

**Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»
Инженерно-физический факультет высоких технологий**

Калашников Е.Г.

**Методические указания
для самостоятельной работы студентов
по дисциплине «Физико-химические ос-
новы нанотехнологий»**

для студентов бакалавриата всех форм обучения

Ульяновск 2019 г.

Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физико-химические основы нанотехнологий» / составитель: Е.Г.Калашников. – Ульяновск: УлГУ, 2019.

Настоящие методические указания предназначены для студентов бакалавриата. В указаниях приведены литература по дисциплине, контрольные вопросы для самоконтроля и задачи для самостоятельной работы.

Студентам заочной и очно-заочной формы обучения следует использовать данные методические указания при самостоятельном изучении дисциплины.

Рекомендованы к введению в образовательный процесс Ученым советом Инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ (протокол № 11 от 18 июня 2019 г.).

Содержание

Литература для изучения дисциплины.....	4
Методические указания.	5
Контрольные вопросы.....	5
Задачи	7

Литература для изучения дисциплины

1. Калашников Е.Г. Физико-химические основы нанотехнологий : учеб. пособие для студентов по направл. 28.03.02 "Наноинженерия" / Калашников Евгений Гаврилович; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2017. - 172 с.
2. Калашников Е. Г. Введение в наноинженерию : учеб. пособие по направл. 152200 "Наноинженерия" / Е. Г. Калашников; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2016. - 172 с.
3. Нанотехнологии и специальные материалы : учебное пособие для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова ; под редакцией Ю. П. Солнцева. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2020. — 336 с. — ISBN 078-5-93808-346-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/97818.html>
4. Наноструктурные материалы : учебное пособие / под редакцией Р. Ханнинк. — Москва : Техносфера, 2009. — 488 с. — ISBN 978-5-94836-221-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/12730.html>
5. Филяк, М. М. Получение и исследование анодного оксида алюминия : практикум / М. М. Филяк, О. Н. Каньгина. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 104 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/33650.html>.
6. Методические указания по выполнению лабораторных работ по технологии наноматериалов для студентов бакалавриата, специалитета и магистратуры всех форм обучения / М. Ю. Махмуд-Ахунов, А. А. Соловьев, В. В. Рыбин, Т. М. Василевская; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019.

Методические указания

Контрольные вопросы

1. В чем отличие моно- от поликристалла?
2. Гомогенное зарождение новой фазы. Работа образования зародыша новой фазы в зависимости от радиуса и переохлаждения.
3. Конденсация пара. Потенциальный барьер для перехода пар-жидкость. Формула Томсона (Кельвина). Формула Лапласа.
4. Кристаллизация из раствора. Уравнение Оствальда-Фрейндлиха. Изменение химического потенциала при переохлаждении жидкости.
5. Кристаллизация из расплава. Снижение температуры плавления ультра малых частиц.
6. Гетерогенная нуклеация. Гетерогенное зарождение новой фазы. Влияние электрических зарядов
7. Структуры различной размерности. Квантовые ямы, проволоки и точки.
8. Системы 0D, квантовые точки. Люминесценция. Роль размера частицы. Дискретные уровни энергии в нанокристаллах. Люминесценция коллоидных частиц.
9. Экситоны Квантовые точки (КТ) большого и малого радиуса. Экситонные поправки.
10. Технология синтеза КТ CdSe. Реактор. Обратный холодильник. Химическая реакция.
11. Стадия нуклеации в пересыщенном растворе. Рост частиц в растворе. Стадия роста зародышей. Фокусировка по размерам. Термическая обработка. Созревание Оствальда.
12. Технология синтеза КТ CdSe. Стабилизация частиц. Стабилизаторы.
13. Размерно-селективное осаждение. Эффективность размерно-селективного осаждения.
14. Очистка коллоидного раствора. Осадители. Флокуляция.
15. Выделение фракций. Центрифугирование. Стабилизация квантовой ямы.
16. Металлические наночастицы. Поверхностный плазмонный резонанс и окраска. Размерная зависимость резонанса. Контроль размеров частиц. Контроль формы частиц.
17. Технология получения Me наночастиц. Метод синтеза AuNPs Броста-Шиффрина.
18. Синтез НЧ Me сплавов. Прекурсоры, стабилизаторы и растворители. Сверхрешетки.
19. Плазменная технология получения Me наночастиц. Получение НЧ Me в низкотемпературной плазме. Характеристики ВЧИ-плазмотронов.
20. Керамика и стекло. Синтез материалов с помощью золь-гель методов. Гидролиз. Поликонденсация. Реакции, происходящие в растворах солей металлов и оксидов. Процесс сушки. Окончательная термическая обработка. Преимущества использования

золь-гель технологии.

21. 14. Химическое осаждение (CVD). Рабочая концепция. Основные этапы процесса CVD. Состав типичной системы CVD: источники и питающие линии для газов; регуляторы массового расхода для дозирования газов в систему; реакционная камера или реактор; система для нагрева пластины, на которой осаждается пленка; а также датчики температуры.
22. Виды химического осаждения из паровой фазы: реакторы «с горячей стенкой» и реакторы с «холодной стенкой». Преимущества CVD.
23. Физическое осаждение из паровой фазы (PVD). Рабочая концепция. Этапы: Испарение; Перенос; Реакция; Осаждение. Важность PVD покрытий. Преимущества. Недостатки.
24. Аэрогели. Сверхкритическая сушка. Свойства аэрогелей.
25. Получение пористого кремния. Конструкции электрохимической ячейки для получения слоев ПК. Анодная реакция растворения кремния в водных растворах HF. Физико-химия анодного электрохимического окисления кремния.
26. Графен. Получение графена. Механическое отслаивание. Химическое отслаивание. Химическое отслаивание с применением оксида графена. Химическое осаждение из паровой фазы. Пиролиз карбида кремния.
27. Физические свойства графена. Гибридизация электронов. Кристаллическая решетка. Зонная структура графена. Линейный закон дисперсии. Эффективная масса. Ионисторы.
28. Фуллерены (C₆₀, C₇₀ и др.). Применение фуллеренов.
29. Углеродные нанотрубки. Хиральность. Одностенные нанотрубки. Многостенные нанотрубки. Физико-химия роста нанотрубок. Методы получения УНТ.
30. Наноматериалы на основе целлюлозы.

Задачи

1. Энергия фотонов пика поглощения наночастиц CdSe равна $E=1,8$ эВ. Каков размер этих частиц? $E_g=1,74$ эВ; $m_e^*=0,11m_e$; $m_h^*=0,45m_e$.
2. Определите длину волны пика поглощения наночастиц GaAs размером $R=3,5$ нм, если $E_g=1,42$ эВ; $m_e^*=0,063m_e$; $m_h^*=0,50m_e$, $\epsilon=13,2$.
3. Найдите критический радиус частиц CdSe в пересыщенном до $S=2,5$ растворе спирта, если удельная межфазная энергия $\sigma=0,235$ Дж/м²; плотность раствора $\rho=6,20 \cdot 10^3$ кг/м³, $M=191,4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
4. Вычислите эффективный радиус экситона в CdTe: $m_e^*=0,096m_e$; $m_h^*=0,63m_e$, $\epsilon=10,2$.
5. Найдите размер сферических квантовых точек GaAs, если $E_g=1,42$ эВ; $E_{\text{эфф}}=1,50$ эВ; $m_e^*=0,063m_e$; $m_h^*=0,50m_e$, $\epsilon=13,2$.
6. Энергия фотонов пика поглощения наночастиц CdSe равна $E=1,8$ эВ. Каков размер этих частиц? $E_g=1,74$ эВ; $m_e^*=0,11m_e$; $m_h^*=0,45m_e$.
7. Определите длину волны пика поглощения для малых частиц CdTe: $R=2$ нм; $E_g=1,45$ эВ; $m_e^*=0,096m_e$; $m_h^*=0,63m_e$.
8. Определите длину волны пика поглощения наночастиц GaAs размером $R=5,5$ нм, если $E_g=1,42$ эВ; $m_e^*=0,063m_e$; $m_h^*=0,50m_e$, $\epsilon=13,2$.
9. Найдите критический радиус частиц CdSe в пересыщенном до $S=6,5$ растворе спирта, если удельная межфазная энергия $\sigma=0,235$ Дж/м²; плотность раствора $\rho=6,20 \cdot 10^3$ кг/м³, $M=191,4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
10. Определите длину волны пика поглощения для малых частиц CdTe: $R=5$ нм; $E_g=1,45$ эВ; $m_e^*=0,096m_e$; $m_h^*=0,63m_e$, $\epsilon=10,2$.
11. Вычислите эффективный радиус экситона в CdTe, если: $m_e^*=0,096m_e$; $m_h^*=0,63m_e$, $\epsilon=10,2$.
12. Определите длину волны пика поглощения для малых частиц CdTe: $R=3$ нм; $E_g=1,45$ эВ; $m_e^*=0,096m_e$; $m_h^*=0,63m_e$.
13. Теплота плавления железа $\Delta H = 13,75 \text{ кДж/моль}$; межфазная поверхностная энергия $\sigma_{\text{ж-тв}} = 0,204 \text{ Дж/м}^2$, молярная масса $M = 55,85 \text{ кг/кмоль}$. При какой температуре будут плавиться частицы железа с $r = 40 \cdot 10^{-10}$ м?
14. Найдите давление насыщенного пара над сферической каплей воды с радиусом $r=5 \cdot 10^{-7}$ см при 20 °С. При такой температуре для воды $\sigma = 0,073$ Дж/м², $P_0=17,5$ мм.рт.ст.
15. При какой температуре будут плавиться частицы никеля радиуса $r = 50 \cdot 10^{-10}$ м? Для

- Ni: $\sigma=1,4 \text{ Дж/м}^2$, $M = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
16. 4. Определите критический размер капле ртути при конденсации при комнатной температуре ($T=300 \text{ К}$) из пара, пересыщенного на 12%. Сколько атомов в такой капле? Для Hg: $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\sigma_{ж-г} = 0,470 \text{ Дж/м}^2$.
17. 5. Давление насыщенного пара над плоской поверхностью никеля при 1653 К равно $p_0=0,133 \text{ Па}$. Каково давление насыщенного пара никеля над поверхностью частицы радиуса $r = 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$? Для Ni: $\sigma=1,4 \text{ Дж/м}^2$, $M = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
18. 6. Для железа теплота плавления $\Delta H = 13,75 \text{ кДж/моль}$; межфазная поверхностная энергия $\sigma_{ж-тв} = 0,204 \text{ Дж/м}^2$, молярная масса $M = 55,85 \text{ кг/кмоль}$. Рассчитайте критическую величину сферического зародыша, кристаллизующегося из расплава железа, при переохлаждении на $100 \text{ }^\circ\text{C}$.
19. Теплота плавления железа $\Delta H = 13,75 \text{ кДж/моль}$; межфазная поверхностная энергия $\sigma_{ж-тв} = 0,204 \text{ Дж/м}^2$, молярная масса $M = 55,85 \text{ кг/кмоль}$. При какой температуре будут плавиться частицы железа с $r = 40 \cdot 10^{-10} \text{ м}$?
20. 2. Найдите давление насыщенного пара над сферической каплей воды с радиусом $r=5 \cdot 10^{-7} \text{ см}$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$. При такой температуре для воды $\sigma = 0,073 \text{ Дж/м}^2$, $p_0=17,5 \text{ мм.рт.ст.}$
21. При какой температуре будут плавиться частицы никеля радиуса $r = 50 \cdot 10^{-10} \text{ м}$? Для Ni: $\sigma=1,4 \text{ Дж/м}^2$, $M = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
22. Определите критический размер капле ртути при конденсации при комнатной температуре ($T=300 \text{ К}$) из пара, пересыщенного на 12%. Сколько атомов в такой капле? Для Hg: $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\sigma_{ж-г} = 0,470 \text{ Дж/м}^2$.
23. Давление насыщенного пара над плоской поверхностью никеля при 1653 К равно $p_0=0,133 \text{ Па}$. Каково давление насыщенного пара никеля над поверхностью частицы радиуса $r = 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$? Для Ni: $\sigma=1,4 \text{ Дж/м}^2$, $M = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
24. Для железа теплота плавления $\Delta H = 13,75 \text{ кДж/моль}$; межфазная поверхностная энергия $\sigma_{ж-тв} = 0,204 \text{ Дж/м}^2$, молярная масса $M = 55,85 \text{ кг/кмоль}$. Рассчитайте критическую величину сферического зародыша, кристаллизующегося из расплава железа, при переохлаждении на $100 \text{ }^\circ\text{C}$.