

邮电中等专业学校试用教材

电子电路 I

长春邮电学校 编

人民邮电出版社



内 容 提 要

本书详细地讨论了半导体器件、晶体管电路的基本原理和基本电路的分析方法。并结合邮电通信、电子设备,进行了具体分析。本书结合各章的特点,提供了思考题、习题和小结,供师生参考。

电子电路共分三册。本书(上册)共分十二章,包括:晶体二极管和整流电路;晶体三极管和静态特性;晶体管放大电路基本分析方法;晶体管前置放大电路;晶体管功率放大电路;负反馈放大电路;晶体管高频等效电路;晶体管振荡电路;晶体管直流放大电路;直流稳压电源;晶体管逆变器电路;场效应管和放大电路。

本书是适用于邮电中等专业学校的教学用书。

电 子 电 路

上 册

长春邮电学校 编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1979年10月 第 一 版

印张: 17 16/32 页数: 280 1979年10月北京第一次印刷

字数: 402 千 字 印数: 1—70,000 册

统一书号: 15045·总2327—无681

定 价: 1.35 元

前 言

本书是邮电中等专业学校教学用书。为适应新形势下邮电教育事业发展的需要，1978年，我们组织部分邮电学校分工编写微波、载波、市内电话、线路、电报、电源、综合电信和邮政机械等八个专业所用的基础课和专业课的教学用书，并将陆续出版，以应各邮电中等专业学校教学急需。

编好教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。由于编写、审定的时间仓促，又没有经过教学实践的检验，书中会有不少缺点和错误。希望有关教师和同学在使用过程中，把发现的问题提供给我们以便修改提高。

邮电部人事教育局

一九七八年十二月

编 者 的 话

本书是通信各专业共同的基础课。在学过数学、电工有关章节之后便可讲授。

由于本书是照顾所有的通信专业需要而写的，内容较多。所以可以根据不同的通信专业实际需要对内容进行精选，讲授也可以有所侧重，以适应所设专业的教学大纲。

本书（上册）共十二章，其中第一、二、三、六、十、十一章由林哲民同志执笔，第四、五、十二章由王植槐同志执笔，第七、八、九章由朱德育同志执笔。全书由林哲民统编，并经四川省邮电学校郭笃俊、程经华二位老师审核定稿。

1979.1

目 录

第一章 晶体二极管和整流电路	(1)
内容提要.....	(1)
第一节 半导体基本知识.....	(1)
第二节 PN 结和它的单向导电性	(13)
第三节 晶体二极管.....	(21)
第四节 晶体二极管整流电路.....	(30)
第五节 整流的滤波电路.....	(40)
第六节 倍压整流电路.....	(60)
第七节 整流器件的串并联.....	(63)
本章小结.....	(65)
复习思考题.....	(71)
习题.....	(71)
第二章 晶体三极管和静态特性	(75)
内容提要.....	(75)
第一节 晶体三极管的结构.....	(75)
第二节 晶体管共发射极电路的电流分析.....	(77)
第三节 晶体管共发射极静态特性曲线.....	(84)
第四节 晶体管的主要参数.....	(92)
第五节 晶体三极管简易测试.....	(108)
本章小结.....	(110)
复习思考题.....	(112)
习题.....	(113)

第三章 晶体管放大电路基本分析方法	(114)
内容提要	(114)
第一节 放大电路的估算法	(114)
第二节 放大电路的图解分析法	(121)
第三节 影响放大器工作的几个因素	(135)
第四节 晶体管的偏置电路	(139)
第五节 晶体管 h 参数和等效电路	(148)
第六节 放大电路的等效电路计算法	(158)
本章小结	(169)
习题	(171)
第四章 晶体管前置放大电路	(176)
内容提要	(176)
第一节 晶体管放大器特性指标	(178)
第二节 阻容耦合放大级	(187)
第三节 变压器耦合放大器	(215)
第四节 晶体管放大器的噪声	(228)
本章小结	(233)
习题和思考题	(236)
第五章 晶体管功率放大电路	(238)
内容提要	(238)
第一节 功率放大级特点	(238)
第二节 单边甲类功率放大电路	(240)
第三节 乙类推挽功率放大电路	(247)
第四节 大功率管的保护	(257)
第五节 无变压器功率放大电路	(262)
第六节 复合管及其应用	(265)
本章小结	(270)

习题和思考题	(271)
第六章 负反馈放大电路	(273)
内容提要	(273)
第一节 负反馈放大电路基本概念	(273)
第二节 负反馈对放大器性能的影响	(282)
第三节 电流串联负反馈电路	(294)
第四节 电压串联负反馈电路	(301)
第五节 射极输出器	(305)
第六节 电流并联负反馈电路	(311)
第七节 电压并联负反馈电路	(313)
第八节 混合负反馈放大电路	(315)
第九节 低频放大器的自激振荡	(325)
本章小结	(328)
复习思考题	(329)
习题	(331)
第七章 晶体管高频等效电路	(336)
内容提要	(336)
第一节 晶体管共发射极混合 π 型等效电路	(336)
第二节 晶体管共基极 h 参数等效电路	(347)
本章小结	(352)
习题	(353)
〔附〕 晶体管 f_{β} 、 f_T 、 f_{α} 的推导	(353)
第八章 晶体管振荡电路	(356)
内容提要	(356)
第一节 振荡器的工作原理	(356)
第二节 三端式振荡电路	(363)
第三节 LC 振荡器频率的稳定度	(368)

第四节	电容三端式振荡电路的改进	(371)
第五节	石英晶体振荡器	(375)
第六节	RC振荡器	(379)
本章小结		(387)
复习思考题		(389)
第九章	晶体管直流放大电路	(390)
内容提要		(390)
第一节	直流放大器的特殊问题	(390)
第二节	差动放大器	(396)
第三节	差动放大器的改进	(404)
本章小结		(407)
复习思考题		(409)
第十章	直流稳压电源	(410)
内容提要		(410)
第一节	硅稳压二极管	(410)
第二节	硅稳压管的稳压电路	(417)
第三节	简单串联型晶体管稳压电路	(431)
第四节	带有放大环节的稳压电路	(446)
第五节	串联型直流稳压电源的改进电路	(456)
第六节	直流稳压电源的保护措施	(468)
第七节	具有放大环节稳压电路的设计	(471)
本章小结		(481)
习题		(483)
第十一章	晶体管逆变器电路	(486)
内容提要		(486)
第一节	逆变器一般概念	(486)
第二节	晶体三极管逆变器电路	(487)

第三节 小功率可控硅.....	(495)
第四节 可控硅逆变器.....	(500)
本章小结.....	(508)
复习思考题.....	(509)
第十二章 场效应管和放大电路	(510)
内容提要.....	(510)
第一节 结型场效应管.....	(510)
第二节 绝缘栅场效应管.....	(518)
第三节 场效应晶体管使用常识.....	(524)
本章小结.....	(525)
复习思考题.....	(526)
附表.....	(527)

第一章 晶体二极管和整流电路

内 容 提 要

本章主要介绍两部分内容，第一部分介绍晶体二极管的特性和它的重要用途（例如整流等用途）。为了理解和分析晶体管特性，首先介绍半导体基本知识。用硅和锗的晶体结构，引出电子和空穴两种不同的载流子；根据所掺不同的杂质，可分为 N 型和 P 型半导体；由 P 型和 N 型半导体所形成的 PN 结的内部物理过程，说明 PN 结的单向导电特性。

第二部分将介绍半波、全波、桥式和倍压整流电路。在滤波部分也要介绍电容滤波、电感滤波、 L 型滤波、 π 型滤波。对上述的这些电路除了作定性分析之外，也简单的介绍定量估算的方法。

第一节 半导体基本知识

晶体二极管、晶体三极管、场效应管、可控硅等都是用半导体材料做成的。所以这类管子又称为半导体管，或称半导体器件。因此，首先必须对半导体的特性作些简单的介绍：

1. 半导体基本特点

什么叫半导体呢？半导体这一名称是根据它的导电性能而

决定的。在日常生活和生产实践中，大家都知道铜、铁、铅、锡、铝等金属材料是很容易导电的，我们把它们称为导体。而塑料、橡胶、陶瓷、玻璃等物质却很不容易导电的，我们把它们称为绝缘体。在自然界中，实际上还有一类物体（如硅、锗、硒以及一些金属氧化物等），它们的导电能力比绝缘体强而比导体弱，我们把这类物体称为半导体。

大家知道，我们常用电阻率(ρ)来表示一种物体的导电性能。电阻率(ρ)是代表长1厘米，横截面积1厘米²的物体电阻，其单位是欧姆·厘米。显然，一个物体的电阻率越小，表示该物体的导电性能越好。图1—1示出了一般物体的导电性能的概况。由图可以知道半导体的电阻率大约在 10^{-3} 到 10^8 欧姆·厘米之间。

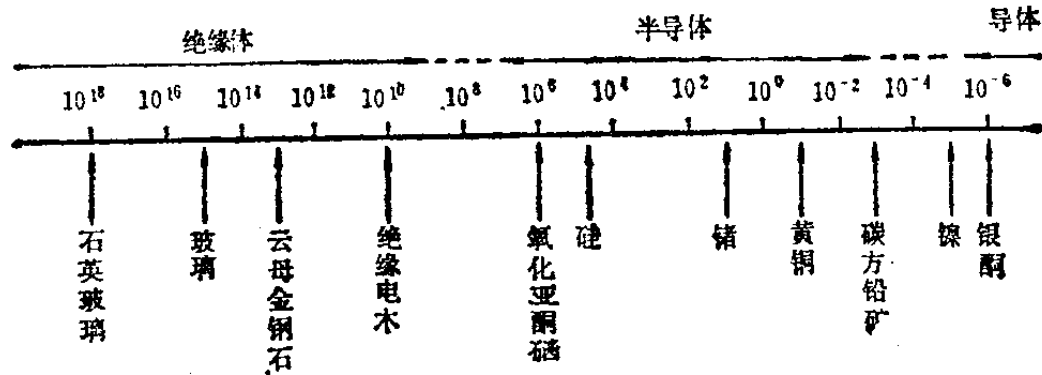


图 1—1 各种物体的电阻率（单位为 $\Omega \cdot cm$ ）

半导体之所以获得广泛应用，主要是由于它具有如下的重要特性：

(1) 杂质对半导体导电能力的影响

什么是杂质？在纯净的半导体中掺入微量的其它元素，这些微量元素就是杂质。

实践证明，金属导体对杂质很不敏感。例如在金属中即使掺入千分之一的杂质元素，其导电能力变化极微（一般是掺入

杂质后，其导电能力下降)。但是，在半导体中只要掺入百万分之一的杂质元素，则导电能力产生显著增长。例如在纯单晶硅中掺入百万分之一的硼，硅的电阻率就从 $0.214 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 下降到 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ 左右，几乎变化了一百万倍。如果掺入百万分之一的磷，硅的电阻率也有类似的变化。利用这一特性，人为地在纯锗或纯硅中掺入适当的杂质，就可以制成各种晶体管。

(2) 热敏特性

半导体导电能力随温度上升而按照指数规律急剧地上升。例如硅的导电能力，在 200°C 比在 20°C 时增强几千倍。

与此相反，金属的导电能力随温度上升而直线下降。

从电阻率的角度来谈，半导体的电阻率具有负的温度系数，即半导体的电阻率随温度上升而下降。而金属的电阻率具有正的温度系数，即温度愈高则电阻率愈大。图1—2表示

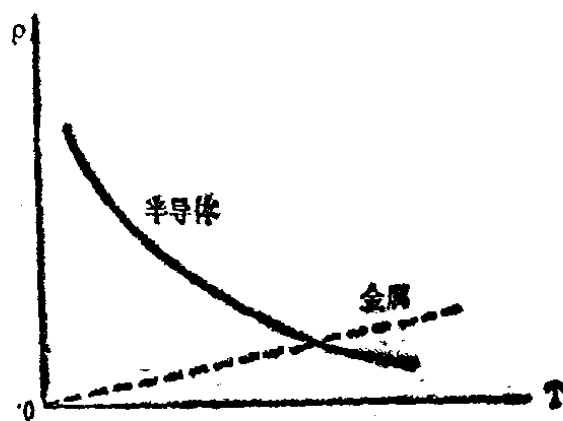


图 1—2 ρ 和 T 的关系

电阻率 ρ 随绝对温度 T 而变化的情况〔注〕。

利用半导体的热敏特性可以制成热敏电阻、热敏二极管等。

(3) 光敏特性

如果光线照射到半导体上时，则半导体的导电能力就会明显地增强，我们把这种特性叫做光敏特性。例如半导体材料硫化镉在一般灯光照射下，比不照射时的导电能力增强几十倍甚

注： $T = 273 + t$ ，单位为 $^\circ \text{K}$ 。

至几百倍。一般说来，照射的光愈强，半导体的导电能力就愈显著地增加。利用这一特性可以制造各种光敏器件。

半导体除了具有以上特点外，它的导电性能还受磁场、电场、湿度及气压等的影响而改变，这里就不再叙述了。

2. 物质的原子结构

世界上所有的物质都表现出千差万别的特性，其根本原因就在于物质内部结构的不同。比如一般物体由于它们的原子或分子结构不同，因而它们的物理和化学性能也就不相同。半导体也是这样，它所以具有许多独特的性能这与它的内部结构是分不开的。

也就是说，世界上所有的物体都是由原子构成的。那么，什么是原子呢？简单说来，原子是由带正电的原子核和带负电的电子所组成，电子分几层围绕原子核作不停的运动。由于原子核所带的正电量和电子所带的负电量相等，故在一般情况下整个原子是中性的。

由于原子核和电子具有异性电荷，所以它们之间有相互吸引作用。同时又由于电子围绕原子核作不停地高速旋转，则它具有一定的动能，因此它不至于被吸到原子核上，并且与原子核保持着一定的距离。这就是所说的电子轨道半径。

事实证明，不同原子的电子数是不相同的，而电子在原子中的轨道又是有规律的。例如硅原子，它的原子核带14个电子电量的正电，而它的外围有14个电子按照一定的规律分布在三层电子轨道上。第一层有两个电子，第二层有八个电子，第三层有四个电子。锗原子的原子核带32个电子电量的正电，而它的外围有32个电子按照一定的规律分布在四层电子轨道上。第一层两个电子，第二层八个，第三层十八个，最外层也是四个

电子。硅和锗原子的结构如图1—3(a)和(b)所示。

内层电子离原子核较近，受原子核吸引力强，它与原子核结成较稳定的整体，称为原子实，而硅和锗的原子实的带电量都是+4。

最外层的电子离原子核最远，受原子核的束缚力最小。不同元素之间的化学反应，正是由这外层电子同别的原子交换，这在化学上把外层电子称为价电子。硅和锗最外层都具有四个价电子，因而锗和硅都叫做四价元素，其原子结构可以用图1—3(c)所示的简化图来表示。

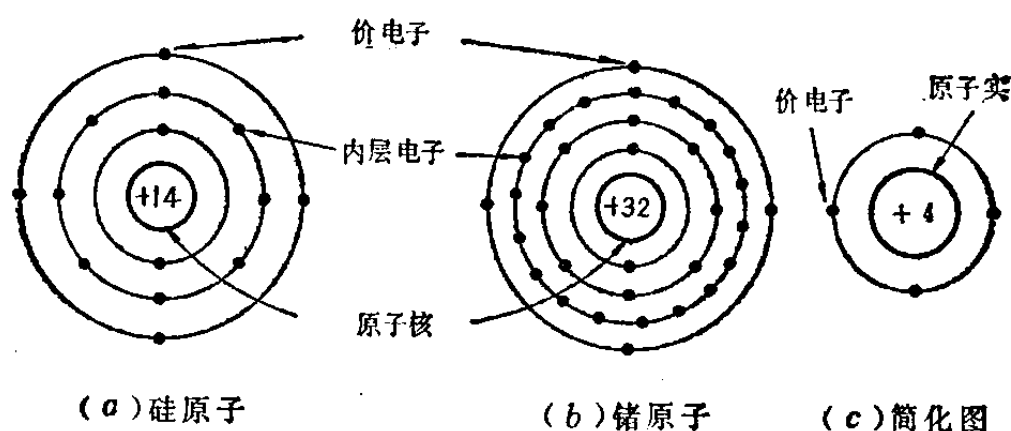


图 1—3 硅和锗原子结构示意图

大家熟悉的金属铜是两价元素。它的原子最外层有两个价电子，如图1—4(a)所示。大量铜原子结合成金属铜时，各原子的价电子一方面受自身原子核的束缚，而且还与周围相邻的原子发生联系。比较起来，金属材料的最外层价电子很容易挣脱原子核的束缚而成为自由电子，如图1—4(b)所示。这些自由电子不是某一原子所独有的，而是整块金属所共有的。由于金属含有大量的自由电子，它们在外加电场的作用下，自由电子将作定向移动而形成电流，这就是金属导电的实质。

相反，绝缘材料中，原子的外层电子受原子核的束缚力很大，很不容易挣脱出来，因此形成自由电子的机会非常小。绝

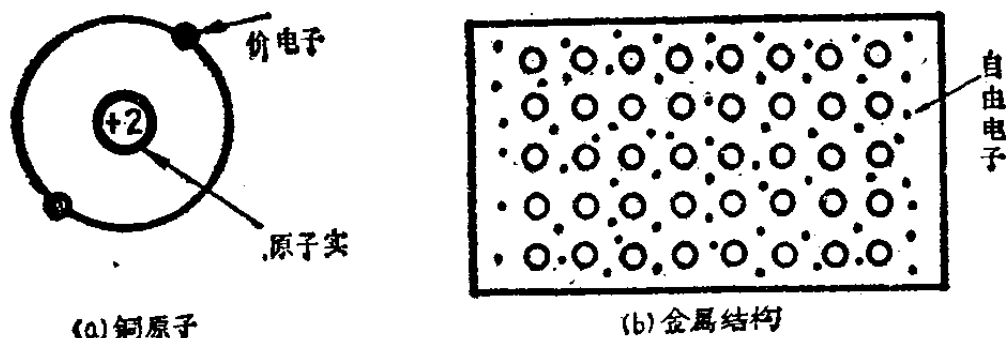


图 1—4 铜原子和金属结构示意图

缘材料原子结构的这一特点就决定了它的导电性能很差。

那么，半导体锗或硅原子中的价电子处于什么状态呢？为什么它的导电能力介于导体和绝缘体之间呢？为了解决这些问题，下面先介绍本征半导体，然后再介绍杂质半导体。

3. 本 征 半 导 体

不含杂质的半导体叫做本征半导体。化学元素硅(Si)和锗(Ge)是典型的本征半导体。这种半导体也称为纯净半导体或元素半导体。硅和锗等半导体材料都是晶体结构，因此用这种材料做成的半导体管又叫做晶体管。

普通一块晶体是由许许多多小晶粒组成的。而每个晶粒内部的原子是有规律的，并且按照一定的几何图案排列着。但应该指出，在一般情况下，晶粒内的原子排列虽然是整齐的，但从整块晶体来说，每个晶粒的方向（叫做取向）彼此不同，故原子的排列还是无规律的，不整齐的，这叫做多晶体。一般多晶体不能用来做晶体管。因此要把多晶体经过加工提炼成单晶体。单晶锗和单晶硅是制造晶体管的主要材料。

由上所述可以知道，所谓晶体就是指原子按一定的几何图案有规则排列的那些物体。用图 1—5 表示硅或锗晶体结构模型，图(a)是立体模型图；图(b)是图(a)的平面模型示意

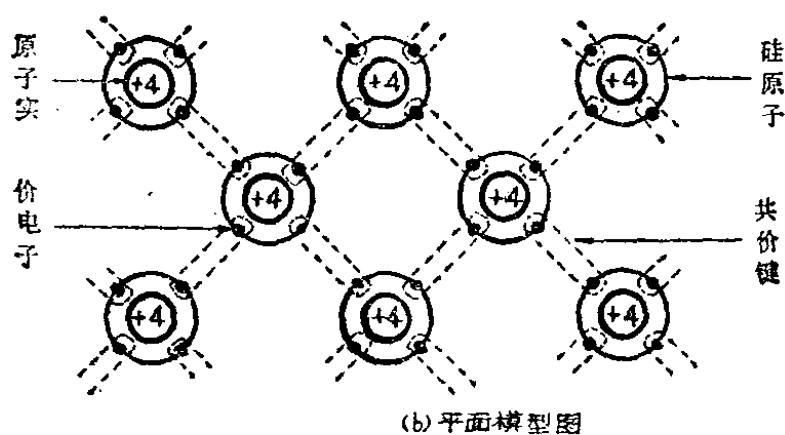
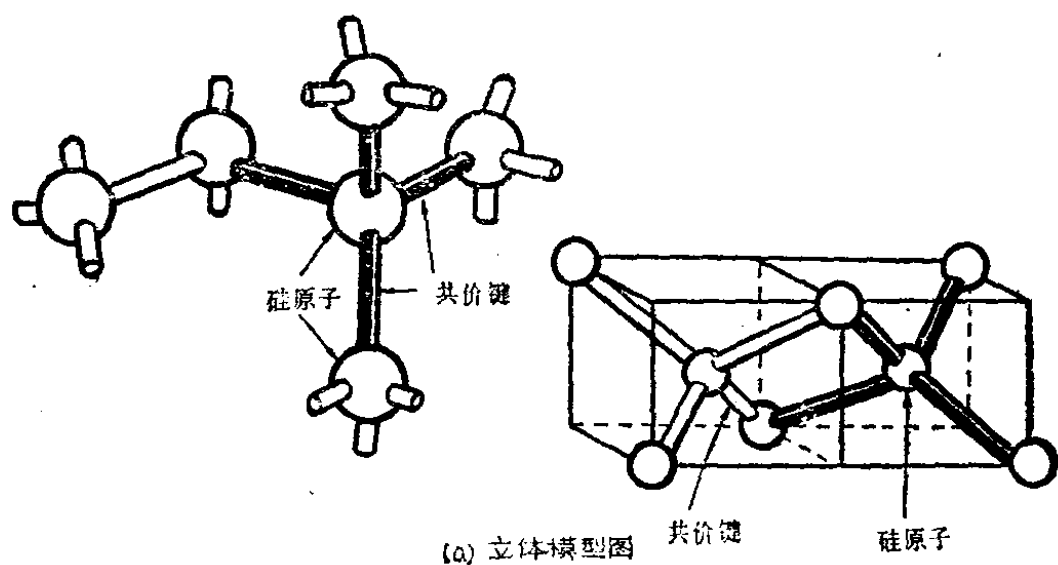


图 1—5 硅、锗晶体结构模型

图。

当硅、锗等半导体材料制成单晶体时，其原子排列就由杂乱无章的状态变成了非常整齐的状态，如图1—5(b)所示出的硅晶体。其中原子之间的距离都是相等的，约为 2.35×10^{-4} 微米。每个原子最外层有四个价电子，它们不仅受自身原子核的束缚，而且与周围四个原子发生关系。这时，每相邻两个原子之间都共有一对电子，叫“共有”电子对，“电子对”中的任何一个电子，一方面围绕自己原子核运动，另一方面也出现在相邻原子所属的轨道上，这种运动方式形成了联系两个原子的

束缚作用，就象链条一样把两个原子互相拉住，不易远离，我们把两个“共有”的价电子所形成的束缚作用叫做“共价键”。

在低温情况下，本征半导体所有价电子都处在共价键中，几乎没有能够参与导电的电子。因此在低温下本征半导体相当于绝缘体。在高温情况下，它有大量的价电子可以挣脱价键的束缚而成为自由电子。这些自由电子可以参与导电，故称为载流子。它是属于带负电的载流子。由于在高温下硅或锗晶体中会出现大量载流子，因此表现为导体状态。在常温下硅或锗晶体中只有少部分价电子可能挣脱价键束缚而成为自由电子。由于在常温下自由电子很少，因此它的导电能力介于导体和绝缘体之间，故处于半导体状态。

实际上本征半导体的载流子不仅有电子，还有空穴。这空穴是半导体中所特有的一种载流子。在硅或锗中，当“共价键”中一个价电子挣脱两个原子核的束缚而成为自由电子后，同时就在“共价键”中留下一个空位。我们就把这个空位称为空穴。空穴也是一种载流子，而且是带正电荷的载流子。在本征半导体中，电子和空穴总是成对地出现，我们就称为电子—空穴对。在晶体中由于受热或接受其他能量而激发出电子—空穴对，我们把这种现象称为本征激发。图1—6表示本征激发而出现的电子—空穴对。图中电子用小黑点表示，空穴用小圆圈表示。

半导体中不仅激发过程会产生电子和空穴，相反，当电子和空穴相遇后，就会重新结合而消失。我们把这种结合过程称为复合。虽然激发和复合都在不断地进行，但在一定温度下，晶体总保留一定数量的载流子。一般说来，温度越高，载流子越多，温度越低，载流子越少。