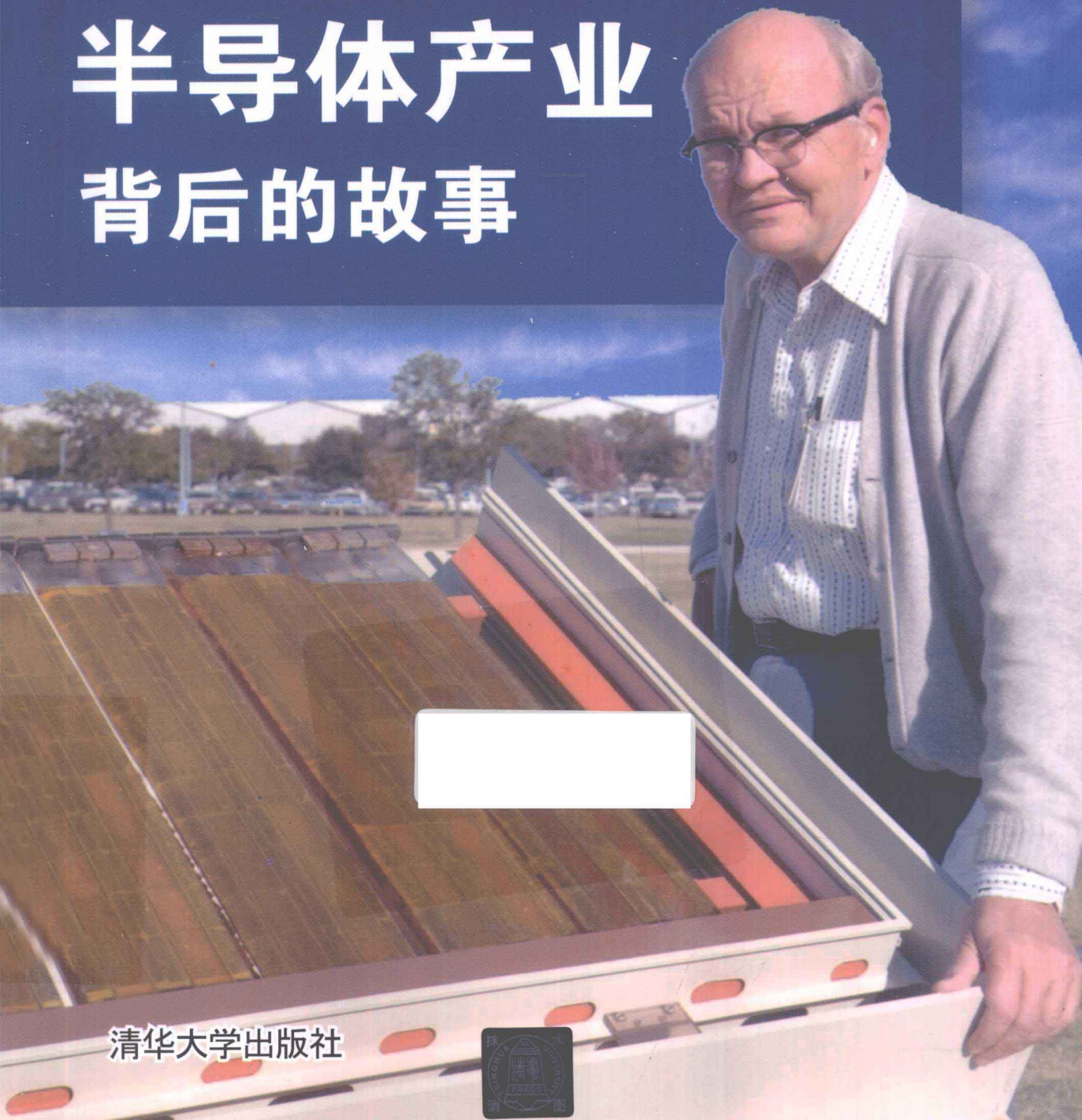


张汝京 主编

# 半导体产业 背后的故事



清华大学出版社



张汝京 主编

# 半导体产业 背后的故事

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书遴选了半导体产业发展历史中重要的 27 项技术发明加以介绍,并着重于技术发明过程背后的一些故事。全书分为 27 章,内容涉及晶体管、CMOS、集成电路技术、浸没式光刻、干法刻蚀、LED 技术、量子霍尔效应、显微技术等。

本书可作为大学生、研究生的科普读物,对从事信息产业的专业技术人员亦有参考价值。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

半导体产业背后的故事/张汝京主编. —北京:清华大学出版社,2013.2

ISBN 978-7-302-31053-2

I. ①半… II. ①张… III. ①半导体工业—产业发展—世界—通俗读物  
IV. ①F416.63-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 304842 号

责任编辑:文 怡

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:17.25 字 数:238 千字

版 次:2013 年 2 月第 1 版 印 次:2013 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:36.00 元

---

产品编号:040266-01

## 序 言

2009年12月6日,已步入冬季的天气非常寒冷,但这天的阳光却格外明媚。下午一点,上完清华大学的新生研讨课,我专程飞往上海拜访张汝京先生。

张汝京先生,于美国南方卫理公会大学(Southern Methodist University)取得电子工程博士学位。曾在德州仪器公司(Texas Instruments)工作了20年,并成功在美国、日本、新加坡、意大利及中国台湾地区创建并管理了10座半导体工厂及相关业务。更重要的,他是中国大陆迄今为止最先进的集成电路制造厂——中芯国际集成电路制造的创始人,对中国大陆集成电路产业的进步起了不可替代的作用。

下午四点,在张江中芯花园服务中心的一间办公室里,我与张先生以茶与咖啡对饮,相谈甚欢。那时,恰逢我刚刚讲完《从晶体管的发明到信息时代》的课程,谈话内容自然就涉及到了半导体发展史上的一些中外名人,从贝尔实验室的肖克利(William Shockley)、巴顿(John Bardeen)、布拉顿(Walter Brattain),到德州仪器公司的基尔比(Jack Kilby),从Intel公司与摩尔(Gordon Moore),到仙童半导体公司(Fairchild Semiconductor)与诺伊斯(Robert Noyce),我与张先生如数家珍,话题也由此扩展开去。

谈笑间,张先生说起很多半导体学术界、产业界里有趣的典故,尤其是华人或者是与中国有很深渊源的外国科学家的故事。这些故事听起来生动有趣,又让我倍感亲切。突然,一个想法令我们心动,是不是该把这些难得珍贵的故事及时记录下来?不然,将来行业里的青年学者、科学家们,该去哪里倾听这样有价值的往事?而它们的消逝和不被熟知也一

定会成为学术界的一大遗憾。这个念头便成为日后张先生写作这本书的起始驱动。

今天,我们生活在一个如此发达的数字时代。互联网、智能移动电话、个人数字终端、台式计算机与笔记本电脑、自动柜员机、数码相机等电子设备早已司空见惯;网上购物、电子支付、社交网络、微博、微信等现代化的交往手段,更是跟社会中的每一个人密不可分。但是,有多少人知道,我们所享受的这一切,完全得益于1947年发明的晶体管和1958年发明的集成电路?前者,诞生于贝尔实验室,为此肖克利等人于1956年获得诺贝尔物理奖;后者,独立发明于德州仪器公司,基尔比为此于2000年获诺贝尔物理学奖。张汝京先生曾在发明集成电路的德州仪器公司工作20年,他亲身经历了半导体产业的发展壮大,见证了很多革命性发明的诞生,也曾与很多一流的科学家、发明家共事,应该说没有这样的经历,很难说得出半导体学术发展史里如此多的有趣故事。此次,若不是借由张先生的口述,我们很难知道那些业界知名的大科学家们也有这么生动活泼的一面,如同朋友般亲切可爱。

我邀请张汝京先生把他知道的故事整理并记录下来,让这些宝贵的历史典故和科学家们的经验财富流传下来。相信这些一定会对当今以及将来在半导体产业里工作的众多青年科学家、工程师有所启发和激励。尽管张先生事务繁忙,但听了我的想法之后,基于对行业的赤诚,以及对年轻后辈的关爱,他欣然答应。经过近3年的笔耕,这本书终于出现在读者面前。

感谢清华大学的李铁夫、杨轶博士,没有他们多次往返京沪奔波,随时协助张汝京先生整理文字,核对数据,就不可能完成这本书的创作。感谢牛崇实博士以及清华大学邓仰东副教授等为本书做出贡献的作者们。

王志华

2012年12月于北京清华园

## 前 言

上世纪 40 年代晶体管的发明,50 年代集成电路技术随后问世,从此便开启了灿烂的信息技术时代,这是人类文明发展最为迅速的一个时代。我们有幸经历见证了这一个美好的进程。在这个过程中,人们一步步揭开了物质深层的奥秘,出神入化的运用这些材料,实现了种种神奇的功能,将人类认知世界、改造世界的能力扩大了千百倍。

在这个科技迅速发展的时代中,最耀眼的明星无疑是发现、发明这些原理与器件的科学家和工程师。很幸运,这些人有些是我们的师长,有些是我们的同事或者朋友,在与他们共事的过程中,我们受到很多启发和帮助,所以借此书想跟大家分享这些收获。尤其是在这些伟大技术的发明过程中,华人科学家、工程师们做出的贡献,和与中国有深刻的渊源的一些外国科学家的有趣故事,更是我们想在这本书中介绍给大家的。希望这本书能够给国内半导体产业的工作者们以启发,做出独有原创性的工作。

我们选择了半导体产业发展历史中最为重要的 27 项技术发明,以科普为目的,深入浅出地介绍了这些技术。本书一共 27 章,每章介绍一项技术。牛崇实、季明华、刘永、杨立武、萧德元、张启华、李明、张海洋、崔新涛、姚菁、董伟淳等参与了本书的写作,特此表示感谢。另外,这本书得以完成并展现在广大读者的面前,离不开清华大学从始至终的鼎力相助,在此我谨代表全体主创人员特别感谢清华大学的努力和支持!

张汝京  
2012 年 9 月

# 目录 contents

第 1 章 晶体管的发明	1
第 2 章 集成电路的发明	9
第 3 章 LCD 技术的发明	16
第 4 章 CCD 和 CIS 技术的发明	22
第 5 章 DRAM 技术的发明	34
第 6 章 非易失性存储器	42
第 7 章 半导体激光器的发明	50
第 8 章 光纤发展背后的人物故事	59
第 9 章 太阳能电池的发展史简介	70
第 10 章 计算机技术与华人	84
第 11 章 DLP 与 DMD 技术的发明	99
第 12 章 等离子体刻蚀	108
第 13 章 浸入式光刻技术	115
第 14 章 新兴非挥发存储技术(NVM)	120

第 15 章 短距离通信系统 .....	136
第 16 章 MEMS/NEMS .....	147
第 17 章 LED 发光二极管的创新过程 .....	155
第 18 章 1+1=2: CMOS 器件的发明 .....	164
第 19 章 肖特基二极管——半导体技术的革新 .....	172
第 20 章 功率半导体器件和集成电路 .....	179
第 21 章 薄膜晶体管(TFT) .....	191
第 22 章 量子霍耳效应 .....	200
第 23 章 微光显微镜 .....	206
第 24 章 分析显微镜 .....	210
第 25 章 分子束外延 .....	231
第 26 章 有机金属化学气相沉积 .....	238
第 27 章 纳米技术的发展及其应用 .....	247



晶体管虽然是一个不大起眼的小发明,但是它的出现大大地改变了计算机和所有电子产品的历史进程。(见图 1-1)

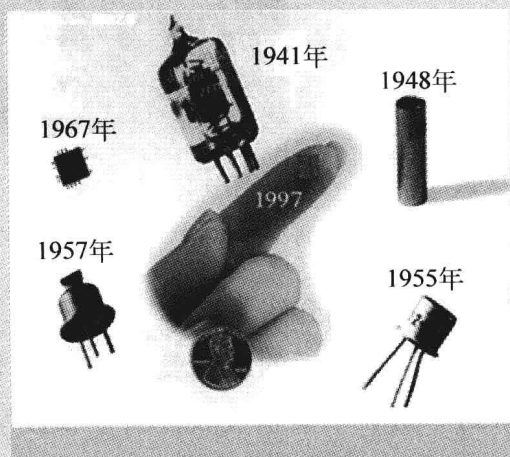


图 1-1 从电子管到晶体管

肖克莱 (William Bradford Shockley, 1910—1989), 美国物理学家。1945 年下半年, 贝尔电话实验室成立了以肖克莱为组长, 肖克莱、巴丁 (John Bardeen, 1908—1991)、布拉顿 (Walter Houser Brattain, 1902—) 为核心的固体物理学研究小组 (见图 1-2)。该小组于 1947 年 12 月发明点接触晶体管, 1948 年 6 月贝尔电话实验室报道了这一发明, 并申请专利。1949 年肖克莱提出结型晶体管理论, 1950 年由贝尔电话实验室 M. 斯帕克斯 (M. Sparks) 和 G. L. 皮尔逊 (G. L. Pearson) 制造出结型晶体管。1956 年肖克莱、巴丁、布拉顿共同获得诺贝尔物理学奖。

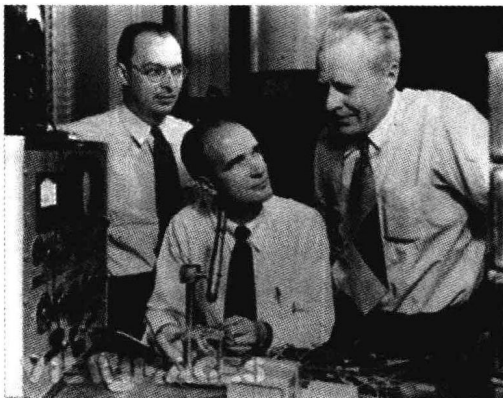


图 1-2 肖克莱、巴丁与布拉顿

肖克莱 (中)、约翰·巴丁 (左)、布拉顿 (右)

这里我们特别介绍一下布拉顿 (见图 1-3), 他的父亲罗斯和母亲奥蒂莉毕业于美国华盛顿的惠特曼学院。他们刚结婚后就来到了中国厦门, 罗斯得到一份在中国学校教授科学和数学的工作, 布拉顿在 1902 年 2 月 10 日生于厦门。布拉顿一家人在中国居住了一段时间后, 1903 年, 布拉顿和家人回到了华盛顿。

肖克莱于 1910 年 2 月 13 日生于英国伦敦。其父母都是美国人, 父亲毕业于美国麻省理工学院, 曾以采矿工程师等身份在包括中国在内的多

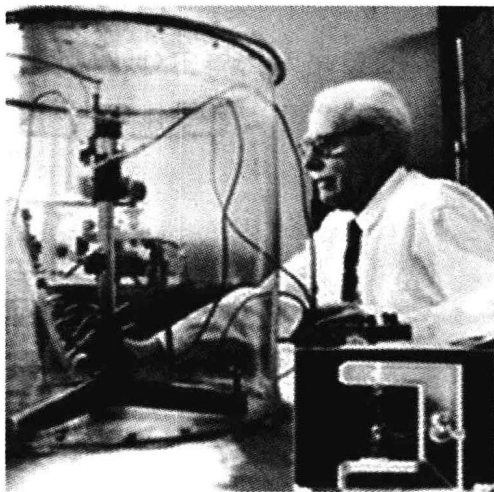


图 1-3 沃尔特·布拉顿

个国家工作过，后被派驻英国。读初中期间，肖克莱深受其父亲的好友——斯坦福大学物理系教授、X 射线领域专家罗斯(P. Ross)的影响，并被其收为义子。1932 年，肖克莱在加州理工学院物理系获得学士学位；此后，他转入麻省理工学院主攻固体物理学，并于 1936 年获得博士学位；1936 年 6 月，他接受贝尔基础研究部主任凯利(M. J. Kelly)的邀请加盟贝尔实验室。

依据量子力学理论，肖克莱勾画出了 P 型和 N 型硅半导体的能带和能级图，并对这些能带、能级在外部强电场的作用下可能的变化情况进行了分析。之后，肖克莱意识到这一系统也许可以用于放大器的设计。这种利用空间场效应设计放大器的思想形成后，肖克莱便开始尝试用实验来验证自己的设想。

1945 年 7 月，由肖克莱和化学家摩尔根(S. Morgan)领导固体物理组，该组下设半导体和冶金两个研究小组，分别负责器件和材料的研究开发，并明确由肖克莱兼任半导体研究小组组长。研究小组成立后不久，

肖克莱在贝尔实验室的一些伙伴——实验物理学家布拉顿和皮尔逊、物理化学家吉布尼(R. Gibney)和电路专家摩尔(H. Moore)等人便先后加盟半导体研究小组。在肖克莱的推荐下,半导体研究小组引进了精通固体物理的杰出理论物理学家巴丁(见图 1-4)。

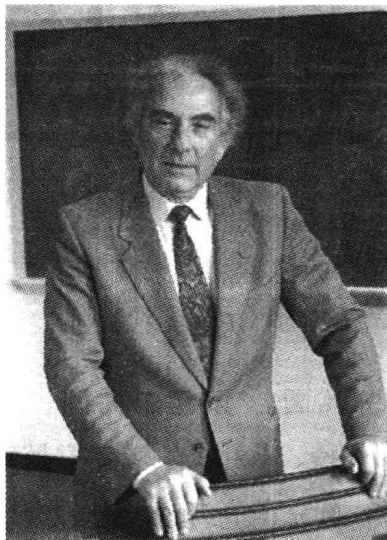


图 1-4 巴丁

巴丁对肖克莱早期的空间场效应思想未得到确证的问题颇感兴趣,经过一段时间的苦思冥想后,提出了“表面态理论”。于是,此后的一段时期,半导体研究小组将研究重点由场效应放大器的研制转向了半导体基础理论问题——表面态的研究。

经过一年多反反复复的实验,半导体研究小组的表面态研究取得了重大进展。1947年9月,研究小组确认表面态效应确实存在。表面态效应长期以来一直是导致场效应放大器实验失败的主要原因,其作用机理解明之后,设计、试制半导体放大器的一个重大障碍便被排除了。

1947年11月21日,巴丁向布拉顿提出了着手进行半导体放大器研制

实验的建议，当天便按此思路进行了实验，并在输出回路中观测到了微弱的放大电流信号。实验初步达到了预期效果。

1947 年 12 月，肖克莱与巴丁、布拉顿等人开会就实验中所遇问题的解决方案进行了讨论，与巴丁一起进行了改进后的首次实验。在这次实验中，他们获得较高的输出功率增益和输出电压增益。因此，有学者主张应该将这一天确定为晶体管的发明日。肖克莱领导的半导体研究小组使用含有这种新发明的固体放大器的实验装置为贝尔实验室的主管领导演示了音频放大实验。实验一如人们所期待的那样获得了成功。

后来，贝尔实验室将这种固体放大器命名为“晶体管”（transistor）。由于这种晶体管主要由两根金属丝与半导体进行点接触而构成，故被称为点接触晶体管(见图 1-5)。

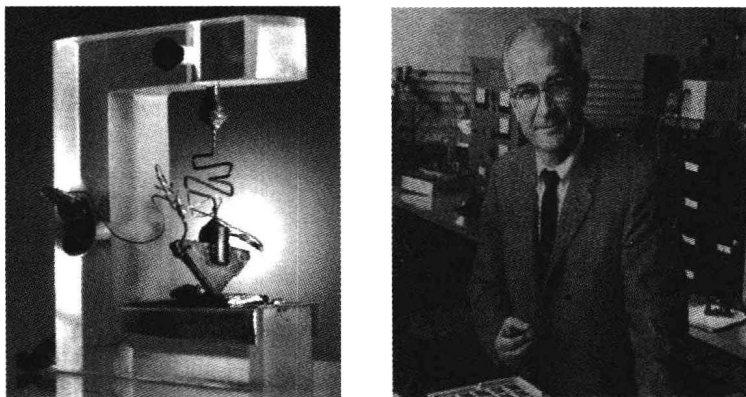


图 1-5 点接触晶体管(左)与肖克莱(右)

肖克莱于 1948 年 1 月 23 日想出了在半导体中加一个调节阀的方法。由于这个中间薄层的功能与自来水管道中的阀门相似，故肖克莱把这种器件称为“半导体阀”。

受这些研究的鼓舞，肖克莱加快了对 PN 结以及基于 PN 结的晶体管

的研究进程，结型晶体管问世后，肖克莱并没有陶醉在取得重大突破的喜悦之中，仍以饱满的热情从事着他的晶体管研究。他将结型晶体管的原理与自己早期提出的场效应理论结合起来思考，在 1952 年正式提出了单极场效应晶体管的构想。不到一年，肖克莱的合作者戴西(C. C. Dacey)和罗斯(I. M. Ross)便将此一构想成功地化为现实，制作出了第一个结型场效应晶体管。

肖克莱于 1956 年 2 月在旧金山创办了肖克莱半导体实验室，并因此而被称为硅谷的奠基人之一。凭着自己在电子工业界的威望，肖克莱很快便从美国各地招聘来了一批从事半导体研究开发的精英，其中我们想特别介绍的是萨支唐博士(Dr. Chih-Tang Sah)(见图 1-6)。萨支唐博士是从事微电子学研究的美国华裔物理学家，原籍是中国福建省福州市，他于 1956 年在斯坦福大学获得博士学位。其父萨本栋先生是中国第一届中央研究院院士，曾任厦门大学校长。1956 年起，萨支唐博士跟随肖克莱在工业界共同从事固态电子学方面的研究，他在工作中表现异常优秀，深受



图 1-6 萨支唐博士

肖克莱的欣赏和认可。他于 1959 年追随诺伊斯(Robert N. Noyce)、摩尔(Gordon. E. Moore)、格瑞奇(Victor H. Grinich)前往仙童公司(Fairchild)任职。在仙童公司期间(1959—1964)，他带领一个 64 人的研究组从事第一代硅基二极管、MOS 晶体管和集成电路的制造工艺研究，是半导体工业先驱之一。1964 年他来到伊利诺伊大学厄巴纳—香槟分校任物理系和电子及计算机系教授达 26 年，培养出 40 名博士。1988 年起，他在佛罗里达大学担任教授至今。他目前是美国佛罗里达大学教授，也是美国工程院院士、中央研究院院士、中国科学院外籍院士。萨支唐博士是一位非常值得我们学习的大师级科学精英！

1956 年，肖克莱同巴丁、布拉顿一起因发明了晶体管获得了诺贝尔物理学奖。但是，肖克莱的种族歧视观念和“独断式”管理作风越来越严重，加上他好自以为是，听不进部下的谏言，导致与员工之间的沟通越来越糟。1957 年 9 月，肖克莱半导体实验室开发部门的诺伊斯、摩尔等重要骨干集体辞职，在仙童照相器材公司的资助下创办了仙童半导体公司。

对于肖克莱在科技发展历史上的重要成就，业界都给予了极大的尊重和推崇，但是肖克莱后期因种族歧视及个人化的管理作风，造成身边的精英团队纷纷离他而去，这不得不说是非常大的遗憾。人与人之间虽有不同，但是都是一样宝贵的，没有贵贱之分，没有人应该被歧视。人类是无人格区分的，曾经与他一起共事过的科学家们之后一直能够秉持科学无国界并对待员工一视同仁的工作精神，从而在半导体行业内树立了非常好的工作典范。

## 参考文献

1. Who really invented the Transistor? -Bell Labs 贝尔实验室讲述晶体管发明的历史
2. Transistorized! The History of the Invention of the Transistor-PBS PBS 讲述晶体管的发明
3. The Transistor in a Century of Electronics-nobelprize.org 诺贝尔奖官网介绍晶体管的历史
4. Herbert F. Matare: An Inventor of the Transistor Has His Moment-Mindfully.org 同时期另一位科学家的小组也发明了晶体管
5. The Road to the Transistor-Jed Margolin 晶体管的发明过程
6. Key Steps to the Integrated Circuit-C. Mark Melliar-Smith, Douglas E. Haggan, William W. Troutman 集成电路中的关键技术
7. A History of the Invention of the Transistor-William Brinkman 讲述晶体管的发明历史



杰克·基尔比(Jack St. Clair Kilby)(见图 2-1),IT 业界公认的集成电路(IC)第一位发明者。

“有极少数人凭借他们的智慧和专业领域的成就改变了这个世界,杰克·基尔比就是其中之一。”

——德州仪器公司

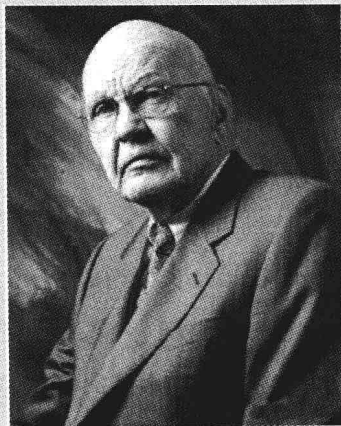


图 2-1 杰克·基尔比