

半 导 体 收 音 机 基 本 知 識

人 民 邮 电 出 版 社 編

人 民 邮 电 出 版 社

目 录

什么是半导体?	1
P—N 結和半导体二极管	8
半导体三极管和它的放大作用	13
談談半导体管的构造	21
半导体三极管的基本电路和特性参数	29
半导体管放大器	36
半导体管低頻放大电路	43
半导体管高頻放大电路	50
半导体管振蕩电路	58
半导体管超外差式收音电路	67
半导体管收音机的耦合电路	76
半导体管收音机的元件(一)	84
半导体管收音机的元件(二)	96
半导体管使用常識	101
收音机怎样选用半导体管	105
半导体管常用参数的測試	112
国产半导体器件型号命名方法	122
介紹一些国产半导体管的特点	125
一些常用国产半导体三极管的新旧型号对照、用途和 电极位置	131

什么是半导体？

养 林

在上一世紀人們就已經发现了半导体，不过当时认为它的导电性能不如导体，而絕緣性能也不很好，比不上絕緣体，所以沒有被人們所重視。直到这一世紀四十年代，随着科学的不断发展，逐漸发现了半导体的种种导电性能，利用它可以获得許多意想不到的功用。例如利用煤油灯所散发的热量来工作的半导体发电器，可以供給收音机所需的电源。一种用半导体做的大面积发光装置，一通上电，整个房間里就放出洁白柔和的光綫，照耀得如同白昼一般，簡直象进入了神話世界。还有一种用半导体做的光电池，可以把太阳光綫变成电源，如果广大农村的屋頂鋪上这种材料，家家都有电气化的可能。半导体还可以用来做电冰箱，工作时沒有声音，效率却很高，而且省电。

特别是用半导体做的半导体管(晶体管)，它的体积小，重量輕，耗电少，而且寿命长，这些优点都是电子管所不及的。因此，半导体管得到广泛的应用。很多应用电子管的电子仪器、设备和无綫电机內都換用了半导体管，并且得到一些使用电子管所得不到的效果。

半导体的应用有广闊的发展前途，并愈来愈显示出它对工业、农业、国防、科学研究等各方面的重要性。今天人們正在为創造更多更好的半导体器件和設備而努力。

半导体奇特的导电性能

物质的导电性能以电阻率来表示。电阻率就是某种物质单

位长度及单位截面积的体积内的电阻值。电阻率越小，越容易导电；反之，电阻率越大，越难导电。

金属导体的电阻率很小，约为 10^{-6} — 10^{-3} 欧·厘米。绝缘体电阻率很大，约为 10^8 — 10^{20} 欧·厘米。半导体的电阻率介于它们之间，约为 10^{-2} — 10^8 欧·厘米。这个范围很宽，说明属于半导体的材料是很多、很丰富的。

导体、绝缘体的电阻率随温度的变化很小。但温度变化时，半导体的电阻率变化却很剧烈：每升高 1°C ，它的电阻率下降达百分之几到百分之几十。不仅如此，当温度较高时，电阻率甚至下降到很小，以致变成和导体一样。

在金属或绝缘体中，如果杂质含量不超过千分之一，它的电阻率变化是微不足道的。但半导体中含有杂质对它的电阻率影响很大；以锗为例，只要含杂质一千万分之一，电阻率就下降到原来的 $1/16$ 。

此外，半导体还受光的影响。光线照射将使它的电阻率降低，这也是和金属导体及绝缘体不同的。

从原子结构谈起

宇宙间所有的物质元素都由原子组成。原子中间都有一个“原子核”和若干绕原子核不停地旋转的电子。不同元素的原子所包含的电子数目是不同的。电子带有单位负电荷，原子核带正电荷。正电荷的数量刚好和全部电子的负电荷数量相等，所以原子是中性的。

电子围绕原子核运动，和太阳系中行星围绕太阳运行相似。在核的引力作用下，电子分成几层按完全确定的轨道运行，而且各层所能容纳的电子数目也有一定规律。例如在图 1 上硅和锗两元素的原子结构中，最靠近核的第一层轨道称为 K 层，

只能容纳 2 个电子；第二层为 L 层，能容纳 8 个，第三层 M 层能容纳 18 个，……。硅有 14 个电子，所以各层依次分布有 2、8、4 个电子。锗原子有 32 个电子，所以按 2、8、18、4 排列。原子最外一层轨道往往没有为电子填满到规定数目。我们把最外层的电子叫做“价电子”。

受外界作用，电子可以克服原子核的吸引力而脱离原子自由行动成为“自由电子”。这些自由电子在电场力的作用下，产生空间的运动就形成了

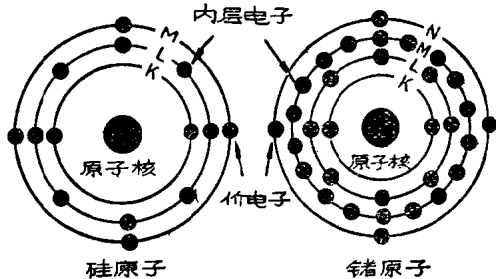


图 1

电流。可以想象得到最外层的价电子因离核比较远，所受束缚力最小，最容易受外界影响而形成自由电子，所以从导电性能来看，价电子是很重要的。

金属的原子核对价电子的束缚力很弱，在常温下就能产生大量自由电子，故容易导电。温度升高时，电子热运动加剧，相互碰撞机会增多，电阻率增高。绝缘体和半导体的价电子受到的束缚力强，常温下自由电子数目很少，故不容易导电，电阻率也就高了。

锗晶体的结构

锗是典型的半导体元素，是制造半导体管的一种主要材料，我们就以锗为例来说明半导体的导电性能。

锗晶体内的原子很整齐地排列着。各个原子之间有相互排斥的力量，而每个原子除了吸引（束缚）住自己的价电子外，

还吸引住相邻原子的价电子。因此，两个相邻原子的价电子便成对地存在，这一对电子同时受这两个原子的束缚，为它们所“共有”；而这两个相邻原子也通过这个电子对被联系在一起。这样，电子对就好像起了“键”（联结）的作用，所以我们叫它“共价键”。由于上述几个作用力始终处于平衡状态，所以依靠各原子之间的这种共价键的作用，晶体内的各原子能够稳定地结合在一起，出现一个个的晶格，组成了晶体。

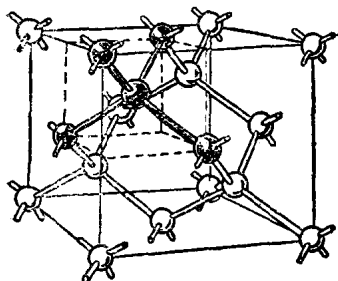


图 2

在图 2 上画出了锎晶体的结构示意图。图中虚线表示的立方体就是晶体的一个单元——晶胞。其中的圆球表示锎原子的位置；由于锎原子有四个价电子，所以立方体中心的锎原子和相邻四个锎原子分别用两根“棒”连接起来，表示它们通过共价键而结合在一起。

在理想情况下，晶格是很完整的，所有的价电子都组成了电子对，因此没有自由电子。这时晶体是不易导电的。

电子导电和空穴导电

在外力作用下，晶格中的共价键的价电子可能脱离键的束缚而成为自由电子，就好像一组共价键拆去了一根。这就留出了一个“空位子”，我们把这个空位子叫做“空穴”。由于原子本身正电荷和负电荷数量相等，故原子失去了电子后，整个原子就带正电荷，就叫正离子。正离子容易吸引相邻原子的价电子来填补电子离开所留下的空位，使相邻原子中又出现空穴；而这个新出现的空穴，又可能为别的电子去填充。电子这样不断

地填充空穴,就使空穴的位置不断在原子間轉移。空穴的轉移,实际上也是电子(电荷)的运动,所以也形成电流,这叫做“空穴流”。而原来失去的电子,在晶体中运动,形成了“电子流”。但为了便于叙述,今后就认为空穴在运动,而且把它当作一个正电荷来看(实际上是空穴所在的原子呈现一个单位正电荷的电量)。由于空穴和电子都带有电荷,它们的运动都形成电流,所以就統称它們为“載流子”。

一块不含有杂质的、晶格完整的半导体叫做“本征半导体”。因为它晶格完整,如果有一个电子从共价鍵中释放出来,必定留下一个空穴,所以本征半导体中电子和空穴总是成对地出現,它們的数目相等,称为“电子-空穴对”。在常温下,由于热运动的结果,在本征半导体中会产生一定数量的电子-空穴对,形成了电子流和空穴流,总的电流是两者之和。如沒有外界电场作用,电子和空穴的这种运动是杂乱无章的,电子流和空穴流方向也是不定的,結果互相抵消沒有淨电流出現。图3就表示本征半导体中产生

电子和空穴热运动的情况。为了簡單起見,只画了晶格结构的平面图,立体晶格中的情况也可以想見。图中大圓圈表示鍺“原子实”(原子中除去了价电子的其它部分),两旁二根細綫及黑点表示“共价鍵”。而当有电场作用下,半导体两端就出現电压,电子向“正”

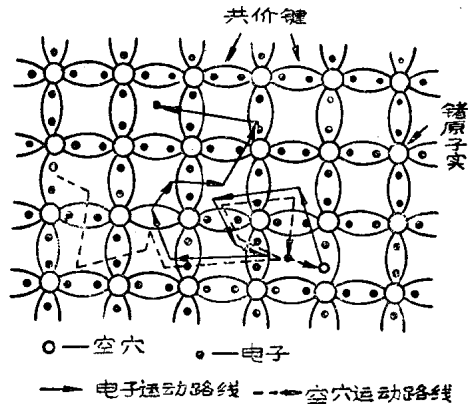


图 3

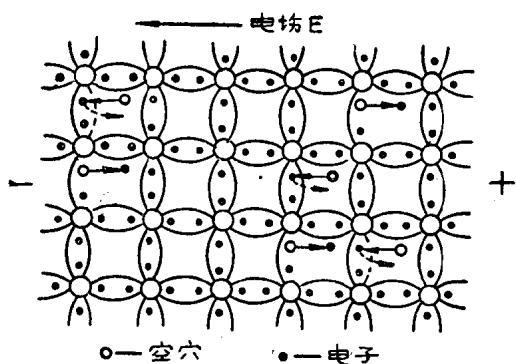


图 4

端方向运动，而空穴向“负”端方向移动，形成了定向电流如图 4。半导体内就产生了电流了。本征半导体因电场作用而产生的导电现象就叫“本征导电”。

什么是 P 型半导体和 N 型半导体？

以前说过半导体中加进了杂质，电阻率就大大降低。原来加进杂质后，空穴和电子的数目会大大增加。例如在锗晶体中掺入很少一点三价元素铟，铟的价电子只有三个，它进入后和锗组成晶格，它的三个价电子分别和相邻的三个锗原子的价电子组成共价键，而对相邻的第四个锗原子，它没有电子拿出来与这个锗原子“共有”了，这就留下了一个“空穴”（见图 5）。因而掺入了少量的杂质铟，就会出现很多的空穴，因为即使是少量的，里面含有的原子数目却不少。杂质半导体中空穴和电子数目不相等，受电场作用时，空穴导电是主要的，所以叫“空穴型半导体”，或者说是“P 型半导体”。换句话说，“P 型”或“空穴性”半导体内是有剩余空穴的，掺入的杂质提供了剩余空穴。“P 型”半导体中空穴是多数，所以叫空穴为“多数载流子”；电子数目少，就叫“少数载流子”。掺入的杂质能产生空穴接受电子，我们叫这种杂质为“受主杂质”。

如果把一些五价元素如砷掺入锗晶体中，砷有 5 个价电子，

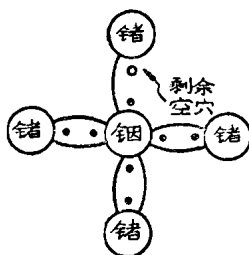


图 5

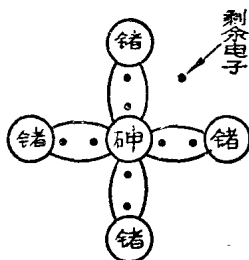


图 6

它和四个锗原子的价电子组成共价键后，留下一个剩余电子，这个剩余电子就在晶体中到处游荡，在外电场作用下形成定向电子流（参见图 6）。掺入少量的砷杂质，就会产生大量的剩余电子，所以叫这种半导体为“电子性”半导体或是“N型”半导体。在这种半导体中有剩余电子，这时电子是多数载流子，而空穴是少数载流子，砷是“施给”剩余电子的杂质，所以叫作“施主杂质”。

如没有外电场作用，不论 N 型或 P 型半导体，它们的载流子运动是无规则的，所以不会形成电流。

杂质掺入的数量是严格控制的。不能多掺，多掺了，载流子数目太多，电阻率降得太低，就失去半导体的作用了。因此，对本征半导体的纯度要求就非常高。对于锗来说，要求含锗量在 0.999999999（简称九个“9”）以上，看来是多么不容易啊！只有在近代技术高度发展的条件下，才能生产纯度这样高的锗晶体。

（原载“无线电”1964 年第 8 期）

negative 杂质
受主

positive 杂质
施主

P—N 結和半导体二极管

露 天

什么是 P—N 結？

早在十九世紀，人們就发现：当金属和半导体接触时，它們的交界面附近会发生单向导电現象。后来，科学家們又发现：P 型（空穴型）和 N 型（电子型）半导体的接触会发生更显著的单向导电現象。在它們的交界面上形成一个所謂“P—N 結”的結構，单向导电現象就发生在这一薄薄的 P—N 結中。P—N 結是半导体管（或叫晶体管）的基本組成部分，必須先認識一下 P—N 結，才可能了解半导体管的全部奥秘！

P—N 結是由扩散形成的！

气体要充滿整个空間，一滴墨水能把一杯清水染蓝，人們日常碰到的很多这样的現象，都是扩散的結果。扩散有个規律，总是从浓度大的地方向浓度小的地方跑。我們知道，P 型半导体內空穴是多数載流子，即空穴的浓度大；而 N 型半导体內电子是多数載流子，电子的浓度大。两者接触之后也会产生扩散現象。

如图 1 a 所示，由于在 P 型区和 N 型区内电子的浓度不一样，N 型区的电子多，就向 P 型区扩散，扩散的結果如图 1 b 所示，N 型区薄层 I 中部分电子扩散到 P 型区去。薄层 I 便因先去电子而帶正电。另一方面，P 型区的空穴多，也会向空穴浓度小的 N 型区扩散，結果一部分空穴从薄层 II 向 N 型区扩散，

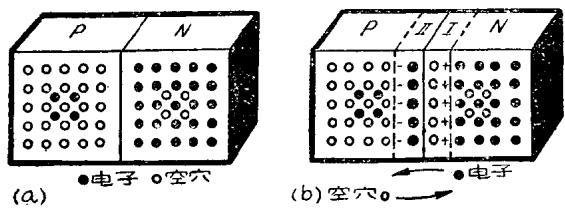


图 1

使薄层Ⅱ带负电。

电子和空穴的扩散是同时进行的。总的结果，P型区薄层Ⅱ流走了空穴，流进了电子，所以带负电，N型区的薄层Ⅰ流走了电子，流进了空穴，因而带正电，而且随着扩散现象的继续进行，薄层逐渐变厚，所带的电量也逐渐增加。不过，这种扩散作用不能无休止地进行下去，当扩散进行到一定程度后，薄层Ⅱ带了很多负电，从N型区向P型区扩散的电子总数因电子受到它的排斥不再继续增加；同样道理，从P型区向N型区扩散的空穴总数也不再增加，于是扩散似乎不再继续，而达到所谓“动态平衡状态”。这时P—N结也就最终形成了。

所谓P—N结，就是指薄层Ⅰ和薄层Ⅱ所构成的带电结构。因为它能阻止电子和空穴的继续扩散，所以也叫“阻挡层”。它们之间的电位差，一般叫“位垒”（或“势垒”）。

上述让P型和N型两块半导体“接触”，并不是简单地把它们靠在一起，而是采取控制杂质浓度用生长法等加工方法形成的。

P—N 结的单向导电性能

要了解P—N结的导电性能，让我们先来做实验。在图2的线路中，将P型区接电池正极，N型区接负极。向右调

电位器使加到 P—N 結两端的电压逐渐增高，我們发现电压表讀数增高时，电流表的讀数也随着增大（如表）。

电 压 (伏)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
电 流 (安)	0.1	0.2	0.4	0.67	1.0

此时 P—N 結的电阻很小，这种接法叫正向连接。

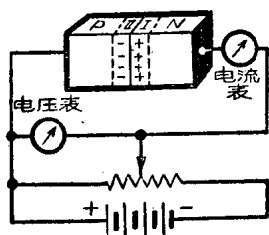


图 2

若反过来把 P 型区接电池负极，而 N 型区接正极，这时我們发现：把电压增高到几十伏，电流的指示只有几个或几十个微安，此时 P—N 結的电阻很大，反向电流很快就达到饱和不再增大了。这說明电流只能沿着一个方向流过晶体二极管，这就叫做“单向导电”。

怎样解释这一实验的结果呢？P—N 結为什么会有这种导电特性呢？我們如果进一步研究 P—N 結的形成过程，就能理解它的单向导电的机理：原来 P 型区接正电而 N 型区接负电时，外加电压的方向刚好和 P—N 結位垒电压的方向相反，使薄层 II 带的负电和薄层 I 所带的正电量减少，P—N 結位垒因此被削弱，于是在正电压作用下，电子和空穴的扩散又可进行，N 型区的电子不断跑向 P 型区，P 型区的空穴不断跑向 N 型区，正向电流也就产生了。而且，正向电压加得愈高，P—N 結位垒被削弱得愈厉害，扩散也就更容易进行，正向电流也就愈大。

当 P—N 結和电池反向连接时，外加电压起着增强 P—N 結位垒的作用，使薄层 II 带的负电荷和薄层 I 所带的正电荷增

加，扩散更无法进行。这时只有P型区的少数载流子——电子和N型区的少数载流子——空穴，受外加电压作用形成微弱的反向电流。而少数载流子的数目不多，所以在反向电压只有零点几伏时，反向电流就达到饱和了。

P—N 結还有一个十分重要的特性，即所謂反向击穿电压。当所加反向电压大到一定数值时，P—N 結电阻会突然变得很小，反向电流会骤然增大，而且是无限的增大，就好像电压过高时，会将电解电容器中間的介质击穿的道理一样。这种现象叫P—N 結的反向击穿，开始击穿时的电压数值叫反向击穿电压。它直接限制了P—N 結用做整流和检波时的工作电压，因为一旦击穿，P—N 結就被破坏不能工作了。晶体二极管还有一些特性参数，如最大正向电流、最高工作温度和P—N 結电容等，就不一一叙述了。

介紹几种国产半导体二极管

半导体二极管广泛用在收音机和其它电子线路中作为检波和整流元件。按照结构来说，半导体二极管可以分为“点接触”和“面接触”两种。点接触半导体二极管是由一根极细的金属丝压在半导体薄片上构成的（见图3），按照所用的半导体材料和金属触丝的不同而区别为各种型号。例

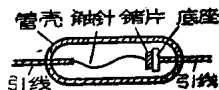


图 3

如国产2AP11—2AP17 (Д9А—Д9К) 型管子都是点接触锗金键二极管。而2AP1—2AP7 (Д1А—Д1К) 型管子则是点接触锗鎢键二极管。

一般点接触二极管能在很高的频率下工作，不过为了提高工作频率，往往把金属丝做得很细，但这样金属丝和半导体的接触面更小，使得它不能通过很大正向电流和承受较高的反向

击穿电压，因此这种二极管，不适合作整流用。

上述两类国产管都可以作检波用。它们除采用触丝材料不同外，在电性能上也有区别。前一种的正向电阻比后一种小（前一种 $100\ \Omega$ 左右，后一种约 $500\ \Omega$ ），在同样的正向电压下，前一种能给出较大的电流。例如，2AP11—2AP17 能给出 15—40 毫安的电流，而 2AP1—2AP7 只能给出十几毫安。当然由于前一种的正向电阻较小，所以检波的效率比后一种高。这两种半导体二极管型号的最后部分还用数字区别出若干种不同的品种，它们之间除正向电阻略有不同外，由小数字到大数字表示允许的反向电压逐渐增高。例如 2AP1 的允许反向电压是 20 伏，而 2AP7 则是 100 伏；2AP11 是 10 伏，而 2AP17 则可达 100 伏。不过它们都可以在收音机中用作检

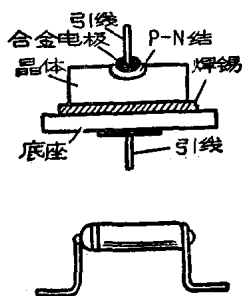


图 4

波，因为一般检波输入电压远小于 1 伏，要求的正向电流也很小，它们都能胜任。

面接触二极管（图 4）较之点接触二极管能承受更高的反向电压和更大的正向电流，反向饱和电流很小，适于用作整流，不过工作频率远比点接触二极管低，不能作检波用。它的结构如图 4 所示。

半导体二极管的用途

半导体二极管有和电子二极管相比，有体积小、耐震、抗冲击、寿命长、可靠性高、不需灯丝电源和效率高等优点，目前广泛用来代替电子二极管进行检波和整流。但它也有反向电阻比电子管小、单向导电性能易受温度变化的影响等缺点。例如在温度

升高时，收音机的音量会大一些，但杂声也随着增大，这就是温度变化对二极管的影响造成的。很多无线电爱好者用晶体二极管代替矿石装收音机，效果要好得多。图 5 就是一种典型的电路。从空中收到的无线电信号经过天线，再通过初、次级线圈加到半导体二极管上进行检波。检波后就把音频电流和高频电流分开。电容器 C 对高频电流阻力小，所以高频电流经过它流通。耳机对高频电流阻力大，但却对音频电流阻力小，所以音频通过耳机，变成了语言和音乐。

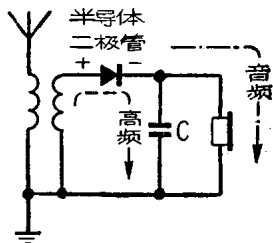


图 5

用两个半导体二极管可以组成全波或倍压检波电路，效果更好，由于篇幅所限，这里就不多谈了。

半导体二极管的管壳如果是透明的，可以看到连接金属触丝的一端是正极。如是不透明的，可以用万能表量一下正、反向电阻，当量出比较小的正向电阻时，这时万能表负表笔接触的二极管的一端为正极。正、反向电阻相差越大越好，一般正向电阻在几百欧，反向电阻在几百千欧，表示良好。正向电阻不大过二千欧时还勉强可用。

（原载“无线电”1964 年第 9 期）

半导体三极管和它的放大作用

露 天

在小巧精致的半导体收音机里，小小的半导体管代替了电子管，起着变频、检波、放大等作用。但是，半导体三极管的

构造究竟是怎样的？又为什么会有放大作用呢？下面我们就来
看一看它的秘密：

半导体三极管的管壳里包含些什么？

经过制造加工，把一块完整的半导体变成有不同导电性能
的三个导电区，例如两个P型区夹着一个N型区(P—N—P)，
或两个N型区夹着一个P型区(N—P—N)，就做成了半导体三
极管的基本部分——管心。在每两个导电区之间都形成一个
P—N结。所以无论是哪一种半导体三极管，都含有两个P—N
结。按照它们不同的作用，分别叫做“发射结”和“集电结”（见
图1）。两个“结”把一块完整的晶体分成三个区。如果两边是
空穴导电的P型区，而中间是电子导电的N型区，我们就称它
为P—N—P型半导体管；反之如两边是N，中间是P，就叫
N—P—N型半导体三极管。半导体三极管的三个区域，按照
作用的不同，分别叫做发射区、基区和集电区，它们是半导体
三极管的三个电极，分别叫发射极（常用拉丁字母“e”表示，
相当于电子管的阴极K）、基极（用“b”表示，相当于栅极G）
和集电极（用“c”表示，相当于屏极A）。

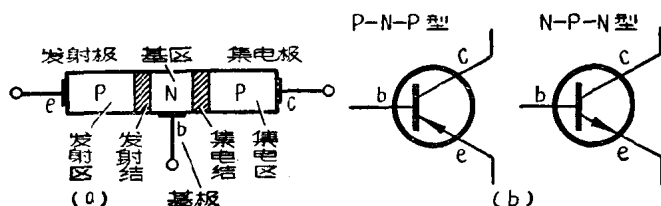


图 1

半导体三极管的符号如图 1 (b) 所示。

上面只是从原理上谈了一下半导体三极管的内部构造，究

竟在小小的管壳里装的是些什么东西？怎样才能做成一个 P—N—P 型的半导体三极管呢？下面就举两种半导体三极管为例来说明。

一种是大家熟悉的低频半导体三极管，如 3AX1（旧型号是 $\Pi 6A$ ）等。它是在厚约 100 微米（一微米等于百万分之一米）的 N 型锗片两侧各放一块钨粒，放在模子中加热，使钨熔化入锗中便产生两个 P 区，它们和 N 区的交界处各形成一个 P—N 结，于是就得了 P—N—P 的管心。把这样制成的三极管的心子，加上支架（图 2b），焊上引线，封装在壳内就做成了一个半导体三极管。用这种方法制成的叫合金三极管。图 2c 是这种三极管剖面的结构示意图。在晶体支架上，镶着一块锗片，晶片上凸起的两个小圆块，一个通发射极，另一个通集电极，晶片本身是基极。基极直接和底座连接，所以它的引线直接焊在底座上，并和外壳相通。

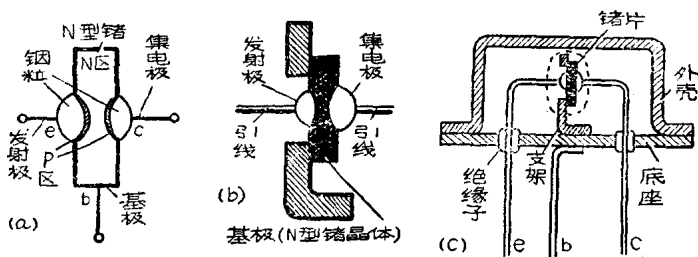


图 2

另一种是扩散半导体管，如 3AG11 ($\Pi 401$) 等高频管就是这样构造的。它的制造原理和工艺过程比较复杂，这里就不作详细介绍了。它的结构如图 3 所示。(a)图表示管心的结构。P 型锗片 (P 型区) 是集电极。用扩散法形成的 N 型区是基极。制造过程中再结晶形成的另一个 P 型区 (小斜线部分) 就