

2014年诺贝尔物理学奖给我们的启示

朱邦芬[†]

(清华大学物理系 清华大学高等研究院 北京 100084)

2014-11-28 收到

[†] email: bzf@mail.tsinghua.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20141204

Blue light-emitting diode and its illumination

ZHU Bang-Fen[†]

(Department of Physics, Institute for Advanced Study, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要 2014年诺贝尔物理学奖授予高效蓝色发光二极管,这是一项具有重大经济和社会效益的技术发明。文章讨论该届诺贝尔物理学奖及获奖人的经历给我们的启示,包括三位诺贝尔奖获得者的洞察力以及持续多年围绕一个重大问题攻关的精神;结合中国科技界现状,本文将着重探讨评价重大科研成果的标准,以及日本科研模式和企业文化中可供国内科技工作者借鉴的积极因素。

关键词 蓝色发光二极管, 2014年诺贝尔物理学奖, 半导体技术, 科研评估

Abstract Nobel Prize of Physics in 2014 awards inventing the new energy-efficient and environment-friendly light source—the blue light-emitting diode, which is of greatest benefit to mankind. We shall explore what we can learn from the three Nobel Laureates, including their insight, motivation and persistence. Comparing with Science and Technology in China, we shall discuss how to evaluate a key research project, and how to extract positive factors from Japan's research culture, including the scientific administration and the R&D by enterprise.

Keywords blue light-emitting diode, Nobel prize of physics in 2014, semiconductor technology, evaluation of research project

2014年诺贝尔物理学奖授予三位日本物理学家,他们是 Isamu Akasaki (赤崎勇), Hiroshi Amano(天野浩)和 Shuji Nakamura(中村修二,现为美国国籍,但获奖成果在日本完成,当时是日本国籍)。授予他们诺贝尔物理学奖的瑞典皇家科学院,在授奖词中评价他们“发明了高效蓝色发光二极管,使得高亮度节能白光光源成为现实”。

一些物理学家对高效蓝色发光二极管(LED)获得诺贝尔物理学奖颇有微词。我以为,蓝光LED之所以获得诺贝尔奖,主要因为其明显的节能和环保效益,这完全符合诺贝尔的遗嘱:“奖励那些在前一年为人类做出卓越贡献的人”。产生白光有两个途径,一是蓝、绿、红三色光的直

接混合,另一是蓝光照射到黄色的荧光粉上。因而必须要有蓝光LED,而不是较早发明的其他颜色光LED,才可能产生白光,才可能引发一场新的照明革命。此外,高亮度蓝色LED还使得远超过一人身高的超大屏幕全彩显示器成为可能,使得超薄智能彩色屏幕的手机广泛使用,使得蓝色激光器和录制高清节目的蓝光光盘成为现实。诺贝尔物理学奖的奖励对象是“在物理学领域作出最重要发现或发明的人”,过去诺贝尔物理学奖已授予多项重大的技术发明成果,就高效蓝色发光LED这项发明的社会效益和经济效益而言,它当之无愧。不仅如此,蓝光LED还解决了一系列关键的科学技术问题,如在缺少晶格适配、高质

量衬底的情况下生长高质量外延薄膜，如宽禁带半导体材料的P型掺杂，等等。这些问题都是半导体物理、材料和器件研究三者结合的关键问题。黄昆先生曾多次指出，近年来半导体科学技术发展的一个显著特点是半导体物理、材料、器件三者的紧密结合。蓝光LED的成功极好地印证了这一点：根基是物理研究的进展，关键是高质量材料的制备，而最终之成功在于制备出高效器件并实行了市场化。

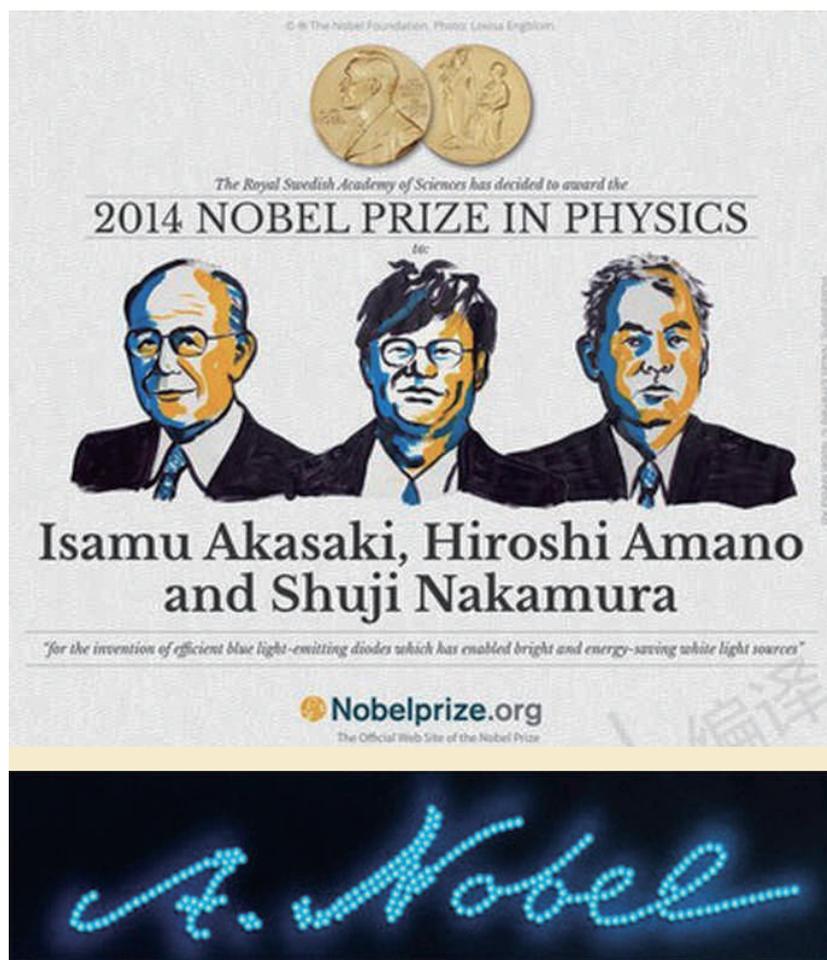
在许多国人心目中，诺贝尔奖是个别天才(如爱因斯坦、杨振宁等)的成就，而这些天才往往出身于名校，受业于大师，成功于知名研究单位。本届诺贝尔物理学奖的三位获奖者都是正常的普通研究人员，是“非典型”的诺贝尔桂冠获得者。赤崎勇和天野浩就像我们身旁某个研究所的某位研究员；天野浩始终和他的导师“捆绑在一起”，一直没有独立自开门户；而中村修二，大

学本科和硕士均出自于一个外国人很少听说过的日本德岛大学，导师也是一般的教授，而博士学位则是成名之后母校授予的荣誉学位(日本东北大学稍后也愿意授予博士学位)，他的研究经历更带有些“草根”的味道。

尽管这是一项部分物理学家有意见的诺贝尔物理学奖，尽管获奖者没有“高大上”的光环，但是，本届诺贝尔物理学奖及获奖人的经历很值得中国科技界思考、借鉴和认真学习。

首先，这三位诺贝尔奖获得者凭借他们的洞察力，持续多年围绕一个重大问题而攻关的精神和经历值得我们学习。赤崎勇独具慧眼，早在70年代初在松下东京研究所工作时就决定把氮化镓(GaN)基蓝光LED作为自己的主要研究方向，而当时国际上研制蓝光LED的主流是以易于制备的II-VI族半导体材料为基。尽管III族氮化物材料的物性十分优异，但是，由于缺少大块GaN单晶可用做衬底生长，又由于GaN的晶格常数远小于其他半导体或绝缘体的晶格常数，异质外延生长GaN材料也产生大量的缺陷而影响发光，在70年代中期至80年代中期，国际上坚持GaN研究的组寥寥无几，每年发表的与GaN有关的论文也只有屈指可数的10篇左右。赤崎勇不随大流，继1974

年用MBE长出质量不高的GaN单晶后，1978年做出外量子效率0.12%的蓝色LED。他在显微镜下观察到缺陷多多的GaN样品中有一些微晶，他组内成员还观察到生长设备中残存的一些针状的“蘑菇”能发出较明亮的光。赤崎勇相信，一旦克服了材料生长的难题，GaN用于研制蓝光LED具有独特优势。于是1978年他决定尝试用MOVPE方法来生长高质量GaN材料，并于1981年在名古屋大学他搭建的设备上重新开始生



长高质量 GaN 的探索。天野浩当时是赤崎勇的博士生，他经过一千多次的试验，偶然发现选用氮化铝(AIN)做缓冲层并适当降低温度可以外延出较高质量的 GaN 膜，解决了第一个难题。宽禁带半导体的 P 型掺杂是一个挑战，至今仍还没有彻底解决。要做成高效 LED，较高浓度的空穴是必不可少的，这是他们面临的第二个难题。天野浩也在多次失败后偶然发现，在低能电子束辐照下 P 型杂质 Mg 导致的空穴浓度大大增加。十年磨一剑，他们为 GaN 蓝光 LED 的两个关键难题的突破奠定了基础，并在此基础上于 1989 年发明了 GaN 基 PN 结 LED，能够发出较明亮的蓝光。

对蓝光 LED 高亮度以及实用化做出巨大贡献的中村修二的经历更带有传奇性。为了照顾家庭，他硕士毕业后在一个主要生产荧光粉材料只有 200 员工的中小型公司“日亚化学工业”从事开发金属 Ga、单晶或多晶半导体 GaP、GaAs、GaAlAs 等材料。他研制设备往往是一个人从头做起，因为缺少开发经费，他需要焊接已使用过的石英玻璃管，继续用于生长半导体材料，赢得了黄昏时分的“爆炸惯犯”的头衔。虽然中村研发材料很成功，但始终无法与大公司竞争。逼迫之下，中村选择了蓝色 LED 作为研发课题，因为它只要成功就必定畅销。中村探索 GaN 发光二极管的路并不平坦。他到美国佛罗里达大学进修一年想学 MOCVD 技术，但主要时间花在搭建设备上，几乎没有亲手操作 MOCVD 的机会。回到日本后，由于具有丰富的做设备的经验，他敢于在被许多人视作“危险物”的商售 MOCVD 设备上动大手术。历经了多次失败，他把通常加热衬底到 1000 度以上的高频感应加热装置改成直接加热的加热器；中村又尝试多种气体导入方法，终于发现从底板旁边和上方导入气体的 Two-Flow 法比较有效。改造 MOCVD 设备的成功，使他得以用 GaN 缓冲层取代 AIN 缓冲层，进一步提高了 GaN 外延材料的质量；用热退火方法取代电子束辐照进一步提高了 P 掺杂。当中村研制的 GaN 二极管已能发出较暗的蓝光(实际上发出光的中心波长在紫外区)时，他听到美国 3M 公司研制的硒化锌

(ZnSe)基 LED 发出蓝光的消息，感到特别沮丧。但后来得知它的寿命只有秒的量级，才松了一口气。我能体会到，在日亚这样一个中小公司，老板投了一大笔钱建 MOCVD，中村修二工作进展不顺利时的心情和所感受到的沉重压力。靠着明确的奋斗目标和执着的努力，中村修二于 1993 年 10 月亮度达 1 cd(发光强度的基本单位 Candela 的缩写，中文译作坎德拉，一支普通蜡烛的发光强度约为 1 cd)的蓝光发光二极管的产品化实现了，轰动了整个业界。

其次，本届诺贝尔奖促使我们思考如何评价重大科研成果。赤崎勇和天野浩获得诺贝尔物理学奖 2 项奠基性工作，分别发表在 1986 年的 *Applied Physics Letters*(APL,《应用物理快报》)和 1989 年 *Japanese Journal of Applied Physics*(JJAP,《日本应用物理学报》)上。这两个刊物都不算高影响因子刊物，APL 虽属于应用物理领域的优秀学术刊物，但影响因子也只有 3 点儿，而 JJAP 则刚刚过 1。虽然杂志的影响因子不算高，他们两位为这 2 个刊物贡献了 138 篇论文和大约 9000 次的引用；而他们发表在高影响因子刊物的论文，只有 2006 年 *Nature* 子刊 1 篇和 2009 年 *Physical Review Letters* (PRL,《物理评论快报》)1 篇，此外，这两篇文章的第一作者和通讯作者的单位都是国外合作者，且都发表在他们业已成名之后。中村修二的论著情况基本上也是如此，他的 10 篇被引用最多的论文，除 1 篇 1998 年发表在 *Science* 的综述文章，其他 9 篇都发表在 APL 和 JJAP 上。只是中村修二成名后被挖到美国加州大学圣塔芭芭拉分校后，稍稍多了几篇 *Nature* 子刊的论文和 PRL 文章。这 3 位得奖人的发表记录与当下我国科学界(并不只限于中国)流行的评价标准，特别是对高水准研究成果的评价，大相径庭。我参加过许多科技项目的评审，参加过对许多杰出人才的评审，还参加过许多大奖的评审，我的感受是，在几个大出版集团非常成功的商业运作下，在一些有影响的科学家和科技界领导人的鼓吹下，我国许多科研单位和管理部门的领导，也包括许多科研人员自身，已经把评价成果、评价个

人、评奖等同于数数，即杂志影响因子与该杂志发表文章篇数的乘积之和。为此，我国不少科研人员为了研究论文在高影响因子刊物上发表，绞尽脑汁地编故事，千方百计地包装成果，在压力或重赏之下有人甚至犯下科研不端的错误，“一失足成千古恨”。科研的最终目的是为人类谋福祉，切实地解开自然之谜，而不是在高影响因子杂志上发表了多少篇文章。任何在高影响因子刊物上发表的文章，无非是二三个审稿人的正面意见。这些刊物刊登的论文有很重要的，有一般的，也有错的，甚至还有伪造和篡改的。任何高影响因子刊物所发表的论文被引用次数都有一个很宽的分布，往往小部分论文贡献了绝大部分的引用数，也有相当一部分引用很少的，甚至零引用的。即使挤掉水分以后的高引用数，也还与不同领域的热门程度有关，不一定与成果的创新性和重要性直接相关。什么是好的学术评估体系？它可以引导健康有效的科研，避免不健康的竞争；可以吸引一流的学生和教授投入科学研究事业；可以留下一流的研究人员在本单位从事在科学史上留下痕迹的重大成果。这次诺贝尔物理学奖提醒我们，一切看期刊的影响因子是要不得的。让我们追求科学真谛，重新回到用科学的方式来评价科学成果的轨道上来。切记，不要片面追求一定要在高影响因子的刊物上发表重要成果，真正具有重大原创性、有希望获得大奖的研究成果优先发表绝对是第一位的！第二等或第三等重要的工作也许可以考虑发表在高影响因子刊物上。对我国科学界的评价标准适当地纠偏，不要被期刊的影响因子牵着鼻子走，现在应该是时候了！

第三，我们需要认真学习日本的科研模式和企业文化中的积极因素。2000年以后日本已有12人获得诺贝尔自然科学奖，其中不乏一些在国际上知名度不高机构工作的研究人员。这固然是由上世纪80年代起日本增大对科技投入所导致的，然而日本的科研布局和规划也很值得我们借鉴。日本的研究管理部门经常一方面围绕科学意义极其重大或应用前景十分明确的重要研究项目，投入巨额经费并组织攻关；另一方面也资助一些冷

门课题，支持对一些并非热点的领域进行扫描式的长期研究。GaN发光二极管的突破，铁基超导的发现，领域内知名度不太高的研究人员做出了这些重大的原创性的突破，这种现象并非偶然。对比我国的科研工作，在研究经费和研究成果评价两者的联合驱动下，研究人员的研究兴趣越来越趋同于国际热点领域和热点问题，选择一个冷门课题十年磨一剑的越来越难于生存。不用说国家的重大项目和重点项目，就以口碑最好、鼓励研究人员凭兴趣自由选题的国家基金委面上项目而言，我今年参与评审了物理I领域，我的感觉是，面上项目也越来越集中于几个热点问题。这样下去不加以改进，随着我国在高影响因子的国际刊物上发表论文越来越多，追踪热点问题的研究能力越来越强，我们真正有重大原创性的成果会不会随之越来越多？这是个问题。

另一个值得我们关注的是，日本企业对科技研发的眼光、决心和投入。中村修二所在的日亚化学这样一个靠荧光粉起家且做得不坏的中小企业，很早就着眼于进一步的发展，开设了一个小小的研发部门。后来敢于投入几亿日元给中村发展GaN蓝光LED，无疑是很有魄力的，也使日亚成为世界上白光照明领域的领头企业。这很值得我国企业学习，特别是中小企业要有自己的研发力量，时时想着明天的产品和长远的发展。另一方面，我国科研机构的应用性研究要成正果，必须要依靠企业做大做强。两张皮的问题不解决，终难在重大创新产业上做强。此外，也许是由于科举文化传统的长期影响，我国的科学研究人员倾向于理论研究，以论著文章为最终成果，认为这是水准高的研究；而解决实际问题，特别是做大做强一个产业，往往被一些人认为是不务正业。而日本不是这样，他们的应用研究，特别是把研究成果推广到产业界，绝对是世界一流的，非常值得我们借鉴学习。

总之，中国的科学研究已经取得很大的进步和成绩。随着国家经济实力的增强和投入的增加，只要我们注意解决一些前进中的问题，植根于大陆本土的研究成果获得诺贝尔奖，并不是遥不可及的。