



普通高等教育“十二五”电子信息类规划教材

半导体物理学 简明教程

陈治明 雷天民 马剑平 编



免费
电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电子信息类规划教材

半导体物理学简明教程

陈治明 雷天民 马剑平 编



机械工业出版社

本教程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、非热平衡态半导体、PN结、金属-半导体接触、异质结、半导体表面以及主要的半导体效应。

本书适用于本科院校电子科学与技术和微电子学专业,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/陈治明等编. —北京:机械工业出版社, 2011. 8
普通高等教育“十二五”电子信息类规划教材
ISBN 978-7-111-34144-4

I. ①半… II. ①陈… III. ①半导体物理学—高等学校—教材 IV. ①047

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第117954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 王琪

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2011年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·473千字

标准书号:ISBN 978-7-111-34144-4

定价:32.00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

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材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。就教材而言，这门课程前有黄昆、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时以本教材参考文献中所列 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。本教材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。

本教材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。

本教材第 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。

本教材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，并向为本教材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 电导统计理论	91
2.8.1 电导问题简单分析的局限性	92
2.8.2 玻耳兹曼输运方程	92
2.8.3 弛豫时间近似下的玻耳兹曼输运方程及其解	94
2.8.4 考虑速度分布的电导率和迁移率	95

2.9 霍尔效应	95	4.2.3 PN 结伏安特性对理想方程的 偏离	158
2.9.1 霍尔效应原理	95	4.3 PN 结电容	161
2.9.2 霍尔迁移率	97	4.3.1 PN 结势垒区的电场及电势 分布	161
2.9.3 霍尔系数	98	4.3.2 势垒电容	164
2.10 半导体的热导率	99	4.3.3 扩散电容	165
2.10.1 热导率的定义	100	4.3.4 用电容-电压法测量半导体的杂质 浓度	167
2.10.2 半导体中的导热机构	100	4.4 PN 结击穿	167
2.10.3 维德曼-弗兰茨定律	101	4.4.1 雪崩击穿	168
习题	102	4.4.2 隧道击穿	170
第3章 非热平衡状态下的半导体	104	4.4.3 热电子击穿	171
3.1 半导体的非热平衡状态	104	4.5 PN 结的光伏效应	172
3.1.1 额外载流子的产生与复合	104	4.5.1 光生电动势原理	172
3.1.2 额外载流子的寿命	106	4.5.2 光照 PN 结的电流-电压方程	172
3.1.3 准费米能级	108	4.5.3 光照 PN 结的特征参数	173
3.2 复合理论	109	4.6 PN 结发光	174
3.2.1 直接辐射复合	109	4.6.1 发光原理	174
3.2.2 通过单一复合中心的间接复合	111	4.6.2 半导体激光器原理	176
3.2.3 表面复合	114	习题	180
3.2.4 俄歇复合	115	第5章 金属-半导体接触	182
3.2.5 陷阱效应及其对复合的影响	116	5.1 金属-半导体接触及其平衡状态	182
3.3 额外载流子的运动	118	5.1.1 金属和半导体的功函数	182
3.3.1 额外载流子的扩散与扩散方程	118	5.1.2 有功函数差的金属-半导体 接触	184
3.3.2 扩散方程在不同边界条件下 的解	120	5.1.3 表面态对接触电势差的影响	185
3.3.3 电场中的额外载流子运动	122	5.1.4 欧姆接触	187
3.3.4 爱因斯坦关系	122	5.2 金属-半导体接触的非平衡状态	188
3.4 电流连续性方程及其应用	124	5.2.1 不同偏置状态下的肖特基势垒	188
3.4.1 电流连续性方程	124	5.2.2 正偏肖特基势垒区中的费米 能级	189
3.4.2 稳态电流连续性方程及其解	125	5.2.3 厚势垒金属-半导体接触的伏安 特性	190
3.4.3 连续性方程的应用	126	5.2.4 薄势垒金属-半导体接触的伏安 特性	192
3.5 半导体的光吸收	128	5.2.5 金属-半导体接触的少子注入 问题	193
3.5.1 吸收系数及相关光学常数	129	5.2.6 非平衡态肖特基势垒接触的特点 及其应用	195
3.5.2 半导体的本征吸收	131	习题	195
3.5.3 其他吸收过程	133	第6章 异质结和纳米结构	197
3.6 半导体的光电导和光致发光	136	6.1 异质结的构成及其能带	197
3.6.1 半导体的光电导	137	6.1.1 异质结的构成与类型	197
3.6.2 半导体的光致发光	141	6.1.2 理想异质结的能带结构	200
习题	144	6.1.3 界面态对异质结能带结构的	
第4章 PN 结	146		
4.1 PN 结的形成及其平衡态	146		
4.1.1 PN 结的形成及其杂质分布	146		
4.1.2 热平衡状态下的 PN 结	148		
4.2 PN 结的伏安特性	152		
4.2.1 广义欧姆定律	152		
4.2.2 理想状态下的 PN 结伏安特性 方程	153		

影响	203	7.3.1 理想 MIS 结构的电容-电压特性	230
6.2 异质结特性及其应用	205	7.3.2 实际 MIS 结构的电容-电压特性	234
6.2.1 伏安特性	206	7.4 表面电导与表面迁移率	238
6.2.2 注入特性	208	7.4.1 表面电导	239
6.2.3 光伏特性	209	7.4.2 表面散射与表面载流子的有效迁移率	240
6.2.4 异质结的应用	210	7.4.3 影响表面迁移率的主要因素	240
6.3 半导体量子阱和超晶格	212	7.4.4 表面迁移率模型与载流子的表面饱和漂移速度	242
6.3.1 量子阱和超晶格的结构与种类	212	习题	243
6.3.2 量子阱和超晶格中的电子状态	215	第8章 其他半导体效应	244
6.3.3 量子阱效应和超晶格效应	216	8.1 热电效应	244
习题	219	8.1.1 塞贝克效应	244
第7章 半导体表面与 MIS 结构	220	8.1.2 珀耳帖效应	248
7.1 半导体表面与表面态	220	8.1.3 汤姆逊效应	249
7.1.1 理想晶体表面模型及其解	220	8.1.4 塞贝克系数、珀耳帖系数和汤姆逊系数间的关系	250
7.1.2 实际半导体表面	221	8.2 磁阻与压阻效应	251
7.1.3 Si-SiO ₂ 系统的性质及其优化处理	222	8.2.1 磁阻效应	251
7.2 表面电场效应与 MIS 结构	224	8.2.2 压阻效应	254
7.2.1 表面电场的产生与应用	224	习题	257
7.2.2 理想 MIS 结构及其表面电场效应	225	参考文献	258
7.2.3 理想 MIS 结构的表面势	226		
7.3 MIS 结构的电容-电压特性	230		

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本身就包含了半导体技术；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高阻如绝缘体，而在有效杂质浓度足够高时又低阻如导体。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，其电阻率也会低达 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。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。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 $\rho(T)$ 表示为如下的线性关系：

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

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。

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		

(续)

族 周期	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
5	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²		
6		Hg ⁸⁰		Pb ⁸²				
7								

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。

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做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教研组中,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。

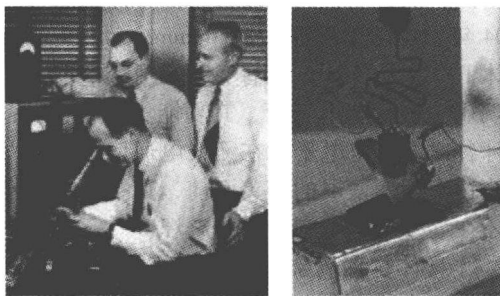


图0-1 晶体管发明人肖克莱(坐者)、布拉顿(右立者)和巴丁及其伟大发明的原始装置

(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场效应确有可能起作用。

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等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了科技界的高度重视——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——以至被誉为“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），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。

（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 8 个才华横溢的年轻人。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 8 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。

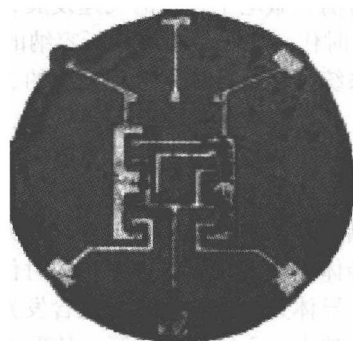


图 0-2 世界首个可批量生产的集成电路

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。

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年代中后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年即渐近淘汰, 300mm (12in) 工艺已成主流。一些前沿公司宣称将在2012年左右采用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32nm 工艺的规模生产阶段, 28nm 工艺成功在即, 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30t, 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

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》, 2010。

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迅速发展的序幕。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、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，目前已形成研发热点。

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，而半导体灯在相同照度下的耗电量可以降低到白炽灯的1/10~1/12，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。2010年3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208lm/W。

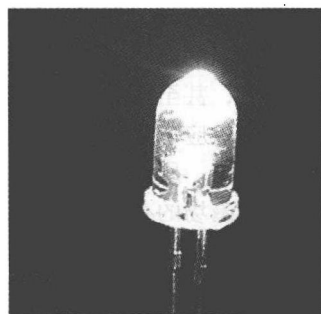


图0-3 高效长寿命的半导体灯

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t。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3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。特别是太阳光发电（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。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逐年增高，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介电极化或电场, 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, 如气敏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

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。

的聚吡咯 (PP) 在 NH_3 中电阻率升高, 而在 NO_2 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 ZrO_2 陶瓷是制造氧分析器的主要材料, 而 SnO_2 陶瓷则可用来制造 CO 、 CH_4 、 C_3H_8 、乙醇和苯等多种气体传感器。此外, 用 Fe_2O_3 可制造检测丙烷的传感器, 用 In_2O_3 薄膜可以制造臭氧传感器, 用 V_2O_5 可以制造 NO_2 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, 如掺锂 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

半导体产业是全世界近 50 年来发展最快的产业。根据国际货币基金组织的统计和预测, 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成为世界经济最大产业。

半导体产业可划分为三大构成, 即半导体材料、集成电路和分立元器件^①。其中, 集成电路产业所占比例最大, 而分立器件中的光电子器件和敏感元器件这两部分发展最快, 增长幅度较大, 尤其是光电子器件, 远远超过了半导体产业的总增长率, 这说明半导体光电子技术和传感器技术目前正处于发展上升阶段。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, 但对于其他产业来说仍然是很高的。

我国的半导体产业经历了 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及国家政策的引领之下, 我国的半导体产业在新世纪最初几年的发展由于起点较低而发展较快, 增幅很大。2004 年我国半导体产业销售额达到了 996.5 亿元, 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。2005 年以后半导体产品销售额仍保持大幅度增长, 但涨幅逐年下降。从 2008 年年底开始, 受全球金融危机的影响, 半导体产品销售额的增幅有所下降, 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。

5. 努力实现微电子强国的战略目标

从总体看, 我国的半导体产业还比较弱小。2009 年, 我国集成电路产业总销售额为 1109.13 亿元人民币, 只相当于 Intel 总销售额 324.1 亿美元 (约 2200 亿元人民币) 的一半, 在世界集成电路市场中的份额远低于韩国。

全球前 70 强的半导体企业中没有中国公司。我国到 2006 年才首次出现销售收入超过 100 亿元的半导体企业。中芯国际集成电路制造有限公司在这一年的销售额达到 113.50 亿元, 但 2009 年又下降到 73.09 亿元; 不过, 海力士-恒亿半导体有限公司在 2009 年实现销售收入 106.39 亿元, 使我国仍保持着一个销售收入超 100 亿元的企业。

据海关统计: 2008、2009 两年我国半导体产品的进口总额分别为 1466.9 和 1349.9 亿美元, 是当年市场需求总额的 38.3% 和 42.5%; 而出口总额分别为 413.7 和 383.43 亿美元, 差额在 1000 亿美元左右, 高居高技术产品进口额榜首和贸易逆差榜首, 是外贸逆差最大的产品。

2009 年我国半导体产品进口额占当年进口产品总额 10056 亿美元的 13.4%, 而出口额只占我国出口产品总额 12017 亿美元的 3.2%, 是造成外贸逆差的主要因素。

① 中国半导体行业协会将半导体材料业作为半导体产业的支撑产业与半导体专用设备制造业归为一类, 而将光电子器件和敏感元器件从分立元器件中分离出来作为与集成电路并行的两个产业, 其他分立元器件作为一个产业, 称为半导体产业的四大构成。

这些数据表明，我国可以说得上是一个半导体大国，但远不是一个半导体强国。

要使我国能够尽快成为一个半导体强国，进而实现“成为以半导体科技提升综合国力的微电子强国”的战略目标，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和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。