

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

УТВЕРЖДАЮ

Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева

\_\_\_\_\_ В.А. Колесников

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных**  
**работников высшей школы**

по направлению  
«ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ»

на базе учебного курса

**«Процессы получения наночастиц и наноматериалов»**

Цель Изучение основных процессов получения наночастиц и наноматериалов

Категория слушателей преподаватели и научные работники высшей школы

Примерный срок обучения 24 часа

Форма обучения с частичным отрывом от работы

Режим занятий 8 часов в день

**Целью данного курса** является приобретение знаний о химических, физических и биологических методах синтеза наночастиц и наноматериалов, о способах контролируемого роста для получения наночастиц требуемого размера и формы, о методах синтеза пленок и покрытий, массивных наноструктурированных и микропористых материалов, о стабилизации дисперсий наночастиц в полярных и неполярных средах и самоорганизации наночастиц в пленках и объемных структурах.

## Требования к уровню освоения учебного курса.

Преподаватели должны:

### **Знать:**

- физические, химические и биологические методы синтеза наночастиц и наноматериалов, методы стабилизации наночастиц и наноматериалов;
- процессы получения и области применения полимерных, керамических, нанокomпозиционных, магнитных и др. функциональных наноматериалов.

### **Иметь навыки:**

- получения наночастиц благородных металлов, полупроводников и магнитных материалов;
- получения нанокomпозитов,
- получения пленок и покрытий.

### **Иметь представление:**

- о методах контролируемого осаждения в водной среде,
- об основах золь-гель технологии,
- об особенностях синтеза наночастиц и наноматериалов в сверхкритических жидкостях,
- о способах получения углеродных нанотрубок, фуллеренов и других углеродных наноструктур,
- о методах получения консолидируемых наноматериалов,
- о контролируемой кристаллизации аморфных материалов,
- о видах матриц, используемых для темплатного синтеза наночастиц и наноматериалов.
- О внутриклеточном и внеклеточном синтезе наночастиц и наноматериалов.

Научные работники должны:

### **Знать:**

- физические, химические и биологические методы синтеза наночастиц и наноматериалов, методы стабилизации наночастиц и наноматериалов;
- процессы получения и области применения полимерных, керамических, нанокomпозиционных, магнитных и др. функциональных наноматериалов.

### **Иметь навыки:**

- самостоятельно ориентироваться в литературе, посвященной получению наночастиц и наноматериалов,
- анализировать достоинства и недостатки различных методов получения наночастиц и наноматериалов,
- выбирать рациональные методы синтеза нанообъектов и наноматериалов.

### **Иметь представление:**

- о физических, химических и биологических методах получения наночастиц и наноматериалов;
- о способах получения мезопористых материалов,
- о способах получения тонких пленок и покрытий.

Учебный курс «Процессы получения наночастиц и наноматериалов» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного курса обеспечивает слушателя необходимым объемом знаний по выбранной тематике. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному обсуждению рефератов по выбранным темам, к выполнению лабораторного практикума в специализированной лаборатории кафедры наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д.И.Менделеева. Дистанционная часть учебного курса составляет 12 часов учебной нагрузки и включает теоретическую часть (лекционную) и тестирование.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены теоретические основы химических, физических и биологических методов синтеза наночастиц и наноматериалов, о методах синтеза пленок и покрытий, о способах получения наночастиц со структурой ядро-оболочка и многослойных наночастиц, о способах ограничения роста и стабилизации наночастиц в полярных и неполярных средах.

Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций.

### **Содержание лекционного курса**

#### **Лекция 1. Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах**

Основные химические реакции, приводящие к синтезу наночастиц в жидких средах. Формирование золь-коллоидные растворы. Получение наночастиц золота, серебра и других благородных металлов. Получение наночастиц несферической формы. Синтез нанопроволоки и наностержней металлов.

Синтез магнитных наночастиц в полярных и неполярных средах. Стабилизация наночастиц и получение магнитных жидкостей.

Основные способы синтеза полупроводниковых наночастиц - контролируемого осаждения, молекулярных прекурсоров. Основные факторы, влияющие на размер синтезируемых наночастиц. Кинетический контроль роста наночастиц.

#### **Лекция 2. Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.**

Основные стадии золь-гель процесса. Особенности гидролиза и поликонденсации алкоксидов кремния в щелочной и кислой среде. Гелеобразование и синерезис. Удаление растворителя - образование ксерогелей и аэрогелей. Получение золь-гель методом наноматериалов на основе оксидов кремния и титана. Синтез золь-гель методом нанокompозитов типа "неорганика-неорганика" и "органика-неорганика".

Разновидности методов синтеза наночастиц и наноматериалов в сверхкритических жидкостях. Роль сверхкритической жидкости при синтезе - растворитель, соразтворитель, анти-растворитель, растворенное вещество, реакционная среда. Схемы основных методов. Использование сверхкритической воды и диоксида углерода для получения наночастиц.

Варианты гидро- и сольво-термального синтеза - получение наночастиц при протекании физических и химических процессов. Основные параметры, влияющие на морфологию синтезируемых наноматериалов.

#### **Лекция 3. CVD и PVD процессы. Плазмохимическое осаждение.**

Классификация CVD и PVD процессов по давлению и способам введения прекурсоров. Методы получения углеродных наноматериалов. Пиролитические способы.

Методы плазмохимического осаждения в зависимости от способа образования плазмы. Особенности осаждения в плазме и лазерном луче. Лазерно-термический способ получения углеродных нанотрубок.

#### **Лекция 4. Методы получения консолидированных наноматериалов. Методы интенсивной пластической деформации. Контролируемая кристаллизация аморфных материалов.**

Методы получения консолидированных наноматериалов. Метод Г.Глейтера (газофазное осаждение и компактирование). Прессование и спекание. Электроразрядное спекание. Горячая обработка давлением (горячее прессование, ковка, экструзия). Деформация кручением при высоких давлениях. Равноканальное угловое прессование. Обработка давлением многослойных композитов. Специальная прокатка. Особенности наноструктур, образующихся в методе интенсивной пластической деформации.

Особенности перехода материала из аморфного в микро- и нанокристаллическое состояние. Размеры кристаллов, возникающих внутри аморфного материала при различных условиях кристаллизации.

#### **Лекция 5. Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов. Биологические методы синтеза наночастиц и наноматериалов.**

Использование мицеллярных систем и микроэмульсий для синтеза наночастиц. Основные факторы, влияющие на размер и форму, синтезируемых наночастиц. Синтез наночастиц в микроэмульсиях в сверхкритическом оксиде углерода.

Использование гексагональных и кубических жидких кристаллов в качестве матрицы для синтеза наноматериалов и нанопористых тел.

Синтез нанокомпозитов наночастица-дендример. Методы молекулярного наслаивания. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.

Биомембраны и другие объекты биологического происхождения. Внутриклеточный и внеклеточный синтез наночастиц и наноматериалов. Магнетобактерии, магнетосомы. Синтез наночастиц с использованием биомолекул (ДНК, аминокислот и др.).

Очная часть учебного курса представляет собой обсуждение рефератов по выбранным темам, выполнение лабораторных работ в специализированной лаборатории кафедры наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д.И.Менделеева. Задача очной части курса – углубление и закрепление информации, освоенной в ходе дистанционной части курса, включая знакомство с лабораторией по синтезу наночастиц и наноматериалов. Очная часть учебного курса составляет 12 часов учебной нагрузки.

#### Основные задания на лабораторный практикум

- 1. Получение наночастиц золота методом осаждения в водном растворе**  
Синтез наночастиц золота размером 10-20 нм в водном растворе по методу Туркевича. Ознакомление с особенностями данного метода получения наночастиц золота. Оценка размера наночастиц. Изменение цвета раствора при агрегации наночастиц золота.
- 2. Синтез наночастиц сульфида кадмия в микроэмульсии**  
Получение микроэмульсии, капли которой являются нанореактором для последующего синтеза наночастиц. Синтез наночастиц сульфида кадмия в микроэмульсии. Наглядное подтверждение изменения цвета дисперсии наночастиц в зависимости от их размера.

## Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 12 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru). Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются тестовые вопросы для самопроверки и контрольные вопросы.

### Тестовые вопросы к курсу «Процессы получения наночастиц и наноматериалов»

#### Лекция 1. Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах.

**Вопрос 1.** При увеличении пересыщения в системе скорость образования центров кристаллизации:

- а - уменьшается,
- б - увеличивается,
- в - не изменяется,
- г - в разных системах по-разному.

**Ответ –**

**Вопрос 2.** В методе Туркевича в качестве восстановителя используется:

- а - оксалат натрия,
- б - ацетат натрия,
- в - цитрат натрия,
- г - карбонат натрия.

**Ответ -**

**Вопрос 3.** Коллоидные растворы сферических наночастиц золота размером 10-20 нм имеют окраску:

- а - синюю,
- б - зеленую,
- в - желтую,
- г - красную.

**Ответ -**

**Вопрос 4.** При синтезе магнитных наночастиц в водной среде необходимо:

- а - использовать хлорид  $\text{Fe}^{3+}$  и частично восстановить ее до  $\text{Fe}^{2+}$ ,
- б - использовать хлорид  $\text{Fe}^{2+}$  и частично окислить ее до  $\text{Fe}^{3+}$ ,
- в - использовать смесь хлоридов двух- и трехвалентного железа,
- г - использовать металлическое железо, при растворении которого в соляной кислоте образуется смесь двух солей.

**Ответ -**

**Вопрос 5.** Нанесение оболочки  $\text{SiO}_2$ :

- а - увеличивает устойчивость дисперсий за счет образования гелеобразного слоя на поверхности наночастиц,
- б - увеличивает устойчивость дисперсий за счет электростатической стабилизации,
- в - два фактора (а) + (б),
- г - ни один из этих факторов.

**Ответ -**

## **Лекция 2. Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.**

**Вопрос 1.** Недостатком золь-гель метода синтеза НЧ является:

- а - часто образуются пористые структуры,
- б - широкое распределение НЧ по размерам,
- в - часто образуются частицы размером более 100 нм,
- г - аморфные НЧ.

**Ответ -**

**Вопрос 2.** Синтез НЧ золь-гель методом. Продукт, образующийся при тепловой сушке геля, называется:

- а - наногель,
- б - аэрогель,
- в - ксерогель,
- г - олеогель.

**Ответ -**

**Вопрос 3.** Наиболее часто наночастицы синтезируют в сверхкритической:

- а - воде,
- б - изопропанолу,
- в - бензоле,
- г - толуолу.

**Ответ -**

**Вопрос 4.** Можно ли синтезировать разветвленные наночастицы в сверхкритических условиях:

- а - да,
- б - да, но они существуют только в сверхкритических условиях и разрушаются при переходе в обычные условия,
- в - теоретически можно, но никто не пробовал,
- г - нет.

**Ответ -**

**Вопрос 5.** Целесообразно ли проводить гидротермальный синтез наночастиц с микроволновым нагревом:

- а - да, время проведения процесса уменьшается,
- б - нет, так как время синтеза уменьшается незначительно, а требуется более сложное оборудование,
- в - нет, так как время синтеза остается таким же, как и при традиционном нагреве, но требуется более сложное оборудование,
- г - нет, так как такой способ нагрева неэффективен и приводит к увеличению времени проведения синтеза.

**Ответ -**

## **Лекция 3. CVD и PVD процессы. Плазмохимическое осаждение.**

**Вопрос 1.** CVD:

- а) испарение и осаждение в инертной среде,
- б) испарение и осаждение в реакционной среде с получением новых соединений,
- в) самораспространяющийся высокотемпературный синтез,

г) электронный чип на основе квантовой точки.

**Ответ -**

**Вопрос 2. PVD:**

- а) испарение и осаждение в инертной среде,
- б) испарение и осаждение в реакционной среде с получением новых соединений,
- в) самораспространяющийся высокотемпературный синтез,
- г) электронный чип на основе квантовой точки.

**Ответ -**

**Вопрос 3. В CVD процессе прекурсоры могут транспортироваться к субстрату:**

- а) в виде аэрозоля,
- б) в жидком состоянии,
- в) в твердом состоянии,
- г) а) + б) + в)

**Ответ -**

**Вопрос 4. Какой метод не относится к основным методам получения углеродных нанотрубок и нановолокон:**

- а) дуговой,
- б) лазерно-термический,
- в) пиролитический,
- г) биотехнологический.

**Ответ -**

**Вопрос 5. Плазмохимические методы могут протекать:**

- а) в тлеющем разряде при постоянном токе,
- б) с использованием горячего катода,
- в) в системе с индуктивной плазмой.
- г) а) + б) + в)

**Ответ -**

#### **Лекция 4. Методы получения консолидированных наноматериалов.**

##### **Контролируемая кристаллизация аморфных материалов. Методы интенсивной пластической деформации.**

**Вопрос 1. Какой метод не относится к способам получения консолидированных наноматериалов:**

- а) компактирование ультрадисперсных порошков,
- б) синтез в сверхкритических условиях,
- в) контролируемая кристаллизация аморфных материалов,
- г) Интенсивная пластическая деформация материалов.

**Ответ –**

**Вопрос 2. Метод Г. Глейтера:**

- а) пиролиз углеводов,
- б) золь-гель метод,
- в) плазмохимический синтез,
- г) газофазное осаждение и компактирование.

**Ответ –**

**Вопрос 3. Переход материала из аморфного в микро- и нанокристаллическое состояние происходит при:**

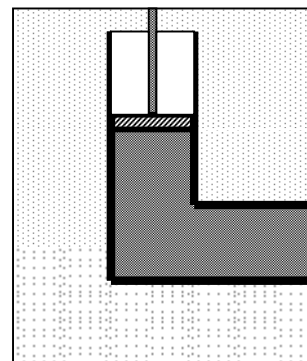
- а) спекании аморфных порошков,
- б) при горячем прессовании,
- в) при экструзии,
- г) а) + б) + в)

**Ответ -**

**Вопрос 4.** Схема какого метода показана на рисунке:

- а) кручение под высоким давлением,
- б) равноканальное угловое прессование,
- в) всесторонняя ковка,
- г) специальная прокатка.

**Ответ –**



**Вопрос 5.** Что относится к особенностям наноструктурных материалов, полученных методом интенсивной пластической деформации:

- а) неравновесное состояние границ зерен,
- б) правильная кристаллическая решетка,
- в) одинаковый химический состав на границах и внутри зерен,
- г) отсутствие остаточной пористости и минимальная степень загрязнения материала.

**Ответ –**

#### **Лекция 5. Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов. Биологические методы синтеза наночастиц и наноматериалов.**

**Вопрос 1.** В каких структурах, образуемых молекулами поверхностно-активных веществ, можно синтезировать сферические наночастицы:

- а - в мицеллах,
- б - в кубической фазе,
- в - в гексагональной фазе,
- г – в ламеллярной фазе.

**Ответ –**

**Вопрос 2.** Наностержни можно получить при матричном синтезе в структуре, образованной ПАВ:

- а - прямая гексагональная фаза,
- б - обратная гексагональная фаза,
- в - обратная кубическая фаза,
- г - прямая кубическая фаза.

**Ответ –**

**Вопрос 3.** Можно ли синтезировать наночастицы Ag в микроэмульсии в сверхкритическом CO<sub>2</sub>:

- а - да,
- б - нет, образуются микрочастицы,
- в - нет, образуются микропористые структуры,
- г - нет, образуются нанопористые структуры.

**Ответ –**

**Вопрос 4.** При биологическом синтезе образование наночастиц происходит:



- а - внутри клетки микроорганизма,
- б - вне клетки,
- в - либо внутри, либо вне клетки,
- г – микроорганизмы не могут синтезировать наночастицы.

**Ответ –**

**Вопрос 5. Магнетобактерии:**

- а - искусственно выведены, синтезируют магнетит,
- б - существуют в природе, синтезируют магнетит,
- в - существуют в природе, обитают в железосодержащих водных средах, но магнетит не синтезируют,
- г - нет таких бактерий.

**Ответ –**

### **Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 30 вопросов**

1. Что означает относящийся к созданию нанообъектов термин "Top down"?
2. Что означает относящийся к созданию нанообъектов термин "Bottom up"?
3. Какие соединения используются в качестве прекурсоров при синтезе наночастиц золота?
4. Какие соединения и в каком соотношении используются для синтеза магнитных наночастиц в водной среде? При синтезе в каких условиях образуются более мелкие магнитные наночастицы?
5. Какие соединения используются в качестве молекулярных прекурсоров при синтезе полупроводниковых наночастиц? При каких условиях получается более узкое распределение наночастиц по размерам при использовании метода молекулярных прекурсоров для синтеза полупроводниковых наночастиц?
6. В каких условиях синтезируются наночастицы, состоящие из сплава двух металлов и имеющие структуру ядро-оболочка?
7. За счет каких факторов увеличивается устойчивость дисперсий наночастиц при нанесении оболочки  $\text{SiO}_2$ ? Устойчивы ли дисперсии, содержащие наночастицы с оболочкой из  $\text{SiO}_2$ , в изоэлектрической точке?
8. В какой среде проводится гидролиз алкоксидов кремния при синтезе наночастиц и наноматериалов из  $\text{SiO}_2$  золь-гель методом?
9. В чем отличие аэрогеля от ксерогеля?
10. Каковы особенности золь-гель синтеза наночастиц НЧ  $\text{TiO}_2$ ? В какой среде следует проводить процесс?
11. Какие среды наиболее часто используются для синтеза наночастиц в сверхкритических условиях?
12. Какова роль сверхкритических жидкостей при сольво- и гидротермальном синтезе?
13. Какие структуры образуются при синтезе цеолитов гидротермальным методом?
14. Какой метод получения углеродных нанотрубок и нановолокон является основным?
15. Где осаждаются нанотрубки в дуговом методе?
16. В каком случае получают однослойные нанотрубки в дуговом способе?
17. Какие способы используются для получения фуллеренов?
18. В чем заключается PVD-метод?
19. В чем заключается CVD-метод?
20. Каковы особенности плазмохимического осаждения при синтезе наночастиц?
21. Каковы особенности осаждения при синтезе наночастиц в плазме и лазерном луче.
22. Как образуются конденсационно-кристаллизационные структуры?
23. В чем заключается метод Г. Глейтера?

24. Какие основные особенности перехода материала из аморфного в микро- и нанокристаллическое состояние?
25. Каковы особенности наноструктур, образующихся в методе интенсивной пластической деформации?
26. При протекании каких химических реакций можно синтезировать наночастицы в микроэмульсиях?
27. При синтезе наночастиц в микроэмульсии в сверхкритическом CO<sub>2</sub>, на какой стадии процесса происходит образование микроэмульсии?
28. При использовании какой структуры, образованной ПАВ, можно проводить синтез наностержней?
29. Где происходит синтез наночастицы при использовании дендримеров в качестве темплата? Как влияет уровень генерации дендримера на структуру синтезируемого композита наночастицы-дендример?
30. Может ли происходить образование наночастиц и наноматериалов внутри и вне клетки живого организма при биологическом синтезе?

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для углубления усвоения всего учебного курса.

**Темы контрольных рефератов по курсу «Процессы получения наночастиц и наноматериалов»**

1. Синтез наночастиц благородных металлов при осаждении в водных средах. Получение несферических наночастиц – нанокубов, нанопирамид, нановолокон и др.
2. Получение полупроводниковых наночастиц. Сравнение и критический анализ различных способов синтеза.
3. Синтез наночастиц, состоящих из сплава металлов, и со структурой ядро-оболочка.
4. Получение золь-гель методом наноматериалов и нанокомпозитов на основе оксида титана.
5. Синтез мезопористых материалов в сверхкритических жидкостях.
6. Способы получения углеродных нанотрубок. Особенности синтеза однослойных и многослойных углеродных нанотрубок.
7. Получение фуллеренов.
8. Всесторонняя ковка (прессование) с многократной сменой оси деформации в методе интенсивной пластической деформации.
9. Синтез наночастиц металлов в микроэмульсиях.
10. Синтез наночастиц бактериями.

**Учебно-тематический план**

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час	В том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное	Самостоятельная работа. Подготовка ответов	Очный практикум или другое практичес	

			общение преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	с на контрольные вопросы	кое задание	
«Процессы получения наночастиц и наноматериалов»	24 ч	10	2	12	1. Тесты для самотестирования 2. Контрольные вопросы (электронная зачётка)	
<b>Лекция № 1</b> Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах.		2				
<b>Лекция № 2</b> Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.		2				
<b>Лекция № 3</b> CVD и PVD процессы. Плазмохимическое осаждение.		2				
<b>Лекция № 4</b> Методы получения консолидированных наноматериалов. Методы интенсивной пластической деформации. Контролируемая кристаллизация аморфных материалов.		2				
<b>Лекция № 5</b> Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов. Биологические методы синтеза наночастиц и наноматериалов.		2				
Итоговый контроль		1. Вопросы для самотестирования	2. Контрольные вопросы (электронная зачётка)	3. Реферат Отчеты о выполнении лабораторных работ	Реферат	

## Литература

а) основная

1. 1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М., Физматлит, 2007, 416 с.
2. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Издательский центр «Академия», 2005, 192с.
3. Генералов М.Б. Криохимическая нанотехнология: Учебное пособие для вузов. М.: ИКЦ "Академкнига", 2006, 325 с.
4. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. Учебное пособие. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006, 309 с.
5. Мержанов А.Г., Мукасян А.С. Твердопламенное горение. Москва: Торус Пресс, 2007, 336 с.

6. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: Академкнига, 2007, 398 с.
7. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / Под. ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. – М. Физматлит, 2006, 552 с.

б) дополнительная

1. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. - 672 с.
2. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004, 208 с.
3. П.Харрис Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера. 2003. – 336с.
4. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.-293 с.
5. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. Учебное пособие. - М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.
6. Захарова Г.С., Волков В.Л., Ивановская В.В., Ивановский А.Л. Нанотрубки и родственные структуры оксидов металлов. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. - 240 с.
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры: Пер. с англ. / Под ред. Ж.И. Алферова, Ю.В. Шмарцева. М.: Мир, 1989.

Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru)