半导体物理

主讲人：蒋玉龙

微电子学楼312室，65643768

Email: yljiang@fudan.edu.cn

http://10.14.3.121

第十一章 异质结 霍耳效应

11.1 异质结

11.2 霍耳效应

11.1 异质结1

11.1.1 异质结的分类

同质结—由同种半导体单晶材料组成的结

异质结—由不同种半导体单晶材料组成的结　　p-nGe-Si

- 异质结
  - 反型异质结　p-nGe-Si，n-pGe-GaAs
  - 同型异质结　n-nGe-Si，p-pGe-GaAs

禁带窄的写在前面

区分两种材料的导电类型

- 异质结
  - 突变异质结
  - 缓变异质结

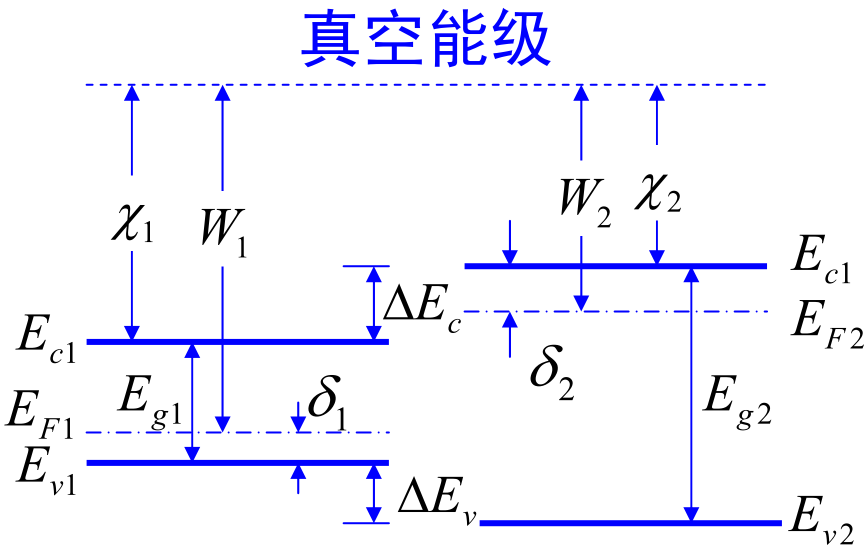
区分两种材料结界面处的过渡层厚度

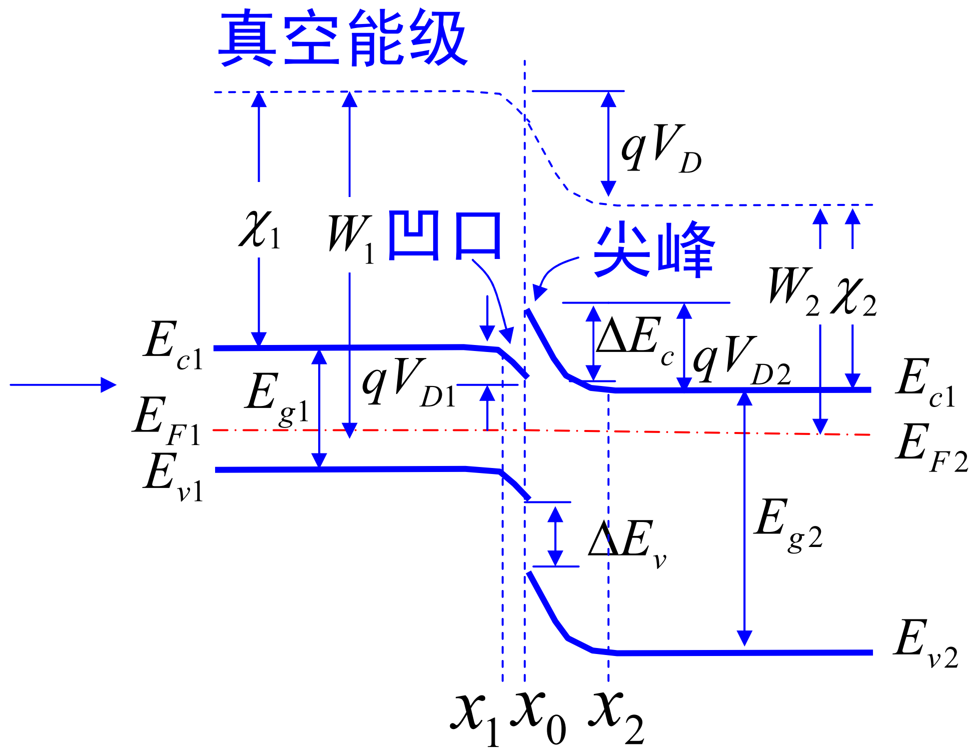
- 突变反型异质结
- 突变同型异质结

11.1 异质结2

11.1.2 异质结的能带图

不考虑界面态情况，突变反型异质结的能带图





一能带弯曲，形成尖峰和凹口

一能带在界面处不连续

一界面处内建电场不连续，要考虑材料介电常数的不同

一结两边都是耗尽层

$$V_D = V_{D1} + V_{D2}$$

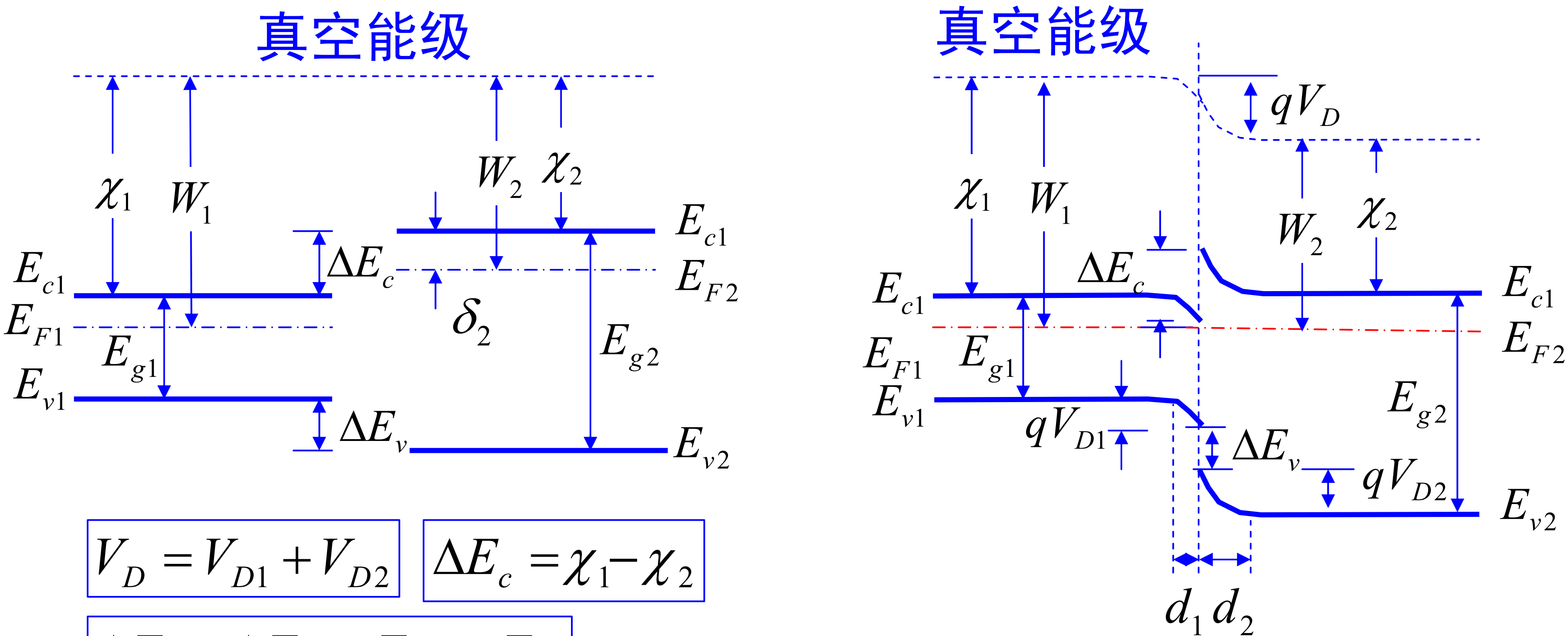
$$\Delta E_c = \chi_1 - \chi_2$$

$$\Delta E_c + \Delta E_v = E_{g2} - E_{g1}$$

11.1 异质结3

11.1.2 异质结的能带图

不考虑界面态情况，突变同型异质结的能带图



$$\boxed{V_D = V_{D1} + V_{D2}} \qquad \boxed{\Delta E_c = \chi_1 - \chi_2}$$

$$\boxed{\Delta E_c + \Delta E_v = E_{g2} - E_{g1}}$$

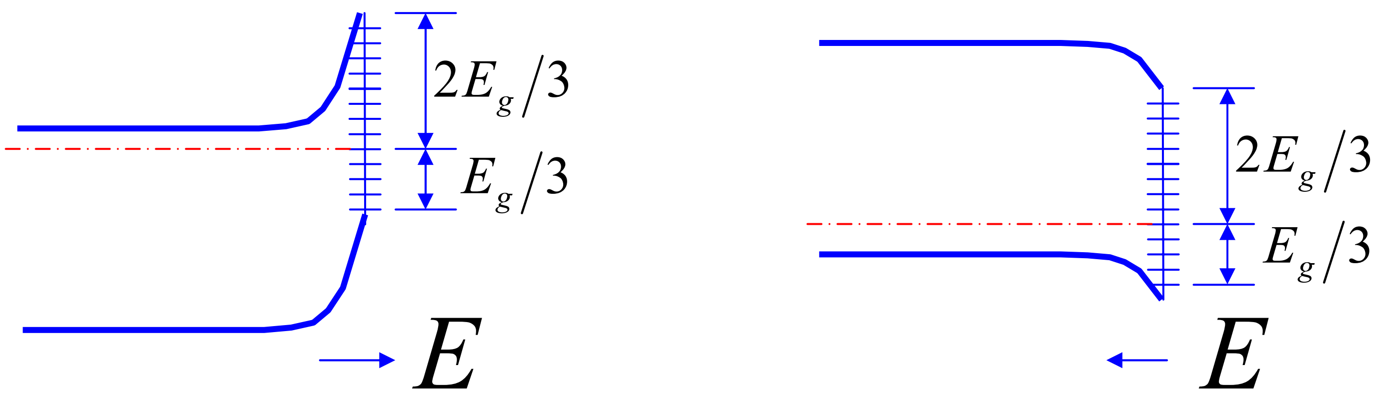
一同型异质结中，一般必有一边成为积累层，而另一边形成耗尽层

11.1 异质结4

11.1.2 异质结的能带图

考虑界面态情况，

巴丁极限—表面费米能级位于禁带宽度的约1/3处



—对于n型半导体，悬挂键起受主作用

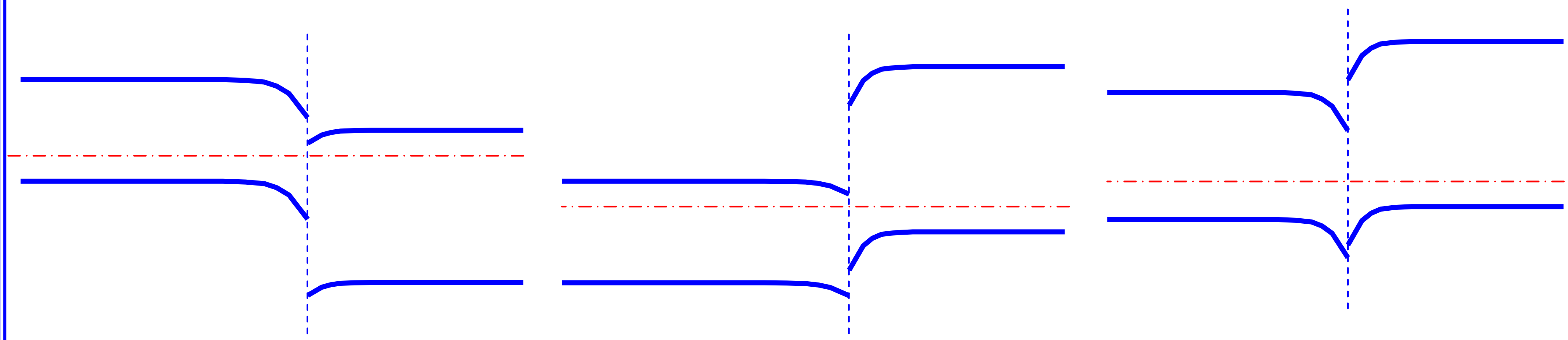
—对于p型半导体，悬挂键起施主作用

—悬挂键使半导体表面区域耗尽

11.1 异质结4

11.1.2 异质结的能带图

考虑界面态情况，施主型悬挂键对应的异质结能带图



—施主型悬挂键向结界面两边同时提供电子，造成p型半导体耗尽，n型半导体积累，结果是两边的能带都下弯

—受主型悬挂键向结界面两边同时提供空穴，造成p型半导体积累，n型半导体耗尽，结果是两边的能带都上弯

第十一章 异质结 霍耳效应

11.1 异质结

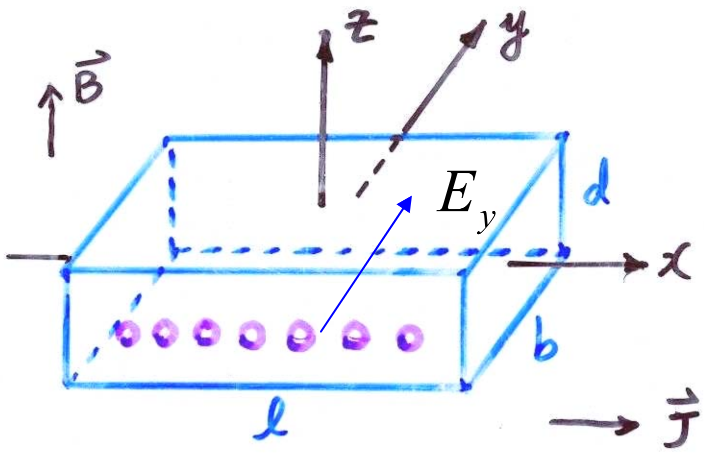
11.2 霍耳效应

11.2 霍耳效应1

11.2.1 一种载流子的霍耳效应

霍耳效应

$$E_y = R_H J_x B_z$$



$$R_H = \frac{E_y}{J_x B_z}$$ 霍耳系数

- 假设只有一种载流子（空穴）
- 温度均匀
- 忽略载流子的速度统计

空穴y方向受到的力

洛伦兹力 $-qv_x B_z$

电场力 qE_y

稳态

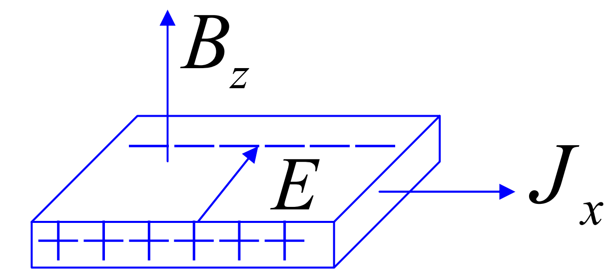
$$\boxed{qE_y - qv_x B_z = 0} \xrightarrow{J_x = pqv_x} \boxed{E_y = v_x B_z = \frac{J_x}{pq} B_z} \xrightarrow{R_H = \frac{E_y}{J_x B_z}} \boxed{R_H = \frac{1}{pq} > 0}$$

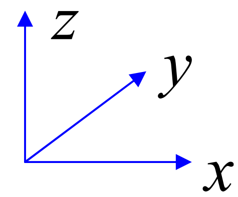
$$\boxed{R_H = -\frac{1}{nq} < 0}$$

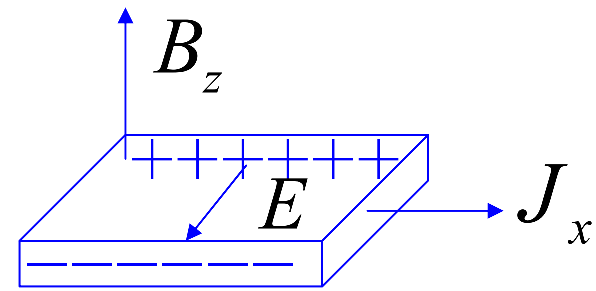
11.2 霍耳效应2

11.2.1 一种载流子的霍耳效应

霍耳角



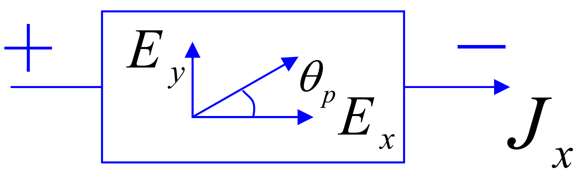


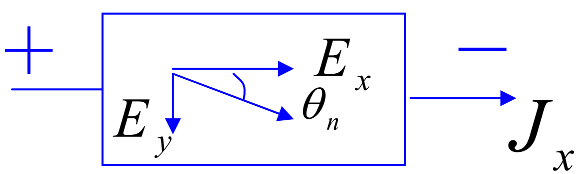


p型

n型

$$E_y = v_x B_z$$
$$v_x = \mu E_x$$





$$\tan\theta_p = \frac{E_y}{E_x} > 0$$

$$\tan\theta_p = \mu_p B_z$$

$$\tan\theta_n = -\frac{E_y}{E_x} < 0$$

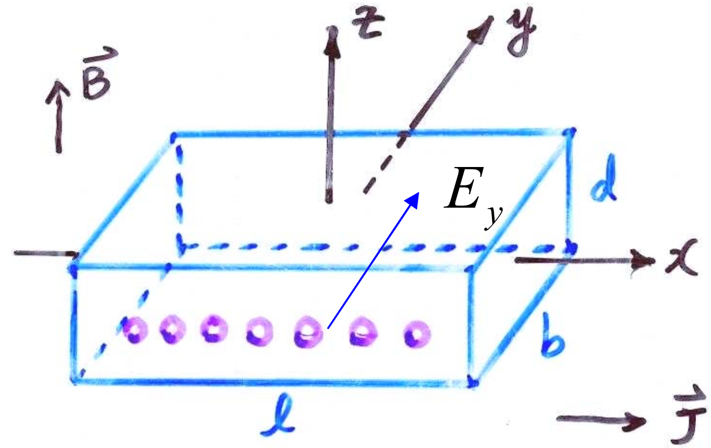
$$\left|\tan\theta_n\right| = \mu_n B_z$$

11.2 霍耳效应2

11.2.2 考虑速度统计分布后一种载流子的霍耳效应

$$\boxed{R_H = \frac{1}{pq} > 0} \longrightarrow \boxed{R_H = \left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)_p \frac{1}{pq} > 0}$$

$$\boxed{R_H = -\frac{1}{nq} < 0} \longrightarrow \boxed{R_H = -\left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)_n \frac{1}{nq} < 0}$$



μ_H —霍耳迁移率

—对于简单能带结构的半导体 $\left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)_n = \left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)_p = \frac{\mu_H}{\mu} = A$

—A的值随散射过程而异,通常情形下A≠ 1，但 ~1

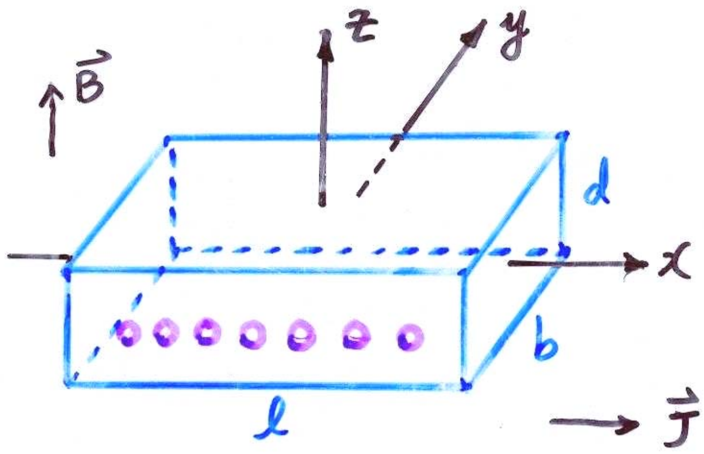
若散射由晶格振动散射决定，则 $A = 3\pi/8 \approx 1.18$

电离杂质散射 $A = 315\pi/512 \approx 1.93$

简并半导体 $A = 1$

11.2 霍耳效应3

11.2.3 两种载流子的霍耳效应



$$(J_p)_y = pq\mu_p E_y - pq\mu_p^2 E_x B_z$$

$$(J_n)_y = nq\mu_n E_y + nq\mu_n^2 E_x B_z$$

稳态 $J_y = (J_p)_y + (J_n)_y = 0$

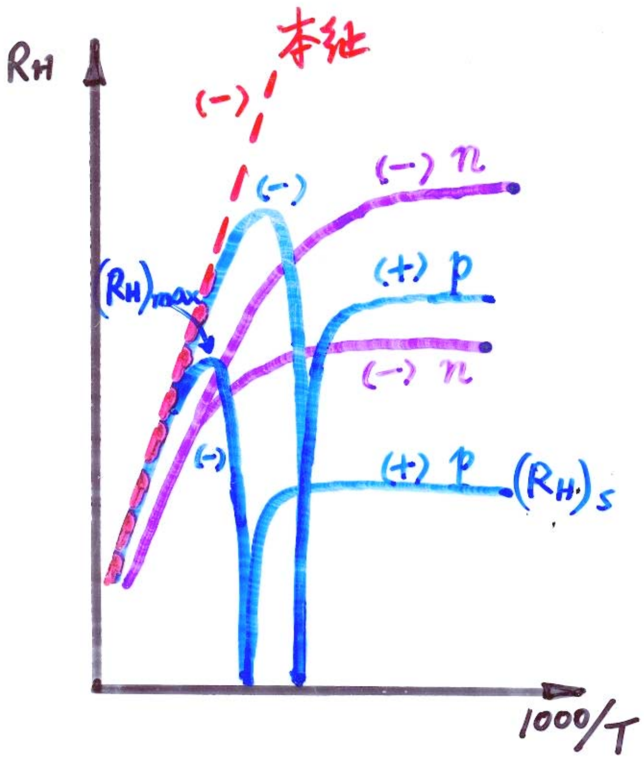
$b = \mu_n / \mu_p$

$$\boxed{R_H = \frac{1}{q}\frac{(p - nb^2)}{(p+nb)^2}} \xrightarrow{\text{考虑速度统计}} \boxed{R_H = \frac{1}{q}\left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)\frac{(p - nb^2)}{(p+nb)^2}}$$

11.2 霍耳效应4

11.2.3 两种载流子的霍耳效应

$$\boxed{R_H = \frac{A}{q}\frac{(p - nb^2)}{(p + nb)^2}} \longleftarrow \left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)_n = \left(\frac{\mu_H}{\mu}\right)_p = \frac{\mu_H}{\mu} = A$$



通常 $b = \mu_n / \mu_p > 1$

1° n 型，n>>p, $R_H < 0$

2° 本征，$p = n = n_i$ $\quad R_H = \frac{A}{q}\frac{1 - b^2}{(1 + b)^2}\frac{1}{n_i} < 0$

3° p 型，R_H 有正有负

零点 $\quad p - nb^2 = 0$