

固体物理

# 固体物理知识点

Main points of solid state physics

冯 雪

[x-feng@tsinghua.edu.cn](mailto:x-feng@tsinghua.edu.cn)

罗姆楼2-101B

# 第一部分：固体的结构

## ● 晶体的结构

- 晶体是原子排列具有空间周期性的固体
- 基元（basis）、晶格或点阵（lattice）、晶胞（cell）
- 惯用晶胞和原胞，原矢，布拉菲点阵
- 描述晶体方向性的标志：晶向、晶面、密勒指数
- 面间距、堆积比、晶面密度（每个晶面独有的原子个数）

## ● 倒易点阵和布里渊区

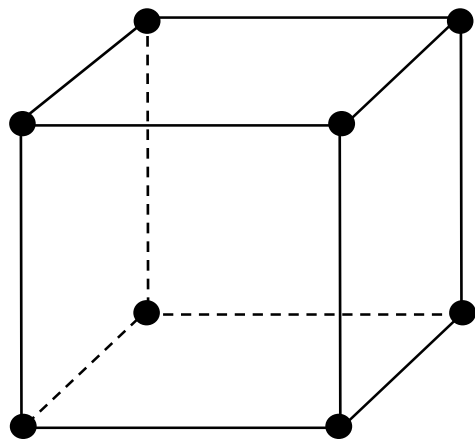
- X射线衍射、布拉格定律
- 倒格矢和倒格空间（由原矢定义）
- 布里渊区边界的物理意义

$$e^{i\vec{G}_h \cdot \vec{R}_n} = 1$$

- 无序固体的结构——晶体，准晶体，非晶体
- 晶体中的缺陷和扩散——缺陷的种类

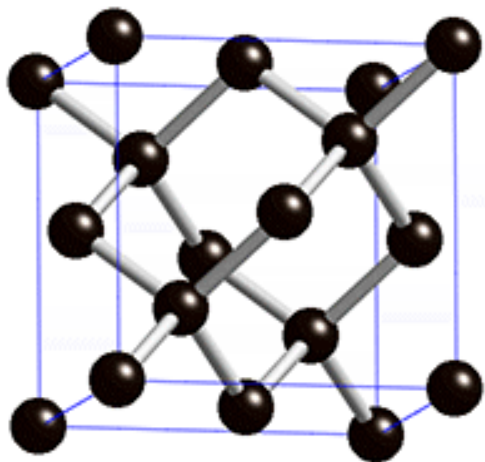
# 几种重要的晶格结构

- 简单立方

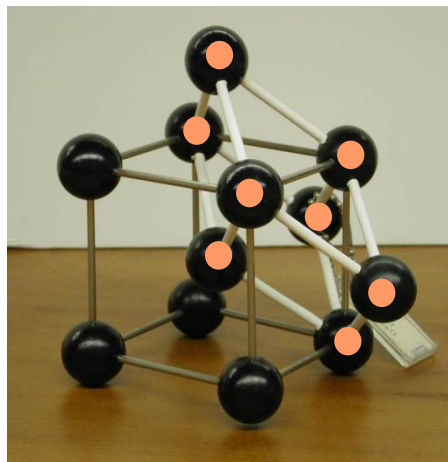


$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = a\vec{i} \\ \alpha_2 = a\vec{j} \\ \alpha_3 = a\vec{k} \end{array} \right.$$

- 金刚石结构



- 体心立方

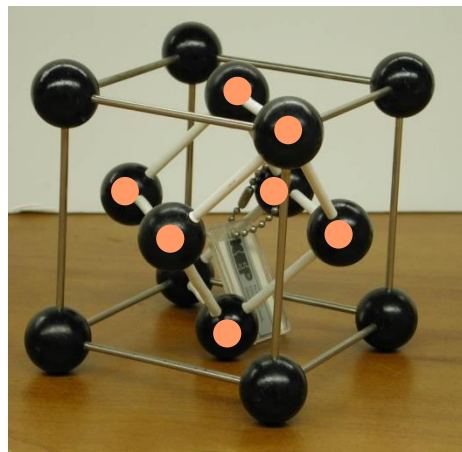


$$\alpha_1 = \frac{a}{2}(-\vec{i} + \vec{j} + \vec{k})$$

$$\alpha_2 = \frac{a}{2}(\vec{i} - \vec{j} + \vec{k})$$

$$\alpha_3 = \frac{a}{2}(\vec{i} + \vec{j} - \vec{k})$$

- 面心立方



$$\alpha_1 = \frac{a}{2}(\vec{j} + \vec{k})$$

$$\alpha_2 = \frac{a}{2}(\vec{k} + \vec{i})$$

$$\alpha_3 = \frac{a}{2}(\vec{i} + \vec{j})$$

# 第二部分：固体的结合

- 晶体的结合能与内能
  - $U(r)$ 、平衡间距
- 晶体结合的量子理论——了解
  - 分子轨道、原子轨道线性组合法
  - 电离度
- 离子晶体
  - 马德隆常数
- 共价晶体
  - 轨道杂化
- 金属结合
- 范德瓦尔斯结合
- 原子负电性——电离能与亲和能

# 第三部分：固体能带理论

- 布洛赫定理  $\psi(x + R_n) = e^{ik \cdot R_n} \psi(x)$

- 一维近自由电子近似

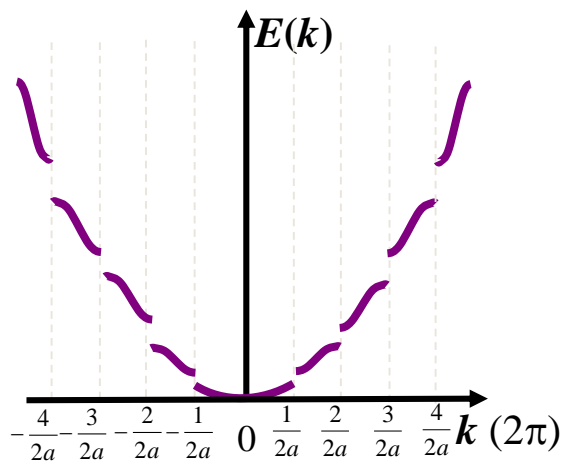
- 能带、带隙的形成
- 三种布里渊区图景

- 布洛赫电子的准经典运动

- 波包描述
- 电子速度、加速度、有效质量、准动量

- 导体、绝缘体和半导体的能带解释

- 满带不导电
- 电子与空穴



# 第四部分：经典金属电子论

## • 德鲁德模型

- 独立自由电子近似——总能量=动能
- 电子类似理想气体分子，遵循玻尔兹曼统计规律
- 单位时间内电子发生碰撞的几率是 $1/\tau$ ， $\tau$ 为弛豫时间

$$\frac{dp}{dt} = -eE - \frac{p}{\tau}$$

电子运动方程

$$J = \left( \frac{ne^2\tau}{m} \right) E$$

电流密度方程

## • 索末菲模型

- 自由电子费米气体 (free electron Fermi gas)

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/k_B T} + 1}$$

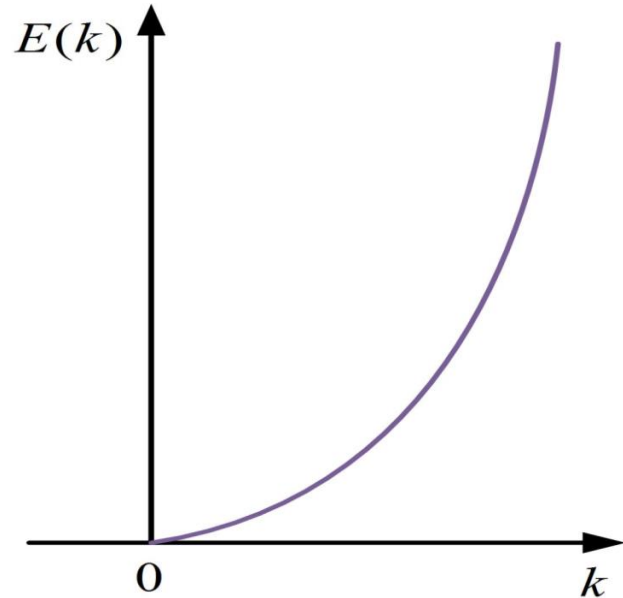
## • 基于能带理论的晶体电子输运过程

$$S_0 = \frac{ne^2 t(E_F)}{m^*}$$

# 自由电子的运动模型

量子力学：

$$E(\mathbf{k}) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

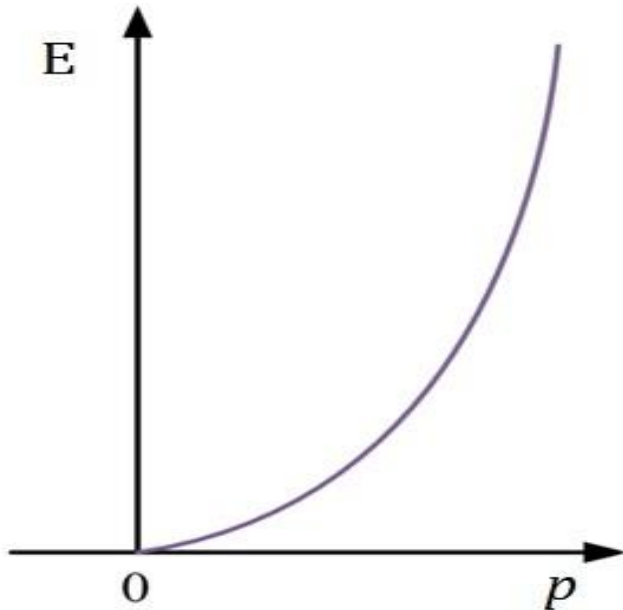


电子质量：

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{d^2 E}{dk^2}$$

经典力学：

$$E(p) = \frac{p^2}{2m}$$



电子质量：

$$\frac{1}{m} = \frac{d^2 E}{dp^2}$$

# 重要的概念

- 费米统计分布

- 费米能级 $E_F$ 由系统中电子总数 $N$ 决定
- 费米能级 $E_F$ 并不是单个电子的能量本征值

- 周期性边界条件（波恩-卡门条件）

- 物理实质——忽略边界的影响

- 状态密度

- $k$  空间的状态密度（点阵密度） $g_k$
- 能量标度下的态密度 $g(E)$
- 费米球、费米动量（费米球半径）、费米温度
- 索末菲展开——不要求

