

知识丛书

半 导 体

智边石 編

半 导 体

智边石 編

《知识丛书》編輯委员会編

一九六五年・北京

知识就是力量。一个革命干部需要有古今中外的丰富知识作为从事工作和学习理论的基础。《知识丛书》就是为了满足这个需要而编印的；内容包括哲学、社会科学、自然科学、历史、地理、国际问题、文学、艺术和日常生活等知识。为了使这一套丛书编写得更好，我们期望读者们和作者们予以支持和合作，提供意见和批评。

《知识丛书》编辑委员会

半 导 体

智边石 编

*

科学普及出版社出版

(北京市西直门外郎家湾)

北京市书刊出版业营业许可证出字第112号

北京市通县印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

开本 787×960 1/32 印张 3 7/8 字数 55,000

1965年9月第1版

1965年9月北京第1次印刷

印数 39,170 定价 0.30 元

总号 076 统一书号 13051·012

目 次

一	从半导体收音机谈起	5
二	什么是半导体	10
	一类广泛存在的物质	10
	一个普通的现象	11
	在物质的内部	13
	晶体和非晶体	16
	晶体的能带	18
	进一步的解释	21
三	半导体的两种类型	23
	值得欢迎的杂质	23
	电子和空穴	24
	施主和受主	26
	又是价电子	28
	怎样知道是 n 型还是 p 型	31
四	热敏性质	34
	热敏电阻	34
	在测量技术里	38
	是个多面手	39
五	温差电现象	41
	直接把热能变成电能	41
	温差发电机	44
	烈火中的温度计	45
	半导体致冷器	46
	也能取暖	49
六	把交流电变成直流电	51
	让半导体来整流	51
	阻挡层的发现	53

整流理論	56
几种最早出現的半导体整流器	59
新型半导体整流器	62
給铁道电气化創造条件	63
保护地下的金属物体	64
半导体检波器	67
七 放大微弱的电信号	70
从三极管談起	70
半导体放大器	74
八 晶体管和新型半导体器件	78
敢与三极管比高低	78
无綫电技术里的奇迹	79
隧道二极管	80
晶体管的新弟兄	83
九 光电导現象	84
光敏电阻	84
光敏电阻的“手”	89
在国防工业上	92
一〇 利用光来产生电流	94
阻挡层光生伏打效应	94
各种光电池	96
原子电池	99
一一 提純和制备	101
9 的猎取者	101
拉晶	105
不簡單的工艺	106
一二 向微型化进军	110
微型組件和微型电路	110
固体电路和分子电子器件	113
一三 今天和明天	118

一 从半导体收音机談起

近来我們常常听到半导体这个名詞，在商店里还可以看見各式各样的国产半 导 体 收 音 机。这是一种小巧玲瓏，經濟耐用的收音机。为什么用半导体能制造收音机？它究竟代替了普通收音机的哪些部分？假如把半导体收音机拆开，就会看到在这个小小的无綫电装置里，除了有一般收音机都有的电阻、电容器、綫圈等元件之外，沒有一个电子管。在装电子管的位置上是一些很小的、圓型、方型或小棒状的器件。这就是半导体，說得确切些，就是半导体制成的晶体三极管或二极管。正是它們代替了收音机的心脏——电子管。

假如进一步把普通的三极管和晶体三极管的构造比較一下，就会发现，普通的三极管是由灯絲(阴极)、柵极、板极(阳极)等部分組成的。接上电源后，灯絲就被燃热而发射出电子，由柵极控制着电子流的运动，阳极把这些电子收集起来；这样，电子管才能起各种作用。可是晶体三极管只是一小块晶体，完全不是由各种

零件拼凑起来的，却同样能迫使电子在晶体内作各种运动，实现电子管的各种功能。

半导体不仅能代替一个复杂的零件，而且能起庞大的机器或机组的作用。比如说普通的发电站，它必须配备巨大的蒸汽锅炉、汽轮机和发电机。利用蒸汽锅炉的蒸汽去推动汽轮机旋转，再由汽轮机带动发电机发电。除了庞大的机组之外，还要有一套巨大而复杂的附加设备如冷凝器等等。但是有一种半导体器件——温差电偶，却能直接把热能转变为电能。

诚然，利用半导体温差电偶来代替现有的火力、水力发电站的时代还很遥远。目前的温差电偶效率比较低，它的使用还有一定的局限性，但是上述的可能性却是诱人的。许多科学工作者正致力于这项研究。

一块小小的半导体晶体能起这么重大的作用，难怪半导体只不过在短短三十年的时间，就一跃而成为技术上的尖兵了。

半导体还具备很多无可比拟的优点。在某些方面，它们能作任何其他机器和仪器作不到的事。

半导体器件的体积都非常小。只有普通电子管的几十分之一、几百分之一，甚至几千分之一那么大，重量当然也轻得多。但是，目前又出

現了一種微型半導體組件。一台微型組件的收音機只有一個五分硬幣那麼大小。現在正在研究一種超微型的分子電子無線電機。這是一塊小小的半導體，只有黃豆般大。但它卻能代替一整台無線電裝置，例如發射機、接收機等等。由於半導體器件體積都很小，有可能使得日益複雜化的電子學系統大大簡化，體積大大縮小。

論壽命，半導體器件也大大超過一般的電子管器件。例如半導體放大器，據估計它至少能連續使用十年。

普通的無線電機都很“嬌嫩”，經不起碰撞和振動。半導體機器就沒有這個缺點，有人作過這樣的試驗：把一個半導體發射機放在一顆炮彈的彈頭里，射出時炮彈的速度達到每秒1800米，當炮彈頭擊中目標時，半導體發射機所經受的超重達到50萬倍，可是它還在繼續工作。這個寶貴的特性當

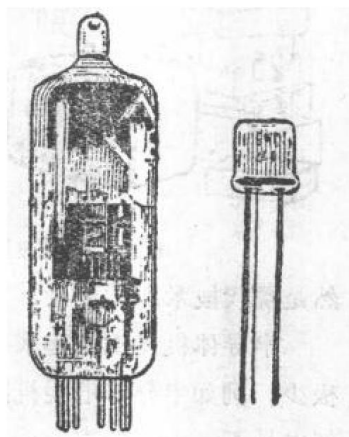


圖 1 半導體三極管(右)和小型電子管(左)的比較

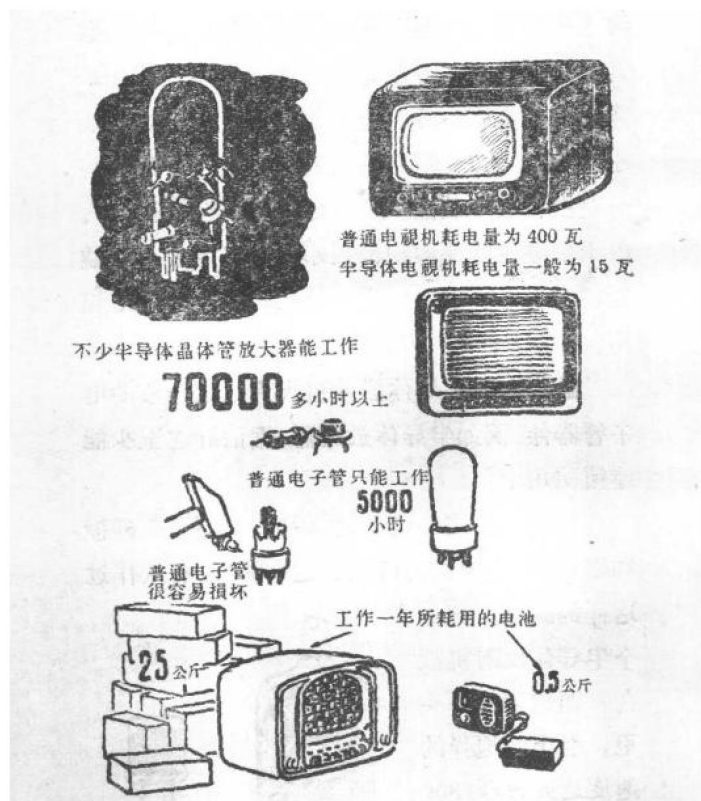


图 2 半导体器件的优点

然是现代技术所需要的。

半导体机器工作起来很经济，耗用的电能极少。例如半导体电视机跟普通电视机相比，耗电量不到前者的二十分之一！

由于半导体器件寿命长、坚固、耐振动、接

头少，所以它又具备另一个可贵的性能——可靠性高。

論动作速度，某些半导体器件也大大超过电子管，因此有的半导体器件已經成了微波通訊設備和快速电子計算机不可少的元件。此外，半导体器件的造价也比較低廉。

由于半导体机器和仪器具备这許多优点，它在无綫电电子技术、动力工程、自动化技术、电子計算技术中起着极其重大的作用。难怪半导体器件的出現，将会引起上述技术部門的根本变革了。

二 什么是半导体

一类广泛存在的物质

能导电的导体和不能导电的絕緣体是大家熟知的。可是在我們的周围世界中,除了这两种物体之外, 还存在着一大类介于导体和絕緣体之間的物质, 它們的性质既不象导体, 也不象絕緣体, 这就是半导体。半导体的范围非常广, 虽然化学元素周期表里属于真正的半导体元素只有鍺、硅、硒、碲等几种, 然而大多数金属的氧化物和硫化物(例如氧化亚銅、硫化鉛等等), 以及許多金属間的化合物(例如二銻化三鎂、銻化銮等等), 都是半导体。

不过, 半导体之所以引人注意, 并不是它那介于金属导体和非金属絕緣体之間的性质, 而是由于它生有一种“奇怪”的脾气。它可以一会儿象地道的导体, 一会儿又象典型的絕緣体, 有时又会出现一些独特的性质。例如, 有的半导体只要溫度計的水銀柱稍微上升一点, 它馬上就会变成导体; 有的只要光綫稍微有些变化, 它

的电阻率立刻就改变……。这些性质跟导体有着本质上的不同，也正是这种本质上的差别，使半导体成了技术上的宠儿。

一个普通的現象

半导体对外界环境的变化何以如此敏感呢？它跟金属导体和非金属絕緣体究竟有什么本质上的不同呢？讓我們先研究一下一个极普通的現象。一道阳光透过窗子射到屋里，你会看到阳光通过的那段空間里有无数微小的尘粒在自由自在、漫无目的地游蕩着。假如你开动通风机，情况就会馬上改变：乱紛紛的尘粒立刻变成一股尘流，向通风口飞去。虽然这是个极普通的現象，却能很形象地說明一个科学上的問題。原来，金属导体内部的情况也好像是这样的，它里面有无数电子在游蕩着。这种电子叫自由电子，它們就象阳光里的微小尘粒。当給导体接上电，或者說，造成电势差之后，电子就开始朝一个方向流动。朝一个方向流动的一群电子就是电流。金属导体能导电，其原因就在于此。

現在讓我們設想，假如窗前沒有微尘而只有一些石子。在这种情况下，在透过窗子射进屋子的阳光中当然看不到尘粒；無論你把通风机

开多久,石子既不会扬起,也不会飞走。这种情况正象絕緣体。絕緣体里自由电子极少。它里面的电子被原子紧紧地束縛住了,因此絕緣体不能导电。

現在再假設有一块鉄片,上面撒滿細土末。它比尘粒稍微重一些,平常就呆在鉄板上,不象尘粒那样在空气中飄蕩。但是它也不如石子那样重。如果你弹它一下,上面的土末会跳起来,又落下去。假如在离鉄片不远的地方打开通风机,那么当細土末跳到空中时,就会向通风口飞去。你把鉄片弹得越重,跳到空中的細土末就越多,飞向通风口的細土末也越多。这种情况正象半导体。我們弹鉄片,就象給半导体加些外来的影响(如溫度、光綫等等)。

物理学告訴我們說,任何物质的原子都是

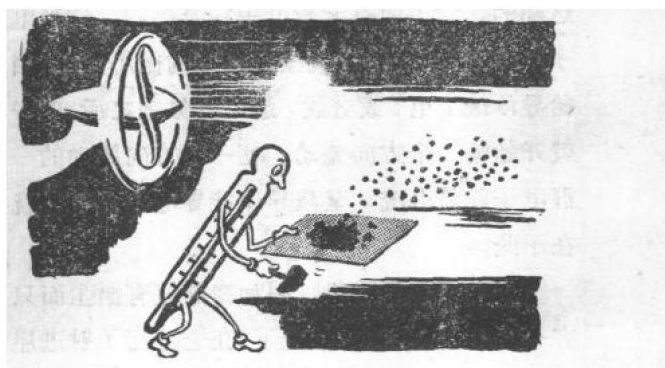


图 3 半导体就好象是这样的

在不断运动着的,这叫热运动。温度越高,热运动就越快,于是原子在无秩序的运动中就相互碰撞起来。如果是绝缘体,虽然原子发生碰撞,也很难释出自由电子,因为电子都被原子紧紧地束缚住。可是对那些对温度敏感的半导体来说,情况就不同了。在半导体里,有些电子并不是被原子束缚得很紧的。如果热运动的速度增加,原子的碰撞加剧,有一部分电子就会被撞落。这部分获得自由的电子,就是上面所说的自由电子。如果这时给半导体通上电,自由电子就会向一个方向流动,于是半导体变成了导体。假如温度降低,原子热运动的速度就变慢,撞落的电子就很少,半导体就几乎不导电。在绝对零度(-273°C)时,粒子的热运动完全停止,于是半导体就变成了典型的绝缘体了。

在物质的内部

不过,上面的解释只是比较粗略的,因为它不能深入地、圆满地解释半导体的某些特性。比如说,有些半导体对光线很敏感,它们不但对光线的强弱,而且对不同波长的光线的反应也是不同的。如果利用上面这种简单的解释,就不容易把问题说清楚。为了把半导体的性质说清楚,还需要对物质的内部构造,首先是原子的结构

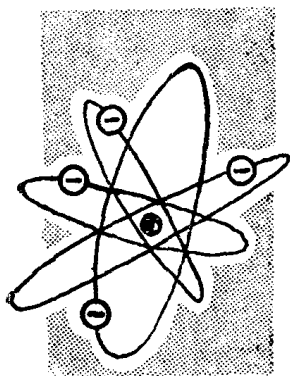


图 4 原子的构造很象一个微小的太阳系

和晶体的结构作进一步的探讨。

远在几十年以前，人们就已经通过深入的实验证明，原子的构造很象一个微小的太阳系：中央有个密实的核——原子核；一些极微小的电子，象行星围绕太阳

似的，沿着自己的轨道，围绕原子核旋转。

任何元素的原子，它的电子都仿佛是一层层分布着的，形成所谓电子壳层。每一壳层所能容纳的电子数是有一定的。第一层，也就是靠近原子核的那一层，只能容纳 2 个电子；第二层，能容纳 8 个；第三层，能容纳 18 个；第四层，能容纳 32 个……但并非每一电子壳层都是被电子占满的。例如锂原子有 3 个电子，其中 2 个位于第一层，还有 1 个位于第二层，所以锂原子的第二壳层还空着 7 个“位子”。又如氮原子中有 7 个电子，第一壳层有 2 个，第二层有 5 个，所以第二层还少 3 个电子。

每个电子都具有一定的能量。靠近原子核的电子能量最低，越往外，电子的能量越高。但

根据科学家的研究，原子中电子的能量不可能是任意的。它们只能具有某些能量，有些能量是它们所不能具有的。假如把原子中所具有的能量，由低到高依次用线条画出来，就可以看出，它们的能量是一级一级地增加上去的。这种一级一级的能量，叫能级。每一能级顶多能容纳 2 个电子。电子不能处在相邻两能级之间的能量范围里。

第一电子壳层里的 2 个电子是处在同一个能级上的；第二壳层里的 8 个电子是处在 4 个彼此很靠近的能级上的……。当然，最外面一个电子壳层中的电子，也是处在彼此挨得很近的一组能级或一个能级上的，视该原子所含有的

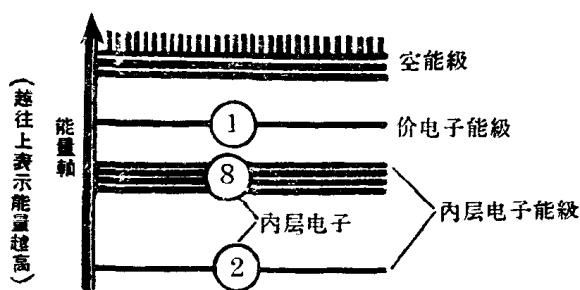


图 5 原子的能级图解

钠原子共有 11 个电子。第一层（即最靠原子核的一层）有 1 个能级，上有 2 个电子；第二层包括 4 个能级，每个能级有 2 个电子，共计 8 个电子；最外面一层（价电子能级）有 1 个能级，上有 1 个电子。水平线表示能级

电子数而定。这一組能級的能量比里面各层的电子所处的能級高。这一壳层中的电子叫价电子。价电子吸收了外来能量后,容易脱离原子,也能参与原子間的化学反应。除了价电子,其他比較低的能級上的电子都叫內层电子。

价电子能級既然是最外面电子所处的能級,照理說,再往外不会有什么能級了。实际上不是这样,价电子能級之外还有空能級。价电子受到外来能量的激发,可能跳到空能級上去。

晶体和非晶体

上面談的是原子結構和电子的性质,可是由原子或分子組成的固体物质結構又是怎样的呢? 这里首先需要談的是晶体結構。我們知道,世界上的物质通常分为两类:一类是流体,包括气体和液体;另一类是固体,包括晶体和非晶体。

常見的晶体有石英、明矾、云母、食盐等等。它們的特点是外形上都具有規則的几何形状,就是說都是些多面体。其中最簡單的是正立方体(例如食盐的晶体)。晶体各对应面之間的夹角的大小都是相等的。不过晶体有时可以失去它的天然面,就是說失去了規則的外形。可是