研究为压电材料穿上“智能宇航服”，实现超高性能

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/38097.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！

研究为压电材料穿上“智能宇航服”，实现超高性能。蜜蜂大小的无人机穿梭探测，手术机器人在人体血管内精准巡航，可捕捉细胞早期病变的新一代超声影像，拥有真实皮肤触觉般的虚拟现实交互……这些曾经只属于科幻作品的场景，其实现的一大核心瓶颈，在于我们一直缺少一种能够将力与电进行超高效、超灵敏转换的超级材料。

而如今，中国科学家们成功将这一科幻设定推入现实。

近日，《科学》期刊在线发表了这项突破性研究成果。由甬江实验室上席研究员、西安交通大学讲座教授任晓兵领衔的联合团队，成功将一类经典且低成本的多晶压电陶瓷的核心性能指标——压电系数（d??）提升了超过10倍，创制出前所未有的超级压电陶瓷。不仅如此，团队更开创了主动压电器件的全新范式，使得这种材料能够稳定工作在以往被视为性能禁区的理论极限区。

该成果被审稿人评价为一项革命性发现，它不仅仅刷新了一项世界纪录，更意味着在高端传感器、精密驱动器、下一代智能交互系统等关键领域，技术格局有望被重塑。



西安交通大学客座教授任晓兵（右三）和团队在实验室。受访者供图

从600到6850

压电材料是智能时代关键功能材料之一，作为实现力——电信号转换的核心元件，被广泛应用于各类精密智能设备的底层架构。

它是灵敏的神经：手机指纹识别中的触觉反馈、医疗超声探头探测的体内回波，都依赖它将机械或声学信号转化为电信号；它也是精密的肌肉：高端相机镜头的快速对焦、光刻机平台的纳米级位移，皆由它实现精准控制与驱动。

衡量材料敏感度与驱动力的核心参数是压电系数（d??）。这一数值越高，材料的力电耦合转换性能越优异。然而，过去70余年，这项指标的提升几乎陷入停滞。

在主流陶瓷材料中，自20世纪50年代锆钛酸铅（PZT）多晶陶瓷问世以来，其性能始终定格在200－600皮库伦每牛顿区间，数十年未有实质性突破；而高端单晶材料方面，虽在80年代出现的弛豫铁电单晶可将性能提升至2000皮库伦每牛顿量级，但其成本高昂、稳定性差且机械脆弱，始终难以走向规模化应用。

如今，这一僵局被该研究团队彻底打破。

任晓兵团队基于廉价的多晶锆钛酸铅陶瓷，通过独创的设计，成功研制出d??高达6850皮库伦每牛顿的压电陶瓷材料。该性能不仅是传统压电陶瓷的10至30倍，更显著超越了所有已知的顶级单

晶材料。这标志着一种兼具超高性能与工程实用性的超级压电陶瓷正式诞生。

此项突破有望为下一代微型机器人、细胞级超声成像、高保真触觉交互等前沿领域提供关键材料支撑，其提出的主动压电器件新范式，也将为整个功能材料领域带来深远的启示。



任晓兵（左）和团队成员在实验室。受访者供图

长达15年的探索

这一突破，源自团队对理论极限长达十五年的执着探索。

早在2009年，任晓兵便在《物理评论快报》上提出前瞻性理论：在压电材料的相图多相交汇区域，存在一个三临界点，即热力学奇点。在该点附近，各相之间的能量壁垒趋于消失，材料对外部激励的响应理论上可接近无限大，堪称压电性能的珠穆朗玛峰。

然而，一个看似无解的困境使得该理论长期仅停留于猜想：这座性能珠峰的坐标，恰恰位于传统压电材料的死亡温度——居里温度（Tc）上。这是因为，传统压电材料需通过强电场进行极化，使内部偶极子排列一致以产生宏观响应；然而一旦温度接近居里温度，热扰动便会迅速破坏这种有序性，导致压电性能完全丧失。

因此，在长期的一般认知中，这一热力学奇点被视为理论上存在，工程上却无法实现。

面对接近性能极限即失效这一困境，任晓兵团队提出了颠覆性的逆向思路：能否设计一种方法，使材料能够在传统认知中的失效温度下不仅存活，更能高效工作？

为此，他们首次提出了压电器件的主动工作模式，其核心在于两项关键调控技术：一是微区精准控温：通过集成局部热管理模块，将压电材料的工作温度精确稳定在理论奇点附近；二是偏置电

场维持：施加一个微小而持续的约20伏每毫米偏置电场，用以引导材料内部的电偶极子保持有序排列，从而抵消热扰动带来的性能退化。

任晓兵介绍，这一机制可形象地比喻为攀登珠穆朗玛峰：不仅要选拔出具备卓越潜能的登山者，即高性能压电陶瓷；更需配备可靠的保温与供氧系统，确保其在极端环境下持续发挥最佳状态。

最终，基于此模式构建的主动压电器件，在室温至350 ° C的宽温范围内，实现了d??>6000皮库伦每牛顿的稳定输出，且该高性能理论上可进一步拓展至超低温或超高温环境。这直接回应了工程应用中最关键的挑战——在温度波动下保持性能稳定与长期运行可靠性。对于高温工业、航空航天等极端工况而言，高灵敏度与高稳定性二者缺一不可。



任晓兵团队合影。受访者供图

打造宇航服系统

传统的压电材料研发，如同在舒适区内精雕细琢，科学家们竭力优化材料本身的性能，却难以克服其怕冷畏热的天性，一旦环境温度偏离室温，性能便大幅波动。而研究团队开创的主动工作模式，则为超级材料穿上了智能宇航服：通过微区精准控温与施加微小偏置电场，像调节空间站环境一样，将材料动态稳定在最佳工作状态，从而在极端环境下依然保持卓越性能。

这就像人体必须维持在37摄氏度左右才能正常活动。共同第一作者、西安交通大学前沿科学技术研究院教授王栋形象地比喻道，有了宇航服和空间站，人类就能在太空极端环境中长期工作。我们这项技术，就相当于给超级压电材料打造了一套‘宇航服系统’。

这种能够主动适应环境的智能器件，不仅实现了超高灵敏度，更具备了传统材料难以企及的环境稳定性。

这一突破意味着，在高端传感器、精密驱动器、下一代超声成像、微型机器人、光刻机乃至太空探索装备等领域，我们有望获得一种全新的核心材料支撑。共同第一作者、西安交通大学电气学院教授高景晖进一步解释，它就像信息时代的芯片、工业时代的钢铁，或将成为智能时代关键功能部件的基础元件，为相关产业的技术升级与跨越发展提供关键助力。

历经十五年探索，从理论预言到材料创制，再到器件实现，这项研究终于走完了从思想火花到现实产品的全过程。随着这类智能材料逐步走向应用，一个更灵敏、更精准、更智能的科技未来，正在向我们走来。（来源：中国科学报 李媛）

相关论文信息：https://doi.org//10.1126/science.aec5660

作者：任晓兵等 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