

# 中国的电子信息技术与高端装备 —— 成就、问题与分析

曹健林\*

季华实验室, 佛山 528200

\* 通信作者. E-mail: caojl@jihualab.com

收稿日期: 2024-10-16; 修回日期: 2024-12-25; 接受日期: 2025-01-02; 网络出版日期: 2025-04-07

**摘要** 高端装备的研发与制造比较薄弱是我国当前电子信息产业进一步发展的最大痛点与难点. 本文分析了问题产生的原因——制造业企业的分类和全球分布情况, 介绍了我国缺乏第 4 类制造类企业 (能够在其生产的装备中集成相关最新技术成果) 的原因, 明确提出要做好高端装备的研发与制造生产, 必须依靠 3 支技术队伍 (用装备, 造装备, 和从事基础技术研究) 的长期、稳定和密切合作.

**关键词** 电子信息技术, 高端装备, 制造企业, 技术队伍

## 1 引言

我是复旦大学 1977 级学生, 1982 年毕业于物理系气体放电物理专业. 毕业之后的 40 多年时间里, 一直从事信息科学与技术的相关学习、研发、产业化和管理工作. 受复旦大学信息科学与工程学院的邀请, 为纪念母校建校 120 周年写一篇文章, 感到十分荣幸.

今天的中国已是全球最大的电子信息终端产品生产国, 主要电子信息终端产品的全球市场占有率几乎都是首位; 同时也是最大的电子信息产品消费国, 中国人的信息消费水平应该说也走到了世界前列.

在看到成就的同时, 更应该看到目前我们面临的问题和挑战. 本文的观点是基于自己工作体会的归纳和总结, 欢迎有兴趣的同志们讨论、交流.

## 2 昨天与今天

今天的信息技术和相应电子信息产品完全构建在芯片技术和产品的基础之上 (本文也以芯片产业为重点展开讨论), 没有相应的芯片, 信息技术和产品就是一句空话.

除了晶体材料之外, 芯片产业的发展必须有相应的装备基础, 而这类装备的两个最重要支撑技术就是精密机械和工程光学. 本人 1982 年考入中国科学院长春光学精密机械与物理研究所读研究生, 该所是中国现代光学的发源地, 也是国内精密光学和精密机械设计、检测、加工最高水平的单位之一. 从

**引用格式:** 曹健林. 中国的电子信息技术与高端装备 —— 成就、问题与分析. 中国科学: 信息科学, 2025, 55: 837-840, doi: 10.1360/SSI-2024-0307

Cao J L. China's electronic information technology and high-end equipment—achievements, problems, and analysis. Sci Sin Inform, 2025, 55: 837-840, doi: 10.1360/SSI-2024-0307

当时的条件看,要达到微米精度的运动控制十分困难,以此为基础研发芯片生产装备几乎不可能;少数亚微米精度的光学检测和加工要靠老师傅的感观经验,重复性、可靠性很难保证.这类检测和加工装备从来都是禁运的,想自己研发?国家没有这样的任务和项目.

在近30年的时间里,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研发过 EUV 光学领域的光源、光学元器件(包括超光滑表面加工检测技术、多层膜技术)、单色仪、探测器,也得到了一些成功的应用成果,是国内相关领域国家项目的唯一承担单位.为什么这些工作没有集聚成工业装备?原因很简单,一是没有现实需求,二是我们的研发经费比起国外同行们至少差两个数量级.

改革开放之后,发达国家的电子信息产品大量进入中国,生产制造装备也随着外资和合资企业的设立而进入;到1990年,部分生产制造装备和工艺也开始进入中国市场.开放的结果在大幅度提升我国终端产品生产制造能力的同时,对本土的相关基础技术、装备和工艺研发是一种巨大的冲击.能买到的东西为什么要研发?这类问题一直在影响和冲击着我国产业界和科技界的研发活动.这就是所谓的“赢家通吃”——市场经济条件下高技术研发和高技术产业发展过程中的常见现象.

幸运的是,2008年,在中国上述情况开始发生变化.这一年中央政府启动了国家重大专项,使中国相关产业、研究机构和高校的科技队伍终于有了可以与国际同行相比较的资源支持,从而信心倍增,开始了加速追赶和力求超越的新长征.从这一年开始,在国家重大专项的引领下,中国的集成电路研发和产业开始逐步形成链条,生态明显改善,产出和竞争力迅速提高.

这些结果再次向我们揭示了集成电路产业发展的两个突出特点.首先,这是一门应用科学和应用技术,是典型的需求牵引,没有应用需求就没有高速发展,中国集成电路产业的高速发展和中国从2010年起成为全球第一工业制造大国是互相支持、互相印证的;其次,集成电路产业和相关的基础与科技是典型的多学科多技术综合,产业竞争力是典型的综合实力比拼,必须下大力气把相关学科和技术力量组织起来,共同奋斗才能有好结果.

### 3 问题与挑战

#### 3.1 3 方面的问题

在看到发展与进步的同时,中国集成电路科技与产业界对自己存在的问题和面临的挑战也有越来越清醒的认识.这些问题可以归纳为三大方面.

首先,我们在生产制造方面还远远不能满足现实需求.中国还不是芯片制造大国,离强国则差得更远.其次,中国在集成电路相关基础科学研究与技术积累方面还有明显差距.最后,在技术路线和发展方式上我们迄今为止几乎全部是严重的“路径依赖”——沿着发达国家走过的路线走,缺啥补啥,进口替代.这种方式有其现实性和合理性,但从长远发展的眼光来看,这种方式是被动的,无法实现超越.即使是解决当下的急迫问题,我们也需要扬长补短,敢于大胆突破.

上述三方面的问题都是系统性的,需要长期奋斗才能逐步解决.就当下和未来几年的时间段来看,以光刻机为代表的芯片制造高端装备是我们面临的重大问题,在许多与先进制造相关的产业中也有类似的问题.自2008年国家重大专项启动以来,我们积累了不少经验,更看清了自己的问题和面临的挑战.

#### 3.2 制造业的全球布局与四类企业

第二次世界大战以后,随着科技进步、生产效率的提高和资本对更多利润的追逐,制造业企业可以分为4类<sup>[1]</sup>.第1类是生产制成品的企业(面向终端消费者),第2类是生产能源、材料和零部件的企业,第3类是生产装备、工具的企业,第4类是生产高端装备和特殊材料(集成相关技术的最高水平成果)的企业.其中第1和2类企业已大量分布于发展中国家,第3和4类企业,尤其是第4类企业仍全部集中在发达国家.从产业规模和就业人数上看,第1和2类企业要大很多,而第3和4类企业

所需更多的技术积累与支撑,第4类企业则更需有能力集成应用相关学科与技术研究的最新成果,我们将这类企业生产的装备统称为高端装备.它们还是政府科技攻关项目和产业政策的重点支持对象,产品也是政府科技和贸易政策的重点控制对象.

改革开放40多年来,中国的产业进步与升级得益于融入全球化洪流,许多产业的生产制造装备主要是由发达国家的第3和第4类企业提供.以我比较熟悉的集成电路、显示和发光二极管(LED)照明产业为例,其主要生产制造和检测装备基本上都是来自发达国家.近年来国外第3和第4类企业已经不能再向中国出售产品,我们必须发展起中国自己的、能满足中国企业要求且有竞争力的第3和第4类企业.

我们还必须进一步完善高端装备的研发环境,其中的一项重要工作就是要有“演兵场”(也称之为“试验线”或“验证线”).必须认清以下3个基本事实.

(1) 中国的第1和第2类企业已经是国际水平的,他们提出的装备要求也一定是国际水平的,这样的装备不可能一次性研发成功,必须有试验考核和迭代发展的机会.

(2) 国外的第4类企业是跟着领先企业(领域开拓企业)一路发展起来的,由此积累了大量制造、检测、测试、连线、试生产和改进的关键技能(know-how),这些东西只能在干中学,而且这一课必须补,舍此无法得到设备应用企业的信任.

(3) 装备制造企业不应该把应用生产企业当“演兵场”,尤其是集成电路生产企业,其建厂费用往往数以百亿元计,负担很重.进入集成电路企业生产线的装备不仅要满足工艺要求,还必须有足够的稳定性和可靠性,否则后果不堪设想.

上述事实也使人们理解,国际上的高端装备企业为什么能形成并保持垄断.产品应用企业的宝贵信任和取得这种信任的高额“演兵”费用,是众多企业望而生畏且不敢进入的最重要原因之一.

如果国产装备没有演示、验证和迭代提高的机会,不仅难于进入实际生产线,还会使支撑装备的相关技术和工艺研究无法持续与深入,这将是一个恶性循环.不破除这个恶性循环,发展高端装备产业就是一句空话.

### 3.3 3 支技术队伍

进一步分析高端装备研发所涉及的专业技术队伍,依照其主要工作内容和专业特长可以分为以下三类.

(1) 用装备的队伍.主要工作是掌握并发挥现有装备的能力和效率,同时指明面临的问题和解决问题的方向.

(2) 造装备的队伍.主要工作是集成已掌握的技术去研发、制造和量产装备.

(3) 关键基础技术研发队伍.这支队伍专门从事高端装备所涉及的关键技术研发,如精密机械、工程光学、自动控制与人工智能、先进材料等.

要发展好自己的高端装备产业,必须依靠这3支队伍长期、稳定、密切合作,而要做到这点是非常不容易的.发达国家的第3和第4类企业都用自己的方式保证了3支队伍的合作.而我们常讲的体制机制保障,目标也是为了促成和保证3支队伍的合作.新中国成立之初我们学习借鉴苏联模式,由中华人民共和国工业和信息化部统筹领导,直接管理院校、研究院所和企业,其优势和成功之处也是创建和保证3支队伍合作.今天中国的情况已经完全不同,以集成电路和显示产业为例,第1支队伍主要集中在几家大企业;第2支队伍则基本诞生于21世纪,由原部委研究所改制,或由大学、科研机构的研究人员创办,或由具有海外实际工作经验的技术骨干领军创建;第3支队伍主要集中在大学和专门研究机构(如中国科学院)的专业研究所.3支队伍往往分处不同地域、不同组织、不同资源渠道、不同的所有制和不同的管理机制之下.常见的问题是每支队伍都力求以我为中心,将本应该共同发展的“命运共同体”当作一事一议的短期“利益共同体”.当前的一些管理方式和激励手段甚至还起到了推波助澜的作用.

## 4 结语

高端装备的研发与生产对发展我国电子信息技术及相关产业的重要性已得到越来越多的关注. 除了加大投入之外, 整合资源, 促进 3 支队伍能够紧密合作, 共同攻关的新体制、新机制也在探索之中. 事实上, 这些努力都是中国的电子信息产业近年来不断在逆势中成长的明证. 如果我国的高端装备产业能有突破性进展, 除了解决终端产品生产制造的燃眉急需外, 对于整个信息技术相关领域的科学研究和新技术探索都有巨大促进作用. 一方面使科学研究和技术探索有了工具和条件保障, 不再是“纸上谈兵”和“浅尝辄止”, 更重要的是有了“出口”, 有了汇入经济发展洪流的切实通道. 高端装备产业的突破还将使产业界和科技界更有信心摆脱“路径依赖”, 勇敢地走自己的路. 今天的中国是第一制造大国, 在通信、交通、家电、新能源和社会管理等领域都有其他国家可望不可及的信息技术与产品之应用背景和迭代发展机会. 在原全球分工框架内补足短板、保证产业安全、进一步提高竞争力的同时, 我们有条件按中国的需求去定义系统框架和产品(如芯片)与标准, 以强大的系统创新能力和产品竞争力满足自己的需求, 同时通过“一带一路”走向世界. 要实现这些目标, 最关键的还是掌握在自己手中的高端装备.

## 参考文献

- 1 Cao J L. Emerging productivity and advanced equipment manufacturing: issues, reflections, and practices. *Bull Chin Acad Sci*, 2024, 39: 1557–1563 [曹健林. 新质生产力与高端装备制造: 问题、思考与实践. 中国科学院院刊, 2024, 39: 1557–1563]

# China's electronic information technology and high-end equipment—achievements, problems, and analysis

Jianlin CAO\*

*Jihua Laboratory, Foshan 528200, China*

\* Corresponding author. E-mail: caojl@jihualab.com

**Abstract** The relatively weak research and development (R&D) and manufacturing of high-end equipment represent the most significant challenges hindering the further advancement of China's electronic information industry. This article analyzes the root causes of challenges by analyzing the classification and global distribution of manufacturing enterprises; it highlights China's lack of the fourth type of manufacturing enterprise—those capable of integrating the latest technological advancements into the R&D, manufacturing, and production of high-end equipment necessitates long-term, stable, and close collaboration among three technical teams: equipment users, equipment manufacturers, and basic technical researchers.

**Keywords** electronic information technology, high-end equipment, manufacturing enterprises, technical teams