

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 12.10.2023 12:49:17

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

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

5 ЗЕТ

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 10

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

76

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	10 (5.2)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	76	76	76	76
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

к.тн, профессор, Поляков Александр Яковлевич; дфмн, профессор, Якимов Евгений Борисович

Рабочая программа

Приборные структуры на широкозонных полупроводниках

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2023 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 11.03.04 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.16
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Методы математического моделирования	
2.1.2	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.3	Моделирование процессов и устройств полупроводниковой электроники	
2.1.4	Силовые полупроводниковые приборы	
2.1.5	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	
2.1.6	Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций	
2.1.7	Физика наноструктур	
2.1.8	Физико-химия и технология наноструктур	
2.1.9	Вакуумная и плазменная электроника	
2.1.10	Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике	
2.1.11	Магнитные измерения	
2.1.12	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.1.13	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.1.14	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.15	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.16	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.1.17	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.1.18	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.1.19	Процессы вакуумной и плазменной электроники	
2.1.20	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.21	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.1.22	Элементы и устройства магнитоэлектроники	
2.1.23	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.24	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.25	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.26	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.27	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.28	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.29	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.30	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.31	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.32	Приемники оптического излучения	
2.1.33	Физика импульсного отжига	
2.1.34	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.35	Физические основы электроники	
2.1.36	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.37	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.38	Инженерная математика	
2.1.39	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.40	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.41	Технология материалов электронной техники	
2.1.42	Физика диэлектриков	
2.1.43	Физика конденсированного состояния	
2.1.44	Физика магнитных явлений	

2.1.45	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники
2.1.46	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике
2.1.47	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике
2.1.48	Статистическая физика
2.1.49	Физические свойства кристаллов
2.1.50	Электроника
2.1.51	Математическая статистика и анализ данных
2.1.52	Методы математической физики
2.1.53	Практическая кристаллография
2.1.54	Физика
2.1.55	Физическая химия
2.1.56	Математика
2.1.57	Органическая химия
2.1.58	Химия
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства
2.2.2	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.3	Радиационно-технологические процессы в электронике
2.2.4	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.5	Физика и техника магнитной записи
2.2.6	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)
2.2.7	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.9	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.10	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.11	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области	
Знать:	
ОПК-2-31	Методы исследования спектров дефектов в гетероструктурах и в структурах с квантовыми ямами, методы исследования электрических свойств широкозонных полупроводниковых структур
ОПК-2-32	Основные типы дефектов, встречающиеся в нитридах третьей группы, их электронную структуру, влияние дефектов на характеристики полевых транзисторов и светодиодов на основе нитридов
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники	
Знать:	
ПК-5-32	Передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере роста объемных кристаллов и эпитаксиальных слоев широкозонных полупроводников
ПК-5-31	Актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности
ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	
Знать:	
ОПК-1-31	Физические и структурные свойства широкозонных полупроводников (нитридов третьей группы)
ОПК-1-32	Особенности оборудования, предназначенного для проведения экспериментальных исследований широкозонных полупроводников
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники	

Уметь:
ПК-5-У1 Осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из различных источников
ПК-5-У2 Применять методики поиска, сбора и обработки информации
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У3 Спланировать эксперименты по выявлению роли дефектов с глубокими уровнями в поведении полевых транзисторов и светодиодов на основе широкозонных полупроводников (нитридов третьей группы)
ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности
Уметь:
ОПК-1-У1 Определение основных рабочих характеристик полупроводникового прибора
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У1 Определять цель, установить задачи исследования широкозонного полупроводника
ОПК-2-У2 Решать профессиональные задачи в области конструирования многокаскадных гетероструктурных фото-преобразователей на основе широкозонных полупроводников
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Владеть:
ПК-5-В1 Навыками сбора и анализа исходных данных для предложения новых подходов решения профессиональных задач
ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности
Владеть:
ОПК-1-В1 Пониманием основных технологических процессов роста полупроводниковых структур
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области
Владеть:
ОПК-2-В2 Пониманием основных технологических процессов роста полупроводниковых структур
ОПК-2-В3 Способностью интерпретации результатов экспериментов по исследованию спектров глубоких уровней в полевых транзисторах и светодиодах на основе широкозонных полупроводников (нитридов третьей группы)
ОПК-2-В1 Методами исследования спектров дефектов в широкозонных полупроводниках

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/	10	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 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/	10	2	ОПК-1-31 ОПК-2-В2	Л1.2Л2.1 Э3			
1.3	Исследование 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 /Лаб/	10	3	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ПК-5-У2 ОПК-2-У1 ОПК-2-У3 ОПК-2-В2 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э4			Р1

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/	10	4	ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ОПК-1-32 ПК-5-У2 ОПК-2-У1 ОПК-2-В2 ПК-5-В1	Л1.1Л2.1 Э3			
1.5	Подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям /Ср/	10	10	ПК-5-У1 ПК-5-У2 ОПК-2-У2 ОПК-2-У3 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э3 Э4	Методическое указание на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
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/	10	3	ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.3 Э1 Э12			
2.2	Дислокации в нитридах третьей группы. Их роль в формировании электрических, оптических и рекомбинационных свойств материала. Роль других протяжённых дефектов. /Пр/	10	5	ОПК-1-31 ОПК-2-32 ОПК-1-32 ПК-5-У1 ОПК-2-У2	Л1.3 Э1 Э5 Э6			
2.3	Подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям /Ср/	10	10	ОПК-1-31 ОПК-2-32 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-В1 ОПК-2-В3	Л1.3 Э1 Э5 Э6	Методическое указание 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 инжекцией /Лаб/	10	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-1-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Э7 Э8 Э9			Р2

3.2	Адмиттанс-спектроскопия, исследования вольт-фарадных характеристик в темноте и при освещении, спектры фотоёмкости и фототока /Лаб/	10	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-1-32 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1 ОПК-2-В3 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Э3 Э7 Э8			Р3
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/	10	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-2-В3	Л1.2 Э2 Э5			
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/	10	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-1-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1 ОПК-2-В3	Л1.3Л2.1 Э2			
3.5	Подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям /Ср/	10	21	ПК-5-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ПК-5-32 ОПК-1-32 ПК-5-У1 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1 ОПК-2-В3	Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1 Э2 Э7 Э8 Э9	Методическое указание на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
	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/	10	4	ПК-5-31 ПК-5-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-1-У1	Л1.2Л2.1 Э11 Э12			

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/	10	2	ПК-5-31 ПК-5-32 ОПК-1-32 ОПК-2-У2 ОПК-1-У1	Л1.3Л2.1 Э11 Э12 Э13 Э14			
4.3	Основные характеристики полевых транзисторов на основе нитрида галлия, связь характеристик с характеристиками гетероструктуры /Пр/	10	4	ОПК-1-У1 ОПК-2-В2	Л1.2Л2.1 Э9 Э10 Э12 Э13 Э14			
4.4	Подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям /Ср/	10	10	ПК-5-У1 ПК-5-У2 ОПК-2-У2 ОПК-1-У1 ПК-5-В1 ОПК-2-В3	Л1.2 Л1.3Л2.1 Э9 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14	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 /Лаб/	10	4	ОПК-2-У3 ОПК-1-У1 ОПК-2-В1 ОПК-2-В3 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.3Л2.1 Э1 Э13 Э14			Р4
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/	10	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1	Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1			

5.3	Особенности изучения спектров глубоких состояний применительно к полевым транзисторам, светодиодам и лазерным диодам /Пр/	10	4	ОПК-1-32 ПК-5-У1 ОПК-1-У1 ОПК-2-В3	Л1.2Л2.2 Э1			
5.4	Роль глубоких центров в поведении светодиодов и лазерных диодов на основе нитридов третьей группы, некоторые результаты таких исследований /Пр/	10	5	ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ПК-5-У1 ОПК-1-У1 ОПК-2-В1 ОПК-2-В3	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э10 Э11 Э12			
5.5	Подготовка к лабораторным работам, практическим занятиям и экзамену /Ср/	10	25	ОПК-1-31	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14	Методическ е указания на электронном и бумажном носителе (присутству ют на кафедре)		

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		<p>1. Какое направление является полярным в структуре вюрцита?</p> <p>2. В каком направлении поляризационное поле в структуре вюрцита равно нулю?</p> <p>3. Что увеличивает эффективность поляризационного легирования в полевых транзисторах AlGaIn/GaN?</p> <p>4. В какую сторону направлено поляризационное электрическое поле в гетероструктуре n-GaN/n-InGaIn/n-GaN с никелевым диодом Шоттки?</p> <p>5. В каком гетеропереходе самое слабое пьезоэлектрическое поле?</p> <p>6. Какие примеси используются для получения высокого удельного сопротивления в нитриде галлия?</p> <p>7. Почему растрескиваются плёнки нитрида галлия при выращивании на кремнии?</p> <p>8. В каких светодиодах квантовая эффективность на нитридах третьей группы максимальна?</p> <p>9. Какие параметры глубоких центров измеряются в адмиттанс-спектроскопии?</p> <p>10. В какую сторону смещается пик в проводимости (ступенька в ёмкости) при увеличении частоты измерений?</p> <p>11. К каким параметрам чувствительна адмиттанс-спектроскопия?</p> <p>12. Какие параметры ловушек в диоде Шоттки можно измерить с помощью ёмкостной релаксационной спектроскопии с электрической инжекцией?</p> <p>13. Какие параметры глубоких уровней можно определить из спектров РСГУ?</p> <p>14. Что определяют из Аррениусовских зависимостей коэффициента эмиссии в методе РСГУ?</p> <p>15. Что нужно сделать для прямого измерения сечения захвата ловушки в методе РСГУ?</p> <p>16. С помощью какого метода можно измерить спектр ловушек в высокоомном полупроводнике?</p> <p>17. С помощью какого метода можно измерить диффузионную длину неосновных носителей тока в нитридах?</p> <p>18. Какие ловушки сильнее изменяют ток в канале полевого транзистора?</p> <p>19. Где в полевом транзисторе сильнее всего происходит захват на поверхностные ловушки?</p> <p>20. Почему нельзя получить оксид галлия р-типа проводимости?</p>
-----	------	--	--

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	Лабораторная работа	ОПК-1-31	Структура и электронные свойства нитрида галлия
P2	Лабораторная работа	ОПК-2-32; ОПК-2-31; ОПК-2-У3; ОПК-2-В1; ОПК-1-32	Измерение ёмкостной и токовой релаксационной спектроскопии с электрической и оптической инжекцией

P3	Лабораторная работа	ОПК-2-31;ОПК-2-У3;ОПК-2-В1;ОПК-2-В3;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-В1	Исследования вольт-фарадных характеристик в темноте и при освещении
P4	Лабораторная работа	ОПК-2-В3;ОПК-2-В1;ОПК-2-У3;ПК-5-У2;ПК-5-У1	Идентификация основных глубоких центров в оксиде галлия

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

Список экзаменационных вопросов:

1. Структура и электронные свойства нитрида галлия и родственных тройных и четверных полупроводниковых соединений (особенности структуры вюрцита, в которой кристаллизуются эти полупроводники, особенности зонной структуры основных полупроводников, принадлежащих к группе нитрида галлия).
2. Электрические и оптические свойства нитридов, представляющие интерес для полупроводниковых приборов (следствия отсутствия центра инверсии, влияние поляризационных электрических полей в нитридах третьей группы).
3. 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; описать характерные черты полярных и неполярных эпитаксиальных структур и методы задания типа полярных структур с галлиевой или нитридной полярностью).
4. 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)
5. Определение диффузионной длины неравновесных носителей тока в нитридах третьей группы с помощью метода наведённого тока (связь с протяжёнными дефектами в эпитаксиальных слоях).
6. Методы изучения спектров глубоких состояний в полупроводниках (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).
7. Особенности изучения дефектных состояний в нитридах (специфические трудности при измерении спектров глубоких состояний применительно к полевым транзисторам, светодиодам и лазерным диодам).
8. 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).
9. Определение диффузионной длины неравновесных носителей тока в нитридах третьей группы с помощью метода наведённого тока (связь с протяжёнными дефектами в эпитаксиальных слоях).
10. Методы изучения спектров глубоких состояний в полупроводниках (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).
11. Особенности изучения дефектных состояний в нитридах (специфические трудности при измерении спектров глубоких состояний применительно к полевым транзисторам, светодиодам и лазерным диодам).
12. Полевые транзисторы на основе гетеропереходов в нитридах третьей группы (принципиальное устройство, потенциальные преимущества по сравнению с полевыми транзисторами на основе других соединений АПШВ).
13. Механизм «поляризационного» легирования гетероструктур на основе нитридов (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)
14. Основные характеристики полевых транзисторов на основе нитрида галлия (описать связь характеристик транзистора с характеристиками гетероструктуры).
15. Процессы, приводящие к нелинейностям, временным задержкам и потерям эффективности полевых транзисторов (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).
16. Влияние типа барьерного слоя транзистора на характеристики полевых транзисторов (влияние мольной доли алюминия в AlGa_N, прослойки AlN, замены барьера AlGa_N на InAlN)
17. Нормально-открытые и нормально-закрытые транзисторы (причины, по которым требуется получать транзисторы обоих типов, факторы, влияющие на величину по-рогового напряжения, методы получения нормально- закрытых транзисторов).
18. Некоторые основные центры в полевых транзисторах на нитридах (описать поведение центров, обнаруженных в экспериментах по изучению коллапса тока в транзисторах, и механизмы деградации транзисторов).
19. Роль глубоких центров в поведении светодиодов и лазерных диодов на основе нитридов третьей группы (проанализировать результаты таких исследований).
20. Факторы, влияющие на эффективность светодиодов на основе нитридов в различных спектральных диапазонах (описать сравнительную роль безызлучательной рекомбинации на глубоких центрах, Оже-рекомбинации, эффекта Штарка)
21. Спад внутренней квантовой эффективности светодиодов при высоких токах светодиодов (описать явление, его причины, методы борьбы).
22. Квантово-размерный эффект Штарка в нитридных светодиодах (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).

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

По курсу предусмотрен экзамен с оценкой:

Оценка за экзамен 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.

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
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 микроэлектрон. 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 Сергей Юрьевич, Орлова Марина Николаевна, Борзых Ирина Вячеславовна, Щемеров Иван Васильевич	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/S0927796X15004443?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+Al0.30Ga0.70N+Schottky+diodes&st2=&sid=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&sot=b&sdt=b&sl=82&s=TITLE-ABS-KEY%28Electrical+characterization+of+n-type+Al0.30Ga0.70N+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=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&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=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&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=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&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=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&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=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&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=6423a668f49494c08b65c0dd35b5d0a6&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 B1500A; 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 посещении лекций, практических занятий и лабораторных работ.

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 к экзамену.