



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103663359 B

(45)授权公告日 2017.06.09

(21)申请号 201310583569.0

(22)申请日 2013.09.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103663359 A

(43)申请公布日 2014.03.26

(30)优先权数据

102012217133.9 2012.09.24 DE

(73)专利权人 罗伯特·博世有限公司

地址 德国斯图加特

(72)发明人 C·舍林 A·法伊

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 梁冰 杨国治

(51)Int.Cl.

B81C 1/00(2006.01)

B81B 7/00(2006.01)

B81B 3/00(2006.01)

(56)对比文件

EP 2060533 A2,2009.05.20,

US 6046067 A,2000.04.04,

US 2011/0057236 A1,2011.03.10,

US 2011/0095267 A1,2011.04.28,

CN 1180934 A,1998.05.06,

审查员 明晓婧

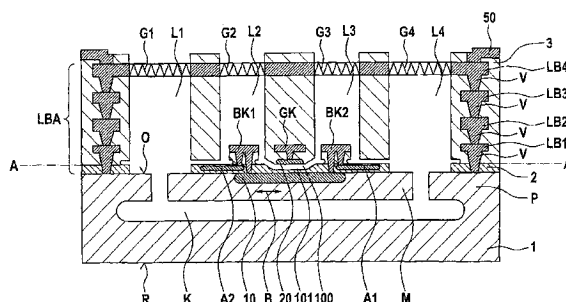
权利要求书2页 说明书6页 附图9页

(54)发明名称

微电子构件和相应的制造方法

(57)摘要

本发明提出一种微电子构件和相应的制造方法。该微电子构件包括一半导体衬底(1;1a),其具有正面(O)和背面(R);一在所述衬底(1)的正面(O)上的可弹性偏转的质量装置(M);至少一个设置在所述质量装置(M)中或上的源区(10;10');至少一个设置在所述质量装置(M)中或上的漏区(D1-D4;D1'-D10')和一在所述源区(10;10')和所述漏区(D1-D4;D1'-D10')上面悬挂在一印制电路系统(LBA)上的栅区(20;20'),所述栅区通过一间隙(100)与所述质量装置(M)间隔开。所述印制电路系统(LBA)这样地在所述衬底(1)的正面(O)上锚固在所述质量装置(M)的周边(P)上,使得在所述质量装置(M)偏转时所述栅区(20;20')保持固定。



1. 微电子构件, 具有:

一半导体衬底(1;1a), 其具有一正面(O)和一背面(R);

一在所述衬底(1)的正面(O)上的能弹性偏转的质量装置(M);

至少一个设置在所述质量装置(M)中或上的源区(10;10');

至少一个设置在所述质量装置(M)中或上的漏区(D1-D4;D1'-D10');以及

至少一个在所述源区(10;10')和所述漏区(D1-D4;D1'-D10')上面悬挂在一印制电路系统(LBA)上的栅区(20;20'), 所述栅区通过一间隙(100)与所述质量装置(M)间隔开;

其中, 所述印制电路系统(LBA)这样地在所述衬底(1)的正面(O)上锚固在所述质量装置(M)的周边(P)中, 使得所述栅区(20;20')在所述质量装置(M)偏转的情况下保持固定。

2. 按照权利要求1所述的微电子构件, 其中, 所述印制电路系统(LBA)具有多个嵌入一绝缘层(3)中的印制电路平面(LB1-LB4), 所述印制电路平面经由通孔(V)彼此垂直连接, 并且其中, 所述栅区(20;20')悬挂在所述印制电路平面(LB1-LB4)中的至少一个印制电路平面上。

3. 按照权利要求2所述的微电子构件, 其中, 用于所述漏区(D1-D4;D1'-D10')和/或所述源区(10;10)的电联接导线(A1-A8)在所述质量装置(M)上面的第一多晶硅层(P1)中绝缘地引导, 并且其中, 所述漏区(D1-D4;D1'-D10')和/或所述源区(10;10')经由各自的接触桥(BK1-BK8)与所属的联接导线(A1-A8)连接。

4. 按照权利要求3所述的微电子构件, 其中, 所述接触桥(BK1-BK8)布置在所述绝缘层(3)相应的孔(L2、L3)中。

5. 按照权利要求1到4中任一项所述的微电子构件, 其中, 设置一中央源区(10 ;10'), 并且其中, 设置多个与所述中央源区间隔开的漏区(D1-D4;D1'-D10'), 从而在所述质量装置(M)偏转的情况下能够产生相应的晶体管的差动的操控。

6. 按照权利要求1到4中任一项所述的微电子构件, 其中, 所述质量装置(M)经由一集成在所述衬底(1)中的弹簧装置(F1、F2)与所述周边(P)连接。

7. 按照权利要求5所述的微电子构件, 其中, 所述栅区(20;20')具有一中央区域(20' a), 从所述中央区域伸出多个指状物(20' b), 其中, 每个指状物(20' b)都形成一相应的晶体管的栅极。

8. 按照权利要求7所述的微电子构件, 其中指状物(20' b)平行延伸, 并且彼此具有第一距离(P1), 并且其中, 相应的平行的晶体管沟道(K1'-K10')具有一与所述第一距离(P1)不同的第二距离(P2)。

9. 按照权利要求2所述的微电子构件, 其中, 所述栅区(20;20')在第二多晶硅层(P2)中构成, 并且电联接到所述印制电路系统(LBA)上。

10. 按照权利要求1到4中任一项所述的微电子构件, 其中, 在所述漏区(D1-D4;D1'-D10')和/或所述源区(10;10')和/或沟道区(K1-K4)上设置另一绝缘层(2)。

11. 用于制造微电子构件的方法, 具有下列步骤:

提供一半导体衬底(1;1a), 其具有正面(O)和背面(R);

在所述衬底(1)的正面(O)上形成一能弹性偏转的质量装置(M);

形成至少一个设置在所述质量装置(M)中或上的源区(10;10');

形成至少一个设置在所述质量装置(M)中或上的漏区(D1-D4;D1'-D10');以及

形成一在所述源区(10;10')和所述漏区(D1-D4;D1'-D10')上面悬挂在一印制电路系统(LBA)上的栅区(20;20'),所述栅区通过一间隙(100)与所述质量装置(M)间隔开;

其中,所述印制电路系统(LBA)这样地在所述衬底(1)的正面(O)上锚固在所述质量装置(M)的周边(P)中,使得在所述质量装置(M)偏转时,所述栅区(20;20)保持固定。

12.按照权利要求11所述的方法,其中,为了形成所述质量装置(M),在所述衬底(1)中形成一空洞(K),接着,在正面(O)上沉积一外延层(1a),并且之后将所述源区(10;10')和所述漏区(D1-D4;D1'-D10')掺杂到所述正面(O)中。

13.按照权利要求11或12所述的方法,其中,在如下区域中沉积出牺牲层(P1、P2),所述区域被成为能偏转的并且在形成所述印制电路系统(LBA)之后在一最上面的印制电路平面(LB4)中形成一腐蚀栅(G1-G4),由此在所述印制电路系统(LBA)中形成孔(L1-L4),通过所述孔至少部分地去除所述牺牲层(P1、P2),从而使得所述区域成为能偏转的。

14.按照权利要求13所述的方法,其中,去除所述牺牲层(P1、P2)之后通过所述孔(L1-14)腐蚀所述衬底,以便形成一弹簧装置(F1、F2),经由所述弹簧装置使所述质量装置(M)能弹性偏转。

微电子构件和相应的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微电子构件和相应的制造方法。

背景技术

[0002] 微机械传感器,例如惯性传感器,主要借助于电容或压阻转换器实现。很久以来在文献中就报道了所谓移动栅惯性传感器,然而时至今日在市场上仍未见到这种类型的传感器。一个原因在于该种转换元件的制造类型,尤其是适当的牺牲层工艺的制备和带有适当的在机械上或热机械上良好确定的特性的CMOS层的可用性。

[0003] 通常在微机械学中使用氧化硅作为牺牲层。然而,在移动栅惯性传感器中,沟道区和源/漏触点是敞开的并且不受保护,因为在去除牺牲层时还强制地去除了薄的栅极氧化物。因此,这时沟道区的层不受保护地外露(frei),就像源区/漏区和沟道区之间的pn结一样。结果产生了干扰场效应晶体管的工作区或引起漂移和噪音以及使传感器元件不可靠的表面状态。

[0004] EP 0 990 911 A1描述了一种基于场效应的微机械传感器及其应用,其中,一个栅区相对于源区和漏区可移动。

[0005] US 2009/0317930 A1描述了一种借助于异构的牺牲层制造带有可偏转元件的结构的方法。

[0006] US 2011/0265574 A1描述了一个带有微机械功能元件和CMOS装置的系统。

[0007] DE 10 2009 029 217 A1描述了一种带有场效应晶体管的惯性传感器,其中,构造和布置成使得栅极电极固定,而沟道区可移动。

发明内容

[0008] 本发明提出一种微电子构件和相应的制造方法。

[0009] 按照本发明的制造方法允许成本低廉地制造一集成的微机械传感器。尤其可以产生带有良好定义的覆层特性的MEMS传感元件。该制造过程描述一个基本上封闭的硅表面。

[0010] 尤其使得例如由单晶硅制造耐用的机械的MEMS构件成为可能。其与CMOS层中的应力不具有关系或仅具有很小的相关性,并显示出一定定义的温度相关性。不需要厚的MEMS层的昂贵的沉积或转移键合(Transferbonden)。因此,可以以较高的质量表面密度成本低廉地实现厚的功能层。周围封闭的硅表面可供电路工艺使用。

[0011] 质量装置或惯性质量可以具有一较高的质量密度,因为不需要针对掏蚀(Unterätzung)的牺牲层腐蚀孔。优选的扩展方案是从属权项的主题。

[0012] 本发明所基于的想法是,MEMS构件作为转换元件具有一晶体管,其中,该晶体管的沟道区、源区和漏区集成在一以质量装置为的形式的可移动的机械功能单元中,其中,所述栅区悬挂在印制电路系统上,更确切地说,使得所述栅区在偏转的质量装置的情况下保持固定。

[0013] 可移动的机械功能单元与其周围的机械去耦是通过相对于所述印制电路系统或

相对于处于其下面的衬底的各间隙来实现的。这些间隙侧部地只通过一机械柔性连接和集成于其上的引线来过度张紧(überspannt)。

[0014] 所述印制电路系统和所述可移动的机械功能单元之间的间隙优选通过氧化物层向上和向下加以限制。这样的氧化物层同时在牺牲层腐蚀期间用作腐蚀停止层,并且用作钝化层,以避免不希望的表面泄漏电流。

[0015] 例如,可弹性偏转的质量装置可以用来探测诸如加速度和转动速率等惯性测量参数。

[0016] 本发明的优点

[0017] 根据一种优选的实施方式,所述印制电路系统具有多个嵌入到一绝缘层中的印制电路平面,它们通过通孔彼此垂直连接,其中,所述栅区悬挂在所述印制电路平面中的至少一个印制电路平面上。所述栅区在周围的CMOS层上的机械刚性悬挂,例如,通过金属连接件在最上面的印制电路平面中实现。这样的金属连接件必须在牺牲层腐蚀工艺中进行掏蚀,这必须在其尺寸设计和所述腐蚀孔的尺寸设计时予以考虑。相对于所述牺牲层的一比较大的距离是有利的,因此即使在定向的腐蚀步骤下也可以通过倾斜入射的离子进行一掏蚀,而不需要各向同性的后腐蚀。金属平面或印制电路系统例如经由一孔栅来负责所述栅区与周围的CMOS层的刚性连接以及所述栅区的电联接,此外还作为用于氧化物腐蚀的腐蚀掩膜。

[0018] 根据另一种优选的实施方式,用于所述漏区和/或源区的电联接导线在所述质量装置上面的第一多晶硅层中绝缘地引导,其中,所述漏区和/或源区通过各自的接触桥与所属的联接导线连接。这样的由多晶硅制成的电联接导线使得比相应的扩散导线更小的泄漏电流成为可能,其中,绝缘是通过pn-结实现的。此外,多个晶体管可以在以质量装置为形式的可移动的机械功能单元上进行联接。

[0019] 根据另一种优选的实施方式,所述接触桥布置在绝缘层的相应的孔中。这样所述接触桥便可以跟随所述质量装置的运动。

[0020] 根据另一种优选的实施方式,设置一中央源区,其中,设置多个与其间隔开的漏区,以便在所述质量装置偏转的情况下可以产生相应的晶体管的差动的操控。在应用两个晶体管对传感器信号进行的差动的评价规定,一个晶体管的导电性上升,而同时第二晶体管的导电性下降。这时,这种信号处理可以例如借助于惠斯登电桥来有利地转换,其中,可以实现高的准确度。差动测量的原理可以扩展到多个晶体管上,以此可以进一步提高准确度。

[0021] 根据另一种优选的实施方式,所述质量装置通过一集成在衬底中的弹簧装置与周边连接。所述质量装置与周围衬底的机械柔性连接优选通过一由衬底材料制成的单晶弹簧实现。这样的悬挂物从其机械特性上来看是良好定义的。

[0022] 根据另一种优选的实施方式,所述栅区具有一中央区域,由其伸出多个指状物,其中,每个指状物都形成一相应的晶体管的栅极。在所述质量装置上的由多个晶体管组成的侧向对称的晶体管系统的情况下,能够更好地抑制噪音。在这种情况下还可以使用一完整的惠斯登电桥。

[0023] 根据另一种优选的实施方式,所述指状物彼此平行地布置,并具有第一距离,其中,相应的平行的晶体管沟道具有一与所述第一距离不同的第二距离。在应用一个不同的

侧向周期时可以转换一游标原理(Nonius-Prinzip),使得刚性的栅极相对于所述可移动的质量装置的相对位置的特别准确的测量成为可能。尤其有利的是,所述晶体管沟道和所述栅极指状物的重心在它们静止状态下落到了一起。

[0024] 根据另一种优选的实施方式,所述栅区在第一第二多晶硅层中构造,并且电联接到所述印制电路系统上。所述MEMS构件可以例如包括两个多晶硅平面和一个金属平面。这时,下面的多晶硅平面用作晶体管端子用的电引线,用作在氧化物栅区中的腐蚀停止层并且用作栅区中的用于产生缝隙的牺牲层。这时上面的多晶硅平面用作栅极电极并且用作用于产生在所述刚性的栅区和所述可移动的机械功能单元之间的间隙的牺牲层。

[0025] 根据另一种优选的实施方式,在所述漏区和/或所述源区和/或所述沟道区上设置另一绝缘层。其改善电绝缘。

附图说明

[0026] 在下文中将参照在示意性附图中给出的实施例对本发明作较详细的阐述。其中:

[0027] 图1a)、b)示出了用于阐明按照本发明的第一实施方式的微电子构件的截面示意图,更确切地说,图1a)是垂直横截面,而图1b)是沿着图1a)中的A-A'线的水平横截面;

[0028] 图2a)-f)示出了用于阐明按照本发明的第一实施方式的微电子构件的制造方法的垂直截面示意图;

[0029] 图3示出了用于阐明按照本发明的第二实施方式的微电子构件的垂直截面示意图;以及

[0030] 图4示出了用于阐明按照本发明的第三实施方式的微电子构件的水平截面示意图。

具体实施方式

[0031] 附图中相同的附图标记表示相同的或功能相同的元件。

[0032] 图1a)、b)是用于阐明按照本发明第一实施例的微电子构件的截面示意图,更确切地说,图1a)是垂直的横截面,而图1b)是沿着图1a)中A-A'线的水平横截面。

[0033] 在图1a)、b)中展示了一微机械构件,其是一带有可移动沟道的惯性传感器。这时,附图标记1表示单晶的硅半导体衬底,其具有正面0和背面R。

[0034] 所述硅半导体衬底1具有一洞穴K,在其上面设置一可弹性偏转的质量装置M,该质量装置通过一弹簧装置F1、F2与所述硅半导体衬底1的周边P连接,其中,所述弹簧装置由第一硅弹簧F1和第二硅弹簧F2组成,它们是结构化(struktuiert)到所述硅半导体衬底1中的。因此,所述可弹性偏转的质量装置M可以沿着箭头B的方向移动,例如由于所出现的来自外部的加速度。

[0035] 向所述质量装置M中在其中央区域中集成一公共源区10,其例如是通过所述硅半导体衬底1的相应的掺杂而形成的。在所述公共源区10的两侧设置漏区D1-D4,更确切地说,一侧是漏区D1、D2,而另一侧是漏区D3、D4,它们与所述公共源区10间隔开,其中,在各自的与所述公共漏区的连接线上布置相应的沟道区K1-K4。

[0036] 在所述公共源区10和所述漏区D1-D4上面设置一悬挂在一印制电路系统LBA上的栅区20,该栅区通过间隙100与所述质量装置M间隔开。

[0037] 所述印制电路系统LBA有多个嵌入到一氧化物绝缘层3中的印制电路平面LB1-LB4,它们经由通孔V彼此垂直连接。在最上面的印制电路平面LB4和所述绝缘层3之上,所述栅区20这样地锚固在所述质量装置M的周边P中,使得在所述质量装置M偏转的情况下所述栅区20保持固定或刚性。

[0038] 在最上面的印制电路平面LB4中设置腐蚀栅G1-G4,在所述腐蚀栅下面,在所述绝缘层3中具有相应的腐蚀孔L1-L4。所述腐蚀栅G1-G4和所述腐蚀孔L1-L4用来制造所述微机械构件,并在下文中结合图2a-f更详细地加以描述。

[0039] 电联接导线A1-A8嵌入到所述硅半导体衬底的正面0上的由氧化物形成的另一绝缘层2中。所述联接导线A1-A8用于所述公共源区10和所述漏区D1-D4的电联接,其中,由通孔V和第一印制电路平面LB1的扇形部组成的各接触桥BK1-BK8产生了所述联接导线A1-A8与所述公共源区10或所述漏区D1-D4的连接。所述接触桥BK1、BK2在图1a)中详细地显示,反之,为清晰起见,它们在图1b)中只用各自的虚线表示。

[0040] 所述由氧化物形成的另一绝缘层2尤其覆盖所述联接导线A1-A8以及所述公共源区10和所述漏区D1-D4,使得不会出现不希望的表面泄漏电流。尤其是所述另一绝缘层2在用附图标记101表示的栅区20范围内变薄。

[0041] 同样在所述第一印制电路平面LB1中实现一栅触点GK,其通过相应的通孔与所述栅区20电连接。

[0042] 如图1b)所示,在静止状态下所述公共栅区20对称地覆盖相关的晶体管的所有沟道K1-K4,反之,在所述质量装置M偏转的状态下出现不对称覆盖,这例如可以评价为差分的电信号。

[0043] 电的接触桥GK1-GK8设置在所述绝缘层3的相应的腐蚀孔L2、L3中,以便使之在所述质量装置M偏转时不干扰或起挡块作用。

[0044] 最后,附图标记50表示一覆盖层,其设置在所述绝缘层3上的印制电路系统LBA上面并与最上面的印制电路平面LB4连接。

[0045] 在周边P中设置一(未示出的)电路区,其与所述联接导线A1-A8和所述栅触点GK连接,以便可以在所述周边P中评价所述电信号。

[0046] 图2a)-f)是用来阐明按照本发明的第一实施方式的微电子构件的制造方法的垂直横截面示意图。

[0047] 按照图2a),首先例如用从DE 103 58 859 A1中公开的APSM工艺在所述硅半导体衬底1中掏制一空洞K。接着,借助于一外延层(Epitaxieschicht)1a来加厚所述硅半导体衬底1,这在图2a)中用虚线表示。为简明起见,在下文中外延层1a的图示省略。

[0048] 在紧跟着的工艺步骤中进行掺杂过程,以便制造所述公共源区10和所述漏区D1-D8。

[0049] 进一步参见图2b),在所述硅半导体衬底1的正面0上设置至少一个氧化层2,在围绕所述弹簧F1、F2或围绕所述质量装置M延伸的区域上面设置一孔栅LG,其针对随后的腐蚀来用作掩模,正如图1b)虚线所示。

[0050] 因此,所述孔栅LG定义所述硅半导体衬底1中的可移动的机械结构。进一步参见2b),第一多晶硅平面P1和第二多晶硅平面P2设置在由氧化物构成的绝缘层2中或上。这时,所述第一多晶硅层P1的区域OB1和OB3如同所述第二多晶硅层P2的区域OB2一样,是牺牲层

区域。所述第一多晶硅层P1的区域A2形成所述公共源区10用的电联接导线A2,反之,所述第二多晶硅层P2的区域20形成所述栅区。

[0051] 所述牺牲层区域OB1、OB2、OB3在后续的工艺步骤中用于使可弹性偏转的质量装置M可移动,或形成所述质量装置M和所述栅区20以及周围的结构之间的间隙100。

[0052] 在图2c)绘出的下列工艺步骤中,通过沉积和结构化所述印制电路平面LBA连同处于它们之间的通孔V来形成所述印制电路平面LB1-LB4。尤其在所述第一印制电路平面LB1中形成所述桥触点BK1-BK8和所述栅触点GK。所述印制电路平面LB1-LB4嵌入一由氧化物构成的绝缘层3中。

[0053] 在最上面的印制电路平面LB4中,在如下的部位处形成相应的腐蚀栅G1-G4,在所述部位处随后在所述绝缘层3中形成所述腐蚀孔L1-L4。这借助于已知的穿孔工艺,在应用未示出的相应的掩模的情况下进行。

[0054] 如图2d)所示,这时在定向的腐蚀方法、例如反应性离子腐蚀中,针对所述绝缘层3的氧化物形成所述腐蚀孔L1-L4,所述腐蚀孔直达所述第二多晶硅平面P2或直达所述第一多晶硅平面P1。可选地可以针对所述绝缘层3的氧化物进行各向同性的气相腐蚀步骤,以便侧向地掏蚀所述印制电路系统LBA的金属栅极连接件。

[0055] 在同样在图2d)中绘出的下一个工艺步骤中,这时,例如在应用XeF₂或ClF₃等等的情况下进行所述牺牲层区域OB2和OB3的牺牲层腐蚀。这导致图2d)所示的状态。

[0056] 如图2e)所示,接着进行一短时间的腐蚀步骤,以便去除所述孔栅LG上面的所述牺牲层区域OB1上的氧化物。在某些情况下这还可以针对氧化物或多晶硅进行一共同的腐蚀步骤。

[0057] 在去除所述牺牲层区域OB1之后,在由孔栅LG定义的区域上,通过沟道腐蚀步骤来腐蚀所述硅半导体衬底1的硅,以使相应的弹簧F1、F2或所述质量装置M可以移动,如图2f)所示。

[0058] 由氧化物构成的所述孔栅LG可以通过一定向的氧化物腐蚀,例如用针对氧化物的反应性离子腐蚀,或者通过一短时间的各向同性的气相腐蚀步骤,在腐蚀孔L1下面的区域内予以去除,其中,在所述公共源区10或所述漏区B1-B8上保留所述绝缘层2的氧化物作为保护层。

[0059] 因此,制成按照图1a)、b)所示的微机械构件的结构。

[0060] 用于产生布置在周边P的电路系统的已知的步骤,在这里就不作较详细的说明,因为它们对一般的技术人员都是已知的。

[0061] 图3是用于阐明按照本发明的第二实施方式的微电子构件的垂直横截面示意图。

[0062] 在按照图3的第二实施方式中,进行所述栅区20到所述第二印制电路平面LB2上的悬挂,其中,该第二印制电路平面具有腐蚀栅G1'-G4',所述腐蚀栅具有处于其下的相应的腐蚀孔L1'-L4'。

[0063] 在其他方面,按照图3的第二实施方式与按照图1a)、b)的上述第一实施方式相同。

[0064] 图4是用于阐明按照本发明的第三实施方式的微电子构件的水平横截面示意图。

[0065] 在按照图4的第三实施方式中,所述栅区20'有一双侧的梳状结构,其中,设置一中央区域20a',在两侧各由其伸出多个平行的指状物20b',其中,每个指状物20b'都形成一相应的晶体管的栅极。

[0066] 所述相应的晶体管通过一公共源区10'以及在其两侧平行间隔的漏区D1'-D5'或D6'-D10'连同处于它们之间的沟道区K1'-K5'或K6'-K10'形成。

[0067] 在该第三实施方式中,所述平行的漏区D1'-D5或D6'-D10'具有一第一侧向周期或第一侧向距离P1,其中,所述相应的平行的晶体管沟道K1'-K5'或K6'-K10'具有一与所述第一距离P1不同的第二侧向周期或第二距离P2。以这种方式便可以转换一游标原理,其使得特别准确地测量刚性的栅区20'相对于所述可移动的质量单元M的相对位置成为可能。这时有利的是,所述晶体管沟道K1'-K5'或K6'-K10'和所述栅极指状物20'b的重心在中央区域20'a各侧在静止状态下落到了一起。

[0068] 尽管在上文中参照优选的实施例对本发明进行了完全的描述,但是本发明不限于此,而是可以以各式各样方式方法修改。

[0069] 尤其是给出的材料只作为示例而不是限制地给出的。例如,源区/漏区和栅区的数量、布置和设计也可以任意选择。

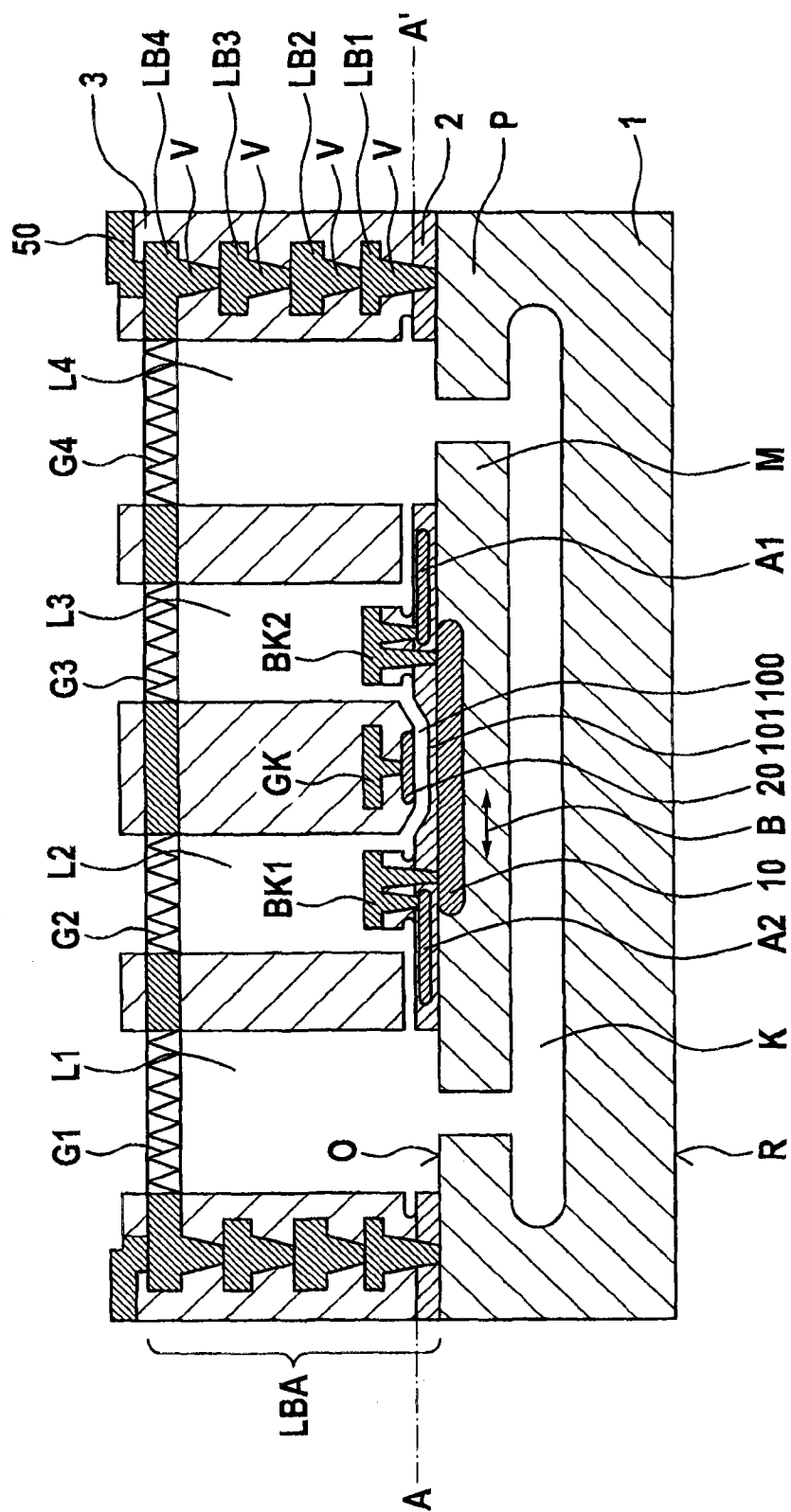


图1a

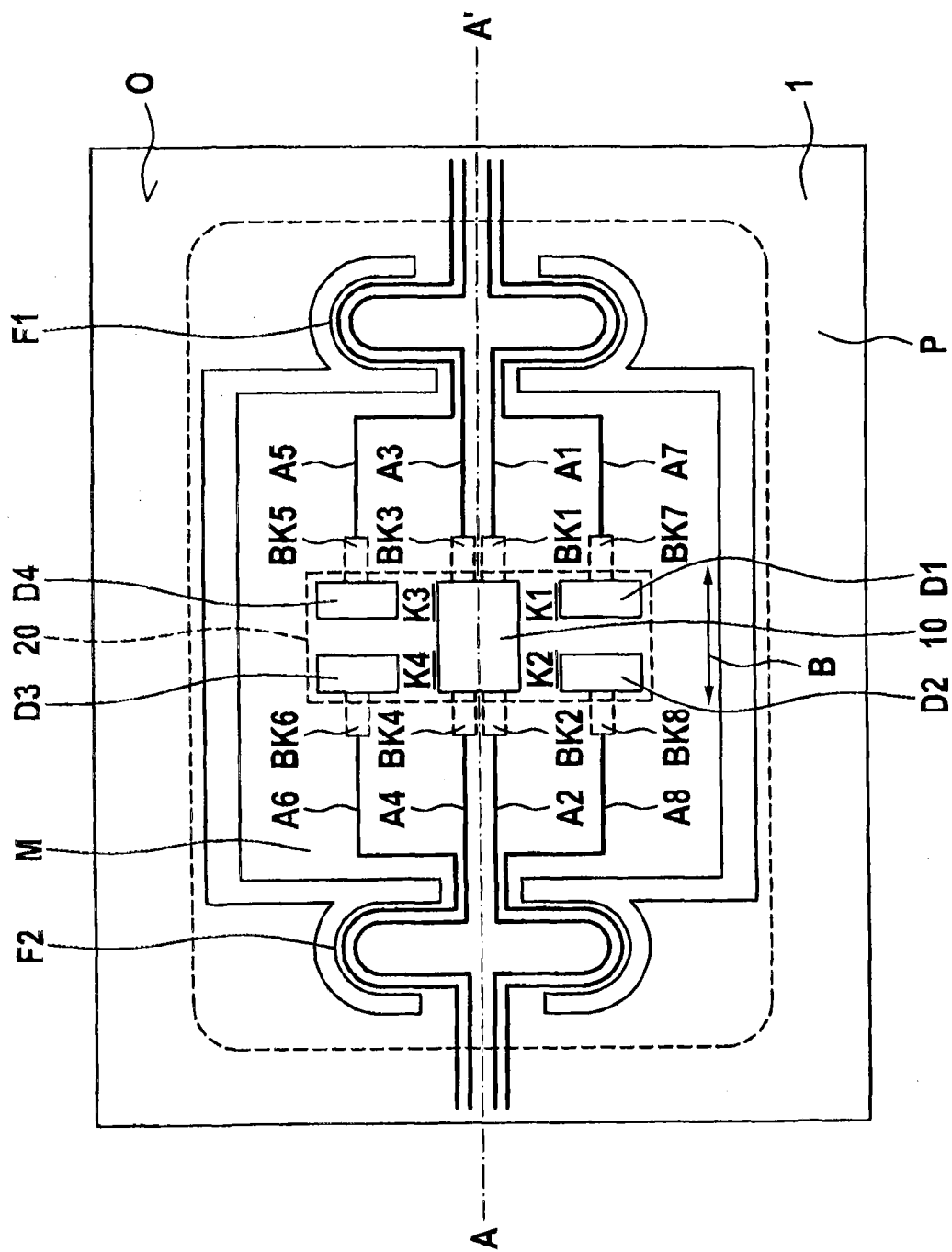


图1b

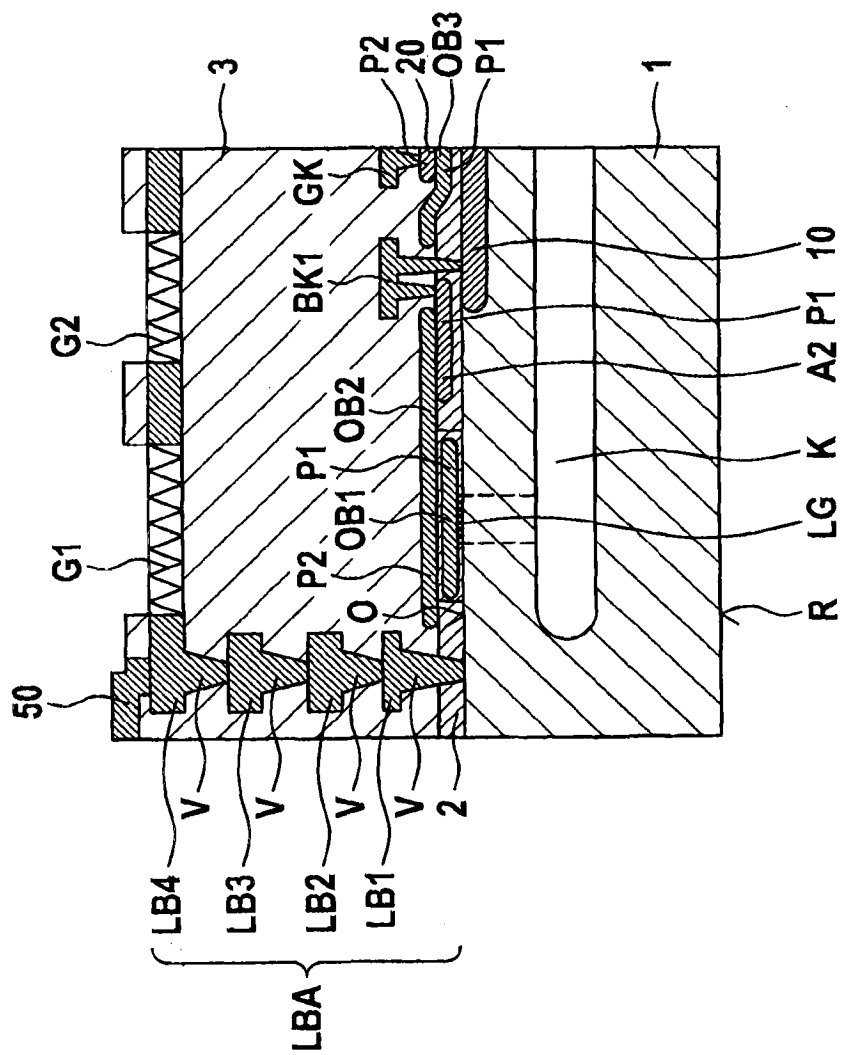


图2c

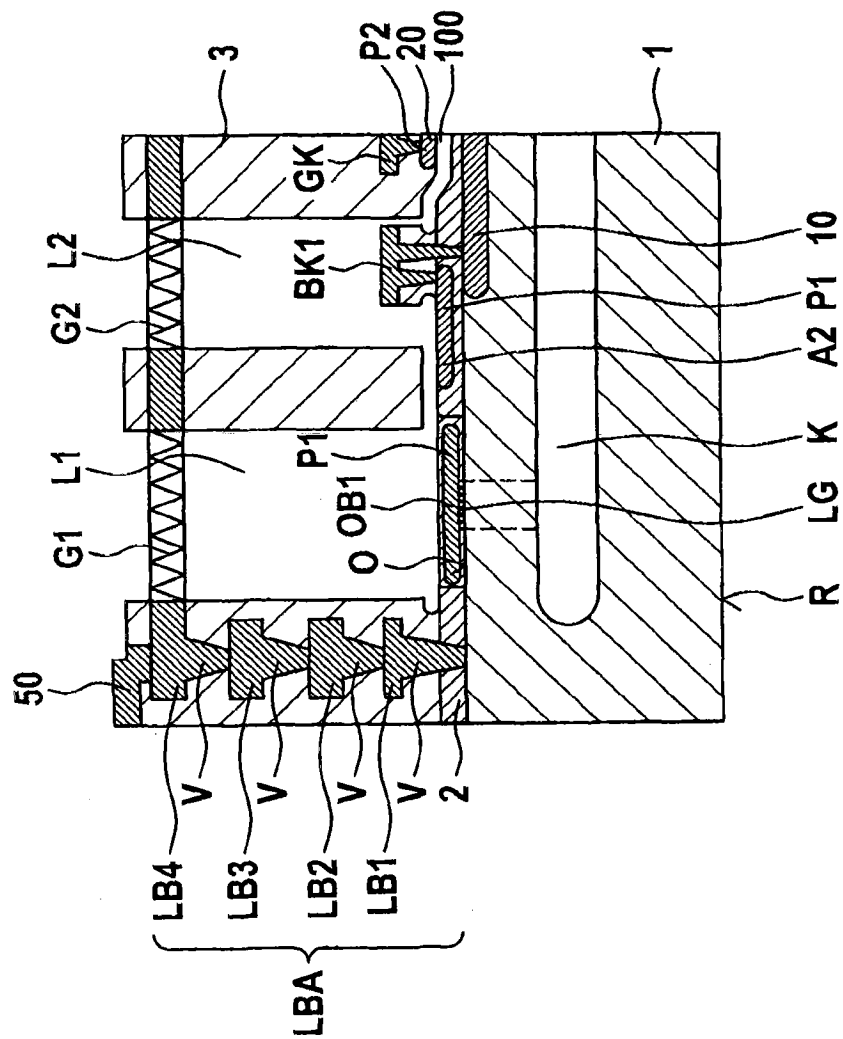


图2d

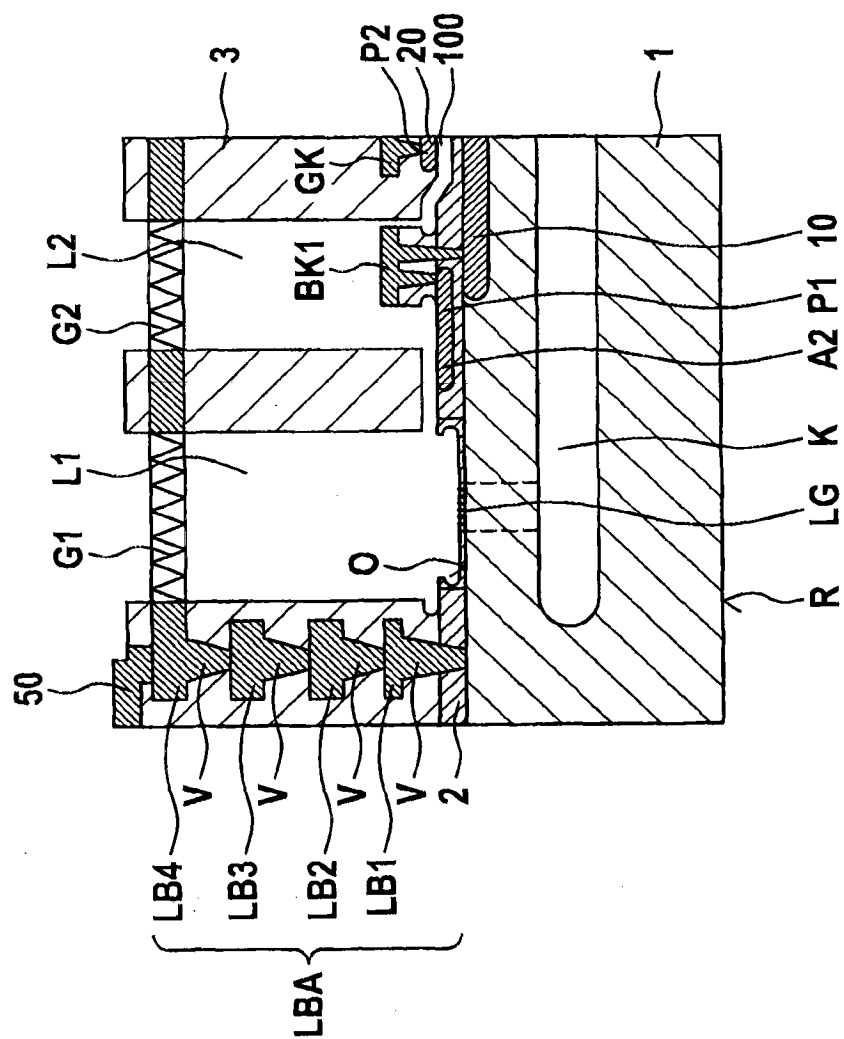


图 2e

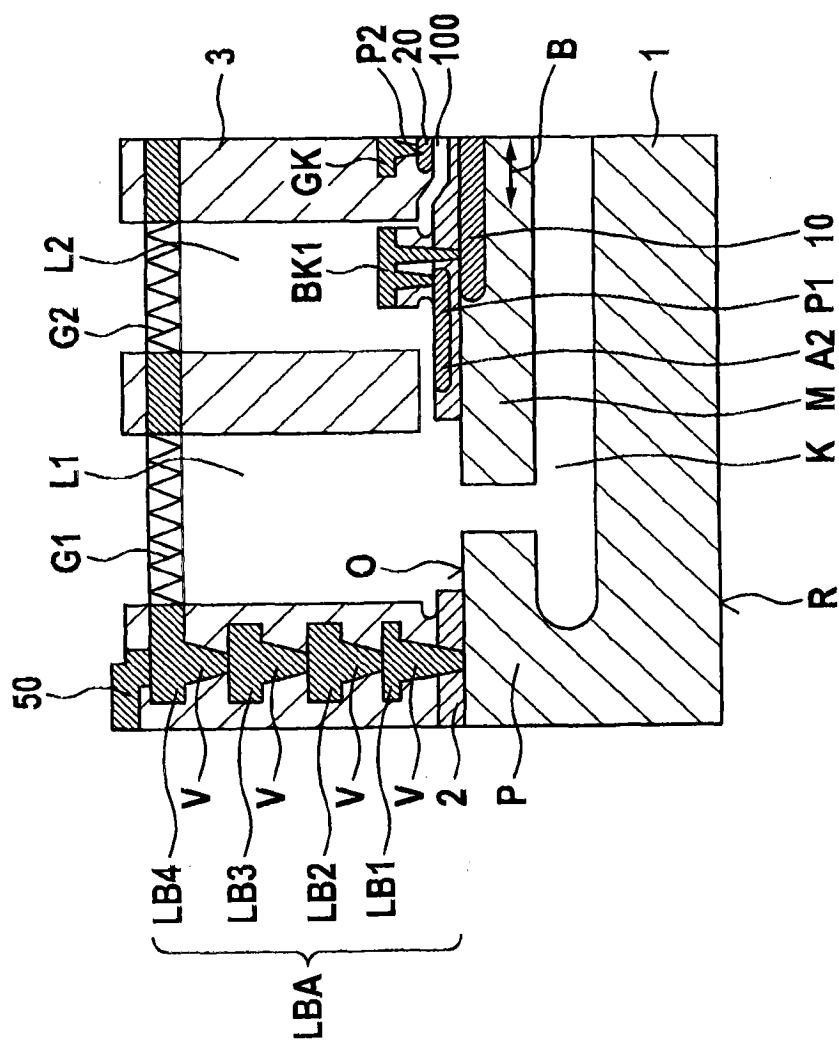


图 2f

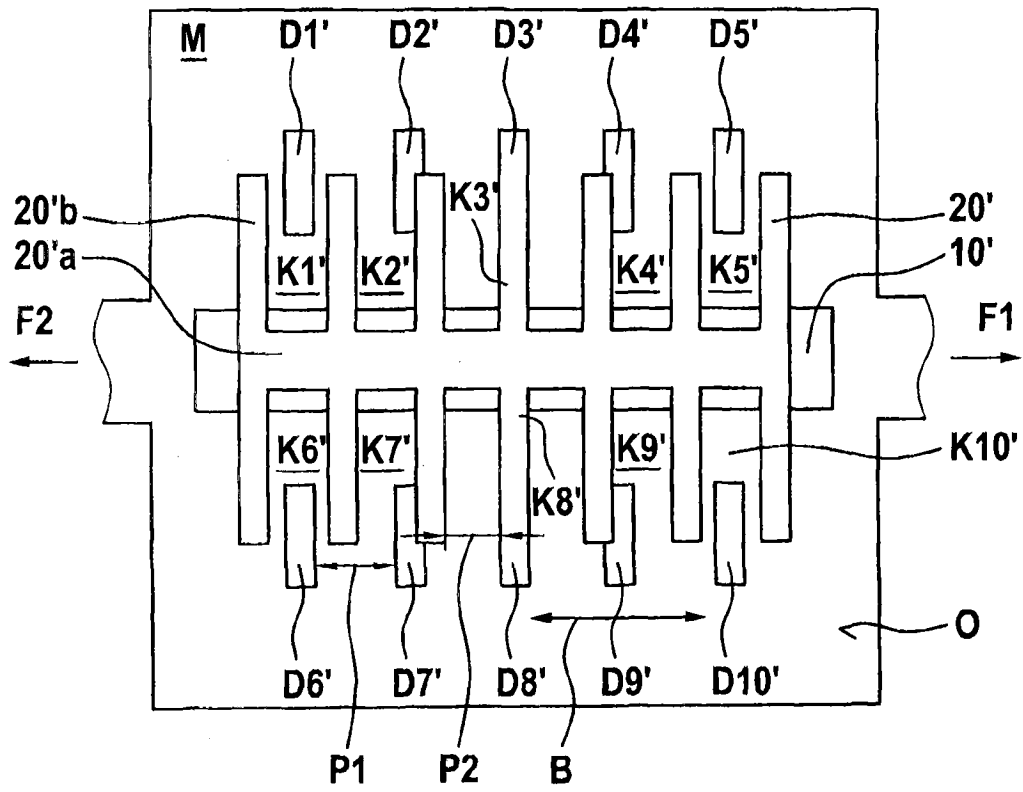


图4