

芯知

大变局下的半导体集成电路产业剖析

王迎帅

编著

上海科学技术出版社

芯知

大变局下的
半导体集成电路产业剖析

王迎帅 编著

上海科学技术出版社

芯知：

大变局下的半导体 集成电路产业剖析

王迎帅 ▶ 编著



上海科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

芯知：大变局下的半导体集成电路产业剖析 / 王迎帅编著. — 上海：上海科学技术出版社，2023. 5
ISBN 978-7-5478-6178-3

I. ①芯… II. ①王… III. ①半导体集成电路—半导体工业—产业发展—研究—中国 IV. ①F426.63

中国国家版本馆CIP数据核字(2023)第078636号

芯知：大变局下的半导体集成电路产业剖析
王迎帅 编著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F)
邮政编码 201101 www.sstp.cn

印刷

开本 710×1000 1/16 印张 19.75
字数：350千字
2023年5月第1版 2023年5月第1次印刷
ISBN 978-7-5478-6178-3/TN·38
定价：79.00元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题，请向工厂联系调换

内容摘要

本书围绕半导体集成电路产业,既介绍了以设备、材料、EDA、IP 为核心支撑的产业链,又重点围绕集成电路产业链,对产业链上中下游以及行业应用等进行了详细介绍。全书从半导体集成电路的基础知识开始,立足全球的发展现状和趋势分析,进而对影响中国半导体集成电路产业发展的要素和挑战、机遇及方向展开全面的剖析,最后从经济和产业发展的角度,介绍了招商引资与投资风险识别和应对策略,并提出了符合半导体集成电路产业发展规律的具体且操作性强的建议、方法和方案。

本书特色鲜明,既从产业科普的角度,又从政府、行业宏观管理者、产业从业者等的多维度视角,观察、思考和研究半导体集成电路产业,具有一定的知识性和系统性,同时也具有一定的指导和实践参考意义。

本书可供各级政府领导,相关产业部门管理者,产业政策制定者,招商及投资管理部门,半导体集成电路产业“产学研用投”等领域的管理者、经营者和从业者,以及对半导体集成电路产业感兴趣的各界人士阅读参考。

前 言

半导体集成电路产业是现代数字经济发展的战略性、基础性和先导性产业,是新一代信息技术产业中电子信息产业的基础支撑。半导体集成电路产业主要涉及材料(含化学品)、设备、设计、制造、封装测试五大领域,每一领域都可以独立形成相关产业,其产品被广泛地应用于消费类电子、工业类电子、信息通信、航空航天、物联网等行业,是绝大多数电子设备和产品的核心组成部分。

半导体技术最大的应用是集成电路,集成电路是电子信息产品的核心部件,因此集成电路产业属于半导体产业,是资金、技术和人才密集型产业,其产业链主要包括设计业、制造业、封装测试业等。一个国家集成电路产业的技术水平代表了该国在国际电子信息产业中的地位和综合科技实力,因此包括中国在内,美、日、韩、欧盟等国家和地区几乎每年都将集成电路产业列为本国的优先发展产业。

当今世界处于百年未有之大变局,世界格局处于动荡变革期,不稳定性显著上升,半导体集成电路产业在此背景下也越来越具有战略性。从2018年5月美国对中兴通讯开始第一次限制、2019年5月对华为开始第一次限制芯片和操作系统,到2022年8月9日美国《芯片与科学法案》落地,决定对华为禁售用于14nm以下先进制程工艺及制造的相关设备,包括设计软件EDA等,意图阻止中国获得高端芯片制造能力和阻碍相关技术及产业链的发展,美国出台的一系列“法案”和措施,既有维护本国半导体集成电路产业链安全的考虑,又重点想要卡住中国在新兴技术领域发展的“脖子”,让中国失去追赶甚至超越美国的机会。

因此,从全球范围来看,半导体集成电路产业并非处于“太平盛世”;从长期来看,被人为重塑分工格局和市场秩序的结构性的挑战会一直存在,也正经历着

结构性变化的大变局的历史节点。

美国对中国半导体集成电路产业的一贯遏制政策,的确让中国陷入了一定的困境,但也加速和激发了中国半导体集成电路产业自力更生、自主研发的趋势和决心。与此同时,中国半导体集成电路产业在国内巨大的市场需求支撑下,迎来了前所未有的发展和机遇,逐步实现国产替代也成为国内半导体集成电路产业参与国际竞争的路径,确保半导体集成电路供应链自主可控成为主要趋势和动力之一。中国虽然在某些半导体集成电路技术和产业领域有所突破和进展,但在很多基础研究、核心技术等方面落后或受制于发达国家,半导体集成电路产业发展仍然处于“危”与“机”的重大战略期。

无论是政府相关部门的管理者、政策的制定者,还是产业界、教育界、投资界、科研界以及从事半导体集成电路产业生态支撑行业或关心中国乃至世界半导体集成电路产业发展的各界人士和机构,大变局时代下既要躬身入局、低头实干,又要抬头看路、找人谋事布局,用更宏观、客观、全面的视角去了解、把握半导体集成电路产业的规律、特点以及相关产业知识,从而迎接机遇的到来、实现挑战的“破局”。

本书用“半导体集成电路”来表述半导体和集成电路产业,含义是既要从半导体全产业链的科学而宏观的角度来看待该产业,而非偏颇于某一学科,顾此失彼,又要进一步认识和理解集成电路在现代科学和技术中的重要作用,重视其在各种场景中的广泛应用和所发挥的重要性。此外,因中国台湾地区的半导体集成电路产业发展及模式、阶段与大陆不同,本书提及中国,如无特别说明,指的是中国大陆。

本书的编写及出版得到了各级政府领导、各半导体行业协会同行及专家、上海科学技术出版社以及家人的各种支持和鼓励,在此一并表示感谢。

由于水平有限,资历尚浅,本书内容还有很多不尽准确、洞察深度不够以及有待进一步完善之处,但衷心希望能真正为中国半导体集成电路产业的发展尽一份力、发一点热,如此甚幸。

王迎帅

2023年4月

目 录

1 半导体集成电路的基础知识与产业概述

1.1	半导体集成电路的基础知识	_1
1.1.1	半导体集成电路的定义与产业分类	_1
1.1.2	半导体、集成电路和芯片的关系和区别	_16
1.1.3	半导体集成电路产业的基本关键词	_17
1.2	半导体集成电路产业概述	_21
1.2.1	产业链构成与生产经营模式	_21
1.2.2	产业结构的演变	_29
1.2.3	产业地区形态与迁移	_31
1.2.4	产业的特征	_34
1.2.5	产业发展规律、周期与逻辑	_38

2 半导体集成电路产业链上下游行业剖析

2.1	半导体集成电路上游行业剖析	_46
2.1.1	半导体集成电路设备业	_46
2.1.2	半导体集成电路材料业	_48
2.1.3	半导体集成电路 IP 产业与 EDA 工具	_51
2.2	半导体集成电路中游行业开展剖析	_55
2.2.1	半导体集成电路设计业	_55
2.2.2	半导体集成电路制造业	_58
2.2.3	半导体集成电路封装测试业	_61

2.3	半导体集成电路下游行业剖析	_63
2.3.1	消费电子行业集成电路应用剖析	_64
2.3.2	工业领域集成电路应用剖析	_71
2.3.3	通信行业集成电路应用剖析	_74
2.3.4	汽车电子行业集成电路应用剖析	_75
2.3.5	物联网行业集成电路应用剖析	_80
2.3.6	计算机行业集成电路应用剖析	_82
2.3.7	人工智能等新兴领域行业集成电路应用剖析	_83
2.2.8	航空航天行业及军事领域集成电路应用剖析	_90
2.3.9	数据中心、智慧家居、智慧城市等领域集成电路应用剖析	_92

3 全球半导体集成电路产业发展现状与趋势

3.1	半导体集成电路产业在全球经济和社会中的地位	_96
3.2	全球半导体集成电路产业发展现状	_97
3.2.1	产业市场规模	_97
3.2.2	技术发展现状	_104
3.2.3	研发及投资现状	_107
3.2.4	产业结构与分布概况	_111
3.2.5	产业格局与竞争现状	_117
3.3	全球半导体集成电路产业发展趋势	_120
3.3.1	产业发展市场趋势	_120
3.3.2	产业区域格局发展趋势	_124
3.3.3	技术发展趋势	_126
3.3.4	商业发展与市场竞争趋势	_128

4 中国半导体集成电路产业发展现状与趋势

4.1	半导体集成电路产业对中国经济社会发展的意义	_131
4.2	中国半导体集成电路产业政策环境	_132
4.2.1	产业发展历程	_132

4.2.2	产业政策	_ 135
4.2.3	2022 年国家政策及各省市出台政策盘点分析	_ 136
4.3	中国半导体集成电路产业发展现状	_ 138
4.3.1	产业市场规模	_ 141
4.3.2	产业链发展及竞争现状	_ 144
4.3.3	产业相关城市发展情况	_ 154
4.3.4	产业区域分布与特点	_ 159
4.3.5	产业资本市场	_ 161
4.4	中国半导体集成电路产业发展趋势	_ 164
4.4.1	产业市场发展趋势	_ 164
4.4.2	产业区域格局发展趋势	_ 165
4.4.3	产业链发展趋势	_ 166
4.4.4	技术发展趋势	_ 169
4.4.5	产品市场发展趋势与机遇	_ 172

5 中国半导体集成电路产业发展分析与思考

5.1	中国半导体集成电路产业发展的主要影响因素	_ 178
5.1.1	国际外部影响因素	_ 178
5.1.2	国内内部影响因素	_ 181
5.1.3	产业内在因素	_ 184
5.1.4	技术和人才因素	_ 188
5.2	中国半导体集成电路发展尚存不足和短板	_ 189
5.2.1	产业不足与困境	_ 190
5.2.2	企业问题	_ 193
5.2.3	人才问题	_ 194
5.2.4	产业瓶颈问题	_ 195
5.3	中国半导体集成电路产业面临的机遇和挑战	_ 201
5.3.1	产业发展机遇	_ 202
5.3.2	产业主要挑战	_ 204
5.4	中国半导体集成电路产业发展的思考、建议和探讨	_ 207

5.4.1	产业发展的出路探索	_208
5.4.2	产业发展的思考建议	_211

6 中国半导体集成电路产业投资分析与思考

6.1	中国半导体集成电路产业投资及资本市场现状	_216
6.1.1	产业投资现状	_216
6.1.2	投融资概况及投资机构介绍	_219
6.1.3	资本市场现状	_223
6.1.4	各地方政府集成电路产业基金成立及发展概况	_225
6.2	中国半导体集成电路的产业投资与产业发展逻辑	_228
6.2.1	产业发展逻辑	_230
6.2.2	产业投资逻辑	_232
6.3	中国半导体集成电路产业投资机会及方向分析	_244
6.3.1	产业投资机会分析	_244
6.3.2	产业投资方向与重点分析	_247
6.4	中国半导体集成电路产业发展与投资的挑战与思考	_250
6.4.1	投资与发展面临的问题与挑战	_250
6.4.2	产业发展与投资的思考	_252

7 中国半导体集成电路产业项目招商引资与投资风险识别和应对策略

7.1	半导体集成电路产业项目对区域经济发展的作用和意义	_255
7.2	半导体集成电路企业项目选址要素分析	_257
7.2.1	产业的布局和选址要素分析	_257
7.2.2	半导体集成电路生产线建设类项目介绍	_261
7.2.3	中国半导体集成电路产业主要城市与产业园区介绍	_265
7.3	半导体集成电路产业招商引资策略、举措与路径模式	_271
7.3.1	产业招商引资策略与举措	_271
7.3.2	产业招商引资实施路径、模式和方法	_274
7.3.3	产业招商引资注意事项	_281

7.4	半导体集成电路产业投资项目风险识别分析	_283
7.4.1	半导体集成电路产业项目风险因素分析	_285
7.4.2	半导体集成电路产业投资项目失败共性要素分析	_289
7.5	半导体集成电路产业投资项目风险应对策略	_290
7.5.1	半导体集成电路产业项目风险应对法则	_290
7.5.2	半导体集成电路产业投资项目风险主要评估指标及识别模型	_293
7.5.3	半导体集成电路产业投资项目风险管理	_297
	参考文献	_301
	后记	_302

半导体集成电路的基础知识与产业概述

半导体与半导体技术息息相关。半导体技术简单理解就是以半导体为基础核心材料,通过一系列产业链环节和过程最终加工、制成相关器件及集成电路产品的技术。半导体技术最大的应用是集成电路(integration circuit, IC),凡智能手机、各式计算机、移动电脑等各种电器与电子信息产品中,一定都会有集成电路存在。

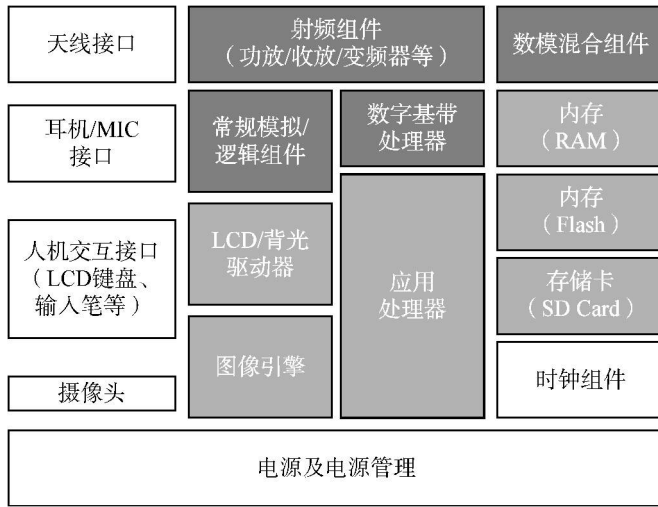
然而,半导体是集成电路的重要原材料,集成电路又是电子产品的核心、信息产业的基石,被称为现代工业的“粮食”,因此本书选用“半导体集成电路”的表述统一概括与介绍。

1.1 半导体集成电路的基础知识

1.1.1 半导体集成电路的定义与产业分类

以人们熟知的智能手机为例,如高通骁龙系列、苹果 A 系列、华为麒麟系列等都是中央处理器(central processing unit, CPU)芯片为手机处理器。手机基带芯片和射频(radio frequency, RF)芯片是数字集成电路;通常所说的 8 G 运行内存 RAM(学名:随机存取存储器)为 DRAM(学名:动态随机存取存储器),64 G 或 128 G 存储空间为 NAND Flash(学名:非易失性存储设备);音视频处理(多媒体)芯片为模拟集成电路。以上这些都属于半导体技术应用的范畴。智能手机系统构成及手机芯片方案示意如图 1-1 所示。

从电子信息产业及行业应用的角度来看,半导体集成电路产业位于电子信息产业的中游,上游是各种电子材料和设备,下游则是各种由半导体集成电路产品



(a) 智能手机系统构成



(b) 手机芯片方案示意

图 1-1 智能手机系统构成及手机芯片方案示意

来源:现代微电子封装材料与封装技术

作为重要构成的终端应用市场。半导体集成电路产品和无源器件以及模组器件通过集成电路板[如印制线路板(printed circuit board, PCB)]连接,构成了智能手机、电脑等电子产品的核心部件,承担信息的载体和传输、计算和分析等功能。本书所讲述的半导体集成电路产业不仅包括了设计、制造和封装测试(简称“封测”)产业链,而且包括了从电子信息产业分离出来的材料、设备等产业,如图 1-2 所示。

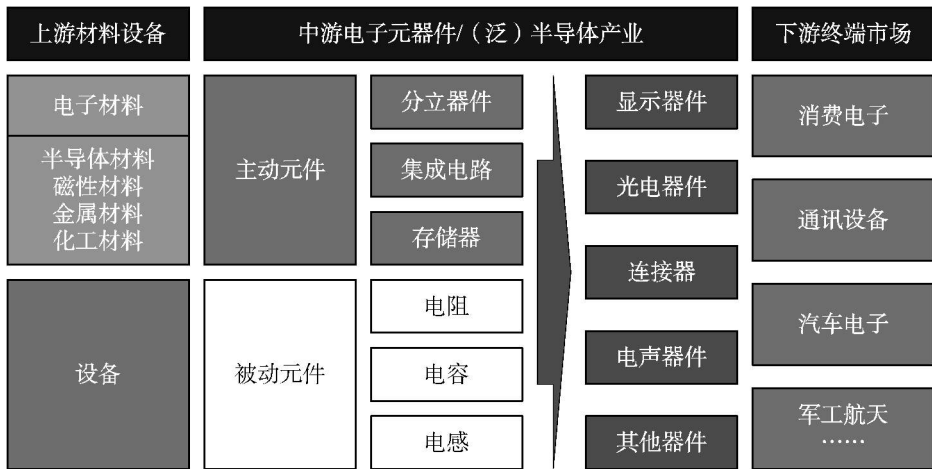


图 1-2 电子信息行业中半导体集成电路产业位置示意

在进一步介绍半导体集成电路产业之前,我们先来了解导体、半导体等相关概念和名词。

1) 半导体的概念与分类

导体,一般是指能传输电、热、声等的物质或物体,通常也可以理解为一种或多种具有上述相应功能的材料的统称。导体一般可细分为超导体、导体、半导体和绝缘体四类。凡是能够导电的固体、液体和气体,如铜、铝等金属,水银、电解液、电离气体等都属于导体。科学及工程上常利用电阻单位 Ω (欧姆)来定义某材料的导电程度,电阻率则反映物质对电流阻碍作用的属性,电阻率越大,其导电能力越差。导体就是电阻率很小且易于传导电流的物质。超导体又称为超导材料,是指在某一温度下,电阻为零的导体。在实验中,若导体电阻的测量值低于 $10\sim 25\ \Omega$,可以认为电阻为零。因此,超导体具有零电阻(完全电导性)、完全抗磁性、通量量子化等特性,例如在生成强磁场方面有许多应用,像MRI核磁共振成像等。

绝缘体是指不容易导电或导电性极差的物体,它们的电阻率极高。常见的绝缘体有塑料、橡胶、玻璃、陶瓷、琥珀、木头以及绝缘油、惰性气体等。

绝缘体和导体不是绝对的,二者之间没有不可逾越的鸿沟。在常温下绝缘的物体,当温度升到相当高的程度,由于可自由移动的电荷数量的增加,就会转化成导体,因此导电能力不仅与材料种类有关,而且还与温度、压力和磁场等外界因素有关。在不同的条件下,不同导体、绝缘体的性质是可以发生变化的。

半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物体,如硅、锗等材料。从科学技术和经济发展的角度来看,半导体虽然现在深刻影响着人们的日常生活及工作,但其实直到 20 世纪 30 年代这一材料才被学术界所认可。半导体材料经历了几代的发展:第一代半导体材料主要是指硅(Si)、锗(Ge)元素半导体材料。其中,以硅基半导体技术较成熟,应用也较广,是最常用、最具有影响力的一种半导体材料。据相关统计,目前全球 95%以上的半导体集成电路和器件是用硅片作为基础功能材料而生产出来的。第二代半导体材料主要是指化合物半导体材料,如砷化镓(GaAs)、锑化铟(InSb)和氮化镓(GaN)等为代表;第三代半导体材料主要以碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN)、氧化锌(ZnO)、金刚石等为代表的宽禁带半导体材料。与第一代、第二代半导体材料相比,第三代半导体材料具有宽的禁带宽度,更高的击穿电场、热导率、电子饱和速率及更高的抗辐射能力,因而更适合于制作高温、高频、抗辐射及大功率器件。

接下来着重介绍目前在半导体集成电路产业中最广泛的第一代半导体材料硅。它是地壳中第二丰富和极为常见的元素,仅次于氧元素,主要存在于砂石之中。砂石可谓遍地皆有,常见的河砂、海砂、山砂等都是以二氧化硅为主体的硅资源,但砂中也含有其他不易分离的杂质。在现代工业生产中,提纯硅比较容易,并能达到很高的纯度,但要从结合牢固的化合物二氧化硅中提炼出硅则很困难,再去除杂质更是难上加难,因此在实际硅的提纯过程中都先尽力寻找“纯净”的砂。河砂虽然可以提炼出单质硅,但由于普通河砂本身的成分以及提炼技术的复杂度,提炼单质硅是非常困难的,成本也相对较大,经济效益较低。因此,半导体集成电路产业所用的硅材料,其主要来源并不是河砂,而是各种含硅的矿石,如脉石英、石英砂等。中国石英砂矿产分布不均匀,全国 20 个省、市、自治区虽然都有分布,但绝大部分集中在新疆、四川和内蒙古等地区。

此外,因为半导体集成电路产业对硅原材料的要求非常高,如要达到 99.999 999 999%的纯度(通常行业说的 11 个 9),晶体晶向一致性以及平整度、光滑度等更高精细化要求的重重叠加,其困难也是呈几何倍数上升的,仅从这一点就可以看出,硅作为制作芯片、硅晶圆的原材料,需要更大的人才力量、高精度的设备,并花费多年的反复工程验证和各种加工制造工艺问题的排查、调校,才能满足相关的精细化要求。因此,很多当时的企业,有的已是现在世界知名的公司,如美国的贝尔实验室、德州仪器公司,欧洲的菲利普、西门子和瓦克等,由于大规模工业生产高品质单晶硅对计算机通信系统、传感器、医疗设备、光伏器件、卫星、宇宙飞船等都有重大影响,抓住了这一历史和产业技术的发展机遇,成为初期的硅生产厂