

半导体物理

杨一鸣 张贺秋 教授

微电子学院

大连理工大学

Email: ymyang@dlut.edu.cn
hqzhang@dlut.edu.cn

半导体物理



绪论

半导体物理的重要性

- 微电子/半导体行业的门槛
- 研究生入学考试笔试/面试必考
- 半导体器件/集成电路/芯片的“语言”

上课时间

2022~2023学年 第二学期

 三四节课
 五六节课

周次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
月份	二	三					四				五				六		
星期一	20	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12
星期二	21	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13
星期三	22	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14
星期四	23	2	9	16	23	30	9	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15
星期五	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16
星期六	25	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17
星期日	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18
环节																	!

注：! 考试

课程信息

- 上课时间：周二3,4节、周五5,6节，第1-16周
- 答疑时间：随堂QQ群答疑（可匿名）
- 作业提交：每周五布置/上交，迟交最多计**50%**分数
提交方式：手写，拍照上传超星平台
- 考试时间：第8周期中考试，闭卷笔试
- 成绩组成：10%章节测试+10%作业+10%大作业+**26%**期中考试
+**44%**期末考试
- 课堂考勤：随机点名，无故缺席每次扣除总成绩10分

课程信息：大作业

- 题目要求：

1. 组成6人或7人学习小组

2. 聚焦与半导体物理相关的热点或前沿问题，每人查找与半导体物理相关的近3年期刊论文2篇及以上（每人至少阅读一篇英文期刊论文，国内的期刊需要为核心期刊，国外的期刊影响因子5以上，最好阅读Nature或Science的论文）。

课程信息：大作业

- 考核方式：

1. 讨论汇总每个人的阅读资料，总结确定的热点或前沿问题的研究背景，在此前沿或热点问题上有哪些研究方向，采用哪些软件、硬件工具进行分析，与哪些半导体物理知识相关，制作成PPT。
2. 在课堂上做5分钟汇报。
3. 组内成员互相打分，主要考察对所研究问题的讨论情况。（50分）
4. 其他班级成员打分，主要考察PPT汇报结构完整性，报告语言表达流利性。（20分）
5. 任课教师打分，主要考察题目与半导体物理的相关性、PPT结构、汇报表达。（30分）

主要参考书

1. 胡礼中教授编写的《半导体物理》讲义
2. 黄昆原著，韩汝琦改编，《固体物理学》，高等教育出版社
3. 刘恩科等《半导体物理学》，国防工业出版社，第7版
4. 黄昆，韩汝琦《半导体物理基础》，科学出版社
5. 叶良修《半导体物理学》，高等教育出版社，1987年

黄昆院士简介



黄昆（1919.9.2—2005.7.6），浙江嘉兴人，世界著名物理学家、中国固体物理学和半导体物理学奠基人之一。

主要贡献：

黄昆完成了两项开拓性的学术贡献。一项是提出著名的“**黄方程**”和“声子极化激元”概念，另一项是与后来成为他妻子的共同提出的“黄-里斯理论”。提出固体中杂质缺陷导致X射线漫散射的理论，被称为“黄散射”，与里斯共同提出了多声子的辐射和无辐射跃迁的量子理论；同期佩卡尔发表了相平行的理论，被国际上称为“黄-佩卡尔理论”或“黄-里斯理论”；提出了晶体中声子与电磁波的耦合振荡模式，当时提出的方程，被称为“黄方程”；研究半导体量子阱超晶格物理。建立超晶格光学振动的理论，发表了后来被国际物理学界称为“黄-朱模型”的理论。



朱邦芬院士



杨老师

半导体的定义

导体



电阻率：
 10^{-7} to $10^{-8} \Omega \cdot m$

半导体



电阻率：
 10^{-6} to $10^2 \Omega \cdot m$

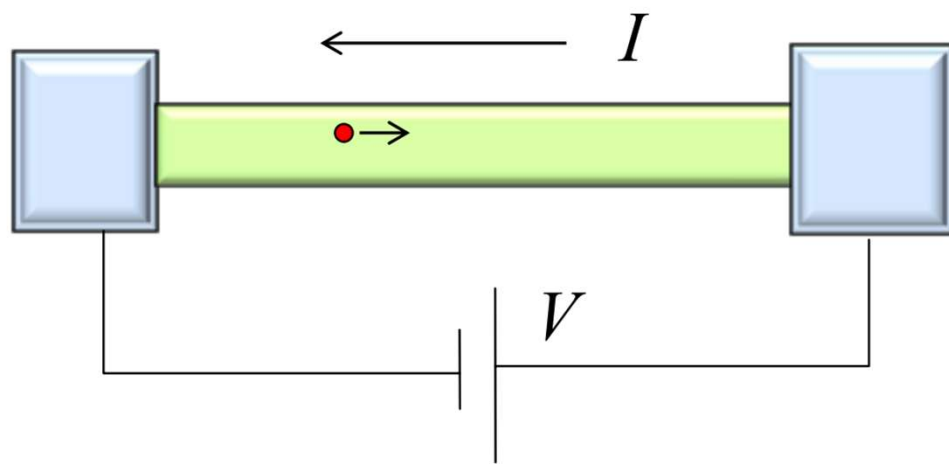
绝缘体



电阻率：
 10^{10} to $10^{14} \Omega \cdot m$

单纯通过导电性定义半导体并不准确

学习半导体物理的初心



$$I = G \times V$$

$$= q \times n \times v \times A$$

载流子
密度

载流子
速度

载流子密度：量子力学 + 平衡态统计力学

载流子速度：非平衡态下的统计理论

怎样学好半导体物理

- 半导体物理内容范围广，知识体系庞大，涉及众多量子力学与统计物理的内容，对大二本科生来说难度较大。
- **建议一**：重心放在**概念**的理解与**物理图像**的建立
- **建议二**：“书读百遍，其义自见。”至少读两本以上参考书、读第一遍弄懂概念，第二遍再关注公式推导。
- **建议三**：独立思考，提出问题。课本上有没有错误？假设能不能成立？

为什么需要半导体？

计算



导电：1

不导电：0

储存

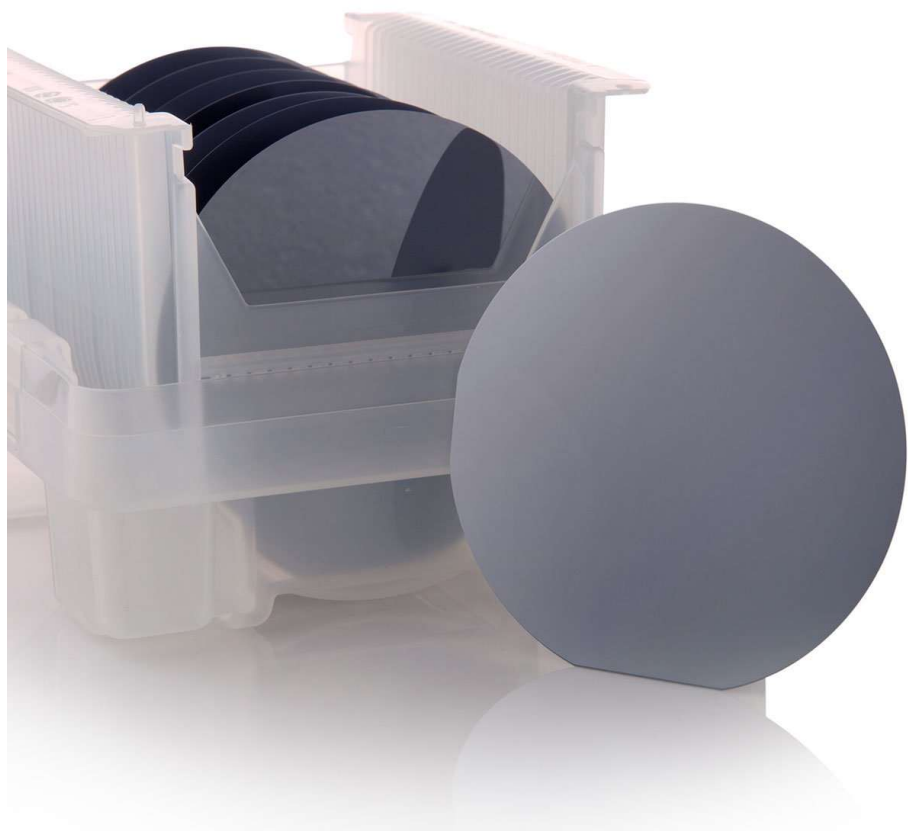


高阻态：1

低阻态：0

因为半导体的导电性可以调控！

半导体的一些常见特性



1. 导电性
2. 电阻随温度变化
3. 掺杂可在很大范围内
改变半导体的导电性
4. 光照下电阻发生变化

半导体材料分类

1. 第一代半导体：Si、Ge
2. 第二代半导体：GaAs, InP等III-V族材料
3. 第三代半导体：GaN、SiC等宽禁带材料
4. 新型半导体：纳米材料、
碳材料、柔性材料等

II	III	IV	V	VI
4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O
12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S
30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se
48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te
80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po

第一章

晶体结构

认识晶体

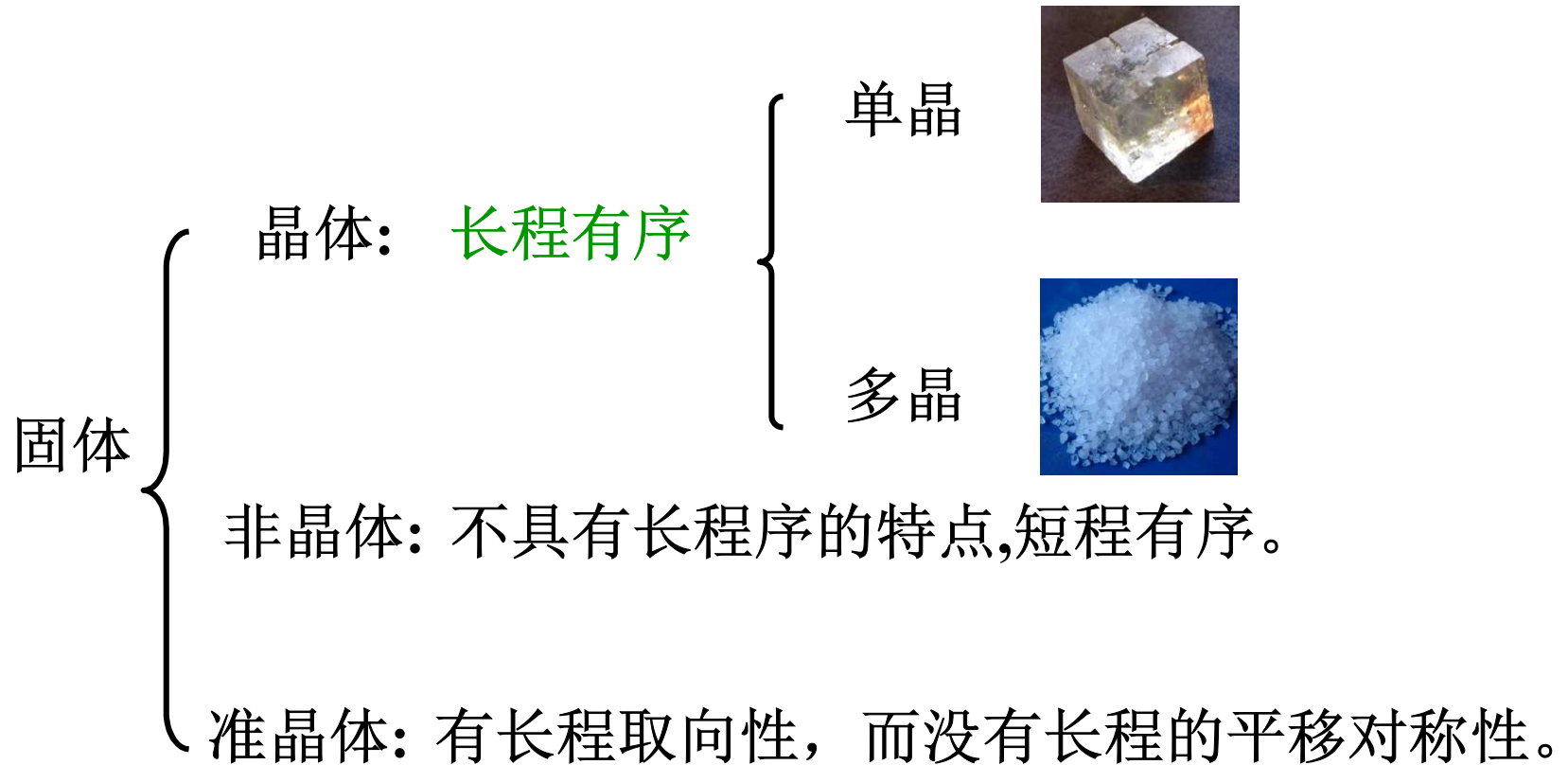
天然晶体大多具有规则的几何形状



微观原子或分子排列有序

想一想，生活中常见的晶体有哪些？

固体的分类



长程有序：一般在微米量级范围内原子排列具有周期性。

§ 1.1 一些晶体的实例

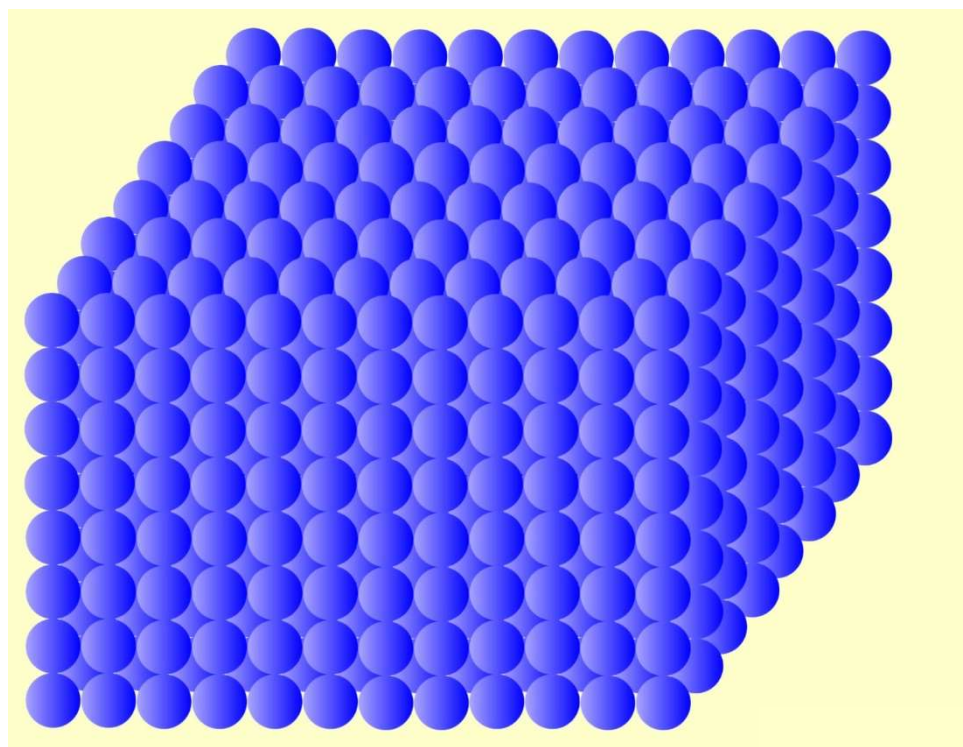
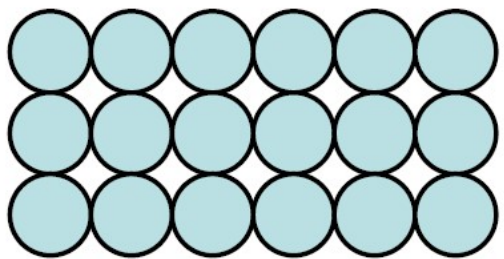
晶格 —— 晶体中原子排列的具体形式

原子、原子间距不同，但有相同排列规则，这些原子构成的晶体具有相同的晶格，如**Cu**和**Ag**；**Ge**和**Si**等等

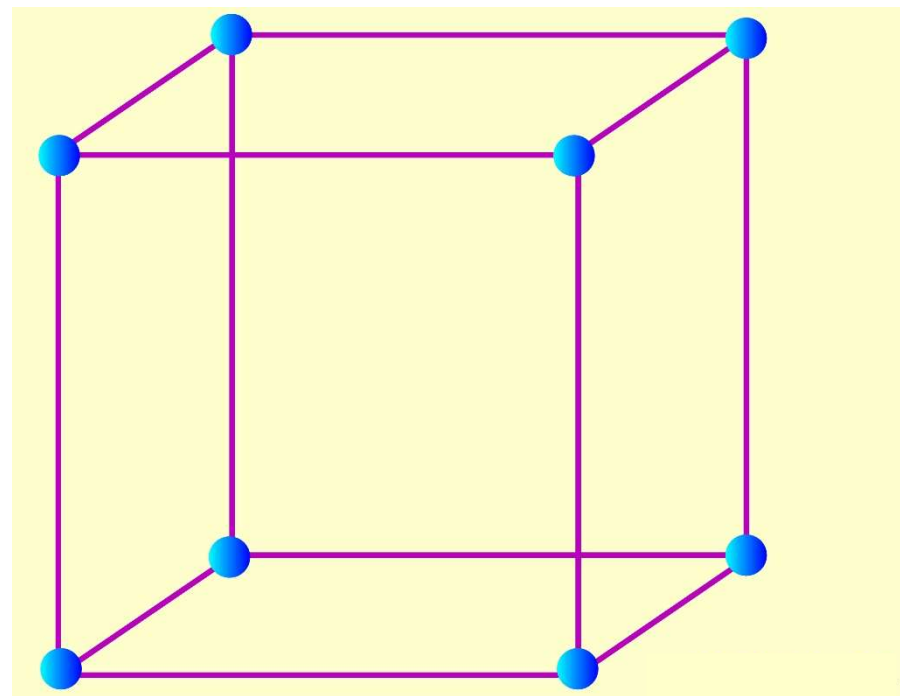
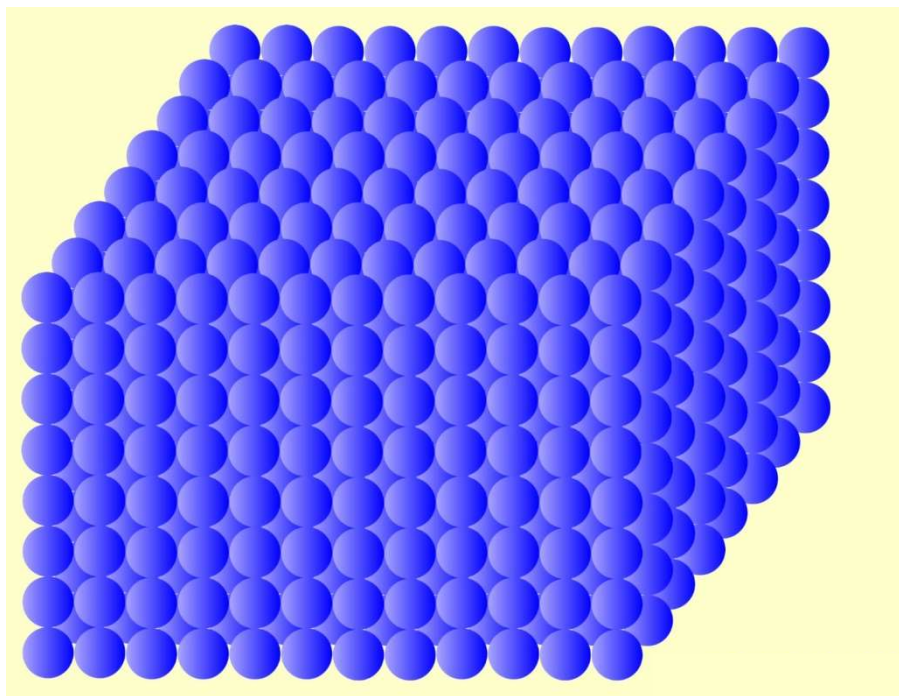
1. 简单立方晶格

—— 原子球在一个平面内呈现为**正方**排列

—— 平面的原子层叠加起来得到**简单立方格子**

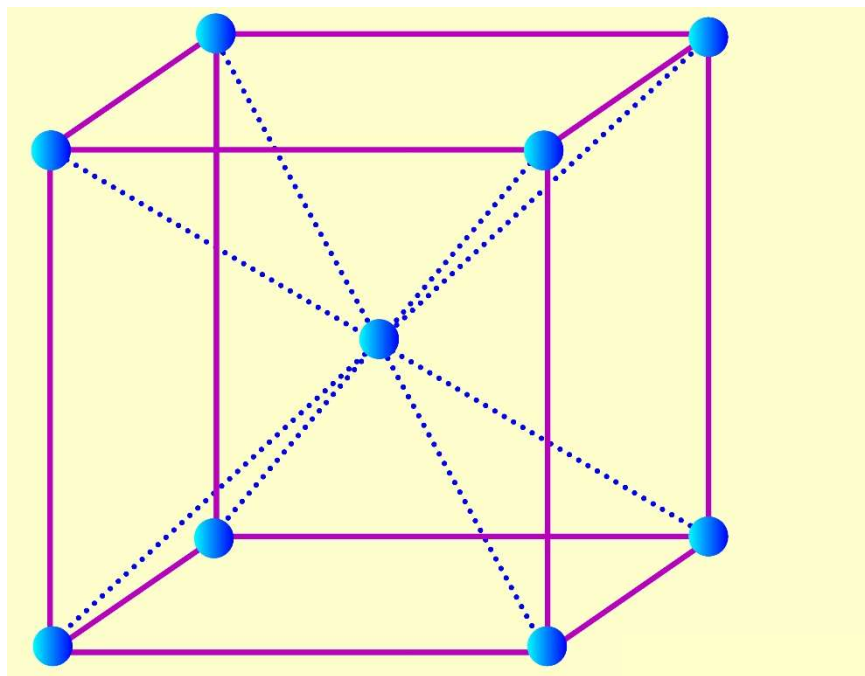


用圆点表示原子的位置——得到简单立方晶格结构

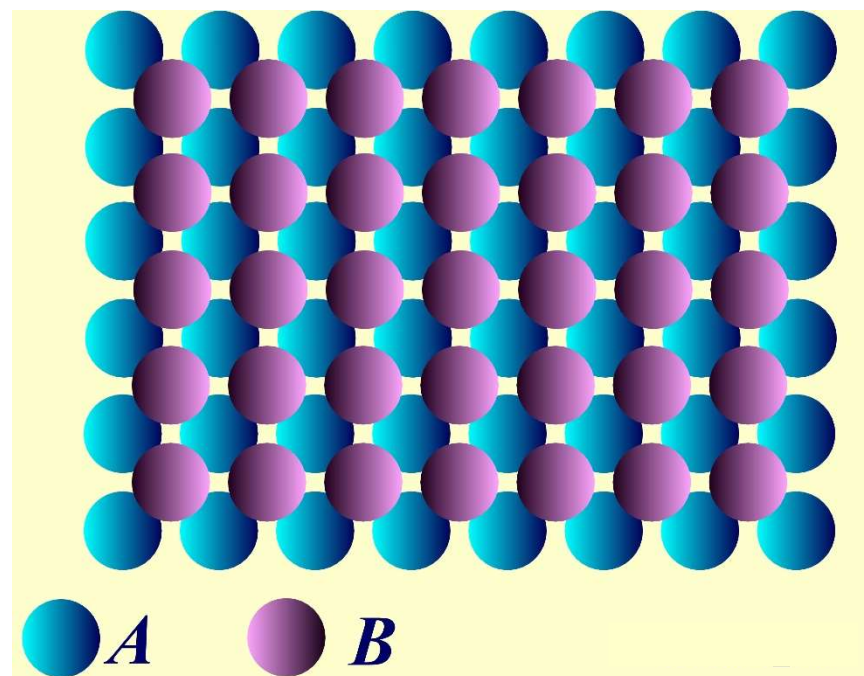


2. 体心立方晶格

体心立方晶格

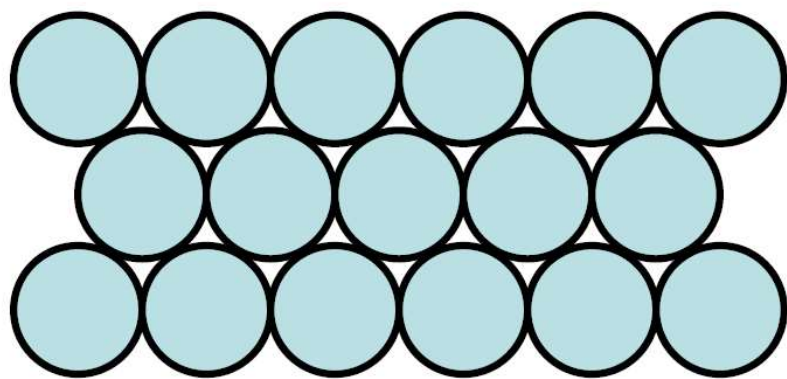


原子球排列形式

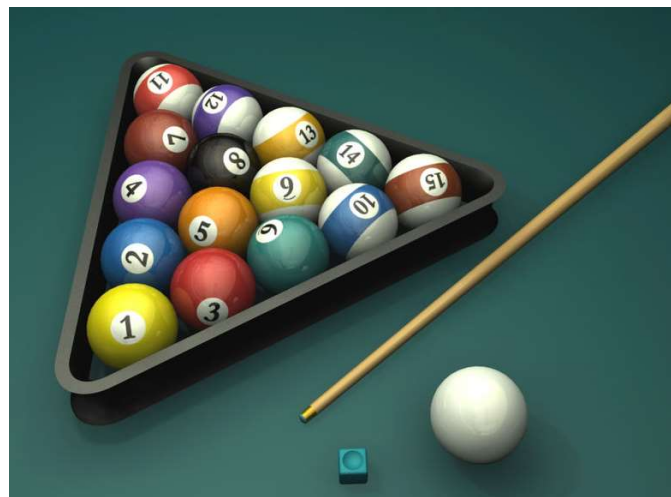


体心立方原子球排列方式表示为 **AB AB AB**

密排堆积

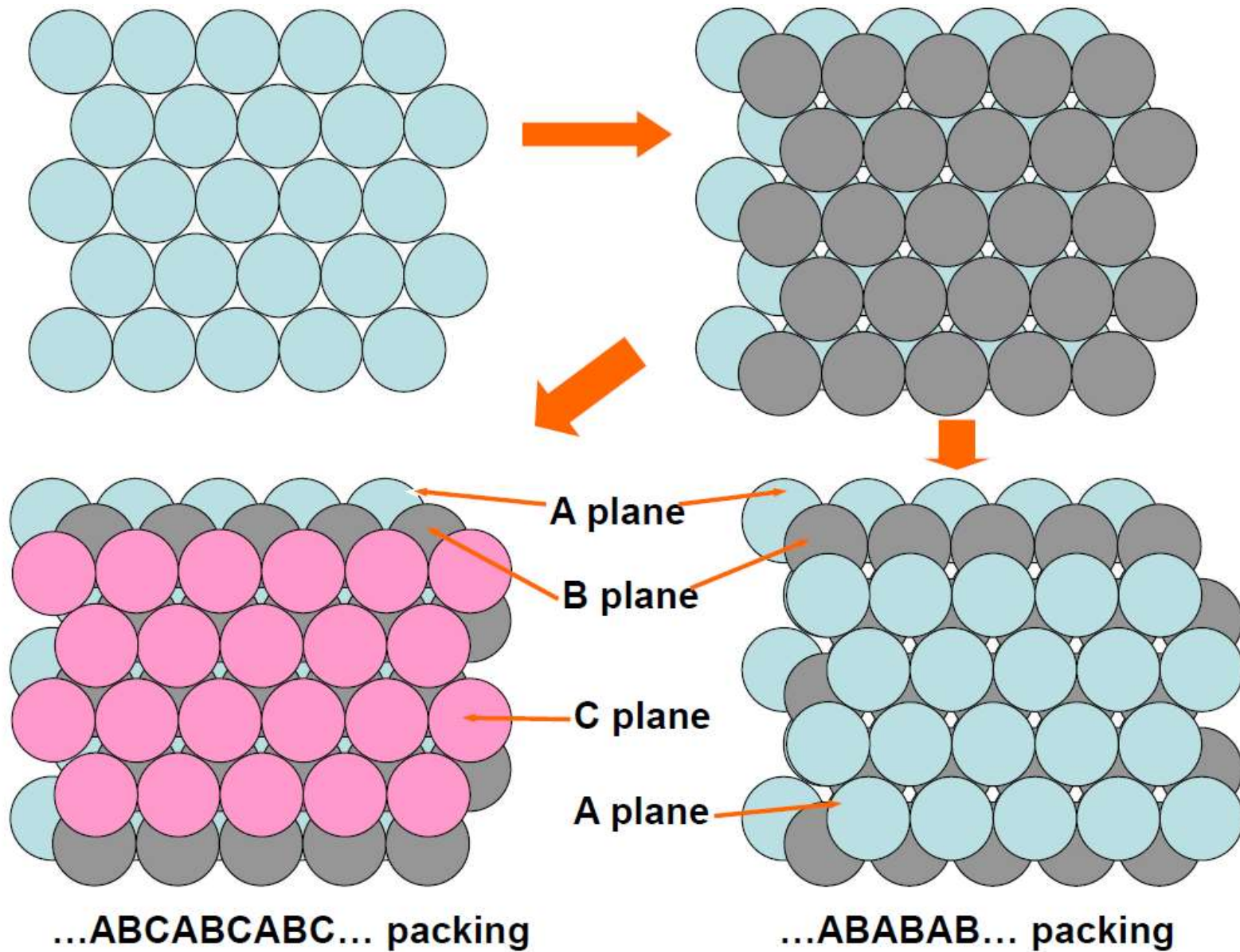


二维密排堆积



密排堆积——晶体由同一种粒子组成，将粒子看作小圆球
这些全同的小圆球最紧密的堆积

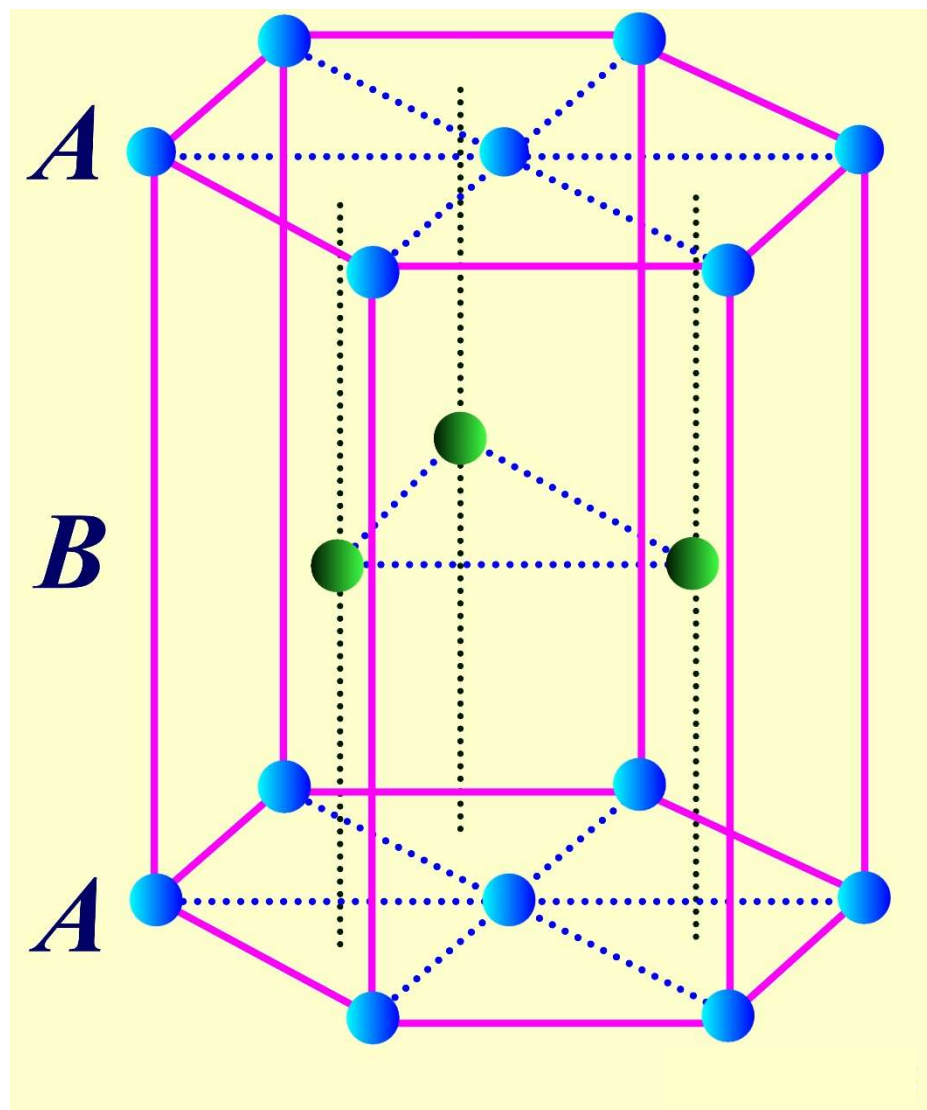
两种密排堆积方式



原子球排列为：AB AB AB

3. 六角密排晶格

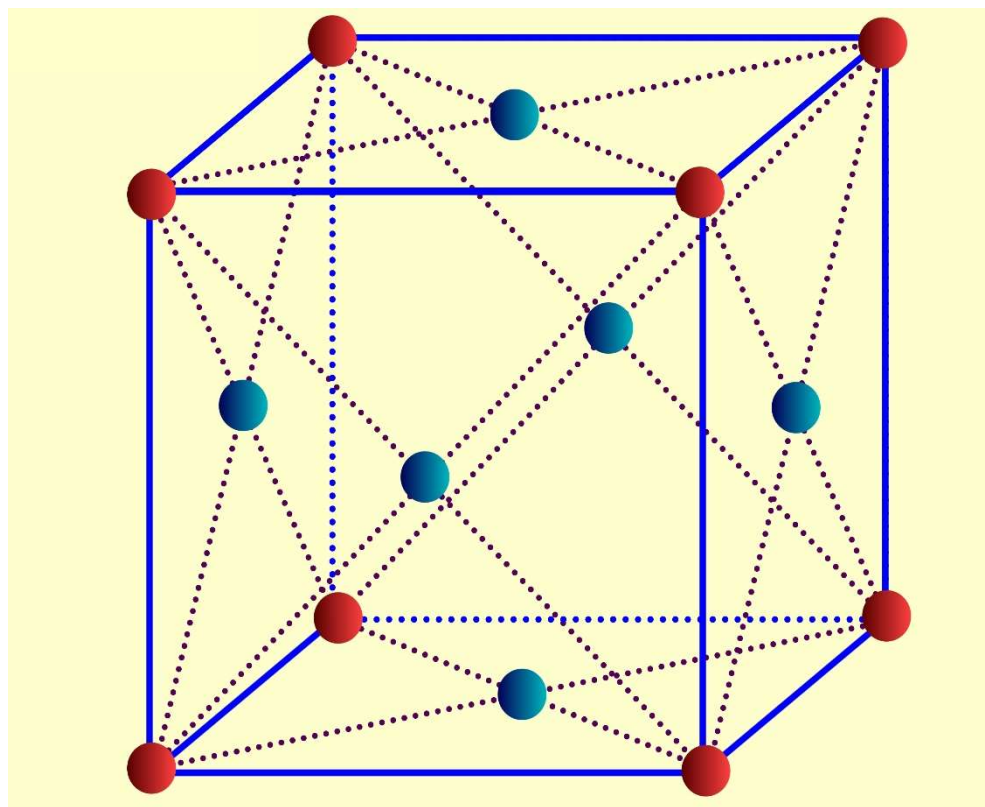
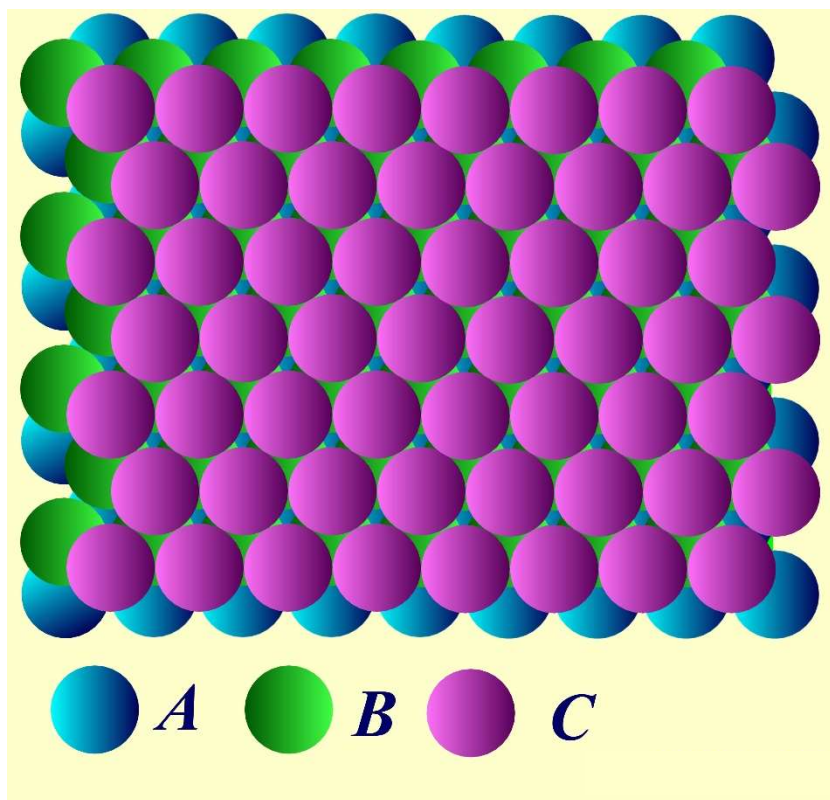
Be、Mg、Zn、Cd



原子球排列为：ABC ABC ABC

4. 面心立方晶格

Cu、Ag、Au、Al



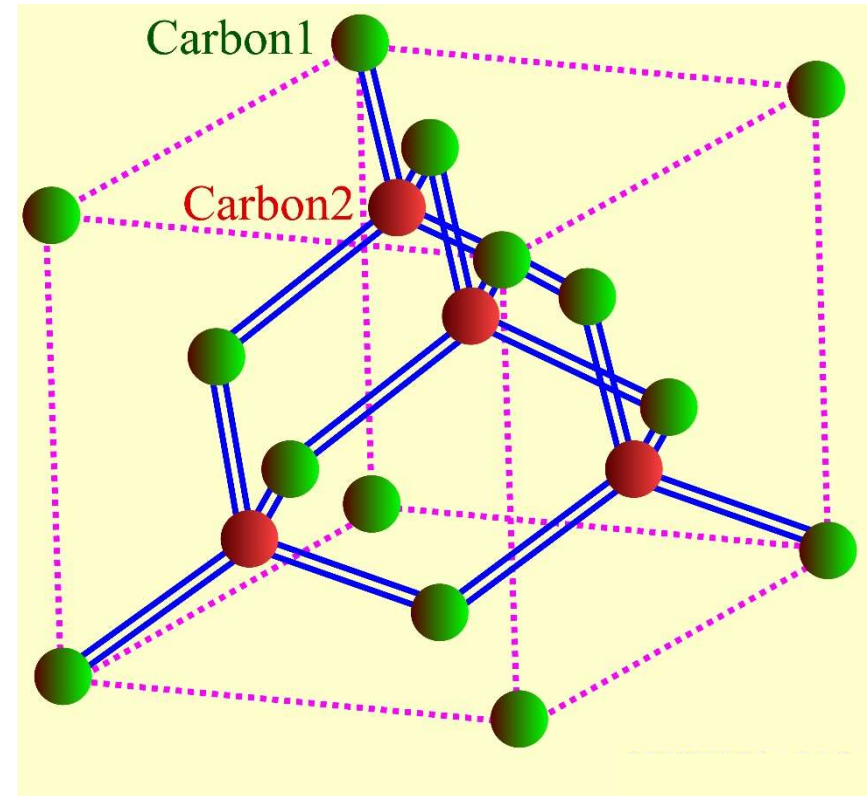
5. 金刚石晶格结构

—— 碳原子构成的一个面心立方原胞内还有四个原子，分别位于四个空间对角线的 $1/4$ 处

—— 一个碳原子和其它四个碳原子构成一个正四面体

—— 金刚石结构的半导体晶体

Ge、Si等

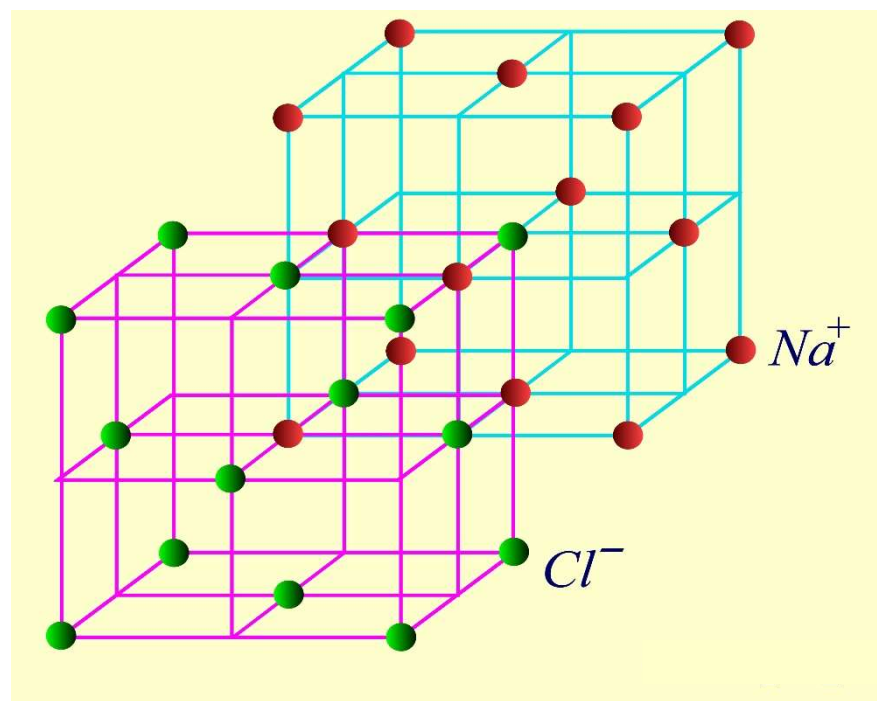
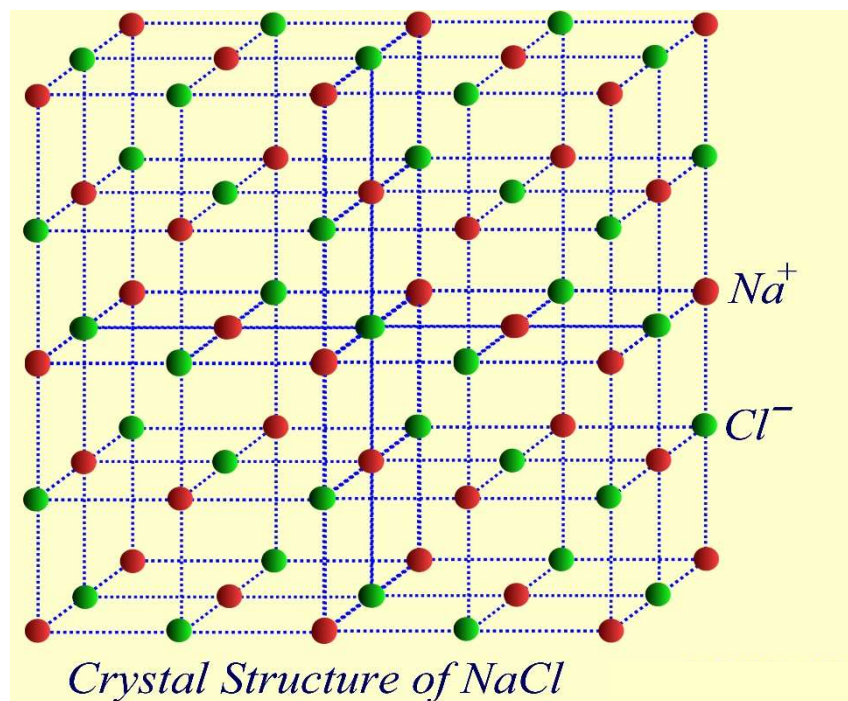


6. 几种化合物晶体的晶格

1) NaCl晶体的结构

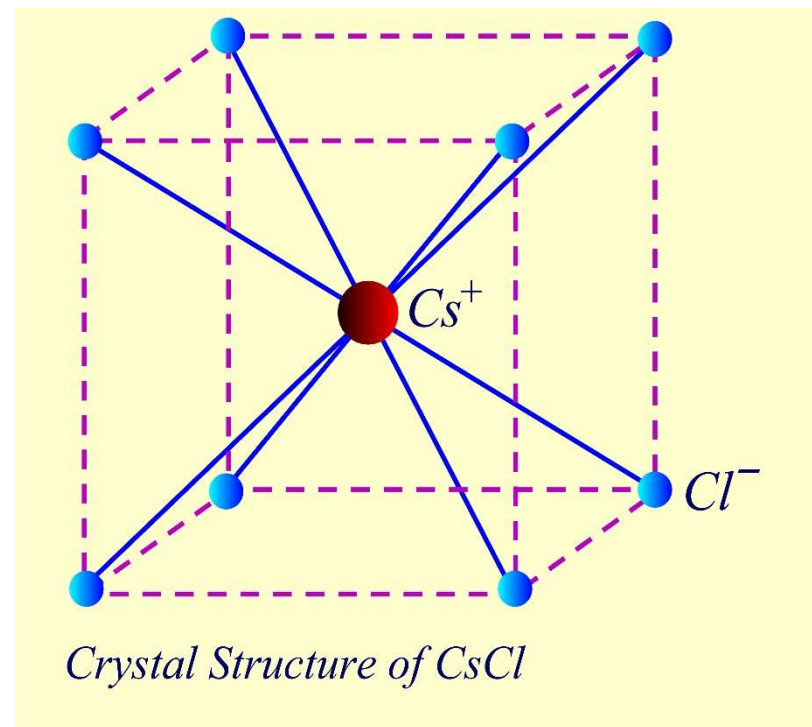
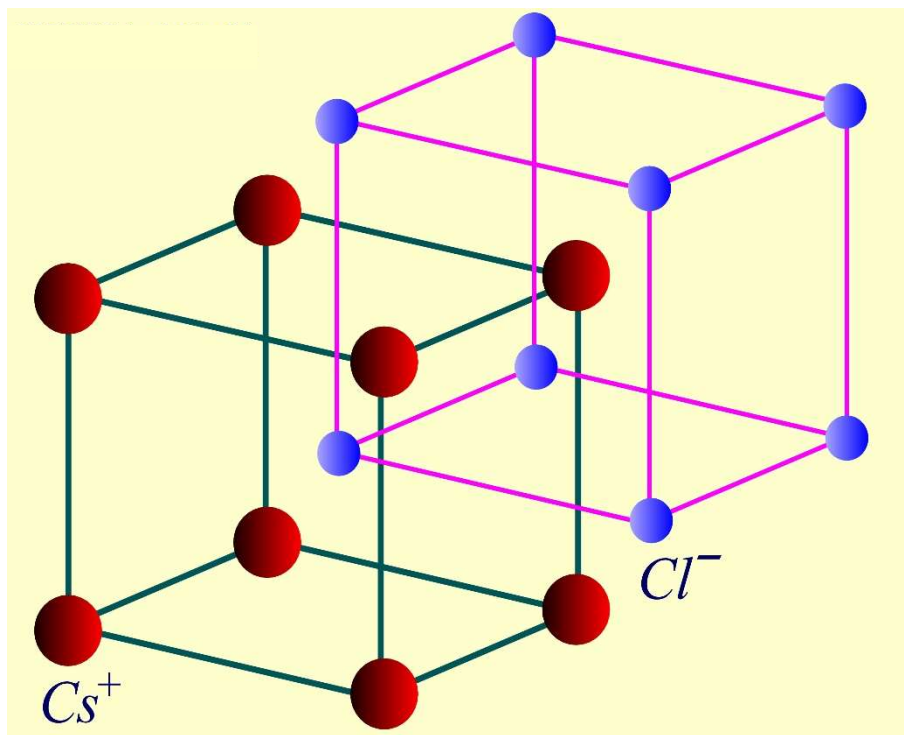
氯化钠由 Na^+ 和 Cl^- 结合而成，是一种典型的离子晶体

Na^+ 构成面心立方格子； Cl^- 也构成面心立方格子



2) CsCl晶体的结构

CsCl结构 —— 由两个简单立方子晶格彼此沿立方体空间对角线位移 $1/2$ 的长度套构而成



3) ZnS晶体的结构 —— 闪锌矿结构

立方系的硫化锌 —— 具有金刚石类似的结构

化合物半导体 —— 锑化铟、砷化镓、磷化铟

