

---

# 科学家提出光学声子模软化新思路

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/30153.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！**

科学家提出光学声子模软化新思路。宁波东方理工大学（暂名）教授魏苏淮团队，联合中国科学院半导体研究所研究员骆军委、邓惠雄研究组，通过降低原子化学键强度诱导的光学声子软化避免退极化效应，提出了光学声子模软化新思路，为未来电子器件的超小型化、高性能化开辟了新方向。10月31日，相关研究成果发表在《自然》。

晶体管通过持续小型化提升集成度的摩尔定律已接近物理极限。主要瓶颈是晶体管功耗难以等比例降低。进一步降低功耗有两个主要途径：其一，寻找拥有比二氧化硅等更高介电常数和更大带隙的新型高介电常数氧化物材料，在确保不降低栅控能力的前提下增厚栅介电层，遏制量子隧穿效应引起的栅极漏电流。另一个途径，是采用铁电/电介质栅堆叠的负电容晶体管，实现更低的工作电压和功耗。

氧化物高介电常数和铁电相变的一个重要因素是光学声子软化。通常认为，光学声子软化来自强波恩有效电荷引起的长程库伦相互作用和弱的原子化学键，极化效应导致材料的介电常数与带隙通常成反比，难以同时拥有高介电常数和大带隙。此外，铁电材料受限于强波恩有效电荷引起的界面退极化效应，使其难以应用于大规模集成的纳米尺度器件。

研究团队提出，通过拉升原子键长度来降低原子键强度，可有效地实现光学声子模软化。进一步研究发现，通过该方式诱导的光学声子模软化驱动的铁电相变，不依赖传统铁电相变所需的强库仑相互作用，因此可以有效避免界面退极化效应。

研究团队利用上述理论，成功解释了在硅/二氧化硅衬底上外延生长的铪0.8锆0.2氧2和ZrO<sub>2</sub>薄膜在厚度降低到2-3纳米时才出现铁电性的逆尺寸效应，即：当Hf<sub>0.8</sub>Zr<sub>0.2</sub>O<sub>2</sub>或ZrO<sub>2</sub>薄膜减薄至2-3纳米时，衬底晶格失配对外延薄膜施加的双轴应变，显著地降低原子键强度，软化光学声子模使其频率降低至零而导致铁电相变。理论预测的长宽比和面间距两个特征结构因子可以完美重复实验测量值。

由于离子半径差异、应变、掺杂和晶格畸变都可以拉升原子键长度降低原子键强度，该发现为通过离子半径差异、应变、掺杂或晶格畸变等手段来实现薄膜铁电相变，提供了统一的理论框架。

由于光学声子模软化是凝聚态物理中的高k介电材料、铁电材料、热电材料和多铁材料等实现的关键因素，所以该研究成果为设计晶体管高k介电层和发展兼容互补金属氧化物半导体工艺的超高密度铁电、相变存储等新原理器件提供了新思路，为未来电子器件的超小型化、高性能化开辟了新方向。（来源：中国科学报 温才妃 姚瑶）

---

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08099-0>

作者：魏苏淮等 来源：《自然》

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