

MEMS传感器帮助可穿戴设备 捕捉了肺、心脏“振动”

Bill Schweber

用于“个人”医疗设备的电子设备是一个非常受研究关注的领域，尤其是当该设备可以缩小到很小的尺寸并且易于穿戴时。为了达到一个很好的目标，但采取了不同的策略，佐治亚理工学院（Georgia Tech）的团队追求的是来自心脏和肺部的“机械”和振动信号，而不是更常见的心电图（EKG 或 ECG）和与脉冲相关的波形。该项目发现，源自心脏和肺部的机械声信号包含有关心肺系统的宝贵信息。

佐治亚理工学院的团队构建了一个密封的高精度振动传感器，该传感器结合了加速度计和接触式麦克风的特性来获取宽带生理信号。这样就可以同时监视与心肺系统相关的多种健康因素，包括心脏和呼吸频率，心音，肺音以及个体的身体运动和位置。它可以检测到从体内进入芯片的振动，同时最大程度地减少了从体内核心散发出的分散噪声，例如空气传播的声音（图 1）。

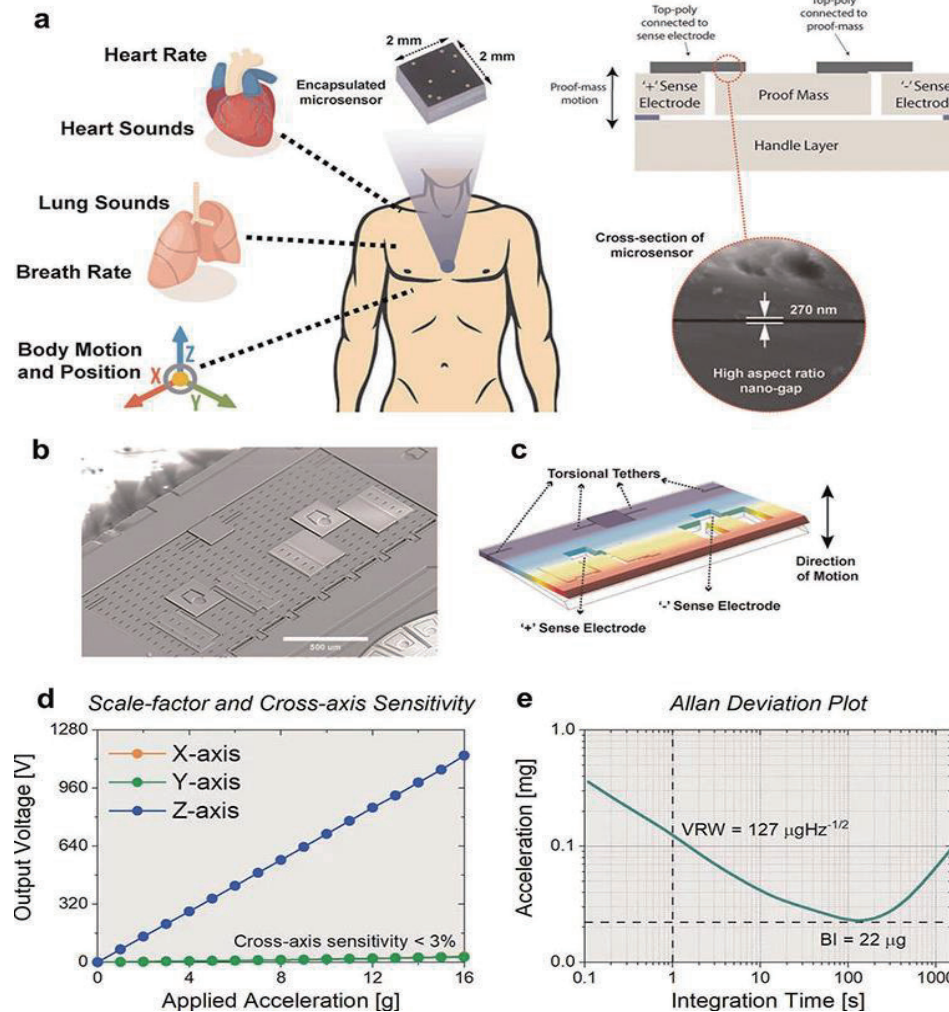


图 1. (a) 带有纳米间隙的密封传感器,用于心肺健康监测——胸壁上的封装传感器概念图(蓝色圆圈),可同时监测心率、心音、呼吸频率、呼吸音以及身体的动作和位置。微型传感器(2×2×1 mm)及其横截面图突出显示了高纵横比(> 150)、超薄 270 nm 电容间隙的实现技术。(b) 无封装加速度计接触式麦克风(ACM)设备的 SEM 图像。proof mass 使用扭力绳固定在侧面。(c) COMSOL Multiphysics 模拟,显示了传感器的工作模式形状,并显示了扭索和感应电极的位置。(d) 传感器对正常施加的加速度的响应,测得的灵敏度为 76 mV/g, 横轴灵敏度低于 3%。(e) 艾伦偏差图表现出 127 μg/√Hz 的低噪声性能。

MEMS传感器技术

为什么要这样做呢？佐治亚理工大学电气与计算机工程学院的 Ken Byers 教授 Farrokh Ayazi 说：“目前，医学会向心电图寻求心脏信息，但心电图只能测量电脉冲。”心脏是一个机械系统，具有抽动肌肉和打开和关闭阀门的功能，它发出声音和运动的信号，这是 EKG 无法检测到的，心电图也没法解释肺功能。”

2 平方毫米设备的核心——被称为加速度计接触式麦克风 (ACM)，使用两层相隔 270 nm 的层，以及复杂的多步骤制造工艺图 2)。“将两个电极隔开的非常细的间隙即使在各层之间的空气中也没有任何接触，因此整个传感器都被密封在真空腔内，” Ayazi 说。“这带来了独特的超低信号噪声和带宽宽度。”

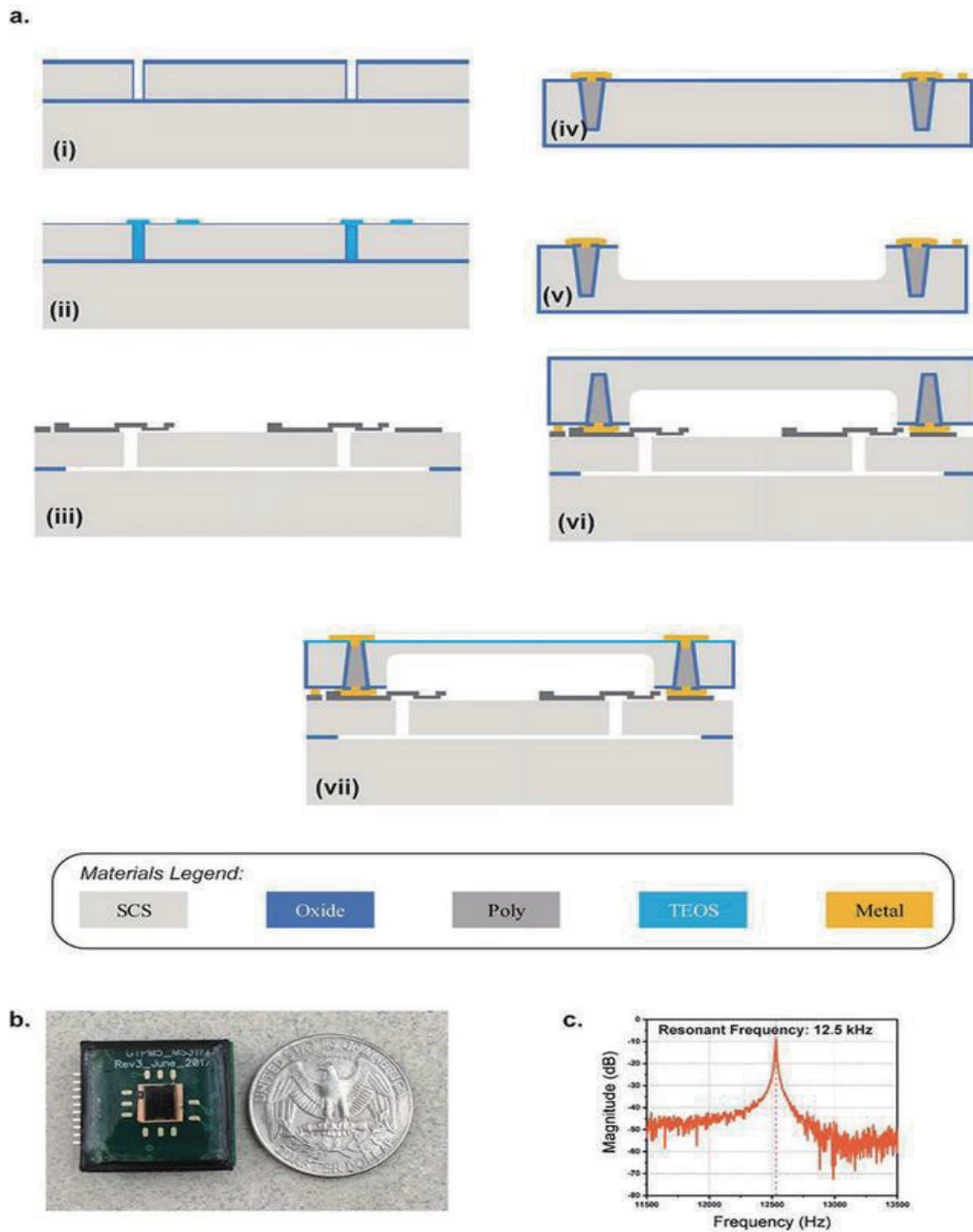


图 2. (a) 示出了 ACM 的制造的截面图。(i) 以 40 μm 器件层为基础层的 (100) 绝缘体上硅 (SOI) 晶圆。使用深反应离子刻蚀 (DRIE) 在器件层中刻蚀沟槽。(ii) 然后使用低压化学气相沉积 (LPCVD) 正硅酸四乙酯 (TEOS) 填充沟槽。对该暴露区域进行热氧化，以形成用于感测电极的顶部牺牲氧化物层 (厚度为 270 nm)。(iii) 淀积多晶硅并为感应电极构图。使用超临界点干燥器将晶片释放在氟化氢 (HF) 溶液中。(iv) 封盖晶片在硅晶片上；硅通孔 (TSV) 使用带有氧化物隔离的深多晶硅柱形成。(v) 使用 DRIE 蚀刻深腔，其深度可控制包装压力水平。(vi) 然后使用高真空共晶键合键合封盖晶片。(vii) 研磨覆盖晶片以暴露 TSV，然后进行等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 氧化物和金属电镀，以在封装的器件上形成电布线。(b) 振动传感器与带有保护性环氧涂层的微型电路板 (2×2 厘米) 上的读出电子设备接口。(c) 在真空条件下测得的微传感器的共振频率为 12.5 kHz。

ACM 通过新的视角为患者的状况提供了有趣而又非常规的“心电图”视角；当其信号也与传统 EKG 的信号相关时，它特别有用（图 3）。例如，在对一组特定患者

进行的临床测试结果中，研究人员成功地录制了“疾驰”声，这是心跳“lub-dub”之后的微弱的第三声。这些疾驰通常是心力衰竭的难以捉摸的线索。

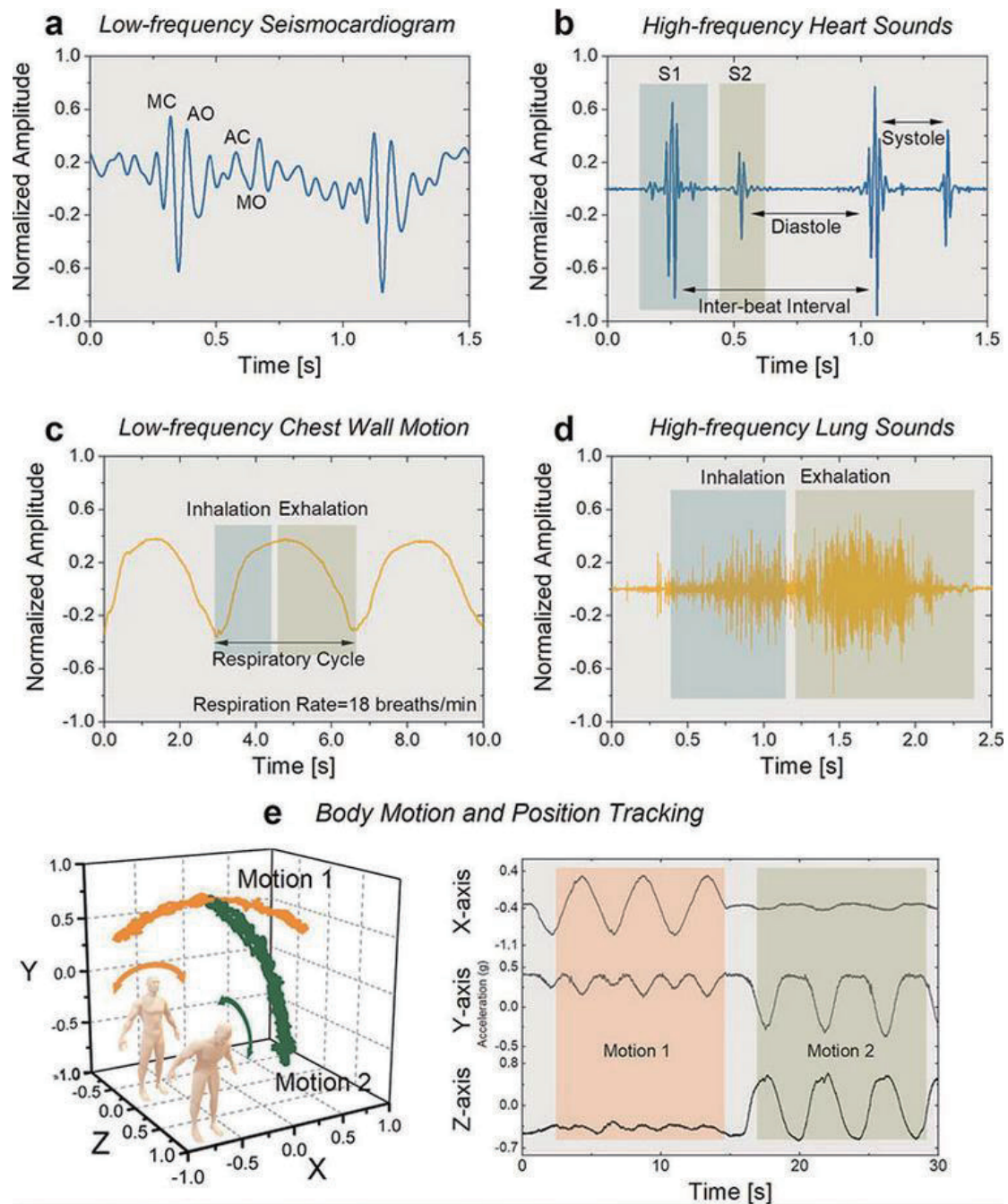


图 3. 记录心肺的振动、声音和身体运动:(a) 测得的心电图 (SCG) 信号的时域图。标出了与二尖瓣 (MC) 关闭, 主动脉瓣 (AO) 打开, 主动脉瓣 (AC) 关闭和二尖瓣 (MO) 打开相对应的峰值。(b) 记录的两个心动周期波形显示出对两种主要心音 (S1 和 S2) 的敏感性。指定心跳, 收缩和舒张之间的时间间隔。(c) 代表深呼吸呼吸周期中胸壁运动的传感器输出信号。确定吸气和呼气的的时间间隔以计算呼吸频率。(d) 振动微传感器记录的高频肺部吸气和呼气的声。(e) 当个人进行左右 (橙色) 和正面 (绿色) 弯曲练习时, 使用 ACM 和两个平面内加速度计在三个维度上跟踪人体运动。运动过程中记录的时域图显示了传感器的宽动态范围。