

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 03.10.2023 10:10:23

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Приборные структуры на широкозонных полупроводниках

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

аудиторные занятия

51

зачет с оценкой 2

самостоятельная работа

93

курсовая работа 2

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 2 (1.2) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | УП | РП | УП | РП |
| Неделя | 18 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Контактная работа | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Сам. работа | 93 | 93 | 93 | 93 |
| Итого | 144 | 144 | 144 | 144 |

Программу составил(и):

к.тн, профессор, Поляков Александр Яковлевич; д.ф.м.н., профессор, Якимов Евгений Борисович

Рабочая программа

Приборные структуры на широкозонных полупроводниках

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, 11.04.04-МЭН-23-2.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ШЭ и ФШ

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович, к.ф.-м.н., доцент

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | Цели освоения дисциплины - формирование компетенций в соответствии с учебным планом по направлению 11.04.04 в области электроники и нанoeлектроники, дающие студентам общие представления о современных достижениях в области роста широкозонных полупроводниковых материалов и их применения в различных приборах, технологических проблем и современных подходов их решения. |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.01 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники | |
| 2.1.2 | История и методология науки и техники в области электроники | |
| 2.1.3 | Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур | |
| 2.1.4 | Перспективные технологии и материалы для поиска новых физических эффектов | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов | |
| 2.2.2 | Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства | |
| 2.2.3 | Основы предпринимательства | |
| 2.2.4 | Перспективная фотовольтаика | |
| 2.2.5 | Проектирование и технология электронной компонентной базы | |
| 2.2.6 | Радиационно-технологические процессы в электронике | |
| 2.2.7 | Физика СВЧ полупроводниковых приборов | |
| 2.2.8 | Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A ₂ B ₆ | |
| 2.2.9 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.10 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

| | |
|---|--|
| ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство | |
| Знать: | |
| ПК-1-31 Передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере роста объемных кристаллов и эпитаксиальных слоев широкозонных полупроводников | |
| ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники | |
| Знать: | |
| ПК-4-31 Особенности оборудования, предназначенного для проведения экспериментальных исследований широкозонных полупроводников | |
| ОПК-1: Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора, применять в профессиональной деятельности глубокие знания фундаментальных наук, знания в междисциплинарных областях | |
| Знать: | |
| ОПК-1-31 Актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности | |
| ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники | |
| Уметь: | |
| ПК-4-У1 Спланировать эксперименты по выявлению роли дефектов с глубокими уровнями в поведении полевых транзисторов и светодиодов на основе широкозонных полупроводников (нитридов третьей группы) | |
| ПК-4-У2 Определение основных рабочих характеристик полупроводникового прибора | |
| ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство | |
| Уметь: | |
| ПК-1-У1 Решать профессиональные задачи в области конструирования многокаскадных гетероструктурных фотопреобразователей на основе широкозонных полупроводников | |

| |
|---|
| ОПК-5: Способен демонстрировать практические навыки для решения сложных задач, выполнения сложного проектирования, а также проведения комплексных исследований, знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями |
| Уметь: |
| ОПК-5-У2 Применять методики поиска, сбора и обработки информации |
| ОПК-5-У1 Осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из различных источников |
| ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники |
| Владеть: |
| ПК-4-В1 Способностью интерпретации результатов экспериментов по исследованию спектров глубоких уровней в полевых транзисторах и светодиодах на основе широкозонных полупроводников (нитридов третьей группы) |
| ОПК-1: Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора, применять в профессиональной деятельности глубокие знания фундаментальных наук, знания в междисциплинарных областях |
| Владеть: |
| ОПК-1-В1 Навыками сбора и анализа исходных данных для предложения новых подходов решения профессиональных задач |
| ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство |
| Владеть: |
| ПК-1-В1 Пониманием основных технологических процессов роста полупроводниковых структур |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|--------------------------|------------|----|--------------------|
| | Раздел 1. Структура и электрические свойства нитридов третьей группы | | | | | | | |
| 1.1 | Структура и электронные свойства нитрида галлия и родственных тройных и четверных полупроводниковых соединений. Особенности структуры вюрцита, в которой кристаллизуются эти полупроводники. Зонная структура основных полупроводников, принадлежащих к группе нитрида галлия. Электрические и оптические свойства нитридов, представляющие интерес для полупроводниковых приборов. Следствия отсутствия центра инверсии, поляризационные электрические поля в нитридах третьей группы. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.Л2.1 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|---|------------------------------|--|--|----|
| 1.2 | Полярные и неполярные эпитаксиальные структуры. Методы задания типа полярных структур с галлиевой или нитридной полярностью. Неполярные структуры, методы их получения, преимущества и недостатки полярных и неполярных структур. Метастабильные структуры с кубической решёткой сфалерита. Их потенциальные преимущества и недостатки /Лек/ | 2 | 2 | ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.2Л2.1 Э3 | | | |
| 1.3 | структур нитридов, требования к ним, существующий уровень структурного совершенства при выращивании на различных подложках. Методы улучшения свойств плёнок нитридов, получаемых на различных подложках. «Идеальные» подложки для различных применений. Современный уровень /Лек/ | 2 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э4 | | | |
| 1.4 | Методы выращивания нитридов третьей группы, особенности структуры, связанные с отсутствием легкодоступных собственных материалов подложки для приготовления эпитаксиальных композиций, согласованных по параметру решётки и по коэффициенту термического расширения /Пр/ | 2 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.1Л2.1 Э3 | | | |
| 1.5 | Курсовая работа /Ср/ | 2 | 20 | ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э3 Э4 | Методическое указание на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре) | | Р1 |
| | Раздел 2. Дефекты в нитридах третьей группы, их электронные свойства | | | | | | | |
| 2.1 | Современные представления об электронной структуре и микроскопическом устройстве основных примесей и точечных дефектов в нитридах третьей группы. /Лек/ | 2 | 4 | ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.3 | | | |

| | | | | | | | | |
|--|---|---|----|---|---------------------------|--|--|----|
| 2.2 | Дислокации в нитридах третьей группы. Их роль в формировании электрических, оптических и рекомбинационных свойств материала. Роль других протяжённых дефектов. /Пр/ | 2 | 2 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У2 | Л1.3 Э1 Э5 Э6 | | | |
| 2.3 | Курсовая работа /Ср/ | 2 | 20 | ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.3 Э1 Э5 Э6 | Методические указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре) | | Р2 |
| Раздел 3. Методы изучения электронной структуры дефектов в нитридах | | | | | | | | |
| 3.1 | Методы изучения спектров глубоких состояний в полупроводниках: емкостная и токовая релаксационная спектроскопия с электрической и оптической инъекцией /Лек/ | 2 | 6 | ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 | Л1.2 Л1.3Л2.1 Э7 Э8 | | | |
| 3.2 | Адмиттанс-спектроскопия, исследования вольт-фарадных характеристик в темноте и при освещении, спектры фотоёмкости и фототока /Лек/ | 2 | 4 | ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 | Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1 Э9 | | | |
| 3.3 | Исследование точечных и протяжённых дефектов в нитридах третьей группы методами растровой электронной микроскопии: методы визуализации дефектов в различных режимах, основы методов МКЛ и НТ, механизм формирования контраста на дефектах в режимах МКЛ и НТ, характеристики дефектов, которые могут быть определены из спектров и картин МКЛ. /Пр/ | 2 | 3 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.2 Э2 | | | |
| 3.4 | Определение диффузионной длины неравновесных носителей тока в нитридах третьей группы с помощью метода наведённого тока. Связь с протяжёнными дефектами в эпитаксиальных слоях. /Пр/ | 2 | 2 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 | Л1.3Л2.1 Э2 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|---|---------------------------------------|--|--|----|
| 3.5 | Курсовая работа /Ср/ | 2 | 20 | ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1 Э2 Э7 Э8 Э9 | Методическое указание на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре) | | Р3 |
| | Раздел 4. Особенности полевых транзисторов на основе гетеропереходов в нитридах третьей группы | | | | | | | |
| 4.1 | Полевые транзисторы на основе гетеропереходов в нитридах третьей группы. Принципиальное устройство, потенциальные преимущества по сравнению с полевыми транзисторами на основе других соединений АШВУ /Лек/ | 2 | 4 | ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.2Л2.1 | | | |
| 4.2 | Механизм «поляризованного» легирования таких гетероструктур, плотность двумерного электронного газа и её связь с электрическими и структурными характеристиками слоёв, подвижность двумерных электронов, требования к буферу полевого транзистора, пути достижения высокого удельного сопротивления буфера, а также высокой концентрации и подвижности двумерных электронов. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.3Л2.1 | | | |
| 4.3 | Основные характеристики полевых транзисторов на основе нитрида галлия, связь характеристик с характеристиками гетероструктуры /Пр/ | 2 | 3 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У2 | Л1.2Л2.1 | | | |
| 4.4 | Курсовая работа /Ср/ | 2 | 18 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.2 Л1.3Л2.1 | Методическое указание на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре) | | Р4 |
| | Раздел 5. Особенности изучения спектров глубоких центров в приборах на основе нитридов третьей группы, влияние дефектов на характеристики транзисторов, светодиодов и лазеров | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|----|--|---|--|-----|----|
| 5.1 | Некоторые основные центры, обнаруженные в экспериментах по изучению коллапса тока в транзисторах и механизмов деградации транзисторов /Лек/ | 2 | 4 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1 | Л1.3Л2.1 Э1 Э13 Э14 | | | |
| 5.2 | Процессы, приводящие к нелинейностям, временным задержкам и потерям эффективности полевых транзисторов: gate lag и drain lag и их возможные механизмы. Методы изучения электронной структуры и природы центров, ответственных за коллапс тока в транзисторах на основе нитрида галлия /Лек/ | 2 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |
| 5.3 | Особенности изучения спектров глубоких состояний применительно к полевым транзисторам, светодиодам и лазерным диодам /Пр/ | 2 | 3 | ПК-1-В1 ПК-4-31 | Л1.2Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 5.4 | Роль глубоких центров в поведении светодиодов и лазерных диодов на основе нитридов третьей группы, некоторые результаты таких исследований /Пр/ | 2 | 2 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 | Л1.3Л2.1 Л2.2 Э10 Э11 Э12 | | КМ1 | |
| 5.5 | Курсовая работа /Ср/ | 2 | 15 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 | Методическое указание на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре) | | Р5 |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|--------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|
|--------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|

| | | | |
|---|-----------------|------------------------------------|---|
| KM1 | Тест | ПК-1-В1;ПК-4-У2;ПК-4-31 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Какое направление является полярным в структуре вюрцита? 2. В каком направлении поляризационное поле в структуре вюрцита равно нулю? 3. Что увеличивает эффективность поляризационного легирования в полевых транзисторах AlGaIn/GaN? 4. В какую сторону направлено поляризационное электрическое поле в гетероструктуре n-GaN/n-InGaIn/n-GaN с никелевым диодом Шоттки? 5. В каком гетеропереходе самое слабое пьезоэлектрическое поле? 6. Какие примеси используются для получения высокого удельного сопротивления в нитриде галлия? 7. Почему растрескиваются плёнки нитрида галлия при выращивании на кремнии? 8. В каких светодиодах квантовая эффективность на нитридах третьей группы максимальна? 9. Какие параметры глубоких центров измеряются в адмиттанс-спектроскопии? 10. В какую сторону смещается пик в проводимости (ступенька в ёмкости) при увеличении частоты измерений? 11. К каким параметрам чувствительна адмиттанс-спектроскопия? 12. Какие параметры ловушек в диоде Шоттки можно измерить с помощью ёмкостной релаксационной спектроскопии с электрической инжекцией? 13. Какие параметры глубоких уровней можно определить из спектров РСГУ? 14. Что определяют из Аррениусовских зависимостей коэффициента эмиссии в методе РСГУ? 15. Что нужно сделать для прямого измерения сечения захвата ловушки в методе РСГУ? 16. С помощью какого метода можно измерить спектр ловушек в высокоомном полупроводнике? 17. С помощью какого метода можно измерить диффузионную длину неосновных носителей тока в нитридах? 18. Какие ловушки сильнее изменяют ток в канале полевого транзистора? 19. Где в полевом транзисторе сильнее всего происходит захват на поверхностные ловушки? 20. Почему нельзя получить оксид галлия р-типа проводимости? |
| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |

| | | | |
|----|-----------------|---|--|
| P1 | Курсовая работа | ПК-4-В1;ПК-1-У1;ПК-1-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-1-31;ОПК-1-В1 | <p>1. Структура и электронные свойства нитрида галлия и родственных тройных и четверных полупроводниковых соединений. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, осветить: особенности структуры вюрцита, в которой кристаллизуются эти полупроводники, особенности зонной структуры основных полупроводников, принадлежащих к группе нитрида галлия.</p> <p>2. Электрические и оптические свойства нитридов, представляющие интерес для полупроводниковых приборов. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, осветить: следствия отсутствия центра инверсии, влияние поляризационных электрических полей в нитридах третьей группы.</p> <p>3. Методы выращивания нитридов третьей группы. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, осветить: особенности структуры, связанные с отсутствием легкодоступных собственных материалов подложки для приготовления эпитаксиальных композиций, согласованных по параметру решётки и по коэффициенту термического расширения; описать характерные черты полярных и неполярных эпитаксиальных структур и методы задания типа полярных структур с галлиевой или нитридной полярностью.</p> |
| P2 | Курсовая работа | ПК-4-В1;ПК-1-В1;ПК-1-У1;ПК-1-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-1-31;ОПК-1-В1 | <p>1. Неполярные структуры. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, осветить методы получения неполярных структур, преимущества и недостатки полярных и неполярных структур, особенности метастабильных структур с кубической решёткой сфалерита, их потенциальные преимущества и недостатки</p> <p>2. Подложки для выращивания эпитаксиальных структур нитридов. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, осветить: требования к гетерокомпозициям, существующий уровень структурного совершенства при выращивании на различных подложках, методы улучшения свойств плёнок нитридов, получаемых на различных подложках, обсудить «идеальные» подложки для различных применений и достигнутый современный уровень.</p> <p>3. Современные представления об электронной структуре и микроскопическом устройстве основных примесей и точечных дефектов в нитридах третьей группы Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать свойства дислокаций в нитридах третьей группы, их роль в формировании электрических, оптических и рекомбинационных свойств материала, роль других протяжённых дефектов</p> <p>4. Радиационные дефекты в нитридах. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать основные дефекты, их влияние на характеристики полевых транзисторов с гетеропереходом</p> |

| | | | |
|----|-----------------|---|---|
| P3 | Курсовая работа | ПК-1-31;ПК-4-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-1-31;ОПК-1-В1 | <p>1. Исследование точечных и протяжённых дефектов в нитридах третьей группы методами растровой электронной микроскопии. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать методы визуализации дефектов в различных режимах, основы методов МКЛ и НТ, механизм формирования контраста на дефектах в режимах МКЛ и НТ, характеристики дефектов, которые могут быть определены из спектров и картин МКЛ</p> <p>2. Определение диффузионной длины неравновесных носителей тока в нитридах третьей группы с помощью метода наведённого тока. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, проанализировать связь с протяжёнными дефектами в эпитаксиальных слоях</p> <p>3. Методы изучения спектров глубоких состояний в полупроводниках. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, рассмотреть возможности емкостной и токовой релаксационной спектроскопии с электрической и оптической инжекцией, адмиттанс-спектроскопии, исследования вольт-фарадных характеристик в темноте и при освещении, изучения спектров фотоёмкости и фототока</p> <p>4. Особенности изучения дефектных состояний в нитридах. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, проанализировать специфические трудности при измерении спектров глубоких состояний применительно к полевым транзисторам, светодиодам и лазерным диодам</p> |
| P4 | Курсовая работа | ПК-4-В1;ПК-4-У2;ПК-4-У1;ПК-4-31;ПК-1-У1;ПК-1-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-1-31;ОПК-1-В1 | <p>1. Полевые транзисторы на основе гетеропереходов в нитридах третьей группы. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать принципиальное устройство, потенциальные преимущества по сравнению с полевыми транзисторами на основе других соединений АШВV.</p> <p>2. Механизм «поляризационного» легирования гетероструктур на основе нитридов. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, проанализировать: плотность двумерного электронного газа и её связь с электрическими и структурными характеристиками слоёв, подвижность двумерных электронов, требования к буферу полевого транзистора, пути достижения высокого удельного сопротивления буфера, а также высокой концентрации и подвижности двумерных электронов</p> <p>3. Основные характеристики полевых транзисторов на основе нитрида галлия. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать связь характеристик транзистора с характеристиками гетероструктуры</p> <p>4. Процессы, приводящие к нелинейностям, временным задержкам и потерям эффективности полевых транзисторов. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, рассмотреть явления gate lag и drain lag и их возможные механизмы, описать методы изучения электронной структуры и природы центров, ответственных за коллапс тока в транзисторах на основе нитрида галлия</p> <p>5. Влияние типа барьерного слоя транзистора на характеристики полевых транзисторов. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, проанализировать влияние мольной доли алюминия в AlGa_N, прослойки AlN, замены барьера AlGa_N на InAlN</p> <p>6. Нормально-открытые и нормально-закрытые транзисторы. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, проанализировать причины, по которым требуется получать транзисторы обоих типов, факторы, влияющие на величину порогового напряжения, методы получения нормально- закрытых транзисторов</p> |

| | | | |
|----|-----------------|---|--|
| P5 | Курсовая работа | ПК-4-В1;ПК-4-У2;ПК-4-У1;ПК-4-31;ПК-1-У1;ОПК-5-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-В1;ОПК-5-У2 | <p>1. Некоторые основные центры в полевых транзисторах на нитридах. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать поведение центров, обнаруженных в экспериментах по изучению коллапса тока в транзисторах, и механизмы деградации транзисторов</p> <p>2. Роль глубоких центров в поведении светодиодов и лазерных диодов на основе нитридов третьей группы. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, проанализировать некоторые результаты таких исследований</p> <p>3. Факторы, влияющие на эффективность светодиодов на основе нитридов в различных спектральных диапазонах. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать сравнительную роль безызлучательной рекомбинации на глубоких центрах, Оже-рекомбинации, эффекта Штарка</p> <p>4. Спад внутренней квантовой эффективности светодиодов при высоких токах светодиодов. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать явление, его причины, методы борьбы.</p> <p>5. Квантово-размерный эффект Штарка в нитридных светодиодах. Задание: ознакомиться с предоставленной литературой, описать роль поляризационного электрического поля в изменении зонной структуры квантовых ям в нитридах, проанализировать, факторы, влияющие на величину эффекта Штарка, последствия его для эффективности светодиодов, методы подавления эффекта.</p> |
|----|-----------------|---|--|

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен по дисциплине не предусмотрен

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По курсу предусмотрен зачет с оценкой и курсовая работа.

Оценка за зачет проставляется на основе устного ответа.

Оценка "отлично" - обучающийся отвечает на 2 вопроса, если студент показывает глубокие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний, грамотно и логично излагает мысли при ответе, умеет формулировать выводы из полученного материала.

Оценка "хорошо" - обучающийся отвечает на 2 вопроса, показывает знания в объеме пройденного материала, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, путается при изложении материала.

Оценка "удовлетворительно" - обучающийся отвечает на 1 вопроса, ответы излагает с ошибками, но уверенно исправляется после дополнительных и наводящих вопросов.

Оценка "неудовлетворительно" - обучающийся не может ответить на вопросы, допускает грубые ошибки в ответах, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка "не явка" - обучающийся на экзамен не явился.

Оценка за курсовую проставляется на основе выполненной работы и защищенной устно публичным выступлением перед группой.

Оценка "отлично" - обучающийся выполнил задание в полном объеме, разобрался в теме курсовой работы, отвечает на вопросы.

Оценка "хорошо" - обучающийся выполнил задание в полном объеме и не может ответить на вопросы, либо не все пункты выполнил, но хорошо отвечает на вопросы, может делать логические выводы.

Оценка "удовлетворительно" - обучающийся выполнил задание не в полном объеме и не может ответить на вопросы.

Оценка "неудовлетворительно" - обучающийся не выполнил задание.

Оценка "не явка" - обучающийся не получал задания для курсовой работы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------------|--|
| Л1.1 | Курляндская Г. В., Левит В. И., Васьковский В. О. | Материаловедение: монокристаллы: учебное пособие | Электронная библиотека | Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2011 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------------|------------------------|
| Л1.2 | Крапухин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д. | Технология материалов электронной техники: Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 1995 |
| Л1.3 | Шалимова К. В. | Физика полупроводников: учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микронэлектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1976 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------|------------------------|
| Л2.1 | Ковалев А. Н. | Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |
| Л2.2 | Юрчук С. Ю., Орлова М. Н., Борзых И. В., Щемеров И. В. | Приборы квантовой и оптической электроники: курс лекций | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2016 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|---|
| Э1 | Deep traps in GaN-based structures as affecting the performance of GaN devices | https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X15000443?via%3Dihub |
| Э2 | What is the real value of diffusion length in GaN? | https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092583881403045X?via%3Dihub |
| Э3 | Electrical properties and deep traps spectra in undoped and Si-doped m-plane GaN films | https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3078769 |
| Э4 | Demonstration of Nonpolar m-Plane InGaN/GaN Light -Emitting Diodes on Free-Standing m-Plane GaN Substrates | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-17444408562&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Demonstration+of+Nonpolar+m-Plane+InGaN%2fGaN+Light-Emitting+Diodes+on+Free-Standing+m-Plane+GaN+Substrates&st2=&sid=d73a3e453bfe49413d2e7d1d2f11a511&sot=b&sdt=b&sl=120&s=TITLE-ABS-KEY%28Demonstration+of+Nonpolar+m-Plane+InGaN%2fGaN+Light-Emitting+Diodes+on+Free-Standing+m-Plane+GaN+Substrates%29&relpos=0&citeCnt=194&searchTerm= |
| Э5 | Interaction of Oxygen with Threading Dislocations in GaN | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0032737558&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Interaction+of+Oxygen+with+Threading+Dislocations+in+GaN&st2=&sid=d73a3e453bfe49413d2e7d1d2f11a511&sot=b&sdt=b&sl=71&s=TITLE-ABS-KEY%28Interaction+of+Oxygen+with+Threading+Dislocations+in+GaN%29&relpos=0&citeCnt=37&searchTerm= |
| Э6 | Investigation of defects and surface polarity in GaN using hot wet etching together with microscopy and diffraction techniques | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0037198524&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Investigation+of+defects+and+surface+polarity+in+GaN+using+hot+wet+etching+together+with+microscopy+and+diffraction+techniques&st2=&sid=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=141&s=TITLE-ABS-KEY%28Investigation+of+defects+and+surface+polarity+in+GaN+using+hot+wet+etching+together+with+microscopy+and+diffraction+techniques%29&relpos=0&citeCnt=37&searchTerm= |
| Э7 | Optical deep level transient spectroscopy of minority carrier traps in n-type high-purity germanium | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0033313789&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Optical+deep+level+transient+spectroscopy+of+minority+carrier+traps+in+n-type+high-purity+germanium&st2=&sid=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=114&s=TITLE-ABS-KEY%28Optical+deep+level+transient+spectroscopy+of+minority+carrier+traps+in+n-type+high-purity+germanium%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm= |

| | | |
|-----|--|---|
| Э8 | Electrical characterization of n-type Al _{0.30} Ga _{0.70} N Schottky diodes | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79959435133&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Electrical+characterization+of+n-type+Al_{0.30}Ga_{0.70}N+Schottky+diodes&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=82&s=TITLE-ABS-KEY%28Electrical+characterization+of+n-type+Al_{0.30}Ga_{0.70}N+Schottky+diodes%29&relpos=0&citeCnt=45&searchTerm= |
| Э9 | A Current-Transient Methodology for Trap Analysis for GaN High Electron Mobility Transistors | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-78650901019&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=A+Current-Transient+Methodology+for+Trap+Analysis+for+GaN+High+Electron+Mobility+Transistors&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=107&s=TITLE-ABS-KEY%28A+Current-Transient+Methodology+for+Trap+Analysis+for+GaN+High+Electron+Mobility+Transistors%29&relpos=1&citeCnt=269&searchTerm= |
| Э10 | Performance improvement of GaN-based near-UV LEDs with InGaN/AlGaN superlattices strain relief layer and AlGaN barrier | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84978436588&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Performance+improvement+of+GaN-based+near-UV+LEDs+with+InGaN%2fAlGaN+superlattices+strain+relief+layer+and+AlGaN+barrier&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=133&s=TITLE-ABS-KEY%28Performance+improvement+of+GaN-based+near-UV+LEDs+with+InGaN%2fAlGaN+superlattices+strain+relief+layer+and+AlGaN+barrier%29&relpos=0&citeCnt=9&searchTerm= |
| Э11 | Status of GaN-based green light-emitting diodes | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84930933295&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Status+of+GaN-based+green+light-emitting+diodes&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY%28Status+of+GaN-based+green+light-emitting+diodes%29&relpos=3&citeCnt=21&searchTerm= |
| Э12 | A Brief Review of III-Nitride UV Emitter Technologies and Their Applications | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84947081193&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=A+Brief+Review+of+III-Nitride+UV+Emitter+Technologies+and+Their+Applications&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=91&s=TITLE-ABS-KEY%28A+Brief+Review+of+III-Nitride+UV+Emitter+Technologies+and+Their+Applications%29&relpos=0&citeCnt=24&searchTerm= |
| Э13 | Oxygen-Related Border Traps in MOS and GaN Devices | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84874858709&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Oxygen-Related+Border+Traps+in+MOS+and+GaN+Devices&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=65&s=TITLE-ABS-KEY%28Oxygen-Related+Border+Traps+in+MOS+and+GaN+Devices%29&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm= |
| Э14 | Influence of threading dislocation density on early degradation in AlGaIn/GaN high electron mobility transistors | https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-82955164094&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Influence+of+threading+dislocation+density+on+early+degradation+in+AlGaIn%2fGaN+high+electron+mobility+transistors&st2=&sid=6423a668f494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=126&s=TITLE-ABS-KEY%28Influence+of+threading+dislocation+density+on+early+degradation+in+AlGaIn%2fGaN+high+electron+mobility+transistors%29&relpos=0&citeCnt=54&searchTerm= |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|---|---|
| П.1 | Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr |
| 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных | |
| И.1 | Полнотекстовые российские научные журналы и статьи: |
| И.2 | - Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/ |
| И.3 | - Аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com |
| И.4 | - Аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com |
| И.5 | - Научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/ |

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|------------------------------------|--|---|
| Читальный зал электронных ресурсов | | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |
| К-508 | Лаборатория | модульный анализатор п/п приборов Agilent BI500A; измеритель высокоточный LCR E4980A; криостат LN-120 для исследования спектров глубоких уровней в полупроводниковых материалах и приборах в широком диапазоне температур; манипулятор ДРВ 3730-061; источник питания Б5-43А; источник питания Motech LPS-305; компьютер со специальным ПО для проведения исследований; стационарные компьютеры (5 шт.), пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Освоение дисциплины возможно только при систематической посещения лекций и практических занятий.

Слайд-конспект курса лекций предназначен для более глубокого усвоения материала при изучении разделов, связанных с технической частью курса. Презентация позволяет преподавателю иллюстрировать лекцию не только схемами и рисунками, которые есть в учебном пособии, но и полноцветными фотографиями, рисунками и т.д. Для дополнительной проработки пройденного материала и закрепления знаний студентам будет выдаваться копия презентаций лекций и практических занятий.

Студент может выбрать тему из представленного списка, может получить дополнительную консультацию по уточнению задания и алгоритма выполнения в аудитории К-508. Также к каждой теме будет выдан список литературы, которая поможет в подготовке и написании курсовой работы.