

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ**

**Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета, профессор

С.Б. Вениг

2019 г.



Рабочая программа дисциплины

**Нелинейные явления и самоорганизация в  
полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах**

Направление подготовки магистратуры

11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки магистратуры

«Диагностика нано- и биомедицинских систем»

Квалификация выпускника

Магистр

Форма обучения

очная

Саратов,

2019 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Скрипаль Ал.В.		24.04.19
Председатель НМК	Михайлов А. И.		24.04.19
Заведующий кафедрой	Усанов Д. А.		24.04.19
Специалист Учебно-го управления	Юшинова И. В.		24.04.19г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» является формирование у магистрантов комплекса профессиональных знаний и умений в области физики работы полупроводниковых электронных приборов в нелинейных режимах и связанных с этим нелинейных явлениях и явлениях самоорганизации.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о физической природе нелинейных явлений и явлений самоорганизации в полупроводниковых приборах;
- формирование умений теоретически исследовать физические процессы, протекающие в структурах полупроводниковых приборов, работающих в режимах при которых возникают нелинейные явления и явления самоорганизации;
- формирование владений методами и навыками экспериментального исследования и теоретического расчета параметров и характеристик полупроводниковых приборов, работающих в режимах при которых возникают нелинейные явления и явления самоорганизации;
- формирование знаний практического использования полупроводниковых электронных приборов, работающих в режимах при которых возникают нелинейные явления и явления самоорганизации.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» относится к факультативным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока (ФТД.Факультативы) и изучается магистрантами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» профиль подготовки «Диагностика нано- и биомедицинских систем», в течение 1 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные магистрантами знания по физике, математике, химии, термодинамике, электродинамике сплошных сред, физике полупроводников, физическим основам твердотельной электроники и подготавливает магистрантов к изучению в том же или последующих семестрах таких дисциплин, как элементы и приборы наноэлектроники, актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники, микроэлектроника и наноэлектроника, физика фотонных кристаллов, бионаносенсорика, физические принципы работы твердотельных приборов СВЧ-электроники, оптика наноструктур, лазерные автодинные технологии для анализа нано-и биомедицинских систем.

### 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<p><b>УК-1.</b> Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий</p>	<p><b>1.1_М.УК-1.</b> Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними.</p> <p><b>1.2_М.УК-1.</b> Осуществляет поиск алгоритмов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации. Определяет в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей детальной разработке. Предлагает способы их решения.</p> <p><b>1.3_М.УК-1.</b> Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности</p>	<p><u>Знать</u> физическую природу нелинейных явлений и явлений самоорганизации в полупроводниковых приборах.</p> <p><u>Уметь</u> решать практические задачи, связанные с использованием режимов работы полупроводниковых электронных приборов, при которых возникают нелинейные явления и явления самоорганизации.</p> <p><u>Владеть</u> методами и навыками теоретического расчета режимов работы полупроводниковых электронных приборов, при которых возникают нелинейные явления и явления самоорганизации.</p>
<p><b>ПК-1.</b> Способен проводить оценку направлений научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием</p>	<p><b>1.1_М. ПК-1.</b> Разбирается в основах структурирования и систематизации информации.</p> <p><b>2.1_М. ПК-1.</b> Выявляет тенденции развития научных исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием.</p> <p><b>3.1_М. ПК-1.</b> Применяет средства поиска информации в информационных сетях.</p>	



	<b>аттестация</b>							
	<b>Итого:</b>					<b>36</b>	<b>36</b>	
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>					<b>72</b>		

### Содержание дисциплины

1. **Фазовые переходы в термодинамически неравновесных системах.** Процессы токопрохождения в широкозонных материалах в сильных электрических полях. Применение простейшей модели для объяснения явления примесного пробоя в полупроводниках. Влияние Оже-рекомбинации на явление примесного пробоя. Простейшая модель фазового перехода.
2. **Колебания в нелинейных системах. Хаотическое поведение.** Схемы процессов рекомбинации и генерации носителей в сильных электрических полях. Принципы построения кинетических уравнений процессов генерации-рекомбинации. Полный набор уравнений, описывающих процессы генерации-рекомбинации в широкозонных материалах с глубокими примесными уровнями.
3. **Примеры явлений в полупроводниках, которые можно интерпретировать как фазовые переходы.** Примесный пробой в полупроводниках. Простейшая система локальных уровней, приводящая к фазовому переходу второго рода. Отсутствие влияния Оже рекомбинации при низких температурах, наличие захвата носителей на уровни ловушек, как фактор приводящий к отсутствию фазового перехода. Кинетическое уравнение для простейшей модели фазового перехода.
4. **Образование структур. Динамика переключения.** Оценка величины времени переключения. Примесный пробой в широкозонных материалах, как фазовый переход второго рода. Кинетическое уравнение для широкозонного материала с учетом возбужденного состояния ловушек. Принципиальное отличие модели с учетом возбужденного состояния ловушек от простейшей модели. Необходимые условия для наступления явлений самоорганизации в широкозонных материалах. Различные виды вольт-амперных характеристик объемных широкозонных материалов. Время переключения широкозонных материалов.

### 5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В преподавании дисциплины «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» используются следующие образовательные технологии:

- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

В процессе обучения предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий: адресация аудитории вопросов и коллективный поиск ответов на них в форме дискуссий, встречи с известными специалистами и экспертами.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальный анализ физических принципов работы полупроводниковых электронных приборов в нелинейных режимах и связанных с этим нелинейных явлений и явлений самоорганизации:

### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистрантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Самостоятельная работа магистрантов по дисциплине проводится в течение всего периода освоения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к практическим занятиям, в выполнении заданий преподавателя, написании реферата.

#### Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала практических занятий вдумчиво разбирать вопросы, рассмотренные на каждом занятии по непонятым деталям консультироваться у преподавателя, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к практическим занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- при подготовке реферата пользоваться рекомендованной литературой;
- задания, которые даются преподавателем во время занятий по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачёта.

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых магистрантам в ходе практических занятий:

- 1) Перечислить основные механизмы рекомбинации в широкозонных полупроводниках.
- 2) При каких центрах захвата примесный пробой невозможен?
- 3) Возможны ли фазовые переходы в широкозонных материалах при высоких температурах?
- 4) Простейшая модель, приводящая к фазовому переходу.
- 5) Будет ли наступать фазовый переход при преобладании кинетики Шокли – Рида?
- 6) Особенности автомодуляции в полупроводниковых лазерах.
- 7) Как оценить скорость переключения при наступлении фазового перехода?

При реализации программы дисциплины «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» магистрантам предлагается подготовить реферат.

Примерный перечень предлагаемых тем рефератов:

1. Фазовые переходы в термодинамически неравновесных системах.
2. Процессы прохождения тока в широкозонных материалах в сильных электрических полях
3. Колебания в нелинейных системах.
3. Процессы рекомбинации и генерации носителей в сильных электрических полях.
4. Примесный пробой в полупроводниках.
5. Явления самоорганизации в широкозонных материалах.

Рефераты выполняются под руководством преподавателя и должны содержать элементы литературного обзора по теме, анализа в соответствии с конкретной спецификой выбранной темы. Рефераты следует выполнять в течение всего семестра с периодическим обсуждением результатов с преподавателем.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта.

**Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

- 1.Схемы процессов рекомбинации и генерации носителей с участием зоны проводимости, валентной зоны и локализованных примесных уровней.
- 2.Принципы построения кинетических уравнений процессов генерации-рекомбинации.
- 3.Кинетика Шокли-Рида.

4. Полный набор уравнений, описывающих процессы генерации-рекомбинации в широкозонных материалах с глубокими примесными уровнями.
5. Понятие о фазовых переходах второго рода.
6. Примеры явлений в полупроводниках, которые можно интерпретировать как фазовые переходы.
7. Простейшая система локальных уровней, приводящая к фазовому переходу второго рода.
8. Условия локальной нейтральности в образце с глубокими примесными уровнями.
9. Система локальных уровней с учётом возбуждённого состояния ловушек, приводящая к фазовому переходу второго рода.
10. Применение простейшей модели для объяснения явления примесного пробоя в полупроводниках.
11. Кинетическое уравнение для простейшей модели фазового перехода.
12. Качественный анализ преобразованного кинетического уравнения.
13. Влияние Оже-рекомбинации на явление примесного пробоя. Постоянство критического поля.
14. Система локальных уровней с учётом возбуждённого состояния ловушек, приводящая к фазовому переходу второго рода.
15. Доказательство неравновесности фазовых переходов в широкозонных материалах.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
1	0	0	30	20	0	10	40	100

### *Программа оценивания учебной деятельности студента*

#### **1 семестр**

##### **Лекции**

Не предусмотрены.

##### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.

##### **Практические занятия:**

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 30 баллов.

### **Самостоятельная работа**

Выполнение заданий на самостоятельную работу – от 0 до 20 баллов.

### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### **Другие виды учебной деятельности:**

Реферат – от 0 до 10 баллов.

### **Промежуточная аттестация (зачёт)**

Зачёт проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

*при проведении промежуточной аттестации*

*ответ на «зачтено» оценивается от 10 до 40 баллов;*

*ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 9 баллов;*

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 1 семестр по дисциплине «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» в оценку (зачёт).

60 баллов и более	«зачтено» (при недифференцированной оценке)
меньше 60 баллов	«не зачтено»

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) литература:

1. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учебное пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 375 с. (в ЗНБ СГУ 15 экз)
2. Щука А. А. Нанoeлектроника [**Электронный ресурс**] : учебное пособие, 3-е изд. – М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2015. – 345 с. - ЭБС «Лань».
3. Шалимова К. В. Физика полупроводников [**Электронный ресурс**] : учебник. - Москва : Лань, 2010. – 390 с. – ЭБС «ЛАНЬ»
4. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. - 390, [10] с. (в ЗНБ СГУ 43 экз.)
5. Процессы самоорганизации в неупорядоченных материалах [**Электронный ресурс**]: учебное пособие/ Т.Г. Авачёва [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2007.— 54 с. — ЭБС «IPRbooks»
6. Введение в теорию полупроводников: учеб. пособие / А. И. Ансельм. - 3-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. – 618 с. (в ЗНБ СГУ 41 экз)
7. Введение в теорию полупроводников [**Электронный ресурс**] : учеб. пособие / А. И. Ансельм. - 4-е изд., стер - Москва : Лань", 2016. - 624 с. **Гриф НМС МО.** - ЭБС «ЛАНЬ»
8. Основы физики полупроводников: учеб. пособие / Г. Г. Зегря, В. И. Перель. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 335 с. **Гриф УМО** (в ЗНБ СГУ 30 экз)
9. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 9-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар: Лань, 2009. – 478 с. **Гриф МО РФ** (в ЗНБ СГУ 134 экз.)
10. Широкозонные полупроводники: учеб. пособие для студентов вузов / Ю. Г. Шретер [и др.] ; Под общ. ред. Ильина В. И., Шика А. Я. - СПб. : Наука, 2001. - 123 с. (в ЗНБ СГУ 12 экз.)
11. Математическое моделирование и хаотические временные ряды: монография / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ "Колледж", 2005. – 319 с. (в ЗНБ СГУ 25 экз.)
12. Савельев И.В. Основы теоретической физики [**Электронный ресурс**]: учебник. Т.2. Квантовая механика. - 5-е изд., стер. - Москва : Лань", 2018. - 432 с. — ЭБС «ЛАНЬ»
13. Карлов Н.В., Кириченко Н. А. Начальные главы квантовой механики. – М.: «Физматлит», 2006. – 359 с. (в ЗНБ СГУ 5 экз), 2004 (5 экз.)
14. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем [**Электронный ресурс**] : учебное пособие/ Е. Б. Пелюхова , Э. Е. Фрадкин. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 320 с. — ЭБС «ЛАНЬ»

15. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем [Текст] : учебное пособие/ Е. Б. Пелюхова, Э. Е. Фрадкин. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар: Лань, 2011. - 320 с. (в ЗНБ СГУ 5 экз).
16. Вихров С.П., Бодягин Н.В., Ларина Т.Г. Неопределенность и необратимость физических процессов [**Электронный ресурс**] : учебное пособие. — 2-е изд. - Саратов : Вузовское образование, 2019. - 74 с. - ЭБС IPRbooks.
17. Природа невоспроизводимости структуры и свойств материалов для микро- и нанoeлектроники [**Электронный ресурс**]: учебное пособие/ Н.В. Бодягин [и др.].— 2-е изд.— Саратов: Вузовское образование, 2019.— 70 с. — ЭБС «IPRbooks»
18. Основы нанотехнологии : учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 397 с. **Гриф УМО** (в ЗНБ СГУ 3 экз)
19. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи: курс лекций / В. Г. Усыченко. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. - 240с. (в ЗНБ СГУ 14 экз)
20. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи: курс лекций / В. Г. Усыченко. - Санкт-Петербург: Лань, 2010. - 240с. — ЭБС «ЛАНЬ»
21. Структуры и хаос в нелинейных средах / Т. С. Ахромеева [и др.]. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 484 с. (в ЗНБ СГУ 58 экз)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Занятия по дисциплине «Нелинейные явления и самоорганизация в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками и пр. (презентации, плакаты).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» и профилем подготовки «Диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор  
профессор, д.ф.-м.н. Скрипаль А.В.

Программа одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 24 апреля 2019 года, протокол № 6.

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Рекомендуемая литература:

1. Хаотические колебания в СВЧ и НЧ цепях генератора на диоде Ганна / Д.А.Усанов, С.Б.Вениг, С.С.Горбатов, Э.В. Труфакин // Изв. ВУЗов Прикладная нелинейная динамика. 1999. Т.7, №4. С. 20-27.
2. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1985.
3. Шелль Р. Самоорганизация в полупроводниках. – М.: Мир, 1991.