



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480030924.0

[43] 公开日 2006 年 11 月 29 日

[11] 公开号 CN 1871770A

[22] 申请日 2004.10.29

[21] 申请号 200480030924.0

[30] 优先权

[32] 2003.10.30 [33] US [31] 10/699,481

[86] 国际申请 PCT/US2004/035906 2004.10.29

[87] 国际公布 WO2005/046052 英 2005.5.19

[85] 进入国家阶段日期 2006.4.20

[71] 申请人 阿瓦戈科技通用 IP (新加坡) 股份有限公司

地址 新加坡新加坡市

[72] 发明人 J·D·拉森三世 S·L·艾利斯
N·萨克西克

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 程天正 魏 军

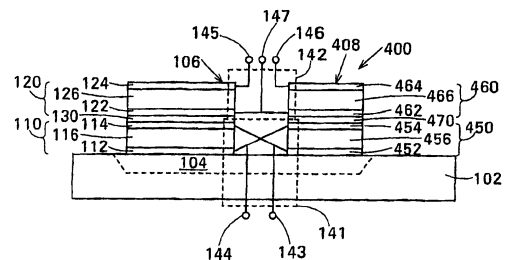
权利要求书 4 页 说明书 27 页 附图 15 页

[54] 发明名称

薄膜声耦合变压器中的阻抗变换比控制

[57] 摘要

薄膜声耦合变压器 FACT(400) 具有去耦层叠体声谐振器 DSBAR(106, 408)、第一电路和第二电路。每个 DSBAR 具有下部薄膜体声谐振器 FBAR(110)、上部 FBAR(120) 和声去耦器(130)。上部 FBAR 层叠在下部 FBAR 上, 并且声去耦器位于 FBAR 之间。每个 FBAR 具有对置的平面电极(112, 114) 和在电极之间的压电元件(116)。第一电路互连下部 FBAR(110, 450)。第二电路互连上部 FBAR(120, 460)。一个 DSBAR(408) 的 FBAR 与另一个 DSBAR(106) 的 FBAR 的电阻抗不同。该 FACT 的阻抗变换比大于 $1:m^2$, 其中 m 是 DSBAR 的数目。实际阻抗变换比取决于 FBAR 的阻抗比。



- 1、一种薄膜声耦合变压器 (FACT), 包括:
去耦层叠体声谐振器 (DSBAR), 每个 DSBAR 包括:
一种下部薄膜体声谐振器 (FBAR) 和上部 FBAR, 该上部 FBAR 层叠在该下部 FBAR 上, 每个 FBAR 包括对置的平面电极和在该电极之间的压电元件, 和
在该 FBAR 之间的声去耦器;
互连该下部 FBAR 的第一电路; 和
互连该上部 FBAR 的第二电路; 其中:
一个 DSBAR 的 FBAR 的阻抗不同于另一个 DSBAR 的 FBAR 的阻抗。
- 2、权利要求 1 的 FACT, 其中一个 DSBAR 的 FBAR 的电极在面积上不同于另一个 DSBAR 的 FBAR 的电极。
- 3、权利要求 1 的 FACT, 其中一个 DSBAR 的 FBAR 的压电元件在厚度上不同于另一个 DSBAR 的 FBAR 的压电元件。
- 4、权利要求 1 的 FACT, 其中一个 DSBAR 的 FBAR 的压电元件在介电常数上不同于另一个 DSBAR 的 FBAR 的压电元件。
- 5、权利要求 1- 5 中任何一个的 FACT, 其中:
第一电路按 (a) 串联和 (b) 反向并联之一连接该下部 FBAR; 和
第二电路按 (a) 串联和 (b) 反向并联中的另一种连接该上部 FBAR。
- 6、前面权利要求中任何一个的 FACT, 其中 DSBAR 的数量大于两个。
- 7、前面权利要求中任何一个的 FACT, 其中:
该 FACT 的通带具有中心频率; 和
每个声去耦器包括声去耦材料层, 该声去耦材料层的额定厚度等于其频率等于中心频率的声信号在该声去耦材料中的四分之一波长。
- 8、权利要求 7 的 FACT, 其中该声去耦材料包括聚酰亚胺、paralene 和交联聚苯撑聚合物之一。
- 9、前面权利要求中任何一个的 FACT, 其中:
该 FACT 的通带具有中心频率; 和
每个声去耦器包括不同声去耦材料层, 并且被构造成对其频率等于中心频率的声信号施加 $\pi/2$ 的额定相变。

- 10、前面权利要求中任何一个的 FACT，其中：
该 DSBAR 的数量大于两个；和
一个该电路在相应的下部 FBAR 和上部 FBAR 之一中提供串并联连接。
- 11、前面权利要求中任何一个的 FACT，其中该 FACT 具有 $(1+r)^2/r$ 的阻抗变换比，其中 r 是一个 DSBAR 的 FBAR 阻抗和另一个 DSBAR 的 FBAR 阻抗之间的比。
- 12、一种薄膜声耦合变压器 (FACT)，包括：
两个以上去耦层叠体声谐振器 (DSBAR)，每个 DSBAR 包括：
第一薄膜体声谐振器 (FBAR) 和第二 FBAR，一个 FBAR 层叠在另一个 FBAR 上，每个 FBAR 包括对置的平面电极和在该电极之间的压电元件，和
在该 FBAR 之间的声去耦器；
互连该 DSBAR 的第一 FBAR 的第一电路；和
互连该 DSBAR 的第二 FBAR 的第二电路。
- 13、权利要求 12 的 FACT，其中第一电路提供在第一 FBAR 之间的串并联连接。
- 14、权利要求 13 的 FACT，其中：
该 DSBAR 包括第一 DSBAR、第二 DSBAR 和第三 DSBAR；和
第一电路串联连接第一 DSBAR 的第一 FBAR 和第二 DSBAR 的第一 FBAR 形成串联组合并且将第三 DSBAR 的第一 FBAR 与该串联组合并联连接。
- 15、权利要求 13 的 FACT，其中：
该 DSBAR 还包括第四 DSBAR；和
第一电路还将第四 DSBAR 的第一 FBAR 与该第三 DSBAR 的第一 FBAR 和该串联组合并联连接。
- 16、权利要求 13 的 FACT，其中：
该 DSBAR 还包括第四 DSBAR；和
第一电路还将第四 DSBAR 的第一 FBAR 与第一 DSBAR 的第一 FBAR 和第二 DSBAR 的第一 FBAR 串联连接形成串联组合。
- 17、权利要求 13 的 FACT，其中：
该 DSBAR 还包括第四 DSBAR；和

第一电路还将第四 DSBAR 的第一 FBAR 与和该串联组合并联的该第三 DSBAR 的第一 FBAR 串联连接。

18、 权利要求 13 的 FACT, 其中:

该 DSBAR 包括第一 DSBAR、第二 DSBAR 和第三 DSBAR; 和

该第一电路并联连接第一 DSBAR 的第一 FBAR 和第二 DSBAR 的第一 FBAR 形成并联组合并且将第三 DSBAR 的第一 FBAR 与该并联组合串联连接。

19、 权利要求 18 的 FACT, 其中:

该 DSBAR 还包括第四 DSBAR; 和

第一电路还将第四 DSBAR 的第一 FBAR 与第一 DSBAR 的第一 FBAR 和第二 DSBAR 的第一 FBAR 并联连接形成并联组合。

20、 权利要求 18 的 FACT, 其中:

该 DSBAR 还包括第四 DSBAR; 和

第一电路还将第四 DSBAR 的第一 FBAR 与第三 DSBAR 的第一 FBAR 和该并联组合串联连接。

21、 权利要求 12 的 FACT, 其中:

在第一电路布置中, 第一电路互连第一 FBAR; 和

在不同于第一电路布置的第二电路布置中, 第二电路互连第二 FBAR。

22、 权利要求 12 的 FACT, 其中第一电路并联连接所有 DSBAR 的第一 FBAR。

23、 权利要求 12 的 FACT, 其中第一电路串联连接所有 DSBAR 的第一 FBAR。

24、 权利要求 12 的 FACT, 其中一个 DSBAR 的 FBAR 在阻抗上不同于另一个 DSBAR 的 FBAR。

25、 一种薄膜声耦合变压器 (FACT), 包括:

去耦层叠体声谐振器 (DSBAR), 每个 DSBAR 包括:

第一薄膜体声谐振器 (FBAR) 和第二 FBAR, 一个 FBAR 层叠在另一个 FBAR 上, 每个 FBAR 包括对置的平面电极和在该电极之间的压电元件, 和

在该 FBAR 之间的声去耦器;

互连该第一 FBAR 的第一电路; 和

互连该第二 FBAR 的第二电路；其中：

该 FACT 具有不同于 1:1 和 $1:m^2$ 的阻抗变换比，其中 m 是 DSBAR 的数目。

26、 权利要求 25 的 FACT，其中一个 DSBAR 的 FBAR 阻抗与另一个 DSBAR 的 FBAR 不同。

27、 权利要求 25 或权利要求 26 的 FACT，其中：

该 DSBAR 的数目大于两个；

在第一电路布置中，第一电路互连第一 FBAR，该第一电路布置包括在第一 FBAR 之间的串并联连接；和

在不同于第一电路布置的第二电路布置中，第二电路互连第二 FBAR。

薄膜声耦合变压器中的阻抗变换比控制

发明背景

变压器用于许多种电子器件，起到象转变阻抗、将单端电路与平衡电路相连或者将平衡电路与单端电路连接并提供电隔离的作用。但是，不是所有变压器具有所有这些性质。例如，自耦变压器不提供电隔离。

在高到 VHF 的声频和射频下工作的变压器通常制造成围线圈高导磁率磁芯的耦合初级和次级线圈组。在线圈中的电流产生磁通。该磁芯容纳该磁通并提高绕组之间的耦合。可在这种频段工作的变压器还可以使用光学耦合器来实现。以这种方式使用的光耦合器在本领域称为光隔离器。

在以耦合绕组或者光耦合器为基础的变压器中，输入的电信号转变为与适当的变换结构(即另一个绕组或光探测器)互相作用的不同形式(即磁通或者光子)，并且在输出处再形成为电信号。例如，光耦合器用发光二极管将输入电信号转换为光子。光子穿过光纤或者提供隔离的自由空间。被光子照射的光电二极管从光子流产生输出电信号。输出电信号是输入电信号的重复。

在 UHF 和微波频率下，由于象磁芯损耗、线圈损耗、线圈之间的电容这种因素，所以基于磁芯的变压器变得不实用，并且难以将它们制造得足够小，以防止与波长有关的问题。用于这种频率的变压器是以四分之一波长传送线为基础的，例如 Marchand 型，串联输入/并联输出连接线等等。还存在以微型电机耦合线圈组为基础、并且足够小因而波长效应不重要的变压器。但是，这种变压器具有高插入损耗和低初级次级隔离的问题。

刚才所述用于 UHF 和微波频率的所有变压器的尺寸使得它们较少适用于现代小型化、高密度应用例如蜂窝电话。因为它们不能通过批量生产来制造和因为它们基本上是脱离芯片制造的，所以这种变压器还会成本高。此外，虽然这种变压器典型地具有可用于蜂窝电话的频宽，但是它们典型地具有大于 1 分贝的插入损耗，该插入损耗太高。

由于输入 LED 的结电容、光探测器固有的非线性、有限的功率处

理能力和其隔离不足以得到优良的共模抑制，所以光耦合器不被用于 UHF 和微波频率。

序列号为 No. 10/699, 481 的美国专利申请公开了一种基于去耦层叠体声谐振器 (DSBAR) 的薄膜声耦合变压器 (FACT)。DSBAR 由在 FBAR 之间层叠的一对薄膜体声谐振器 (FBAR) 和声去耦器组成。图 1A 示意地说明这种 FACT 的实施例 100。FACT 100 具有悬置在衬底 102 中的空腔 104 上方的第一 DSBAR 106 和第二 DSBAR 108。DSBAR 106 具有下部 FBAR 110、层叠在下部 FBAR 110 上的上部 FBAR 120 和在该 FBAR 之间的声耦合器 130，并且 DSBAR 108 具有下部 FBAR 150、层叠在下部 FBAR 150 上的上部 FBAR 160 和在该 FBAR 之间的声耦合器 170。每个 FBAR 具有对置的平面电极和在该电极之间的压电元件。FBAR 110 具有对置的平面电极 112 和 114 以及在它们之间的压电元件 116。FBAR 120 具有对置的平面电极 122 和 124 以及在它们之间的压电元件 126。

FACT 100 另外具有互连 DSBAR 106 的下部 FBAR 110 到 DSBAR 108 的下部 FBAR 150 的第一电路 141 以及互连 DSBAR 106 的上部 FBAR 120 到 DSBAR 108 的上部 FBAR 160 的第二电路 142。

在图 1A 所示的上述 FACT 的实施例中，FBAR 110、120、150 和 160 全部名义上阻抗相等，并且电路 141 以反向并联的方式连接下部 FBAR 110 和 150，并连接到端子 143 和 144，并且电路 141 在端子 145 和 146 之间串联连接上部 FBAR 120 和 160。电路 142 另外具有分别连接到上部 FBAR 120 和 160 的电极 122 和 162 的中心抽头端子 147。该实施例在电路 141 和电路 142 之间具有 1:4 的阻抗变换比，或者在电路 142 和电路 141 之间具有 4:1 的阻抗变换比。

在 FACT 100 的其它的实施例中，FBAR 110、120、150 和 160 全部名义上阻抗相等，电路 141 以反向并联或串联的形式电连接下部 FBAR，并且电路 142 以反向并联或串联的形式电连接上部 FBAR。以下表 1 中概括了刚才所述电路结构的可能组合：

	并联	串联	反向并联	反向串联
并联	U1:1 低	×	×	U1:4
串联	×	B1:1 高	B4:1	×
反向并联	×	B1:4	B1:1 低	×

反向串联	U4:1	×	×	U1:1 高
------	------	---	---	--------

表 1

在表 1 中，行标题表示电路 141 的结构，列标题表示电路 142 的结构，B 表示 FACT 电平衡，U 表示 FACT 失衡，X 表示无功能的 FACT。所示的阻抗变换比是从行标题表示的电路 141 的结构到列标题表示的电路 142 的结构的阻抗变换。对于具有 1:1 变换系数的结构，低 (LOW) 表示 FACT 具有低阻抗，相当于两个并联的 FBAR 的阻抗，高 (HIGH) 表示 FACT 具有高阻抗，相当于两个串联的 FBAR 的阻抗。

从表 1 看出上述 FACT 100 的实施例具有 1:1 低阻抗、1:1 高阻抗或 1:4 (低阻抗到高阻抗) 的阻抗变换比，通常是 $1:2^n$ ，其中 $n=1$ 或 2 。在本公开中，变换系数 $1:m$ 要理解成包括变换系数 $m:1$ ，因为通过简单地互换输入和输出端子，具有 $1:m$ 变换系数的 FACT 就可以变为具有 $m:1$ 变换系数的 FACT。

虽然具有 1:1 或 1:4 阻抗变换比的 FACT 实施例可用于许多应用，但是其它的应用需要不同的阻抗变换比。因此，需要的是具有如上所述 FACT 的优点而且具有不同于 1:1 或 1:4 的阻抗变换比的 FACT。

发明内容

在第一方面中，本发明提供一种薄膜声耦合变压器 (FACT)，具有第一去耦层叠体声谐振器 (DSBAR)、第一电路和第二电路。每个 DSBAR 具有下部薄膜体声谐振器 (FBAR)、上部 FBAR 和声去耦器。该上部 FBAR 层叠在下部 FBAR 上，该声去耦器位于该 FBAR 之间。每个 FBAR 具有对置的平面电极和在该电极之间的压电元件。第一电路互连下部 FBAR。第二电路互连上部 FBAR。一个 DSBAR 的 FBAR 的电阻抗不同于另一个 DSBAR 的 FBAR。

该 FACT 实施例的阻抗变换比大于 $1:m^2$ ，其中 m 是 DSBAR 的数目。实际的阻抗变换比取决于 FBAR 阻抗的比。

在第二方面中，本发明提供一种薄膜声耦合变压器 (FACT)，具有两个以上去耦层叠体声谐振器 (DSBAR)、第一电路和第二电路。每个 DSBAR 具有第一薄膜体声谐振器 (FBAR)、第二 FBAR 和声去耦器。一个 FBAR 层叠在另一个 FBAR 上，该声去耦器位于该 FBAR 之间。每个 FBAR 具有对置的平面电极和在该电极之间的压电元件。第一电路互连 DSBAR 的第一 FBAR。第二电路互连 DSBAR 的第二 FBAR。

该 FACT 的某些实施例具有 $1:m^2$ 的阻抗变换比, 其中 m 是 DSBAR 的数目, 大于二。其它的实施例, 其中至少一个该电路提供在各个 FBAR 中的串联和并联, 其阻抗变换比是某个整数又小于 $1:m^2$ 的分数的值。该实际的阻抗变换比取决于第一和第二电路互连各个 FBAR 的方式。

在第三方面中, 本发明提供一种薄膜声耦合变压器 (FACT), 具有去耦层叠体声谐振器 (DSBAR)、第一电路和第二电路。每个 DSBAR 具有第一薄膜体声谐振器 (FBAR)、第二 FBAR 和声去耦器。一个 FBAR 层叠在另一个 FBAR 上, 该声去耦器位于该 FBAR 之间。每个 FBAR 具有对置的平面电极和在该电极之间的压电元件。第一电路互连第一 FBAR。第二电路互连第二 FBAR。该 FACT 的阻抗变换比不同于 $1:1$ 和 $1:m^2$, 其中 m 是 DSBAR 的数目。

在根据本发明 FACT 的某些实施例中, 一个 DSBAR 的 FBAR 的阻抗不同于另一个 DSBAR 的 FBAR 的阻抗, 从而提供不同于 $1:1$ 和 $1:m^2$ 的阻抗变换比。

在根据本发明 FACT 的其它实施例中, DSBAR 的数目大于二, 在包括第一 FBAR 中的串联和并联的第一电路布置中, 第一电路互连第一 FBAR, 在不同于第一电路布置的第二电路布置中, 第二电路互连第二 FBAR, 从而提供不同于 $1:1$ 和 $1:m^2$ 的阻抗变换比。

附图说明

图 1 是根据现有技术的 $1:4$ 或者 $4:1$ 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的实施例的电路示意图;

图 2A 和 2B 分别是构成根据本发明 FACT 实施例的基本构件的 DSBAR 实施例的平面图和沿着图 2A 中截面线 2B-2B 的横截面图;

图 3A 是根据本发明三 DSBAR FACT 的第一典型实施例的示意图;

图 3B 是根据本发明三 DSBAR FACT 的第二典型实施例的示意图;

图 3C-3F 示意性地说明可以互连根据本发明三 DSBAR 中的下部 FBAR 和上部 FBAR 的方式;

图 4A 是根据本发明四 DSBAR FACT 的第一典型实施例的示意图;

图 4B 是根据本发明四 DSBAR FACT 的第二典型实施例的示意图;

图 4C-4I 示意性地说明可以互连根据本发明四 DSBAR FACT 中的下部 FBAR 和上部 FBAR 的方式;

图 5A、5B 和 5C 分别是根据本发明 FACT 的平面图和沿着图 5A 中

截面线 5B-5B 和 5C-5C 的横截面图, 其中一个 DSBAR 的 FBAR 与另一个 DSBAR 的 FBAR 的电极面积不同, 因此阻抗也不同, 从而限定 FACT 的阻抗变换比;

图 5E 是根据本发明 FACT 的横截面图, 其中一个 DSBAR 的 FBAR 与另一个 DSBAR 的 FBAR 的压电元件厚度不同, 因而阻抗也不同, 从而限定 FACT 的阻抗变换比;

图 6A-6H 是说明可用于制造根据本发明 FACT 的实施例的方法的平面图, 图 6I-6P 是分别沿着图 6A-6H 中的截面线 6I-6I 到 6P-6P 的横截面图。

具体实施方式

图 2A 和 2B 分别是构成根据本发明第一方面薄膜声耦合变压器 (FACT) 实施例的基本构件的去耦层叠体声谐振器 (DSBAR) 106 实施例的平面图和横截面图。DSBAR 106 由下部薄膜体声谐振器 (FBAR) 110、层叠在下部 FBAR 110 上的上部 FBAR 120 以及在该 FBAR 之间的声去耦器 130 组成。FBAR 110 由对置的平面电极 112 和 114 以及在该电极之间的压电元件 116 组成。FBAR 120 由对置的平面电极 122 和 124 以及在该电极之间的压电元件 126 组成。声去耦器 130 位于 FBAR 110 的电极 114 和 FBAR 120 的电极 122 之间。声去耦器控制 FBAR 110 和 120 之间声能的耦合。

DSBAR 106 具有第一端子 132 和 134 以及第二端子 136 和 138, 该端子在该例子中表示为结合片。第一端子 132 和 134 分别通过导电迹线 133 和 135 分别电连接到下部 FBAR 110 的电极 112 和 114。第二端子 136 和 138 分别通过导电迹线 137 和 139 分别电连接到上部 FBAR 120 的电极 122 和 124。

在所示的例子中, DSBAR 106 悬置在衬底 102 中限定的空腔 104 上。DSBAR 悬置在空腔上使得 DSBAR 的 FBAR 机械地谐振。使得 FBAR 可以机械地谐振的其它悬置方案也可以。例如, 如 Lakin 在美国专利 No. 6, 107, 721 中公开的那样, DSBAR 可以由衬底 102 中或衬底 102 上形成的失谐声布拉格 (Bragg) 反射器 (未显示) 支撑。

在图 2A 和 2B 所示的 DSBAR 106 例子中, 声去耦器 130 由位于分别属于 FBAR 110 和 120 的电极 114 和 122 之间的声去耦材料的声去耦层 131 组成。声去耦层 131 的声去耦材料的重要的性能是不同于 FBAR

110、120 的材料的声阻抗、高电阻率、低介电常数和等于其频率是 DSBAR 106 通带的中心频率的声信号在该声去耦材料中的四分之一波长的奇数倍的额定厚度。

在所示的例子中，声去耦层 131 的声去耦材料的声阻抗小于 FBAR 110 和 120 的材料的声阻抗，并且显著地大于空气的声阻抗。材料的声阻抗是材料中应力和粒子速度的比，并且按瑞利计量，缩写为 rayl。FBAR 110 和 120 的材料典型地是作为压电元件 116、126 的材料的氮化铝 (AlN) 和作为电极 112、114、122 和 124 的材料的钼 (Mo)。该 FBAR 材料的声阻抗典型地大于 30 Mrayl (AlN 是 35 Mrayl, Mo 是 63 Mrayl)，空气的声阻抗是大约 1 krayl。在其中 FBAR 110、120 的材料是如上所述材料的 DSBAR 106 实施例中，声阻抗在从 2 Mrayl 到 8 Mrayl 的范围内的材料适用于声去耦层 131 的声音耦合材料。

在图 2B 所示声去耦器 130 实施例中，声去耦层 131 的额定厚度等于其频率等于 DSBAR 106 通带的中心频率的声信号在该声去耦材料中的四分之一波长，即 $t \approx \lambda_n/4$ ，其中 t 是声去耦层 131 的厚度， λ_n 是其频率等于 DSBAR 106 通带的中心频率的声信号在该声去耦材料中的波长。可以选择地使用在额定厚度大约 $\pm 10\%$ 的范围内的声去耦层 131 厚度。也可以在某些性能退化的情况下可选择地使用该范围之外的厚度。但是，声去耦层 131 的厚度应该显著不同于一个极端的 $0\lambda_n$ 和另一个极端的 $\lambda_n/2$ 。

一般地说，声去耦层 131 的额定厚度可以等于其频率等于 DSBAR 通带的中心频率的声信号在该声去耦材料中的四分之一波长的奇数倍，即 $t \approx (2m + 1)\lambda_n/4$ ，其中 t 和 λ_n 如上面定义的， m 是等于或大于零的整数。在这种情况下，可以选择地使用与额定厚度相差大约 $\pm 10\%\lambda_n/4$ 的声去耦层 131 厚度。也可以在某些性能退化的情况下使用该范围之外的厚度偏差，但是声去耦层 131 的厚度应该显著地不同于 $\lambda_n/2$ 的整数倍。但是，由于这种更厚的层支撑多个声模的能力，所以其中声去耦层 131 比其频率等于 DSBAR 106 中心频率的声信号在声去耦材料中的单个四分之一波长大奇数倍的声去耦器 130 实施例典型地具有呈现假响应假象 (spurious response artifacts) 的频率响应。

许多塑料材料具有在上述范围内的声阻抗，并且可以应用于在上

述厚度范围内的均匀厚度的层中。因此这种塑料材料可能适合用作声去耦层 131 的声去耦材料。但是，声去耦材料必须还能够经受得了在电极 114 上沉积声去耦层 131 之后进行的制造操作温度。如下面详述的那样，在 FACT 100 的实用实施例中，在沉积声去耦层 131 之后，通过溅射沉积电极 122 和 124 以及压电层 126。在这些沉积过程期间温度高达 400℃。因此，在这种温度下保持稳定的塑料用作声去耦材料。

与 FBAR 110 和 120 的其它材料相比，塑料材料典型地具有很高的单位长度声音衰减。但是，因为上述声去耦器 130 实施例中的塑料声去耦层 131 典型地厚度小于 1μm，所以由这种声去耦器 130 实施例引入的声音衰减一般地可以忽略。

在一个实施例中，聚酰亚胺用作声去耦层 131 的声去耦材料。聚酰亚胺是 E. I. du Pont de Nemours and Company 出售的，商标为 Kapton®。在这种实施例中，声去耦器 130 由通过旋涂涂覆在电极 114 上的聚酰亚胺的声去耦层 131 组成。聚酰亚胺具有大约 4 Mrayl 的声阻抗。

在另一个实施例中，聚（对二甲苯）用作声去耦层 131 的声去耦材料。在这种实施例中，声去耦器 130 由通过真空沉积涂覆在电极 114 上的聚（对二甲苯）的声去耦层 131 组成。聚（对二甲苯）在现有技术中也称为聚对亚苯基二甲基。用于制造聚对亚苯基二甲基的二聚前驱物联对二甲苯和用于真空沉积聚对亚苯基二甲基层的装置可以从许多供应商处买到。聚对亚苯基二甲基具有大约 2.8 Mrayl 的声阻抗。

在另一个实施例中，交联聚苯撑聚合物用作声去耦层 131 的声去耦材料。在这种实施例中，声去耦层 131 是通过旋涂而涂覆的交联聚苯撑聚合物层。交联聚苯撑聚合物已经发展为集成电路中使用的低介电常数电介质材料，因此在随后的 FBAR 120 制造过程中声去耦器 130 经受的高温下保持稳定。发明人发现交联聚苯撑聚合物另外具有大约 2 Mrayl 的理论声阻抗。这种声阻抗在给 DSBAR 106 提供有用的通带宽度的声阻抗范围内。

包含聚合形成各个交联聚苯撑聚合体的各种低聚物的前驱物溶液由 Midland, MI 的 Dow 化学公司销售，商标是 SiLK。该前驱物溶液通过旋涂来涂覆。这些前驱物溶液中另外包含增粘剂、命名为 SiLK™ J 的一种获得的交联聚苯撑聚合物具有 2.1 Mrayl 的声阻抗，即大约 2

Mrayl.

聚合形成交联聚苯撑聚合体的低聚物由含双环戊二烯酮 (biscyclopentadienone) 和芳香乙炔的单体制备成。使用这种单体形成可溶解的低聚物, 不需要过度置换反应。该前驱物溶液包含溶于 γ -丁内酯和环己酮溶剂的特定低聚物低聚物在前驱物溶液中的百分比决定前驱物溶液在旋涂时的层厚度。在涂覆以后, 对溶剂应用热蒸发, 然后固化低聚物形成交联聚合物。在形成新的芳环的 4+2 环化加成反应中, 双环戊二烯酮 s 与乙炔发生反应。进一步的固化生成交联聚苯撑聚合体。上述交联聚苯撑聚合体已经被 Godschaix 等在美国专利 No. 5, 965, 679 中公开。在 Martin 等的 Development of Low-Dielectric Constant Polymer for the Fabrication of Integrated Circuit Interconnect, 12 ADVANCED MATERIALS, 1769 (2000) 中有额外的实用详述。与聚酰亚胺相比, 交联聚苯撑聚合体具有低声阻抗、低声音衰减和低介电常数。此外, 前驱物溶液的旋压层能够产生 200 nm 级厚度的高质量交联聚苯撑聚合体膜, 该厚度是声去耦器 130 的典型厚度。

在可选择的实施例中, 如 John D. Larson III 和 Stephen Ellis、名称为 Pass Bandwidth Control in Decoupled Stacked Bulk Acoustic Resonator Devices、序列号为 No. XX/XXX, XXX 的美国专利申请所述, 声去耦器 130 由具有不同声阻抗的声去耦材料的声去耦层(未显示)组成。声去耦层的声阻抗和厚度共同确定声去耦器 130 的声阻抗。该声去耦器的声阻抗反过来又确定 DSBAR 106 的通带宽度。构造由具有不同声阻抗的声去耦材料的声去耦层组成的声去耦器 130 实施例, 从而对其频率等于 DSBAR 106 通带的中心频率的声信号施加奇数倍 $\pi/2$ 弧度的额定相变。在实施例中, 声去耦器构造为对其频率等于中心频率的声信号施加 $\pi/2$ 弧度的额定相变。通过由其额定厚度等于其频率为中心频率的声信号在声去耦材料中的四分之一波长的一层声去耦材料组成的声去耦器, 施加等于额定相变的相变。

在例子中, 声去耦器 130 由在声阻抗为大约 4 Mrayl 的聚酰亚胺声去耦层上面的声阻抗为大约 2 Mrayl 的交联聚苯撑聚合体声去耦层组成。这种声去耦器提供的 DSBAR 106 实施例的通带宽度在声去耦器由单个聚酰亚胺声去耦层 131 组成或由单个交联聚苯撑聚合体声去耦层 131 组成的实施例的通带宽度之间的中间。

在可选择的实施例中，声去耦层 131 的声去耦材料的声阻抗显著地大于 FBAR 110 和 120 的材料。现在还不知道具有这种性能的材料，但是这种材料在将来是会有有的。可选择地，将来会有低声阻抗的 FBAR 材料。这种高声阻抗声去耦材料的声去耦层 131 厚度如上所述。

在另一个实施例（未显示）中，声去耦器 130 构造成布拉格结构，由夹在高声阻抗布拉格元件之间的低声阻抗布拉格元件组成。低声阻抗布拉格元件是低声阻抗材料的层，而高声阻抗布拉格元件都是高声阻抗材料的层。布拉格元件的声阻抗表征为彼此之间相对“低”和“高”以及另外相对于压电元件 116 和 126 的压电材料的声阻抗而言“低”和“高”。至少一个布拉格元件另外具有高电阻率和低介电常数，从而在 DSBAR 106 的输入和输出之间提供电隔离。

构成布拉格元件的每层的额定厚度等于其频率等于 DSBAR 106 中心频率的声信号在该层材料中四分之一波长的奇数倍。也可以选择使用与额定厚度相差该四分之一波长的大约 $\pm 10\%$ 的层。也可以在某些性能退化的情况下使用该范围之外的厚度偏差，但是该层的厚度应该与半波长的整倍数相差很大。

在实施例中，低声阻抗布拉格元件是具有大约 13 Mrayl 的声阻抗的二氧化硅 (SiO_2) 层，而且每个高声阻抗布拉格元件是与电极 114 和 122 相同材料的层，例如具有大约 63 Mrayl 的声阻抗的钼。高声阻抗布拉格元件以及 FBAR 110 和 120 的电极使用相同材料使得高声阻抗布拉格元件另外还用作与声耦元件相邻的 FBAR 的电极。

在 DSBAR 106 中，大致上，FBAR 110 的电阻抗由电极 112 和 114 与压电元件 116 形成的电容器的电容决定，FBAR 120 的电阻抗由电极 122 和 124 与压电元件 126 形成的电容器的电容决定。具体地，FBAR 110 的电容 C_{110} 如下：

$$C_{110} = \epsilon A / t_0$$

其中 A 电极 112 或电极 114 的面积， ϵ 和 t_0 分别是压电元件 116 的介电常数和厚度。

FBAR 110 在频率 f 下的阻抗 Z_{110} 近似为：

$$Z_{110} \approx 1/2 \pi f C_{110}$$

应用于电极 122 和 124 以及压电元件 126 的类似表达式用于确定 FBAR 120 的电容和阻抗。由于电极 112、114、122 和 124 一般地面积

名义上相等，并且压电元件 116 和 126 一般地厚度和介电常数名义上相等，因此 FBAR 110 和 120 的阻抗也名义上相等。

在如上参考图 1 所述二 DSBAR FACT 100 中，电路 141 反向并联 DSBAR 106 的下部 FBAR 110 和结构类似的 DSBAR 108 的结构类似的下部 FBAR 150。因此，在端子 143 和 144 之间测量的 FACT 100 的阻抗是 FBAR 110 和 150 的寄生阻抗，即 FBAR 110 或 FBAR 150 的阻抗的二分之一。另外，电路 142 串联 DSBAR 106 的上部 FBAR 120 和结构类似的 DSBAR 108 的结构类似的上部 FBAR 160。因此，在端子 145 和 146 之间测量的 FACT 100 的阻抗是 FBAR 120 和 160 的串联阻抗，即 FBAR 120 或 FBAR 160 的阻抗的两倍。因为 FBAR 110、120、150 和 160 的阻抗全部相等，所以 FACT 100 具有如上所述 1:4 的阻抗比，如上所述。

图 3A 是根据本发明三 DSBAR 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的第一实施例 200 的示意图。这些实施例由三个 DSBAR 组成并具有 1:9 的阻抗变换比。FACT 200 由悬置在衬底 102 中的空腔 204 上的第一层叠体声谐振器 (DSBAR) 206、第二 DSBAR 207 和第三 DSBAR 208 组成。每个 DSBAR 结构类似于如上参考图 2A 和 2B 所述的 DSBAR 106。图 3A 显示 DSBAR 206 的元件。在以下的文字说明中，DSBAR 207 和 208 的相应元件将用相同的附图标记表示。

DSBAR 206、207 和 208 都具有类似于如上参考图 2A-2C 所述 DSBAR 106 的结构，并且都由下部薄膜体声谐振器 (FBAR) 110、层叠在下部 DSBAR 上的上部 FBAR 120 和在该 FBAR 之间的声去耦器 130。每个 FBAR 具有对置的平面电极和在该电极之间的压电元件。FBAR 110 由对置的平面电极 112 和 114 组成，压电元件 116 在它们之间。FBAR 120 由对置的平面电极 122 和 124 组成，压电元件 126 在它们之间。

FACT 200 另外具有第一电路 241 和第二电路 242。第一电路 241 以反向并联的形式连接 DSBAR 206 和 207 的下部 FBAR 110，并且将反向并联的 DSBAR 207 和 208 的下部 FBAR 110 连接到端子 143 和 144。具体地，电路 241 将 DSBAR 206 的电极 112 连接到端子 144 和连接到 DSBAR 207 的电极 114，并且将 DSBAR 207 的电极 114 连接到 DSBAR 208 的电极 112。电路 241 另外将 DSBAR 206 的电极 114 连接到端子 143 和连接到 DSBAR 207 的电极 112，并且将 DSBAR 207 的电极 112 连接

到 DSBAR 208 的电极 114。

电路 242 在端子 145 和 146 之间串联连接 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120。具体地，电路 242 将端子 145 连接到 DSBAR 206 的电极 124、将 DSBAR 206 的电极 122 连接到 DSBAR 207 的电极 122、将 DSBAR 207 的电极 124 连接到 DSBAR 208 的电极 124 以及将 DSBAR 208 的电极 122 连接到端子 146。

DSBAR 206、207 和 208 的电极 112、114、122 和 124 的面积名义上相等，压电元件 116 和 126 的厚度和介电常数名义上相等。因此，DSBAR 206、207 和 208 的 FBAR 110 和 120 的电容全部名义上相等，因而阻抗也相等。电路 241 以反向并联的形式连接 DSBAR 206、207 和 208 的下部 FBAR 110。因此，在端子 143 和 144 之间测量的 FACT 200 的阻抗是下部 FBAR 110 的寄生阻抗，即每个下部 FBAR 110 的阻抗的三分之一。另外，电路 242 串联连接 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120。因此，在端子 145 和 146 之间测量的 FACT 200 的阻抗是 DSBAR 206、207 和 208 的 FBAR 120 的串联阻抗，即每个 FBAR 120 的阻抗的三倍。因为 FBAR 110 和 120 的阻抗全部相等，所以 FACT 200 具有 $(1/3)/3 = 1:9$ 的阻抗变换比，如上所述。

图 3B 示出根据本发明同样具有 1:9 的阻抗变换比的三 DSBAR 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的另一个实施例 202。在本实施例中，电路 241 将并联的 DSBAR 206、207 和 208 的下部 FBAR 110 连接到端子 143 和 144。另外，电路 242 在端子 145 和 146 之间反向串联连接 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120。

电路 241 的实施例可以在不同于图 3A 和 3B 所示的电路布置中互连 DSBAR 206、207 和 208 的下部 FBAR 110，从而在端子 143 和 144 之间提供不同的阻抗。另外，电路 242 的实施例可以在不同于图 3A 和 3B 所示的电路布置中互连 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120，从而在端子 145 和 146 之间提供不同的阻抗。不同的阻抗可用于提供其阻抗变换比不同于所述情况的 FACT 300 的实施例。

图 3C-3F 示意说明各个电路布置，其中电路 241 的各个实施例可以互连 DSBAR 206-208 的下部 FBAR 110，电路 242 的各个实施例可以互连 DSBAR 206-208 的上部 FBAR 120。在图 3C-3F 的每幅图中，FBAR 311、313 和 315 分别是 DSBAR 206、207 和 208 的下部 FBAR 110，当

该图表示电路 241 的实施例时，端子 T1 和 T2 是端子 143 和 144；和 FBAR 311、313 和 315 分别是 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120，当图表示电路 242 的实施例时，端子 T1 和 T2 是端子 145 和 146。在图 3C-3F 的文字说明中，FBAR 是串联或并联或同时串联和并联。但是，在用于与 FBAR 的互连有关的本公开中时，术语串联被认为是包括反向串联，术语并联被认为是包括反向并联。

图 3C 示出在端子 T1 和 T2 之间并联连接 FBAR 311、313 和 315 的电路 241 或电路 242 的第一实施例。在本实施例中，端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $Z/3$ ，其中 Z 是各个 FBAR 311、313 和 315 的阻抗。假设 FBAR 311、313 和 315 的阻抗相等。图 3C 说明电路 241 互连图 3B 中的 DSBAR 206-208 的下部 FBAR 110 的电路布置。

图 3D 示出在端子 T1 和 T2 之间串联连接 FBAR 311 和 313 并且还将 FBAR 315 与 FBAR 311 和 313 的串联组合并联连接的电路 241 或电路 242 的第二实施例。在本实施例中，端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $(2Z^2/3Z) = 2Z/3$ 。

图 3E 示出在端子 T1 和 T2 之间并联连接 FBAR 311 和 315 并且还将 FBAR 311 与 FBAR 311 和 315 的并联组合串联连接的电路 241 或电路 242 的第三实施例。在本实施例中，端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $(Z + Z/2) = 3Z/2$ 。

图 3F 示出在端子 T1 和 T2 之间串联连接 FBAR 311、313 和 315 的电路 241 或电路 242 的第四实施例。在本实施例中，端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $3Z$ 。图 3F 说明电路 242 互连图 3A 中的 DSBAR 206-208 的上部 FBAR 120 的电路布置。

可以组合使用如上参考图 3C-3F 所述一对电路 241 和 242 的实施例，从而在端子 143 和 144 之间以及端子 145 和 146 之间提供具有从 1:1 到 1:9 的五种不同阻抗变换比的 FACT 200 的实施例，如表 2 所示。在计算不同阻抗变换比的数目时，彼此成倒数的比值例如 1:9 和 9:1 当作一个比值。但是，每个阻抗变换比都提供两种或更多种阻抗等级。例如，在电路 241 的两个不同阻抗等级下提供 9:4 (或 4:9) 的阻抗变换比，即 $2Z/3$ 或 $3Z/2$ 。

电路 242 imp. 电路 241 imp.	1/3 (图 3C)	2/3 (图 3D)	3/2 (图 3E)	3 (图 3F)
1/3 (图 3C)	1:1	2:1	9:2	9:1
2/3 (图 3D)	1:2	1:1	9:4	9:2
3/2 (图 3E)	2:9	4:9	1:1	2:1
3 (图 3F)	1:9	2:9	1:2	1:1

表 2

在表 2 中，行标题示出电路 241 在端子 143 和 144 之间作为 Z 的倍数的阻抗，各个 FBAR 311、313 和 315 的阻抗，列标题示出电路 242 在端子 145 和 146 之间作为 Z 的倍数的阻抗，表格的列表值示出各个行标题表示的电路 241 的阻抗和结构与各个列标题表示的电路 242 的阻抗和结构之间的阻抗变换比。行标题和列标题另外还示出产生所示阻抗的相应电路的图号。行和列标题所示的阻抗以及表格主体所示阻抗变换比通过简分数表示，因为简分数比小数更精确地表征这些值。

在进行表 2 列出的组合时，在并联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该反向串联，在反向并联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该串联，在串联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该反向并联，在反向串联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该并联。例如，在图 3A 中，在反向并联的下部 FBAR 110 上面的 DSBAR 206-208 的上部 FBAR 120 串联连接，而在图 3B 中，在并联的下部 FBAR 110 上面的 DSBAR 206-208 的上部 FBAR 120 反向并联连接。为在 FACT 200 的实用实施例中满足这些条件，如上所述并联的 FBAR 可以用反向并联来代替，如上所述串联的 FBAR 可以用反向串联来代替。不满足刚才所述条件使上部 FBAR 产生的信号被抵销。这些主题在序列号为 No. 10/699,481 的上述美国专利申请中有更详细的描述。

图 4A 是根据本发明四 DSBAR 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的第二实施例 300 的示意图。这些实施例由四个 DSBAR 组成并具有 1:16 的阻抗变换比。相应于如上图参考 3A 所述 FACT 200 的元件 FACT 300 的元件用相同的附图标记表示，并且这里不再描述。

FACT 300 另外具有悬置在衬底 102 上的第四层叠体声谐振器 (DSBAR) 209。DSBAR 209 的结构类似于如上参考图 2A 和 2B 所述的 DSBAR 106。在以下的文字说明中, 相应于 DSBAR 206 的元件的 DSBAR 209 的元件将用相同的附图标记表示。DSBAR209 由下部薄膜体声谐振器 (FBAR) 110、层叠在下部 DSBAR 上的上部 FBAR 120 和在该 FBAR 之间的声去耦器 130 组成。每个 FBAR 具有对置的平面电极和在该电极之间的压电元件。

FACT 202 的电路 241 以反向并联的方式连接 FBAR 206、207 和 208 的下部 FBAR 110, 并将该下部 FBAR 110 连接到端子 143 和 144, 如上所述, 另外还将 DSBAR 209 的下部 FBAR 110 与 DSBAR 208 的下部 DSBAR 110 反向并联连接。FACT 202 的电路 242 以串联的形式连接 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120, 并将该上部 FBAR 120 连接到端子 145, 并且另外还将 DSBAR 209 的上部 FBAR 120 与 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 串联, 并将该上部 FBAR 120 连接到端子 146。

通过刚才所述的电连接, 在端子 143 和 144 之间测量的 FACT 300 的阻抗是 DSBAR 206-209 的下部 FBAR 110 的寄生阻抗, 即每个下部 FBAR 110 的阻抗的四分之一。另外, 在端子 145 和 146 之间测量的 FACT 300 的阻抗是 DSBAR 206-209 的上部 FBAR 120 的串联阻抗, 即每个 FBAR 120 的阻抗的四倍。因为 FBAR 110 和 120 的阻抗全部相等, 所以 FACT 300 具有 1:16 的阻抗变换比, 如上所述。

图 4B 示出根据本发明四 DSBAR 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的实施例 302 的另一个实施例。FACT 302 也具有 1:16 的阻抗变换比。在本实施例中, 电路 241 并联连接 DSBAR 206、207、208 和 209 的下部 FBAR 110, 并将该下部 FBAR 110 连接到端子 143 和 144。另外, 电路 242 反向串联连接 DSBAR 206、207、208 和 209 的上部 FBAR 120。

图 4C-4I 示意地说明各个电路布置, 其中电路 241 的各个实施例可以互连 DSBAR 206-209 的下部 FBAR 110, 电路 242 的各个实施例可以互连 DSBAR 206-209 的上部 FBAR 120。在图 4C-4I 的每幅图中, FBAR 311、315 和 317 分别是 DSBAR 206、207 和 208 的下部 FBAR 110, 当该图表示电路 241 的实施例时, 端子 T1 和 T2 是端子 143 和 144; FBAR 311、313、315 和 317 分别是 DSBAR 206、207 和 208 的上部 FBAR 120, 当该图表示电路 242 的实施例时, 端子 T1 和 T2 是端子 145 和

146. 在图 4C-4I 的文字说明中, FBAR 是串联或并联或同时串联和并联。但是, 在用于与 FBAR 的互连有关的本公开中时, 术语串联被认为是包括反向串联, 术语并联被认为是包括反向并联。

图 4C 示出在端子 T1 和 T2 之间并联连接 FBAR311、313、315 和 317 的电路 241 或电路 242 的第一实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $Z/4$, 其中 Z 是各个 FBAR 311、313、315 和 317 的阻抗。假设 FBAR 311、313 和 315 的阻抗相等。图 4C 说明电路 241 互连图 4B 中的 DSBAR 206-209 的下部 FBAR 110 的结构。

图 4D 示出在端子 T1 和 T2 之间串联连接 FBAR 311 和 313 并且还将 FBAR 315 和 317 与 FBAR 311 和 313 的串联组合并联连接的电路 241 或电路 242 的第二实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $1 / ((1/Z) + (1/Z) + (1/2Z)) = 2Z/5$ 。

图 4E 示出在端子 T1 和 T2 之间串联连接 FBAR 311、313 和 315 并且还将 FBAR 317 与 FBAR 311、313 和 315 的串联组合并联连接的电路 241 或电路 242 的第三实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $(3Z^2/4Z) = 3Z/4$ 。

图 4F 示出在端子 T1 和 T2 之间串联连接 FBAR 311 和 313、另外还串联 FBAR 315 和 317、并且将 FBAR 311 和 313 的串联组合与 FBAR315 和 317 的串联组合并联连接的电路 241 或电路 242 的第四实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $(4Z^2/4Z) = Z$ 。

图 4G 示出在端子 T1 和 T2 之间并联连接 FBAR313、315 和 317 并且还将 FBAR 311 与 FBAR313、315 和 317 的并联组合串联连接的电路 241 或电路 242 的第五实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $Z+Z/3=4Z/3$ 。

图 4H 示出在端子 T1 和 T2 之间并联连接 FBAR 315 和 317 并且还将 FBAR 311 和 313 与 FBAR 315 和 317 的并联组合串联连接的电路 241 或电路 242 的第六实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $2Z+Z/2=5Z/2$ 。

图 4I 示出在端子 T1 和 T2 之间串联连接 FBAR311、313、315 和 317 的电路 241 或电路 242 的第七实施例。在本实施例中, 端子 T1 和 T2 之间的阻抗是 $4Z$ 。图 4I 说明电路 242 互连图 4A 中的 DSBAR 206-208 的上部 FBAR 120 的结构。

可以组合使用如上参考图 4C-4I 所述一对电路 241 和 242 的实施例，从而在端子 143 和 144 以及端子 145 和 146 之间提供具有从 1:1 到 1:16 的 13 种不同阻抗变换比的 FACT 300 的实施例。在计算不同阻抗变换比的数目时，彼此成倒数的比值例如 1:16 和 16:1 当作一个比值。但是，每个阻抗变换比都提供一个以上的阻抗等级。例如，在电路 241 的四个不同阻抗等级下提供 10:3 (或 3:10) 的阻抗变换比，即 $2Z/5$ 、 $3Z/4$ 、 $4Z/3$ 或 $5Z/2$ 。

Cct. 242 Imp Cct. 241 imp.	1/4 (图 4C)	2/5 (图 4D)	3/4 (图 4E)	1 (图 4F)	4/3 (图 4G)	5/2 (图 4H)	4 (图 4I)
1/4 (图 4C)	1:1	8:5	3:1	4:1	16:3	10:1	16:1
2/5 (图 4D)	5:8	1:1	15:8	5:2	10:3	25:4	10:1
3/4 (图 4E)	1:3	8:15	1:1	4:3	16:9	10:3	16:3
1 (图 4F)	1:4	2:5	3:4	1:1	4:3	5:2	4:1
4/3 (图 4G)	3:16	3:10	9:16	3:4	1:1	15:8	3:1
5/2 (图 4H)	1:10	4:25	3:10	2:5	8:15	1:1	8:5
4 (图 4I)	1:16	1:10	3:16	1:4	1:3	5:8	1:1

表 3

在表 3 中，行标题示出电路 241 在端子 143 和 144 之间作为 Z 的倍数的阻抗，各个 FBAR 311、313、315 和 317 的阻抗，列标题示出电路 142 在端子 145 和 146 之间作为 Z 的倍数的阻抗，表格的列表值示出各个行标题表示的电路 241 的阻抗和结构与各个列标题表示的电路 242 的阻抗和结构之间的阻抗变换比。行标题和列标题另外还示出相应的图号。行和列标题所示的阻抗以及表格主体所示阻抗变换比通过简分数表示，因为简分数比小数更精确地表征这些值。

在制造表 3 列出的组合时，如上所述，在并联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该反向串联，在反向并联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该串联，在串联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该反向并联，在反向

串联的下部 FBAR 上面的上部 FBAR 应该并联。

表 2 和 3 示出分别用图 3C-3F 和图 4C-4I 所示的电路 241 和 242 的实施例组合可以获得的各種阻抗变换比。在具有给定的变换系数的 FACT 实施例中，例如通过构造 FBAR 的电极面积以及压电元件厚度和介电常数使得 FBAR 的串联、并联或混联组合具有所需的阻抗，从而在端子 143 和 144 之间获得所需的阻抗。例如，在图 4C 所示的结构中，通过构造 DSBAR 206-209 的各个 FBAR 使其具有 200 ohm 的阻抗，从而在端子 143 和 144 之间获得 50 ohm 的阻抗。

可以用如下参考图 6A-6P 所述方法用不同的掩模来制造 FACT 200、202、300 和 302 的实施例。在这种方法中，不同的掩模在第一到第四金属层的每一层中限定三或四个等面积的电极。公共的压电材料层一般用于提供所有 DSBAR 206-208 或 DSBAR 206-209 的压电元件 116 和压电元件 126。可选择地，该 DSBAR 可以具有各自的压电元件。同样，公共的声去耦层用于提供所有 DSBAR 206-208 或 DSBAR 206-209 的声去耦器 130。此外，该 DSBAR 可以具有各自的声去耦器。

显然多于四个 DSBAR 可以以逐步提高的串并联组合数目的方式互连，从而提供在 1:1 到 $1:m^2$ 范围内的某个不连续阻抗变换比的 FACT 实施例，其中 m 是 DSBAR 的数目。DSBAR 的 FBAR 以类似于上面例证的三和四 DSBAR 实施例的方式串并联组合地互连。

如上所述的 FACT 实施例具有其电容全部相同的组元 FBAR，因此阻抗也相等。该 FBAR 一般地具有相等的电容，由于它们的电极面积和它们的压电元件厚度相同。但是，这对于本发明的这方面不是决定性的。然而，只要通过一个或多个其它决定电容的参数的相应差值来抵消一个或多个决定电容的参数的差值，其中它们的压电元件厚度和介电常数之一或者两者都不同和/或其中它们的电极面积不同的 FBAR 也可以电容相等。但是，每个 DSBAR 的 FBAR 的电极应该面积相等从而使 DSBAR 中的能量耦合最大化。

某些应用需要其阻抗变换比不同于上面例证的实施例提供的不连续阻抗变换比的 FACT 的实施例。此外，某些这种应用另外还需要，并且其它应用需要结构比上述三或更多 DSBAR 组成的实施例更简单的 FACT 实施例。

本发明的第二方面提供这种薄膜声耦合变压器 (FACT)。发明人发

现通过使 DSBAR 之间的 FBAR 的电容不同, 因而阻抗也不同, 可以制造具有在 1:4 到大约 10:1 的范围内的任何阻抗变换比的二 DSBAR 的 FACT 的实施例。杂散电容 (Stray capacitance) 是决定该范围上端的主要因素。一般通过使 DSBAR 之间的 FBAR 电极面积不同来制造 DSBAR 之间的电容不同的 FBAR。可选择地, 但是更不方便地, 可以通过使 DSBAR 的压电元件的厚度和介电常数之一或两者都不同, 来制造 DSBAR 之间的电容不同的 FBAR。通常, 通过使 DSBAR 之间的 FBAR 的电容不同, 因而阻抗也不同, 可以制造具有在 1:m 到大约 10:1 的范围内的任何阻抗变换比的 m DSBAR 的 FACT 的实施例。

图 5A-5C 分别是其中 DSBAR 之间的 FBAR 电容不同以确定 FACT 阻抗变换比的二 DSBAR 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的实施例 400 的平面图和两个横截面图。图 5D 是 FACT 400 的电气示意图。

FACT 400 由悬置在衬底 102 中的空腔 104 上的层叠体声谐振器 (DSBAR) 106 和 408 组成。每个 DSBAR 由下部薄膜体声谐振器 (FBAR)、层叠在下部 FBAR 上的上部 FBAR 和在该 FBAR 之间的声去耦器组成。FACT 模块 400 另外由将 DSBAR 106 的下部 FBAR 110 互连到 DSBAR 408 的下部 FBAR 450 的电路 141 以及将 DSBAR 106 的上部 FBAR 120 互连到 DSBAR 408 的上部 FBAR 460 的电路 142 组成。

在 DSBAR 106 中, 下部 FBAR 110 由对置的平面电极 112 和 114 与在该电极之间的压电元件 116 组成, 上部 FBAR 120 由对置的平面电极 122 和 124 与在该电极之间的压电元件 126 组成。在 DSBAR 408 中, 下部 FBAR 450 由对置的平面电极 452 和 454 以及在该电极之间的压电元件 456 组成, 上部 FBAR 460 由对置的平面电极 462 和 464 以及在该电极之间的压电元件 466 组成。

在 FACT 400 中, DSBAR 408 的电极 452、454、462 和 464 与 DSBAR 106 的电极 112、114、122 和 124 的面积不同。因此, DSBAR 408 的 FBAR 450 和 460 与 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的电容不同, 因而阻抗也不同。FACT 400 具有 $(r+1)^2/r$ 的阻抗变换比, 其中 r 是 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的阻抗与 DSBAR 408 的 FBAR 450 和 460 的阻抗之比。在所示的例子中, 比 r 也是电极 112、114、122 和 124 的面积与电极 452、454、462 和 464 的面积之比。在所示的例子中, 2:1 的阻抗比以及因而面积比得到 4.5 的阻抗变换比。如前所述, 在端子

143 和 144 之间的 FACT 400 的阻抗取决于下部 FBAR 110 和 450 的寄生电容，在端子 145 和 146 之间的 FACT 400 的阻抗取决于上部 DSBAR 120 和 460 的串联电容。

在 FACT 400 中，在 DSBAR 106 中，声去耦器 130 位于下部 FBAR 110 和上部 FBAR 120 之间；具体地，在下部 FBAR 110 的电极 114 和上部 FBAR 120 的电极 122 之间。另外，在 DSBAR 408 中，声去耦器 470 位于 FBAR 450 和 460 之间；具体地，在下部 FBAR 450 的电极 454 和上部 FBAR 460 的电极 462 之间。由声去耦器 130 和 470 限定的声能耦合决定 FACT 模块 400 通带的频宽。

在图 5A-5C 所示的例子中，声去耦器 130 和 470 各自是声去耦层 131 的一部分。声去耦器 130 和 470 都类似于如上参考图 2A-2C 所述声去耦器 130，这里不再描述。在图 5A-5C 所示的例子中提供声去耦器 130 和 470 的声去耦层 131 的典型声去耦材料和另一个声去耦材料也是如上所述，并且不再描述。声去耦器 470 也可以安装有如上所述的另一个声去耦器结构。

安装有其中整数 p 的额定值是零 ($t = \lambda_n/4$) 的声去耦层 131 实施例的 FACT 400 的实施例的频率响应远比其声去耦层的额定厚度大于 $\lambda_n/4$ ($p > 0$) 的实施例更接近理想频率响应。其声去耦层额定厚度是 $\lambda_n/4$ 的 FACT 实施例的频率响应没有其声去耦层额定厚度大于 $\lambda_n/4$ 的实施例呈现的假响应的假象。如上所述，现在已经依靠由电极 114 和 122 与声去耦器 130 组成的寄生电容获得平稳的频率响应，该寄生电容具有大得多的电容，并且具有平稳频率响应的实施例因而典型地具有由该电容引起的低共模抑制比。在高共模抑制比重要的实施例中，电感器或与隔流电容器串联的电感器可以和寄生电容并联，从而抵销大部分由薄的声去耦层引起的高寄生电容的影响。通过利用电感器或与隔流电容器串联的电感器抵销寄生电容的影响已经公开在 John D. Larson III 等名称为 Film Acoustically - Coupled Transformer With Increased Common Mode Rejection (代理人记录号 No. 10031284-1) 序列号为 No. XX/XXX, XXX 的上述美国专利申请中。因此，FACT 400 的实施例通过 $\lambda_n/4$ 厚的声去耦层可以兼备高 CMRR 和平稳的频率响应。

DSBAR 106 和 DSBAR 408 彼此相邻，悬置在衬底 102 中限定的空腔 104 上。DSBAR 悬置在空腔上使得各个 DSBAR 中层叠的 FBAR 机械地

谐振。使得层叠的 FBAR 可以机械地谐振的其它悬置方案也可以。例如，如 Lakin 在美国专利 No. 6,107,721 中公开的那样，DSBAR 可以位于在衬底 102 中或衬底 102 上形成的失谐声布拉格反射器(未显示)上。

图 5D 示意地说明 FACT 400 的电互联。另外参见图 5A，位于衬底 102 主表面的结合片 138 提供 FACT 400 的电路 141 的信号终端 143。位于衬底 102 主表面的结合片 132 和位于提供压电元件 116 和 156 的压电层 117 主表面的结合片 172 共同构成电路 141 的接地端子 144。位于衬底主表面的互连片 176、从电极 452 延伸到互连片 176 的导电迹线 177、与互连片 176 电接触的互连片 136、从电极 114 延伸到互连片 136 的导电迹线 137 以及从互连片 176 延伸到结合片 138 的导电迹线 139 构成将 FBAR 110 的电极 114 电连接到 FBAR 450 的电极 452 和信号终端 143 的电路 141 的一部分。从电极 112 延伸到结合片 132 的导电迹线 133、从结合片 132 延伸到结合片 172 的导电迹线 167 以及从电极 454 延伸到结合片 172 的导电迹线 173 构成将 FBAR 110 的电极 112 与 FBAR 450 的电极 454 电连接的电路 141 的一部分。

位于提供压电元件 126 和 466 的压电层 127 主表面的结合片 134 和结合片 174 构成电路 142 的信号终端 145 和 146。位于声去耦层 131 主表面的结合片 178 构成电路 142 的中心抽头端子 147。位于压电层 127 主表面的结合片 163 和 168 提供额外的接地。

在声去耦层 131 表面上的电极 122 与电极 462 之间延伸的导电迹线 171 和在导电迹线 171 与结合片 178 之间延伸的导电迹线 179 构成电路 142 串联 FBAR 120 和 FBAR 460 并将 FBAR 120 和 FBAR 460 连接到中心抽头端子 147 的部分。在电极 124 与结合片 134 之间延伸的导电迹线 135 和在电极 454 与结合片 174 之间延伸的导电迹线 175 构成电路 142 将 FBAR 120 和 FBAR 460 连接到信号终端 145 和 146 的部分。导电迹线 169 在结合片 163 和提供电路 142 的接地端子的结合片 168 之间延伸。在本实施例中，导电迹线 169 另外延伸到结合片 178，将中间抽头端子 147 连接到电路 142 的接地端。

图 5E 是二 DSBAR 薄膜声耦合变压器 (FACT) 的实施例 500 的横截面图，其中 DSBAR 之间的 FBAR 在它们的压电元件厚度方面不同，因而它们的电容也不同，从而确定 FACT 的阻抗变换比。FACT 500 具有类似于如上参考图 5D 所述的电路。

FACT 500 由悬置在衬底 102 中的空腔 104 上的层叠体声谐振器 (DSBAR) 106 和 508 组成。每个 DSBAR 由下部薄膜体声谐振器 (FBAR)、层叠在下部 FBAR 上的上部 FBAR 和在该 FBAR 之间的声去耦器组成。FACT 500 另外由将 DSBAR 106 的下部 FBAR 110 与 DSBAR 408 的下部 FBAR 550 互连的电路 141 以及将 DSBAR 106 的上部 FBAR 120 互连到 DSBAR 508 的上部 FBAR 560 的电路 142 组成。

DSBAR 106 的结构是如上参考图 5A-5C 所述的结构。在 DSBAR 508 中，下部 FBAR 550 由对置的平面电极 552 和 454 以及在该电极之间的压电元件 556 组成，上部 FBAR 560 由对置的平面电极 562 和 564 以及在该电极之间的压电元件 566 组成。

在 FACT 500 中，DSBAR 508 的电极 152、154、162 和 164 彼此面积相等，并且等于 DSBAR 106 的电极 112、114、122、124 的面积，但是 DSBAR 508 的压电元件 556 和 566 的厚度与 DSBAR 106 的压电元件 116 和 126 不同。因此，DSBAR 508 的 FBAR 550 和 560 与 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的电容不同，因而阻抗也不同。FACT 500 具有 $(r+1)^2/r$ 的阻抗变换比，其中 r 是 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的阻抗与 DSBAR 508 的 FBAR 550 和 560 的阻抗之比。在所示的例子中，比值 r 也是压电元件 116 和 126 的厚度与压电元件 556 和 566 的厚度的比值。在所示的例子中，厚度比并且导致的阻抗比是大约 2:1，因而得到 4.5 的阻抗变换比。如前所述，在端子 143 和 144 之间 (图 5D) 的 FACT 500 的阻抗取决于下部 FBAR 110 和 550 的寄生电容，在端子 145 和 146 之间 (图 5D) 的 FACT 500 的阻抗取决于上部 DSBAR 120 和 560 的串联电容。

在 FACT 500 中，参考图 5A-5C 所述 DSBAR 106 的声去耦器 130 和声去耦层 570 类似于如上参考图 5A - 5C 所述的声去耦器 470，因此这里不再描述。在图 5E 所示的例子中，声去耦器 130 和 570 分别以类似于如上参考图 5A-5C 所述的方式是声去耦层 531 的一部分。可选择地，声去耦器 130 和 570 可以彼此无关。

在所示的例子中，压电元件 116 和 556 分别是 FBAR 110 和 550 之间厚度不同的压电材料层 517 的一部分。同样，压电元件 126 和 566 分别是 FBAR 120 和 560 之间厚度不同的压电材料层 527 的一部分。可选择地，压电元件 116、126、556 和 566 可以彼此无关。

DSBAR 106 和 DSBAR 508 以类似于如上参考图 5A-5C 所述的方式彼此相邻地悬置在衬底 102 中限定的空腔 104 上方。

在如上参考图 3A-3F 所述的 FACT 200 实施例和如上参考图 4A-4I 所述的 FACT 300 实施例中,可以以类似于如上参考图 5A-5C 所述 DSBAR 106 和 408 的 FBAR 具有不同阻抗的方式,或以如上参考图 5E 所述 DSBAR 106 和 508 的 FBAR 具有不同阻抗的方式, DSBAR 206-208 中的至少两个和 DSBAR 206-209 中的至少两个可以 FBAR 阻抗不同。在两个或更多个 DSBAR 当中的 FBAR 阻抗的这种差值可用于提供具有所需的阻抗变换比,该要求的阻抗变换比不同于所有 FBAR 阻抗相等产生的阻抗变换比。

下面将参考图 6A-6H 的平面图和图 6I-6P 的横截面图描述可用于制造如上参考图 5A-5C 所述薄膜声耦合变压器 (FACT) 400 的方法。下面将说明其制造的 FACT 400 实施例的通带的额定中心频率是大约 1.9 GHz。用于在其它频率下工作的实施例的结构和制造相仿,但是厚度和截面尺寸不同于下面举例说明的那些。此外,用不同的掩模,该方法也可以用于制造如上面参考图 3A-3F 所述三 DSBAR FACT 200 的实施例和如上参考图 4A-4I 所述四 DSBAR FACT 300 的实施例。通过晶片规模制造一次制造成千上万个类似于 FACT 400 的 FACT。这种晶片规模制造使得制造 FACT 的成本低。

提供单晶硅的晶片。对于制造的各个 FACT,一部分晶片构成相应于 FACT 400 衬底 102 的衬底。图 6A-6H 和图 6I-6P 示出,并且以下的文字说明部分也说明一部分晶片中和上面的 FACT 400 的制造。在制造 FACT 400 时,同样地制造晶片上的其它 FACT。

有选择地湿法蚀刻构成 FACT 400 的衬底 102 的部份晶片以形成空腔。充填材料层(未显示)淀积在晶片表面上,其厚度足以填充该空腔。然后平面化晶片表面,让该空腔装满充填材料。图 6A 和 6I 示出衬底 102 中填满充填材料 105 的空腔 104。

在实施例中,充填材料是磷硅酸盐玻璃 (PSG),并且使用传统的低压化学气相淀积 (LPCVD) 来淀积。充填材料可选择地通过溅射或者通过旋涂而淀积。

第一金属层淀积在衬底 102 和充填材料 105 的表面上。如图 6B 和 6J 所示构图第一金属层以限定电极 112、电极 452、结合片 132、结合

片 138 和互连片 176。该构图还在第一金属层中限定在电极 112 和结合片 132 之间延伸的导电迹线 133、在电极 452 和互连片 177 之间延伸的导电迹线 177 以及在互连片 176 和结合片 138 之间延伸的导电迹线 139。

电极 112 和电极 452 典型地在平行于晶片主表面的平面中具有非对称形状。非对称形状使该电极形成其一部分的 FBAR 110 和 FBAR 450 (图 2A) 中的横模最小。这在 Larson III 等的美国专利 No. 6, 215, 3751 中已经说明了。电极 112 和电极 452 让部分填充材料 105 的表面暴露, 因此填充材料后来可以如下所述通过蚀刻除去。

另外参考图 5D, 如下所述, 电极 114 和 454 限定在第二金属层中, 电极 122 和 462 限定在第三金属层中, 电极 124 和 464 限定在第四金属层中。构图其中限定了电极的第一到第四金属层, 使得在平行于晶片主表面的各个平面中, FBAR 110 的电极 112 和 114 具有相同形状、尺寸、方向和位置, FBAR 120 的电极 122 和 124 具有相同形状、尺寸、方向和位置, FBAR 450 的电极 452 和 454 具有相同形状、尺寸、方向和位置并且 FBAR 460 的电极 462 和 464 具有相同形状、尺寸、方向和位置。典型地, 构图该金属层, 使得电极 114 和 122 另外具有相同形状、尺寸、方向和位置, 电极 454 和 462 另外具有相同形状、尺寸、方向和位置。根据本发明, 在所举例子中, 另外还构图该金属层, 使得 DSBAR 408 的 FBAR 110 和 120 的电极 452、454、462 和 464 与 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的电极 112、114、122 和 124 的面积不同。因此, 不同电极面积使得 DSBAR 408 的 FBAR 450 和 460 与 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的电容不同, 因而阻抗也不同。

在实施例中, 每个金属层的材料是通过溅射到大约 300 nm 厚而沉积的钼。在各个金属层中限定的 DSBAR 106 的电极是其面积都为大约 $12,000 \mu\text{m}^2$ 的五边形, 在各个金属层中限定的 DSBAR 408 的电极是其面积都为大约 $6,000 \mu\text{m}^2$ 的五边形。这种电极面积得到大约 2.0 的面积比和 1:4.5 的阻抗变换比。其它的电极面积得到其它的性能阻抗和阻抗变换比。

其它的高熔点金属例如钨、铌和钛可以可选择地用作金属层的材料。每个金属层都可以可选择地包括一种材料以上的层。在选择 FACT 400 的电极材料时要考虑的一个因素是电极材料的声特性: FACT 400

保留的金属部分的材料声特性不如其它的性能例如导电性重要。因此, FACT 400 保留的金属部分的材料可以不同于电极的材料。

压电材料层如图 6C 和 6K 所示淀积和构图,从而限定提供 FBAR 110 的压电元件 116 和 FBAR 450 的压电元件 456 的压电层 117。压电层 117 在衬底 102 上延伸,超出空腔 104 的范围。构图压电层 117,从而暴露充填材料 105、结合片 132 和 138 以及互连片 176 的部分表面。另外还构图压电层 117 从而限定窗 119,提供到充填材料另外部分表面的通路。

在实施例中,淀积形成如下所述压电层 117 和压电层 127 的压电材料是通过溅射到大约 $1.4\mu\text{m}$ 厚而淀积的氮化铝。压电材料通过在氢氧化钾中的湿法蚀刻或者通过氟基干刻蚀来构图。可供选择的用于压电层的材料包括氧化锌、硫化镉和极化铁电材料例如钙钛矿铁电材料,该钙钛矿铁电材料包括铅钛酸锆、偏铌酸铅和钛酸钡。

第二金属层淀积在压电层 117 上并且如图 6D 和 6L 所示构图,从而限定电极 114、电极 454、结合片 172 和与互连片 176 电接触的互连片 136。该构图另外还在第二金属层中限定在电极 114 和互连片 136 之间延伸的导电迹线 137、在电极 454 和结合片 172 之间延伸的导电迹线 173 以及在结合片 132 和 172 之间延伸的导电迹线 167。

然后淀积声去耦材料层并如图 6E 和 6M 所示构图,从而限定提供声去耦器 130 和声去耦器 470 的声去耦层 131。构图声去耦层 131,从而至少覆盖电极 114 和电极 454,并且暴露充填材料 105、结合片 132、138 和 172 以及互连片 136 和 176 的部分表面。另外还构图声去耦层 131 从而限定窗 119,提供到充填材料另外部分表面的通路。

在实施例中,声去耦材料是大约 200 nm 厚的聚酰亚胺,即在聚酰亚胺中大约 $1,900\text{ MHz}$ 的中心频率的四分之一波长。通过旋涂淀积聚酰亚胺形成声去耦层 131,并且通过光刻构图。聚酰亚胺是感光性的,因此不需要光刻胶。如上所述,可以使用其它的塑料材料作为声去耦材料。声去耦材料可以通过除旋涂之外的方法淀积。

在声去耦材料是聚酰亚胺的实施例中,在淀积和构图聚酰亚胺以后,在进行下一步的方法之前,首先在大约 250°C 的空气中烘焙该晶片,最后在大约 415°C 的惰性气氛中烘焙,该惰性气氛例如是氮气气氛。烘焙使聚酰亚胺的挥发性组分蒸发,并防止这种挥发性组分在后续加

工过程中的蒸发使随后沉积的层剥落。

第三金属层沉积在声去耦层 131 上，并如图 6F 和 6N 所示构图以限定电极 122、电极 462 和结合片 178。该构图还在第三金属层中限定在电极 122 和电极 462 之间延伸的导电迹线 171，和在导电迹线 171 和结合片 178 之间延伸的导电迹线 179。

沉积压电材料层并如图 6G 和 6O 所示构图，从而限定提供 FBAR 120 的压电元件 126 和 FBAR 460 的压电元件 466 的压电层 127。构图压电层 127，从而暴露结合片 132、138、178 和 172、互连片 136 和 176 以及部分填充材料 105 的表面。另外还构图压电层 127 从而限定窗 119，提供到填充材料另外部分表面的通路。

沉积第四金属层并如图 6H 和 6Q 所示构图，从而限定电极 124、电极 464、结合片 163、结合片 134、结合片 174 和结合片 168。构图还在第四金属层中限定从电极 124 延伸到结合片 134 的导电迹线 135、从电极 464 延伸到结合片 174 的导电迹线 175 以及从结合片 163 和结合片 168 延伸到结合片 178 的导电迹线 169。

然后各向同性地湿法蚀刻该晶片，从而从空腔 104 除去填充材料 105。如上所述，填充材料 105 的部份表面例如通过窗 119 保持暴露状态。该蚀刻加工让 FACT 400 悬置在空腔 104 上方，如图 5A 和 5B 所示。

在实施例中，用于除去填充材料 105 的蚀刻剂是稀释的氢氟酸。

金保护层沉积在结合片 172、138、132、163、134、178、174 和 168 的暴露表面上。

该晶片然后被分成单个的 FACT，包括 FACT 400。然后每个 FACT 安装在组件中，并且使 FACT 的结合片 172、132、163、134、178、174 和 168 与作为该组件一部分的片电连接。

在另一个实施例中，声去耦层 131 的声去耦材料是交联聚苯撑聚集体。在构图第二金属层限定电极 114 和 454 之后，如上参考图 6D 和 6L 所述，用于交联聚苯撑聚集体的前驱物溶液以类似于如上参考图 6E 和 6M 所述的方式旋涂，但是不构图。选择交联聚苯撑聚集体的成分和旋转速度，使得聚苯撑聚集体形成大约 187 nm 厚的层。该厚度相应于其频率等于 FACT 400 通带的中心频率的声信号在交联聚苯撑聚集体中的四分之一波长 λ_n 。然后在进行下一步加工之前，在从大约 380°C 到 450°C 温度范围内的惰性气氛中烘焙该晶片，该惰性气氛是例如在真

空下或在氮气气氛中。该烘焙首先从该前驱物溶液中分离出有机溶剂，然后使该低聚物如上所述地交联以形成交联聚苯撑聚合物。

第三金属层然后以类似于如上参考图 6F 和 6N 所述的方式淀积在交联聚苯撑聚合物层上。但是，第三金属层首先以类似图 6E 和 6M 所示的方式构图，从而限定硬掩模，该硬掩模将用于构图交联聚苯撑聚合物层，以限定声去耦层 131。最初构图的第三金属层具有和声去耦层 131 相同的范围，并且在声去耦层 131 中的窗 119 的位置具有窗。

然后如图 6E 和 6M 所示用首先构图的第三金属层作为硬蚀刻掩模构图交联聚苯撑聚合物层。该图案在交联聚苯撑聚合物层中限定声去耦层 131 和窗 119 的范围，该窗 119 提供通向填充材料 105 另外部分表面的通路。用氧气等离子体蚀刻进行该构图。

第三金属层然后如图 6F 和 6N 所示再构图以限定电极 122、电极 462 和结合片 178。该再构图还在第三金属层中限定在电极 122 和电极 462 之间延伸的导电迹线 171，和在导电迹线 171 和结合片 178 之间延伸的导电迹线 179。

通过进行如上参考图 6G、6H、6O 和 6P 所述的加工来完成具有交联聚苯撑聚合物声去耦层的 FACT 400 实施例的制造。

在实施例中，用于交联聚苯撑聚合体的前驱物溶液是 Dow 化学公司命名为 SiLK™ J 的前驱物溶液。可选择地，该前驱物溶液可以是 Dow 化学公司商标为 SiLK 的前驱物溶液中任何一种合适的前驱物溶液。在某些实施例中，在旋涂前驱物溶液之前淀积增粘剂层。还可以现在或将来从其它供应商那获得包含固化后形成声阻抗大约为 2 Mrayl 的交联聚苯撑聚合体的低聚物的前驱物溶液，也可以使用该前驱物溶液。

如上参考图 5E 所述 FACT 500 的实施例可以用如上所述方法的变形来制造。电极 552、554、562 和 562 与电极 112、114、122、124 全部面积相等。在这种实施例中，压电材料淀积在电极 112 和 552 达到第一厚度，并且还在电极 552 上方和附近淀积另外的压电材料。然后如上参考图 6C 和 6K 所述构图双重厚度的压电材料层，以限定压电层 517。另外，压电材料淀积在电极 122 和 562 达到第一厚度，并且还在电极 562 上方和附近淀积另外的压电材料。然后如上参考图 6G 和 6P 所述构图双重厚度的压电材料层，以限定压电层 527。这使得压电元件 556 和 566 的厚度与压电元件 116 和 126 不同，并且 DSBAR 508

的 FBAR 550 和 560 的电容与 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 不同，因而阻抗也不同。在一种变形中，电极 552、554、562 和 562 的面积另外还与电极 112、114、122、124 不同，从而进一步增加 DSBAR 508 的 FBAR 和 DSBAR 106 的 FBAR 之间的阻抗差值。

在另一个实施例中，电极 452、454、462 和 462 与电极 112、114、122、124 全部面积相等。在这种实施例中，第一压电材料淀积在电极 112 上方，第二压电材料淀积在电极 452 上方。压电材料的介电常数不同。然后如上参考图 6C 和 6K 所述构图压电材料层的组合层，以限定压电层 117。另外，第一压电材料淀积在电极 122 的上方，并且第二压电材料淀积在电极 462 的上方。压电材料的介电常数不同。然后如上参考图 6G 和 6P 所述构图压电材料层的组合层，以限定压电层 127。这使压电元件 456 和 466 的介电常数与压电元件 116 和 126 不同。因此，DSBAR 408 的 FBAR 450 和 460 与 DSBAR 106 的 FBAR 110 和 120 的电容不同，因而阻抗也不同。

在一种变形中，电极 452、454、462 和 462 的面积另外还与电极 112、114、122、124 不同，从而进一步增加 DSBAR 408 的 FBAR 和 DSBAR 106 的 FBAR 之间的阻抗差值。在另外的或可选择的变形中，第一压电材料的厚度与第二压电材料不同，从而进一步增加 DSBAR 408 的 FBAR 和 DSBAR 106 的 FBAR 之间的阻抗差值。

本公开用说明性的实施例详细地描述本发明。但是，由附加的权利要求限定的本发明不局限于描述的明确实施例。

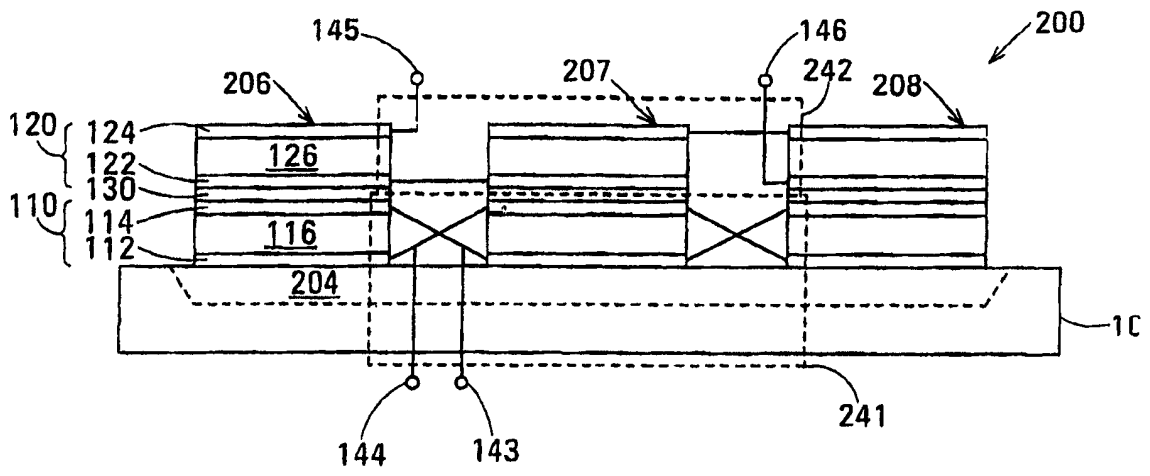


图 3A

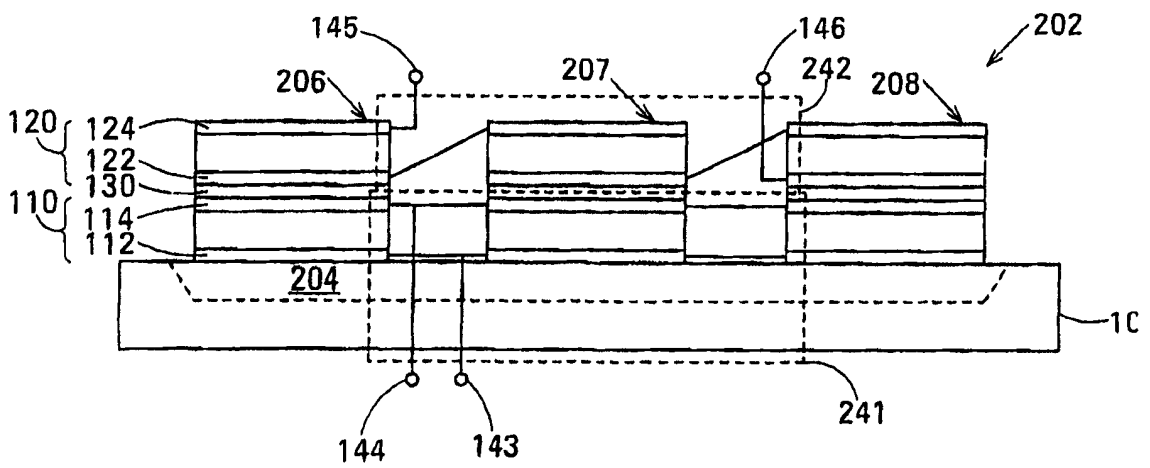


图 3B

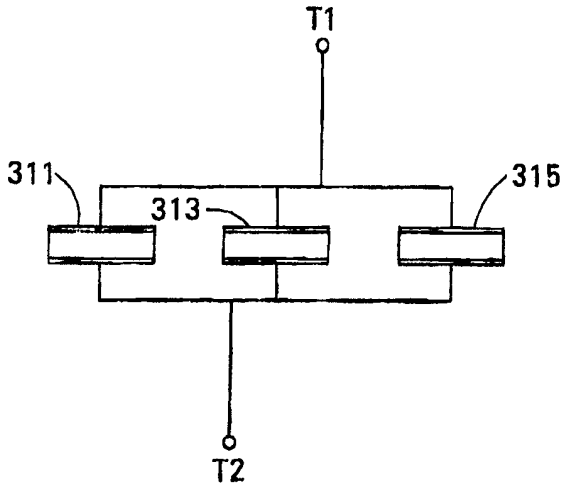


图 3C

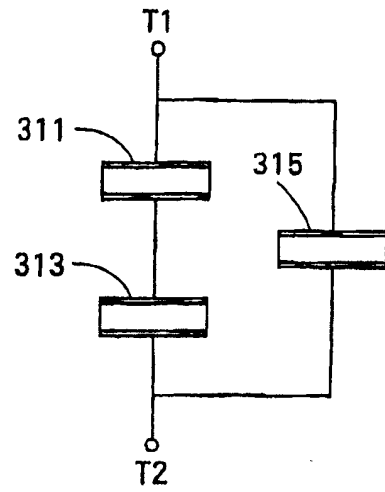


图 3D

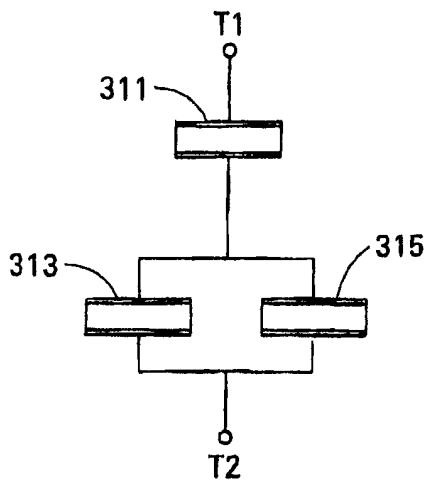


图 3E

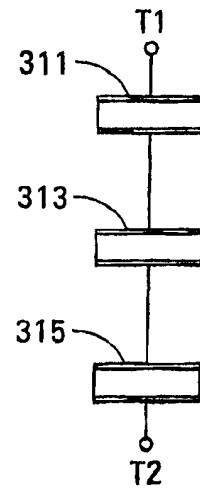


图 3F

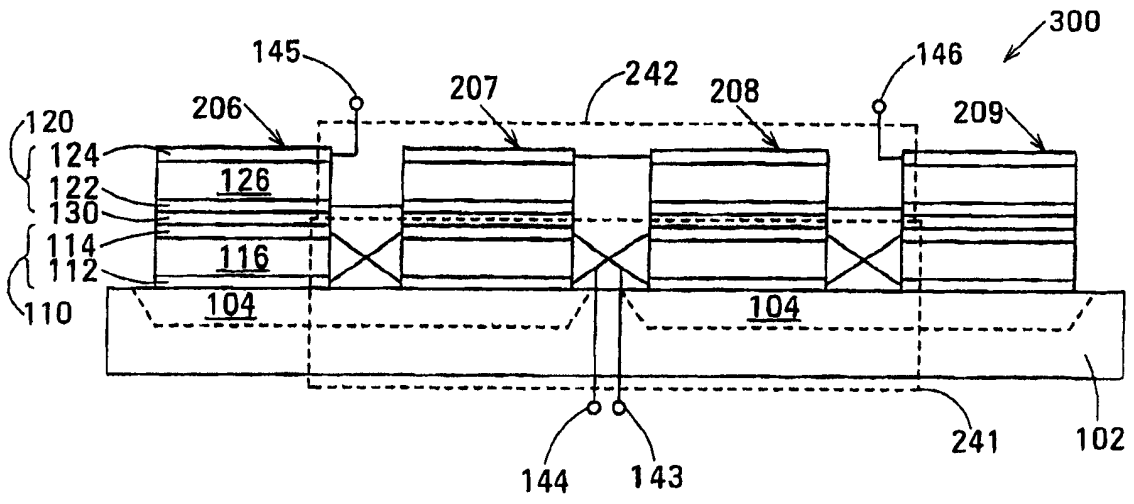


图 4A

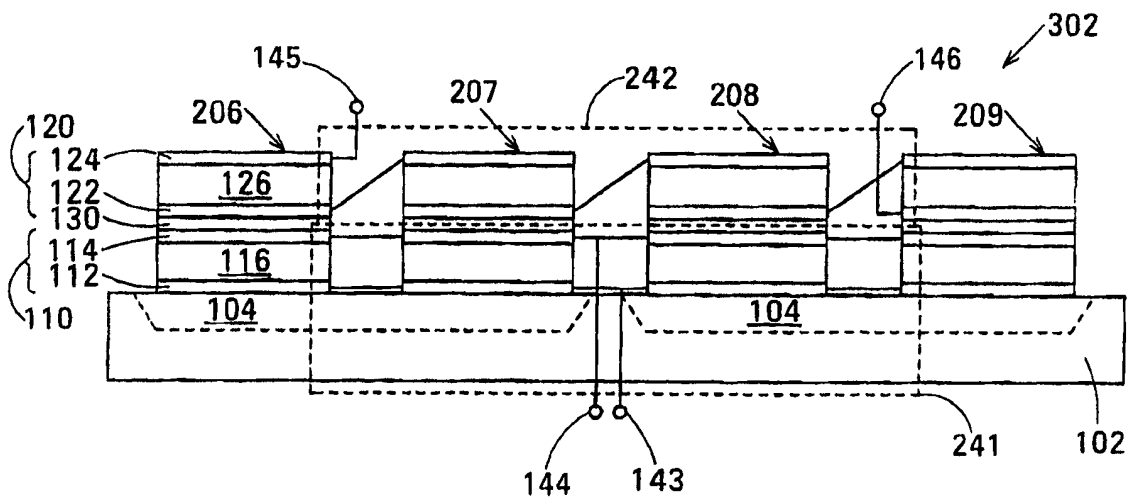


图 4B

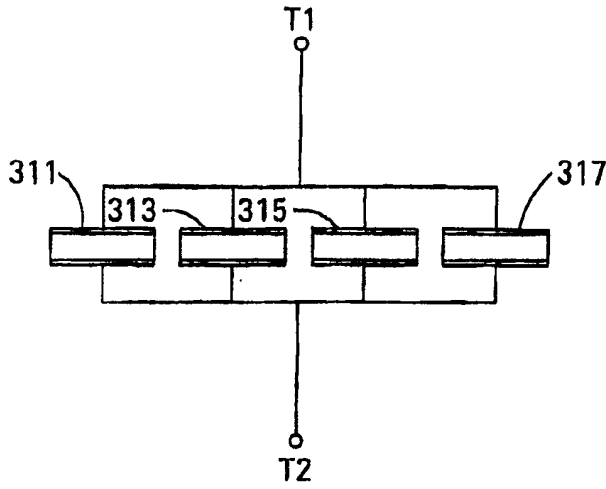


图 4C

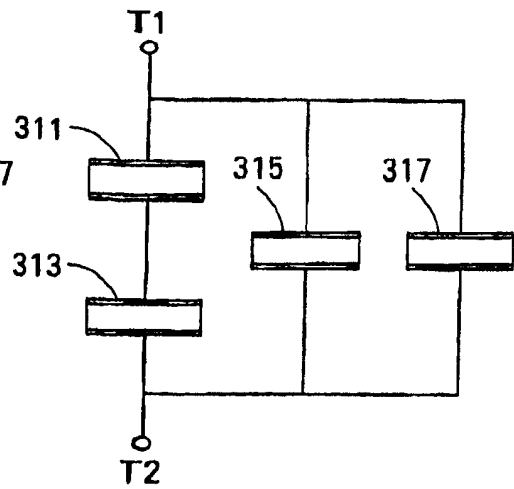


图 4D

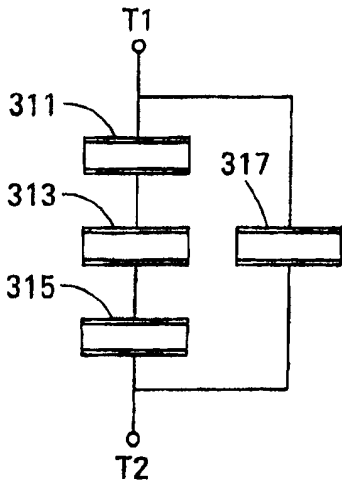


图 4E

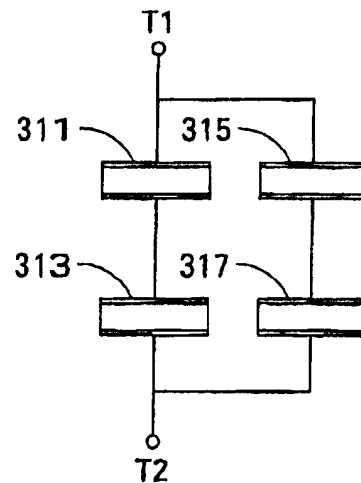


图 4F

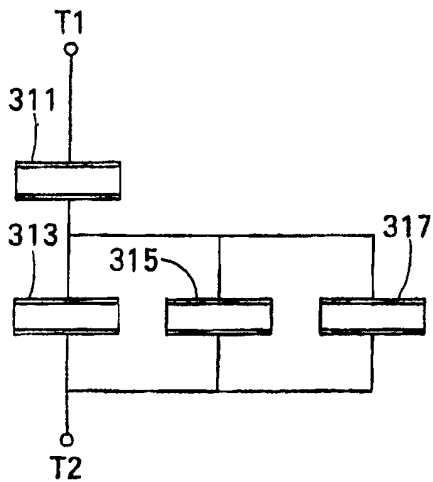


图 4G

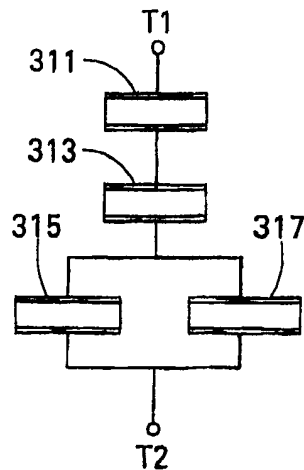


图 4H

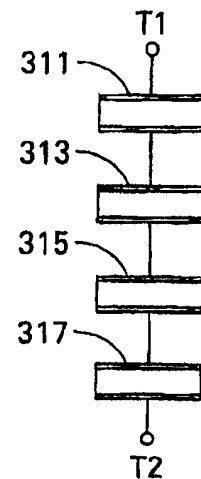


图 4I

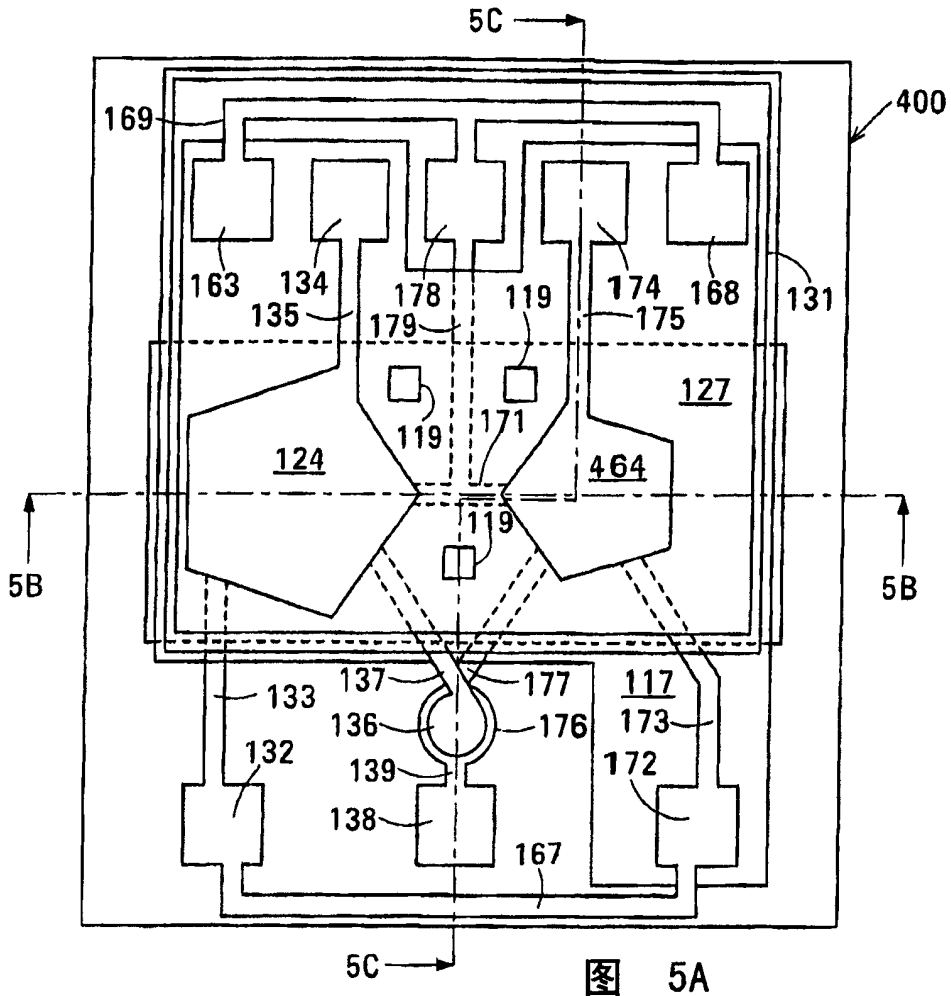


图 5A

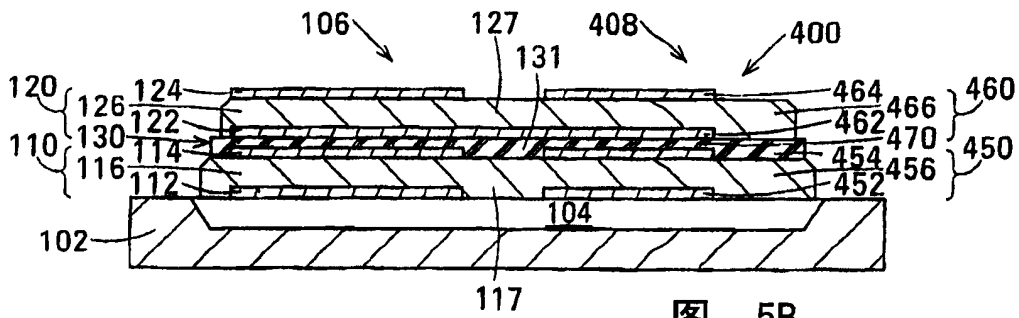


图 5B

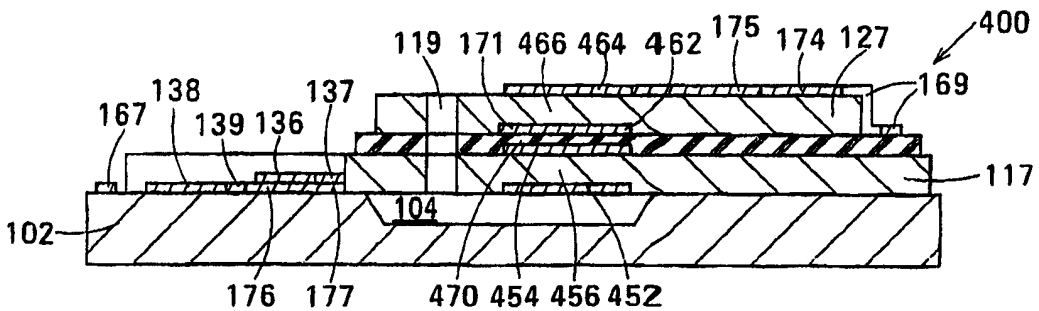


图 5C

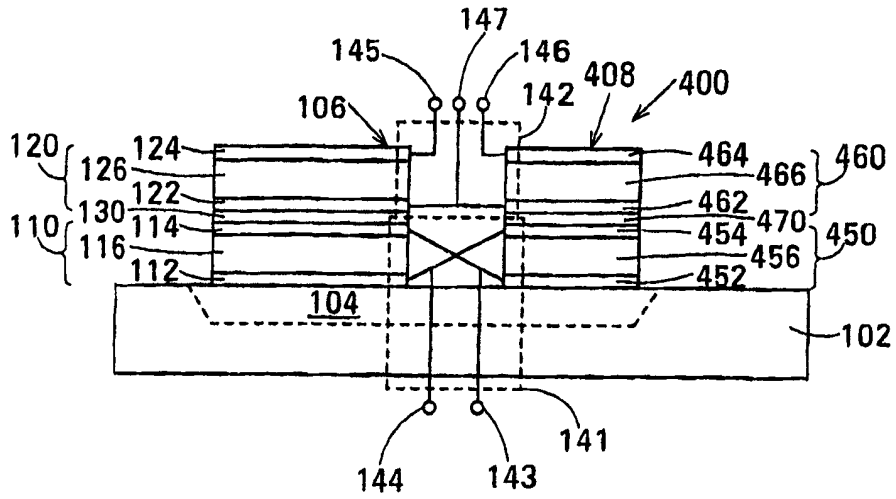


图 5D

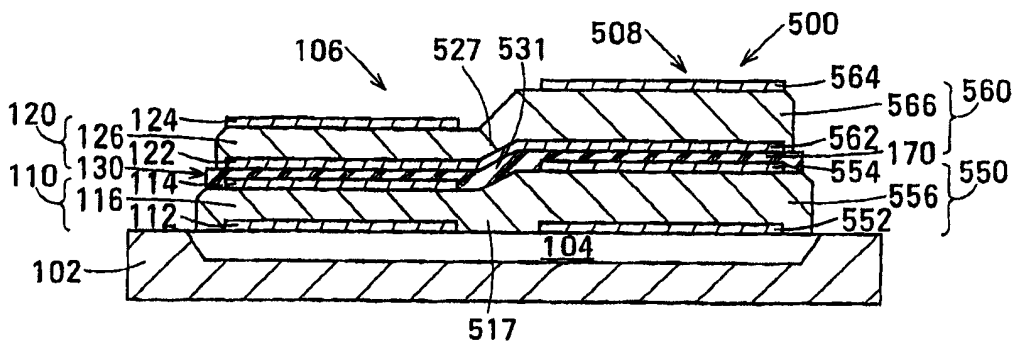


图 5E

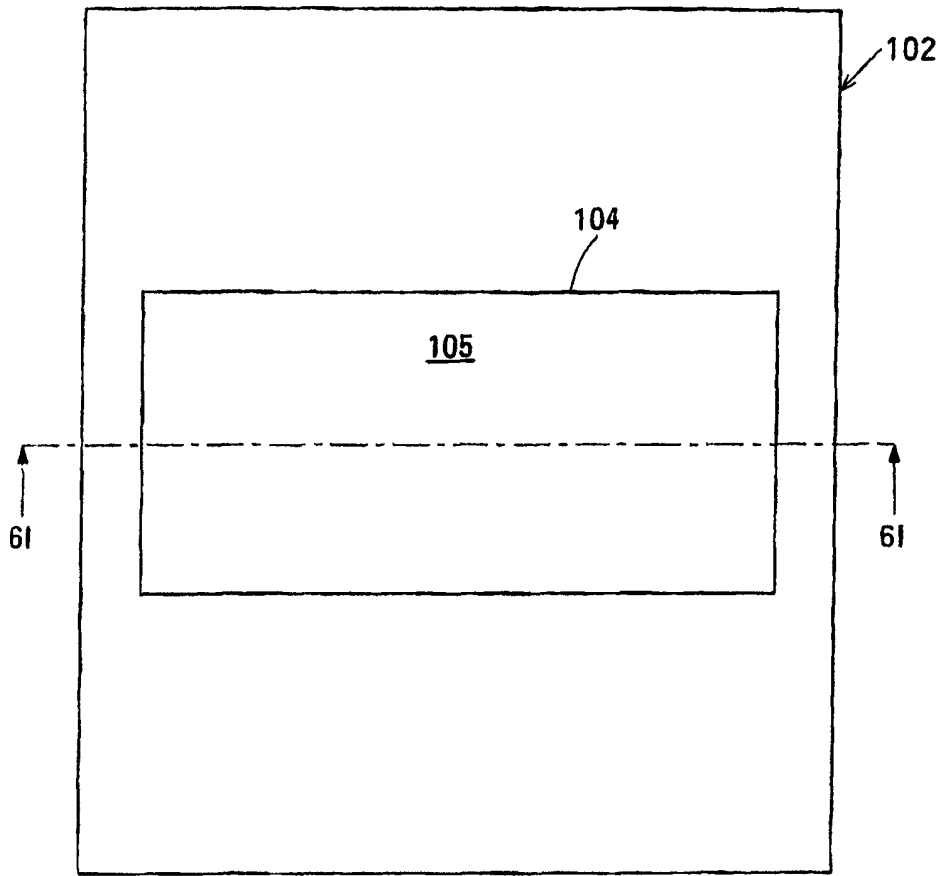


图 6A

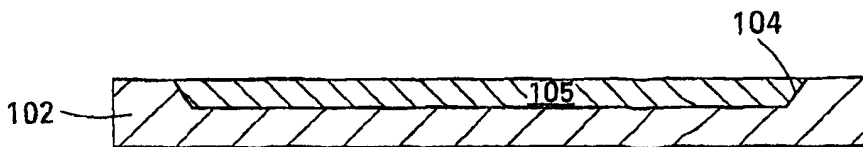


图 6I

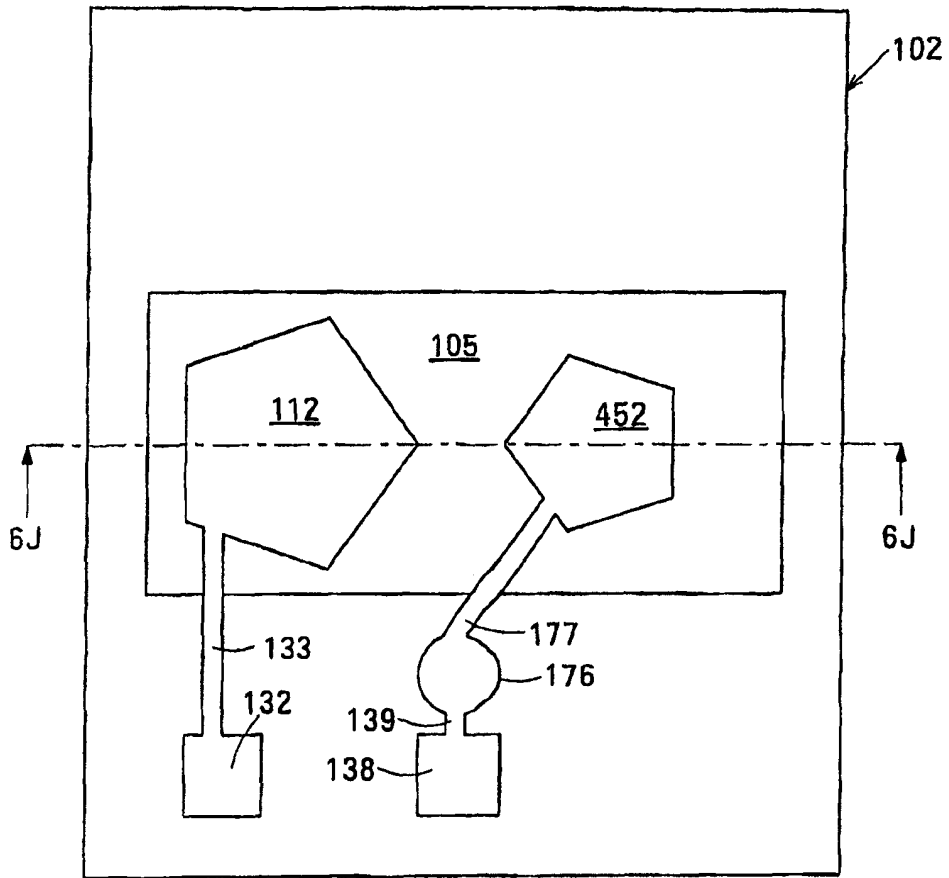


图 6B

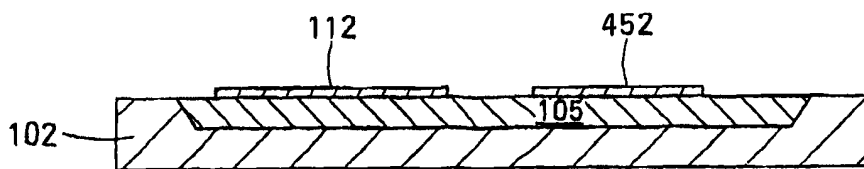


图 6J

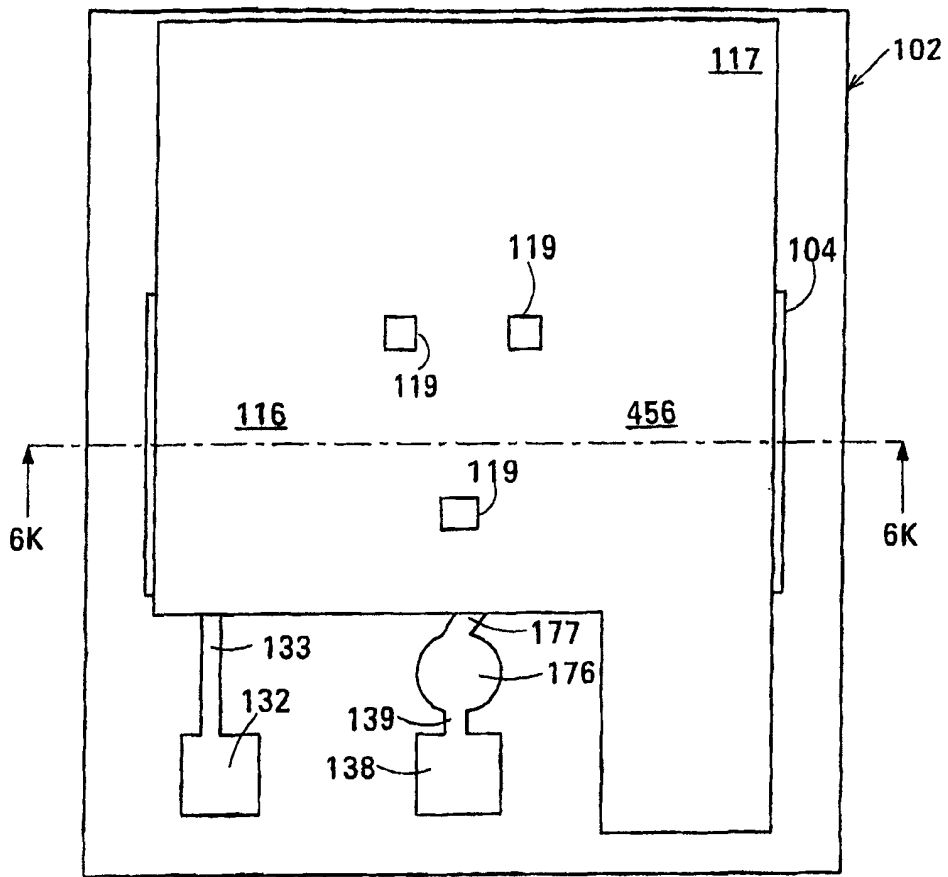


图 6C

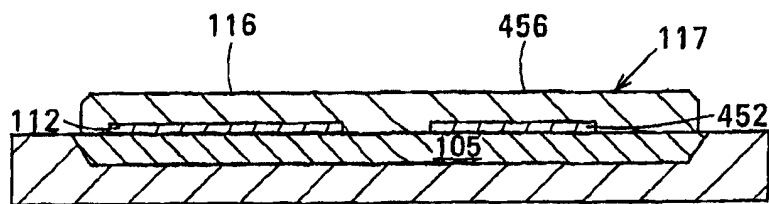


图 6K

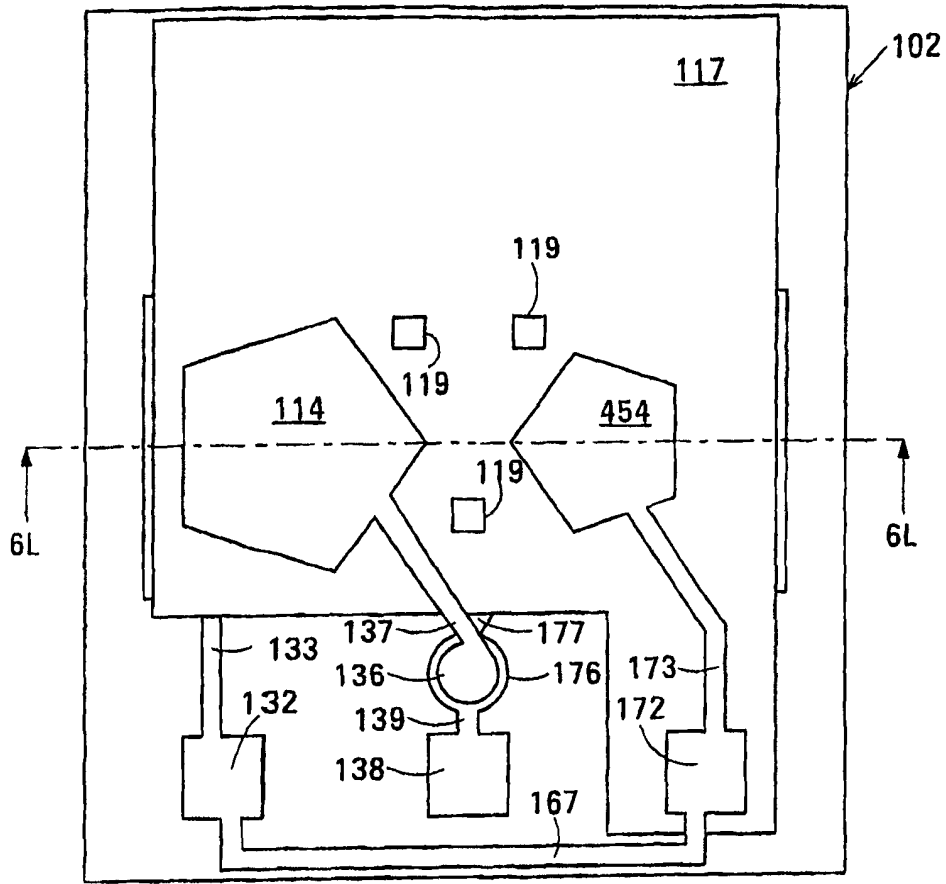


图 6D

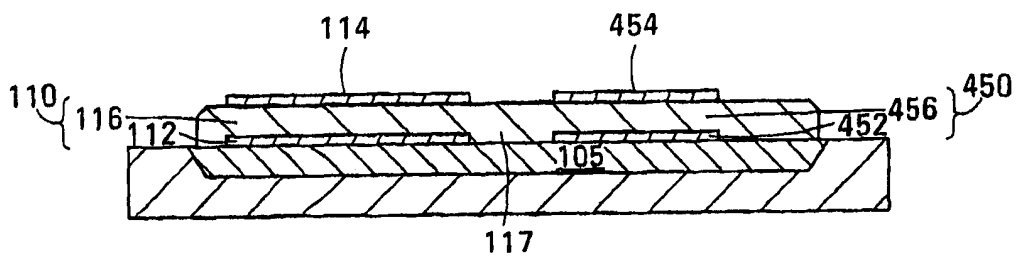


图 6L

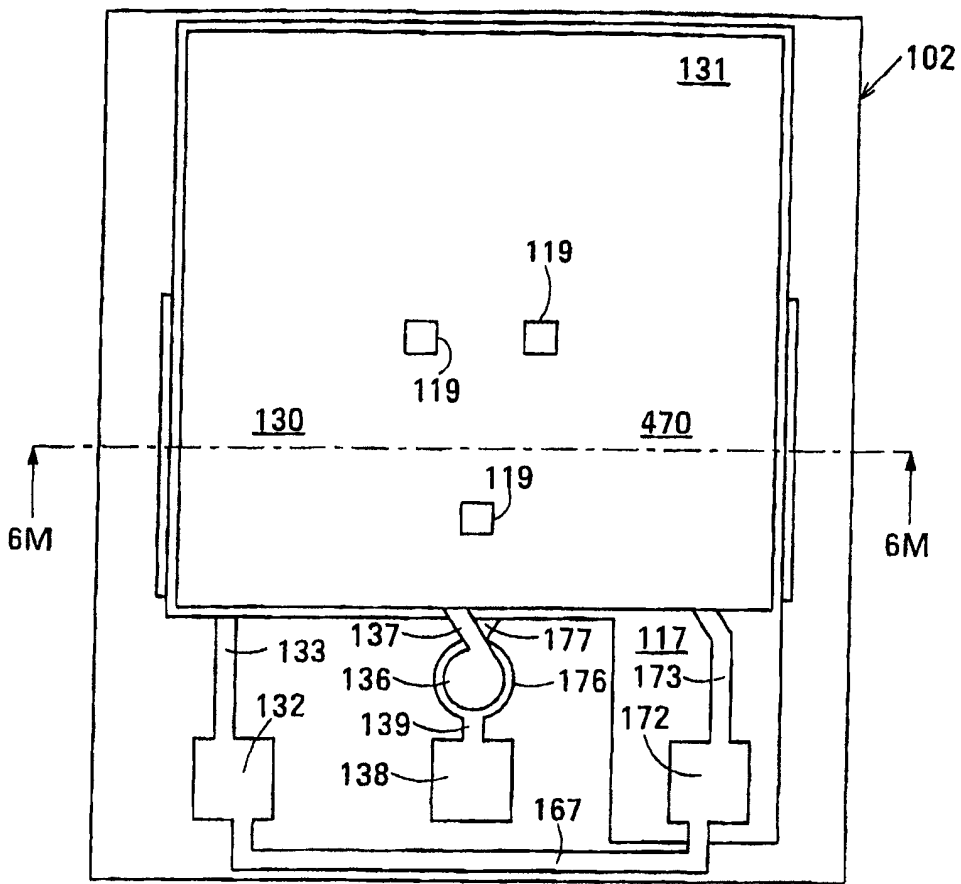


图 6E

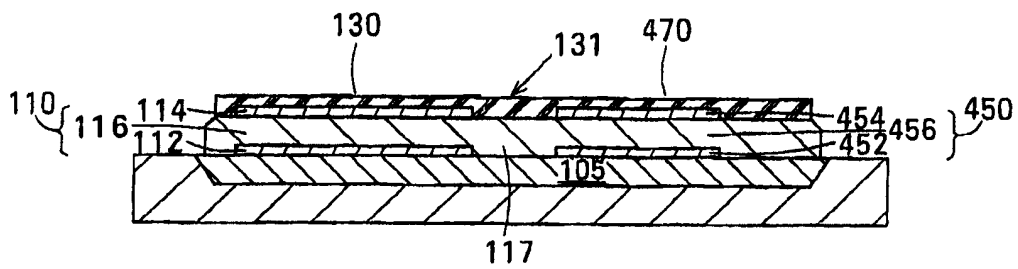


图 6M

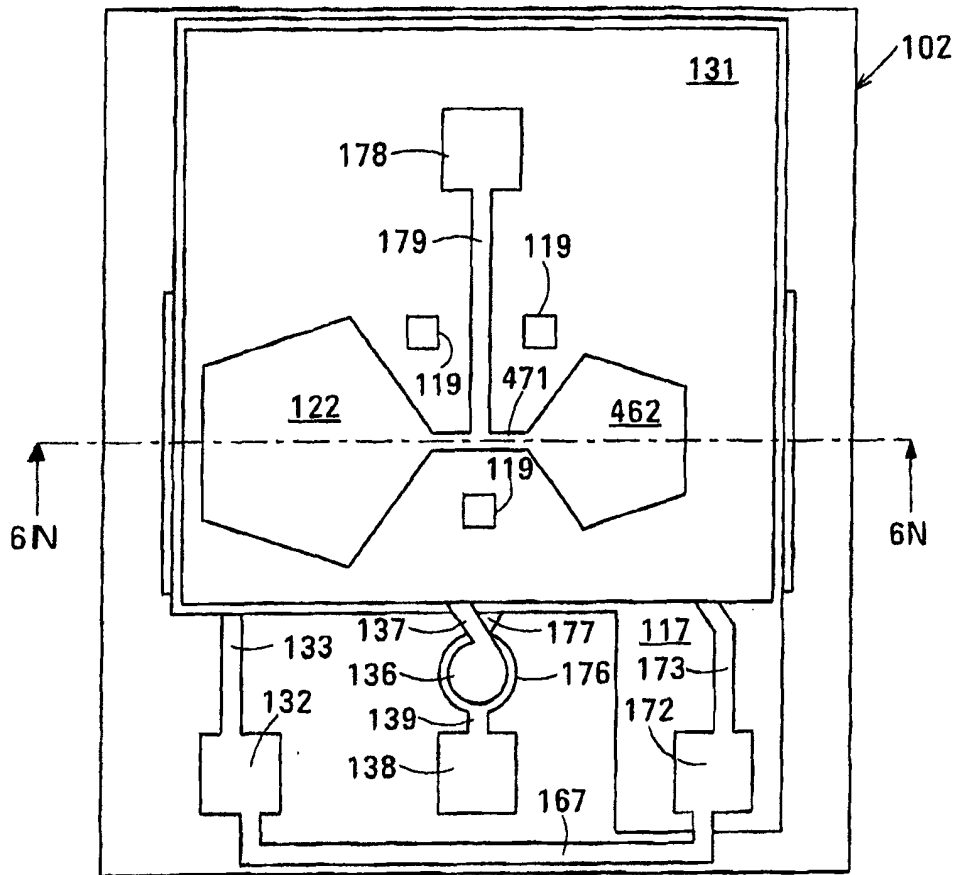


图 6F

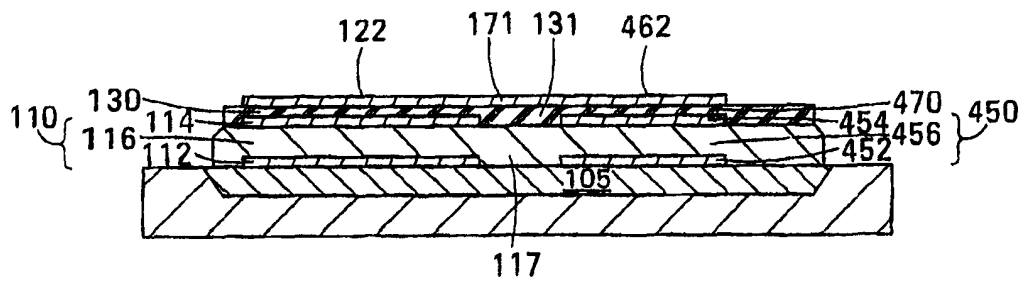


图 6N

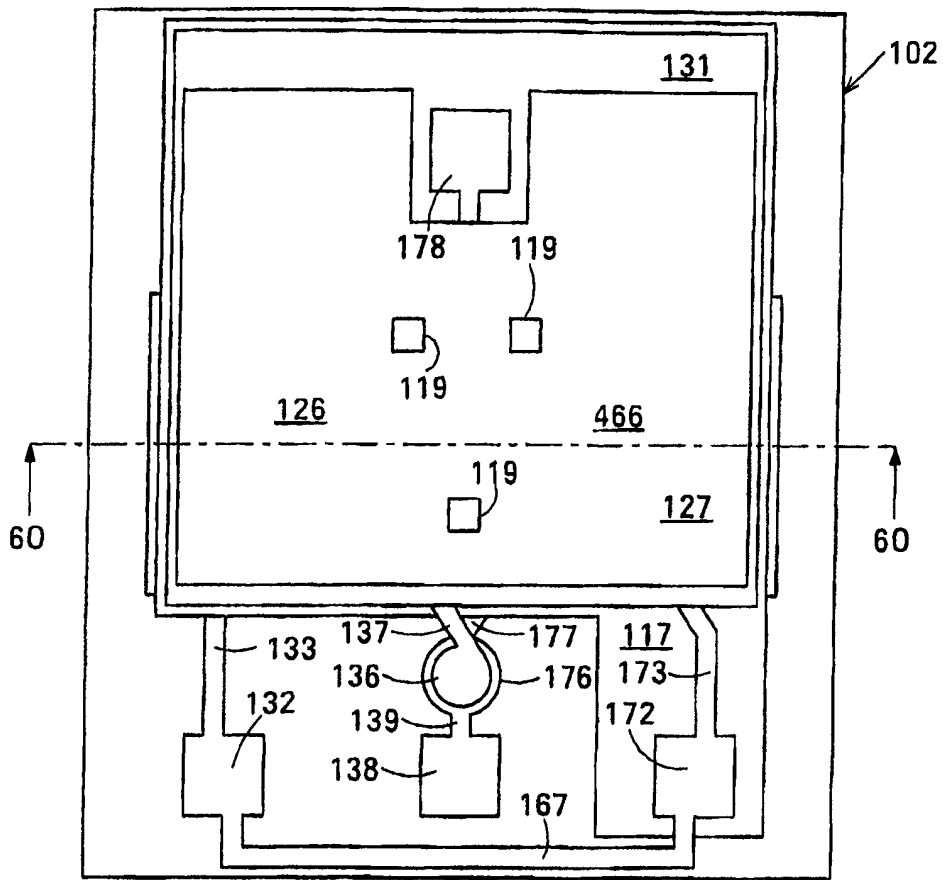


图 6G

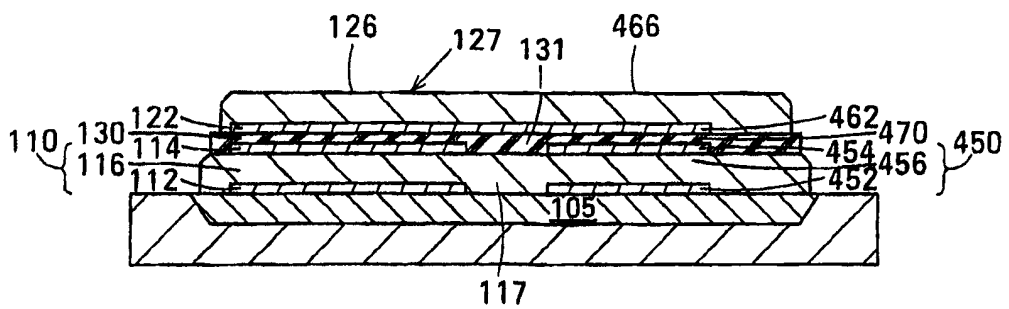


图 6P

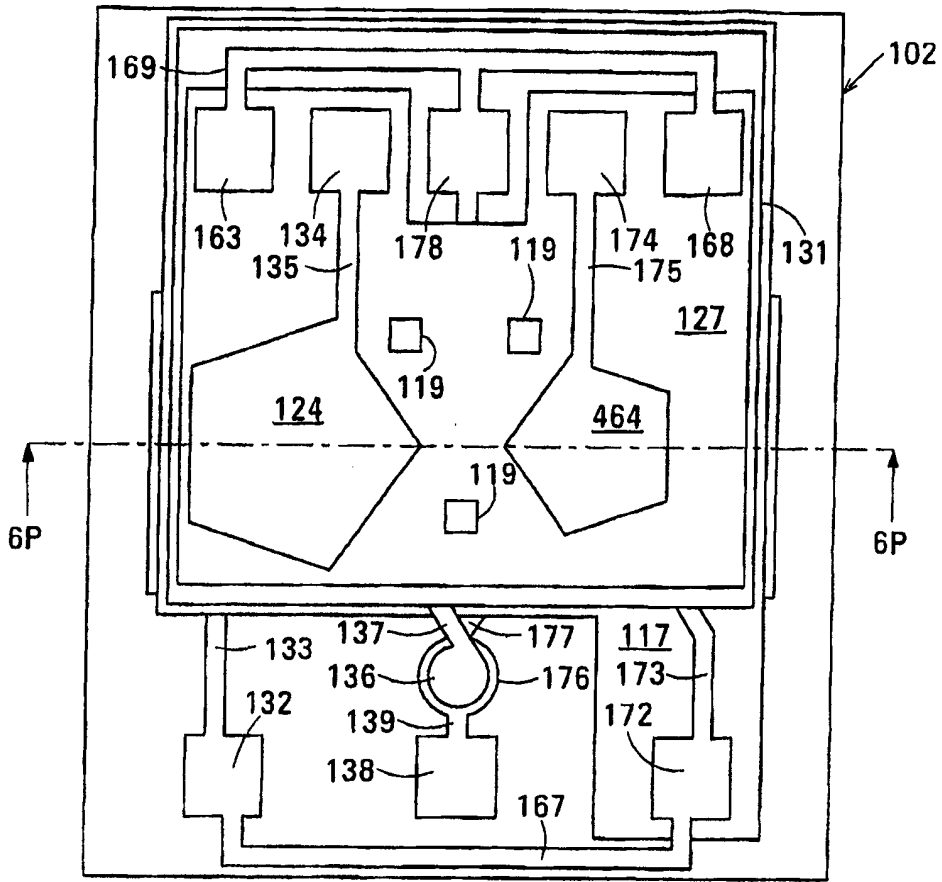


图 6H

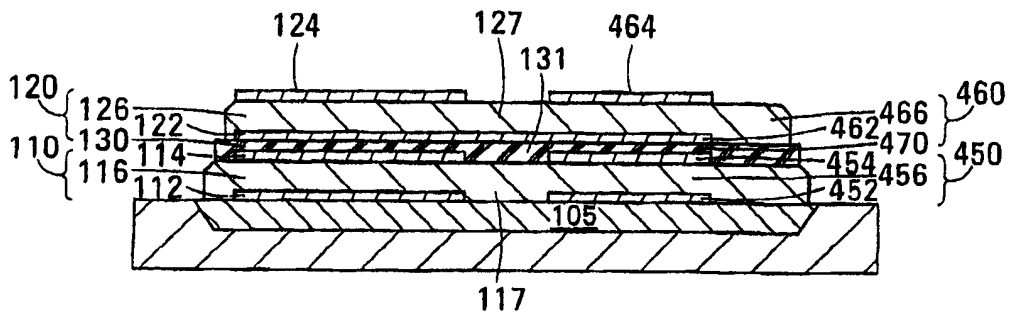


图 6P