



首页

分院概况

研发机构

科教融合

院士之窗

科研服务平台

党建与创新文化

请输入关键字

要闻

科研进展

通知公告

工作动态

媒体聚焦

科技动态

专家视野

区域新政

首页 > 科研进展

宁波材料所在超稳定可拉伸电极方面取得重要进展

文章来源：宁波材料技术与工程研究所 | 发布时间：2022-04-19 | 【打印】 【关闭】

在智能可穿戴电子领域，稳定耐用的柔性可拉伸导体仍然是一个巨大的挑战。尤其是在人体表皮生理信号的收集过程中，稳定的可拉伸电极可以实现长时间精准的信号收集。目前无论是表面结构设计型、导电材料复合型还是本真可拉伸型电极，均难以在动态变形下稳定的电性能。所以，制备具有高稳定电性能的电极仍然是一个极大的挑战。

近日，中国科学院宁波材料技术与工程研究所柔性磁电功能材料与器件团队在李润伟研究员的带领下，受到人工渔网启发，模仿“水膜-渔网”结构设计了具有柔性自适应导电界面的超稳定可拉伸电极，提出利用静电纺丝法构建液态金属聚氨酯（TPU）二维“仿水膜-渔网”结构薄膜，实现了极低初始方阻（ $52\text{m}\Omega\text{sq}^{-1}$ ），解决了弹性电极中导电率和拉伸率不可兼容、循环变形下电性能不稳定的问题，应变下通过网孔束缚液态金属对外扩展和液态金属在网孔内自适应流动，实现低电阻高稳定可拉伸电极。该电极的动态自适应导电网络使其具备极强的动态循环稳定性，经过33万次100%拉伸应变循环，电阻仅变化5%，同时电极面对冷热、酸碱、浸水等服役环境变化，依旧表现出稳定的电性能。该电极可应用于全天候人体表皮生理信号监测、智能人机交互界面及人体热疗等方面，有望助力于万物互联的可穿戴健康监护系统及电子皮肤人机交互界面的持续发展。该工作以题为“Ultra-robust stretchable electrode for e-skin: In situ assembly using a nanofiber scaffold and liquid metal to mimic water-to-net interaction”的论文发表在InfoMat上（DOI:10.1002/inf2.12302），并被选为封面文章（如图1）。

该团队通过TPU静电纺丝与液态金属微纳颗粒静电喷涂的原位复合，以及随后进行的机械激活，制备出了仿“水膜-渔网”的可拉伸电极。该电极的超稳定电性能，主要得益于其仿“水膜-渔网”结构，也可称之为液态金属动态自适应网络，由于液态金属薄膜与聚氨酯纺丝网的交互作用，在小应变下（ $<100\%$ 的应变），SEM原位观察到液态金属可以实现自适应流动，卸去局部应力，保持导电薄膜连续；在大应变下（ $300\%-500\%$ 的应变），尽管液态金属薄膜会破裂，但聚氨酯纺丝网会阻碍其断裂，并使其包裹在纤维上，保持整体导电网络的稳定性（图2a）。作者还透彻分析了液态金属微米纳米球如何通过尺寸效应和微纳结构实现与纳米纤维网络的复合。

同时，通过局部激活和激光切割，可以将聚氨酯液态金属复合材料制备成多层多功能人机交互系统。上层电容传感阵列连接在集成电路和蓝牙模块上，能够实现无线信号传输，在拉伸和弯曲状态下均可以对计算机输入无线指令，可应用在智能可穿戴游戏控制等方面。下层蛇形加热器展现出良好的电热稳定性，可以实现 $45^{\circ}\text{C}-90^{\circ}\text{C}$ 稳定加热，并展现出优异的加热循环性能，可用于人体加热治疗。局部激活的电路对机械破坏展现出很好的抵抗性，该电极可以实现即时导电通路重建，使电极在破坏、拉伸状态下依然能够正常工作（图2b）。该电极在100%应变拉伸循环试验中，在第一次拉伸电阻发生了轻微升高，后续的33万次循环中，其电阻仅上升了5%，该特性要远远优于其他已报道的可拉伸电极（图2c）。

该电极可以实现人体表皮全天候心电信号检测。首先，通过体外细胞实验证明该电极具有良好的生物相容性和极低毒性，可以用在人体表皮进行心电监测，其展现出与商用凝胶电极类似的阻抗性能。其次，该工作根据人的活动场景，为电极设计了静态、运动、水冲三个工作场景，超稳定电极展现出优异的心电信号收集能力，信噪比达到0.43，尤其是在水冲环境中，该电极依然能够收集到稳定、清晰的心电信号，可用于全天候心电诊断（图3）。

综上所述，该工作设计并实现了超耐用可拉伸电极，基于液态金属和聚氨酯纺丝网构成的自适应导电网络，实现了在机械变形、长时间氧化、循环浸没、加热、酸碱浸泡等各种环境刺激下的稳定电性能，尤其实现了33万次拉伸循环下极小的电阻变化。该电极可以应用在全天候心电监测、智能人机交互系统等方面，在长时间体表电子皮肤、体内生物相容性器件等方面展现出很大的潜力。

该工作由曹晋玮、梁飞、李华阳等在李润伟研究员与宁波诺丁汉大学朱光教授的共同指导下完成，并得到国家自然科学基金（51525103、51701231、51931011），宁波市3315人才计划，宁波科技创新2025项目（2018B10057），浙江省自然科学基金（LR19F010001），浙江省杰出青年科学基金（2016YFA0202703）中国科学院王宽诚教育基金（GJTD-2020-11）的支持。



图1 液态金属超稳定可拉伸电极及应用InfoMat封面

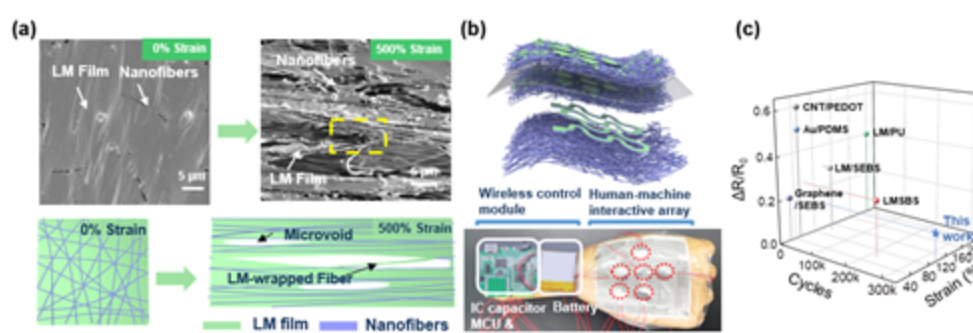


图2 超稳定电极机理及应用

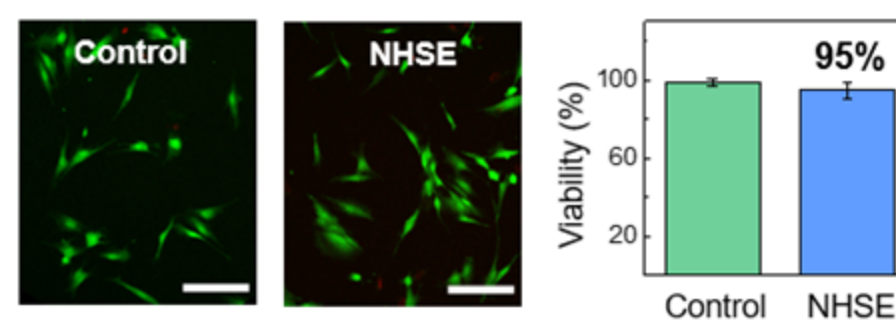


图3 超稳定电极的生物相容性探究及其在全天候心电监测方面的应用

