

Tea time 报告

湖州师范学院现代物理研究所

Institute of Modern Physics Huzhou Teachers College

# 照亮21世纪的LED光源

庞涛

2014.10.15





# 2014诺贝尔物理学奖

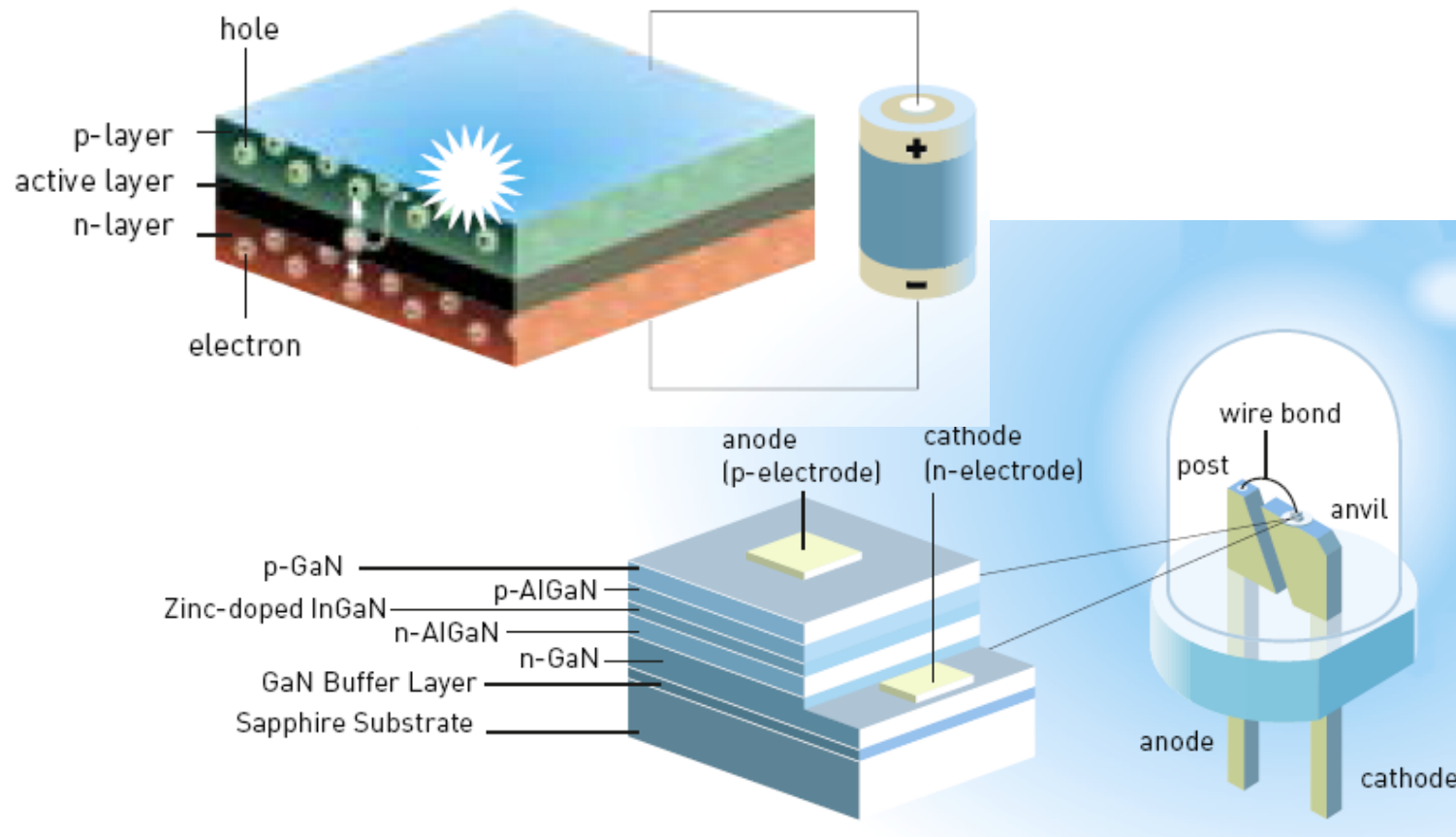


1962年，美国科学家研制出第一款实用型LED器件，随后高亮度红、绿光LED相继问世。

但就照明来说，唯有蓝光LED的发明具有划时代意义。2014年，为了表彰赤崎勇、天野浩、中村修二在蓝光LED发明方面所做出的巨大贡献，诺贝尔评奖委员会将物理学奖颁予该三人。



# 高亮度的GaN基蓝光LED



LED是一种电流注入式发光器件，为了提高电流注入效率、载流子复合效率及取光效率，进而获得高的流明效率，双异质结或量子阱结构的发光层设计尤为重要。



## GaN基蓝光LED开发的困难

- 对于多层膜器件的制备来说，金属有机物化学气相沉积（MOCVD）或分子束外延（MBE）技术具有自身独有的优势。存在的问题是，我们无法获得大尺寸的GaN衬底。同为六方对称结构的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 是一种较好的衬底材料，但与GaN的晶格常数相差16%，且存在热膨胀系数失配，因此生长器件质量的GaN晶体难度极大。
- 另一方面，通过常规Mg掺杂获得的P型GaN并不导电，这意味着即便获得高质量的GaN单晶，依然无法制成GaN基LED器件。



## 异质外延GaN单晶质量的改善

- 赤崎勇/天野浩发现，低温生长的AlN缓冲层虽然结晶质量差，但退火后将晶化成高度取向的多晶微粒，可为高温生长GaN外延层提供相对完美的生长模板。
- 中村修二发现，低温GaN缓冲层具有同AlN缓冲层大体一致的作用，只是GaN的缓冲层更薄一些。
- 事实上，缓冲层的厚度至关重要，太薄会降低生长晶面的平滑程度，而太厚则会降低缓冲层的晶体质量，所以实际厚度的选择是二者的折中考虑。

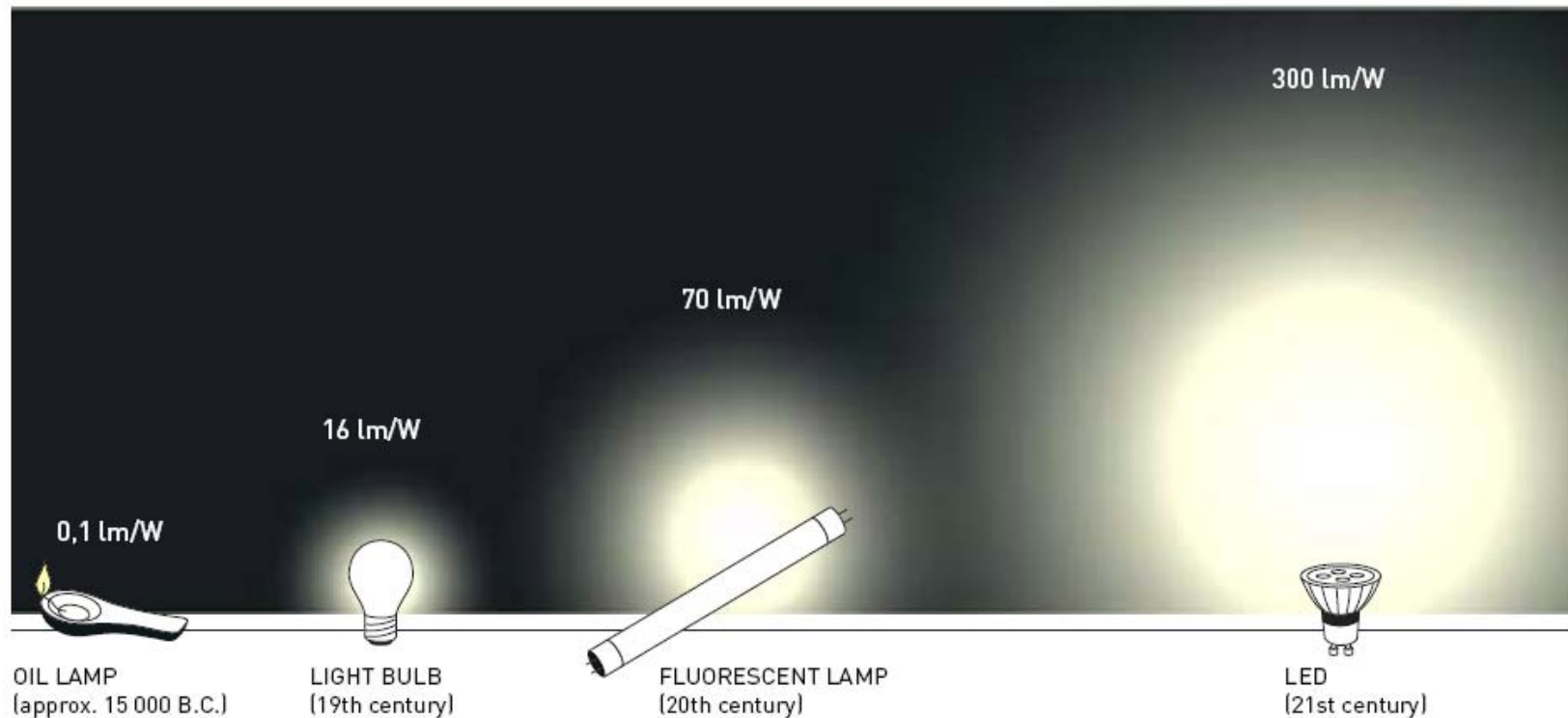


## p型GaN电导率的改善

- 赤崎勇/天野浩认为p型GaN不导电的原因是，Mg原子未占据Ga的格位，不能充当受主杂质。经过低能电子束辐照，一定程度解决Mg的电离问题，制成第一支pn结GaN基LED。
- 中村修二阐明Mg掺杂GaN钝化的原因是Mg与H形成稳定的络合物所致。通过在N<sub>2</sub>气氛下退火，络合物中的H原子被有效移除，极大改善p型电导率，促成GaN基蓝光LED的商品化。
- 通常，为了获得高的p型电导率，Mg的掺杂浓度高达 $10^{21}/\text{cm}^3$ ，N<sub>2</sub>退火后可作为受主杂质的浓度大约 $10^{19}/\text{cm}^3$ ，但由于Mg的电离能较大，实际可电离提供空穴的只有 $10^{17}/\text{cm}^3$ 。



# 蓝光LED发明的重要意义



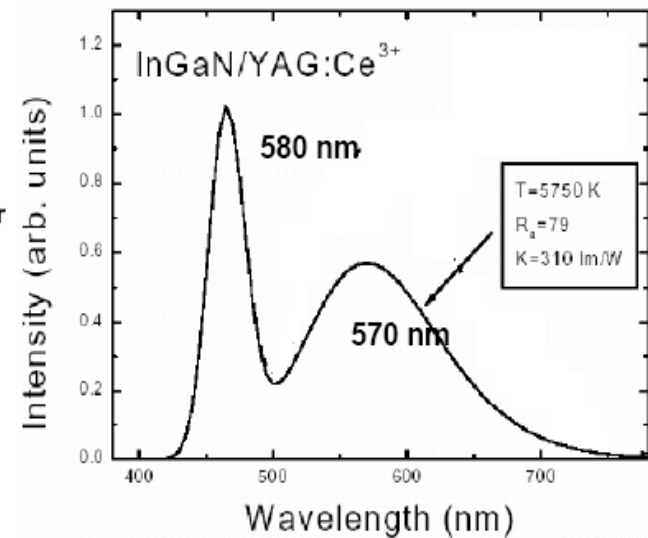
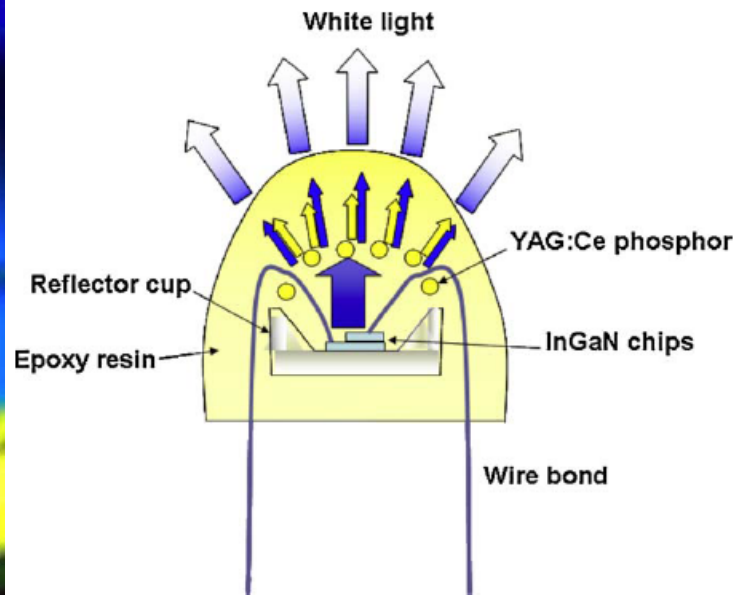
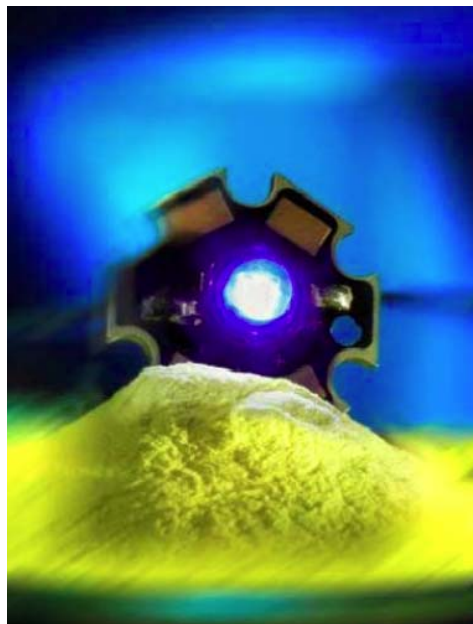
全世界1/4的电力用于照明，因此节能、高效的照明灯具在全球压缩二氧化碳排放的大背景下具有非常重要的现实意义，而“蓝光LED的发明，为研发更高效的照明技术铺平道路”。

湖州师范学院现代物理研究所

Institute of Modern Physics Huzhou Teachers College



# 第一款白光LED



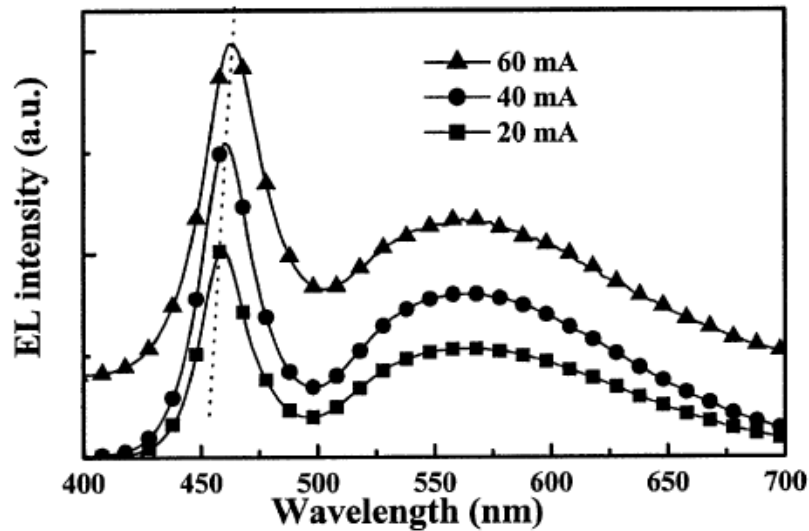
1996年日本日亚化工首先研制出发黄光的钇铝石榴石（YAG）荧光材料。2年后，通过与GaN蓝光芯片结合开发出世界上第一款白光LED。

这种白光LED器件的优点是，光谱的总光视效能大，荧光粉的量子效率高且谱带较宽。





# 改进型光转换白光LED

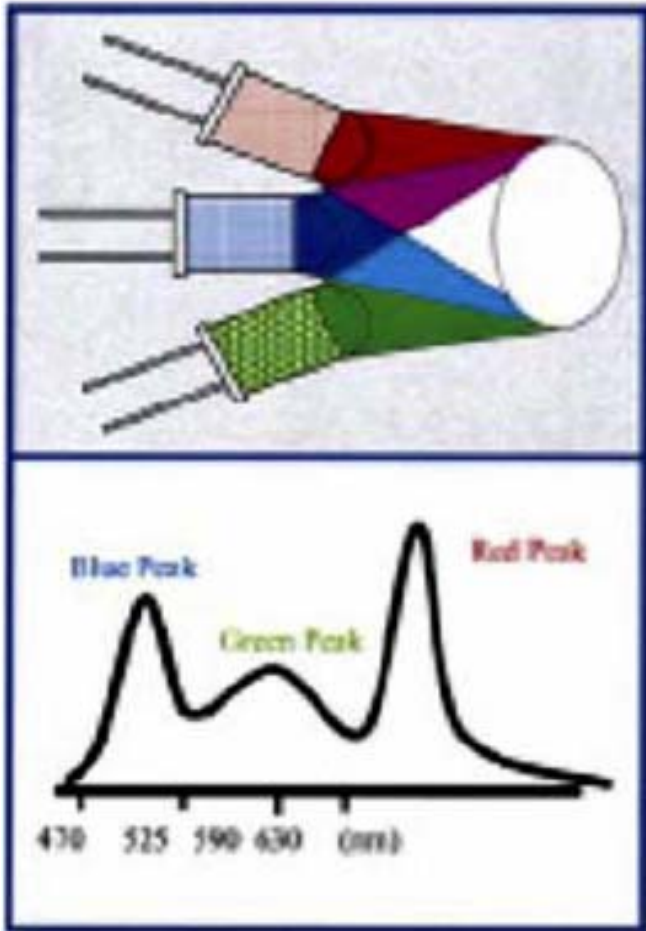


- 然而，GaN的蓝光会随着pn结的温升呈现波长红移（左上），进而降低YAG:Ce激发效率，影响红、绿、蓝三刺激值相对比例关系，从而导致色温不稳定。
- “紫外芯片结合三基色荧光粉”型白光LED（左下）可克服上述问题，是当前的主要研发方向。
- 两款光转换型白光LED皆为过渡产品。



# 多芯片混合型白光LED

## Red + Green + Blue LEDs

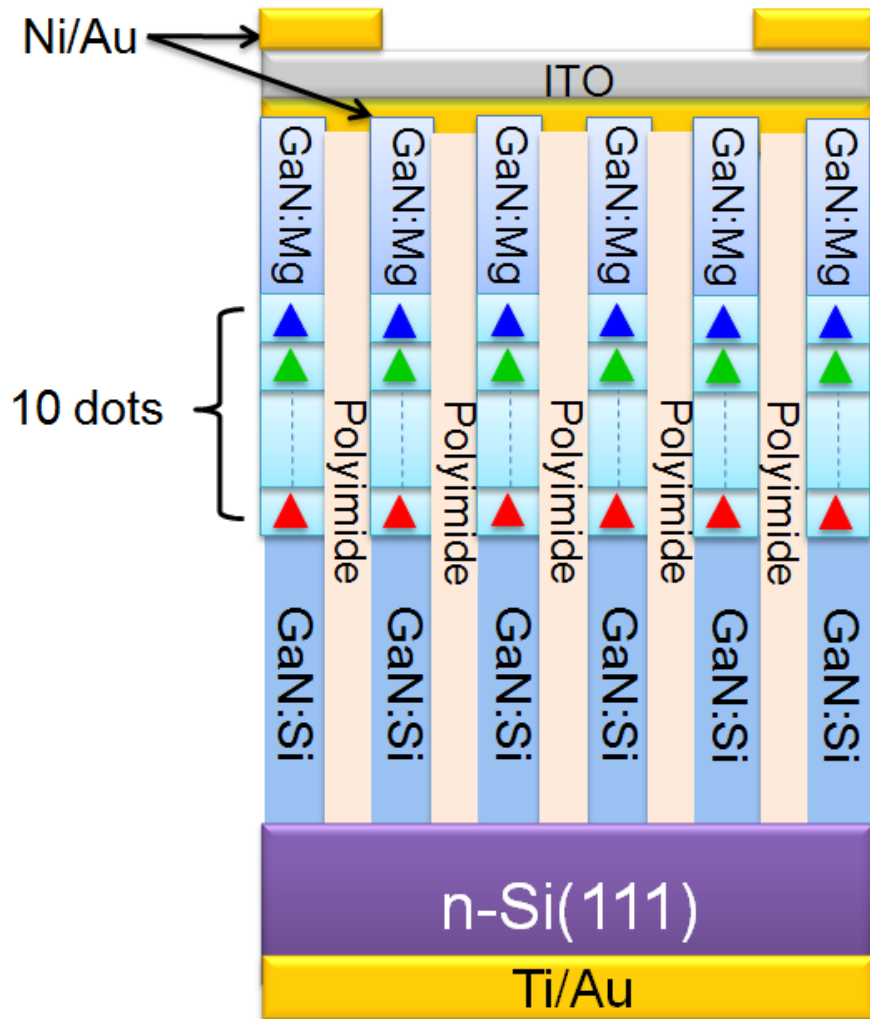


RGB LEDs

- 多芯片型白光LED直接由电能转化为光能，不涉及荧光粉的光光转化过程，无stokes损失及荧光粉的无辐射跃迁损失，理论上器件的流明效率更高。
- 影响现实应用的问题是，不同芯片的驱动电路不同、老化衰减亦不同，造成生产成本高、后期维护不方便。



# 白光LED的发展趋势



- 从发光效率角度看，量子点因三维量子限域效应，电流注入效率及载流子复合效率更高，理论上该类型器件的电光转换效率最高；
- 从制作成本上看，量子点可利用简单液相化学法制备，而发光层可借助成熟的印刷技术，因此器件成本更低。
- “量子点器件”是白光LED的未来发展趋势。



谢 谢 !

湖州师范学院现代物理研究所

Institute of Modern Physics Huzhou Teachers College