

---

# “气敏”微纳光纤为锂电池“保驾护航”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33368.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！*

“气敏”微纳光纤为锂电池“保驾护航”。一、锂电池安全

锂离子电池（Lithium-ion batteries, LIBs）已在新能源技术中广泛应用，尤其在便携式电子产品和电动汽车市场占据主导地位。然而，在大多数应用场景中，压力、振动、温度、过充和放电等外部因素会显著影响锂离子电池的内部电化学反应，进而可能会导致热失控（TR）等潜在危险现象，甚至引起火焰、爆炸和大量有毒气体释放等严重事故。为了降低安全风险和经济损失，必须对锂离子电池中的异常故障实施早期筛查和预警策略，为锂电池保驾护航。

为了监测锂电池安全状态，人们在电池不同阶段对其应变、温度、气体浓度和电气特性等参数进行检测。全球电动汽车安全技术法规要求电动汽车需要在发生严重事故发生前至少五分钟向乘客发出警告。锂电池电解液通常使用挥发性碳酸盐类有机溶剂，而痕量的电解液蒸汽泄漏可视为锂电池损坏的早期症状，因此可以通过挥发性有机气体（Volatile Organic Compounds, VOCs）传感器对其进行监测。VOCs气体传感器可在热失效发生前七分钟检测到与电池故障有关的信号，与温度、电压和电流测量设备相比可更早地发出电池故障警报，实现室温下锂电池故障的快速预警。然而，锂电池早期气体泄漏通常仅能达到ppm(parts per million)级，痕量的VOCs检测成为难点。

二、气敏微纳光纤

近日，华中科技大学李豪博士和孙琪真教授团队提出了一种带着气敏外衣的微纳光纤传感器，如图1所示，该团队通过ZIF-8（沸石咪唑酯骨架-8）薄膜修饰微纳光纤（MNFs\*ZIF），作为外衣增强对电解液挥发性有机气体的吸收性能，结合微纳光纤高倏逝场光感知特性，实现气-光高效耦合转换，进而通过折射率感知实现对锂电池电解液蒸汽泄露的高灵敏检测。相比石英晶体微天平、电化学、热导和金属氧化物半导体等气体传感器，该团队提出的MNFs\*ZIF高灵敏、抗电磁干扰、耐极端环境等独特优势，更适合于锂离子电池安全原位在线监测。

该成果以Early detection of lithium battery leakage using a highly sensitive in situ ZIF-8 membrane-coated micro-nano optical fibre发表在Light: Advanced Manufacturing期刊上。

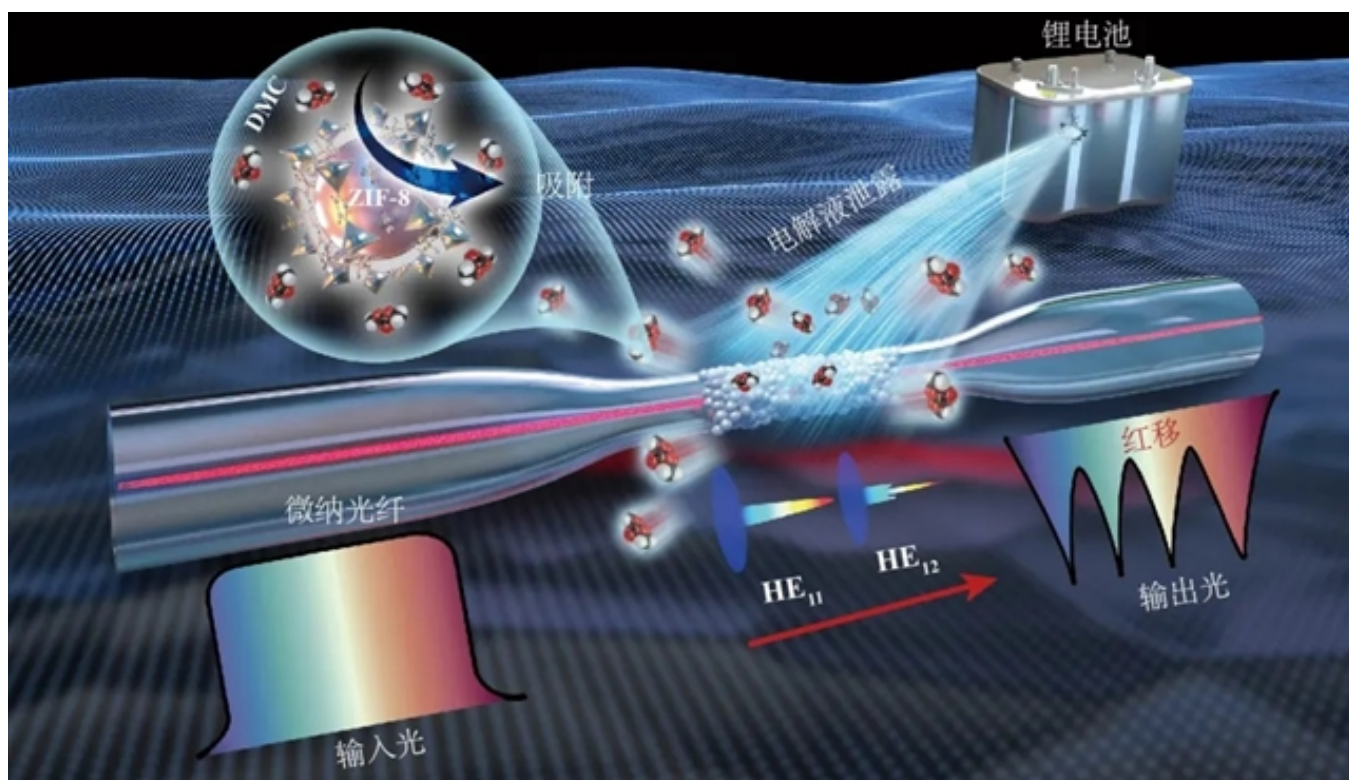


图1（封面图）：气敏微纳光纤传感器工作原理

微纳光纤（micro-nano optical fibers, MNFs）是普通光纤通过熔融拉锥形成的一类特殊光波导，其腰椎直径仅为微纳尺度大小，拥有非常高的倏逝场。与其他光纤传感器相比，得益于高倏逝场特性，它更容易实现对外界环境折射率变化的高灵敏感知。然而，锂电池产生的ppm水平VOC浓度对MNFs表面附近空气的折射率调制非常弱，很难直接进行气体实时监测。而本文中学者们提出了采用ZIF-8柔性材料薄膜对其进行修饰增敏，ZIF-8具有高稳定性、疏水性、高度规则的孔结构、可调节的孔径和笼尺寸，对挥发性有机化合物气体具有优异的吸附性能，将微纳光纤表面VOCs浓度提高几个数量级。

为了获得尽可能高的灵敏度，并综合考虑光纤实际制备控制精度，该论文学者们通过理论建模，综合分析了微纳光纤直径和ZIF-8薄膜厚度对气体灵敏度的调控机理，研究了膜厚对透射光谱的调制作用。综合考虑鲁棒性、灵敏度、精度等因素后，选择接近灵敏度极大值同时又具备较好鲁棒性的 $7\ \mu\text{m}$ 直径MNFs作为基底，并修饰一层兼具高灵敏和高消光比光谱调制作用的500nm厚度ZIF-8薄膜。学者们搭建了火焰稳定性提升的CCD辅助拉锥系统，由电动位移台机械牵引、氢氧焰熔融拉锥实现微纳光纤制备；设计了甲醇溶剂中ZIF-8四周期原位自组装方案，通过氢键分子相互作用力，由优化的结晶工艺使ZIF-8原位结晶生长在微纳光纤表面形成气敏外衣，实现传感器的制备。验证了该传感器对锂电池常见挥发性气体碳酸二乙酯（DEC）、碳酸甲乙酯（EMC）、碳酸二甲酯（DMC）和碳酸丙烯酯（PC）的检测能力，通过波长解调，MNFs\*ZIF传感器在ppm范围内具有43.6 pm/ppm的高灵敏度，在DMC气体检测时理论上检测极限为2.65 ppm，并且实验验证了其出色的可逆性和重复性。

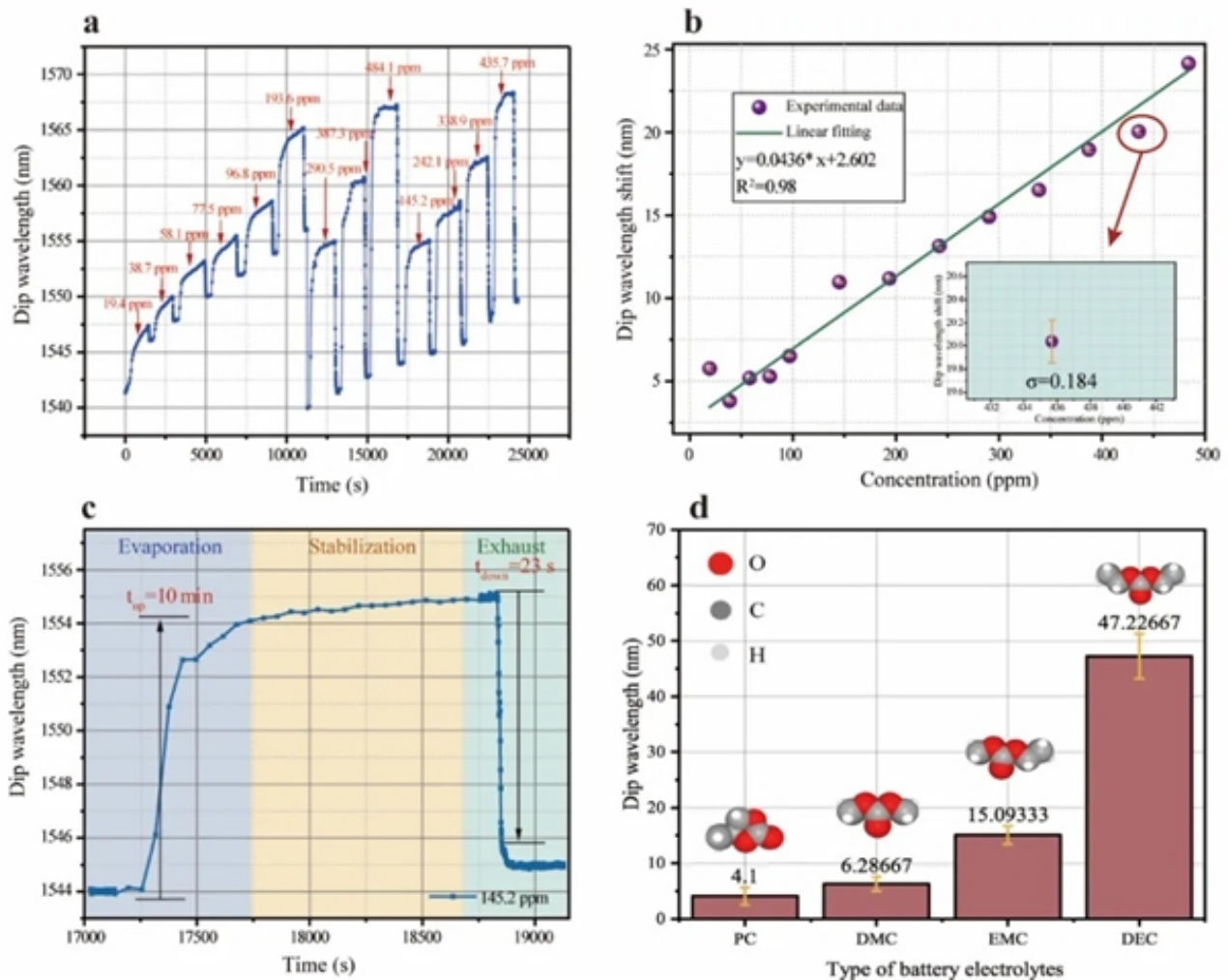


图2：MNFs\*ZIF的VOCs传感性能

(a) 重复性；(b) 灵敏度；(c) 响应时间；(d) 常见电解液组分检测

### 三、保驾护航锂电池

利用上述气敏微纳光纤传感器，进一步实现了锂电池泄露早期安全在线监测。通过实验发现，通过观察锂电池外部负载是否能够正常工作来判断锂电池是否故障的方式，需要等到电池破损的至少34 h之后才能发现锂电池故障的存在。而在MNFs\*ZIF气体传感器检测锂电池泄露有机气体浓度的方式下，MNFs\*ZIF传感器的透射干涉峰波长在泄露出现的情况下，立马出现快速的波长红移，并且红移的速率逐渐升高，干涉峰波长呈现出指数函数的增长趋势，这表明MNFs\*ZIF传感器对于电解液有机蒸气的快速响应，使得MNFs\*ZIF传感器能够快速测量到电池破损故障的事件发生，并立即预警，为锂电池安全保驾护航。

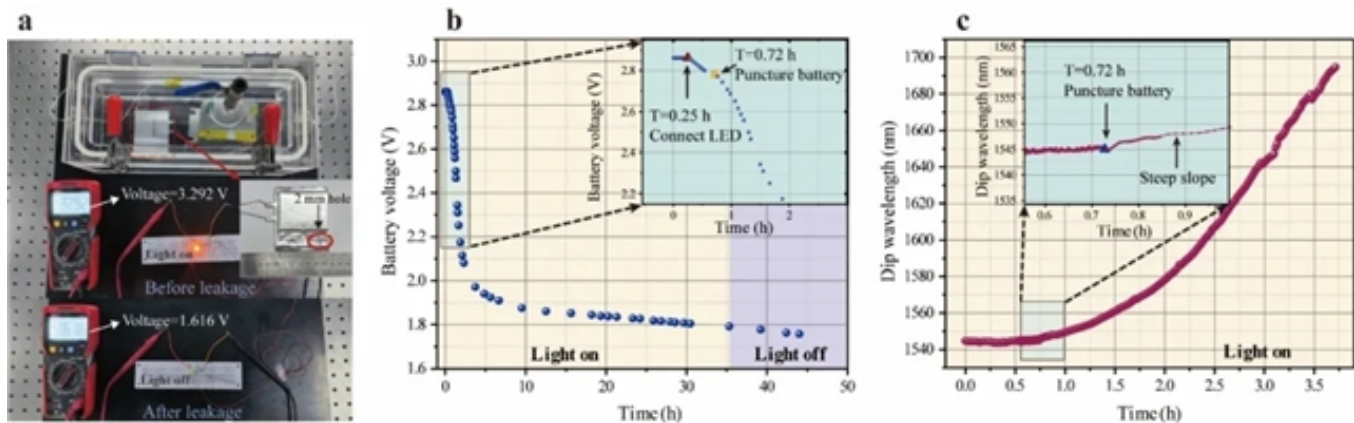


图3：锂电池泄露安全监测

(a) 电解液泄露检测示意图；(b) 输出电压随时间变化曲线；(c) 波长漂移随时间变化曲线

### 总结与展望

利用该传感器高度灵敏、可逆和快速响应的优异感知特性，可以在诸多能源健康监测领域找到用途，例如应用在电动汽车电池综合管理系统，通过痕量气体检测，可提前预警电池泄露等危险因素，避免电池爆炸和火灾等严重事故，具有令人期待的应用前景！（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2025.014>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：孙琪真等 来源：《光：先进制造》

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](https://www.iikx.com)转发