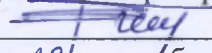


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ИАПУ ДВО РАН)


«СОГЛАСОВАНО»

Зам. директора по научно-образовательной деятельности,
ученый секретарь, к.т.н.


С.Б. Змеу
«29» декабря 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИАПУ ДВО РАН
член-корреспондент РАН


Р.В. Ромашко
«29» декабря 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)

Нанозлектроника

**Группа научных специальностей 1.3. – «Физические науки»,
научная специальность 1.3.11 «Физика полупроводников»
Основная образовательная программа «Физика полупроводников»**

Форма подготовки (очная)

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК) ИАПУ
ДВО РАН

курс 2 семестр 4
лекции 18 час. / 0.5 з.е.
практические занятия – 18 час./ 0.5 з.е.
лабораторные работы – нет
всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.) / 1.0 з.е.
самостоятельная работа 20 (час.) / 0.56 з.е.
контрольные работы 5
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.
зачет 4 семестр
экзамен семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий обучающихся, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 № 951.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 3 от «17» ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель (ли): д-р физ.- мат. наук, в.н.с. лаборатории оптики и электрофизики Д.Л. Горошко.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Нанoeлектроника» предназначена для аспирантов, обучающихся по основной образовательной программе «Физика полупроводников» и входит в число дисциплин по выбору вариативной части учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по группе научных специальностей 1.3. – «Физические науки» и научной специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников» и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Физика полупроводников».

Цель Основная цель изучения дисциплины – ознакомление аспирантов с физикой процессов в системах с пониженной размерностью, их энергетическим спектром, физикой переноса носителей в них, их электрическими и оптическими свойствами.

Задачи:

1. Способствовать освоению аспирантами дополнительных разделов курса «Физика полупроводников и низкоразмерных структур», необходимых для дальнейшей успешной научной деятельности.
2. Формирование компетенций, соответствующих направлению подготовки по группе специальностей «Физические науки».

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины.

Универсальные компетенции:

- УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях,

Общепрофессиональные компетенции:

- ОПК-1. Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области физики полупроводников с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Способность строить новейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
- ПК-2. Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик низкоразмерных структур, в том числе различного функционального назначения

- ПК-3. Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций

Универсальные компетенции:

- УК-1. способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

-Знать:

- кристаллическую и зонную структуру объемных полупроводников, статистику носителей в них и физику процессов формирования р-n переходов и гетеропереходов;
- основные механизмы достижения максимальных дрейфовых скоростей носителей в объемных полупроводниках;
- методы генерации горячих носителей в гетеропереходах и методы исследования горячих носителей в них;
- физику процессов переноса носителей через одиночный и через двойной барьер с квантовой ямой;
- условия формирования наноструктур с квантовыми проволоками и точками и иметь представления об электрических и оптических свойствах подобных наноструктур.

Уметь:

- использовать представления о размерности в полупроводниковых структурах и оценивать ее влияние на электрические и оптические свойства структур с пониженной размерностью;
- определять размерность системы второго порядка по характерным особенностям их электронной плотности, оптических и электрических свойств;
- определять размерность системы первого порядка по характерным особенностям их электронной плотности, оптических и электрических свойств;
- определять пары полупроводников для создания идеальных сверхрешеток, рассчитывать параметры их электронной структуры и прогнозировать их электрические и оптические свойства;
- определять параметры электронной структуры двойного барьера с квантовой ямой и многобарьерных структур;
- определять критические параметры для формирования структур с квантовыми точками и их влияние на электрические и оптические свойства.

I. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 часов)

1. ФИЗИКА ОБЪЕМНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ (2 часа)

Кристаллическая структура и зонная энергетическая структура. Теория донорных (акцепторных) уровней и статистика равновесных носителей. Электрические, оптические, термические и механические свойства. Максимальная дрейфовая скорость в полупроводниках: стационарная дрейфовая скорость, всплеск дрейфовой скорости.

2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ P-N ПЕРЕХОДЫ И ГЕТЕРОПЕРЕХОДЫ (2 часа)

Молекулярно-лучевая эпитаксия и осаждение из органических соединений. Электронная структура p-n переходов и гетеропереходов. Планарно-легированный барьер. Квантовая яма.

3. ФИЗИКА СИСТЕМ С ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ (2 часа)

Шкалы длин в современной физике твердого тела. Размерность. Транспорт носителей при различных размерностях полупроводниковых структур. Оптические свойства в системах с пониженной размерностью.

4. ДВУМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗ (2 часа)

Теоретическое описание электронных состояний в двумерном электронном газе. Эксперименты по электрическому транспорту и их интерпретация. Магнетотранспортные свойства. Оптические свойства. Практическая реализация систем с двумерным электронным газом.

5. ОДНОМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗ (2 часа)

Теоретическое описание электронных состояний в одномерном электронном газе. Эксперименты по электрическому транспорту и их интерпретация. Магнетотранспортные свойства. Оптические свойства. Практическая реализация систем с одномерным электронным газом.

6. ГОРЯЧИЕ ЭЛЕКТРОНЫ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ (2 часа)

Методы генерации горячих носителей: роль гетеропереходов. Электронная спектроскопия горячих электронов: транспортные и оптические методы исследования. Структуры с переносом носителей в сильных электрических полях.

7. ЯВЛЕНИЕ ТУННЕЛИРОВАНИЯ (2 часа)

Туннелирование через одиночный барьер. Туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой. Множественные туннельные барьеры. Диоды с множественными туннельными барьерами.

8. СВЕРХРЕШЕТКИ И МИНИЗОНЫ (2 часа)

Электронная структура идеальной сверхрешетки. Блоховские осцилляции и лестницы Штарка. Измерения электрического транспорта в сверхрешетках. Оптические свойства сверхрешеток. Применения сверхрешеток.

9. КВАНТОВЫЕ ЯМЫ И ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (1 час)

Одиночная квантовая яма: электронные и оптические свойства. Множественные квантовые ямы: электронные и оптические свойства.

10. КВАНТОВЫЕ ПРОВОЛОКИ И ТОЧКИ (1 час)

Формирование квантовых проволок и квантовых точек. Электронные и оптические свойства систем с квантовыми проволоками и квантовыми точками. Физические процессы в наноструктурах на основе пористого кремния.

II. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ (18 ЧАСОВ)

1. Изучение устройства атомного силового микроскопа (АСМ) Solver P47. Освоение методик работы на АСМ. Исследование морфологии атомарно-гладких поверхностей (монокристаллический кремний, пиролитический монокристалл графита, слюда). Обработка изображений. Определение параметров рельефа (три занятия по 3 часа (4 часа)).
2. Изучение двухпроходных методик сканирования поверхности в методе АСМ. Рост двумерных пленок металлов и силицидов на кремнии в условиях сверхвысокого вакуума. Исследование морфологии и свойств пленок с двумерными пленками металлов на кремнии и электронным газом (4 часа).
3. Изучение устройства сканирующего зондового микроскопа системы OMICRON. Освоение методики подготовки (утонения) вольфрамовых зондов. Изготовление вольфрамовых зондов для экспериментов. Загрузка образца в камеру. Получение атомарно-чистой поверхности кремния. Исследование сверхструктурных перестроек на атомарно-чистом кремнии методом сканирующей зондовой микроскопии. (4 часа).
4. Изготовление вольфрамовых зондов для экспериментов. Загрузка образца в камеру. Отжиг источника металла (In, Au, Al)/ Получение атомарно-чистой поверхности кремния. Исследование сверхструктурных перестроек на атомарно-чистом кремнии при осаждении субмонослойных покрытий металлов методом сканирующей зондовой микроскопии. Исследование квази-нульмерных объектов (наноразмерных островков) на атомарно-чистом кремнии методом СТМ (6 часов).

III. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ (20 часов)

1. Знакомство с научными периодическими изданиями по физике гетероструктур и систем с пониженной размерностью (наноструктур).
2. Овладение методикой построения зонных диаграмм полупроводников с прямыми и непрямыми межзонными переходами.
3. Овладение методикой расчета емкости и ширины области пространственного заряда в р-п переходах и гетеропереходах.
4. Овладение методикой построения зонных диаграмм систем с двумерным и одномерным электронным газом.

IV. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Список вопросов по промежуточным контрольным работам

Контрольная работа №1

1. Что такое 1D проводник?
2. Чем отличается Q1D от 1D проводника?
3. Какой технологический способ использовался для создания Q1D канала и в каком полупроводниковом приборе?
4. Какая альтернативная техника используется для формирования Q1D канала?
5. Какой должна быть минимальная ширина затвора МОП ПТ для того, чтобы можно было судить о формировании Q1D канала?
6. Какой вид фотолитографии использовался в конце 20 века для создания Q1D каналов?
7. На какой глубине должен находиться электронный газ с высокой подвижностью, чтобы можно было контролировать латеральное распространение поля затвора?
8. Каким параметром определяется качество материалов в модулированно-легированных гетероструктурах для реализации 1D баллистического транспорта?
9. Какое приближение используется для профиля потенциала поперек Q1D канала?
10. Какая величина является мерой латерального ограничения в длинных 1D каналах?
11. К чему приводит использование сильного магнитного поля вдоль Q1D канала?
12. От какого параметра системы зависит магнитное опустошение Q1D энергетических уровней?
13. Чем определяются микроскопические флуктуации потенциала внутри Q1D канала?
14. При каких температурах наиболее четко наблюдаются флуктуации проводимости распределением потенциала?

Контрольная работа №2

1. По какой шкале изменяются универсальные флуктуации проводимости?
2. Как изменяются флуктуации по величине, если размеры образца уменьшаются?
3. Когда баллистический транспорт наблюдается в Q1D канале?
4. Когда наблюдается квантизация проводимости в Q1D канале?
5. В каких единицах наблюдается квантизация проводимости в Q1D канале?
6. Каковы причины отклонения от условий квантования в баллистическом Q1D канале?
7. Что такое краевые состояния в Q1D канале?
8. При каких обязательных условиях наблюдаются краевые состояния в Q1D канале?
9. При каких условиях обязательно будет разрушен эффект Аронова-Бома в Q1D канале?
10. Чему равно сопротивление двух баллистических Q1D каналов, соединенных последовательно?
11. Каковы особенности эффекта Холла в малых Q1D структурах в зависимости от магнитного поля?
12. Как изменяется вольтамперная характеристика в Q1D баллистическом резисторе?

13. При каких обязательных условиях будет наблюдаться отрицательное дифференциальное сопротивление Q1D баллистическом резисторе?
14. Какие электроны называются горячими?

Контрольная работа №3

1. Какими способами можно повысить кинетическую энергию электронов?
2. Какие методы разогрева электронного и дырочного газа существуют?
3. В каких пределах изменяется средняя длина свободного пробега горячих носителей?
4. Какой из барьеров при генерации горячих электронов обеспечивает максимальную высоту барьера?
5. Какой из барьеров обеспечивает минимальную ширину распределения горячих носителей?
6. Какой из транзисторов на горячих электронах использовался как спектрометр в экспериментах по исследованию механизма рассеяния горячих электронов?
7. Угол инжекции горячих электронов в гетеропереходе
8. Пропорциональность производной тока коллектора транзистора на горячих электронах по напряжению база-коллектор какому из параметров использовалась в спектрометре горячих электронов?
9. При какой толщине базы коэффициент прохождения горячих электронов равен 30%?
10. Какой механизм неупругого рассеяния в основном отвечает за быструю потерю энергии горячими электронами в базе транзистора на горячих электронах?
11. За счет какого механизма взаимодействия происходит возбуждение плазменных волн пространственного заряда в базе транзистора на горячих электронах?
12. Какой тип легирования базы транзистора на горячих электронах позволяет исключить возбуждение плазменных волн пространственного заряда в базе транзистора на горячих электронах и обеспечить высокий коэффициент передачи по току?
13. Какая характеристика пика фотолюминесценции модулированно-легированных множественных квантовых ям является мерой температуры носителей?
14. Средняя длина свободного пробега для оптических фононов.

Контрольная работа №4.

1. Какова минимальная длина затвора МОП ПТ, требующаяся для ускорения электронов в электрическом поле?
2. Какой технологический способ использовался для создания Q1D канала и в каком полупроводниковом приборе?
3. Какое приближение используется для профиля потенциала поперек Q1D канала?
4. От какого параметра системы зависит магнитное опустошение Q1D энергетических уровней?

5. Когда наблюдается квантизация проводимости в Q1D канале?
6. Что такое краевые состояния в Q1D канале?
7. При каких обязательных условиях начнет наблюдаться отрицательное дифференциальное сопротивление Q1D баллистическом резисторе?
8. Какие методы разогрева электронного и дырочного газа существуют?
9. Какой из барьеров обеспечивает минимальную ширину распределения горячих носителей
10. Пропорциональность какому из параметров производной тока коллектора по напряжению база-коллектор транзистора на горячих электронах использовалась в спектрометре горячих электронов?
11. За счет какого механизма взаимодействия происходит возбуждение плазменных волн пространственного заряда в базе транзистора на горячих электронах?
13. Какая альтернативная техника используется для формирования Q1D канала?
13. На какой глубине должен находиться электронный газ с высокой подвижностью, чтобы можно было контролировать латеральное распространение поля затвора?
14. Чем определяются микроскопические флуктуации потенциала внутри Q1D канала?
15. В каких единицах наблюдается квантизация проводимости в Q1D канале?
16. При каких обязательных условиях наблюдаются краевые состояния в Q1D канале?

Контрольная работа №5.

1. Каковы особенности эффекта Холла в малых Q1D структурах в зависимости от магнитного поля?
2. Какие электроны называются горячими?
3. В каких пределах изменяется средняя длина свободного пробега горячих носителей?
4. Какой из транзисторов на горячих электронах использовался как спектрометр в экспериментах по исследованию механизма рассеяния горячих электронов?
5. Какова минимальная длина затвора МОП ПТ, требующаяся для ускорения электронов в электрическом поле?
6. Какой должна быть минимальная ширина затвора МОП ПТ для того, чтобы можно было судить о формировании Q1D канала?
7. Каким параметром определяется качество материалов в модулированно-легированных гетероструктурах для реализации 1D баллистического транспорта?
8. При каких температурах наиболее четко наблюдаются флуктуации проводимости распределением потенциала?
9. Когда баллистический транспорт наблюдается в Q1D канале?
10. Как изменяется вольтамперная характеристика в Q1D баллистическом резисторе?
11. Какими способами можно повысить кинетическую энергию электронов?
12. Какой из барьеров при генерации горячих электронов обеспечивает максимальную высоту барьера?

13. Угол инжекции горячих электронов в гетеропереходе
14. Какой механизм неупругого рассеяния в основном отвечает за быструю потерю энергии горячими электронами в базе транзистора на горячих электронах?
15. Какая характеристика пика фотолюминесценции модулировано-легированных множественных квантовых ям является мерой температуры носителей?

Список вопросов итогового теста по курсу

1. Какова природа явления туннелирования и при каких толщинах барьеров оно наблюдается?
2. Какими по форме являются вольт-амперные характеристики туннельного барьера? Можно ли их назвать симметричными?
3. Каков характер изменения точек Γ и X в зонной структуре GaAs и AlGaAs с увеличением давления?
4. Что такое резонансное туннелирование и при каких условиях оно наблюдается?
5. Что такое долинный ток в двойном барьере с квантовой ямой? От каких параметров структуры зависит его величина?
6. В чем состоят особенности туннелирования дырок через двойной барьер (в валентной зоне) с квантовой ямой?
7. Чем отличаются структуры с множественными квантовыми ямами от сверхрешетки?
8. Как изменяется плотность состояний в сверхрешетке с возрастанием энергии (вид зависимости)?
9. Почему Блоховские осцилляции не могут быть увидены в чистых объемных материалах?
10. Как в однородных сверхрешетках с одиночной расширенной ямой будет проявляться транспорт носителей по минизоне?
11. Как изменяется вероятность туннелирования через одиночный барьер в зависимости от приложенного к нему напряжения?
12. Что необходимо для асимметричности вольт-амперной характеристики туннельного барьера?
13. Какова причина искривления траектории носителей в туннельном барьере при приложении поперечного магнитного поля?
14. Что такое последовательное туннелирование, его особенности и при каких условиях оно наблюдается?
15. Как проявляется на ВАХ двойного барьера с квантовой ямой область отрицательного дифференциального сопротивления?
16. Каков механизм фотолюминесценции в двойном барьере с квантовой ямой и как они зависят от обратного смещения на диодной структуре?
17. В чем состоит подход сильной связи при расчете двух квантовых ям?
18. Как определяется групповая скорость волнового пакета электронов и вид ее зависимости от волнового вектора?
19. Что такое Зиннеровское туннелирование в сверхрешетке?

20. Как в грейдированных сверхрешетках с одиночной расширенной ямой будет проявляться транспорт носителей по минизоне?
21. При каком напряжении на одиночном барьере вероятность туннелирования равна единице?
22. Каков профиль легирования вокруг туннельного барьера в практических структурах?
23. Что из себя структурно представляет двойной барьер с квантовой ямой?
24. Каков вид вольт-амперной характеристики двойной барьер с квантовой ямой при одном связанном уровне в квантовой яме?
25. Какова основная характеристика качества диода с двойным барьером и квантовой ямой?
26. Что такое мультибарьерные структуры и каковы особенности их построения?
27. Что такое минизоны в сверхрешетке и в каком направлении они распространяются?
28. Что происходит со скоростью электрона в сверхрешетке в постоянном электрическом поле и что такое Блоховские осцилляции?
29. Почему оптическое поглощение и фотолюминесценция подходят для исследования электронной структуры сверхрешеток?
30. Основные принципы оптических экспериментов для регистрации Блоховских колебаний в сверхрешетке.
31. Чем определяется линейность вольт-амперной характеристики туннельного барьера при малых смещениях?
32. Какой из методов роста туннельных диодов обеспечивает лучшее совпадение экспериментальных ВАХ с результатами теоретических расчетов ВАХ?
33. Как изменяется от приложенного напряжения вероятность туннелирования (вид зависимости) через двойной барьер с квантовой ямой?
34. Каков вид вольт-амперной характеристики двойной барьер с квантовой ямой при двух связанных уровнях в квантовой яме?
35. Как изменяется долинный ток с ростом температуры?
36. Дайте определение сверхрешетки.
37. Что такое минизоны в сверхрешетке и в каком направлении они распространяются?
38. Что происходит со скоростью электрона в сверхрешетке в постоянном электрическом поле и что такое Блоховские осцилляции?
39. Почему оптическое поглощение и фотолюминесценция подходят для исследования электронной структуры сверхрешеток?
40. Основные принципы оптических экспериментов для регистрации Блоховских колебаний в сверхрешетке.

V. ВОПРОСЫ К ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМУ ЗАЧЕТУ

1. Кристаллическая структура и зонная энергетическая структура полупроводников A_{IV} и $A_{III}B_{V}$.
2. Теория донорных (акцепторных) уровней и статистика равновесных носителей.

3. Максимальная дрейфовая скорость в полупроводниках: стационарная дрейфовая скорость
4. Всплеск дрейфовой скорости в полупроводниках и полупроводниковых структурах.
5. Методы молекулярно-лучевой эпитаксии и осаждения из металлоорганических соединений.
6. Электронная структура p-n переходов и гетеропереходов. Идеальный гетеропереход, область пространственного заряда. Емкость гетероперехода.
7. Планарно-легированный барьер. Квантовая яма.
8. Шкалы длин в современной физике твердого тела. Размерность.
9. Транспорт носителей при различных размерностях полупроводниковых структур.
10. Оптические свойства систем с пониженной размерностью.
11. Теоретическое описание электронных состояний в двумерном электронном газе.
12. Эксперименты по электрическому транспорту в системе с двумерным электронным газом и их интерпретация.
13. Магнетотранспортные и оптические свойства систем с двумерным электронным газом. Практические примеры.
14. Теоретическое описание электронных состояний в одномерном электронном газе.
15. Эксперименты по электрическому транспорту в системе с одномерным электронным газом и их интерпретация.
16. Магнетотранспортные и оптические свойства систем с одномерным электронным газом. Практические примеры.
17. Методы генерации горячих носителей: роль гетеропереходов.
18. Электронная спектроскопия горячих электронов: транспортные и оптические методы исследования.
19. Структуры с переносом носителей в сильных электрических полях.
20. Туннелирование через одиночный барьер.
21. Туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой.
22. Множественные туннельные барьеры. Диоды с множественными туннельными барьерами.
23. Электронная структура идеальной сверхрешетки. Блоховские осцилляции и лестницы Штарка.
24. Электрический транспорт в сверхрешетках.
25. Оптические свойства сверхрешеток. Применения сверхрешеток.
26. Одиночная квантовая яма: электронные и оптические свойства.
27. Множественные квантовые ямы: электронные и оптические свойства.
28. Методы формирования квантовых проволок и квантовых точек в полупроводниковых наноструктурах..
29. Электронные свойства систем с квантовыми проволоками и точками.
30. Оптические свойства систем с квантовыми проволоками и точками.
31. Формирование наноструктур на основе пористого кремния.
32. Оптические и электрические свойства наноструктур на основе пористого кремния. Приборные наноструктуры.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Борисенко С.И. Физика полупроводниковых наноструктур: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 115 с. <http://window.edu.ru/resource/927/73927>
2. Федоров А.В. Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. - 195 с. <http://window.edu.ru/resource/740/63740>
3. Жуковский В.Ч., Кревчик В.Д., Семенов М.Б., Тернов А.И. Квантовые эффекты в мезоскопических системах. Ч.1. Квантовое туннелирование с диссипацией: Учебное пособие. - М.: Физический факультет МГУ, 2002. - 108 с. <http://window.edu.ru/resource/074/37074>
4. Карпов С.В. Фононы в нанокристаллах: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ, 2006. - 47 с. <http://window.edu.ru/resource/198/71198>
5. Щелкачев Н.М., Фоминов Я.В. Электрический ток в наноструктурах: кулоновская блокада и квантовые точечные контакты: Учебно-методическое пособие. - М.: МФТИ, 2010. - 39 с. <http://window.edu.ru/resource/539/73539>
6. Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. Физические основы нанoeлектроники: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. - 83 с. <http://window.edu.ru/resource/415/73415>
7. Датта С. Квантовый транспорт. От атома к транзистору [*Электронный ресурс*]/ Датта С.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2009.— 532 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16542>. — ЭБС «IPRbooks»

Дополнительная литература

1. Сергеев Н.А. Физика наносистем [*Электронный ресурс*]: монография/ Сергеев Н.А., Рябушкин Д.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2015.— 192 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33418>. — ЭБС «IPRbooks».
2. Заводинский В.Г. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем [*Электронный ресурс*]/ Заводинский В.Г.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.— 176 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24421>. — ЭБС «IPRbooks».
3. Прокофьева Н.И. Физические эффекты нанотехнологий [*Электронный ресурс*]: учебное пособие/ Прокофьева Н.И., Грибов Л.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 100 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23754>. — ЭБС «IPRbooks».

4. Голенищев-Кутузов А.В. Фотонные и фононные кристаллы [*Электронный ресурс*]: формирование и применение в опто- и акустоэлектронике/ Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30188>. — ЭБС «IPRbooks».
5. Баранов А.В., Воронин Ю.М. Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур. Лабораторный практикум. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 51 с. <http://window.edu.ru/resource/687/74687>
6. Климов В.В. Наноплазмоника [*Электронный ресурс*]/ Климов В.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.— 480 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17348>. — ЭБС «IPRbooks».
7. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках // М.: Наука, 1985, 345 с.
8. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под ред. Л. Ченга и К. Плога // М.: Мир, 1989, 582 с.
9. Зи С. Физика полупроводниковых приборов // М.: Мир, 1984, 567 с.
5. Шалимова К.В. Физика полупроводников // М.: Энергия, 1971, 311 с.
6. Ж. Панков. Оптические свойства полупроводников // М.: Мир. 1975, 326 с.
7. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем // М.: Мир, 1985, 416 с.
8. Зыряннов П.С., Клингер М.И. Квантовая теория явлений электронного переноса в кристаллических полупроводниках // М.: Наука, 1976, 480 с.
9. Милнс. А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник // М.: Мир, 1975, 432 с.
10. Вартанян Т.А., Виноградова Г.Н., Каманина Н.В., Перлин Е.Ю. Оптика наноструктур: Методические рекомендации. - СПб: СПбГУ ИТМО., 2008. - 112 с. <http://window.edu.ru/resource/880/57880>
11. Комплекс лабораторных работ "Физика твердотельных наноструктур" / Сост. Д.О. Филатов. - Н.Новгород: ННГУ, 2010. - 63 с. <http://window.edu.ru/resource/014/74014>
12. Горшков А.П., Карпович И.А. Исследование квантово-размерного эффекта Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами InGaAs/GaAs методом фотоэлектрической спектроскопии: Описание лабораторной работы. - Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2006. - 18 с. <http://window.edu.ru/resource/649/45649>
13. Агарев В.Н. Моделирование резонансного туннелирования в полупроводниковых наноструктурах: Описание лабораторной работы. - Нижний Новгород: Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, 2008. - 5 с. <http://window.edu.ru/resource/446/58446>
14. Щелкачёв Н.М., Фоминов Я.В. Электрический ток в наноструктурах: кулоновская блокада и квантовые точечные контакты: Учебно-методическое пособие. - М.: МФТИ, 2010. - 39 с. <http://window.edu.ru/resource/539/73539>

VII. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный курс лекций "Физические основы нанoeлектроники", 2014.

VIII. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Сканирующий зондовый микроскоп Solver P47.
2. Сверхвысоковакуумные установки со сканирующими зондовыми микроскопами фирмы OMICRON (Германия) – 2 шт.
3. Сверхвысоковакуумные установки для роста гетерoэпитаксиальных структур, сверхрешеток с квантовыми проволоками и квантовыми точками (фирм RIBER (DEL-300 – 1 шт., LAS-600 - 2 шт., OMICRON – 1шт., VARIAN – 1 шт., КАТУНЬ – 1 шт., отечественного производства – 4 шт.)).
4. Сверхвысоковакуумная установка для исследования эффекта Холла в квантово-размерных наноструктурах – 1 шт.
5. Измерительные стенды для исследования вольтамперных, вольтфарадных и фотоспектральных характеристик наноструктур.