AS 复旦大学徐万顷博士、石澜青年副研究员：一维微球阵列让裂纹传感器分清温度与形变

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41374.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

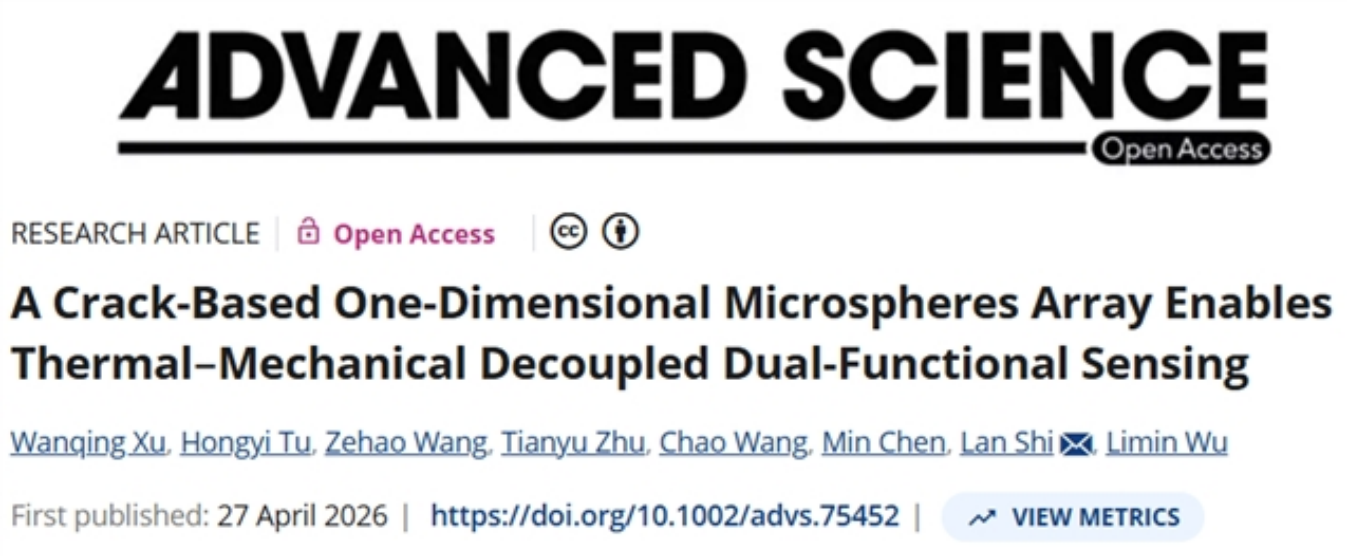
AS 复旦大学徐万顷博士、石澜青年副研究员：一维微球阵列让裂纹传感器分清温度与形变。

研究背景：

从有信号到信号可信：裂纹传感器的真实应用痛点

在实际设备中，传感器最怕的往往不是没有信号，而是信号来源说不清。比如可穿戴设备、软体机器人和软包电池在运行过程中，受力、弯折、发热和环境温度变化经常同时发生。如果传感器输出发生变化，却无法判断它来自真实机械形变还是温度波动，后续预警、控制和算法识别都可能受到干扰。

裂纹型柔性传感器以高灵敏度著称。微裂纹的开合会显著改变导电通路，因此很小的形变也能产生明显电学信号。然而，这种极其敏感也带来了另一面：柔性基底的热膨胀同样会改变裂纹状态，形成与机械应变相似的寄生信号。对于面向复杂环境的柔性电子而言，仅仅提高灵敏度并不足够，如何降低温度与应变之间的信号串扰，才是决定其可靠性的关键问题。



文章概述：

把随机裂纹变成可设计结构：COMA的核心思路

针对这一挑战，复旦大学徐万顷博士、石澜青年副研究员受自然界念珠藻（Nostoc）串珠状形态启发，提出了一种基于一维微球阵列的类裂纹结构传感器（crack-based one-dimensional microspheres array, COMA）。相关成果以 A Crack-Based One-Dimensional Microspheres Array Enables Thermal – Mechanical Decoupled Dual-Functional Sensing 为题发表于 Advanced Science。

图文导读：

与传统依赖随机裂纹形成的传感结构不同，COMA传感器通过单向组装工艺，将聚苯胺包覆聚苯乙烯（PANI@PS）导电微球排列在弹性沟槽基底中，把连续、不可控的裂纹通道转化为规则微球之间的离散连接。机械拉伸主要改变微球间的接触状态，而温度变化则在稳定排列和沟槽约束下产生更单调、可重复的热响应。换言之，热效应不再只是应变检测中的干扰项，而是可以被单独读取和利用的第二类信息。

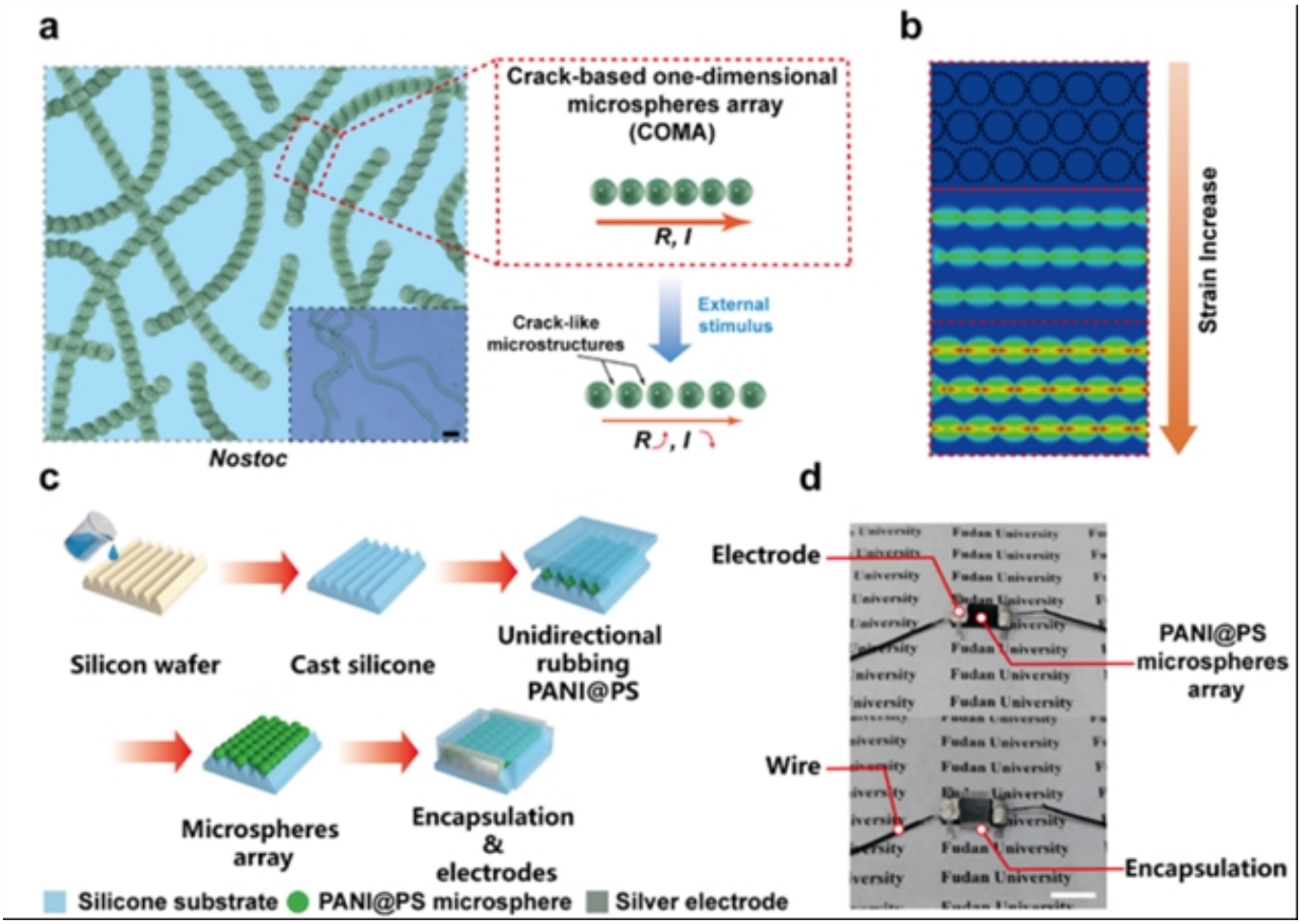


图1.COMA传感器的结构设计与制备思路：受念珠藻串珠状结构启发，规则排列的PANI@PS微球在沟槽基底中形成离散类裂纹连接，为热 – 机械信号解耦提供结构基础

不是简单堆指标，而是提高复杂环境下的可用性

基于这一结构设计，COMA传感器在微小应变检测中表现出较高灵敏度。在不超过0.5%的低应变

范围内，器件的应变灵敏因子（gauge factor, GF）最高可达89，并具有约60 ms的响应和恢复时间；在循环应变测试中，传感器保持了较好的重复性。研究团队还展示了其在钢板微小形变监测以及握拳、脉搏、呼吸等人体信号检测中的应用。

更重要的是，COMA结构同时提供了可利用的温度响应。在20 – 60 °C范围内，传感器呈现稳定、可重复的电阻变化，温度灵敏度最高达到75.2% °C-1，并能够分辨25 – 30 °C范围内的小幅温度变化。由于应变响应和温度响应由不同结构变化机制调控，器件能够在实验条件下从温度背景中提取真实应变信息，从而缓解传统裂纹传感器常见的热 – 机械信号耦合问题。

从产业读者的角度看，这项工作的价值不在于宣称某个器件已经可以直接替代现有传感系统，而在于提出了一种更可靠的信号组织方式：当一个系统同时经历发热和受力时，传感器输出不再只是一个混合信号，而有机会被拆分为更清晰的温度信息和形变信息。这对于电池安全监测、可穿戴设备、软材料结构健康监测等场景具有明确的启发意义。

面向软包电池状态识别的应用展示

为了验证双模态感知的应用潜力，研究团队进一步将COMA传感器用于软包电池状态监测。软包电池在正常充电、快速充电、短路和热失控等状态下，往往伴随不同程度的温度变化和形变变化。研究中，COMA传感器采集与热 – 机械响应相关的信号，并结合多层感知器（multilayer perceptron, MLP）模型，实现了对四种工作状态的分类识别，准确率达到97.0%。

这一结果说明，低串扰的热 – 机械双模态信号可以为复杂设备状态识别提供更有信息量的输入。需要强调的是，这一展示仍属于实验室层面的概念验证，距离完整工程系统还需要进一步考虑封装、长期稳定性、批量一致性、系统集成和安全标准等问题。但对于希望提升设备状态感知能力的应用场景而言，该研究提供了一个值得关注的传感结构方向。

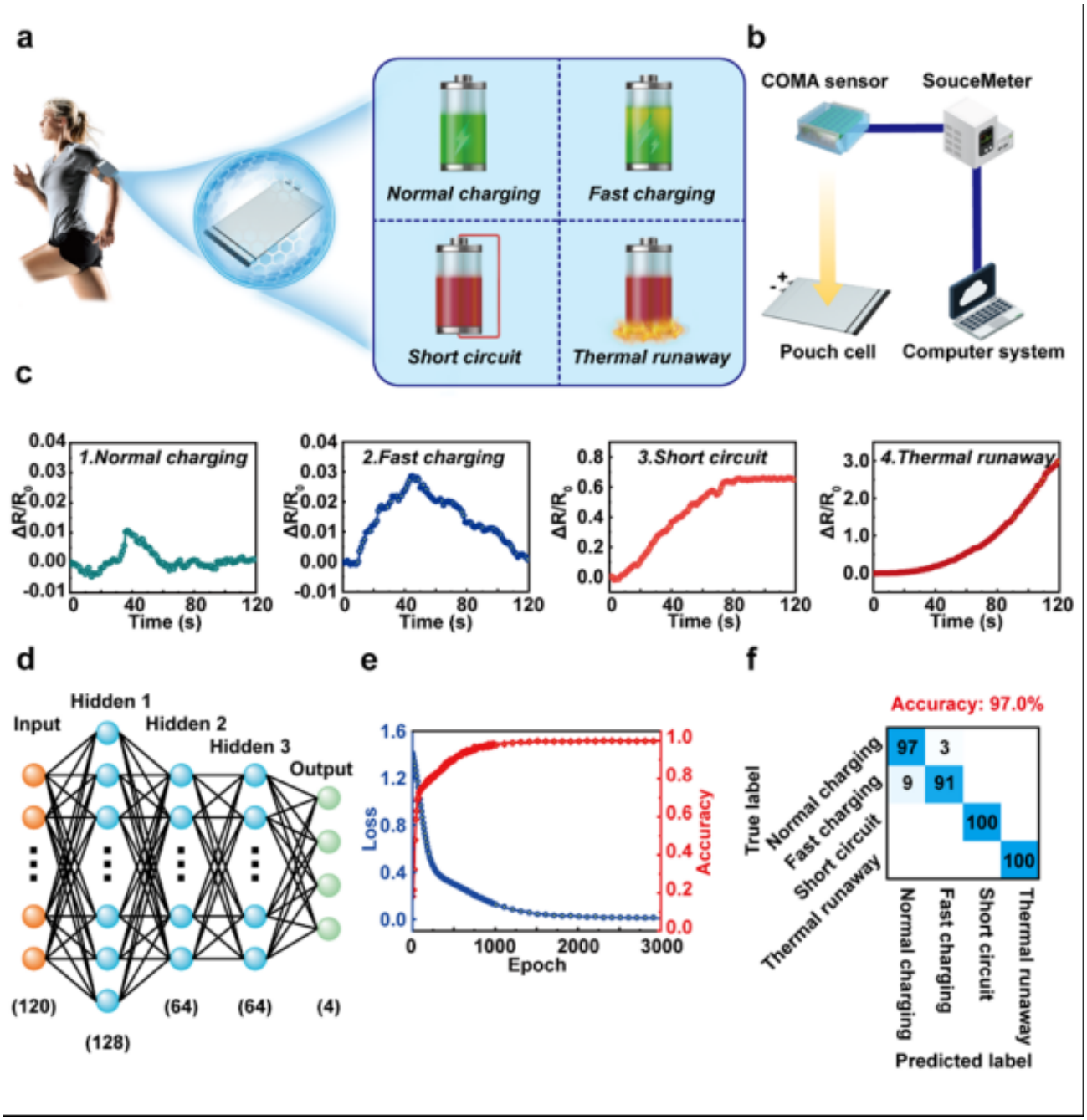


图2.COMA传感器用于软包电池状态监测：通过热－机械双模态信号与MLP模型，对正常充电、快速充电、短路和热失控等状态进行分类识别

总结与展望：

总体而言，该工作将传统裂纹传感器中难以控制的裂纹形态转化为可设计的一维微球连接阵列，在保持微小应变高灵敏检测能力的同时，实现了稳定温度响应和热－机械信号解耦。相比单纯追求更高灵敏度，该研究更强调复杂环境下的多模态感知可靠性。

论文信息：

A Crack-Based One-Dimensional Microspheres Array Enables Thermal – Mechanical Decoupled Dual-

Functional Sensing

Wanqing Xu, Hongyi Tu, Zehao Wang, Tianyu Zhu, Chao Wang, Min Chen, Lan Shi*, Limin Wu

Advanced Science

DOI:10.1002/advs.75452

原文链接：

https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/advs.75452

期刊介绍：



Advanced Science 是 Wiley旗舰期刊 Advanced 系列中的一种完全开放获取的跨学科科学期刊，发表材料科学、物理、化学、医学、生命科学、环境科学、工程和社会科学等领域的前沿基础和应

用研究。我们的使命是通过开放获取出版，使前沿创新的科学研究具有更广泛的可访问性。Wiley 的 Advanced 系列是全球公认的高影响力期刊系列，传播来自资深和青年研究人员的科学成果，帮助他们实现使命并扩大科学发现的影响力。

Advanced Science 2025年影响因子为14.1，五年平均影响因子为15.6，期刊引文指标1.74，CiteScore为 18.1。在 2025年中国科学院院文献情报中心期刊分区表中，Advanced Science 入选综合类期刊一区TOP。



来源：Advanced Science

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发