

上海硅酸盐所等在柔性热电技术研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19710.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！

柔性电子被誉为未来革命性的电子技术，有望广泛应用于能源、医疗等领域，但其发展受制于可自供电、易携带、高可靠的超薄柔性电源的缺失。热电转换技术可将人体或环境的热量转换为电能，具有体积小、无传动组件、无噪音、可全天候工作等优点，可为柔性电子提供一种可行的自供电解决方案。目前，柔性热电技术的研究一般直接使用具有良好柔塑性的有机热电材料，或者将脆性的无机热电材料集成于柔性基板；前者的电性能较低，导致输出电压和功率远低于无机材

S (Nature

Materials, 2018) 和二维范德华InSe单晶 (Science

, 2020)，将金属/有机材料的力学特性与无机半导体的电学特性完美地集于一身；以此为基础

，通过元素的固溶掺杂等改性研究，研制出一系列n型高性能无机塑性热电材料 (Energy

Environmental Science, 2019; Advanced

Materials

, 2021等)，室温和高温热电优值分别达到0.44和0.80。这些新材料的研究为柔性热电技术提供了全新的研究思路与解决方案。然而，p型无机塑性热电材料的种类稀少、室温附近热电优值极低（约0.01），制约了传统 π 型（面外型）超薄柔性热电器件的研制及应用。

近日，中国科学院上海硅酸盐研究所研究员仇鹏飞、史迅、陈立东等，与瑞典乌普萨拉大学教授章贞合作，开发出系列高性能p型无机塑性热电材料；基于此，科研人员研制出厚度仅为0.3mm的超薄 π 型柔性热电器件，其功率密度数量级高于已报道的柔性热电器件，且还数倍高于现有的刚性热电器件。相关研究成果以Flexible thermoelectrics based on ductile semiconductors为题，发表在《科学》(Science)上。

研究发现，Ag基化合物一般为n型导电，而Cu基化合物一般为p型导电；高含量的Ag-S键易导致塑性，而高含量的Cu-Se/Te键易导致脆性。科研团队系统探究了 $\text{AgCu}(\text{Se}_y\text{S}_{1-y-x}\text{Te}_x)$ 的物相组成、电热

$\text{AgCu}(\text{Se}_{1-y-x}\text{S}_x\text{Te}_y)$ 中y 约为 0.5时，发生n-p型转变；此时引入少量的S，材料力学性能发生“脆-

塑”转变。因此， $\text{AgCu}(\text{Se}_{1-y-x}\text{S}_x\text{Te}_y)$

中Te固溶量y在0.5-0.7、S固溶量x在0.05-0.08之间时，材料同时具有塑性和p型导电行为。

力学性能测试表明， $\text{AgCuSe}_{0.3-x}\text{S}_x\text{Te}_{0.7}$ (x =

0.06和0.08) 室温压缩应变变量>30

%, 三点弯曲应变变量>10%, 与Ag₂

S及其固溶体相当。得益于其良好的塑性, 该类材料可被直接加工成微米级别的薄片, 展现出良好的柔性。热电性能测试显示, 它们具有良好的电输运性能和极低晶格热导率, 进一步引入阳离子空位改善电输运性能, 热电优值在室温提升至0.45, 在340K时达0.68(图2), 高于有机热电材料, 与室温区熔法制备的Bi₂Te₃合金相近。

该工作推进了研制柔性热电器件所需热电材料的研究进展。结合已报道的n型无机塑性热电材料, 研究选取p型(AgCu)_{0.998}Se_{0.22}S_{0.08}Te_{0.7}和n型Ag₂₀S₇Te₃

作为柔性器件的热电臂(厚度低至0.1mm), 利用磁控溅射在其表面沉积W/Sn作为金属连接层, 而后集成于聚酰亚胺基柔性电路板, 研制出最薄为0.3mm、填充率最高为72%的超薄无机柔性热电器件(图3)。得益于材料优良的热电性能、超薄的厚度及低的界面接触电阻率, 柔性热电器件的最大归一化功率密度达30

μWcm⁻²K⁻²

(图2), 比有机热电器件高约4个数量级

, 比传统的Bi₂Te₃

基刚性器件高约4倍。该柔性器件展示出良好的服役稳定性, 在15毫米弯曲半径下, 经受500次弯曲后其内阻几乎不变。

该研究为柔性热电技术提供了全新的解决方案, 能将人体或环境热量快速有效地转换成电能, 具有稳定可靠、长寿命、超薄、可弯曲、全天候工作等优点, 有望为柔性电子提供高效的自供电技术。

研究工作得到国家自然科学基金、上海市基础研究特区项目、上海市科学技术委员会、中科院等的支持。

[论文链接](#)

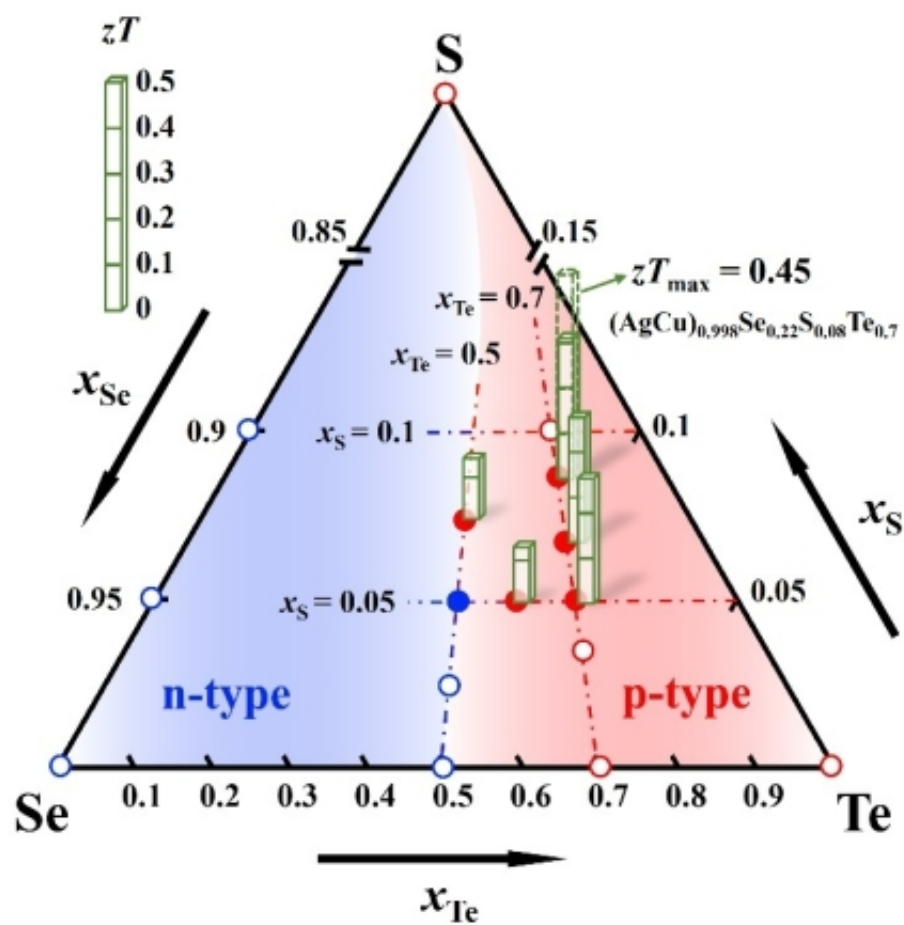


图1. AgCuS-AgCuSe-AgCuTe 三元固溶体“组分-性能”相图，实心圆表示塑性组分，空心圆表示脆性成分，长方柱表示热电优值。

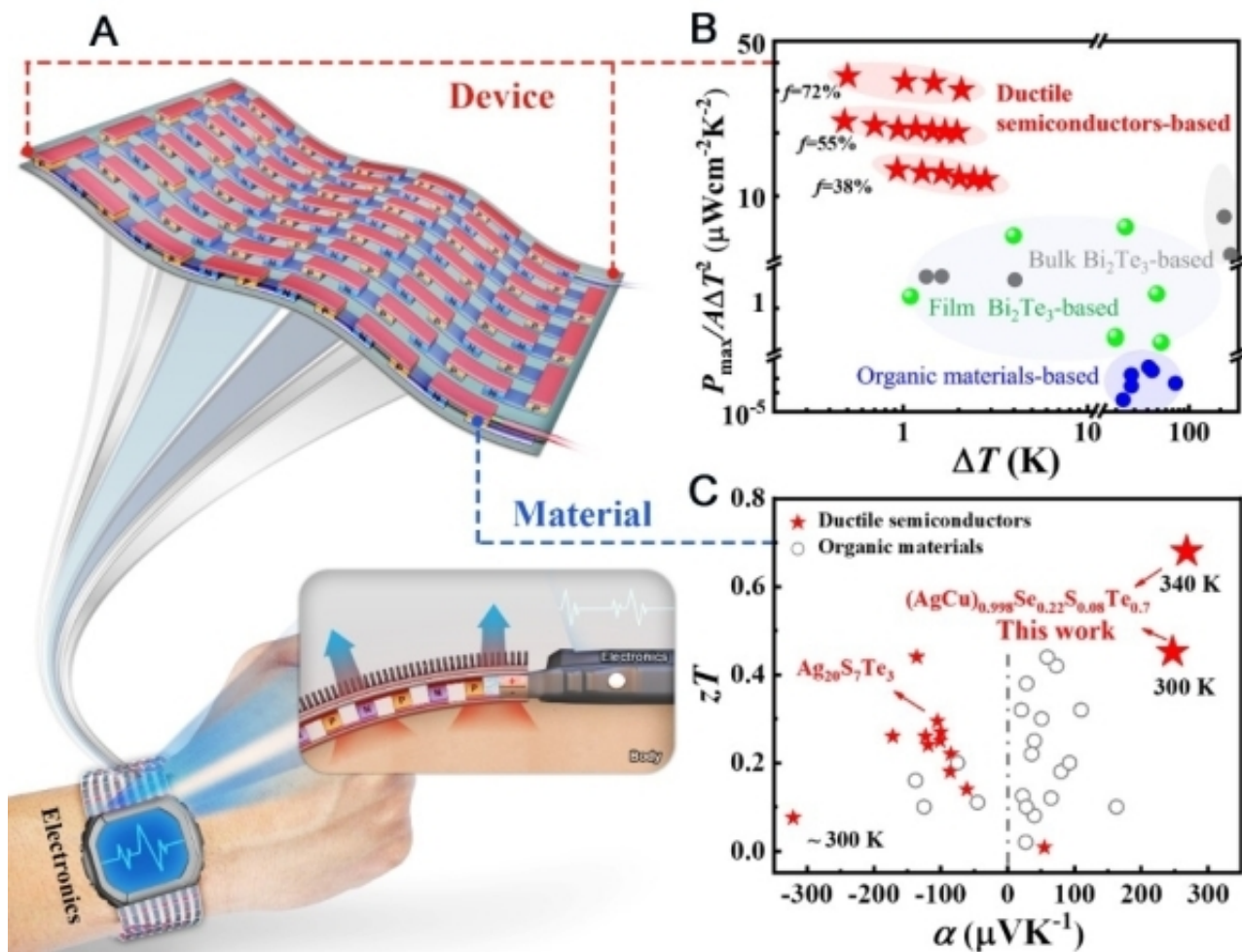


图2.A、用于可穿戴电子的柔性热电器件示意图；B、该工作和其它已报道的柔性热电器件的归一化功率密度对比；C、该工作和其它柔性热电材料热电优值对比。

图3.基于无机塑性材料的超薄热电器件实物图及器件性能（6对， $f=72\%$ ）。

研究团队单位：上海硅酸盐研究所

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