



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 科研进展

图片新闻

新闻动态

科研进展

公告通知

MORE >

- 关于设立“不忘初心、牢记使命”主题教育征集意见邮箱的通知[06.28]
- 关于2019年端午节放假安排的通知[05.16]
- 关于2019年劳动节放假安排的通知[04.18]
- 关于2019年清明节放假安排的通知[03.21]
- 关于2019年元旦放假安排的通知[12.07]

苏州纳米所张珽课题组在智能柔性仿生生物化学传感器领域取得新进展

2019-08-14 | 文章来源: 国际实验室 王书琪 | 【大 中 小】

近年来,柔性电子可在人体皮肤表面实现穿戴式实时连续信号采集和处理,已成为运动健康管理、疾病诊断监护、环境监测、人机智能交互等领域变革式的科学技术及各个国家重要的战略性新兴产业。柔性传感器作为柔性电子的核心部件之一,影响并决定着可穿戴式智能设备的应用和发展。当前,绝大部分柔性传感器在对物理信号(压力/拉伸、惯性力、生物电、温度、光学等)的采集中实现了广泛的研究和较为成熟的应用。然而,用于生物化学信号(分子水平的气体、生物代谢物分子等)检测的柔性传感器研究依然面临着诸多挑战。

大自然,自古以来就是人类各种科学发现、技术思想和发明原理的源泉。生物经过漫长的进化过程,拥有对外界环境信息接收、传递和控制的强大系统,很多功能是迄今为止任何人工制造无法匹敌的。例如,目前作为科学技术前沿研究领域之一的柔性传感器,相比生物的柔性感官系统(嗅觉、味觉、触觉、视觉和听觉),仍然存在巨大的差距。因此,“仿生”的理念和方法,将为柔性传感器及柔性电子领域的研究发展提供丰富的思路和设计原理。

近期,中国科学院苏州纳米所张珽研究团队在柔性仿生生物化学传感器领域取得了新进展。通过模仿自然界生物体对外部生物化学分子刺激所产生的智能动态、可调控的响应特性,研究开发了一种对环境有机挥发性气体(VOCs)动态双响应的柔性传感器(Bioinspired Flexible Volatile Organic Compounds Sensor Based on Dynamic Surface Wrinkling with Dual-Signal Response, Small, 2019, 1900216; 内封面),和一种传感性能程序化可调的可拉伸柔性葡萄糖电化学传感器(Rhinophore Bio-inspired Stretchable and Programmable Electrochemical Sensor, Biosensors and Bioelectronics, 2019, 142, 111519)。

自然界中存在对有机挥发性气体(VOCs)刺激响应现象,例如,人体皮肤长时间暴露于乙醇气体中,表面会形成褶皱,如下图1(A)所示。受此启发,张珽研究团队利用聚合物薄膜材料对VOCs溶胀能力的差异,并创新性地引入导电网络薄膜设计,研究开发了基于(AgNWs)/SiO_x/PDMS多层膜传感系统。该传感系统能够对VOCs实现动态可逆的透明度和电阻双信号响应特性,如图1(B)所示。传感响应机制源于有机高分子材料溶剂溶胀原理和褶皱形成原理:VOCs分子进入聚合物中克服高分子间内聚能,高分子链与VOCs分子混合导致高分子链被拉开,聚合物呈现体积胀大现象;由于SiO_x和PDMS的溶度参数 δ_p 与VOCs的溶度参数 δ_s 三者之间差异,根据 $|\delta_p - \delta_s| \leq 3.5 \text{ J}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$ 的原则, SiO_x层在VOCs分子中溶胀程度远大于PDMS层,由此产生的界面压缩应力和材料模量的差异相互作用,致使薄膜表面形成褶皱结构。基于上述传感机制,该系统实现了对乙醇气体高选择性、动态可切换的透明度和电阻变化。通过调控薄膜材料参数,实现了传感器灵敏度和选择性的可调性。研究团队初步构建了一种对乙醇气体具有双信号响应的智能可穿戴柔性传感器(图1(C)和(D)),该柔性可穿戴智能传感器系统兼具动态的视觉反馈和定量的电学信号,为基于化学分子响应的智能界面制备和研究提供了理论基础和技术条件,在环境监测、可穿戴柔性电子等领域潜在的应用前景。

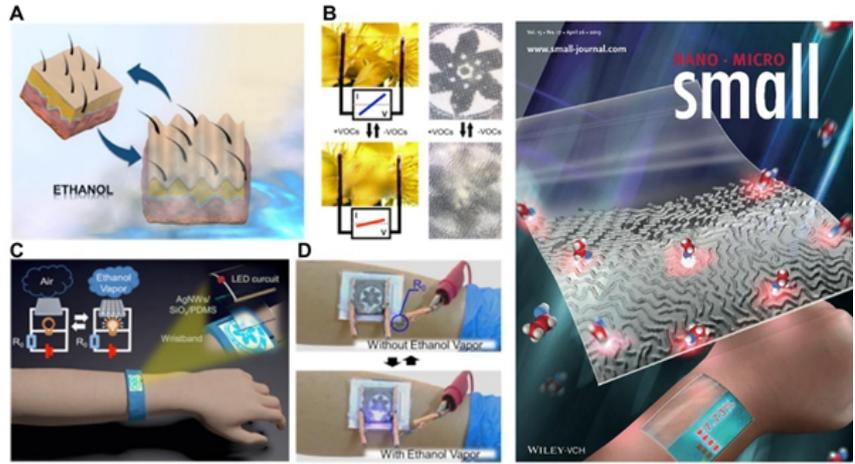


图1 基于AgNWs/SiO_x/PDMS多层膜的VOCs动态双响应柔性传感器。(A) 皮肤在乙醇气体氛围中长时间暴露产生褶皱示意图；(B) 传感器系统在施加和撤去有机气体时透明度变化的宏观和显微照片；(C) 可切换双信号智能可穿戴柔性传感器示意图；(D) 可穿戴传感器对乙醇气体的响应及其直接动态的视觉和电信号反馈。(Small, 2019, 1900216; 内封面)

在海洋中，一些软体动物包括Aplysia（海兔），Nautilus（鹦鹉螺），Nudibranchs（裸鳃亚目动物）等，拥有一种叫做嗅角/嗅觉突起（Rhinophore）的嗅觉器官。嗅角具有柔软、可延展、表面上分布着大量嗅觉细胞、形貌多褶皱等特征，如图2（A）示意图所示。嗅角主要负责软体动物在海水介质中空间尺度的分子追踪（The spatial-scale tracking system），包括觅食、求偶和御敌。研究发现，嗅角是通过伸长、展开、呈一定角度，从而调控其对化学分子的敏感性。受此柔性生物化学传感器的启发，研究团队通过对嗅角生理解剖学结构和功能的模仿，开发了一种传感性能程序化可调的可拉伸柔性葡萄糖电化学传感器。如图2（B）所示，该电化学传感器很好地模仿了嗅角折叠/去折叠的褶皱形貌，在拉伸150%过程中实现了电化学活性表面积（ECSA）程序化的调控，这是区别以往电化学传感器的独特之处。基于此特性，传感器对葡萄糖的催化性能可随拉伸状态的不同而变化（图2（D））。该程序化可调的电化学传感性能与嗅角性能相似，因此，可用于模仿动物的生理功能。例如，在海水中，食物化学分子在水中扩散，浓度由近及远呈梯度分布，如图2（C）所示。嗅角在远离食物分子源头的地方（低浓度）感知到一定阈值浓度的分子后，开启觅食状态，通过伸长嗅角来扩展传感面积获得高灵敏检测。如图2（E）实验，初始0%状态下传感器模拟动物静止状态，当溶液中加入2 mM葡萄糖后，传感器感知到葡萄糖分子并开启检测状态（150%）；当向高浓度方向伸展时（加入2 mM葡萄糖），响应电流急速增加到0%状态的4倍。结果显而易见的说明，传感器可通过调整伸展状态来提高对食物源头方向的检测。该基于嗅角仿生的可拉伸柔性电化学传感器提出了一种新型的分子检测模式，在智能化柔性机器人、仿生设备和可穿戴电子等领域具有潜在的研究意义和应用前景。

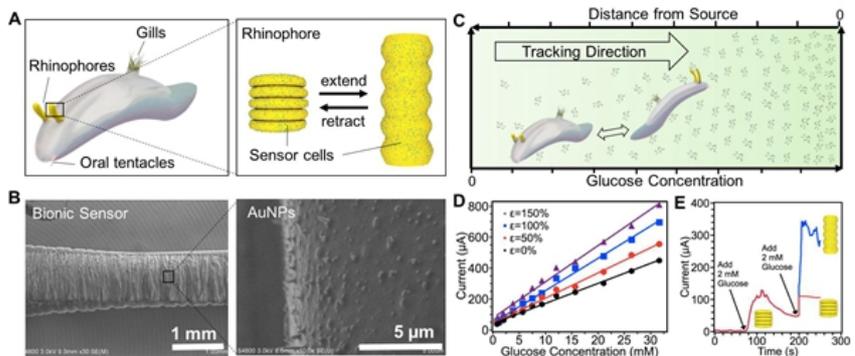


图2 基于嗅角仿生的柔性可延展电化学葡萄糖传感器。(A) 嗅角的结构示意图；(B) 仿生传感器的表面SEM图；(C) 海洋软体动物的觅食示意图；(D) 仿生传感器的程序化可调葡萄糖传感性能；(E) 仿生传感示意图。(Biosensors and Bioelectronics, 2019, 142, 111519)

上述工作得到了科技部重点研发计划、国家自然科学基金，江苏省杰出青年基金等支持。上述两篇文章第一作者为王书琪博士，硕士研究生曲春燕参与了以上工作。



版权所有：中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所 备案序号：苏ICP备10220403号
地址：江苏省苏州市苏州工业园区若水路398号 邮编：215123 Email: administrator@sinano.ac.cn

