

照明史上的第二次革命：解读2014年诺贝尔物理学奖

[李京波](#)

Citation: [科学通报](#) **59**, 3340 (2014); doi: 10.1360/csb2014-59-34-3340

View online: <http://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2014-59-34-3340>

View Table of Contents: <http://engine.scichina.com/publisher/scp/journal/CSB/59/34>

Published by the [《中国科学》杂志社](#)

Articles you may be interested in



照明史上的第二次革命: 解读 2014 年诺贝尔物理学奖

李京波

中国科学院半导体研究所, 北京 100083

E-mail: jbli@semi.ac.cn

赤崎勇(Isamu Akasaki)、天野浩(Hiroshi Amano)和中村修二(Shuji Nakamura)因发明“蓝光发光二极管”获得 2014 年诺贝尔物理学奖。为什么这项发明如此重要呢? 以蓝光 LED(light-emitting diode)为核心技术的半导体照明具有寿命长、色彩可控、无汞和低压工作等优点, 有巨大的应用潜力和广阔的市场空间, 可以大大降低能源消耗和温室气体的排放。陈良惠院士曾经做了一个估算: 如果中国的通用照明市场用 LED 照明来替代白炽灯和荧光灯的话, 每年节约的电力将会超过 3 座三峡工程的发电量。其意义不仅仅是照明方式的改变, 更重要的是它们在节能和环保方面发挥的巨大作用。如果说爱迪生发明电灯, 给人类照明带来了第一次革命, 那么半导体照明技术, 就可以被认为是人类照明史上的第二次革命。

事实上, 在蓝光 LED 技术方面, 中村修二的名气和声望远远超过赤崎勇和天野浩, 为什么获诺贝尔物理学奖却排名第 3 呢? 这必须从蓝光 LED 材料——氮化镓(GaN)的研究历史说起。自发明半导体发光二极管后, 红光和绿光 LED 技术迅速成熟并且很快商业化, 但是, 蓝光 LED 技术却进展非常缓慢, 主要原因是没有找到合适的半导体材料实现 P 型电导。想要获得蓝光 LED, 必须有效控制宽禁带半导体材料的 P 型掺杂浓度, 而宽禁带半导体的 P 型掺杂技术却非常困难。起初, 人们试图从 II-VI 族半导体材料, 比如 ZnSe 和 ZnS 中实现稳定的 P 型电导, 后来都失败了。于是, 有人把研究重点方向投向 III-V 的 GaN 材料。长期以来, GaN 被认为是单极性材料, 也就是说, 它只能实现 N 型电导, 而不能实现 P 型电导。早期用 Be, Zn, Mg, Cd 等掺杂剂进行多次尝试, 除了掺 Cd 是 N 型外, 其余均为半绝缘 GaN 薄膜。直到 1989 年, 日本名古屋大学赤崎勇小组将掺 Mg 的 GaN 薄膜样品经过低能电子束辐照后可以有效激活 Mg 的 P 型电导, 制成了世界上第一只 P-N 结发光的蓝光 LED^[1,2]。由此, 在国际上拉开了研究 GaN 蓝光 LED 的序幕。随后, 日本日亚公司的中村修二等人在双气流 MOCVD 反应室中用 GaN 为缓冲层, 掺 Mg 后的 GaN 薄膜获得弱 P 型电导, 空穴浓度为 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, 其电阻率为 $320 \Omega \text{ cm}$ 。该样品经过低能电子束辐照处理后 P 型电导性则提高了 3 个数量级, 空穴浓度达到 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 电阻率为 $0.2 \Omega \text{ cm}$, 值得一提的是, 迁移率达到 $9 \text{ cm}^2/(\text{V s})$ ^[3,4]。该实



李京波 博士 中国科学院半导体研究所研究员。一直从事半导体掺杂机制和纳米材料的实验与理论研究, 研究方向包括二维半导体材料和缺陷、纳米科学、高性能光电功能材料与器件等。2014 年起担任《科学通报》编委。迄今在国际著名期刊上发表 140 余篇论文。获授权发明专利 6 项。

2007 年入选中国科学院“百人计划”, 2009 年获国家杰出青年科学基金。

验结果令人鼓舞, 因为它使人们相信: 在不久的将来, 蓝光 GaN 的器件很快进入实用化阶段。此后, 以中村修二为领军人才的日亚公司, 在蓝光 GaN 研究中不断取得突破性成果, 研发成果在世界上处于领先地位。1993 年, 日亚成功研发了亮度超过 1 cd 的 InGaN/AlGaIn 异质结蓝光 LED, 发光峰值波长为 40 nm, 输出功率为 1.5 mW, 外量子效率达到 2.7%。1994 年, 他们将发光亮度提高至 2 cd。1995 年, 中村修二等人^[5]首次实现 GaN/InGaIn 量子阱发光管。1996 年, 日亚公司宣布成功研发出电脉冲泵浦 InGaN/GaN 多量子阱激光器^[6]。1996 年, 中村修二等人^[7]报道了 InGaIn 多量子阱室温连续蓝光激光器。1997 年底, 他们将蓝光激光器的寿命提高至 1 万小时。由于中村修二等人的出色工作, 国际上在 GaN 发光二极管和激光器方面的研究工作逐步进入高潮。之后, 越来越多的小组加入研究 GaN 光电材料与器件的队伍中来。

从上面 GaN 蓝光 LED 研究的历史来看, 赤崎勇和天野浩在国际上首次报道第一只由 P-N 结组成的 GaN 蓝光发光二极管, 是一篇划时代的论文, 属于真正原始创新的工作, 他们在 2014 年度诺贝尔物理学奖中排名第一和第二是当之无愧的。有意思的是: 这篇具有原始创新的论文, 并没有发表在 *Science* 或者 *Nature* 杂志上, 而是发表在影响因子并不是很高的普通杂志上。可见, 发表在普通杂志的论文也可以获得超一流的诺贝尔奖。另外, 中村修二在实现 GaN 蓝光 LED 实用化和商业化领域中做出巨大贡献, 他

与赤崎勇和天野浩分享诺贝尔物理学奖也是实至名归。中国科学家在这一领域也做出了很大贡献。比如：中国科学院半导体研究所的王占国院士小组、北京大学沈波小组、南京大学郑有斗院士和张荣小组等在 GaN 材料与器件方面做了大量工作；中国科学院半导体研究所杨辉小组在国际上首次报道立方 GaN 电注入激光；南昌大学江风益小组成功在 Si 衬底上生长 GaN 并且实现蓝光 LED 芯片产业化；中国科学院半导体研究所李晋闽和曾一平小组为自主研发 MOCVD 关键设备以及推广我国半导体照明产业化也做了大量有益工作。

在 GaN 蓝光 LED 研发和商业化道路中，中村修二是一个不折不扣的传奇人物。1954 年，中村修二出生在日本爱媛县的一个非常普通的家庭。1979 年获日本德岛大学电气工程硕士学位，同年进入日本日亚公司工作。当年的日亚公司是一家生产化工产品的小公司，员工不到 200 人，主要产品是荧光粉之类的东西。他起初被分配至日亚公司的研发部门，没有助手、没有宽裕的科研经费、没有合作

伙伴，困难重重。中村修二在他自己的自传中写到：作为一个电气工程背景的硕士生，没有博士学位，没有经过半导体材料生长系统训练，没有跨国大公司的资助，没有任何可以参考的资料，要制备出高质量的蓝光 LED 其难度是可想而知的。就是在这样艰苦的条件下，中村凭借自己顽强的毅力，突破了 GaN 材料 P 型掺杂这一世界难题，使小小的日亚公司一跃成为全球 LED 照明的龙头企业。日亚公司凭借蓝光 LED 的领先技术而获得丰厚的利润。中村本人也因为 LED 技术方面的卓越贡献而获得诸多荣誉。因为 GaN 技术的传奇故事，20 世纪 90 年代中村修二被众多台湾半导体青年科学家视为“偶像”级人物，其传奇经历在台湾的大学和科研机构中广泛流传。

1994 年中村修二刚在日本德岛大学获得博士学位，此时中村已经 40 岁了。因此，中村并没有超人的智商，有点“大器晚成”的味道。在目前的中国，很少有人 40 岁才获得博士学位。中村修二获得诺贝尔奖的故事能够给我们什么启发呢？

参考文献

- 1 Amano H, Kito M, Hiramatsu K, et al. P-type conduction in Mg-doped GaN treated with low-energy electron beam irradiation (LEEBI). *Jpn J Appl Phys*, 1989, 28: L2112–L2114
- 2 Amano H, Kito M, Hiramatsu K, et al. Photoluminescence of Mg-doped p-type GaN and electroluminescence of GaN p-n junction LED. *J Luminescence*, 1991, 48: 666–670
- 3 Nakamura S, Iwasa N, Senoh M, et al. Highly p-typed Mg-doped GaN films grown with GaN buffer layers. *Jpn J Appl Phys*, 1991, 30: L1708–L1711
- 4 Nakamura S, Iwasa N, Senoh M, et al. Thermal annealing effects on p-type Mg-doped GaN films. *Jpn J Appl Phys*, 1991, 31: L139–L142
- 5 Nakamura S, Senoh M, Iwasa N, et al. High-brightness InGaN blue, green and yellow light-emitting diodes with quantum well structures. *Jpn J Appl Phys*, 1995, 34: L797–L799
- 6 Nakamura S, Senoh M, Nagahama S, et al. InGaN multi-quantum-well-structure laser diodes with cleaved mirror cavity facets. *Jpn J Appl Phys*, 1996, 35: L217–L220
- 7 Nakamura S, Senoh M, Nagahama S, et al. Optical gain and carrier lifetime of InGaN multi-quantum well structure laser diodes. *Appl Phys Lett*, 1996, 69: 1568–1570