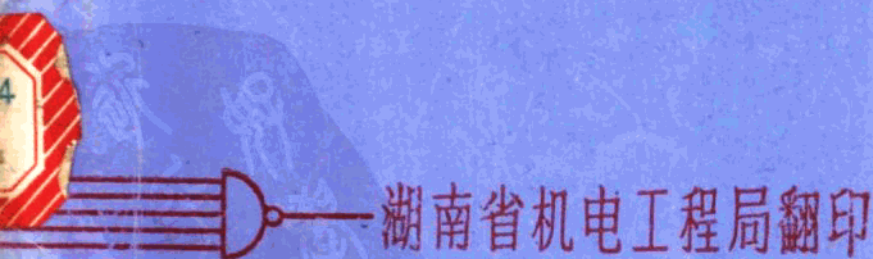


270787

晶体管继电保护汇编



湖南省机电工程局翻印

毛 主 席 語 录

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。

引言

在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的指引下，我们伟大的社会主义祖国在工业、农业、国防现代化等科学技术方面都得到了飞速的发展。自1958年以来我国的电子工业和半导体器件生产迅速成长。

由于我国社会生产力迅猛发展的迫切需要以及半导体器件具有：体积小，重量轻，寿命长，（可达十万小时），不需要灯丝加热（与电子管比）功率损耗小，工作电压低，防震性能好，应用广等一系列独特的优点，因而促使了半导体工业的进一步发展，如在电子计算机、晶体管继电保护和自动装置中，采用了半导体器件后体积大为缩小。

我们对任何事物都应该用“一分为二”的观点进行分析，虽然半导体有上述优点，还存在着一些缺点，主要是：在高频大功率方面，目前不如电子管，噪声较大，半导体管的特性受温度影响也比较大，我们坚信用毛泽东思想武装起来的中国工人阶级通过不断的科学实践一定可以对此作出卓越的贡献。

我们一般都具有电的基本常识，例如在一个电阻 R 两端加上一个电源如图1所示，当改变 E 的大小时， R 中的电流 I 会相应地发生改变，如果将横轴用来表示电压 U_R ，纵轴用来表示电流 I ，则可得到如图2所示的直线，称为电阻 R 的伏安特性曲线，这种电阻通称为线性电阻。从图3中看出：

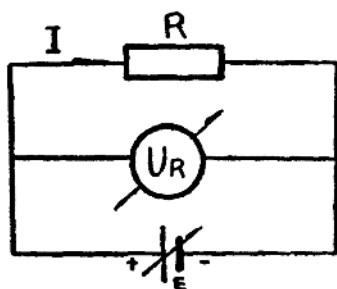


图1

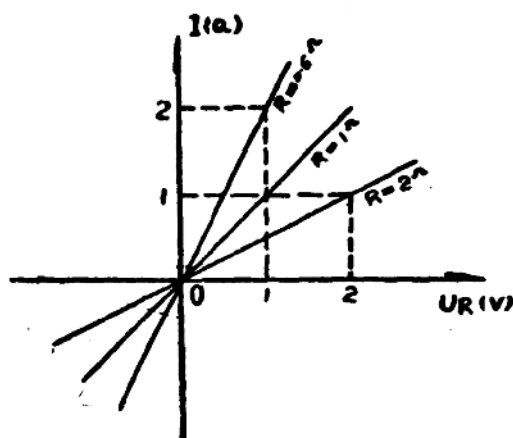


图2 线性电阻伏安特性

R 越大，直线与横轴的夹角（ α ）就越小。

R 越小，直线与横轴的夹角（ α ）就越大。

由于 $\frac{\Delta U}{\Delta I} = R$,

而 $\frac{\Delta I}{\Delta U} = \operatorname{tg} \alpha$

所以 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{R}$

其实晶体二极管也是一只电阻，而其电阻随着外加电压的改变作相应改变。我们在二极管的两端同样加上一个电压（如图 4 所示）此时就可测得（如图 5 所示）晶体二极

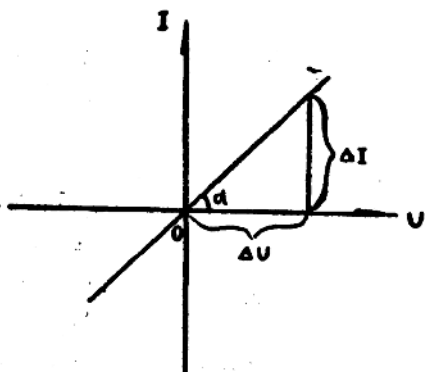


图 3

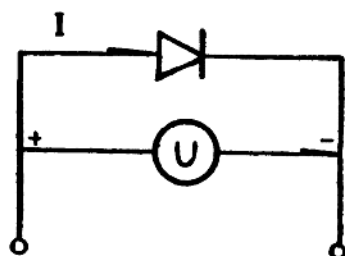


图 4

管的折线近似伏安特性曲线，当所加电压如图 4 接法，则二极管电阻就很小，当所加电压极性反接后，则二极管的电阻就很大，为什么二极管具有这种特性？待以后进一步研究。

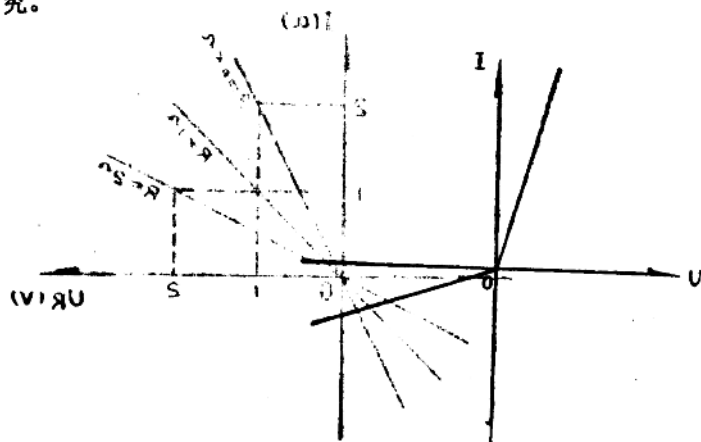


图 5 晶体二极管折线近似伏安特性

目 录

第一部份 晶体管基本知识

第一章 半导体基本知识

- 第一节 半导体及其性质..... (1)
- 第二节 外因怎样通过半导体的内因而起作用..... (2)

第二章 晶体二极管

- 第一节 半导体PN结中存在的矛盾..... (6)
- 第二节 外加电压对PN结内导电性能的影响..... (7)
- 第三节 晶体二极管的结构..... (9)
- 第四节 晶体二极管的特性..... (10)
- 第五节 晶体二极管的常用参数..... (12)
- 第六节 晶体二极管性能的简易判断法..... (12)
- 第七节 晶体二极管应用举例..... (13)

第三章 晶体三极管

- 第一节 晶体三极管的构造..... (20)
- 第二节 晶体三极管的特殊性..... (21)
- 第三节 晶体三极管的三种基本放大电路..... (23)
- 第四节 晶体三极管接成共发射极电路时的静态特性..... (26)
- 第五节 共发射极放大电路的图解分析..... (31)
- 第六节 直流偏置电路及工作点的稳定..... (39)
- 第七节 用晶体三极管代替有接点开关..... (46)
- 第八节 晶体三极管的常用参数..... (54)
- 第九节 怎样用万用表来判断晶体三极管的性质与管脚..... (59)
- 第十节 晶体管的维护..... (61)

第四章 可控硅整流器

- 第一节 可控硅整流元件工作概况..... (62)
- 第二节 可控硅整流器的工作原理..... (64)
- 第三节 可控硅整流元件的伏安特性..... (66)
- 第四节 可控硅的型号, 参数及使用注意事项..... (68)

第五节 可控硅整流器应用举例	(69)
第六节 可控硅的触发电路 阻容移相桥	(71)

第五章 单结晶体管

第一节 单结晶体管的构造	(74)
第二节 单结晶体管的特性	(74)
第三节 单结晶体管的应用——弛张振荡器	(75)

附录:

(一) 国产半导体器件型号识别	(79)
(二) 半导体二极管的主要参数	(79)
(三) 稳压二极管的主要参数 (附表)	(82)
(四) 三极管的主要参数 (附表)	
(五) 双基极二极管的主要参数 (附表)	(83)
(六) 可控硅的主要参数 (附表)	(84)

第二部份 晶体管继电保护电路

第一章 逻辑电路

第一节 脉冲的基本概念	(85)
第二节 二极管门电路	(86)
第三节 晶体三极管——二极管门电路	(90)
第四节 晶体三极管门电路	(92)
第五节 或门电路的设计及参数计算	(93)
第六节 复合门电路	(97)
第七节 自保持电路	(99)

第二章 触发器

第一节 触发器的概念	(101)
第二节 双稳态触发器	(102)
第三节 双稳态触发器实例	(107)
第四节 单稳态触发器	(108)
第五节 发射极耦合触发器	(116)

第三章 时间电路

第一节 RC电路的过渡过程	(120)
第二节 负脉冲控制的时间电路	(123)

第三节	正脉冲控制的时间电路	(128)
第四节	放电式时间电路	(131)
第五节	记忆电路	(134)

第四章 可控硅出口电路

第一节	直接耦合触发的可控硅出口电路	(139)
第二节	电容或变压器耦合触发的可控硅出口电路	(141)
第三节	用可控硅截止的可控直流开关电路	(143)

第五章 稳压电源

第一节	用稳压二极管的稳压电路	(145)
第二节	晶体管稳压电路	(149)

第六章 电压形成回路简介

第一节	电流电压保护用的测量回路	(156)
第二节	方向、阻抗元件	(158)
第三节	对称分量滤过器	(181)

附录:

一、电阻、电容、继电器的参数	(187)
二、电阻电容电路、电阻电感电路微分方程求解	(198)
三、自然对数表	(200)
四、方程式: $\left \frac{ZP - \overset{\cdot}{a}}{ZP - b} \right = K$ 的分析	(201)

第三部份 晶体管继电保护实例

实例:

一、BL-1型单相时限电流继电器	(205)
二、BL-2型横差继电器	(208)
三、BL-5型两相时限电流继电器	(212)
四、BL-6型三相电流继电器	(215)
五、BY ¹ ₂ 型电压继电器	(217)
六、BD-1型转子一点接地继电器	(222)
七、BZ-1型晶体管单相距离继电器	(225)

八、BBH—1型主变另序保护继电器.....	(228)
九、BLF—1型另序方向电流继电器.....	(232)
十、BFL—1型负序电流继电器.....	(236)
十一、BFG—10型负序功率继电器.....	(240)
十二、BCD—1型差动继电器.....	(242)
十三、BCD— ² / ₄ 型差动继电器.....	(245)
十四、BS—1型时间继电器.....	(254)
十五、JSGC—1型二段过流保护及自动重合闸装置.....	(256)
十六、母线差动保护.....	(293)
十七、BWJL—01型半导体无接点距离保护装置.....	(301)
十八、BJL—02型半导体距离保护装置.....	(306)
十九、水轮发电机失磁保护.....	(314)

第一章 半导体基本知识

第一节 半导体及其性质

在我们的周围，存在着很多物体，有的物体很容易导电，即电流通过它时所遇到的阻力很小，我们通称它为导体。象银、铜、铅……等均是良好的导体；相反，有的物体不容易导电，如橡皮，塑料，石英等，我们就称他们为绝缘体。

物体的容易导电与不容易导电这本身就是相对的，而不是绝对的。导体和绝缘体的主要区别就在于电流通过它时所遇到的阻力不同而已，一般用电阻率来衡量物体导电能力的强弱。

导体的电阻率很小，一般为 10^{-4} — 10^{-6} 欧姆·厘米；

绝缘体的电阻率很大，一般为 10^4 — 10^8 欧姆·厘米。

在人们的实践中，发现有的物体的导电能力（即电阻率）介于导体与绝缘体两者之间，我们称这类物体为半导体。半导体具有这种特殊性，能否和电一样利用它来改造客观世界呢？由于这种矛盾的存在就迫使人们去研究它，促进了半导体知识的发展。

目前我们发现的半导体材料有很多种：锗（Ge）、硅（Si）、硒（Se）等，而锗和硅已成为制造半导体二极管和三极管以及可控硅的主要材料。

下面我们来研究半导体材料的性质。

1. 温度对半导体材料导电性能的影响

一般金属导体，当温度上升时导电能力减弱，大多数绝缘体则与此相反，当温度上升时，绝缘体的导电能力增强，而半导体当温度上升时导电能力也增强了。

2. 杂质对半导体材料导电性能的影响

一般导体内部加入其他物质（称杂质）时，导电性能减弱。绝缘材料则与此相反，当内部加入其他物质时，导电性能反而增强，而半导体材料内部加入其他物质（如：锑、铟）导电性能也相应增强。

从以上两点分析来看：半导体材料的特性很接近于绝缘体。而与金属导体有着本质的不同。半导体之所以具有这种特殊性，主要是材料的内因所决定的。而温度的变化、杂质的加入以及光的刺激均是引起半导体导电性能改变的外因，它通过半导体材料的内因而起作用。这就是下面我们进一步要研究的问题。

第二节 外因怎样通过半导体的内因而起作用？

我们必须先看一看半导体的内部构造，下面以半导体材料锗为例来进行研究。

1. 锗半导体材料的内部结构

为了由浅入深地研究，我们先从最简单的物质氢分子的结构谈起。

(1) 氢的构造

我们知道物质均是由分子构成，而氢的分子是由两个氢原子所构成。两个氢原子间存在着一种互相的束缚力，这种束缚力就紧紧地两个氢原子固定在一起。这是因为，氢原子含有一个带正电的核和一个在一定轨道上环绕核旋转带负电的电子。当这两个氢原子相互间距离缩小时，如图1.1所示，此时电子不但受原来原子核的吸引，而且还受

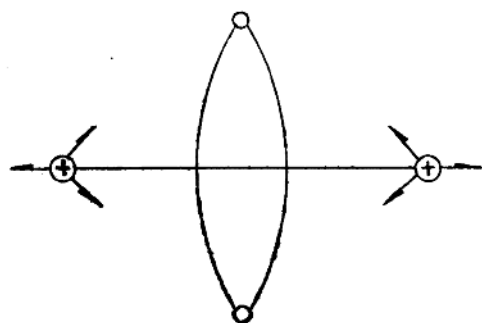


图1.1 氢分子的构造

相邻原子核的吸引，因此，影响了电子原来运动的轨道而按照新的公共轨道而运动，如图1.1中所画的圆。在这种情况下这两个电子成为二个原子核所公共的电子，由于它的存在，将二个原子核就紧紧地固定在一起而成为一个整体。图1.1中所示，是两个原子核和两个电子的一种可能的分布情形。在这种情况下，两个正原子核有互相排斥的力量，而对公共轨道上的旋转的两个电子又有吸引力量，这两种力量构成了互相对立的成份，当达到平衡状态时，就互相统一。

我们知道原子核最外层的电子称为价电子，价电子的数目又称为原子价，对氢原子来说价电子只有1个，所以原子价亦为1。

从以上分析看来，氢分子里两个原子是靠它们本身的电子而束缚在一起。这种同类原子之间的束缚力而构成的联系，我们称它为共价键。

(2) 锗原子的构造

如图1.2所示为锗原子的构造。锗原子共有32个电子，组成4个环，围绕着原子核而运动。所有这些电子按一定规律分布在4个环上，从里往外数，第一层上有2个电子，依次为8，18，4个电子。所有里面的一、二、三环上的电子数为2，8，18时，这些环上的电子总是比较稳定的，只有第4层（即最外层）的4个电子是不稳定的。

大家知道，一般情况下制成的锗半导体器件都是以晶体的形式出现，在晶体中所有的锗原子都以一定的空间形式排列着，如图1.3所示。

锗晶体为什么会有这样的结构呢？

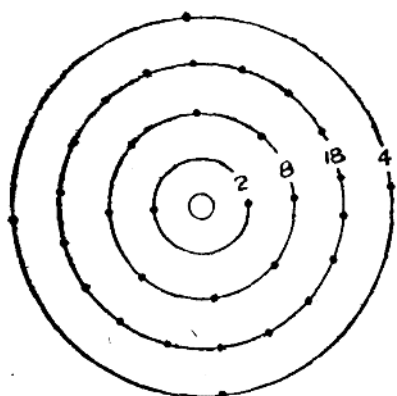


图1.2 锗原子的构造

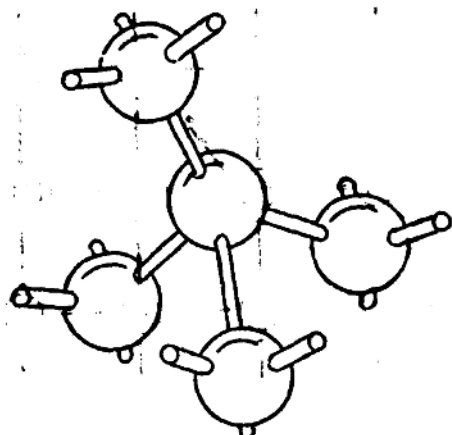


图1.3 锗晶体的结构

通过上面的分析得知，由于锗共有4个价电子，因此相邻原子间就形成一一对应的四个共价键将相邻锗原子紧紧联系在一起，而形成如图1.3所示的锗晶体构造。对于我们提纯后的锗单晶，原子之间的排列是十分整齐的，也就是说，所有的价电子均做成一对对的共价键相互联系、相互束缚着。那么究竟外因是怎样通过半导体材料的内因起作用呢？

2. 外因对半导体性能的影响。

(1) 温度的影响，

金属导体内部跟原子核联系较弱的电子，由于热运动能够脱离原子核的束缚在导体内部自由地运动而形成自由电子，如果导体两端外加一个电场，这些自由电子就被驱向一定的方向运动而导电。在大多数金属中，就是靠大量的自由电子作为运载负电荷的工具来实现导电的，电子就是载流子。然而，在常温下，半导体中由于自由电子较少，所以，导电性较差。在绝对零度时（ -273°C ），锗晶体每个原子的价电子分别被相邻四个原子的价电子紧密束缚着，由于晶体内部没有自由电子存在，所以即使在电场的作用下，也不能导电，这就和绝缘体性能相似。要想使锗晶体导电性能提高，首先就要有载流子出现，当温度升高时锗晶体原子产生振动，此时就会有少量价电子克服共价键的束缚跳出共价键而成为自由电子，此自由电子不可能进入任何一个满键中去，于是在外加温度的影响下在半导体内部作不规则的运动，为半导体的导电提供运载电荷的工具，倘若在锗晶体两端外加一个电场，这些少量的自由电子在外电场的作用下沿着外电场相反方向运动而形成电流，此时运载电荷的工具是电子，这种导电的方式称电子导电，亦称N型导电。

由此可见，温度变化这个外因，是通过半导体内的价电子摆脱共价键的束缚变成自由电子而改变其导电性能的。

当电子从共价键中跳出时，在共价键中就形成一个空位，如图1.4所示。这个电子

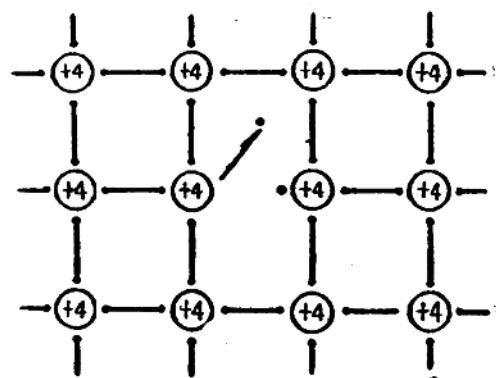


图1.4 空穴的形成

的空位我们称它做空穴，它又可以被另一电子占据，因此空穴可以看成是一个带正电荷的载流子。但必须指出空穴是假想的粒子，而仅是为了研究问题方便起见而作的假设。在热运动的影响下，相邻满键中的电子可能跳进另一个不满的键即占据空穴，一个空穴被填充，而另一处又出现一个新的空穴，这样空穴在晶体中也和电子一样作相应的不规则运动。从上面分析得知空穴同样具有运载电荷的能力，而且载的是正电荷，在外加电场的作用下，空穴将沿着外加电场的方向（与电子运动方向

相反）运动，而使半导体导电，对于这种导电方式叫做空穴导电，或称P型导电。

通过上面的讨论不难看出，锗晶体的共价键破裂后，同时将产生数目相等的自由电子和空穴，因而此时材料导电性能的改变是由自由电子和空穴相对运动同时来完成的。

现在很清楚了，一块锗晶体所以导电性能很差，主要原因是内部载流子太少，在常温下只有少数能量较高的价电子才能摆脱共价键的束缚而参加导电，所以在常温下锗晶体导电能力很弱，此时内部电流很小，且它基本上与所加外电场大小无关，而只与外界温度变化有关。

由此看来：半导体的导电与否，其主要矛盾决定于其内部有否载流子的出现，因此，要使半导体靠升高温度来改变其导电能力，这是十分消极的办法，我们是否可以采取积极主动的办法使内部增加载流子，从而使导电性能提高呢？

（2）杂质的影响。

通过上面的分析，要使半导体导电性能提高，必须在其内部要有载流子出现，我们下面就来介绍怎样用人为的方法使半导体内部增加载流子。

在实践中发现，如果在四价的锗中加入五价（高价）的物质锑（Sb），则锑原子在锗晶体的结构中代替了一个锗原子的位置，由于锑有五个价电子，而其中四个价电子与相邻四个锗原子的价电子相结合而形成共价键所束缚住，如图1.5所示，剩下的第五个价电子不能形成共价键，因而不受共价键的束缚力，仅被Sb原子核吸引力而吸附在Sb原子核的周围，在室温下，由于热运动这些电子获得能量后，就可能离开它原来的原子Sb而在晶体中自由运动成为自由电子，而锑原子失去一个电子后带正电，但不能运动。因此把少量的锑加入锗晶体里以后，就使晶体中电子数目增加了且多于空穴数目，此时电子称为多数载流子。因而在外界电场作用下半导体的导电能力提高了，且基本上由多数载流子电子所决定的，我们称加入少量高价杂质（锑）后的半导体（锗）为电子导电型半导体，或称N型半导体。

与此相反，如果能使锗晶体中出现较多的载流子空穴，同样可以使半导体的导电能力提高。如果在四价的锗晶体中加入三价（低价）的物质镓（Ga），因为镓只有三个价电子，所以当镓原子代替锗原子的晶体内部位置时，原来相邻四个共价键中由于镓缺少

一个价电子而只能形成三个共价键，如图1.6所示。另一个键就不满了，这样就形成一

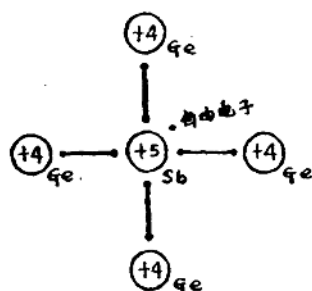


图1.5 N型锗晶体的结构

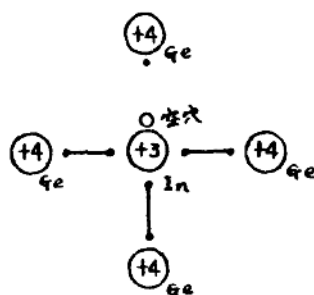


图1.6 P型锗晶体的结构

个空穴。此时晶体中空穴数目相应增加了，且多于自由电子数目，因而在外界电场作用下半导体的导电能力同样得到提高，且基本上是由多数载流子空穴所决定，我们称加入少量低价杂质（In）后的半导体（锗）为空穴导电型半导体或称P型半导体。

必须指出：杂质是指半导体中加入的某种高价（或低价）的物质，因为对一块锗半导体来说这些物质的量很少，所以称杂质。

从上面分析得知，P型半导体多空穴，N型半导体多电子，这就构成相互之间的一对矛盾，由于这对矛盾的存在和发展促进了半导体科学技术的发展，目前所有各种各样的半导体器件，从内部构造来说，都是由上述这两种杂质半导体（P型和N型）经过一定的组合而制成的，这是所有晶体管的普遍性。按照组合的方式不同，就制造成各种类型的晶体管，形成了各种管子的特殊性。但这种普遍性均存在于各种特殊性之中。今后我们研究各种晶体管时，由于特殊的事物是和普遍的事物联结的，因此要抓住P型和N型这两方面的基本矛盾及其互相联结，这样就容易掌握它。

思 考 题

1. 什么叫半导体？
2. 纯半导体为什么导电能力很弱？
3. 温度对半导体的导电能力有何影响？
4. 为什么要半导体内加入杂质？
5. 什么叫P型半导体？什么叫N型半导体？各有什么特点？
6. 四价的硅中加入五价的磷后构成什么型半导体？四价的硅中加入三价的硼后构成什么型半导体？

第二章 晶体二极管

第一节 半导体PN结中存在的矛盾

从上面的分析可知P型半导体是多空穴、少电子，而N型半导体恰与此相反是多电子、少空穴，这就从客观上构成了一对矛盾。要暴露事物发展过程中的矛盾在其总体上在其相互联结上的特殊性，就是暴露事物发展过程的本质，就必须暴露过程中矛盾各方面的特殊性，否则暴露过程的本质成为不可能，这是我们研究工作时必题十分注意的。

如果我们把一块N型锗片和一块P型锗片紧密联结在一起（在实际生产过程中，只能用化学的方法而不能用机械的方法将二块独立的锗片合在一起），在边界接触面上就形成了一个PN结，如图2.1所示。

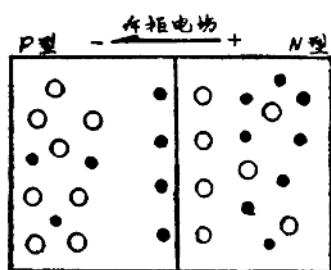


图2.1 PN结的形成

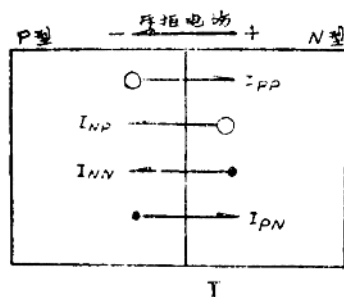


图2.2 PN的内部电流

我们知道，在PN结右方的N型半导体（区）中有较多的电子存在，而在PN结左方的P型半导体（区）中有较多的空穴存在。

这一对矛盾是怎样共居于一个统一体中呢？我们不妨先举一个例子：如果将一滴蓝墨水滴入一杯清水里，在刚滴入时，这一滴墨水看得很清楚，因为有墨水的地方墨水的分子密度特别大，而其他地方几乎看不到墨水，但是过了相当长一段时间再去观察，就看不到这一滴墨水了，看到整个杯子里均匀地显示浅蓝色。我们把这种自然界中普遍存在的现象，即几种物质由于分子运动而自动地混合，从而趋向于分布均匀的现象，称为扩散现象。在PN结中也存在着扩散现象，它推动着事物的运动，N区中密度较大的电子要向P区中作扩散，使N区边界上由于失去电子而带正电，同时P区中密度较大的空穴要向N区中扩散，使P区边界上由于失去空穴而带负电。如图2.1所示。随着扩散的继续，边界面的两边所带的电荷就越来越多，因为靠近边界的P区带负电，靠近边界的N区带正电就形成了一个电场。由于这个电场是阻碍电子和空穴的运动的，可以称为斥拒

电场,如图2.1,当斥拒电场的强度达到一定数值时,扩散就“停止”,通过边界面上的总电流为零。然而静止是相对的,运动才是绝对的。实际上仍然有少量载流子继续通过边界面(见图2.2)。P区中仍有能量较高的空穴克服斥拒电场的阻力而到达N区中形成 I_{pP} ,N区中也有少量的空穴在斥拒电场的作用下迁移到P区中形成 I_{nP} ,扩散“停止”时通过的数量恰好相等,

$$I_{pP} = I_{nP} \quad I_{pP} \text{ (P区中的多数载流子空穴克服斥拒电场所形成的。)}$$

$$I_{nP} \text{ (N区中的少数载流子空穴受斥拒电场作用所形成的。)}$$

同理,N区中仍有能量较高的电子克服斥拒电场的阻力而到达P区中形成 I_{nN} ,P区中也有少量的电子在斥拒电场的作用下迁移到N区中形成 I_{pN} ,扩散“停止”时通过的数量也恰好相等,

$$\text{即 } I_{nN} = I_{pN} \quad I_{nN} \text{ (N区中的多数载流子电子克服斥拒电场作用所形成的。)}$$

$$I_{pN} \text{ (P区中的少数载流子电子受斥拒电场作用所形成的。)}$$

所以通过边界面上的总电流

$$I = I_t - I_{co} = 0$$

$$\text{式中 } I_t = I_{pP} + I_{nN} \text{ (克服斥拒电场所形成的电流。)}$$

$$I_{co} = I_{nP} + I_{pN} \text{ (受斥拒电场作用形成的电流。)}$$

此时PN结内部包含的两个矛盾着的因素 I_t 与 I_{co} 暂时得到了统一,使P型半导体和N型半导体所共居的统一体达到了“动平衡状态”。(边界面两边的电子和空穴数量不再增减,所以叫平衡,但它们仍继续运动通过边界面,所以叫动平衡。)边界面上形成一定大小的斥拒电场而阻碍了扩散的继续。我们把边界面上具有斥拒电场的一薄层称为“阻挡层”。厚度约为 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 厘米数量级。

上式中 I_{co} ($= I_{nP} + I_{pN}$)的大小决定于N区和P区中的少数载流子数目,而少数载流子数目主要决定温度,因此,在一定的温度下, I_{co} 是一定的几乎不随外加电压而变化。与此相反,由多数载流子的运动所产生的电流 I_t ($= I_{pP} + I_{nN}$)它却与外加电压作用有关,并能形成很大的电流,因此 I_t 和 I_{co} 就构成了PN结导电与否的两个矛盾着的因素。要想使PN结能够导电,我们必抓住 I_t 这个主要矛盾,改变其 I_t 的大小来打破PN结内的动平衡状态。

思 考 题

1. 什么叫做PN结,是怎样形成的?
2. 什么叫做“动平衡状态”?

第二节 外加电压对PN结内导电性能的影响

1. 外加正向电压对PN结内导电性能的影响。

通过以上的分析得知,由于PN结内斥拒电场的存在,阻碍了P区中的空穴(N区中的电子)继续向N(P)区中扩散。若要使P区中的空穴能够向N区继续扩散而导电,那必须要给P中的空穴一个外力(推力),此时空穴获得了足够的能量以后,就能

克服斥拒电场的阻力而向N区继续运动，这个外力显然是很容易实现的，只要对结加一个电压，P端接正，N端接负，如图2.3 (b) 所示。此时，外加电场的方向与斥拒电场的方向相反，而且使阻挡层内的斥拒电场减弱，使P区中的空穴在外加电场力的推动下，又能继续向N区中扩散，而斥拒电场的减弱，相当于阻挡层减薄，这时就有较大的电流通过PN结，在回路内形成电流见图2.3 (b)，此电流称为正向电流，PN结所加的电压称正向电压，或正偏置电压。PN结在正偏置电压下所呈现的电阻称为PN结的正向电阻 ($R_{正}$)，一般为几十到几百欧姆。

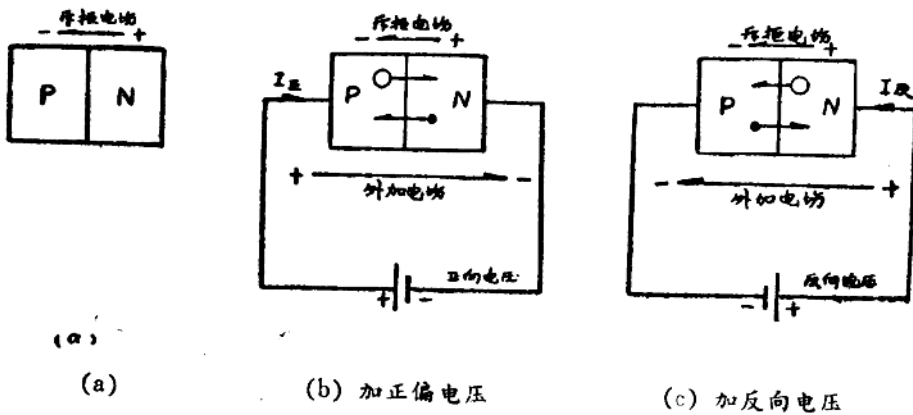


图2.3

2. 外加反向电压对PN结内导电性能的影响

如果在PN结的二端接上这样一个电压如图2.3 (c)，即P端接负，N端接正，此时外加电场的方向与PN结内部斥拒电场的方向相同，因而，外加电压加强了阻挡层的斥拒电场，使P中的空穴更不容易通过阻挡层扩散到N区中，这时只有P区和N区中的少数载流子在外加电场的作用下迁移而形成的电流 I_{co} ，而 I_{co} 是由半导体所受温度决定的， I_{co} 一般只有10微安到100微安左右，并且在工作范围内差不多与外加电压无关，此电流我们称它为反向电流，如图2.3 (c) 所示，称所加的电压为反向电压或称负偏置电压，PN结在负偏置电压下所呈现的电阻称为PN结的反向电阻 $R_{反}$ ，一般数值为几十K到几百K欧姆。

反向电流 $I_{co} = I_{pN} + I_{nD}$ 主要由温度决定。当温度改变时， I_{co} 变化较大，这对晶体管的特性影响很大，后面再详细分析。

通过以上分析，我们得到这样的结论：一个简单的PN结具有单向导电的特性。当其外加电压一正、一反极性变换时，外电路上的电流变化很大，因此可以用来作为整流检波等元件。晶体二极管就是根据这一简单原理而制成的，也是一切其他复杂晶体管如三极管、可控硅的工作基础。

思 考 题

1. 为什么PN结具有单向导电性能？

2. 什么叫PN结加正向电压, PN结的正向电阻及正向电流?
3. 什么叫PN结加反向电压, PN结的反向电阻及反向电流?
4. 正向电流与反向电流有何区别?

第三节 晶体二极管的结构

晶体二极管本质上是由P型和N型半导体经过一定的化学处理使内部形成一个最简单的PN结构成的,在P型和N型上分别接出二根引出导线(称管脚)。在电路中的代表符号为 $\leftarrow$,虽然二极管种类很多、用途很广,但内部构造基本上可以分为两类:

1. 点触型二极管

目前,通常用锗(Ge)或硅(Si)制成点触型二极管,这种二极管一般功率很小,工作频段可以很高,宜于作检波器。它们的简单结构如图2.4所示。

由一P型(或N型)的晶体和一金属触须接触,通过电冶过程,在接触处形成一个异型层,就产生了P-N结,在两端接引出线,就构成了一个二极管。这种二极管接触面积很小($20\mu\text{m}^2$),电流I值很小,宜于做高频检波器。

2. 面触型二极管

制造方法分为扩散法和合金法两种:

这里给大家介绍一种用合金法制造的二极管。

合金法二极管如图2.5所示,在一块N型锗半导体晶片上面,安置一个钢球,在真

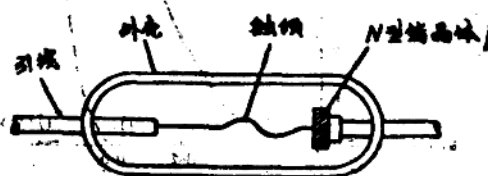


图2.4 点接触型二极管的构造

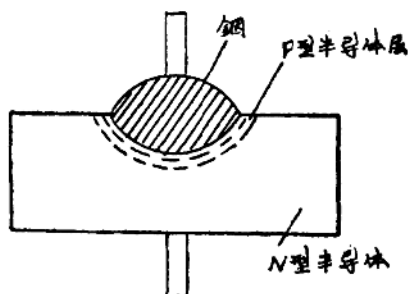


图2.5 面接触型二极管的构造

空中加热后,钢球将熔化而扩散到半导体内,扩散的结果将使半导体靠近钢球的区域中杂质密度占优势,使这个区域成为P型半导体。这样便形成了P-N结。如果晶片本身是一块P型半导体,则可用砷球,经热处理后,在砷球附近的半导体内形成N半导体。

这种二极管因接触面大,所以能通过较大的电流,常用在功率较大的场合,如整流。

思 考 题

1. 点触型和面触型二极管有何区别? 各有什么用途?