

# 中国半导体工业技术体系的起步与成长 (1949—1978)

吴熙, 潜伟<sup>✉</sup>

(北京科技大学 科技史与文化遗产研究院, 北京 100083)

**摘要:** 1949—1978年是新中国半导体技术起步成长的阶段, 其发展脉络可以从政、企、教、研四个维度进行梳理。从电信工业局到第四机械工业部、从“156项目”到三线建设、从院校教育到职工教育、从国产第一根锗晶体管的诞生到“南锗北硅”路线的形成, 回顾这段历史, 可以发现: 国家扶持是科技成长的关键, 自主创新是民族工业成长的必由之路, 民用市场是技术创新的活力源, 自组织机制是产业技术升级迭代的关键。

**关键词:** 电子工业; 半导体; 晶体管; 南锗北硅; 科研体制

**中图分类号:** 322.9 ; K27      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-4969(2021)06-0589-12

## 引言

新中国成立至今, 我国在半导体技术上付出了巨大努力, 并一度于20世纪六七十年代取得了辉煌成就, 突破了西方国家对我国实行的技术封锁。这些努力并不仅仅体现在关键技术的突破上, 其更是一种将科技体制、产业规划等诸多方面包含在内的全方位的持续探索。时至今日, 我国的半导体技术历经了数个发展阶段与多项重大工程, 在技术人员储备、技术资金投入等方面都具备了一定规模, 但距离世界领先水平仍有明显的差距。系统性地回顾我国在建国初期开展过的各项政府规划与重大工程, 对于我国依然面临着技术封锁困境的当下, 有着重要的借鉴意义。

《当代中国的电子工业》是我国于20世纪90年代组织编写的一本新中国电子工业史料, 其中包含有丰富的历史资料与原始数据<sup>[1]</sup>。与半导体相关的工程研究、人物研究和校史研究亦有了相当的研究规模<sup>[2-5]</sup>, 但个体视角只能帮助我们管窥

到新中国电子工业史的冰山一角, 容易忽视其时代背景下个人选择与国家命运之间的交织互动。本文试图从政、产、学、研维度, 进行多角度总结与梳理, 力图展现出新中国电子工业半导体技术史的概貌。

## 1 政府主导下的产业规划

### 1.1 电信工业局与第二机械工业部

新中国成立初期, 我国接管了旧有的民族资本和官僚资本电信器材修造企业, 这批企业成为新中国电子工业发展的起点。彼时的中国电信企业人才稀少, 技术薄弱, 大多分散在天津、南京、上海等地, 且受旧中国制度的影响, 在管理方式和未来发展规划方面还不能适应新社会发展的要求。针对这样的局面, 1950年5月, 政务院批准在重工业部(第一机械工业部, 简称“一机部”)内成立电信工业局, 对全国的电信企业进行统一规划管理。

收稿日期: 2021-08-19; 修回日期: 2021-10-20

作者简介: 吴熙(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为技术史、工业遗产。E-mail: 757994118@qq.com

<sup>✉</sup>潜伟(1972—), 男, 博士, 教授, 研究方向为技术史、工业遗产、科技与社会。E-mail: qianwei@ustb.edu.cn(通讯作者)

1953年,我国第一个五年计划展开,国家考虑到电信企业的军工性质(当时电信企业所生产的电子元器件和电子整机用途多为军用,民用极少),决定“以军为主”,为国防建设服务,于是将电子工业纳入国防工业的建制下,将主管电子工业的电信工业局纳入第二机械工业部(国防工业部,以下简称“二机部”),成为二机部的第十局。

## 1.2 “十二年规划”与“四项紧急措施”

“十二年规划”是指《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要》,是新中国成立以后出台的第一个科技规划,对中国科技事业的宏观把控与科技体制的完善有着不可估量的作用。在制定“十二年规划”时,成立了半导体科学技术发展规划制定小组,时任中国科学院应用物理所所长施汝为任组长,黄昆与王守武任副组长,他们为使半导体科技在“十二年规划”中占有重要地位做出了巨大的努力。小组指出,尽管有关半导体方面的研究在国际上属于新兴的方向,其未来有很大的不可控因素,但半导体技术有着广阔的应用前景,对于我国国防及工业化进程有着不可替代的作用<sup>[5]75</sup>。

在“十二年规划”最终出台的57项科技任务中,半导体技术位列其中第40项。不仅如此,半导体技术还成为12个重点任务中的一项。在“十二年规划”初稿完成后,针对其中内容类目过于繁杂的问题,全国科学规划委员会提交了一份《发展计算技术、半导体技术、无线电电子学、自动学和远距离操纵技术的紧急措施方案》(以下简称“四项紧急措施”),周恩来亲自批示同意,指定中国科学院承担实施。四项紧急措施里规定了有关半导体技术所应做的具体工作,以及有关半导体材料的科学研究体系、工业生产体系的发展布局,为中国半导体事业的发展奠定了基础。

1960年,第40项任务基本完成,“十二年规划”中的半导体科学技术发展任务在不到五年的

时间里基本完成<sup>[5]93</sup>。

## 1.3 第四机械工业部

1953—1963年,经过十年建设期,中国电子工业及其半导体产业已初具规模。20世纪60年代初期,国民对更高水平的经济生活需求日渐旺盛,在保证支持国防发展的基础上,半导体产业将一部分产能转向了民用领域。1963年,中央决定建立第四机械工业部,即无线电工业部(以下简称“四机部”),对整个国家电子工业进行统一规划,在军用与民用领域之间合理分配资源。

四机部成立以后,向中央提交的第一份报告便是《现代无线电电子工业的作用和我国无线电电子工业发展建设问题的报告》。这个报告通过仔细分析军用产品和民用产品的供求关系,第一次明确提出了电子工业要为四个现代化服务的方针<sup>[1]49</sup>。该方针提出的背景是:当时的电子工业产品主要集中在军用领域,民用领域严重短缺,企业受统购包销政策的束缚无法进行及时调整。

因此,针对这种情况,四机部时任部长王诤指出:“未来的世界是电子技术的世界,电子工业要最大限度地满足全国人民日益增长的文化和物质生活的需要,生产企业不能抱着军工产品不放,且企业之间需要有竞争,才能更好地为人民、为军队服务<sup>[6]282</sup>。”此报告的提出,一定程度上改善了电子技术严重脱离民生和民用领域的情况。

各类电子设备的半导体化是电子工业发展过程中的不可缺失的一环。1963年底,时任部长王诤主持召开了“中短波、中小型通信设备系列化、标准化、小型化、半导体化会议”。在会议中,王诤认为中国的国情军情不能全部照搬苏联通信装备体系,他首次提出通信装备要向小型化、多路化、半导体化方向发展的指导思想<sup>[6]311</sup>,这一思想为促进中国电子设备半导体化的进程做出了重大贡献。1965年底,中国完成了半导体工业化生产的飞跃——这一年里半导体器件的产量已超过电子管的产量,电子产品已开始由第一代向第二

代过渡<sup>[1]53</sup>。

#### 1.4 “三线建设”中半导体产业的发展

“三线建设”时期,受当时国际关系恶化的影响以及后期“左”倾路线的干扰,四机部大量重要科研项目与生产建设工作停滞,电子工业为四个现代化服务的方针被迫改变。在此期间,中央对地方半导体产业布局进行了重新调整,尤其是规划了企业与学校的三线建设工程。

自1964年始,一批骨干企业陆续从中心城市迁往偏远地区,一批学校(包括高等院校和中等专业学校)异地新建分校或改建为生产工厂。在新的布局调整中,半导体化的军民产品比例得到了一定程度的改善,民用产品比例缓步上升。但是总体来看,异地搬迁造成的“孤岛”和“飞地”效应,使许多迁往偏远山区的企业与学校发展状况极差,收效甚微。企业造出来的产品质量不高,残次品较多。而原有骨干技术人员难以兼顾首尾,许多拆分企业与学校得不到配套工业和技术基础支持,只能“自力更生”。这极大限制了行业的正常发展。

1972年10月,周恩来在专委会上提出,电子工业要“天下为公,发挥两个积极性,统筹安排,军民兼顾”;同年11月,国家计委颁布《关于推广应用电子技术的通知》(以下简称《通知》),进一步强调了电子工业在“四个现代化”中的突出作用。为贯彻周恩来的指示与《通知》通知中的要求,王铮于同年10月召开了半导体器件专业会议,并举办了半导体器件质量和应用展览,编印了推广应用项目汇编,汇编中提出了20个方面的半导体器件推广应用项目。这一系列措施部分地改善了半导体产业在三线建设过程中的不利状况。1973年,电子工业为农、渔、石油、交通等国民经济部门服务的民用产品完成150种、48万部,与上年相比增加了15倍<sup>[1]65</sup>,为电子工业的“四个现代化”做出了巨大贡献。

#### 1.5 电子工业恢复性发展

1976年10月,“文化大革命”结束后,四机部于1977年召开了电子工业学大庆会议。这次会议是电子工业界内的一次盛会,各省市自治区的电子工业主管部门负责人都到场参与了会议,时任中共中央主席华国锋还为电子工业题词:“发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神,加速发展电子工业,努力攀登电子科学技术高峰。”此后掀开了大庆新一轮电子工业学高潮,部分恢复了因“文化大革命”而停滞的科研生产任务。之后一年,中央发布了《关于加快工业发展若干问题的决定》(以下简称“工业三十条”),这也是当时指导“工交战线”拨乱反正的重要文件。这些会议与文件使得中国半导体产业取得了恢复性发展。

### 2 半导体企业的建设与发展

#### 2.1 对旧有官僚资本主义企业进行的改造

新中国成立后,中央政府对旧中国的官僚资本主义企业实行没收接管,这批企业大多集中在南京、上海、天津等地,一共有12家,都为器材组装厂,完全依赖从美国进口电子元器件<sup>[1]26</sup>。政府决定,一方面保留原厂建制,对尚有库存的电子元器件继续进行组装,维持整机生产能力,对所缺电子元器件着手研发,解决缺货问题;另一方面,对企业员工进行思想改造,使这些人才为新中国的发展积极贡献。

上述企业在1950年开始的抗美援朝战争中迎来了一次快速成长的机会。当时的中央政府指示,战争期间中国人民解放军所用各式通信设备全部由我国企业生产,利用抗美援朝的战争需求,打造出我国电子工业基础。这批企业在当时“保家卫国”的爱国主义精神鼓舞下,发奋图强,自力更生,克服重重困难发展生产。1952年,全国电子工业总产值2691.5万元,比1949年增长6.5倍,职工数量由原来的4500人增长至1.3万人,三年生产无线电通信设备13种、1.7万台,生产

电话机 4 种、16.9 万部<sup>[1]31</sup>。正是这次机遇,使中国电子工业开始从修理装配阶段进入工业性生产阶段。

进入工业性生产阶段,意味着中国不仅需要拥有电子产品的整机装配能力,更需要具备电子元器件的制造能力。当时的电子元器件以电子管器件为主,在该项技术上,新中国的第一个专业化电子管厂——南京电子管厂,为中国电子管的自主化生产做出了巨大贡献。《江苏省志·电子工业志》记载:

“1949 年 4 月 23 日南京解放后,南京电照厂(作者注:南京电子管厂前身)单宗肃工程师带领 20 多名职工在‘电工楼’紧张工作,没有煤气就用汽油气化来代替,没有电子管阴极材料就用铁皮镀镍代用,没有专用灯丝成型设备就搞土法绕制,经过 120 天的奋战,于 12 月独立自主研制成功 866A 高压水银整流管……1951 年,南京电工厂(作者注:南京电子管厂原名)面对帝国主义封锁,试制成 2E22 型小功率发射管,当年生产 1053 只,1952 年产量达 15626 只,用于装备 15 瓦电台,支援了抗美援朝战争。<sup>[7]309</sup>”

## 2.2 “一五”计划期间中国电子工业企业的发展

整个“一五”计划期间(1953—1957),国家对电子工业共投资了 5.55 亿元<sup>[1]33</sup>。在苏联援建中国的 156 个重点建设项目中,有 9 个属于电子工业。在那个年代,电真空器件就是电子工业的“食粮”,而制造电子元器件所需的材料、设备、工艺等条件中国尚不完备。自主制造电子设备和元器件不仅需要形成上下游产业链,还需要有配套化、协同化的工业技术环境,而这是新中国所缺乏的。苏联援建下的这些电子工业项目为中国电子工业上下游产业链的形成及其现代化立下了汗马功劳。比如,当时的华北无线电联合厂,下

设了 6 个分厂,能同时进行电声、电阻电容、陶瓷和磁性材料、模具以及动力的生产,被《人民日报》称作“我国第一座规模巨大的现代化的制造无线电元件的综合性工厂”;在北京电子管厂生产电子管的过程中,一条基本指导原则便是尽最大可能使用国产材料,其电子管所需镍材就由上海益昌五金厂提供、由精诚厂进行电镀。这些配套厂家是当时中国电子工业体系化发展的有力支撑。

## 2.3 “一五”计划后半导体器件工业的起步

1957 年,北京电子管厂(以下简称“774 厂”)成立半导体实验室,采用电真空器件的封接技术,试制出锗二极管和锗合金晶体管。1959 年 2 月拉制锗单晶成功,这是中国工厂拉制出的第一根单晶。中国企业对硅的研发,则始于华北无线电器材联合厂(以下简称“718 厂”)。1959 年,718 厂拉制出中国工厂自产的第一根硅单晶,此后南京电子管厂、上海元件五厂等单位相继开始研制和仿制。

20 世纪 50 年代末期,多种类型半导体器件产品开始如雨后春笋般出现,如半导体微波器件(导弹、卫星、广播电视等通信需要)、半导体光电器件(光探测器、发光二极管、电荷耦合器件等可用于探测、成像、遥感等用途)、半导体敏感器件(气敏、热敏、光敏等)等。

1964 年,四机部决定在北京电子管厂建立年产 300 万只锗低频小功率管生产线,这也是我国自行设计的第一条锗晶体管半机械化生产线。生产线建设成功后,北京电子管厂半导体器件的产量便一直居于全国领先地位,代表着中国半导体器件工业的正式启航。而这一时期,半导体器件的应用领域也逐渐由军用领域转向民用领域,四机部先后参与组织了一系列的半导体收音机“大

根据北京电子管厂厂史编辑委员会 1985 年编撰的《北京电子管厂厂史》(内部资料)第 56-72 页。

根据北京电子管厂厂史编辑委员会 1985 年编撰的《北京电子管厂厂史》(内部资料)第 61 页。

会战”。例如北京市就于 1964 年组织了半导体收音机大会战, 10 月成功收官, 在此之后半导体收音机在全国得到普及。

## 2.4 半导体集成电路产业的发展

半导体应用分为两大块: 一种是独立封装成管的半导体分立器件, 上述二极管、三极管、敏感器件等均属于这类器件, 一般在进行整机装配时作电源、开关、显示、整流器、接收与发射器等使用; 另一种则是将多种晶体管集成并封装于同一块基板上, 使之实现计算、处理复杂数据等多种电路功能, 这种半导体器件被称为集成电路。在集成电路生产方面, 国家在北京、上海重点布局。1965 年, 上海元件五厂同中国科学院上海冶金所合作, 试制出 DTL 门电路; 1968 年, 上海无线电十四厂开始生产 PMOS 电路; 同年, 国家为了尽快发展集成电路这门新型工业, 开始筹建我国第一个集成电路专业化生产工厂——北京东光电子厂<sup>[1]280</sup>。该厂由北京无线电工业学校改建而成, 北京电子管厂抽调部分技术人员参与。其在巅峰时期与上海无线电十九厂合称集成电路生产中的“两霸”。而上海无线电十九厂, 于 1970 年由上海元件五厂五车间分离独立而成, 是我国最早生产双极型数字集成电路的工厂。

## 2.5 三线建设中半导体产业的布局

1965 年, 根据中央“三线”建设规划, 四机部开始系统推进各地的电子工业“三线”建设项目。此后十余年里, 四机部在全国各地尤其是偏远山区先后建立起数座半导体器件生产工厂(如贵州都匀风光电子厂); 另外, 还对其他一些半导体分立器件生产厂家进行改造, 使之转为集成电路专业生产厂家(如甘肃天水天光电子厂)。“三线”建设的施行使得全国电子企业数量出现了大幅度的增加。1965 年, 全国共有电子企业数量 461 家, 其中中央下属电子企业 92 家, 地方性电子企业 369 家。而到了 1970 年, 全国电子企业数量发

展至 2531 家, 其中中央下属电子企业 172 家, 地方性电子企业 2359 家<sup>[8] -2</sup>。这些工厂在一定程度上带动了地方经济与科技发展, 为当地提供了新的就业岗位, 培养了专业人才, 拓宽了产业领域。

但也可以看出, “三线”建设时期部分类似的投资布局并不合理。有一些工厂选址过分强调了“靠山、分散、隐蔽”, 这样的规划割断了产业内部的有机联系, 使原有的技术力量无法协同, 产业优势和资源优势无法形成。由《中国电子工业年鉴(1986)》的数据可知, 截至 1965 年, 13 个三线省份中有 5 个省份(贵州、云南、青海、宁夏、广西)的电子工业基础过于薄弱以至于没有具体数据, 到了 1970 年, 仍有 3 个省份(云南、青海、宁夏)空白<sup>[8]III-5</sup>。相较于“三五”时期, “四五”期间, 除河南省外的 9 个三线省份(四川、贵州、陕西、甘肃、河北、湖北、湖南、广西、山西)的年均增长速度都出现了幅度不一的下滑, 这与 1965—1970 年间电子企业大举迁入三线省份以至于企业数量暴增近 7 倍的情况不相匹配<sup>[8]III-5</sup>。企业的流动资金周转率也可以反映出三线建设中电子企业的经营状况。中央直属电子企业在 1968 年和 1973 年的流动资金周转天数达到了惊人的 712 天和 700 天, 远大于 1965 年的 248 天<sup>[8]III-17</sup>。

现在我们知道, 半导体产业是一个技术密集型产业, 它对产业链上下游的技术匹配和质量精度要求甚高, 有关环节缺一不可。彼时中国的交通网络并不发达, 13 个三线省份中, 有 11 个省份的地貌都以山地为主。如青川新光电子厂, 位居山沟, 交通极为闭塞, 尤其是位于龙门山地震带上, 在这样一个地震频发的地区建设工业非明智之举。三线建设中被分散到全国各地的企业, 需自行构建上下游产业链, 很多时候需要就近“拉郎配”, 这样生产出来的产品质量与经济效益可想而知。

1976 年“文革”结束, 前期针对半导体产业进行的三线建设恶果凸显。由于上述企业的产品

质量和规模远不及预期, 这些工厂大都进行了拆分重组或改变了经营方向。而针对原有基础较好的企业, 国家组织了大规模的技术引进与项目攻关。如 1976 年, 国家投资 4900 万在北京东光电机厂建立了 5000 平方米净化厂房, 单项引进一条“拼盘”生产线<sup>[1]282</sup>。此后, 通过 20 世纪 80 年代初的大规模国外引进, 我国的集成电路产业逐步扭亏为盈, 具有了一定的自主研发能力。

### 3 院校教育与人才培养

#### 3.1 新中国初期的半导体教育

1951 年, 新中国共有 36 所高等学校设置了电机系或电讯系, 在校生达到了 4600 人<sup>[1]339</sup>。1952 年, 全国进行了院系调整, 经过拆分重组, 全国共有 14 所院校设有电机系或电讯系。

新中国的半导体教育起源于 1951 年 10 月中科院应用物理研究所成立的电学组(后称半导体组), 由我国著名半导体专家、后来的中科院院士王守武任组长。他与后来的中科院院士汤定元一起, 在 1951 年至 1954 年期间指导十余位大学生进行了相关研究<sup>[5]62</sup>, 在半导体整流器、检波器、光敏电阻等器件方面取得了阶段性成果。

起步肇始, 我国并没有自己的半导体教材, 也没有现成的教学案例可以借鉴。所幸, 我国最早开展半导体研究的科学家们或多或少都有固体物理学相关的研究经历, 而半导体物理学在很大程度上是通过固体物理学相关的研究衍生而出的。1955 年上半年, 我国著名半导体物理学家黄昆牵头, 与王守武、洪朝生、汤定元四人在北京大学物理系固体物理专业合作开设了“半导体物理学”课程, 该课程的受众以接受过系统固体物理学教育的大学四年级学生为主, 前后共招了 20 名学生, 授课内容完全依靠这四位学者自身的知识体系与科研经历而定<sup>[9]38</sup>。这段教学经历为之后北大半导体专业的开设打下了基础。

在王守武、黄昆等人率先开展半导体教育与

研究的同时, 国家新成立了一批工科专门学院, 如我国电子类院校中最著名的两所院校——解放军通信工程学院(现西安电子科技大学前身)与成都电讯工程学院(现成都电子科技大学前身)均建于此时期, 这两所高校之后都设立了半导体相关专业。

#### 3.2 新中国第一个半导体专业的成立

我国半导体教育建制化的起点源于“十二年规划”。在“十二年规划”里, 半导体与计算机、核物理、电子学和自动化被确立为重点发展的五大学科。1956 年, 在“十二年规划”指导下, 教育部决定在北京大学筹办我国第一个半导体专业, 这个半导体专业的师资队伍由五所高校[北京大学、复旦大学、厦门大学、东北人民大学(吉林大学前身)和南京大学]半导体领域的老师组合而成, 黄昆任主任, 谢希德(中科院院士, 复旦大学原校长)任副主任。该专业连续两年培养了 241 名毕业生, 后又以北大学生为主选拔了其他四个学校的少数大四学生, 使之成为五年制学生<sup>[10]</sup>。这批学生毕业后大多成为了我国半导体和集成电路行业的骨干, 其中中科院院士、中芯国际创始人王阳元院士就是这个专业第一批学生中的一员<sup>[10]</sup>。

北大半导体专业运作期间, 一切课程的开设、教学内容的筹备都是从零起步。尽管当时中国急需半导体人才, 但为了让学生具备广阔的学科视野与扎实的学科基础, 老师们没有急于求成, 而是慎重地保留了理论物理学基础的四大课(理论力学、量子力学、统计物理、电动力学)<sup>[9]6</sup>。在此基础上, “半导体物理”“晶体管原理”“半导体器件”“半导体工艺”“半导体物理实验”等课程相继被开发出来, 渐次组成了我国半导体学科体系的雏形。更加值得一提的是, “半导体物理”是所有半导体专业课的基础课程, 学生们需要对半导体基本物理现象和理论进行系统学习, 教材的支撑不可或缺。黄昆与谢希德二人主编了中国半

导体领域的第一本专业教材《半导体物理学》<sup>[9]5</sup>。在之后的很长时间内, 它都被作为半导体专业学生及研究人员的基本参考书使用。

### 3.3 曲折中前进的院校建设

在北京大学的带动下, 各高校分别创建了半导体教研室并增加了招生规模, 如清华大学半导体教研室紧随其后, 于 1957 年底成立。1958 年 11 月 20 日, 中央军委向中央提交了一份报告, 其中提到需要大量无线电电子学干部, 随后全国工科院校开始大办电子类专业。其中西安通信工程学院 1958—1961 年间招生 8018 人<sup>[1]393</sup>, 在校人数将近 9000 人, 成都电讯工程学院 1957—1960 年的招生规模扩大了三倍, 在校人数达到了 15000 人之多<sup>[1]341</sup>。1965 年, 由成都电讯工程学院成立的国防工科无线电专业教材委员会, 出版教学用书 24 种。教学用书的出版, 使我国电子工业人才的培养开始有章可循, 走上规范化发展的道路, 各院校电子类人才培养有了较为一致的标准。

1966—1976 年“文化大革命”期间, 教育投资只占电子工业基建投资的 0.5%~0.6%<sup>[1]344</sup>。这十年大致可分为两个时期。第一个时期为 1966—1971 年。这段时期学生们纷纷响应“无产阶级文化大革命”的号召, 走出课堂, 走向社会, 实施“学校办工厂”政策。这项工作于 1970 年基本结束, 有关学校在 1971 年之前都未进行新一轮招生。第二个时期为 1971—1976 年。从 1971 年开始, 两所电子高校和六所中专和技工学校部分恢复招生<sup>[1]343</sup>。此时实行的是“厂校一体”制, 即一套领导班子分管厂校政工、教学、生产和后勤工作。在招生教学方针上, 采取的是“开门办学”“以典型产品带教学”等教育理念, 这些理念虽有一定积极意义, 但对理论学习和课堂教学却造成

严重忽视, 甚至是废止, 所以很大程度上妨碍了正常教学秩序的维持。此情况直到“文革”结束后才得到改善。

### 3.4 具有中国特色的职工教育

职工教育是我国特有的一类教育, 其主要受教育群体是工厂职工。新中国成立伊始, 人民受教育的程度普遍很低, 加之我国人口基数大, 所以光靠院校教育是无法完成科学知识普及的。在人民群众大规模投入劳动的过程中, 国家一是鼓励将“师傅带徒弟”以合同的方式确立下来, 二是鼓励有能力的工厂开设技术训练班。774 厂就是典型代表。1955 年, 此厂选拔了一批初中文化程度的职工开办了基础技术学习班, 一年之后, 又先后开办文化班、中等专业班、业余专业训练班和俄语班。到了 1956 年 9 月, 774 厂又与 718 厂、738 厂(北京最大的三个电子厂)一起创办了酒仙桥业余无线电工程学院, 从小学、初中、高中(含技校)到大学, 初步形成了一个比较完整的职工教育体系。

1958 年“大跃进”开始后, 职工教育比例得到了迅猛提升。人数激增给职工教育带来了一定的负担, 使教学质量出现了一定的下降。以酒仙桥业余无线电工程学院为例, 在 1956—1966 年期间, 累计毕业生 383 人, 肄业生达到了 2600 多人<sup>[1]351</sup>。但不可否认的是, 职工教育的出现, 极大地提升了工厂工人的文化和专业知识水平, 大量具有职业和专业素养的员工成为工厂创新发展的基本力量。

“文革”开始后, 职工教育受到了严重摧残, 许多工厂办学的教员与学员被批评为“走白专道路”, 大量职工教育机构、设施被撤销。1972 年, 四机部下设了教育局, 开始针对各电子工厂、研究所恢复其职工教育职能。随后, 共有 24 所工人

根据桂林电子科技大学 2010 年编撰《桂林电子科技大学校史(1960—2010)》(内部资料)第 14 页。

根据北京电子管厂厂史编辑委员会 1985 年编撰的《北京电子管厂厂史》(内部资料)第 245 页。

大学班重新开办。但受当时招生教学方针影响, 此时职工教育的情况总体上并没有得到改善。直到 1981 年, 职工教育开始得到全面的恢复。

可以说, 新中国成立三十年来, 中国半导体教育走出了一条从无到有、从弱到强的自强道路。从体制上看, 中国的半导体教育体系横跨教育部和四机部(1963 年之前是二机部十局)两套机构。其中, 教育部负责主管普通大中专院校中的各半导体专业的设立、调整和建设; 四机部负责管理本系统设立的电子类大中专院校(现电子科技大学、西安电子科技大学、杭州电子科技大学、桂林电子科技大学、北京信息科技大学), 以及各地方电子工业部门和电子厂下属的电子类专业院校。这两个系统相辅相成、相得益彰。从教育目标上看, 两个系统中半导体专业的教育目标大体一致, 但电子工业系统直属的各地方院校的专业教育规划更多以国防需求为导向(尤其是四机部部属院校, 其日常运行中均有国防科委注资), 更多受到了国防相关部门的影响。

## 4 研发体系和研究成果

### 4.1 新中国初期电子工业的研发体系

新中国成立以前, 中国在电子领域并没有形成建制化的专业研发体系。新中国成立后, 中国电子领域的研发体系随着整个国家科研体系的构建而形成。1949 年 11 月, 中国科学院成立, 标志着中国国家科研体系建设走向正规化。中科院成立之初共由 14 个研究所组成, 其中应用物理研究所(现中科院物理研究所)由原中央研究院物理研究所和北平研究院物理研究所合并而成, 于 1950 年成立。我国的半导体研究起源于应用物理所内设立的电学组, 后改称半导体组。“十二年规划”和“四项紧急措施”提出后, 1956 年, 中科院筹建计算技术、电子学、自动化及远距离操纵三个研究所及应用物理所半导体研究室, 此半导体研究室就是以原半导体组为核心成立的; 1958

年, 半导体研究室脱离应用物理所, 单独成立半导体研究所, 宋之春任所长, 王守武、林平任副所长。这四个研究所在日后的研究之中, 也是互有交叉、互有合作。

20 世纪 50 年代初期, 中科院作为科研领域的主力军, 其承担的科研项目数量在国家科研任务总数中占的比重最高, 如在“十二年规划”的 57 项任务中, 以中科院为“主要负责单位”“联合负责单位”及“主要协作单位”的任务占总项数的 87.7%<sup>[12]</sup>。各高校专业研究团队也作为独立的科研力量, 分担了除中科院以外的诸多科研任务。另外, 还有产业部门及各地方企业所属的科研机构, 主要负责将科研成果转化为实际产品, 将其产业化, 并在产业化的过程中, 将实际生产过程中遇到的困难和问题反馈给各级研究单位, 促进科学研究与生产开发相结合。至 20 世纪 50 年代中期, 中国初步形成了中科院、中央产业部委所属科研院所、高等院校和地方科研机构等 4 个方面力量组成的科技研究体系<sup>[13]</sup>。

### 4.2 半导体领域“南锗北硅”路线的形成

1956 年, 中国科学院应用物理所成立半导体研究室(现中科院半导体研究所)后, 在其下设立了半导体材料、半导体器件、半导体光热电三个研究组, 成为我国最早的半导体研究机构<sup>[5]79</sup>。

半导体技术的基础是材料。在当时, 国际上的主流材料主要有两种: 锗和硅。当时国际上对硅的材料特性和具体应用正处于探索阶段, 而基于锗的半导体技术相对成熟, 所以王守武决定从锗材料入手, 首先制造锗单晶。1956 年 11 月, 半导体研究室下设的半导体器件组成功制成合金结锗晶体管, 这是中国自制的第一只晶体管。1957 年, 锗单晶拉制成功, 这是中国拉制成功的第一根单晶。1958 年, 中国的第一根硅单晶也在半导体研究室拉制成功。

半导体研究室在半导体单晶制备方面取得的飞速进展鼓舞了上海市大力发展电子工业的信

心。1958年,在中共上海市委、上海市人民委员会的支持下,以工厂、研究所、高等学校相结合的方式,开始全力开发相关的半导体技术<sup>[14]</sup>。其中,复旦大学负责锗单晶的制备,上海有色金属研究所、华东化工学院等单位负责锗材料的研制与相关化学试剂的开发,上海市电讯电器工业公司负责开发半导体器件的制造工艺与加工设备<sup>[14]</sup>。同年5月,上海市电讯电器工业公司组织学习小组前往北京深造,在京期间,该学习小组得到了北京相关半导体研发与生产机构的大力支持,以林兰英、李志坚为首的半导体专家根据中国半导体研究情况,正式提出了“南锗北硅”的研究路线,即以中科院、清华以及有色金属所为代表的北方地区以开发硅为主,南方以上海地区为代表的研究力量以开发锗为主<sup>[15]</sup>。此后,上海地区相继开发出锗点接触二极管及锗合金结晶体管、锗单晶、锗三极管等一系列产品,并设立了上海半导体厂,1960年,上海半导体厂改名为上海元件五厂,该厂为中国电子工业的发展壮大做出了一定贡献。

### 4.3 半导体技术的自主创新与探索

“南锗北硅”路线形成后,1960年,二机部十局设立综合性半导体研究所——河北半导体研究所(以下简称“13所”),主要针对以硅为主的半导体器件进行研究。1965年,13所设计了中国第一块集成电路(DTL门电路),突破了硅平面管技术,同时新建了3条1.5英寸硅平面管生产线,奠定了我国早期半导体器件研制的基础。此后,在光电器件、微波器件等等分立器件方面,13所均做出了相应贡献。

四川固体电路研究所于1968年设立,是中国筹建的第一个集成电路专业化研究所<sup>[1]280</sup>。在“文革”结束后,分别参与了高性能四位微处理机电路、4k位动态存储器、DJS—062微处理机等重要产品的研制,还帮助北京东光电机厂建设了我国第一个超净厂房与第一条“拼盘”生产线,为我国集成电路先期发展立下了汗马功劳。

在追溯了中科院半导体研究所、河北半导体研究所、四川固体电路研究所这三个具有历史意义的重要机构后,不得不提到的还有南京固体器件研究所(以下简称“55所”)。该所作为“南锗北硅”研究路线中“锗”的一方,于20世纪80年代经历了一段相对坎坷的命运。“南锗北硅”路线确立后,南京55所承担了关于锗、砷化镓等半导体材料的研制工作,与北方的13所形成了一南一北两个半导体器件研究中心,并取得了一定进展(如砷化镓高优值变容二极管的研制等)<sup>[16]</sup>。但锗、砷化镓等材料由于稀缺性以及性能不佳等方面的原因,在与硅材料的竞争中,逐渐处于下风。而南京55所在我国计划科学体制要求下,仍不断地承接国家关于锗、砷化镓等半导体材料与器件的研发任务,最终于20世纪80年代末在经济体制改革背景下,将其主攻方向转向以硅为主的功率电子器件与射频电子器件上。从技术史的角度看,在技术“进化”的分叉点上,存在着多种可能的路径,究竟应该选择哪条路径,只有经过时间检验才能明了。所以,从这个角度看,55所的坎坷经历仍具有重要的历史意义。

## 5 总结与反思

基于以上梳理,笔者对1949—1978年中国半导体技术发展历程概括如下。

半导体技术在中国的发展脉络可以分为政、产、学、研四个方面。在“政”方面,新中国成立后的前30年里,计划科学在科技体制里占领了主导地位,政府规划、行政决策以及政策引导在半导体技术发展中起到了决定性的作用。在“产”方面,半导体企业几乎全部脱胎于国家接管或投资建设的电子类企业,总体上服从国家战略需要和政府指令,20世纪80年代以前一直以军用为导向,走的是国防需求带动半导体技术发展的模式。在“学”方面,“十二年规划”(1956)确定的以“任务带学科”的方针对电子学教育产生了重要影响,且各高校的相关学科,以培养人才、

承担科研任务等方式,对中国半导体科技发展起到了巨大的推动作用。在“研”方面,在中国计划科技体制下,中科院和四机部为承担起了半导体领域中绝大多数关键性项目或任务,它们与高校、地方企业的研究机构一起,组成了我国半导体领域的研发体系。

这30年中,中国半导体技术发展的特点可以归纳为以下四点。第一,计划性。无论是在生产、教育亦或是研究方面,各类决策、计划、规划与政策一直是中国电子工业发展中不可或缺的一环。

第二,自主性。这个时段,由于国外技术封锁等原因,中国半导体技术的创新和迭代主要是自主完成的。

第三,军用性。电子工业和半导体技术主要服务于国防工业,无论是从科研项目看,还是从产品类型看,军用远大于民用。

第四,发散性。各级科研机构、各地院校、生产部门总体上处于全面开花,四处出击,各自为战的状态,缺乏合理的分工与协作。

从以上特点,得出以下四方面的启示。

第一,国家扶持是科技成长的关键。新中国成立之初,可谓一穷二白,中国的电子科学与技术几乎是在零基础上起步。考虑到电子技术在国防和经济中的战略性地位,中央政府迅速组建相应的科研体系和人才培养体系,改造、扶持电讯企业,制订国家级计划和规划,从而使电子科学和产业技术迅速起步并成长起来。可以设想,没有国家力量的强势介入和国家计划的系统实施,中国电子技术及其工业化水平是不可能不到10年的时间里接近发达国家水平的。

第二,自主创新是民族工业成长的必由之路。新中国成立后的30年,中国电子技术及其半导体

技术发展是在西方国家的极度封锁下进行的,“一五”期间的苏联援建虽然给了中国有力的帮助,但是随后的毁约不得不让中国科学家与工程师们卧薪尝胆、奋发图强。正是依靠自主创新、独立探索,中国的电子工业及其半导体技术才得以成长起来,给当时的国防和国民经济建设以有力的支持,确立起中国的大国地位。

第三,民用市场是技术创新的活力源泉。在此期间,电子产业实现了两次技术迭代:第一次是半导体晶体管迭代真空电子管,中国与西方国家几乎同步完成;第二次是半导体集成电路迭代半导体晶体管,中国却迟迟没有完成。1977年王守武在全国科教工作座谈会(由邓小平主持)上,用一个例子来说明当时中国集成电路发展情况:全国600多家半导体生产工厂一年的集成电路器件产量不及日本一家2000人工厂月产量的十分之一。究其原因,虽然与当时的政治运动(“文革”影响)和僵化的计划体制有关,但更直接的原因是对民用市场的忽视。中国的半导体技术长期以军工为导向,自主研发的集成电路一开始即被使用于军用计算机上。但是总体来看,军用电子产品(雷达、电台、导弹等是主体)需要的是稳定性、可靠性和专一性,在这方面集成电路远没有分立器件更能满足要求。对比同时期的西方发达国家,技术迭代主要由企业推动完成。企业面对的主要是民用领域的消费型电子产品(通常为电话、电视、收音机、电脑等产品),这类产品对第三代技术(半导体集成电路技术)的依赖性极高。企业通过研发相应的IC产品从民用市场获得巨额利润,这些利润反过来又用于企业的技术研发,助推集成电路技术升级和新产品开发。由于中国半导体产业没有形成类似的良性循环,所以集成

---

第一代电子技术以真空电子管为代表,第二代电子技术以半导体晶体管为代表,第三代电子技术以半导体集成电路为代表。晶体管相对于真空电子管来说,有着更好的耐久性、稳定性与灵活性,并且体积更小,在相同体积整机运行下,晶体管能更加出色地完成工作。集成电路在运算效率和完成复杂任务方面远超晶体管,但是其稳定性远不如作为分立器件的单个晶体管,其对环境的要求十分苛刻,高性能集成电路只有在适宜的室内环境中才能稳定工作。

电路技术的广泛应用与后续创新没能同步跟上, 并逐渐落后于西方国家。

第四, 自组织机制是产业技术升级迭代的关键。从电信工业局、四机部的成立, 到三线建设中对半导体产业的重新调整, 从“十二年规划”制订到“工业三十条”发布, 可以看出, 新中国半导体产业的组织力主要来自产业外部的调度指令(行政指令和政策规划), 这种调控模式属于“他组织”过程。今天我们知道, 半导体行业是一个知识和资金密集型行业, 需要集聚大量的专门人才和巨额的资金投入, 构建科学合理的产业内部结构, 形成规模化的协作效应。这种行业内的自组织结构需要一个宽松自由的社会环境, 由业内的技术主体根据技术逻辑、行业要求和经济原则自觉构建完成。如“摩尔定律”就是美国半导体产业通过自组织机制形成的产业内演化规律, 它清楚地指示了半导体产业的技术迭代时间, 为企业决策提供了重要参考。而在外部因素(如政府)干预的情况下, 这个规律就无法呈现出来, 企业发展就变得十分盲目。

由于掌握材料和知识水平的局限, 所述情况可能有所疏漏, 对于这段历史特点的把握和领会认知亦显浅陋, 还望同行专家给予批评指正, 以惠国益业。

## 参考文献

[1] 刘寅. 当代中国的电子工业[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1987.

- [2] 王公. “卡脖子”技术的突破: 中国微电子技术微米级台阶的跨越[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2019, 11(6): 587-603.
- [3] 李昕, 孙烈. 追寻半导体材料的自立自强: 十二年科技规划时期江苏锗提炼的探索过程[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2021, 13(1): 65-73.
- [4] 胡启立. “芯”路历程: “909”超大规模集成电路工程纪实[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [5] 李艳平, 康静, 尹晓冬. 硅芯筑梦·王守武传[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2015.
- [6] 中国人民解放军通信部. 怀念王诤[M]. 北京: 电子工业出版社, 1992.
- [7] 江苏省地方志编纂委员会. 江苏省志·电子工业志[M]. 南京: 江苏人民出版社, 1994.
- [8] 中国电子工业年鉴委员会. 中国电子工业年鉴 1986[M]. 北京: 电子工业出版社, 1986.
- [9] 夏建白, 陈辰嘉, 何春藩. 自主创新之路: 纪念中国半导体事业五十周年[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [10] 纪念黄昆先生百年诞辰筹备委员会. 一代宗师 厚德流光: 纪念黄昆先生百年诞辰[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 45.
- [11] 李建东. 信息网络理论基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [12] 樊洪业. 中国科学院编年史: 1949—1999[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 1999.
- [13] 孙烈. 中国科技体制的演变[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(9): 970-981.
- [14] 《上海电子仪表工业志》编纂委员会. 上海电子仪表工业志[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1999: 370.
- [15] 杨舰, 王佳楠, 王公, 等. 微纳世界中国芯 李志坚传[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2017: 73-76.
- [16] 朱明. 振奋精神迎“复关”: 半导体的两大进军和中国经济起飞的突破口(四)[J]. 科学学与科学技术管理, 1993, 14(10): 10-16.

## The Start and Growth of China's Semiconductor Industry Technology (1949—1978)

Wu Xi, Qian Wei✉

*(Institute for Science and Technology History and Cultural Heritage, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)*

**Abstract:** The period from 1949 to 1978 was the initial growth stage of semiconductor technology in New China, and its development context can be combed from four dimensions: politics, enterprises, education and research. From the Telecommunications Industry Bureau to the Fourth Ministry of Machinery Industry, “156 project” to the third line construction, college education to staff education, the birth of the first domestic germanium transistor to the formation of the “south germanium and north silicon” route, we can find that national support is the key to the growth of science and technology, and independent innovation is the only way for the growth of a national industry. Civil market is a source of vitality for technological innovation, and self-organization mechanisms are the key to the iteration of industrial technology advancements.

**Key Words:** electronic industry; semiconductor; transistor; south germanium and north silicon; scientific research system