
山东大学首次直接观察到分子掺杂诱导产生的电子云气氛

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/15490.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！

山东大学首次直接观察到分子掺杂诱导产生的电子云气氛。

日前，山东大学晶体材料研究院何涛课题组与美国明尼苏达大学C Daniel Frisbie团队在分子掺杂的有机半导体单晶中取得了突破性的进展，通过开尔文探针力显微镜首次直观地观察到分子掺杂诱导产生的电子云气氛。研究成果以Site-specific chemical doping reveals electron atmospheres at the surfaces of organic semiconductor crystals为题，于北京时间2021年8月30日晚23时发表在Nature Materials上。

晶体是物质存在的最稳定状态和最完美形式，可以最大限度地反映材料的本征性能，满足光电传输的更高要求。前国际晶体生长协会主席R.A. Laudise教授在其著作中多次提到单晶是大多数固态研究的必要条件，也是许多固态器件的基本组成部分，由此可见晶体在材料性能探索中的重要性。

然而100%完美的物是不存在的，特别是带有活泼官能团并通过弱的范德华力相结合的有机晶体，即使是最经典的红荧烯单晶材料，采用四探针技术和真空介电层，其有效的避免了接触电阻和半导体/介电层之间的界面缺陷，器件的迁移率往往也会有数量级的差异，这显然与晶体成核生长过程中偏离理想点阵的结构缺陷有着密切的联系，严重阻碍了产业化的进程。

何涛告诉《中国科学报》，在目前有机半导体分子设计合成面临瓶颈的情况下，探索有机晶体潜在的缺陷和电子无序以及产生的原因，并通过优化晶体生长条件和分子掺杂等方法抑制或消除缺陷，从而调控晶体材料的能带结构和载流子浓度，构建高性能和整体均一性的器件，也就成为有机光电子领域的一个重要突破口。本着这一研究思路何涛课题组开展了一系列的工作。

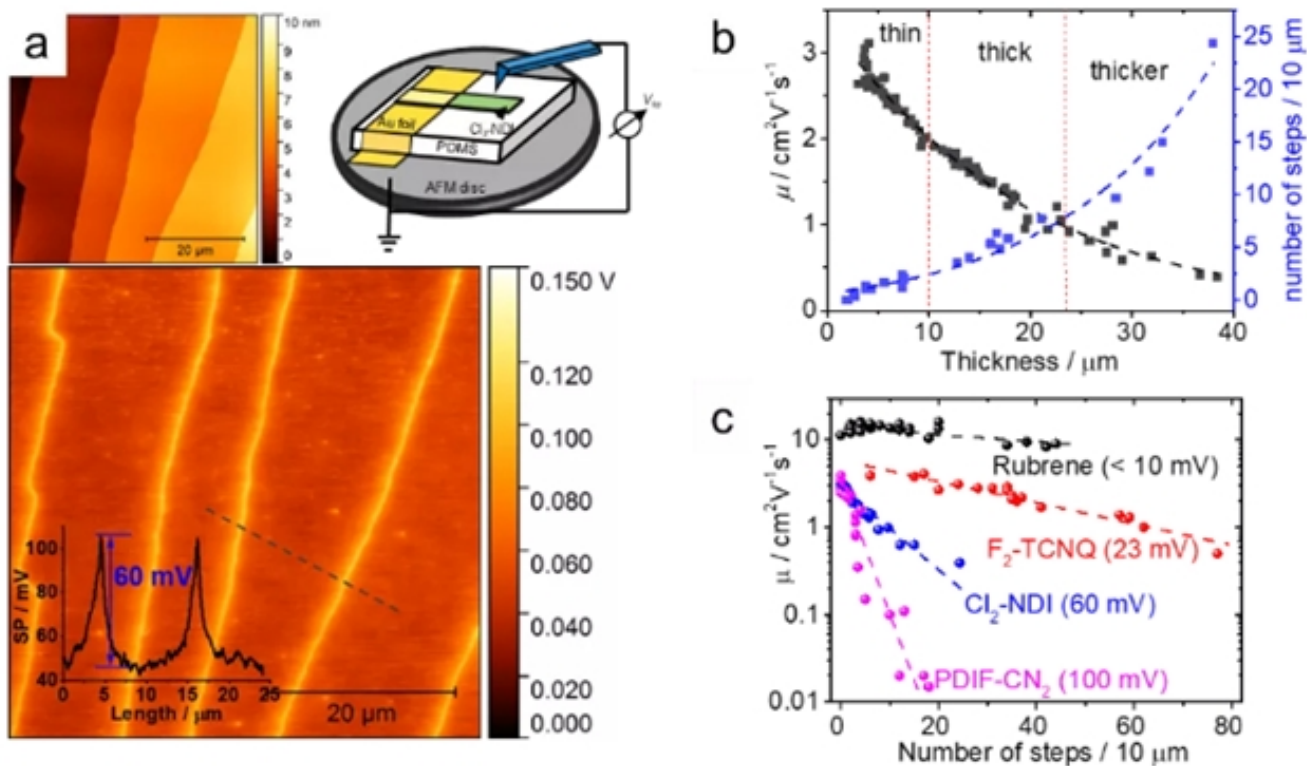


图1：a. Cl₂-NDI单晶表面AFM形貌图、KPFM电势图和测试示意图；b. Cl₂-NDI单晶迁移率、表面台阶数量与晶体厚度之间关系；c. Rubrene、F₂-TCNQ、Cl₂-NDI和PDIF-CN₂单晶迁移率随晶体表面台阶密度的变化。括号中的值代表晶体表面台阶边缘的电势变化（研究团队供图）。

在前期工作中，何涛教授把开尔文探针力显微镜和有机单晶表面缺陷相关联，可视化的展现Rubrene、F₂-TCNQ、Cl₂-NDI和PDIF-CN₂晶体表面台阶电势陷阱，并量化分析了晶体厚度-缺陷密度-电荷传输之间的关系，以及具有取向的台阶缺陷对电荷传输的各向异性和传输机理的影响（Nat. Commun. 9, 2141, 2018）。

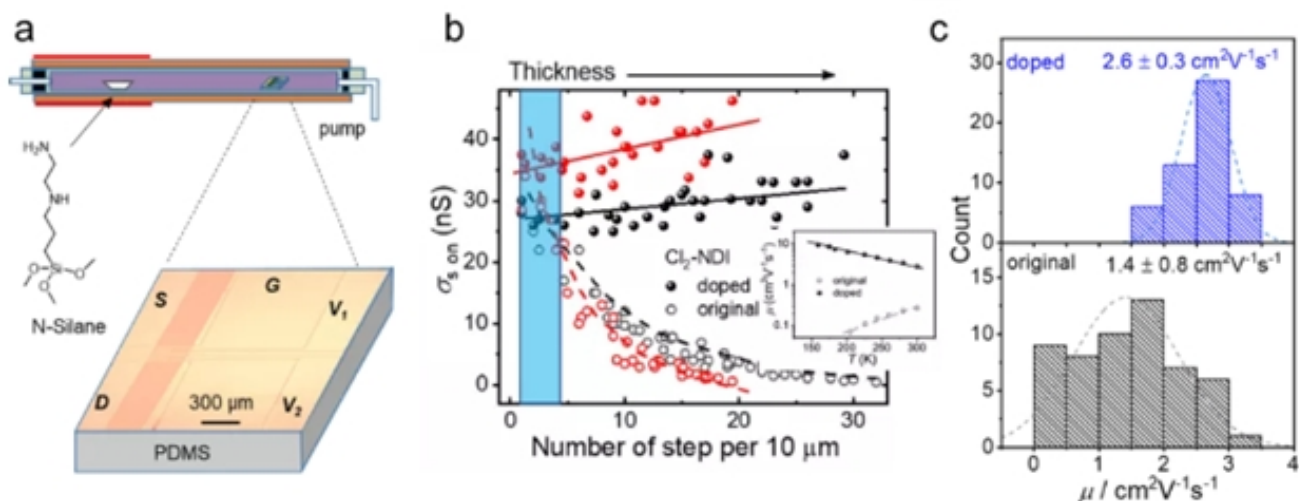


图2：a. 化学掺杂装置的原理图；b. 掺杂前后Cl₂-NDI和PDIF-CN₂单晶FETs迁移率与晶体表面台阶密度的关系，以及电荷传输机理的变化；c. 掺杂前后器件性能的提升（研究团队供图）。

在最新的研究中，何涛课题组针对台阶缺陷进行了精确定位修复，掺杂分子仅长在晶体台阶的位置（已知的电子陷阱）。靶向掺杂有效地消除晶体台阶边缘的电子陷阱并释放被困的电子，器件的性能得到显著的提高，并由跃迁电荷传输无一例外的转变为本征的能带电荷传输。器件表现出高度的整体均一性，卓越的空气稳定性和热稳定性，满足n-型半导体材料产业化的需求。

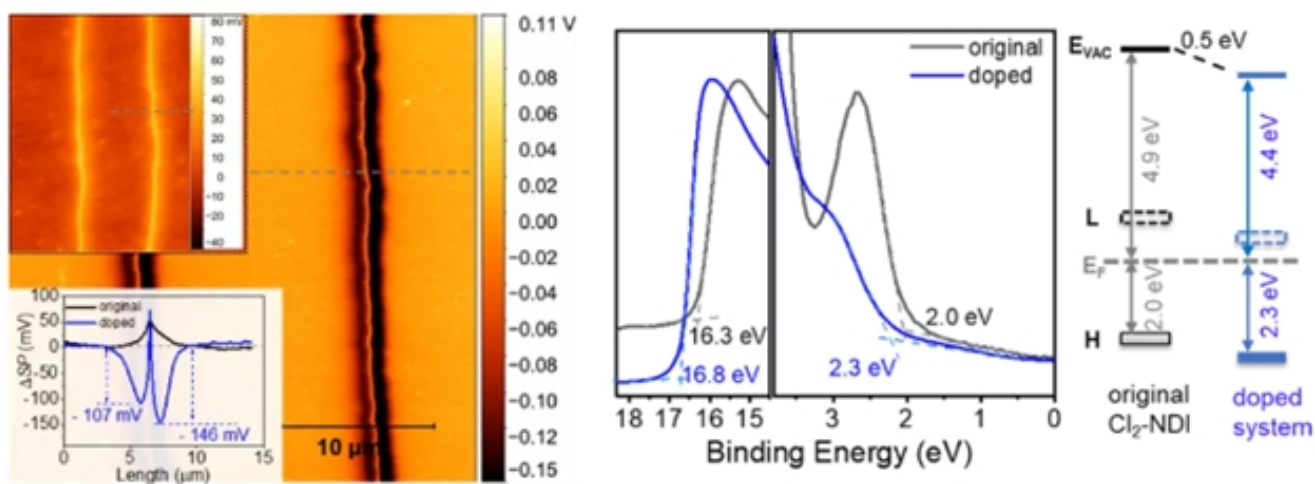


图3：a. 掺杂后晶体表面电势图。插入图分别为掺杂前晶体表面电势图（上）和电势轮廓对比（下）；b. Cl₂-NDI单晶掺杂前后紫外光电子能谱和对应的能级结构示意图（研究团队供图）。

更为重要的是掺杂后台阶电势由最初的单一正电势过渡到被两侧负电势夹裹的结构，通过UPS进一步证实了n型半导体掺杂。这是美国科学院院士、诺贝尔化学奖获得者Alan J. Heeger教授自1974年报道有机掺杂电荷转移以来，首次通过开尔文探针力显微镜成像检测到分子掺杂诱导产生的电

子云气氛。实验结果表明通过电离给体释放到受体晶体中的电子是可移动的，形成一定宽度、空间离域的电子分布。此工作为有机半导体掺杂诱导的空间电荷提供了直观的证据，在有机体系中印证了经典无机半导体物理学的掺杂理论。相关的工作以第一作者和通讯作者发表在《自然-材料》上，并申请了相关专利。（来源：科学网）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41563-021-01079-z>

作者：何涛等 来源：《自然-材料》

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