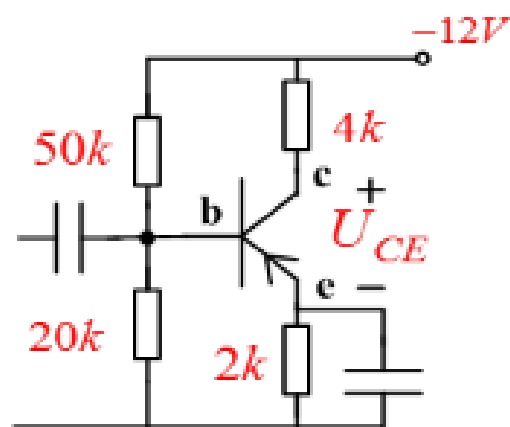
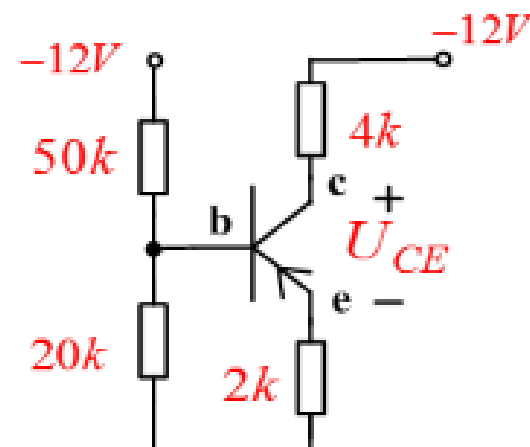


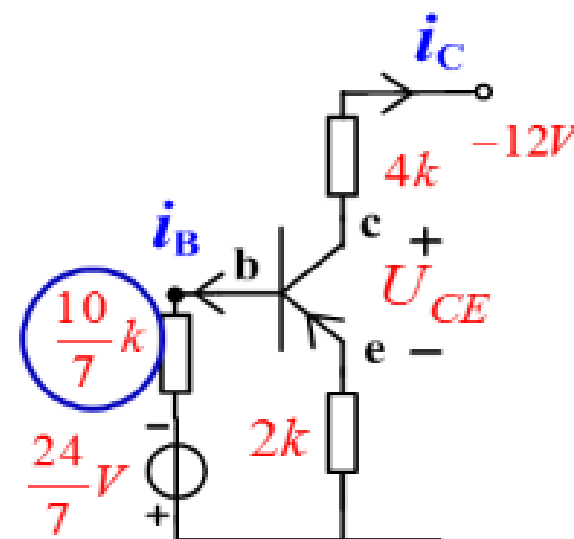
某放大器的直流偏置电路如(b), 且 $|U_{BE}| = 0.7V$, $\beta = 50$, $|U_{CE0}| = 0.3V$
 计算直流工作点, I_B , I_C , 和 U_{CE}



(a) 放大电路



(b) 直流偏置电路



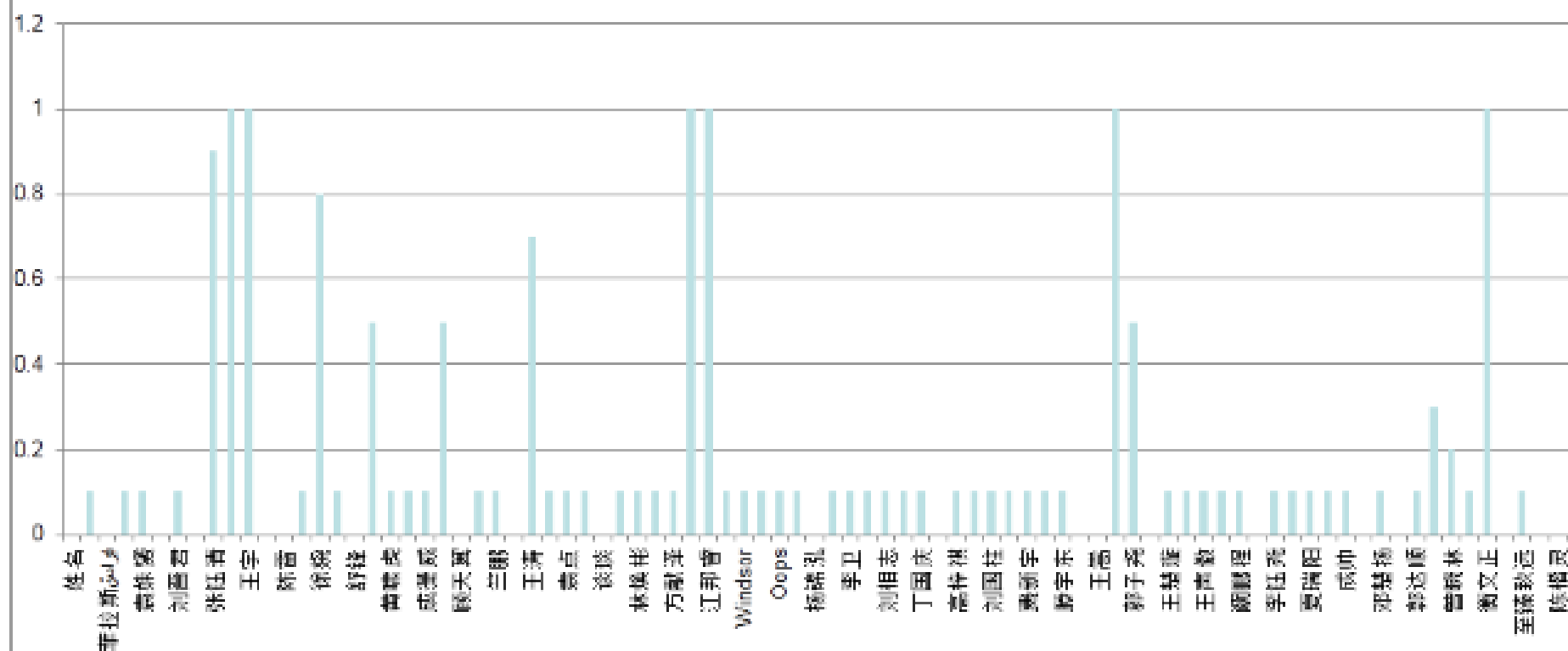
(c) 直流偏置电路的戴维南等效

$$\frac{100}{7}kI_B + 0.7 + 2k\beta I_B = \frac{24}{7} \quad \rightarrow \quad I_B = 26.9\mu A \quad 0.0234mA$$

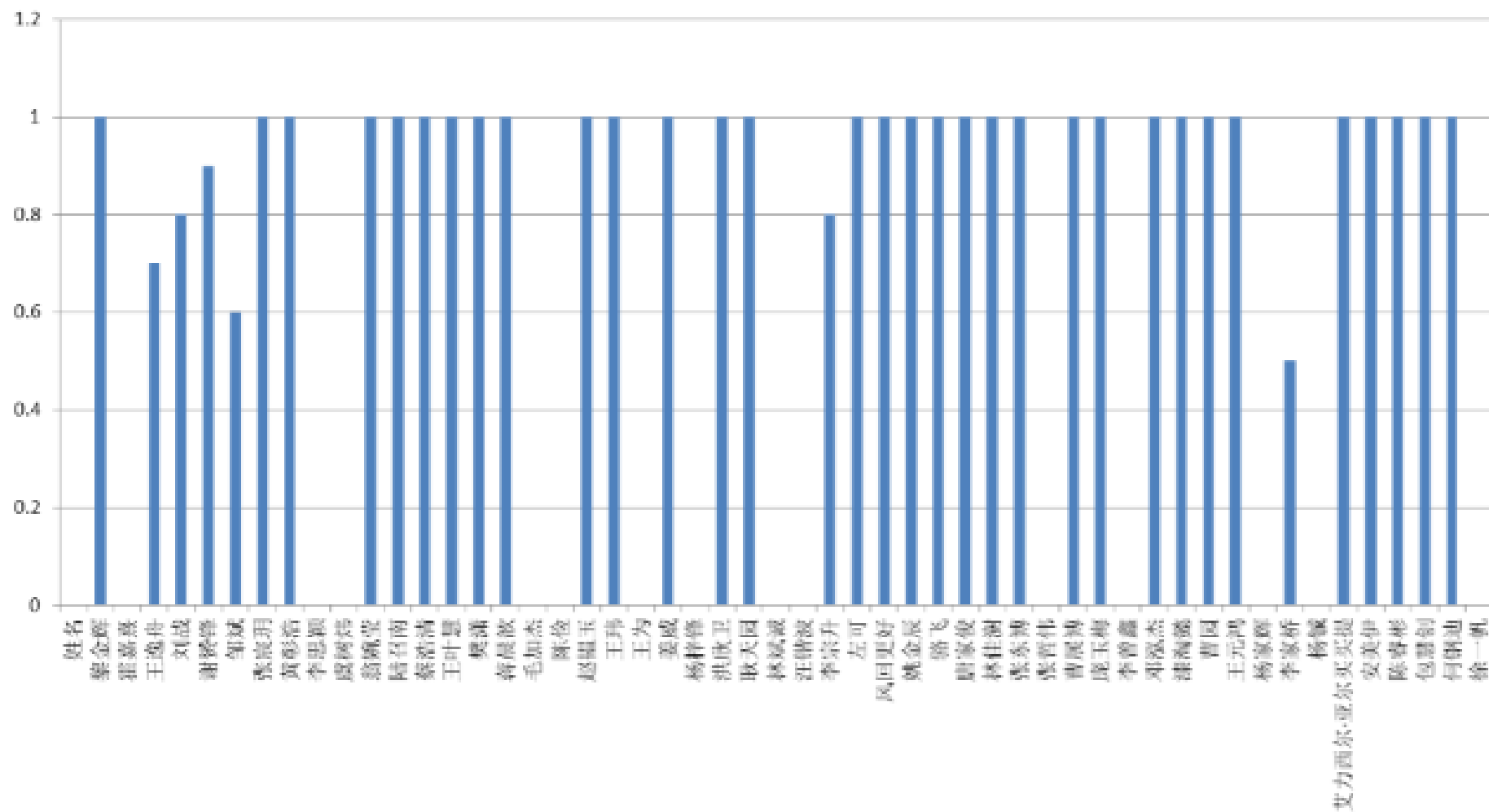
$$I_C = \beta I_B = 1.345mA \quad \rightarrow \quad u_{CE} = I_C(2k + 4k) - 12 = -3.93V$$

1.17mA -4.96V

47人完成预习，20人未答题； $85-47-20=18$ 人仅看了一眼？



42人完成预习，6人未答题（毛加杰，王为，杨梓锋，汪锴波，李曾鑫，杨铖）
 $52-42-6=4$ 人看了一眼后放弃



投票

下次

- A
- ★ B
- C
- ★ D
- E
- F
- ★ G
- ★ H

中国移动4G 20:23

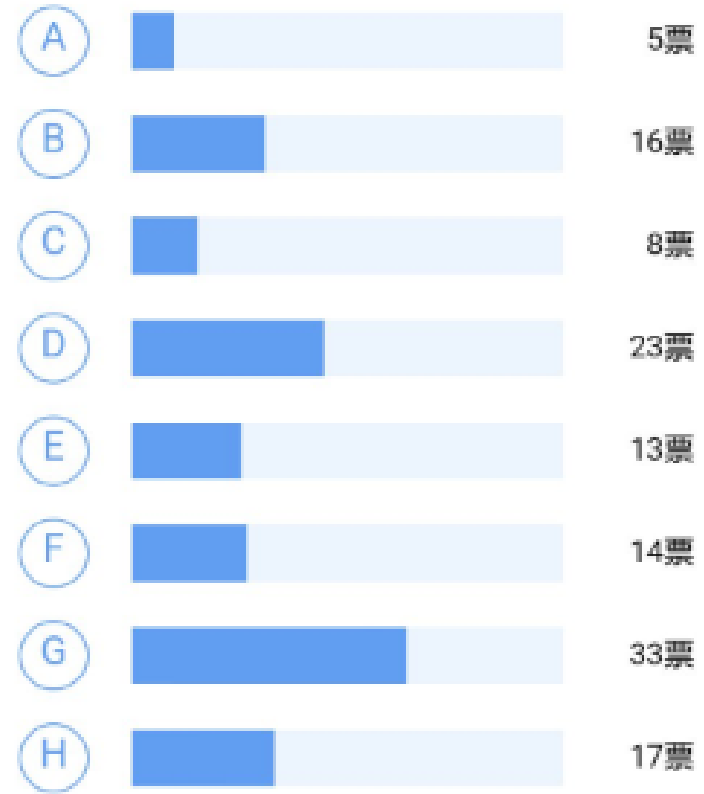
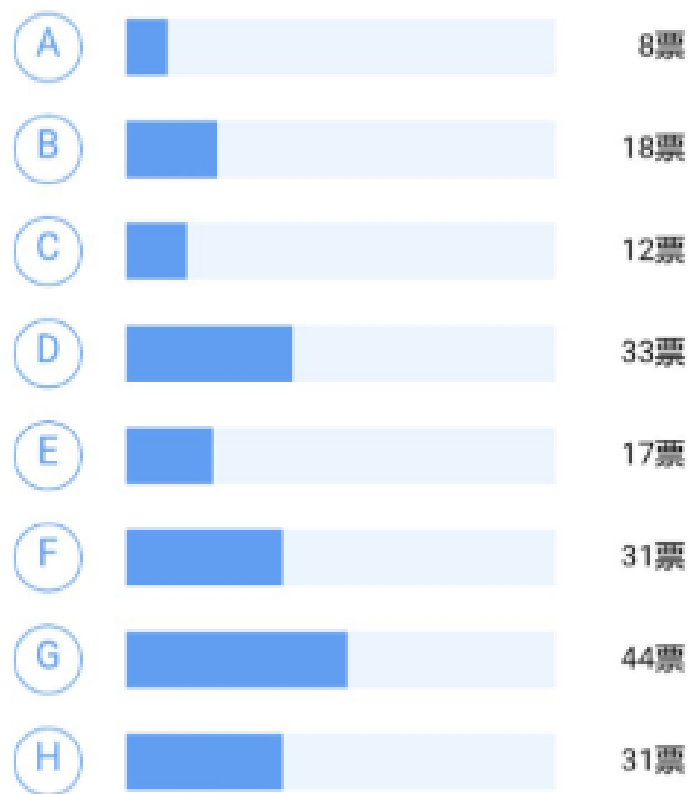
× 答题情况

- D 怎样判断管子工作在截止区、放大区、饱和区
- E 内部电流形成机理：温度对外特性的影响
- F 晶体管的参数解读
- G 已知晶体管的偏置电路（直流电路），如何判断管子的工作状态？计算静态工作点。
- H 你会PNP管子的静态电路分析？

中国移动4G 08:46

× 答题情况

- D 怎样判断管子工作在截止区、放大区、饱和区
- E 内部电流形成机理：温度对外特性的影响
- F 晶体管的参数解读
- G 已知晶体管的偏置电路（直流电路），如何判断管子的工作状态？计算静态工作点。
- H 你会PNP管子的静态电路分析？



第3章 电子器件及其电路模型

(semiconductor elements) (circuit analysis)

3.0* 半导体基础知识

3.1 半导体二极管

3.2 晶体三极管

3.3 场效应管

3.4 集成运算放大器

3.5 数字逻辑电路基础

§3.0* 半导体基础知识

- 一、本征半导体
- 二、杂质半导体
- 三、PN结的形成及其单向导电性
- 四、PN结的电容效应

一、本征半导体

1、什么是半导体？什么是本征半导体？

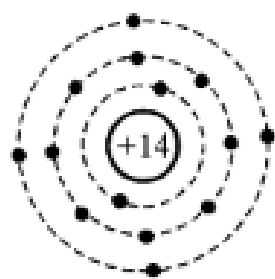
导电性介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体。

导体——铁、铝、铜等金属元素等低价元素，其最外层电子在外电场作用下很容易产生定向移动，形成电流。

绝缘体——惰性气体、橡胶等，其原子的最外层电子受原子核的束缚力很强，只有在外电场强到一定程度时才可能导电。

半导体——硅（Si）、锗（Ge），均为四价元素，它们原子的最外层电子受原子核的束缚力介于导体与绝缘体之间。

本征半导体是纯净的晶体结构的半导体。

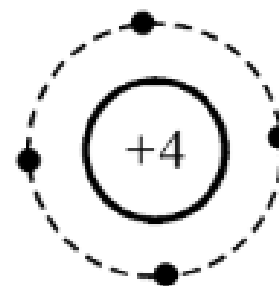


硅原子

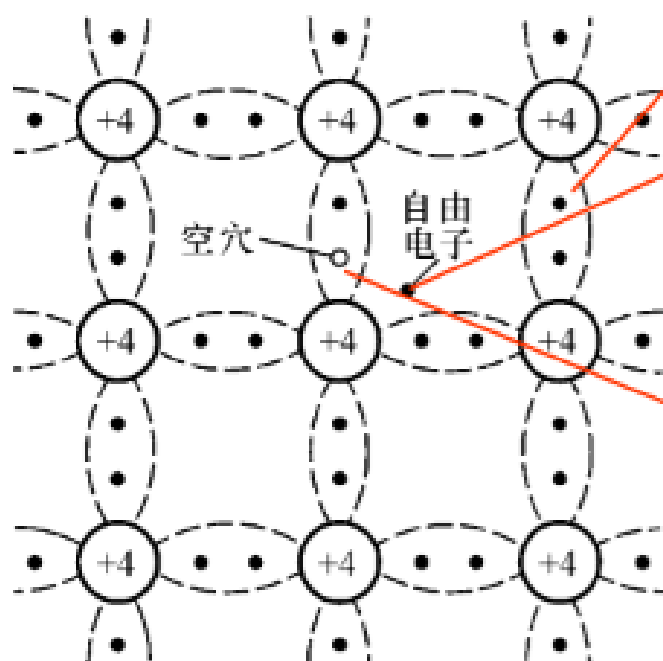
无杂质

稳定的结构

简化原子模型



2. 本征半导体的结构



共价键

由于热运动，具有足够能量的价电子挣脱共价键的束缚而成为自由电子

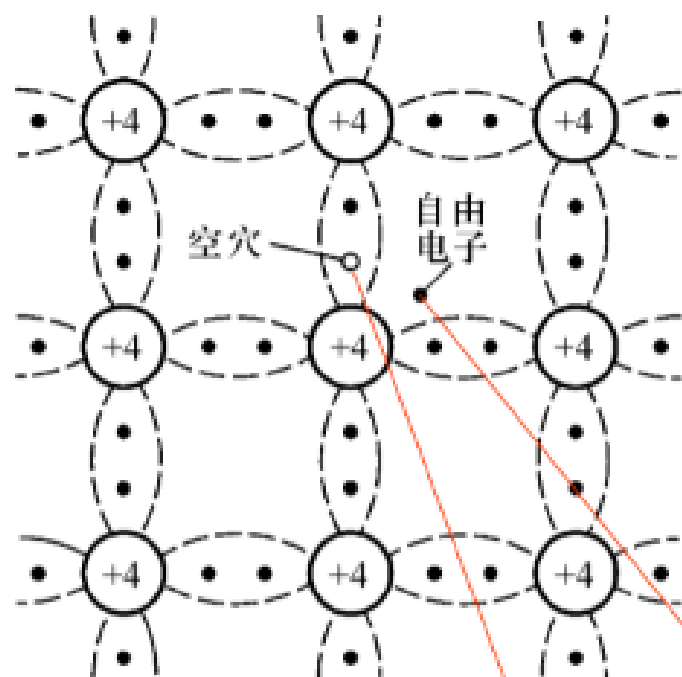
自由电子的产生使共价键中留有一个空位置，称为空穴

自由电子与空穴相碰同时消失，称为复合。

动态平衡

一定温度下，自由电子与空穴对的浓度一定；温度升高，**热运动加剧，挣脱共价键的电子增多**，自由电子与空穴对的浓度加大。

3、本征半导体中的两种载流子



两种载流子

运载电荷的粒子称为载流子。

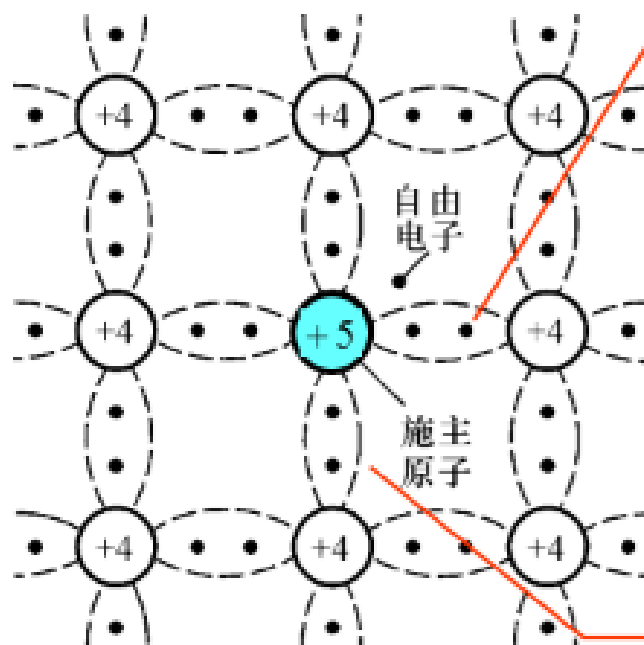
外加电场时，带负电的自由电子和带正电的空穴均参与导电，且运动方向相反。由于载流子数目很少，故导电性很差。

温度升高，热运动加剧，载流子浓度增大，导电性增强。
热力学温度0K时不导电。

为什么要将半导体变成导电性很差的本征半导体？

二、杂质半导体

1. N型半导体



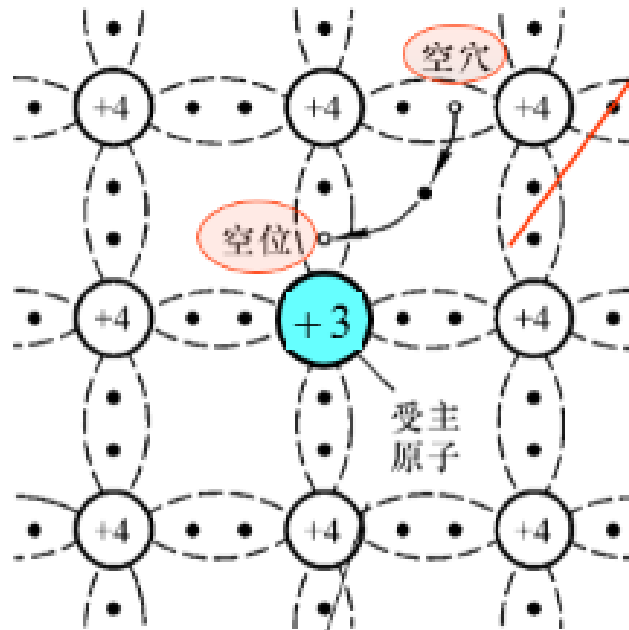
多数载流子

空穴比未加杂质时的数目多了？少了？为什么？

杂质半导体主要靠多数载流子导电。掺入杂质越多，多子浓度越高，导电性越强，实现导电性可控。

磷 (P)

2. P型半导体



硼 (B)

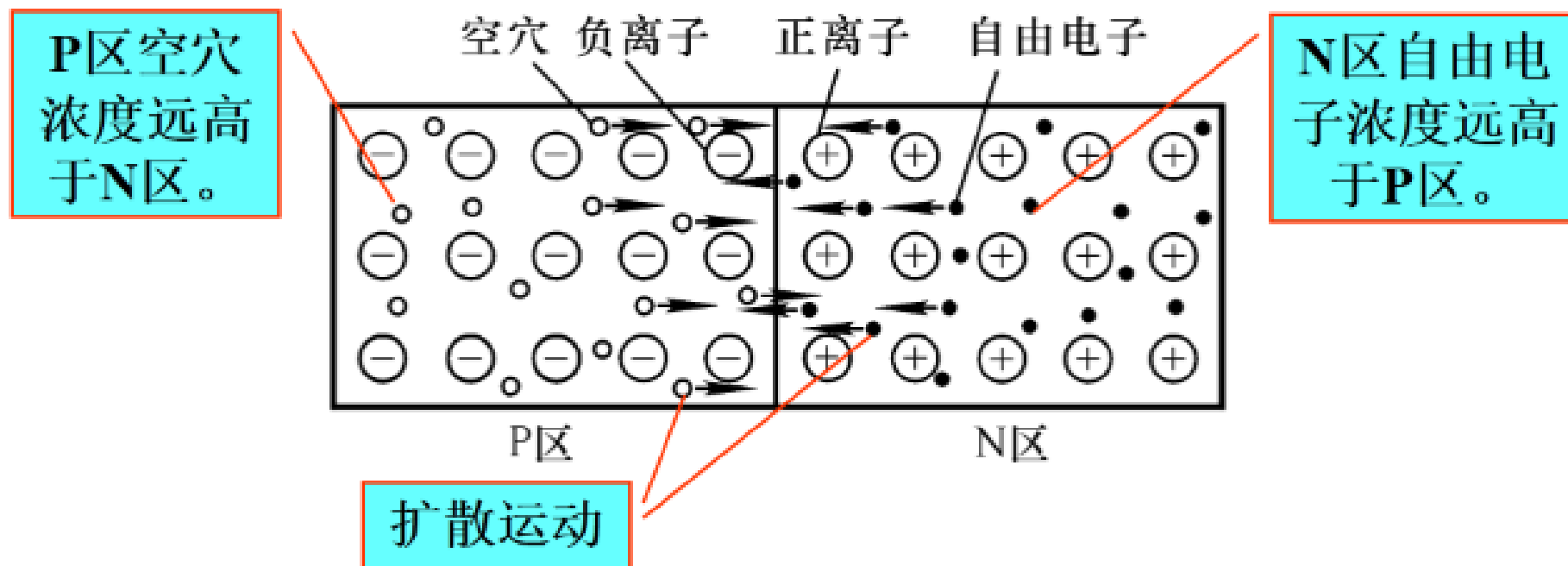
多数载流子

P型半导体主要靠空穴导电，掺入杂质越多，空穴浓度越高，导电性越强，

在杂质半导体中，温度变化时，载流子的数目变化吗？少子与多子变化的数目相同吗？少子与多子浓度的变化相同吗？

三、PN结的形成及其单向导电性

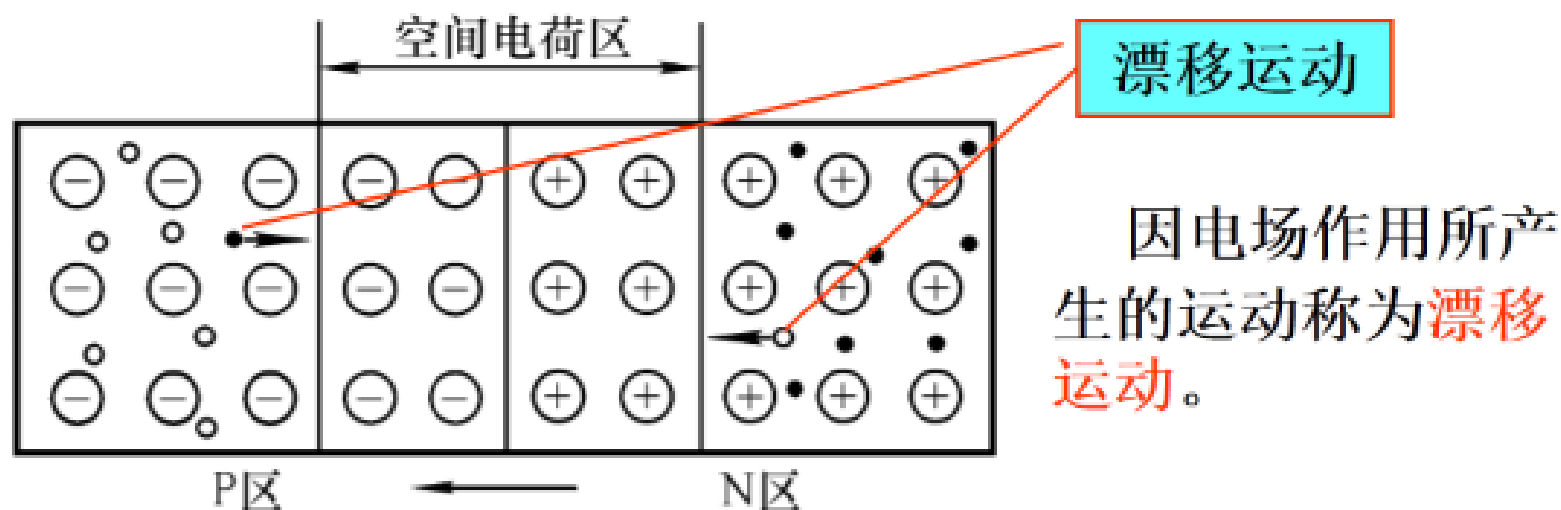
物质因浓度差而产生的运动称为**扩散运动**。气体、液体、固体均有之。



扩散运动使靠近接触面P区的空穴浓度降低、靠近接触面N区的自由电子浓度降低，产生内电场。

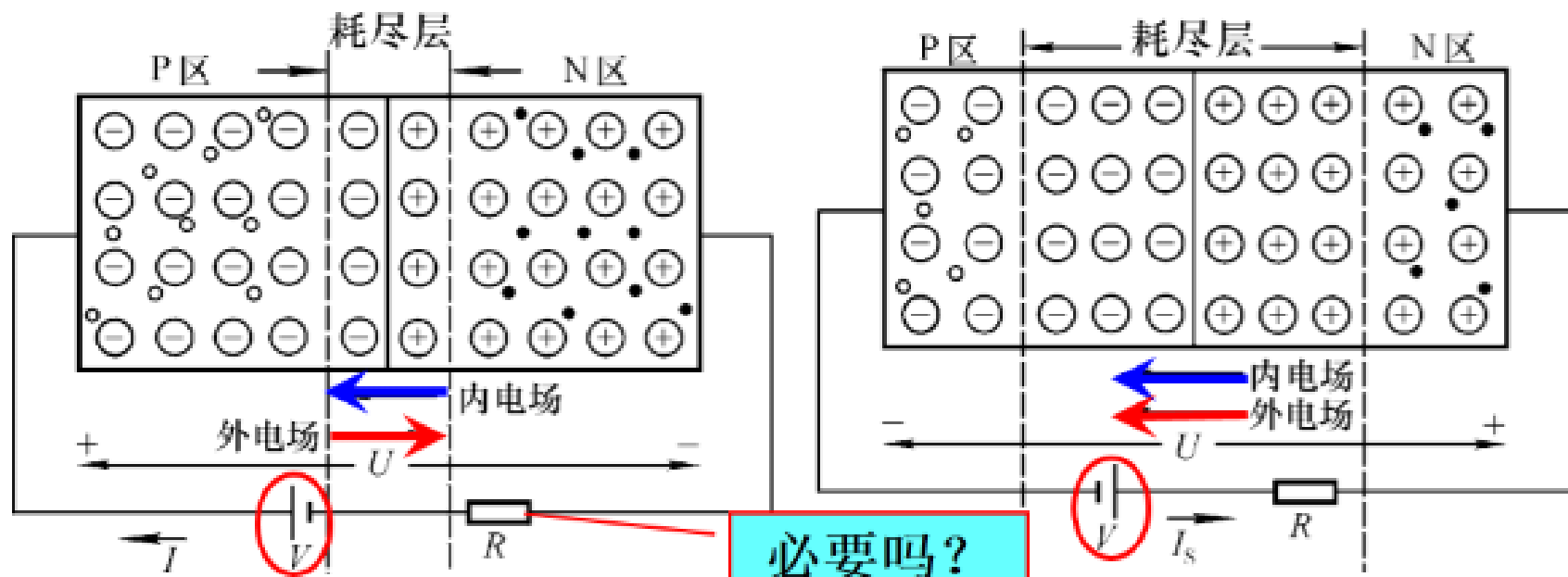
PN 结的形成

由于扩散运动使P区与N区的交界面缺少多数载流子，形成内电场，从而阻止扩散运动的进行。内电场使空穴从N区向P区、自由电子从P区向N区运动。



参与扩散运动和漂移运动的载流子数目相同，达到动态平衡，就形成了PN结。

PN 结的单向导电性



必要吗?

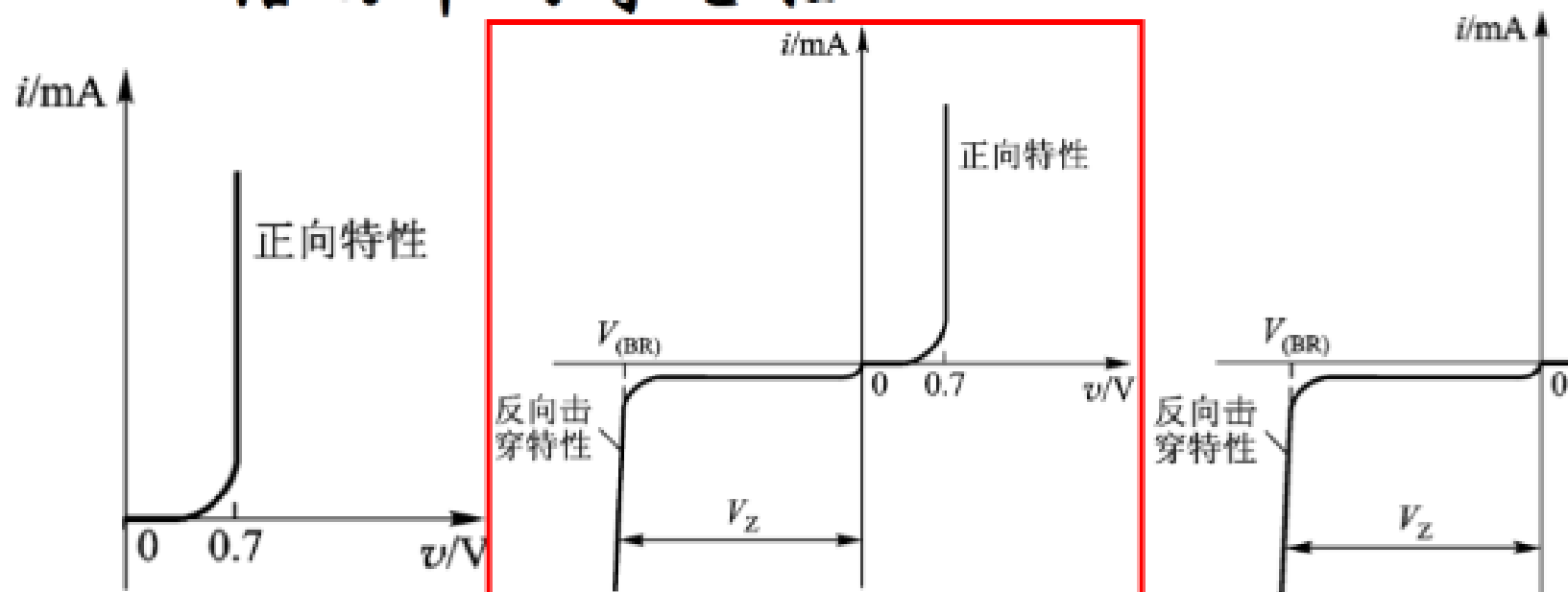
PN结加正向电压导通:

耗尽层变窄, 扩散运动加剧, 由于外电源的作用, 形成**扩散电流**, PN结处于导通状态。

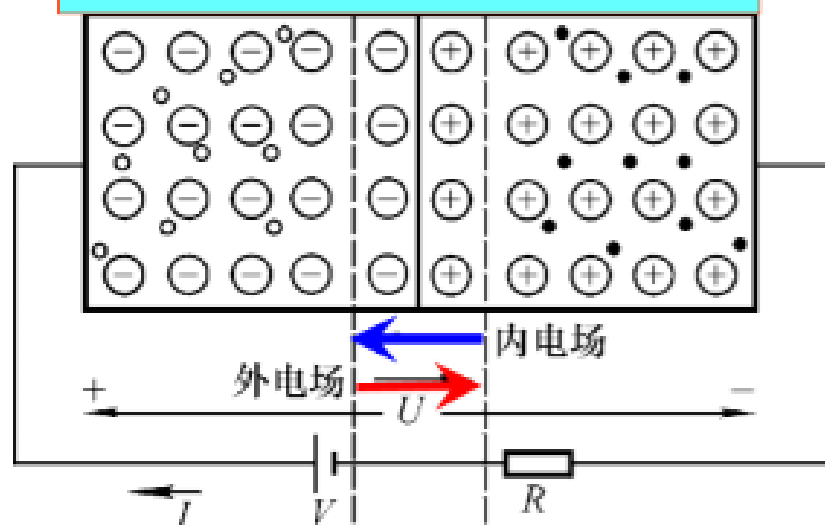
PN结加反向电压截止:

耗尽层变宽, 阻止扩散运动, 有利于漂移运动, 形成**漂移电流**。由于电流很小, 故可近似认为其截止。

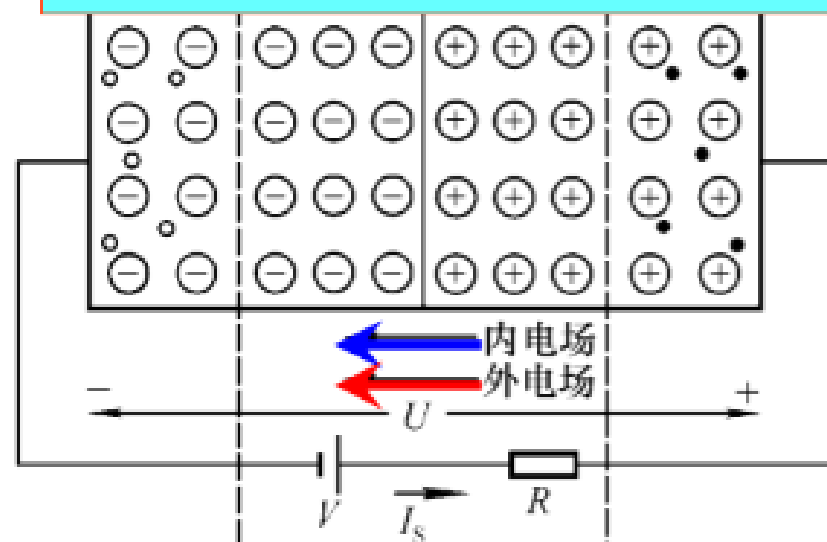
PN 结的单向导电性



PN结加正向电压—导通



PN结加反向电压—截止or击穿



PN 结的伏安特性

$$I = I_S (e^{V/V_T} - 1), \quad V_T = kT / q$$

常温下: $T = 300\text{K}$, $V_T = 26\text{mV}$

➤ 正向特性

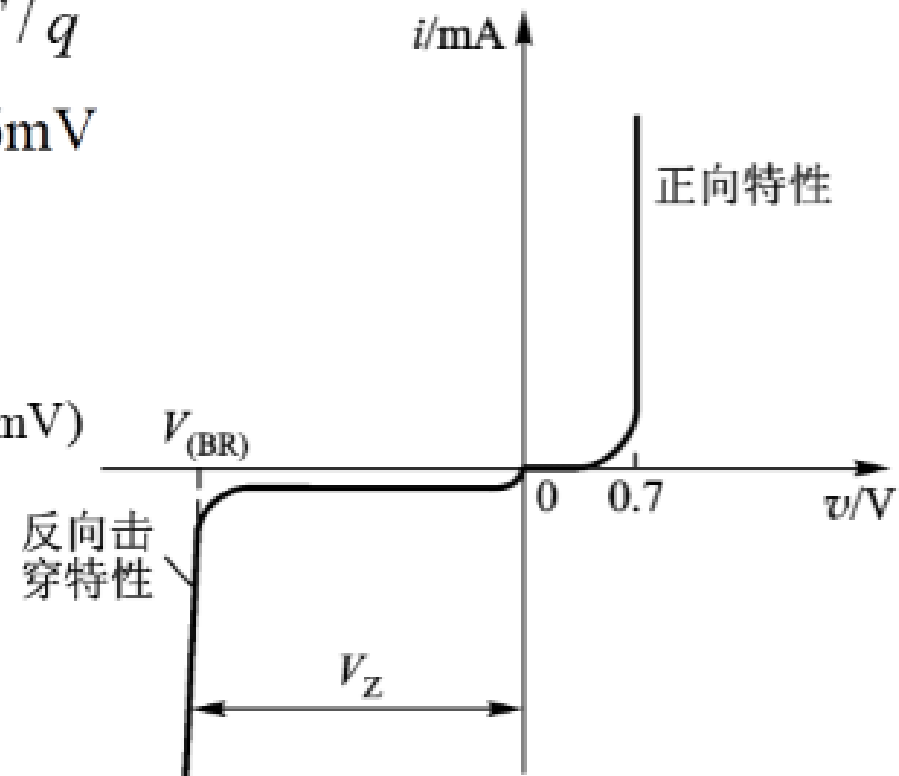
$$I \approx I_S e^{V/V_T}$$

$$V = V_T \ln(I / I_S) \approx 60 \lg(I / I_S) \text{ (mV)}$$

➤ 反向特性

截止: $I \approx I_S$

击穿: $v \approx V_Z$



✓ 当反偏电压超过反向击穿电压 V_{BR} 时, 反向电流将急剧增大, 而反向电压值 V_Z 却增加很少; ---**稳压管工作原理**

✓ 若对反向电流的增加不加限制, PN 结将迅速烧坏;

✓ 雪崩击穿 (Avalanche Breakdown); 齐纳击穿 (Zener Breakdown);

PN 结的伏安特性 ➤ 温度特性

$$I = I_S (e^{V/V_T} - 1), \quad V_T = kT / q$$

常温下: $T = 300\text{K}$, $\uparrow V_T = 26\text{mV} \uparrow$

➤ 正向温度特性 ---> 左移

$$I \approx I_S e^{V/V_T}$$

少子增加, 同样电压下, 电流增加

$$V = V_T \ln(I / I_S) \approx 60 \lg(I / I_S) \text{ (mV)}$$

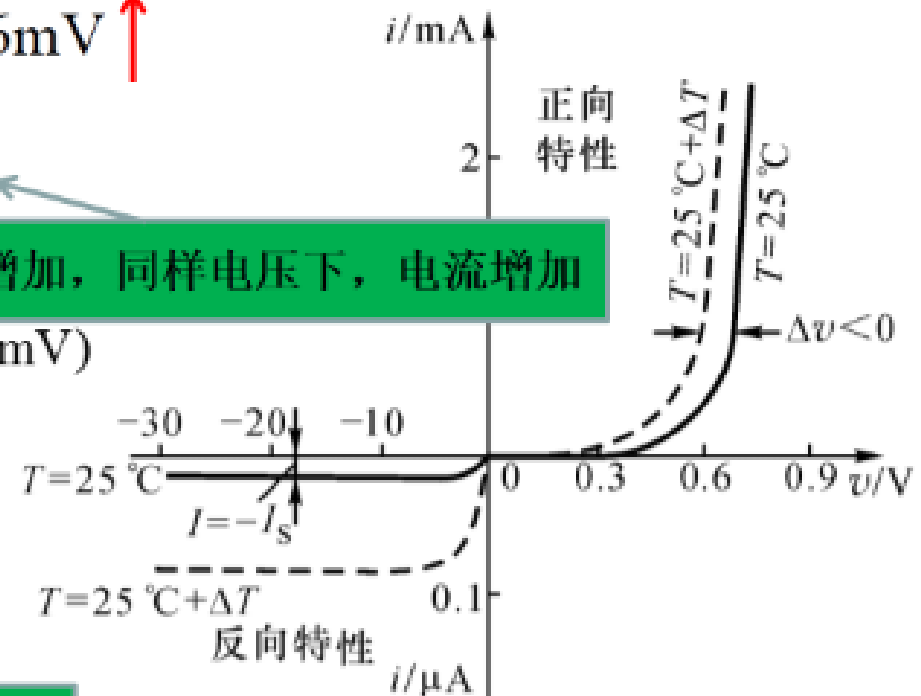
➤ 反向温度特性

截止: $I \approx I_S$ ---> 下移

击穿: $v \approx V_z$

少子增加

情况复杂, 您若对稳压管有兴趣, 请查阅相关资料



四、PN 结的电容效应

1. 势垒电容

PN结外加电压变化时，空间电荷区的宽度将发生变化，有电荷的积累和释放的过程，与电容的充放电相同，其等效电容称为势垒电容 C_b 。

2. 扩散电容

PN结外加的正向电压变化时，在扩散路程中载流子的浓度及其梯度均有变化，也有电荷的积累和释放的过程，其等效电容称为扩散电容 C_d 。

结电容： $C_j = C_b + C_d$

结电容不是常量！若PN结外加电压频率高到一定程度，则失去单向导电性！

