



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107205642 A

(43)申请公布日 2017.09.26

(21)申请号 201580058556.9

(22)申请日 2015.11.03

(30)优先权数据

14/541,275 2014.11.14 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.04.27

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/058850 2015.11.03

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/077104 EN 2016.05.19

(71)申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 A·S·巴克西 V·S·玛格什库玛

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 高见

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/024(2006.01)

A61B 5/11(2006.01)

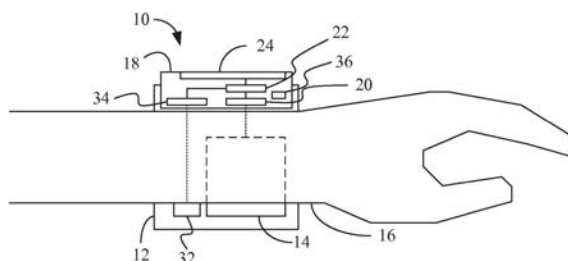
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

可穿戴装置中的超低功率连续心率感测

(57)摘要

系统和方法可以提供：压电膜，所述压电膜响应于所述压电膜表面上的压力变化生成激励信号；以及模拟前端，所述模拟前端耦合至所述压电膜，其中，所述模拟前端基于所述激励信号生成第一测量信号。另外，心率监测器可以耦合至所述模拟前端，其中，所述心率监测器基于所述第一测量信号生成心率测量结果。在一个示例中，所述模拟前端包括单级放大器。



1. 一种用于生成心率测量的设备,包括:

压电膜,所述压电膜用于响应于所述压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;

模拟前端,所述模拟前端耦合至所述压电膜,所述模拟前端用于基于所述激励信号生成第一测量信号;

心率监测器,所述心率监测器耦合至所述模拟前端,所述心率监测器用于基于所述第一测量信号生成连续的心率测量;

光学模块,所述光学模块耦合至所述心率监测器;以及

活动水平监测器,所述活动水平监测器耦合至所述光学模块,所述活动水平监测器用于响应于身体活动条件被满足而激活所述光学模块并且响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活,其中,所述光学模块用于在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率监测器用于在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成所述连续心率测量结果。

2. 如权利要求1所述的设备,其中,所述模拟前端包括单级放大器。

3. 如权利要求1所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于所述第一测量信号来判断是否满足所述身体活动条件。

4. 如权利要求1所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

5. 一种可穿戴系统,包括:

腕带,所述腕带包括压电膜,所述压电膜用于响应于所述压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;

电气壳体,所述电气壳体耦合至所述腕带,所述电气壳体包括:

模拟前端,所述模拟前端耦合至所述压电膜,所述模拟前端用于基于所述激励信号生成第一测量信号;

心率监测器,所述心率监测器耦合至所述模拟前端,所述心率监测器用于基于所述第一测量信号生成心率测量,以及

用户接口,所述用户接口耦合至所述心率监测器,所述用户接口用于输出所述心率测量。

6. 如权利要求5所述的可穿戴系统,其中,所述模拟前端包括单级放大器。

7. 如权利要求5所述的可穿戴系统,进一步包括:

光学模块,所述光学模块耦合至所述心率监测器;以及

活动水平监测器,所述活动水平监测器耦合至所述光学模块,所述活动水平监测器用于响应于身体活动条件被满足而激活所述光学模块,其中,所述光学模块用于在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率监测器用于在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成所述心率测量结果。

8. 如权利要求7所述的可穿戴系统,其中,所述活动水平监测器用于响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活。

9. 如权利要求7所述的可穿戴系统,其中,所述活动水平监测器用于基于所述第一测量信号来判断是否满足所述身体活动条件。

10. 如权利要求7所述的可穿戴系统,进一步包括用于生成加速度计信号的加速度计,

其中所述活动水平监测器用于基于所述加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

11. 如权利要求5至10中任一项所述的可穿戴系统,其中,所述心率测量是连续的。

12. 一种用于生成心率测量的设备,包括:

压电膜,所述压电膜用于响应于所述压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;

模拟前端,所述模拟前端耦合至所述压电膜,所述模拟前端用于基于所述激励信号生成第一测量信号;以及

心率监测器,所述心率监测器耦合至所述模拟前端,所述心率监测器用于基于所述第一测量信号生成心率测量。

13. 如权利要求12所述的设备,其中,所述模拟前端包括单级放大器。

14. 如权利要求12所述的设备,进一步包括:

光学模块,所述光学模块耦合至所述心率监测器;以及

活动水平监测器,所述活动水平监测器耦合至所述光学模块,所述活动水平监测器用于响应于身体活动条件被满足而激活所述光学模块,其中,所述光学模块用于在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率监测器用于在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成所述心率测量。

15. 如权利要求14所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活。

16. 如权利要求14所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于所述第一测量信号来判断是否满足所述身体活动条件。

17. 如权利要求14所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

18. 如权利要求12至17中任一项所述的设备,其中,所述心率测量是连续的。

19. 一种生成心率测量的方法,包括:

响应于压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;

基于所述激励信号生成第一测量信号;以及

基于所述第一测量信号生成心率测量。

20. 如权利要求19所述的方法,进一步包括使用单级放大器来生成所述第一测量信号。

21. 如权利要求19所述的方法,进一步包括:响应于身体活动条件被满足而激活光学模块,其中,所述光学模块在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率测量是在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成的。

22. 如权利要求21所述的方法,进一步包括:响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活。

23. 如权利要求21所述的方法,进一步包括:基于所述第一测量信号判断是否满足所述身体活动条件。

24. 如权利要求21所述的方法,进一步包括:基于加速度计信号判断是否满足所述身体活动条件。

25. 如权利要求19至24中任一项所述的方法,其中,所述心率测量是连续的。

可穿戴装置中的超低功率连续心率感测

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2014年11月14日提交的美国非临时专利申请号14/541,275的优先权权益。

技术领域

[0003] 实施例总体上涉及心率感测。更具体地,实施例涉及可穿戴装置中的超低功率连续心率感测。

技术背景

[0004] 可穿戴心率传感器一般可以采用光学体积描记术 (PPG) 技术,其中,一个或多个发光二极管 (LED) 照亮患者的皮肤,并且根据脉动性血流来测量从皮肤反射的光的变化。虽然这种方法在某些情况下可能是合适的,但是仍存在相当大的改进余地。例如,驱动LED可以涉及相对大量的功耗,这会对(具体为可穿戴传感器中的)电池寿命具有负面影响。而且,测量脉动性血流时被反射光的准确性可以依赖于皮肤颜色以及肌肉组织灌注。

附图说明

[0005] 通过阅读以下说明书和所附权利要求书并参考以下附图,实施例的各种优点对于本领域技术人员将变得显而易见,在附图中:

[0006] 图1A和图1B分别是根据实施例的可穿戴系统的示例的截面侧视图和端视图;

[0007] 图2是根据实施例的模拟前端的示例的示意图;

[0008] 图3是根据实施例的测量信号的示例的曲线图;以及

[0009] 图4是根据实施例的生成连续心率测量结果的方法的示例的流程图。

具体实施方式

[0010] 现在转至图1A和图1B,示出了可穿戴系统10。在所展示的示例中,可穿戴系统10被戴在个体的手腕上以便进行心率测量。可穿戴系统10可以替代性地被配置成用于戴在其他身体部位,比如,例如头、脖子和可以在皮肤上检测到其中的脉动性血流的身体其他部位(例如,皮下组织中的近动脉位点)。一般地,可穿戴系统10的腕带12可以包括具有暴露至可穿戴系统10的内部区域的一个或多个表面的压电膜14(或小压电元件阵列),从而使得压电膜14的(多个)表面或者直接或者通过另一层绝缘膜与手腕的皮肤16接触。术语“压电膜”和“小压电传感器阵列”在此可互换地使用。压电膜14可以响应于佩戴者的皮肤16下方的脉动性血流导致的压电膜14表面上的压力变化而生成激励信号。如将更详细讨论的,压电膜14可以避免关于功耗、电池寿命、皮肤颜色、肌肉组织灌注等的担忧。

[0011] 电气壳体18可以耦合至腕带12,其中,所展示的电气壳体18包括耦合至压电膜14的模拟前端20。模拟前端20可以基于来自压电膜14的激励信号生成第一测量信号。所展示的电气壳体18还包括耦合至所述模拟前端20的心率监测器22,其中,所述心率监测器22可

以基于所述第一测量信号生成心率测量结果。另外,耦合至心率监测器22的用户接口24(例如,显示器、扬声器)可以输出心率测量结果以供外部观察。

[0012] 具体说明的是,所展示的压电膜14在没有任何外部电源(比如,例如电池)的情况下生成激励信号。结果是,可穿戴系统10可以具有相对低的功耗。的确,可穿戴系统10的低功率运行性可以使得能够生成连续心率测量结果,而无需担忧电池寿命。而且,由于所展示的压电膜14不依赖光学测量结果,所以可穿戴系统10所进行的心率测量可以不取决于皮肤颜色或肌肉组织灌注。

[0013] 图2示出了用于生成测量信号的模拟前端26的一个可能的实施例。模拟前端26可以轻易地取代模拟前端20(图1A),已经讨论了。在所展示的示例中,可以轻易替代压电膜14(图1)的压电模块28生成激励信号,所述激励信号是脉动性血流导致施加至压电膜14的表面的压力变化的函数。具有工作电压(V_{op})和参考电压(V_{ref})的信号放大器30(例如,运算放大器)可以生成同激励信号与参考电压之间的电压差成比例的模拟测量信号。除了所展示的放大器30的相对低功率要求之外,经由所展示的方法可以实现更少零件和更少印刷电路板(PCB)空间使用。虽然所展示的放大器30是单级放大器,但是模拟前端26还可以替代性地包括多级放大器。图3示出了模拟前端26所生成的测量信号31的示例。

[0014] 返回图1A和图1B,可以使用混合压电/光学方案来实现更大的准确度。在此方面,如果系统10的佩戴者从事强烈水平的活动(例如,剧烈锻炼相对静坐/适度活动),则压电膜14可能易受运动伪像影响。相应地,所展示的可穿戴系统10还包括经由活动水平监测器34耦合至心率监测器22的光学模块32(例如,光体积描记器/PPG模块)。活动水平监测器34可以响应于身体活动条件被满足(例如,超过活动阈值)来激活光学模块32。

[0015] 活动水平监测器34可以基于来自模拟前端20和压电膜14的第一测量信号来判断是否满足了身体活动条件。因而,如果第一测量信号展现大于对脉动性血流期望的电压电平和/或摆动,则活动水平监测器34可以断定满足了身体活动条件。活动水平监测器34还可以基于另一信号比如例如来自可穿戴系统10中具体化的加速度计36的加速度计信号来判断是否满足身体活动条件。

[0016] 相应地,光学模块32可以在光学模块32被激活时生成第二测量信号,其中,所展示的心率监测器22在经由活动水平监测器34从光学模块32接收到第二测量信号时基于第二测量信号生成心率测量结果。另一方面,如果未满足物理活动条件,则所展示的活动水平监测器34将光学模块32去激活并且基于来自模拟前端20的第一测量信号进行心率测量,如已经讨论的。因而,在静坐到适度活动的时间段(例如,大多数人的大多数时间)内,压电膜14可以被用来生成心率测量结果。

[0017] 腕带12可以被配置成用于确保压电膜14相对于皮下组织中动脉位点的正确定位以及压电膜14与皮肤16之间的最优压力,以便捕捉读数。例如,压电膜14可以绕腕带12的内径的实质周长延伸,从而提高在动脉附近进行接触的可能性。另外,腕带12可以包括伸展传感器13,所述伸展传感器例如由使得能够监测腕带12的伸展和张力以及位置的导电弹性体和/或导电织物制成。监测的数据可以进而用于经由例如用户接口24向系统10的佩戴者传达重新定位、扣紧和/或松开消息。还可以使用其他技术来优化心率测量结果。

[0018] 现在转向图4,示出了生成心率测量结果的方法38。所述方法38可以被实现为逻辑指令集中的一个或多个模块,所述逻辑指令集存储在如随机存取存储器(RAM)、只读存储器

(ROM)、可编程ROM(PROM)、固件、闪存等的机器或计算机可读存储介质中,在如例如可编程逻辑阵列(PLA)、现场可编程门阵列(FPGA)、复杂可编程逻辑器件(CPLD)的可配置逻辑中,在使用如例如专用集成电路(ASIC)、互补金属氧化物半导体(CMOS)或晶体管-晶体管逻辑(TTL)技术或其任何组合的电路技术的固定功能硬件逻辑中。

[0019] 所展示的处理框40将光学模块置于去激活状态(例如,保持关闭),其中,在方框42可以对身体活动水平进行估计。所述估计可以使用来自可穿戴系统的压电膜和/或加速度计的信号。所展示的方框44判断身体活动的水平是否超过特定阈值(例如,满足了身体活动条件)。若否,则在方框46可以将光学模块维持在去激活状态,并且来自压电膜的激励信号可以用来生成心率测量结果。方框46因此可以涉及响应于压电膜的表面上的压力变化使用压电膜来生成激励信号以及基于所述激励信号生成测量信号,如已经讨论的。只要满足了身体活动条件,方框48就可以激活光学模块并从光学模块获得测量信号。所展示的方框50基于或者来自压电膜的测量信号或者来自光学模块的测量信号计算和显示心率测量结果。在任一种情况下,心率测量结果可以是连续的。

[0020] 附加说明和示例:

[0021] 示例1可以包括一种用于生成心率测量结果的设备,所述设备包括:压电膜,所述压电膜用于响应于所述压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;模拟前端,所述模拟前端耦合至所述压电膜,所述模拟前端用于基于所述激励信号生成第一测量信号;心率监测器,所述心率监测器耦合至所述模拟前端,所述心率监测器用于基于所述第一测量信号生成连续的心率测量结果;光学模块,所述光学模块耦合至所述心率监测器;以及活动水平监测器,所述活动水平监测器耦合至所述光学模块,所述活动水平监测器用于响应于身体活动条件被满足而激活所述光学模块并且响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活,其中,所述光学模块用于在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率监测器用于在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成所述连续心率测量结果。

[0022] 示例2可以包括如示例1所述的设备,其中,所述模拟前端包括单级放大器。

[0023] 示例3可以包括如示例1所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于所述第一测量信号判断是否满足所述身体活动条件。

[0024] 示例4可以包括如示例1所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0025] 示例5可以包括一种可穿戴系统,所述可穿戴系统包括:腕带,所述腕带包括压电膜,所述压电膜具有暴露至所述腕带内部区域的表面;所述压电膜,所述压电膜用于响应于所述压电膜的所述表面上的压力变化而生成激励信号;电气壳体,所述电气壳体耦合至所述腕带,所述电气壳体包括:模拟前端,所述模拟前端耦合至所述压电膜,所述模拟前端用于基于所述激励信号生成第一测量信号;心率监测器,所述心率监测器耦合至所述模拟前端,所述心率监测器用于基于所述第一测量信号生成心率测量结果;以及用户接口,所述用户接口耦合至所述心率监测器,所述用户接口用于输出所述心率测量结果。

[0026] 示例6可以包括如示例5所述的可穿戴系统,其中,所述模拟前端包括单级放大器。

[0027] 示例7可以包括如示例5所述的可穿戴系统,进一步包括:光学模块,所述光学模块耦合至所述心率监测器;以及活动水平监测器,所述活动水平监测器耦合至所述光学模块,

所述活动水平监测器用于响应于身体活动条件被满足而激活所述光学模块,其中,所述光学模块用于在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率监测器用于在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成所述心率测量结果。

[0028] 示例8可以包括如示例7所述的可穿戴系统,其中,所述活动水平监测器用于响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活。

[0029] 示例9可以包括如示例7所述的可穿戴系统,其中,所述活动水平监测器用于基于所述第一测量信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0030] 示例10可以包括如示例7所述的可穿戴系统,进一步包括用于生成加速度计信号的加速度计,其中,所述活动水平监测器用于基于所述加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0031] 示例11可以包括如示例5至10中任一项所述的可穿戴系统,其中,所述心率测量结果是连续的。

[0032] 示例12可以包括一种用于生成心率测量结果的设备,所述设备包括:压电膜,所述压电膜用于响应于所述压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;模拟前端,所述模拟前端耦合至所述压电膜,所述模拟前端用于基于所述激励信号生成第一测量信号;以及心率监测器,所述心率监测器耦合至所述模拟前端,所述心率监测器用于基于所述第一测量信号生成心率测量结果。

[0033] 示例13可以包括如示例12所述的设备,其中,所述模拟前端包括单级放大器。

[0034] 示例14可以包括如示例12所述的设备,进一步包括:光学模块,所述光学模块耦合至所述心率监测器;以及活动水平监测器,所述活动水平监测器耦合至所述光学模块,所述活动水平监测器用于响应于身体活动条件被满足而激活所述光学模块,其中,所述光学模块用于在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率监测器用于在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成所述心率测量结果。

[0035] 示例15可以包括如示例14所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活。

[0036] 示例16可以包括如示例14所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于所述第一测量信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0037] 示例17可以包括如示例14所述的设备,其中,所述活动水平监测器用于基于加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0038] 示例18可以包括如示例12至17中任一项所述的设备,其中,所述心率测量结果是连续的。

[0039] 示例19可以包括一种生成心率测量结果的方法,所述方法包括:响应于压电膜表面上的压力变化而生成激励信号;基于所述激励信号生成第一测量信号;以及基于所述第一测量信号生成心率测量结果。

[0040] 示例20可以包括如示例19所述的方法,进一步包括:使用单级放大器来生成所述第一测量信号。

[0041] 示例21可以包括如示例19所述的方法,进一步包括:响应于身体活动条件被满足

而激活光学模块,其中,所述光学模块在所述光学模块被激活时生成第二测量信号,并且其中,所述心率测量结果是在从所述光学模块接收到所述第二测量信号时基于所述第二测量信号而生成的。

[0042] 示例22可以包括如示例21所述的方法,进一步包括:响应于所述身体活动条件未被满足而将所述光学模块去激活。

[0043] 示例23可以包括如示例21所述的方法,进一步包括:基于所述第一测量信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0044] 示例24可以包括如示例21所述的方法,进一步包括:基于加速度计信号来判断是否满足所述身体活动条件。

[0045] 示例25可以包括如示例19至24中任一项所述的方法,其中,所述心率测量结果是连续的。

[0046] 示例26可以包括一种用于生成心率测量结果的设备,所述设备包括用于执行如示例19至25中任一项所述的方法(以其任意组合或子组合)的装置。

[0047] 因而,技术可以使得能够进行连续的心率测量,而无需担忧功耗、电池寿命、皮肤颜色、肌肉组织灌注等。另外,可以实现更少的零件和更少的PCB空间。

[0048] 实施例适用于所有类型的半导体集成电路(“IC”)芯片。这些IC芯片的示例包括但不限于:处理器、控制器、芯片组部件、可编程逻辑阵列(PLA)、存储器芯片、网络芯片、片上系统(SoC)、SSD/NAND控制器ASIC等。此外,在一些附图中,利用线条表示信号导体线。一些线条可以是不同的以指示更多组成的信号通路,具有数字标记以表示组成的信号通路的编号和/或在一端或多端具有箭头以指示主要信息流方向。不过,这不应被解释为限制性方式。而是,这种附加的细节可以与一个或多个示例性实施例结合使用以帮助更容易地理解电路。任何表示的信号线,无论是否有附加信息,都实际可以包括可以在多个方向行进的一个或多个信号,并且可以利用任何适当类型的信号方案实现,例如利用差分对、光纤线路和/或单端线路实现的数字或模拟线路。

[0049] 可能已经给出了示例尺寸/模型/值/范围,尽管实施例不限于此。随着制造技术(例如,光刻)随时间推移而成熟,预计可以制造出更小尺寸的器件。另外,为了简化图示和讨论以及为了不使实施例的一些方案不清晰,可以在图内示出或不示出到IC芯片和其他部件的公知的电力/接地连接。此外,安排可以以框图的形式示出,以避免模糊实施例,并且还鉴于以下事实:关于完成这样的框图安排的实现方式的细节高度依赖于在其中实现实施例的平台,即,这样的细节应当完全处在本领域技术人员的视界中。在阐述具体细节(例如电路)以描述示例性实施例的情况下,对于本领域技术人员来说应当显而易见的是,可以在没有这些具体细节或具有这些具体细节的变化的情況下实践实施例。描述因此被视为是说明性的而非限制性的。

[0050] 此处使用的术语“耦合”是指讨论部件之间的任何类型的关系,直接的或间接的,并且可以应用于电的、机械的、流体的、光学的、电磁的、电动机械的或其他连接。另外,此处使用的术语“第一”,“第二”等只帮助讨论,除非另外指明,其不带有特殊的时间或级别意义。

[0051] 如在本申请和权利要求书中所使用的,由术语“中的一项或多项”联接的一系列项目可意指所列术语的任何组合。例如,短语“A、B或C中的一项或多项”可意指A、B、C;A和B;A

和C;B和C;或A、B和C。

[0052] 本领域技术人员将从前面的描述中认识到,可以用各种形式来实现实施例的广泛技术。因此,虽然已经结合其特定示例描述了这些实施例,但是实施例的实际范围不应由此受限,因为其他的修改在本领域技术人员学习了附图、说明书和所附权利要求之后就将变得显而易见。

31

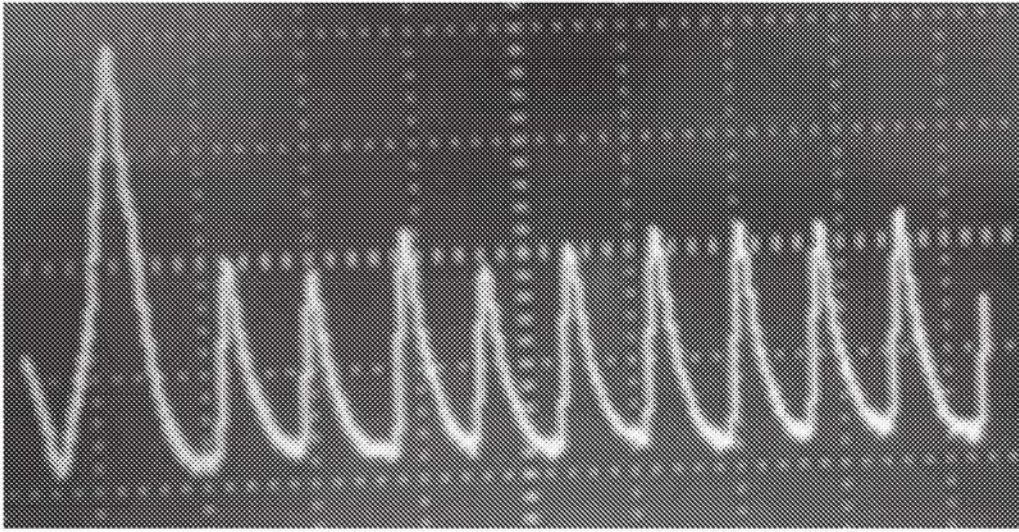


图3

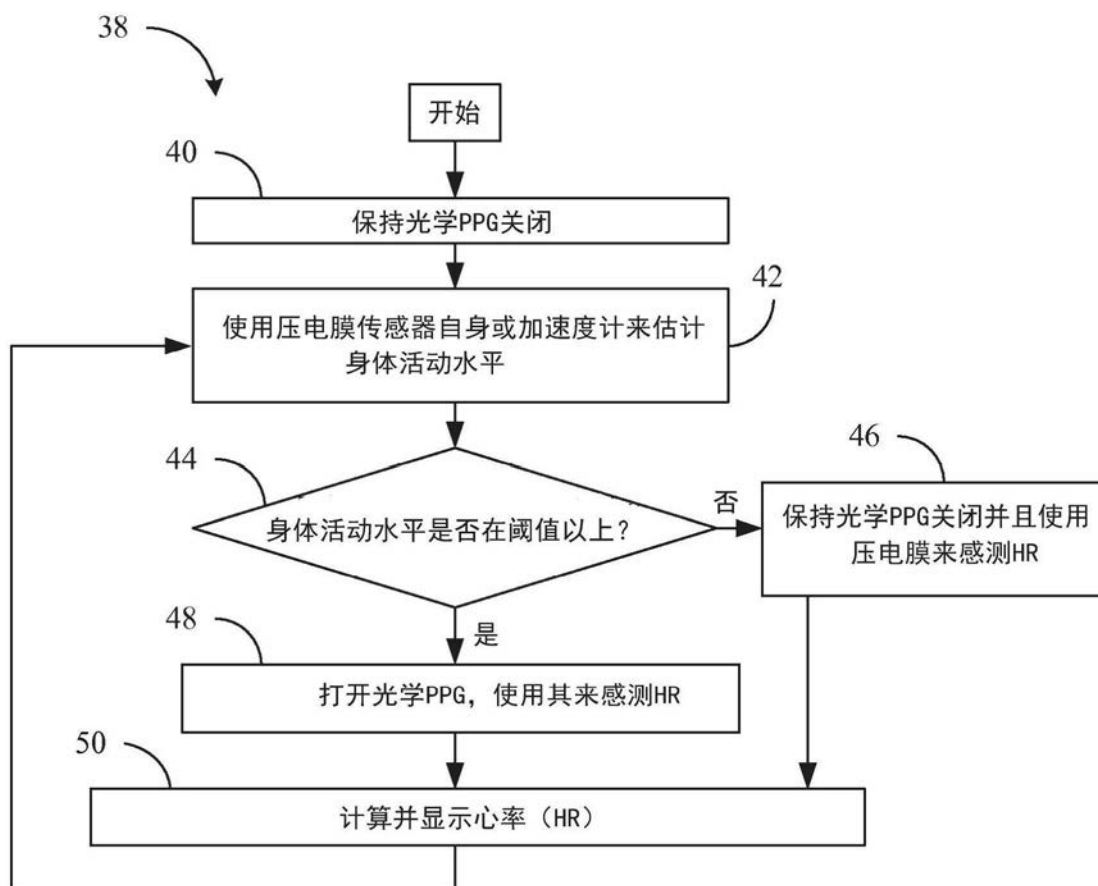


图4

专利名称(译)	可穿戴装置中的超低功率连续心率感测		
公开(公告)号	CN107205642A	公开(公告)日	2017-09-26
申请号	CN201580058556.9	申请日	2015-11-03
[标]申请(专利权)人(译)	英特尔公司		
申请(专利权)人(译)	英特尔公司		
当前申请(专利权)人(译)	英特尔公司		
[标]发明人	AS巴克西 V S 玛格什库玛		
发明人	A·S·巴克西 V·S·玛格什库玛		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/024 A61B5/11		
CPC分类号	A61B5/02416 A61B5/02438 A61B5/1118 A61B5/681 A61B5/7225 A61B5/7285 A61B2560/0209 A61B2562/0219		
代理人(译)	高见		
优先权	14/541275 2014-11-14 US		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

系统和方法可以提供：压电膜，所述压电膜响应于所述压电膜表面上的压力变化生成激励信号；以及模拟前端，所述模拟前端耦合至所述压电膜，其中，所述模拟前端基于所述激励信号生成第一测量信号。另外，心率监测器可以耦合至所述模拟前端，其中，所述心率监测器基于所述第一测量信号生成心率测量结果。在一个示例中，所述模拟前端包括单级放大器。

