

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 наноэлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Нанопизика и наноэлектроника»**

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль): твердотельная электроника и наноэлектроника

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород, 2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина "Нанопфизика и наноэлектроника" относится к обязательной части основной образовательной программы по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Данная дисциплина преподается в восьмом семестре. Для усвоения курса "Нанопфизика и наноэлектроника" необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как "Физика конденсированного состояния", "Физика полупроводников", «Физико-химические основы технологии микро- и наноструктур». Всестороннее овладение данной дисциплиной является необходимым условием для последующего изучения студентами таких дисциплин, как, «Основы проектирования компонентной базы», «Моделирование и проектирование микро- и наносистем», «Конструирование микро- и наносистем».

Целями освоения дисциплины "Нанопфизика и наноэлектроника" являются следующие.

- Изучение физических основ элементов и приборов наноэлектроники, принципов их построения, механизмов токопереноса, физических и технологических ограничений пределов уменьшения размеров, возможности увеличения частотного предела быстрогодействия.
- Формирование у студентов умений и навыков, необходимых для оптимизации физических процессов и конструкции приборов наноэлектроники.
- Получение углубленного профессионального образования по физике и идеологии электронной компонентной базы, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области микро- и наноэлектроники.

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК ОС-6 Способен применять фундаментальные знания о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учитывать современные тенденции развития нанотехнологий в своей профессиональной деятельности.	ОПК ОС-6.1. Знает фундаментальные основы нанотехнологий, физические свойства систем с пониженной размерностью. ОПК ОС-6.2. Знает современные тенденции развития нанотехнологий в своей профессиональной деятельности	Знать различные физические явления для достижения требуемых функциональных качеств электронных приборов, схем и устройств. Уметь проводить анализ и систематизацию информации, связанной с исследованием наноэлектронных приборов, строить физико-математические модели наноразмерных элементов. Владеть способностью применять в области электроники и наноэлектроники различные	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму и семинарским занятиям. Фонд тестовых заданий

	ОПК ОС-6.3. Умеет применять знания об основах нанотехнологий и физических свойствах систем с пониженной размерностью в своей профессиональной деятельности	физические явления для достижения требуемых функциональных качеств электронных приборов, схем и устройств.	
--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины "Нанопфизика и наноэлектроника"

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	52
-лабораторные занятия	26
- занятия семинарского типа	26
- КСРИФ	2
самостоятельная работа	38 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	8 семестр – экзамен

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение, основные типы гетероструктур	4	1	1	-	-	2	2
3. Квантовомеханическое описание простейших гетероструктур	7	2	2	-	-	4	3
4. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры.	7	2	2	-	-	4	3
5. Влияние однородного электрического поля на структуры пониженной размерности	7	2	2	-	-	4	3

6. Интерференционная передислокация электронной плотности в туннельно связанных КЯ	7	2	2	-	-	4	3
7. Распределение квантовых состояний в структурах пониженной размерности	13	4	4	-	-	8	5
8. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности	13	4	4	-	-	8	5
9. Квантовый эффект Холла	10	3	3	-	-	6	4
10. Дробный квантовый эффект Холла	10	3	3	-	-	6	4
11. Транспорт в мезоскопических системах	7	2	2	-	-	4	3
12. Лазер на структурах с квантовыми ямами	5	1	1	-	-	2	3
13. Основные параметры качества и тенденции развития элементов нанoeлектроники.	5	2	-	-		2	3
14. Параметры быстродействия, усиления, энергии переключения транзисторов	9	2	-	4		6	3
15. Принципиальные физические и технологические ограничения.	5	2	-	-		2	3
16. Гетероструктурные транзисторы	12	2	-	6		8	4
17. Аналоговые транзисторы	5	2	-	-		2	3
18. Транзисторы на квантовых эффектах	16	2	-	10		12	4
19. Одноэлектроника	9	4	-	-		4	5
20. Углеродные нанотрубки	12	4	-	3		7	5
21. Спинтроника	10	3	-	3		6	4
22. Электроника на основе эффекта Джозефсона	7	3	-	-		3	4
Промежуточная аттестация: Экзамен - 2 часа							
Итого	180	52	26	26		104	76

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение прикладной задачи кейса - по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 52 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: выбор методик и средств решения задачи, использование физических эффектов при разработке новых методов исследований, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов;
- компетенций - ОПК ОС-6. Способен применять фундаментальные знания о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учитывать современные тенденции развития нанотехнологий в своей профессиональной деятельности.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского и лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение домашних заданий, решение задач, изучение рекомендованной литературы и подготовка к экзамену.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на занятиях в процессе решения выше приведенных задач, активность в обсуждении качественных вопросов и задач на практических, лабораторных занятиях и лекциях.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс конспектов лекций «Нанопфизика и наноэлектроника», созданный в системе электронного обучения ННГУ - <https://e-learning.unn.ru/>.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При решении	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстри	Продемонстр	Продемонстр

	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	ированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	рованы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	ированы 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1. Понятие о размерном квантовании. Энергетические диаграммы одиночного гетероперехода, квантовой ямы и барьера, квантовой нити, квантовой точки.	ОПК ОС-6
2. Приближение эффективной массы: граничные условия.	
3. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.	
4. Потенциальный барьер конечной ширины.	
5. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролёте частиц.	
6. Частица в прямоугольной потенциальной яме.	
7. Линейный, плоский и сферический осцилляторы.	
8. Квантовая яма с провалом.	
9. Сдвоенная квантовая яма, КЯ с δ – слоем.	
10. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры.	
11. Сверхрешётки. Зонные диаграммы, классификация полупроводниковых сверхрешёток, композиционные и легированные сверхрешётки.	
12. Общая классификация сверхрешёток и другие наноструктуры.	
13. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы.	
14. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр прямоугольной потенциальной ямы конечной глубины.	
15. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы.	
16. Интерференционная передислокация электронной плотности в туннельно связанных КЯ.	
17. Распределение квантовых состояний в 2D- системах.	
18. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках.	
19. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности, поверхностное квантование.	
20. Экранирование электрического поля в 2D- системах, сравнение с 3D- системами.	
21. Квантовый эффект Холла. Обычный эффект холла в 2D- системах. Введение в квантовый эффект Холла.	
22. Квантовый	
23. Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр электронов в магнитном поле.	
24. Квантовый эффект Холла. Проводимость двумерного	

электронного газа в магнитном поле.	
25. Дробный квантовый эффект Холла. Эксперимент. Теоретические аспекты дробного квантового эффекта Холла.	
26. Транспорт в мезоскопических системах. Основные понятия, экспериментальные проявления.	
27. Транспорт в мезоскопических системах. Сила тока в баллистическом канале, формула Ландауэра.	
28. Транспорт в мезоскопических системах. Длина локализации, слабая и сильная локализация, универсальные флуктуации кондуктанса.	
29. Лазер на структурах с квантовыми ямами, преимущества гетероструктурного лазера, лазер на тройной гетероструктуре с квантовой ямой.	
30. Основные параметры качества и тенденции развития элементов нанoeлектроники.	
31. Какие максимальные частоты переключения достижимы в гомоструктурных полевых, биполярных транзисторах? Насколько эффективным является переход к наноразмерным масштабам структур?	
32. Основные принципиальные физические и технологические ограничения размеров гомоструктурных транзисторов.	
33. Какие полезные новые качества появляются в гетероструктурном варианте транзисторов. Почему при этом можно дальше продвинуться в нанометровый масштаб размеров элементов и увеличить быстродействие.	
34. Какие полезные качества двумерного электронного газа электронов можно использовать в приборах нанoeлектроники?	
35. Что означает горячие электроны, как они возникают и позволяют увеличить быстродействие БТ?	
36. Прокомментируйте сходство аналоговых транзисторов с вакуумным триодом и возможность в твердотельном варианте достигнуть большего быстродействия.	
37. Какие полезные качества квантовой структуры с двойным барьером лежат в основе резонансно-туннельных структур?	
38. При каких условиях возможна квантовая интерференция электронных волн в эффекте Ааронова-Бома, как ею можно управлять?	
39. При каких условиях проявляется кулоновская блокада туннелирования, что ограничивает скорость дискретного туннелирования?	
40. Какие качества углеродных нанотрубок позволяют считать их перспективными структурами для создания ПТ на их основе?	
41. Зачем нужен слой антиферромагнетика в спиновом клапане?	
42. Какое полезное дополнительное качество даёт спиновая поляризация в транзисторе на горячих электронах?	
43. Чем определяется максимальное быстродействие приборов на эффекте Джозефсона?	

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК ОС-6

Лабораторный практикум

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	13	Определение коэффициента усиления по мощности и коэффициента шума биполярного транзистора в СВЧ-диапазоне
2	15,17	Исследование инфракрасных фоторезисторов на внутризонных переходах в квантовых ямах InGaAs/GaAs
3	15,17	Исследование квантово-размерного эффекта Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами InGaAs/GaAs методом фотоэлектрической спектроскопии
4	17	Моделирование электронного спектра в структуре с двойной квантовой ямой
5	17	Исследование параметров резонансно-туннельного диода
6	14,19	Исследование поверхности твёрдых тел методом атомно-силовой микроскопии в неконтактном режиме
7	14,19	Сканирующая зондовая литография
8	20	Ферромагнитный резонанс в наноразмерных плёнках разбавленных магнитных полупроводников

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК ОС-6

Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий
1.	1	Основные типы гетероструктур
2.	2	Описание электронных состояний методом огибающей.
3.	3	Квантовомеханическое описание простейших гетероструктур.
4.	4	Резонансное туннелирование..
5.	5	Влияние однородного электрического поля на структуры пониженной размерности.
6.	7	Распределение квантовых состояний в структурах пониженной размерности
7.	8	Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности
8.	12	Лазер на структурах с квантовыми ямами.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Пожела Ю. К. Физика быстродействующих транзисторов. Вильнюс, Мокслас, 1989, 264с. 2. <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
2. Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы наноэлектроники,

Новосибирск, Изд. НГТУ, 2000, 332 с. 5

<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

3. Демиховский В. Я., Вугальтер Г. А., Физика квантовых низкоразмерных структур, М., Логос, 2000, 248 с. 8
4. Щука А. А. Нанoeлектроника. М., Физматкнига, 2007, 464 с. 9
5. Барьеры в полупроводниковых структурах: Авторы: Демидов Е.С., Павлов Д.А., Сдобняков В.В., Карзанов В.В., Кузнецов Ю.М., Шиляев П.А. Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 29 с. 10

б) дополнительная литература:

1. Андо Т., Фаулер Ф., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М.: Мир. 1985. – 4
2. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. 5
3. Кардона М., Петер Ю., Основы физики полупроводников, М., Физматлит, 2002. - 4
4. G. Bastard, J.A. Brum, R. Ferreria / Electronic states in Semiconductor Heterostructures // Solid states Physics, v.44 p.229, 1991.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0081194708600922?via%3Dihub>
5. Туннельные явления в твердых телах, под. ред. Э. Бурштейна и С. Лундквиста, М., Мир, 1973. - 4
6. Махмудиан М.М., Энтин М.В. Квантовые поправки к проводимости двумерной системы с антиточками // ФТП. –1998. –Т.32, №12. –С.1461-1466.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0081194708600922?via%3Dihub>
7. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Щукин В.А. и др. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры. Обзор. // ФТП. –1998. –Т.32, №4. –С.385-410.
<http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/34295>
8. Двуреченский А.В., Якимов А.И. Квантовые точки 2 типа в системе Ge/Si // ФТП. 2001. –Т.35, №9. –С.1143-1153. <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/38622>
9. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, М., Мир, 1984, т.1,2. -12
10. Гуляев Ю. В., Сандомирский В. Б., Суханов А. А., Ткач Ю. А., Тенденции развития микроэлектроники, УФН, т.144, в.3, с.475-495, 1984.
<https://ufn.ru/ru/articles/1984/11/e/>
11. Кульбачинский В. А. Структуры малой размерности в полупроводниках, М., Изд. МГУ, 1998. <https://ufn.ru/ru/articles/1997/9/b/>
12. Елецкий А. В. Углеродные нанотрубки, УФН, т.167, в.9, 1997.
<https://ufn.ru/ru/articles/1997/9/b/>
13. Демидов Е. С., Аттосекундная высокотемпературная одноэлектроника на атомах переходных элементов, Письма в ЖЭТФ, Т.71, В.9, С.513–518, 2000.
http://www.jetpletters.ac.ru/ps/907/article_13915.shtml
14. Дудкин В. И., Пахомов Л. Н., Квантовая электроника. Приборы и их применение: Учеб. Пособие, М., Техносфера, 2006., 423с. -2
15. Ю. А. Данилов, Е. С. Демидов, Ю. Н. Дроздов и др./Свойства слоёв GaSb:Mn, полученных осаждением из лазерной плазмы //ФТП 39, 8 (2005).
<http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/5688>
16. Yu. A. Danilov, E. S. Demidov, Yu. N. Drozdov et al., J. Magn. Magn. Mater. 300, e24 (2006). <https://link.springer.com/article/10.1134/S1027451008040083>
17. Е. С. Демидов, Ю. А. Данилов, В. В. Подольский, В. П. Лесников, М. В. Сапожников, А. И. Сучков/ Ферромагнетизм в эпитаксиальных слоях германия и кремния, пересыщенных примесями марганца и железа// Письма в ЖЭТФ, 2006, Т.

- 75, В. 11, С. 673-675. http://www.jetpletters.ac.ru/ps/1066/article_16157.shtml
 18. Неволин В.К. Физические основы туннельно-зондовой нанотехнологии // Электронная промышленность. – 1993, № 10, с. 8. – 3

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

Учебно-методическое обеспечение дисциплины «Нанопфизика и наноэлектроника» обусловлено наличием необходимого количества учебников в библиотеке и на сайте ННГУ в электронном виде.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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

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 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника".

Автор:

д.ф.-м.н., проф. кафедры физики полупроводников,
 электроники и наноэлектроники

Демидов Е.С.

Рецензент:

заведующий кафедрой
 теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой
 физики полупроводников, электроники
 и наноэлектроники д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии
 физического факультета ННГУ

А.А. Перов