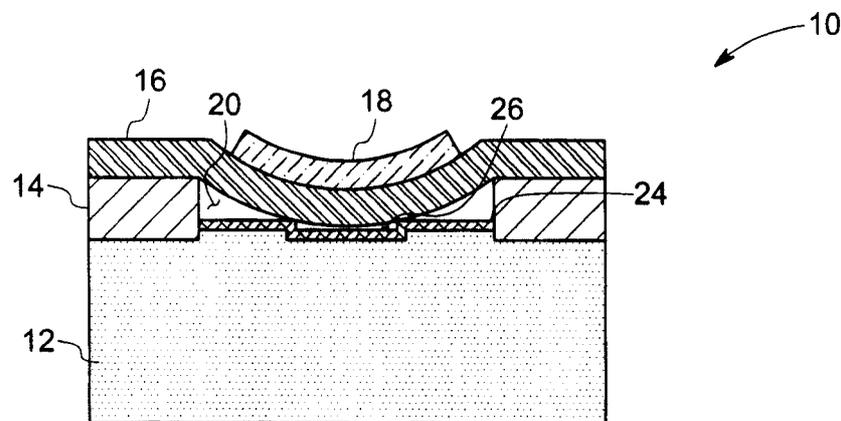


图 9

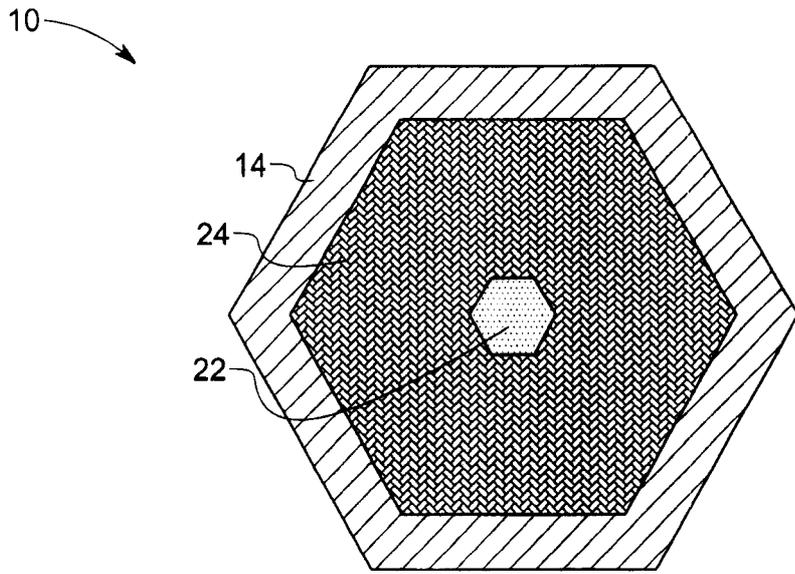


图 10

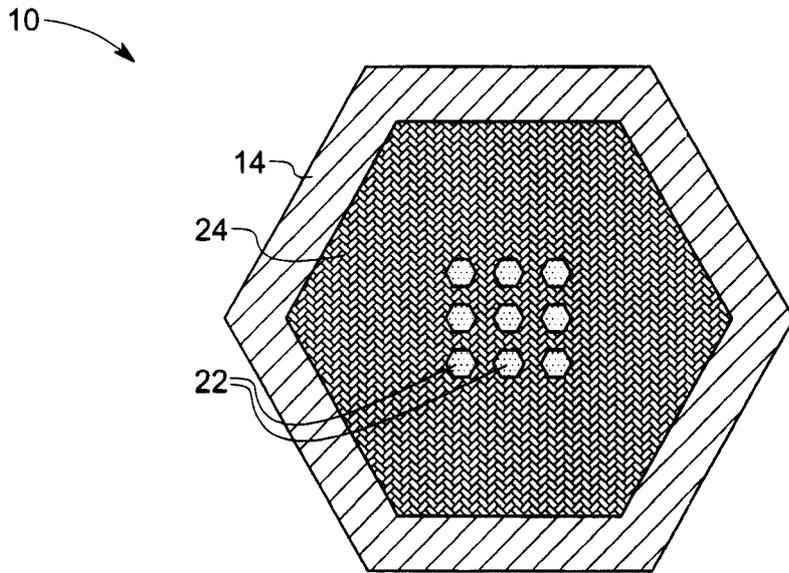


图 11

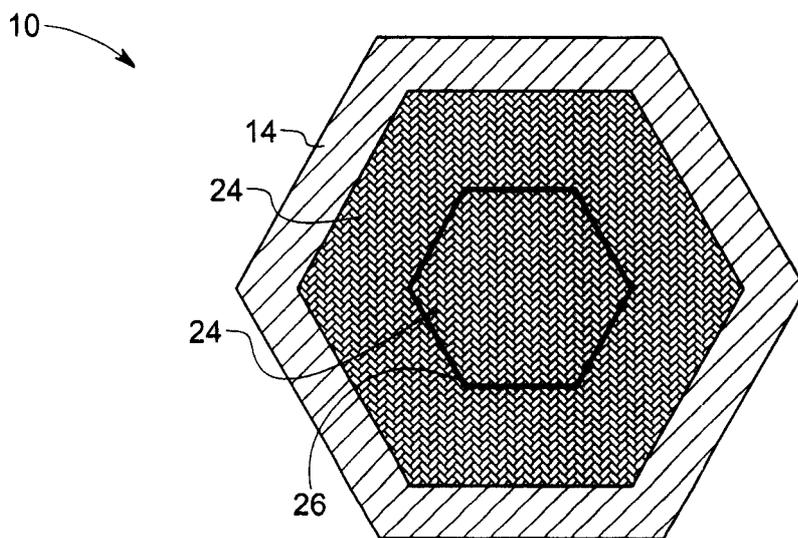


图 12

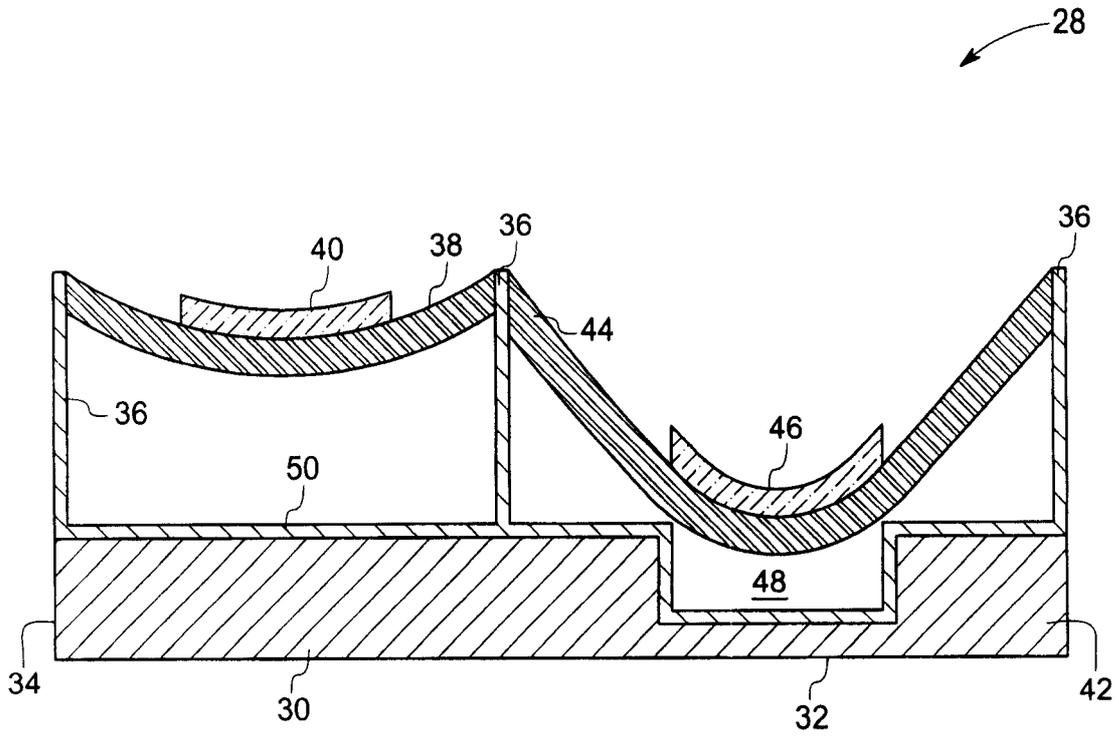


图 13

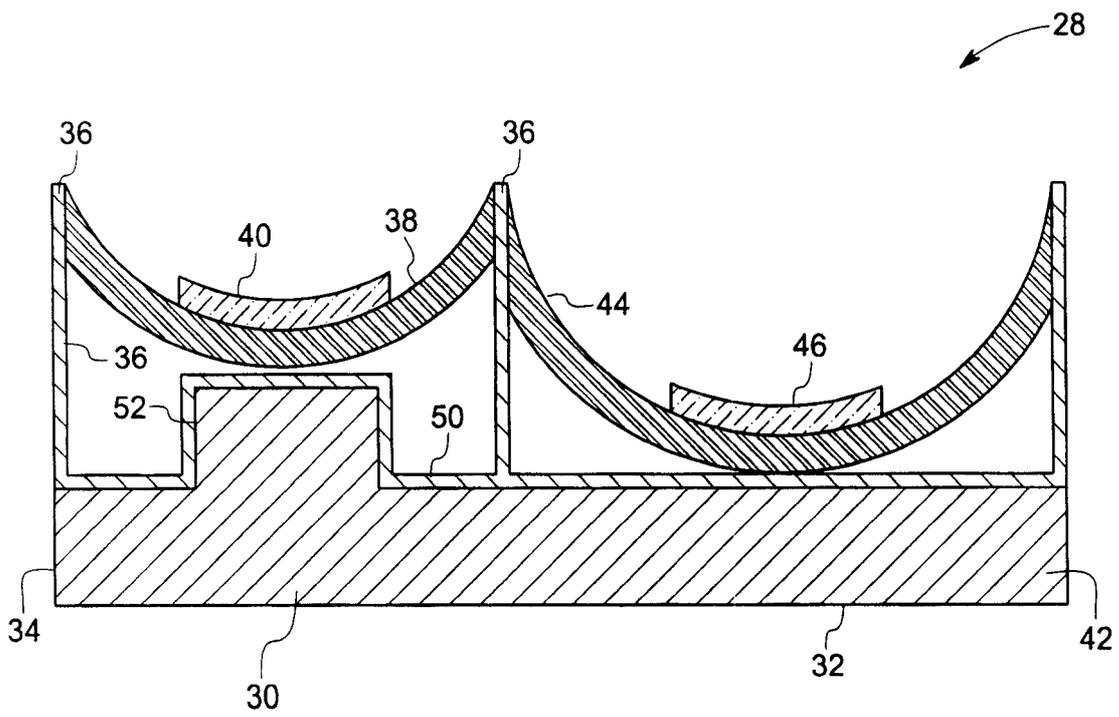


图 14

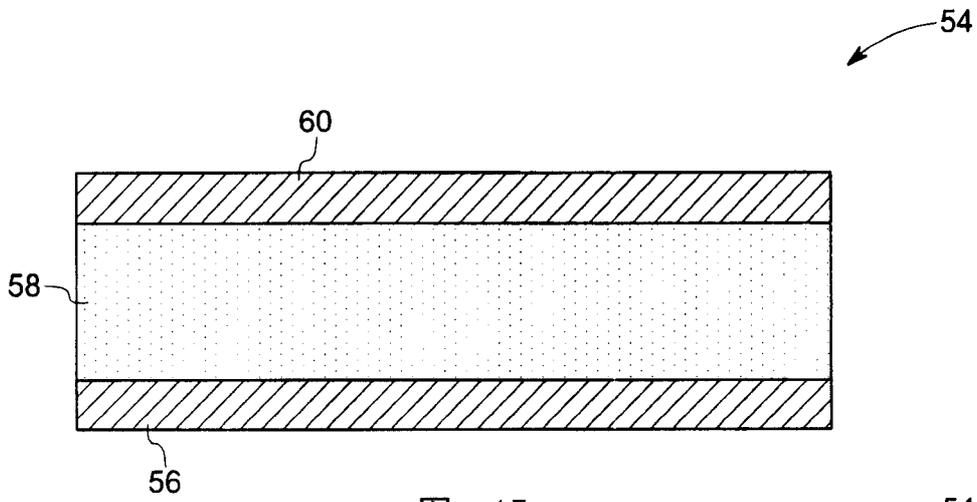


图 15

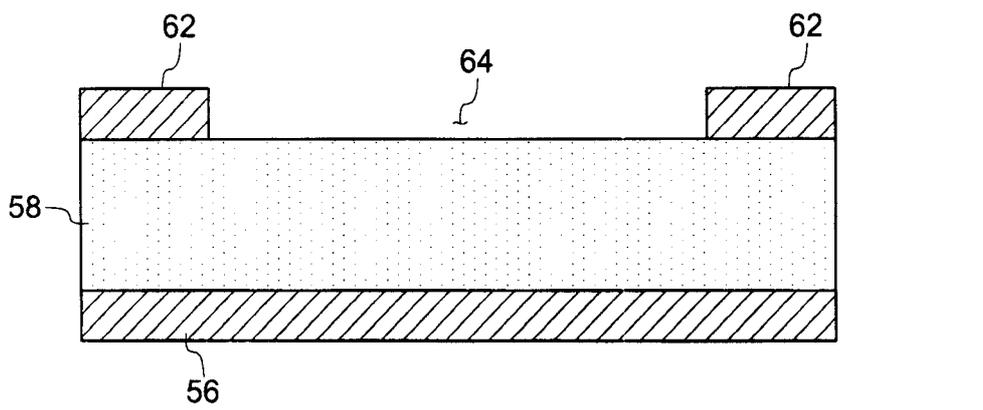


图 16

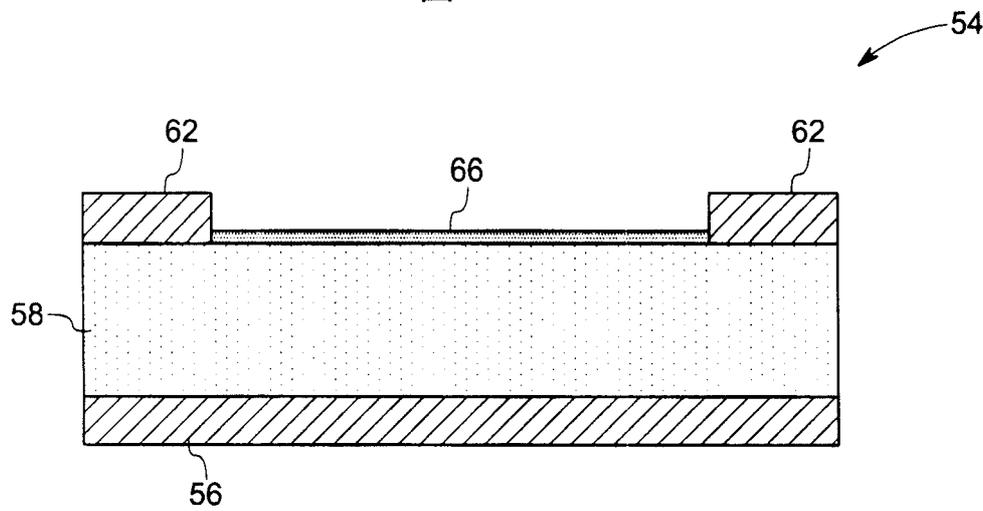


图 17

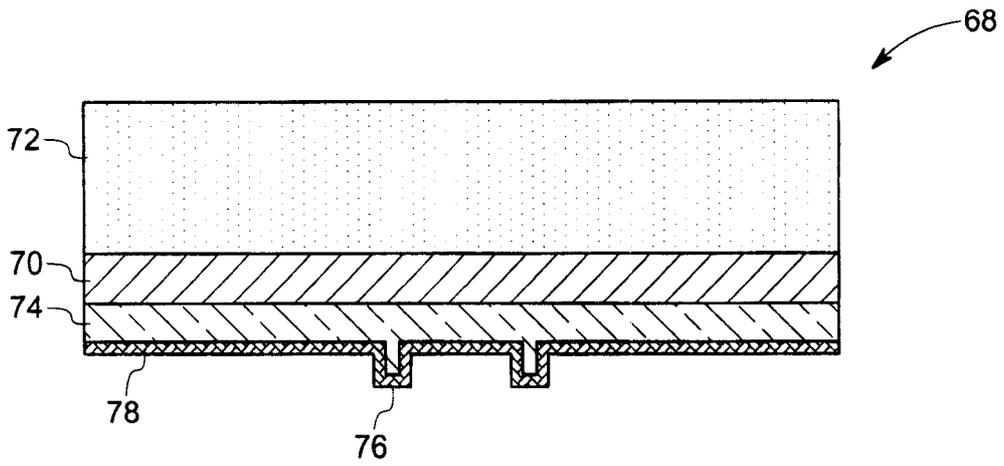


图 18

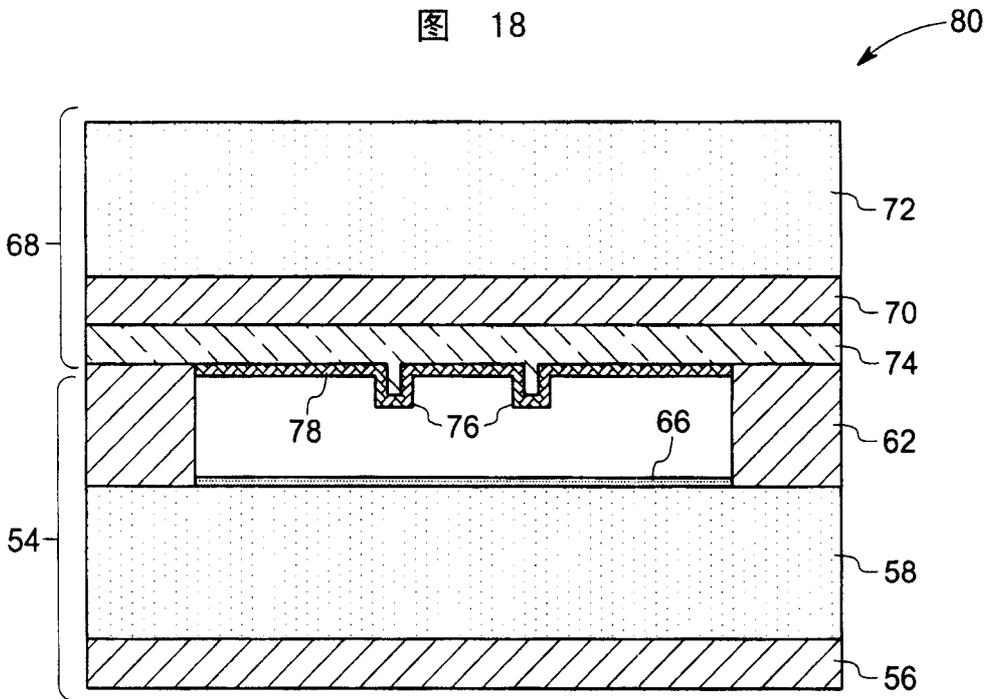


图 19

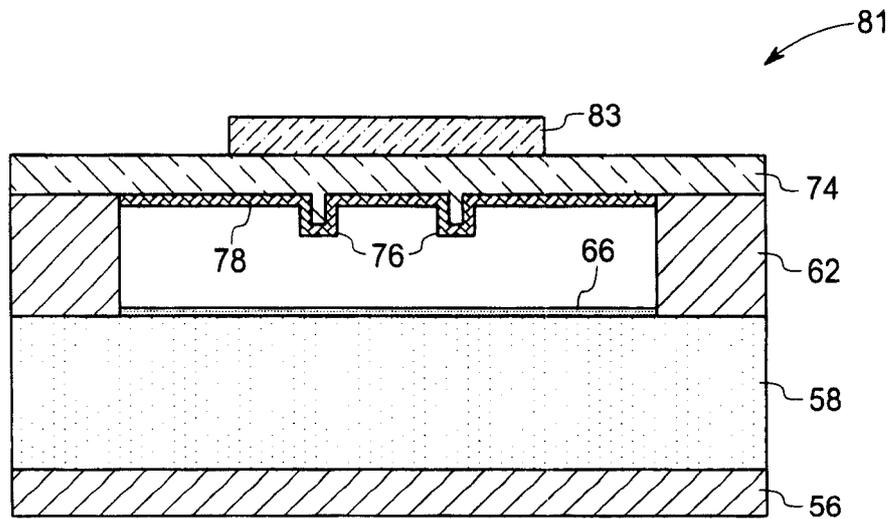


图 20

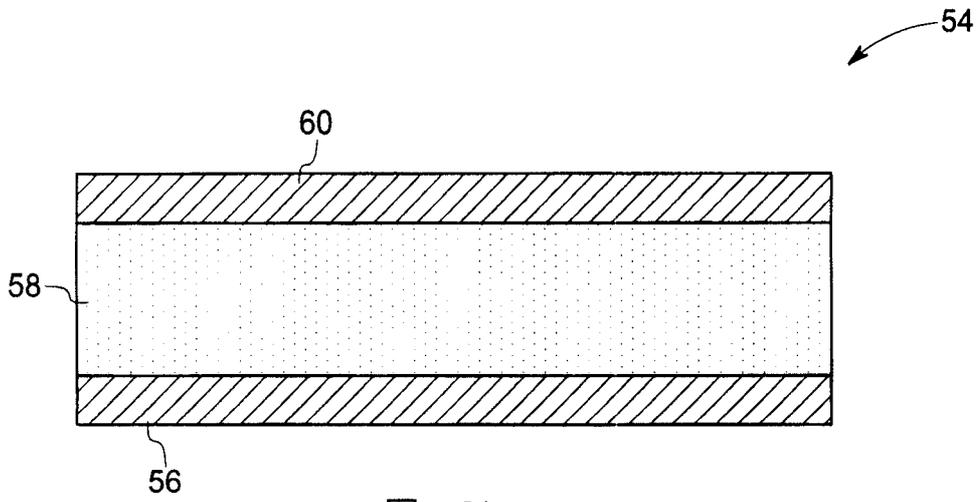


图 21

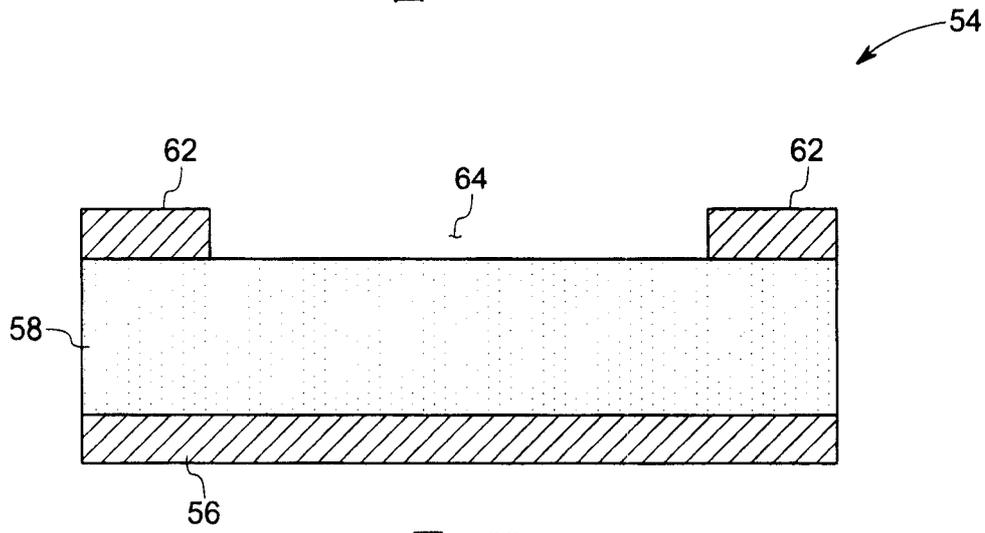


图 22

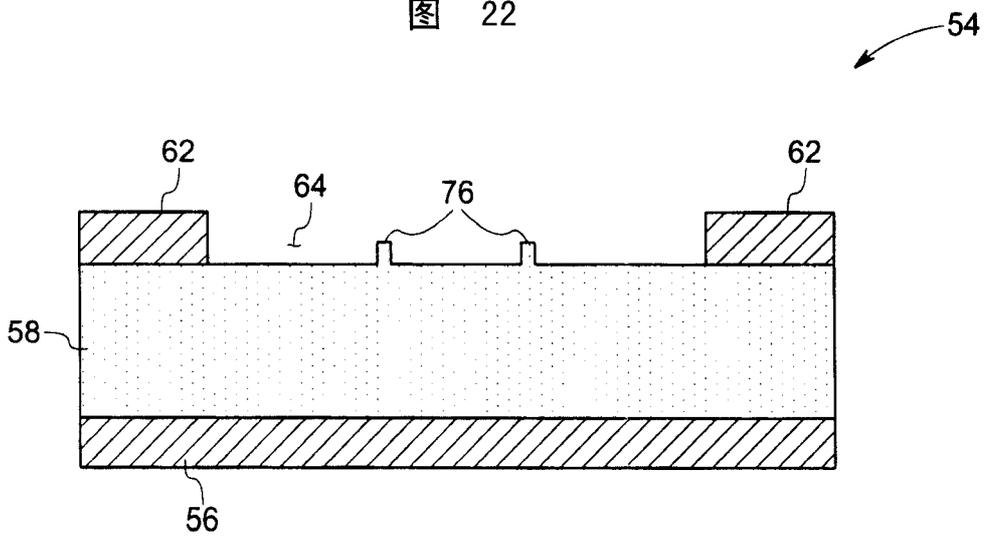


图 23

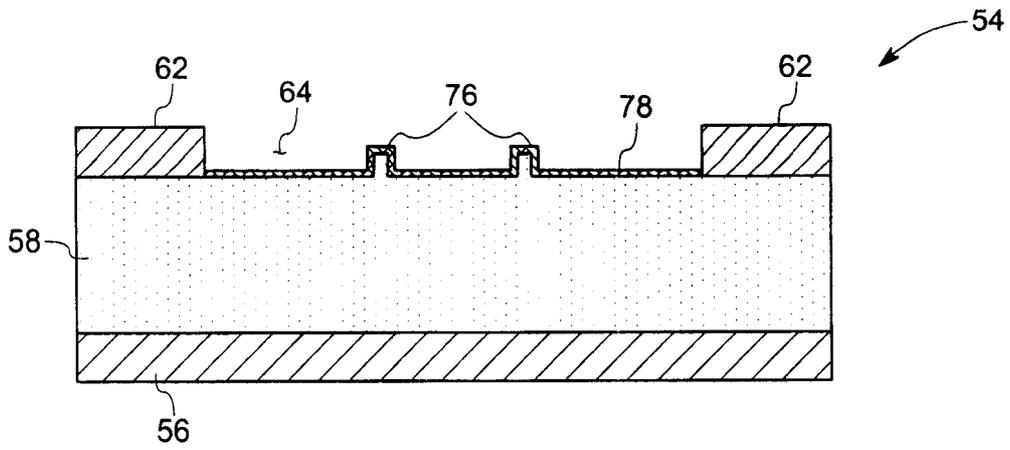


图 24

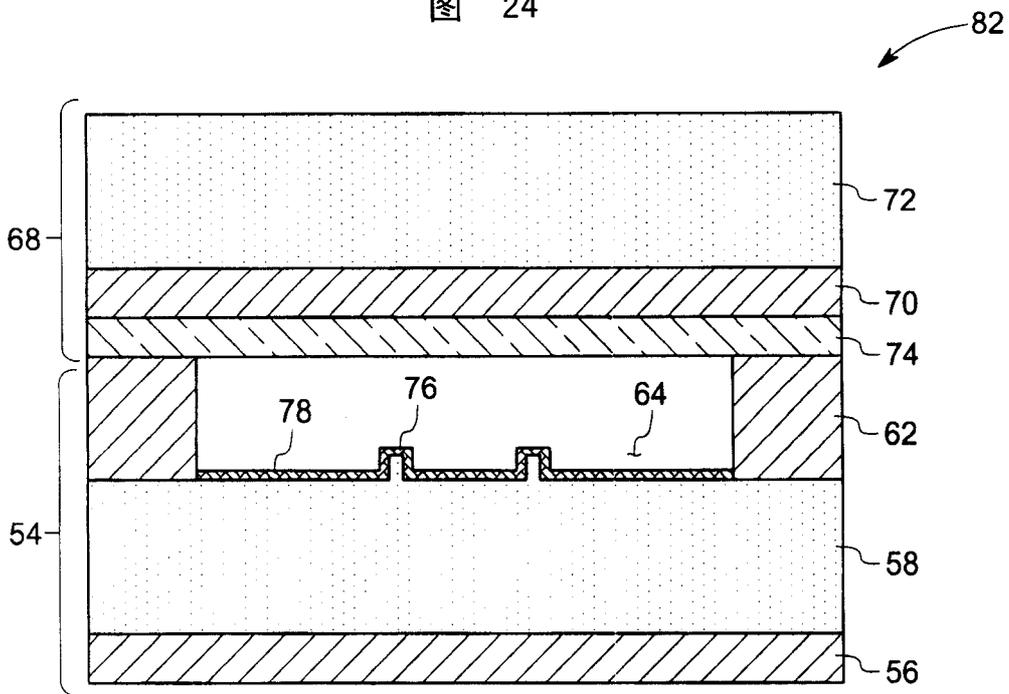


图 25

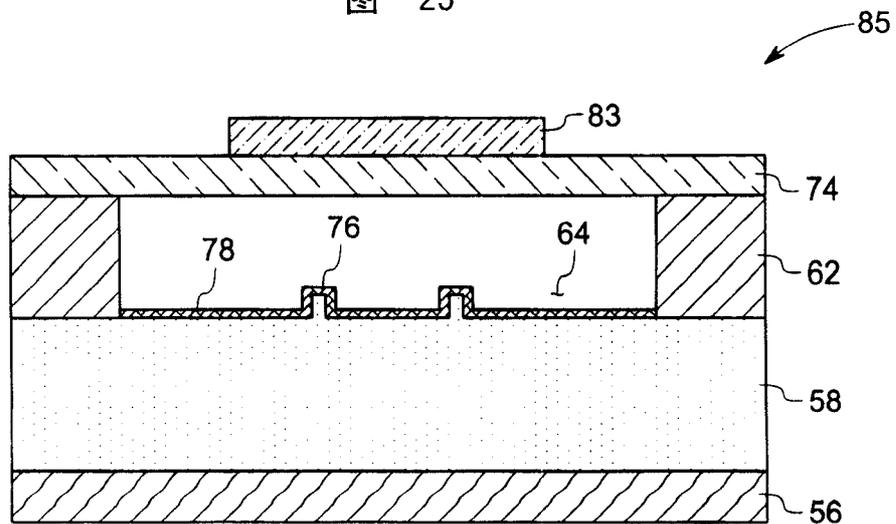


图 26

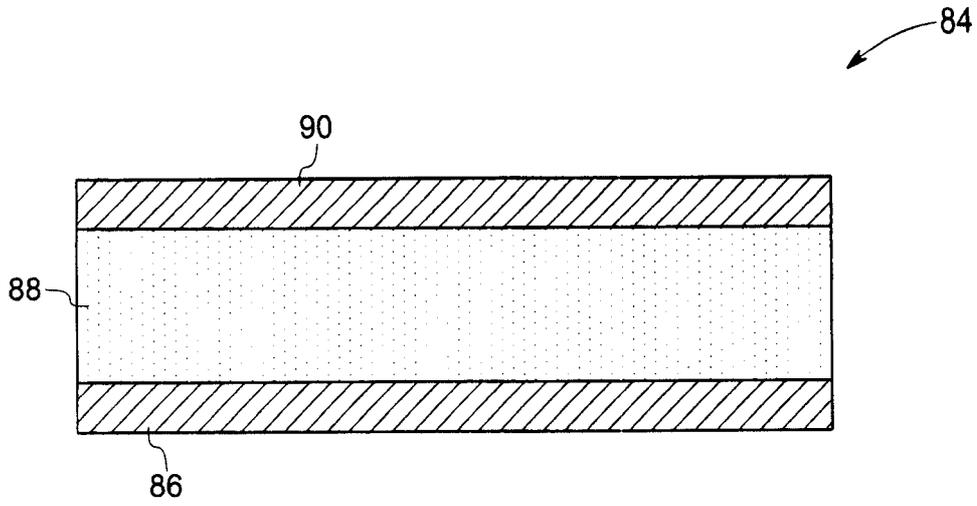


图 27

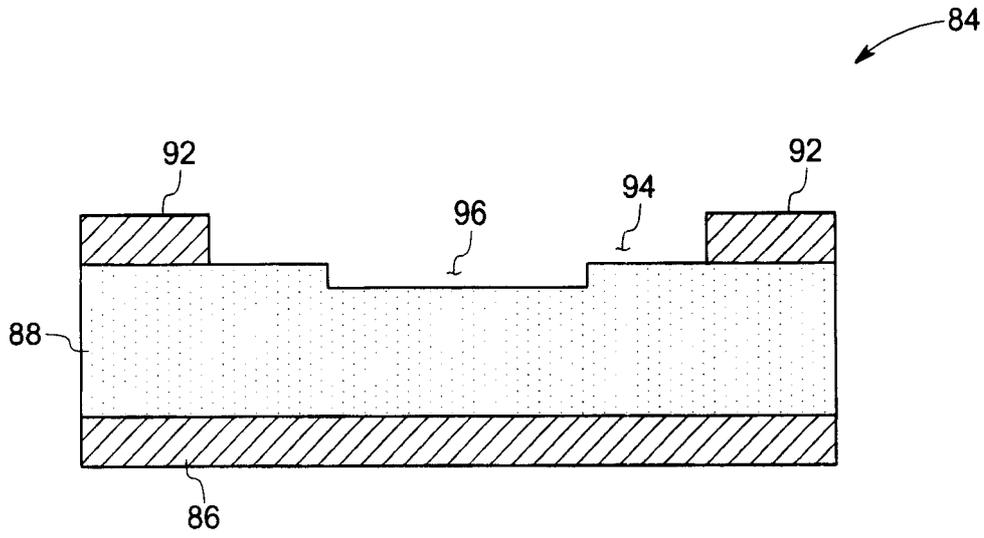


图 28

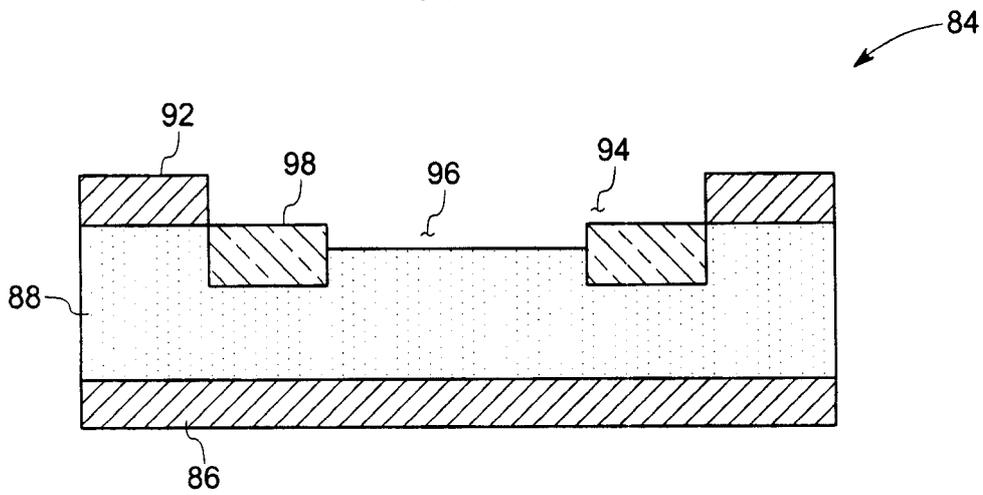


图 29

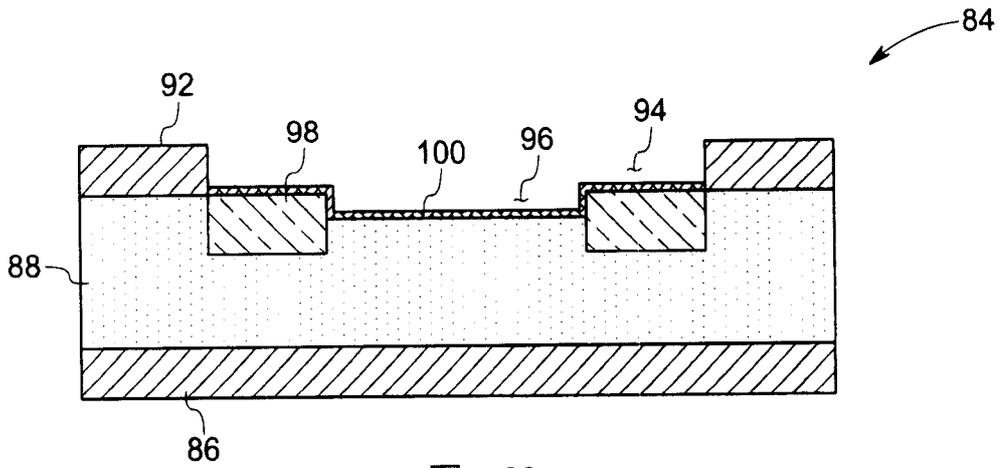


图 30

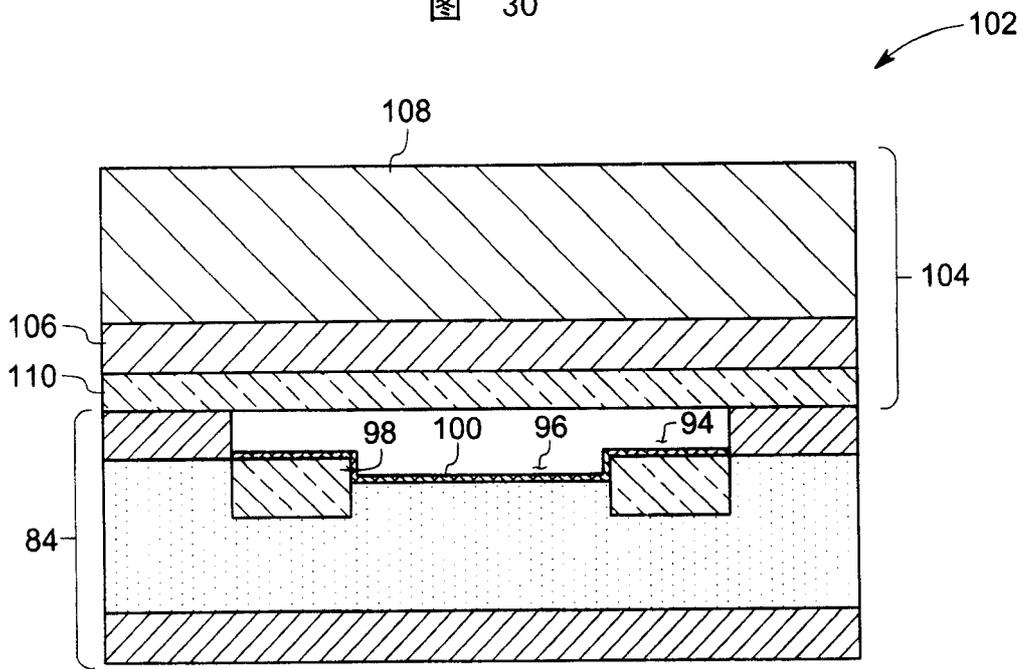


图 31

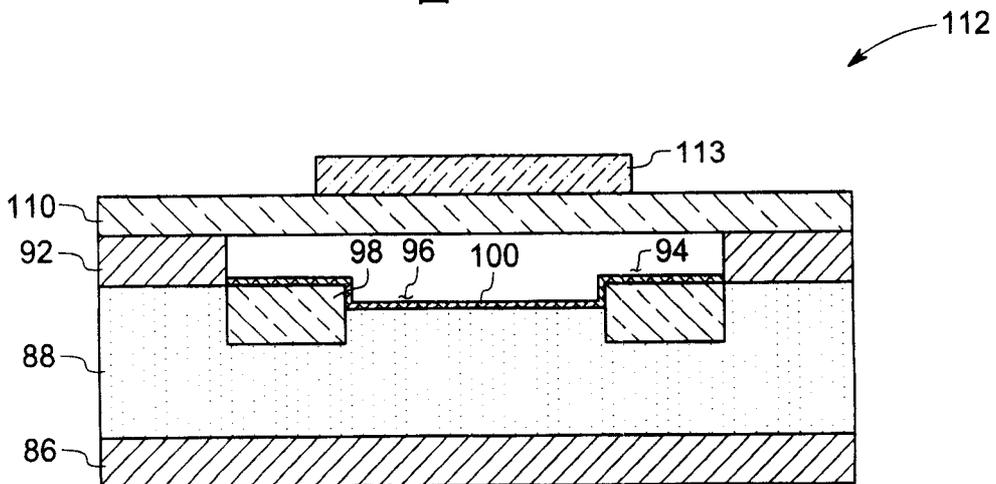


图 32

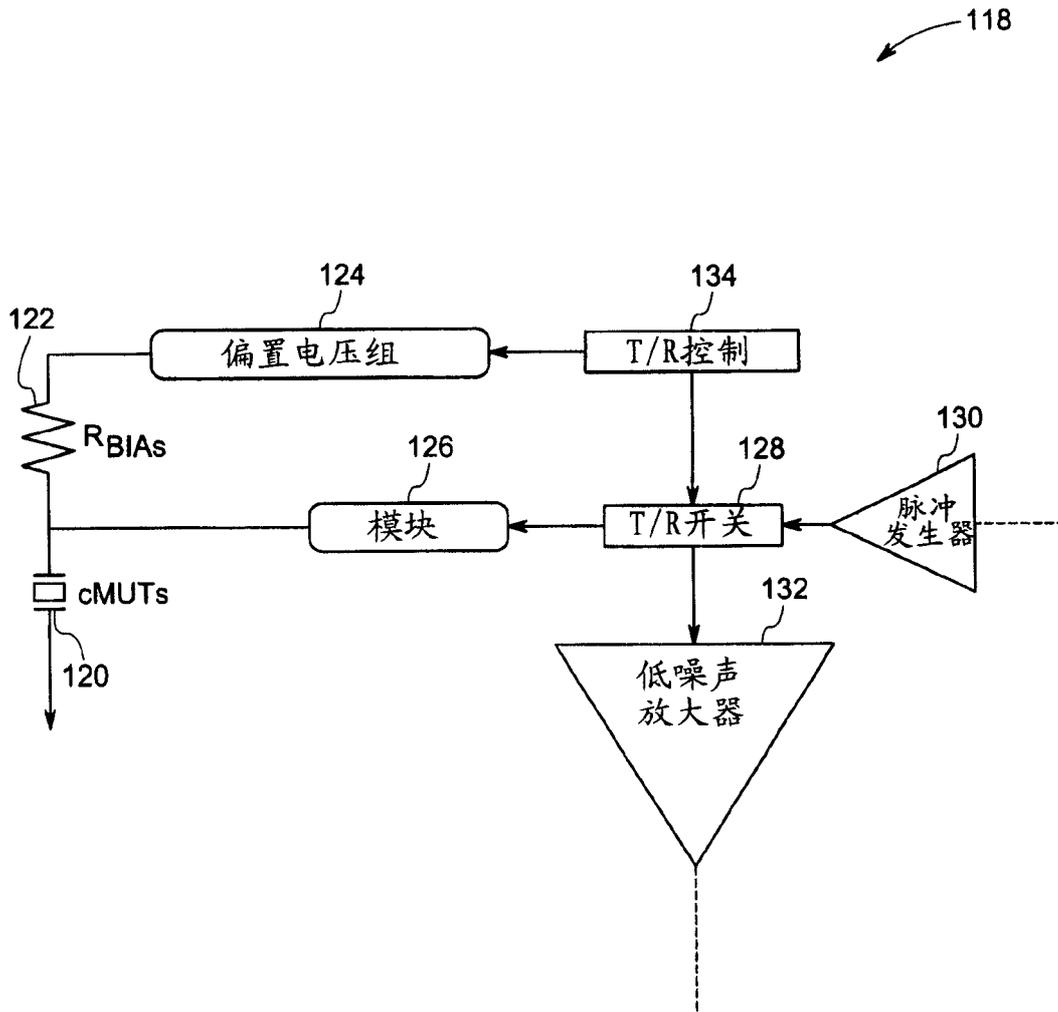


图 33

专利名称(译)	高灵敏度的电容性显微机械加工的超声波传感器		
公开(公告)号	CN1714754A	公开(公告)日	2006-01-04
申请号	CN200510089698.X	申请日	2005-06-30
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	田维诚 李华伦 LS史密斯 李业铭 孙阶		
发明人	田维诚 李华伦 L·S·史密斯 李业铭 孙阶		
IPC分类号	A61B8/00 G01N29/00 G01N29/22 B81C5/00 B81C99/00		
CPC分类号	B06B2201/76 B06B1/0292		
代理人(译)	王岳 梁永		
优先权	10/881924 2004-06-30 US		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种电容性显微机械加工的超声波传感器(cMUT)包括下部电极。而且，cMUT包括与下部电极相邻设置的隔板，使得在隔板和下部电极之间形成具有第一间隙宽度的间隙。此外，cMUT包括形成在间隙中的至少一个部件，该至少一个部件设置为在隔板和下部电极之间具有第二间隙宽度。

