

КОНСПЕКТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО

I. СТАТИКА НА КРИСТАЛНАТА РЕШЕТКА

1. Основни понятия на геометричната кристалография: Кристали. Пространствена решетка - кристалографски оси, основни вектори, елементарна клетка, видове пространствени решетки. Клетки на Вигнер-Зайтц. Транслационна симетрия. Геометрия на пространствената решетка - възли, възлови прави, ъглови равнини.

2. Операции и елементи на симетрия при кристалите: Въртене и оси на симетрия. Отражение и равнина на симетрия. Огледално въртене и огледални оси на симетрия. Инверсия, център на симетрия и инверсна ос. Връзка между огледална и инверсна ос. Стереографска проекция.

3. Кристални структури, получени от най-плътна опаковка на еднакви сфери: Хексагонална кристална решетка. Стенноцентрирана кубична решетка. Коефициент на запълване. Междини. Примери - метали, молекулни кристали, йонни кристали (натриев хлорид).

4. Кристални структури с по-малка плътност на опаковката. Обемноцентрирана кубична решетка. Проста кубична решетка. Валентни кристали - диамант; слоисти кристали (графит); верижни кристали (телур). Цезиев хлорид. Сфарелит и вюрцит.

5. Точкови групи на симетрия (класове на симетрия) при кристалите. Точкови групи на симетрия (класове на симетрия при кристалите): Съчетаване на елементите на симетрия при кристалите. Точкови групи на симетрия - C_n , S_{2n} , C_{nh} , C_{nv} , D , D_{nh} , D_{nd} , O_h , O , T , T_d , T_h . Кристалографски системи или сингонии. Холоедричен клас на сингонията.

6. Симетрия на кристалните решетки (пространствени групи на симетрия). Прости решетки на Браве. Сложни решетки на Браве. Влияние на симетрията на структурния мотив върху симетрията на кристалните решетки. Винтови оси и равнини на хлъзгане. Изоморфни пространствени групи.

7. Обратна пространствена решетка. Разлагане на функция с периодичността на пространствена решетка в ред на Фурие. Свойства на обратната пространствена решетка. Зони на Брилуен. Построяване на обратната решетка.

8. Дифракция на вълни от кристална решетка. Дифракцията като метод за изследване на кристалната структура. Уравнения на Лауе. Сфера на Евалд. Условие на Вулф и Брег. Експериментални методи на рентгеновия структурен анализ: на Лауе, въртящ се кристал, люлеещ се кристал, Дебай и Шерер, гониометър на Брег.

9. Дефекти в кристалните решетки на реалните кристали: Видове - обемни, повърхностни, линейни, точкови. Дефекти по Шотки. Двойка ваканции. Атоми в междините. Дефекти по Френкел. Цветни центрове. Прагова дислокация. Винтова дислокация. Вектор на Бюргерс.

II. КРИСТАЛОФИЗИКА

10. Тензори на механичното напрежение и механичните деформации. Сили, действащи в деформирано тяло. Тензор на механичното напрежение - определение, симетричност, частни случаи. Тензор на дисторзия. Тензор на въртене и деформация. Физически смисъл на тензора на деформация.

11. Връзка между еластичните, термичните и електричните явления в кристалите. Полеви величини. Величини, характеризиращи реакцията на кристала. Материални константи. Диаграма на Хекман и Най. Материални тензори от II ранг - различни случаи, характеристична повърхнина.

12. Главни ефекти в кристалите. Редуцирано количество топлина. Диелектрична поляризация - диелектрична възприемчивост, диелектрична проникваемост. Намагнитване - магнитна възприемчивост, магнитна проникваемост. Еластична деформация, еластични константи и модули - матрично представяне.

13. Спрегнати ефекти в кристалите. Топлинно разширение. Пиезокалоричен ефект. Пироелектричен ефект - пироелектрични кристали; електрети; първичен и вторичен ефект. Електрокалоричен ефект. Пиезоелектричен ефект. Обратен пиезоелектричен ефект.

14. Влияние на симетрията на кристалите върху материалните им константи. Принцип на Нойман. Влияние на симетрията на кристала върху свойствата му, описани със симетричен тензор на II ранг. Принцип на Кюри.

15. Разпространение на електромагнитни и еластични (акустични) вълни в кристалите. Разпространение на електромагнитни вълни в неограничени диелектрици, ТЕМ, еластични вълни в неограничена среда. Нормални вълни - ТЕ, ТН, лембови, СН, повърхнинни.

16. Някои неравновесни и нелинейни явления в кристалите - топлопроводност, електропроводност, електрострикция. Нелинейни (квадратични) ефекти - електрострикция, магнитострикция. Неравновесни процеси - топлопроводност, електропроводност. Термоелектрични явления в изотропни среди - ефект на Зеебек, ефект на Пелтие, ефект на Томсон, съотношения на Томсон, принцип на Онзагер. Термоелектрични ефекти в кристали.

17. Кристалооптика. Двойно пречупване на светлината в кристали. Оптическа индикатриса на кристала. Влияние на симетрията на кристала. Лъчеви повърхнини.

18. Електрооптичен и пиезооптичен ефект. Електричен и пиезооптичен ефект. Електрооптичен ефект - линеен (ефект на Покекс), квадратичен (ефект на Кер), експериментални изследвания. Пиезооптичен ефект. Първичен и вторичен електрооптичен ефект.

19. Класическа микроскопична теория на кристалите с йонна връзка. Енергия на връзката. Опитно определяне на степента n в израза за потенциалната енергия на Борновите сили на отблъскване.

20. Класическа микроскопична теория на йонната поляризуемост на пироелектричните свойства и на пиезоелектричните свойства на кристалите. Йонна поляризуемост - NaCl. Обща поляризуемост на кристала в постоянно и променливо електрично поле. Прав и обратен пиезоелектричен ефект - за структура на вурцит. Връзка между механично напрежение, механична деформация, електрично поле и поляризация.

21. Сегнетоелектрически и антисегнетоелектрически кристали. Преход от параелектрично в сегнетоелектрично състояние. По-важни сегнетоелектрици. Структура и произход на сегнетоелектричеството на бариевия титанат ($BaTiO_3$). Зависимост на диелектричната проникваемост от температурата и интензивността на електричното поле. Хистерезис и зависимост на спонтанната поляризация от температурата Сегнетоелектрични домени. Антисегнетоелектрици.

III. ДИНАМИКА НА КРИСТАЛНАТА РЕШЕТКА

22. Специфична топлина на кристалите. Правила на Дюлонг-Пти и Нойман-Коп. Температурна зависимост. Средна енергия на квантомеханичен осцилатор. Фонони. Статистика на фононите. Теория на Айнщайн за специфичната топлоемност.

23. Теория на Дебай за трептенията на кристалната решетка. Собствени трептения на хомогенна пръчка. Максимална честота на вълните в едномерен кристал. Спектър на Дебай на трептенията на кристалната решетка. Вътрешна енергия и специфична топлина на кристалите. Температура на Дебай. Закон на Дебай.

24. Вълни и трептения в едномерна кристална решетка, съставена от еднакви частици, според теорията на Борн и Карман. Безкрайна. Крайна. Дисперсионни криви.

25. Вълни в безкрайна едномерна кристална решетка, съставена от два вида частици, според теорията на Борн и Карман. Основни уравнения на движението на частиците. Акустични и оптични вълни - дисперсионни криви. Надлъжни и напречни вълни.

26. Понятия за теорията на Борн и Карман за вълните и трептенията на пространствени кристални решетки. Дисперсионни криви на оптични и акустични вълни в кристали от мед, натриев йодид и диамант.

27. Фонони. Енергия и квазиимпулс. Идеален фононен газ - метод на елементарните възбуждания. Реален фононен газ - време на живот, среден свободен пробег. Механизми на разсейване на фононите. N и U процеси. Механизъм на Ландау-Румер за взаимодействие на хиперзвукови вълни с топлинни фонони. Теплопроводност на фонония газ - зависимост от температурни дефекти. Ефект на Де Хаас-Бурмаш.

28. Поглъщане и отражение на инфрачервените лъчи в кристали в честотната област на фононите им спектри. Опитни данни за инфрачервените спектри и за селективното инфрачервено отражение при йонните кристали. Елементарна теория на поглъщането, свързано с възникване на оптически фонони. Формула на Борн за йонната поляризуемост и обяснение чрез нея на селективното инфрачервено отражение.

29. Нееластично разсейване на вълни и частици от фонони. Видове разсейване - еластично и нееластично. Манделщам-Брилуеново разсейване на светлината от акустични вълни и от топлинни фонони. Комбинационно разсейване на светлината от молекулни трептения и от оптични фонони. Еластично и нееластично разсейване на рентгенови фотони и неутрони от фонони.

IV. ЕЛЕКТРОННИ СЪСТОЯНИЯ И ЕЛЕКТРОННИ МИКРОПРОЦЕСИ В КРИСТАЛИТЕ

(Въпросите от тази част IV. се разработват самостоятелно от студентите като курсова работа и се представят като 15 минутна презентация).

30. Някои общи свойства на вълновите функции на електроните в кристалната решетка. Квантовомеханичната задача за кристалите. Адиабатно приближение. Едноелектронно приближение - метод на Хартри-Фок. Израждане на вълновата функция. Редуциран вълнов вектор и зони на Брилуен (построяване). Представяне на вълновата функция с модулирана плоска вълна - теорема на Блох. Условие на Борн и Карман. Нормиране.

31. Пресмятане на зонната структура на кристала в приближение на квазисвързания електрон. Качествена картина на възникването на енергетичните зони от съответните енергетични нива на изолираните атоми. Пресмятане на енергетичните зони в кристалите по метода на силната връзка.

32. Структура на s-зоните в кристали с проста кубична решетка.

33. Разпределение на електроните по състояния. Плътност на състоянията на електроните. Сингулярности на Ван-Хоф. Основен закон на разпределението в статистиката на Ферми-Дирак. Разпределение на електроните по енергия в незапълнена зона при $T=0^\circ\text{K}$ и $T \neq 0^\circ\text{K}$. Изроден и неизроден газ.

34. Ефективна маса на електроните. В област около екстремумите на дисперсионните криви на зоните - тензори $\frac{1}{m}$ и m . Уравнение на движението на електроните в квантовата

механика. Обобщен тензор на реципрочната ефективна маса на електрона. Отрицателна ефективна маса на електрона. Метод на ефективната маса. Експериментални методи.

35.Дупките като квазичастици. Основен закон на статистиката. Ефективна маса. Разпределение по енергия. Ефективен заряд.

36.Метали, полупроводници и диелектрици според зонната теория. Елементарни полупроводници от IV група - диамант, силиций, германий. Полупроводникови съединения A^3B^5 - индиев антимонид (InSb), галиев арсенид (GaAs).

37.Локализирани състояния на електроните и дупките в полупроводниците. Донорни нива в Ge и Si, създадени от примесни атоми на елементи от V група. Акцепторни нива в Ge и Si, създадени от примесни атоми на елементи от III група. Компенсирани и изродени полупроводници. Дълбоки примесни локални нива.

38.Междузонни преходи, причинени от поглъщането на светлина. Ръб на собствено поглъщане. Преки и непреки преходи.

39.Рекомбинация и залавяне на неравновесни носители на заряд в полупроводници. Генерация на неравновесни носители на заряд в полупроводниците - релаксационно време. Рекомбинация: между зонна и чрез рекомбинационни центрове; излъчвателна и безизлъчвателна. Залавяне - уловки за електрони.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Борисов, К.Калайджиев, Кратък увод във физиката на твърдото тяло, Пловдив, 1986.
2. М.Борисов, К.Маринова. Увод във физиката на твърдото тяло, първа част. Издателство Наука и изкуство, София, 1977.
3. М.Борисов, К.Германова, К.Маринова. Увод във физиката на твърдото тяло, втора част. Изд. Наука и изкуство, София, 1978.
4. И. Лалов, В. Дечева, Физика на кондензираната материя, Изд.СУ, София, 2005.
5. А. Апостолов, Физика на кондензираната материя, Изд.СУ, София, 2000.

гр. Пловдив, 2013г.

ИЗГОТВИЛ: Доц. д-р Т.Йовчева