

硅可控整流元件基础知识

山东工学院电子仪器厂

269
2-4

最 高 指 示

改革归的教育制度，改革归的教学方针和方法，是这场无产阶级文化大革命的一个极其重要的任务。

学制要缩短。课程设置要精简。教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

中国应当对人类有较大的贡献。

伟大领袖毛主席教导我们说：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”我国工人阶级遵循伟大领袖毛主席的教导，在工业、农业和交通运输各条战线上创造了无数奇迹，我国电子工业正在突飞猛进，在各部門日益广泛地应用电子技术，电子研制与生产^硅可控 各流回的革命群众运动正在蓬蓬勃勃地发展。现代化电子工业的发展，将促进我国工业的大跃进，将在我国进行人类历史上一次新的工业革命中起到积极的促进作用。不久前，我国工人阶级高举毛泽东思想伟大红旗，遵照伟大领袖毛主席“独立自主、自力更生”的伟大方针，批判了叛徒、内奸、工贼刘少奇推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”，创造了具有现代技术水平的中国武钢高炉，並生产出制造大型硅可控整流元件所需的大面积硅材料，各种类型各种容量的硅可控整流元件及其应用都得到了飞速的发展，为我国电子工业的进一步发展开创了一个新的局面。

硅可控整流元件是一种新颖的可以控制的半导体元件，简称硅可控。一般的半导体元件与装在收音机里的晶体管一样，都是小功率的，在强电领域里没有它的位置。硅可控就不同，它一般是大功率的元件，同时具有半导体元件所有的优点：体积小、速度快、频率高。它自 1957 年问世以来，十几年发展极为迅速，已经成为电子工业的一个重要的基础产品。

目前，硅元件的应用已遍及国防、航空、采矿、冶金、机械、化工、石油、电力、铁路交通等各个行业，並正在进一步推广和发展。

为适应我国七十年代的电子工业与电子技术飞速发展的形势，我们汇编了这本关于硅可控的一些基本^本知识的小册子，供有关同志参考。由于我们学习毛主席著作很不够，缺乏实践经验，一定存在许多缺点和错误，恳切地希望同志们的批评指正。

目 录

第一章 什么是半导体

§1、导体、绝缘体、半导体	1
§2、半导体的独特性能	2
§3、在物质的内部 物质的原子结构	3
§4、晶体和非晶体	6
§5、晶体的能带	7
§6、满带和导带	10
§7、进一步解释导体、半导体和绝缘体的区别	11
§8、半导体中的空穴	12
§9、杂质对半导体电学性能的影响	-
§10、温度的影响	19
§11、迁移率	20
§12、复合和寿命	21

第二章 半导体材料

§1、单晶硅与多晶硅	23
§2、硅可控元件对单晶硅的要求	23

第三章 可控整流元件的伏安特性—— $p-n$ 结

§1、少数载流子	— 27 —
§2、 $p-n$ 结的电流	— 29 —
§3、 $p-n$ 结的能带	— 31 —
§4、 $p-n$ 结的伏安特性	— 33 —
§5、 $p-n$ 结的击穿	— 35 —

第四章 可控整流元件的工作原理

§1、 $p-n$ 结的相互作用	— 41 —
§2、电流放大系数 α	— 43 —
§3、可控硅整流元件的工作原理	— 46 —
§4、可控整流元件的控制极是怎样起作用的	— 48 —

第一章

什么是半导体？

导体、绝缘体、半导体。

毛主席教导我们：“对于物质的每一种运动形式，必须注意它和其他各种运动形式的共同点。但是，尤其重要的，成为我们认识事物的基础的东西，则是必须注意它的特殊点，就是说，注意它和其他运动形式的质的区别。只有注意了这一点，才有可能区别事物。”

大家知道，电线都是用铜或铝做成的，因为电流能通过铜线或铝线传导到需要的地方去；而且铜线或铝线外面常包着一层橡皮或塑料，与外界隔绝，因为电不能通过橡皮或塑料传导出去。

容易导电的物体，我们通称为导体，象银、铜、铝等都是良好的导体。反之，不容易导电的物体，我们称它为绝缘体（又叫非导体），如橡胶、塑料、石英、玻璃等都是绝缘体。

在我们的固体世界中，除了金属的导体和绝缘体外，还存在着一大类其他的物质，它们既不像导体那样容易导电，也不像绝缘体那样不容易导电，它们的导电性能介于导体和绝缘体之间。”这种特殊的导体，就构成一类物质区别于其他物质的特殊本质。”我们称这类物质叫做半导体。半导体的种类非常多，象锗、硅、硒等与大多数金属的氧化物和硫化物（例如氧化亚铜），以及许多金属间的化合物（例如铜长银等）都是半导体。

导体、半导体、绝缘体是按其导电能力来区分的，而导电能力一般是用电阻率来衡量的，电阻率越小，导电能力越大，电阻率越大，导电能力越小。电阻率是表征：导体、半导体、绝缘体的物理的电阻值，其单位是欧姆·厘米。金属的电阻率很小，约为百分之一到十分之一（ $10^{-6} \sim 10^{-3}$ ）欧姆·厘米；绝缘体的电阻率很大，约为 1 亿到 10000 亿欧姆（ $10^8 \sim 10^{20}$ ）欧姆·厘米；半导体的电阻率介于导体与绝缘体之间，约为十分之一到 1 亿（ $10^{-3} \sim 10^8$ ）欧姆·厘米。

目前状况越的本身体材料还是锡和硅，前者研究得较早，制备方法也较成熟，但由于锡的资源分散且稀少，目前世界上的产量有逐年下降的趋势。硅的一系列优点是锡所不及的，如资源丰富，硅在地壳中含量很大，约占四分之一；硅比锡能在较高的环境温度下工作，同时硅可以耐受较高的电压和电流，而反向电流比锡要小，

硅材料的寿命也比锗长；另外硅制元件，比锗还具有体积小、效率高、寿命长、可靠性大等优点，其缺点是硅制元件的限制工作频率较锗稍差，硅的提纯比锗困难。

§2 半导体的独特性能

半导体既不能作导体，又不能作绝缘体，为什么会引起人们很大的兴趣呢？其原因并不在于它的导电能力介于导体与绝缘体之间，而在于半导体所具有的独特性能。人们正是利用半导体的这种独特的性能，做成各式各样的有用元件。

当外界温度升高时，半导体的导电能力就增加许多，温度下降一些，它的导电能力又降低许多，也就是说，半导体的导电能力与温度间有着密切的关系。对金属导体来说，温度每升高一度，电阻率大约升高 0.4% ，半导体则与此相反，温度每升高一度，电阻率就会下降百分之几，甚至百分之几十。当温度升高 300°C 时，电阻率就会降低几个倍到几百万倍，变得与导体一样。人们利用这种性质做成了自动化控制用的敏感元件（如热敏电阻）。

当有光线照射在某些半导体上时，它的表现出导体的性质，导电能力很强；但在没有光照射时，它又象绝缘体一样不导电。于是人们就巧妙地利用半导体的这种独特性质，做成各种各样的自动化控制用的光电元件和元件（如光电二极管，光电电阻等）。

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绝缘体究竟有什么本质上的不同呢？让我们先研究一下一个极普遍的现象。一道阳光透过窗子射到屋里，你会看到阳光通过的那段空间里有无数微小的尘粒在自由自在，漫无目的地游荡着。假如你开动通风机，情况就会马上改变：乱纷纷的尘粒立刻变成一股气流，向通风口飞去。虽然这是极普遍的现象，却能很形象地说明一个科学上的问题。原来，金属导体内部的情况也将像是这样的，它里面有无数的电子在游荡着。这种电子叫自由电子，它们就象阳光里的微小尘粒。当给导体接上电，或者说，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。

现在让我们设想，假如窗内没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；无论你把通风机开多久，石子既不会拍起，也不会飞走。这种情况正象绝缘体。绝缘体里自由电子极少。它里面的电子被原子紧紧地束缚住了，因此绝缘体不能导电。

我们假设有一块铁板，上面撒满细土末。它比尘埃稍重一些，平常就呆在这铁板上，不像尘埃那样在空气中飘荡。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。假如在离铁板不远的地方打开通风机，那么当细土末跳到空中时，就会向通风口飞去。你越铁板弹得越重，跳到空中的细土末就越多，飞向通风口的细土末也越多。这种情况正象半导体。我们弹铁板，就象给半导体加些外来的影响（如温度、光照等之）。

物理学告诉我们说，任何物质的原子都是在不断运动着的，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，也很难弹出自由电子，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，有一部份电子就会被撞落。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。

§3 在物质的内部——物质的原子结构

毛主席教导我们：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”

上面的介绍只是比较粗略的，因为它不能深入地、圆满地介绍半导体的某些特性。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介绍，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，首先是原子的结构和晶体的结构作进一步的介绍。

几十年前，人们就已经通过深入的实验证明，原子的构造很像一个小太阳系：中央有密实的核——原子核；一些极微小的电子，像行星围绕太阳似的，沿着自己的轨道，围绕原子核旋转。

电子在原子核周围运转时，受到一定的限制；如重3-1所示。大家都知道，电子是组成原子的基本粒子之一，它绕着原子核运转不息。不过，电子在原子核周围运转时，受到一定的限制；它只能

在 K、L、M、N……等轨道层上运转。除了这些固定的轨道以外，在原子核周围的其它空间中电子是无法“立足”的。电子在轨道上运转时，受到原子核的吸引，不能任意离开原子核，被束缚在原子核的附近，原子内电子的能量随着它所处的轨道层次而异。关于这一点，可以这样来考虑：当电子从离原子核较远的轨道层跳到较近的轨道层时，譬如说从 K 层跳到 M 层时，这就必须失去一定的能量来克服原子核对它的引力。如果电子

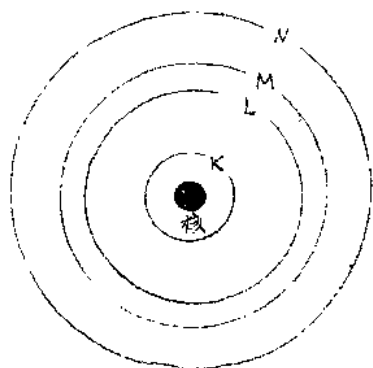


图 3.1

所具有的能量不足以克服原子核的引力，那么它只能在 K 层上运转。可见只有能量大的电子才能从 K 层跳到 M 层，所以 M 层上电子的能量大于 K 层上的电子。由此可以推知：在原子里面，处于不同轨道层上的电子，它们所具有的能量是不相同的，离原子核较远的电子具有较大的能量。

任何元素的原子，它的电子都仿佛是一层一层分布着的，形成所谓电子壳层。每一壳层所能容纳的电子数是一定的。第一层（K 层）这就是靠近原子核的那一层，只能容纳 2 个电子；第二层（L 层），能容纳 8 个；第三层（M 层），能容纳 18 个；第四层（N 层），能容纳 32 个……，但并非每一电子层都是被电子占满的。如硅原子，有 14 个电子，其中 2 个位于第一层，8 个位于第二层，还有 4 个位于第三层，所以硅原子第三壳层还空着 14 个“空子”。

在物理学中，常用能量值（如图 3.2）来描写电子在不同轨道层上所具有的能量。图 3.2 的右边是电子运转轨道的平面图，左边是电子的能量值。图中 E_K 、 E_L 、 E_M 、 E_N 等分别代表电子处于 K 层、L 层、M 层、N 层等上所具有的能量。因为电子只能处于这些轨道中的某一个上，所以它所具有的能量只能是 E_K 、 E_L 、 E_M 、 E_N 中的某一个。这些标志电子能量高低的关系叫做电子的能量级。图上的 E_0 是自由电子的能量级。所谓自由电子，是指不受原子核吸引的电子，它不受原子核的束缚，可以自由行动。电子距原子核越远，原子核对它的吸引力就越小。当电子和原子核距离足够远时，它就不再受原子核吸引了，这时电子就成为自由电子。电子跟

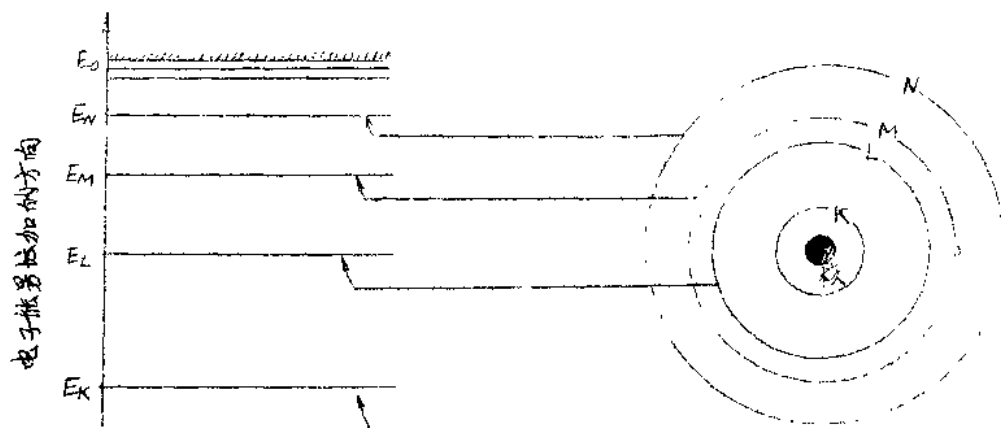
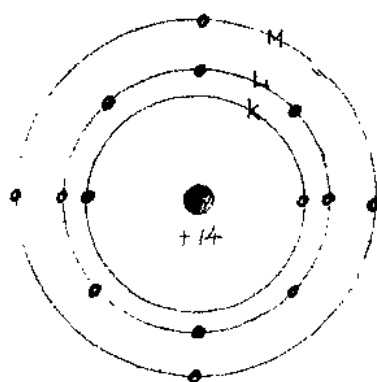


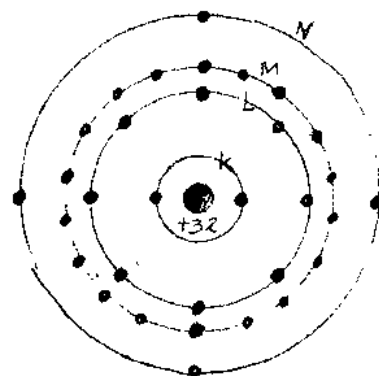
图 3.2 电子的能级图

离原子核越远，能量越大，所以自由电子的能级 E_0 高于 E_K 、 E_L 、 E_M 、 E_N 等能级。

在原子中最外层电子离原子核最远，原子核对它的吸引力最小，因此在受到外来影响时比内层电子容易脱离原子。从能级图上来说，最外层的电子能级较高，和内层电子相比，它只要从外界得到较小的能量，自己的能量就能大到足以挣脱原子核的束缚。这些最外层的电子称为价电子，在晶体的化学性质上起着十分重要的作用。



硅原子



锗原子

图 3.3 硅原子和锗原子的结构示意图

在我们现在所应用的半导体材料中，锗和硅是重要的半导体元

素，它们的原子结构如表 3.3 所示。硅原子共有 14 个电子，● 别处于 K、L、M 层上；处于 M 层上的价电子共有四个。锗原子共有 32 个电子，价电子有四个，处于 N 层上。

上面所说的单个原子只是一种理想情况，在自然界中并没有单个原子单独存在的情况，因为所有的物质都是由大量的原子组成的，这时电子不仅受到自己所属的原子核的作用，而且还受到相邻原子的作用。那么在由大量原子所组成的物质中，原子又是怎样的呢？

§4 晶体和非晶体

虽然世界上的物体都是由原子组成的，但是从原子的排列方式来看，可以分为晶体和非晶体两类。属于前者的例如岩盐、雪花、水晶、绝大多数金属和半导体等；属于后者的例如气体、液体、玻璃体等。晶体通常都具有特殊的外形，例如岩盐是立方形的，雪花是六角形的，水晶是六方柱体形的。晶体之所以会有特殊的外形，是因为它内部的原子排列具有一定的规律性。人们用偏聚射线对晶体和非晶体的结构进行了详细研究和分析，发现在晶体中，所有的原子都遵循一定的规律，有规则地排列在空间。而在非晶体里

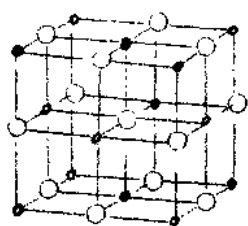


图 4.1 CuO 和 BaO 的晶格结构

- 代表 Cu^{2+} 或 Ba^{2+}
- 代表 O^{2-}

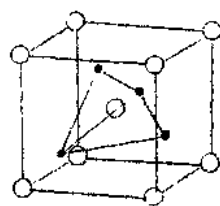


图 4.2 Cu_2O 的晶格结构

- 代表 Cu^{+}
- 代表 O^{2-}

原子的排列毫无规律，混乱得很。

在不同的晶体中，原子的排列方式可以是各不相同的，图 4.1 ~ 图 4.4 是几种大家所熟悉的半导体材料的晶格结构示意图。图 4.4 是著名的金刚石晶格结构，属于这类的晶体有金刚石、锗、硅和灰锡。

构成晶体的原子可以依照按照某

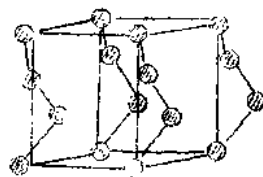


图 4.3 碲和砷的晶格结构

(黑圆代表碲或砷原子)

与它 幸以此之间保持一定的距离也于特定的位置上，是因为它们之间存在的力的作用，这种作用力叫做键。图 4.4 中的圆圈代表锗（或硅）原子实，球与球之间的“棒”代表把它们连接起来的键。在锗（或硅）晶体里面，两个相邻的原子会拿出一个价电子互相“共用”，即这对价电子成为两个原子所“共有”，这对共有的价电子把这两个原子紧紧地连接起来。人们把原子的这种结合叫做共价结合，把这对共有的价电子叫做共价键。从图 4.4 上还可以看出，虽然每个锗原子四周有很多原子，但是和它最接近的只有四个（图 4.4 中用黑色圆圈表示），每个锗原子还将用它的四个价电子和它相邻的四个原子进行共价结合，构成锗晶体。在说明锗（或硅）晶体中所发生的一些物理现象时，为了方便起见，可以用图 4.5 来代表锗（或硅）的晶格结构。图 4.5 中的圆圈代表锗（或硅）原子实，圆圈周围的四根黑线代表四个价电子，象征原子的共价结合。

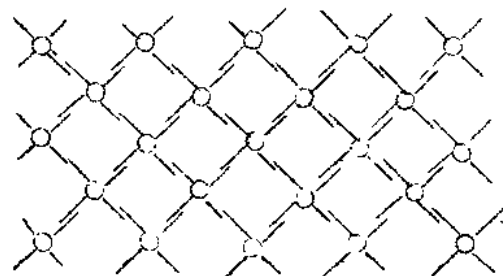
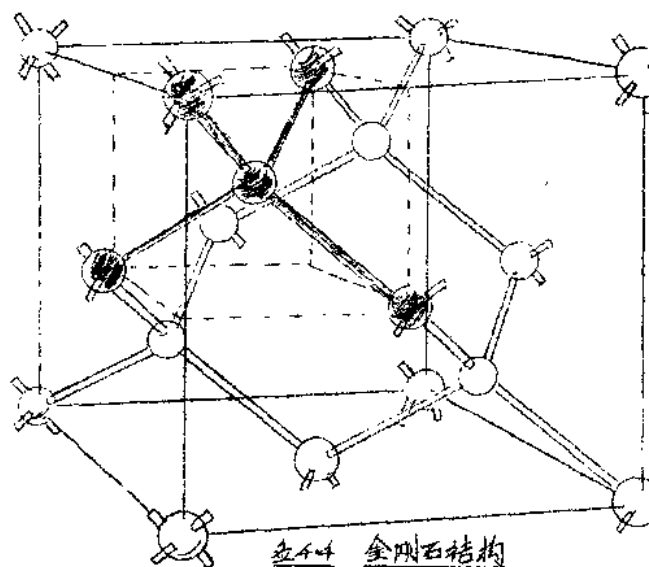


图 4.5 锗(硅)晶格结构平面示意图

现在来看一下晶体中电子所处的状态。

§5 晶体的能带

在晶体里面，由于原子和原子间的距离比较近，因此电子不仅受到自己所属的原子的作用，同时还受到相邻原子的作用；这种相邻原子的作用，使电子的单个能级分裂成能带。下面我们用电子的共有化运动来说明这一点。

当原子和原子比较接近时，相邻原子的电子轨道将互相交迭。图 5.1 所示就是这种物理过程的最简单的示意。从图 5.1 上可以看到 M 层轨道发生了交迭，处于 M 层上的电子，通过轨道的交迭

，可以从自己所属的原子跑到相邻的原子上去。如果运动的原子不止两个，那么电子跑到相邻原子上去以后，又可以经过轨道的交叠跑到更远的原子上去；这样电子就不再被局限于自己所属的原子范围内，而可以在晶体中所有的原子上运动。于是电子就不再属于某个原子所有，而是为晶体中所有的原子所共有了。电子的这种运动就叫做共有化运动。

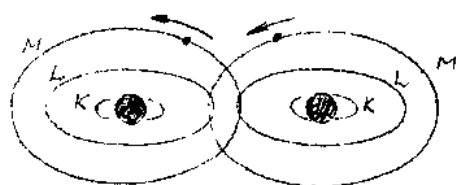


图 5.1 电子的共有化运动

虽然一般地说来，晶体中原子的电子都兼有围绕核运动的原子运动和上述的共有化运动，但实际上只有最外层的价电子才有显著的共有化运动。这是因为价电子和原子核的距离比内层电子来得远，受原子核的作用最弱，在受到外来影响时最容易脱离原子。另一方面，价电子的轨道层比较大，它和相邻原子的距离比内层电子小，相邻原子对它的作用比内层电子也强。至于内层电子，由于它的轨道层比较小，它一方面与自己所属的原子核比较近，受到的束缚比较紧；另一方面，受到相邻原子的影响又比价电子小。因此内层电子的共有化运动是不显著的，它基本上仍然保持着单个原子中的状态。

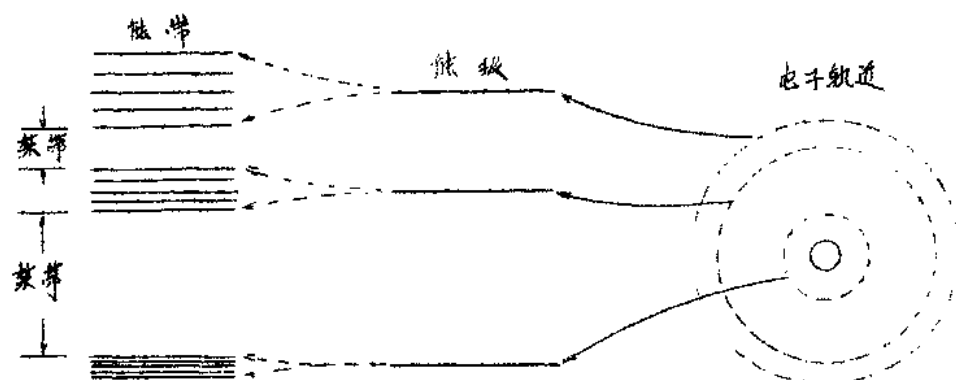


图 5.2 在晶体中电子的能级分裂成能带

在讨论单个原子时，曾经介绍过能级数（见 3.2），说明电子的每一轨道层都有一个对应的能级。在晶体中，电子的轨道层发生了交叠；电子除了原子运动以外，还兼有共有化运动。这时，与

轨道对应的能级就会裂成为能带，就是每个能级分裂成很多很多个非常靠近的能级。本来在能级图上是画一条线来代表一个能级，现在就要象图 5.2 中那样画一条宽的带来表示。这条由很多根细线组成的带叫做能带。假如晶体是由 N 个原子组成的，那么在每条能带中共有 N 个能级。以硅为例，每立方厘米的硅晶体中有

4×10^{22} 个原子；放在单位立方厘米的硅晶体中，每条能带中有 4×10^{22} 个能级，这实在是一个相当大的数目。由此可以想见，能级和能级之间的距离是很小的，约为 10^{-21} 电子伏特⁽¹⁾。

在单个原子中，电子只能停留在能级上，能级与能级间的区域是不允许电子停留的。既然能带是由能级分裂而成的，因此在晶体中，电子只能停留在能带里的能级上。至于能带与能带之间的区域也是不允许电子停留的，这个不允许电子存在的区域，称为禁带。

能带的宽度和晶体中原子的总数没有关系。晶体中原子总数的增加，只会引起能带中能级的增加，使能级与能级之间的距离变得更小，但不影响能带的宽度。能带的宽度是由晶体的性质决定的。能带的宽度在一定程度上反映了电子共有化运动的强弱：外层电子的共有化运动比较显著，电子在晶体中的共有化速度比较大，因而对应的能带就比较宽；内层电子的共有化运动比较弱，而对应的能带也就比较窄，如象 5.2 所示。

还有这样的情况：在有些晶体里，价电子能级所对应的能带很宽，以致和上面的另一条能带发生了交迭。这时，这两条能带之间的禁带就不存在了，某些二价金属晶体的能带结构就是这样的。这类能带结构跟我们所要讨论的内容关系不大，所以不详细谈了。

每个能级就像双人座位一样，只能容纳 2 个电子，假定一条能带共有 N 个能级，那么它只能容纳 $2N$ 个电子。电子在能带里面，总是喜欢“占坐”能量较低的能级，也就是说比较下面的能级，所以电子在填充能带时，总是先从下面填起。因此，如果能带中的能级没有全部被电子填满，那么，在正常的情况下，能带中较高的能级，即上面的一些能级是空的。

内层电子能级所对应的能带都是被电子填满的；价电子能级所对应的能带，有的被电子填满的，也有没有被电子填满的，这要由晶体的具体性质来决定。像铜、银、金等晶体，它们的价电子能带有

(1) 电子伏特是物理学中衡量能量的一种单位。一个电子伏特，就等于在强度为 1 伏特/厘米的电场中，使电子顺着电场方向移动 1 厘米时所作的功。1 电子伏特 $\approx 1.6 \times 10^{-19}$ 尔格。

一半能级是空的；像金刚石、锗、硅等晶体，它们的价电子能带正好全部被电子填满。能带理论告诉我们：只有当能带里有空能级的时候，能带中的电子才能参加导电运动。

§6 满带和导带

为什么只有当能带中有空能级的时候，电子才能参加导电运动呢？

我们知道，电流就是电子沿着某一方向移动而形成的。电子之所以会沿着某一方向移动，是因为它受到了电场的加速作用，电场的这一加速作用，使电子获得了附加的动能，电子的总能量因此增大。电子能量的增大，就相当于电子从能带中较低的能级跳到较高的能级。这一事实我们要牢记，这是我们的理论半导体中一切电现象的出发点。

在讨论单个原子中的电子运动时，曾经用电子的能级来描写电子的运动状态。譬如当电子在 K 或者 M 层上运转时，我们说电子停留在能级 E_K 或者 E_M 上（参看图 3-2）；当电子从 K

层跳到 M 层时，我们就说电子从能级 E_K 跳到 E_M 上。在谈到电子的导电运动时，根据上面所说，这可以用能量的变化来解释。这里要重复这一点，是让大家了解：电子参加导电运

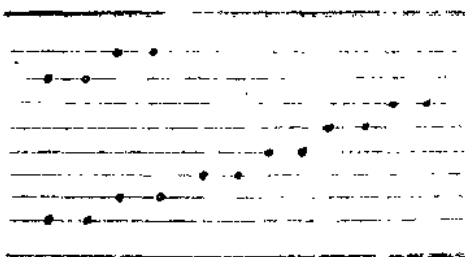


图(1) 当电子参加导电运动时，它就从下面较低的能级跳到上面的空能级上去。

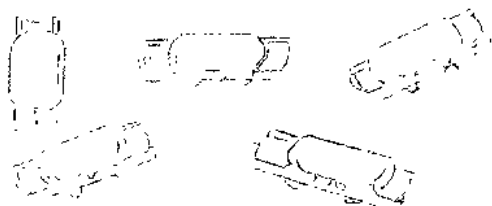
动，和电子从能带中较低的能级跳到较高的能级，实际上是一件事物的两种说法。按照这样说来，能带中的电子能不能参加导电运动，首先要看能带里有没有空的能级。如果能带里面有空的能级，那么在电场的作用下，电子就能跳到上面的空能级上去参加导电运动（参见图 6-1）。这样的能带我们叫做导带。反之，如果能带中没有空的能级；那么即使电子受到电场的作用，企图跳到高能级上去，但是因为没有空的能级，它还是没有办法参加导电运动。这样的能带，我们称之为满带。

为了解释能带中电子能不能参加导电运动，我们不妨这样来譬喻：把电子比作一辆载有单位负电荷的汽车，把能带比作一条公路

。能带中的电子就相当于停在公路上的汽车。这样一来，满带就相当于这样一条公路（路面），停满了汽车，连汽车转身的余地都没有。



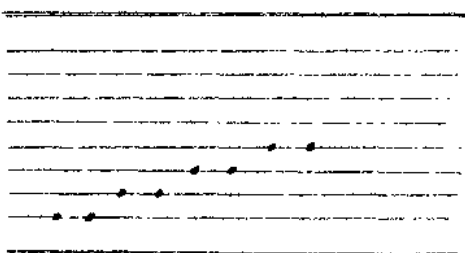
(a) 能带被电子填满，电子无法参加导电运动



(b) 公路已被汽车占满，无法通行

图 6.2

了，交通阻塞，汽车无法通行（图 6.2）。假使能带没有被电子填满，在正常的情况下，能带中较高的能级是空的，这相当于公路的一边是空的，一边停满了汽车。有了这部分空的路面，汽车就可以通行无阻（图 6.3）。



(a) 能带没有被电子填满，电子可以跳到上面的空能级上参加导电运动。



(b) 公路的一边是空的，汽车可以从旁边通行。

图 6.3

晶体的电学性质主要是由晶体中电子所处的状态来决定的。在介绍了晶体中电子的能带以后，下面我们就来谈导体、半导体和绝缘体有些什么区别。

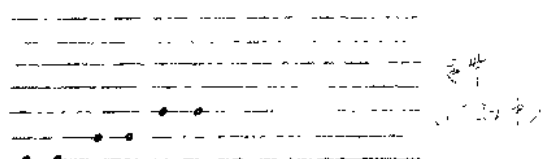
§7 进一步的解释——导体、半导体和绝缘体的区别

明白了上面这些道理，就有可能比较深入地解释导体、绝

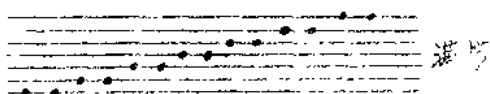
绝缘体和半导体究竟是怎么回事了。

从本质上来讲，一个物体是导体、绝缘体还是半导体，首先要看它的价电子带被电子填满的情况如何。

如果物体的价电子带已被电子填满，则电子很难自由移动，只能跳到另一个能级，这就是绝缘体。



禁带



满带

(a) 绝缘体的能带结构



(b) 半导体的能带结构

图 7-1

绝缘体的情况就不同了，它的价电子带被电子填满，而且，能带很宽，电子不能从一个能级跳到另一个空能级上去。

那么半导体又是怎样的呢？它的价电子带填满了电子，但能带很窄，因此电子在接受了外来能量，例如热能、光能的时候，很容易地跳到导带上去。上面说过，电子跳到导带上的时候，物体就呈现导电性。因此，这时半导体就变成了导体。

现在我们可以明白，为什么半导体有时象典型的绝缘体，有时又象地道的导体了。原来半导体的价电子带是填满电子的，在还没有获得外来能量时，不能跳到导带上去，跟绝缘体一样。但是，如果半导体接受了外来能量，它的价电子就会跳到导带上去，从而使它变成导体。半导体之所以灵敏，它的性质之所以易变，就是因为它的能带非常窄的缘故。

那么，为什么不同的半导体对不同波长的光有不同的反应呢？原来光能不是连续的，可以把它分成一小份一小份的，就象可以把物质分成一个个原子一样。这种一份一份的光辐射能，在物理学里叫做光子或光量子。不过光除了具有这种粒子的性质之外，还具有