
迁移率解析：解锁原子层沉积 ZnO 晶体管态密度

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40874.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！

迁移率解析：解锁原子层沉积 ZnO 晶体管态密度。 论文标题：The Extraction of the Density of States of Atomic-Layer-Deposited ZnO Transistors by Analyzing Gate-Dependent Field-Effect Mobility

论文链接：<https://www.mdpi.com/2673-3978/5/4/16>

期刊名：Electronic Materials

期刊主页：<https://www.mdpi.com/journal/electronicmat>

研究背景

氧化物半导体薄膜晶体管（TFT）凭借其高电学性能、优异均匀性及低温制程等优势，在电子与光电应用领域备受关注。其中，原子层沉积（ALD）技术因其自限制与逐层生长的特性，成为制备超薄平坦ZnO薄膜、实现器件小型化的关键工艺。然而，ALD ZnO薄膜与常规沉积方法类似，同样存在界面与半导体缺陷。这些缺陷导致半导体内部形成无序的局域化电子结构，严重劣化器件电学性能，使其阈值电压、亚阈值摆幅等关键参数表现出非理想性与不稳定性。因此，深入解析这些缺陷所对应的电子态密度（DOS），是提升器件性能的核心环节。当前，尽管X射线光电子能谱、低温电学表征等方法已用于DOS分析，但这些技术或要求器件在测量中保持高度稳定，或对设备要求苛刻，难以应用于电学特性易变的非稳定半导体。鉴于此，本研究旨在建立一种新颖、简便且可靠的DOS提取方法，仅需通过单次转移特性曲线测量，即可有效解析无序ZnO晶体管的局域缺陷态。

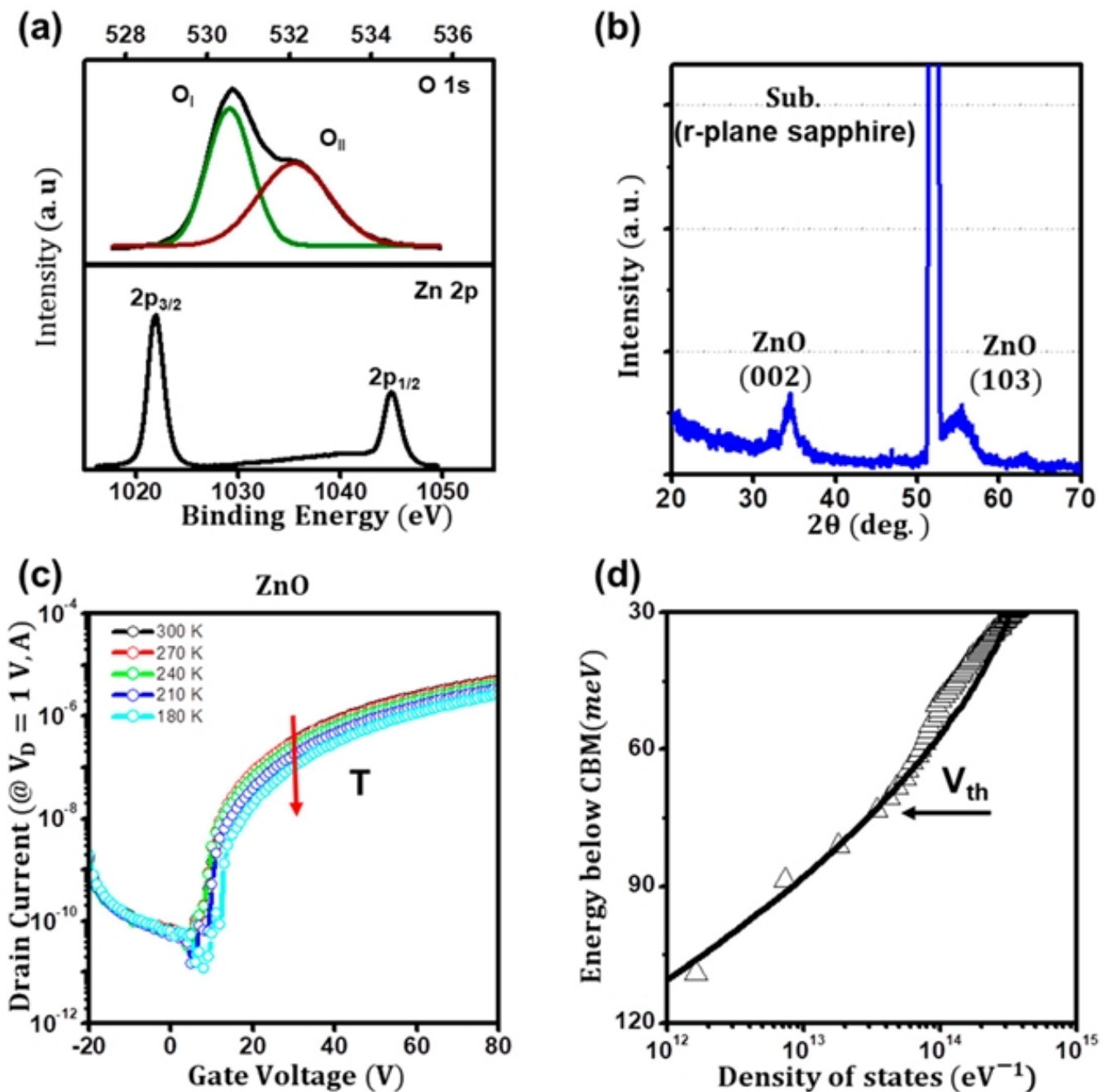
研究内容

本研究首先采用原子层沉积技术，制备了底栅顶接触结构的ZnO薄膜晶体管。表征表明，所制备的6nm厚ZnO薄膜表面平整、粗糙度低，器件展现出典型的n型晶体管行为，场效应迁移率可达 $3.1\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，开关比高于 10^4 。然而，器件的阈值电压与亚阈值摆幅随栅压扫描范围变化而改变，这揭示了薄膜中存在由Zn缺失和晶界等导致的缺陷态，证实了其电子结构的局域化特征。

为探究此种局域化电子结构，研究团队提出了一种基于栅压依赖性场效应迁移率的DOS提取新方法。该方法源于无序半导体中的载流子热激活跳跃输运机制。基于此，场效应迁移率与栅压可建立阿伦尼乌斯函数关系，其中激活能是随栅压变化的关键变量。通过数学处理，将激活能的变化率与态密度建立反比关系，从而推导出态密度分布。此方法的创新在于，将复杂的低温测量需求转化为对单次室温转移曲线的数学分析，简化了实验流程。

为验证该方法的可靠性，研究团队将其结果与传统低温变温电学测量法对比。通过在180K至300 K温区内测量器件的转移特性，并利用迈耶-内德尔规则提取激活能，获得了ZnO TFT的DOS分布。新方法提取的DOS与低温法结果在数量级及分布趋势上高度一致，均呈现典型的带尾态分布。在能量低于60meV时，两种方法所得态密度均在 $10^{13} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 量级；在30meV时，则均接近 $10^{14} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 。这一强相关性有力证明了该方法的准确性与可信度。

为进一步检验该方法的普适性，研究者将其应用于经 Al_2O_3 钝化层修饰的ZnO TFTs。这些掺杂器件的阈值电压显著偏移，场效应迁移率亦获提升，表明其电学特性已发生显著改变。即便如此，利用单次转移曲线提取的DOS结果，仍与低温测量法保持了良好的一致性，相关系数高达0.99以上。这说明，该方法不仅适用于原始ZnO器件，同样能有效分析经改性、电学参数已发生变化的复杂体系，具备强大的实用性。



(a) ZnO薄膜的XPS谱；(b) ZnO薄膜的XRD图谱；(c) ZnO TFT器件的传输特性曲线随温度的变化；(d) ZnO TFT器件的陷阱态密度（DOS）。

研究总结

本研究成功提出并验证了一种基于栅压依赖性场效应迁移率的态密度提取新方法。该方法将无序半导体中的载流子输运建模为栅压相关的阿伦尼乌斯关系，从而将复杂的局域态密度解析问题，巧妙地简化为对器件单次室温转移特性曲线的数学分析。通过与权威的低温变温测量法进行系统对比，以及在掺杂改性ZnO TFTs上的成功应用，充分证实了该方法的准确性、可靠性与普适性。本工作的核心价值在于，为非晶或多晶等无序半导体器件的缺陷态表征，提供了一种极为简便、高效且低成本的解决方案。研究人员无需依赖复杂的低温设备或进行耗时的多轮测量，仅凭一次常规电学测试，即可获得材料电子结构的关键信息。这不仅显著降低了对器件稳定性的要求，也为新型半导体材料的快速筛选与优化、以及高性能电子器件的研发进程加速，提供了强有力的分析工具，兼具重要的学术意义与广阔的应用前景。

Electronic Materials期刊介绍

主编：Prof. Dr. Wojciech Pisula

1. Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10, 55128 Mainz, Germany

2. Department of Molecular Physics, Faculty of Chemistry, Lodz University of Technology, Zeromskiego 116, 90-924 Lodz, Poland

Electronic Materials (ISSN 2673-3978) 是一个开放获取期刊，发表与电子材料相关的科学研究和技术发展。本刊为电子材料基础科学、工程 and 实际应用方面的综述、文章和简讯提供发表平台。目前已被Scopus, Ei Compendex等数据库收录。

来源：Electronic Materials

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