

Physical Review Applied 报道徐象繁课题组和周俊 课题组发现铁电聚合物中的声子重整化效应

声子学与热能科学中心徐象繁教授课题组与周俊教授课题组合作，在纳米尺度铁电高分子聚合物 P(VDF-TrFE) 体系中观测到由外加极化电场引起的声子重整化 (Phonon Renormalization) 过程。相关研究成果于 2020 年 3 月 6 日以 “Phonon Renormalization Induced by Electric Field in Ferroelectric Poly(Vinylidene Fluoride Trifluoroethylene) Nanofibers” 为题发表在国际物理学期刊 Physical Review Applied 上 [Phys. Rev. Appl., 13, 034019 (2020)]。论文第一作者为董岚博士，席晴为论文共同一作。

传统的声子理论在解释晶体热导率时通常是将原子的非简谐振动当作微扰处理，然而当体系受到外加电场、磁场、应力或高温等强干扰因素影响时，原子将明显偏离原本的平衡位置，从而诱发声子谱的非谐性改变。在这种情况下微扰理论不再适用。这种声子谱的非谐性改变已突破传统的声子理论，近年来已有一些研究开始尝试利用“声子重整化”对热输运进行进一步的诠释。铁电高分子聚合物 P(VDF-TrFE)，具有自发极化方向，受外加电场方向的影响，碳氟键和碳氢键与主链之间的键角将发生明显的改变（如图 1 所示），我们猜想这一行为也许能引起声子的重整化过程。

为了证实这一猜想，我们利用静电纺丝技术制备了直径为 138nm 与 511nm 的两根 P(VDF-TrFE) 纳米纤维，并利用悬空热桥法表征了不同电场下 P(VDF-TrFE) 纳米纤维的本征热导率。在实验中我们观测到，随着外加电场电势梯度的增大纳米纤维的热导率呈现出明显的增大趋势，这证实了声子重整化的过程已经在 P(VDF-TrFE) 体系内发生并且实验结果与我们的理论模型符合的很好。此外，我们对同一根样品进行了不同阶段的热处理（140℃ 氮气退火，真空烘烤等）并表征了不同阶段热导率随外加极化电场的变化趋势，所有的实验结果均表明外加极化电场能够引起铁电高分子链的声子重整化，并且热导率的增高在一定电势梯度下具有稳定的可控性（如图 2 所示）。该研究成果不仅诠释了声子重整化对 P(VDF-TrFE) 纳米纤维热输运的影响，同时也为未来铁电高分子热控相关领域的应用提供了可靠的理论依据与实验基础。

该项工作得到国家重点研发计划与国家自然科学基金重大项目的支持。

近年来声子学与热能科学中心在有机物热传导调控方面取得了一系列进展，已经发表了多篇高水平 SCI 论文，包括 1 篇 National Science Review, 1 篇 Advanced Materials, 1 篇 Advanced Functional Materials, 2 篇 Applied Physics Letters 及多篇 Physical Review 文章。

论文链接：<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.13.034019>

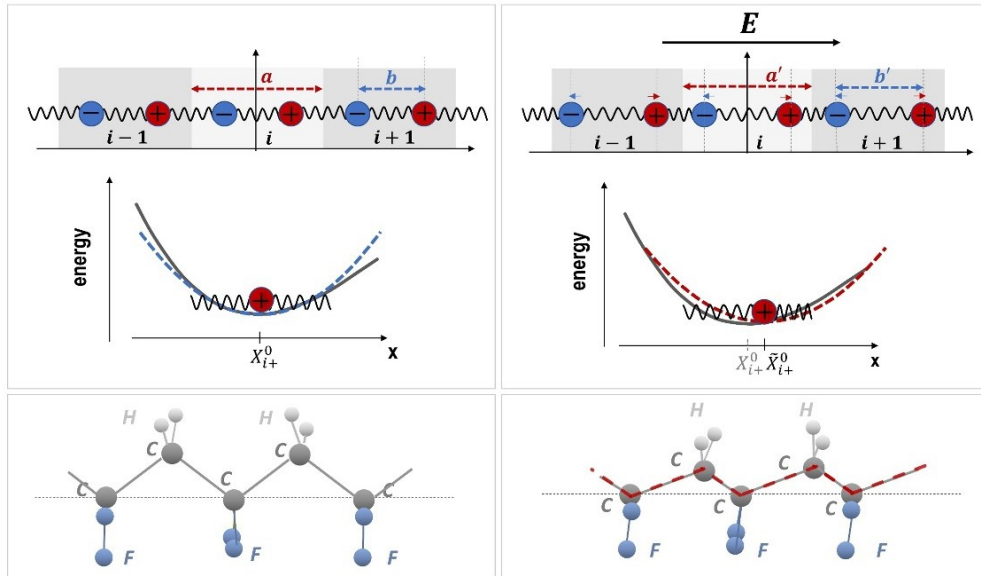


图 1. 在外加极化电场的情况下, P(VDF-TrFE)体系声子重整化过程的示意图

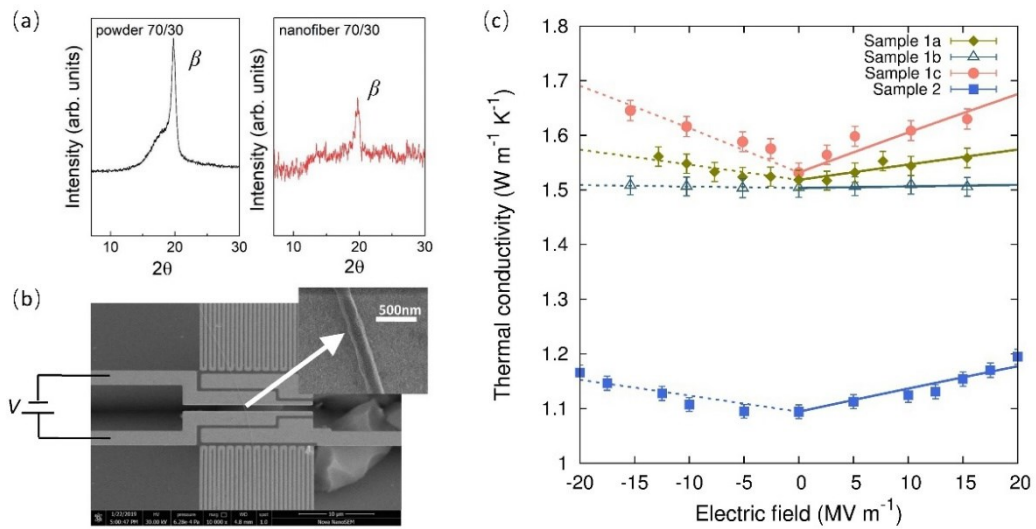


图 2. (a) P(VDF-TrFE)粉末与 P(VDF-TrFE)纳米纤维的 XRD 测试结果; (b) 单根 P(VDF-TrFE)纳米纤维悬挂在

MEMS 测试器件之上, 最靠近中间的两根电极用于施加外加极化电场; (c) P(VDF-TrFE)纳米纤维的热导率随外加极化电场的变化情况。