

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физики полупроводников и микроэлектроники
(Е.Н.Бормонтов)

31.08.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.02.01 Основы микро- и наностистемной техники

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

2. Профиль подготовки/специализация: Интегральная электроника и наноэлектроника

3. Квалификация (степень) выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики полупроводников и микроэлектроники

6. Составители программы: Машкина Екатерина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, доцент

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 26.06.2024 , протокол № 6

8. Учебный год: 2024-2025

Семестр(ы): 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются: формировании у обучающихся знаний в области технологических операций микроформообразования и формирования наносистем, базовых физических принципов функционирования компонентов микро- и наносистемной техники, проектирования изделий микро- и наносистемной техники.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование у обучающихся представлений об элементах, компонентах и устройствах микро- и наносистемной техники;
- рассмотреть технологии микрообработки (LIGA-технология, MUMPs- технология, SUMMiT-технология);
- формирование навыков расчета механических свойств элементов микросистем (метод конечных элементов, триангуляция конструкции);
- формирование умений проектирования топологии микрозеркала, микродвигателя, микромеханического гироскопа;
- получить основные представления об основных технологических процессах изготовления элементов наносистемной техники (зондовые технологии, самосборка и самоорганизация, нанолитография, молекулярно-лучевая эпитаксия);
- рассмотреть основные подходы к разработке нанороботов: наноактюаторы и нанодвижители, алгоритмы управления и программирования;
- овладеть навыками моделирования микро- и наносистем в пакетах CalculiX и Lammps.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций С/01.7 «Разработка архитектуры изделий «система в корпусе»» и С/02.7 «Расчёт, моделирование и трассировка отдельных частей изделий «система в корпусе»» профессионального стандарта 29.006 «Специалист по проектированию систем в корпусе», Е/02.7 «Проектировка поведенческой модели аналоговой части проекта для моделирования в составе всей системы в целом», Е/04.7 «Разработка схемотехнических описаний блоков аналоговой части» и Е/05.7 «Моделирование и анализ результатов моделирования отдельных аналоговых блоков и аналоговой части в целом» профессионального стандарта 40.016 «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Основы микро- и наностистемной техники», необходимы при выполнении научно-исследовательских работ, производственных проектно-конструкторских практик и магистерской выпускной квалификационной работы в области микро- и наноэлектроники.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: блок Б1, часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору (Б1.В.ДВ.2).

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1	Анализирует размещение элементов на кристаллах в изделиях «система в корпусе» и осуществляет оптимизацию конструкции изделий «система в корпусе» с применением современных средств и методов	<p><i>знать:</i> методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств</p> <p><i>уметь:</i> использовать алгоритмы решения исследовательских задач с применением современных языков программирования</p> <p><i>владеть:</i> навыками разработки архитектуры изделий микро- и нанoeлектроники</p>
		ПК-1.2	Проводит анализ критически важных узлов, тепловыделяющих элементов, источников мощных помех и определяет пути повышения надежности, а также процента выхода годных изделий «система в корпусе»	<p><i>знать:</i> основные понятия, используемые при моделировании и проектировании информационных систем, а также теоретические основы разработки информационных систем различных классов</p> <p><i>уметь:</i> осуществлять формализацию и алгоритмизацию функционирования исследуемой системы</p> <p><i>владеть:</i> основными методами вычисления электронных и электрофизических характеристик приборов электроники</p>
		ПК-1.3	Применяет современные методы и средства для оценки и снижения влияния внешних факторов на работу компонентов конструкции изделий «система в корпусе»	<p><i>знать:</i> физические основы работы электронной компонентной базы; технологию создания приборов микроэлектроники; конструкцию и топологию электронной компонентной базы</p> <p><i>уметь:</i> разрабатывать требования к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики</p> <p><i>владеть:</i> навыками тестирования и диагностики изделий микро- и нанoeлектроники</p>
ПК-4	Способен разрабатывать проектно-	ПК-4.1	Выполняет описание СнК и разрабатывает ком-	<p><i>знать:</i> схемы и устройства изделий микро- и нанoeлектроники различно-</p>

	конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями		плект технических документов	го функционального назначения <i>уметь:</i> делать выбор на основе существующих методологических подходов к моделированию и проектированию информационных систем
		ПК-4.2	Разрабатывает функциональные тесты, необходимые для верификации СнК	<i>знать:</i> принципы планирования и автоматизации проведения эксперимента <i>уметь:</i> верифицировать СнК и проводить функциональные тесты различного назначения
ПК-5	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени	ПК-5.1	Определяет необходимое количество встроенных средств контроля и тестовых элементов на кристаллах изделий «система в корпусе»	<i>знать:</i> принципы планирования и автоматизации проведения эксперимента; <i>уметь:</i> разрабатывать требования к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики; <i>владеть:</i> навыками разработки средств контроля изделий «система в корпусе»
		ПК-5.2	Создаёт необходимые условия для проведения испытаний изделий «система в корпусе» и проводить испытания согласно программе измерений и испытаний	<i>знать:</i> методы проведения испытаний изделий «система в корпусе» <i>уметь:</i> разрабатывать специальные программы испытаний и проводить испытания, согласно разработанным программам <i>владеть:</i> навыками тестирования и диагностики изделий микро- и нанoeлектроники

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации: зачет

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		30	30
в том числе:	лабораторные	30	30
	зачет	зачет	
Самостоятельная работа		42	42
		72	72

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лабораторные работы			
1.1	Технологии микрообработки	Лабораторная работа № 1. Плазмохимическая обработка поверхностных слоев пластин кремния	-
1.2	Элементы, компоненты и устройства микросистемной техники	Лабораторная работа № 2. Проектирование топологии интегрального микрозеркала Лабораторная работа № 3. Проектирование топологии интегрального микродвигателя Лабораторная работа № 4. Проектирование топологии микромеханического гироскопа	Датчики и сенсоры МСТ https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4470#section-3 Интегральные зеркала и интегральные микродвигатели https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4470#section-5
1.3	Проектирование микросистем	Лабораторная работа № 5. Моделирование механических свойств микромеханического ключа в пакете CalculiX Лабораторная работа № 6. Моделирование тепловых свойств термопневматического актюатора в пакете CalculiX	Актюаторные элементы МСТ https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4470#section-4
1.4	Элементы и устройства наносистемной техники	Лабораторная работа № 7. Моделирование наносистем методом молекулярной динамики в пакете Lammmps	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)		
		Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Технологии микрообработки	8	10	18
2	Элементы, компоненты и устройства микросистемной техники	8	12	20
3	Проектирование микросистем	8	12	20
4	Элементы и устройства наносистемной техники	6	8	14
	Итого:	30	42	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В учебном процессе по курсу «Основы микро- и наностистемной техники» используются следующие образовательные технологии: лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки магистров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались учащиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;

- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента-магистра при изучении курса «Основы микро- и наностистемной техники» включает в себя: подготовку к лабораторным занятиям, оформление расчетных заданий и подготовку их презентаций к защите, подготовку к зачету.

Лабораторные занятия включают активные и интерактивные формы с разбором конкретных примеров, задач и т.п.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Непомнящий О.В. Проектирование сенсорных микропроцессорных систем управления / О.В. Непомнящий, Е. А. Вейсов — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2010 .— 149 с. // Электронно-библиотечная система. - URL : http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229378
2	Агаханян Т.М. Проектирование электронных устройств на интегральных операционных усилителях / Т.М. Агаханян .— Москва : МИФИ, 2008 .— 856 с. // Электронно-библиотечная система. - URL : http://biblioclub.ru .
3	Бочаров Ю.И. Проектирование БИС класса «система на кристалле» / Ю.И. Бочаров, А. С. Гуменюк, А. Б. Симаков, П. А .Шевченко — Москва : МИФИ, 2008 .— 188 с. // Электронно-библиотечная система. - URL : http://biblioclub.ru
4	Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника / под ред. П. П. Мальцева. — Москва : Техносфера, 2006. — 152 с. / Электронно-библиотечная система. - URL : http://biblioclub.ru

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Проектирование узлов цифровой электронной техники : методические указания к выполнению домашних заданий по курсу «Электротехника и электроника» / В.Н. Атаманов .— Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 .— 37 с. // Электронно-библиотечная система. - URL : http://biblioclub.ru
6	Гуров В.В. Проектирование микропроцессорных систем : Лабораторный практикум / В.В. Гуров ; Егорова И. А. ; Тышкевич В. Г. — Москва : МИФИ, 2010 .— 64 с. // Электронно-библиотечная система. - URL : http://biblioclub.ru
7	Ибрагимов, Ильдар Маратович. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров .— СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 376 с.
8	Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам : сборник статей / под ред. П.П. Мальцева .— М. : Техносфера, 2005 .— 589 с.
9	Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения - 2008 год : сборник / под ред. П.П. Мальцева .— М. : Техносфера, 2008 .— 430 с.
10	Джексон, Р.Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон ; пер. с англ. под ред. В. В. Лучинина .— М. : Техносфера, 2007 .— 380 с.
11	Рамсден Дж. Дж. Физико-технические основы бионанотехнологий и наноиндустрии = Nanotechnology: an introduction : [учебное пособие] / Дж. Рамсден ; пер. с англ. Л.Н. Кодомского .— Долгопрудный : Интеллект, 2013 .— 335 с.
12	Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера : Практ. рук. / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева .— 2-е изд. — М. : УРСС, 2004 .— 269 с.
13	Щука А. А. Электроника : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению 654100 - Электроника и микроэлектроника / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 799 с.
14	Резнев А.А. Тенденции развития МЭМС / А.А. Резнев, В.Д. Вернер. — М. : Амиант, 2010. — 272 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурсы Интернет
15	Портал Электронный университет ВГУ < https://edu.vsu.ru >
16	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
17	An information portal for the MEMS and Nanotechnology community < URL: https://www.memsnet.org/news/ >
18	Коноплев Б.Г. Компоненты микросистемной техники. Часть 1: Учебное пособие / Б.Г. Коноплев, И.Е. Лысенко. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - 117 с. <URL: http://window.edu.ru/resource/927/77927/files/kes-4460-1.pdf >
19	Механцев Е.Б. Физические основы микросистемной техники. Часть I: Компоненты МСТ, основанные на использовании свойств электрического поля: Учебное пособие / Е.Б. Механцев, И.Е. Лысенко. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. - 54 с. <URL: http://window.edu.ru/resource/863/28863/files/tsure089.pdf >
20	Моделирование элементов микросистемной техники в программе ANSYS: Учебно-методическое пособие / Сост.: И.Е. Лысенко, И.В. Куликова, Е.В. Полищук, В.А. Хайрулина. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007.- 42 с. <URL: http://window.edu.ru/resource/937/77937/files/kes_4045.pdf >
21	Моделирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники с использованием языка VHDL-AMS: Руководство к лабораторной работе / Сост.: И.Е.Лысенко, Е.А.Рындин. –Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 26 с. <URL: http://window.edu.ru/resource/856/28856/files/tsure082.pdf >
22	Лысенко И.Е. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники / И.Е.Лысенко. – Таганрог: изд-во ТРТУ. – 103 с. <URL: http://window.edu.ru/window_catalog/redirect?id=28865&file=tsure091.pdf >

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Яковенко Н.В. Самостоятельная работа студентов : методические рекомендации / Н. В. Яковенко, О.Ю. Сушкова .— Воронеж, 2015 .— 22 с.
2	Самостоятельная работа студента в современном вузе / Н.Г. Грибова, Т.Г. Грушева, Ж.А. Полякова, Л.И. Фирсова, Е.О. Тарасов // Инновации в науке : сборник статей по материалам XXXI международной научно-практической конференции .— Новосибирск, 2013 .— № 3 (28). - С. 22-27.
3	Завгородняя И.В. Самостоятельная работа студентов в системе высшего образования / И.В.Завгородняя // Вестник научной сессии факультета философии и психологии Воронежского государственного университета .— Воронеж, 2008 .— Вып. 9. -С. 26-32.

17. Образовательные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение:

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ", курс «Основы микро- и наносистемной техники»: <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4470>

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория вычислительных систем и математического моделирования: Сервер на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 10 шт. (Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; свободно распространяемые CalculiX и Lammps)

Аудитория для самостоятельной работы студентов: Сервер на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HPProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры PentiumDualCore - 2 шт., подключенные к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ (Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Технологии микрообработки	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-4.1	Лабораторная работа 1
2	Элементы, компоненты и устройства микросистемной техники	ПК-4 ПК-5	ПК-4.2 ПК-5.1	Лабораторные работы 2, 3, 4
3	Проектирование микросистем	ПК-5	ПК-5.1 ПК-5.2	Лабораторные работы 2, 3, 4
4	Элементы и устройства наносистемной техники	ПК-4 ПК-5	ПК-4.2 ПК-5.1	Лабораторная работа 5
Промежуточная аттестация: форма контроля - зачет				Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса «Основы микро- и наносистемной техники» осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- качество и своевременность выполнения заданий лабораторных работ;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«незачтено».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом: элементы и топология микро- и наносистемной техники, моделирование микро- и наносистем. Выполнены и успешно защищены лабораторные работы. Даны удовлетворительные ответы на более чем 50% вопросов по темам лабораторных работ и дополнительным контрольным вопросам по темам курса.	-	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания в области микро- и наносистемной техники. Выполнены лабораторные работы. Даны неудовлетворительные ответы на более чем 50% вопросов по темам лабораторных работ и дополнительным контрольным вопросам по темам курса.	–	<i>Незачтено</i>

Перечень вопросов к зачету:

1. Перечислите основные классы устройств микросистемной техники.
2. Перечислите основные области применения устройств микросистемной техники.
3. Перечислите специфические технологические операции для изготовления устройств микросистемной техники.
4. Какими методами могут быть сформированы тонкие мембраны в устройствах микросистемной техники?
5. Как формируются подвижные элементы в технологиях поверхностной микрообработки?
6. Что такое жертвенные слои в технологических процессах микросистемной техники?
7. Каково назначение слоя DIMPLE в процессе polyMUMPs?
8. Приведите уравнение прогиба круглой пластины при равномерном распределении нагрузки.
9. Как определить минимальную толщину мембраны датчика давления при заданной максимальной нагрузке?
10. Постройте эпюру изгибающих моментов для двухопорной балки.
11. Что такое абсолютный и относительный коэффициенты демпфирования?
12. На сколько изменится частота колебаний при демпфировании, если амплитуда колебаний за один цикл уменьшается в 2 раза?
13. Какие экспериментальные методы определения параметров демпфирования вы знаете?
14. Приведите типичные значения коэффициента тензочувствительности полупроводников.
15. Приведите пример конструкции емкостного уравновешивающего микроакселерометра.
16. Запишите уравнения движения для гребенчатого микровиброгироскопа.
17. Какие параметры оказывают наибольшее влияние на чувствительность гребенчатого микровиброгироскопа?
18. Какими уравнениями определяются собственные частоты микромеханического зеркала с карданным подвесом?
19. Какой формулой определяется максимальный угол закручивания торсионов микромеханического зеркала?
20. В чем заключается сущность метода конечных элементов?
21. Перечислите основные типы упаковки, характерные для кластеров.
22. Перечислите основные характеристики процесса диссипативной самоорганизации.
23. Дайте понятие фрактальной размерности.

24. Каким образом атомно-силовая микроскопия может быть использована при создании элементов наносистемной техники?
25. Сформулируйте основные принципы метода молекулярной динамики.
26. Проведите сравнение основных схем численного интегрирования, используемых в методе МД.
27. Какой тип взаимодействия описывает потенциал Леннарда-Джонса? Возможно ли моделирование кристалла кремния с межатомным взаимодействием, заданным потенциалом Леннарда-Джонса?
28. В чем заключается отличие метода молекулярной динамики при моделировании микроканонического и канонического ансамблей?
29. Какие параметры моделируемой системы позволяют оценить классический и квантовомеханический методы молекулярной динамики?

Перечень лабораторных работ:

Лабораторная работа № 1. Плазмохимическая обработка поверхностных слоев пластин кремния

Лабораторная работа № 2. Проектирование топологии интегрального микрозеркала

Лабораторная работа № 3. Проектирование топологии интегрального микродвигателя

Лабораторная работа № 4. Проектирование топологии микромеханического гироскопа

Лабораторная работа № 5. Моделирование механических свойств микромеханического ключа в пакете CalculiX.

Лабораторная работа № 6. Моделирование тепловых свойств термпневматического актюатора в пакете CalculiX.

Лабораторная работа № 7. Моделирование наносистем методом молекулярной динамики в пакете Lammps.

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: *устного опроса (индивидуальный опрос); выполнение лабораторных работ*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.