

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 № 4 от «14» декабря 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
Мехатроника и микроэлектромеханика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
Направленности (профили): материалы микро- и наносистемной техники.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород, 2022

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Мехатроника и микроэлектромеханика» относится к дисциплинам обязательной части основной образовательной программы по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Для усвоения данного курса необходимо изучить такие дисциплины в рамках образовательной программы бакалавра как «Общая физика. Механика», «Теоретические основы электро- и радиотехники», «Теоретическая механика», «Электричество и магнетизм» базовой части «Математического и естественнонаучного цикла». Освоение данной дисциплины обязательно и предполагается в 6-м семестре.

Целями освоения дисциплины являются формирование знаний о физических принципах функционирования, характеристиках, конструкциях, областях применения и методах проектирования мехатронных и микроэлектромеханических систем.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

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-7. Способен проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники	ОПК-7.1. Знает основы проектирования и производства объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники. ОПК-7.2. Умеет проектировать объекты, системы и процессы в области нанотехнологий и	Знать: принципы работы элементов микросистемной техники, основные виды сенсоров и принципы их работы, основные виды актюаторов и принципы их работы, Уметь: производить анализ и делать количественные оценки параметров микромеханических систем, изучать оригинальные научные работы и обзоры в	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму. Фонд тестовых заданий

	микросистемной техники. ОПК-7.2 Имеет навыки проектирования объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники.	области мехатроники и микроэлектромеханики. Владеть: навыками применения полученных знаний для решения конкретных задач, возникающих как в научно-исследовательской работе, так и в производственно-технологическом процессе.	
ОПК-5. Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии	ОПК-5.1. Знает современные технические средства и технологии. ОПК-5.2 Умеет выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии. ОПК-5.3. Имеет навыки применения технических средств и технологий в профессиональной деятельности	Знать: основные принципы построения устройств микросистемной техники, законы классической электромеханики, системы управления мехатронных систем. Уметь: объяснять принцип работы различных мехатронных систем Владеть: навыками применения полученных знаний для решения конкретных задач, возникающих как в научно-исследовательской работе, так и в производственно-технологическом процессе	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму. Фонд тестовых заданий

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
- лабораторные работы	16
самостоятельная работа	6 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	6 семестр – экзамен

Структура дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации	Всего (часы)	В ТОМ ЧИСЛЕ						Самостоятельная работа обучающегося, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Всего	
		из них						
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Консультации			
Введение	8	4	2	2		8		
Мехатронные системы	9	4	2	2		8	1	
Актюаторы	13	4	4	4		12	1	
Сенсоры	9	4	2	2		8	1	
Масштабирование мехатронных систем	9	4	2	2		8	1	
Механические свойства твердых тел	9	4	2	2		8	1	
Законы классической электромеханики	7	4	1	1		6	1	
Разработка и моделирование мехатронных и микроэлектромеханических систем	6	4	1	1		6		
Итого	70	32	16	16	0	64	6	
Промежуточная аттестация - экзамен	36				2			

Содержание разделов дисциплины

1. Мехатронные системы. Компоненты микросистемной техники

2. Сенсоры
3. Статические параметры датчика
4. Динамические параметры датчика
5. Тензорезистивные преобразователи.
6. Пьезоэлектрические преобразователи.
7. Емкостные преобразователи.
8. Термоэлектрические сенсоры и датчики на их основе
9. Пирозэлектрические преобразователи.
10. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения
11. Датчики давления
12. Датчики расхода и пульсаций
13. Датчики смещения
14. Датчики силы
15. Датчики ускорения
16. Микрогирометры, микрофоны
17. Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума
18. Термометры, анемометры, болометры, термисторы, кондуктометры
19. Оптические сенсоры и датчики на их основе: Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы
20. Датчики оптического поглощения
21. Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоров Закон
22. Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения.
23. Модель Герца
24. Жесткость микромеханических элементов при изгибе
25. Актюаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи.
26. интегральные микромеханические реле.
27. Оптические компоненты МСТ.
28. Гребенчатый актюатор
29. Планарные электростатические микродвигатели
30. Акселерометры L, R- типа и с нагреваемой пластиной.

Перечень лабораторных работ:

1. Исследование конструкции и характеристик микроакселерометров (8 час).
2. Исследование конструкции и расчет перемещений консольной балки под действием внешней силы (4 час).
3. Исследование масштабирования консольной балки, электростатического актюатора, термосенсора (4 час).

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме, в форме практических занятий и в форме лабораторных практикумов, позволяющих формировать у студентов навыки применения методов расчёта и исследования мехатронных систем и микроэлектромеханических элементов и устройств.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся.

Самостоятельная работа студентов предусматривает самостоятельное выполнение расчетных заданий по курсу, изучение рекомендованной литературы и подготовку к экзамену. Для контроля успеваемости по итогам освоения дисциплины «Мехатроника и микроэлектромеханика» используются приведенные ниже вопросы:

Вопросы для контроля

- 1) Определение мехатронных систем. История развития мехатроники.
- 2) Структура и принципы интеграции мехатронных систем.
- 3) Основные компоненты мехатронных систем (актюаторы, сенсоры, система управления).
- 4) Системы микроперемещений.
- 5) Термоактюаторы и термосенсоры.
- 6) Электростатические актюаторы.
- 7) Пьезомагнитные актюаторы.
- 8) Актюаторы на основе сплавов с эффектом памяти формы.
- 9) Организация перемещений при помощи биморфных элементов (термо, пьезо). Мультиморфные элементы.
- 10) Шаговые двигатели, микродвигатели вращения.
- 11) Микродвигатели постоянного и переменного тока.
- 12) Шаговые двигатели.
- 13) Гидравлические и пневматические приводы.
- 14) Сенсоры положения и приближения.

- 15) Сенсоры скорости.
- 16) Сенсоры ускорения.
- 17) Сенсоры силы.
- 18) Сенсоры крутящего момента и мощности.
- 19) Сенсоры потока жидкости и газа.
- 20) Сенсоры освещенности и элементы компьютерного видения мехатронных систем.
- 21) Химические сенсоры: электрохимические, термokatалитические, адсорбционные преобразователи.
- 22) Датчики состава жидкостей и газов. Датчики влажности.
- 23) Биологические сенсоры.
- 24) Масштабирование консольной балки.
- 25) Масштабирование электростатического актюатора.
- 26) Масштабирование термосенсора.
- 27) Микромеханические балки: определение, типы, особенности математической модели.
- 28) Пластины: Определение, типы, особенности математической модели.
- 29) Деформация твердого тела. Упругая и остаточная деформации. Свойства материалов.
- 30) Тензор механического напряжения.
- 31) Тензор деформации.
- 32) Закон Гука (растяжение/сжатие, сдвиг).
- 33) Обобщенный закон Гука. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона.
- 34) Диаграмма растяжений.
- 35) Осевой момент инерции сечения.
- 36) Полярный момент инерции сечения.
- 37) Центробежный момент инерции сечения.
- 38) Момент инерции сечения (3 вида сечений).
- 39) Коэффициент жесткости.
- 40) Обобщенные координаты.

- 41) Принцип наименьшего действия.
- 42) Принцип относительности.
- 43) Линейные ускорения.
- 44) Полигармонические нагрузки.
- 45) Случайные нагрузки.
- 46) Ударные нагрузки.
- 47) Законы электромеханики.
- 48) Системы управления мехатронных систем.
- 49) Теория контроля.
- 50) Общие принципы моделирования микроэлектромеханических систем.
- 51) Метод конечных элементов.
- 52) Средства автоматизации проектирования и моделирования.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При решении	Продемонстр	Продемонс	Продемонстр	Продемонс	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.	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами .	ированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	трированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и 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 некоторым и 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

Уровень освоения компетенции	Отличительные признаки
Начальный	<ul style="list-style-type: none"> - воспроизводит термины и основные понятия мехатроники и микроэлектромеханики; - корректно объясняет изменения свойств и характеристик мехатронных систем в зависимости от их конструкции.
Продвинутый	<ul style="list-style-type: none"> - выявляет взаимосвязь между структурой мехатронной системы и свойствами; - применяет законы, правила, алгоритмы, теоретические модели и пр.; - вычленяет главные факторы и обобщающие закономерности физических явлений, на основе которых работают мехатронные системы;

	<ul style="list-style-type: none"> - оценивает значимость полученных результатов
Высокий	<ul style="list-style-type: none"> - разрабатывает и предлагает план и методы проведения экспериментального и теоретического исследования физических явлений в полупроводниках; - формулирует выводы; - оценивает соответствие теории и эксперимента; - оценивает научную и прикладную значимость результатов.

6.2 Описание шкал оценивания

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

За одну полностью выполненную лабораторную работу или реферат начисляется максимум 10 баллов. Поскольку за семестр необходимо выполнить четыре работы и один реферат, то всего за семестр можно набрать не более 50 баллов.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен. Экзаменационный билет содержит два вопроса. За ответ на каждый из вопросов начисляется максимум 25 баллов. Итого с учётом успешного выполнения лабораторных работ можно набрать максимум 100 баллов.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	Семибал ная шкала	Описание семибальной шкалы	Пятибал ная шкала
90-100	5,5 Превосх одно	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 удовлет воритель но	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.	3 удовлетв оритель но
40-59	2 неудовл етворите льно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.	2 неудовл етворите льно
<40	1 плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.	1 плохо

6.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код формируемой компетенции
Мехатронные системы. Компоненты микросистемной техники	ОПК-5
Сенсоры	ОПК-7
Статические параметры датчика	ОПК-5
Динамические параметры датчика	ОПК-5
Тензорезистивные преобразователи	ОПК-5
Пьезоэлектрические преобразователи	ОПК-5
Емкостные преобразователи	ОПК-5
Термоэлектрические сенсоры и датчики на их основе	ОПК-5
Пироэлектрические преобразователи	ОПК-5
Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения	ОПК-5
Датчики давления	ОПК-5
Датчики расхода и пульсаций	ОПК-5

Датчики смещения	ОПК-5
Датчики силы	ОПК-5
Датчики ускорения	ОПК-5
Микрогироскопы, микрофоны	ОПК-5
Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума	ОПК-5
Термопары, анемометры, болометры, термисторы, кондуктометры	ОПК-5
Оптические сенсоры и датчики на их основе: Фоторезисторы, светодиоды, фототранзисторы	ОПК-5
Датчики оптического поглощения	ОПК-5
Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоровЗакон	ОПК-5
Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения	ОПК-7
Модель Герца	ОПК-7
Жесткость микромеханических элементов при изгибе	ОПК-7
Актуаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи	ОПК-7
интегральные микромеханические реле	ОПК-7
Оптические компоненты МСТ	ОПК-7
Гребенчатый актуатор	ОПК-7
Планарные электростатические микродвигатели	ОПК-7
Акселерометры L, R- типа и с нагреваемой пластиной	ОПК-7

6.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции

ОПК-5

Вопрос 1.

Часть микросистемы или функционального микроустройства, реализующая определенную функцию в составе функционального устройства или микросистемы, которая не может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации - это

Варианты ответа:

1. Элемент микросистемы.
2. Изделие микросистемной техники.
3. Интегральная микросистема.
4. Полная микросистема.

Шкала оценки:

1 балл – ответ (1);

0 баллов – ответы (2, 3, 4).

Вопрос 2.

Микросистема, не выполняющая одну из функций приема, преобразования, хранения, передачи информации, энергии и движения и выработки управляющего воздействия в требуемых режимах и условиях эксплуатации и воздействия на окружающую среду - это

Варианты ответа:

1. Неполная микросистема.
2. Изделие микросистемной техники.
3. Интегральная микросистема.
4. Полная микросистема.

Шкала оценки:

- 1 балл – ответ (1);
0 баллов – ответы (2, 3, 4).

Вопрос 3.

Микросистема, микроустройства и элементы которой нераздельно выполнены и соединены в объеме и (или) на поверхности кристалла - это

Варианты ответа:

1. Элемент микросистемы.
2. Изделие микросистемной техники.
3. Интегральная микросистема.
4. Полная микросистема.

Шкала оценки:

- 1 балл – ответ (3);
0 баллов – ответы (1, 2, 4).

ОПК-7

Вопрос 4.

Что из перечисленного не является статическим параметром датчика?

Варианты ответа:

1. Чувствительность.
2. Разрешение
3. Диапазон измеряемых значений
4. Время нарастания

Шкала оценки:

- 1 балл – ответ (4);
0 баллов – ответы (1, 2, 3).

Вопрос 5.

Выберете из списка термоэлектрический сенсор.

Варианты ответа:

1. Термопара
2. Микрогироскоп
3. Датчик силы
4. Магнитодиод

Шкала оценки:

- 1 балл – ответ (1);
0 баллов – ответы (2, 3, 4).

Вопрос 6.

Какой сенсор характеризуется линейным перемещением инерционной массы под действием внешнего линейного ускорения?

Варианты ответа:

1. Термоанемометр
2. Болометр
3. Микромеханический акселерометр L-типа
4. Волоконно-оптический гироскоп

Шкала оценки:

1 балл – ответ (3);

0 баллов – ответы (1, 2, 4).

6.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя вопросы, задаваемые в ходе лабораторных работ и практических занятий.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Мехатроника и микроэлектромеханика»

1. Мехатронные системы. Компоненты микросистемной техники
2. Сенсоры
3. Статические параметры датчика
4. Динамические параметры датчика
5. Тензорезистивные преобразователи.
6. Пьезоэлектрические преобразователи.
7. Емкостные преобразователи.
8. Термоэлектрические сенсоры и датчики на их основе
9. Пироэлектрические преобразователи.
10. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения
11. Датчики давления
12. Датчики расхода и пульсаций
13. Датчики смещения
14. Датчики силы
15. Датчики ускорения
16. Микрогироскопы, микрофоны
17. Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума

18. Термопары, анемометры, болометры, термисторы, кондуктометры
19. Оптические сенсоры и датчики на их основе: Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы
20. Датчики оптического поглощения
21. Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоров Закон
22. Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения.
23. Модель Герца
24. Жесткость микромеханических элементов при изгибе
25. Актюаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи.
26. интегральные микромеханические реле.
27. Оптические компоненты МСТ.
28. Гребенчатый актюатор
29. Планарные электростатические микродвигатели
30. Акселерометры L, R- типа и с нагреваемой пластиной.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Мехатроника / Исии Т., Симояма И., и др., пер. с яп. –М.: Мир, 1988.
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Учебное пособие./ Тул. Гос. университет. - Тула, 2002 г. – 392с.
3. Механцев Е.Б., Лысенко И.Е. Физические основы микросистемной техники: Учеб. пособие.– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.– 54 с.
4. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника: Мировые достижения-2008 г.: сборник / под ред. Мальцева П.П. - М.: Техносфера, 2008. - 430 с.
5. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. Пособие для аспирантов вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Машиностроение, 2007. -256 с.
6. Введение в микромеханику. Онами М., Ивасмидзу С., Гэнка К., Сиодзава К., Танака К. / Под ред. Онами М. – М.: Мир, 1987.

7. Гридчин В.А., Драгунов В.П. Физика микросистем: Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. — 416 с.
8. Гридчин В.А., Драгунов В.П. Физика микросистем: Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.
9. Подураев Ю.В. Основы мехатроники: Учебн. пособие. —М.: МГТУ «СТАНКИН», 2000 —80 с.

б) дополнительная литература:

1. Смирнов А.Б. Мехатронные системы микроперемещений. Мехатроника, Автоматизация, Управление, № 6, 2004.
2. В.А. Лопота, Е.И. Юревич. Миниатюризация и интеллектуализация техники – глобальная тенденция XXI века. Микросистемная техника, №1, 2003.
3. Дьяченко В. А., Смирнов А. Б. Пьезоэлектрические системы мехатроники. Мехатроника, Автоматизация, Управление, № 2, 2002.
4. Юревич Е. И., Игнатова Е. И. Основные принципы мехатроники. Мехатроника, Автоматизация, Управление, №3, 2006.
5. Введение в микромеханику. Онами М., Ивасмидзу С., Гэнка К., Сиодзава К., Танака К. / Под ред. Онами М. – М.: Мир, 1987.
6. Лучинин В.В., Степанов Ю.И., Телец В.А. Микросистемная техника. Прикладные области применения: Учебно-методическая разработка /МИФИ. — М, 2004.-100 с.
7. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике, М. «Техносфера», 2005 г.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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.

При выполнении лабораторных работ используются лаборатории кафедры физики полупроводников, электроники и наноэлектроники и соответствующее оборудование:

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

Лаборатория Сканирующей зондовой микроскопии: Сканирующий зондовый микроскоп 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 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор:

ст. преподаватель кафедры физики полупроводников электроники и наноэлектроники Н.О. Кривулин

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 «14» декабря 2021 г.

Председатель Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ
А.А. Перов