

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микроэлектроники

КРИСТАЛЛОФИЗИКА

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности 41 01 02
“Микро- и нанoeлектронные технологии и системы”
заочной и дистанционной форм обучения

Минск 2005

УДК 539.2(075.8)
ББК 22.37 я 73
К 82

Составитель
А.П. Казанцев

Кристаллофизика: Метод. указания и контрольные задания для
К 82 студ. спец. 41 01 02 “Микро- и нанoeлектронные технологии и системы”
заочной и дистанц. форм обуч./Сост. А.П. Казанцев. – Мн.: БГУИР,
2005. – 20 с.
ISBN 985-444-753-7

В данной работе приводятся темы четырех разделов, из которых состоит курс “Кристаллофизика”. К каждой теме даются методические рекомендации, вопросы для самопроверки, а также основная и дополнительная литература. Приведены вопросы и задачи, входящие в индивидуальные контрольные задания.

УДК 539.2(075.8)
ББК 22.37 я 73

ISBN 985-444-753-7

© Казанцев А.П.,
составление, 2005
© БГУИР, 2005

Содержание

ВВЕДЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

Тема 1.1 Основные свойства кристаллов

Тема 1.2 Решеточное строение кристаллов и элементы точечной группы симметрии

Тема 1.3 Пространственные решетки и их элементарные ячейки

Тема 1.4 Кристаллографические системы и категории

Тема 2.1 Кристаллографические символы и индексы

Тема 3.1 Структуры реальных кристаллов

Тема 3.2 Дефекты кристаллических структур

Тема 4.1 Дифракционные методы определения структуры кристаллов

Тема 4.2 Основные методы определения химического состава кристаллов

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ЛИТЕРАТУРА

Библиотека БГУИР

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплину “Кристаллофизика” следует изучать последовательно по разделам. После ознакомления с методическими указаниями к темам необходимо подобрать литературу и законспектировать основные положения темы. При возникновении вопросов следует обратиться на кафедру.

Программа дисциплины соответствует учебному плану в объеме 51 лекционного часа.

В процессе изучения студент выполняет одну контрольную работу. К экзамену он допускается только после зачета по контрольной работе.

Распределение дисциплины по разделам и темам

Наименование разделов и тем	Количество лекционных часов
Введение	2
1. <i>Основы геометрической кристаллографии</i>	
1.1. Основные свойства кристаллов	2
1.2. Решеточное строение кристаллов и элементы точечной группы симметрии	8
1.3. Пространственные решетки и их элементарные ячейки. Симметрия пространственных решеток и элементы пространственной (трансляционной) группы симметрии	10
1.4. Кристаллографические системы и категории	2
2. <i>Кристаллографические символы и индексы</i>	
2.1. Символы узлов, точек, рядов, направлений. Символы плоскостей – индексы Миллера	6
3. <i>Структуры реальных кристаллов и дефекты структур</i>	
3.1. Плотнупакованные структуры. Основные типы кристаллических структур	6
3.2. Типы дефектов кристаллических структур и их влияние на свойства кристаллов	3
4. <i>Определение структуры и химического состава кристаллов</i>	
4.1. Дифракционные методы определения структуры кристаллов	6
4.2. Основные методы определения химического состава	6

кристаллов	
------------	--

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

Тема 1.1

Основные свойства кристаллов

Определение кристаллов. Однородность, дискретность, анизотропность и способность самоограняться. Моно-, поликристаллы и аморфные вещества. Узлы, ряды, плоские сетки, ребра, грани кристаллов. Связь закономерностей внутреннего строения с симметрией внешней формы и физическими свойствами кристаллических веществ.

Литература

Основная [1, с. 9 – 12; 461 – 466, 475 – 482], [2, с. 5 – 12], [3, с. 13 - 19].
Дополнительная [6, с.20 - 22], [7, с. 15 - 21].

Методические рекомендации

Изучая тему, необходимо уяснить, что кристаллы представляют собой твердые тела с регулярным расположением в пространстве материальных частиц – атомов или молекул, обуславливая тем самым однородность кристалла. Однако в микроскопических объемах, где нет одинаковых частиц, наблюдается дискретность строения кристалла. В макроскопических объемах частицы находятся на неодинаковых расстояниях в различных направлениях, следовательно, и свойства кристалла при этом будут разными, в чем и проявляется анизотропия. Вследствие регулярного строения и анизотропии в процессе роста кристаллов формируются его грани, в чем выражается способность кристаллов самоограняться.

Следует также уяснить, что материальные частицы регулярно расположены в пространстве наподобие решетки, поэтому их называют узлами кристаллической решетки, а их последовательное расположение в определенном направлении – рядами. Материальные частицы, расположенные в определенной плоскости, называют плоскими сетками. Ряды и плоские сетки могут формировать ребра и грани кристаллов. Кристаллы в силу закономерного, т.е. периодического, строения обладают симметрией, что проявляется во внешней форме кристалла в виде законченной геометрической фигуры.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое кристаллы ?
2. Что такое моно- , поликристаллы и аморфные вещества ?
3. В чем проявляются однородность и дискретность кристаллических тел ?
4. Что такое анизотропия и каковы причины ее возникновения ?
5. Как связано строение кристалла с его внешней формой ?
6. Почему свойства кристалла одинаковы в параллельных и связанных симметрией направлениях ?

Тема 1.2

Решеточное строение кристаллов и элементы точечной группы симметрии

Определение симметрии. Центр симметрии (С). Плоскость симметрии (Р). Ось симметрии (L). Симметрические преобразования. Классы точечной группы симметрии.

Пространственная и кристаллическая решетки. Базис и кристаллическая структура.

Одномерные и двухмерные решетки. Элементарная ячейка (ЭЯ) решетки. Правила выбора ЭЯ. Простые (примитивные), сложные решетки и ЭЯ.

Плоские сетки. Принципы классификации и типы плоских сеток.

Литература

Основная [1, с. 61 – 64; 80 – 88], [2, с.21 – 28], [3, с. 25 – 38].

Дополнительная [6, с. 42 – 52].

Методические рекомендации

При изучении темы следует уяснить, что такое симметрия, симметрично равные и зеркально равные фигуры. Необходимо усвоить, что симметрия и степень симметричного совершенства конечной геометрической фигуры выявляются с помощью элементов симметрии, которых для конечных фигур всего три – С, Р, L. Для одной фигуры могут быть характерны несколько как однотипных, так и разнотипных элементов симметрии. Их набор для данной фигуры определяет класс ее симметрии. Необходимо запомнить, что количество наборов элементов симметрии для конечных фигур – 32, т.е. существует 32 класса точечной группы симметрии.

Следует обратить внимание, что кристаллы и их строение описываются (моделируются) с помощью разных понятий, а именно: пространственной и кристаллической решетками, а структура – с помощью пространственной решетки и базиса. С теоретических позиций кристаллические решетки делят на одно-, двух- и трехмерные. Минимальную структурную единицу кристаллической решетки называют элементарной ячейкой. ЭЯ бывают примитивные (простые)

и сложные. Необходимо разобраться, по каким критериям осуществляется это деление, а также как выбирается ЭЯ двумерной решетки.

При изучении плоских сеток и их элементарных ячеек необходимо уяснить, что они классифицируются по типу треугольника, составляющего половину элементарной ячейки решетки.

Для облегчения запоминания типов плоских сеток рекомендуется составить таблицу с указанием параметров ЭЯ плоских сеток и типа треугольника, на основании которого формировался каждый тип плоской сетки. Это поможет в дальнейшем при классификации трехмерных ЭЯ, решеток на их основе и кристаллических систем (сингоний).

Вопросы для самопроверки

1. Что такое элемент точечной группы симметрии ?
2. Чем определяется класс точечной группы симметрии ?
3. Каким образом моделируются кристаллы ?
4. В чем разница понятий “пространственная”, “кристаллическая” решетки и “кристаллическая структура” ?
5. Что такое элементарная ячейка и ее объем ? Как выбираются векторы трансляций ЭЯ и какими бывают типы ЭЯ ?
6. Каков принцип классификации плоских сеток ? Перечислить типы плоских сеток.

Тема 1.3

Пространственные решетки и их элементарные ячейки

Понятие “пространственная решетка”. Принцип получения и типы элементарных ячеек трехмерных решеток. Симметрия пространственных решеток и элементы пространственной (трансляционной) группы симметрии.

Литература

Основная [1, с. 9 – 19], [2, с. 13 – 19], [3, с. 71 – 84].
Дополнительная [6, с. 15 – 20; 52 - 69], [7, с. 20 – 37], [8, с. 9 – 15].

Методические рекомендации

Пространственные решетки (ПР) получают на основе плоских сеток путем добавления к ним ортогональной или неортогональной трансляций. В результате трехмерное пространство заполняется бесконечным повторением трехмерных элементарных ячеек в виде параллелепипедов. Они отличаются друг от друга соотношением векторов трансляций и углами между ними.

Следует усвоить, что ЭЯ пространственных решеток бывают простыми и сложными. Это определяется числом материальных частиц в узлах, объеме и на гранях ЭЯ, а также тем, что для простых ЭЯ вектор трансляции ячейки дол-

жен быть равен геометрической сумме примитивных векторов трансляций ЭЯ. Необходимо также понять и усвоить, как рассчитывается количество атомов в ЭЯ.

Изучая ЭЯ пространственных решеток, необходимо усвоить, что количество типов простых и сложных ЭЯ всего пять: примитивная (P), базоцентрированная (C), объемноцентрированная (I), гранецентрированная (F) и примитивная ромбоэдрическая (R).

В силу идентичности ЭЯ кристаллическое пространство обладает симметрией, характерной для данной ЭЯ решетки, а в силу бесконечного повторения ЭЯ пространственные решетки характеризуются кроме элементов точечной группы симметрии элементами пространственной группы симметрии: трансляцией, плоскостью скользящего отражения и винтовой осью симметрии.

При изучении темы следует усвоить, как осуществляются симметрические преобразования с помощью элементов пространственной группы симметрии, и что полный набор элементов точечной и пространственной групп симметрии, характерный для данной пространственной решетки, называется пространственной группой симметрии.

Следует понять, что при исключении из пространственных симметрических преобразований элементов пространственной группы симметрии она переходит в точечный класс симметрии.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое пространственная решетка и как она получается ?
2. Перечислить типы ЭЯ пространственных решеток.
3. Как рассчитать количество атомов в ЭЯ ?
4. Перечислить элементы пространственной группы симметрии.
5. Что такое пространственная группа симметрии ? Количество пространственных групп симметрии.

Тема 1.4

Кристаллографические системы и категории

Классификация кристаллов. Типы кристаллографических систем (сингоний). Принцип деления сингоний на кристаллографические категории. Характеристики сингоний и категорий.

Литература

- Основная [2, с. 28 – 31], [3, с. 38 – 44].
Дополнительная [6, с. 32 – 36].

Методические рекомендации

При изучении темы следует уяснить, что деление кристаллов на системы (сингонии) осуществляется по типу элементарных ячеек. Каждая сингония характеризуется определенным типом (типами) ЭЯ. Всего существует 14 типов ЭЯ, называемых ячейками Браве.

Деление на кристаллографические категории осуществляется исходя из наличия осей симметрии второго и выше второго порядков. Следует запомнить названия систем и категорий и их основные характеристики.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое кристаллографическая система ?
2. Перечислить названия кристаллографических систем.
3. По какому принципу делятся кристаллографические системы на категории ?
4. Какими типами элементарных ячеек обладают кристаллографические системы ?
5. Сколько существует типов пространственных решеток и элементарных ячеек Браве ?

Тема 2.1

Кристаллографические символы и индексы

Кристаллографические обозначения (индексация) точек, узлов, рядов, направлений и плоскостей в виде индексов и символов. Индексы Миллера для плоскости.

Литература

Основная [1, с. 19 – 28], [2, с. 41 – 53], [3, с. 89 – 98].
Дополнительная [6, с. 22 – 32; 36 – 38], [7, с. 37 – 40].

Методические рекомендации

Для определения положения материальных частиц в кристалле существует система индексации узлов, точек, рядов, направлений и плоскостей кристаллов.

При изучении данной темы следует уяснить, что в основе индексации лежит использование координат узлов и точек, измеренных как в целочисленных, так и в дробных значениях векторов элементарных трансляций. Такой подход позволяет однозначно определить положение узла, точки, ряда, направления и плоскости в кристалле.

Следует обратить внимание на то, что символ плоскости определяется индексами (индексы Миллера), представляющими собой величины, обратные длинам отрезков, которые отсекаются плоскостью по координатным осям.

Необходимо различать узловые ряды, направления и плоскости, которые проходят через узлы решетки, от аналогичных, проходящих внутри ЭЯ, т.е. через точки с дробными координатами, измеренными в векторах элементарных трансляций.

Следует научиться переходить от дробных к целочисленным значениям индексов в символе.

Вопросы для самопроверки

1. Как определяются и обозначаются индексы узлов ЭЯ ?
2. Какими (целыми или дробными) являются индексы точек внутри и на гранях ЭЯ ?
3. Как индексируются ряды и направления в кристаллах ?
4. Каков принцип определения индексов плоскости ?
5. Как получить целочисленные индексы ряда по дробным координатам двух точек ряда ?
6. Как получить целочисленные индексы Миллера для плоскости, отсекающей по осям координат отрезки, не равные целым числам векторов элементарных трансляций ?

Тема 3.1

Структуры реальных кристаллов

Структуры с плотной упаковкой ГЦК (гранцентрированная кубическая) и ГПУ (гексагональная плотноупакованная).

Структуры ионных кристаллов типов NaCl и CsCl.

Структуры типа алмаза и ZnS.

Литература

Основная [1, с. 318 – 326; 338 – 358], [2, с. 88 – 94].

Дополнительная [6, с. 78 – 101], [7, с. 40 – 49], [8, с. 15 – 19].

Методические указания

При изучении темы следует уяснить, какие типы кристаллических структур встречаются наиболее часто, и разобраться, как получают плотноупакованные структуры на примере укладки шаров. Необходимо усвоить, что щелочно-

галлоидные соединения типа NaCl кристаллизуются в форме ГЦК, а соединения типа CsCl - в структуре ОЦК, при этом связь между частицами ионная, а координационные числа разные – 6 и 8 соответственно.

Структура алмаза может формироваться либо одноименными атомами типа C, Si, Ge, либо разноименными атомами типа ZnS, CdS, ZnSe, при этом связь между атомами ковалентная.

Следует также обратить внимание на то, что бинарные соединения типа ZnS могут кристаллизоваться в ГПУ-структуре, состоящей из двойных слоев, каждый из которых формируется атомами одного сорта, при расположении слоев из разноименных атомов друг над другом. Последующие двойные слои, образующие стопку слоев, смещаются горизонтально при сохранении тетраэдрических связей.

Вопросы для самопроверки

1. В каких структурах наиболее часто формируются кристаллы чистых металлов ?
2. За счет чего образуется плотная упаковка гексагональной структуры ?
3. Как формируется плотная упаковка ГЦК- и ГПУ-структур ?
4. Чему равно соотношение векторов элементарных трансляций $\frac{c}{a}$ для идеальной структуры ГПУ ?
5. Каким типом химических связей обладают атомы в структурах щелочногаллоидных соединений типа NaCl ?

Тема 3.2

Дефекты кристаллических структур

Классификация дефектов по мерности. Типы точечных дефектов. Образование дефектов по Шоттки и Френкелю. Дислокации. Типы дислокаций. Ось дислокаций. Вектор сдвига, контур и вектор Бюргерса.

Литература

Основная [1, с. 422 – 441; 455 – 461].

Дополнительная [6, с. 264 – 269], [7, с. 659 – 665; 695 – 709].

Методические рекомендации

При изучении темы следует разобраться, какие бывают типы дефектов в кристаллах. Точечными дефектами являются вакансии и внедрения, которые могут формироваться (образовываться) в комплексы и кластеры.

Следует усвоить, что дефекты существенно влияют на электрофизические свойства кристаллов. Это легко понять на примере примесных атомов, вводи-

мых в кристалл для обеспечения нужного типа электропроводности и величины удельной проводимости. Механизмы образования точечных дефектов по Шоттки и Френкелю различны. Дефекты искажают структуру, что приводит к возникновению внутренних напряжений, влияющих на механические свойства кристаллов.

Одномерные дефекты – дислокации – представляют собой недостроенную атомную плоскость внутри кристалла, что существенно влияет на механические свойства кристаллов. Следует различать краевые, винтовые и криволинейные дислокации. Наличие дислокаций определяется по контуру Бюргерса и характеризуется векторами Бюргерса. Следует различать эти понятия и уметь представлять их графически.

Дислокации возникают из-за сдвига атомных плоскостей в определенной части кристалла. В зависимости от направления сдвига различают краевые и винтовые дислокации, для которых вектор Бюргерса соответственно перпендикулярен либо параллелен оси дислокации.

Следует уяснить понятия «дислокации малоугловых границ» и «дислокационные стенки».

Вопросы для самопроверки

1. Что такое дефект кристаллической структуры ?
2. Как классифицируются дефекты кристаллических структур ?
3. Каковы механизмы образования дефектов по Шоттки и Френкелю ?
4. Какие бывают типы дислокаций ?
5. Что такое контур и вектор Бюргерса ?
6. Как влияют дефекты кристалла на его физико-механические свойства ?

Тема 4.1

Дифракционные методы определения структуры кристаллов

Дифракция и уравнения (условия) дифракции Вульфа – Брегга и Лауэ. Представление обратной решетки и связь векторов трансляций прямой и обратной решеток. Сфера Эвальда.

Методы определения структуры кристаллов: дифракция медленных электронов (ДМЭ) и дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ). Электронная микроскопия как метод определения структуры поверхности кристалла и типы электронных микроскопов.

Литература

Основная [1, с. 44 – 50], [2, с. 77 – 83], [3, с. 84 – 89], [4, с. 161 – 179], [5, с. 28 – 33; 67 – 69; 96 – 114; 127 – 133].

Дополнительная [7, с. 59 – 84], [8, с. 20 – 29], [9, с. 37 – 45; 95 – 100], [10, с. 193 – 200].

Методические рекомендации

При изучении темы следует вспомнить из курса физики, что такое дифракция и как она возникает при взаимодействии света с отражающими поверхностями. Необходимо разобраться в схеме, поясняющей дифракцию Вульфа – Брегга и позволяющей получить уравнения дифракции. Следует обратить внимание на то, что дифракция Вульфа – Брегга характерна для больших длин волн и отражения от плоскостей кристалла, а дифракция Лауэ – для коротких длин волн (рентгеновские лучи) и отражения от узлов решетки (материальных частиц кристалла). Обратная решетка кристалла – математическое представление прямой решетки, введенное для удобства расшифровки дифракционных картин, полученных экспериментально.

Вопросы для самопроверки

1. Почему дифракционные методы позволяют определять структуру кристаллов, параметры поверхностной ЭЯ и наличие дефектов структуры ?
2. Что такое обратная решетка и какова связь векторов трансляции прямой и обратной решеток ?
3. Каковы условия (уравнения) дифракции Вульфа – Брегга и Лауэ ?
4. Как связан вектор обратной решетки с вектором рассеяния и как определяется их связь с помощью сферы Эвальда ?
5. В чем сущность методов ДМЭ и ДОБЭ ? Что является регистрируемым сигналом ?
6. По какому принципу классифицируются и какие существуют типы электронных микроскопов ?

Тема 4.2

Основные методы определения химического состава кристаллов

Электронная ОЖЕ-спектроскопия. Фотоэлектрические и оптические методы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Электрон-фотонная спектроскопия характеристических потерь. Вторичная ионная масс-спектроскопия.

Литература

Основная [4, с. 88 – 93; 211 – 216; 228 – 230; 250 – 254; 262 - 271], [5, с. 133 – 155; 172 – 176; 220 – 228; 252 – 255; 284 – 289].

Дополнительная [9, с. 101 – 108; 126 – 128; 164 – 166; 212 – 214; 251 – 253; 332 – 352], [10, с. 163 – 185].

Методические рекомендации

Для определения химического состава поверхности и поверхностных слоев используют различные методы и способы их зондирования при различной энергии зондирующих частиц. Методы основаны на электронном, фотонном и ионном зондировании. Основным методом при электронном зондировании является ОЖЕ-спектроскопия.

Изучая этот метод, важно разобраться, как возникают и каковы способы регистрации ОЖЕ-электронов, а также какие химические элементы могут быть определены по ОЖЕ-спектрам. На электронном способе зондирования основан метод спектроскопии характеристических потерь.

Следует обратить внимание на то, что методы отличаются энергией зондирующих электронов, способом и видом регистрации вторичного сигнала. При изучении этих методов необходимо сделать сравнительную оценку возможностей, разрешающей способности и глубины анализа поверхности кристалла.

В фотоэлектрических методах зондирование осуществляется фотонами различных энергий (длин волн). По величине энергии, способу взаимодействия с поверхностью и виду регистрируемого сигнала различают методы в области инфракрасного спектра (спектры отражения), видимого (комбинационное отражение и эллипсометрия), ультрафиолетового (внешний фотоэффект) и рентгеновского (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия – РФЭС или электронная спектроскопия для химического анализа – ЭСХА) спектров.

При изучении методов следует обратить внимание на значения энергий зондирующих фотонов, характер вторичных сигналов и способы их регистрации.

Вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС) основана на зондировании поверхности ионами высоких энергий при регистрации вторичных (выбитых при бомбардировке) ионов и их распределении по массе, углам вылета, интенсивности и энергиям. Особое внимание следует уделить способу сепарации вторичных ионов по массе, возможностям, достоинствам и недостаткам метода.

Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются и какие существуют методы определения химического состава поверхности кристалла ?

2. Каков вид энергетического ОЖЕ-спектра и как с помощью энергетической диаграммы твердого тела пояснить механизм возникновения ОЖЕ-электронов ?

3. Какие существуют методы фотоэлектронной спектроскопии, каков вид энергетического спектра регистрируемых электронов ?

4. Как с помощью энергетической диаграммы твердого тела пояснить возникновение фотоэлектронов и как по спектру можно идентифицировать химический состав поверхности кристалла ?

5. В чем сущность метода ВИМС, что регистрируется в качестве информационного сигнала и каковы достоинства и недостатки метода ?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Каждый студент выполняет одно контрольное задание, номер которого совпадает с порядковым номером фамилии студента в зачетной ведомости либо определяется преподавателем при выдаче заданий.

Вопросы и задачи контрольных заданий

Вариант № 1

1. Деление сингоний на категории. Характеристики категорий.
2. Представление об обратной решетке.
3. Определить число атомов в элементарной ячейке гексагональной плотноупакованной структуры.

Ответ: $n = 2$ (6).

Вариант № 2

1. Кристаллографические системы. Принцип классификации. Основные характеристики сингоний.
2. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Цель исследования. Регистрируемый сигнал.
3. Рассчитать число атомов в элементарной ячейке гранецентрированной кубической решетки.

Ответ: $n = 4$.

Вариант № 3

1. Символы плоскостей, принцип их получения. Параллельные плоскости и их символ. Соотношение между отрезками, отсекаемыми параллельными плоскостями по осям координат.

2. Дислокации. Типы дислокаций. Контур и вектор Бюргерса. Малоугловые границы.

3. Элементарная ячейка ГЦК состоит из атомов в виде шаров радиусом r .

Показать, что часть объема, занятая атомами в такой ячейке, равна $\frac{\pi\sqrt{2}}{6} = 0,74$.

Вариант № 4

1. Символы рядов. Получение целочисленных индексов по дробным координатам точек ряда. Примеры символов узловых рядов.

2. Спектроскопия рассеяния медленных и обратного рассеяния быстрых ионов. Цели исследования. Регистрируемые сигналы.

3. Элементарная ячейка ОЦК состоит из атомов радиусом r . Атомы на телесной диагонали касаются друг друга. Показать, что часть объема, занятого атомами в такой ячейке, равна $\frac{\pi\sqrt{3}}{8} = 0,68$.

Вариант № 5

1. Элементы симметрии пространственных решеток.

2. Электронная ОЖЕ-спектроскопия. Цели исследования. Регистрируемый сигнал.

3. Рассчитать число атомов в примитивной (простой) элементарной ячейке.

Ответ: $n = 1$.

Вариант № 6

1. Типы элементарных ячеек трехмерных решеток и принцип их получения. Соотношения векторов трансляций и углов между ними для всех типов ЭЯ.

2. Электронная микроскопия и типы электронных микроскопов.

3. Определить объем элементарной ячейки ГЦК через радиус атома в форме шара для плотноупакованной структуры.

Ответ: $V_{ГЦК} = 16\sqrt{2}r^3$.

Вариант № 7

1. Симметрия. Элементы симметрии конечных фигур.

2. Дифракция как метод определения структуры. Условия дифракции Вульфа – Брегга.

3. Определить параметр решетки Ca, если решетка гранецентрированная кубическая и ближайшее расстояние d до соседних атомов $3,93 \text{ \AA}$.

Ответ: $5,56 \text{ \AA}$.

Вариант № 8

1. Кристаллы и их основные свойства: дискретность, однородность, анизотропия, способность самоограняться. Отличия монокристаллических веществ от поликристаллических и аморфных.

2. Дифракция медленных и отраженных быстрых электронов.

3. Определить параметр кристаллической решетки Fe. Плотность, $\rho = 7,86 \text{ г/см}^3$, молекулярная масса $M = 55,85 \text{ г/моль}$.

Ответ: $2,3 \text{ \AA}$.

Вариант № 9

1. Символы узлов и точек кристаллических структур.

2. Сравнительная характеристика методов определения химического состава кристаллов.

3. Элементарная ячейка простой кубической решетки состоит из атомов в виде шаров радиусом r . Показать, что часть объема, занятая атомами в такой ячейке, равна $\frac{\pi}{6} = 0,523$, если ребро ячейки $a = 2r$.

Вариант № 10

1. Кристаллические структуры типа алмаза и ZnS. Примеры кристаллов с такими структурами.

2. Сравнительная характеристика методов определения структуры поверхности кристалла.

3. Определить целочисленные индексы ряда по дробным координатам точек ряда: $A\left(\frac{1}{2} \frac{1}{3} \frac{1}{4}\right)$; $B\left(\frac{2}{2} \frac{2}{3} \frac{3}{4}\right)$.

Вариант № 11

1. Классы точечной группы симметрии. Принцип деления кристаллов по классам симметрии. Примеры простейших классов симметрии.

2. Методы фотоэлектронной спектроскопии. Цели исследования. Сравнительная оценка методов.

3. Определить число атомов в элементарной кубической ячейке Fe. Постоянная решетки $a = 2,27 \text{ \AA}$, плотность $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, атомный вес $A = 55,85$.

Ответ: ~ 1 .

Вариант № 12

1. Оси симметрии, порядок осей симметрии. Теорема об отсутствии в кристаллах осей 5 – го и выше 6 – го порядков. Примеры.

2. Дифракция Лауэ и уравнения дифракции.

3. Определить постоянную решетки элементарной ячейки NaCl. Плотность $\rho = 2,18 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, атомный вес $A_{\text{Na}} = 23$, $A_{\text{Cl}} = 35,46$.

Ответ: $2,81 \text{ \AA}$ ($5,63 \text{ \AA}$).

Вариант № 13

1. Типы плоских сеток и их классификация. Элементы симметрии плоских сеток.

2. Просвечивающая электронная микроскопия. Цель исследования. Образцы.

3. Определить объем элементарной ячейки ОЦК через радиус атома.

Ответ: $V_{\text{оцк}} = \frac{64r^3}{3\sqrt{3}}; \left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3$.

Вариант № 14

1. Решеточное строение кристаллов. Пространственная, кристаллические решетки и кристаллическая структура.

2. Дифракция рентгеновских лучей. Цель исследования. Регистрируемый сигнал. Энергия возбуждающего излучения.

3. Определить число атомов Al в единице объема вещества, если плотность $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Ответ: $6,02 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

Вариант № 15

1. Кристаллические структуры типа гексагональной плотноупакованной и гранцентрированной кубической. Примеры кристаллов с такими структурами.
2. Характеристические потери. Спектроскопия характеристических потерь.
3. Определить длины отрезков в векторах трансляций, отсекаемых плоскостью с индексами Миллера (1 2 3).

Вариант № 16

1. Цель и принцип получения примитивных элементарных ячеек сложных решеток типа ГЦК и ОЦК. Ячейки Вигнера – Зейтца.
2. Вторичная ионная масс–спектрометрия. Цель исследования. Регистрируемый сигнал.
3. Определить индексы плоскости, которая отсекает по осям отрезки:
 $a; \frac{1}{2}b; \frac{1}{3}c.$

Вариант № 17

1. Пространственные группы симметрии и их связь с классами точечной группы симметрии.
2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Цель исследования. Регистрируемый сигнал.
3. Рассчитать число атомов в объемно центрированной элементарной ячейке.

Ответ: $n = 2.$

Вариант № 18

1. Типы элементарных ячеек сложных пространственных решеток. Расчет числа частиц в элементарной ячейке.
2. Растровые электронные микроскопы и их типы. Цели исследования. Чувствительность и разрешающая способность.
3. Определить объем элементарной ячейки через радиус атома в форме шара для гексагональной плотноупакованной структуры.

Ответ: $V_{ГПУ} = 24\sqrt{2}r^3.$

Вариант № 19

1. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Концентрация и энергия образования дефектов. Механические напряжения на дефектах.
2. Вторичная ионная масс-спектрометрия. Цели исследования. Достоинство и недостатки метода.

3. Определить индексы плоскости, отсекающей по координатным осям отрезки: $\frac{1}{3}a$; $2b$; c .

Вариант № 20

1. Закон постоянства углов и полиморфизм.

2. Дефекты кристаллических структур.

3. Элементарная ячейка гексагональной плотноупакованной решетки состоит из одинаковых атомов радиусом r . Показать, что часть объема, занятого атомами в такой решетке, равна $\frac{\pi\sqrt{2}}{6} = 0,74$.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Чупрунов Е.В., Хохлов А.В., Фадеев М.А. Кристаллография. – М.: Изд-во физ. – мат. лит, 2000.

2. Шафрановский И.И., Алядвин В.Ф. Краткий курс кристаллографии. – М.: ВШ, 1984.

3. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. – М.: Наука, 1978.

4. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких плёнок. – М.: Мир, 1989.

5. Черепнин В.Т., Васильев М.А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов. – Киев: Наук. думка, 1982.

Дополнительная

6. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии. – Л.: Изд-во «Химия», Ленинград. отд., 1974.

7. Киттель Г. Введение в физику твёрдого тела. – М.: Наука, 1978.

8. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – М.: Наука, 1978.

9. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. – М.: Мир, 1989.

10. Пека Г.П. Физические явления на поверхности полупроводников. – Киев: Вища шк., 1984.

Св. план 2004, поз. 85

Учебное издание

КРИСТАЛЛОФИЗИКА

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности 41 01 02
“Микро- и нанoeлектронные технологии и системы”
заочной и дистанционной форм обучения

Составитель
Казанцев Анатолий Петрович

Редактор Н.А. Бебель
Компьютерная верстка М.В. Шишло

Подписано в печать
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ 475.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6

Библиотека БГУИР