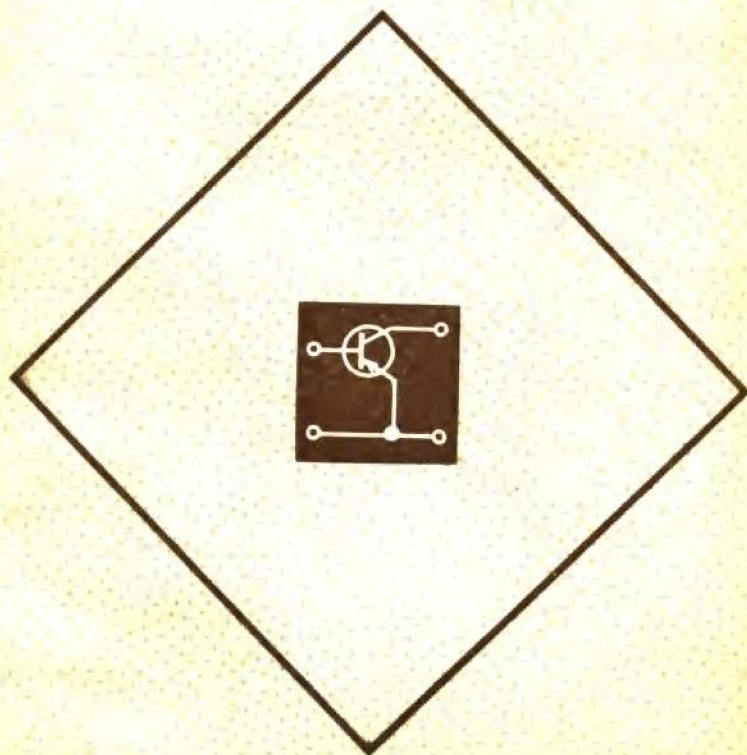


电子工业出版社

实用电子电路

张永红 王明仁 编著



内 容 提 要

本书是根据电信技术工人应知应会的要求编写的。全书共八章，包括：晶体二极管和三极管典型电路分析；整流和稳压电路；低频小信号放大和功率放大以及反馈电路的分析；并对电子管也作了适当介绍。结合每章要点进行了小结，每章后面附有习题，书末有习题答案。适合职工自学及培训班和技工学校使用。本书特点：

1. 结合电信、电子技术工人的工作需要，在内容的选材、编排中注意了最基本的典型电路的分析，着重讨论物理概念，对必要的定量分析也采用了简化计算法。

2. 本书从实用角度出发，重点分析电路的原理、调测、检查处理一般故障的方法，尽量做到有一定的知识性、趣味性和实用性。

邮电职工教育用书

实 用 电 子 电 路

王永江 王新仁 编著

责任编辑：刘惠云

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

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 1983年3月第 一 版

印张：8 16/32 页数：136 1983年3月天津第一次印刷

字数：190千字 印数：1—55,000册

统一书号：15045·总2717—无6233

定价：0.89 元

前 言

为了适应邮电职工的学习和提高业务、技术管理水平的需要，我局将陆续组织编写职工教育用书。

这些教育用书，主要是根据邮电部对各专业人员按业务技术等级标准分别规定的应知应会要求，并结合实际工作需要而编写的。内容力求实用、通俗易懂。经我局组织审定，认为适合职工自学，也可作为短训班及各类邮电学校的教学或参考用书。

由于时间仓促、经验不足，书中难免有许多缺点和不足之处，希望各地在使用过程中，及时把意见反映给我局，以便今后修订。

邮电部教育局
一九八一年十月

编 者 的 话

本书是培训电信机务员的教材之一，编写的主要依据是邮电部颁发的应知应会要求。各类通信设备中几乎都有各式各样的电子电路，学好电子电路对于进一步学习通信设备是很必要的，因此本书将做为几个专业共同的基础课教材。既然是基础课，本书只能介绍那些最基本的典型电路。至于通信设备和仪表中的实际电路，往往是典型电路的变化和改进，对它们的分析讲解，则在后续专业课程中讨论。作为职工培训教材，我们认为应着重从概念上讨论电路是如何工作的，必要的定量分析也要采用简化算法，力求简明，不追求严密。内容选材以当前实际工作需要为主，而不过多的考虑发展。

电子器件有两大类——半导体器件和电子管，每类中都含有很多类型。本书中主要介绍普通的晶体管（用技术术语来说是分立的双极型半导体器件），和由晶体管组成的电路。鉴于目前仍有不少电子管设备，本书最后也简略地介绍一下电子管及其电路。

电子电路也分两大类，一类是本书要讲的整流、放大、正弦振荡等电路，这一类比较确切的名称是模拟电子电路。另一类是脉冲数字电路，本书不予介绍，而由另一本《实用脉冲数字电路》专门讨论。

学习应该循序渐进，阅读本书也需要具有一定的数学和电工知识，建议读者在学习《电信工人实用数学》和《实用电工学》之后再阅读本书。

本书之名冠有“实用”二字，是希望读者阅读本书之后，提高分析电路的能力、掌握一些调测、检查、处理一般故障的方法，使之对日常工作有所得益。我们在内容的选材、编排中注意了这个问题，还列出一些习题和思考题。作这些题，可以加深对问题的理解，也有助于灵活掌握所讲内容，使之便于应用。

由于作者水平有限，加之写作仓促，缺点错误在所难免；我们的设想是否合适，也待教学实践的检验，祈求读者批评指正。

编 者

1982.7

目 录

第一章 晶体二极管	1
第一节 半导体基本知识	1
1.1.1 半导体导电特点 1.1.2 P型半导体和N型半导 体	
第二节 PN结	3
1.2.1 什么是PN结 1.2.2 正偏下的PN结 1.2.3 反偏下的PN结	
第三节 二极管的特性和参数	4
1.3.1 结构和符号 1.3.2 特性 1.3.3 锗管和硅 管的区别 1.3.4 主要参数	
第四节 分类、命名和元件代用	9
1.4.1 分类 1.4.2 命名 1.4.3 更换二极管注意 事项	
第五节 二极管的简易测量	10
1.5.1 万用表电阻档电流方向 1.5.2 检验二极管的 好坏 1.5.3 判别电极	
本章要点	12
习题	13
第二章 整流	15
第一节 变压器	15
2.1.1 作用 2.1.2 变压器的连接	
第二节 半波整流电路	16
2.2.1 工作原理 2.2.2 输出直流电压 2.2.3 对 二极管参数的要求 2.2.4 优缺点	

第三节 全波整流电路	21
2.3.1 工作原理 2.3.2 数量关系 2.3.3 优缺点	
第四节 桥式整流电路	24
2.4.1 工作原理 2.4.2 数量关系 2.4.3 优缺点	
第五节 滤波电路	26
2.5.1 作用 2.5.2 电容滤波原理 2.5.3 电容滤波 对整流电路的影响 2.5.4 其它滤波电路	
第六节 倍压整流电路	32
2.6.1 二倍压整流电路 2.6.2 三倍压整流电路	
2.6.3 优缺点	
第七节 整流部分故障检查方法	35
本章要点	36
习题	37
第三章 晶体三极管	40
第一节 三极管的结构和符号	40
3.1.1 结构 3.1.2 符号 3.1.3 分类和命名	
第二节 三极管的放大作用	43
3.2.1 施加适当的电源 3.2.2 电流放大 3.2.3 穿透电流 3.2.4 电流关系式	
第三节 三极管放大原理	48
3.3.1 载流子传输过程 3.3.2 I_{CEO} 的来源	
第四节 三极管特性和参数	50
3.4.1 输入特性曲线 3.4.2 输出特性曲线 3.4.3 三种工作状态 3.4.4 三种组态 3.4.5 参数	
第五节 三极管的简易测试	57
3.5.1 检验管子是否损坏 3.5.2 估测 I_{CEO} 和 β	
3.5.3 判别电极	
本章要点	61

习题	62
第四章 低频小信号放大	64
第一节 低频放大器的基本概念	64
4.1.1 放大器的功能	4.1.2 放大器的连接
4.1.3 对放大器的基本要求	4.1.4 放大的实质
第二节 基本放大电路工作原理	70
4.2.1 电路图	4.2.2 为什么要设置静态工作点
4.2.3 符号的约定	4.2.4 放大过程
第三节 基本放大电路的分析	77
4.3.1 直流等效电路	4.3.2 交流等效电路
4.3.3 三极管的交流等效电路	4.3.4 计算放大倍数, 输入、
4.3.5 输出电阻	计算公式之讨论
第四节 放大电路的偏置方法	84
4.4.1 影响静态工作点不稳定的因素	4.4.2 自动稳定
4.4.3 工作点的偏置电路	综合计算举例
第五节 基本放大电路故障检查方法	93
4.5.1 检查故障的思路	4.5.2 检查静态工作点方法
4.5.3 检查信号通路方法	
第六节 多级放大电路	97
4.6.1 多级放大电路的放大倍数	4.6.2 级间耦合方式
4.6.3 阻容耦合	4.6.4 变压器耦合
第七节 直流放大电路	104
4.7.1 什么是直流放大	4.7.2 基本放大电路
4.7.3 直流放大的两个重要问题	
本章要点	109
习题	110
第五章 低频功率放大	114
第一节 甲类单管功率放大电路	114

5.1.1 功率放大电路的特点	5.1.2 工作原理	5.1.3 最大不失真输出功率	5.1.4 最佳负载	5.1.5 管子安全问题	5.1.6 计算举例	5.1.7 变化电路
第二节 乙类推挽功率放大电路124						
5.2.1 工作原理	5.2.2 最大不失真输出功率	5.2.3 电源供给功率及效率	5.2.4 交越失真及偏置方法	5.2.5 管子安全问题	5.2.6 计算举例	
第三节 复合管135						
5.3.1 发射极—基极接法	5.3.2 集电极—基极接法					
第四节 放大器技术指标及测试方法139						
5.4.1 基本指标测试方法	5.4.2 用分贝表示放大倍数	5.4.3 非线性失真系数	5.4.4 频率响应	5.4.5 信号杂音比		
本章要点149						
习题150						
第六章 反馈153						
第一节 反馈的基本概念153						
6.1.1 什么是反馈	6.1.2 反馈的分类	6.1.3 为什么使用反馈				
第二节 负反馈放大电路157						
6.2.1 电流串联负反馈放大电路	6.2.2 电压并联负反馈放大电路	6.2.3 电压串联负反馈放大电路	6.2.4 电流并联负反馈放大电路			
第三节 负反馈对放大器特性的影响168						
6.3.1 电压负反馈稳定输出电压, 电流负反馈稳定输出电流	6.3.2 负反馈稳定增益	6.3.3 串联负反馈提高输入电阻, 并联负反馈降低输入电阻	6.3.4 电流负反馈提高输出电阻, 电压负反馈降低输出电阻	6.3.5 负反馈改善性能指标	6.3.6 怎样调整负反馈放大器的	

增益

第四节 射极输出电路174

6.4.1 静态工作点计算 6.4.2 交流信号分析 6.4.3

射极输出电路的应用 6.4.4 自举 6.4.5 射极输出
电路是共集组态

第五节 正弦振荡原理181

6.5.1 振荡条件 6.5.2 振荡频率问题 6.5.3 振

荡稳幅问题 6.5.4 检查故障的思路

第六节 正弦振荡电路185

6.6.1 变压器耦合LC振荡电路 6.6.2 三点振荡电路

6.6.3 RC文氏桥振荡电路

第七节 自激与寄振193

6.7.1 负反馈环路的自激 6.7.2 寄振

本章要点196

习题198

第七章 晶体管直流稳压电源201

第一节 稳压电源的基本概念201

7.1.1 整流电路输出电压不稳定的原因 7.1.2 什么是

稳压电路 7.1.3 实现稳压的设想

第二节 稳压管稳压电路203

7.2.1 稳压管 7.2.2 稳压原理 7.2.3 优缺点

7.2.4 温度对稳定电压的影响 7.2.5 利用正向连接的

二极管稳压

第三节 串联稳压电路207

7.3.1 简单的串联稳压电路 7.3.2 串联稳压电路工作

原理 7.3.3 串联稳压电路输出电压 7.3.4 输出

特性 7.3.5 管子安全问题 7.3.6 一般方框图

本章要点215

习题	218
第八章 电子管及其电路	218
第一节 真空二极管	218
8.1.1 结构 8.1.2 工作原理 8.1.3 特性曲线	
8.1.4 整流电路	
第二节 真空三极管	222
8.2.1 结构 8.2.2 工作原理 8.2.3 特性曲线	
第三节 真空三极管放大电路	225
8.3.1 电路图 8.3.2 静态分析 8.3.3 交流信号分析	
第四节 真空五极管	230
8.4.1 三极管的缺点 8.4.2 帘栅极的作用 8.4.3 五极管特性	
8.4.4 五极管放大电路 8.4.5 束射四极管	236
第五节 有关电子管电路的几个问题	237
8.5.1 电子管的命名 8.5.2 电子管的外形和管脚	
8.5.3 灯丝电路 8.5.4 电子管的衰老、损坏 8.5.5 辉光稳压管	
8.5.6 测试电子管电路电压的注意事项	
8.5.7 电子管和晶体管对比	
本章要点	246
习题	248
附 习题答案	251

第一章 晶体二极管

晶体二极管是电子设备中的基本元件之一，根据二极管的不同结构，有的用于检波、调幅、限幅，有的用于整流、稳压，用途非常广泛。

晶体二极管分为锗二极管和硅二极管两种，它们内部都有一个PN结，它的主要特性是单向导电。

本章将介绍二极管的结构、原理、特性以及检验方法。

第一节 半导体基本知识

1.1.1 半导体导电特点

晶体管是由半导体材料做成的，为了了解晶体管的工作原理和特性，首先要讨论半导体的导电特性。所谓半导体就是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种材料。

大家都知道金属有良好的导电性，金属之所以能导电是因为金属中有很多自由电子，在电场的作用下可以定向运动形成电流，所以金属是导体。在电子技术中把这种可以定向运动形成电流的带电微粒叫载流子，自由电子是一种带负电的载流子。云母、塑料等是绝缘体，在这些材料中，虽然也含有大量的电子，但都被原子核紧紧地吸引着，束缚在原子核周围不能自由运动，因而即使加了很强的电场，这些电子也不能定向运动，形不成电流，也就不导电了。

纯净的半导体材料在绝对零度时和绝缘体一样，电子也都

被原子核束缚着,也不导电。不过这种束缚是比较松的,随着温度升高,会有个别电子争脱束缚变成自由电子,半导体也有一些导电性了。更有趣的是,电子争脱束缚离去以后,在原来的位置会留下一个空位,这个空位可以被别的原子中的电子所填补,同时再产生另一个空位,好象原来的空位移动了一个位置。如果半导体加上电场,则这填补运动将是定向的,就好象空位由正向负运动。所以把空位也看成载流子,称为空穴。由于它在电场作用下和电子运动方向相反,所以空穴是一种带正电的载流子。这也就是说在半导体中存在着两种载流子:带正电的空穴和带负电的自由电子(经常简称电子),在电场作用下的运动方向如图1·1所示,请注意电流方向与空穴运动方向相同,而与电子运动方向相反。

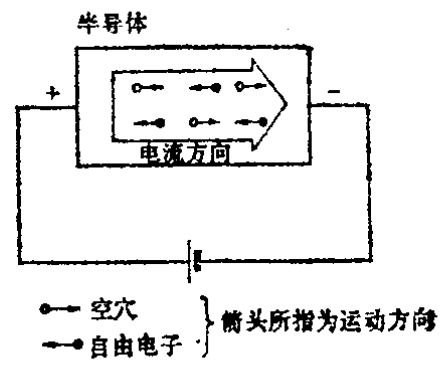


图 1·1 半导体中载流子运动方向

虽然半导体中有两种载流子,但其数量是很少的,在室温下比金属中的载流子少很多,因此虽能导电,但其导电能力仍然是很低很低的。由于半导体中载流子是由热产生的,所以温度升高,载流子数目增长,导电能力增强。

1·1·2 P型半导体和N型半导体

纯净的半导体导电能力十分微弱,适当掺入微量杂质则会大大提高导电能力,掺入杂质不同可以得到性质不同的P型半导体和N型半导体。

若在半导体硅或锗中掺入磷、锑等元素,它们能产生很多的自由电子,这种半导体称为N型半导体。其中也有两种载流子,不过电子的数量比空穴的数量多得多,故称其中的电子为

多数载流子（简称多子），空穴为少数载流子（简称少子）。

若在半导体硅或锗中掺入硼、铝等元素，则可得到P型半导体，其中也有两种载流子，不过空穴比电子多得多，故称其中电子为少子，而空穴为多子。

在P型和N型两种半导体当中，多子都是由杂质产生的，在制造半导体器件时控制杂质的多少就可以改变多子的数量，杂质多一点多子数量就多。而少子则是半导体本身受热产生的，因此少子的数量则由温度决定，而且和材料有关。常用的半导体材料有硅和锗两种，硅原子核对电子的束缚比锗紧，所以硅器件比锗器件的少子要少得多。

第二节 PN 结

1.2.1 什么是PN结

一块硅片或锗片，通过一定的工艺方法，把一边做成P型半导体，另一边做成N型半导体，在二者交界处就会形成一个具有特殊功能的薄层，这一薄层就是PN结，如图1.2(a)所示。

PN结是晶体二极管、三极管等半导体器件中的最基本结构，它的性能如何直接影响着管子的性能。

1.2.2 正偏下的PN结

若把P区接到适当电源的正

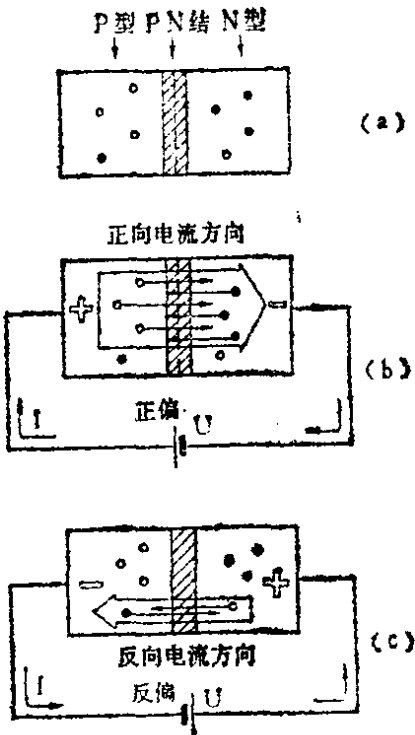


图 1.2 PN结单向导电原理

极、N区接到负极构成通路，如图1·2(b)所示。此种连接称为正向连接，在电子技术中通常叫做正向偏置或简称正偏。电压 U 加到PN结上，N区较P区为负、P区较N区为正，它将吸引P区的多子空穴，使之穿过PN结流向N区；也吸引N区的多子电子，使之穿过PN结流向P区；同时还要排斥P区少子电子和N区少子空穴，使之不能穿过PN结。两区多子向对区运动就形成正向电流 I ，电流方向已标于图1·2(b)中。由于是多子形成的电流，因而只要加很小的正向电压就能形成很大的正向电流。此时电压小电流大，PN结表现出来的电阻（正向电阻）是很小的。

1·2·3 反偏下的PN结

若把P、N两区分别接电源的负极和正极，也能构成通路，此种连接称为反向连接，亦称反向偏置或简称反偏。电压 U 加到PN结上，N区较P区为正，它将吸引两区少子向对区运动，却排斥两区多子使之不能穿过PN结。少子的运动虽然也能形成反向电流（方向亦标于图1·2(c)中），不过两区少子数量非常少，所能形成的电流极微，即使加了很大的反向电压，也不会形成稍大的电流。此时PN结表现出来的电阻（反向电阻）就是很大很大的。

综上所述，PN结的导电性正反向很不一样，正向很容易导电，表现出来的电阻很小就象导体那样；反向导电很困难，表现出来的电阻很大，与绝缘体相似，这个特性称为单向导电特性。

第三节 二极管的特性和参数

1·3·1 结构和符号

把PN结的P区和N区各接一条引线，再封装在管壳里，就

成为一只二极管了，和P区相连的引线称为正极，和N区相连的引线叫负极。示意图见图1·3(a)。

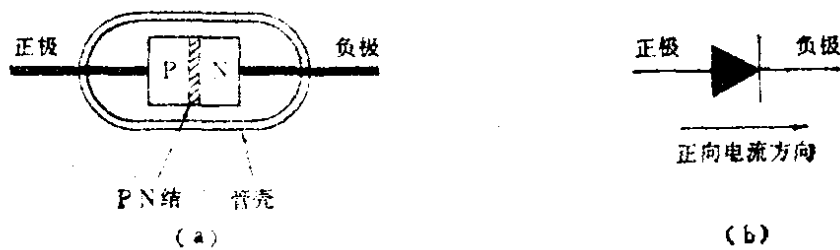


图 1·3 二极管的结构示意和符号

在电路图中并不需要画出每个器件的结构，而用符号来表示，二极管的符号如图1·3(b)所示。箭头的一边代表正极，另一边代表负极，而箭头所指方向则是二极管正向电流的方向。

小电流的二极管常用玻璃壳或塑料壳封装，大电流的二极管不但尺寸较大，而且往往需要外加散热片来帮助冷却，为了能和散热片很好地配合，其中一个电极引线作成螺栓状。图1·4中画出了几种常用管的外形。很多二极管的管壳上常印有二极管符号，藉以标志器件的电极名称，器件的正负极和符号的正负极一致。

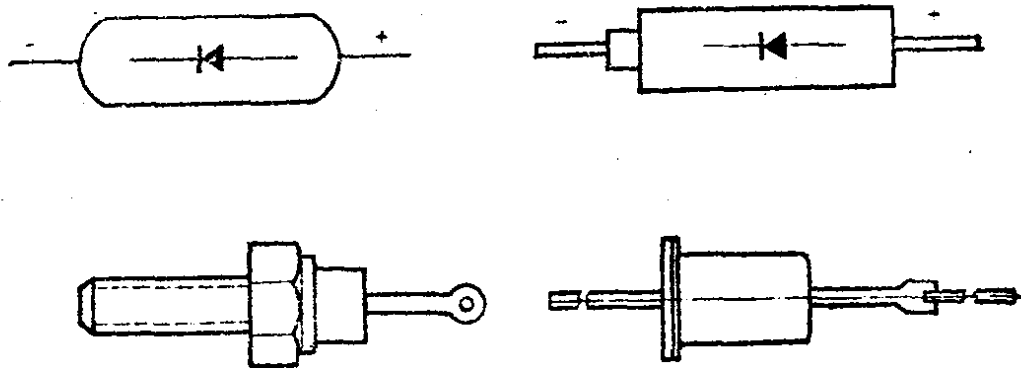


图 1·4 几种二极管的外形图

1·3·2 特 性

二极管中包含着一个PN结，因此二极管的特性就是PN结

的特性，主要特点是单向导电，只要很小的正向电压就会有很大的正向电流，而加上较大的反向电压却只有很小的反向电流。

为了确切地描述电子器件的特性，通常利用伏安特性曲线，它表示着流经器件的电流和加在器件上的电压之间的关系。图1.5就是一只硅二极管的典型特性曲线，横坐标表示加在二极管上的电压，正偏时取正值，反之为负值，纵坐标表示二极管的电流，从正极流向负极时取正值，反之取负值。

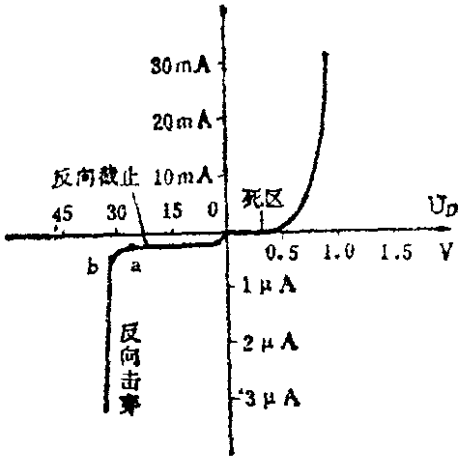


图 1.5 硅二极管伏安特性曲线

特性曲线的特点：

- (1) $U_D = 0$ 时 $I_D = 0$ ，不加电压就没有电流。
- (2) 正向电压很小时，譬如小于0.5V时，正向电流非常小，这一段称为死区。在死区可以看成管子并未真正导通。
- (3) 正向电压超过死区，正向电流加大，曲线变陡。正向电压微小的增长都会导致正向电流很大的变化。也就是说电流在相当宽的范围内变化，二极管的正向电压都大体上是0.7V，即硅二极管的导通电压为0.7V。
- (4) 反偏时曲线很明显的分成了两段，表示有两种不同的工作状态。a点右面部分是反向截止状态，此时仅有很小的反向电流，而且电压变化电流几乎不变。在电子技术中一个量不再随另一个量变化称为饱和，所以此时反向电流亦称反向饱和电流。
- (5) b点以下部分，反向电流将急剧增长，而电压变化甚微，出现此种现象称为反向击穿。必须说明发生了反向击穿