

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан физического факультета
_____ Малышев А.И.

« 31 » августа 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

«Актуальные проблемы современной электроники
и нанoeлектроники»

Уровень подготовки

аспирантура

Направление подготовки

03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность образовательной программы

01.04.10 «Физика полупроводников»

Квалификация

Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения
очная

Нижний Новгород, 2021

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» относится к вариативной части ОПОП, является общепрофессиональной дисциплиной и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

Целью освоения дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» является изучение передовых достижений, основных направлений, тенденций, перспектив и проблем развития современной электроники и нанoeлектроники для выработки навыков оценки новизны исследований и разработок и для освоения новых методологических подходов к решению задач в области профессиональной полупроводниковой электроники.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</i>	<i>З1 (УК-1) Знание основных методов научно-исследовательской деятельности; У1 (УК-1) Умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач; В1 (УК-1) Владение навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.</i>
<i>УК-3. Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач</i>	<i>З1 (УК-3) Знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах; У1 (УК-3) Умение следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач; У2 (УК-3) Умение осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом; В1 (УК-3) Владение навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах; В2 (УК-3) Владение технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке;</i>

	<p><i>В3 (УК-3) Владение технологиями планирования деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач;</i></p> <p><i>В4 (УК-3) Владение различными типами коммуникаций при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач.</i></p>
<p><i>ПК-1. Способность к методически грамотному изложению материала учебных дисциплин при чтении лекций, построении практических занятий, разработке учебных пособий и к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы, получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности 01.04.10 «Физика полупроводников»</i></p>	<p><i>З1 (ПК-1) Знание актуальных проблем и современного состояния полупроводниковой микро- и наноэлектроники;</i></p> <p><i>З2 (ПК-1) Знание физических основ процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния;</i></p> <p><i>З3 (ПК-1) Знание физических основ технологии выращивания полупроводниковых материалов и структур на их основе;</i></p> <p><i>У1 (ПК-1) Умение самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их результаты;</i></p> <p><i>У2 (ПК-1) Умение разрабатывать новые модели физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния;</i></p> <p><i>У3 (ПК-1) Умение исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаноструктур;</i></p> <p><i>В1 (ПК-1) Владение способностями анализа и оценки научной информации в области физики полупроводников.</i></p> <p><i>В2 (ПК-1) Владение навыками моделирования физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния.</i></p> <p><i>В3 (ПК-1) Владение навыками работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаноструктур.</i></p>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 56 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов лекции, 36 часов лабораторные работы, 2 часа - мероприятия текущего контроля, 2 часа - мероприятия промежуточного контроля), 88 часов – самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе				
		Контактная работа, часов				Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Введение. Кремний – основа электроники и нанoeлектроники	16	4			4	12
Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.	23	2		9	11	12
Структура кремния.	23	2		9	11	12
Структура, свойства, получение, применение плёнок и слоёв кремния.	23	2		9	11	12
КНИ-технология как основа интегральной микроэлектроники.	23	2		9	11	12
Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.	14	2			2	12
Эволюция интегральных схем. Закон Мура.	14	2			2	12
Текущий контроль	6	2			2	4
ВСЕГО	142	18		36	54	88
Промежуточная аттестация по дисциплине. Экзамен – 2 часа						

Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля
1	Введение. Кремний – основа электроники и нанoeлектроники	Основные этапы производства кремния. Получение технического кремния. Получение полупроводникового кремния. Метод водородного восстановления трихлорсилана. Очистка трихлорсилана. Восстановление очищенного трихлорсилана. Получение поликристаллических стержней кремния из	Лекции	Контроль посещаемости

		моносилана SiH_4 . Производство монокристаллов кремния. Оборудование для выращивания слитков. Метод Чохральского. Легирование монокристаллов кремния. Обработка слитков. Метод бестигельной зонной плавки. Дефекты монокристаллического кремния. Основные фоновые примеси. Производство кремния в России и за рубежом. Этапы кремниевой технологии.		
2	Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.	Газофазная эпитаксия кремния. Установка Эпиквар. Молекулярно-лучевое осаждение и эпитаксия кремния. Установка сублимационной эпитаксии кремния. Структурные модификации кремния (a-Si, nc-Si, por-Si, mc-Si, poly-Si, c-Si). Плазмохимическое ВЧ-разложение силана.	Лекции, лабораторные работы.	Контроль посещаемости, прием и проверка отчетов по лабораторным работам.
3	Структура кремния.	Структура атома: заполнение электронных оболочек и гибридизация валентных состояний. Структурный тип алмаза. Пространственная и точечная симметрия. Описание структурного типа в терминах плотнейшей упаковки. Структура поверхности кремния. Реконструкция и методы её наблюдения. Типы поверхностной реконструкции кремния. Примеси на поверхности кремния.	Лекции, лабораторные работы.	Контроль посещаемости, прием и проверка отчетов по лабораторным работам.
4	Структура, свойства, получение, применение плёнок и слоёв кремния.	Плёнки поликристаллического кремния. Плёнки микрокристаллического кремния. Плёнки аморфного кремния. Пористый кремний.	Лекции, лабораторные работы.	Контроль посещаемости, прием и проверка отчетов по лабораторным работам.
5	КНИ-технология как основа интегральной микроэлектроники.	Принцип работы кремниевого МОП-транзистора. Комплементарная пара МОП-транзисторов в планарном исполнении на объёмном кремнии и на структуре КНИ. Разновидности технологии «кремний на	Лекции, лабораторные работы.	Контроль посещаемости, прием и проверка отчетов по лабораторным работам.

		изоляторе». Диэлектрическая изоляция (DI) кремния. Структуры «кремний на сапфире» как разновидность КНИ-структур. Технологии SIMOX, BESOI, UNIBONDTM, SmartCutTM, ELTRAN.		
6	Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.	Структурные аспекты проблемы КНС (кремний на сапфире). Микродвойники и дефекты упаковки на гетерогранице. Автолегирование алюминием. Термонапряжения. Газофазная гетероэпитаксия кремния на сапфир. Установка Эпиквар. Недостатки метода газофазного осаждения. Ультратонкий кремний на сапфире - UTSi®. Применение метода ионной имплантации и твердофазной рекристаллизации для снижения дефектности КНС-структур. Молекулярно-лучевая гетероэпитаксия КНС. Пути развития КМОП КНС-технологии.	Лекции	Контроль посещаемости
7	Эволюция интегральных схем. Закон Мура.	Размер транзисторов. Длина канала. Степень интеграции. Производительность. Размер пластин. Полевой нанотранзистор поколения 10 нм: основные черты. Развитие нанолитографии. Экстремальный ультрафиолет. Напряжённый кремний. Технология создания одноосного и двухосного напряжения в канале. Диэлектрики с большой диэлектрической проницаемостью (high-k). Многоуровневая металлизация. Диэлектрики с малой диэлектрической проницаемостью (low-k). Пути развития кремниевой КМОП-технологии.	Лекции	Контроль посещаемости

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проходят в виде лекций организованных в форме компьютерных презентаций и сопровождаются выполнением лабораторных работ в различных научно-исследовательских лабораториях на современном оборудовании с привлечением высококвалифицированных специалистов. Самостоятельная работа включает в себя время на подготовку к выполнению лабораторных работ и написание отчётов. Предусмотрено также коллективное участие обучающихся в качестве слушателей в школах, проводимых в рамках двух традиционных конференций по ионной имплантации и кристаллографии.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа включает в себя теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы, подготовку к лабораторным работам, обработку полученных на лабораторных занятиях результатов, оформление отчетов и подготовку к экзамену. Текущий контроль самостоятельной работы осуществляется в форме приёма и проверки отчётов по лабораторным работам.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя контрольные вопросы, содержащиеся в учебно-методических пособиях по лабораторным работам. Эти вопросы используются при допуске к выполнению экспериментальной части работ. По итогам проверки отчётов о выполнении работ заполняется контрольный лист (план-отчет лабораторного практикума), в котором преподаватели, проводившие лабораторные занятия выставляют отметку о выполнении. Лабораторный практикум по курсу считается пройденным если в контрольном листе набрано 4 отметки о выполнении выбранных лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ (4 на выбор)

1. Расшифровка структуры ближнего порядка аморфного кремния.
2. Получение многослойных оптических покрытий методом электронно-лучевого испарения.
3. Измерение энергетических параметров излучения полупроводниковых лазерных диодов с помощью измерителя Lab Max-Top.
4. Определение основных параметров полупроводникового инжекционного лазера с квантовыми ямами.
5. Ионное легирование кремния.
6. Распределение примесных атомов при ионно-лучевом легировании полупроводников.
7. Фотолюминесценция слоев диоксида кремния с ионно-синтезированными нанокристаллами кремния.
8. Электронный парамагнитный резонанс в твёрдых телах.
9. Измерение толщины и оптических констант тонких диэлектрических слоев методом эллипсометрии.
10. Эпитаксиальное наращивание слоев кремния методом сублимации в вакууме.
11. Метод сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния с газовым источником германия.
12. Изучение дефектов кристаллического строения в пленках кремния, полученных молекулярно-лучевой эпитаксией.
13. Получение первого СЗМ изображения. Обработка и представление результатов эксперимента.
14. Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии.
15. Исследование поверхности твёрдых тел методом атомно-силовой.
16. Артефакты сканирующей зондовой микроскопии.
17. Сканирующая зондовая литография.
18. Атомно-силовая микроскопия нано- и микрокристаллических металлов, и сплавов.
19. Атомно-силовая микроскопия самоорганизованных полупроводниковых наноструктур.

20. Обработка, численная характеристика СЗМ изображений и представление результатов эксперимента (на основе программного пакета SPMLab).
21. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов.
22. Рентгеновский анализ поликристаллических материалов.
23. Рентгеновский анализ поликристаллических материалов. Часть 2. Проведение количественного анализа.
24. Получение диэлектрических слоёв методом ВЧ-магнетронного распыления.
25. Фотолюминесценция полупроводниковых сверхрешёток.

Для прохождения промежуточной аттестации после завершения семестра проводится экзамен, включающий в себя приведенные ниже вопросы, включенные в экзаменационные билеты.

Экзаменационные вопросы для промежуточной аттестации

1. Кремний. Основные этапы производства кремния. Получение технического кремния.
2. Получение полупроводникового кремния. Метод водородного восстановления трихлорсилана. Очистка трихлорсилана. Восстановление очищенного трихлорсилана.
3. Получение поликристаллических стержней кремния из моносилана SiH_4
4. Производство монокристаллов кремния. Оборудование для выращивания слитков. Метод Чохральского.
5. Легирование монокристаллов кремния. Обработка слитков.
6. Метод бестигельной зонной плавки.
7. Дефекты монокристаллического кремния. Основные фоновые примеси.
8. Производство кремния в России и за рубежом.
9. Этапы кремниевой технологии.
10. Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.
11. Газофазная эпитаксия кремния. Установка Эпиквар.
12. Молекулярно-лучевое осаждение и эпитаксия кремния. Установка сублимационной эпитаксии кремния.
13. Структурные модификации кремния (a-Si, nc-Si, por-Si, mc-Si, poly-Si, c-Si)
14. Плазмохимическое ВЧ-разложение силана.
15. Структура кремния. Структура атома: заполнение электронных оболочек и гибридизация валентных состояний.
16. Структурный тип алмаза. Пространственная и точечная симметрия. Описание структурного типа в терминах плотнейшей упаковки.
17. Структура поверхности кремния. Реконструкция и методы её наблюдения.
18. Типы поверхностной реконструкции кремния. Примеси на поверхности кремния.
19. Плёнки поликристаллического кремния. Структура. Получение. Свойства. Применение.
20. Плёнки микрокристаллического кремния. Структура. Получение. Свойства. Применение.
21. Плёнки аморфного кремния. Структура. Получение. Свойства. Применение.
22. Пористый кремний. Структура. Получение. Свойства. Применение.
23. Принцип работы кремниевого МОП-транзистора. Комплементарная пара МОП-транзисторов в планарном исполнении на объёмном кремнии и на структуре КНИ.
24. Разновидности технологии «кремний на изоляторе».
25. Диэлектрическая изоляция (DI) кремния.
26. Структуры «кремний на сапфире» как разновидность КНИ-структур.
27. SIMOX-технология как разновидность КНИ-технологии.
28. BESOI-технология как разновидность КНИ-технологии.
29. UNIBONDTM-процесс как разновидность КНИ-технологии.
30. SmartCutTM-процесс как разновидность КНИ-технологии.
31. ELTRAN-процесс как разновидность КНИ-технологии.

32. Структурные аспекты проблемы КНС (кремний на сапфире). Микродвойники и дефекты упаковки на гетерогранице. Автолегирование алюминием. Термонапряжения.
33. Газофазная гетероэпитаксия кремния на сапфир. Установка Эпиквар. Недостатки метода газофазного осаждения.
34. Ультратонкий кремний на сапфире - UTSi®. Применение метода ионной имплантации и твердофазной рекристаллизации для снижения дефектности КНС-структур.
35. Молекулярно-лучевая гетероэпитаксия КНС.
36. Пути развития КМОП КНС-технологии.
37. Эволюция интегральных схем. Закон Мура. Размер транзисторов. Длина канала. Степень интеграции. Производительность. Размер пластин.
38. Полевой нанотранзистор поколения 10 нм: основные черты.
39. Развитие нанолитографии. Экстремальный ультрафиолет.
40. Напряжённый кремний. Технология создания одноосного и двухосного напряжения в канале.
41. Диэлектрики с большой диэлектрической проницаемостью (high-k).
42. Многоуровневая металлизация. Диэлектрики с малой диэлектрической проницаемостью (low-k).
43. Пути развития кремниевой КМОП-технологии.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень освоения компетенции	Отличительные признаки
Начальный	<ul style="list-style-type: none"> - заложены основы знаний основных задач, направлений, тенденций и перспектив развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники; - способность сформулировать методологическое обоснование научного исследования и технической разработки в области полупроводниковой электроники; - корректно объясняет проблемы в современном развитии электронной промышленности...
Продвинутый	<ul style="list-style-type: none"> - изучен передовой отечественный и зарубежный научный опыт, и достижения в области полупроводниковой микро - и нанoeлектроники; - излагает методологические основы и принципы современной технологии производства изделий полупроводниковой электроники; - умеет оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований в области полупроводниковой микро и нанoeлектроники; - владеет навыками анализа и идентификации новых проблем и областей исследования в области полупроводниковой электроники и микроэлектроники ...

Высокий	<ul style="list-style-type: none"> - имеется подробное представление о тенденциях и перспективах развития полупроводниковой микро- и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники; - умение предлагать новые направления в области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в области полупроводниковой микро- и нанoeлектроники; - владение современной научной терминологией, основными и новейшими теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях полупроводниковой микро- и нанoeлектроники...
---------	---

6.2. Описание шкал оценивания

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твёрдое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные и устные ответы на теоретические вопросы при подготовке и сдаче допусков к выполнению лабораторных работ;
- тестирование и оценка остаточных знаний в форме коллоквиума;
- индивидуальное собеседование при обсуждении экзаменационных вопросов.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические задания лабораторного практикума, обсуждаемые в ходе сдачи допусков к выполнению лабораторных работ;
- протокол экспериментального исследования, составляемый в ходе практического выполнения лабораторных работ;
- отчеты по выполненным лабораторным работам;

- презентации ответов на вопросы экзаменационных билетов.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Шука А.А. Нанoeлектроника.- М.: Физматкнига, 2007.- 464 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135625395&DB=1>
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996310555.html>
<https://biblio-online.ru/viewer/C8153254-ABAC-446C-A57B-5DF248ED0164#page/1>
<https://e.lanbook.com/book/84102#authors>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Shuka.pdf
2. Нанотехнологии в электронике. Вып. 2. /Под ред. Ю.А. Чаплыгина.- М: Техносфера, 2013.- 688 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=1&IdField=134796559&DB=1>
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363530.html>
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=468347&sr=1
http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1916864#1
https://e.lanbook.com/book/76156#book_name
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Chaplygin.pdf
3. Драгунов В.П., Неизвестный В.А., Гридчин В.А. Нанoeлектроника. В 2 ч.: Учеб. пособие.- 3-е изд., исп. и доп.- М.: Издательство Юрайт, 2017.- 285+235 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135533257&DB=1>
<https://biblio-online.ru/viewer/72F450AA-7472-41DF-89F3-06FC66EFB254#page/1>
<https://biblio-online.ru/viewer/0491672E-6A76-4D5A-853E-15CAA2DC1631#page/1>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Dragunov.pdf
Пул Ч., Оуенс Ф. Нанотехнологии.-М.: Техносфера, 2005.- 336 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135588355&DB=1>
http://www.studmed.ru/pul-ch-ouens-f-nanotehnologii_867d164417f.html#
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Poole.pdf
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии.- М.:Физматлит, 2005.-416 с.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105828.html>
https://e.lanbook.com/book/2173#book_name
http://www.studmed.ru/gusev-ai-nanomaterialy-nanostrukturnanotehnologii_4b031795a83.html#
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Gusev.pdf
5. Физика твёрдого тела: Лабораторный практикум. Учебное пособие. В 2 т. /Под ред. проф. А.Ф. Хохлова. Том 1. Методы получения твёрдых тел и исследования их структуры. -М: Высш. шк., 2001.-364 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=42524>

б) дополнительная литература

1. Уайтсайдс Дж., Эйглер Д., Андерс Р. и др. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований.- М.: Мир, 2002.- 292 с.
http://www.studmed.ru/uaytsayds-dzh-eygler-d-anders-r-i-dr-nanotehnologiya-v-blizhayshem-desyatiletii-prognoz-napravleniya-issledovaniy_48f69e2c231.html
<http://www.twirpx.com/file/546397/>
2. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике /Отв. ред. А.Л. Асеев.-Новосибирск: Изд. СО РАН, 2004.- 368 с.
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Aseev.pdf
3. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов.- Вильнюс: Мокслас, 1989.- 264 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135585316&DB=1>
http://www.studmed.ru/pozhela-yu-yucene-v-fizika-sverhbystrodeystvuyuschih-tranzistorov_c4118a4028f.html

- <http://www.twirpx.com/file/125487/>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Pozela.djvu
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.- М.: Мир, 1984.-Т. 1.-456 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135407373&DB=1>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Sze_2.djvu
<http://www.ph4s.ru/books/poluprov/zi-fizikapolupr.rar>
5. Технология СБИС: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. /Под ред. С. Зи.- М.: Мир, 1986.-404 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/searchext.php?Type=2&Action=1>
<http://www.twirpx.com/file/71292/>
<http://www.twirpx.com/file/71306/>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=VLSI_Technology_1.pdf

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

<http://www.lib.unn.ru/> - Фундаментальная библиотека ННГУ
<http://studentlibrary.ru> - Студенческая электронная библиотека
<https://biblio-online.ru/> - Электронная библиотека Юрайт
<https://e.lanbook.com/> - Электронно-библиотечная система изд. «Лань»
<http://biblioclub.ru> – Университетская библиотека ONLINE
<http://phys.unn.ru/library.asp> - Электронная библиотека ФзФ ННГУ
<http://www.studmed.ru> - Учебно-методическая литература для студентов
<http://www.twirpx.com> - Общедоступный сайт www.twirpx.com
<http://www.rfbr.ru> – Библиотека РФФИ.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения занятий по дисциплине (чтение лекций и контроль самостоятельной работы) необходима аудитория, оснащенная видеопроектором и аудио системой.

Технологическая лаборатория: Вакуумные установки для эпитаксиального наращивания марки ВУП-4.

Электроннографическая лаборатория: Электронограф ЭМР-102.

Лаборатория электронной микроскопии: Просвечивающие электронные микроскопы ЭМВ – 100ЛМ, JEM-2100F

Лаборатория Сканирующей зондовой микроскопии: Сканирующий зондовый микроскоп NanoEducator.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор проф. Д.А. Павлов

Рецензент проф. Е.С. Демидов

Заведующий кафедрой
физики полупроводников и оптоэлектроники
д.ф.-м.н. профессор

_____ Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета
ННГУ, протокол № _____ от « _____ » _____ 2021 г.

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

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: основные методы научно-исследовательской деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание основных методов научно-исследовательской деятельности	В целом успешное знание основных методов научно-исследовательской деятельности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных методов научно-исследовательской деятельности	Успешное и систематическое знание основных методов научно-исследовательской деятельности
УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач	Отсутствие умений	Частично освоенное умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач	Сформированное умение выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач
ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования и навыков выбора методов и средств решения задач исследования	В целом успешное, но не систематическое применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования и навыков выбора методов и средств решения задач исследования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования и навыков выбора методов и средств решения задач исследования	Успешное и систематическое применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования и навыков выбора методов и средств решения задач исследования

УК-3 Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: особенности представления результатов научной деятельности в	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание особенно	В целом успешное знание особенно	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание	Успешное и систематическое знание

15

		технологий планирования деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач, различными типами коммуникаций при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач	рования деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач, различными типами коммуникаций при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач	и научно-образовательных задач, различными типами коммуникаций при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач	научных и научно-образовательных задач, различными типами коммуникаций при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач
--	--	---	---	--	--

ПК-1 Способность к методически грамотному изложению материала учебных дисциплин при чтении лекций, построении практических занятий, разработке учебных пособий и к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы, получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности 01.04.10 «Физика полупроводников»

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: актуальные проблем и современного состояния полупроводниковой микро- и нанoeлектроники; физические основы процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния; технологии выращивания полупроводниковых материалов и изготовления приборных структур на их основе	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание актуальных проблем и современного состояния полупроводниковой микро- и нанoeлектроники, физических основы процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, технологии выращивания полупроводниковых материалов и изготовления приборных структур на их основе	В целом успешное знание актуальных проблем и современного состояния полупроводниковой микро- и нанoeлектроники, физических основы процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, технологии выращивания полупроводниковых материалов и изготовления приборных структур на их основе	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание актуальных проблем и современного состояния полупроводниковой микро- и нанoeлектроники, физических основы процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, технологии выращивания полупроводниковых материалов и изготовления приборных структур на их основе	Успешное и систематическое знание актуальных проблем и современного состояния полупроводниковой микро- и нанoeлектроники, физических основы процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, технологии выращивания полупроводниковых материалов и изготовления приборных структур на их основе
УМЕТЬ: самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их результаты; разрабатывать новые модели физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния;	Отсутствие умений	Частично освоенное умение самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их результаты, разрабатывать новые	Сформированное умение самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их результаты, разрабатывать

исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур		результаты, разрабатывать новые модели физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	результаты, разрабатывать новые модели физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	модели физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	новые модели физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур
ВЛАДЕТЬ: способностями анализа и оценки научной информации, навыками моделирования физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния; навыками работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение способностей анализа и оценки научной информации, навыков моделирования физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, навыков работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	В целом успешное, но не систематическое применение способностей анализа и оценки научной информации, навыков моделирования физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, навыков работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение способностей анализа и оценки научной информации, навыков моделирования физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, навыков работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур	Успешное и систематическое применение способностей анализа и оценки научной информации, навыков моделирования физических процессов в области физики полупроводников и физики конденсированного состояния, навыков работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаструктур