



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102623221 B

(45)授权公告日 2016.12.07

(21)申请号 201110463346.1

(22)申请日 2011.12.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 102623221 A

(43)申请公布日 2012.08.01

(30)优先权数据
12/975090 2010.12.21 US

(73)专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72)发明人 A·J·德托尔 R·科尔德曼
C·基梅尔 M·艾米

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001
代理人 张金金 朱海煜

(51)Int.Cl.

H01H 11/00(2006.01)

H01H 59/00(2006.01)

(56)对比文件

US 20070222004 A1,2009.09.27,

US 20050029109 A1,2005.02.10,

US 20100237738 A1,2010.09.23,

CN 101364494 A,2009.02.11,

US 20070222004 A1,2009.09.27,

N.Eliasz等.Synthesis and

characterization of nickel tungsten
alloys by electrodeposition.

《Electrochimica Acta》.2005,第4卷(第50期),

审查员 余辉

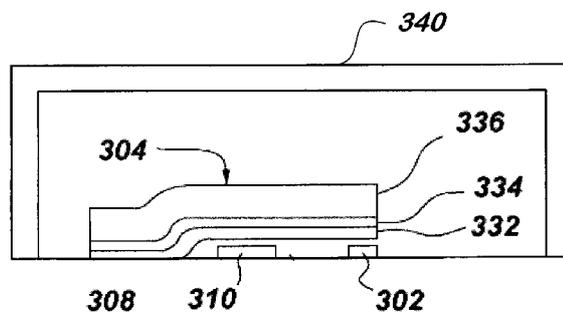
权利要求书1页 说明书13页 附图10页

(54)发明名称

组合物以及制造方法

(57)摘要

本发明涉及组合物以及制造方法。一种装置,包括衬底(308)和用沉积过程形成在所述衬底(308)上的金属层(336),对于沉积过程的该金属层的特征是具有预定的沉积态缺陷密度。作为制造过程的结果,金属层(336)相对于同样的层(336)或者具有相同的成分以及在相同的沉积条件下形成的另一层的预定的沉积态缺陷密度来说,其缺陷密度减小了。在相关的方法中,提供衬底(308)并且在所述衬底(308)上形成可移除层(330)。在可移除层(330)上形成金属层(336),并且进行图案化和刻蚀以在可移除层(330)上限定结构。可移除层(330)被移除,并且将所述金属层(336)加热长达超过在其上接合气密封盖(340)所必需的时间。



1. 一种制造开关结构的方法,包括:
提供衬底(308);
在所述衬底(308)上形成可移除层(330);
在所述可移除层(330)上沉积金属层(336),其包括至少50原子百分数的金属;
图案化并且刻蚀所述金属层(336)以在所述可移除层(330)上限定结构;
移除所述可移除层(330);以及
加热所述金属层(336)长达超过在其上接合气密密封盖(340)必需的时间。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中:
所述金属层(336)是导电的,并且在执行所述加热前以第一缺陷密度为特征;
所述加热提高所述金属层(336)的时间相关塑性变形特性;以及
所述加热在最小温度下持续最小时间段而执行,其中该最小温度和最小时间段分别是足以减小所述金属层(336)中的缺陷密度的最小温度和最小时间段。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中在所述加热以后,所述缺陷密度减小超过50%。
4. 根据权利要求2所述的方法,其中在所述加热以后,所述缺陷密度减小超过70%。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述加热在移除所述可移除层(330)之后执行。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中图案化和刻蚀以后,所述结构是悬臂梁(104)的形式,其上能够形成用于气密密封所述结构的盖(340)。
7. 根据权利要求1所述方法,进一步包括:
在所述衬底(308)上形成触点(102)和电极(110),并且在沉积所述金属层(336)之前使用所述可移除层(330)将所述触点(102)和所述电极(110)都封装,从而在移除所述可移除层(330)之后,通过在所述金属层(336)上施加力,所述金属层(336)的一部分能被移位以与所述触点(102)实现物理接触。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中沉积所述金属层包括:
在所述衬底(308)上形成粘附层(332);以及
在所述粘附层(332)上沉积种子层(334)。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述金属层(336)是使用电镀过程沉积的。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中所述金属层(336)包括包含有Ni和W的合金的金属层(336)。
11. 一种根据权利要求1所述的制造开关结构的方法制造的开关结构,所述方法包括:
提供衬底(308);
在所述衬底(308)上形成可移除层(330);
在所述可移除层(330)上沉积金属层(336),其包括至少50原子百分数的金属;
图案化并且刻蚀所述金属层(336)以在所述可移除层(330)上限定结构;
移除所述可移除层(330);以及
加热所述金属层(336)长达超过在其上接合气密密封盖(340)所必需的时间。

组合物以及制造方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请对应的美国申请是申请日为2009年11月30日、共同待审的美国专利申请12/627476“Switch Structures”的部分继续申请,以及申请日为2009年9月23日的美国专利申请12/565127“Switch Structure and Method”的部分继续申请。

技术领域

[0003] 本文公开的主题涉及机械装置,并且更特别地,涉及基于微机电(MEMs)和纳米-机电(NEMs)技术的装置。

背景技术

[0004] 用于包括断路器以及高电压、高电流开关的设置的众多用途的机械装置具有大的尺寸,并且经常需要大的动力来激活开关机构。这种传统的开关还以相对慢的速度来工作。它们通常很复杂,制造成本高。而且,当开关机构的触点在物理上分离时,已知会产生电弧,以及有时需要布置特殊电路来阻止电弧电流持续流经开关。与电弧相关的能量可能会使开关触点降级,或者引发危险情况。

[0005] 已经将固态开关用于高速应用,以通过受控的电压施加来在导电状态和非导电状态之间进行转换。因为它们处于非导电状态时,固态开关不提供触点之间的物理的间隙,通常会存在漏电流。由于装置的内部电阻,在导电状态下固态开关还存在电压降。在正常的工作条件下,电压降和漏电流导致功率耗散,并且产生热。这些对开关的性能以及开关的寿命有不利作用。与固态开关相关的固有漏电流使其在断路器应用中的使用不尽理想。

[0006] 基于微机电系统(MEMS)的开关装置对某些应用被认为是大型机电开关和固态开关的潜在的替代物。这是因为基于MEMS的开关倾向于在设为导电时具有低电阻,并且在设为非导电状态时能够展现出没有漏电流。进一步,期望基于MEMS的开关会展现出比传统的机电开关更快的响应时间。

发明内容

[0007] 在方法的一系列实施例中,提供衬底,并且在衬底上形成可移除层。包括至少五十原子百分数金属的金属层形成在可移除层上。该金属层被图案化并且刻蚀,以在可移除层上限定出结构。移除可移除层,并且将金属层加热一段时间,该时间超过在其上接合气密封盖所需的时间。

[0008] 在另外一系列实施例中,装置包括衬底以及使用沉积过程形成在衬底上的金属层,对于该沉积过程,导电层的特征是具有预定的沉积态缺陷密度。作为制造过程的结果,导电层的缺陷密度相对于该同一层的预定的沉积态缺陷密度或者具有类似成分(composition)并且在相似的沉积条件下形成的另一层中的预定的沉积态缺陷密度来说减小了。

附图说明

[0009] 当参考附图来阅读下文的详细描述时将能更好地理解本发明的这些以及其它的特征、方面以及优点,其中:

[0010] 图1是根据示例的实施例配置的开关结构的示意性透视图;

[0011] 图2是图1的开关结构的示意性侧视图;

[0012] 图3是图1的开关结构的示意性分解透视图;

[0013] 图4是图1的开关结构在断开位置的示意性侧视图;

[0014] 图5是图1的开关结构在闭合位置的示意性侧视图;

[0015] 图6A~C是图1的开关结构的侧视图,示出梁在接触和非接触位置之间的移动;

[0016] 图7是根据另一个示例的实施例配置的开关结构的示意性侧视图;

[0017] 图8是图7的开关结构的示意性侧视图;

[0018] 图9是图7的开关结构的示意性分解透视图;

[0019] 图10A~10F是表示用于制造根据示例的实施例配置的开关结构的过程的示意性侧视图;

[0020] 图11是根据另一个示例的实施例配置的开关结构的示意性透视图;

[0021] 图12是图11的开关结构的示意性侧视图;

[0022] 图13是图11的开关结构的示意性分解透视图;

[0023] 图14是根据又另一个示例的实施例配置的开关结构的示意性透视图;

[0024] 图15是图14的开关结构的示意性侧视图;

[0025] 图16是图14的开关结构的示意性分解透视图;

[0026] 图17是根据再另一个示例的实施例配置的开关结构的示意性透视图;

[0027] 图18是根据又另一个示例的实施例配置的开关结构的示意性侧视图;

[0028] 图19A是晶界的过滤TEM图像,其中示出了取向不一致的原子面相遇形成晶界;

[0029] 图19B是经过相对低温的热处理后的、类似于与图19A中示出的晶界的过滤的TEM图像;以及

[0030] 图20A和20B示出了应力松弛(stress relaxation)测试的结果,其示出了经过热处理后样品中提高的抗变形性。

[0031] 整个附图中,相似的参考数字指代相似的特征。

具体实施方式

[0032] 现在参考附图来描述示例的实施例。这些实施例中的一些可解决以上的和其它的需求。参考图1~3,示出了根据示例的实施例配置的开关结构100的几个视图。示例的开关结构100包括触点102,其至少部分地包括导电材料(例如,金属)。开关结构100还包括导电元件,示出为悬臂梁104,其包括导电材料(例如金属)。梁的悬臂部104a延伸到触点102之上。在一些实施例中,导电元件还可包括其它的特征,诸如,例如,在梁104上的保护涂层(且可能是非导电的),或者沿着计划将与触点102进行接触的梁的部分布置的接触盘。梁104可由锚106和基座107支撑,悬臂部104a从二者延伸,并且二者与梁成为一体。锚和基座用于将梁的悬臂部104a与下面的支撑结构、诸如示出的衬底108连接在一起。在图1~3所示的开关

结构100的实施例中,使用传统的微制造技术(例如,电镀、气相沉积、光刻、湿法和/或干法刻蚀,等等)将触点102和锚106形成在衬底108上。

[0033] 开关结构100可构成微机电或者纳米机电装置或者微机电系统(MEMS)的一部分。例如,触点102和梁104可具有几个或者几十纳米或微米级的尺寸。在一个实施例中,梁104可具有大于或者等于 10^8m^{-1} 的表面积-体积比率,而在另一个实施例中,该比率可能更接近 10^3m^{-1} 。

[0034] 集成电路可形成在衬底108上,例如包括金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFETs)以及用于在多种部件之间提供电连接的图案化的导电层(未示出)。这种图案化的导电层还可提供连接至触点102和梁104的电连接(与后者的连接,例如通过锚106进行),这些连接在图1和2中示意性地示出,并在下文描述。半导体装置和导电层,与开关结构100的特征类似,也可使用传统的微制造技术来制造。在一个实施例中,衬底108可以是已经过加工以包括一个或者多个MOSFETs的单晶半导体晶圆的一部分,其中开关结构100和其它的电路形成在晶圆的表面上。开关结构100可布置在MOSFETs的一个上(例如,沿着垂直于晶圆表面的线),并且可以能够与该MOSFET一起工作。

[0035] 还参考图4和5,梁104可配置成在图4中示出的第一位置和图5中示出的第二位置之间能选择性地移动,该第一位置是非接触的或者“断开”的位置,其中梁与触点102隔开有分离距离 d ,该第二位置是接触的或者“闭合”的位置,其中梁与触点102电接触。例如,梁104可配置成当在接触和非接触位置之间移动时进行变形,使得梁自然地(也就是没有外加力)布置于非接触位置,且梁可发生变形以占据接触位置,同时在其中存储机械能。在其它的实施例中,梁104的未变形配置可以是接触位置。

[0036] 开关结构100还可包括电极110,当适当充电时,其在电极和梁104之间提供电位差,产生将梁拉向电极且抵靠触点102的静电作用力。在电极110上施加足够的电压时,静电作用力使梁104变形,因此将使梁从图4中示出的非接触(也就是断开,或者非导电的)位置移位到图5中示出的接触(也就是闭合的或者导电的)位置。因此,电极110可用作关于开关结构100的“栅”,施加到电极110上的电压(称为“栅压”)用于控制开关结构的断开或闭合。电极110可与栅压源112通信,从而栅压 V_G 可以选择性地施加到电极110上。

[0037] 触点102和梁104是电路114的部件。示例性的电路114具有第一侧116和第二侧118,当互相切断时,二者相对于彼此处于不同的电位(因为其中只有一侧与电源120连接)。触点102和梁104可分别与电路114的两侧116、118中的任一个连接,这样在第一位置和第二位置之间的梁的变形起着分别使其电流通过和阻断电流的作用。梁104可以在由使用开关结构100的应用所确定的频率(可以是均匀的,或者非均匀的)下重复地移动至与触点102接触或者脱离与之接触。当触点102和梁104互相分离时,触点和梁之间的电压差叫做“分离电压(stand-off voltage)”。

[0038] 在一个实施例中,梁104可与电源120通信(例如通过锚106),并且触点102可与具有负载电阻 R_L 的电力负载122通信。电源120可作为为电压源或者电流源而工作。梁104起着电触点的作用,当梁在接触位置时,允许负载电流(例如具有大于或者等于大约1mA的幅度以及大约1kHz或者更小的振荡频率)从电源120流过梁104,流入触点102和电力负载122,或者相反,当梁位于非接触位置时,阻断电路路径,以及阻止电流从电源流到负载。上面指出的电流和转换频率可能用于相对较高的配电应用中。在其它的实施例中,诸如开关结构100将

用于信令环境中的应用(通常在相对较低的功率下工作),电源120可提供具有100mA或者更小的幅度(下界到1 μ A的范围)的电流,并且具有大于1kHz的振荡频率的电流。

[0039] 为了增加整个电路的电流和电压容量,上述的开关结构100可用做包括在设计上可以是相似的或者不相似的其它开关结构的电路的一部分。这样的开关结构可以配置成串联或者并联,以便在开关结构是断开时促进分离电压的均匀分布,而当开关结构是闭合时促进电流的均匀分布。

[0040] 在开关结构100的工作期间,梁104可能经受外加力,诸如由上文中提及的电极110产生的静电力,其引起梁在第一位置和第二位置之间变形(也就是与触点102接触以及脱离接触)。开关结构100可在室温下工作,以及在高达40 $^{\circ}$ C或高于40 $^{\circ}$ C的温度下工作,但是通常在低于形成梁的主要材料的熔化温度的50%或者30%的温度下工作。进一步,对于预期开关结构100拥有大约若干年的有用寿命的应用中(例如,相对较高的配电应用),梁104可保持与触点102接触长达至少10⁴秒的累计时间,并且在一些情况下超过10⁶秒,或者甚至10⁹秒的累计时间。进一步,当发生变形从而实现与触点102的电连接或者物理接触时,梁104可能经历相对高的应力。应力的幅度部分地依赖于开关结构100的几何形状以及梁的材料成分。

[0041] 作为上述的一个示例,开关结构100的悬臂梁104可以是含有镍(Ni)-12原子百分数的钨(W),或者镍(Ni)-20原子百分数的钨(W)的层,具有大约100 μ m的长度L,纵横比(长度L比厚度t)大约为25到1,以及与触点102的分隔距离d大约为1~3 μ m,其中触点定位在梁的自由端的对侧,并且与梁重叠距离L₀。对于这样的几何形状,当梁变形以与触点102接触时,在锚106或者梁104的主要部分中可能存在大于100MPa(例如600MPa或者更大)的应力。梁104或者锚106在正常的使用条件下可能需要承受该应力长达10⁴秒以上,或者10⁹秒以上,而没有失效。这些应力可区别于更局部化并且通常是瞬时的应力,该更局部化并且通常是瞬时的应力可存在于应力集中的区域周围,诸如在几何不规则、表面凹凸以及缺陷的周围。

[0042] 为了包括悬臂梁(或者其它的可变形的接触结构)以及相关触点的开关结构(诸如开关结构100)的恰当工作,通常期望梁选择性地位于由促使梁与触点物理接触的外力的存在与否来决定(例如,由与电极110相关的栅压的施加引起的静电力)的接触位置或者非接触位置。然而,许多的研究者已经发现,包括金属的、微米尺度的悬臂梁(或者其它的可变形的接触结构)的开关结构倾向于发生故障,这样开关结构的性能不如预期。这些故障通常归因于表面粘附相关的问题。特别地,根据存在于微米尺度的梁(或者其它的可变形的接触结构)中的大的表面积-体积比率,与自由表面(在自由表面,梁与关联的接触盘相接触)的去除相关的能量降低可能是影响因素,并且其甚至相对于梁在变形期间存储的机械能较大。因此,悬臂梁以及相关的触点在外力(反而促使二者接触)移除后,可能保持互相粘附,因为梁的内部的应变能不足以引起梁从触点上分离。

[0043] 与主流的理论对比,申请人已有的观察表明:包括金属的、小尺度的悬臂梁的开关结构的失效经常并不是主要由于梁和相关的触点之间的粘附,反而主要是归因于梁的未变形配置的改变。也就是,当施加外力促使梁与相关的触点接触时,梁经受永久的时间相关的塑性变形,也叫做“蠕变”或者应力松弛。

[0044] 在梁经受塑性变形时,在将梁移动至接触配置的外力不存在时,梁的形状变得与梁位于接触位置时的梁的形状更相似。相似地,当梁在接触位置时最初与梁相关的机械应变能减小了,在一些情况下接近于零。最后,开关结构可能由于梁和关联的触点之间的粘附

而失效,但是这一失效机制可能是次要的,并且可能是由于与处于接触位置的梁相关的机械应变能的减小。换句话说,在企图断开开关(释放梁)时,梁由于经过一段时间后材料的永久变形而保持在相同的闭合位置,致使开关不能工作。在开关结构梁中时间相关的塑性变形的程度是令人惊讶的,因为这些装置典型地是在低于形成梁的金属材料的熔化温度的50%,例如低于该熔化温度的30%的环境下工作的。典型地需要高于熔化温度的至少30%到50%的温度才能引起块体材料可测的蠕变。

[0045] 本文使用的术语“金属材料”指的是一层或者多层的材料,其中一层含有至少50原子百分数的金属,其可能是合金。

[0046] 本文使用的术语“抗蠕变性”指的是当材料经受持续的负载或者应力时,材料抵抗时间相关的塑性变形的能力。相似地,术语抗蠕变性还用来描述当材料经受恒定的应变(例如在应力松弛实验中)时抵抗时间相关的应力松弛的能力。蠕变可以以多种方式自身出现,包括在恒定的负载下形状的改变,或者在恒定的变形下应力的改变。考虑到上述的发现,根据本文提出的实施例,梁104可以主要由金属材料,例如超过50的原子百分数的金属材料形成,其具有提高的抗蠕变性。也就是,材料可配置成或者处理成诸如在范围从室温上至40°C或者超过40°C,或者更通常地低于形成梁的主要材料的熔化温度的50%的温度下抑制时间相关的变形。如果梁是由多种离散的金属材料形成的,该范围可能低于构成梁的主要部分的金属中的一种的最低的熔化温度的50%。

[0047] 配置成抑制时间相关的变形的材料,在本文指的是“抗蠕变”材料,当经受持续的负载或者应力时,展现出相对小的稳态塑性应变率。构成“小的”塑性应变率的情况可依赖于蠕变在其中可能产生的环境。为了当前的目的,抗蠕变材料通常是如下的材料:针对该材料,在低于蠕变材料的熔化温度的一半(例如低于形成梁的主要的材料的熔化温度的一半)的温度下,对高达材料的屈服强度的大约25%的应力,稳态塑性应变率小于或者等于大约 10^{-12}s^{-1} 。如果蠕变材料是由多种离散的金属材料形成的,该范围可低于组成蠕变材料的主要部分的金属中的一种的最低熔化温度的50%。进一步,当梁的机械性能通常或者主要由构成的抗蠕变金属材料的机械性能决定的时候,梁104可被认为“主要由”配置成抑制时间相关的变形的金属材料“形成”。

[0048] 多种化学化合物当在低于材料的熔化温度的大约一半,例如低于材料的熔化温度的三分之一的温度范围内的最高温度下使用时可以作为抗蠕变金属材料,。这些材料可通过多种方式来合成,从而产生多种可工作的微结构。例如,抗蠕变性可通过熔化温度的增大而产生,这在给定的工作条件下,将减慢基于扩散的恢复过程。抗蠕变性还可以是微结构处理的结果。例如,晶体材料可以由小晶粒尺寸形成,因此在适中的温度下(例如,低于金属材料的熔点温度的70%的温度下)限制了与位错运动相关的蠕变。添加剂可以熔解在晶格中,因此导致固溶强化(solid solution strengthening),或者可形成另一相(例如,通过在晶界或者在晶格内部析出)。添加剂可作为离散的微粒,用于阻止位错运动,抑制扩散,或者在晶格中用作空穴的陷阱。在一些实施例中,可以用氧化物或者碳化物作为添加剂。通常地,抗蠕变材料的示例包括超合金,包括Ni基的和/或钴(Co)基的超合金,Ni-W合金,Ni-Mn合金,含有少量的Ni和/或Co的金(“硬金”),W,金属间化合物,经受了固溶和/或第二相强化的材料,以及具有抑制塑性变形的诸如六方结构的晶体结构的材料,或者具有低堆垛层错能的材料。

[0049] 通过主要使用具有相对高的熔化温度的抗蠕变材料来形成梁104, 申请人观察到在使用期间明显的蠕变可被避免, 这样在梁和触点102之间的分离距离 d 例如在使用时间长达1年、在一些情况下超过20年后可维持相当恒定, 例如其初始数值的20~40%之内。换句话说, 对每个例子, 其中梁104被施加的力从非接触位置(这里梁与触点102隔开距离 d)促使朝着接触位置靠近, 并且然后移除施加的力, 梁将基本上回到非接触的位置, 这样梁与触点分离的距离为 d , 这里 d 的值的变化的变化小于40%, 在一些情况下小于20%。

[0050] 一种示例性的抗蠕变材料是含有Ni和W的合金。申请人发现含有至少65原子百分数的Ni以及至少1原子百分数的W的合金倾向于展示出增强的抗蠕变性。申请人观察的展示出这样的抗蠕变性的合金的特定的一个示例是Ni-20原子百分数的W, 也就是含有Ni和W的材料, 其中W分量占材料的20原子百分数。然而, 如上文指出的, 主要含有Ni以及低至大约1原子百分数的W(范围可高达或者高于30%原子百分数的W)的合金, 预期会显示出提高的抗蠕变性, 并且蠕变被抑制的程度将与W的含量成比例。

[0051] 根据几个实施例的Ni和W的合金(例如, 当在直流条件下电镀时), 具有小于或者等于大约 $1\mu\text{m}$ 的平均晶粒尺寸, 并且在一些情况下尺寸减小到大约10nm。例如, 可通过电沉积形成含有80原子百分数的Ni以及20原子百分数的W的合金, 来生产具有大约10~100nm的平均晶粒尺寸的Ni-W材料的膜。Ni-W膜随后被暴露在提高的温度下, 例如通过在300~450°C下退火30分钟或者更长时间, 来进一步增强材料的抗蠕变性。通常地, 申请人发现在相对低的温度下对Ni-W膜进行退火, 但是这些温度高于使用条件下将要经历的温度(在较高的配电应用中, 倾向于低于或者等于大约250°C), 对限制由退火的Ni-W膜形成的结构所经历的时间相关的变形的程度是有作用的。

[0052] 如上文指出的, 与上述的主要由配置成抑制时间相关的变形的金属材料形成的开关结构100的生产相关的过程温度是适中的, 并且可低于450°C, 但更高的退火温度, 例如范围高达700°C或者更高也是合适的。在相对低的温度下, 例如在250°C到500°C之间, 执行有效的退火来慢慢增强抗蠕变特性的能力, 与由硅形成导体所需的大体上较高的温度(例如, 当采用传统的掺杂程序时典型地高于900°C)形成对比。与开关结构100的退火相关的较低的处理温度有利于开关结构与热敏部件(诸如, 例如, MOSFETs)的集成。

[0053] 梁104的抗蠕变材料可包括其它的二元合金, 包括Al、Ti、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Nb、Mo、Ag、Ta和W的任意组合。梁104的抗蠕变材料还可包括非晶金属。合适的非晶金属的示例包括至少Ni、W和铁(Fe)的合金, 其中合金包括大约80原子百分数或者更多的Ni, 大约1到20原子百分数之间的W, 以及大约1原子百分数或者更少的Fe。这些材料的特点是它们缺乏长程原子有序性, 以及通常被认为是相对具有抗塑性变形性。通过混合多种不同的通常具有各种原子大小的元素可形成多种非晶合金, 这样在从液态冷却期间, 组成原子不能自身调整而进入平衡晶态。非晶金属的其它示例包括, 但是不限于, 含有55原子百分数的钯(Pd)、22.5原子百分数的铅, 以及22.5原子百分数的铈的合金; 含有41.2原子百分数的锆(Zr)、13.8原子百分数的钛、12.5原子百分数的铜、10原子百分数的Ni以及22.5原子百分数的铍的合金; 以及基于Zr、Pd、Fe、Ti、Cu或镁的非晶合金。

[0054] 抗蠕变材料的主导组成可以是非磁性的金属材料。例如, 梁104可由铝、铂、银和/或Cu形成。由非磁性的材料形成梁104可有利于将开关结构100用于这样的环境中, 其中开关结构预期在有强磁场存在的情况下工作, 诸如在磁共振成像应用中。

[0055] 进一步考虑到申请人的发现,梁104可配置成在使用条件下限制由于形成梁的主要的金属材料的时间相关的塑性变形而发生的梁的永久变形,其中使用条件包括低于构成梁的主要部分的金属中的一种所关联的最低熔化温度的50%或者甚至低于30%的温度。在限制梁104的永久变形的实施例中,当梁的机械性能基本上或者主要由组成的金属材料的机械性能决定时,梁可以被认为是由金属材料“主要形成”。梁可能有时布置于断开位置,其中梁与触点102隔开分离距离 d 。在其它时候,梁104可布置于闭合位置,其中梁与触点102进行接触。在开关结构100的工作期间,其中梁104的永久变形被限制,在室温与金属材料的熔化温度(或者在金属材料包括多种离散的金属材料的情况下,指的是形成梁的主要的金属材料中的一种的熔化温度)的大约一半之间的温度下,梁104可经过至少 10^7 秒的累计时间而变形到闭合位置。可在几何形状上配置梁104,这样继这种变形之后,梁104和触点102之间的分离距离 d ,在不存在外力的情况下,在累计时间上的变化量小于20%。这就是说,在累计时间上的任何时间得到的 d 的测量值将产生变化不超过20%的结果。

[0056] 例如,参考图6A~6C,在时间 $t_0 < 0$ 时,梁104布置于第一、非接触的位置,其中梁与触点102隔开分离距离 $d = d_0$ 。为了使梁变形至第二、接触的位置,然后可在时间 $t_1 = 0$ 时在梁104上施加力 F ,这样梁与触点102进行接触。然后梁104可维持在第二位置直到时间 $t_2 = 10^7$ 秒,在此时间点力 F 可被移除。当力 F 被移除时,梁104可重新回到非接触位置,即与触点102隔开分离距离 $d = d_1$ 。

[0057] 当梁104经历的应力小于引起形成梁的主要的金属材料的永久塑性变形所必须的应力时,也就是当梁完全不存在时间相关的塑性变形的效应时, $d_0 = d_1$ 。在不导致永久塑性变形的条件下,预计维持梁104在第二位置所需要的力 F 的幅度,以及当布置于第二位置时存储在梁中的机械能的量分别作为时间的函数都保持不变。然而,在适度的时间相关的塑性变形的条件下, d_1 小于 d_0 ,并且梁104能够配置成保证触点102和梁之间的分离距离 d 在预定的时间段上保持足够的量,来使开关结构100适当发挥作用。

[0058] 例如,梁104可配置成保证 $d_1 \geq 0.8d_0$ 。梁104可在变形期间存储足够的能量来引起梁在不存在外力时基本处于第一位置(例如,在20%以内)。梁104和锚107可在二者间定义一个角度 θ ,梁104可配置成使得由于梁在第一位置和第二位置之间变形而在没有作用于梁的外力存在的情况下角度 θ 的变化量小于0.5%,并且在一些情况下小于0.1%。

[0059] 申请人进一步发现,对于包含了悬臂梁的开关结构,例如,图1中示出的开关结构,梁的锚(或者使梁以另一方式从结构上悬臂式安置的该结构)中的时间相关的塑性变形可能是导致整个梁配置的永久改变的重要原因。在 $d_1 \geq 0.8d_0$ 的实施例中,梁104可配置成使得当梁变形至第二位置时,在锚中的最大的、非局部的、稳态的应变率保持在小于大约 10^{-12}s^{-1} 。梁104可配置成使得锚106经历的总塑性应变保持小于在梁进入接触位置的最初变形时(先于梁内的任何明显蠕变)在锚中引起的弹性应变的某个百分数。例如,如果梁104进入第二位置的最初的变形在锚106中引起第一弹性应变,并且其后梁变形至第二位置长达至少 10^7 秒的累计时间,梁可配置成使得锚经历小于第一弹性应变的大约一半的最大的、非局部的总塑性应变。

[0060] 梁104可被设计成限制在梁的变形期间在锚106中实现的应力低于一个阈值,若高于该阈值则将实现过多的塑性变形。该阈应力取决于以下中的一个或者多个:梁104变形时的温度,在应用中能够承受的梁的形状改变的量,以及形成梁的主要的材料,包括材料的成

分以及微结构中。

[0061] 例如,对于开关结构100在低于形成梁104的主要材料的熔化温度的大约一半的温度下工作的应用,申请人发现,在梁包括是具有至少65原子百分数的镍以及至少1原子百分数的钨的合金的组成金属材料时,当在锚的非局部部分(也就是远离高度局部化应力集中区域)的应力小于1000Mpa时,能达到可接受的性能(例如,当经过 10^7 秒或者甚至高达 10^8 秒的变形累计时间时,梁和触点之间的分离距离的变化小于20%)。作为其它示例,申请人发现,当锚的非局部部分(也就是远离高度局部化应力集中区域)中的应力小于45MPa时,经过一年时间间隔能够达到可接受的性能;当锚的非局部部分(也就是远离高度局部化应力集中区域)中的应力小于20MPa时,经过二十年时间间隔,能够达到可接受的性能。在这些实施例中,组成金属材料可包括80原子百分数的金和20原子百分数的镍。申请人还发现,对于由纯金形成的梁,当锚的非局部部分中的应力小于25MPa时,经过一年时间间隔,能够达到可接受的性能。

[0062] 总体来说,梁104可设计成在锚106中限制应力和/或塑性应变。例如,参考图7~9,开关结构200可包括触点202和导电元件,诸如主要由导电材料(例如,金属)形成的悬臂梁204。梁204可通过锚206和基座207支撑,二者可与梁集成在一起,并且可用于将梁与下面的支撑结构,诸如衬底208连接在一起。触点202也可以由衬底208支撑。开关结构200还可包括配置成致动梁204的电极210。

[0063] 各种物理和/或设计参数可影响锚206中的应力。开关结构200的特征例如可以由下述的任意量表表征:梁长 L_B ,梁宽 W_B ,梁厚 t_B ,触点长度 L_C ,触点宽度 W_C ,触点厚度 t_C ,梁-触点分离距离(在不存在外力时) d_{BC} ,梁-电极重叠距离 L_E (从梁204的端部205开始测量),电极宽度 W_E ,梁-电极分离距离(在不存在外力时) d_{BE} ,梁成分的材料性质,以及梁和电极210之间的最大电压差 V_{max} 。基于这些参数的值的选择,结合期望的工作温度,可生产出开关结构,其在锚206的区域具有足够低的应力,使开关结构200的工作寿命能够大于一年,并且甚至大于20年。

[0064] 在一些实施例中,梁204的厚度 t_B 能够至少为 $1\mu m$ 。大约 $1\mu m$ 或者更大的厚度 t_B 可限制梁的后续变形(由于在提高的温度下的后续处理)。梁204的长度 L_B 能够至少为大约 $20\mu m$ 。触点202可布置成在由重叠长度 L_0 限定的区域上与梁204相对,其中长度 L_0 在梁的自由端205的20%以内。电极210可布置成在梁204的自由端205的50%以内,并且在一些实施例中在自由端的20%到30%以内。

[0065] 梁204可具有小于厚度 t_B 的大约200倍的长度 L_B ,并且该长度 L_B 小于梁和相关的触点202之间的分离距离 d_{BC} 的大约1000倍。在梁204具有较大的纵横比或者与触点202隔开较小的距离的情况下,当梁变形达到接触位置时在梁中引起的应力可能相对较低。然而,当梁204的长度增加时,在给定的区域能够布置的梁的数量会降低。进一步,当分离距离 d_{BC} 减小时,除了蠕变相关的变形之外其他的失效机制可能变成重要的。例如,当梁204和触点202互相接近时,对于给定的电压差,它们之间的吸引力增加,并且这种吸引力可变得足够大,引起梁无意中处于接触位置(例如,甚至在电极210上没有电压存在的情况下)。而且,梁204和触点202之间的区域可更有可能由于例如场致发射而经历电击穿。

[0066] 通过配置梁104、204来避免使用期间的明显的蠕变,在经过了长达一年并且在一些情况下高达20年(是一些应用中的需求)的使用时间,梁和触点102、202之间的分离距离

d_{BC} 可维持相当恒定,也就是说,在其最初值的20%以内。换句话说,对每一个实例,其中梁104、204被施加的力促使离开非接触位置(其中梁与触点102、202隔开距离 d_{BC})并且朝向接触位置,并且随后施加的力被移除,梁将基本上回到非接触位置,这样梁与触点隔开距离 d_{BC} ,这里 d_{BC} 的值的改变小于20%。

[0067] 基于开关结构200的上述参考的设计参数的值的选择,包括选择梁的材料和工作温度,申请人发现能够生产开关结构,其中锚206的区域内的应力足够低,以使开关结构200的工作寿命(例如,梁204和触点202之间的分离距离的改变小于20%,也就是, $d_1 \geq 0.8d_0$)能够达到至少1年,并且大于20年。下面的表格提供了申请人观察到这种可接受的性能的参数值、工作温度,以及梁的材料的不同组合。

[0068]

参数	Au梁	Ni-12原子百分数W的梁
工作寿命(年)	20	20
工作温度(°C)	80	200
$L_B(\mu m)$	190	95
$t_B(\mu m)$	7	3
$t_C(\mu m)$	0.3	0.3
$d_{BC}(\mu m)$	0.4	1
L_E/L_B	0.2	0.2
$V_{max}(V)$	21	120

[0069] 与上述的主要由金属材料形成的开关结构100的生产相关的过程温度是适中的,通常低于450°C。与此相对,采用传统的掺杂程序时由硅形成导体所需要温度通常大于900°C。与开关结构100相关的较低的处理温度可有利于开关结构与热敏部件,诸如,MOSFETs的集成。

[0070] 如上文中提及的,开关结构,诸如图1中的开关结构100,可使用传统的微制造技术制造在衬底上。例如,参考图10A~10E,那里示出了用于生产根据示例的实施例配置的开关结构的制造过程的示意性表现。首先,可提供其上布置有电极310和触点302的衬底308。然后例如通过气相沉积来沉积二氧化硅层330(本文也称作可移除层),并且图案化以封装电极310和触点302(图10A)。然后能够通过电镀沉积薄的粘附层332(例如,钛),种子层334(例如,金)和金属层336(例如,Ni-4原子百分数的W)(图10B)。然后施加光致抗蚀剂层338,并且使用传统的光刻技术使其图案化(图10C),之后金属、种子以及粘附层336、334、332被刻蚀以形成梁304,并且随后移除光致抗蚀剂(图10D)。最后,支撑梁304并封装电极310和触点302的二氧化硅层330被移除(图10E)。如图10F所示,开关结构装置300可使用保护盖340封装,并且气密性地密封,该保护盖340在例如大约300~450°C的范围内的温度下,经过15分钟,通过玻璃料的介入层(未图示)接合到衬底308上。在上述的制造过程中,可使用其它的可移除层代替二氧化硅层330,诸如,例如电沉积的铜层。

[0071] 接下来参考图11~13,在几个视图中示出了根据另一示例的实施例配置的开关结构400。该开关结构可包括触点402和导电元件,诸如主要由导电材料(例如,金属)形成的悬臂梁404。梁404可通过锚406和基座407支撑,二者可与梁集成在一起并且可用于将梁与下面的支撑结构,诸如衬底408连接在一起。开关结构400还可包括电极410,其配置成用于致

动梁404。梁404可包括具有宽度 W_{B1} 的第一梁部分404a,以及具有宽度 $W_{B2} > W_{B1}$ 的第二梁部分404b。电极410可具有宽度 W_E ,其宽度可大致等于 W_{B2} 。以这种方式,由电极410提供的致动力可通过调节相应的第二梁部分404b以及电极的宽度来调节。第二梁部分404b还可具有大致等于电极410的长度 L_E 的长度 L_{B2} 。

[0072] 图14和15示出了根据另一个示例的实施例配置的开关结构500的视图。该开关结构可包括触点502和通过锚506和基座507支撑的悬臂梁504。开关结构500还可包括配置成用于致动梁504的电极510。梁504可具有宽度 W_B ,并且电极510可具有可与梁的宽度不同的宽度 W_E 。 $W_E > W_B$ 的情况下,由电极510产生的作用于梁504上的静电力可引起梁的有效的致动,可能降低致动梁所需要的能量。触点502可包括几个离散的触点结构502a、502b,并且梁504可并行地向每个触点结构提供电流,或者串行地从一个到另一个地提供。

[0073] 参考图17,在一些实施例中,开关结构600可包括导电元件604,其具有与公共第二梁部分604c连接的多个第一悬臂部604a、604b。参考图18,开关结构700可包括相对的触点702和梁704。梁704可包括突出部709,其配置成当梁被致动时与触点702接触。梁704的这样的配置可有利于触点702,其具有大约等于关联的电极710的厚度 t_E 的厚度 t_C 。

[0074] 可以使用诸如Ni-W的合金的电沉积实现实施例。在广泛范围条件下,电镀的Ni-W以及其它的二元电镀合金可以是纳米晶体材料,其平均晶粒尺寸在大约10nm的数量级。这比典型地具有 $10 \sim 100 \mu\text{m}$ ($10000 \sim 100000 \text{nm}$)范围内的晶粒尺寸的传统工程材料小三个数量级。纳米晶体的晶粒尺寸是电镀过程的特征,其在非平衡的状态下工作。这样的示例性的镍-钨合金镀层过程可以从West Haven (Ct)的Enthone Inc.得到,来形成以**ENLOY[®]Ni-500**为名所售卖的合金。**ENLOY[®]**是Enthone Inc.的注册商标。镀层过程可在 60°C 下工作,在 $60 \text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度以及PH为7.5的条件下操作。这就是说,在电镀过程中原子在彼此上沉积的速度能快于原子能将其自身排列到较低能态的速度,其中较低的能态的特征是相对大的晶粒尺寸。一般地,电镀材料还包含相对高的密度的点缺陷,诸如空位(空穴)以及填隙杂质(例如,氢,其是从水溶液中镀层期间的还原反应的副产物),以及线缺陷,诸如位错。由于小的晶粒尺寸以及高的缺陷密度,通常电镀材料,并且特别是Ni-W,可具有与通过其它过程生产的合金非常不同的机械性质。

[0075] 当梁的材料在低于 500°C 的温度(或者熔化点的大约1/3)下进行热处理时,可观察到有限的晶粒生长,并且预计有微结构的有限改变。然而,如图20A和20B所表明的,这样的退火可明显地增强材料的抗蠕变性。没有被任何特别的理论所束缚,这可能是当扩散速率随着加热而增加时,可减小缺陷密度,导致提高的抗蠕变性。也就是说,甚至相对低温下的热处理也能够实现杂质移动,填充空穴,位错的湮灭,以及晶界的对齐;并且随着这样的过多的缺陷的移除,材料达到较低的能态。通过前述的电镀过程,沉积态金属,例如,诸如Ni-W的合金,具有如下两种特征的组合,即小的纳米晶体晶粒尺寸以及相对大量的淬火缺陷(导致相对高的能态)。该高的缺陷密度引起比在松弛结构中更快的变形(例如,通过扩散,晶界滑移,或者其它的机制)。该金属的结构上的松弛可用在相对低的温度下、经过相对短的时间段的退火达到,减小了缺陷的浓度,并且从而提高抗蠕变性。例如,将沉积态材料在 450°C 下仅加热15分钟后,就观察到Ni-W中H和O含量的可测量的减少。特别地,观察到H的含量减少至大约1/10,并且看到O的含量也减少得稍微少些,不过仍然是明显程度的。而且,还观察到在退火过程中发生原子结构的松弛,这沿着晶界给予更大的配准(registry)。图

19A和19B是示出了晶体有序性中的这种差异的过滤透射电子显微镜(TEM)的图像。

[0076] 图19A示出了晶界,其中示出取向不一致的原子面相遇形成晶界,图19B示出了经过相对低温的热处理后的晶界。

[0077] 图19A中的,电沉积的Ni-W的沉积态(未退火的)样品的晶界,在晶粒之间具有相对不规则的界面,并且含有相对大量的缺陷。证实有接近28个位错(缺陷)。图19B示出了在电沉积的Ni-W的类似样品经过热处理(退火)后沿着类似晶粒间的界面的增强的配准。退火沿着晶界提供更好的配准。由于增强的配准,存在更少的缺陷。在图19B中能观察到接近11个位错。

[0078] 没有被任何特别的理论限定,由退火导致的结构松弛显现出对用于MEMS应用中的机械性质具有明显的影响,导致明显提高的装置寿命。在很多的MEMS应用中,当部件经受重复的或者持续的机械应力时,认为负载下的部件不经历永久的变形是重要的。为了评价适合用于在梁104中使用的示例电镀的Ni-W材料的性能,在Ni-W材料的沉积态以及退火的样品之间进行了应力松弛的比较。对塑性变形的敏感性通过应力松弛测试来量化,在该测试中对测试试件施加初始应变。然后在一个时间段上记录每个试件的所产生的负载下降。就松弛的样品试件而言,维持梁的给定位移所需要的负载降低了。经过一段时间,具有更好的抗蠕变性的材料展现出较少的松弛以及较小的负载下降。在300°C和400°C的测试温度下执行的两组评价的结果示出在图20中。

[0079] 从图20A示出的结果中能够看出,对于在300°C下进行的测试,“热处理的”Ni-W比“沉积态”Ni-W(也就是,没有经过热处理的相同材料)展现出更小的应力松弛。事实上,“热处理的”材料在长达将近106秒的时间段内在负载特性上基本上没有展现出改变。而“沉积态”材料在相同的时间段内经历明显的负载下降,在大约40%的量级。在图20B示出的结果,针对在400°C下进行的测试,同样表明甚至在更高的温度下,“热处理的”Ni-W比“沉积态”Ni-W展现出更小的应力松弛。“沉积态”层在负载上具有大约80%的改变,而“热处理的”材料只有大约25%的松弛。

[0080] 虽然支持这种效果的理论还没有完全建立,但仍然相信,沉积态合金的退火导致缺陷的基本湮灭,并且这种湮灭导致提高的应力松弛性能。要相信,沉积态的、也就是没有退火的材料中具有更大的缺陷密度,这有利于塑性变形的更高的速度。当通过退火减小了缺陷密度,改进的材料可在遭受相同量的永久应变之前在更长的时间段内承受更高的负载。这种提高直接转变成MEMS和NEMS装置寿命的提高。部分地基于图19中示出的缺陷的观察,相信,根据本文提出的实施例的退火能够减小沉积的金属层中的缺陷密度的至少50%,并且当在合适的温度下执行足够的持续时间时,缺陷密度能减小60%,或者70%,甚至更多以至仅有几何上必须的缺陷存在的极限。

[0081] 如上文中提及的,诸如图1中的开关结构100的开关结构,可使用传统的微制造技术在衬底上制造。再次参考图10A~10F,现在描述另一种制造序列,其用于根据示例的实施例用退火步骤构建这种开关结构装置,其具有含有Ni-W合金的悬臂梁。过程从传统的其上形成有电极310和触点302的硅衬底308开始。然后沉积二氧化硅层330,例如通过化学气相沉积,来封装电极310和触点302。然后如图10A所示,将二氧化硅层330图案化。在二氧化硅层330上沉积薄的粘附层332(例如,钛)。然后,在粘附层332上沉积种子层334。对于图示的具有Ni-W的梁的实施例,种子层可以是溅射的Au。然后,通过电镀沉积导电层,诸如金属层

336。参见图10B,其中示出了前述的一系列的层。更通常地,金属层336可以从许多种金属中选择的纯金属或者合金。在本示例中,金属层336可以包含20原子百分数的W与Ni的合金,但是其成分可以从小于1原子百分数的W到超过50原子百分数的W的范围内变化。

[0082] 下面参考图10C,施加并使用传统的光刻技术图案化光致抗蚀剂层338,并且刻蚀金属、种子、以及粘附层336、334、332来形成梁304。移除了光致抗蚀剂后的松弛前(pre-release)的结构示出在图10D中。根据一个实施例,对该松弛前的结构在大约500°C下执行退火24小时。更通常地,退火可在大约300°C~600°C的范围,或者在导电层的熔化温度的10-50%的温度范围内执行,但是更低的或者更高的退火温度也可能是令人满意的。退火时间可以在小于1小时到超过48小时范围中。执行退火以后,使用各向同性刻蚀剂将在衬底308上支撑梁304的二氧化硅层330移除,使梁304变为悬臂,这样电极310和触点302就不再处于封装状态。因此,电极310可提供库仑电荷,以使梁移位,并且引起触点302和梁304之间的电接触。如图10F所示,开关结构装置300可被封闭并且使用保护盖340气密封,该保护盖340通过玻璃料的介入层(未示出)在例如大约300~450°C的范围内的温度下经过15分钟与衬底接合在一起。电连接(未示出)可在盖340下或者穿过盖340延伸。

[0083] 在上述的示例中,退火是在松弛前的结构,也就是先于二氧化硅330的封装层移除之前执行的。在另外的实施例中,退火也可以在移除二氧化硅层330之后执行,例如,与保护盖340的接合一起执行。如果与盖340接合到位在相同的时间来完成,则温度可在大约300°C~600°C的范围内,时间可高达48小时。

[0084] 虽然本发明的特定特征已经参考示例性的实施例进行了说明和描述,众多的改良和改变对本领域技术人员来说是显而易见的。例如,关于示例的实施例,虽然图1的开关结构100的导电元件已示例为悬臂梁,其它的可变形的接触结构也是可以考虑的,包括:例如,两端固定的梁,扭转元件,以及隔膜。进一步,虽然公开的实施例描述了具有配置成抑制时间相关的变形的单片的金属层的梁,其它的实施例还包括具有多个金属材料层的梁,其中的一些层或者所有的层可配置成抑制时间相关的塑性变形。进一步,虽然关于梁104描述了Ni-W合金,梁和它的结构可使用众多其它的金属和合金来制造,其中合金包括,例如,Ni-Co,Ni-Mn,Au-W。在多种合金中金属的相对比例也可以有很大的变化。例如,用于梁104的Ni-W合金可包括少于1%至大于50%原子的W,但含有大约20%到30%原子的W的合金可展现出更大的抗蠕变性。而且,公开的退火时间和退火温度可以与示例的数值有相当大的不同。例如,退火时间可在小于1个小时到超过几天时间的范围内,退火温度也不限制于本文公开的示例性范围。众多电镀过程都适合实施本发明。

[0085] 更通常地,本文描述的实施例和概念可应用于大范围的微机电系统(MEMS)和纳米-机电系统(NEMS)。应当注意,包含硅的MEMS部件(例如,两端固定的梁,可旋转齿轮,扭转元件,或者隔膜)的原位形成涉及在诸如硅衬底的刚性层上的部件层的沉积。这些相同的结构可根据本发明的教导将金属层沉积到柔性衬底或者刚性衬底(例如,诸如单晶硅,多晶硅,其它成分的半导体材料,二氧化硅,或者甚至陶瓷层)上来制造。还可以通过根据本发明的教导将金属层沉积到柔性衬底上来制造这些以及其它的结构。同样,可通过任何多种沉积过程(例如物理气相沉积,化学气相沉积,溅射,无电沉积,或者电沉积)来制造独立的梁,两端固定的梁,齿轮,扭转元件和隔膜。可制造这些以及其它的结构用于电应用,机电应用以及单纯机械应用。

[0086] 应当理解的是,本发明的范围仅仅由下文的权利要求书来限制,权利要求书意指覆盖落入本发明的真实精神之内的所有这种修正和改变。

[0087] 部件列表

[0088]	部件编号	名称
[0089]	102	触点
[0090]	104	梁
[0091]	110	电极
[0092]	300	开关结构装置
[0093]	302	触点
[0094]	308	衬底
[0095]	330	二氧化硅
[0096]	332	粘附层
[0097]	336	金属层
[0098]	340	气密封盖

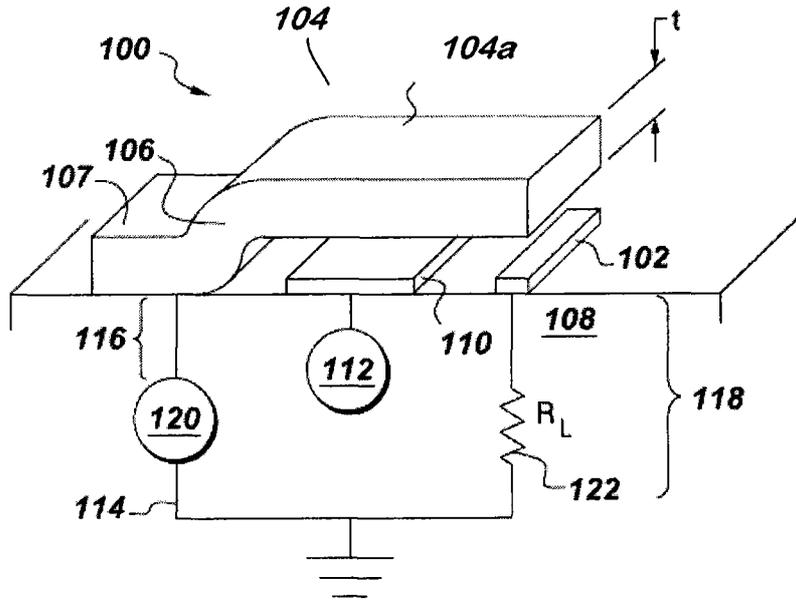


图1

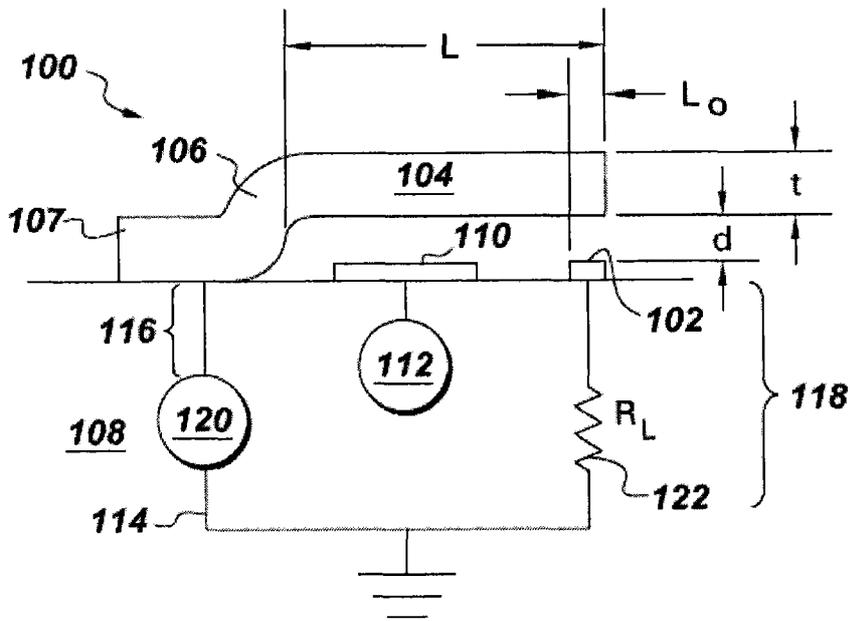


图2

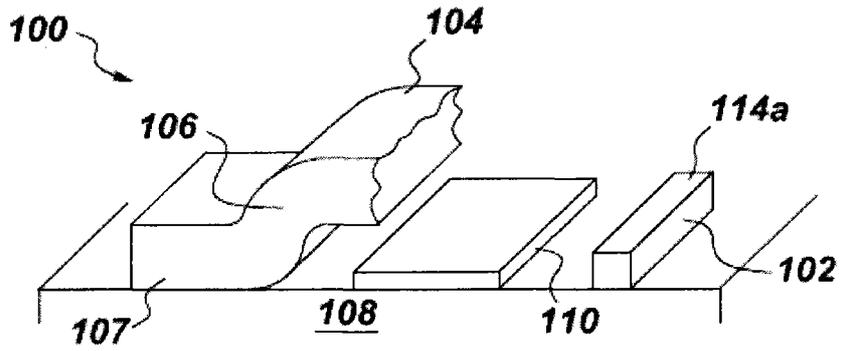


图3

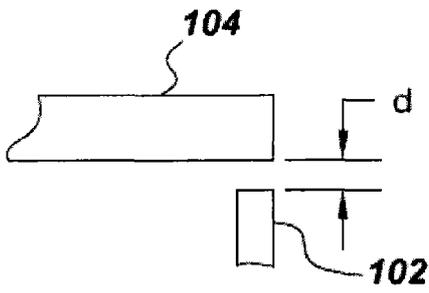


图4

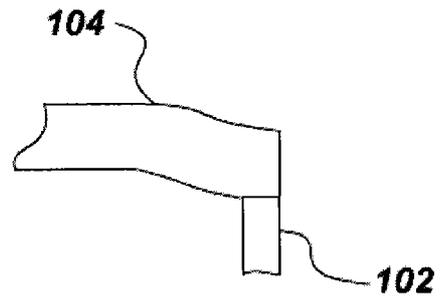


图5

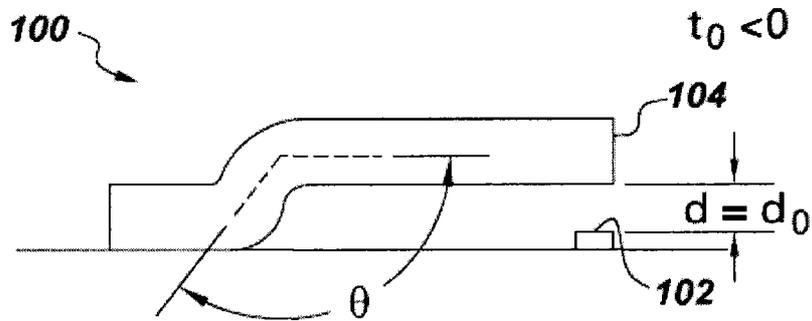


图6A

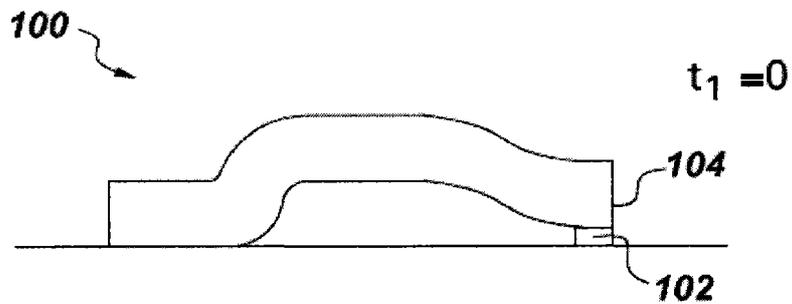


图6B

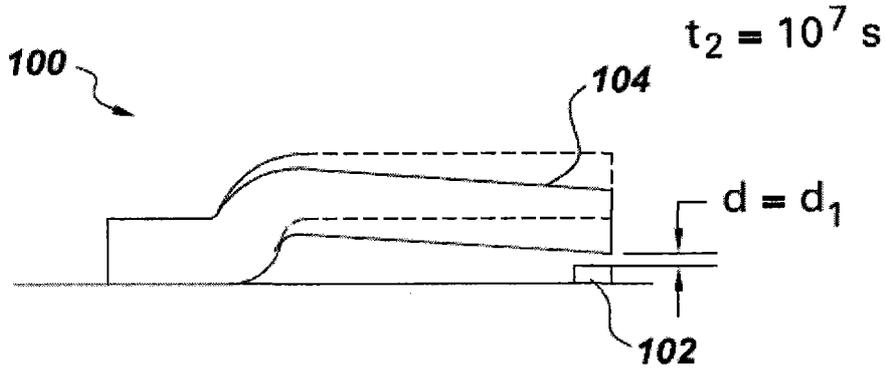


图6C

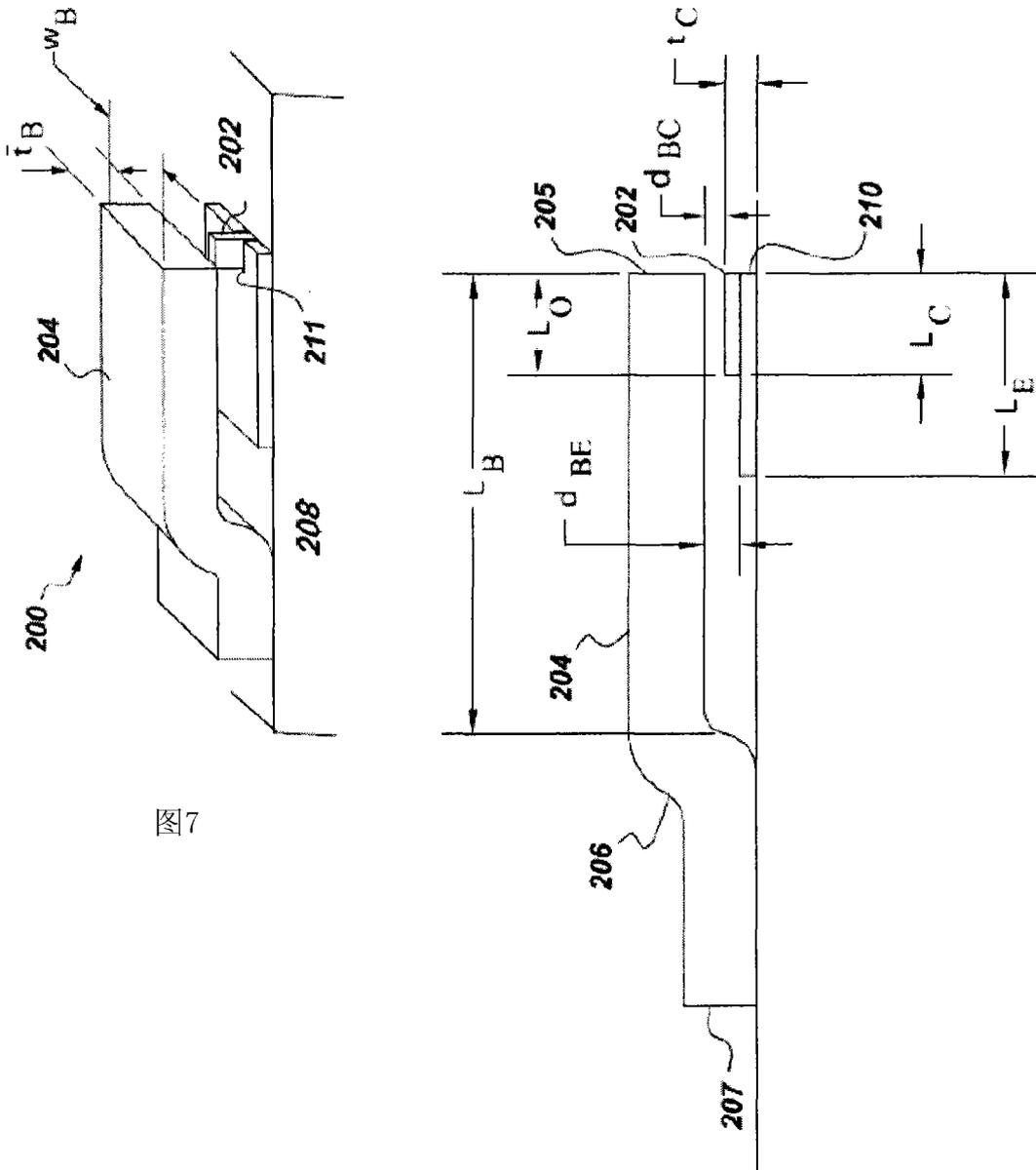


图7

图8

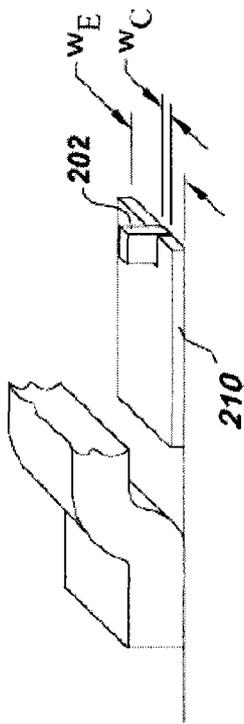


图9

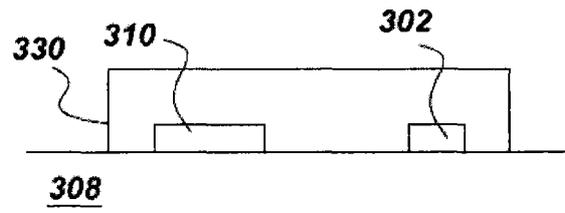


图10A

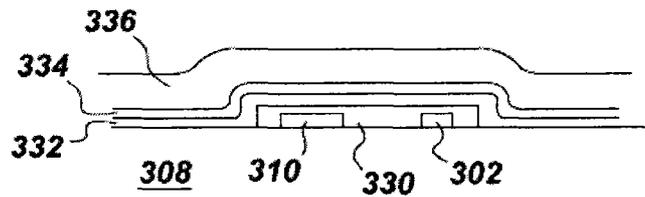


图10B

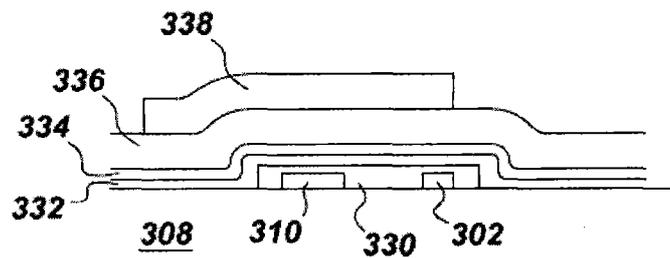


图10C

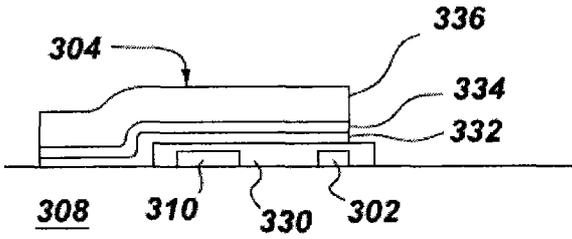


图10D

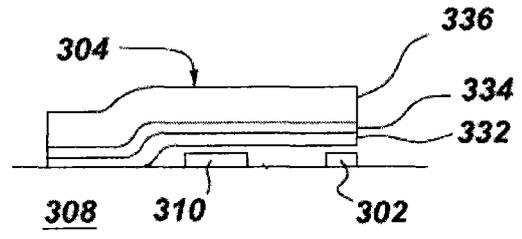


图10E

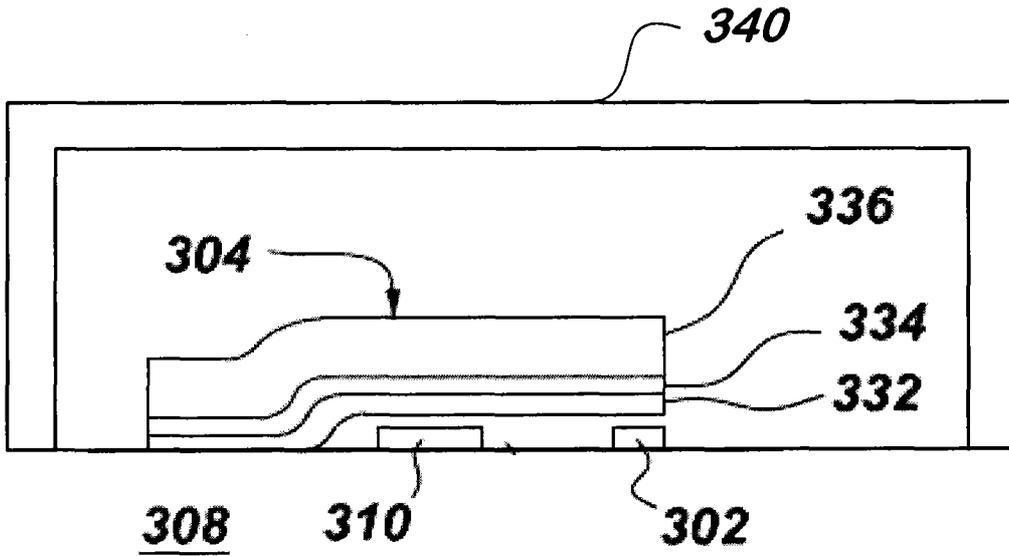


图10F

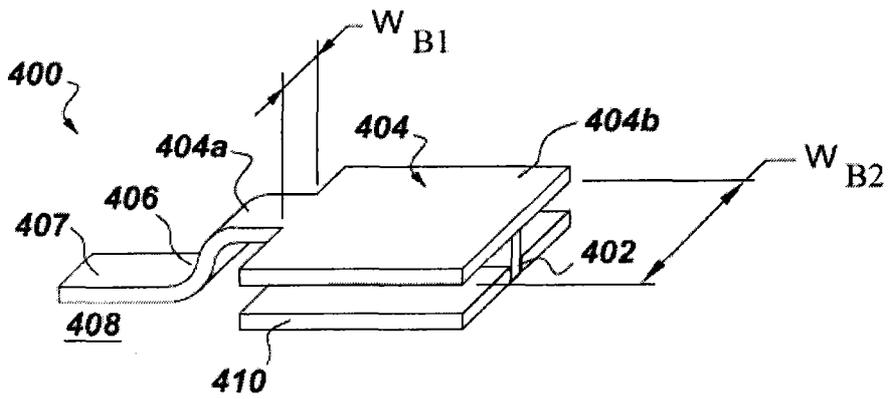


图11

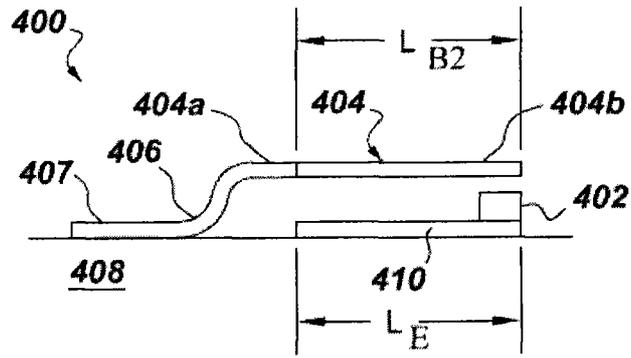


图12

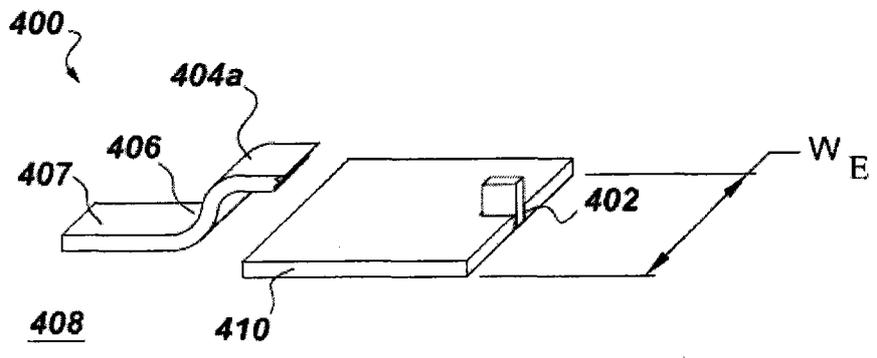


图13

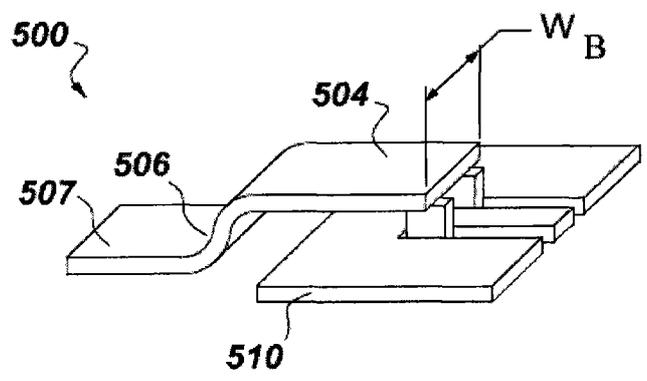


图14

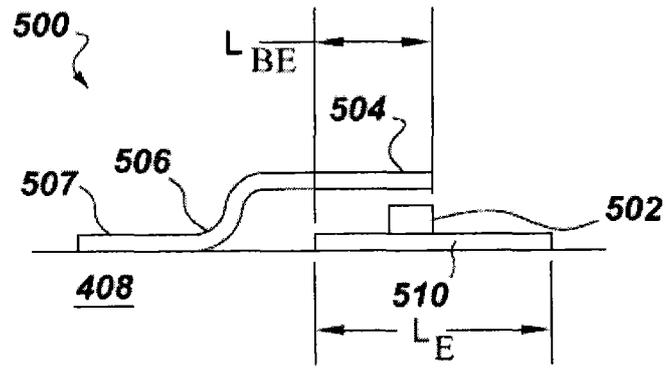


图15

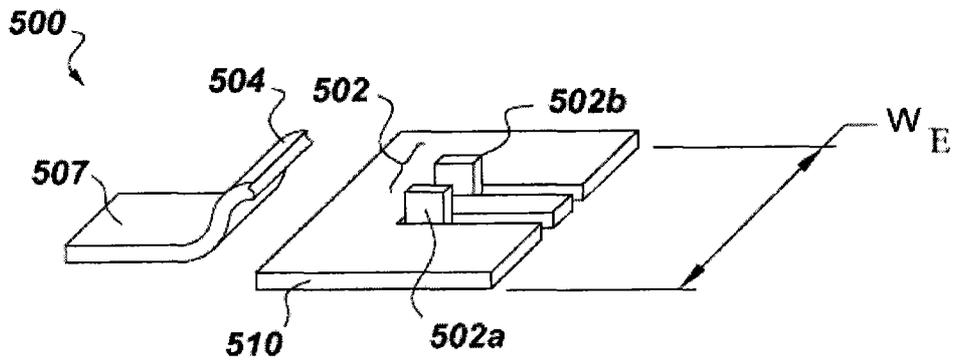


图16

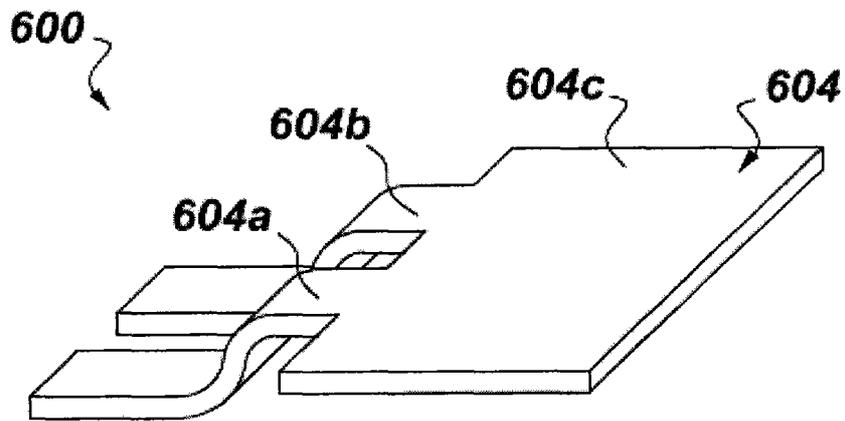


图17

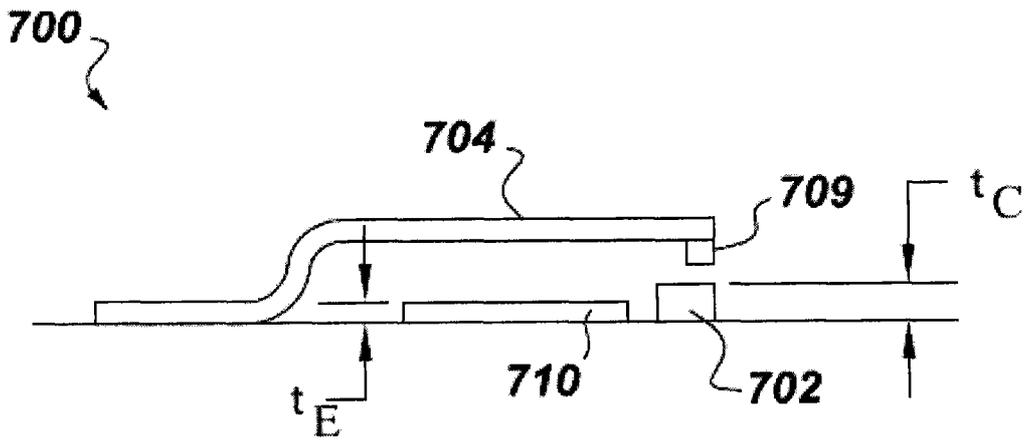


图18

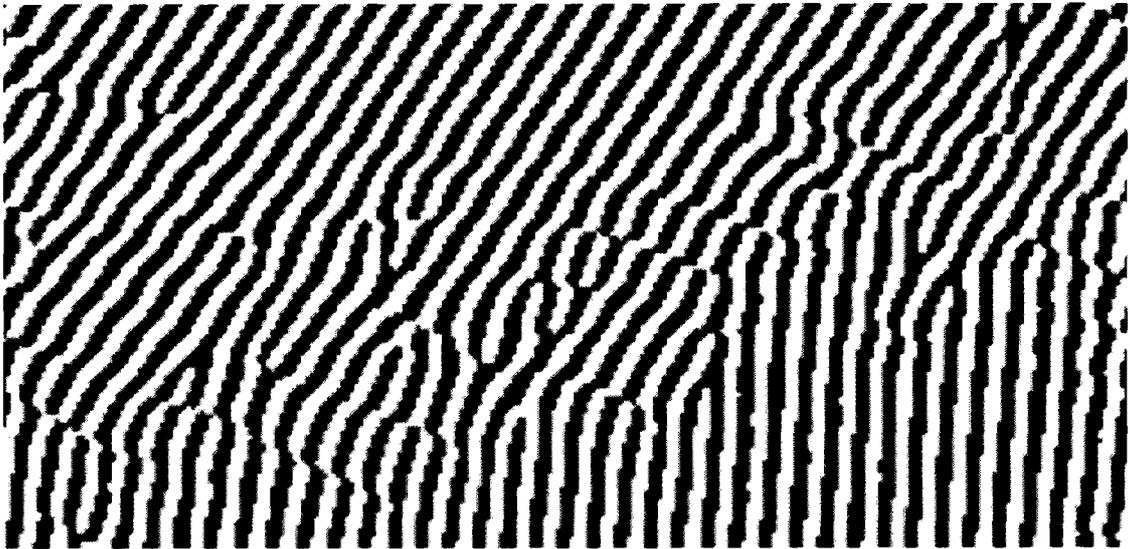


图19A

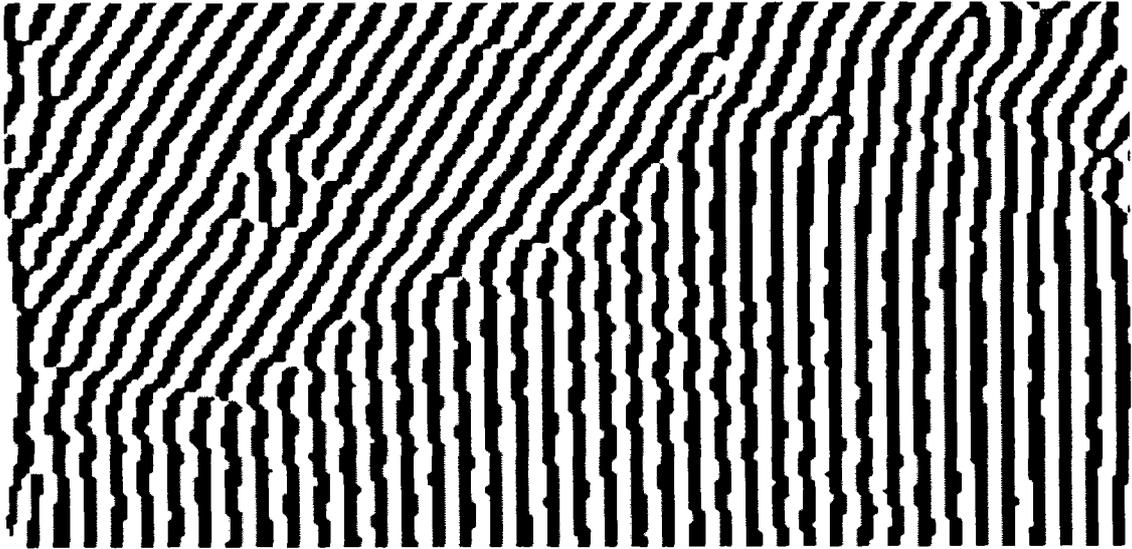


图19B

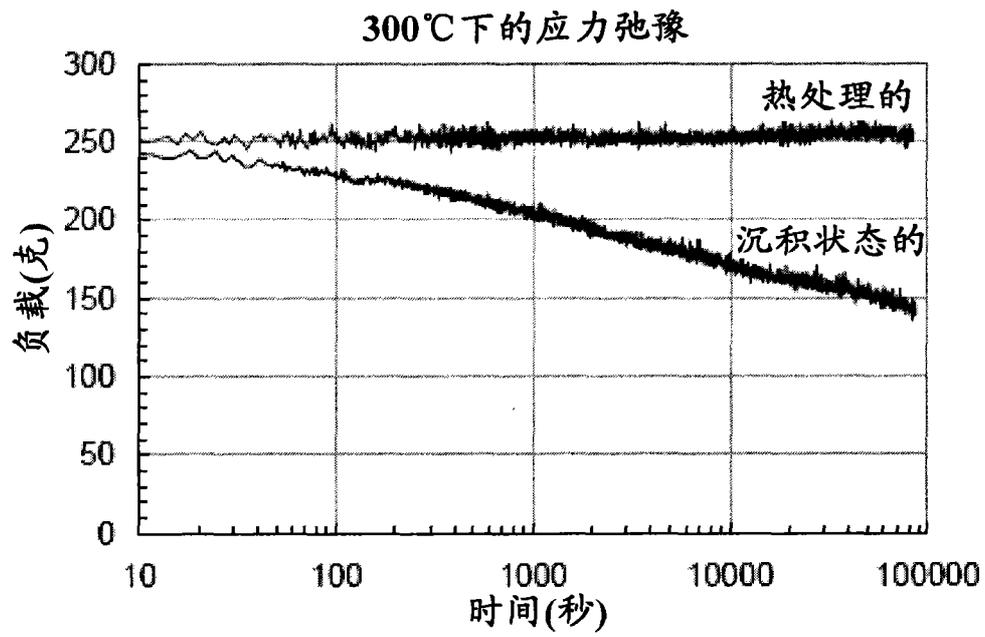


图20A

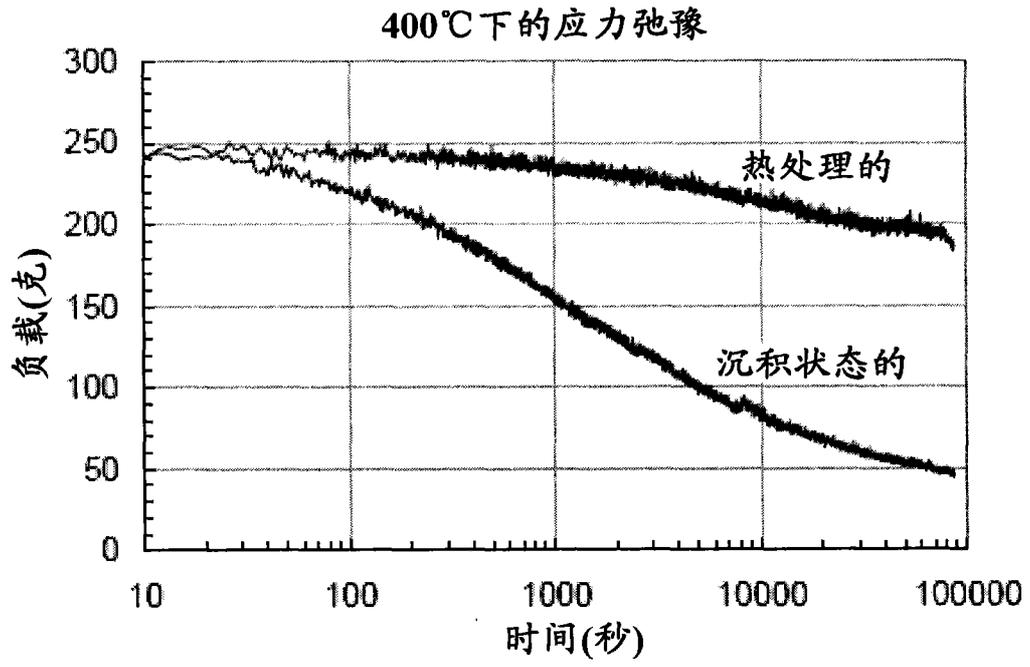


图20B