

中国科学院物理研究所 A02组供稿
北京凝聚态物理国家研究中心

第114期

2023年11月07日

气凝胶/二硒化铌超晶格材料中实现电声子解耦

自石墨烯被发现以来，原子层级别厚度的二维材料引起了学界的广泛关注。与普通块体材料相比，剥离后的单层材料，其电子和声子均呈现出完全的二维化行为特征，诱发了丰富多样的新奇物性。然而，二维材料多依赖于衬底的约束，来自衬底的电子特别是声子的影响无法避免。同时，单层材料还大多不具备化学与环境稳定性。上述问题在普通块体材料中并不存在。因此，在块体材料中实现层间退耦合，诱导出本征二维特性具有重要的意义，有利于二维材料本征物性的研究及应用范围的拓展。

针对以上问题，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心先进材料与结构分析实验室陈小龙团队的孙瑞锦博士（已毕业）在金士锋副研究员和陈小龙研究员指导下，与赵怀周研究员，李岗特聘研究员，杜世萱研究员，应天平特聘研究员以及华中科技大学杨荣贵教授，钱鑫教授等合作，利用气凝胶层代替了单层材料周围隔绝电子和声子传导的空气（真空）层，设计并合成了一种由NbSe₂和高多孔氢氧化钠交替层组成的特殊超晶格。并证明了在此块体单晶材料中，实现了层间电子、声子解耦。

具体表现在实验上，超晶格(NaOH)_{0.5}NbSe₂的层间电阻增加了4-6个数量级，导电行为由金属转变为半导体，且能带结构与单层NbSe₂接近，这表明NbSe₂层之间实现了完全的电子解耦合。其振动（声子）的退耦合则表现在拉曼光谱中层间振动模式峰的完全消失、比热容呈现出以爱因斯坦局域震动为主导的模式、层间极低的结合能（接近石墨烯级别）以及极低的层间热导率（0.28 W/mK，约为NbSe₂的2%）。上述层间的解耦合特性导致(NaOH)_{0.5}NbSe₂呈现出了与单层NbSe₂几乎完全相同的物理特性 – 高达110K的CDW转变温度和超越4倍于Pauli极限的二维超导电性，在体材料中实现了理想的二维化。我们的研究结果表明，插入类似气凝胶的（高多孔）绝缘层可以有效地对三维晶格中的原子层实现电子、声子解耦，从而在传统块状材料中实现本征的二维特性。

相关成果以“High anisotropy in electrical and thermal conductivity through the design of aerogel-like superlattice (NaOH)_{0.5}NbSe₂.”为题发表于《Nature Communications》上，孙瑞锦讲师，金士锋副研究员和陈小龙研究员为共同通讯作者。

文章信息：Sun, R., Deng, J., Wu, X. et al. High anisotropy in electrical and thermal conductivity through the design of aerogel-like superlattice (NaOH)_{0.5}NbSe₂. Nat Commun 14, 6689 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42510-0>

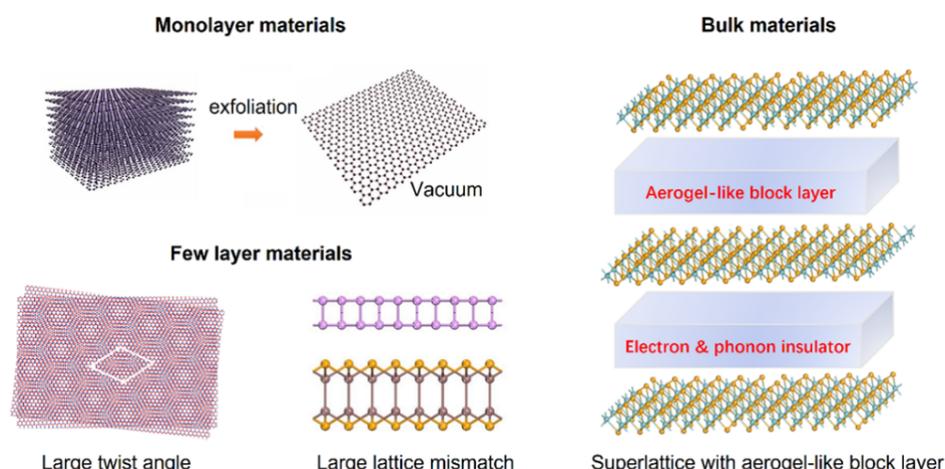


图1.针对不同厚度材料的层间解耦合方案

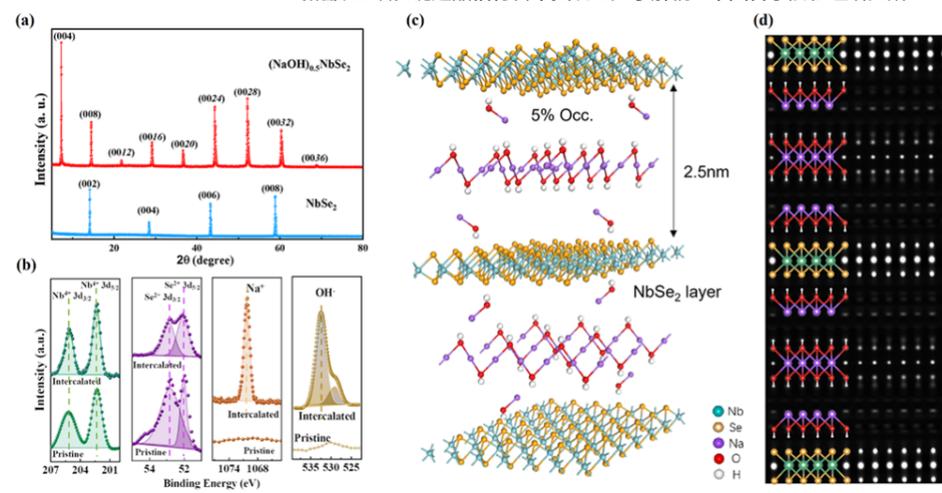


图2. 超晶格 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 单晶的 a) X射线衍射; b) XPS光电子能谱; c) 晶体结构 (部分NaOH层占位率仅5%); d) 电荷密度图。

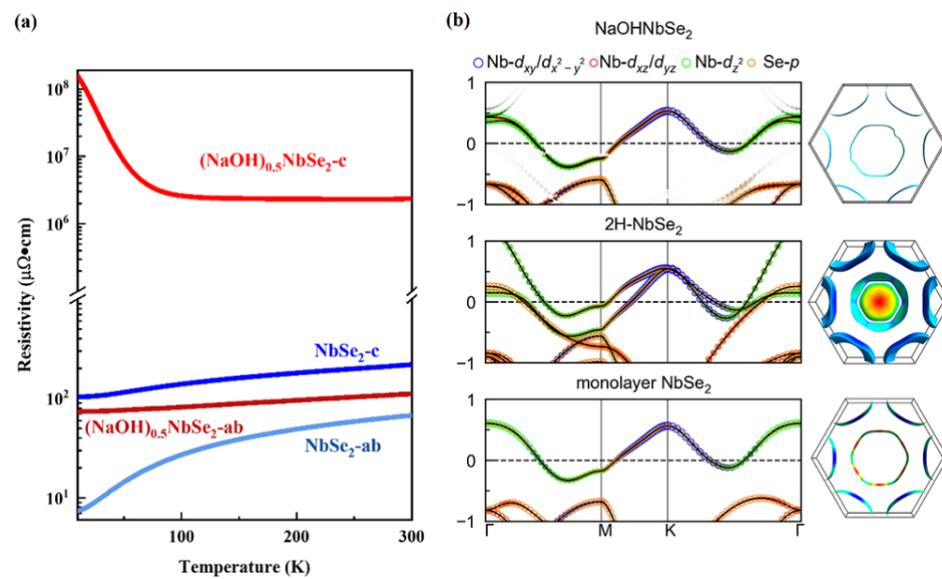


图3. 超晶格 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 层间电子解耦特征 a) 母体 NbSe_2 及超晶格 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 的面内及层间电阻; b) 超晶格 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 、母体 2H-NbSe_2 及单层 NbSe_2 的电子结构及费米面。

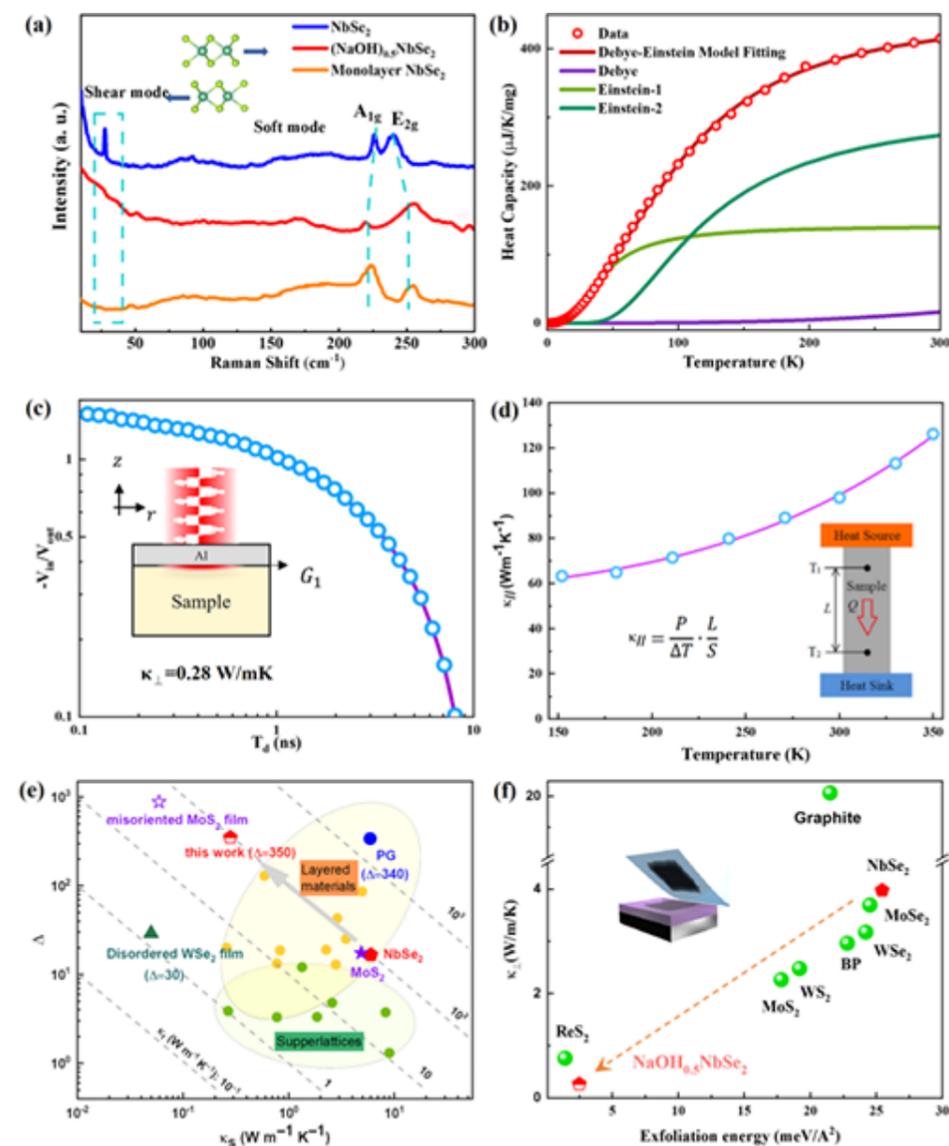


图4. 超晶格 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 的层间声子解耦特征 a) 母体 NbSe_2 、单层 NbSe_2 和 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 的室温拉曼光谱; b) C_p 与温度的关系图; c) $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 层间热导; d) $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 的面内热导率; e) 材料导热率及各向异性相图; f) TMDs材料、石墨、黑磷 (BP) 和 $(\text{NaOH})_{0.5}\text{NbSe}_2$ 的剥离能及层间热导。

[Nature Communication - 2023 - Sun.pdf](#)

-  [电子所刊](#)
-  [公开课](#)
-  [微信](#)
-  [联系我们](#)
-  [友情链接](#)
-  [所长信箱](#)
-  [违纪违法举报](#)



版权所有 © 2015-2023 中国科学院物理研究所 京ICP备05002789号-1 京公网安备1101080082号 主办：中国科学院物理研究所 北京中关村南三街8号 100190