

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 28.01.2023 13:07:51

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

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:

зачет с оценкой 2

аудиторные занятия

51

курсовая работа 2

самостоятельная работа

93

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	Неделя			
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-22-2.plx , утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

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	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.7	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.8	Радиационно-технологические процессы в электронике	
2.2.9	Физика СВЧ полупроводниковых приборов	
2.2.10	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6	

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-4-У1 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1	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-4-У2 ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.3 Э1 Э5 Э6			
2.3	Курсовая работа /Ср/	2	20	ПК-4-У2 ПК-1-В1 ПК-4-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1	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 инжекцией /Лек/	2	6	ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31	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-4-У1 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31	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-4-У1 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.3Л2.1 Э2			

3.5	Курсовая работа /Ср/	2	20	ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1 Э2 Э7 Э8 Э9	Методическ е указания на электронном и бумажном носителе (присутству ют 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 АПВВ /Лек/	2	4	ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.2Л2.1			
4.2	Механизм «поляризационного» 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-4-У2 ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.2Л2.1			
4.4	Курсовая работа /Ср/	2	18	ПК-1-У1 ПК-4-У2 ПК-1-В1 ПК-4-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1	Методическ е указания на электронном и бумажном носителе (присутству ют 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-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31	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-4-У1 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э10 Э11 Э12		КМ1	
5.5	Курсовая работа /Ср/	2	15	ПК-1-У1 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1 ПК-1-В1 ПК-4-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-1-31 ОПК-1-В1	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	<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	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	Научно-исследовательская лаборатория "Широкозонные материалы и приборы":	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 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.