

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о.декана факультета наук о материалах  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
член-корр. Е.А. Гудилин

« 11 » апреля 2023 г

**Программа государственного экзамена в бакалавриате по направлению  
«Химия, физика и механика материалов»**

**Химия и технология материалов**

1. Щелочные металлы и их соединения в технике и технологии. Щелочноземельные металлы и их соединения в современных материалах.
2. Бор, алюминий, галлий, индий, таллий и их соединения в современной технике и технологии.
3. Материалы на основе d- и f- элементов. Материалы на основе 3d-элементов.
4. Точечные дефекты, квазихимическая модель. Дислокации (векторное и континуальное описание). Вектор Бюргерса. Упругая энергия и плотность дислокаций.
5. Плоское скопление дислокаций. Дефекты упаковки, двойниковые дефекты. Оценка энергии дефекта упаковки по ширине растянутой дислокации.
6. Взаимодействие различных дефектов. Модели строения границ зерен. Сегрегация примесей в поликристаллическом материале.
7. Механизмы зарождения и размножения дислокаций. Механизмы пластической деформации и разрушения материалов.
8. Механизмы атомно-молекулярных процессов кристаллизации. Зависимости скорости роста от величины пересыщения в случае нормального роста, спирального роста (БКФ-механизм), механизма с образованием зародышей (ФКС-механизм).
9. Развитие граней кристалла: теорема Гиббса-Вульфа, габитус кристалла с точки зрения РВС-теории.
10. Термодинамика выделения фазы, принцип Данкова-Конобеевского. Гетерогенное зародышеобразование. Переохлаждение и кривизна ростового фронта.
11. Распределение примеси по длине растущего из расплава кристалла. Техническое оформление основных методов роста кристаллов из расплава.
12. Направленная кристаллизация. Условие стабильности интерфейса при направленной кристаллизации. Теория эвтектического роста.
13. Фазовые равновесия. Основные понятия: система, компонент, фаза, степень свободы. Условия равновесия фаз. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы Т-х двухкомпонентных систем.
14. Основные виды конгруэнтных и инконгруэнтных равновесий. Правило рычага. Способы графического изображения фазовых диаграмм трехкомпонентных систем. Квазибинарные разрезы. Принцип триангуляции.
15. Фазовая диаграмма и микроструктура материала. Микроструктура эвтектических и перитектических композитов. Ликвация и ее влияние на микроструктуру материала.
16. Закалка без полиморфного превращения. Закалка на мартенсит. Кристаллогеометрия и термодинамика мартенситного превращения.

17. Мартенситные превращения в металлических и неметаллических системах, их влияние на механические свойства материалов (изменение механических характеристик сталей при закалке, трансформационное упрочнение керамики на основе ZrO<sub>2</sub>).
18. Фазовые превращения с нормальной кинетикой. Перлитное превращение в сталях. ТТТ-диаграмма. Основные разновидности отжига 2-го рода.
19. Отжиг 1-го рода. Рекристаллизация. Основные модели процесса спекания.
20. Распад пересыщенного твердого раствора по спинодальному механизму и механизму образования и роста зародышей. Термодинамика процессов распада, роль упругой энергии. Старение материалов естественное и искусственное (на примере дуралюмина).
21. Зональная стадия распада твердого раствора; термодинамика и кинетика образования и строение зон Гинье-Престона. Природа упрочнения при дисперсионном старении.
22. Принципы химико-термической обработки. Виды термомеханической обработки материалов.

### **Физика материалов**

1. Колебания атомов одномерной двухатомной решетки. Акустические и оптические фононы, температура Дебая. Колебания атомов трехмерной решетки (зоны Бриллюэна, законы дисперсии и поверхности постоянной частоты).
2. Спектральная плотность фононов. Модели Эйнштейна и Дебая. Теплоемкость кристаллической решетки.
3. Приближение почти свободных электронов. Поверхности Ферми металлов. Метод Харрисона.
4. Предположения и следствия метода сильной связи. Заполнение энергетических зон электронами (металлы, полупроводники и диэлектрики, полуметаллы).
5. Волновая функция электрона в кристалле. Теорема Блоха. Квазимпульс электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.
6. Закон дисперсии, изоэнергетическая поверхность, эффективная масса электрона в кристалле.
7. К-р-метод. Энергетический спектр электрона в однозонном приближении. Правила сумм. Взаимодействие энергетических зон.
8. Параметры зонной структуры полупроводников. Зонная структура основных полупроводниковых материалов.
9. Прямой и инверсный спектры Кейна для полупроводников A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> и A<sup>2</sup>B<sup>6</sup>.
10. Энергетические уровни дефектов в полупроводниках. Элементарная теория примесных состояний. Примесные зоны.
11. Уравнение электронейтральности. Статистика носителей заряда в полупроводнике с одним типом примеси.
12. Неравновесные носители заряда (время жизни, механизмы рекомбинации). Уравнение непрерывности и примеры его использования.
13. Контакт металл-полупроводник (контактная разность потенциалов, энергетические диаграммы, вольтамперная характеристика).
14. Электронно-дырочный переход (энергетические диаграммы, идеальная ВАХ, ток насыщения).
15. Поверхностные состояния. Поверхностная проводимость. Эффект поля.
16. Классификация кинетических явлений. Электропроводность. Эффективная масса проводимости. Температурные зависимости подвижности носителей заряда в полупроводниках.
17. Оптические характеристики полупроводников. Определение параметров полупроводников по спектрам оптического поглощения.

18. Сверхпроводимость. Критические температура, магнитное поле, ток. Эффект Мейсснера.
19. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Вихри Абрикосова.
20. Физические свойства сверхпроводников. Размагничивающий фактор. Промежуточное состояние, разрушение сверхпроводимости током и магнитным полем.
21. Электрон-фононное взаимодействие. Куперовские пары. Основные положения теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера.
22. Закон дисперсии. Энергетическая щель. Плотность состояний элементарных возбуждений. Зависимость щели от температуры.
23. Спиновый и орбитальный магнитные моменты атомов. Влияние кристаллического поля на магнетизм атомов. Магнитные моменты атомов переходных и редкоземельных элементов.
24. Парамагнетизм. Функции Ланжевена и Бриллюэна. Закон Кюри-Вейсса.
25. Парамагнетизм электронов проводимости.
26. Ферромагнетизм. Основные характеристики магнитного состояния ферромагнетика. Приближение молекулярного поля. Зонный ферромагнетизм. Доменная структура. Магнитный гистерезис.
27. Природа магнетизма в твердых телах. Обменное взаимодействие. Типы магнитного упорядочения (ферромагнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм).
28. Размерное квантование в двумерных системах. Энергетический спектр, плотность состояний, концентрация двумерных электронов. Примеры двумерных структур.
29. Целочисленный квантовый эффект Холла. Энергетический спектр и волновые функции электронов в двумерных системах в квантующем магнитном поле. Перенос заряда. Краевые состояния.
30. Сверхрешетки. Энергетический спектр электронов, минизоны. Проводимость вдоль и перпендикулярно оси сверхрешётки. Осцилляции Блоха. Отрицательная дифференциальная проводимость. Резонансное туннелирование.
31. Графен. Структура графена. Точки Дирака. Закон дисперсии для электронов и дырок. Целочисленный квантовый эффект Холла в графене.

## Механика материалов

### Теоретическая механика

1. Законы Ньютона для материальной точки и твёрдого тела. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.
2. Теоремы об изменении количества движения материальной системы; об изменении главного момента количества движения материальной системы; об изменении кинетической энергии материальной системы.
3. Относительное движение. Сложное движение. Силы инерции. Связи – идеальные, голономные, неголономные.
4. Уравнения Лагранжа второго рода.

### Гидромеханика

- 5 Уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, энергии в механике сплошной среды. Понятие о замкнутой системе уравнений.
- 6 Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полная система уравнений. Типичные граничные условия.
- 7 Идеальная жидкость. Уравнения Эйлера в форме Громеки-Лэмба. Интеграл Бернуlli. Интеграл Коши-Лагранжа. Примеры.
- 8 Модель линейно-вязкой несжимаемой жидкости. Уравнения Навье-Стокса. Полная система уравнений. Условие прилипания на границе с твёрдым телом. Понятие о ламинарном и турбулентном режимах течения.

9 Определяющие параметры явления. Класс систем единиц. Размерность физической величины. П-теорема теории размерностей. Моделирование физических процессов на основе П-теоремы. Критерии подобия. Примеры (число Рейнольдса).

МДТТ и механика материалов.

10. Тензор деформаций Грина. Формулы выражения компонент тензора Грина через компоненты вектора перемещения. Вычисление с помощью тензора Грина: относительного изменения длины элементарного волокна; изменения угла между двумя элементарными волокнами; относительного изменения элементарного объема. Тензор малых деформаций Коши и тензор малых поворотов.
11. Формулы Чезаро. Уравнения совместности Сен-Венана.
12. Обобщенный изотермический линейный закон Гука. Потенциал линейно-упругого тела. Три общих типа симметрии упругих констант. Три специальных типа симметрий: ортотропный, трансверсально-изотропный и изотропный материалы. Материальные константы Ламе. Технические константы. Формулы, которые связывают константы Ламе и технические константы.
13. Общая постановка статической краевой задачи теории упругости при малых деформациях и малых поворотах: неизменность геометрической области, занятой деформируемым телом; система пятнадцати уравнений во внутренних точках области; объяснить необходимость условий Сен-Венана; три типа краевых условий. Принцип суперпозиции линейных задач. Теорема единственности решения статической задачи. Постановка задачи теории упругости в перемещениях. Уравнение Ламе.
14. Общая постановка статической краевой задачи теории упругости при малых деформациях и малых поворотах: неизменность геометрической области, занятой деформируемым телом; система пятнадцати уравнений во внутренних точках области; объяснить необходимость условий Сен-Венана; три типа краевых условий. Постановка задачи теории упругости в напряжениях. Уравнения Бельтрами-Митчелла.
15. Ослабление граничных условий: принцип Сен-Венана. Определение простейших задачах теории упругости. Формула Чезаро для простейших задач. Полуобратный метод Сен-Венана: решение задачи о растяжении призматического бруса под действием собственного веса.
16. Ослабление граничных условий: принцип Сен-Венана. Определение простейших задачах теории упругости. Формула Чезаро для простейших задач. Полуобратный метод Сен-Венана: решение задачи о кручении призматического бруса круглого сечения.
17. Ослабление граничных условий: принцип Сен-Венана. Определение простейших задачах теории упругости. Формула Чезаро для простейших задач. Полуобратный метод Сен-Венана: решение задачи о чистом изгибе призматического бруса.
18. Использование криволинейных координат: задача Ламе о деформировании толстостенной упругой однородной изотропной трубы под действием внешнего и внутреннего давления (кинематическая гипотеза; сведение задачи к краевой задаче обыкновенного дифференциального уравнения; уравнение Леви; формулы ненулевых компонент тензора напряжений).
19. Эффективные определяющие соотношения. Эффективный модуль Фойхта. Прямая формула смесей.
20. Эффективные определяющие соотношения. Эффективный модуль Рейсса. Обратная формула смесей.
21. Эффективные модули слоисто-волокнистого композита в плоско-напряженном состоянии в главных осях. Формула Акасаки для эффективного трансверсального модуля.

Зам. декана по учебной работе

Т.Б. Шаталова