



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105899923 A

(43)申请公布日 2016.08.24

(21)申请号 201580004407.4

(71)申请人 苹果公司

(22)申请日 2015.01.12

地址 美国加利福尼亚

(30)优先权数据

61/926,905 2014.01.13 US

(72)发明人 S·费利兹 J·E·佩德尔
C·T·欧加塔 J·S·史密斯
D·C·帕特尔 S·J·乔伊
B·Q·希比 C·J·巴特勒
M·P·格鲁斯安纳

61/937,465 2014.02.07 US

61/939,257 2014.02.12 US

61/942,021 2014.02.19 US

62/024,566 2014.07.15 US

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038
代理人 欧阳帆

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.07.13

(51)Int.Cl.

G01L 1/18(2006.01)

G01L 1/20(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/010969 2015.01.12

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/106183 EN 2015.07.16

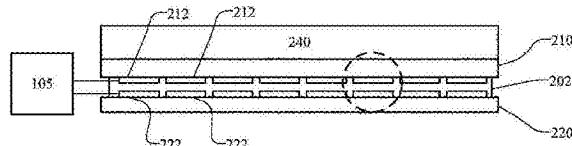
权利要求书2页 说明书19页 附图12页

(54)发明名称

具有柔顺层的温度补偿透明力传感器

(57)摘要

本发明公开了一种光学透明的力传感器，该光学透明的力传感器可对环境影响(包括例如设备或者周围环境的温度的变化)进行补偿。在一些示例中，两个力敏层被柔顺层隔开。两个力敏层的相对电响应可用于计算对触摸的力的估计，该触摸可减小温度的变化的影响。在一些示例中，具有各向异性应变特性的压电膜用于减小温度的影响。



1. 一种具有光学透明的力传感器的电子设备,所述光学透明的力传感器包括:
第一透明基板;
相对于所述第一透明基板设置的第一力敏层;
被设置在所述第一基板下方的第二透明基板;
相对于所述第二透明基板设置的第二力敏层;和
被设置在所述第一基板和所述第二基板之间的柔顺层;和
传感器电路,所述传感器电路被配置为比较所述第一力敏层和所述第二力敏层之间的相对电响应,以计算温度补偿的力估计。
2. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述第一透明基板被配置为响应于触摸的力而挠曲;并且所述柔顺层变形以减小所述第二透明基板的任何张力或压缩。
3. 根据权利要求2所述的电子设备,其中响应于所述触摸的力,所述第一透明基板经历的第一大小的张力大于所述第二透明基板经历的第二大小的张力。
4. 根据权利要求2所述的电子设备,其中所述柔顺层包括气隙,并且所述第二透明基板不挠曲。
5. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述第一力敏层响应于触摸的力而被置于张力中,并且所述第二力敏层响应于所述触摸的力而被置于压缩中。
6. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述温度补偿的力估计对所述设备的温度的变化进行补偿。
7. 根据权利要求1所述的电子设备,其中所述柔顺层被配置为在所述第一力敏层和所述第二力敏层之间导热,以实现基本上均匀的温度分布。
8. 根据权利要求1所述的电子设备,其中
所述第一力敏层由第一阵列的直线力敏部件形成;并且
所述第二力敏层由第二阵列的直线力敏部件形成。
9. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述第一基板和所述第二基板由玻璃制成。
10. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述第一力敏部件和所述第二力敏部件由氧化铟锡制成。
11. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述第一力敏部件和所述第二力敏部件由压阻材料制成。
12. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述第一力敏部件和所述第二力敏部件至少部分地由以下各项组成的组中的一者制成:碳纳米管、石墨烯、压阻半导体和压阻金属。
13. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述第一力敏部件和所述第二力敏部件由具有基本上相同的电阻温度系数的材料制成。
14. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述柔顺层包括光学透明的粘合剂。
15. 根据权利要求1所述的力传感器,其中所述柔顺层由具有小于所述第一透明基板的剪切模量的十分之一的剪切模量的材料形成。
16. 一种具有光学透明的力传感器的电子设备,所述设备包括:
覆盖件;
被设置在所述覆盖件下方的第一透明基板;
相对于所述第一透明基板设置的第一阵列的力敏部件;

被设置在所述第一基板下方的第二透明基板；
相对于所述第二透明基板设置的第二阵列的力敏部件；和
被设置在所述第一基板和所述第二基板之间的柔顺层；和
传感器电路，所述传感器电路被配置为比较所述第一阵列的力敏部件的部件和所述第二阵列的力敏部件的部件之间的相对电响应，以计算温度补偿的力估计。

17. 根据权利要求16所述的电子设备，还包括：

被设置在所述第二透明基板下方的显示元件。

18. 根据权利要求16所述的电子设备，其中所述第一阵列的力敏部件包括沿所述第一阵列的边缘定位的边缘力敏部件的子组，其中所述边缘力敏部件由沿基本上垂直于所述边缘的方向取向的迹线形成。

19. 根据权利要求16所述的电子设备，其中所述第一阵列的力敏部件包括被定位在所述第一阵列的拐角处的拐角力敏部件的子组，其中所述拐角力敏部件由沿对角方向取向的迹线形成。

20. 一种具有光学透明的力传感器的电子设备，所述光学透明的力传感器包括：

第一透明基板；

相对于所述第一透明基板设置的第一力敏层；

被设置在所述第一基板下方的第二透明基板；

相对于所述第二透明基板设置的第二力敏层；和

传感器电路，所述传感器电路被配置为检测所述第一力敏层和所述第二力敏层之间的电压，以计算温度补偿的力估计，其中

所述第一力敏层由各向异性压电膜形成，并且

所述第二力敏层由各向同性压电膜形成。

21. 根据权利要求20所述的电子设备，还包括：

相对于所述第二力敏层设置的第三力敏层；和

相对于所述第三力敏层设置的第四力敏层，其中

所述第三力敏层由各向同性压电膜形成，并且

所述第四力敏层由各向异性压电膜形成。

22. 根据权利要求21所述的电子设备，还包括：

被设置在所述第二力敏层和所述第三力敏层之间的第三透明基板。

23. 根据权利要求21所述的电子设备，其中

所述第一力敏层对沿第一方向的应变具有增加的敏感性，

所述第四力敏层对沿第二方向的应变具有增加的敏感性，并且

所述第一方向基本上垂直于所述第二方向。

具有柔顺层的温度补偿透明力传感器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求于2014年1月13日提交的并且标题为“Force Sensor Using a Transparent Force-Sensitive Film”的美国临时专利申请No.61/926,905、于2014年2月7日提交的并且标题为“Temperature Compensating Transparent Force Sensor”的美国临时专利申请No.61/937,465、于2014年2月12日提交的并且标题为“Temperature Compensating Transparent Force Sensor”的美国临时专利申请No.61/939,257、于2014年2月19日提交的并且标题为“Multi-Layer Temperature Compensating Transparent Force Sensor”的美国临时专利申请No.61/942,021以及于2014年7月15日提交的并且标题为“Strain-Based Transparent Force Sensor”的美国临时专利申请No.62/024,566的优先权,这些专利申请中的每个专利申请的公开内容全文以引用方式并入。

技术领域

[0003] 本文所述的实施方案总体涉及力感测,并且更具体地涉及具有被柔顺层隔开的两个或更多个透明力敏部件的温度补偿力传感器。

背景技术

[0004] 许多电子设备包括一些类型的用户输入设备,包括例如按钮、滑块、滚轮以及类似的设备或用户输入元件。一些设备可包括与显示屏集成或者结合在一起的触摸传感器。该触摸传感器可允许用户与被呈现在显示屏上的用户界面元素直接进行交互。然而,一些常规的触摸传感器可能仅提供设备上的触摸的位置。除了触摸的位置,许多常规的触摸传感器产生实质上是二进制的输出。即,触摸存在或者不存在。

[0005] 在一些情况下,检测并测量施加于表面的触摸的力以提供非二进制触摸输入可能是有利的。然而,可能存在与在电子设备中实现力传感器相关联的若干个挑战。例如,设备或者环境中的温度波动可能在力值测量中引入无法接受的变化量。另外,如果力传感器与显示器或者透明介质结合在一起,其在紧凑形状因素方面实现感测性能和光学性能两者可能具有挑战性。

发明内容

[0006] 本文所述的实施方案可涉及包括或者采取光学透明的力传感器的形式,该光学透明的力传感器可用作电子设备的输入端。该光学透明的力传感器可被配置为使用被设置在柔顺层的相对侧上的两个或更多个力敏层来对温度的变化进行补偿。在一些实施方案中,各向异性压电材料用于对温度变化进行补偿。

[0007] 在一个示例性实施方案中,电子设备包括具有第一透明基板和相对于该第一透明基板设置的第一力敏层的光学透明的力传感器。该传感器还可包括被设置在第一基板下方的第二透明基板和相对于该第二透明基板设置的第二力敏层。柔顺层可被设置在第一基板和第二基板之间。该传感器还可包括传感器电路,该传感器电路被配置为比较第一力敏层

和第二力敏层之间的相对电响应,以计算温度补偿力估计。在一些情况下,温度补偿力估计对设备的温度的变化进行补偿。

[0008] 在一些实施方案中,第一透明基板被配置为响应于触摸的力而挠曲并且柔顺层变形以减小第二透明基板的任何张力和压缩。在一些情况下,第一透明基板经历的第一大小的张力大于第二透明基板经历的减小的第二大小的张力。在一些情况下,该第一透明基板响应于触摸的力而挠曲的角度大于第二透明基板挠曲的角度。

[0009] 在一些实施方案中,该第一力敏层响应于触摸的力而被置于张力中,并且第二力敏层响应于触摸的力而被置于压缩中。在一些实施方案中,该柔顺层在第一力敏层和第二力敏层之间导热,以实现基本上均匀的温度分布。在一些实施方案中,第一力敏部件和第二力敏部件由具有基本上相同的电阻温度系数的材料制成。在一些实施方案中,该柔顺层包括光学透明的粘合剂。在一些实施方案中,柔顺层由具有小于第一透明基板的剪切模量的十分之一的剪切模量的材料形成。

[0010] 在一些实施方案中,第一力敏层由第一阵列的直线力敏部件形成,并且第二力敏层由第二阵列的直线力敏部件形成。

[0011] 一个示例性实施方案涉及具有光学透明的力传感器的电子设备。该力传感器可包括覆盖件(或者力接收层)和被设置在该覆盖件(或者力接收层)下方的第一透明基板。第一阵列的力敏部件可相对于第一透明基板被设置。第二透明基板可被设置在第一基板下方并且第二阵列的力敏部件可相对于第二透明基板被设置。该柔顺层可被设置在第一基板和第二基板之间。该传感器还可包括传感器电路,该传感器电路被配置为比较第一阵列的力敏部件的结构和第二阵列的力敏部件的结构之间的相对电响应,以计算温度补偿的力估计。在一些情况下,显示器元件被设置在第二透明基板下方。

[0012] 在一些实施方案中,第一阵列的力敏部件包括沿第一阵列的边缘定位的边缘力敏部件的子组。该边缘力敏部件可由沿基本上垂直于该边缘的方向取向的迹线形成。在一些实施方案中,第一阵列的力敏部件包括定位在第一阵列的拐角处的拐角力敏部件的子组。该拐角力敏部件可由沿对角方向取向的迹线形成。

[0013] 一些示例性实施方案涉及具有光学透明的力传感器的电子设备,该光学透明的力传感器包括第一透明基板、相对于该第一透明基板设置的第一力敏层、被设置在第一基板下方的第二透明基板和相对于该第二透明基板设置的第二力敏层。该传感器还可包括传感器电路,该传感器电路被配置为检测第一力敏层和第二力敏层之间的电压,以计算温度补偿的力估计。在一些实施方案中,该第一力敏层由各向异性压电膜形成,并且该第二力敏层由各向同性压电膜形成。

[0014] 在一些实施方案中,该传感器还包括相对于第二力敏层设置的第三力敏层;以及相对于第三力敏层设置的第四力敏层。该第三力敏层可由各向同性压电膜形成,并且该第四力敏层可由各向异性压电膜形成。在一些实施方案中,传感器还包括被设置在第二力敏层和第三力敏层之间的第三透明基板。在一些情况下,第一力敏层沿第一方向对应变具有增加的敏感性,并且第四力敏层沿第二方向对应变具有降低的敏感性。第一方向可基本上垂直于第二方向。

附图说明

[0015] 现在将参考在附图示出的代表性实施方案。应当理解，以下描述并非旨在将实施方案限制于一个优选实施方案。相反，其旨在涵盖可被包括在由所附权利要求限定的所述实施方案的实质和范围内的另选的替代形式、修改形式和等同形式。

[0016] 图1示出了一种示例性电子设备。

[0017] 图2A示出了包括光学透明的力敏部件的栅格的示例性力敏结构的顶视图。

[0018] 图2B示出了可在图2A中所示的示例性力敏结构中使用的光学透明螺线形力敏部件的顶部详细视图。

[0019] 图2C示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0020] 图3A示出了图2C中的示例性力敏结构的放大细节侧视图。

[0021] 图3B示出了响应于所施加的力而已变形的图2C中的示例性力敏结构的放大细节侧视图。

[0022] 图4示出了包括两个垂直的层力敏结构的另选示例的顶视图，该两个垂直的层各自包括多个光学透明的力敏部件。

[0023] 图5A示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0024] 图5B示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0025] 图5C示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0026] 图5D示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0027] 图5E示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0028] 图5F示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0029] 图5G示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0030] 图5H示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0031] 图5I示出了沿图1中的节段A-A截取的设备的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。

[0032] 图6A-图6D示出了具有各种螺线形图案并且可在图2A中所示的示例性力敏结构中使用的光学透明螺线形力敏部件的顶部详细视图。

[0033] 图7示出了包括被取向成不同方向以检测力的光学透明的力敏部件的栅格的示例性力敏结构的顶视图。

[0034] 图8示出了温度补偿和光学透明的力传感器电路的简化信号流程图。

[0035] 图9是示出了制造温度补偿和光学透明的力传感器的方法的示例性步骤的工艺流程图。

[0036] 图10是示出了操作温度补偿力传感器的方法的示例性步骤的工艺流程图。

- [0037] 图11是示出了操作温度补偿力传感器的方法的示例性步骤的附加工艺流程图。
- [0038] 图12示出了包括单个压电元件的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。
- [0039] 图13示出了包括多层压电元件的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。
- [0040] 图14示出了包括多层压电元件的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。
- [0041] 图15示出了包括多层压电元件的另选的示例性力敏结构的一部分的侧视图。
- [0042] 在不同附图中使用相同或相似的附图标记来指示相似、相关或者相同的项目。

具体实施方式

[0043] 本文所述的实施方案可涉及或者采取与电子设备的部件结合以在该设备上形成触敏表面的力传感器的形式。一些实施方案涉及力传感器，该力传感器可对温度变化进行补偿并且可为光学透明的，以用于与电子设备的显示器或者透明介质集成。本文所述的某些实施方案还涉及包括一个或多个力敏部件的力敏结构，以用于检测被施加到设备的力的大小。在一个示例中，透明力敏部件与电子设备的显示元件集成或者相邻。电子设备可为例如移动电话、平板计算设备、计算机显示器、笔记本计算设备、台式计算设备、计算输入设备（诸如触摸板、键盘或鼠标）、可穿戴设备、健康监视设备、运动附件设备等。

[0044] 一般地以及广义地，使用被适配为确定触摸事件的力的大小的力传感器可在显示器、外壳或者与电子设备相关联的其他表面上感测到用户触摸事件。所确定的力的大小可用作电子设备的输入信号、输入数据或者其他输入信息。在一个示例中，高的力输入事件与低的力输入事件可被不同地解释。例如，智能手机可利用高的力输入事件来解锁显示屏并且可针对低的力输入事件暂停音频输出。设备的响应或输出可因此响应于这两个输入而不同，即使它们发生在同一点处并且可能使用相同的输入设备。在另外的示例中，力的改变可被解释为另一种类型的输入事件。例如，用户可保持可穿戴设备力传感器邻近动脉，以便评估血压或者心率。可以理解的是，力传感器可用于收集多种用户输入。

[0045] 在许多示例中，力传感器可被结合到触敏电子设备中并且邻近该设备的显示器定位或者被结合到显示器叠层中。因此，在一些实施方案中，该力传感器可由光学透明的材料构造。例如，光学透明的力传感器可至少包括力接收层、第一基板和第二基板，每个基板至少包括光学透明的材料并且每个基板分别包括第一力敏部件和第二力敏部件。在许多示例中，第一基板可被设置在力接收层下方，使得第一力敏部件在力被施加到力接收层时可经历挠曲、张力、压缩或者另一种机械变形。这样，第一基板的底表面可经历伸展，并且第一基板的顶表面可经历压缩。换句话讲，第一基板可围绕其中性轴弯曲，以经历压缩力和拉伸力。

[0046] 透明力敏部件可由柔顺材料形成，该柔顺材料表现出随着部件的变形、挠曲或者剪切而变化的至少一个可测量的电响应。透明力敏部件可由压电的、压阻的、电阻性的或者其他应变敏感材料形成，该材料被附接到或者形成在基板上并且以电的方式或者操作地联接到传感器电路以用于测量材料的电响应的变化。可能的基板材料包括例如玻璃或者透明聚合物如聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)或者环烯烃聚合物(COP)。示例性透明导电材料包括聚乙烯二氧噻吩(PEDOT)、氧化铟锡(ITO)、碳纳米管、石墨烯、压阻的半导体材料、压阻的金属材料、银纳米线、其他金属纳米线等。透明材料可用于与设备的显示器或者其他可视化元件集成或者结合的传感器中。如果不要求透明性，则可使用其他组分材料，包括例如用于导

电部件的康铜和业力合金并且聚酰亚胺可被用作基板。非透明的应用包括在跟踪垫上或者在显示元件后面力感测。一般来讲，透明的力敏部件和非透明的力敏部件在本文中可被称为“力敏部件”或者被简称为“部件”。

[0047] 透明力敏部件可通过利用透明导电材料涂覆基板、附接透明导电材料或者以其他方式在基板上沉积此类材料来形成。在一些实施方案中，力敏部件可相对于第一基板的底表面并相对于第二基板的顶表面形成。第一基板和第二基板的力敏部件可被取向为面向彼此。在一些具体实施中，第一基板可响应于用户触摸而挠曲。第一基板的挠曲可使得第一基板的底表面在张力下伸展，这可使得透明力敏部件（相对于底表面设置）作为挠曲的结果也伸展、拉伸或者其他方式以几何形式改变。

[0048] 在一些情况下，响应于向下挠曲，力敏部件可被置于张力下，因为该部件被定位在基板的弯曲的中性轴下方。一旦处于张力下，透明力敏部件便可表现出在至少一个电特性方面的改变，例如电阻。在一个示例中，透明力敏部件的电阻可随着该部件所经历的张力的增大而线性地增大。在另一个示例中，透明力敏部件的电阻可随着该部件所经历的张力的增大而线性地减小。可以理解的是，不同的透明材料可经历不同的电特性的不同的改变，并且因此张力的效果可能在不同的实施方案之间变化。

[0049] 在一些实施方案中，力敏部件可由压阻材料或者电阻性材料形成。在一些具体实施中，在该压阻材料或者电阻性材料应变时，该部件的电阻作为该应变的函数而变化。可使用被配置为测量力敏部件的电阻的小的变化的感测电路来测量电阻的变化。在一些情况下，该感测电路可包括被配置为测量两个或更多个力敏部件之间的电阻的差动变化（differential change）的桥式电路结构。如果已知部件材料的电气电阻、温度和机械应变之间的关系，则可得到差动应变的变化 $\varepsilon_x - \varepsilon_y$ 。在一些情况下，差动应变可考虑由于温度的变化而导致的应变和电阻的变化，如果两个元件具有类似的热特性并且在接受差动应变时处于类似的温度则差动应变可由于应变消除层而消除。这样，透明的压阻或者电阻部件可被用作温度补偿力传感器。

[0050] 在某些实施方案中，可通过使用分压器或者桥式电路来测量电阻元件。例如，可跨连接到电源 V_s 的两个平行的分压器的输出端来测量电压 V_g 。分压器中的一个分压器可包括已知电阻 R_1 和 R_2 的两个电阻器，另一个分压器可包括第一电阻应变元件 R_x 和第二电阻应变元件 R_y 。可测量 R_1 和 R_2 之间的节点和 R_x 和 R_y 之间的节点之间的电压，以检测两个应变元件之间的相对电阻的小的变化。在一些情况下，附加传感器电路（包括处理单元）可用于基于两个应变元件之间的相对电阻来计算由于表面上的力的机械应变。在一些情况下，传感器电路可在降低或消除环境影响诸如温度变化的同时估计机械应变。

[0051] 在一些实施方案中，多对分压器可用于形成全桥，以便比较多个传感器的输出。由于传感器之间的温度差而存在的错误可被基本上降低或消除，而不需要专用错误校正电路或者专门的处理软件。在一些实施方案中，由于触摸的力的电响应可被测量并且算法可用于比较相对响应并消除温度变化的影响。在一些实施方案中，可进行部件的差动测量和其独立响应的差动测量两者，以提取对应的差动应变以及温度。在一些情况下，算法可使用差动响应和单个响应来计算力估计，该力估计可消除由于例如两种部件材料的热膨胀系数的差值对应变的影响。

[0052] 在一些实施方案中，力敏部件被构图成一系列细纹、像素或者在本文中被称为“部

件元件”的其他几何元件。力敏部件或者部件元件的区域还可使用导电迹线或者电极被连接至感测电路。在一些情况下，导电迹线或者电极还可由透明导电材料形成。在一些实施方案中，感测电路可经由导电迹线和/或电极而与一个或多个部件元件进行电通信。如先前所提及的，感测电路可被适配为检测和测量由于所施加的力的部件的电特性或者响应(例如，电阻)的变化。

[0053] 在一些情况下，力敏部件可被构图成像素元件，每个像素元件包括大体上沿一个方向取向的一系列迹线。该构造可被称为压阻的或者电阻的应变仪构造。一般来讲，在该构造中，力敏部件可由响应于应变而其电阻以已知方式变化的材料组成。例如，一些材料可表现出响应于应变的电阻线性变化。一些材料可表现出响应于应变的电阻对数变化或者电阻指数变化。一些材料可表现出电阻以不同方式的变化。例如，电阻的变化可由于由所施加的应变造成的几何结构的变化，诸如根据泊松效应可发生长度的增加连同横截面积的减小。电阻的变化还可由于归因于所施加的应变的材料的固有电阻率的变化。

[0054] 在一些实施方案中，应变敏感元件的取向从阵列的一个部分到另一个部分可变化。例如，拐角中的元件可具有取向成对相对于阵列的行(或列)成45度的应变敏感的迹线。类似地，沿阵列的边缘的元件可包括对垂直于该边缘或边界的应变最敏感的迹线。在一些情况下，元件可包括各种螺线形迹线构型中的一种螺线形迹线构型，该各种螺线形迹线构型可被配置为对沿多轴的应变的组合敏感。应变敏感元件中的迹线的取向可具有不同的角度，这取决于实施方案。

[0055] 该像素元件可具有被配置为混合对沿多轴的应变的敏感性的迹线，以检测传感器的边界条件的变化或者对设备的损坏。例如，如果由于对设备的物理边缘的损坏，元件、部件或者基板变得少受限制，在X方向上响应于应变的敏感性可变得更高，而在Y方向响应于应变的敏感性可变得更低。然而，如果像素元件被配置为响应于X方向和Y方向两者，则两个或多个方向的组合响应(其可为线性组合或者以其他方式)可有助于传感器的使用，即使在经历基板的边界条件的损坏或改变之后。

[0056] 在一些实施方案中，力敏部件可由固体材料片形成并且可被置于与被设置在力敏部件的一个或多个表面上的电极图案的电通信中。该电极可用于例如将固体材料片的区域电耦接到感测电路。电极构型可用于测量应变时的电荷响应。在一些情况下，取决于应变度，该力敏部件可生成不同的电荷量。总体统计的电荷可反映由于沿各个轴的应变所生成的电荷的叠加。

[0057] 在一些实施方案中，力敏部件可与显示元件(本文一般被称为“显示器叠层”或被简称为“叠层”)的部分集成或者被置于邻近显示元件的部分。力敏部件可通过例如被附接到基板或片材而与显示器叠层集成，该基板或者片材被附接到显示器叠层。这样，因为显示器叠层响应于所施加的力而弯曲，并且穿过中心轴下方的具有良好应变传输的所有层，张力应变被传输。

[0058] 另选地，在某些实施方案中，力敏部件可被放置在显示器叠层内。尽管本文相对于与显示器叠层集成的力敏部件提供了某些示例，但在其他实施方案中，力敏部件可被集成在除显示器叠层之外的设备的一部分中。

[0059] 在一些实施方案中，一个或多个力敏部件可与设备的显示元件集成或者附接到该设备的显示元件，该设备的显示元件可包括其他类型的传感器。在一些实施方案中，显示元

件可包括触摸传感器，该触摸传感器被包括以检测一个或多个用户触摸事件的位置。使用根据本文所述的一些实施方案的与透明力敏部件结合的触摸传感器可估计设备的显示元件上的触摸的位置和大小。

[0060] 在一些实施方案中，设备可包括相对于可配合以改善力传感器的准确性的表面的触敏元件和力敏元件两者。在一些情况下，来自触敏元件的信息可与有关表面的响应能力的所存储的信息结合使用以重建被施加在该表面上的力。例如，由触摸传感器所确定的位置可与被存储在存储器中的一组加权系数一起使用，以估计被施加在对应的点处的力。不同的触摸位置可与不同的一组应变传感器的系数权重响应一起使用，以预测该点处的触摸的力。在某些示例中，用于计算该表面处的力的算法可至少部分地基于由触摸传感器所提供的信息，来自显示器的校准的所有存储的信息，或者在传感器的使用期限期间所收集并存储的信息。在一些情况下，在来自触摸传感器的触摸指示之前的时间期间传感器可被校准成零力。

[0061] 与使用显示器叠层内的力敏部件或者膜相关联的一个挑战是当电子设备被从一个地方运输到另一个地方或者被用户使用时给定的电特性(例如，电阻)响应于温度变化可能改变。例如，每次用户触摸触摸屏时，用户可能局部地增加屏幕和力敏部件的温度。在其他示例中，不同的环境(例如，室内或户外)可使得电子设备经受不同的环境温度。在另外的示例中，作为设备的电子部件或者系统所产生的热量的结果，温度增加可能发生。

[0062] 在一些情况下，响应于其他环境条件的变化诸如湿度和气压的变化，力敏部件还可伸展和收缩。在下面的示例中，电特性是电阻并且可变环境条件是温度。然而，本文所述的技术和方法还可应用于不同的电特性，诸如可受到其他环境条件的变化的影响的电容和电感。

[0063] 在一些具体实施方式中，温度或者其他环境条件的局部或者全局的变化可导致力敏部件、电子设备外壳和/或邻近于该部件的其他部件的伸展和收缩，这继而可改变感测电路所测量的电特性(例如，电阻)。在许多情况下，由于温度变化的电特性的变化可使得作为输入力的结果的电特性的任何变化模糊。例如，挠曲可产生力敏部件的电阻或阻抗的减小或增加。温度的改变还可产生力敏部件的电阻或阻抗的减小或增加。作为结果，这两个效应可相互抵消或者另选地可彼此放大，从而导致不敏感的力传感器或者高灵敏度力传感器。力敏部件的电阻或阻抗的类似的减小或增加还可例如通过由于设备的其他元件所产生的热量所导致的力敏部件的温度增加而产生。

[0064] 在一些情况下，由于温度变化的机械变化还可影响传感器的电特性。具体地，力感测部件的温度的变化可能导致力感测部件上的应变的变化。例如，受热的力敏部件可扩展并且受冷的力敏部件可收缩，以在部件上产生应变。该应变可使得可由相关联的感测电路测量的电阻、阻抗、电流或电压的变化并且可影响力传感器的性能。

[0065] 一个解决方案是通过提供经受相同或者基本上相同的环境条件的多于一个的力感测部件来说明环境影响。在测量第二力感测部件的应变时第一力感测部件可用作参考点或者环境基线。在一些具体实施中，两个力敏部件可由基本上相同的材料组成，使得在部件被测量时参考部件以相同的方式对环境进行反应。例如，在一些情况下，两个部件中的每个部件可被适配为具有相同的或者几乎相同的热膨胀系数。这样，由温度变化导致的机械变化和几何变化可作为部件之间的差值而被测量。在一些具体实施方式中，因为每个传感器

具有相同的或者相似的热膨胀系数，每个传感器可以基本上相同的方式伸展或收缩。使用合适的传感器电路和/或传感器处理，因温度而对任一传感器的电特性的影响可基本上被补偿、取消、减小或者消除。

[0066] 在一些具体实施方式中，第一传感器(具有一个或多个力感测部件)可被定位或者被设置在接收输入的表面下方。被定位在第一传感器下方的可为由导热材料形成的柔顺层。被定位在柔顺层下方的可为可用作参考传感器的第二传感器(具有一个或多个力感测部件)。在一些实施方案中，柔顺层的热导率导致第一传感器和第二传感器之间的基本上均匀的温度。柔顺层还可分布或者以其他方式吸收第一传感器的挠曲的相当大部分，使得第二传感器可被挠曲或者变形低的多的程度。在一些情况下，第二传感器可经历大幅减小的张力，并且在一些具体实施中，可根本不经历任何显著的张力。

[0067] 在一些实施方案中，柔顺层可用于减少应变通过叠层的传输，使得在柔顺层下方的层经历减小的应变但仍然挠曲一定程度。在一些情况下，在柔顺层下方并且被附接到基板的顶表面的传感器部件可由于(减小的)挠曲而经受压缩力。此类压缩力可与位于柔顺层上方的一个或多个层多层中的拉伸应变具有相反的效果。在一些情况下，下方的传感器部件的基于应变的电特性在符号上可与被设置在柔顺层的相对侧面上和相应的基板的下表面上的上方的传感器部件相反。可通过将上方的传感器部件置于(第一)相应的基板的上表面上并且将下方的传感器部件置于(第二)相应的基板的下表面上来实现类似的效果。当比较来自两个传感器的信号时，温度信号可表现为通用模式改变，而应变可表现为差动改变。因此，相对测量可用于对温度变化进行补偿。

[0068] 图1示出了示例性电子设备100。该电子设备100可包括被设置或者被定位在外壳102内的显示器104。该显示器104可包括多个元件的叠层，包括例如显示元件、触摸传感器层、力传感器层和其他元件。该显示器104可包括液晶显示器(LCD)元件、有机发光二极管(OLED)元件、电致发光显示器(ELD)等。该显示器104还可包括用于改善显示器的结构或者光学性能的其他层，包括例如玻璃片、聚合物片材、偏光器片、彩色掩模等。显示器104还可与覆盖件106集成或者结合在一起，该覆盖件106形成设备100的外表面的一部分。下面参考图2-5更加详细地描述了示出了一些示例性层元件的示例性显示器叠层。

[0069] 在一些实施方案中，触摸传感器和或力传感器与显示器104集成或结合在一起。在一些实施方案中，触摸传感器和/或力传感器使能设备100上的触敏表面。在当前的示例中，触摸传感器和/或力传感器用于在覆盖件106的外表面的至少一部分上方形成触敏表面。触摸传感器可包括例如电容触摸传感器、电阻性触摸传感器或者被配置为检测覆盖件106上的触摸的发生和/或位置的其他设备。力传感器可包括类似于本文所述的力传感器的基于应变的力传感器。

[0070] 在一些实施方案中，该显示器104的层中的每层可使用光学透明的粘合剂被粘结在一起。在其他实施方案中，该显示器104的层中的每层可被附接或者沉积在独立的基板上，这些独立的基板可彼此层叠或粘结。该显示器104还可包括用于改善显示器的结构或者光学性能的其他层，包括例如玻璃片、偏光器片、彩色掩模等。

[0071] 图2A示出了包括光学透明的力敏部件的栅格的示例性力敏结构200的顶视图。该力敏结构200可与电子设备的显示器集成或结合，诸如上面参考图1所述的示例。如图2A所示，力敏结构200包括具有被设置于其上的多个独立力敏部件212的基板210。在该示例中，

基板210可为光学透明的材料,诸如聚对苯二甲酸乙二酯(PET)、玻璃、蓝宝石、金刚石等。该力敏部件212可由透明导电材料制成,包括例如聚乙烯二氧噻吩(PEDOT)、氧化铟锡(ITO)、碳纳米管、镓氧化锌、铟镓锌氧化物、石墨烯、压阻的半导体材料、压阻的金属材料、镍纳米线、铂纳米线、银纳米线,其他金属纳米线等。在某些实施方案中,该力感测部件212可至少部分地基于温度特性而被选择。例如,被选择用于力感测部件212的材料可具有负的电阻温度系数,使得随着温度增加材料的电阻减小。

[0072] 如图2A所示,该力感测部件212可被形成作为直线像素元件阵列,尽管还可使用其他形状和阵列图案。在许多示例中,每个独立力感测部件212可具有取决于该力感测部件在阵列内的位置的形状和/或图案。例如,在一些实施方案中,该力感测部件212可被形成作为螺线形图案的迹线,诸如图2B中所示的。该力感测部件212可包括用于连接到感测电路的至少两个电极212a,212b。在其他情况下,该力感测部件212可电连接到感测电路而无需使用电极。例如,该力感测部件212可使用被形成作为部件层的一部分的导电迹线而被连接到感测电路。

[0073] 图2C示出了沿图1的节段A-A截取的示例性力敏结构200的一部分的侧视图。如该横截面中所示的,第一基板210可被设置在力接收层240下方。该力接收层240可对应于图1中所示的覆盖件106。在一些情况下,该力接收层240被配置为直接从用户接收力,并且在一些情况下,该力接收层240被配置为经由相对于力接收层240的表面设置的叠层的另一个层或部件来接收力。在一些实施方案中,该力接收层240可由具有高的应变传输特性的材料制成。例如,该力接收层240可由硬的或者另外的刚性材料诸如玻璃、塑料或者金属制成,使得所施加的力可通过力接收层240被有效地传输到被设置在下方的层。

[0074] 如图2C所示,柔顺层202可被设置在力接收层240和具有独立力敏部件212的阵列的第一基板210下方。柔顺层202可从被配置为响应于触摸的力而压缩和/或缓解应变的柔顺材料形成。例如,该柔顺层202可被配置为减轻第一基板210和第二基板220之间的切变和/或应变。在一些实施方案中,该柔顺层202可由低硬度弹性体形成。在一个非限制性示例中,该弹性体可具有小于25肖氏硬度A的硬度。在一些实施方案中,柔顺层202具有小于第一基板210的弹性模量的四分之一的弹性模量。在一些实施方案中,柔顺层202具有小于第一基板210的弹性模量的五分之一的弹性模量。在一些实施方案中,柔顺层202具有小于第一基板210的弹性模量的十分之一的弹性模量。在一些实施方案中,柔顺层202具有小于第一基板210的弹性模量的二十分之一的弹性模量。

[0075] 在一些实施方案中,该柔顺层202可由柔顺粘合剂形成。在一些实施方案中,该柔顺粘合剂可为光学透明的粘合剂。例如,该柔顺层202可由具有小于200微米的厚度的丙烯酸系粘合剂形成。在一些实施方案中,该柔顺层202可小于100微米。在一些实施方案中,该柔顺层可为约50微米的厚度。在其他实施方案中,可使用较薄的粘合剂层。在一些情况下,用于柔顺层202的材料可具有可变的弹性模量。例如,该柔顺层202可在一部分中为特别柔顺的并且可在另一个部分中为特别不柔顺的。这样,该柔顺层可被适配为在其整个厚度中包括可变的弹性模量。在一个实施方案中,该柔顺层202可由各自具有不同的相对顺应性的多个独立的层制成。例如,较低硬度的粘合剂可被分层堆叠在较高硬度的粘合剂的顶部上。在一些实施方案中,柔顺层202的材料可至少部分地基于其弹性模量而被选择。例如,在某些实施方案中,特别低的弹性模量使得柔顺层202异常易弯但是也足够有弹性,以在叠层的

层之间保持间隙。

[0076] 在一些实施方案中该，柔顺层202的材料可由具有各种厚度和弹性特性的层组成。材料的分层可增强柔顺层202的柔顺度。例如，随着柔顺层202的分层增加，层的柔顺度可增加。以类似的方式，如果材料被薄薄地施加，则该柔顺层202的柔顺度可降低。在一些示例中，该柔顺层可由针对每层而被施加15微米的厚度的丙烯酸系粘合剂层形成。在一些实施方案中，15微米的丙烯酸系粘合剂柔顺层可具有125微米的相同层的弹性模量的大约百分之五十五的柔顺度。

[0077] 如图2C所示，在柔顺层202下方的是具有定位于其上的多个独立力敏部件222的第二基板220。类似于第一基板210，该第二基板220可由光学透明的材料诸如聚对苯二甲酸乙二酯(PET)形成。在该示例中，该力感测部件222可被形成作为各自与阵列独立力敏部件212中的相应一个阵列独立力敏部件垂直对准的直线像素元件阵列。在许多示例中，每个单个力感测部件222可采取所选择的形状。例如，在某些实施方案中，力感测部件222可包括被布置成螺线形图案的迹线，该螺线形图案类似于针对图2B中的力感测部件212所示的螺线形图案。

[0078] 如图2C所示，力敏部件212, 222可被连接至感测电路105，该感测电路105被配置为检测力敏部件212, 222中的每个力敏部件的电特性的变化。在该示例中，该感测电路105可被配置为检测力敏部件212, 222的电阻的变化，该力敏部件可用于估计施加到设备的力。在一些情况下，该感测电路105还可被配置为基于相应的力敏部件212的电阻的变化的相对差值来提供有关触摸的位置的信息。

[0079] 在一些实施方案中，该感测电路105可被适配成确定力敏部件212的电响应和力敏部件222的电响应之间的相对测量。在一些情况下，由于触摸的力的电响应对于位于柔顺层202的相对侧上的力敏部件而言可为不同的。例如，如上所述，力可在力接收层240处被接收。由于力接收层240的刚度，在力接收层240上接收的并且使力接收层240弯曲的力还可使得第一基板210挠曲。因为力敏部件212附接于第一基板210，所以力敏部件212也挠曲并且将力传递到柔顺层202。然而，由于柔顺层202的柔顺度(例如，弹性特性)，所以柔顺层202可变形并吸收由触摸的力所引起的叠层中的切力或应变的至少一部分。因此，柔顺层202可在被设置在柔顺层202下方的力敏部件222中引起减小的应变。在一些情况下，(较低的)力敏部件222可经历与力敏部件212的挠曲和/或应变相比显著减小的挠曲和/或应变。因此，柔顺层202用作两个力敏部件212, 222之间的应变隔断。

[0080] 另选地，柔顺层202可规格化力敏部件212和类似地被定位在阵列内的相应的力敏部件222之间的温度。具体地，该柔顺层202可在力敏部件212, 222之间导热，以导致在对应的上部部件和下部部件之间的基本上均匀的温度分布。一些具体实施中，力敏部件212的温度和力敏部件222的温度可基本上相等。

[0081] 在一些情况下该，柔顺层202的热导率和机械柔顺度两者均可有助于可能减小或消除由局部的或者全局整个结构的温度变化所导致的任何应变传感器漂移的测量。特别地，测量柔顺层202的任一侧上的力敏部件的电响应的相对变化可用于补偿传感器的温度的变化。例如，在一个实施方案中，第一力敏部件212和第二力敏部件222响应于应变和/或温度的变化而可产生电阻的变化。可使用分压器电路构造来测量电响应的相对变化。例如，第一力敏部件212和第二力敏部件222可在分压器构造中作为电阻元件被连接。在一些情况

下,力敏部件212可被用作分压器的接地连接电阻器R_{接地},并且力敏部件222可被用作分压器的电源连接电阻器R_{电源}。在力敏部件212和力敏部件222的中点处的电压可通过将电源电压V_{电源}乘以接地连接电阻器与总电阻(即,电源连接电阻器与接地连接电阻器的和)的比值来进行计算。例如,在简化示例中,在分压器的中点处的电压V_{输出}可通过使用下面的等式而得到:

$$[0082] V_{\text{输出}} = V_{\text{电源}} \left(\frac{R_{\text{接地}}}{R_{\text{接地}} + R_{\text{电源}}} \right) \text{ 等式 1}$$

[0083] 由于电阻元件的电阻R_{接地}和R_{电源}(或者力敏部件212和力敏部件222,分别地)响应于力和响应于温度而变化,因此任一元件的电阻可作为力(即,应变)的函数和作为温度的函数两者来计算,用作简化的示例,等式:

$$[0084] R_{\text{测量}} \approx R_{\text{基准}} (1 + \alpha \cdot (T_{\text{实际}} - T_{\text{基准}}) (1 + g \cdot \varepsilon_{\text{施加}})) \text{ 等式 2}$$

[0085] 其中R_{基准}是基准参考电阻,a是电阻温度系数,g是电阻应变系数,并且ε_{施加}是被施加到结构的应变。由等式2所描述的近似值示出了任一R_{接地}和R_{电源}的基极电阻R_{基准}可被温度和被施加到材料的应变两者改变。在一些情况下,温度变化的效应可近似于被选择用于力敏部件的材料的电阻温度系数a和元件的实际温度的乘积。T_{实际}类似地,应变的效应可近似于电阻应变系数g与被施加到元件的应变ε_{施加}的乘积。

[0086] 通过组合等式2和等式1并且输入已知量V_{电源},R_{基准},a,和g以及测得的量V_{输出},被施加到每个元件的应变ε₂₁₂和ε₂₂₂以及每个元件的实际温度T₂₁₂和T₂₂₂唯一剩下的未知变量,其可被进一步简化为力敏部件212,222之间的应变差值Δε和力敏部件212,222之间的温度差值ΔT。

[0087] 在一些具体实施中,柔顺层240的热导率导致相对的力敏部件212,222之间的基本上均匀的温度。因此,在一些情况下,温度的差值ΔT可在功能上近似为零。另外,因为柔顺层240的柔顺度大大地减小力敏部件222所经历的应变,所以在一些情况下,应变ε₂₂₂可在功能上近似为零。这样,唯一剩下的未知量是由力敏部件212所经历的应变ε₂₁₂。因此,可使用与上述关联对应的算法或电路来计算ε₂₁₂,其可用于计算力测量值或估计值。如先前所述的,力测量值或者估计值可被用作电子设备的用户输入。

[0088] 图3A示出了图2B的示例性力敏结构的放大详细侧视图。如图3A所示,力敏部件212沿第一基板210的底表面被设置,该第一基板210自身被附着到或者以其他方式附接到力接收层240的底表面。与第一力敏部件212相对的是附着到第二基板210的第二力敏部件222。被定位在力敏部件212,222之间的是柔顺层202。在接收到力F时,力接收层240、第一基板210和力感测部件212可至少部分地挠曲,如针对图3B中的示例所示的。由于柔顺层202的柔顺度,力感测部件222响应于力F可不挠曲。在一些情况下,由于柔顺层202的柔顺度,力感测部件222可挠曲,但是程度小于力感测部件212。

[0089] 在一些实施方案中,力感测部件222的挠曲大约与力感测部件212的挠曲相同。然而,由于柔顺层202的存在,所以由力F所引起的并且由力感测部件212所经历的应变和/或切力的一部分可不被传输到力感测部件222。

[0090] 图4示出了包括具有贯穿彼此的元件的两个层的力敏结构400的另选示例的顶视图。如图4所示,每层包括被布置成线性阵列或图案的多个光学透明的力敏部件412,422。层中的一个层可被布置成多个行,而另一个层被布置成多个列。如相对于图2A所指出的,设想

透明力敏部件的其他合适的构造。例如，力敏部件412,422之间的角度可基本上垂直，如图4所示。一些实施方案，角度可不同或者力敏部件412,422可基本上对准。

[0091] 图5A示出了沿图1的节段A-A所截取的设备的力敏结构的附加示例性实施方案的一部分的侧视图。如该横截面中所示的，第一基板510可被设置在力接收层540下方。该力接收层540可对应于图1中所示的覆盖件106或者可被设置在图1的覆盖件106下方。如图5A所示，该第一基板510包括多个独立力敏部件512。该独立力敏部件512可由压阻或者其他应变敏感材料制成。以举例的方式，该力敏部件512可由硅、锗或者氧化铟锡制成。

[0092] 该力接收层540可由材料诸如玻璃、聚碳酸酯或者类似的透明基板形成。在一些实施方案中，该力接收层540可被结合成显示器叠层内的层。在一些情况下，该力接收层540为显示器叠层的覆盖件(玻璃)。该力接收层540可由具有高的应变传输特性的材料制成。作为一个示例，该力接收层540可由硬的或者另外的刚性材料诸如玻璃或者塑料制成，使得所施加的力可通过力接收层540被有效地传输到被设置在下方的层。该力接收层540还可被配置为响应于被施加到力接收层540的力而挠曲。

[0093] 在力接收层540下方，该第一基板510以及多个独立力敏部件512是柔顺层502。该柔顺层502可从任何数量的适当柔顺的材料制成。例如，在一些实施方案中，可使用低的硬度弹性体(在一个示例中，弹性体具有小于25肖氏的硬度)。在一些示例中，该柔顺层可由低模量的光学透明的粘合剂、液体光学透明的粘合剂、硅树脂材料、树脂材料或者凝胶材料制成。在一些实施方案中，该柔顺层502可被形成为被适配为吸收被施加到力接收层的特定范围的力的厚度。在一些实施方案中，该柔顺层502的厚度还可取决于一个或多个考虑，包括例如弹性、热导率、电导率、电绝缘或者其他电特性、热特性或者机械特性。

[0094] 在柔顺层502和压阻的力敏部件512下方，多个独立力敏部件522可被定位在第二基板520上。独立力敏部件522可由应变敏感材料制成。在此类实施方案中，该第一基板510的力敏部件512可由与第二基板的力敏部件522不同的材料制成。

[0095] 该力敏部件512,522可操作地连接到被配置为检测力敏部件512,522中的每个力敏部件的电特性或者电响应的变化的感测电路505。在一些实施方案中，该感测电路505可被适配为通过例如分压器(即，半桥)来检测力敏部件512,522的电阻的变化。

[0096] 在一些实施方案中，该力敏部件512,522的压阻元件随着传感器、设备或者环境的温度的改变可经受热电效应。该力敏部件512,522的电特性(例如，电阻)可随着温度的变化而变化。在一些示例中，随着温度变化的力敏部件512,522的电特性或者电响应还可受到热膨胀系数(“CTE”)的影响。因此，在一些情况下，该力敏部件512,522的电特性可被建模为热电效应、CTE效应以及由于用户所施加的力的任何应变的效应的总和。在一些实施方案中，该力敏部件512,522的电特性或者电响应可随着温度以及响应于触摸的力而变化。例如，该力敏部件512,522的电特性或者电响应可由于由温度变化所引起的力敏部件512,522的物理尺寸的变化(例如，力敏部件512,522由于热膨胀而伸展或收缩)而变化。另选地，该力敏部件512,522的电特性或者电响应可由于归因于热电或者热电效应的温度的变化而变化。因此，在一个示例中，直接从力敏部件512,522所测得的应变可近似为三个分量的总和。

[0097] $\varepsilon_{\text{测量}} \cong \varepsilon_{\text{user}} + \varepsilon_{\text{pyro}} + \varepsilon_{\text{CTE}}$ ， 等式3

[0098] 其中， $\varepsilon_{\text{测量}}$ 是应变测量或者估计， $\varepsilon_{\text{user}}$ 是由于触摸的力的应变， $\varepsilon_{\text{pyro}}$ 是由于热电效应的应变，并且 ε_{CTE} 是由于热膨胀系数的应变。在一些情况下，由用户所施加的力的测量或者

估计可减小、取消或者以其他方式补偿热电效应和/或CTE效应。

[0099] 类似地,该力敏部件522的应变敏感材料可经受由于温度变化而导致的电阻的变化。此类变化可被称为由被选择用于力敏部件522的电阻热系数(“TCR”)所造成的变化。类似地,CTE可使得力敏部件522响应于温度和由于用户所施加的力的任何应变的效应而物理地伸展或收缩。这样,力敏部件522的电阻可随着温度而直接变化,该力敏部件522的物理尺寸(并且因此电阻)可随着温度而变化(例如,力敏部件522伸展或收缩)),并且力敏部件522的尺寸可响应于用户所施加的力而变化。因此,在一个示例中,作为力敏部件512的电阻的函数所测得的应变可近似为三个分量的总和。

[0100] $\varepsilon_{\text{测量}} \approx \varepsilon_{\text{user}} + \varepsilon_{\text{TCR}} + \varepsilon_{\text{CTE}}$ 等式4

[0101] 其中, $\varepsilon_{\text{测量}}$ 是应变测量或估计, $\varepsilon_{\text{user}}$ 是由于触摸的力的应变, ε_{TCR} 是由于电阻热系数的应变,并且 ε_{CTE} 是由于热膨胀系数的应变。在一些情况下,由用户所施加的力的测量或者估计减小、取消、消除或者以其他方式补偿TCR效应和/或CTE效应。

[0102] 在一些实施方案中,TCR效应和热电效应中的任一者或者两者可比由于用户力的任何应变变化大好若干个数量级。然而,尽管标度上存在差异,因为两种材料的特性均已知,所施加的力可被计算,因为温度和所施加的力是唯一未知的变量(使用例如等式1和2)。即,温度的变化可在基本上类似的程度上影响各组力敏部件512,522,而由于触摸的力所经历的应变可由于柔顺层512而变化,其可使用上述的等式1和2而被计算或者估计。因此,触摸的力的测量或者估计可减小、取消、消除或者以其他方式补偿各种温度效应,包括例如热电效应、TCR效应和/或CTE效应。

[0103] 图5B示出了沿图1的节段A-A所截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。正如图5A,多个力敏部件512可被设置在可从力接收层540接收力的基板510下方。根据先前的讨论,感测电路505可被适配为测量力敏部件512的电特性的变化。感测电路505还可耦接到温度传感器524。温度传感器524可热耦接到力敏部件512。例如,在一个实施方案中,温度传感器524可被包括在基板510内。在另一个示例中,温度传感器可被包括在力敏部件512下方,或者在叠层内的其他地方。由温度传感器524所提供的温度测量可用于计算可被施加到力敏部件512的应变测量的补偿因子。这样,温度的影响可被补偿并且由于用户输入的温度独立应变可被准确地测量。

[0104] 在一些实施方案中,该力敏部件512还可被用作电容触摸屏的部分。例如,在第一模式中,力敏部件512可被操作以测量被施加到力接收层的力。然而,在第二模式中力敏部件512可操作作为被适配为检测屏幕上的用户触摸的电容传感器。尽管被示出使得力敏部件512取向成背对力接收层540的底表面,但可以理解的是另选的实施方案被考虑。例如,在一个实施方案中,力敏部件512可取向成面向力接收层540的底表面。

[0105] 图5C示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。正如图5A,多个力敏部件512可被设置在第一基板510下方,其可从力接收层540接收力。其下方可为被定位在第二基板520上方的第一中间层,该第二基板520自身可包括被设置在其上的多个力敏部件522。该定位在第二基板下方的可为第二中间层502。在第二柔顺层502下方可设置第三基板530。第三基板530可包括多个力敏部件532。尽管示出了三层的基板,但某些实施方案可包括附加层。在许多实施方案中,中间层502中的一个或多个中间层可由柔顺材料制成。

[0106] 对于具有该构造或者相关的层构造的实施方案而言,可通过在第一层、第二层和第三层之间确定温度梯度来补偿温度。例如,当用户施加力时,可在三层中的每层处测量应变。如上所述,所测得的应变可包括不期望的温度效应。因此,通过测量第一层、第二层和第三层的所测得的应变之间的差值,可得到温度并且该温度可得到补偿。

[0107] 图5D示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。正如图5A,多个力敏部件512可被设置在第一基板510下方,该第一基板510可通过隔热层526从力接收层540接收力。该隔热层526可被适配为将机械力从力接收层540向下转移到第一基板510,而无需传输热。如图所示,隔热层可在力接收层540的底表面和第一基板510之间形成气隙。这样,第一基板510和第二基板520以及力敏部件512,522的相应的层的温度可被至少部分地与环境条件隔离,这可改善力传感器的准确性和性能。

[0108] 图5E示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。在此类实施方案中,单个应变感测层包括在围绕基板510的不同位置处表现出不同的应变特性和或热特性的多个应变传感器512。例如,应变传感器512a可具有与应变传感器512b不同的几何结构。可针对任何数量的理由来选择几何结构中的差异。例如,针对期望比基板510的其他部分经历更大的变形的基板的部分而言较大的应变传感器几何结构可能是需要的。

[0109] 在一个示例中,可基于在结构被包括在电子设备内时哪些电子部件被设置在力敏结构下方来选择针对不同的应变传感器的不同的几何结构。在其他情况下,针对不同的期望的力输入区域可存在不同的几何结构。例如,某些实施方案可包括被设计成比第二力感测区域更加敏感的力感测区域。因此,被包括在这两个区域内的应变传感器的几何结构可不同。这样,基板510的不同的区域可包括不同的应变传感器512。应变传感器可在几何结构、取向、材料或者其他特性上不同。

[0110] 图5F示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。正如图5A,多个力敏部件512可被设置在可从力接收层540接收力的第一基板510下方。被定位在第一基板510下方的可为柔顺层502,第二基板520可被定位在该柔顺层502下方。类似于图2C中所示的实施方案,沿第二基板520的顶表面可为第一多个力敏部件522。沿第二基板520的底表面定位的可为第二多个力敏部件522。以基本上参考图2C所述的方式,在此类实施方案中,力敏部件512可与第一多个力敏部件522一起被测量。例如,在某些实施方案中可通过半桥来完成测量。

[0111] 此后或者在其内,与第二多个力敏部件522相比,第一多个力敏部件522之间的差值可被测量。例如,这些可使用半桥或者作为另外一种选择利用四分之一桥来进行测量(即,不依赖该第一多个力敏部件来测量第二多个力敏部件522)。这样,温度的影响可被补偿并且由用户力输入导致的应变可被测量。

[0112] 图5G示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例的一部分的侧视图。正如图5A,多个力敏部件512可被设置在力接收层540下方。在此类实施方案中,力接收层可为与便携式电子设备的显示器叠层相关联的覆盖件(例如,覆盖玻璃)。被定位在覆盖件下方的可为柔顺层502,基板520可被定位在该柔顺层502下方。在此类实施方案中,该柔顺层502可为与显示器叠层相关联的液晶层。沿基板520定位的可为多个力敏部件。在此类实施方案中,该基板可为与显示器叠层相关联的薄膜晶体管层。这样,力敏结构可被直接结合在便携

式电子设备的显示器叠层内。

[0113] 图5H示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。与图5G相关,多个力敏部件512可被设置在力接收层540上方,该力接收层540可为与显示器叠层相关联的覆盖玻璃。该定位在第一基板510下方的可为柔顺层502,该柔顺层502可为与显示器叠层相关联的液晶层。该定位在柔顺层502下方的可为基板520,该基板520可为与显示器叠层相关联的薄膜晶体管层。沿薄膜晶体管层的底表面可为多个力敏部件512。这样,力敏结构可被直接结合在便携式电子设备的显示器叠层内。

[0114] 图5I示出了沿图1的节段A-A截取的设备的力敏结构的示例性实施方案的一部分的侧视图。在此类实施方案中,该感测电路505可测量力敏部件512和不垂直对准的力敏部件522之间的差值。这样,与多个力敏部件522相比,感测电路可逐步地扫描单个力敏部件512。

[0115] 图6A-6C示出了可用于图2A中所示的示例性力敏结构的力敏部件的各种光学透明螺线形几何结构的顶部详细视图。例如,该力感测部件612可包括用于连接到感测电路的至少两个电极612a,612b,或者在其他情况下,该力感测部件212可被电连接到感测电路,而无需使用电极。例如,该力感测部件212可使用被形成为部件层的一部分的导电迹线而被连接到感测电路。

[0116] 图6A示出了对沿Y轴的应变敏感的螺线形几何结构的顶视图。这样,当该力感测部件612在X轴方向上被拉紧时,该力感测部件612可不经历显著的张力。相反地,当该力感测部件612在Y轴方向上被拉紧时,应变可被检测到并被测量。可以理解的是,角应变(例如,沿45度路径的应变)可与该应变沿Y轴的向量分量成比例或相等地使力感测部件612发生应变。类似地,图6B示出了对沿X轴的应变敏感并且可能不对沿Y轴的应变特别敏感的螺线形几何结构的顶视图。图6C示出了可对沿X轴和Y轴的应变敏感的螺线形几何结构的顶视图。

[0117] 图6D示出了可对沿45度角的应变敏感的螺线形几何结构的顶视图。可以理解的是,尽管在45度处被示出,但也可采用任何角度或者角度的组合。例如,一个实施方案可包括沿80度角来调整应变传感器612的角度。另一个实施方案可包括具有类似于图6C的多个有区别的部分的应变传感器,其中一个部分成45度角并且另一个部分成75度角。在许多实施方案中,至少部分地基于特定力敏部件沿电子设备的表面的位置,不同的力敏部件的取向的角度或者角度的组合可被选择。

[0118] 例如,图7示出了包括具有被取向成各种方向以检测沿相应方向的应变的迹线的光学透明的力敏部件712的栅格的示例性力敏结构的顶视图。例如,力敏部件712a可具有被取向成检测沿45度角度的应变的迹线,而力敏部件712b可具有被取向成检测沿45度角度的应变的迹线。在另一个示例中,力敏部件712c可被适配为检测沿0度和45度之间的任意角度。

[0119] 在某些实施方案中,该力敏部件的感测元件或者迹线的取向可对应于力敏部件相对于电子设备的外壳的位置。应变敏感的取向可被配置为例如与归因于力传感器的边界条件或者约束的预测应变一致。例如,紧邻显示器叠层内的屏幕的边缘的力敏部件可与被定位在显示的中心中的力敏部件以不同方式进行取向。在一些实施方案中,如图7所示,该力敏部件的取向可大致垂直于力传感器的边缘。

[0120] 在一些实施方案中,如图7所示,该栅格可由包括沿第一阵列的边缘定位的边缘力

敏部件712c的子组的部件的阵列形成。在一些情况下，该边缘力敏部件712c由沿基本上垂直于边缘的方向取向的迹线形成。如图7所示，力敏部件的阵列可包括被定位在阵列或者栅格的拐角处的拐角力敏部件712a, 712b的子组。在一些情况下，该拐角力敏部件712a, 712b由沿对角方向取向的迹线形成。

[0121] 图8示出了温度补偿和惠斯通电桥形式的光学透明的力传感器的简化信号流程图。在一些实施方案中，可跨被连接到电压源Vs的两个平行的分压器的输出端来测量电压Vg。该分压器中的一个分压器可包括已知电阻R₃, R₄的两个电阻器并且另一分压器可包括两个可变电阻器，在该示例中，两个可变电阻器表示如例如图2A-图3中所示的力敏部件212, 222的力可变电阻和温度可变电阻。例如，使用等式2到上述的等式1中并输入已知量V_{电源}(Vs), R_{基准}, α, g, R₃, 和R₄以及所测得的量V_{输出}(Vg)，被施加到力敏元件212的应变ε₂₁₂变成唯一剩余的未知量。因此，由于触摸的力的应变可被计算或者估计并用于估计设备的表面上的力。

[0122] 图9为示出了用于制造温度补偿和光学透明的力传感器的过程900的示例性操作的工艺流程图。过程900可用于构造或者制造上面参考图2-5所述的一个或多个传感器实施方案。具体地，过程900可用于构造具有柔顺层的可用于测量触摸的力并补偿温度的变化的力传感器。

[0123] 在操作902中，第一基板可被选择或被获取。如前所述，基板可从光学透明的且大体刚性的材料形成。与本文所述的实施方案一致，基板是刚性的在于当被施加力时其不可压缩。然而，基板是柔性的并且被配置为响应于被施加到其中内部安装或者以其他方式集成力传感器的设备的表面的力而挠曲或弯曲。可能的基板材料包括例如玻璃或者透明聚合物如聚对苯二甲酸乙二酯(PET)或者环烯烃聚合物(COP)。

[0124] 在操作904中，透明力敏结构被施加到第一基板的表面。在一些实施方案中，该透明力敏结构是压电的或者应变敏感的材料，该压电的或者应变敏感的材料沉积到、形成在、附接到第一基板的表面或者以其他方式相对于第一基板的表面被固定。在一些情况下，该力敏结构由透明导电材料形成。示例性透明导电材料包括聚乙烯二氧噻吩(PEDOT)、氧化铟锡(ITO)、碳纳米管、石墨烯、压阻的半导体材料和压阻的金属材料、银纳米线、其他金属纳米线等等。该透明力敏结构可被应用为片材或者可被图案化到第一基板的表面上的阵列中。

[0125] 在操作906中，第二基板被选择或被获取。该第二基板可基本上类似于参考上述操作902所选择或者所获取的基板。在一些实施方案中，该第二基板可没有第一基板柔性。具体地，在一些实施方案中，该第二基板响应于设备上的触摸的力而弯曲或挠曲不是必要的。

[0126] 在操作908中，透明力敏结构被施加到第二基板的表面。操作908基本上类似于操作904。在一些实施方案中，该透明力敏结构被设置在当层被组合或者组装成最终的传感器构造时第二基板的面向第一基板的表面上。

[0127] 在操作910中，柔顺层被设置在第一基板和第二基板之间。在一些实施方案中，该柔顺层由一层或多层光学透明的粘合剂形成。例如，多层光学透明的粘合剂膜可被叠层或者层合在一起以形成柔顺层。在一些实施方案中，该柔顺层为液体形式的或者凝胶形式并且可被注入或者以其他方式被设置在第一基板和第二基板之间。在一些实施方案中，操作910包括固化过程，其中该柔顺层经受固化剂和/或被允许随着时间固化。

[0128] 图10为示出了操作温度补偿力传感器的过程1000的示例性操作的工艺流程图。过程1000可用于例如操作上面参考图2-5所述的一个或多个力传感器。具体地,过程1000可用于计算或估计设备上的触摸的力并补偿温度的变化或者温度的影响。

[0129] 在操作1002中,用户触摸的发生可被检测到。例如可使用触摸传感器来检测触摸。该触摸传感器可包括例如自电容触摸传感器、互电容触摸传感器、电阻性触摸传感器或者其他类型的触摸传感器。在一些实施方案中,触摸的发生可由力传感器被检测到。例如,传感器的一个或多个力敏结构的应变或电阻或应变的变化可用于检测触摸的发生。在一些实施方案中,操作1002不是必要的。例如,过程1000的其他操作可有规律的重复或者在不规则的间隔上被执行,而无需首先确定触摸是否存在。例如,过程1000可被执行并计算或估计零施加力,其可归因于设备上的触摸不存在或者不足。

[0130] 在操作1004中,两个或更多个力敏结构之间的相对测量可被获取。如先前相对于例如图2A-C、图3A-B和图5A-I和图8所述的,可使用分压器、半桥、全桥或者其他类似的电路构造来获取相对测量。在一些实施方案中,每个独立力敏结构的电测量被获取并且使用软件、固件或者软件/固件和电路硬件的组合来对测量进行比较。

[0131] 在操作1006中,力估计可被计算。在一些实施方案中,该力估计对热效应的变化进行补偿,包括例如热电效应、TCR效应和/或CTE效应,如上面参考等式3和4所述的。具体地,在操作1004中获取的相对测量可与等式1和2结合地使用,以计算所估计的应变。所估计的应变然后可用于使用例如对应的力敏结构的应变和所施加的力之间的已知的相关性来估计所施加的力。例如,应变可与基板(以及显示/传感器叠层的其他相关的层)的估计的挠曲对应,其可与设备的表面上的相应的力对应。

[0132] 图11为示出了用于操作温度补偿力传感器的过程1100的示例性步骤的附加工艺流程图。在操作1102中,用户触摸的位置可被识别。用户触摸的位置可使用例如自电容触摸传感器、互电容触摸传感器、电阻性触摸传感器等来确定。

[0133] 在操作1104中,两个或更多个力敏结构之间的相对测量可被获取。如先前参考例如图2A-C,图3A-B,和图5A-I,和图8所述,可使用分压器、半桥、全桥或者其他类似的电路构造来获取相对测量。在一些实施方案中,每个独立力敏结构的电测量被获取并且使用软件、固件或者软件/固件和电路硬件的组合来对测量进行比较。

[0134] 在操作1106中,力重心被计算。例如,在1106处,在操作1104中所获取的相对测量可用于近似所施加的力的质心。在一些实施方案中,在操作1102中所获取的用户触摸的位置可用于近似所施加的力的质心。在一些实施方案中,多触摸事件的所有触摸的几何结构质心可用于近似所施加的力的质心。然后,在操作1108中的所测得的力和力重心可被转发或者以其他方式中继到电子设备。

[0135] 图12示出了样本的单层压电应变传感器。压电膜1202可被夹在上部基板1210和下部基板1220之间并通过粘合剂1206,1208诸如光学透明的粘合剂接合到每个此类基板。一般来讲,电场由压电膜1202上的应变生成并且由三个主要方向中的每个主要方向的应力的组合来形成(在该讨论中被称为T₁,T₂和T₃)。场D₃可如下被表示:

[0136] D₃=d₃₁T₁+d₃₂T₂+d₃₃T₃+p₃Δ T, 等式5

[0137] 其中Δ T是膜的温度敏感性,D是对电子位移的测量,以及d₃₁,d₃₂和d₃₃是相对于三个轴的膜的压电系数。因此,传感器可产生难与由于机械应变所生成的信号区分的由于温

度变化的信号。

[0138] 图13示出了样本的压电双晶片压电应变传感器。压电膜1312,1322的两个层可被层合在一起,以创建差动应变感测设备,该差动应变感测设备可用于减小温度对应变测量以及因此对估计起因于应变测量的力的影响。该压电膜1312,1322可通过粘合剂(未示出)诸如光学透明的粘合剂而彼此附接。同样,每个膜可通过粘合剂(也未示出)被附接到基板1310,1320。与上述的某些实施方案形成对照,光学透明的粘合剂或者在压电膜之间的其他中间层不要求为柔性的。例如,被设置在压电膜1312和1322之间的光学透明的粘合剂可为刚性的或者以其他方式为非柔性的。

[0139] 图13的压电膜1312可为各向异性的。例如,该压电膜1312,1322可被拉伸成使得它们的聚合物链单向地或者双向地进行取向。在被拉伸时,由于机械应力的膜的压电效应在拉伸方向上大大强于相反方向上的压电效应。在一些实施方案中,压电效应在拉伸方向上可为相反方向上的压电效应的十倍。

[0140] 通过在力敏叠层中采用双向和/或单向各向异性的压电膜,仅对一个方向的应变敏感或者换句话讲,对一个方向上的应变比对其他方向上的应变更加敏感的传感器可被创建。因此,诸如图13和14中所示的那些的各向异性的压电膜可被选择性地拉伸,以对所选择的方向上的应变尤其敏感。

[0141] 如图13中所示的,压电膜1312是各向异性的(例如,拉伸的),并且压电膜1322是各向同性的(例如,未拉伸的)。膜1312的拉伸的方向可横交于所示的箭头。一般来讲,如图13中所配置和示出的,各向异性的压电膜1312和各向同性的压电膜1322的组合生成如下的电子位移 D_3 (其用于测量应变):

$$[0142] D_3 = (d_{31}^A - d_{31}^B)T_1 + (d_{32}^A - d_{32}^B)T_2 + (d_{33}^A - d_{33}^B)T_3 + (p_3^A - p_3^B)\Delta T \text{ 等式 5}$$

[0143] 因此,电子位移的温度依赖性被取消,因为电场的敏感性是针对期望方向之外的方向的。换句话讲,因为膜的电子位移有效地减小到零,膜之间的所有温度效应可被有效地消除。

[0144] 图14示出了可用于估计二维中的力的另一个与样本温度无关的应变传感器。这里,膜1402,1404与图13中所示的压电膜相同。然而,膜1408在与膜1402偏置成90度的方向上被拉伸,并且膜1406是各向同性的。

[0145] 通过测量膜1404和1406之间的电压(使用例如电极1434)、膜1402和上部基板1410的接合处的电压(使用例如电极1432)以及膜1408和下部基板1420的接合处的电压(使用例如电极1436),被施加在两个方向上的应变(诸如90度偏置,或者在另选的实施方案中以其他期望的角度偏置)可被确定。这样,通过应变感测的力敏感性和测量可沿两个轴被提供。此外,结构可在两个轴中提供应变的与温度无关的测量,因为层对各种压电膜的热电性进行补偿。正如图13,与温度无关的测量可为膜的电子位移有效地减小到零的结果,从而有效地消除温度的所有影响。

[0146] 图15示出了可用于估计二维中的力的另一个与样本温度无关的应变传感器。这里,膜1502,1504,1506和1508可与图14的对应识别的膜相同。然而,基板1530可被定位在膜1502和1504的叠层和膜1506和1508的叠层之间。如图15所示,电极1532,1534,1536和1538可用于测量相应的层的接合处的电压。这样,应变传感器可在两个不同方向的应变之间进

行区分。在某些实施方案中,不同的方向可用于触觉应变的定向检测。

[0147] 正如图13和14,来自图15的示例性传感器的与温度无关的测量可为膜的电子位移有效地减小到零的结果,从而有效地消除温度的所有效应。

[0148] 类似地,附加层可被添加到诸如图14和15所示的那些的实施方案,以便将敏感性添加到附加方向。例如,附加层可被适配为对与第一层或者第二层偏置45度的应变敏感。

[0149] 可以理解的是,尽管许多实施方案在上面相对于光学透明的力传感器而被公开,但本文所述的系统和方法可同样适用于不透明的力传感器或者不被要求为透明的力传感器。例如,本文所述的力传感器可被包括在显示器叠层下方,或者被包括在设备的外壳内。例如,电子设备可被适配为对用户对电子设备的外壳的挤压或者施压作出反应。在所有实施方案中,此类力传感器不需要为透明的。另一个实施方案可包括半透明的力传感器。例如,力传感器部件可掺杂有墨,使得力传感器看起来为特定颜色或者色系。在另外的实施方案中,力传感器可任选地为透明的、半透明的或者不透明的。

[0150] 本文所述的实施方案可以任何数量的合适的制造工艺形成。例如,在一个实施方案中,力敏结构可以卷绕法形成,该卷绕法可包括以所选择的图案在基板上沉积力敏材料,将所述基板结合到电子设备的一个或多个附加层或部件,并且将卷绕法的输出分割到多个独立力敏结构中。

[0151] 可以理解的是,尽管上面公开了许多实施方案,但相对于本文所述的方法和技术所提供的操作和步骤旨在为示例性的并且因此不是穷举的。可进一步理解的是,针对特定的实施方案可要求或者期望另选的步骤顺序或者更少的步骤或附加步骤。

[0152] 尽管根据各种示例性实施方案和具体实施描述了上述公开,但应当理解的是,在一个或多个独立实施方案中描述的各种特征、方面和功能不限于将它们适用于它们被描述的特定实施方案中,而是相反地它们可单独地或者以各种组合被应用到本发明的一个或多个其他实施方案,而不论此类实施方案是否被描述以及此类特征是否作为所述实施方案的一部分被提供。因此,本发明的广度和范围不应受任何上述示例性实施方案的限制,但相反地受本文所提供的权利要求书的限定。

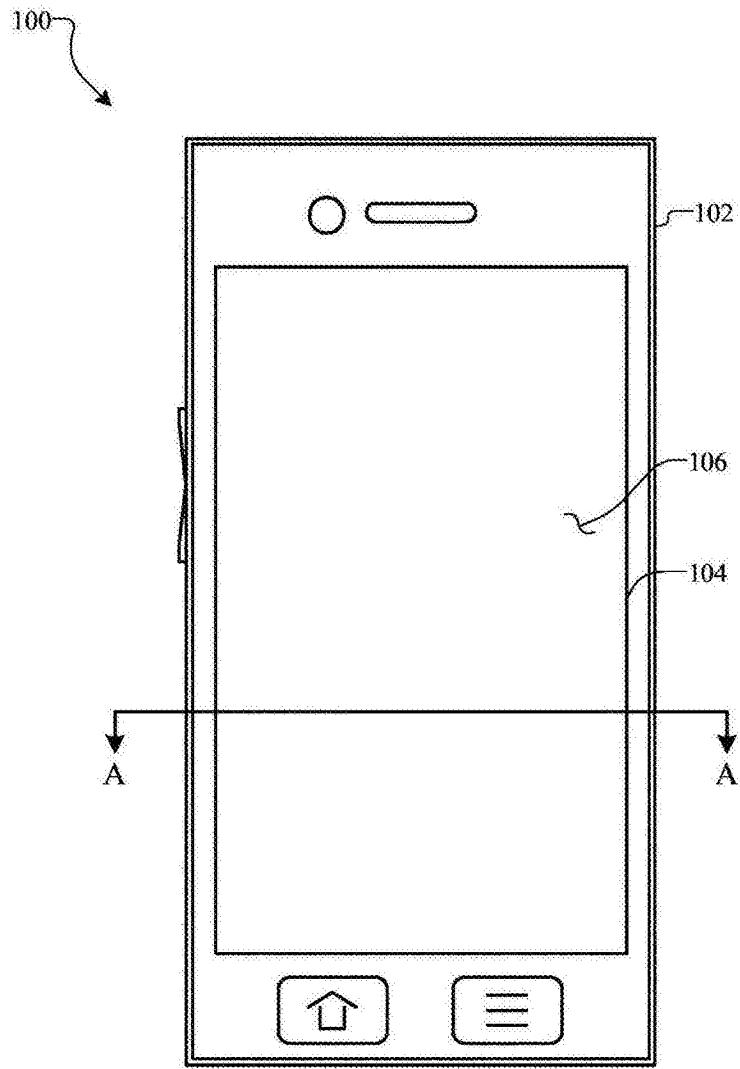


图1

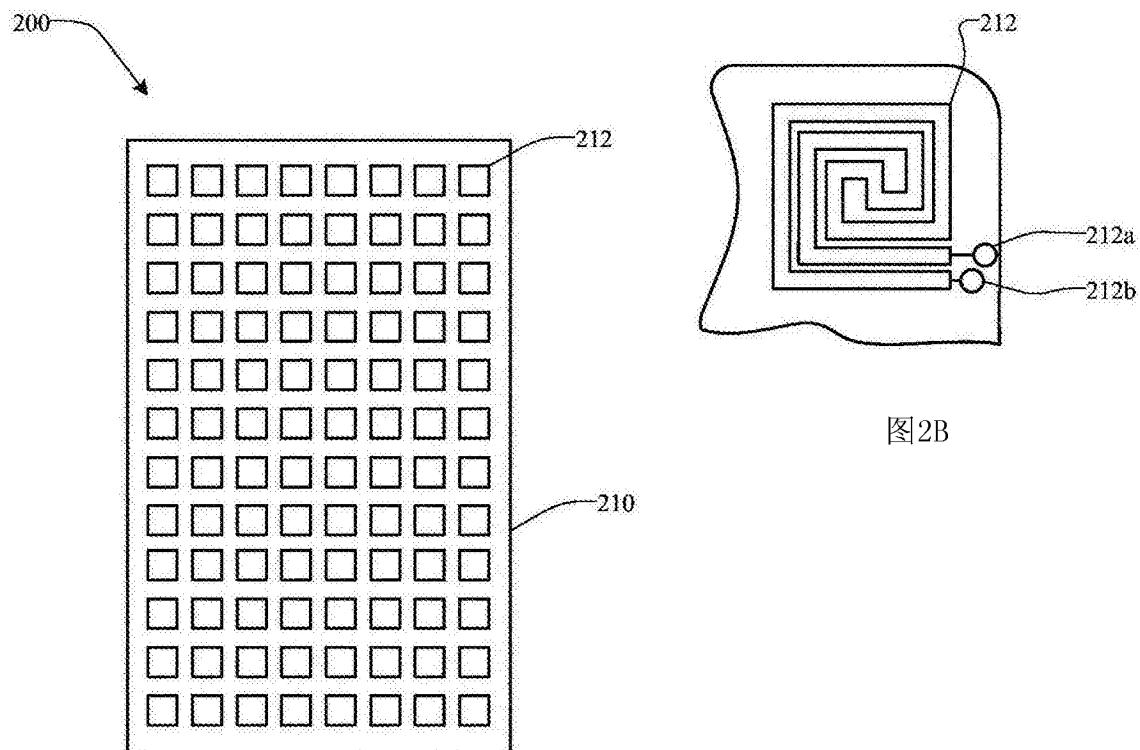


图2B

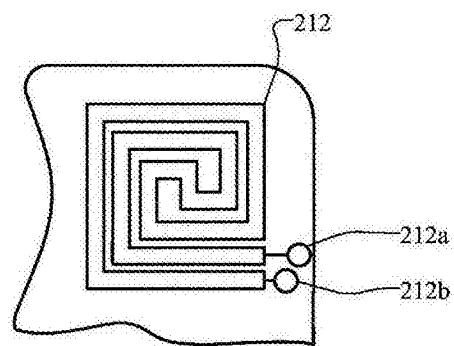


图2A

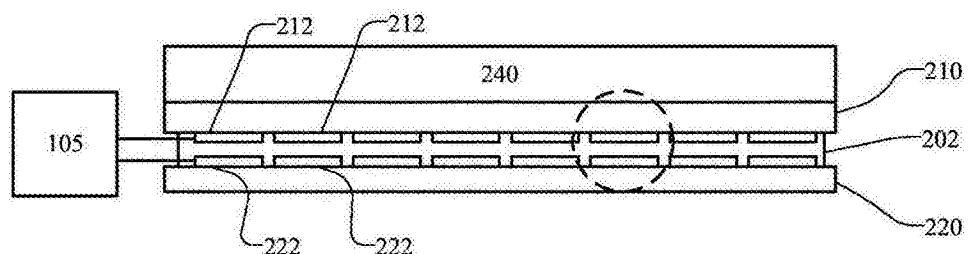


图2C

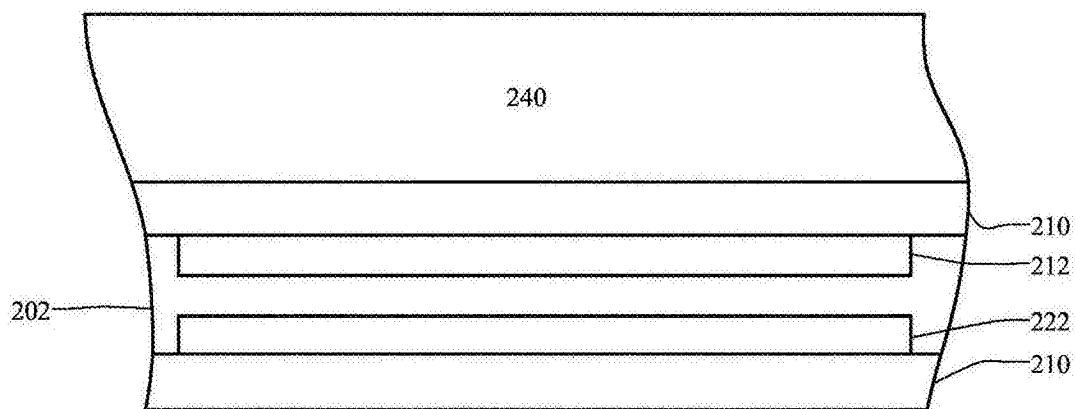
200

图3A

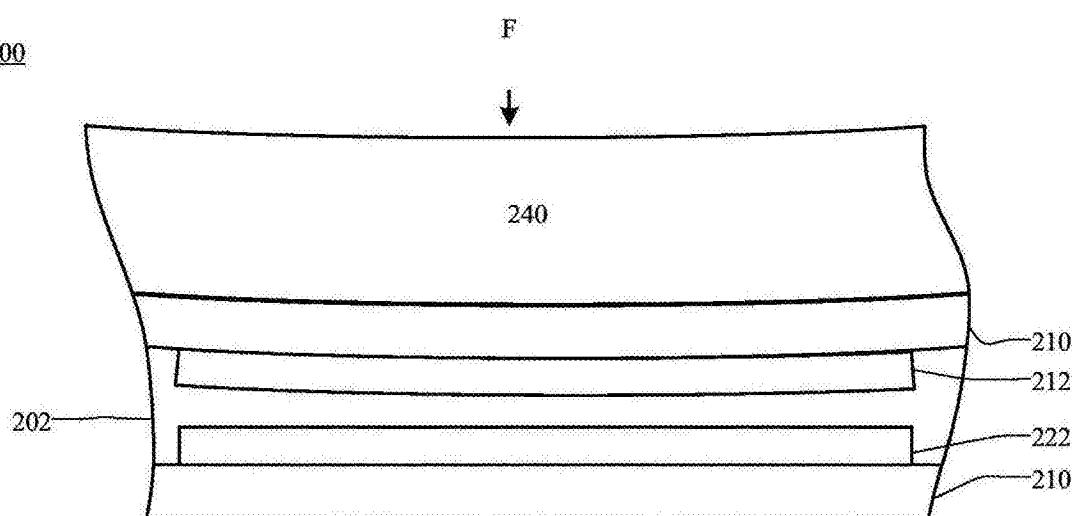
200

图3B

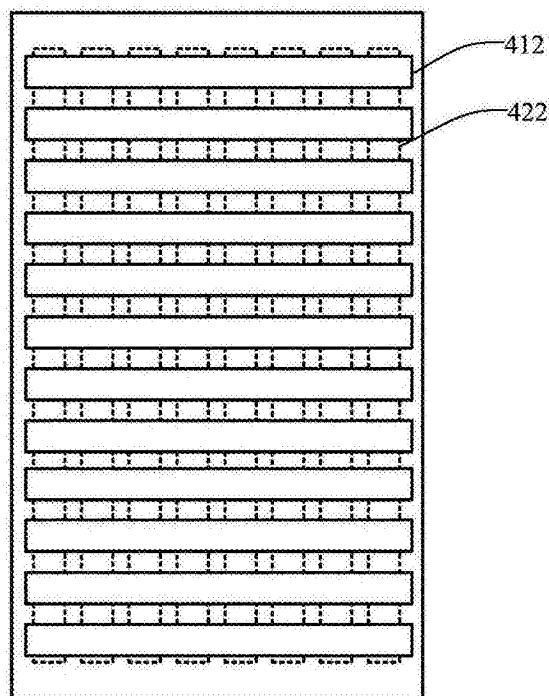
400

图4

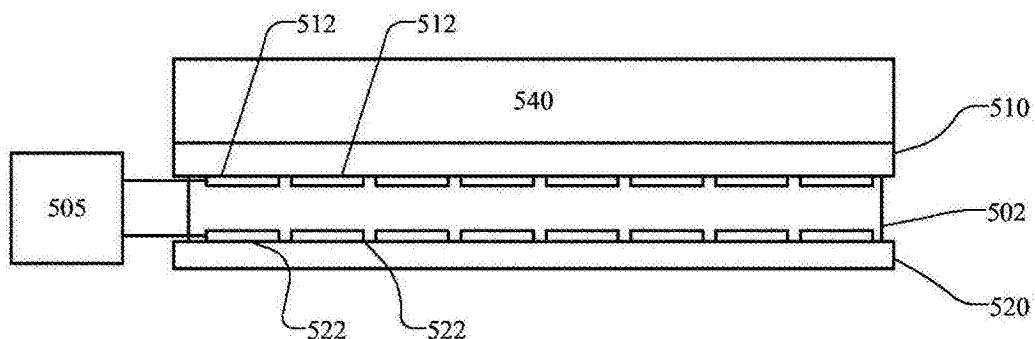


图5A

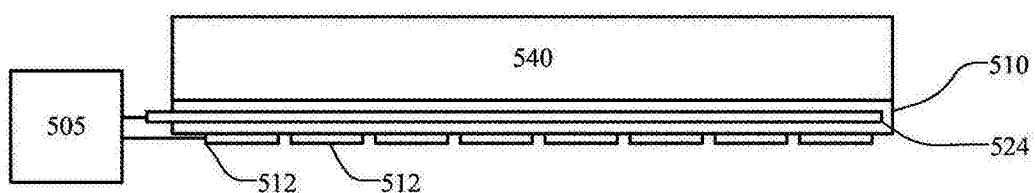


图5B

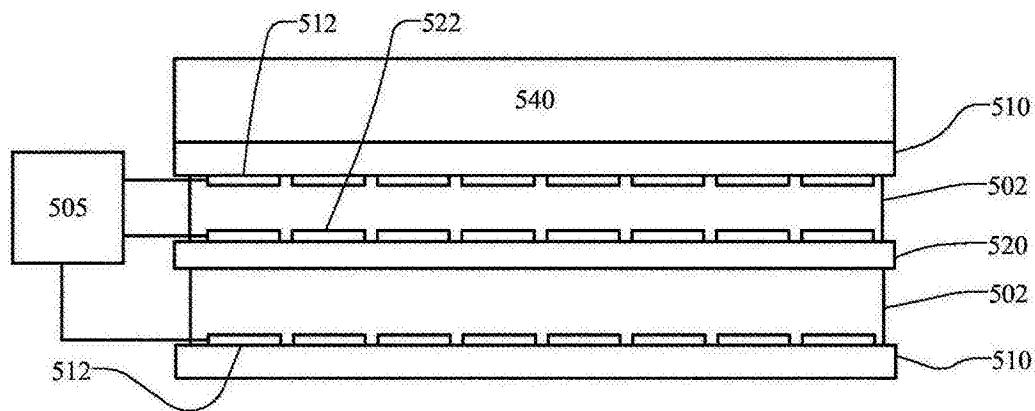


图5C

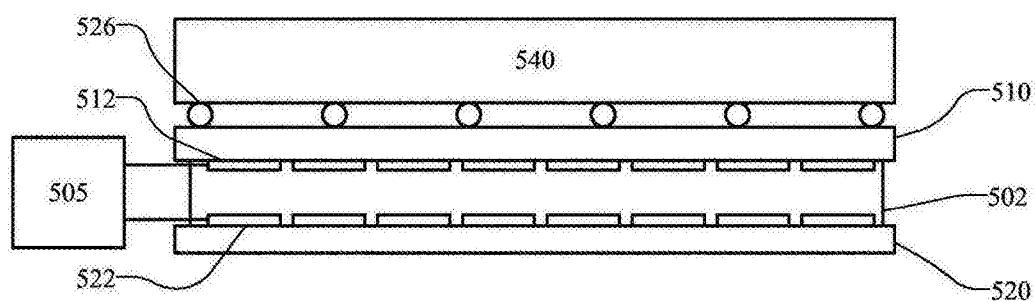


图5D

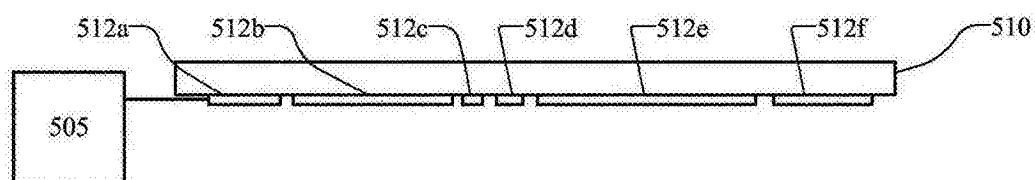


图5E

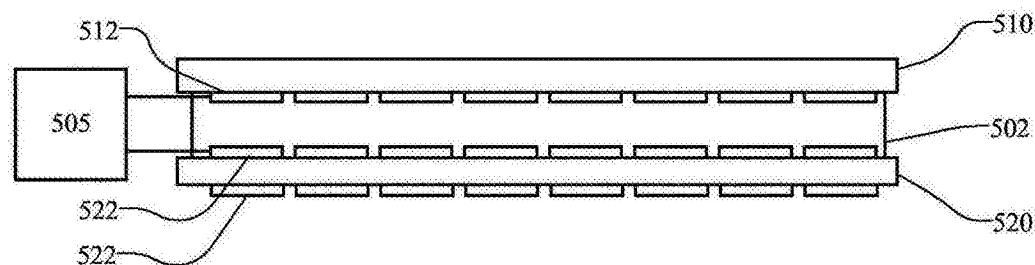


图5F

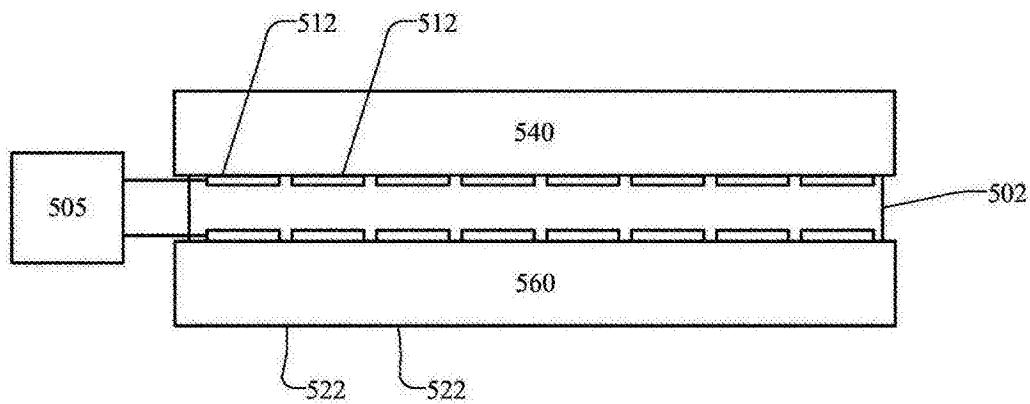


图5G

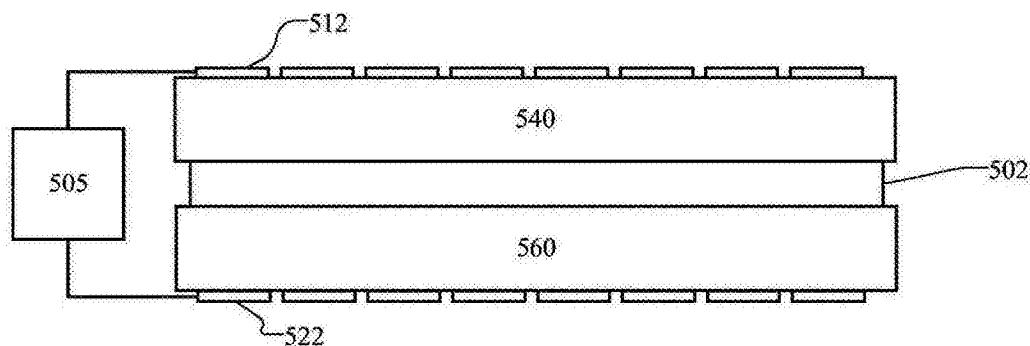


图5H

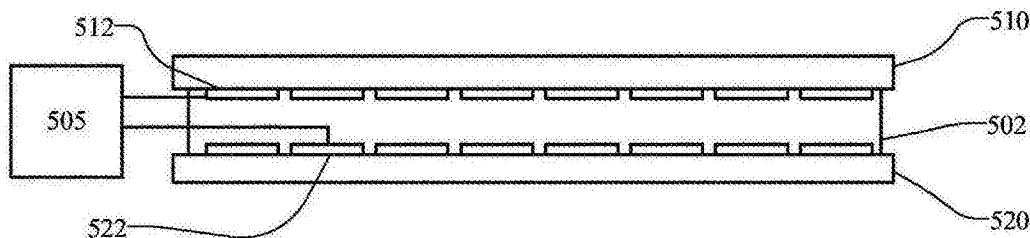


图5I

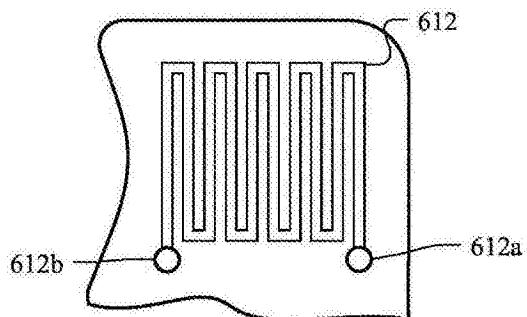


图6A

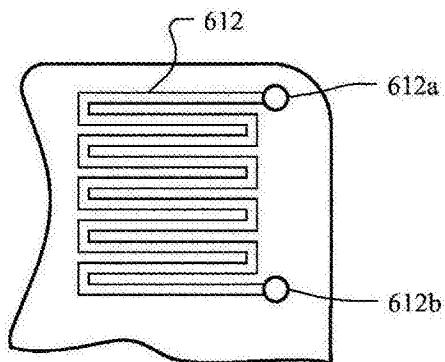


图6B

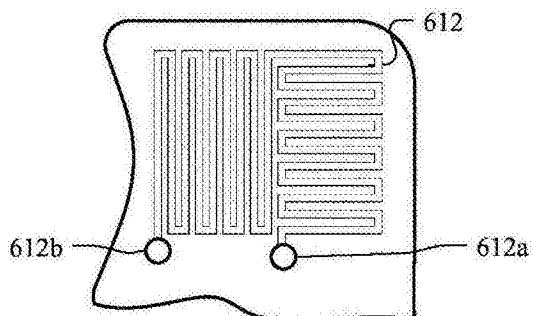


图6C

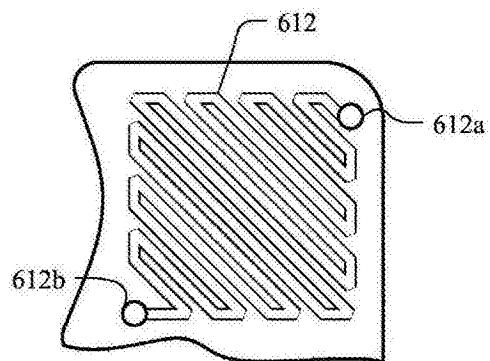


图6D

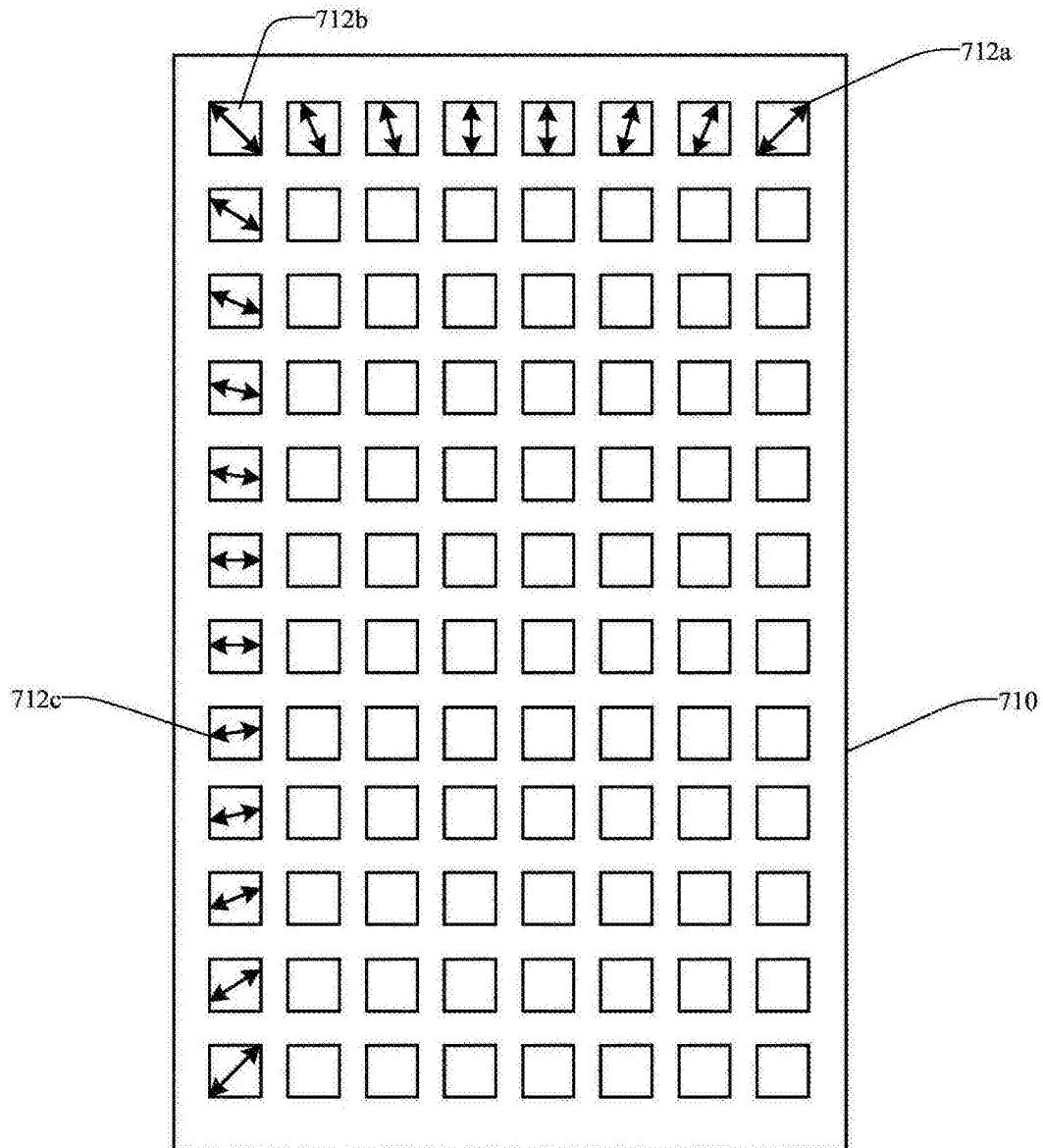


图7

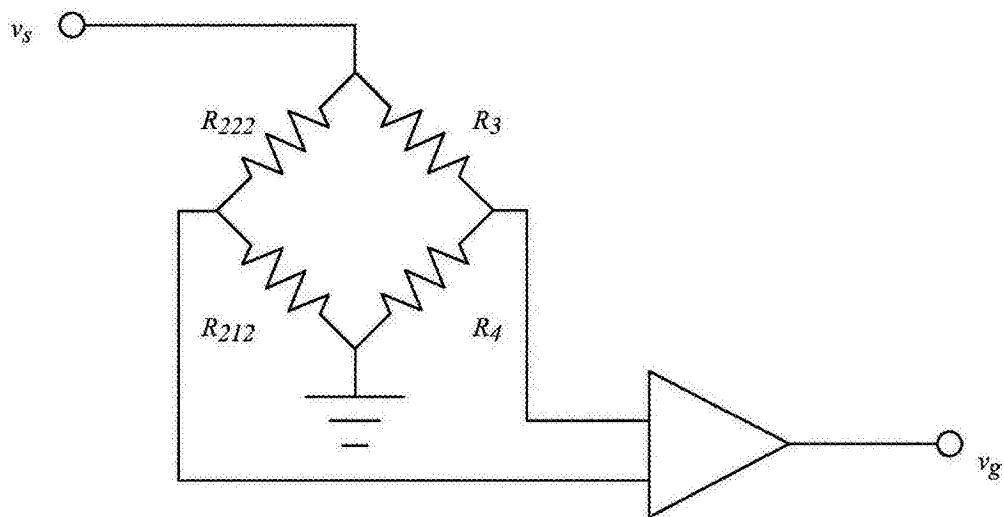


图8

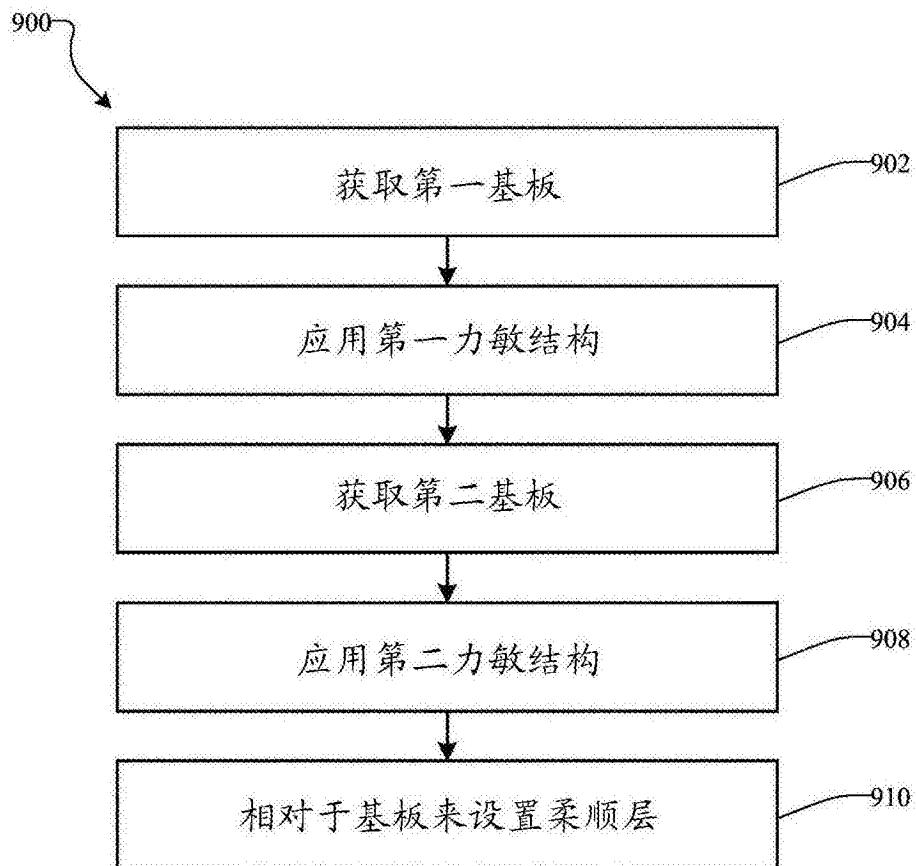


图9

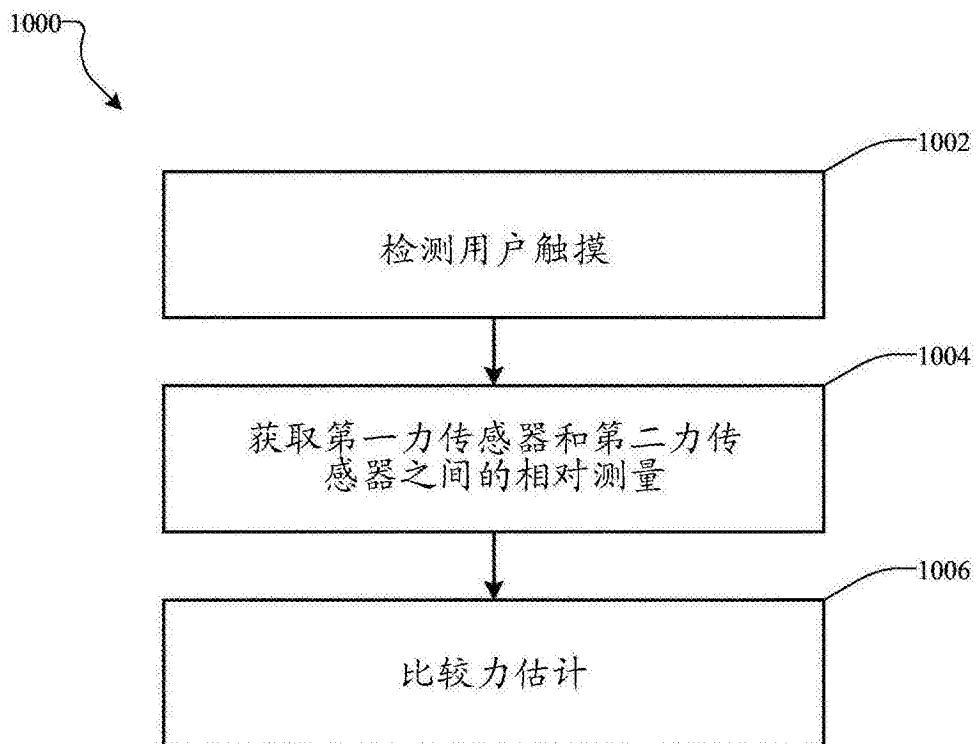


图10

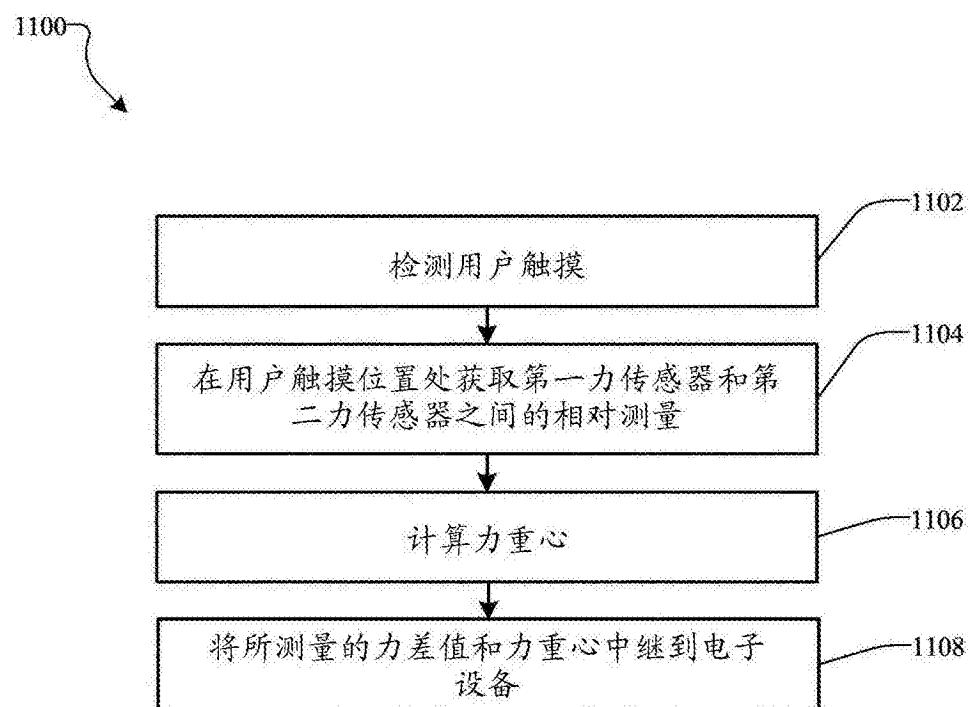


图11

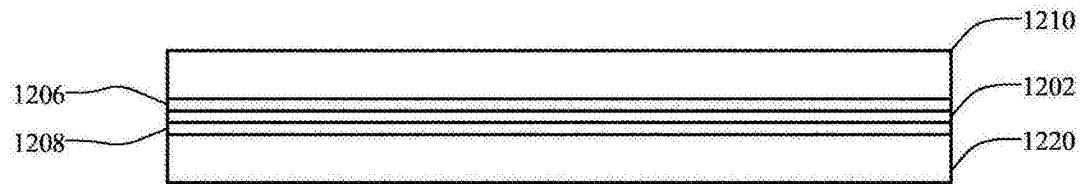


图12

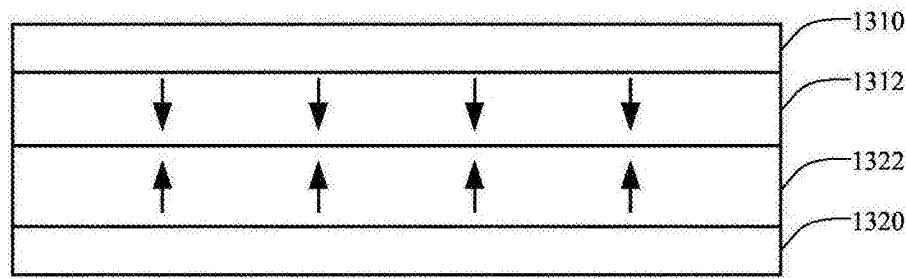


图13

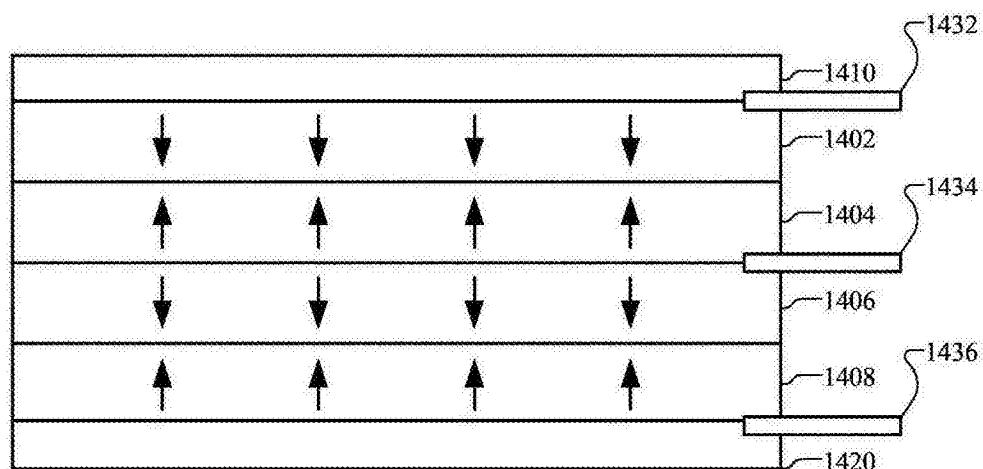


图14

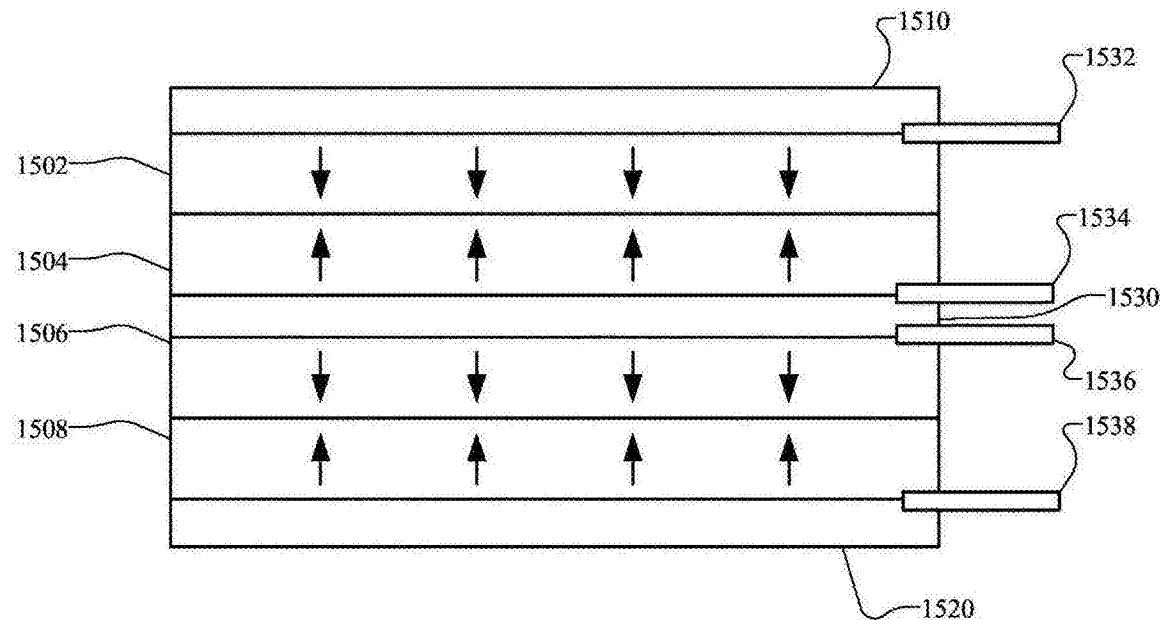


图15