
中国科大等在半导体深紫外LED研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/7458.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！

近期，中国科学技术大学微电子学院孙海定和龙世兵课题组利用蓝宝石衬底斜切角调控量子阱实现三维载流子束缚，突破了紫外LED发光性能。相关研究以 *Unambiguously Enhanced Ultraviolet Luminescence of AlGa_N Wavy Quantum Well Structures Grown on Large Misoriented Sapphire Substrate* 为题发表于《先进功能材料》。

紫外线虽然在太阳光中能量占比仅5%，但却广泛应用于人类生活。目前紫外光应用包括印刷固化、钱币防伪、皮肤病治疗、植物生长光照、破坏微生物如细菌、病毒等分子结构，因此广泛应用于空气杀菌、水体净化和固体表面除菌消毒等领域。传统的紫外光源一般是采用汞蒸气放电的激发态来产生紫外线，有着功耗高、发热量大、寿命短、反应慢、有安全隐患等诸多缺陷。新型的深紫外光源则采用发光二极管（lightemitting diode: LED）发光原理，相对于传统的汞灯拥有诸多的优点。其中最为重要的优势在于其不含有毒汞元素。《水俣公约》的实施，预示2020年将全面禁止含有汞元素紫外灯的使用。因此，开发出一种全新的环保、高效紫外光源，成为摆在人们面前的一项重要挑战。

而基于宽禁带半导体材料（Ga_N, AlGa_N）的深紫外发光二极管（deep ultravioletLED: DUV LED）成为这一新应用的不二选择。这一全固态光源体系体积小、效率高，寿命长，仅仅是拇指盖大小的芯片，就可以发出比汞灯还要强的紫外光。其中的奥秘主要取决于III族氮化物这种直接带隙半导体材料：导带上的电子与价带上的空穴复合，从而产生光子。而光子的能量则取决于材料的禁带宽度，科学家们则可以通过调节AlGa_N这种三元化合物中的元素组分，精密地实现不同波长的发光。然而，要想实现紫外LED的高效发光并不总是那么容易。研究者们发现，当电子和空穴复合时，并不总是一定产生光子，这一效率被称为内量子效率(internal quantum efficiency: IQE)。

孙海定和龙世兵课题组巧妙通过调控蓝宝石衬底的斜切角，大幅提升紫外LED的IQE和器件发光功率。课题组发现，当提高衬底的斜切角时，紫外LED内部的位错得到明显抑制，器件发光强度明显提高。当斜切角衬底达到4度时，器件荧光光谱的强度提升了一个数量级，而内量子效率也达到了破纪录的90%以上。

与传统紫外LED结构不同的是，这种新型结构内部的发光层——多层量子阱（MQW）内势阱和势垒的厚度并不是均匀的。借助于高分辨透射电子显微镜，研究人员得以在微观尺度分析仅仅只有几纳米的量子阱结构。研究表明，在衬底的台阶处，镓（Ga）原子会出现聚集现象，这导致了局部的能带变窄，并且随着薄膜的生长，富Ga和富Al的区域会一直延伸至DUV LED的表面，并且在三维空间内出现扭曲、弯折，形成三维的多量子阱结构。研究者们称这一特殊的现象为：Al, Ga元素的相分离和载流子局域化现象。值得指出的是，在铟镓氮（InGa_N）基的蓝光LED体系中，In由于和Ga并不100%互溶，导致材料内部出现富In和富Ga的区域，从而产生局域态，促

进载流子的辐射复合。但在AlGa_N材料体系中，Al和Ga的相分离却很少见到。而此工作的重要意义之一就在于人为调节材料的生长模式，促进相分离，并因此大大改善了器件的发光特性。

通过在4度斜切角衬底上优化外延生长调节，研究人员摸索到了一种最佳的DUVLED结构。该结构的载流子寿命超过了1.60 ns，而传统器件中这一数值一般都低于1ns。进一步测试芯片的发光功率，科研人员发现其紫外发光功率比传统基于0.2度斜切角衬底的器件强2倍之多，如图所示。这更加确信无疑地证明了，AlGa_N材料可以实现有效的相分离和载流子局域化现象。除此之外，实验人员还通过理论计算模拟了AlGa_N多量子阱内部的相分离现象以及势阱、势垒厚度不均一性对发光强度和波长的影响，理论计算与实验都实现了十分吻合。

此项研究将会为高效率的全固态紫外光源的研发提供新的思路。这种思路无需昂贵的图形化衬底，也不需要复杂的外延生长工艺。而仅仅依靠衬底的斜切角的调控和外延生长参数的匹配和优化，就有望将紫外LED的发光特性提高到与蓝光LED相媲美的高度，为高功率深紫外LED的大规模应用奠定实验和理论基础。

孙海定为论文的第一作者和共同通讯作者。该项目联合中国科学院宁波材料科学与工程研究所研究员郭炜和叶继春、华中科技大学教授戴江南和陈长清、河北工业大学教授张紫辉、沙特阿卜杜拉国王科技大学教授Boon Ooi和Iman Roqan一起攻关完成。该研究工作得到国家自然科学基金委、中科院、中国科大等单位的支持。部分样品加工工艺在中国科大微纳研究与制造中心完成。

[论文链接](#)

图：在0.2和4度斜切角蓝宝石衬底上制备的深紫外LED光致发光光谱和器件示意图，有源区透射电子显微镜展示了高分辨多量子阱结构图，和输出功率的对比图。

研究团队单位：中国科学技术大学

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