



医用 物理学基础

*Fundamental Physics
for Medical Science*

谢楠柱

张增麟 主编

侯孟庠

下 册

广东科技出版社

医用物理学基础

Fundamental Physics
for Medical Science

下 册

谢楠柱 张增麟 侯孟庠 主编

张增麟 李元明 谢加平
吴紫彦 黄微波 谢楠柱 编写
蒋 霖 周述志 侯孟庠

广东科技出版社

医用物理学基础
Fundamental Physics
for Medical Science

下 册

谢楠柱 张增麟 侯孟庠 主编

广东科技出版社出版发行
韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 9.375印张 200,000字

1982年9月第1版 1982年9月第1次印刷

印数1-4,950册

统一书号 14182·74 定价1.45元

内 容 简 介

本书是根据卫生部1981年修订的五年制医学院校教学计划要求而编写的高等医学院校物理学教材。

全书分上、下两册。上册包括力学、分子物理学和热力学、电磁学等内容。下册包括电子学基本知识、光学、原子物理学等内容。

本书既注意保持物理学的系统性，适当结合医学，也注意适应自学的需要。

本书可作为高等医学院校物理学教材，也可作为综合大学、师范院校生物系物理教学参考书，也可供一般医学工作者作自学用书。

目 录

第八章 电子学基本知识	1
§ 8-1 晶体二极管和整流、滤波.....	1
PN结(1) 二极管的特性曲线(6) 二极管整流和滤波(9)	
§ 8-2 晶体管放大器的基本原理.....	13
晶体管三极管及其特性曲线(13) 单管放大器(19)	
差动放大器(25)	
§ 8-3 振荡器的基本原理.....	27
调谐放大器(27) LC 正弦波振荡器(28) 电容器的	
充电和放电(30) 多谐振荡器(32)	
§ 8-4 医用电子测量仪器的基本结构	
与原理.....	34
医用电子测量仪器的基本结构(34) 感受器(35)	
生物电放大器(36) 记录与显示装置(37)	
第九章 物理光学	44
§ 9-1 光的干涉.....	49
光的相干性(49) 相干光源的获得(49) 杨氏双缝实	
验(50) 干涉条纹的形成条件(51) 薄膜干涉(51)	
§ 9-2 光的衍射.....	58
单缝衍射(59) 圆孔衍射(63) 衍射光栅(65)	
光学仪器的分辨率(68)	

§ 9-3 光的偏振	71
自然光与偏振光(71) 起偏和检偏(74) 光的双折射现象(77) 尼科耳棱镜和偏振片(80) 偏振光振动面的旋转(82)	
§ 9-4 热辐射	84
热辐射 基尔霍夫定律(85) 黑体辐射定律(88) 普朗克量子假设(90) 非温度辐射(92)	
§ 9-5 介质对光的吸收	95
朗伯定律(95) 朗伯-比尔定律(96) 光的透照法(97)	
§ 9-6 光电效应	98
光电效应的实验规律(98) 爱因斯坦光电效应方程(102) 光子的质量和能量(103) 光电倍增管与影像增强管(105)	
§ 9-7 德布罗意波	107

第十章 几何光学 113

§ 10-1 球面折射	114
光在单球面上的折射(114) 共轴球面系统(118)	
§ 10-2 透镜	119
厚透镜和薄透镜成像的规律(119) 薄透镜的组合(124) 圆柱透镜(125) 透镜的缺陷及其消除方法(127)	
§ 10-3 眼睛	129
人眼的结构(129) 眼的分辨本领(131) 人眼的调节及非正常眼的矫正(132)	
§ 10-4 光学显微镜 电子显微镜	136
放大镜(136) 显微镜(137) 显微镜的分辨本领(138)	

电子显微镜(140)	
§ 10-5 纤维光束内窥镜	143
光学纤维导光传象的光学原理(144) 纤镜的种类及其在	
医疗上的应用(147)	
第十一章 原子物理学基础	153
§ 11-1 氢原子光谱	153
氢原子光谱的实验规律(153) 广义巴尔麦公式(156)	
§ 11-2 玻尔氢原子理论	157
玻尔的基本假设(158) 原子的能级(159) 氢原子光谱	
的解释(162) 玻尔理论的局限性(165)	
§ 11-3 玻尔-索麦菲理论 电子的自旋	165
原子的动量矩和磁矩(166) 电子的自旋(168)	
§ 11-4 原子的电子结构	171
四个量子数(171) 两个基本原理(172)	
§ 11-5 分子结构与分子光谱	176
波函数与电子云(176) 氢分子的结构(177) 分子光谱	
和分子能级(179) 吸收光谱及其应用(183)	
§ 11-6 激光	186
激光的特性(186) 激光的发射原理(187) 氦-氖激光	
器(192) 激光在医学上的应用(194)	
§ 11-7 X 射线	196
X射线的产生和基本性质(197) 获得X射线谱的方法(201)	
连续X射线与标识X射线(204) X射线的吸收(208)	
X射线在医学上的应用(210)	
第十二章 原子核物理学基础	218
§ 12-1 原子核的结构	218
原子核的质量和电量(219) 放射性同位素(220) 原子	

核的大小和形状(221) 原子核的结合能(221) 核力与核结构模型(224) *核磁共振及其应用(226)	
§ 12-2 原子核的放射性衰变	229
核衰变的方式(229) 放射性衰变的规律(235)	
§ 12-3 射线与实物的相互作用	238
α 射线与实物的相互作用(238) β 射线与实物的相互作用(240) γ 射线与实物的相互作用(241) 中子射线与实物的相互作用(244)	
§ 12-4 射线的探测	246
盖革计数器(246) 闪烁计数器(248) 射线的剂量(249)	
§ 12-5 放射性同位素在医学上的应用	251
示踪原子(251) 放射治疗(252) 直线扫描仪(253)	
• § 12-6 基本粒子	254
基本粒子的分类(255) 基本粒子的性质(255) 基本粒子的相互作用(259) 基本粒子的守恒定律(261) π 介子在医学上的应用(263) 基本粒子模型(264)	
附录四 量子力学的基本概念	266
附录五 几个常用的函数表	285
附录六 医学物理学的标准男人数据	290

第八章 电子学基本知识

在过去的几个世纪里，医学诊断主要依靠医生的感官来进行，即所谓望、问、叩、触等。虽然望、问、叩、触在医学诊断中是不可缺少的，但是诊断的结果往往是定性的，而且带有主观的色彩。随着科学技术的进步和医学诊断仪器的发展，现代医学诊断使用着大量的电子仪器，诸如电子体温计、电子脉搏计、电子血压计等。这些仪器的作用是通过医用换能器(Transducer)，将所测的医学信息(如体温、血压、脉搏等)转换为电信号，并经过处理后将所测结果显示出来或记录下来，供医生判断和研究。这些测量结果无疑是客观的，同时也是定量的。由此可见，电子仪器在医学诊断中占有重要地位。所以，对于一个医学生来说，具备有关医用电子仪器的基本知识，是十分必要的。本章的目的就在于介绍医用电子仪器的物理原理和电子学基本知识。

§ 8-1 晶体二极管和整流、滤波

PN结

1. 半导体

物质按导电性能可分为导体、半导体和绝缘体。半导体(Semiconductor)的导电能力介于导体和绝缘体之间，目前常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge)等。下面以硅为例说明

半导体的导电机理。

物质的导电性能是由其内部原子结构所决定的。硅是四价元素，有四个价电子，将硅提炼成单晶体时，原子排列得非常整齐。每个硅原子的四个价电子，不仅受本身原子核的束缚，同时也受周围四个原子的约束。每两个相邻的原子之间都共有一对价电子，在化学上将这种结合方式称为共价键结构。通常将这种象单晶硅的纯净半导体，称为本征半导体 (Intrinsic semiconductor)。单晶硅的结构见图8-1。

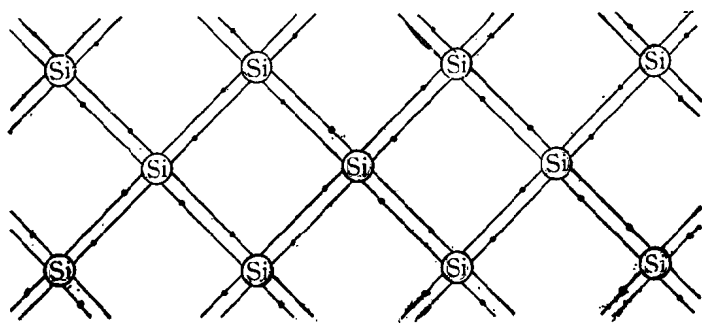


图8-1 单晶硅的结构

在室温情况下，由于热运动而有少数价电子挣脱原子核的束缚，脱离共价键键位而在晶格空间自由漂移，成为自由电子；与此同时，共价键上留下一个空键位，称为空穴 (Hole)，它具有正电性。当外电场存在时，附近键上的价电子会在电场力作用下挣脱出来而填补这一空键位，于是在邻近键上留下一个新的空穴。依此类推，旧空穴不断地被填补，新空穴不断地依次出现。结果在电场作用下形成空穴的定向规则运动，称为空穴电流。而自由电子的定向规则运动，则称为电子电流。因此半导体中的总电流是由空穴电流和电子电流共同组成的，所以半导体中有两种载流子——电

子和空穴。

在一定温度下，电子和空穴不断地产生，又不断地复合，从而保持一定的浓度。当温度升高时，电子-空穴对浓度增加，导电能力增强；反之则减弱。利用半导体的这种对热敏感性质，可以制成热敏电阻元件。电子-空穴对的浓度也可因光照而改变，因此也可利用这一性质制成光敏电阻元件。热敏电阻和光敏电阻常常作为换能元件，而在医用电子设备中使用。

本征半导体在室温情况下，电子-空穴对浓度不高，因此导电能力不强，使用价值不大。但是在本征半导体内掺入杂质，可以大大提高其导电能力，因而增加了使用价值。通常将这种掺杂的半导体，称为杂质半导体(Extrinsic semiconductor)。一种情形是在本征半导体内掺入三价元素，例如在单晶硅中掺入三价硼原子。这时硼原子将置换一部分硅原子，而占据某些硅原子的位置，如图8-2所示。由于硼只有三个价电子形成共价键，所以就出现了一个空位。这样掺有三价杂质的半导体，其空穴浓度大为提高，导电能力显著增大。这种含有高空穴浓度的半导体，称为空穴型半导体或P

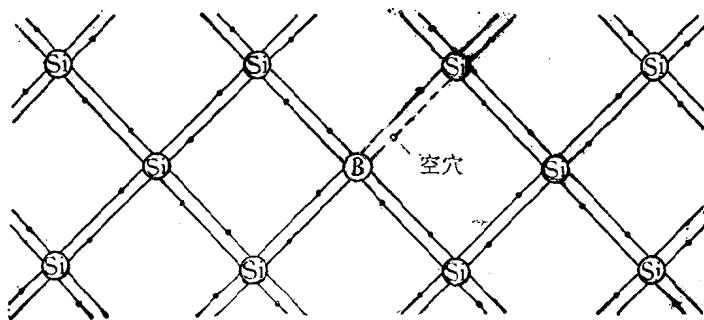


图8-2 P型半导体结构

型半导体。由于三价硼原子提供了易于接受电子的空穴，因此称硼为受主原子(Acceptor atom)。总之，在本征半导体中掺入受主原子后，就构成了P型半导体。

另一种掺杂情况是在本征半导体内掺入五价原子，例如将五价磷原子掺入单晶硅中。这样由于五价磷的五个价电子中，只有四个组成共价键，所以盈余一个价电子，成为自由电子，因此电子浓度大为提高，导电能力显著增大。这种含有高电子浓度的半导体，称为电子型半导体或N型半导体。由于五价磷提供了多余的电子，所以把磷称为施主原子(Donor atom)。总之，在本征半导体中掺入施主原子后就成了N型半导体。N型半导体的结构见图8-3。

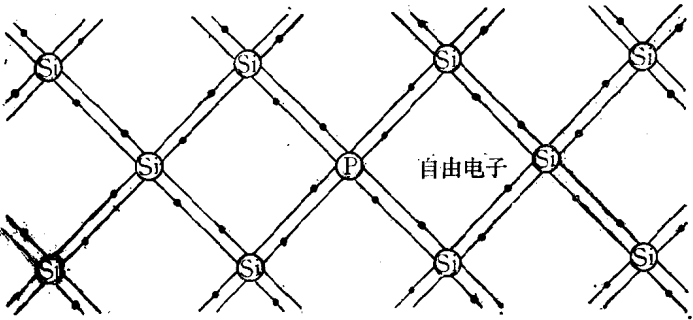


图8-3 N型半导体结构

2. PN结

单一的半导体，通常只能作为一个电阻元件来使用。如果纯净半导体的一端掺入施主原子，那么这一端就成为N型半导体；而在另一端掺入受主原子，那么这另一端就成为P型半导体。这样在两者的交界面就形成

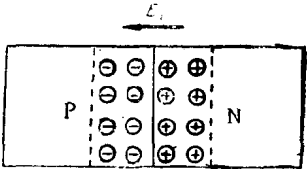


图8-4 PN结示意图

了一个紧密结合的PN结(PN Junction), 如图8-4所示。

由于P型半导体中空穴浓度较大, 而N型半导体中电子浓度较大, 所以在P区空穴浓度大, 而电子浓度小; 与此相反, 在N区电子浓度大, 空穴浓度小。浓度大的称为多数载流子, 浓度小的称为少数载流子。因此在PN结两侧的空穴浓度和电子浓度都有差别, 所以空穴将有一部分由P区向N区扩散, 同时也有一部分电子由N区向P区扩散, 结果在PN结两侧形成一个空间电荷区。在空间电荷区形成的内电场 E_i 的方向由N区指向P区。由于 E_i 方向与载流子扩散运动方向相反, 所以空间电荷区有阻止多数载流子(P区是空穴、N区是电子)继续扩散的趋势。同时 E_i 也使N区的少数载流子(空穴)和P区的少数载流子(电子)沿着与扩散方向相反的方向运动。为了使这种在 E_i 作用下产生的载流子运动区别于因浓度差产生的扩散运动, 而把它称为漂移运动。当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时, 空间电荷区的厚度就固定下来。由于空间电荷区有阻挡扩散运动的作用, 所以将它称为阻挡层(Barrier)或势垒(Potential Barrier)。对锗来说, PN结的电势差约为0.3~0.4伏, 对硅来说, 电势差约为0.5~0.7伏。

如果P区用导线接到电池的正极, N区接到电池的负极, 如图8-5(a)所示。这时在PN结上除了阻挡层的内电场 E_i 外, 还加上了一个外加电池产生的外电场 E_o 。这两个电场方向相反, 因此削弱了PN结电场 E_i , 破坏了扩散与漂移的平衡, 扩散超过了漂移。P区的空穴向N区进一步扩散, N区的电子也向P区进一步扩散, 因此增大了由扩散运动形成的电流。这时PN结呈现很小的电阻, PN结处于导通状态。PN结的这种接线方式, 称为正向接法。所以PN结接正向电

压时，PN结电阻很小，正向电流很大。

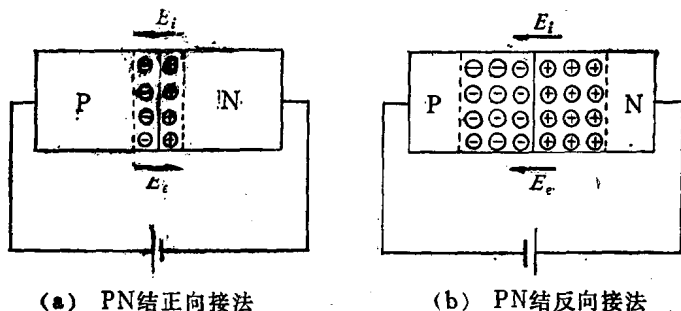


图8-5 PN结的接法

如果N区用导线接到电池正极，P区接到负极，如图8-5(b)所示，称为反向接法。这时外电场 E_e 与内电场 E_i 方向相同，因此PN结电场加强，使势垒增高，结果阻断了扩散电流。这种情况，称为截止状态。这时漂移电流增强，可是由于漂移电流是由少数载流子形成的，而少数载流子数目很小，所以当 E_e 足够大时，全部少数载流子都参与了输运电荷，因此反向电流不会增加，故称之为反向饱和电流。总之，PN结接反向电压时，PN结电阻很大，反向电流很小。

综上所述，PN结正向接法时，电流很大，反向接法时，电流很小。通常将正、反向电流不等的这种特性，称为单向导电性。PN结是半导体二极管的最基本结构，也是其他各种晶体管的基本组成部分。

二极管的特性曲线

1. 二极管的结构

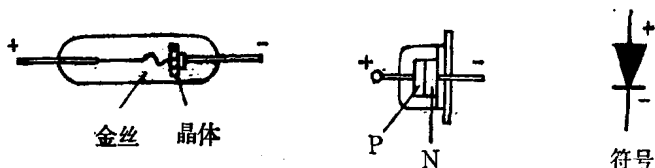
二极管(Diode)实际上就是一个PN结加上正负电极引线，用玻璃、陶瓷或金属管壳封装而成的。二极管种类很

多，按PN结的结构来分，主要有点接触型和面接触型两种。

图8-6(a)所示是点接触型二极管的内部结构。其中晶片是由锗、硅等半导体材料制成，金属丝可用金丝、钨丝或钼丝等。在触丝与半导体材料接触处形成PN结。这种二极管由于PN结面积小，故通过电流小，一般只用于小功率整流或高频检波等方面。

图8-6(b)所示是面接触型二极管的内部结构。由P型晶片和N型晶片紧密结合而形成PN结。由于PN结面积大，故用于大功率整流方面。

二极管在电路中的符号，如图8-6(c)所示。



(a) 点接触二极管构造 (b) 面接触二极管构造 (c) 二极管符号

图8-6 晶体二极管

2. 二极管的特性曲线与参数

通过实验测量可以得到二极管的特性曲线，也称为二极管的伏安曲线，它表示加在二极管两端的电压与通过二极管电流间的相互关系。图8-7所示为二极管的典型伏安曲线。

在图8-7坐标原点，表示二极管两端未加电压，所以电流为零。

当二极管加上正向电压时，就有正向电流通过。图中，OA段正向电流增长很慢，这是因为这时正向电压还很小，不能完全抵消PN结的内电场。到了电压增加到A点所对应的数值时，内电场完全消失，因此AB段表示正向电流随外

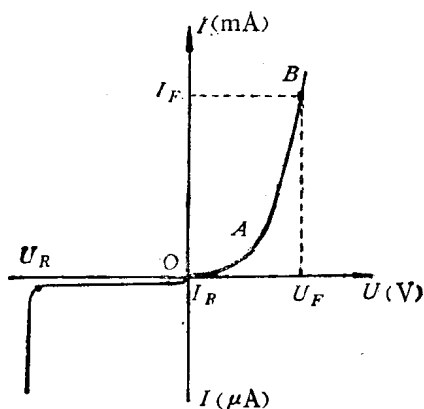


图8-7 二极管特性曲线

加电压而线性增长，而且增长迅速。到了 B 点时，其对应的电流 I_F ，称为工作电流或额定电流，它表示在这一电流值时，二极管能够以较长的寿命长期稳定工作。而超过这一数值时，二极管寿命减短甚至烧毁。与 I_F 对应之电压 U_F ，称为正向管压降。

当二极管加接反向电压时，阻挡层增厚，因此使扩散电流截止。但是由于少数载流子的存在，因此形成反向电流，可是少数载流子为数甚少，所以当电压达到一定值后，少数载流子已经全部参加电荷输运，因此即使反向电压继续增加，反向电流也不会增大。这样就表现为特性曲线与横轴近乎平行的 OC 段，其相应的电流 I_R 几乎不随反向电压改变，通常称 I_R 为反向饱和电流。当反向电压达到与 C 点对应的数值以后，反向电流陡然增加，这种现象称为二极管的击穿，通常在使用时是不允许出现击穿现象的。与 C 点对应的电压 U_R ，称为反向击穿电压。

额定电流 I_F ，正向管压降 U_F ，反向饱和电流 I_R 和反向击穿电压 U_R ，是二极管的主要工作参数。这些参数常可在半导体器件手册上查到，以作为正确使用时的依据。

二极管整流和滤波

1. 整流电路

整流电路 (Rectification circuit) 主要由二极管等元件构成，它的主要功能是将交流电变换为单向脉动电流。常用的电路形式有半波整流、全波整流和桥式整流。

(1) 半波整流电路 它的电路形式如图8-8所示。

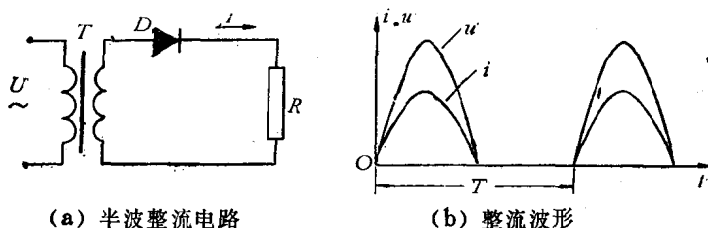


图8-8 半波整流

在图8-8(a)中， T 代表变压器， D 为二极管， R 为负载电阻。正弦交流电压经变压器变压后，加在有二极管串联的电阻电路上。在正弦电压正半周时，二极管因被加上正向电压而导通，有电流 I 通过电阻 R ，电流 I 如图8-8(a)中箭头所示。而在正弦电压负半周时，二极管被加上反向电压，因此二极管截止，电阻中没有电流通过。所以通过负载电阻的电流和电压波形如图8-8(b)所示。从整流波形可以知道，在正弦电流的每个周期中，只有半个周期有电流通过二极管和负载电阻，因此称为半波整流。

半波整流所得到的电压和电流不是稳恒的直流，而是单