
太赫兹技术实现PN结深度纳米级“无创体检”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36490.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！

太赫兹技术实现PN结深度纳米级“无创体检”。导读

在半导体制造领域，精准测量硅片中埋层PN结深度一直是工艺优化的核心难题。传统检测手段依赖破坏性采样，不仅效率低下，还造成晶圆损耗。日本大阪大学与韩国三星公司研究团队近期提出的太赫兹发射光谱（TES）技术，以非接触方式实现了5纳米级分辨率的深度测量，为行业带来颠覆性解决方案。本文将从技术原理、实验验证、产业价值三方面解析这一突破，并探讨其未来挑战与潜力。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》上，题为Non-contact and nanometer-scale measurement of PN junction depth buried in Si wafers using terahertz emission spectroscopy。

研究背景

在三维晶体管（如DRAM中的埋沟道阵列晶体管）制造中，PN结深度与耗尽层载流子动态直接影响器件性能。传统检测手段如二次离子质谱（SIMS）虽精度高，但需破坏性采样且耗时，难以满足现代半导体工业对快速、无损、全晶圆检测的需求。行业亟需一种无创技术，既能精准透视硅片内部结构，又能适应量产节奏。

研究亮点

技术原理：太赫兹光谱的穿透力

研究团队提出的太赫兹发射光谱（TES）技术，通过飞秒激光激发PN结区域的光生载流子，利用其在耗尽层电场作用下的瞬态漂移电流辐射太赫兹波（图1）。通过解析太赫兹波的幅度衰减规律与相位极性变化，可同步反推结深与电场方向。这一技术的核心优势体现在三方面：其一，非接触特性避免晶圆损耗；其二，当前系统分辨率达5纳米，超越传统方法精度；其三，支持全晶圆扫描，适配产线级检测场景。

图1. PN结深度的非接触式检查

实验验证：精度与可靠性的双重背书

为验证技术可靠性，团队对8组不同结深（120 – 200纳米）的硅片样本进行测试（图2）。实验显示，在400纳米波长激光激发下，太赫兹波振幅随结深增加呈指数衰减，与理论模型高度吻合（图3）。通过时间域波形噪声分析（4 – 8皮秒区间），系统信噪比可稳定分辨5纳米级深度差异。此外，调整激光入射角度（如45°）可进一步优化灵敏度，结合太赫兹光电倍增管等新型探测器，未来分辨率有望突破至1纳米级。

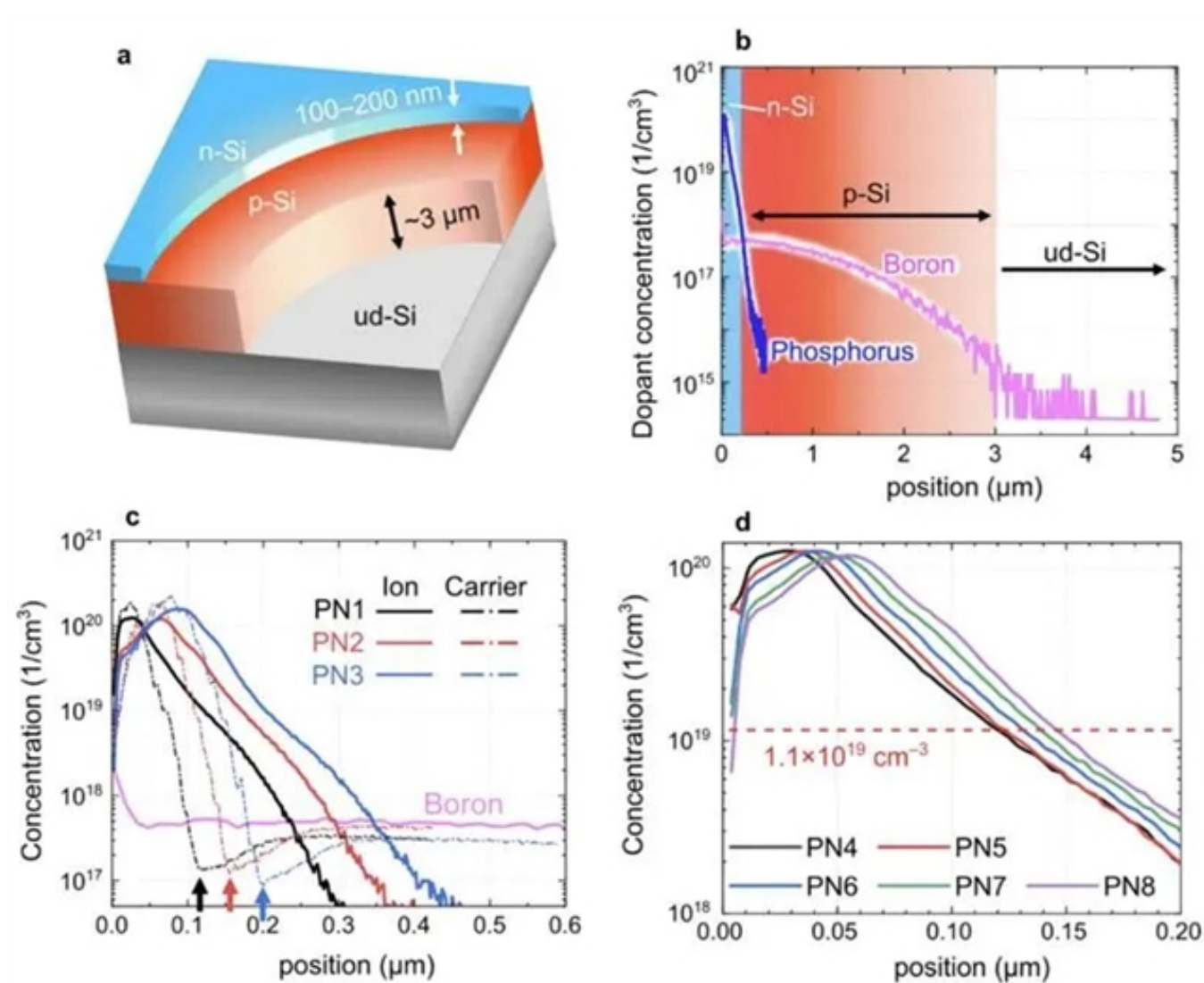


图2. 实验样品

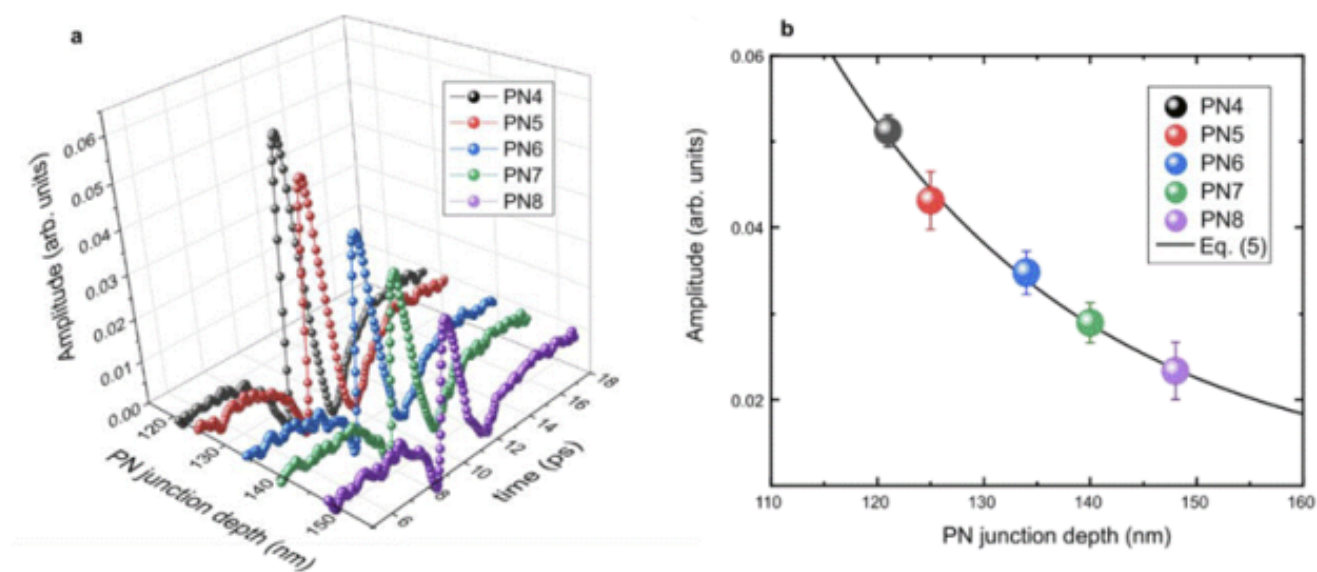


图3. PN结的太赫兹辐射

产业价值：成本、性能与可持续性三重收益

从实验室到产线，TES技术展现出多重应用价值：在工艺端，实时反馈PN结深度数据，可优化三维晶体管设计，缓解短沟道效应；在成本端，避免破坏性检测的晶圆损耗，单次检测成本降低；在可持续性层面，减少废品率与资源浪费，推动半导体制造绿色转型。

总结与展望

太赫兹发射光谱技术将实验室级的精密测量推向产业前线，其非接触、高分辨的特性，或成为3D集成器件制造的质检新标尺。随着检测效率提升与生态协同（如与工业物联网平台联动），这项技术有望推动半导体行业向高效化、数字化、可持续化加速迈进。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01911-0>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Masayoshi Tonouchi 来源：《光：科学与应用》

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