



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102167279 A

(43) 申请公布日 2011.08.31

(21) 申请号 201010609237.1

(22) 申请日 2010.12.23

(30) 优先权数据

12/646,833 2009.12.23 US

(71) 申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 M·A·阿卜杜勒莫努姆

T·M·拉哈勒-阿拉比 G·F·泰勒

K·J·费希尔 A·杨

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 陈松涛 夏青

(51) Int. Cl.

B81B 7/00(2006.01)

B81B 7/02(2006.01)

G01K 7/32(2006.01)

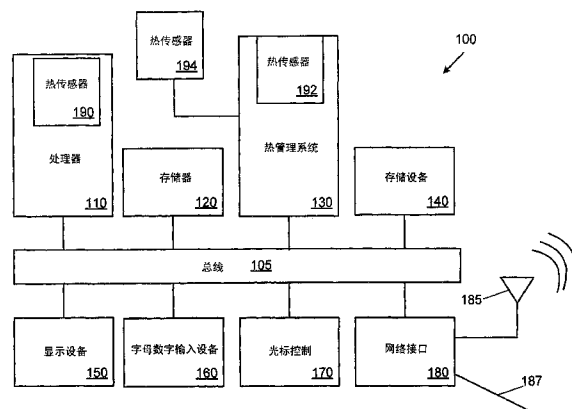
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 8 页

(54) 发明名称

使用芯片互连层的振动 MEMS 谐振器的热传感器

(57) 摘要

本发明公开了用于微机电系统 (MEMS) 谐振器以监测集成电路中的温度的方法和装置。在互连层中制造所述谐振器提供了一种实现容忍制造过程变化的热检测手段的方式。根据需要,传感器读取和控制电路可以位于硅片上,例如正反馈放大器与所述谐振器结合以形成振荡器以及对振荡器频率进行计数的计数器。



1. 一种集成电路,包括:

互连层;以及

设置在所述互连层内的微机电系统 (MEMS) 谐振器结构,所述谐振器结构用于提供与由所述谐振器结构检测的温度相对应的输出信号。

2. 如权利要求 1 所述的装置,还包括用于接收来自所述谐振器结构的所述输出信号并且用于分析所述输出信号以确定由所述谐振器结构检测的所述温度的电路。

3. 如权利要求 1 所述的装置,其中来自所述谐振器结构的所述输出信号包括在所述谐振器以其自然频率之一进行振动时与电容的变化相对应的电流,输出电流电容的频率变化与温度的变化相对应。

4. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述谐振器结构至少包括铜谐振器。

5. 如权利要求 1 所述的集成电路,其中所述集成电路为微处理器芯片。

6. 一种系统,包括:

集成电路,所述集成电路包括:

互连层;

设置在所述互连层中的微机电系统 (MEMS) 谐振器结构,所述谐振器结构用于在一个或者多个导体上提供与由所述谐振器结构检测的温度相对应的输出信号;以及

用于接收所述输出信号的连接器;以及

与所述连接器耦合的电路,用于接收来自所述谐振器结构的所述输出信号并且用于分析所述输出信号以确定由所述谐振器结构检测的所述温度。

7. 如权利要求 6 所述的系统,其中来自所述谐振器结构的所述输出信号包括在所述谐振器结构自然频率随着所述谐振器结构的温度变化时具有频率变化的电流,其中施加到所述谐振器结构的电压导致输出电流的幅度成比例变化。

8. 如权利要求 7 所述的系统,其中振荡器电路生成数字输出信号,该数字输出信号的频率与从所述谐振器结构生成的所述输出电流的频率相等。

9. 如权利要求 6 所述的系统,其中所述谐振器结构至少包括铜谐振器。

10. 如权利要求 6 所述的系统,其中所述集成电路为微处理器芯片。

11. 一种热管理系统,包括:

集成电路的互连层;

设置在所述互连层中的微机电系统 (MEMS) 谐振器结构,所述谐振器结构用于在一个或者多个导体上提供与由所述谐振器结构检测的温度相对应的输出信号;以及

用于接收所述输出信号的连接器;以及

与多个所述连接器耦合的热管理电路,所述热管理电路用于监测来自多个热传感器的信号、计算热状态数据、并且将所述热状态数据存储到存储器中。

12. 如权利要求 11 所述的热管理系统,其中来自所述谐振器结构的所述输出信号包括在所述谐振器结构自然频率随着所述谐振器结构的温度变化时具有频率变化的电流,其中施加到所述谐振器结构的电压导致输出电流的幅度成比例变化。

13. 如权利要求 12 所述的热管理系统,其中振荡器电路生成数字输出信号,该数字输出信号的频率与从所述谐振器结构生成的所述输出电流的频率相等。

14. 如权利要求 12 所述的热管理系统,其中所述谐振器结构包括铜谐振器结构。

15. 如权利要求 11 所述的热管理系统,其中所述集成电路为微处理器芯片。

使用芯片互连层的振动 MEMS 谐振器的热传感器

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及热传感器。更具体而言,本发明的实施例涉及集成电路的互连层中微机电 (MEMS) 热传感器的设计、制造和使用。

背景技术

[0002] 集成电路上的热感测先前依赖于根据电压基准操作的具有纳米尺寸并且基于晶体管的热传感器。例如,处理器核中的当前热传感器包括使用带隙基准的双极晶体管以检测温度,其中结两端的电压将随着温度改变。

[0003] 然而,这些热传感器技术依赖于模拟晶体管,由于尺寸原因,模拟晶体管对制造过程变化非常敏感。这样的灵敏度影响传感器精确度和线性度。热传感器精确度和线性度对处理器核的操作至关重要,例如由于它们可能导致功率损失平台噪声、可靠性恶化和平台性能损失。

[0004] 由于连续处理调节,处理变化对依赖于带隙电压基准的热感测晶体管的精确度具有增加的严重影响。此外,对于集成电路操作的临界热限制通常位于互连层中而不是位于晶体管层中。

附图说明

[0005] 在附图中通过示例而非限制的方式说明了本发明的各种实施例,在附图中:

[0006] 图 1 是示出了根据实施例具有热传感器的电子系统的选择元件的方框图。

[0007] 图 2 是根据实施例可以用作热传感器的谐振器的选择元件的物理表示。

[0008] 图 3A 是根据实施例可以用作热传感器的谐振器的选择元件的电路图表示。

[0009] 图 3B 是根据实施例用于生成电子信号的电路的选择元件的等效电路图表示。

[0010] 图 4A 到 4I 是示出了根据用于在互连层中制造可以用作热传感器的 MEMS 谐振器结构的实施例的处理的方框图。

[0011] 图 5 是示出了根据实施例在互连层中可以用作热传感器的 MEMS 谐振器结构的选择元件的方框图。

具体实施方式

[0012] 在下面的描述中阐述了各种具体细节。然而,可以在不具有这些具体细节的情况下实践本发明的实施例。在其它实例中,为了不妨碍对本描述的理解,没有详细示出公知的电路、结构和技术。

[0013] 可以使用增加的热感测来支持改善的系统性能。然而,为了实现宽泛的接受性,增加的热感测的成本必须在可接受的范围内。这里描述的是可以提供能够支持增加的热感测应用的便宜而精确的热感测方案的谐振器结构。

[0014] 在一个实施例中,微机电系统 (MEMS) 谐振器用于监测集成电路 (IC) 互连层的温度。根据需要,传感器读取和控制电路可以位于硅片上,例如正反馈放大器与谐振器结

合以形成振荡器以及对振荡器频率进行计数的计数器。在一个实施例中,可以使用利用铜的低沉积温度的热传感器,例如通过在 IC 的互连层中对铜谐振器结构进行构图。此外,铜作为谐振器结构材料的使用可以增加谐振器频率对温度的热依赖并且因而改善整体传感器精确度。在一个实施例中,谐振器可以按照正反馈拓扑与可以形成在硅片上的跨阻(transimpedance)放大器连接以提供振荡器。振荡器的输出是具有依赖于谐振器温度的频率的信号并且利用也能够在硅片上实现的简单计数器电路对该频率进行计数。

[0015] 图 1 是具有热传感器的电子系统的一个实施例的方框图。图 1 中所示出的电子系统旨在代表例如包括桌面计算机系统、膝上计算机系统、蜂窝电话、包括蜂窝使能的 PDA 的个人数字助理(PDA)、机顶盒的电子系统(或者有线或者无线)范围。替代电子系统可以包括更多、更少和/或不同的部件。

[0016] 电子系统 100 可以具有任何数量的热传感器,所述热传感器可以包括谐振器结构和/或热二极管。图 1 的示例包括三个热传感器(190, 192 和 194);然而,可以支持任何数量的热传感器。热传感器可以用于监测电子系统 100 的各部件和/或区域的温度。

[0017] 电子系统 100 包括用于传送信息的总线 105 或者其它通信设备以及耦合到总线 105 能够处理信息的处理器 110。尽管所示出的电子系统 100 具有单个处理器,但是电子系统 100 可以包括多个处理器和/或协处理器。电子系统 100 还可以包括耦合到总线 105 并且可以存储信息和能够由处理器 110 执行的指令的随机存取存储器(RAM) 或者其它动态存储设备(包括在存储器 120 中)。存储器 120 也可以用于在处理器 110 执行指令期间存储临时变量或者其它中间信息。存储器 120 还可以包括可以存储用于处理器 110 的静态信息和指令的只读存储器(ROM) 和/或其它静态存储设备。

[0018] 电子系统 100 可以包括可以提供热监测和/或冷却功能的热管理系统 130。热管理系统 130 可以包括一个或者多个风扇和/或一个或者多个液体冷却机构以冷却电子系统 100 的各部件。此外,热管理系统 130 可以包括监测电路以监测电子系统 100 中各部件和区域的温度。数据存储设备 140 可以耦合到总线 105 以存储信息和指令。诸如磁盘或者光盘的数据存储设备 140 以及相对应的驱动可以耦合到电子系统 100。

[0019] 电子系统 100 还可以经由总线 105 耦合到诸如阴极射线管(CRT) 或者液晶显示器(LCD) 的显示设备 150 以向用户显示信息。包括字母数字和其它键的字母数字输入设备 160 可以耦合到总线 105 以向处理器 110 传送信息和命令选择。另一类型的用户输入设备是诸如鼠标、轨迹球或者光标方向键的光标控制 170 以向处理器 110 传送方向信息和命令选择,并且控制光标在显示器 150 上移动。

[0020] 电子系统 100 还可以包括一个或者多个网络接口 180 以提供到诸如局域网的网络的接入。所述一个或者多个网络接口 180 可以例如包括具有天线 185 的无线网络接口,天线 185 可以代表一个或者多个天线。一个或者多个网络接口 180 还可以例如包括有线网络接口以经由网络电缆 187 与远程设备进行通信,所述网络电缆 187 可以例如是以太网电缆、同轴电缆、光纤电缆、串行电缆或者并行电缆。

[0021] 在一个实施例中,一个或者多个网络接口 180 可以例如通过遵照 IEEE802. 11 和/或 IEEE802. 11g 标准来提供到局域网的接入,和/或无线网络接口可以例如通过遵照蓝牙标准来提供到个人局域网的接入。也可以支持其它无线网络接口和/或协议。

[0022] IEEE 802. 11b 与 1999 年 9 月 16 日发布的标题为“Local and Metropolitan

Area Networks, Part 11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC)and Physical Layer(PHY)specifications:Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band”的 IEEE 标准 802.11b-1999 以及相关文献相对应。IEEE802.11g 与 2003 年 6 月 27 日发布的标题为“Local and Metropolitan Area Networks, Part 11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC)and Physical Layer(PHY)specifications:Further Higher Rate Extension in the 2.4GHz Band”的 IEEE 标准 802.11g-2003 以及相关文献相对应。蓝牙协议在由 Bluetooth Special Interest Group, Inc. 于 2001 年 2 月 22 日发布的“Specification of the Bluetooth System:Core, Version 1.1”中有所描述。也可以支持蓝牙标准的相关联以及先前或者随后版本。

[0023] 除了或者代替经由无线 LAN 标准的通信,一个或者多个网络接口 180 可以例如使用时分多址 (TDMA) 协议、全球移动通信系统 (GSM) 协议、码分多址 (CDMA) 协议和 / 或任何其它类型的无线通信协议提供无线通信。

[0024] 图 2 是可以用作热传感器的谐振器的一个实施例的物理表示。图 2 的示例是两端固定梁 MEMS 谐振器的物理表示。可以将谐振器的频率描述为：

$$[0025] \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{eff}}{m_{eff}}} \approx 1.03 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \frac{h}{L^2}$$

[0026] 其中, k_{eff} 是谐振器材料的有效硬度, m_{eff} 是谐振器材料的有效质量, E 是杨氏模量并且 ρ 是谐振器材料的密度。因而,由于电容 $C(t)$ 随着谐振器结构的弯曲变化,施加到谐振器结构的电压 $V_{in}(t)$ 导致输出电流 $I_o(t)$ 成比例变化。

[0027] 图 3A 是可以用作热传感器的谐振器的一个实施例的电路图表示。图 3A 的电路图将谐振器结构的可变电容建模为可变电容器,其中可以将输出电流描述为：

$$[0028] \quad i_o = V_p \frac{\partial C(t)}{\partial t}$$

[0029] 图 3B 是根据一个实施例用于生成电子信号的电路。图 3B 所示出的电路根据差分放大器生成输出电子信号 V_{out1} ,所述差分放大器具有位于该差分放大器的一个反馈环路上的 MEMS 谐振器以及位于该差分放大器的另一反馈路径上的一个或者多个阻抗元件 (例如电阻器)。输出电子信号 V_{out1} 可以代表 MEMS 谐振器位于其中的互连层的热状态,例如到热管理或者其它控制逻辑。应该理解,图 3B 所示出的电路说明了用于基于 MEMS 谐振器的谐振生成这种热感测电子信号的许多不同机构中的一个。

[0030] 图 4A-4I 示出了根据用于在互连层中制造可以用作热传感器的 MEMS 谐振器结构的实施例的处理的选择操作。图 4A 示出了用于制造 MEMS 谐振器结构的材料的早期阶段。硅晶圆的互连层 400 可以包括一个或者多个部件层,例如包括至少一个电介质材料层的多个层。例如,互连层 400 可以包括第一电介质 405 构成的一个或者多个层,例如以诸如 Si_3N_4 的氮化硅为例。在实施例中,可以例如利用碳对第一电介质 405 进行掺杂以形成碳掺杂氧化物 (CDO)。可选地或者此外,互连层 400 可以包括第二材料 410 构成的一个或者多个层,例如诸如氮化硅或者屏蔽金属层的电介质。

[0031] 可以选择第一电介质层和第二电介质 (或者屏蔽金属) 层以实现电介质层和另一电介质 (或者屏蔽金属) 层之间的选择性,所述选择性用于实现诸如在图 4A-4I 中表示的那些结构,以在谐振器和电介质层之间产生气体间隙。应该理解,用于实现这种选择性的技

术在本领域中是公知的。尽管这里按照两种不同电介质材料 405、410 的各层进行了描述，但是应该理解，本发明的某些实施例可以不同地包括电介质材料和至少一个屏蔽金属的相应多层。

[0032] 互连层 400 的一个或者多个部件层可以在其中定位一个或者多个互连结构，在图 1 中由示例性通孔 415 表示。互连层 400 的一个或者多个部件层可以进一步在其中定位电极 420。在实施例中，一个或者多个通孔 415 以及电极 420 可以是铜。

[0033] 为了制造 MEMS 谐振器结构，可以在顶部电介质层，这里是第二电介质 410 的层上沉积光致抗蚀剂层 423。然后可以例如通过光刻产生通过光致抗蚀剂层 423 延伸并且进入互连层 400 的各部件层中的沟道。在实施例中，沟道的底部 426 可以通过电介质材料与电极 420 分隔开，这将允许电容间隙。如下面讨论的，电容间隙可以提供谐振器的自由振动。

[0034] 图 4B 示出了在去除光致抗蚀剂层 423 之后在互连层 400 的顶表面上沉积第一金属层 430 和第二金属层 433。可以选择第一金属和第二金属以实现两个金属之间的选择性，所述选择性实现在图 4A-4I 中表示的结构。在实施例中，第二金属可以是铜，而第一金属是例如钛，钴等等的金属，所述金属相对于铜对湿法刻蚀的易感性而对于湿法刻蚀具有充分选择的易感性。应该理解，用于实现这种选择性的技术在本领域中是公知的。

[0035] 层 430 可以包括钛或者其它适合金属构成的牺牲层。在层 430 的顶部上沉积层 433 可以包括首先在层 430 上方沉积例如铜的第二金属构成的种子层（未示出），接着在所述种子层上电镀更多第二金属。

[0036] 图 4C 示出了谐振器结构 440 的生成。例如通过化学机械抛光去除层 430 和 433 的大部分以在沟道中剩余谐振器结构 440。谐振器结构 440 与电极 420 之间的电容间隙允许谐振器的自由振动。在输入信号（来自反馈放大器）的频率与谐振器的自然频率相匹配时，谐振器将振动。在谐振器振动时，在静止电极和作为第二电极的振动谐振器之间并且在位于谐振器和静止电极之间的气体间隙两端产生时变电容器。在这种时变电容器两端施加的 DC 偏置将以与振动频率相等的频率引起输出电流并且该输出电流流回到图 3B 的跨阻放大器的输入中，例如闭合反馈回路并且限定整体电子振荡器频率。换句话说，振荡器电路的操作频率由机械谐振器的振动频率限定。在温度变化时，谐振器频率将改变并且因此电子电路的振荡频率将改变以表明温度。

[0037] 将第一金属的附加牺牲层 443 沉积在互连层 400 的顶表面上。将牺牲光吸收材料 (SLAM) 的块 446 沉积在位于谐振器结构 440 上方的牺牲层 443 上，并且将光致抗蚀剂的块 449 沉积在块 446 上方。块 446 和 449 准备用于部分去除牺牲层 443。

[0038] 图 4D 示出了位于谐振器结构 440 周围的外壳 450 的生成。可以应用刻蚀以去除层 443 中没有被块 446 覆盖的区域。然后进行清洗以去除块 446 和 449。之后，可以将第一电介质 405 的附加层 453 沉积在互连层的顶表面上。在这一点上，由第二金属构成的谐振器结构 440 由第一金属的外壳 450 围绕。外壳 450 可以包括水平延伸以覆盖谐振器结构 440 的宽度的帽 452。

[0039] 图 4E 和 4F 示出了用于从谐振器结构 440 周围去除第一金属的外壳 450 的初始准备。将 SLAM 层 456 沉积在互连层 400 的顶表面上。之后，将光致抗蚀剂层 459 沉积在 SLAM 层 456 上方。例如通过光刻在外壳 450 上方的各点处将一个或者多个沟道 460 刻蚀到光致抗蚀剂层 459 中。如图 4F 所示，应用附加的刻蚀以将该一个或者多个沟道 460 向下延伸经

过电介质层以暴露部分外壳 450, 例如暴露帽 452。

[0040] 图 4G 和 4H 示出了去除外壳 450 的操作。可以对层 456 和 459 的去除 463 应用清洗。位于层 453 的升高区域中的开口 466 提供用于将外壳 450 的第一金属暴露至湿法刻蚀的手段。由于第一金属和第二金属之间的选择性, 湿法刻蚀仅去除外壳 450 的材料, 生成间隙区域 470 以使谐振器结构 440 在沟道内谐振。如图 4I 所示, 然后互连层 400 中包括谐振器结构 440 的区域可以覆盖有氮化物密封 475。

[0041] 图 5 示出了从另一截面视图观察的互连层 400 的选择元件。图 5 的截面视图可以例如是相对于图 4A 到 4I 的截面视图正交。示出了第一电介质 405 和第二电介质 410 构成的一个或者多个部件层, 例如通孔 415 的各互连结构位于所述一个或者多个部件层中。应该理解, 图 5 中示出的通孔 415 可以与图 4A 到 4I 中示出的通孔 415 不同。

[0042] 谐振器结构 440, 例如谐振器梁由间隙区域 470 围绕, 该间隙区域 470 允许谐振器结构 440 在电极 420 上方的沟道内谐振。谐振器结构 440 可以由互连层 400 的其它结构部分支撑、保持或者以其它方式定位。例如, 层 453 的部分可以在其各自端部处与谐振器结构 440 接触。此外或者可选地, 输出电极 480 可以延伸通过氮化物密封 475 并且在其各自端部处与谐振器结构 440 接触。输出电极 480 可以进一步用于例如通过热检测电路 (未示出) 将谐振结构 480 的谐振转换为热检测信号。应该理解, 将谐振信号转换为热检测信号的电路在本领域中是公知的, 并且可以根据不同的实施方式变化。

[0043] 这里描述了用于集成电路中的热感测的技术和架构。在这里的描述中, 出于解释目的, 阐述了各种具体细节以提供对本发明的透彻理解。然而, 对于本领域的普通技术人员显而易见的是, 可以在不具有这些具体细节的情况下实践本发明。在其它实例中, 以方框图形式示出了结构和设备以避免混淆该描述。

[0044] 说明书中提及“一个实施例”或者“实施例”是表示结合实施例描述的具体特征、结构或者特点包括在本发明的至少一个实施例中。出现在说明书中不同位置的短语“在一个实施例中”不必总是指相同的实施例。

[0045] 随后的详细描述中的一些部分按照在计算机存储器内对数据比特的操作的算法和符号表示的方式提供。这些算法描述和表示是计算领域中的普通技术人员所使用的将其工作的本质最有效地传达给本领域其它技术人员的手段。这里并且通常将算法认为是产生期望结果的步骤的前后一致的序列。步骤是要求物理量的物理操作的步骤。通常, 尽管不是必需, 这些量采用能够被存储、转移、组合、比较和以其它方式操作的电子信号或者磁信号的形式。有时已经证明, 并且主要是为了通用, 将这些信号指代为比特、值、要素、符号、字符、项、数量或者其它是方便的。

[0046] 然而应该牢记, 所有这些和类似的项都要与合适的物理量相关联并且只是应用于这些量的方便标签。除非以其它方式专门声明, 根据下面的讨论很明显, 应该意识到在整个说明书中, 使用诸如“处理”或者“计算”或者“估算”或者“确定”或者“显示”或者其它术语的讨论指代计算机系统或者类似电子计算设备的行为和处理, 该行为和处理对表示为位于计算机系统的寄存器和存储器内的物理 (电子) 量的数据进行操作并且转换为类似地表示为位于计算机系统存储器或者寄存器或者其它这样的信息存储、传输或者显示设备内的物理量的其它数据。

[0047] 本发明还涉及用于执行这里的操作的装置。该装置可以被专门构建用于所需目

的,或者其可以包括由存储在计算机中的计算机程序选择性激活或者重新配置的通用计算机。这种计算机程序可以存储在计算机可读存储介质中,例如但是不局限于包括磁盘,光盘, CD-ROM 和磁光盘的任何类型的盘、只读存储器 (ROM)、诸如动态 RAM (DRAM) 的随机存取存储器 (RAM)、EPROM、EEPROM、磁卡或者光学卡、或者适于存储电子指令并且均耦合到计算机系统总线的任何类型的介质。

[0048] 这里提供的算法和显示并不在本质上涉及任何特定的计算机或者其它装置。可以根据这里的教导使用具有程序的各种通用系统,或者可以证明,构建更加特定的装置以执行所需的方法步骤是方便的。根据下面的描述,用于各种这些系统的所需结构将变得显而易见。此外,本发明没有参照任何特定的编程语言进行描述。应该意识到,可以使用各种编程语言实现这里描述的本发明的教导。

[0049] 除了这里描述的以外,在不偏离其范围的情况下,可以对本发明的公开实施例和实现做出各种变型。因此,这里的说明和示例应该被理解为说明意义而非限制意义。本发明的范围应该仅通过参照所附的权利要求进行考量。

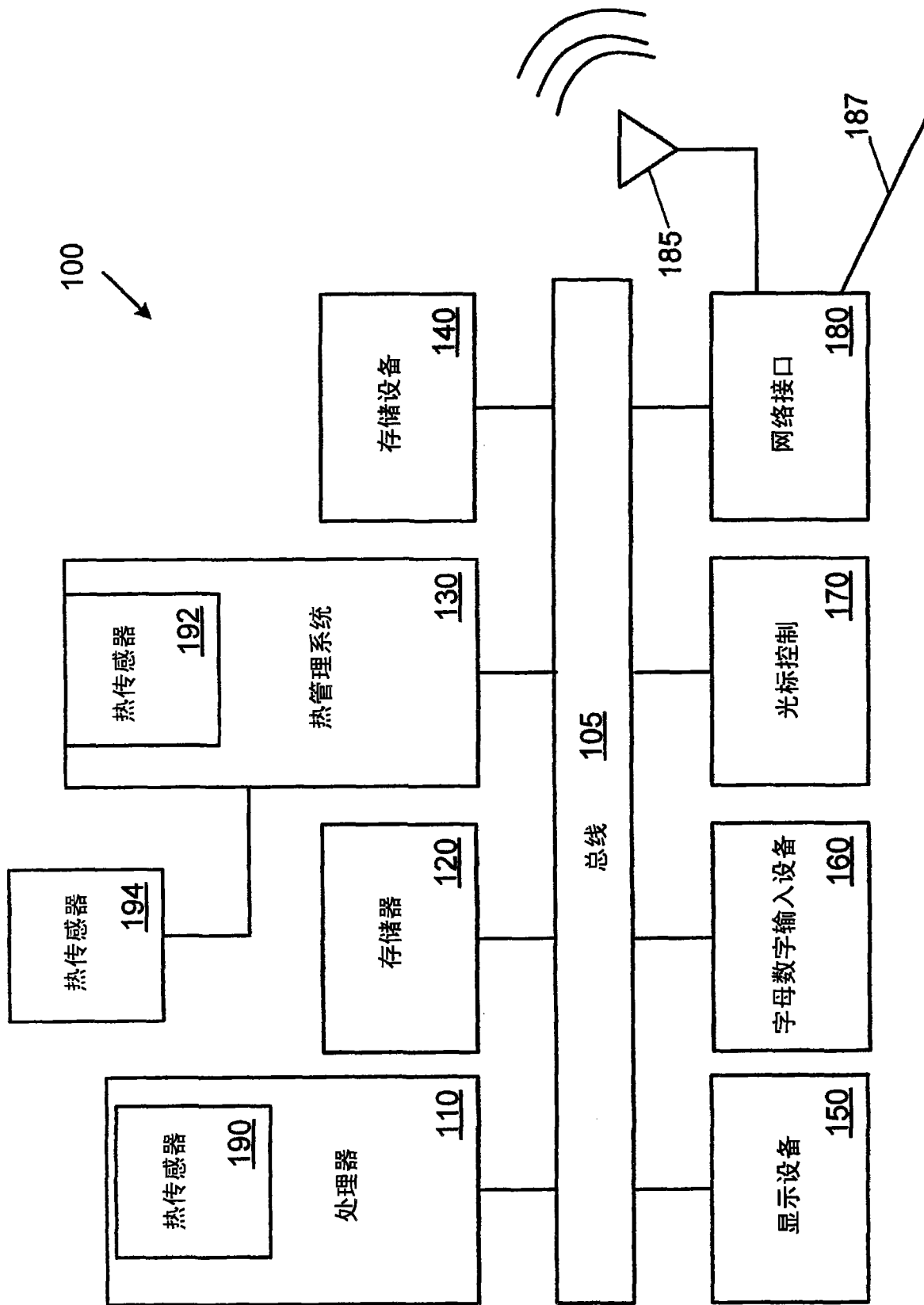


图 1

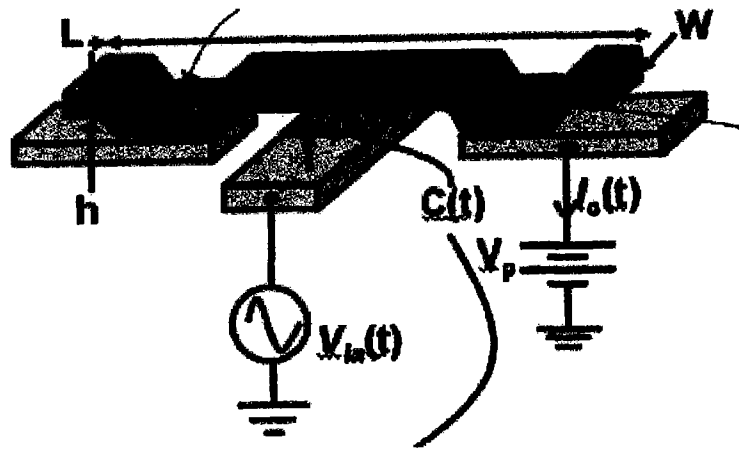


图 2

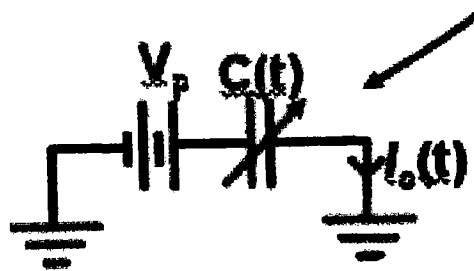


图 3A

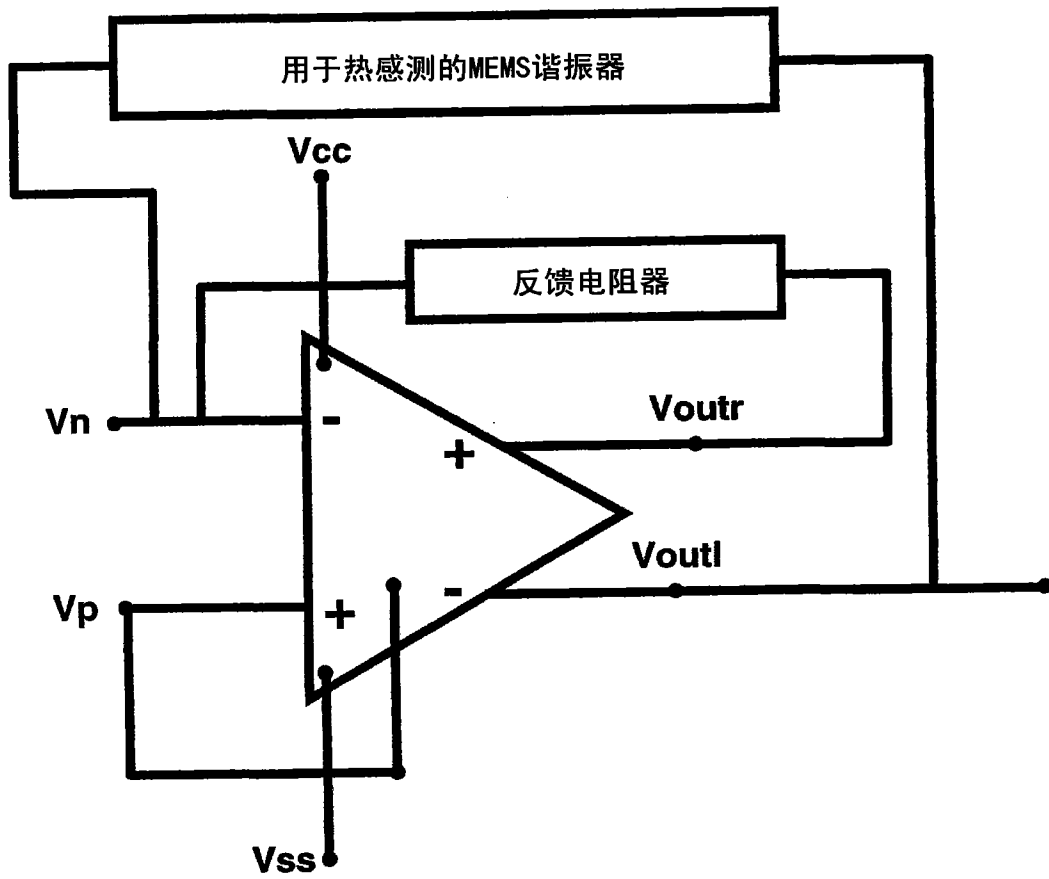


图 3B

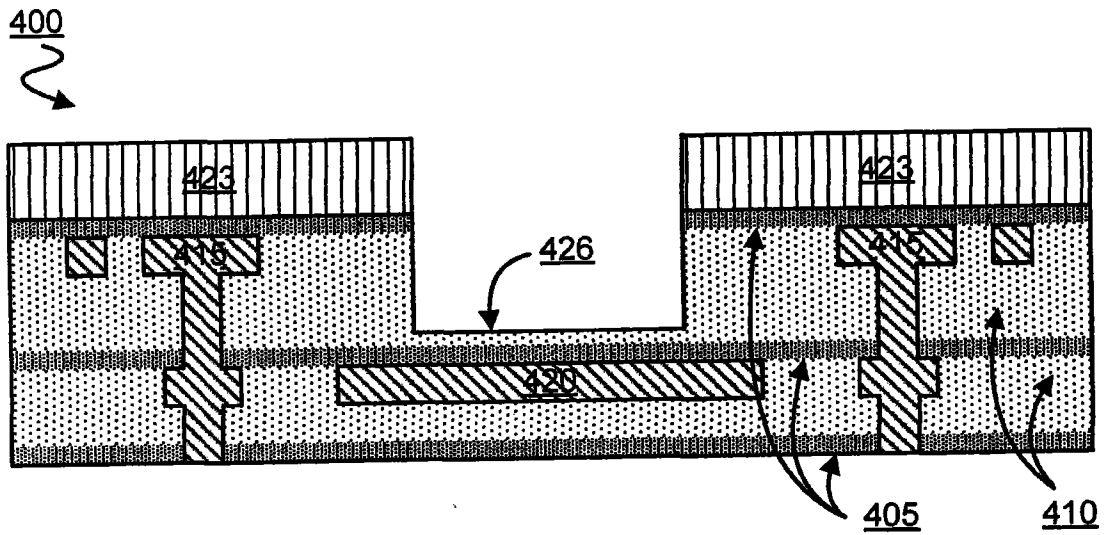


图 4A

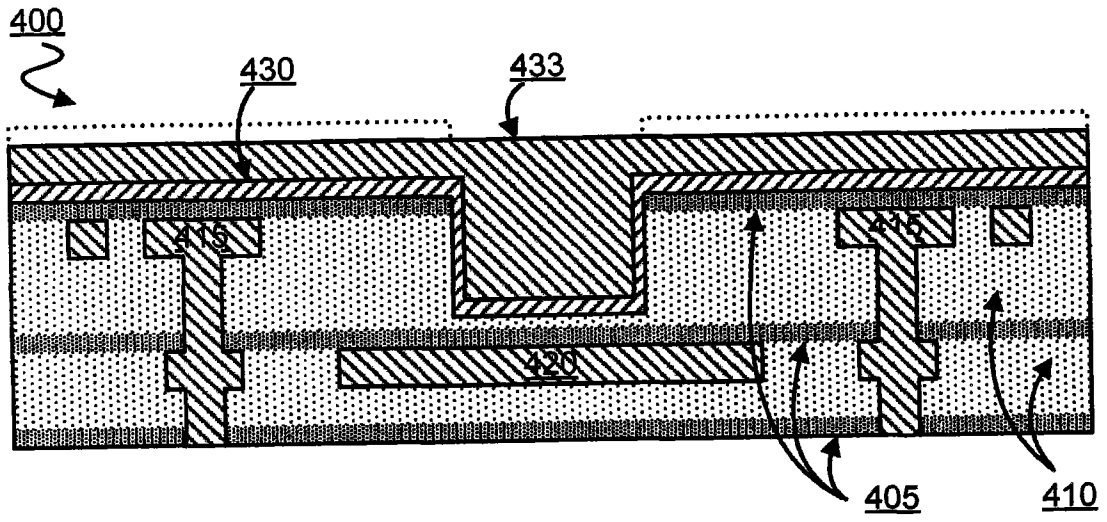


图 4B

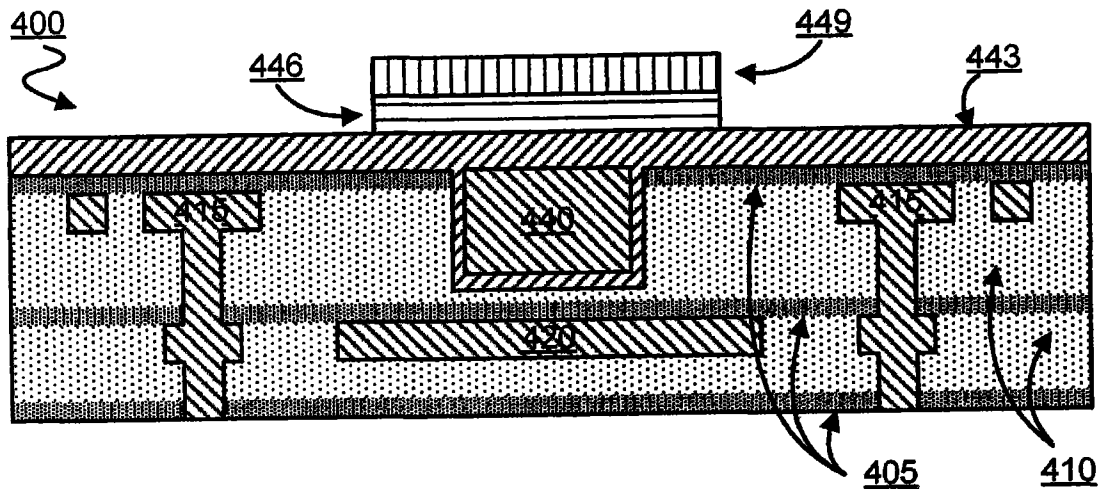


图 4C

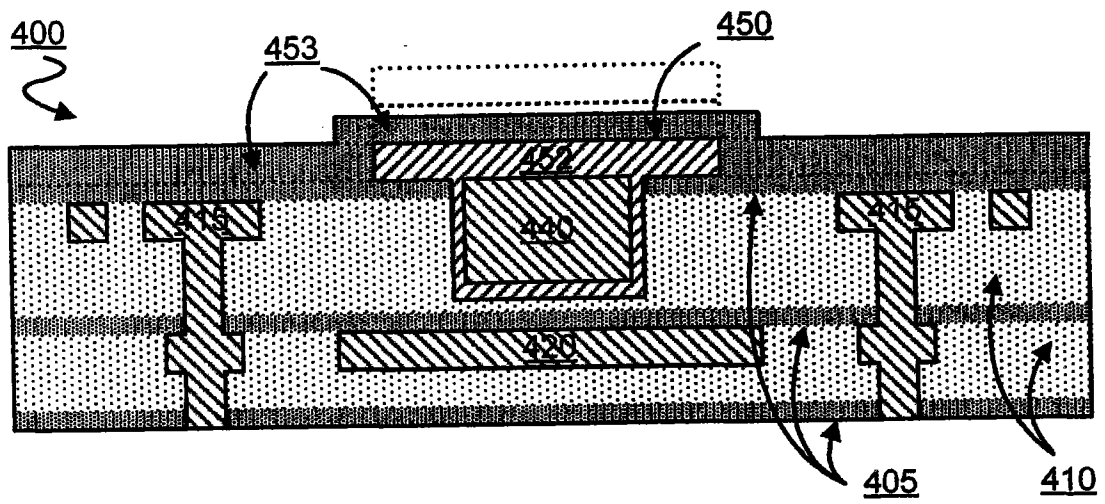


图 4D

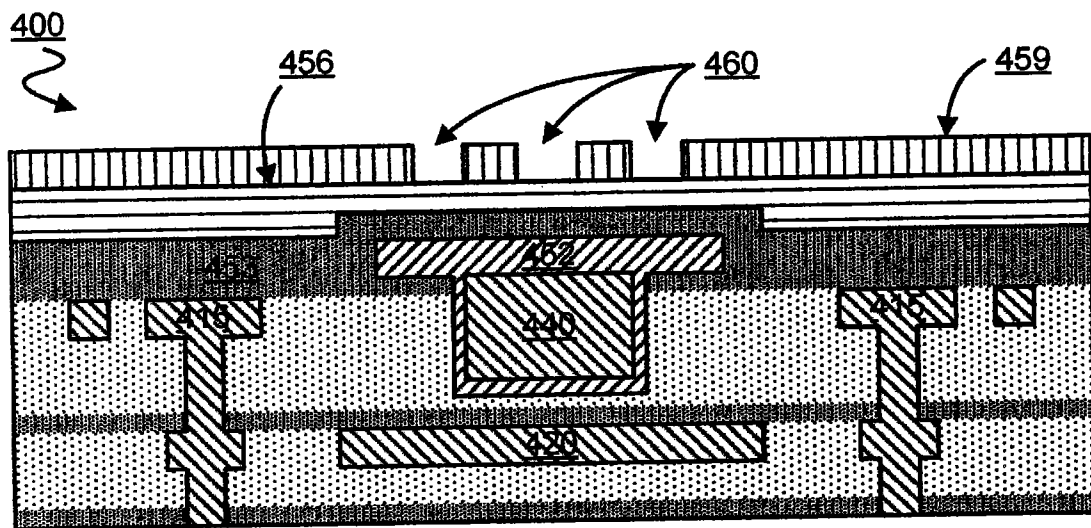


图 4E

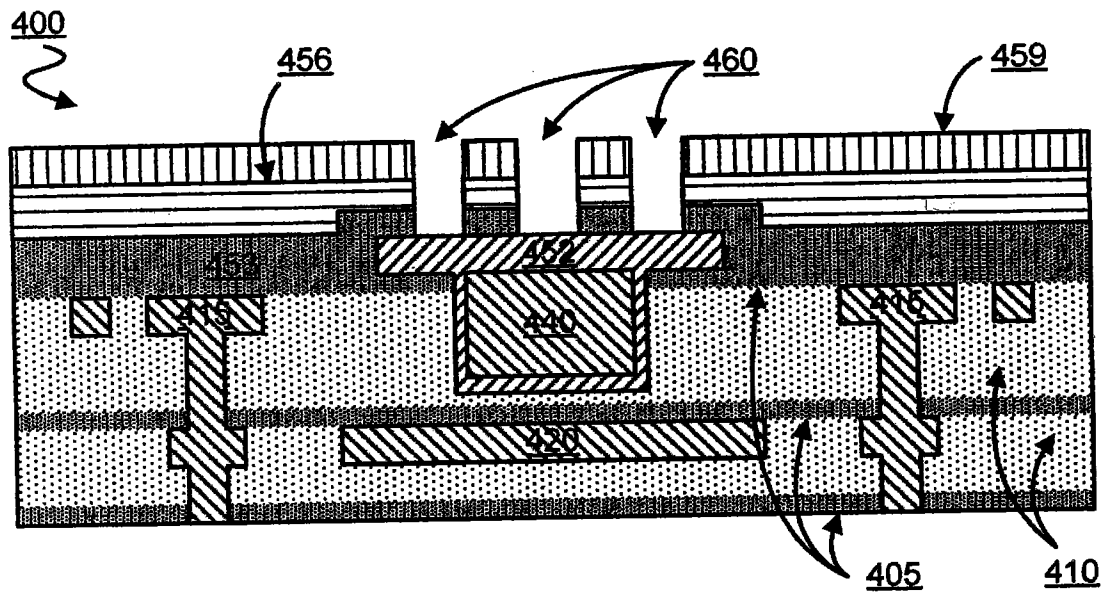


图 4F

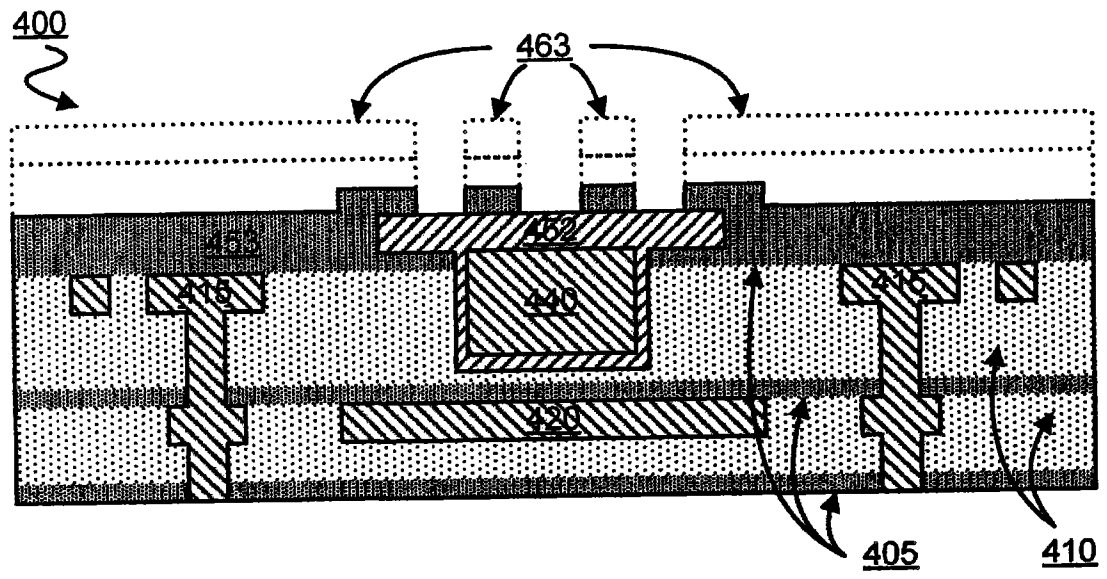


图 4G

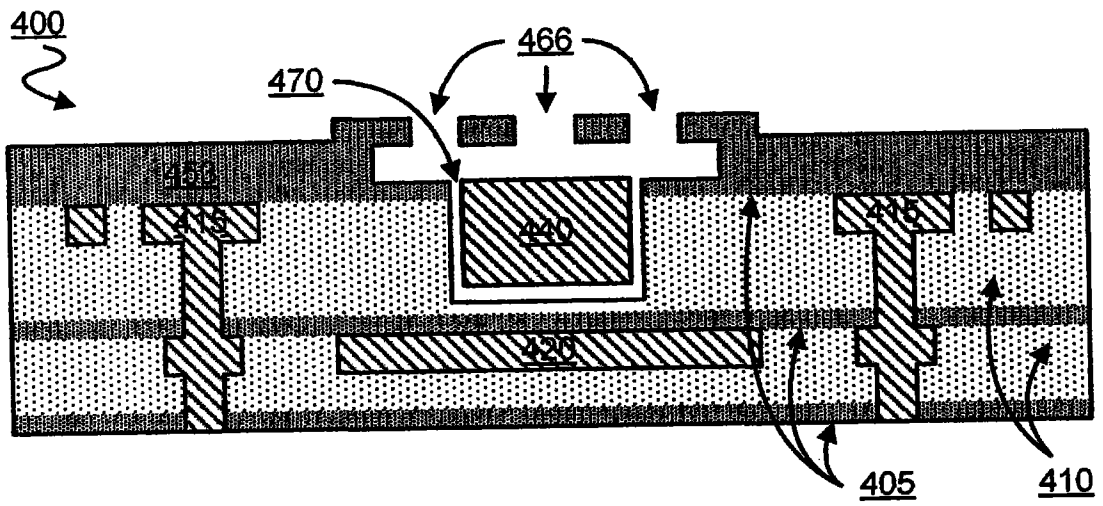


图 4H

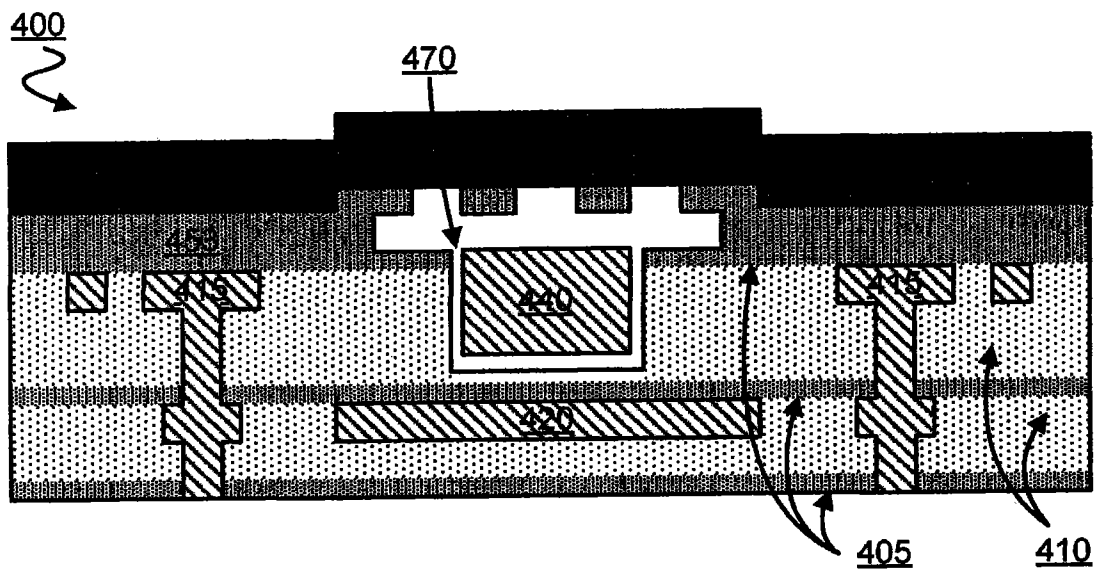


图 4I

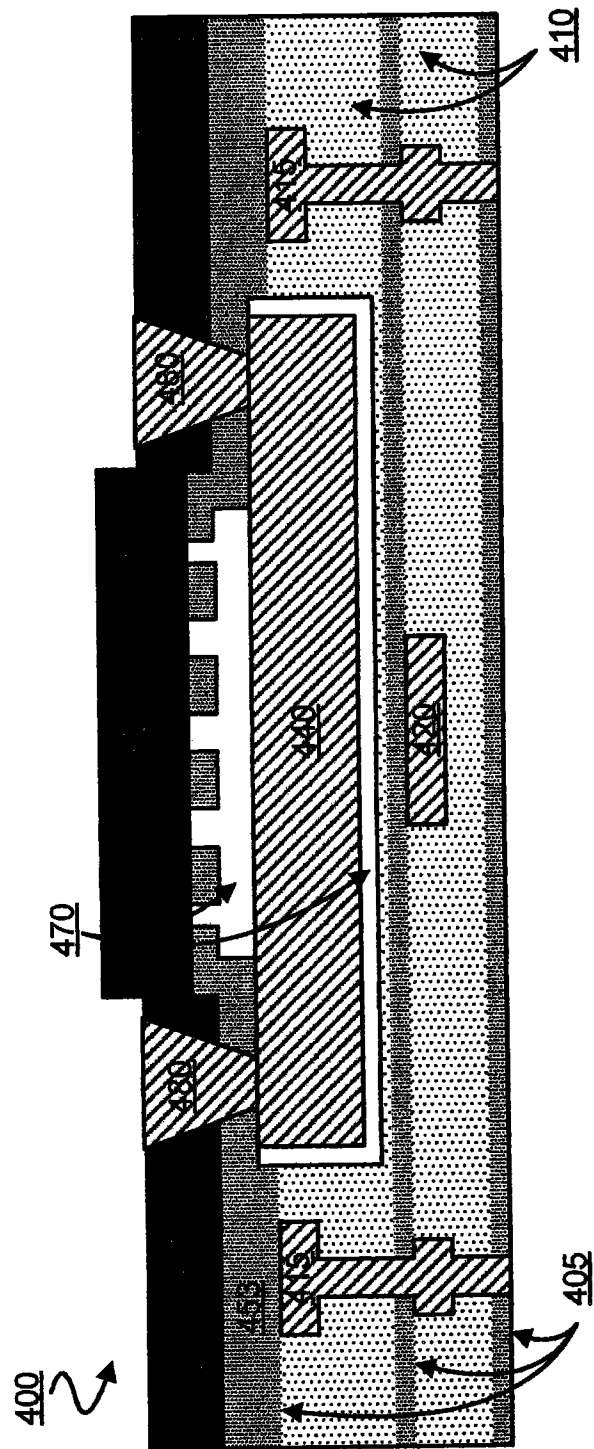


图 5