真空击穿谜题破解 研究填补纳米空白

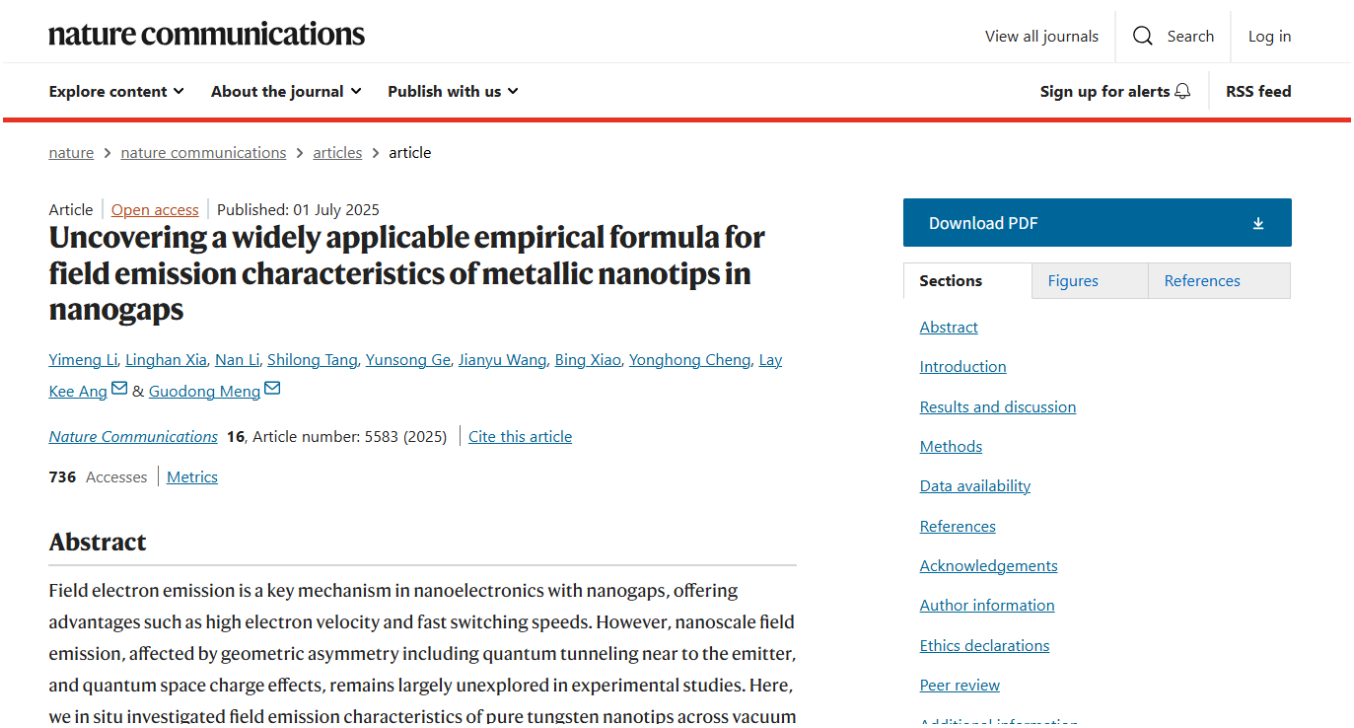
作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/34461.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！

真空击穿谜题破解 研究填补纳米空白。近日，西安交通大学科研团队在微纳尺度真空绝缘与场发射理论研究取得重要进展。研究首次结合原位实验和理论分析揭示了场致电子发射的纳米尺度几何形状效应，填补了经典场发射理论在纳米尺度范围的空白，为推动高性能电气装备、微纳电子器件的绝缘设计与性能优化提供了重要的理论支撑。

研究成果以《揭示金属纳米尖端在纳米间隙中场发射特性的普适经验方程》为题在《自然·通讯》（Nature Communications）发表。



论文截图。西安交通大学供图

?

场致电子发射是导致真空击穿与绝缘失效的主要起始机制，场发射理论是高性能电气装备、微纳电子器件等的真空绝缘设计与应用的基础。千里之堤，溃于蚁穴——不论是高压电气装备还是微纳电子器件，其真空绝缘击穿大多起始于微纳尺度结构的场致电子发射，强电场驱动电极表面发射的电子既是绝缘间隙初始电子的主要来源，又直接影响放电等离子体通道的形成与演化过程，

最终导致真空击穿的发生，严重影响装备与器件的电气绝缘可靠性。

然而，当介电系统或电极的物理尺度在纳米尺度范围时，场致电子发射除了由量子隧穿效应决定，还会显著受到空间电荷量子效应、电极尺寸效应等的影响，使得经典理论预测与实验结果出现偏差，无法用经典的场发射方程来描述纳米尺度的场发射行为。因此，建立普适性的纳米尺度场发射理论框架至关重要。

针对上述挑战，西安交通大学电气工程学院、电工材料电气绝缘全国重点实验室教授孟国栋团队联合新加坡科技设计大学教授Lay Kee Ang团队，创新性地提出了基于透射电子显微镜的原位击穿与表征技术，系统实验研究了纳米钨电极结构（尖端半径2-190nm）在真空纳米间隙（5-100nm）的本征场致电子发射特性。首次揭示了场电子发射特征参量（开启电压、场增强因子、场增强因子与开启电压乘积等）与电极尖端曲率半径/间隙距离比值（R/d）之间的普适性关系。

通过对比经典的Murphy-Good场发射理论以及自洽量子模型，明确了由发射极几何形状效应引起的量子隧穿效应而非空间电荷量子效应在纳米尺度场发射中具有决定性作用；最终引入与R/d强相关的几何因子kMG准确描述了纳米尺度场发射的几何形状效应，成功修正了场发射理论在纳米尺度范围存在的计算偏差，提出了适用于纳米尺度场致电子发射的普适性经验方程。（来源：中国科学报 李媛）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41467-025-60607-6

作者：孟国栋等 来源：《自然—通讯》

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转发