新界面让柔性生物传感器件“随机应变”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/40661.html

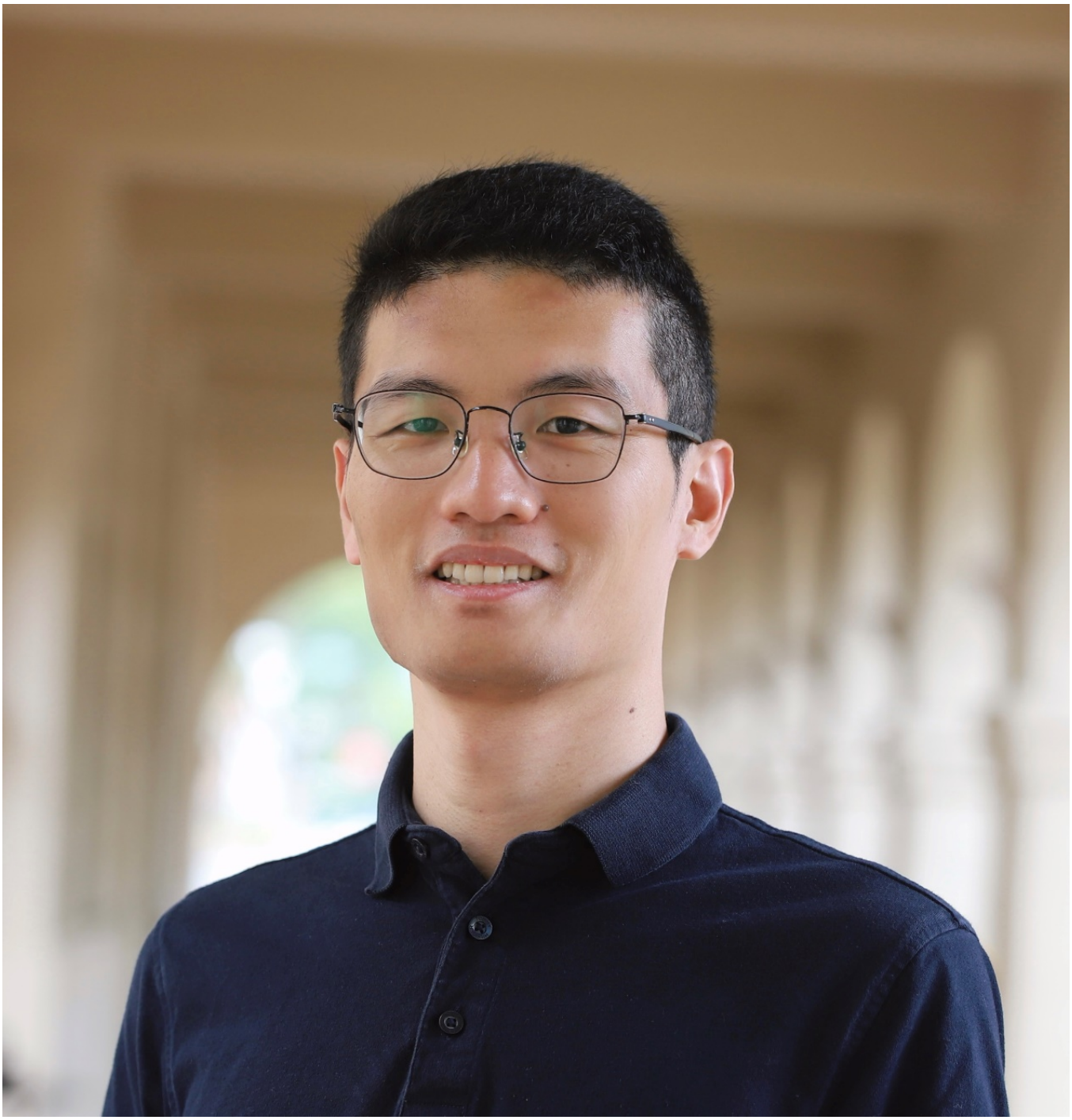
本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

新界面让柔性生物传感器件“随机应变”。2025年10月16日，徐亚东把论文投给了Science杂志。令人意想不到的是，短短两个工作日后，论文就被送审了。彼时，他还在美国加州理工学院做博士后，正在为回国做准备。

近日，这项研究成果正式发表。这不仅是徐亚东在博士后阶段的收官之作，也是他回国加入北京大学深圳研究生院不到一年的时间，收获的第一篇重磅成果。

这项研究提出了一种普适性、耐应变、可拉伸的新型电化学生物界面（SIRES），实现了300%拉伸应变、1000次拉伸循环下，对葡萄糖、乳酸和pH值等分子级化学信号的稳定监测，展现了其在可穿戴和植入式电子器件的应用潜力，为柔性生物电子器件在真实生理环境中的稳定运行提供了新设计范式。

从投稿到发表都很顺利，但研究过程却并非如此。论文第一作者徐亚东回忆，在研究开展到一半时，因为思路卡壳，他一度觉得这项工作平平无奇。庆幸的是，最终柳暗花明。



徐亚东。受访者供图（下同）

从几乎一片空白入手

2023年3月，徐亚东从美国密苏里大学哥伦比亚分校博士毕业，加入加州理工学院教授高伟的课题组。博士期间，他主要研究柔性可拉伸功能材料，在可拉伸导线、电极、物理信号监测等方面积累了不少经验。到了博士后阶段，徐亚东把目光投向另一个细分领域。既然可拉伸电子器件已经能够实现测心电图、脑电图这些物理信号，那么，能不能进一步去测葡萄糖、乳酸、尿酸、pH值这些分子级化学信号？

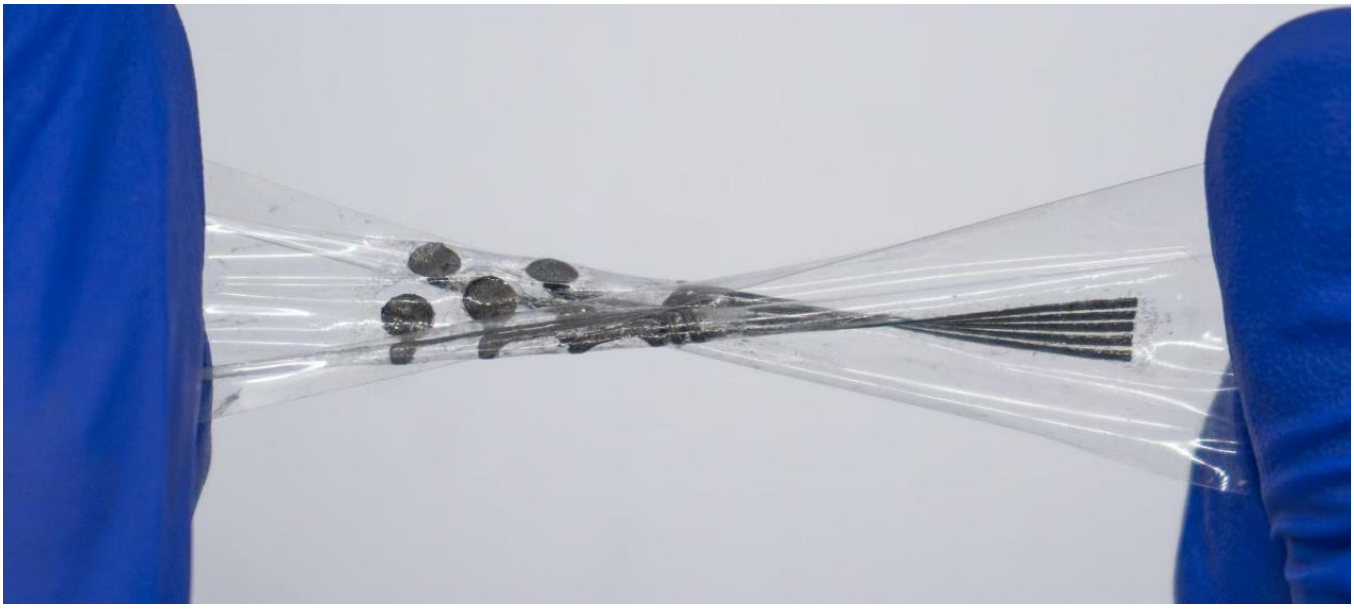
他注意到，在柔性可拉伸研究领域，电化学分子检测似乎一片空白。

过去十年来，柔性电子器件研究发展迅速——贴在皮肤上的柔性传感器、可自由活动用于脑机接口的电极、感知外部温度和压力的电子皮肤等等，已经不算新鲜。相比之下，利用电化学方式来检测葡萄糖、乳酸、pH值、尿酸等这些分子级别化学信号，仍未实现。

一方面，常用的可拉伸材料如银纳米线、银纳米颗粒、液态金属等，在开展电化学传感过程中容易发生氧化，并不适合作为传感材料；另一方面，可拉伸材料在拉伸时，面积会发生变化，传感信号也会随之波动。徐亚东解释：这种信号变化，是材料变形产生的，还是身体里葡萄糖浓度变了，很难分得清。如果传感器在拉伸过程中性能不稳定，那么很难判断其在真实应用场景中监测到的信号是否准确、靠谱。

徐亚东回忆，当时我就在想，能不能做出一个通用的、耐拉伸的电化学平台，不管接上什么类型的电化学传感器，都能稳定检测分子信号？

明确的科学目标有了，但是真正做起来，并不容易。



耐应变、可拉伸的新型电化学生物界面（SIRES）

柳暗花明

团队遇到的第一个挑战，是材料的封装问题。

为了构建可拉伸器件，徐亚东和课题组成员使用了液态金属等材料。由于液态金属本身并不适合用于电化学传感，因此需要严密封装起来。对于普通器件来说，封住就够了；但对于可拉伸器件而言，封装材料不仅要把它包住，还要在反复拉伸时与器件同步变形，不能在界面处断裂、脱层。封装失效，整个传感器也就没用了。

更棘手的是机理问题。到2024年4月，课题已经做了一年多，徐亚东依然觉得这项研究平平无奇。他回忆：当时，我们的研究思路主要停留在‘如何让传感器在拉伸时电阻尽量保持稳定’上，但这个问题只是领域里的一个常规工程优化的工作，并没有真正新颖的东西。面积变形影响信号

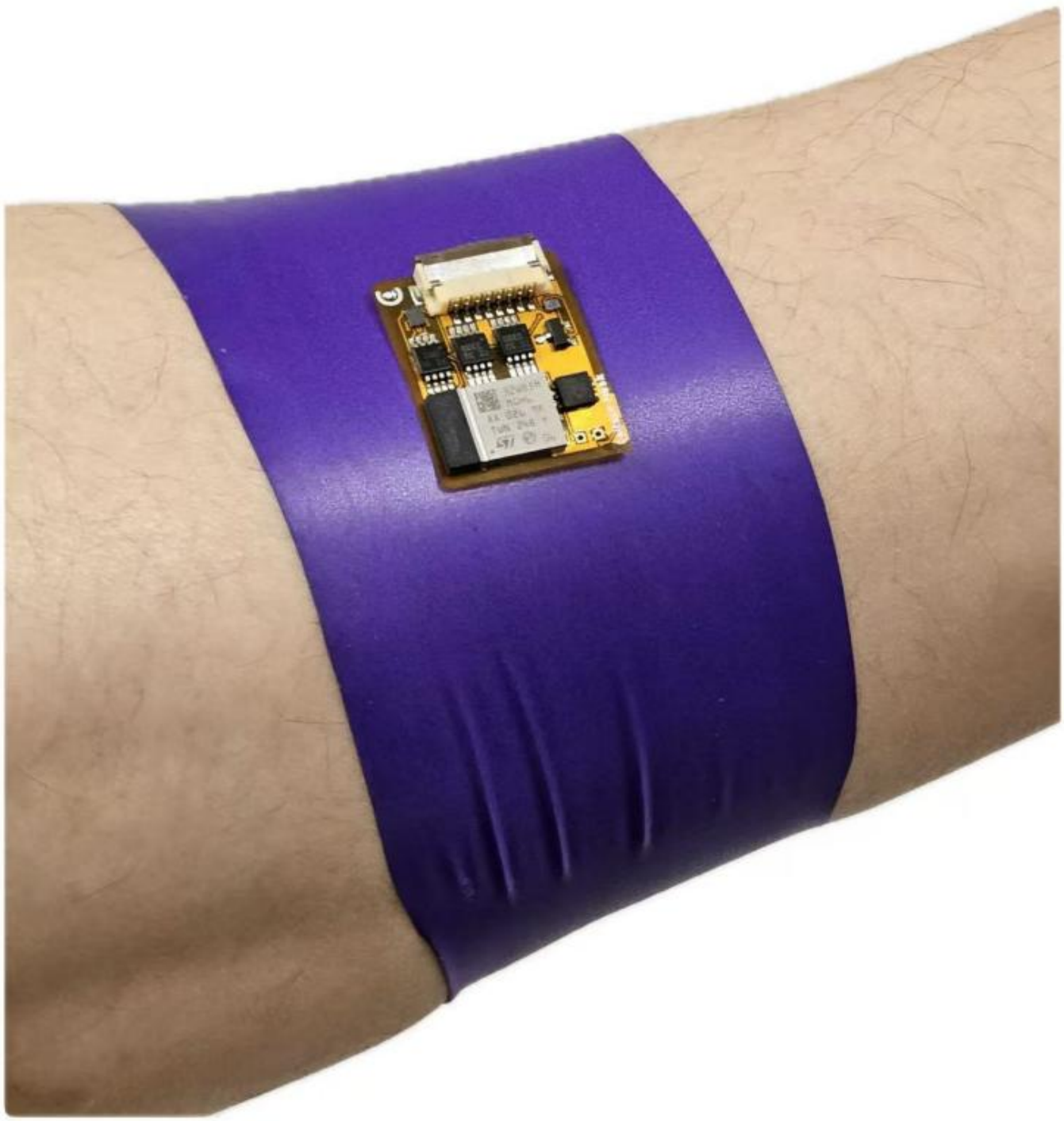
检测的问题依然没有很好地解决。

有三四个月的时间，徐亚东始终理不出清晰的头绪。他一边做实验，一边反复推敲，把自己的想法和高伟、实验室同事一起讨论，偶尔也和ChatGPT聊聊天，把科研思路抛出去，看看能不能得到启发，再回过头来自己验证。

在一次偶然的实验中，徐亚东发现，起初用作封装材料的一层碳纳米管，调控其填充量会影响拉伸材料的性能：碳纳米管填充含量越高，电阻越稳定；含量越少，拉伸时电阻变化越大。这种可调节的电学特性，或许可以用来抵消可拉伸传感器因面积形变带来的信号波动。徐亚东介绍。

最终，他们构建一种三层全弹性体结构：最底层是耐应变导体层，用于维持电子传输；中间层是电学可调界面层，负责在拉伸状态下调节电阻和电化学耦合；最上层则是可拉伸功能涂层，用来承载酶、电化学介体和离子敏感材料等传感组分。三层协同工作，共同组成了一种通用型耐应变本征可拉伸电化学生物界面（SIRES）。

基于这一设计思路，SIRES不仅能在高达300%的拉伸应变、1000次循环拉伸下，保持信号的稳定输出，并实现了尿酸的伏安检测、葡萄糖的安培检测和pH的电位检测三类不同的电化学检测模式。SIRES并非针对单一分子或单一检测方式，更像是一个底层平台，可适配不同电化学反应机制和传感化学体系。



SIRES制备的可穿戴柔性电子器件在皮肤表面应用测试

做科研需要韧性

研究团队将这种耐应变、可拉伸的新型电化学生物界面应用在可穿戴器件和植入式器件传感器中，展现出了优异的性能。将SIRES集成于可拉伸、透气汗带中，构建了用于汗液多模态分析的无线柔性生物电子系统，实现了对汗液中的葡萄糖、乳酸和pH的实时监测，此外，制备的器件还能在骑行、跑步、划船机和椭圆机等运动场景中保持稳定工作。

在植入式应用中，SIRES可实现小鼠模型胃部膳食反应监测、胃漏检测、糖尿病伤口炎症分析、

炎症性肠病相关乳酸检测以及膀胱肿瘤相关过氧化氢检测。同时，
SIRES展现出了良好的生物相容性，为长期植入式监测应用奠定了基础。

2025年10月16日，论文正式投稿，仅过了两个工作日（10月21日），就被送审。在徐亚东回国不到一年的时间，论文正式发表。整个投稿过程出乎意料地顺利。审稿人评价道，该成果是可拉伸电化学生物电子学领域一项出色且全面的贡献。

回顾这项研究，徐亚东对韧性二字深有感触，他说：我们研究‘可拉伸’‘耐应变’的材料，本质上和‘韧性’有关。事实上，做科研也是如此，面对失败和自我怀疑，要有稳住心态，继续向前的勇气。在他看来，做科研很多时候没有现成答案，也没有现成路线图，保持独立思考的能力很重要，勇于自我判断、试错、承受不确定性。

如今，徐亚东在北京大学深圳研究生院新材料学院担任助理教授，从博士后成长为独立PI，角色转变意味着承担更多的责任。以前只要把一个项目做好、把实验做扎实、把论文写出来；现在则要建立方向、组建团队、招学生、买设备、规划经费、思考未来发展。他表示，如今课题组刚刚起步，他们将继续围绕柔性生物电子、分子传感和可拉伸界面深入研究，推动柔性可拉伸界面在运动健康监测、慢性病管理、植入式监测等领域的应用。（来源：中国科学报 刁雯蕙）

相关论文信息：https://www.science.org/doi/10.1126/science.aed1630

作者：徐亚东等 来源：《科学》

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