



简单晶体管放大器和收音机

苏联 B. K. 拉布琴著

涂象初译

人民邮电出版社

苏联业余无线电丛书

簡單晶体管放大器和收音机

苏联 B. K. 拉布琴著

涂 象 初 譯

人 民 郵 電 出 版 社

В. К. ЛАБУТИН
ПРОСТЕЙШИЕ КОНСТРУКЦИИ
НА
ТРАНЗИСТОРАХ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1960

内 容 提 要

本书首先簡明地介紹晶体三极管的工作原理、特性和它的基本电路。然后叙述簡單晶体管放大器、直接放大式晶体管收音机和簡單超外差式晶体管收音机的电路原理、大致结构、主要元件的数据及規格。

本书是 1958 年苏联动力出版社出版的“简单的半导体放大器和收音机”一书的修訂本譯本（原譯本是 1959 年人民邮电出版社出版）。由于近年来晶体管的发展很快，本书中不但增加了好些新的电路，对有些电路作了修改，且对晶体管的性能和說明方面亦作了不少修改补充。

簡單晶体管放大器和收音机

著 者： 苏 联 В. К. 拉 布 琴

譯 者： 涂 象 初

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号）

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1963 年 8 月北京第一版

印张 2 頁数 32

1963 年 8 月北京第一次印刷

印刷字数 45,000 字

印数 1—38,300 册

統一书号：15045·总1170—无362

定价：（9）0.24 元

目 录

电子管的新对手.....	1
晶体三极管是怎样产生放大作用的.....	9
供检波式收音机用的省电的放大器.....	22
供电唱机用的放大器.....	32
直接放大式收音机.....	42
超外差式晶体管收音机.....	48
晶体三极管简单测试.....	55

电子管的新对手

12年前，全世界各杂志上飞快地传遍了发明新型“电子管”这个激动人心的消息，这种新“电子管”既不需要真空，又不需要灼热灯丝。新型放大器件有下列特点：尺寸极小，非常省电，使用期限要比普通的电子管长很多倍。这类器件的主要部分是一块从半导体晶体中切下来的薄片。

这样，在电子技术蓬勃发展的年代，当电子管经过了长期的技术发展道路而成为十分完善的器件，从而在现代技术中取得巩固地位的时候，晶体管放大器也开始了它的第二个青春时代。

它的第一段生活时期却是处在完全不同的条件下。

……20年代来到了。开始了组织无线电广播和长途无线电通信的第一次尝试。虽然电子管问世已将近20年，但由于真空技术和无线电工业还没有多大发展，人

们仍然不得不广泛地采用火花式发射机，并寻找其他的器件来产生、察觉、以及放大无线电信号。于是尼热哥罗得无线电实验室工作人员 O. B. 洛谢夫完成了一项发明，它被迅速地转载在各国的无线电杂志上，这项发明告诉我们：不仅结构复杂的

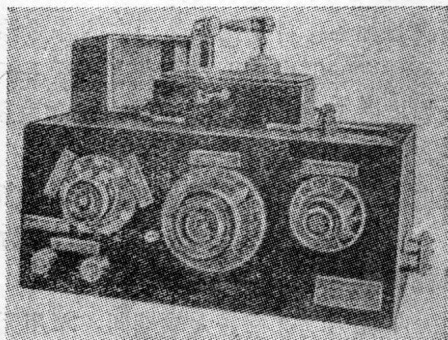


图 1 洛谢夫的晶体再生器——第一架利用晶体管放大器的接收机（1922年）

电子管具有振盪和放大的作用，简单的晶体检波器也可以起这样的作用。欧洲和美洲也在出产洛謝夫的接收机——“晶体再生器”(图1)——，有人預料电子管将很快地被晶体管所排挤。

.....

然而，由于当时在晶体的电学性质方面的科学知識还很缺乏，实验技术又发展得很慢，因此无法对发生在半导体内的那些过程进行深入的研究，也无法制造出足以赛过电子管的可靠的高效率半导体放大器件。随着电子管的进一步改进，晶体再生器遂让位于电子管接收机，而到了20年代末，晶体再生器就已失去实用的价值了。

30年代是电子管大踏步胜利前进的年代。放大性能的改善、多栅管和强功率振盪管的創造、以及供超高频用的特殊电子管的发明等事实，使得电子管变成了一个万能的器件，可以解决各种各样科学技术部門中的許多綜合性任务。电子技术的一系列成就促成了下列的奇蹟：“不用紙張和沒有距离的报纸”，大规模的无线电广播，有声电影和电视，雷达和无线电天文学，自动控制技术和遙控技术中的现代化的快速作用体系，无线电导航和电子计算机，超声技术和核反应的控制等。

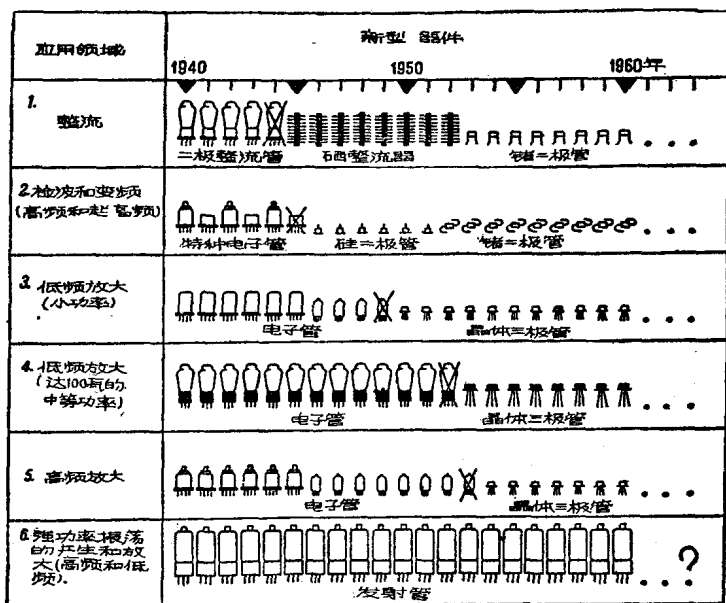
而电子管的应用愈广泛，它所具有的某些原則性缺点也就暴露得愈尖銳。

早在第二次世界大战期間，軍用无线电設備就往往不够可靠，而且大部分故障的成因都是由于电子管出了毛病。电子管的使用期限和机械强度已經成为問題了。

无线电接收机和电视接收机的广泛使用又揭露出现代电子管的另一严重缺点——它們太費电了。下面的情况足以說明这一点：在1960年，苏联的收音机和电视接收机所耗費的电能，已等于世界上最大的伏尔加河水电站所发出的全部电能。

电子计算机以及其他含有几千个电子管的特殊设备的发展,对电子管的可靠性和使用期限、对省电以及缩小尺寸等问题,都提出了很严格的要求。

电子管的一些主要缺点都跟下面两点有关:第一,电子管中有灼热的阴极,而灼热阴极所耗的能量很大,使用期限又短;第二,必须使得大量的、制造精巧的电极都维持其精确的几何形状,并且必须把这些电极安置在真空中,这就使得电子管的机械强度不高,而制造小型电子管就非常复杂了。还必须注意到,省电的要求跟延长使用期限的要求是矛盾的,而且,对质量的要求也一方面跟对机械强度的要求相互矛盾,另一方面



又跟使外型縮小的要求相矛盾。因此，如何按現代技術所提出的各種要求的總和來進一步改善電子管——這是一件極其複雜的任務。

早在 40 年代，就有人企圖在很多情況下把電子管的某些功能轉加在別的器件身上（圖 2）：二極整流管開始被硒整流器所替代，此外，開始使用具有穩定的工作點的硅二極管與鎢二極管來代替檢波和混頻的電子管。當然，這些器件以及磁放大器、電機式放大器都只能解決少量的特殊任務，還無法賽過所有種類的高真空器件。最通用的放大和振盪器件仍然是電子管。

但是，在電子技術發展的同時，人們對物質本性的概念也不斷擴展和深入，而且後者在很大程度上正是得力於電子技術的發展。這些有關物質本性的概念之發展有下列幾個方面：金屬電子論發展了，它豐富了有關金屬導體物理學以及金屬導電機構的一些概念；量子力學闡明了有關電子的性質以及電子跟其他粒子相互作用的性質等方面的真相。最後，還出現了能帶理論，這種理論使我們能用一個統一的觀點——用電子可能有的能量狀態的觀點來說明電介質、導體以及半導體等三種迥然不同的物質的特性。在這過程中，科學不僅勝利地解釋了許多以前無法明了的現象，而且还揭露出物質的許多新特性，並使這些特性處在人類意志的控制之下。以上這些成就致使半導體放大器獲得了第二次生命。人們不僅學會了如何在真空中按自己的意願来控制電子的運動，而且也學會了如何在晶体中控制電子的運動（在晶体中，電子不斷地跟其他粒子相互作用）。1948年，美國人約翰·巴丁和華爾特·布拉金制成了基於利用半導體晶体触点的特性的第一個三極放大器件——所謂的“點接觸型”晶管。

这种新型放大器件不需要真空和熾热灯絲（图3），它的尺寸非常小（图4）而且使用期限长（图5）。这种新器件在現在被发明，决非偶然。虽然第一个晶体三极管在放大性能方面难以跟現代的电子管相比，但立刻有大批专家投入了改进晶体三极管的工作。

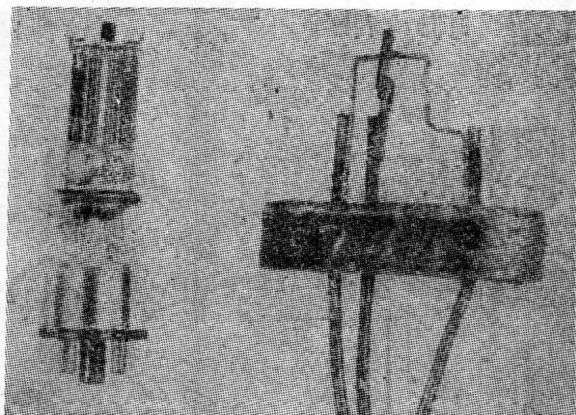


图3 只要把电子管和晶体三极管的罩子都取掉，就可以很清楚地看到后者的结构是多么简单（在图中，把电子管縮小了，而晶体三极管則放大了）

維里揚姆·肖克萊在很短时期內建立了晶体三极管的理論，并发明了一种較为完善的新型晶体管——所謂“面接合型”晶体三极管。对半导体理論和半导体技术作了原則性貢獻的还有下列苏联专家們：A. Ф. 約飞院士，B. И. 达維多夫，И. E. 塔姆院士等。

第一个晶体三极管有几个严重的缺点：噪音很大，工作頻帶有限，电参数很容易随溫度改变，功率有限等等。其中大部分都属于年青技术所难免的幼稚病，随着經驗的积累以及理論的进一步发展，这类缺点是可以克服的。問題很明显，由于出

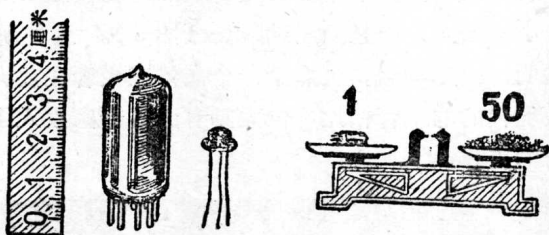


图 4 晶体三极管的最主要优点在于它的尺寸和重量都很小

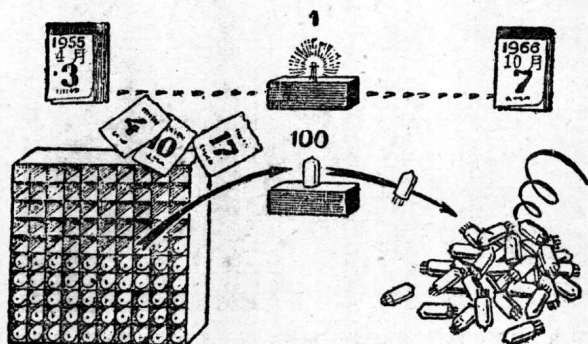


图 5 晶体三极管的使用期限可达到几十万小时

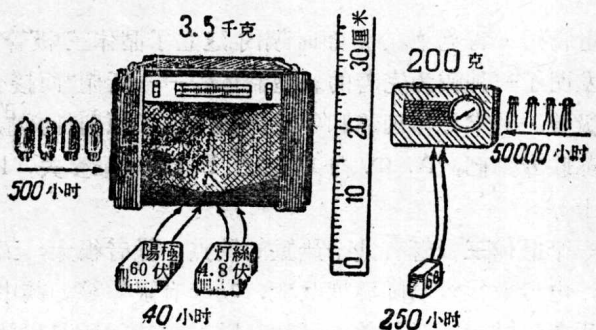


图 6 在携带式袖珍收音机中，如采用晶体三极管，则效果最好

現了晶体三极管，旧时的电子管碰到了一個勁敵。

一個短時期以後，晶体三极管的最高工作頻率便從几百個千赫增加到了几千個兆赫。除了小功率的半導體器件以外，還創製了輸出功率為100瓦以上的晶体三极管。又製出了工作溫度達1000°C以上的半導體。晶体三极管的固有噪音大大地降低了。現在，噪音最小的放大器常常正是用晶体三极管做成的，而不是用电子管做成的。至於談到機械強度、經濟性以及體形小等方面，那麼，從晶体三极管剛一發明時起，它在這方面就已首屈一指了。

在許多的用途上，电子管已經不能跟晶体三极管匹敵了。這方面，首先應該談一談助听器；如果改用晶体管，那麼助听器的大小和重量可以減小到 $\frac{1}{5}-\frac{1}{20}$ ，而能量消耗則可以減小到 $\frac{1}{20}-\frac{1}{50}$ 。其次，應該談一談袖珍（“烟盒”）收音機（圖6）。如果採用电子管來做它，往往得不到滿意的結果。晶体三极管已卓有成效地運用到計算機中，以及在無人管理的情況下長期工作的裝置中（例如，用到長途通信系統的增音機中）。在這類裝置中，需要高度的可靠性、經濟性以及使用期限很長等。

現在，工業出產的晶体三极管可以解決下列各種任務（圖7）。

多用途的小功率晶体三极管 這類晶体管的典型代表是П13—П15，П8—П11型面接合型鍺晶体管和П101—П103型硅晶体管。

這種非常省電的小型放大器件可以放大並產生低頻的以及中等高頻的信號（達500—1000千赫）。一個用這類晶体三极管接成的放大級可以把信號功率放大30,000倍。在單端綫路中，最大的輸出功率可達10—30毫瓦。為了使這類晶体三极管正

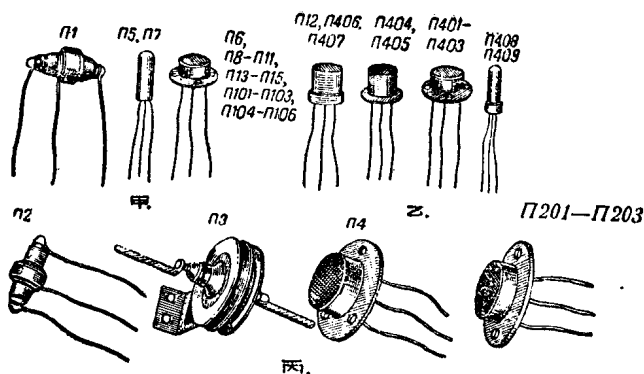


图 7 晶体三极管的外形
 甲—用来放大微弱的低频信号；
 乙—用来放大微弱的高频信号；
 丙—用来放大大功率的低频信号

常地工作，需要在几个伏特的条件下供给电流达 1 毫安。然而，即使当供电功率极其微弱、微弱到对普通电子管失去意义时，例如当电流为 10 微安而电压为 0.2 伏时，晶体三极管还是具有放大性能的。

低频大功率晶体管 这类晶体管包括专供低频放大器的末级以及大功率前置级应用的面接合型晶体三极管。它们也已经有效地应用在能把电压由 1 伏或几十伏提高到几百伏甚至几千伏的直流变换器中，应用在对执行机构（继电器，电动机）发生作用的直流放大器中，应用在低频（达几万赫）振荡器中，以及中等频率的脉冲线路中。属于这类器件的有 П4 和 П201—П203 型，以及已经不用的旧式 П2 和 П3 的晶体三极管。这些晶体管能供给的输出功率从十分之几瓦（П2）到几十瓦（乙类推挽电路中的 П4）。

高频小功率晶体管 在很长一段时期里，人们一直认为频

率最高的晶体管可能是点接触型的。因此，虽然发现了更完善和更可靠的面接合型三极管，人们仍继续在改进并生产点接触型三极管。苏联出产的各种点接触型晶体管可分成四类（C1，C2，C3，C4），它们所能放大的最高频率达 10 兆赫。

可是，近年来的新成就说明，最高频的器件是特种类型的面接合型晶体三极管（所谓的“表面阻挡层”管，双基极晶体三极管，“扩散型”管，等等）。这类器件投入大量生产了。它们适于用来放大和产生频率为几个兆赫（П12、П406）到几十兆赫（П401、П402）甚至几百兆赫（П403、П410、П411）的信号。这类晶体三极管对快速作用的脉冲线路以及对宽频带放大器来说，也是很好的器件。

大功率高频晶体三极管 工作元件的几何结构的小型化是制造高频晶体三极管的基础。而小型化将恶化晶体三极管的热状态，并限制了容许功率。由于这个缘故，在很长一段时期内没有制成大功率高频晶体管。但顽强的研究已在这方面获得到初步的结果。

虽然进一步显著提高高频晶体管功率的途径至今还没有找到很好的办法，但已有类型的半导体器已是改进无线电子设备的强有力工具。现代半导体放大器件的创制人的功绩得到很高的评价——B. 肖克莱、J. 巴丁和 B. 布拉金获得了 1956 年诺贝尔奖金。

晶体三极管是怎样产生放大作用的

晶体三极管与真空三极管的一般作用情况有某些类似之处（图 8）。

在晶体三极管中，也可以找到跟电子管的阴极相类似的电

极——所谓的发射极，它的功用是发射基本的带电粒子。其次，还有一个被称作基极的空间。发射极所发出的粒子便在这个空间内传播。最后，有一个跟屏极类似的电极——集电极，它收集了发射极所发出的大部分电荷。

当基极相对于发射极加上了某一个电位时，就可以控制集电极的电流。由此可见，基极是跟控制栅极相似的。

不过，这个类似只能对发生在晶体管内的过程提供肤浅的近似情况。事实上，这个过程要复杂得多，而且跟电子管的原理有着本质上的不同。根本的区别在于：晶体三极管中的一切过程都不是发生在真空内，而是发生在特制半导体的晶体格子内——大多数情况下，是发生在锗晶体格子内。

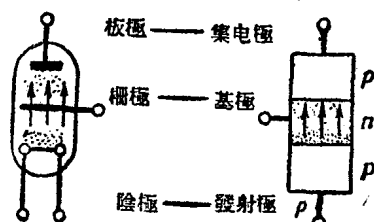


图 8 从图上可以看出，晶体三极管跟电子管在作用原理方面有某些类似之处

虽然化学家把锗元素归金属之列，但它在电学性质方面却跟我们所熟悉的金属导体大不相同，而且锗的导电机构完全是另一种形式。在金属导体中，有大量的电子尚未跟某一确定的原子

结合在一起，因而这些电子可以在导体内自由地把电荷带来带去。如果外加一个电压，便可以产生电流了。锗晶体的情形跟上述情形不一样，绝大多数的电子都十分牢固地跟某些确定的原子结合在一起，而且正由于借助电子形成了这种有规律的原子间结合键，使得锗具备了晶体结构(图 9)。因此，纯锗的电阻往往比金属的电阻大好几千倍。

然而当温度升高时，当晶体受到光照或受到别的作用时，锗的电阻会显著地降低。现代物理学用下面的说法来解释上述现象：某一部分电子跟锗原子结合得不太牢，当受到一定的外

界作用时，这种結合很容易被破坏掉，并且馬上释放出两种类型的載流子(图10)——一种是电子（負的載流子），另一种是所謂的“空穴”(正的載流子)。

空穴这个名称是一种象征性的說法，所謂“空穴”，是指脱离了結合鍵的电子原来所处的那个地方。事实上，空穴并不是某种特殊的粒子，而仅仅是出現在原子之間的过剩正电荷（这些原子之間的結合鍵由于电子的离开而破坏掉了）。而且还可以看到，空穴是可以移动的，就象脱离了結合鍵的电子能移动一样。空穴之所以能移动，并不是由于带有未被补偿掉的正电荷的原子的移动——这些原子都很牢固地呆在晶体格子的相应

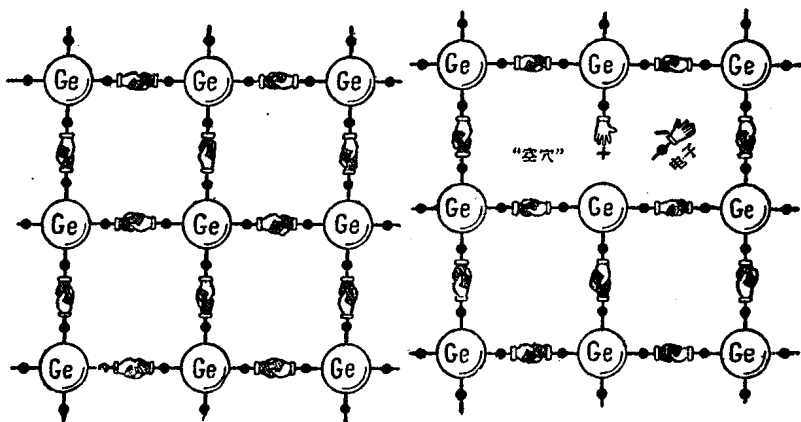


图 9 锗的晶体格子之所以牢固，是由于每个锗原子都借四个外层电子而跟四个邻近原子形成了結合鍵，并没留下自由电子，因而晶体不能传导电流

图 10 如果有一个电子脱离了結合鍵，立刻便出现了两个載流子：电子(-)和“空穴”(+)

节点上；而是由于邻近原子的結合鍵中的某一个电子能够跳到被破坏了的那个結合鍵中。这时，原来的那个空穴消失了，而

在近旁則另外出現了一个空穴，如此繼續不已，就象接力棒的情形一样(图11)。

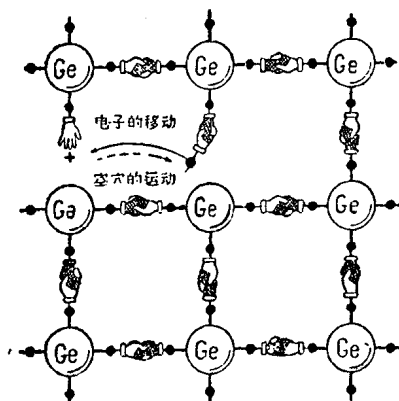


图 11 空穴之所以能移动，可用下面的說法来解释：处在結合鍵上的电子可以从这一个鍵“跳到”另一个鍵上，这时空穴則沿着跟电子跳动相反的方向移动

在外电压的作用下，鍺晶体内的自由电子和空穴作定向运动，于是，晶体中便有电流流过。这时，电子的运动情况跟在导体中的情况一样，是由负极到正极，但由于空穴是正的载流子，它的运动方向正好反过来——由正到负。总的电流等于电子电流与空穴电流之和。

上述的导电机构不单单是鍺所特有的，任何类型的半导体材料（例如，目前最常用的硅）的情况都是如此。

在半导体中，载流子的活动情况有一个最显著的特点：它們能够扩散和复合。

借某种方式释放出来的电子与空穴，在晶体内作乱运动。但是它們除了乱运动以外，往往还同时伴随着载流子的定向运动——向载流子数量較少（更确切地說，是浓度較小）的区域移动，这样就使得整个晶体内的载流子浓度逐渐趋于一致。载流子的上述自发性的、浓度均匀化的过程，称作扩散，按本性來說，这过程跟热量在金属物体內从热端传到冷端的情形很类似。

复合的实质如下：在晶体内移动的、符号相反的两种种载流子，将在相遇时消失掉——自由电子掉进空穴中，某一个原先

破裂了的結合鍵又恢复成为完整的，这个自由电子往后便丧失了移动的自由。当然，空穴也同时消失了。由于这个緣故，我們說，半导体中的載流子的“寿命”是有限的。

如果加入极微量的杂质，便可以大大增加半导体的导电性。选择相应的杂质，可以使锗的电子导电性显然地盖过空穴导电性（所謂的 n 型锗）或者相反地，使空穴导电性占优势（ p 型锗）。事实是这样：杂质原子可以代替个别的锗原子而进入到锗的晶体格子的节点上，并且不会因此使得晶体格子的結構遭到破坏。这时，如果杂质原子的外层电子数不等于锗原子的外层电子数，那么，或者就是电子过剩了，或者就是多有了一些空穴，借此便可以解释，为什么导电率增加了，以及为什么是这种或那种类型的导电性占优势（图 12）。

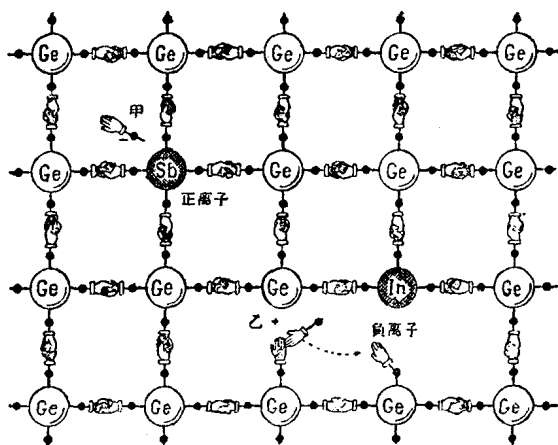


图 12 如果个别的锗原子被其他物质的原子所替换，例如，如果被具有五个价电子的锑 (Sb) 原子替换时，就可以在晶体中得到附加的自由电子(甲)，如果被具有三个价电子的镧 (In) 替换时，则可得到附加的空穴(乙)