

蓝光之魅

诺贝尔奖得主
赤崎勇
自传



[日] 赤崎勇 著

方祖鸿 译 方明生 审校



学林出版社
www.xuelinpress.com

本书出版得到日本三得

蓝光之魅

诺贝尔奖得主**赤崎勇**自传

[日] 赤崎勇 著

方祖鸿 译 方明生 审校



学林出版社

www.xuelinpress.com

图书在版编目(CIP)数据

蓝光之魅：诺贝尔奖得主赤崎勇自传 / (日) 赤崎勇著；方祖鸿译. —上海：学林出版社，2016.8

ISBN 978 - 7 - 5486 - 1100 - 4

I. ①蓝… II. ①赤… ②方… III. ①赤崎勇—自传
IV. ①K833.136.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 161942 号

AOI HIKARI NI MISERARETE AOIRO LED KAIHATSU MONOGATARI

Copyright © Isamu Akasaki, 2013

Chinese translation rights in simplified characters arranged with

Isamu Akasaki, c/o Meijo University through Japan UNI Agency, Inc., Tokyo

蓝光之魅：诺贝尔奖得主赤崎勇自传



作 者——赤崎勇
译 者——方祖鸿
审 校——方明生
责任编辑——匡志强 薛莹
封面设计——周剑峰

出 版——上海世纪出版股份有限公司 **学林出版社**
地址：上海钦州南路 81 号 电话/传真：021- 64515005
网址：www.xuelinpress.com
发 行——上海世纪出版股份有限公司发行中心
地址：上海福建中路 193 号 网址：www.ewen.co
排 版——南京展望文化发展有限公司
印 刷——上海展强印刷有限公司
开 本——890×1240 1/32
印 张——6.875
字 数——15 万
版 次——2016 年 8 月第 1 版
2016 年 8 月第 1 次印刷
书 号——ISBN 978 - 7 - 5486 - 1100 - 4/K.98
定 价——28.00 元

(如发生印刷、装订质量问题，读者可向工厂调换。)

前 言

2011 年的夏天,科学技术振兴机构(JST)的人士给我提了以下建议:“发光二极管(LED)现在已经成为我们日常生活中不可缺少的东西。但由于缺少了光的三基色中的蓝光,很长时间内这一技术被认为是难以实现的‘梦想中之技术’。赤崎先生,由于您确立了蓝色 LED 的基础技术,才使这一‘梦想’变成了‘现实’,但这些情况一般人是不太了解的。您是如何应对研究上的种种难题?又是如何使这项技术变为现实的?请您一定要将自己的经验总结出来,传递给年轻人!”

我接受了这个热切的建议。但利用工作间隙时间执笔写作难以保证进度,所以采用了访谈的形式,将我的经验之谈汇编成书。

本书写下了我从孩提时代到现在为止所走过的历程。迄今为止,应学会刊物、杂志、报纸等的要求,我曾对自己的人生、投身研究的背景等写过一些文章,但如此集中地谈论自己的人生还是第一次。本书的宗旨是要提供一本让高中生以及文科背景的人也能读懂的普及性读物,因而学术相关的解说尽可能地采用了简单易懂的表述。

与蓝色 LED 材料——氮化镓相遇,发现其可能性,继而开始着手相关研究,是在我 40 岁的时候。而做出重要的研究成果是在

56 至 60 岁的那段年龄,应该说我是“迟开的花”、大器晚成的研究者。但年轻时忘我地投入电子元件材料以及半导体晶体生长研究,这些经验在之后的蓝色 LED 研究中结出了硕果。

回首我的人生经历,最想向年轻人传递的一句话是:“只要不放弃,就能开创新的道路。”希望本书中的故事能让许多肩负着未来的年轻人对这样的精神有所感悟,这对我来说是一件莫大的幸事。

赤崎勇

目 录

序章 钴蓝之魅 / 001

与“冷光”相遇 / 002

专心致志于锆的单晶体制作 / 004

这正是我要做的事 / 005

执着于韧性材料 / 006

终于制成了闪闪发光的晶体 / 007

沁入眼球的蓝光 / 009

蓝色 LED 的今天 / 012

第一章 “能做喜欢的事就好了” / 014

父亲的叮咛与母亲的关爱 / 014

着迷于矿石 / 016

“敬天会”：心中向往的中学生活 / 018

“学生动员”，在军工厂工作 / 020

鹿儿岛大空袭之夜 / 022

战败、高中入学考试 / 025

成为自己向往的七高生 / 028

京都大学入学典礼之日 / 030

“布奇·爱因斯坦” / 032

与其思考做不到的理由,不如动手做 / 034

登山的快乐 / 035

第二章 结晶、光、半导体

——神户工业,第一次名古屋大学时期 / 037

显像管开发中与“冷光”相遇 / 037

“单晶体薄膜”之念 / 040

晶体管的萌芽期 / 041

成为名古屋大学的助教 / 043

制作锗的单晶体 / 045

结晶实验:科学+艺术 / 048

名古屋大学:成为研究者的出发地 / 050

花絮:初访美国时的大尴尬 / 053

第三章 “独自走向荒野”

——松下电器东京研究所时期 / 057

企业研究所位于半导体元件研究的前沿 / 057

被松下电器东京研究所网罗 / 058

“做发光半导体” / 061

元素半导体与化合物半导体 / 062

光的二象性 / 064

“发光半导体”的结构 / 065

投入“魔幻结晶”之研究 / 069

松下幸之助与“S 计划” / 071	071
投入红色激光的研究 / 073	073
从最难的问题着手 / 074	074
为何是氮化镓? / 075	075
执着于材料的“坚韧度” / 078	078
用 MBE 法制作氮化镓单晶膜 / 080	080
“未来革新技术计划” / 081	081
“独自走向荒野” / 083	083
回到原点 / 084	084
着眼于 MOPE(OMVPE)法 / 085	085
“光计划” / 087	087
花絮: 迫降苏联之惊 / 090	090

第四章 未达之巅峰

——第二次名古屋大学时期 / 095	095
选择 MOVPE 法与基板改造 / 095	095
就像在树上嫁接竹子? / 098	098
关于缓冲层的设想 / 100	100
低温缓冲层条件下的结晶 / 102	102
“文质彬彬” / 105	105
向 p 型结晶挑战的时机成熟了 / 108	108
发光强度增大了 / 112	112
发现镁比锌更容易离子化 / 113	113
“老师, 没有被选上” / 114	114
终于实现了前人未达到的氮化镓 pn 结型蓝色 LED / 117	117

偶然与必然 / 118

控制 n 型结晶的传导度 / 119

与丰田合成、新技术开发事业团的产学官协作 / 123

最重要的是“想干的念头” / 126

命运的相遇所引导的道路 / 129

花絮：与噶卡先生的邂逅 / 130

第五章 来自电子工程学前沿的挑战

——名城大学时期 / 134

从名古屋大学到名城大学 / 134

关于“量子阱”的研究 / 135

“不是可以写下激光已经产生了吗？” / 138

指向更远的前沿 / 142

开拓紫外 LED 等光器件波长领域 / 143

下一代晶体管的发展 / 145

LED 应用的推广 / 146

终章 回首作为研究者的人生 / 148

得奖是一种激励 / 148

不为“流行”的研究课题所动 / 150

病床上也未忘却研究之事 / 152

研究无捷径 / 154

挑战技术课题而产生的科学 / 155

谦虚：科学工作者所需的品质 / 156

世间之宝：行途中的伙伴 / 157

后记 / 159

附录一 2014 年诺贝尔物理学奖新闻稿 / 161

附录二 诺贝尔奖获奖纪念演讲概要 / 168

附录三 蓝色发光二极管研究开发时间表 / 177

附录四 赤崎勇教授赠送给诺贝尔博物馆的赠品 / 186

评述 GaN/LED: 为人类带来福祉的发明 / 190

译后记一 / 205

译后记二 / 208

序 章

钻 蓝 之 魅

对于人类和很多生物来说,光是十分宝贵的。自古以来,人类用自己的双手制作了各种类型的光源。最早的人工光源也许是火。火给人类的生活带来了巨大的变化。从文明史的发展来看,火也许可以称为第一代光源。然后是大约 130 年前爱迪生发明的白炽灯,可以称之为第二代光源。第三代光源就是荧光灯,是发光的同时不散发热量的冷光(luminescence)^①。

而今天,我们已经掌握了第四代——LED(Light Emitting Diode: 发光二极管)、第五代——LD(Laser Diode: 激光二极管)这样一些全新的光源。LED、LD 的光也是冷光源,而相对于第二、第三代利用真空技术的光源来说,LED 发出的光是利用半导体技术开发的“固体发光元件”产生的,这与迄今我们所知的人造光源有着巨大的差别,换言之,LED 是“发光半导体”。

现在,不仅会在照明设备、信号灯上使用 LED,个人计算机、智能手机的液晶显示器的背光源等各种各样的领域也都在使

^① 冷光: 吸收外部的光、热、紫外线、X 射线等能量激发,返回基态(ground state)时,产生不带热量的发光现象。荧光灯是紫外线激发荧光粉发光,LED 是通电后半导体材料直接发光。——译者

用 LED。

然而,针对 LED 的研究和开发并不容易。在“光的三基色(红色、绿色、蓝色)”中,唯有蓝色光很难制作出来。人们甚至预测“很难在 20 世纪里制作出有实用性的蓝色光来”。如果缺少“三基色”中的蓝色,就不能制作彩色显示器以及白色的照明灯。

在这样的背景下,从 20 世纪 70 年代起至今的 40 年间,我一直从事着蓝色 LED 的研究和开发工作。

在我开始对半导体发光元件进行研究时,蓝色 LED 实用化的前景十分渺茫。当我意识到这一情况时,却油然而生一种直觉:“这就是我要做的事。”当然,这确实是一次巨大的“赌博”。

但当时我并没有考虑成功与否,而是下了决心,走前人未走过的道路。

与“冷光”相遇

在孩童时期,我并没有想到自己将来会成为学者或是研究者这样的人物。我只是一个好奇心很强的少年。

我出生于 1929 年,在旧制中学读到四年级的时候,日本战败了。经过旧制高中的学习后,我进入京都大学,学习化学和物理。当时的理科生多多少少都有以科技复兴日本的愿望。1952 年大学毕业后,我进入神户工业股份公司(战前为川西机械制作所,现为富士通天株式会社)工作。神户工业的前辈中有许多非常杰出的研究者和技术人员。

在这里,我先研究了真空管里使用的各种金属部件的性能。真空管(电子管)的发端是弗莱明^①发明的“真空二极管”。之后,电唱机、收音机、电视广播、通信、雷达、电脑等都使用了真空管,它是电子工程学的核心元件,是支撑电子工程学这台大戏的主角。

不久之后,日本有了电视广播,神户工业开始着手开发电视接收器的核心部件——显像管。显像管是布劳恩^②在1897年开发的十分出色的电子元件,它实质上比弗莱明的二极管更早问世,是真空管的先驱。我从1954年开始,担任显像管的研发工作。

在研发显像管中映射映像部分的荧光面时,我与“不带热发光的”冷光源初次相遇,了解了其原理。实际看到这种光源时,我完全被它吸引了,而后,我为此投入了整个人生。

没过多久,由于有容易损坏、寿命短、尺寸过大等缺点,20世纪前半叶风靡一时的真空管最终被小型的固体半导体元件所替代。半导体的电气特性介于能导电的“导体”(金属等)与不能导电的“绝缘体”(玻璃、陶瓷等)之间。利用这种物质的特性,制造出了半导体元件,其中,20世纪40年代末在美国发明的晶体管,是一种划时代的半导体元件。随着半导体、晶体管的出现,20世纪电子产业实现了飞跃式的发展。

20世纪50年代是日本半导体产业的勃兴期,这一潮流也影响了教育和研究部门,全国各地的大学都开设了电子工程专业。

① 弗莱明(John Ambrose Fleming, 1864—1945): 英国物理学家。电磁学中“弗莱明定律(右手定律)”的发现者。真空二极管发明者。——译者

② 布劳恩(Karl Ferdinand Braun, 1850—1918): 德国物理学家。1897年制成第一个阴极射线管(CRT, 布劳恩管)。因其对无线电报的贡献,与马可尼分享1909年诺贝尔物理学奖。——译者

1959年,因神戸工业的上司的建议,我也转去名古屋大学,担任工学部电子工程专业半导体工程学讲座的助教。

专心致志于锗的单晶体制作

在名古屋大学,我投入了以锗为材料的晶体管研发工作。我定下计划,从制作锗结晶开始的所有试验过程都要亲自完成。我的想法是:不了解所使用材料的物质特性,就不能确凿地了解其真正的性质,也就不能制作出性能优越的元件。就像优秀的厨师在着手做菜之前,一定要亲自挑选食材,充分做好烹饪前的准备那样,研发工作与烹调在这一点上异曲同工。

然而,晶体分为“单晶体”与“多晶体”。单晶体有整齐的结晶轴,并且所有的原子都整齐地排列着。而多晶体则是单晶体的集合体,其中部分材料的排列与结晶轴不一致。为了使晶体管、发光元件等器件持续正常地工作,必须使用结晶轴整齐排列的单晶体。因此,我所要研发的晶体是单晶体。顺便解释一下,那些没有排列的或排列混乱的物质都是“非晶体”,玻璃就是其中的一例。

纯净的单晶体是怎样制作出来的?这属于“晶体生成学”或“结晶工程学”的学科领域,是一门包含物理学、化学、矿物学、材料科学、电子工程学等内容的交叉学科。到现在为止,这门学科还遗留着无法通过实验证实其材料性质的问题。也就是说,其中某些现象还无法科学地说清楚,含有艺术的要素,是“科学+艺术”的领域。当然,与其他学科一样,这也是一门相当深奥的学问。

“晶体生成”与“冷光”、“半导体”并列,是我研发工作的又一个关键词。

这正是我要做的事

1964年,东京奥运会让日本全国沸腾了。这一年,我调动工作,去了刚建成不久的松下电器东京研究所。因为有在名古屋大学做研究的经历,年仅35岁的我成了研究所里最年轻的研究室长。

松下电器东京研究所是由松下电器产业股份公司(现在的Panasonic公司)的创立者——松下幸之助创办的,为进行世界一流的研发工作而组建的全新的研究所。在我之前担任研究室长的都是从全国各地的大学过来的、卓有成绩的副教授(或年轻的教授)。

在幸之助先生的一句“好啊!试着做吧!”的话语激励下,我开始投入到研究所特别研发项目的工作中,这其中最重要的就是,“蓝色LED”的研究正式开始了。

虽然之前也曾接触过红色LED、绿色LED等,但我注意到:唯独“蓝色LED”是前人尚未实现的,我暗暗下定决心:“这正是我要做的事。”

晶体管的工作原理是利用电子的高速移动,所以半导体专业的人把它称为“移动性”半导体。另一方面,LED(发光二极管)和LD(激光二极管)都是将电子能量转化为光能,因而又被称为“发光性”半导体。LED和LD是光电子工程学领域的核心。那么,这种光色的不同是怎么产生的呢?

简单地讲,若电子的能量小即发出红光,电子的能量大则发出蓝光。为了发出蓝光,必须使用具有大能量的半导体材料。

而半导体又分为“元素半导体”和“化合物半导体”，“元素半导体”是指这个元素本身就具有半导体的性质，锗、硅等就是这样的元素。而“化合物半导体”是由两种以上的元素配比形成化合物，并由此显现出半导体的性质。利用化合物半导体的这一特性，就能制作出发光二极管。

执着于韧性材料

在名古屋大学(第一次任职期间)研究锗,以及在松下电器东京研究所工作的共计 17 年间,我研究了 8 种化合物半导体,并且尝试了好几种材料的晶体生成方法。

当时,化合物半导体研究还处于起步阶段。刚开始时,我完全是摸着石头过河的感觉。直到后来投入到对“氮化镓(GaN)”的研究,这项研究随即成了我精神上的一大支柱。由于有此前曾着手的对各种材料、研究方法的探究,我逐步坚定了自己对氮化镓的信心,并培育出了一种“直觉”。

我挑选了镓与氮的化合物——氮化镓作为蓝色 LED 的材料。作为发蓝光的半导体,候补的材料还有多种,但最有韧性(tough)的材料是氮化镓,我没有选择除此之外的其他材料。

tough 这个词有“① 强韧、坚硬、牢固”的意思,转而又有“② 困难的、麻烦的”这一意思。氮化镓在自然界中是不存在的,要制作其晶体很困难,要制作出其纯净的单晶体更“困难”(词义②的含义)。但我想,既然制作如此困难,那么一旦成功地制作出好的晶体,这种晶体及其元件就一定是能耐受苛刻条件,强韧、坚固、稳定的材料(词义①的含义)。

选择这条险峻道路的研究者是少数派,大多数人都选择了相对容易处理的材料。投入到氮化镓研究的研究者,也因为困难而一个个离开了,当我意识到这样的情况时,世界范围内仍在研究这种材料的只剩我们这个研究小组了。

在如此严峻的研究环境中,确实有一种孤身奋斗的感受,我不由地念叨着“我独自一人,走向荒野”的诗句。但就算最后只剩我一个人,我也没有想过要放弃对氮化镓的研究。我憧憬于蓝色之光,毫不怀疑氮化镓的可能性。

信念没有动摇的一个原因,源自最初在松下电器东京研究所研究镓的化合物砷化镓的经验。这种物质的晶体很难提高纯度,经过了多次失败、摸索,我们最后成功地制作出了纯度比以前提高3~4位的晶体。我们发现这种高纯度的砷化镓表现出了与迄今所知的物质特性不同的特性。由此可见,晶体越是纯净,其真实的物质特性就越能表现出来。特别是对于半导体这一“结构敏感”的材料,提高晶体的纯净度是最重要的。这成为我研究的基本理念,也可以说是我的哲学。研究砷化镓的这些经验,成了推动我坚持研究氮化镓的原动力。

终于制成了闪闪发光的晶体

一段时间里大多数氮化镓的研究者陆续离开了这个研究领域,也没有新的研究者加入,而我却越来越确信氮化镓的潜力。

当时,氮化镓还不能形成纯净的单晶体,用荧光显微镜观察表面凹凸程度很大的晶体时,能看到稀少的结晶性很好的微小晶体,我发现这种小晶体发光性能很好。