

5.1 半导体概述

5.1.1 半导体基本知识

教学课件

半导体材料的基本特性

微课

半导体材料的基本特性



文本

半导体材料的基本特性

拓展学习

中国芯



1. 导体、绝缘体和半导体

物质按导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。

(1) 导体

导体一般为低价元素,如铜、铁、铝等金属,其最外层电子受原子核的束缚力很小,因而极易挣脱原子核的束缚成为自由电子。因此在外电场作用下,这些电子产生定向运动(称为漂移运动)形成电流,呈现出较好的导电特性。

(2) 绝缘体

高价元素(如惰性气体)和高分子物质(如橡胶、塑料)最外层电子受原子核的束缚力很强,极不易摆脱原子核的束缚成为自由电子,所以其导电性极差,可作为绝缘材料。

(3) 半导体

半导体的最外层电子数一般为4个,既不像导体那样极易摆脱原子核的束缚,成为自由电子,也不像绝缘体那样被原子核束缚得那么紧,因此,半导体的导电特性介于二者之间。常用的半导体材料有硅、锗、硒等。

金属导体的电导率一般在 10^5 S/cm 量级;塑料、云母等绝缘体的电导率通常是 $10^{-22} \sim 10^{-14}$ S/cm 量级;半导体的电导率则在 $10^{-9} \sim 10^2$ S/cm 量级。

半导体的导电能力虽然介于导体和绝缘体之间,但半导体的应用却极其广泛,这是由半导体的独特性能决定的。

① 热敏性:当环境温度升高时,半导体的导电能力显著增强(可做成温度敏感元件,如热敏电阻)。

② 光敏性:当受到光照时,半导体的导电能力明显变化(可做成各种光敏元件,如光敏电阻、光电二极管、光电晶体管等)。

③ 掺杂性:往纯净的半导体中掺入某些杂质,其导电能力明显改变(可做成各种不同用途的半导体器件,如二极管、晶体管和晶闸管等)。

2. 半导体

(1) 本征半导体

纯度在 99.999 999 9% 以上的,完全纯净的、具有晶体结构的半导体,称为本征半导体。常用的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge),它们都是四价元素,在原子结构中最外层轨道上有4个价电子,如图5-1所示。

把硅或锗材料拉制成单晶体时,相邻两个原子的一对最外层电子(价电子)成为共有电子,它们一方面围绕自身的原子核运动,另一方面又出现在相邻原子所属的轨道上,即价电子不仅受到自身原子核的作用,同时还受到相邻原子核的吸引。于是,两个相邻的原子共有一对价电子,组成共价键结构。故晶体中,每个原子都和周围的4个原子用共价键的形式互相紧密地联系起来,如图5-2所示。



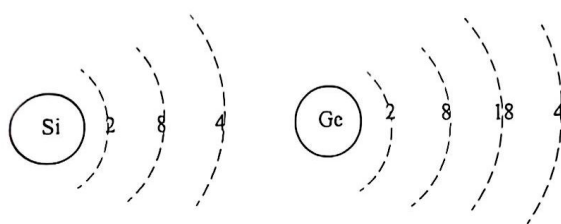


图 5-1 硅和锗的原子结构

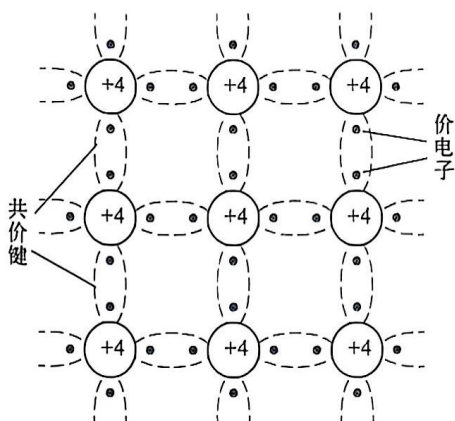


图 5-2 单晶硅和锗的共价键结构示意图

从共价键晶格结构来看,每个原子外层都具有 8 个价电子。但价电子是相邻原子共用,所以稳定性并不像绝缘体那样好。受光照或温度上升影响,共价键中价电子的热运动加剧,一些价电子会挣脱原子核的束缚游离到空间成为自由电子。游离走的价电子原位上留下一个不能移动的空位,称为空穴。

由于热激发而在晶体中出现电子-空穴对的现象称为本征激发。

本征激发的结果,造成了半导体内部自由电子载流子运动的产生,由此本征半导体的电中性被破坏,使失掉电子的原子变成带正电荷的离子。

由于共价键是定域的,这些带正电的离子不会移动,即不能参与导电,成为晶体中固定不动的带正电离子。

受光照或温度上升影响,共价键中其他一些价电子直接跳进空穴,使失电子的原子重新恢复电中性。价电子填补空穴的现象称为复合。

参与复合的价电子又会留下一个新的空位,而这个新的空穴仍会被邻近共价键中跳出来的价电子填补上,这种价电子填补空穴的复合运动使本征半导体中又形成一种不同于本征激发下的电荷迁移,为区别于本征激发下自由电子载流子的运动,我们把价电子填补空穴的复合运动称为空穴载流子运动。

半导体内部的自由电子载流子运动和空穴载流子运动总是共存的,且在一定温度下达到动态平衡。

(2) 掺杂半导体

本征半导体中虽然存在两种载流子,但因载流子的浓度很低,导电能力差,同时难以控制。如果在本征半导体中人为地掺入微量的杂质(某种元素),即可大大改变它的导电性。按照掺入杂质的不同,可获得 N 型半导体和 P 型半导体两种掺杂半导体。

① N 型半导体

在本征半导体中掺入五价元素,如磷、锑、砷等,就得到 N 型半导体。以掺入磷原子为例,掺入的磷原子取代了某处硅原子的位置,与其相邻的 4 个硅原子组合成共价键时,多出了一个电子,这个电子不受共价键的束缚,因此在常温下即有足够的能量使其成为自由电子。这样,掺入杂质的硅半导体自由电子数目就大量增加,且远大于空穴的浓度,自由电子成为主要导电载流子,空穴为少数导电载流子,这种半导体称为电子半导体或 N 型半导体,如图 5-3 所示。

教学课件

N 型半导体的形成



微课

N 型半导体的形成



扫描全能王 创建

② P 型半导体

教学课件

P 型半导体的形成

微课

P 型半导体的形成



在本征半导体中掺入少量的三价元素,如硼、铝、镓等,就得到 P 型半导体。这时杂质原子替代了晶格中的某些硅原子,它的 3 个价电子和相邻的 4 个硅原子组成共价键时,只有 3 个共价键是完整的,第 4 个共价键因缺少一个价电子而出现一个空位,如图 5-4 所示。

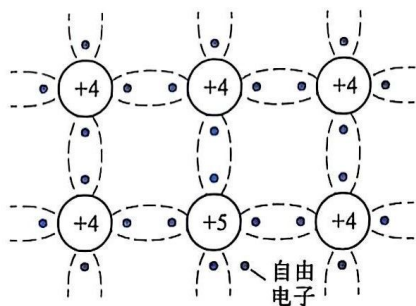


图 5-3 N 型半导体原子结构示意图

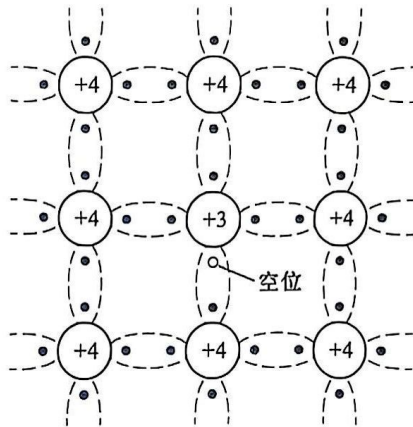


图 5-4 P 型半导体原子结构示意图

5.1.2 PN 结

1. PN 结的形成

在一块完整的晶片上,通过一定的掺杂工艺,一边形成 P 型半导体,另一边形成 N 型半导体。P 型半导体和 N 型半导体有机地结合在一起时,因为 P 区一侧空穴多, N 区一侧电子多,所以在它们的界面处存在空穴和电子的浓度差。于是 P 区中的空穴会向 N 区扩散,并在 N 区被电子复合。而 N 区中的电子也会向 P 区扩散,并在 P 区被空穴复合。这样在 P 区和 N 区分别留下了不能移动的负离子和正离子。上述过程如图 5-5(a) 所示。结果在界面的两侧形成了由等量正、负离子组成的空间电荷区,同时建立一内电场,方向由 N 区指向 P 区,如图 5-5(b) 所示。

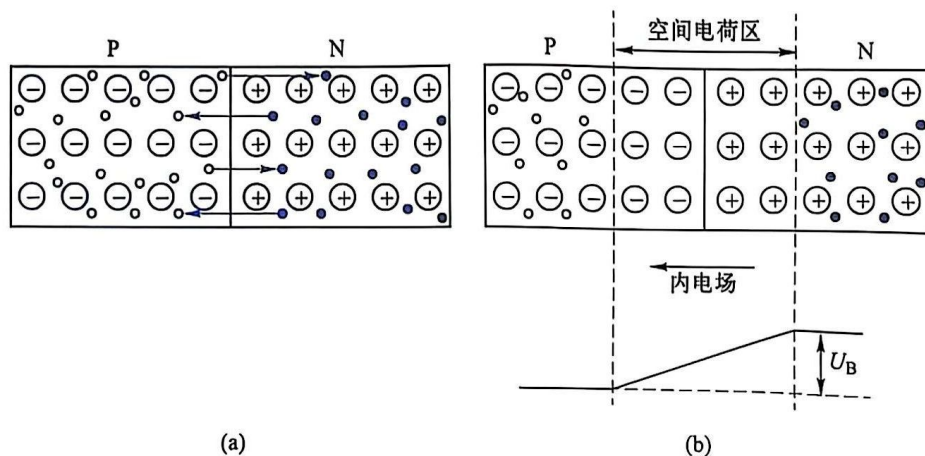


图 5-5 PN 结的形成



2. PN 结的单向导电特性

在 PN 结两端外加电压,称为给 PN 结以偏置电压。

(1) PN 结正向偏置

给 PN 结加正向偏置电压,即 P 区接电源正极, N 区接电源负极,此时称 PN 结为正向偏置(简称正偏),如图 5-6 所示。由于外加电源产生的外电场的方向与 PN 结产生的内电场方向相反,削弱了内电场,使 PN 结变薄,有利于两区多数载流子向对方扩散,形成正向电流,此时 PN 结处于正向导通状态。

(2) PN 结反向偏置

给 PN 结加反向偏置电压,即 N 区接电源正极, P 区接电源负极,此时称 PN 结为反向偏置(简称反偏),如图 5-7 所示。由于外加电场与内电场的方向一致,因而加强了内电场,使 PN 结加宽,阻碍了多子的扩散运动。在外电场的作用下,只有少数载流子形成的很微弱的电流,称为反向电流。

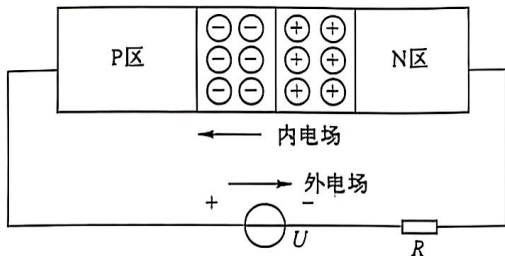


图 5-6 PN 结加正向电压

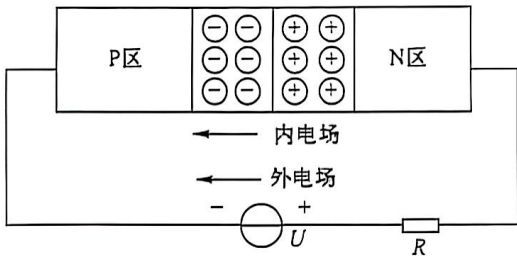


图 5-7 PN 结加反向电压

5.2 二极管的辨识

5.2.1 二极管的结构及符号

把 PN 结用管壳封装,然后在 P 区和 N 区分别向外引出一个电极,即可构成一个二极管。二极管是电子技术中最基本的半导体器件之一。半导体二极管按其结构的不同可分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管是由一根很细的金属触丝(如三价元素铝)和一块半导体(如锗)的表面接触,然后在正方向通过很大的瞬时电流,使触丝和半导体牢固地熔接在一起,三价金属与锗结合构成 PN 结,并做出相应的电极引线,外加管壳密封而成。由于点接触型二极管金属丝很细,形成的 PN 结面积很小,所以极间电容很小,同时也不能承受高的反向电压和大的电流。这种类型的管子适于做高频检波和脉冲数字电路里的开关元件,也可用来作小电流整流。面接触型二极管的 PN 结面积大,可承受较大的电流,但极间电容也大。这类器件适用于整流,而不宜用于高频电路中。

二极管的结构示意图及在电路中的图形符号如图 5-8 所示。在图 5-8(d)所示符号中,箭头指向为正向导通电流方向。

教学课件

二极管的结构

文本

二极管的结构

微课

二极管的结构



扫描全能王 创建