

## Программа

краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников высшей школы  
по направлению

«Нанотехнологии в фотонике и оптоэлектронике, компонентная база и устройства»  
на базе учебного курса

### «Нанопотоника»

Цель: изучение физических принципов и применений нанопотоники

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 24 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

*Целью данного курса* является знакомство с общими физическими принципами нанопотоники, освоение ее принципов и методов на уровне, достаточном для чтения специальной научной литературы и дальнейшей самостоятельной подготовки к работе в одном из направлений этой научной дисциплины.

## Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- Знать:
  - область применения нанопотоники;
  - физические основы нанопотоники и оптики наноструктур ;
  - экспериментальные и технологические методы современной нанопотоники.
- Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области нанопотоники;
  - включать приобретенные знания в области нанопотоники (спектроскопии и фотофизики наноструктур) в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
  - переносить полученные знания в области технологий нанопотоники на смежные предметные области и использовать эти знания для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
  - о теоретических моделях нанопотоники;
  - о технологических процессах получения наноструктур, экспериментальных методах нанопотоники для их исследования и о применении достижений нанопотоники в смежных областях;
  - о элементарных процессах – резонансном поглощении, спонтанном и вынужденном испускании наноструктур
  - о взаимодействии мощного лазерного излучения с наноструктурами;
  - о методах анализа результатов в области нанопотоники.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
  - область применения технологий нанопотоники;

- физические основы нанофотоники;
- экспериментальные методы и принципиальное устройство приборов используемых в нанофотонике;
- теоретические модели в области нанофотоники и их применимость;
- физические механизмы взаимодействия электромагнитного излучения с наноструктурами.
- 2.Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области технологий нанофотоники;
  - планирования и проведения исследований и экспериментов в области нанофотоники ;
  - генерировать новые плодотворные научно-технические и инновационные идеи с использованием технологий нанофотоники;
  - переносить полученные знания в области нанофотоники на смежные предметные области и использовать эти знания для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности;
- 3.Иметь представление:
  - о технологических процессах получения наноструктур, экспериментальных методах нанофотоники для их исследования и о применении достижений нанофотоники в смежных областях;
  - о взаимодействии лазерного излучения с наноструктурами;
  - о методах анализа результатов в области нанофотоники.

Учебный курс «Нанофотоника» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ».

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические основы нанофотоники, получившей в последнее время широкое распространение как новая методология и новый подход к разработке оптоэлектронных приборов и приборов квантовой электроники, таких как светодиоды, фотовольтаические элементы, сверхчувствительные сенсоры, лазеры и т.п. Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций:

### **Лекция №1. Основы теории радиационных переходов.**

Лекция посвящена изложению общих физических принципов взаимодействия резонансного электромагнитного излучения с квантовыми системами. Даются понятия спонтанного и вынужденного испускания, а так же поглощения. Кратко рассмотрена феноменологическая теория радиационных переходов Эйнштейна, определены коэффициенты Эйнштейна, установлена взаимосвязь между ними. На базе квантовомеханической нестационарной теории возмущений выводится вероятность поглощения (испускания). Рассмотрены правила отбора в дипольном приближении, а также интенсивности спектральных переходов.

### **Лекция №2. Энергетические спектры наноструктур.**

Во второй лекции рассмотрены принципы размерного квантования для различных наноструктур и общие закономерности формирования энергетических спектров квазичастиц. При этом, особое внимание уделяется электронным (дырочным) спектрам, как практически наиболее значимым. Рассмотрен вид волновых функций для электронов и

дырок ряда наноструктур ( в первую очередь – квантовых точек), а также вероятности диполь-дипольных переходов. Сформулированы правила отбора радиационных переходов в дипольном приближении.

### **Лекция №3. Способы получения наночастиц и их спектральные свойства.**

Третья лекция посвящена методам получения наночастиц и рассмотрению взаимосвязи их структуры, строения и организации с спектральными свойствами. Причем, особое место уделяется полупроводниковым наночастицам. Рассмотрены механизмы уширения спектральной линии. Дан анализ релаксационных процессов, как излучательных, так и безизлучательных. Большое внимание уделяется поверхностной и Оже-рекомбинации.

### **Лекция №4. Конденсаты полупроводниковых наночастиц, их получение, фотофизические и спектральные свойства.**

Четвертая лекция посвящена конденсатам полупроводниковых наночастиц. Рассмотрены методы получения тонких пленок наночастиц, спектральные свойства пленок, формирование спектров люминесценции с учетом ферстеровского переноса возбуждения, влияние взаимодействия между наночастицами на уширение спектральных линий. Рассмотрены также фотопроцессы при воздействии мощного лазерного излучения на пленки наночастиц.

### **Лекция №5. Области применения наночастиц с уникальными оптическими свойствами.**

В пятой лекции представлены разнообразные применения наночастиц с уникальными оптическими и спектральными свойствами. Рассмотрено использование полупроводниковых наночастиц в качестве биологических флуоресцентных меток, возможности создания новых лазеров видимого диапазона, в том числе и при инъекционной накачке. Большое внимание уделяется фотовольтаическим элементам на основе полупроводниковых квантовых точек.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в изучении экспериментальных методов нанофотоники. Основные задания на лабораторный практикум:

- исследование люминесцентных свойств квантовых точек CdSe/ZnS в растворах ;
- исследование люминесцентных характеристик пленок квантовых точек;
- исследование фотовольтаических свойств структур на основе полупроводниковых квантовых точек и органических полупроводников».

## **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**

#### **«Нанофотоника»**

## Лекция 1: Основы теории радиационных переходов

1. Каков физический смысл первого коэффициента Эйнштейна?  
А) вероятность спонтанного радиационного перехода квантовой системы;  
Б) вероятность в единицу времени спонтанного радиационного перехода квантовой системы;  
В) время жизни возбужденного состояния квантовой системы;  
Г) скорость радиационного перехода;  
Ответ

2. Что называется временем жизни квантовой системы по отношению к спонтанному радиационному переходу?  
А) Время, в течение которого населенность возбужденного уровня падает в  $e$  раз  
Б) Время, в течение которого населенность возбужденного уровня падает в 2 раз  
В) Время, в течение которого населенность возбужденного уровня падает до нуля  
Г) Время, в течение которого населенность возбужденного уровня увеличивается в  $e$  раз.  
Ответ

3. Вынужденное испускание есть А) испускание фотона, частоты  $\omega$  возбужденной квантовой системой под действием внешней силы;  
Б) испускание фотона, частоты  $\omega$  возбужденной квантовой системой под действием внешнего монохроматического излучения;  
В) испускание фотона, частоты  $\omega$  возбужденной квантовой системой под действием фотонов (внешнего излучения) такой же частоты.;  
Г) испускание фотона, частоты  $\omega$  возбужденной квантовой системой под действием когерентного излучения;  
Ответ

4. Какова размерность коэффициента поглощения?  
А)  $\text{см}^{-1}$ , Б)  $\text{см}^2$ , В)  $\text{см}$ , Г)  $\text{см}/\text{с}$ .  
Ответ

5. Вероятность перехода квантовой системы под действием резонансного электромагнитного излучения  
А) не зависит от времени  
Б) пропорциональна времени  
В) обратно пропорциональна времени  
Ответ

## Лекция 2: Энергетические спектры наноструктур

1. Пористый кремний относится : А) к одномерным материалам Б) двумерным материалам В) трехмерным материалам  
Ответ
2. Расстояния между соседними электронными и дырочными энергетическими уровнями для полупроводниковых наночастиц различаются А) из-за различной энергии электронных и дырочных уровней; Б) из-за различной эффективной массы электрона и

дырки; В) из-за взаимодействия электрона и дырки; Г) из-за различного взаимодействия с решеткой электрона и дырки.

Ответ

3. Какой набор квантовых чисел характеризует состояние электронов в полупроводниковых сферических наночастицах: А)  $l, m$ ; Б)  $n, l$ ; В)  $n, l, m$ ; Г)  $n, m$ .

Ответ

4. Какой набор квантовых чисел характеризует энергетический уровень электронов в полупроводниковых сферических наночастицах А)  $l, m$ ; Б)  $n, l$ ; В)  $n, l, m$ ; Г)  $n, m$ .

Ответ

5. Сформулируйте правила отбора для радиационных переходов в сферически полупроводниковых нанокристаллах. А)  $\Delta L=1, \Delta n=0$  Б)  $\Delta L=0, \Delta n=1$  В)  $\Delta L=1, \Delta n=1$  Г)  $\Delta L=0, \Delta n=0$

Ответ

### Лекция 3: Способы получения наночастиц и их спектральные свойства

1. Какими электронами в атомах Cd и Se сформированы валентная зона и зона проводимости. А) 5s для Cd, 4p для Se Б) 4p для Cd, 5s для Se В) 5s для Cd, 5s для Se Г) 4s для Cd, 4p для Se

Ответ

2. Каков основной механизм уширения спектральной линии поглощения и люминесценции полупроводниковых квантовых точек в растворах. А) доплеровский Б) штарковский В) обусловленный разбросом наночастиц по размерам Г) естественное уширение

Ответ

3. Каков квантовый выход люминесценции квантовых точек CdSe/ZnS в растворах. А) 50%, Б) 1% В) 0,1% Г) 0,01%

Ответ

4. Антистоксова люминесценция расположена на частотах А) – ниже частоты возбуждения Б) – выше частоты возбуждения В) на частоте возбуждения

Ответ

5. Рекомбинация возбужденных электронов в квантовых точках с участием фононов оказывается малоэффективной А) из-за оболочки Б) велика роль дефектов, В) мало время жизни возбужденного электрона, Г) расстояние между уровнями много больше энергии фонона.

Ответ

### Лекция 4: Конденсаты полупроводниковых наночастиц, их получение, фотофизические и спектральные свойства.

1. Основная трудность получения пленок с предельно высокими концентрациями полупроводниковых наночастиц состоит А) в малом размере наночастиц, Б) в наличии на

их поверхности органических молекул, В) в отсутствии взаимодействия между наночастицами, В) в высокой скорости осаждения.

Ответ

2. Какой метод наиболее эффективен для контроля степени очистки наночастиц в пленках от поверхностно-активных молекул ТОРО? А) метод атомно-силовой микроскопии Б) метод электронной спектроскопии В) люминесцентным метод Г) метод абсорбционной спектроскопии.

Ответ

3. Каким образом можно показать, что в пленках с высокой концентрацией наночастиц, наблюдается эффект размерного квантования? А) методом атомно-силовой микроскопии Б) методом электронной спектроскопии В) люминесцентным методом Г) методом абсорбционной спектроскопии.

Ответ

4. Какой сдвиг спектров люминесценции наблюдается в пленках полупроводниковых наночастиц высокой концентрации. А) красный сдвиг Б) синий сдвиг В) нет сдвига.

Ответ

5. Как изменяется спектр люминесценции плотной пленки полупроводниковых наночастиц в зависимости от интенсивности возбуждающего излучения А) уширяется Б) не меняется В) сдвигается в красную сторону Г) сдвигается в синюю сторону.

Ответ

### **Лекция 5: Области применения наночастиц с уникальными оптическими свойствами.**

1. При разработке каких люминофоров полупроводниковые квантовые точки эффективнее красителей? А) люминофоров в жидкой фазе, Б) твердофазных люминофоров, В) люминофоров на поверхности Г) люминофоров в газовой фазе.

Ответ

2. Какой вид накачки наиболее перспективен для лазеров на квантовых точках? А) электрический разряд, Б) инжекционная накачка, В) оптическая накачка Г) химическая реакция.

Ответ

3. В чем основное преимущество использования квантовых точек для создания фотовольтаических элементов?

А) управление спектром поглощения, Б) высокий квантовый выход люминесценции, В) высокая фотостойкость, Г) высокая электропроводность

Ответ

4. Как изменяется квантовый выход сорбированных наночастиц CdSe/ZnS при переходе от подложек из оптического стекла к подложкам из органического полупроводника? А) возрастает, Б) падает, В) не меняется.

Ответ

5. В каких многослойных структурах на основе ПИ-15К электропроводность наибольшая?

А) в структурах с наночастицами CdSe/ZnS

Б) в структурах с наночастицами CdSe

В) в структурах без наночастиц

Ответ

### **Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 31 вопроса**

1. Сформулируйте условия применимости двухуровневой системы для достоверного описания радиационных переходов.
2. Дайте определение времени жизни уровня.
3. Какова связь между числом актов испускания в единицу времени и числом актов поглощения для двухуровневых частиц в условиях термодинамического равновесия.
4. Сформулируйте условие равновесия излучения с веществом.
5. Что такое статистический вес энергетического уровня. Приведите примеры.
6. При каких условиях можно считать ансамбль двухуровневых частиц абсолютно черным телом.
7. Какой вид имеют волновые функции стационарного состояния.
8. Каков физический смысл коэффициентов  $a(t)$  и  $b(t)$ .
9. Получите выражение для первого коэффициента Эйнштейна через матричный элемент оператора дипольного момента перехода.
10. Сформулируйте правила отбора в дипольном приближении.
11. Дайте определение сверхрешетки, квантовой нити и квантовой точки.
12. Каковы критерии применимости модели "particle-in-sphere" (частица в сфере).
13. Какова природа вырождения уровней размерного квантования по квантовому числу  $m$ .
14. Как изменится энергия электрона и дырки при учете кулоновского взаимодействия между ними.
15. Какой вид имеет матричный элемент дипольного момента оптического перехода для наночастицы.
16. Сформулируйте и объясните правила отбора для оптических переходов между уровнями размерного квантования электронов и дырок.
17. Какова природа и степень вырождения для электронных и дырочных состояний CdSe вблизи  $k=0$ .
18. Каковы возможные механизмы развития антистоксовой люминесценции в квантовых точках.
19. Что называется однородным и неоднородным уширением спектральной линии. Приведите примеры однородного и неоднородного уширения.
20. Почему рекомбинация возбужденных электронов в квантовых точках с участием фононов оказывается малоэффективной.
21. Дайте возможные объяснения появлению длинноволнового крыла люминесценции при возбуждении квантовых точек CdSe/ZnS на первый уровень размерного квантования.
22. Перечислите и объясните основные этапы технологии получения пленок с предельно высокими концентрациями наночастиц.
23. Чем можно объяснить «синий» сдвиг спектра люминесценции квантовых точек при переходе от раствора к пленке с низкой концентрацией.
24. При каких условиях реализуется «ферстеровский» механизм безызлучательного переноса возбуждения между квантовыми точками различных размеров.

25. Покажите, что «красный» сдвиг спектра люминесценции при переходе от раствора к пленке квантовых точек высокой концентрации нельзя объяснить безызлучательным переносом возбуждения между наночастицами различных размеров.
26. Как безызлучательный перенос возбуждения влияет на ширину спектра люминесценции пленок квантовых точек.
27. Почему для получения лазерной генерации на полупроводниковых квантовых точках требуются пленки.
28. В чем основная трудность в получении лазерной генерации на полупроводниковых квантовых точках.
29. Какова роль макромолекул органического полупроводника в фотовольтаических элементах на основе органических полупроводников и квантовых точек.
30. Почему квантовый выход люминесценции наночастиц CdSe/ZnS на подложках из органического полупроводника не уменьшается по сравнению с оптическим стеклом, а для CdSe наблюдается резкое падение квантового выхода.
31. В чем механизм безызлучательной релаксации для квантовых точек CdSe и CdSe/ZnS в матрицах органического полупроводника.

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

### **Темы контрольных рефератов по курсу** **«Нанофотоника»**

1. Антистоксова люминесценции полупроводниковых квантовых точек
2. О механизмах фотолюминесценции пористого кремния
3. Фотопроцессы стимулированные лазерным излучением при его воздействии на пористый кремний.
4. Безызлучательный перенос возбуждения в пленках полупроводниковых наночастиц
5. Уширение спектральной линии люминесценции для полупроводниковых квантовых точек в растворах и пленках
6. Структура и свойства тонких пленок полупроводниковых квантовых точек (нанокристаллов)
7. Методы получения тонких пленок полупроводниковых нанокристаллов.
8. Применение полупроводниковых нанокристаллов в светодиодной технике.

### **Учебно-тематический план**

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	«Нанофотоника»	24 ч.	10 ч.	2 ч.	12 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачетка)
1.	Лекция 1: Основы теории радиационных переходов		2 ч.	0,4 ч.		



2.	Лекция 2: Энергетические спектры наноструктур		2 ч.	0,4 ч.		Реферат
3.	Лекция 3: Способы получения наночастиц и их спектральные свойства		2 ч.	0,4 ч.		
4.	Лекция 4: Конденсаты полупроводниковых наночастиц, их получение, фотофизические и спектральные свойства.		2 ч.	0,4 ч.		
5.	Лекция 5: Области применения наночастиц с уникальными оптическими свойствами.		2ч	0,4 ч		
Итоговый контроль				Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

### Список литературы

#### и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 29.

1. Л.Е. Воробьев, Е.Л. Ивченко, Д.А. Фирсов, В.А. Шалыгин. Оптические свойства наноструктур. С.-Пб.: Наука. 2001
2. Ч. Пул, Ф. Оуэнс Нанотехнологии Москва: Техносфера, 2005
3. Ю.К.Ежовский. Поверхностные наноструктуры – перспективы синтеза и использования. Соросовский образовательный журнал, том 6, №1, 2000.
4. В.И. Белявский. Физические основы полупроводниковой нанотехнологии. Соросовский образовательный журнал, №10, 1998.
5. A.G. Gullis, L.T. Canham, P.D.J. Calcott. The structural and luminescent properties of porous silicon, Applied Physics Letters, vol. 82, №3, 1997.
6. Victor I. Klimov. Nanocrystal Quantum Dots. From fundamental photophysics to multicolor lasing. Los Alamos Science No 28, 2003.
7. D.J. Norris, M.G. Bawendi, L.E. Brus. Optical properties of semiconductor nanocrystals (quantum dots). Molecular Electronics. A "Chemistry for the 21th century" Monograph. ISBN 0-632-04284-2
8. Al. L. Efros and M. Rosen Band-edge exciton in quantum dots of semiconductors with a degenerate valence band: Dark and bright states. Physical review B, vol. 54, No 7, 1996.
9. Hines M.A., Guyot-Sionnest P. Synthesis and characterization of strongly luminescing ZnS-capped CdSe nanocrystals. J. Phys. Chem., Vol. 100, p. 468, 1996.
10. B.O. Dabbousi, J. Rodriguez-Viejo, F.V. Mikulec, J.R. Heine, H. Mattoussi, R. Ober, K.F. Jensen and M.G. Bawendi. (CdSe)/ZnS Core-Shell Quantum Dots: Synthesis and Characterization of a Size Series of Highly Luminescent Nanocrystallites. J. Phys. Chem. B, vol. 101, No 46, pp. 9463 – 9475, 1997.
11. Y. Ebenstein, T. Mokari, U. Banin. Fluorescence quantum yield of CdSe/ZnS nanocrystals investigated by correlated atomic-force and single-particle fluorescence microscopy. – Applied Phys. Lett., Vol. 80, No21, p. 4033-4035, 2002.

12. М.Я. Валах, Н.В. Вуйчук, В.В. Стрельчук, С.В. Сорокин, Т.В. Шубина, С.В. Иванов, П.С. Копьев Низкотемпературная антистоксова фотолюминесценция в наноструктурах CdSe/ZnSe ФТП, том 37, вып. 6, 2003.
13. Ю. П. Ракович, А.А. Гладышук, К.И. Русаков, С.А. Филонович, М.Ж. Гомес, Д.В. Талапин, А.Л. Рогач, А. Айхмюллер Антистоксова люминесценция нанокристаллов CdTe УДК 535.337
14. A. A. Chistyakov, I. L. Martynov, K. E. Mochalov, V. A. Oleinikov, and K. V. Zaharchenko. Laser-Induced Photoprocesses in Solutions and Films of the CdSe/ZnS Nanoparticles. *Laser Physics*, 2008, Vol. 18, No. 8, pp. 925–938.
15. J. Rodriguez-Viejo, K.F. Jensen, H. Mattoussi and J. Michel, B.O. Dabbousi and M.G. Bawendi. Cathodoluminescence and photoluminescence of highly luminescent CdSe/ZnS quantum dot composites. *Appl. Phys. Lett.*, vol. 70, No 16.
16. Murray C. B., Kagan, C. R., *Annual Rev. Mater. Sci.*, Vol. 30, p. 545, 2000.
17. S.R. Cordero, P.J. Carson, R.A. Estabrook, G.F. Strouse, S.K. Buratto. Photo-Activated Luminescence of CdSe Quantum Dot Monolayers. *J. Phys. Chem. B*, Vol. 104, pp. 12137-12142, 2000.
18. E. Marx, D.S. Ginger, K. Walzer, K. Stokbro, N.C. Greenham. Self-Assembled Monolayers of CdSe Nanocrystals on Doped GaAs Substrates. *Nanoletters*, Vol. 2, No 8, pp. 911 – 914, 2002.
19. M. Bruchez Jr., M. Moronne, P. Gin, S. Weiss, A. Paul Alivisatos. Semiconductor Nanocrystals as Fluorescent Biological Labels. *Science*, Vol. 281, p. 2013, 1998.
20. D.M. Willard, L.L. Carillo, J. Jung, A.V. Orden. CdSe-ZnS Quantum Dots as Resonance Energy Transfer Donors in a Model Protein-Protein Binding Assay. *Nano Lett.*, Vol. 1, No. 9, pp. 469 – 474, 2001.
21. O. Schmelz, A. Mews, T. Basche, A. Herrmann, K. Mullen. Supramolecular Complexes from CdSe Nanocrystals and Organic Fluorophors. *Langmuir*, Vol. 17, pp. 2861-2865, 2001.
22. D. Gerion, F. Pinaud, S.C. Williams, W.J. Parak, D. Zanchet, S. Weiss, A.P. Alivisatos. Synthesis and Properties of Biocompatible Water-Soluble Silica-Coated CdSe/ZnS Semiconductor Quantum Dots. *J. Phys. Chem. B*, Vol. 105, pp. 8861-8871, 2001.
23. A. Sukhanova, L. Venteo, J. Devy, M. Artemyev, V. Oleinikov, M. Pluot, I. Nabiev. Highly stable fluorescent nanocrystals as a novel class of labels for immunohistochemical analysis of paraffin-embedded tissue sections. *Laboratory Investigations/Brief Methods*, Vol. 82, No9, 1259-1261, 2002.
24. V.I.Klimov, D. W. McBranch, C. A. Leatherdale, M. G. Bawendi. Electron and hole relaxation pathways in semiconductor quantum dots. *Phys. Rev. B*, Vol. 60, No 19, 1999.
25. V.I. Klimov, A.A. Mikhailovsky, Su Xu, A. Malko, J.A. Hollingsworth, C.A. Leatherdale et al. Optical Gain and Stimulated Emission in Nanocrystal Quantum Dots. *Science*, Vol. 290, p. 314, 2000.
26. A. Malko, A.A. Mikhailovsky, M.A. Petruska, J.A. Hollingsworth, H. Htoon, M.G. Bawendi, V.I. Klimov. From amplified spontaneous emission to microring lasing using nanocrystal quantum dots solids. *Appl. Phys. Lett.*, vol. 81, No 7, pp. 1303-1305, 2002.
27. T. Cassagneau, T.E. Mallouk, J.H. Fendler. Layer-by-Layer Assembly of Thin Film Zener Diodes from Conducting Polymers and CdSe Nanoparticles. *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 120, pp. 7848-7859, 1998.
28. M. Drndic, M.V. Jarosz, N.Y. Morgan, M.A. Kastner, M.G. Bawendi. Transport properties of annealed CdSe colloidal nanocrystal solids. *J. of Appl. Phys.*, Vol. 92, No 12, pp. 7498 – 7503, 2002.
29. D.S. Ginger, N.C. Greenham. Photoinduced electron transfer from conjugated polymers to CdSe nanocrystals. *Phys. Rev. B*, Vol. 59, No 16, 1999.

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

