



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

半导体物理学 简明教程

第2版

陈治明 雷天民 马剑平 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

半导体物理学简明教程

第2版

陈治明 雷天民 马剑平 编



机械工业出版社

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书是在第1版的基础上修订而成,以简明扼要的方式全面地介绍了半导体物理学的基础知识及其新进展,内容包括半导体的物质结构和能带结构、杂质和缺陷,载流子的统计分布及其运动规律,非热平衡状态下的半导体,PN结,金属-半导体接触,异质结和纳米结构、半导体表面与MIS结构,以及半导体效应。

本书适用于本科院校电子科学与技术 and 微电子学专业,也可供相近专业的研究生和工程技术人员阅读和参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 下载或发邮件到 yu57sh@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

半导体物理学简明教程/陈治明,雷天民,马剑平编. —2版. —北京:机械工业出版社,2015.10

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-51628-6

I. ①半… II. ①陈…②雷…③马… III. ①半导体物理学—高等学校—教材 IV. ①O47

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第221999号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于苏华 责任编辑:于苏华

责任校对:张晓蓉 封面设计:张静

责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2016年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·470千字

标准书号:ISBN978-7-111-51628-6

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书是参照教育部高等学校电子科学与技术专业教学指导分委员会提出的电子科学与技术专业和微电子学专业人才培养目标及其对基本课程设置和教学内容的建议，在多年从事半导体物理教学活动的基础上，汇集多位前辈师长的呕心之作编写而成。“半导体物理学”在我国高校独立设课已有半个多世纪，作为半导体与微电子技术这个新兴学科的一门重要基础理论课程，为学科建设和人才培养做出了巨大贡献。就这门课程的教材而言，前有黄昆、谢希德二位大师的开山经典，后有叶良修、刘恩科诸师诠释经典、传承薪火的鸿篇巨制，以及施敏、Neamen 等海外名师及时反映学界最新成就的煌煌名著，讲授此课，自可博采众长，以最容易让学生接受的方式去理解和掌握深奥的理论，为学好后续课程打下坚实基础。

进入新世纪以来，随着我国教育、教学改革的深化和电子与信息产业的迅猛发展，高级专业人才的培养更加侧重素质教育，知识结构开始向多元化方向发展，包括半导体物理学在内，一些传统专业基础课程的学时不得不大幅度削减，而半导体物理的新知识、新理论却在不断涌现，越来越厚的教科书与越来越少的学时形成一种难以化解的冲突。因此，我们不揣冒昧，在多年来讲授半导体物理学时以本书参考文献中所列 12 本教材或专著作为主要参考文献而编写的讲义基础上，加工完善而成这本简明教程。本书在编写时除考虑学时外，更多地还考虑到主要授课对象为高等学校工科高年级学生。

本书是在第 1 版的基础上修订而成，基本保持了传统半导体物理学教材的篇章结构，但有所突破。例如，将半导体光学性质及其应用的一些主要内容合并入讲述非热平衡态半导体的第 3 章等。这样做，主要是为了适应不同计划学时的需要。大体上，讲完全书至少需要 80 学时。学时不足 50 的情况下可只讲前 3 章或前 4 章，学时稍有富余则可依次后延。

本书第 4、5、8 章由西安电子科技大学雷天民教授编写；西安理工大学马剑平教授编写了第 3、7 章；陈治明教授编写了绪论及第 1、2、6 章，并负责策划和全书的统稿。

本书的作者们满怀敬意向参考文献中所列 12 本主要参考与引用书籍的作者和出版社表示最诚挚的感谢，并向为本书选编了大部分习题的西安理工大学杨莺副教授和认真校阅书稿并协助绘制插图的林生晃、刘文涛表示感谢。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第1章 半导体的物质结构和能带结构	11
1.1 半导体的原子结合与晶体结构	11
1.1.1 元素的电负性与原子的结合力	11
1.1.2 共价结合与正四面体结构	12
1.1.3 主要半导体的晶体结构	14
1.2 半导体的电子状态和能带	17
1.2.1 能级与能带	17
1.2.2 零势场与周期势场中的电子状态	18
1.2.3 能带的填充与晶体的导电性及空穴的概念	20
1.3 半导体中载流子的有效质量	22
1.3.1 能带极值附近的 $E(k)$ 函数	22
1.3.2 电子和空穴的有效质量	23
1.3.3 各向异性半导体中载流子的有效质量	24
1.4 半导体中的杂质和缺陷能级	26
1.4.1 杂质的施、受主作用及其能级	26
1.4.2 深能级杂质	30
1.4.3 缺陷的施、受主作用及其能级	32
1.5 典型半导体的能带结构	35
1.5.1 能带结构的基本内容及其表征	35
1.5.2 主要半导体的能带结构	36
1.6 半导体能带工程概要	39
1.6.1 半导体固溶体	39
1.6.2 利用固溶体技术剪裁能带结构	40
1.6.3 能带结构的量子尺寸效应	43
习题	45
第2章 半导体中的载流子及其输运性质	47
2.1 载流子的漂移运动与半导体的电导率	47
2.1.1 欧姆定律的微分形式	47
2.1.2 半导体的电导率	48
2.2 热平衡状态下的载流子统计	48
2.2.1 热平衡状态下的电子和空穴	48
2.2.2 费米分布函数与费米能级	51
2.2.3 费米分布函数与玻耳兹曼分布函数	52
2.2.4 非简并半导体的载流子密度	53
2.2.5 本征半导体的载流子密度	55
2.3 载流子密度对杂质和温度的依赖性	57
2.3.1 杂质电离度	57
2.3.2 非简并半导体载流子密度随温度的变化	58
2.3.3 简并半导体	65
2.4 载流子迁移率	71
2.4.1 恒定电场下载流子漂移运动的微观描述	71
2.4.2 决定载流子迁移率的物理因素	73
2.4.3 有效质量各向异性时的载流子迁移率	73
2.5 载流子散射及其对迁移率的影响	75
2.5.1 散射的物理本质	75
2.5.2 电离杂质散射及其对迁移率的影响	75
2.5.3 晶格振动散射及其对迁移率的影响	77
2.5.4 其他散射机构	81
2.6 半导体的电阻率及其与掺杂浓度和温度的关系	81
2.6.1 半导体的电阻率	81
2.6.2 电阻率与掺杂浓度的关系	82
2.6.3 电阻率与温度的关系	83
2.7 强电场中的载流子输运	84
2.7.1 强电场效应	84
2.7.2 热电子与速度饱和	85
2.7.3 负微分迁移率	87
2.7.4 耿氏效应及其应用	88
2.7.5 强电场下的速度过冲和准弹道输运	89
2.8 半导体的热导率	91
2.8.1 热导率的定义	92
2.8.2 半导体中的导热机构	92
2.8.3 维德曼-弗兰茨定律	93

习题	94	浓度	159
第3章 非热平衡状态下的半导体	96	4.4 PN 结击穿	159
3.1 半导体的非热平衡状态	96	4.4.1 雪崩击穿	160
3.1.1 额外载流子的产生与复合	96	4.4.2 隧道击穿	162
3.1.2 额外载流子的寿命	98	4.4.3 热电击穿	163
3.1.3 准费米能级	100	4.5 PN 结的光伏效应	164
3.2 复合理论	101	4.5.1 光生电动势原理	164
3.2.1 直接辐射复合	101	4.5.2 光照 PN 结的电流-电压方程	164
3.2.2 通过单一复合中心的间接复合	103	4.5.3 光照 PN 结的特征参数	165
3.2.3 表面复合	106	4.6 PN 结发光	166
3.2.4 俄歇复合	107	4.6.1 发光原理	166
3.2.5 陷阱效应及其对复合的影响	108	4.6.2 半导体激光器原理	168
3.3 额外载流子的运动	110	习题	172
3.3.1 额外载流子的扩散与扩散方程	110	第5章 金属-半导体接触	174
3.3.2 扩散方程在不同边界条件下		5.1 金属-半导体接触及其平衡状态	174
的解	112	5.1.1 金属和半导体的功函数	174
3.3.3 电场中的额外载流子运动	114	5.1.2 有功函数差的金属-半导体	
3.3.4 爱因斯坦关系	114	接触	176
3.4 电流连续性方程及其应用	116	5.1.3 表面态对接触电势差的影响	177
3.4.1 电流连续性方程	116	5.1.4 欧姆接触	179
3.4.2 稳态电流连续性方程及其解	117	5.2 金属-半导体接触的非平衡状态	180
3.4.3 连续性方程的应用	118	5.2.1 不同偏置状态下的肖特基势垒	180
3.5 半导体的光吸收	120	5.2.2 正偏肖特基势垒区中的费米	
3.5.1 吸收系数及相关光学常数	121	能级	181
3.5.2 半导体的本征吸收	123	5.2.3 厚势垒金属-半导体接触的伏安	
3.5.3 其他吸收过程	125	特性	182
3.6 半导体的光电导和光致发光	128	5.2.4 薄势垒金属-半导体接触的伏安	
3.6.1 半导体的光电导	129	特性	184
3.6.2 半导体的光致发光	133	5.2.5 金属-半导体接触的少子注入	
习题	136	问题	185
第4章 PN 结	138	5.2.6 非平衡态肖特基势垒接触的特点	
4.1 PN 结的形成及其平衡态	138	及其应用	187
4.1.1 PN 结的形成及其杂质分布	138	习题	187
4.1.2 热平衡状态下的 PN 结	140	第6章 异质结和纳米结构	189
4.2 PN 结的伏安特性	144	6.1 异质结的构成及其能带	189
4.2.1 广义欧姆定律	144	6.1.1 异质结的构成与类型	189
4.2.2 理想状态下的 PN 结伏安特性		6.1.2 理想异质结的能带结构	192
方程	145	6.1.3 界面态对异质结能带结构的	
4.2.3 PN 结伏安特性对理想方程的		影响	195
偏离	150	6.2 异质结特性及其应用	197
4.3 PN 结电容	153	6.2.1 伏安特性	198
4.3.1 PN 结势垒区的电场及电势		6.2.2 注入特性	200
分布	153	6.2.3 光伏特性	201
4.3.2 势垒电容	156	6.2.4 异质结的应用	202
4.3.3 扩散电容	157	6.3 半导体量子阱和超晶格	204
4.3.4 用电容-电压法测量半导体的杂质		6.3.1 量子阱和超晶格的结构与种类	204

6.3.2 量子阱和超晶格中的电子状态	207	7.4.2 表面散射与表面载流子的有效迁移率	233
6.3.3 量子阱效应和超晶格效应	208	7.4.3 影响表面迁移率的主要因素	233
习题	211	7.4.4 表面迁移率模型与载流子的表面饱和漂移速度	235
第7章 半导体表面与 MIS 结构	212	习题	236
7.1 半导体表面与表面态	212	第8章 半导体效应	237
7.1.1 理想晶体表面模型及其解	212	8.1 热电效应	237
7.1.2 实际半导体表面	213	8.1.1 塞贝克效应	237
7.1.3 Si-SiO ₂ 系统的性质及其优化处理	214	8.1.2 珀耳帖效应	241
7.2 表面电场效应与 MIS 结构	216	8.1.3 汤姆逊效应	242
7.2.1 表面电场的产生与应用	216	8.1.4 塞贝克系数、珀耳帖系数和汤姆逊系数间的关系	243
7.2.2 理想 MIS 结构及其表面电场效应	217	8.2 霍尔效应	244
7.2.3 理想 MIS 结构的表面电荷层与表面势	218	8.2.1 霍尔效应原理	244
7.3 MIS 结构的电容-电压特性	223	8.2.2 霍尔迁移率	246
7.3.1 理想 MIS 结构的电容-电压特性	223	8.2.3 霍尔系数	247
7.3.2 实际 MIS 结构的电容-电压特性	227	8.3 磁阻与压阻效应	249
7.4 表面电导与表面迁移率	231	8.3.1 磁阻效应	249
7.4.1 表面电导	232	8.3.2 压阻效应	251
		习题	254
		参考文献	256

绪 论

20 世纪后 20 年，高新技术或高技术（High Tech）这个新名词悄然流行于世。在我国国务院 1986 年颁布的《国家高技术研究发展计划纲要》（863 计划）确定的 7 个高科技领域中，信息技术、激光技术和材料技术这三个领域包含有半导体技术；而另外四个领域——航天技术、自动化技术、能源技术和生物技术则以半导体技术作为基础或重要支柱。在国务院 1991 年颁布的《国家高新技术产业开发区高新技术企业认定条件和办法》规定的十大高新技术产业中，同样是要么包含了半导体技术，要么以半导体技术作为重要支撑。可以说，半导体技术已广泛渗透于各个科技领域，因而是最当之无愧的“High Tech”。

半导体工业直至 20 世纪 50 年代才萌芽，仰仗当时科技进步的最新成就而获得惊人进展，反过来又成为所有“High Tech”赖以诞生和发展的基础。半导体技术之所以能称为“High Tech”，还表现在它一方面对人类精神文明和物质文明的进步起着无法估量的积极作用，一方面又难以让常人对其有恰当的认识，尤其不能像导弹和航天器之类的高新技术产品那样给人以感性的了解。在 20 世纪 50 年代，很少有非专业人士知道半导体这个名词，更谈不上对它有正确的理解，以至于到 60 年代半导体收音机进入寻常百姓家时，半导体成了半导体收音机的代名词。其后数十年，人们仍习惯于把这种只装备有为数不多半导体器件的简单装置称为半导体。对具有成千上万乃至难以数计半导体器件的电视机、计算机和移动电话等，反而没有多少人能把它们同半导体自然联系起来。现在，即便是偏远乡村，也鲜有与半导体器件无缘的家庭，拥有数百万以上半导体器件而毫无觉察的家庭已不在少数。据统计，世界人均半导体晶体管占有量在 21 世纪初已超过 1 亿只。世界已经发展到应该用半导体器件的拥有量来评价一个家庭、一个办公室，乃至一个机构的文明程度的阶段。有人把半导体技术在 20 世纪社会与科技进步中起到的作用，与蒸汽机在 19 世纪所起的作用相比，把受半导体技术推动的信息时代的到来称之为第二次工业革命的开始。其实，半导体技术的发展现仍处于上升时期，准确评价其历史作用的时间也许还没有到来。

1. 什么是半导体？

绝大多数教科书习惯于按材料导电能力的高低来区分导体、半导体和绝缘体，把电阻率介于金属和绝缘体之间的材料定义为半导体。这固然是一个非常通俗而容易被广泛接受的定义，但毋庸讳言的是它也比较模糊而欠准确。首先，半导体本来就是一种电阻率易变，且变化范围很宽的材料。某些结构完整且不包含杂质，或杂质浓度极低的高纯结晶态半导体，以及大多数未掺杂的非晶态半导体，室温下也会具有跟绝缘体不相上下的高电阻率；而当它们含有足够高浓度的某些特殊杂质时，其电阻率又会下降到金属的电阻率范畴，甚至比某些导电性欠佳的金属电阻率还低。这种现象被称为电阻率的结构和组分敏感性。最典型的例子就是金刚石。在过去的很多专著和教科书中，金刚石被称为绝缘体，而现在被归入半导体之列。不仅是金刚石，很多半导体在不含杂质的高纯状态都呈高阻如绝缘体，而在有效杂质浓度足够高时又呈低阻如导体。例如，在微波和光电子学领域应用很广的半导体 GaAs（砷化镓），其不含杂质和晶格缺陷时的室温电阻率可达 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ($1 \Omega \cdot \text{cm} = 1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$)，但当其有效杂质含量超过 1/1000 时，其电阻率也会低至 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。在这两个极端之间，其电阻率会随着有效杂质浓度的升高而连续下降。这里强调杂质的有效性，是因为并非任何杂质都能改变一种半导体的导电性。

除此之外，半导体的导电能力还与某些外部条件有关。与金属和绝缘体相比，半导体的电阻率对光照、磁场和电场等外部条件的敏感性要强得多。因而从本质上说，半导体是导电性明显依赖于材料的状态和环境，因而可以灵活改变的一类特殊物质。正是因为有这样灵活多变的特点，

半导体才可以用来制造如晶体管、二极管那样一些电子器件，而导电性难以明显改变的金属和绝缘体却无此能力。

以上所说针对的是一个不变的温度，而半导体是一种电阻率会随温度改变，且变化趋势与金属截然不同的材料。众所周知，金属的电阻率随着温度的升高而升高，而半导体的电阻率基本上随着温度的升高而下降。也就是说，如果把一种材料的电阻率随温度变化的规律 $\rho(T)$ 表示为如下线性关系：

$$\rho(T) = \rho_0 + \alpha T$$

则式中的温度系数 α 对金属总为正数，对半导体则基本为负数，只在有效杂质浓度较高时的某一段温度区为正数。

金属和半导体的另一显著区别，是在接近绝对零度的极低温下，金属的电阻率普遍会极度下降，有许多金属还会成为电阻率极小的超导体；而半导体的电阻率则一般会极度增大，达到绝缘体的水平。只有极少数按其基本特性可以归类于半导体的材料，如 GeTe 和 ZnTe 等，在 1K 以下的极低温下也会显示出超导性。对半导体而言，这是极少的例外。

金属也有例外，如铟和铋的电阻率跟有效杂质浓度较高的半导体差不多，但并不像半导体那样对温度和光照敏感，因而不属于半导体而被称为半金属。

于是，不妨将半导体定义为这样一类材料：它们在绝对零度无任何导电能力，但其导电性随温度升高呈总体上升趋势，且对光照等外部条件和材料的纯度与结构完整性等内部条件十分敏感。

2. 哪些物质是半导体？

半导体这类材料遍及无机物和有机物、晶体和非晶体，但在研究和应用方面都比较成熟的目前只有无机晶体。所以，半导体物理学教科书通常仅限于讨论无机结晶半导体。

无机结晶半导体主要由元素周期表中部的一些元素构成。这些材料按其构成元素分为以下几类。

① 元素半导体：C（金刚石和被称为富勒烯的 C^{60} ）、Si、Ge 等；

② IV族元素化合物：SiC；

③ III-V族化合物半导体：GaN、GaAs 等；

④ II-VI族化合物半导体：ZnS、CdS 等；

⑤ IV-VI族化合物半导体：PbS、PbSe 等；

⑥ 氧化物半导体：ZnO、 Cu_2O 等；

⑦ 多元化合物： $CuInSe_2$ 、 $Cu_2CdSnTe_4$ 等；

⑧ 固溶体：主要指用同族元素或同类化合物共熔生成的合金或用薄膜生长技术直接生成的组分可变的薄膜，如 Ge_xSi_{1-x} 、 $Al_xGa_{1-x}N$ 、 $GaAs_xP_{1-x}$ 等。

按照材料学的理论预期，无机元素半导体有 8 种，化合物半导体有近千种，固溶体更是难以计数，但囿于材料制备技术等方面的原因，对其有所了解和实际应用的不过数十种。

无机半导体所涉及的主要元素及其在元素周期表中的位置见表 0-1。

3. 半导体科技发展史概要

半导体技术是一种名副其实的新技术，因为从发现半导体的基本物性算起，至今也只有不到 200 年的历史；从半导体技术的最初应用算起则不到 100 年；而半导体产业的形成更是近在眼前的事情，不过 50 多年。

(1) 背景

18 世纪中叶，蒸汽机的发明将人类从农业社会带入工业社会；20 世纪中叶，晶体管的发明揭开了信息社会的序幕。世纪之交，美国工程技术界在评说 20 世纪世界最伟大的 20 项工程技术成就时指出：从真空管到晶体管，半导体已成为当代各行各业智能工作的基石。

表 0-1 主要无机半导体的构成元素及其在元素周期表中的位置

族 周期	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
1								
2			B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸		
3			Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶		
4	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴		
5	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²		
6		Hg ⁸⁰		Pb ⁸²				
7								

1904 年, 美国工程师 J. A. Fleming (1849—1945 年) 制成二极真空电子管, 其功能类似现在的半导体 PN 结二极管, 具有整流作用; 3 年后, 美国的另一位工程师 De Forest (1873—1961 年) 发明了三极真空电子管, 其功能类似现在的晶体管, 具有信号放大和振荡作用。其后 50 年间, 各种各样的真空电子管在无线电通信等领域发挥了巨大的作用。但是到 20 世纪六七十年代, 在半导体技术蓬勃发展的势头面前, 真空电子技术迅速功成身退。目前, 只有极少数特殊用途的真空管还在继续展示着它昔日的辉煌。

(2) 半导体物理现象的早期发现

若把电阻率的负温度系数看作半导体最典型的特征, 则法拉第 (Michael Faraday, 1791—1867 年) 于 1833 年发现硫化银 (Ag_2S) 电阻率具有负温度系数可算是半导体物性的最早发现。随后, 英国物理学家史密斯 (W. R. Smith) 于 1873 年发现硒 (Se) 的光电导效应, 德国物理学家布劳恩 (Karl Ferdinand Braun, 1850—1918 年) 于 1874 年发现金属探针与硫化铅 (PbS) 和硫化铁 (FeS_2) 等晶体的接触具有不对称的伏安特性 (即整流特性), 英国物理学家亚当斯 (W. G. Adams) 于 1876 年发现光照能使金属探针与 Se 的点接触产生电动势, 福里茨 (C. E. Fritts) 进而于 1883 年发现这种接触也具有整流特性。1907 年, 很少被人提起的英国电子工程师朗德 (H. J. Round) 在意大利马可尼 (Marconi) 公司工作期间, 发现在碳化硅 (SiC) 晶体的两点间加上电压时, 有黄光从晶体中发出, 揭示了半导体的电致发光特性。

(3) 半导体技术的早期发明及应用

上述这些早期发现已基本涉及半导体物理效应的主要方面, 并很快引发了一些工程师对这类特殊物质开发应用的兴趣。

1904 年, 美国电气工程师鲍斯 (J. C. Bose) 获得使用 Si 和 PbS 制造点接触整流器的专利权;

1906 年, 美国电气工程师皮卡德 (G. W. Pickard) 获得点接触晶体检波器的专利权, 这种器件是晶体检波接收机 (即矿石收音机) 的关键部件;

1920 年, 硒 (Se) 整流器投入应用;

1926 年, 氧化亚铜 (Cu_2O) 点接触整流二极管问世, 并在二战中应用于雷达检波。

1932 年, 具有阻挡层的 Cu_2O 光电池问世。

半导体整流器和光电池的发明都使用的是现在很少用到的元素半导体 Se 和氧化物半导体 Cu_2O 。受材料提纯与晶体生长技术水平不高的限制, 在以上史实所经历的近百年间, 半导体原始材料及其器件的研究, 存在着研究结果的一致性和重复性很差的问题, 以致人们, 包括一些著名的资深物理学家对半导体的实用性产生怀疑。不凑巧的是, 性能优越而稳定的真空电子管恰在此时问世, 并很快进入其应用技术的迅猛发展时期, 这在一定程度上助长了人们对半导体的不信任, 使半导体的这些尚不成熟的早期发明及其应用暂受冷落。

(4) 半导体理论的问世

但是,对半导体理论的研究,在这段时间却因为量子力学的问世和发展而逐渐活跃起来。1931年,美籍英国人威尔逊(A. Wilson)发表了关于半导体能带理论的经典论文,提出了本征半导体和掺杂半导体、施主杂质和受主杂质的重要概念,首开半导体理论研究的先河。1938年,德国物理学家肖特基(W. H. Schottky)、英国物理学家莫特(N. F. Mott)和前苏联的达维多夫在能带理论基础上几乎同时指出金属和半导体的接触会形成势垒,因此将此势垒称为肖特基势垒(Schottky Barrier)。此后不久,肖特基和贝蒂(Bethe)分别提出了扩散理论和热电子发射理论,对金属-半导体接触的整流特性作了较好的定性说明,奠定了金属-半导体接触的理论基础。与此同时,美国Bell实验室的固体物理学研究组中,后来作为晶体管的主要发明人闻名于世的肖克莱(W. Shockley)、布拉顿(W. H. Brattain)和巴丁(J. Bardeen)(见图0-1),也一直在执着地进行着对半导体的研究,其中肖克莱和布拉顿关于氧化亚铜整流器的理论研究成效尤其显著。从1939年到1945年,肖克莱还陆续提出过一些场效应晶体管的设计方案,虽然相应的实验一直没有取得成功,但对奠定半导体的理论基础意义重大。

(5) 晶体管——第一个里程碑式的发明

1947年11月17日,布拉顿的一个实验终于证明了场效应的作用。紧接着,巴丁和布拉顿又在同年12月16日试制成一个双点接触式晶体管。1947年的这一个月在半导体科技发展史上被称为“神奇之月”,它标志着一个新时代的开始。大约又过了一个月,肖克莱发表了《半导体中的PN结和PN结型晶体管的理论》,并与替尔(G. K. Teal)等人一起,于1950年用晶体Ge成功制成结型晶体管。替尔后来还在美国达拉斯的得克萨斯仪器公司率先制成硅晶体管,而在此之前的晶体管都是锗管。

晶体管的英文名称是transistor,由transfer与resistor组合而成,原意为转移电阻,体现了这种器件的基本特性和功能;中文译名则参照当时对应器件真空管的命名方式,因其所用功能材料是半导体晶体而命名为晶体管。虽然中文译名在词义上与英文原名缺乏对应关系,但更能体现科技的进步,给人一种更新换代的感觉,因而很快被华语社会的科技人士所接受。但是大约30年后,使用非晶态半导体制造这种器件的研究工作取得了极大成功,这多少使沿用成习的晶体管一词面临尴尬。

晶体管具有类似于当时无线电技术最关键器件——真空三极管的电流放大、振荡和开关等功能,而体积和功耗却小得多。这种器件的优越性和重要性立即引起科技界的高度重视——尽管当时谁也没有预见到它后来会对人类进步产生如此巨大的革命性影响——以致被誉为“20世纪的主要发明”。晶体管于1952年开始商业应用,因为体积小,第一批采用晶体管的商业装置是便于随身携带的助听器。4年后,当肖克莱及其主要合作者于1956年因发明晶体管而获得诺贝尔奖时,全世界还只有20家公司在生产晶体管。但其后不久,晶体管即开始向电子管的几乎所有应用领域进军,并用10年左右的时间在大部分领域替代了电子管。这期间,以晶体管的基本结构单元PN结为基础的各种分立器件也雨后春笋般应运而生。这些体积小、功耗低、功能齐全的半导体器件主要包括:PN结型和肖特基势垒型二极管(SBD),PN结型和场效应型晶体管。其中,场效应晶体管又包含结型场效应晶体管(JFET)、金属-氧化物-半导体接触型场效应晶体管(MOSFET)和金属-半导体接触型场效应晶体管(MESFET),以及晶体闸流管(Thyristor)家族的各种器件和绝缘栅双极晶体管(IGBT)等。



图0-1 晶体管发明人肖克莱(坐者)、布拉顿(右立者)和巴丁及其伟大发明的原始装置

(6) 平面工艺——第二个里程碑式的发明

在全世界最早生产晶体管的 20 家机构中,肖克莱半导体实验室是其中之一。

肖克莱时常对“那些最具创造性的人受雇于他人时都得不到足够的酬劳”这一客观事实耿耿于怀,因而在 1955 年脱离 Bell 实验室,从美国东海岸回到西海岸他的故乡 Palo Alto,创办了属于自己的高科技产业——肖克莱半导体实验室。跟肖克莱一起创办这个实验室的,还有从美国东部的一些著名实验室慕名而来的八个才华横溢的青年人。他们十分仰慕肖克莱在科学界的盛名,但不久就发现很难与之合作共事,随即相继离去。肖克莱当时热衷于开发他的 PNP 二极管,而不采纳这些年轻人对发展平面工艺、研制集成电路的建议。

所谓平面工艺,就是利用光刻和掩蔽掺杂技术在半导体晶片的表面层制作二极管或晶体管等器件,使其所有电极皆由其表面引出,因而容易在同一块晶片上制作许多不同器件,然后再用光刻技术将金属膜制成互联线,将这些器件联结成一个电路,即集成电路。

这八个年轻人退出肖克莱半导体实验室之后,在工业家谢尔曼·费尔柴尔德(S. Fairchild, IBM 公司的最大私人股东,其父是 IBM 的创始人)的支持下,于 1957 年创办了费尔柴尔德半导体公司(中译者亦常将之意译为仙童半导体公司)。硅器件是该公司的唯一研究对象和产品,而其他公司还兼营锗器件。肖克莱的半导体实验室则由于他这八个崇拜者的另立门户而一蹶不振,最后以解散告终,未能实现他要为自己的非凡创造能力讨回足够酬劳的梦想。肖克莱 1963 年重返学术岗位,成为斯坦福大学的终身荣誉教授。

以上这些历史事件发生在人们现在称之为硅谷的地方^①,在半导体科技发展史中具有举足轻重的地位。肖克莱半导体实验室虽然如流星般转瞬即逝,但它为硅谷的形成与发展揭开了序幕。而且,由肖克莱半导体实验室的青年骨干们创立的费尔柴尔德公司,又进一步加速了硅谷的形成。在硅谷鼎盛时期的近 70 家半导体公司中,有半数是其直接或间接后裔,在硅谷之外从事半导体研究与开发的人中也有很多曾在那里工作过。因此,肖克莱对半导体事业的贡献,并不仅仅是发明了晶体管。

1959 年,这八个人中的诺依斯(R. Noyce, Intel 创始人、首任 CEO)、穆尔(G. Moore, Intel 第二任 CEO,也有人译作摩尔)和赫尔尼(J. A. Hoerni)的平面工艺开发成功,为半导体进入集成电路时代奠定了基础。

1960 年,世界上第一个集成电路(见图 0-2)在美国问世。该电路由八个元器件组成,费尔柴尔德半导体公司出品。

如果把晶体管的问世作为半导体工业的起点,平面工艺的问世则是微电子技术的开端,并预示着信息时代的到来。以集成电路(IC)作为典型产品的微电子技术,不仅使以通信技术和计算机技术为代表的电子工业

产生了质的飞跃,而且改变了人类的生活方式和工作方式,赋予 20 世纪的文明社会以新的内涵。

微电子技术发展很快。从 1959 年诺依斯申请硅集成电路的第一个专利,1961 年费尔柴尔德半导体公司批量生产只有八个元器件的第一个集成电路产品开始,只经过了不到 10 年的时间,就在 1970 年制成了 1kbits DRAM (Dynamic Random Access Memory),进入了大规模集成(LSI)电路时代,然后又经过不到 10 年,于 20 世纪 70 年代末期进入超大规模集成(VLSI)电路时代。

VLSI 的完整含义实际上包含了规模和功能两个方面的内容。在规模上,VLSI 一般包含百万

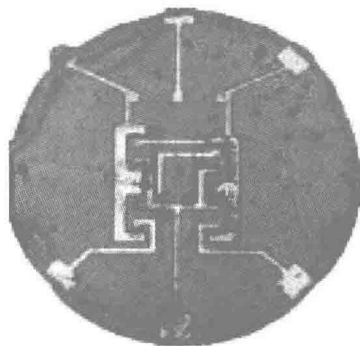


图 0-2 世界首个可批量生产的集成电路

^① M. 罗杰斯, K. 拉森,《硅谷热》,范国鹰等译. 北京:经济科学出版社,1985。

个以上元器件、线条宽度至少在 $2\mu\text{m}$ 以下。最早被称为 VLSI 电路的是在 1978 年制成的 64kbits DRAM，其集成规模已超过 10 万个元器件，芯片面积 36mm^2 ，线宽 $2\mu\text{m}$ 。

1986 年左右问世的 16Mbits DRAM 的集成规模已超过 3000 万个元器件，线条宽度缩小到亚微米。1991 年推出的 64Mbits DRAM 集成了 1.4 亿个元器件，而 1995 年推出的 1Gbits DRAM 的集成元器件数则高达 10 亿。这个发展速度基本符合穆尔 1965 年的预言，即微电子技术领域众所周知的穆尔定律：集成电路的集成度和存储器的容量平均每 18 个月增长一倍。

1965 年 4 月 19 日，集成电路发明人之一穆尔应邀为《电子学》杂志 35 周年专刊写了一篇文章名为《给集成电路植入更多元器件》的观察评论报告。穆尔应这家杂志的要求预测未来 10 年半导体工业的发展。据他推算，到 1975 年，在面积仅为 $1/4\text{in}^2$ （约合 0.4cm^2 ）的一块硅片上，将有可能密集 65000 个元器件。其原文可译为：“最低器件价格下的电路复杂度每年大约增加一倍。可以确信，短期内这一增长率只会增大不会减小，但在更长时期内或许略有波动”。这就是穆尔定律的原版。虽然穆尔本人从不承认作过每 18 个月规模翻番或每两年规模扩大 4 倍的预测，但他对 1975 年芯片集成度相当准确的预测却从 10 年后的测试结果得到了证实。大约是这个原因，人们仍将后来经过修正的每 18 个月翻一番的说法称为穆尔定律。

现在，半导体集成电路已经从 LSI、VLSI、ULSI，进入 GSI 时代。制造集成电路所使用的硅片面积越来越大，集成度越来越高，特征尺寸越来越小，功能日益完善。本世纪初才成为主流的 200mm（8in）硅工艺不到 10 年即进入淘汰期，300mm（12in）工艺成为主流。一些前沿公司已经开始采用 450mm（18in）工艺。集成度的演变在进入新世纪后已逐渐达到一年翻番的速度。12in/45nm 工艺线已在 2009 年投入规模生产，世界最前沿的公司已进入 28nm 工艺的规模生产阶段，对 22nm 工艺的前期研发已在进行之中^①。目前，集成在一个小小 CPU 芯片中的晶体管数目已高达 10^9 个以上，而 1946 年 2 月诞生于美国莫尔学院的世界首台电子数值积分计算机占地 100m^2 ，重 30 吨，却只有 18000 个电子管。

目前，微电子技术的飞速发展，已将半导体集成电路推进到片上系统集成（System On Chip, SOC）时代。一个小小芯片所容纳的不仅仅是一个具有单一功能的电路，而是由许多电路组成的电子系统，甚至可以将各种物理的、化学的，乃至生物的传感器和执行器与信息处理系统集成在一起，从而完成从信息获取、处理、存储、传输到执行的系统功能。微电子技术从 IC 向 SOC 的发展，意味着集成电路技术概念上的突破，可以认为是半导体技术的又一次革命性变革。

（7）半导体光电子技术

晶体管和半导体平面工艺这两大发明在孕育了集成电路这一高科技时代基石的同时，也孕育了半导体光电子技术这一高科技时代的重要支柱。

半导体光电子技术主要包含发光技术（LED 和 Laser）、光电探测技术（Detector）和光电能量转换技术（Solar cell）等。其理论基础是半导体中电子和光子的高效相互作用。

半导体发光的实际应用主要指利用某些半导体材料的优良电致发光特性制造发光二极管（LED）和半导体激光器。这些发光器件与日常生活中使用的热辐射或白炽光源的主要差别在于光谱的覆盖面大小不同。半导体发光器件的单色性较强。LED 的光谱宽度一般在 $10 \sim 50\text{nm}$ ；半导体激光器的单色性更好，可窄到 0.1nm 以下。

虽然最早发现的具有电致发光特性的半导体材料是碳化硅，但最早进入实用化的却是砷化镓和磷化镓等 III-V 族材料。1962 年砷化镓激光二极管的问世，激发了人们对 III-V 族半导体，特别是砷化镓、磷化镓和磷化铟及其固溶体等材料的研究开发兴趣，拉开了半导体光电子技术快速发展的序幕。这些材料被称之为继锗、硅之后的第二代半导体。第三代半导体是指氮化铝、氮化镓、氧化锌以及金刚石和碳化硅之类的宽禁带材料。这些材料在短波光电子器件、半导体照明、

^① 中国半导体行业协会，中国电子信息产业发展研究院，《中国半导体产业发展状况报告》，2015。

高频大功率器件以及耐高温器件方面具有远胜于硅与砷化镓的优势，在新世纪之初已形成研发热点。

半导体 LED 因其较强的单色性而主要应用于显示技术，不适合直接用于照明。但是，利用短波长 LED 的紫外和蓝光辐射激发红、绿、蓝（RGB）荧光粉可以产生很理想的白光，做成半导体灯，如图 0-3 所示。作为照明光源，白炽灯的发光效率约为 15lm/W ，荧光灯的发光效率约为 80lm/W ，而半导体灯的发光效率可达到白炽灯的 20 倍，寿命却可长过 100 倍，是理想的照明光源。1993 年，日本旅美科学家中村秀二（Shuji Nakamura）研制出第一只氮化镓高亮度蓝色发光二极管，使人们看到了白光 LED 的希望，开创了半导体照明技术迅猛发展的新时代。其后不久，随着半导体 LED 作为交通信号灯和汽车尾灯，以及大屏幕显示应用的迅速推广，半导体灯开始替代白炽灯。同时，半导体白光 LED 的发光效率也在不断提高。2013 年 2 月，Cree 公司宣称以碳化硅为衬底的 AlGaN 白光 LED 在 350mA 驱动电流这个标准测试条件下的室温发光效率已达到 276lm/W 。

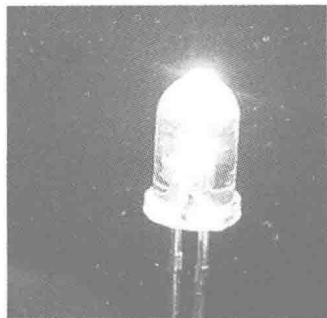


图 0-3 高效长寿的半导体灯

推广半导体照明技术的意义不仅在于节能，其更深远的意义在于环保。据统计，我国电力 70% 以上依靠燃煤发电，而我国燃煤发电的碳排放率约为 1.05kg/kWh ，按 2009 年的发电量计算，年排放二氧化碳 60 亿吨。按照照明用电占总发电量 10% 以上来估计，半导体照明的节能效果在减排二氧化碳方面也很显著。

半导体对创建低碳社会的另一巨大贡献是利用 PN 结的光伏（Photovoltaic）效应直接将太阳能转换为电能。人类对其体外能的利用主要有三种途径：①燃烧柴草之类的生物资源；②燃烧煤炭、石油、天然气之类的矿物资源；③直接或通过转换利用水能、风能、地热能和太阳能等自然能。前两种途径都会增加碳的排放，而且会大量消耗自然资源、破坏生态平衡。从战略的角度看，第三种途径应该大力提倡。在各种自然能中，太阳的光能和热能具有相对永恒和普及的特征，是开发和利用的战略重点。特别是太阳能发电（亦称光伏发电），它在太阳热能发电、风力发电、潮汐发电、地热发电等各种自然能发电方式中具有许多无可比拟的优点。所以，当世界上第一块实用硅太阳电池与第一座原子能发电站同时于 1954 年在美国诞生时，太阳电池理所当然地得到人们的偏爱，并很快在航天技术中发挥了它无可替代的作用。在能源危机和环境保护问题倍受关注的今天，光伏发电首先成为各发达国家能源计划的战略目标。虽然光伏发电的成本目前还很高，但 2005 年全球太阳电池的产量还是达到了 200MW 、总装机容量 100万 kW 的水平。应该指出的是，光伏发电的成本是一个相对概念。由于煤、石油和核燃料等自然资源总有耗尽之日，火电和核电的成本只会越来越高，光伏发电的相对成本必然会逐年降低。在这种情况下，美国通过“太阳能先导计划”的实施，将在 2015 年达到商业化竞争的水平。欧洲光伏协会也提出了在 2020 年实现光伏发电商业化竞争的目标。在实现这个目标之前，各国政府采取多种激励措施和补助政策扶持光伏产业的发展。2009 年全球新增光伏发电容量 7.2GW ，其中欧盟占了 5.8GW ，欧盟中的德国占了 3.8GW ，超过全球新增装机容量的 $1/2$ 。我国 2008 年光伏发电的装机总量为 40MW ，累计装机总量只有 140MW ，但在 2009 年颁布的“太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法”和“金太阳示范工程”等政策的激励下，当年一年的装机总量就达到 160MW ，是 2008 年的 4 倍，比历年累计装机总量还要多^①。

1954 年，Chapin、Fuller 和 Pearson 利用硅扩散 PN 结技术研制成功的世界上第一块实用化太阳电池的转换效率只有 6%，而现在单结单晶硅电池的转换效率已能达到 20% 左右，而化合物叠

① 中投顾问产业研究中心，《2010—2015 年中国太阳能光伏发电产业投资分析及前景预测报告》，2010。

层电池的转换效率已在 2009 年创下了 43% 的世界纪录。

(8) 半导体传感器技术

半导体材料大多具有灵敏的光电、热电、磁电（霍尔效应）、磁阻和压电等物理效应。利用这些效应可以制成各种敏感元器件，借以将光学、热学、磁学、力学、化学、乃至生物学信息转变为电信号，是信号检测和自动化技术的基础。

光电导效应是半导体的基本体效应之一。半导体吸收适当波长的光产生额外载流子，进入电导率较高的非平衡状态。利用光电导效应可以制成通过电阻变化对特定波长的光及其强度作出灵敏反应的元器件，即光敏元器件。前述光伏效应也是一种光电效应，不过是一种界面型的结构效应，而非体效应。利用这种效应制造的器件通常称为光电池，太阳电池只是光电池中特别对太阳光谱有较强响应的一种。采用不同的半导体材料和不同的元器件设计，还可以制成对阳光之外的其他辐射，甚至高能射线有很高灵敏度的敏感元器件。

霍尔效应也是半导体的基本体效应之一，是磁场传感器（磁敏元器件）和电流传感器工作原理的基础。所谓霍尔效应是指磁场中的半导体在通以垂直于磁场方向的电流时，载流子的运动方向会因磁场的存在而偏转，从而在垂直于磁场和电流的方向上形成电荷积累，出现电势差，即霍尔电压。利用霍尔效应制成的霍尔元件，可以用来在设定的磁场条件下根据霍尔电压的大小测定未知电流；或在设定的电流条件下根据霍尔电压的大小测定未知磁场。尽管导体和半导体都有程度不同的霍尔效应，但制造霍尔器件一般采用载流子迁移率较高的某些半导体材料，如锗（电子迁移率 $\mu_n = 3900 \text{ cm}^2 \cdot (\text{V} \cdot \text{s})^{-1}$ ）、砷化镓（ $\mu_n = 8000 \text{ cm}^2 \cdot (\text{V} \cdot \text{s})^{-1}$ ）、锑化铟（ $\mu_n = 75000 \text{ cm}^2 \cdot (\text{V} \cdot \text{s})^{-1}$ ）和砷化铟（ $\mu_n = 30000 \text{ cm}^2 \cdot (\text{V} \cdot \text{s})^{-1}$ ）等。

磁阻效应是指材料的电阻率在磁场中升高的现象。半导体跟许多磁性金属与合金一样，都具有磁阻效应。利用磁阻效应制造的磁场传感器称为磁敏电阻。磁阻效应虽然从本质上是一种体效应，但也与材料的几何形状有关，即不同几何形状的材料在相同磁场中的电阻并不相同，称为几何磁阻效应。因此，实际应用中的磁敏电阻常常采用特殊的几何结构，以提高元件对磁场的灵敏度。

材料受机械应力（张应力、压应力或切应力）的作用，在产生应变的同时诱发产生电极化或电场，这种现象称为压电效应。压阻效应则是指材料因承受机械应力或压力而改变其电阻率的现象。大多数半导体都具有明显的压电效应和压阻效应。利用这两个效应可以制成各种压力传感器。

半导体材料的特性和敏感性，无论是立足于体效应的还是依赖于结构的，都很容易受到环境的影响。因此，利用这种特性或敏感性作为中间手段，还可以制成探测环境状态的传感器，如气氛传感器和酸碱度传感器等。例如，a-Si:H 氢气传感器就是利用了含氢非晶半导体硅 MIS 结构的输出特性易受其界面吸附的氢原子影响这一特点。当结构中的 a-SiO:H 表面吸附了氢原子时，钯（Pd）与 a-Si:H 之间的接触电势差就会发生改变，从而使确定电压下的 MIS 二极管输出电流发生变化。选用 Pd 作为这种 MIS 结构的金属层，是因为常温下氢原子在 Pd 中的扩散系数较高，有利于绝缘层 a-SiO:H 对环境中氢原子的吸附。Cu₂O/ZnO 半导体异质结在相同直流偏压下对 CO 和 H₂ 有截然不同的交流响应，可以用来制造 CO 探测器。

某些导电聚合物的电阻率会在一些化合物气氛中发生明显变化。例如，具有 P 型半导体特征的聚吡咯（PP）在 NH₃ 中电阻率升高，而在 NO₂ 中电阻率下降。具有这种效应的材料可以用来制作化学气氛敏感元器件。有一些半导体陶瓷也有类似的功能，如 ZrO₂ 陶瓷是制造氧分析器的主要材料，而 SnO₂ 陶瓷则可用于制造 CO、CH₄、C₃H₈、乙醇和苯等多种气体传感器。此外，用 Fe₂O₃ 可制造检测丙烷的传感器，用 In₂O₃ 薄膜可以制造臭氧传感器，用 V₂O₅ 可以制造 NO₂ 传感器等。

湿度是水蒸汽这种特殊环境物质的浓度表示法，因此，湿度传感器是气氛传感器的一个特

例。很多氧化物半导体都可能具有某种性质对湿度敏感,如掺铪 ZnO 膜的介电弛豫性质会随湿度变化,是制造湿敏元器件的典型材料。

4. 半导体产业

半导体产业是指以半导体为基本原材料制造各种电子元器件的产业,主要包括集成电路、光电子器件、传感器和其他分立器件四大类,是世界经济近半个世纪以来发展最快的产业。根据国际货币基金组织的统计,从 1980 年到 2010 年,世界国民生产总值的平均增长率为 3%,其中,半导体工业的平均增长率为 15%,比整个电子工业 9% 的增长率还要高很多。半导体产业正是以这样的速度成长为世界经济的主流产业,并直接促使以之为基础的电子信息产业在新世纪初一跃而为世界经济的最大产业。据世界贸易半导体协会(WSTS)的统计,2013 年全球半导体产业的市场规模已突破 3000 亿美元大关,达到 3044 亿美元。其中,集成电路 2507 亿美元,光电子器件 275 亿美元,传感器 80 亿美元,其他分立器件 182 亿美元。光电子器件和传感器这两部分与集成电路相比虽然所占比例甚小,但近年来发展很快,尤其是光电子器件,其增长速率远远超过了半导体产业的总增长率,正处于发展上升阶段,而其他分立器件产业的增长率远低于半导体产业的总增长率,但相对于其他产业来说仍然是很高的。

我国的半导体产业(这里主要指大陆部分,下同)经历了 1978 年以前独立自主、自力更生的初始发展阶段和 1978 年后改革开放初期的重点建设阶段,自 2000 年起进入加速发展阶段。在市场经济的大环境中,在国家政策的引领之下,新世纪最初几年的发展由于起点较低而增幅很大。2004 年我国半导体产业销售额达到了 996.5 亿元(人民币,下同),比 2003 年增长 45%,远远超过世界半导体产业的总增长率,但只占世界半导体市场的 5.64%,也远不能满足国内市场对半导体产品的需求。所以,即使受全球金融危机的影响,我国半导体产品销售额的增幅从 2008 年年底开始有所下降,甚至在 2009 年出现负增长,但在世界市场中的份额仍保持着持续增长的趋势,且很快恢复为正的快速增长。据中国半导体协会(CSIA)的统计,2013 年我国的半导体产业市场规模为 3975 亿元,比 2012 年增长了 12%,而过去 10 年的复合增长率高达 19.2%,远非 6.2% 的全球增长率可比。

5. 努力实现微电子强国的战略目标

随着我国半导体产业的快速发展,世界半导体产业的区域结构发生了巨大变化。我国在世界半导体市场的占比,从 2004 年的 5.64%,提升到 2008 年的 18%,2013 年进一步提升到 26%;而作为全球半导体产业领军者的美国,其 2013 年的全球市场占比也只有 20%,只比其 2008 年的全球占比提升了 5 个百分点。与此同时,电子强国日本的全球半导体市场占比却从 2008 年的 20% 下滑到 2013 年的 11%,其市场规模也在全球半导体产业增长 4.4% 的大环境下大幅度下滑了约 15%。

我国半导体产业的快速发展是改革开放的必然结果。改革开放以来,历届政府对半导体产业不断给予政策支持。2014 年 6 月 24 日,国务院颁布了《国家集成电路产业发展推进纲要》,对集成电路产业链各个环节给出了分阶段逐步实现的发展目标和重点任务。在集成电路方面,2015 年销售收入要超过 3500 亿元,使 2014、2015 两年的复合增长率达到 18.1%,高于 2012 年 11.6% 和 2013 年 16.2% 的增长速度;到 2020 年,集成电路产业销售收入的复合增长率要超过 20%。在集成电路设计领域,2015 年的目标要接近世界一流水平,2020 年达到国际领先水平。在晶圆制造环节的目标是在 2015 年实现 32nm/28nm 晶圆的量产,2020 年实现 16nm/14nm 晶圆的量产。晶圆制造环节曾经是我国集成电路发展最薄弱的环节,上述发展目标的提出有利于产业链的均衡发展。

这些数据表明,我国正在从一个半导体大国发展成半导体强国。

为了尽快实现我们的半导体强国梦,进而实现以半导体科技提升综合国力的微电子强国战略目标,除了要加大科技投入,加快半导体科技前沿领域和大型先进半导体企业的建设和发展之

外,更重要的是要迅速提高我国半导体科技队伍的创新能力,加速培养半导体科学与技术领域的专业人才,提高我国半导体科技专业人才在数量与质量上的国际竞争力。

半导体物理作为半导体科学与技术的理论基础,在半导体专业人才的知识结构中占有举足轻重的地位。学好半导体物理,是对一个合格的半导体专业人才的基本要求。