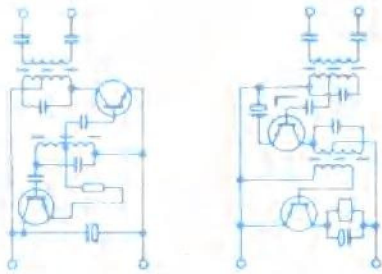




煤矿井下电工丛书

矿用载波控制技术

开滦煤矿编



煤炭工业出版社

煤矿井下电工丛书

矿用载波控制技术

开滦煤矿编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书重点介绍了煤矿井下载波控制的发射机、接收机的工作原理、调试、测量以及采、掘、运机械设备的各种控制线路和载波通讯。为了学习方便,对载波控制线路中的半导体元件、单元线路的基本原理也作了较详细地叙述。

本书主要供给具有初中文化程度的煤矿电工学习,也可供煤矿七·二一大学教学及有关技术人员参考。

煤矿井下电工丛书 矿用载波控制技术 开深煤矿编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

石油化学工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $8\frac{7}{8}$ 插页 1
字数 195 千字 印数 1—18,500
1977年2月第1版 1977年2月第1次印刷
书号15035·2074 定价 0.63 元

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展。煤炭工业战线欣欣向荣，形势一派大好。

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

为了适应煤炭工业的迅速发展，满足煤矿电工为革命学习技术的迫切要求，我们组织了以工人为主体的“三结合”编写小组，结合总结煤矿电工的实践经验，并收集了有关技术资料，编写了《煤矿井下电工丛书》。

参加“三结合”编写小组的有：河北矿冶学院、开滦煤矿唐山矿、赵各庄矿、范各庄矿、林西矿、开滦煤矿机修厂、开滦大学附属技工学校的工人、技术人员和教师。在编写过程中，进行了调查研究、征求意见和修改补充。内容由浅入深，文字力求通俗易懂。结合煤矿生产实际选编了一些例题，便于读者掌握和运用电的技术知识。

在编写过程中，我们得到许多厂矿、科研与设计单位以及院校的大力支持，谨此表示感谢。

由于我们的政治思想水平和技术水平所限，加之时间仓促，书中定有不少缺点和错误，热诚地希望同志们提出批评、指正。

开 滦 煤 矿

一九七四年九月

目 录

第一章	晶体管基础知识	1
第一节	半导体基本概念	1
第二节	晶体二极管	7
第三节	晶体三极管	16
第四节	硅稳压管	31
第五节	单结晶体管	36
第六节	可控硅	42
第二章	晶体二极管整流与滤波电路	57
第一节	晶体二极管整流电路	57
第二节	滤波电路	72
第三章	晶体管放大器与振荡器	82
第一节	晶体三极管静态工作点的选择	82
第二节	低频电压放大器	91
第三节	低频功率放大器	94
第四节	直流放大器	103
第五节	晶体管稳压器	106
第六节	正弦波振荡器	117
第四章	脉冲电路	127
第一节	RC脉冲电路	127
第二节	晶体管开关电路	133
第三节	反相器	136
第四节	射极跟随器	138
第五节	双稳态触发器	139

第六节	射极耦合双稳态触发器·····	145
第七节	自激多谐振荡器·····	147
第八节	单稳态触发器·····	151
第九节	单结晶体管触发器·····	154
第十节	自激间歇振荡器·····	156
第十一节	调谐功率放大器·····	157
第十二节	延时电路·····	167
第五章	煤矿载波控制系统·····	175
第一节	矿用载波机·····	175
第二节	采煤机组动力载波控制系统·····	181
第三节	运输机动力载波控制系统·····	199
第四节	装岩机动力载波控制系统·····	231
第五节	装煤机动力载波控制系统·····	235
第六节	矿井提升载波信号·····	240
第七节	晶体管动力载波电话·····	243
第六章	常用电子仪器·····	248
第一节	电子射线示波器·····	248
第二节	515型音频振荡器·····	258
第三节	GB-9 _B 型真空管毫伏表·····	262
第四节	635型万能电桥·····	265
第五节	载波机的调整、试验和测量·····	271

第一章 晶体管基础知识

晶体管是组成电子线路的基本元件，在介绍晶体管和晶体管电路之前，首先，要了解半导体的性质，然后再了解晶体管的结构、性能、参数以及晶体管和外部电路的联系。

第一节 半导体基本概念

半导体、*P*型和*N*型半导体

在生产实践中，我们都知道常用的金属银、铜、铝、铁等内部自由电子很多，容易导电称为导体。而橡胶、云母、陶瓷、塑料等内部自由电子很少，不容易导电称为绝缘体。此外，另有一类物体如锗、硅等内部电子受原子核的束缚力不象绝缘体内那样大，但又不象导体内那样小，因此，这类物体内部自由电子较少，它们的导电性能介于导体与绝缘体之间称为半导体。

比较起来，导体、绝缘体和半导体它们在导电性能上的差别，在于它们内部自由电子的多少。这些自由电子是运载电荷的载流子，它们在外电场的作用下，作定向运动时，就形成电流。

半导体除了导电性能上不同于导体和绝缘体之外，还有一些独特的性质。

1. 半导体的导电能力，随外界条件的变化会有显著的改变。如受到光照激发或热激发时，半导体的导电能力均将随之改变，利用这种性质可以制成光敏元件和热敏元件。

2. 在纯半导体中加入微量的其它元素，它的导电能力就会大大加强，利用这个性质可以制成两种不同类型的半导体。

为了说明半导体材料的性质，让我们来看一看半导体材料锗（Ge）、硅（Si）的原子结构，如图1-1所示。锗原子有32个电子，分为四层，硅原子有14个电子分为三层，它们的特点是：最外层电子都有四个，通常最外层的四个电子很不稳定，称为价电子，所以锗和硅是四价元素。

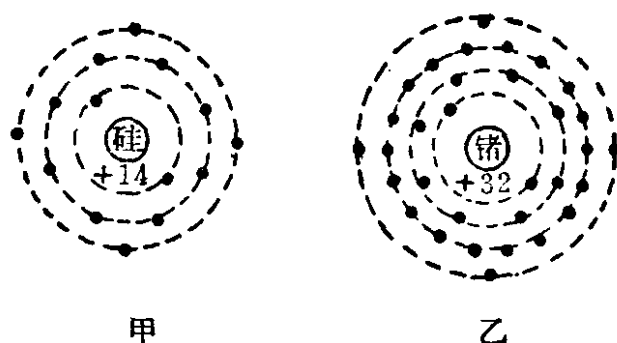


图 1-1 硅、锗的原子结构平面示意图

甲—硅（Si）原子结构；乙—锗（Ge）原子结构

在将锗、硅等半导体材料由多晶体被控制成单晶体时，其原子就会排列成整齐的状态，如图 1-2 所示。其中，原子间隔相等，每个原子最外层有四个价电子，在晶体中每个原子最外层的电子数总要凑成八个而趋于稳定，因此，锗原子在组成晶体时，每个原子要争夺四周相邻原子的四个电子组成稳定状态。这样，两相邻原子都凑成一对共有电子，这种共有电子，除绕自身原子核运动外，也常出现在相邻原子的外层轨道上，这样的组合称为共价键结构。

半导体锗、硅的共价键特性是：外层共有电子所受到的束缚力并不象绝缘体里那样大，在一定温度（或光照）下，由于热能转化为电子的动能，其中，共有电子可能挣脱束缚

而成为自由电子，形成带负电的载流子，同时留下一个空位（也称空穴），因此，电子和空穴总是相伴而生，成对出现的称为电子-空穴对。这种共有电子的运动，在效果上，如同带正电荷的空位在晶体中移动，为了区别于自由电子运动，就称为空穴运动。

由此可见，空穴也是一种载流子，在一定的外界条件下，自由电子运动，形成带负电的电子流，相邻共有电子填补空穴，形成带正电的空穴流，在外电场作用下，它们就都形成定向流动，所以在半导体中，不仅有电子载流子，还有空穴载流子，这是半导体中独特的导电方式。

实践证明，如果在纯半导体锗里加入微量的其它元素如铟。铟原子最外层有三个电子，排列在晶体中与锗原子最外层电子两两组合，由于铟原子最外层比锗少一个电子，于是晶体中出现多余空穴，在外电场作用下，邻近的共有电子会挣脱束缚跑到空穴中去填补，这样跑掉电子的地方又出现空穴，如图1-3所示。由于每个铟原子都多余一个空穴，于是

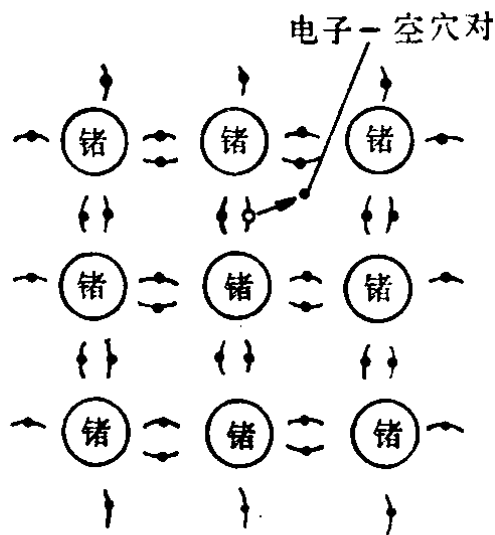


图 1-2 锗单晶的原子排列示意图

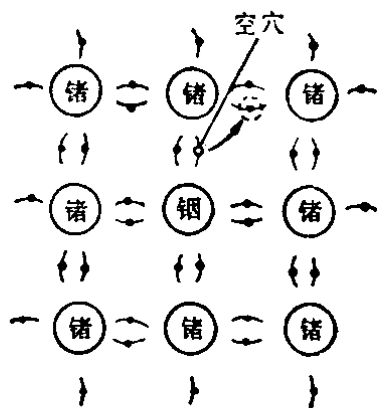


图 1-3 P型半导体原子排列示意图

锗晶体中出现多数空穴，这种具有多数空穴的半导体，称为空穴型半导体，简称P型半导体。

如果在纯半导体锗中，加入另一种元素砷，它最外层有五个电子，由于砷原子最外层比锗多一个电子，所以晶体中出现了多余自由电子，如图1-4所示。由于每个砷原子都多余一个自由电子，于是晶体中出现多数自由电子，这种具有多数自由电子的半导体，称为电子型半导体，简称N型半导体。

综上所述，在P型半导体中，多数载流子是空穴，还有少数自由电子，而在N型半导体中，多数载流子是自由电子，也还有少数空穴，如图1-5所示。

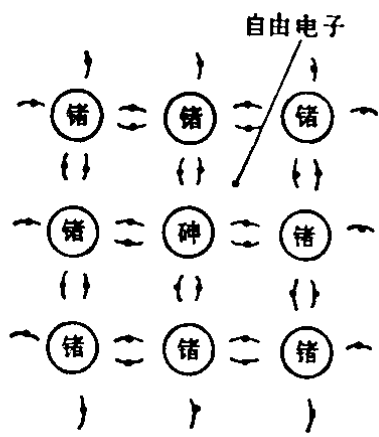


图 1-4 N型半导体原子排列示意图

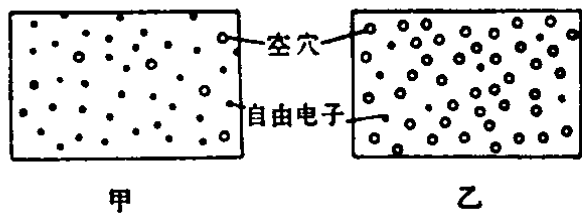


图 1-5 半导体中的多数载流子与少数载流子
甲—N型半导体；乙—P型半导体

从整体来看，原子核带的正电荷等于外层电子所带负电荷的总数，所以不论那种半导体，整个晶体还是中性不带电的。

P-N结的形成

在生产中，我们经常碰到扩散现象，例如走近矿灯房窗

口可以嗅到硫酸的气味，进入机电修配车间里常可以嗅到酒精、汽油和机油的气味，这些都是由于硫酸、酒精、汽油和机油等物质的气体分子在空气中扩散的结果。

若在锗片两侧加入微量的不同元素（如铟和砷）把左侧做成P型半导体，右侧做成N型半导体，如图1-6所示。

在两类半导体的结合面处，载流子也有扩散现象，P型区的多数载流子是空穴，而N型区的空穴很少，空穴要由P型区向N型区扩散。同样，N型区的多数载流子是自由电子，而P型区的自由电子很少，所以自由电子就要由N型区向P型区扩散。于是，相互扩散的结果，P型区空穴减少，边缘出现一层带负电的离子区，阻挡电子扩散（图中用⊖表示不能移动的得到电子而带负电荷的离子），N型区电子减少，边缘出现一层带正电的离子区，阻挡空穴扩散（图中用⊕表示不能移动的失掉电子而带正电荷的离子）。结果在P、N区域边缘的结合面附近形成一个空间电荷层，这层正、负电荷会产生一个电场，称为内电场。它的方向由正电荷指向负电荷（即由N型区指向P型区），如图1-7所示。空

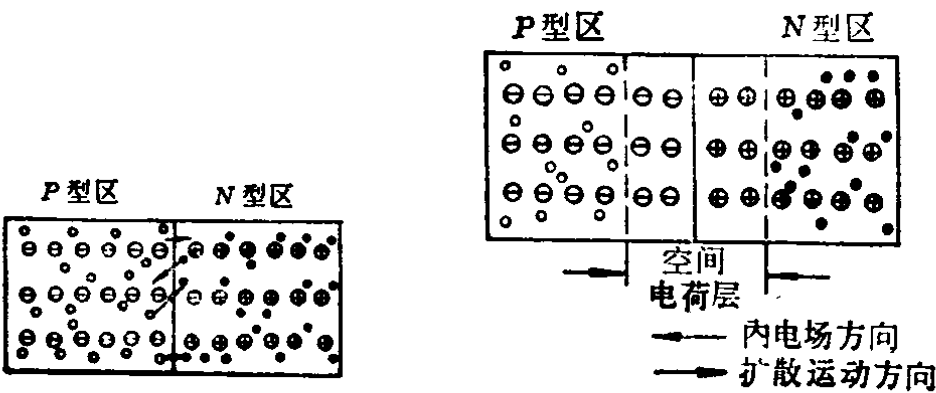


图 1-6 P-N结载流子的扩散运动

图 1-7 P-N结扩散作用与电场作用

穴向 N 型区扩散与自由电子向 P 型区扩散均受这个内电场的阻力。由于产生内电场的空间电荷层存在，对多数载流子的继续扩散运动起排斥和阻挡作用，所以空间电荷层，又称为阻挡层，也称为 $P-N$ 结。

显然，多数载流子的扩散运动不会永远继续下去，因为，随着空穴和电子的相互扩散，空间电荷层加宽，内电场加强，对继续扩散过来的同性载流子排斥和阻挡作用愈大，扩散愈困难，直到最后，内电场达到一定强度，多数载流子扩散数目与同性少数载流子在热运动下通过阻挡层的数目相等时，扩散终止，空间电荷层不再加宽，达到稳定状态。

$P-N$ 结的单向导电性

1. 加正向电压空间电荷层变窄

在 $P-N$ 结暂时相对稳定状态时，把电源正极接到 P 型区，负极接到 N 型区，如图1-8甲所示。发现 $P-N$ 结有电流通过（即电流表有指示），这是因为电池产生的外电场与内电场方向相反，削弱了内电场，使空间电荷层变窄，多数载流子在外电场作用下继续扩散，形成较大电流，称为正向电流，这时电阻很小。

2. 加反向电压空间电荷层加宽

若把电源正极接到 N 型区，负极接到 P 型区，如图1-8乙所示。发现 $P-N$ 结几乎没有电流通过（即电流表几乎不动），这是由于外电场与内电场方向一致，使空间电荷层加宽，阻挡作用增大，多数载流子无法通过，但少数载流子在外电场作用下通过 $P-N$ 结，形成很小电流，称为反向电流， $P-N$ 结反向电阻很大，它比正向电阻大几百倍或几千倍，所以 $P-N$ 结正向电流也比反向电流大几百倍或几千倍。

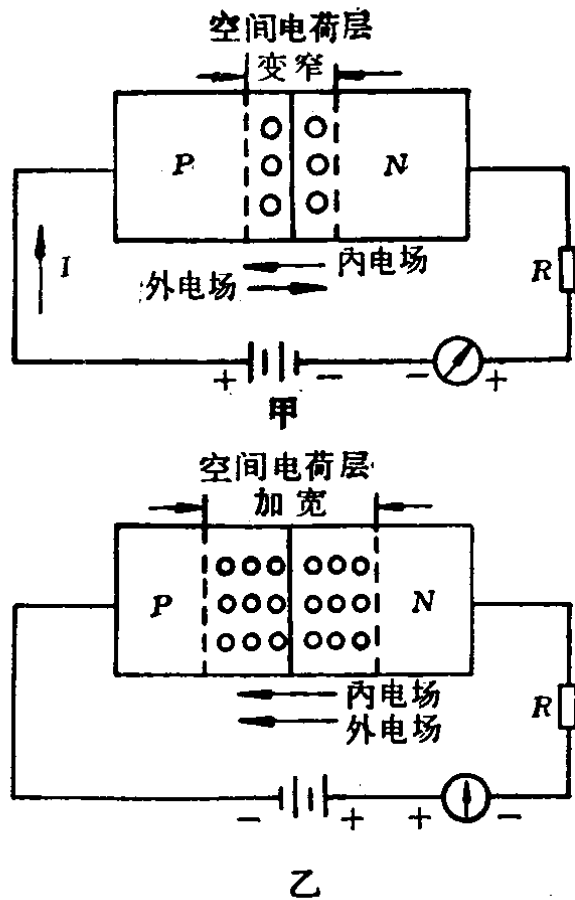


图 1-8 $P-N$ 结的单向导电特性

甲—加正向电压导通；乙—加反向电压不导通

$P-N$ 结的上述特性，称为单方向导电性。有电流通过的接线（即电源正极接 P 型区），称为正向接法，反之，不能通过电流的接线（即电源正极接 N 型区），称为反向接法。

第二节 晶体二极管

晶体二极管的结构

实际上二极管就是一个 $P-N$ 结，因为 $P-N$ 结的特性也就是二极管的特性，二极管的特点也具有单方向导电的性能。二极管按结构可分为点接触型与面接触型两种。

1. 点接触型二极管

它是由管心、引线和玻璃（或塑料）管壳组成，如图1~9所示。管心是一根金属触丝压接在晶片上，由正方向通一个很大的脉冲电流使触丝端点与晶片熔结在一起，使部分金属原子扩散到晶片中，形成一个 N 型半导体薄层，从而构成一个 $P-N$ 结。由于触丝很细，触点很小，允许通过电流不大，但结电容也小（约1微微法），工作频率可以很高，适用于检波，脉冲电路或小电流整流电路上，该型常用管有2AP系列。

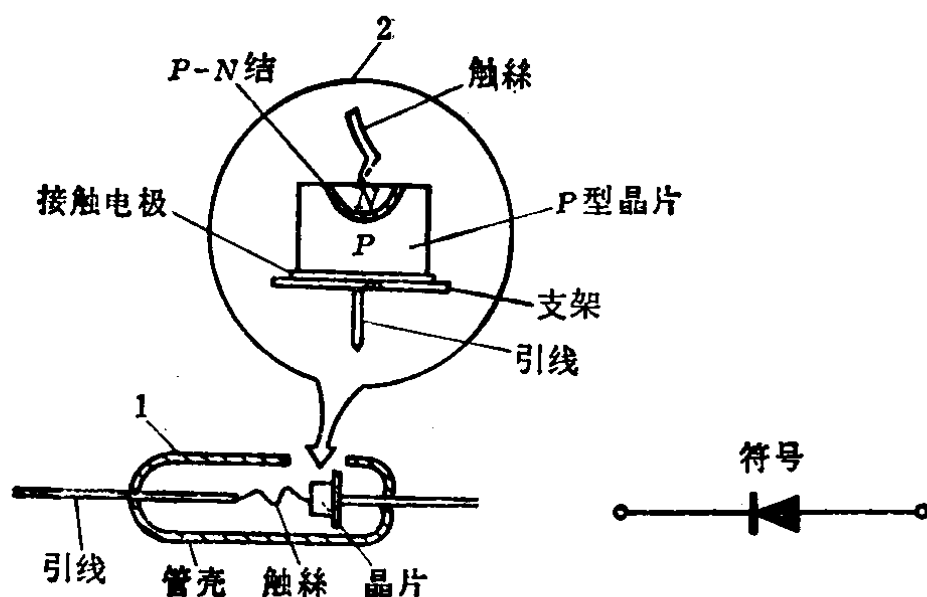


图 1-9 点接触型二极管结构

1—二极管结构；2—管心

2. 面接触型二极管

它又称面结型二极管，是由管心、引线与金属管壳组成，如图1-10所示。这种二极管是利用合金法或扩散法做成的 $P-N$ 结，由于它的结面积较大，允许通过较大电流，但结电容也大（约15~20微微法），工作频率较低，只适用于整流，该型常用管有2CP系列，适用于较小功率整流2CZ系

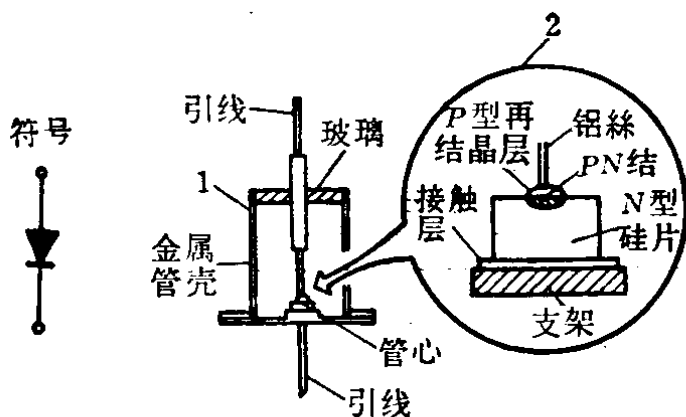


图 1-10 面结型二极管

1—二极管结构；2—管心

列，适用于中等或较大功率整流。

晶体二极管的特性

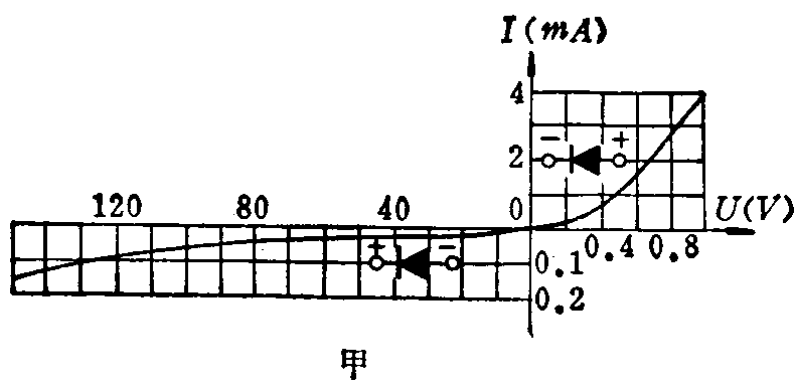
二极管的伏安特性，表示二极管两端电压和流过二极管电流之间的关系如图1-11所示。

1. 正向特性

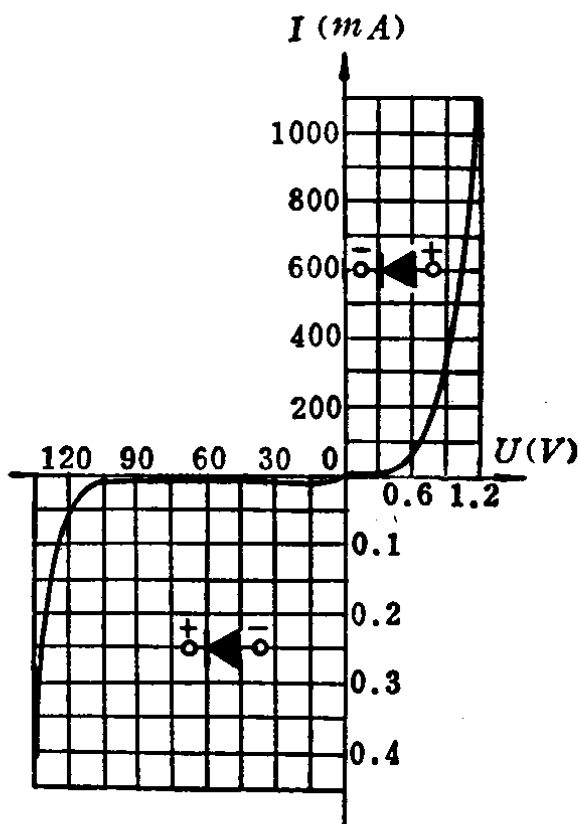
以图1-11乙为例，二极管的正极与电源正极相连，称为二极管两端加正向电压，流过正向电流，由坐标零点起始 $P-N$ 结内电场有较大阻力，通过的电流很小，加在二极管两端的电压升高到一定数值时，内电场被大大削弱，二极管电阻变小，电流增大很快，如图中所示正向电压不到1伏而电流可达到400毫安，即用很低的正向电压，就可以获得很大的正向电流。

2. 反向特性

二极管的正极与电源负极相连，称为二极管两端加反向电压，此时， $P-N$ 结内电场被加强，多数载流子不能扩散，其中少数载流子在反向电压作用下通过 $P-N$ 结，从而形成很小的反向电流，如图中所示反向电压小于100伏时，反向



甲



乙

图 1-11 二极管伏安特性

甲—2AP27 型锗二极管伏安特性；乙—2CP33A 型硅二极管伏安特性

电流很小，由坐标零点起始反向电压逐渐升高时，参加导电的少数载流子数量随之增加，则反向电流也增加，在反向电压升高到一定数值时，少数载流子全部参加导电了，此时，反向电流几乎保持不变，但其数值还是很小时，以微安计。当