

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
Кафедра физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ про-
токол № 13 от «30» ноября 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки
11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль)
твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения
очная

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» относится к обязательным дисциплинам обязательной части основной образовательной программы по направлению подготовки 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника. Для усвоения данного курса необходимо сначала освоить математический и естественнонаучный цикл дисциплин, а также модуль базовой части профессиональной подготовки бакалавров «Материалы электронной техники» состоящий из дисциплин: «Физика конденсированного состояния», «Физические основы электроники», «Нанoeлектроника», «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Основы технологии электронной компонентной базы», «Схемотехника». Очень важно, чтобы в перечень предшествующих теоретических дисциплин входили также «Электродинамика», «Квантовая механика», «Кристаллография», «Физика полупроводников», «Физика низкоразмерных систем».

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

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
УК-1. Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.	УК-1.1. Знает методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации.	Знание аналитических методов и стратегических подходов применяемых к решению проблем современной электроники и нанoeлектроники.	Коллоквиум, контрольные вопросы и задания лабораторного практикума, план-отчет лабораторного практикума, экзаменационные вопросы, доклад в форме презентации на тему экзаменационных вопросов.
	УК-1.2. Умеет применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации.	Умение планировать конкретные действия по устранению проблем, возникающих в ходе разработки и производства компонент электронной базы.	
	УК-1.3. Владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуа-	Владение аналитическими и стратегическими подходами к устранению проблем, возникающих в ходе разработки и производства компонент электронной базы.	

	ций; - методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий.		
ОПК-2. Способность применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы.	ОПК-2.1. Знает методы синтеза и исследования моделей	Знание методов физико-математического моделирования, применяемых к электронным компонентам.	Коллоквиум, контрольные вопросы и задания лабораторного практикума, план-отчет лабораторного практикума, экзаменационные вопросы, доклад в форме презентации на тему экзаменационных вопросов.
	ОПК-2.2. Умеет адекватно ставить задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования.	Умение адекватно ставить задачи исследования и оптимизации сложных объектов электроники и нанoeлектроники на основе методов физико-математического моделирования.	
	ОПК-2.3. Владеет навыками методологического анализа научного исследования и его результатов.	Владение навыками методологического анализа результатов научного исследования в области электроники и нанoeлектроники.	
ОПК-3. Способность приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач.	ОПК-3.1. Знает принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности.	Знание методов информационных и компьютерных технологий, применяемых в образовательном процессе и в сфере производства компонент электроники и нанoeлектроники.	Коллоквиум, контрольные вопросы и задания лабораторного практикума, план-отчет лабораторного практикума, экзаменационные вопросы, доклад в форме презентации на тему экзаменационных вопросов.
	ОПК-3.2. Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности.	Умение использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности в области электроники и нанoeлектроники.	
	ОПК-3.3. Владеет методами математического модели-	Владение методами компьютерного и физико-математического моделирования элементов электроники и нано-	

	<i>рования приборов и технологических процессов с использованием современных информационных технологий.</i>	<i>электроники с использованием современных информационных технологий.</i>	
<i>ОПК ОС-5. Способность проводить инновационную научно-исследовательскую деятельность с применением фундаментальных знаний о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учетом современных тенденций развития нанотехнологий</i>	<i>ОПК ОС-5.1. Знает фундаментальные основы нанотехнологий, физические свойства систем с пониженной размерностью.</i>	<i>Знание основ процессов в области физики полупроводников, конденсированного состояния, низкоразмерных структур.</i>	
	<i>ОПК ОС-5.2. Знает современные тенденции развития нанотехнологий и умеет учитывать их в своей профессиональной деятельности</i>	<i>Умение осуществлять научно-исследовательскую с применением фундаментальных знаний, самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области систем с пониженной размерностью и анализировать их результаты</i>	
	<i>ОПК ОС-5.3. Способен проводить инновационную научно-исследовательскую деятельность с применением фундаментальных знаний о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учетом современных тенденций развития нанотехнологий</i>	<i>Владение современными методами исследований с использованием информационных технологий, способностями анализа и оценки научной информации с применением фундаментальных знаний о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учетом современных тенденций развития нанотехнологий</i>	

В результате освоения дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» обучающийся должен:

знать: основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники; передовой отечественный и зарубежный научный опыт, и достижения в области электроники, микро - и наноэлектроники;

уметь: оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований; предлагать новые направления в области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в области электроники и наноэлектроники;

владеть: современной научной терминологией и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях электроники, микро - и нанoeлектроники.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия лабораторного типа	32
самостоятельная работа	58 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	1 семестр – экзамен

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 50 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов лекции, 32 часа лабораторные работы, 2 часа - мероприятия промежуточного контроля), 94 часа – самостоятельная работа обучающегося.

3.2. 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 нано-электроники	16	4			4	16
Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.	24	2		8	10	13
Структура кремния.	24	2		8	10	13
Структура, свойства, получение, применение плёнок и слоёв кремния.	24	2		8	10	13
КНИ-технология как основа интегральной микро-электроники.	26	2		8	10	13
Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.	15	2			2	13
Эволюция интегральных схем. Закон Мура.	15	2			2	13
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 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.	Лекции	Контроль посещаемости
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 допусков и 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 поверх-	Лекции, лабораторные работы.	Контроль посещаемости, прием допусков и отчетов по лабораторным работам.

		ностной реконструкции кремния. Примеси на поверхности кремния.		
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 допусков и отчетов по лабораторным работам.
5	КНИ-технология как основа интегральной микроэлектроники.	Принцип работы кремниевого МОП-транзистора. Комплиментарная пара МОП-транзисторов в планарном исполнении на объёмном кремнии и на структуре КНИ. Разновидности технологии «кремний на изоляторе». Диэлектрическая изоляция (DI) кремния. Структуры «кремний на сапфире» как разновидность КНИ-структур. Технологии SIMOX, BESOI, UNIBONDTM, SmartCutTM, ELTRAN.	Лекции, лабораторные работы.	Контроль посещаемости, прием допусков и отчетов по лабораторным работам.
6	Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.	Структурные аспекты проблемы КНС (кремний на сапфире). Микродвойники и дефекты упаковки на гетерогранице. Автолегирование алюминием. Термонапряжения. Газофазная гетероэпипаксия 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. Раз-	Лекции	Контроль посещаемости

		<p>витие 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.</p>		
--	--	--	--	--

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, формы организации и контроля 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 допусков 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 магистрантом 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.Arteфакты 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 теоретические вопросы по всему курсу, и темам лабораторного практикума.

Для аттестации по итогам освоения дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» используются 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

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

Перечень компетенций выпускников образовательной программы в формировании которых участвует дисциплина с указанием результатов обучения (знаний, умений, вла-

дений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

6.2. Описание шкал оценивания

При выставлении экзаменационной оценки, т.е. в ходе промежуточной аттестации, применяется семибалльная шкала, которая по окончании обучения (в дипломе магистра) трансформируется в пятибалльную. Обе шкалы привязаны к 100-балльной системе, в которой баллы набираются в ходе текущего контроля при сдаче допусков и отчетов по лабораторным работам и непосредственно на экзамене.

За одну полностью выполненную лабораторную работу начисляется максимум 10 баллов. Поскольку за семестр необходимо выполнить четыре работ, то всего за лабораторный практикум можно набрать не более 40 баллов.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен. Экзаменационный билет содержит два вопроса. За ответ на каждый из вопросов начисляется максимум 30 баллов. Итого с учётом успешного выполнения лабораторных работ можно набрать максимум 100 баллов.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	Семи- балльная шкала	Описание семибалльной шкалы	Пяти- балльная шкала
90-100	5,5 Превос- ходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.	5 отлично
80-89	5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.	
75-79	4,5 очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.	4 хорошо
70-74	4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).	
60-69	3 удовле- твори- тельно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.	3 удовле- твори- тельно
40-59	2 неудо- влетво- рительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.	2 неудо- влетво- рительно
<40	1 плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.	1 плохо

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

За одну полностью выполненную лабораторную работу начисляется максимум 10 баллов. Поскольку за семестр необходимо выполнить четыре работы, то всего за лабораторный практикум можно набрать не более 40 баллов.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен. Экзаменационный билет содержит два вопроса. За ответ на каждый из вопросов начисляется максимум 30 баллов. Итого с учётом успешного выполнения лабораторных работ можно набрать максимум 100 баллов.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	оценка	Описание шкалы оценивания
95-100	5	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и

90-94	отлично	дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
85-89		
80-84	4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
75-79		
70-74		
67-69	3 удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, но не отвечает на дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
64-66		
60-63		
40-59	2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
< 40	1 плохо	Уровень знаний ниже порогового или полное отсутствие знаний. Для принятия окончательного решения необходимо назначить комиссию по переекзаменовке.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Щука А.А. Нанoeлектроника.- М.: Физматкнига, 2007.- 464 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=268268&idb=0>
<https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785001017301.html>
<https://e.lanbook.com/book/84102#authors>
http://spen.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://e-lib.unn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/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://spen.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://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=582007&idb=0>
http://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Dragunov.pdf
4. Пул Ч., Оуенс Ф. Нанотехнологии.-М.: Техносфера, 2005.- 336 с.
http://www.studmed.ru/pul-ch-ouens-f-nanotehnologii_867d164417f.html#
http://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Poole.pdf
5. 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-nanostruktury-nanotehnologii_4b031795a83.html#
http://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Gusev.pdf
6. 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://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=42525&idb=0>

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://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Whitesides.pdf
2. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике /Отв. ред. А.Л. Асеев.-Новосибирск: Изд. СО РАН, 2004.- 368 с.
http://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Aseev.pdf
3. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов.- Вильнюс: Мокслас, 1989.- 264 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=318062&idb=0>
http://www.studmed.ru/pozhela-yu-yucene-v-fizika-sverhbystrodeystvuyuschih-tranzistorov_c4118a4028f.html
http://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Pozela.djvu
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.- М.: Мир, 1984.-Т. 1.-456 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=324623&idb=0>
http://spen.phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Sze_2.djvu
5. Технология СБИС: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. /Под ред. С. Зи.- М.: Мир, 1986.-404 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=319056&idb=0>
http://spen.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://spen.phys.unn.ru/library.asp> - Электронная библиотека ФЗФ ННГУ
<http://www.studmed.ru> - Учебно-методическая литература для студентов
<http://www.rfbr.ru> – Библиотека РФФИ

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий по дисциплине (чтение лекций и контроль самостоятельной работы, проведение лабораторного практикума) используется:

учебная аудитория, оснащенная видеопроектором и аудио системой;

технологическая лаборатория, оснащенная вакуумными установками для эпитаксиального наращивания марки ВУП-4;

электронографическая лаборатория на базе электронографа ЭМР – 102;

лаборатория электронной микроскопии, включающая просвечивающие электронные микроскопы ЭМВ – 100ЛМ, JEM-2100F;

лаборатория сканирующей зондовой микроскопии на базе сканирующего зондового микроскопа NanoEducator.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 – «Электроника и нанoeлектроника».

Автор:

д.ф.-м.н. профессор Д. А. Павлов

Рецензент:

профессор Е.С. Демидов

Заведующий кафедрой

физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

д.ф.-м.н. профессор Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «17» ноября 2022 г.

Председатель

Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ А.А. Перов