

# 3位获诺贝尔奖提名的微电子器件华裔科学家

钱敏<sup>1,2</sup>

1. 苏州大学文正学院电子信息工程系, 苏州 215104

2. 苏州大学电子信息学院微电子系, 苏州 215006

**摘要** 微电子技术是现代信息化社会的基石,而微电子器件是微电子技术最重要的组成部分。介绍了3位目前仍然活跃在国际微电子学术及产业界的著名科学家——施敏、萨支唐和邓青云的主要贡献以及对微电子产业的巨大影响力。施敏是目前电脑、手机等电子信息产品的必备组件——非挥发存储器的发明者;萨支唐是现代集成电路主要采用的技术——CMOS技术的发明者;邓青云是第三代平面显示最有发展前景的技术——OLED之父。

**关键词** 微电子器件;华裔科学家;诺贝尔奖提名

随着“互联网+”时代的到来,现代信息化社会飞速发展,日新月异。信息化社会的基础是集成电路,过去几十年来,以CPU、存储器为代表的集成电路基本遵循摩尔定律在飞速发展。集成电路的基本单元即各类半导体器件,例如晶体管、MOS管,它们为现代电子技术奠定了基础。许多微电子专家为半导体器件的发明和应用做出了杰出贡献。在这些微电子专家和学者中,华人科学家起到举足轻重的作用。

21世纪初的中国,机遇与挑战并存,发展高科技是强国必由之路。作为电子工业支柱的微电子

高科技产业更是各国优先发展的首选。智力密集型的高科技产业需要的是人才。在美国对中国高科技领域实施制裁的背景下,发展中国自主知识产权的微电子产业、培养大批微电子专业人才已是当务之急。本文介绍3位微电子器件领域的著名华裔科学家——施敏、萨支唐和邓青云在半导体器件的发明和应用以及育人方面做出的杰出贡献。

## 1 施敏(Simon M.Sze, 1936—)

施敏(图1),1936年出生于南京,祖籍吴江震

收稿日期:2019-08-05;修回日期:2019-08-29

基金项目:江苏省政府出国留学基金项目;苏州大学文正学院高等教育教改项目(17WZJG0017);江苏省高校优势学科建设工程项目;江苏省高等学校自然科学基金项目(19KJD510006)

作者简介:钱敏,副教授,研究方向为微电子器件、OLED/OPV及集成电路,电子信箱:qianmin@suda.edu.cn

引用格式:钱敏. 3位获诺贝尔奖提名的微电子器件华裔科学家[J]. 科技导报, 2019, 37(19): 80-86; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.19.011



图1 施敏

泽,是微电子科学技术、半导体器件物理专家,中国台湾“中央研究院”院士、美国国家工程院院士、中国工程院外籍院士、美国电气和电子工程师协会(IEEE)终身会士(Life Fellow)、日本应用物理学会(Japan Society of Applied Physics)国际会士。施敏1957年毕业于台湾大学,1960年获得华盛顿大学硕士学位,1963年获得斯坦福大学电机博士学位,1963—1989年在贝尔实验室工作。1967年,他发明了非挥发性存储器<sup>[1-2]</sup>(nonvolatile semiconductor memory, NVSM;是现在广泛使用的闪存、优盘器件的设计原型),在电子元器件领域做出了基础性及前瞻性贡献。1990年,开始于台湾交通大学电子工程系任教,担任电子与资讯研究中心主任。1998—2004年,担任台湾交通大学联华电子讲座教授、台湾纳米元件实验室主任,卸任后担任资深顾问。

施敏在金属半导体接触、微波器件、亚微米MOSFET器件及微电子工艺等技术领域都有开创性的贡献。1967年,施敏与韩裔美国人姜大元(Dawon Kahng)在吃甜点时,用了一层又一层的涂酱,触发二人的灵感,想到在金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)中间加一层金属层,最终发明了非挥发性存储器。同年5月,两人在《贝尔系统科技期刊》(The Bell System Technical Journal)上发表第1篇关于NVSM的论文《浮闸非挥发性半导体内存细胞元件》,第1次阐述了闪存存储数据的原理技术,随后由贝尔实验室取得专利。

NVSM一开始并未受到重视,直到1983年日本任天堂将其应用在游戏机中,让玩家在游戏过程中可以在特定点中记录积分,不需要游戏角色战亡后重新计算,才开始被广泛注意。1989年,诺基亚(Nokia)手机为了轻巧省电采用该技术,接着该技术也被用于计算机的BIOS(basic input output system),让开机速度变快。20世纪90年代后,随着消费性电子时代的到来,闪存开始大放异彩。施敏发明的NVSM元件被视为全球半导体产业3个重大发明之一(另外2个是1947年发明的晶体管和1959年发明的集成电路)。NVSM成为带动世界集成电路产业的主导产品之一,是手机、笔记本电脑、IC卡、数码相机及便携式电子产品的关键部件。

20世纪70年代,时任中国台湾“经济部”部长的孙运璿邀请施敏担任“经济部发展积体电路计划工作小组”成员之一。施敏提出要推动半导体产业,最终使得中国台湾经济起飞,使之一跃成为20年代80年代“亚洲四小龙”之首,为中国台湾经济的发展做出了重要贡献。

施敏不仅是国际知名的微电子科学技术与半导体器件专家,还是该领域首屈一指的教育家<sup>[1-9]</sup>。施敏在微电子科学技术著作方面举世闻名,达12部之多,愈500万字。施敏对半导体器件的发展和人才培养作出了巨大贡献,其代表作《Physics of Semiconductor Devices》(1969年出版)是工程和应用科学领域的3部经典专著之一,被誉为电子科技界的“圣经”。该书已被翻译成6国文字,发行量达600万册,独霸市场,经久不衰,被世界各大学广泛用作教科书与参考书。到2018年止,该书已经被引用47500余次。施敏的著作在国内半导体科研产业界也深具影响力。北京大学微电子所所长王阳元认为:“搞半导体的,鲜有不知施敏的。”他的著作在20世纪70年代就被引入中国大陆,对中国大陆半导体科研和产业起了很大的指导作用。当时施敏的名字并不为中国大陆所熟悉,曾被误译为史思萌。

施敏著作等身,春风化雨,桃李满天下,培养了大批微电子领域栋梁之才,业界许多知名人士都是

施敏的学生。他教过的学生逾万人,其实验室如同台湾半导体产业人才摇篮,成为台湾半导体行业的根基。台湾现有蓬勃发展的半导体产业以及傲视国际的半导体人才,施敏功不可没。卢超群说,“施教授的学生已经八代”,个个有成就。他不仅是台湾之光,也是全球半导体研发与教育之光。

施敏曾应邀先后在剑桥大学、东京大学、香港大学等著名高校作讲座,近20年来,施敏应邀多次来中国大陆讲学,参加中国微电子器件、IC行业研讨会。他曾一再表示愿为中国微电子产业的发展提供咨询。

2000年初,他在大陆的交流从苏州大学开始。2002年10月14日至11月7日间,施敏应苏州市政府、苏州大学和苏州旺宏微电子公司之邀,专程来到苏州大学,为电子信息学院微电子专业学生作了为期3周的讲学,并应苏州市政府的邀请参加苏州市第2届电子信息博览会高峰论坛(当时的苏州市市长、现国家商务部部长陈德铭起到了重要的桥梁作用)。笔者作为当时的学术活动具体安排者,有幸全程参与了施敏在苏州的相关活动。

聘请如此重量级的人物来苏州大学作3周的讲学,得到了当时一起来参加电博会高峰论坛的国内一些著名科学家的高度评价。张学光副校长在开学典礼上致辞:“在苏州大学百年发展史上也是首开先例,可谓开百年苏大学风之先。”施敏带来了世界微电子科研、产业最新的发展动态,仿佛一股春风吹进了苏州大学这所古老而又充满朝气的校园,推进了学校微电子专业的教学、科研等建设步伐。

施敏是世界微电子学术界及工业界公认的仰之弥高的领军人物,长期工作于贝尔实验室。他非常愿意为培养中国微电子专业人才、为家乡的建设贡献力量。施敏访问苏州大学的一个成果是,将新近出版的第2版《Semiconductor Devices: Physics and Technology》(《半导体器件物理与工艺》)的中文版交由苏州大学电子信息学院翻译并由苏州大学出版社出版<sup>[1-4]</sup>。

2002年后,施敏又多次到苏州大学指导工作,耳提面命使笔者受益匪浅<sup>[5-8]</sup>。施敏还多次回吴江

考察,受到热烈欢迎。2019年5月,应邀参加南京2019世界半导体大会,并作主题演讲。

任何人能在“发明”“著作”或“人才培养”三方面之一有所成就已属不易,但施敏先生却是集这三大贡献于一身的人!

施敏获得各类科研奖励不胜举,例如1991年获得国际电气和电子工程师协会(IEEE)电子器件 Ebers 奖等。1986—1990年,施敏担任《IEEE Electronics Device Letter》主编,该期刊是微电子领域最高级别期刊。2017年,他与 Gordon Moore(摩尔定律之父, Intel 创始人之一)共同获得美国电子和电气工程师协会尊荣会员(IEEE Celebrated Member)称号,目前全球仅有10位科学家获此殊荣,包括1973年诺贝尔物理奖得主 Leo Esaki、2000年诺贝尔物理奖得主 Herbert Kroemer 及2009年诺贝尔物理奖得主 George E. Smith。施敏的发明与成就倍受世界推崇,是少数当选中国工程院外籍院士、中国台湾“中央研究院”院士、中国台湾工研院院士、美国国家工程院院士的多院院士的华人科学家;获颁全球“闪存峰会”(Flash Memory Summit)终身成就奖。目前,施敏因 NVSM 的发明已被“诺贝尔物理学奖”提名3次。提名者为丁肇中教授(获1976年诺贝尔物理学奖)。

施敏教授为人随和,平易近人,风趣幽默。在苏州大学校讲学期间,跟笔者闲谈获诺贝尔奖提名的感受时说,他的愿望是要长寿,向 Kilby 看齐。Kilby 于2000年因集成电路的发明而获得诺贝尔物理奖,本应获奖的 Noyce(Intel 的创立者之一)因肺癌去逝而与之失之交臂。与施敏一起发明 NVSM 的韩裔美国人 Dawon Kahng 也因肺癌去逝。施敏还强调,科学研究成果的获得,除了运气外,刻苦努力是必须的。

## 2 萨支唐(Chih-Tang Sah, 1932—)

萨支唐(图2),1932年出生于北京,美国物理学家、微电子学家,美国佛罗里达大学教授,美国国家工程院院士(1986年)、中国台湾“中央研究院”院士(1998年)、中国科学院外籍院士(2000年)。



图2 萨支唐

1949年,萨支唐赴美国就读于伊利诺伊大学,1953年获得学士学位后到斯坦福大学学习。1956年,在斯坦福大学获得博士学位。之后,他与 William Bradford Shockley(晶体管发明者,诺贝尔奖获得者)在工业界共同从事固态电子学方面的研究。1959—1964年,他供职于仙童公司。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,在26年间培养出40多名博士。1988年起,他在佛罗里达大学任教。2000年当选为中国科学院外籍院士。2010年,在厦门大学担任厦门大学物理与机电工程学院教授。

萨支唐长期致力于半导体器件和微电子学研究,对发展晶体管、集成电路以及可靠性研究作出了里程碑式的贡献。在仙童公司期间,萨支唐带领一支64人的研究团队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。萨支唐于20世纪60年代末与 Wanlass 一起,首先提出 CMOS(complement metal oxide semiconductor,互补金属氧化物半导体器件)结构<sup>[9]</sup>。他提出了半导体 p-n 结中电子-空穴复合理论;开发了半导体局域扩散的平面工艺和 MOS、CMOS 场效应晶体管,并提出 MOS 晶体管理论模型;发明了探测半导体中微量缺陷的深能级瞬态谱(DLTS)方法;发现了氢在硅中对受主杂质的钝化作用;致力于亚微米 MOS 晶体管的可靠性研究。CMOS 器件的发明对后来微电子器件、集成电路的

设计、制造起到了决定性的引领作用,影响巨大。可以说,目前的 CPU、存储器等集成电路器件,都是基于该器件的技术。该技术最重要的特点是理论上讲,器件的静态功耗为 0。这是现代电子器件、集成电路设计最重要的评价指标。同时,他还推导出了著名的萨氏方程。

萨支唐是改革开放以后最早与中国进行科技合作与交流的美国科学家之一。他曾多次访华,作了 20 余次系列讲座,先后指导了 10 多名中国研究生,还多次协助在中国举办国际学术研讨会。萨支唐是北京大学、清华大学、厦门大学的荣誉教授,中国台湾新竹交通大学荣誉博士(2004)、中国国家荣誉博士(2010,厦门大学提名)。萨支唐的《Fundamental of solid-state electronics》(《固态电子学基础》)<sup>[10]</sup>被翻译为中文版(2003年),在中国大陆微电子专业中作为教材和参考书,广为流传,受到好评,为中国的人才培养作出了贡献。

萨支唐先后获得的各类荣誉不胜枚举<sup>[9]</sup>,曾获美国半导体工业协会(SIA)最高奖等多项奖励。他是 1965—1978 年世界前 1000 名最常被引用的科学家。萨支唐已获诺贝尔物理奖多次提名。

### 3 邓青云(Ching W. Tang, 1947—)

邓青云(图3),1947年出生于香港元朗,美籍科学家,现任香港科技大学赛马会高等研究院东亚银行教授、美国罗彻斯特大学荣休教授。他是美国物理学会会士、美国信息学会院士,2006年因在有机发光二极管(OLED)和异质结有机太阳能电池(OPV)上取得的开创性成就被选为美国国家工程院院士、香港科学院创院院士,被誉为“OLED之父”。1967年,邓青云离开香港到英属哥伦比亚大学修读学士课程,1970年以一级荣誉取得化学理学学士学位,1975年在康奈尔大学取得物理化学博士学位。毕业后他加入柯达研究实验室,开始了在柯达长达31年的研究生涯。邓青云在2003年成为柯达研究实验室特聘研究员。他于2006年从柯达荣休后,成为美国罗彻斯特大学 Doris Johns Cherry

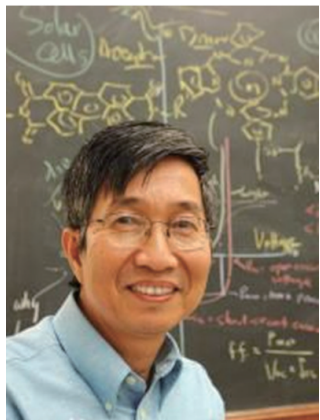


图3 邓青云

化学工程学系教授。邓青云于2013年加入香港科技大学。

邓青云是国际著名材料物理学家和化学家,以有机光电子学的研究闻名全球,其中以有机发光二极管(OLED)的发明最为瞩目。他在美国柯达研究实验室担任研究员时,于1986—1989年,发明了OLED和有机太阳能电池,带动了有机光电子学的发展。

OLED是近几十年来快速发展起来的有巨大前景的新型平板显示技术。目前已经实现了全彩色OLED显示,小尺寸的OLED彩色显示屏已经被应用在手机显示屏、数码相机及平板电脑上。OLED获得如此多的研究和应用,缘于它突出的技术特点和巨大的应用前景,包括:(1)材料选择范围宽,采用有机物作为发光材料,理论上可实现任意颜色显示;(2)驱动电压低,通常直流电压3~10 V即可;(3)发光效率和发光亮度高;(4)固态主动发光、视角广( $>170^\circ$ );(5)响应速率快( $<1 \mu\text{s}$ );(6)工艺相对简单、成本低;(7)超薄、重量轻;(8)温度性能稳定,耐低温( $-40^\circ\text{C}$ );(9)器件可做在柔性衬底上,可弯曲、折叠实现柔性显示或照明,还可实现大面积显示和照明等。OLED是目前替代LCD的主要产品,从2017年开始,市场占有率稳步提高<sup>[11-14]</sup>。

尽管人们对电致发光(electroluminescence, EL)的研究可以追溯到20世纪20年代,但现代意义上的OLED的发明归之于邓青云。现在学术界

一致认为,邓青云的发现及其后续研究的路径,例如有机发光染料掺杂改变发光颜色等,为后来OLED和OPV的研究指明了方向。可以毫不讳言地说,现在的OLED和OPV的研究框架,基本都是基于邓青云打下的研究基础,是对其结构的优化和新材料的采用。邓青云发明的有机太阳能电池和OLED,对科学技术发展做出了突出贡献并产生了巨大的社会经济价值,引领了该产业的发展方向,创造了上千亿美元的全球市场<sup>[15]</sup>。

邓青云获奖颇多。2011年获得沃尔夫化学奖(其重要性在化学领域仅次于诺贝尔奖)。2014年,邓青云获得汤森路透引文桂冠奖。邓青云曾获前雇主伊士曼柯达公司颁发的杰出发明家奖,亦获得罗切斯特知识产权法律学会的年度发明家奖,被美国消费电子协会列为名人堂人物。2019年6月14日,邓青云因其为高效OLED的诞生及应用做出的开创性贡献,荣获素有“日本诺贝尔奖”之称的京都奖(Kyoto Prize)先进技术奖。2014年,邓青云获诺贝尔化学奖提名<sup>[16]</sup>。

邓青云2011年受聘为苏州大学讲座教授,自此交流颇多。邓青云于2013年在苏州大学建立“邓青云国际联合实验室”,2015年受聘为苏州大学国际顾问。邓青云作为实验室的负责人,为联合实验室集聚了一批国际上相关领域的顶尖科学家,已在相关领域获得重要研究成果。同时,邓青云经常对苏州大学的年轻教师和研究生进行直接指导,对苏州市OLED产业化发展提供极为有益的帮助,在培养苏州OLED研究领域的青年学者、促进苏州与国际领先OLED研究团队的交流合作方面发挥了重要作用。邓青云还推荐多位国际知名OLED专家,前来苏州大学进行学术交流。2019年8月,他被聘为苏州市荣誉市民。

在与笔者交往过程中,邓教授谈起对科学发明也颇有心得。他说科学新发现有时有一定的偶然性。他以自己为例。1975年刚博士毕业的邓青云加入到柯达实验室,当时的主要工作是有机太阳能电池的研发,并没有从事OLED的研发。1979年的一天晚上,邓青云在回家的路上忽然想起有东西忘

记在实验室,于是就返回实验室,他发现在黑暗中有一个亮亮的东西。追本溯源,最终发明了 OLED。这个意外惊喜为 OLED 的诞生拉开了序幕,而他也因此被称为“OLED 之父”。

## 4 结论

当今信息化社会,集成电路工业飞速发展,关系到世界范围内各大主要经济体的发展前景。以计算机、手机设备芯片为代表的微电子器件,更是各国发展的重点,也关系到中国在 21 世纪下一步的发展。在 IC 产业发展的过程中,中国在相当长的一段时间内落后于世界发展水平。经过改革开放 40 年的发展,特别是在 2000 年后,中国的技术发展有了长足的进步,这离不开一些在世界微电子领域作出杰出贡献的华裔科学家,包括本文列出的 3 位杰出代表。事实上取得诺奖级发明成就的华人微电子科学家远不止这 3 位,还有如因发明 FinFET 而获得美国国家科学技术奖的胡正明(该项发明使得摩尔定律得以延续)、发明分子束外延的卓以和、发明半导体量子阱及超晶格的张立纲等科学家,他们不仅为国内提供咨询,有的还直接参与到人才培养中来。他们的成就不仅昭示着华人有能力、有才智发展好 IC 产业,而且还能勇立潮头。

### 参考文献(References)

- [1] 施敏. 半导体器件物理与工艺[M]. 赵鹤鸣, 钱敏, 黄秋萍, 译. 苏州: 苏州大学出版社, 2002: 543.
- [2] 施敏. 半导体器件物理与工艺基础版[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2009: 224.
- [3] 茹国平, 黄宜平. 《半导体器件物理与工艺》书评[J]. 物理, 2004, 33(3): 230-231.
- [4] 陈兴昌. 微电子领域人才的摇篮——评《半导体器件物理与工艺》[J]. 苏州大学学报(工科版), 2003, 23(5): 101-102.
- [5] 李文石, 钱敏, 黄秋萍. 施敏院士论微电子学教育[J]. 教育家, 2003, (3): 11-16.
- [6] 李文石. 记忆的云彩——施敏院士访谈录[J]. 发明与创新, 2003(6): 17.
- [7] 李文石, 钱敏, 黄秋萍. 施敏院士的讲学艺术[J]. 教育家, 2002(3): 9-12.
- [8] 苏秦. 以品牌意识和可持续性理念打造精品教材——评“十二五”国家重点图书出版规划项目《半导体器件物理与工艺(第三版)》[J]. 经济研究导刊, 2014(32): 266-267.
- [9] 萨支唐(Chih-tang Sah)[EB/OL]. [2019-07-13]. [http://cas-ad.cas.cn/sourcedb\\_ad\\_cas/zw2/ysxx/wjysmd/200906/t20090624\\_1808832.html](http://cas-ad.cas.cn/sourcedb_ad_cas/zw2/ysxx/wjysmd/200906/t20090624_1808832.html).
- [10] 萨支唐. 固态电子学基础[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2003.
- [11] Professor Ching W TANG elected as ASHK Founding Member in 2015[EB/OL]. [2019-07-13]. <http://www.ashk.org.hk/en/ourMembers/details/26>.
- [12] OLED 之父邓青云: OLED 已成熟 2~3 年内将取代液晶[EB/OL]. (2015-12-25) [2019-07-13]. [http://www.sohu.com/a/50615693\\_119923](http://www.sohu.com/a/50615693_119923).
- [13] 王珍. OLED 之父邓青云: 中国将占据 OLED 半壁江山[EB/OL]. (2014-03-24) [2019-07-13]. <http://it.people.com.cn/n/2014/0324/c1009-24712982.html>.
- [14] OLED 之父乃华人 揭开 OLED 鲜为人知的秘密[EB/OL]. (2012-07-19) [2019-07-13]. <http://it.sohu.com/20120719/n348553519.shtml>.
- [15] 有机发光二极管之父邓青云教授做客清华论坛[EB/OL]. (2017-09-28) [2019-07-13]. [https://www.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9659/2017/0170928114732788-689017/20170928114732788689017\\_.html](https://www.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9659/2017/0170928114732788-689017/20170928114732788689017_.html).
- [16] 华人科学家邓青云等 3 人荣获 2019 年京都奖[EB/OL]. (2016-06-15) [2019-07-13]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2019/6/427431.shtml>.

## Three Nobel Prize nominated ethnic Chinese scientists in the field of microelectronic devices

QIAN Min<sup>1,2</sup>

1. Department of Electronics & Information, Wenzheng College, Soochow University, Suzhou 215104, China
2. Department of Microelectronics, School of Electronics & Information, Soochow University, Suzhou 215006, China

**Abstract** Microelectronic technology is the cornerstone of modern information society, and microelectronic devices are the key components of microelectronic technology. Three Nobel Prize nominated ethnic Chinese scientists who are still active in microelectronics research and industry are introduced, and their main contributions to and great influence on the microelectronics industry are described. Simon M. Sze is the inventor of non-volatile memory which is the necessary component of electronic information products such as computers and mobile phones; Chih-Tang Sah is the inventor of CMOS technology which is the main technology used in modern integrated circuits; Ching W. Tang is the father of OLED which is the most promising third generation of flat display technology.

**Keywords** microelectronic device; ethnic Chinese scientists; Nobel Prize nominated ●



(责任编辑 王志敏)