热电子汤姆孙冷却直接成像与非平衡增强研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43179.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！

热电子汤姆孙冷却直接成像与非平衡增强研究获进展

。随着芯片制程逼近物理极限，微纳尺度功耗密度持续升高，器件散热问题已成为后摩尔时代电子技术发展的核心瓶颈。经典汤姆孙冷却效应受晶格主导热耗散制约，热平衡下载流子熵变微弱，在玻尔兹曼—昂萨格框架内效率难以突破2%。由于缺乏直接探测手段，超越经典热平衡极限的热电响应始终缺乏实验观测证据。

近日，中国科学院上海技术物理研究所等科研团队在热电子汤姆孙冷却直接成像与非平衡增强机制研究方面取得进展。该研究在HgTe和HgCdTe纳米沟道器件中，首次实现电子温度、晶格温度及对应热电响应的同时成像，并直接观测到超出经典理论预期的非平衡汤姆孙冷却效应。

依托HgTe基材料的长期研究积累，团队通过界面与组分控制，在大晶格失配GaAs衬底上制备出高质量HgTe/HgCdTe量子阱。借助自主研发的SNoiM与SThM联用技术，在稳态器件上同步获取电子温度、晶格温度及热电信号分布。研究发现，HgTe极弱电声耦合特性使热电子运输近乎与晶格“脱耦”，即HgTe/CdTe纳米缩颈器件的电子温度可达约1720K，形成约200K的非平衡汤姆孙补偿温差；而作为对照的HgCdTe器件电子温度仅约760 K，热电信号近乎淬灭。在1μm宽HgTe沟道中，汤姆孙冷却补偿比在晶格通道、电子通道分别可达约9%、14.3%，突破经典近平衡条件下约2%的效率极限；当沟道加宽至3.5μm以上时，响应回落至经典理论预测值，证实该突破源于强场驱动的非平衡热电子，而非材料本征异常。第一性原理计算与双温度模型表明，高温下费米边展宽增强了塞贝克系数对电子温度的依赖，汤姆孙系数项主导了观测到的非线性热电响应。

该研究通过直接成像手段证实，汤姆孙效应的低效率并非固有物理约束，而是经典平衡态理论假设带来的局限。研究同时表明，非平衡热电子是纳米尺度能量耗散与调控的重要途径，这一认识为后摩尔时代器件片上散热提供了新的物理思路，也为HgTe基红外探测器热管理提供了参考。

相关研究成果发表在《自然-物理》（*Nature Physics*）上。研究工作得到国家自然科学基金委员会、科学技术部、中国科学院、上海市等的支持。

论文链接

研究团队单位：上海技术物理研究所

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转发