

苏州纳米所在高亮度蓝光LED研究方面取得进展

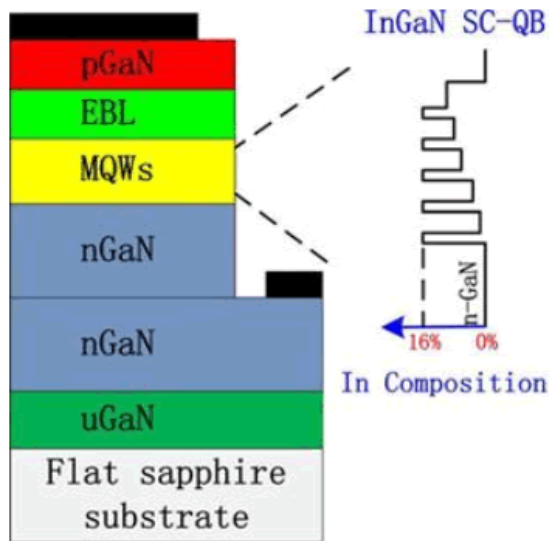


图1 高效率蓝光LED结构示意图

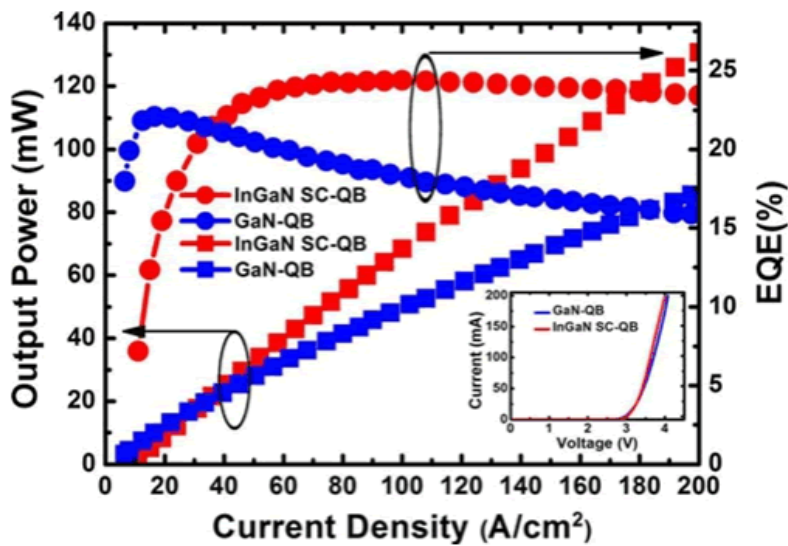


图2 不同电流密度下LED光功率和EQE

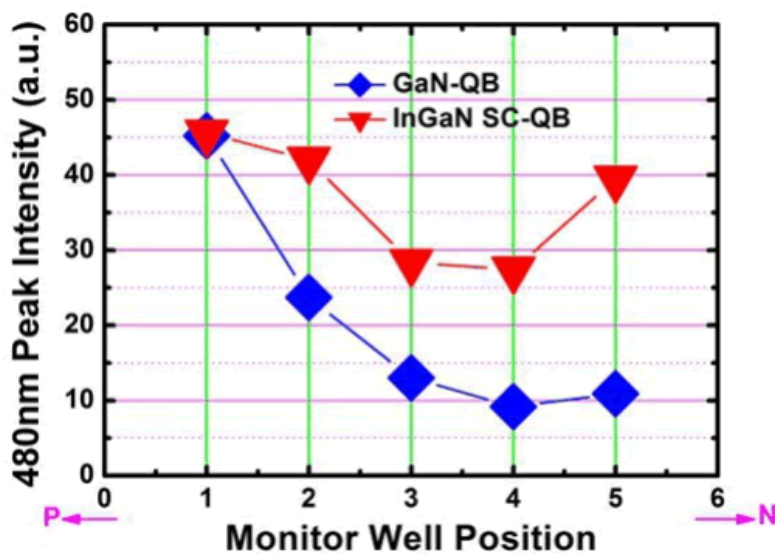


图3 两种LED结构中检测到的发光强度与位置的关系

GaN基蓝光LED的发明被誉为“爱迪生之后的第二次照明革命”。赤崎勇、天野浩与中村修二因“发明高效蓝光LED，带来了节能明亮的白色光源”共同获得2014年诺贝尔物理学奖。利用蓝光LED和荧光粉合成白光的LED灯效率已达到荧光灯的2倍，已经广泛应用于液晶显示背光照明，正向家庭和办公照明领域渗透，但还存在价格偏高的问题。

传统GaN基蓝光LED一般工作电流密度为20A/cm²，提高LED的工作电流密度，可以在单位芯片面积上输出更多的光，从而可以降低LED灯的成本，并使得LED适合应用于汽车大灯和投影机等需要高亮光源的场合。但是，蓝光LED在大电流密度工作时存在的效率下降问题，即Efficiency Droop，阻碍了其向大功率、高亮照明领域的发展。近年来，国内外很多研究人员对引起效率下降的原因进行了研究，试图解决蓝光LED量子效率随工作电流密度增加而大幅下降的问题。

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所自建所以来就开展了GaN基蓝光LED的研究工作，并在2010年实现了产业化。最近，苏州纳米所纳米器件部刘建平团队又在改善蓝光LED效率下降的问题上取得了重要进展。通过采用新型蓝光LED有源区结构，研究人员在平片蓝宝石衬底上实现了超低效率下降的蓝光LED。研究成果发表在Applied Physics Letters (105, 173510 (2014))。在国际半导体产业界具有广泛影响的知名杂志Semiconductor Today对此研究结果进行了专题报道。

研究人员所设计的LED结构如图1所示，该结构中多量子阱(MQWs)有源区的量子垒(QBs)使用InGaN材料代替传统蓝光LED中使用较多的GaN材料，并且InGaN量子垒中的In摩尔组分是变化的，从P型层到N型层的方向阶梯式降低(In GaN-SC QB)，即量子垒层的势垒从P型层到N型层的方向阶梯式降低。

所设计的有源区结构能降低空穴在有源区扩散的势垒，从而使空穴在多量子阱中分布更均匀。而他们原来的研究发现 (Appl. Phys. Lett. 93, 021102 (2008))，传统GaN量子垒(GaN QB)LED中大部分空穴分布在靠近P型层的1-2个量子阱中，造成在大电流密度注入下量子阱中载流子密度很高，从而导致LED效率下降。

图2给出了在平片蓝宝石衬底上制作的InGaN-SC-QB LED芯片在电注入下输出光功率和外量子效率(EQE)与传统GaN-QB LED的比较。在200A/cm²的电流密度下，传统GaN-QB LED的外量子效率下降百分比为28.4%，而InGaN-SC-QB LED外量子效率下降百分比仅有3.3%，对应地，InGaN-SC-QB LED的输出光功率比传统GaN-QB LED高了47%。这表明苏州纳米所研制的新型InGaN-SC-QB LED工作可以在200A/cm²甚至更高的电流密度下，其比传统LED工作电流密度增加了一个数量级。

该团队还对新型InGaN-SC-QB LED低效率下降的物理机制做了实验研究。所采用的方法被称之为检测阱方法(monitor well method)，即将蓝光多量子中的一个阱替换为发光波长为480nm的长波长量子阱，用以估计该阱中的载流子密度与所处位置的关系。

如图3给出了在200A/cm²电注入下，InGaN-SC-QB LED与传统GaN-QB LED中检测阱的发光强度。该结果显示在传统GaN-QB LED中量子阱的发光强度从靠近P型的量子阱到靠近N型的量子阱近似指数下降，最靠近P型的量子阱的发光强度是最靠近N型的量子阱的发光强度的4.5倍，这也说明空穴的高度不均匀分布。而在InGaN-SC-QB LED中，发光强度的最大差别只有1.7倍，即第4个阱和第一个阱的差别。这个结果强有力地证实了空穴分布的改善，也揭示了InGaN-SC-QB LED中量子效率基本不下降的物理机制。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/70257.html>