

SHEN TONG GUANG DA DE
BAN DAO TI

许 成 厚 编 著

神通广大的半导体

安徽科学技术出版社

神通广大的半导体

许成厚 编著

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号)

安徽省新华书店发行

安徽新华印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/32 印张5.125 字数105,000

1980年5月第1版 1980年5月第1次印刷

印数1—20,000

统一书号: 13200·14 定价: 0.38元

目 录

写在前面·····	(1)
鼎足三分·····	(3)
半导体的特殊性格·····	(6)
半导体世家·····	(8)
晶体、单晶体和多晶体·····	(12)
原子大厦的居民们·····	(14)
团结原子的力量——共价键·····	(16)
“力气”不同的电子·····	(18)
揭穿三家的秘密·····	(22)
两种不同的电荷运输队——电子和空穴·····	(25)
异族的贡献·····	(27)
奇怪的发现·····	(29)
交流电变直流电的桥梁·····	(34)
稳压如山——稳压二极管·····	(38)
水涨船能不高吗 坏事变好事	
稳压管如何稳压	
从“闻其声如见其人”谈起·····	(41)
声音从哪里来 往事重提	

微波二极管.....	(45)
什么是微波 微波器件发展简史	
变容二极管.....	(48)
“穿山越洞”的隧道二极管.....	(50)
雪崩二极管.....	(53)
有负电阻吗 从常见的能源说起	
微波能源是怎样产生的	
体效应二极管.....	(59)
玄妙的器件——晶体三极管.....	(62)
耳目一新 晶体管的构造 四两推千斤	
晶体管振荡器 没有触点的开关	
别具一格的场效应晶体管.....	(70)
别具一格的原理 结型场效应晶体管	
绝缘栅场效应晶体管	
不尽清流滚滚来.....	(77)
手表王国的后起之秀——电子手表.....	(80)
关起疼痛的阀门.....	(86)
飞蛾扑火与黑光灯.....	(88)
电子技术与音乐艺术的联姻.....	(91)
半导体王国里的大力士——可控硅.....	(93)
两副担子一肩挑 新的高度 电牧栅栏	
明察秋毫的光敏半导体	(101)
光是什么 光电器件	
看穿黑暗的眼睛	(104)
将光变成电——光电池	(107)
激光和半导体激光器	(109)

光通讯兜一个圈子几千年	(112)
“消息灵通”的半导体	(116)
微音器与会说话的枕头 风暴的前奏曲与地震的脚步声	
无损检验之妙	
防患于未燃的气敏半导体	(120)
深知冷暖的热敏半导体	(122)
新型的测温 and 控温装置 温差发电 致冷装置	
电与磁的纽带——磁敏半导体	(127)
彼中有我，我中有彼 发现弱磁场的能手	
光磁电探测器 磁敏二极管 无电刷电机	
立锥之地上的千家万户	(134)
三种类型和三位一体	(136)
半导体集成电路 膜式集成电路 混合集成电路	
向更微型的领域进军	(138)
光彩迷人的光学集成电路	(140)
小巧玲珑的电视摄象机	(141)
“水晶宫”之窗——水下电视	(146)
电子计算机改朝换代的标志	(149)
会思维的电脑	(151)
神话与现实	(155)

写 在 前 面

在科学不发达的古代，人们常常借助于神话来表达改造自然、征服自然的愿望和理想。提到神话我们会很自然地想到妇孺皆知的石猴子孙悟空。孙悟空神通广大，给人的印象很深。但那毕竟是神话而已。

今天主要由石头变来的半导体，比起孙悟空来可高明得多了，它使许多异想天开的神话变成了现实。

人类很早就想离开地球，到月亮上去，看看琼楼玉宇，探望嫦娥、吴刚。现在这个愿望实现了，乘坐的是由半导体整机控制的飞船，而不是象孙悟空那样不断地翻筋斗。

每秒钟一亿五千万次电子计算机的运算，而不用象孙悟空那样还要掐指一算。

大批机器人在许多岗位上代替人的劳动，而不用象孙悟空那样，要拔掉身上的毫毛来变。

水下电视使我们窥见了富有的海龙王的全部财产，并把它们搬出海来，而用不着象孙悟空那样去大闹龙宫。

不要太阳的亮光也能看清黑夜里的远方景物，甚至盲人也能重见光明，根本用不着象孙悟空投在八卦炉中四十九日才能炼出火眼金睛。

敌方武器动一动，我们就能了如指掌，给以迎头痛击。

有了半导体“千里眼”、“顺风耳”，不出家门就能耳闻目睹天下之事。

半导体激光通讯能使天涯海角的人们面对面交谈。

病人不用灵丹妙药就能关起疼痛的阀门。

这一切如果离开半导体技术就是神话，然而这已经是千真万确的事实。并且还在日新月异的发展中。所以我们要授给半导体一顶神通广大的桂冠。

难怪许多人说以半导体为代表的微电子技术问世，引起了工业革命，又说它是未来的科学基础。

半导体新的原理不断发现，新的器件不断产生，新的材料不断研制，新的应用不断开拓，已经并将继续给人们的生活和生产带来广泛的影响。

人类第一次工业革命是从蒸气机的发明开始的，靠的是开发地下蕴藏的燃料，以机械能形式出现，以大量消耗能源为代价，将人类从体力劳动中解放出来。

微电子革命，是从上一个世纪矿石检波器的应用悄悄开始的，近三十年飞跃发展靠的是人类科学知识长期积累，用的是人脑中蕴藏的“燃料”。同前者恰恰相反，半导体技术的发展是不同凡响的，是以节省燃料和原料为特征，以解放人类脑力劳动为目的的，而且在各个领域里都竞放奇葩。想在如此范围广泛的背景上描绘它多彩多姿的全貌是困难的，也不是这本薄薄的小册子的目的。这本小册子仅向读者介绍半导体技术的简单原理、器件的概貌以及日常可以想见的应用问题。此外，还对它的未来作了粗线条的描述。以期引起读者的兴趣，立志投身到这个可以纵横驰骋自己才智的领域里来，为半导体的技术发展贡献自己的力量。

鼎足三分



1729年美国科学家格雷发现电是可以传输的，并第一次用铜丝作导体。

1752年俄罗斯科学家罗蒙诺索夫和利赫曼教授一起，为了探索雷电的秘密，想把天电引下来仔细研究。于是就在实验室的屋

顶上竖起一根长长的铁杆，下面绑了一根铁尺，在一个电闪雷鸣、风雨交加的夜晚，罗蒙诺索夫扒在屋顶上，利赫曼教授拿着铁尺，等待着把电引下来。这时天空猛一闪亮，利赫曼顿时触电身亡。

同年七月，电学奠基人富兰克林和儿子一起成功地用风筝进行收集雷电的试验，轰动了世界。他用一块方丝帕做成风筝，风筝上系着一根细金属丝和一根丝带，另一头结在一个钥匙的圆圈上，这个钥匙圈连着莱顿瓶。在“山雨欲来风满楼”时，把风筝放到空中去。不久，天空雷声隆隆，电光闪闪。结果方丝帕把雷电捉住，由金属丝传入莱顿瓶，莱顿瓶便充上了电。

这些声势大震的科学实验告诉人们：天空有电，电是可

以传输的。传输电的除了铜、铁之外，还有一些其它金属。我们把能传输电的金属叫做导体。

带电的裸导体不能用身体去接触，否则就有触电身亡的危险，今天这已成为生活的常识，可当时许多人为此付出了宝贵的生命。总结历史的教训，人们想利用一些不导电的物质将导体包裹起来，这样再去接触通电的导体就平安无事了。这类不导电的物质有玻璃、橡胶和塑料等。我们称它们为非导体或称绝缘体。

“导体”和“绝缘体”这两个名词是1740年法国发明家德萨居利埃建议采用的。

人们按照物质的导电能力不同，将物质世界分成几类，发现除了导体和绝缘体两家之外，还有另外一家，它导电本事没有导体强，绝缘的能力又没有非导体大，它是一个中间派，这就是半导体。

半导体既不象导体让电流“长驱直入”，也不象绝缘体对电流“毫不通情”。它见机行事，时而象导体一样对电流大开方便之门，时而又象绝缘体一样把电路堵死。这要看外界条件如何而定。

导体、绝缘体和半导体组成物质世界三巨头，它们是以“电阻率”的大小来划分势力范围的。电阻率的意思是：1厘米长、1平方厘米面积的物质的电阻值。单位是欧姆·厘米。电阻率愈小，导电能力愈强；反之，电阻率愈大，导电能力愈弱。物质的导电性能好坏，也可以用导电率 $\sigma = \rho^{-1}$ 来表示。 σ 的单位是欧姆⁻¹·厘米⁻¹。

电阻率在 10^{-6} —— 10^{-3} 欧姆·厘米之间的物质叫导体。如铜、铝、镍等。

电阻率在 10^8 —— 10^{20} 欧姆·厘米之间叫绝缘体。如玻璃、木材、橡胶等。

半导体的电阻率在 10^{-3} —— 10^8 欧姆·厘米之间。如硅、锗、硒等。

如果让它们三家结伴为邻，导体和绝缘体恰好是半导体的左右邻居。如图 1。

是不是仅仅因为导电能力的差异才使半导体身价百倍呢？不是的。因为在它们三家之中，半导体有许多讨人喜欢的性格，它神通广大，所以成为当今科学技术领域里响当当的角色。

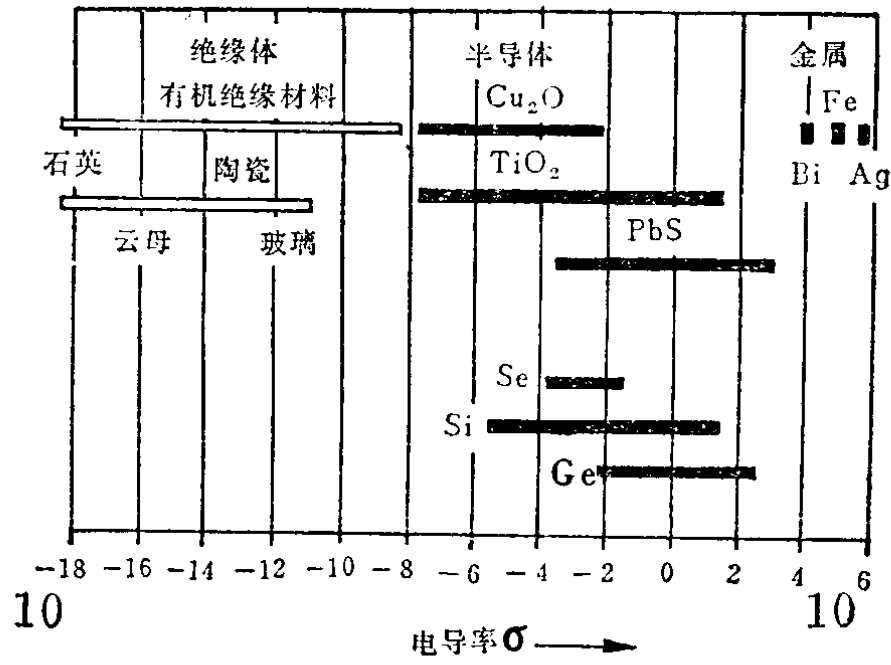


图 1 一些典型材料的导电率

半导体的特殊性格



半导体对周围环境的变化十分敏感。它深知冷暖，明察秋毫，嗅觉灵敏，消息灵通。就是温度的高低，光线的强弱，气味的常异，压力的大小等等，都能影响它导电能力的改变。例如，对金属导体来说，当温度上升时，它的电阻值上升，温度每升高一

度，电阻值大约升高0.4%。而半导体则背道而驰，且变化特别显著。当温度升高时，电阻值降低，温度下降时，电阻值增大，温度每升高或降低1度，其电阻变化为3—6%。所以当温度变化到300℃时，电阻值会改变几千倍到几百万倍。半导体对环境特别敏感的性格，尤其适宜于承担“侦察”任务。它是一个“通风报信”的能手。

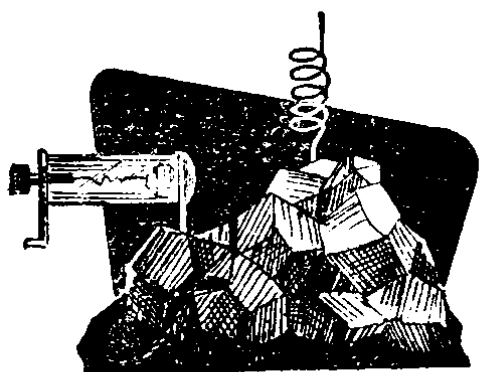
半导体另一个特殊性格是，在它一尘不染的纯洁的躯体中，有控制地掺入极微量的杂质(通常为百万分之一)，就可以引起导电能力成百万倍地增加。金属就没有这个能耐。例如在常温下纯硅的电阻率是214000欧姆·厘米，铜的电阻率是0.00000167欧姆·厘米。就是说铜的导电能力要比纯硅高

一千亿倍。但是如果在纯硅材料中掺入百万分之一的杂质，硅的电阻率就降低到0.4欧姆·厘米。即硅的导电能力提高了五十多万倍。同样在铜里掺入这些杂质，它无动于衷，导电能力几乎没有变化。杂质对半导体举足轻重的影响，可以获得各种电阻率及其它性质不同的半导体材料。

人们还发现，用金属触针与半导体相接触，或者将不同类型的半导体接触在一起，可以产生整流及放大作用。这种独一无二的特点，使半导体在物质世界中能扮演出类拔萃的角色。

人们不禁会问：半导体这种非凡的才能为什么它的邻居们不具有。辩证法告诉我们，外因是条件，内因是根据。半导体之所以与众不同，主要是由它内在的因素所决定。让我们先翻一翻它的家谱，然后再去探索它微观世界的秘密吧！

半 导 体 世 家



我们翻开半导体家谱，可以看到早在上一世纪七十年代，人们就和它有了初交。那时候无线电专家们，在石头里找到一种“小东西”，用一根金属针与这小东西接触，这个小东西便有捕捉电磁波的本领。这就是用在无

线电接收机上的“矿石检波器”。它使我们能听到遥远地方传来的声音。这个小东西是自然界中天然存在的晶体。如黄铁矿的晶体、方铅矿的晶体以及闪锌矿的晶体等。实际上用我们今天的话来说，这个小东西就是半导体。那时候物质的“户口”簿上，还没有半导体这个名词。对这个小东西检波的秘密还弄不清，它的脾气时好时坏，叫人难于驾驭。因此在本世纪初电子管检波器问世之后，矿石检波器就被撇在一边，一直被冷落了几十年。半导体东山再起，是在人们掌握了近代物理学这把钥匙之后，从而发现物质世界还有一个庞大的半导体家族，天然矿石晶体只不过是半导体世家中最原始的成员罢了。

在半导体材料世家中，按照它们不同的身分和特点，可

以分成几大派。

第一是“化学派”。“化学派”中首推元素半导体，它是由单一化学元素组成的。半导体在化学元素周期表中霸占一方，图2中黑线以内都是它们的势力范围。目前最典型的半导体是硅、锗、硒。对于这些半导体研究较早，制备工艺较成熟，不仅产量高而且应用也广泛。其中硅是化学派半导体中的霸主，差不多占地壳的总量25.8%。从铺路的鹅卵石，到闪烁的海沙，都是它的地盘。由于材料来源广泛、适宜制作耐高温、耐辐射的器件。它表面易于生长一层二氧化硅膜，既可有效地保护器件内部结构，又可成功地阻挡杂质入侵，从而为应用平面技术制作平面晶体管和半导体集成电路创造了条件。所以尽管它问世比较晚，但今天在产量上和应用范围都把它的前辈锗、硒远远抛在后边。

锗是半导体材料中的少数“民族”。锗仅占地壳总量百万分之二。通常散居在煤、烟灰和一些金属矿的副产品中。锗又是半导体材料中较悠久的“民族”。它有良好的半导体性能，制备较易，工艺成熟，所以早期半导体器件，几乎都是用锗制成的。但由于它稀少，原料很缺，作大功率器件有困难，加之表面不象硅那样易于生成保护膜，所以在与硅的争霸较量中，它逐渐退居守势。尽管如此，当今百分之九十五以上的半导体器件的材料都为它与硅两个所垄断。

硒是半导体材料中的元老派。它有无定形态和结晶形态两种。无定形硒，是棕色的固体，接近绝缘体性质；结晶形硒，具有金属光泽，对光很敏感，是一种光电半导体材料。它也是一种稀有元素，材料来源不富，加之本身固有缺点较多，目前应用不广，发展也很缓慢。

除此之外，元素半导体材料还有硼、金刚石、碲、灰锡、锑等。它们远远没有锗、硅那么重要。

六十年代中，热心的科学家，给半导体世界中第三家族和第五家族作月下老人，使元素周期表中三、五家族联姻，导致了化合物半导体的产生。这方面代表有砷化镓半导体。较之硅和锗，它具有许多突出的优点。它发光特性好，光电转换效率高，是半导体激光器理想的材料。它的禁带较宽，适宜作耐辐射的高频大功率器件。它具有特殊的结构，是许多特殊的半导体器件的选用对象。目前由于材料备制比较困难，生产工艺不够成熟，应用不多。但随着今后这些问题的解决，它必将得到迅速的发展。

三族和五族联姻的还有锑化铟半导体。

族 周期	II	III	IV	V	VI	VII	
2	4 铍	5 硼 (1.1)	6 碳 (5.2)	7 氮	8 氧		
3		13 铝	14 硅 (1.1)	15 磷 (1.5)	16 硫 (2.5)	17 氯	
4		31 镓	32 锗 (0.75)	33 砷 (1.2)	34 硒 (1.7)	35 溴	
5		49 铟	50 锡 (0.08)	51 锑 (0.12)	52 碲 (0.36)	53 碘 (1.25)	54 氙
6			82 铅	83 铋	84 钋	85 砒	

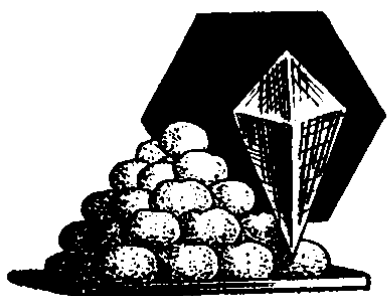
图2 半导体在元素周期表中的位置

半导体之化合，并不限于三族和五族，二族和六族也可结下不解姻缘，如硫化镉半导体。此外尚有金属间化合物半导体等。

半导体材料种类之多，几乎遍及整个无机世界。按其是否含有杂质来分，还有本征半导体和杂质半导体；按其导电类型来分，有N型半导体和P型半导体。

近年来有机半导体又争相问世，已发现的有萘、蒽、酞等。这就使繁荣昌盛的半导体大家庭更加兴旺发达。

晶体、单晶体和多晶体



半导体是以物质导电性能不同来区分的。如果从物质内部原子（或分子）排列的情形看，千差万别的固体物质可分为晶体和非晶体两大类。大多数半导体都是晶体，所以半导体又叫晶体，因此对收音机两种不同的叫法，即晶体管收音机和半导体收音机，实质是一回事。

晶体是一个秩序井然的原子王国。它的原子排列很规则，而非晶体的原子排列则杂乱无章。

晶体又可分单晶体和多晶体。一块单晶体是由许多小的晶粒聚合起来构成的。每一个晶粒又由许多原子构成。原子在每一晶体中循规蹈矩，各个晶粒中原子的排列方式彼此相同。多晶体则不然。在一块多晶体中，各个晶粒取向不一。晶粒与晶粒之间也不是按照一定的规则排列。尽管每个晶粒内部原子排列很整齐，但从总体看来，原子排列仍然是杂乱无章的，所以这样的晶体就是多晶体。

单晶体一般都有一定的外形，它的物理性能在各个方向都不相同，而多晶体和非晶体就相反，一般没有一定外形，物理性能在各个方向都是相同的。因此根据它们的外貌，就