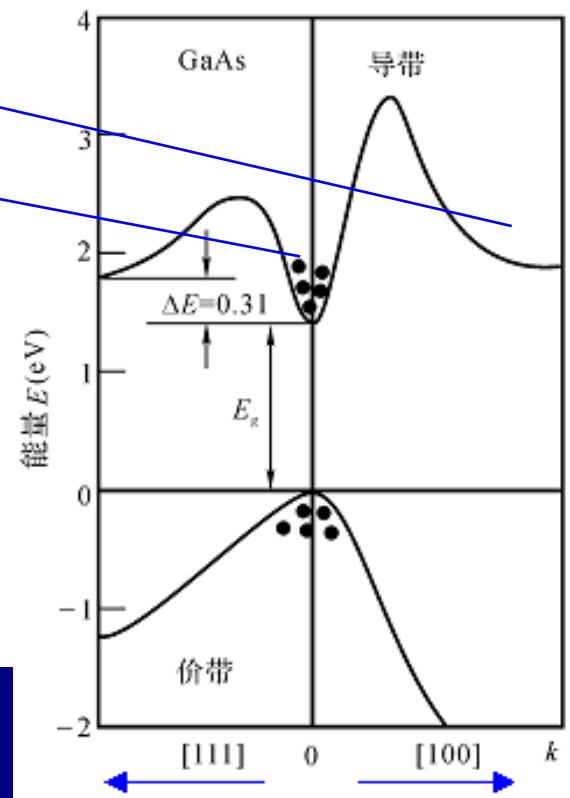
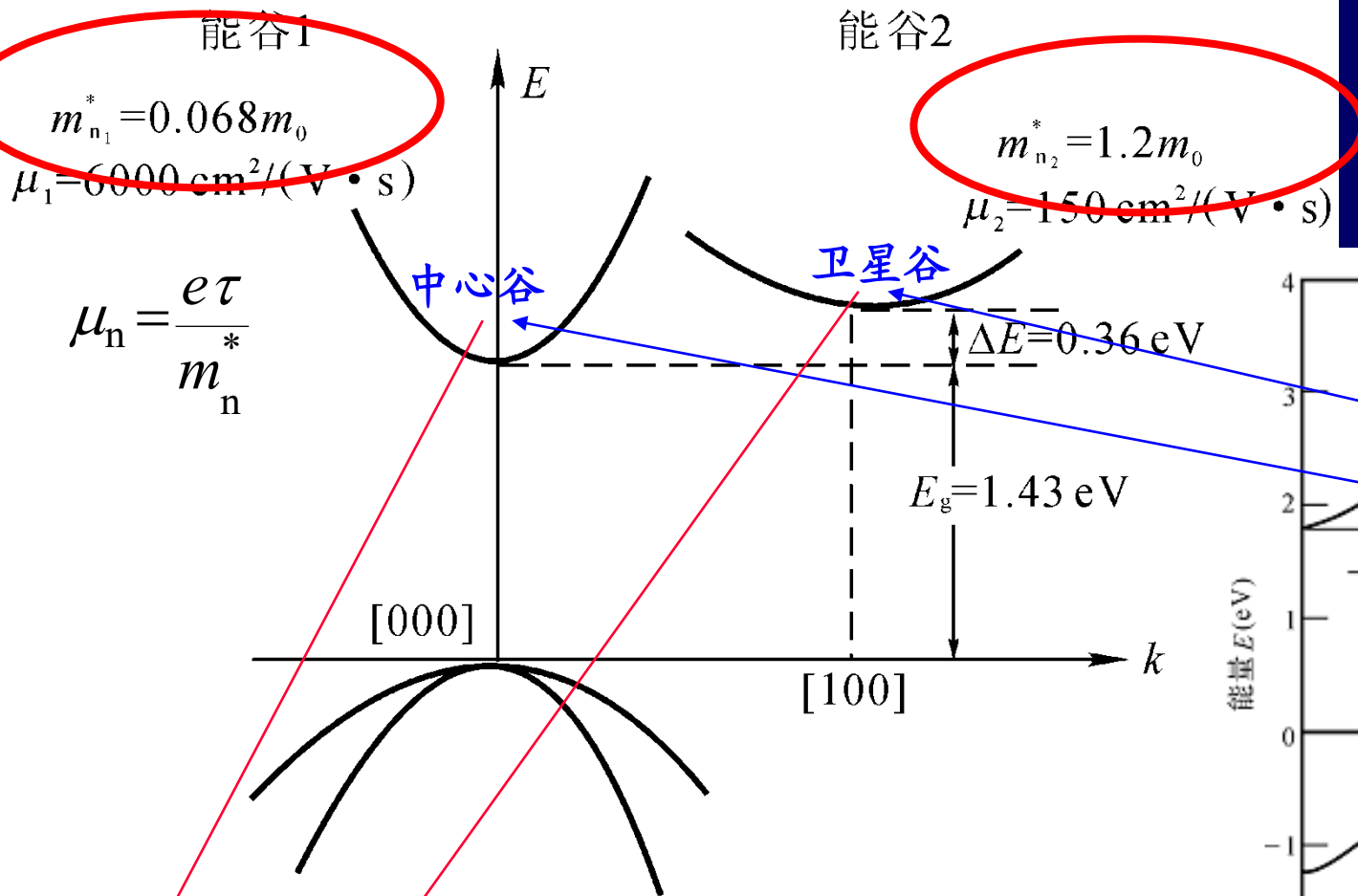


负阻效应的原因



$$J = J_1 + J_2$$

$$= n_1 e \mu_1 E + n_2 e \mu_2 E$$

$$= (\sigma_1 + \sigma_2) E$$

GaAs导带具有双能谷:

中心谷 (低能谷1)、卫星谷 (低能谷2)

• 低电场（C区）

中心谷与卫星谷的能谷差： $0.36 \text{ eV} \gg k_B T$ （室温） 0.026 eV

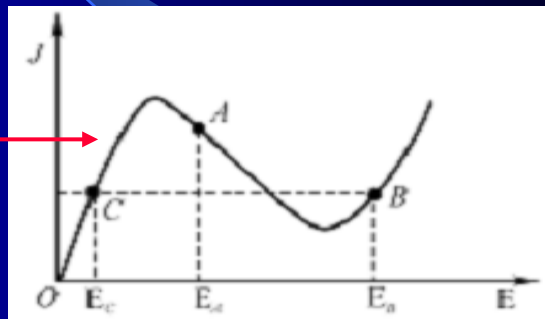


激发到卫星谷的电子可以忽略： $n_2 \sim 0$, $n_1 \sim n_0$

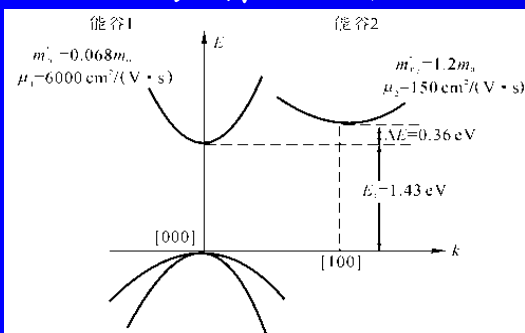


满足欧姆定律

$$J = n_1 e \mu_1 E = n_0 e \mu_1 E = \sigma_C E$$



• 电场增加（后C区）



电场 \nearrow \rightarrow 电子能量 \nearrow \rightarrow 电子跃迁到卫星谷



$$n_2 \nearrow, n_1 \searrow, n_1 + n_2 = n_0$$

$$E \nearrow, (\sigma_1 + \sigma_2) \searrow \downarrow \mu_1 \gg \mu_2$$

$$\begin{aligned} J &= J_1 + J_2 \\ &= n_1 e \mu_1 E + n_2 e \mu_2 E \\ &= (\sigma_1 + \sigma_2) E \end{aligned}$$

$\sigma_1 \searrow, \sigma_2 \nearrow \longrightarrow$ 电场平稳 \nearrow 偏离欧姆定律

- 电场增加 $\nearrow \nearrow$ (A区)

电场 $\nearrow \rightarrow n_1 \searrow \searrow, n_2 \nearrow \nearrow \rightarrow \sigma_1 \searrow \searrow \searrow \searrow, \sigma_2 \nearrow \nearrow$
 $E \nearrow \downarrow (\sigma_1 + \sigma_2) \searrow \searrow$
 $J \searrow \rightarrow$ 微分负电导区 (耿氏效应区)

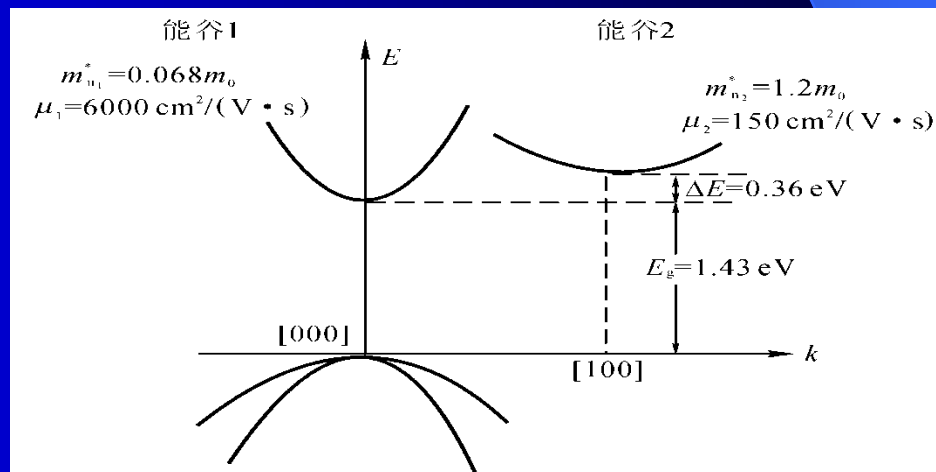
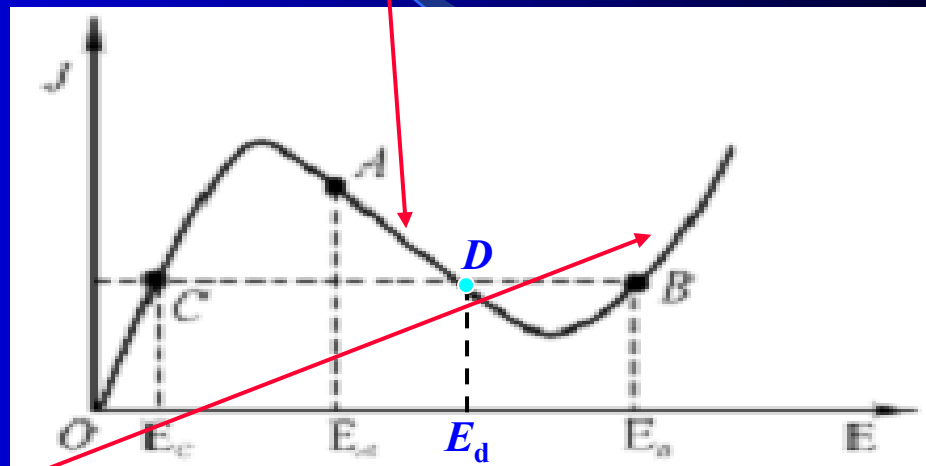
$$\begin{aligned} J &= J_1 + J_2 \\ &= n_1 e \mu_1 E + n_2 e \mu_2 E \\ &= (\sigma_1 + \sigma_2) E \end{aligned}$$

- 电场增加 $\nearrow \nearrow \nearrow$ (B区)

电场 $\nearrow \rightarrow n_1 \sim 0, n_2 \sim n_0$

$$J = n_2 e \mu_2 E = n_0 e \mu_2 E = \sigma_B E$$

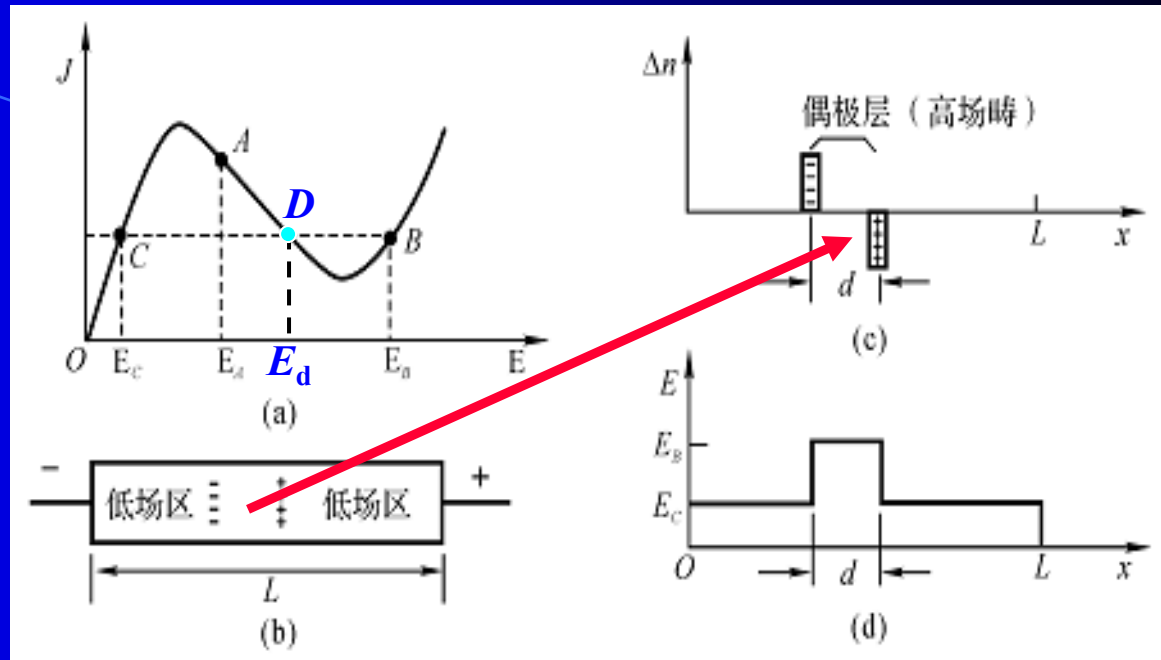
满足欧姆定律



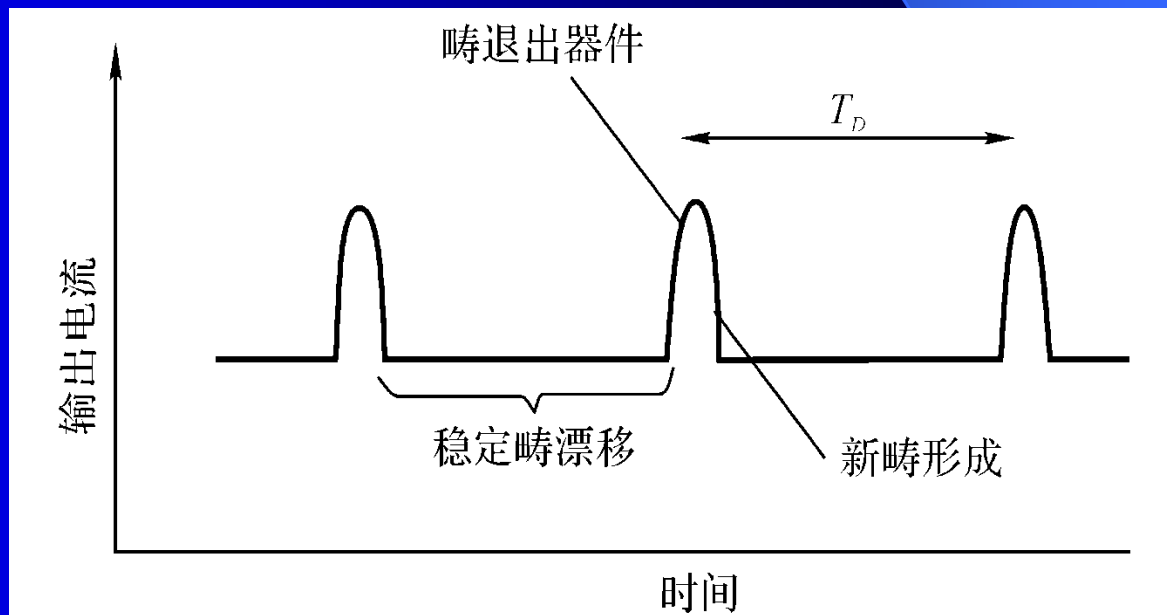
C: $J = \sigma_C E$

B: $J = \sigma_B E$

A: 耿氏效应区



n型GaAs: 耿氏
振荡电流 频率为
0.47 ~ 6.5 GHz



• 畴区的形成

内部不均匀，电子浓度涨落

局部高阻区，区内电场高于区外

高阻区内电子速度慢

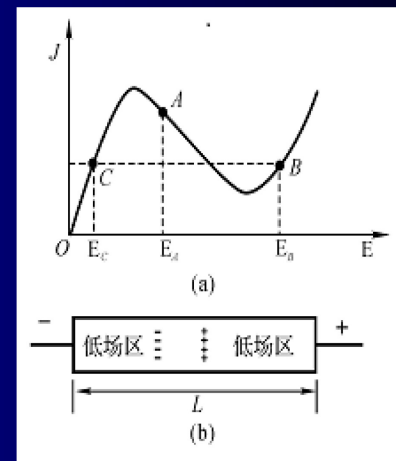
- 靠阳极一侧，区外电子漂移速度比区内大，形成**耗尽层**；
- 靠阴极一侧，区外电子漂移速度比区内大，形成**电子积累层**。

空间电荷偶极层（**偶极畴**）：畴内正负电荷产生与外电场同方向电场，使得畴内电场增强，相应畴外电场降低

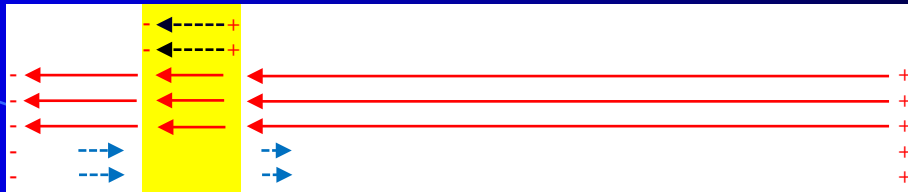
畴内电场增强，内部漂移速度不断下降，偶极畴不断生长

随畴内电场增强，畴外电场降低，高场和低场都越出负微分电阻区

畴内畴外电子以共同的速度漂移，畴停止生长，稳态畴向阳极移动。



• 畴与电流脉冲



畴区电场 $(E_d + \Delta E)$

非畴区电场 $(E_d - \Delta E)$

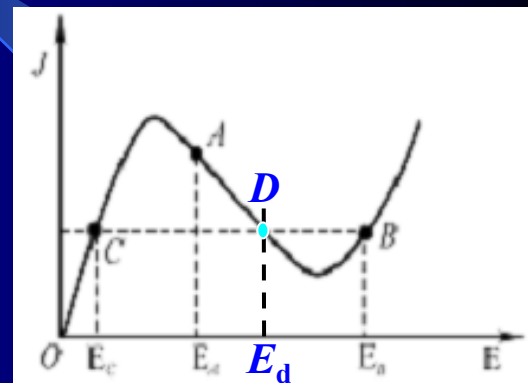
电子基本位于卫星谷B

电子基本位于中心谷C

形成畴区: $J(E_C) = J(E_B) = J(E_d) = J_0$

$$\mu_1 > \mu_2$$

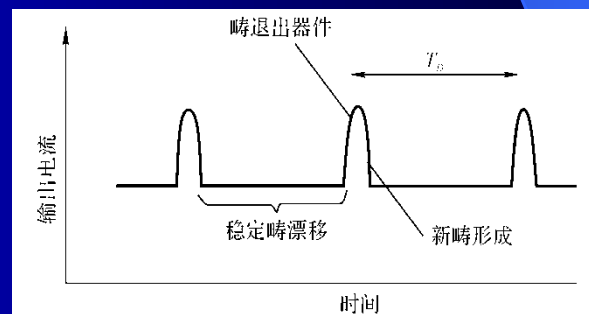
畴区内与外的电子漂移速度相同 $v_d = \mu_1 E_C = \mu_2 E_B$



整个畴区向 “+” 极（阳极）移动

到达阳极

畴区消失、整个区域 $E = E_d$



进入下一轮畴区形成、运动、消失的过程

- 畴区消失与形成时间 $\xrightarrow{\Delta t_1}$ 脉冲宽度
- 畴区漂移时间（渡越时间） $\xrightarrow{\Delta t_2}$ 脉冲周期 $(\Delta t_1 + \Delta t_2) \approx \Delta t_2$
- 振荡频率 $\nu = (\Delta t_1 + \Delta t_2)^{-1} \approx 1/\Delta t_2 = v_d / (L - d) \approx v_d / L$
- 对于某n型GaAs样品, $v_d \approx 10^7 \text{ cm/s}, L = 0.1 \text{ mm}$



$\nu = 1 \text{ GHz}$ （微波振荡）



没有LC的振荡器

不含pn结或其他界面的体效应微波器件

- 其它耿氏器件材料

n型InP、GdTe、InAs、Ge.....

3.7 固态电子能谱

单色光(如X射线、紫外光)、电子(离子)束照射(轰击)样品



电子受激发射出来, 测量能量分布



样品结构和成分信息

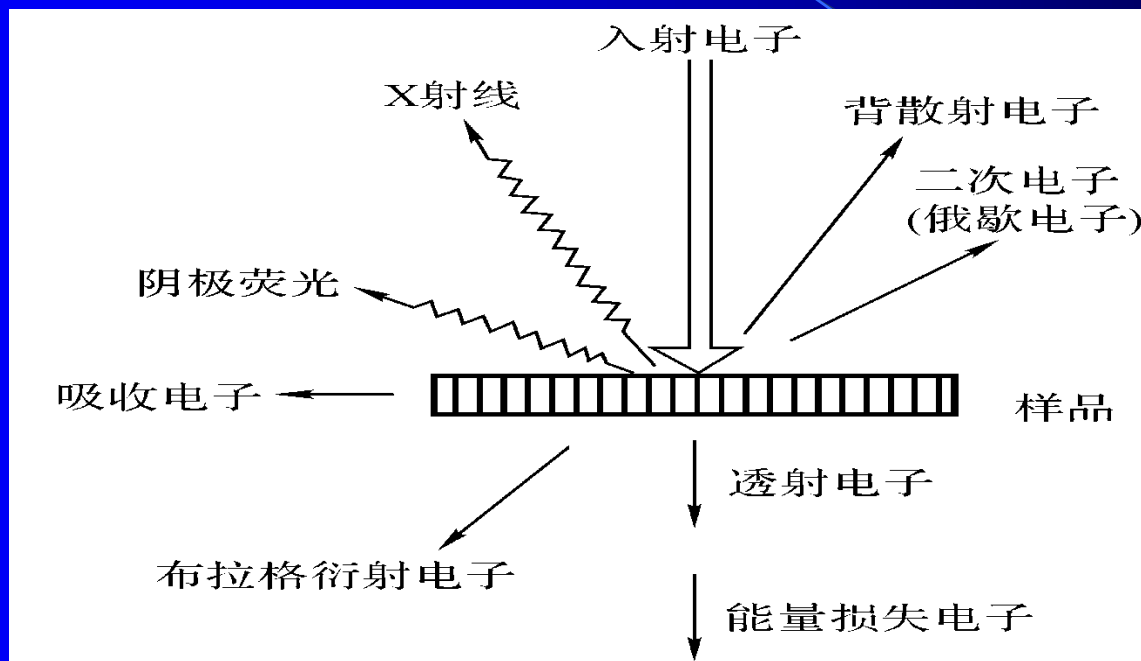
电子能谱:

- X射线光电子能谱(XPS)
- 紫外光电子能谱(VPS)
- 俄歇电子能谱(AES)
- 电子探针X射线显微分析(EPMA)
- 广延X射线吸收精细结构(EXAFS)

1981年, 光电子能谱: Siegbahn获诺贝尔物理学奖

3.7.1 电子、光子、离子同固体相互作用概貌

- 电子束入射到固体样品表面



- 光子照射固体样品表面
光电子、俄歇电子 (俄歇Auger效应)
- 离子束入射到固体样品表面
二次电子、二次离子、X射线

3.7.2 俄歇电子电子能谱

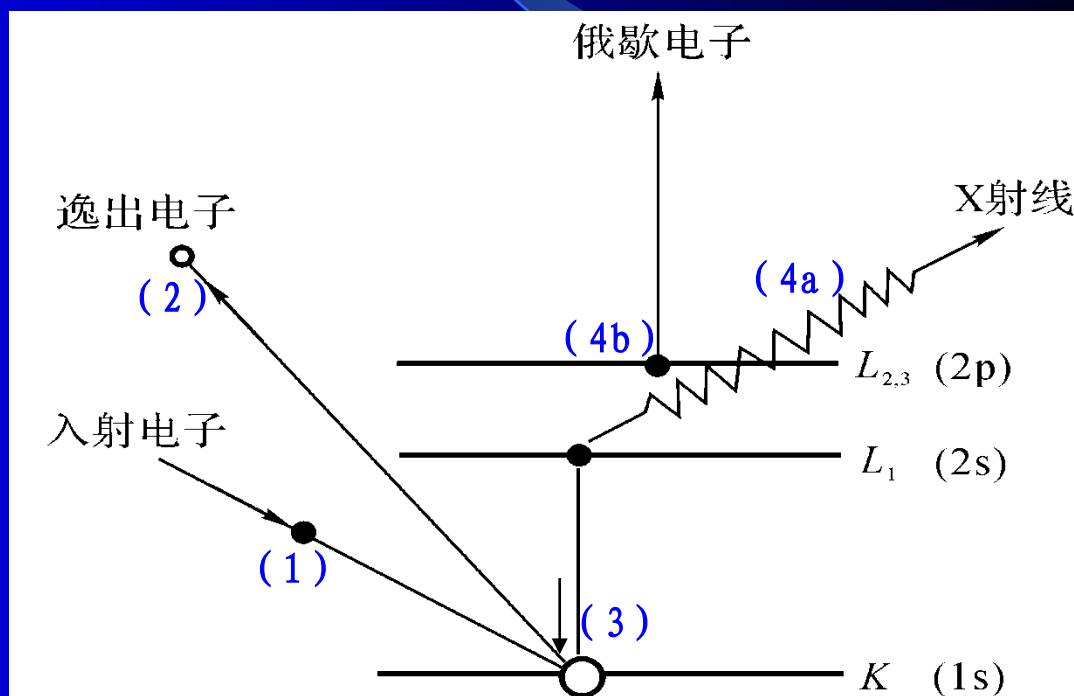
$$E_A = E_K - E_{L1} - E_{L2,3} - \phi$$

俄歇电子能量 能级电子结合能 样品功函数（逸出功）

内层能级（深能级）电子结合能 E_K 、 E_{L1} 、 $E_{L2,3}$ 是每个元素固有的

测得俄歇电子能量

确定俄歇电子发射的元素



元素检测（元素的指纹鉴定）

3.7.3 X射线光电子能谱

原子相互靠近 \rightarrow 分子



- 外壳层电子轨道交叠 \rightarrow 能带
- 内壳层电子轨道相对独立 \rightarrow 基本保持孤立原子特征
- 内壳层电子结合能较大
- 原子序数 Z \nearrow 电子结合能 \nearrow

例如：K壳层电子结合能： $Z = 4$ (Be), 111 eV

$Z = 18$ (Ar), 3203 eV

要使电子逸出固体样品，必须克服电子结合能和电子逸出功



- 可见光、红外光的光子能量不够 ($1.8 \sim 3.1 \text{ eV}$)
- 紫外光的光子能量也不够 ($3.1 \sim 42 \text{ eV}$)



紫外光电子能谱 \rightarrow 外壳层价电子特性

- X射线可以激发样品内壳层能级的电子逸出 ($42 \sim 12400 \text{ eV}$)



X射线光电子能谱



内壳层电子保持孤立原子特征



X射线光电子能谱 \rightarrow 鉴定分子、原子价、化合物结构