

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета _____ Небольсин В.А.

«30» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Физические основы нанотехнологий»

Направление подготовки 28.03.02 Нанотехнологии

Профиль Инженерные нанотехнологии в приборостроении

Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы _____ /Липатов Г.И./

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой электроники
и наноэлектроники _____ /Рембеза С.И./

Руководитель ОПОП _____ /Липатов Г.И./

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели изучения дисциплины

формирование у обучающихся знаний в области физики элементов микросистемной техники (МСТ), позволяющих понимать принципы работы как отдельных элементов, так и их работу в составе функциональных устройств МСТ.

1.2. Задачи освоения дисциплины

приобретение обучающимися знаний о методах описания и моделирования компонентов микросистемной техники и областях использования изделий МСТ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы наноинженерии» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы наноинженерии» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования;

ПК-3 — Способность проводить информационный поиск по отдельным объектам исследований;

ПКВ-1 — Способность владеть современными методами расчета и проектирования приборов и устройств микро- и наноэлектроники, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования;

ПКВ-3 — Готовность в составе коллектива исполнителей участвовать в исследовании физических принципов работы компонентов микро- и наносистемной техники, возможностей и характеристик используемых материалов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать модели компонентов микросистемной техники (МСТ), адекватные протекающим в них физическим процессам
	уметь разрабатывать математические модели компонентов МСТ
	владеть методами анализа и экспериментального исследования
ПК-3	знать методы обработки результатов исследований
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций

	владеть анализом и систематизацией результатов исследований
ПКВ-1	знать формальные процедуры решения задач моделирования компонентов МСТ
	уметь применять компьютерные программы моделирования компонентов МСТ
	владеть средствами моделирования компонентов МСТ
ПКВ-3	знать методы решения краевых задач математической физики
	уметь выявлять значимые факторы при исследовании физических принципов работы компонентов МСТ
	владеть навыками моделирования компонентов МСТ

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы нанотехнологий» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
лекции	36	36
лабораторные работы (лр)	18	18
Самостоятельная работа	90	90
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации — экзамен	+	+
Общая трудоемкость		
академические часы	180	180
з.е.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Лаб. зан.	СРС	Всего часов
1	Микросистемные датчики физических величин	Основные характеристики преобразователей физических величин: диапазон измерения, чувствительность, точность, линейность, селективность. Передаточная функ-	10	—	20	30

		ция преобразователя и способы описания реакций на внешние воздействия. Элементы и узлы микросистемных датчиков. Погрешности измерений, дрейф параметров, шумы				
2	Инженерная механика для конструирования датчиков МСТ	Статический прогиб балок и тонких пластин. Анализ механических вибраций. Термомеханический анализ	12	8	24	44
3	Электростатический эффект и использование его в МСТ	Емкостные сенсоры. Электростатические приводы движения (актюаторы). Электростатические коммутаторы. Микроэлектростатические инжекторы	10	10	30	50
4	Оптимизация характеристик интегральных датчиков	Оптимизация конструктивных параметров по динамическому критерию. Оптимизация отношения сигнал/шум	4	—	16	20
Итого			36	18	90	144

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Оценка температурных напряжений в двухслойной пластине.
2. Оценка коэффициента жесткости подвеса.
3. Исследование зависимости емкости плоского конденсатора МЭМС от межэлектродного зазора и взаимного смещения электродов.
4. Исследование электростатических сил, действующих между электродами плоского конденсатора.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 5 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовых работ:

- МЭМС-датчики давления пьезорезистивного типа.
- МЭМС-датчики давления емкостного типа.
- МЭМС-датчики давления резонирующего типа.
- МЭМС-акселерометры емкостного типа.
- МЭМС-гироскопы.
- Расчет жесткости упругих подвесов микросистемных датчиков.
- Демпфирование интегральных подвижных узлов.
- Радиочастотные МЭМС.
- Особенности «pull-in» эффекта в емкостных МЭМС.
- Высокочувствительные детекторы массы на основе монокристаллических КМОП-МЭМС резонирующих балок.

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- приобретение знаний о методах описания и моделирования компонентов микросистемной техники и областях использования изделий МСТ;
- приобретение знаний о принципах работы, конструктивной реализации, особенностях, преимуществах и недостатках, технологии изготовления чувствительных элементов и приводов МЭМС;
- приобретение навыков представления результатов исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать модели компонентов микросистемной техники (МСТ), адекватные протекающим в них физическим процессам	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь разрабатывать математические модели компонентов МСТ	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами анализа и экспериментального исследования	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать методы обработки результатов исследований	Выполнение лабораторной работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Выполнение лабораторной работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть анализом и систе-	Выполнение ла-	Выполнение зада-	Невыполнение зада-

	матизацией результатов исследований	бораторной работы	ний в срок, предусмотренный в рабочих программах	ний в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-1	знать формальные процедуры решения задач моделирования компонентов МСТ	Выполнение курсовой работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять компьютерные программы моделирования компонентов МСТ	Выполнение курсовой работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть средствами моделирования компонентов МСТ	Выполнение курсовой работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-3	знать методы решения краевых задач математической физики	Выполнение курсовой работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выявлять значимые факторы при исследовании физических принципов работы компонентов МСТ	Выполнение курсовой работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками моделирования компонентов МСТ	Выполнение курсовой работы	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать модели компонентов микросистемной техники (МСТ), адекватные протекающим в них физическим процессам	Тест	Выполнение теста на 90—100 %	Выполнение теста на 80—90 %	Выполнение теста на 70—80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь разрабатывать математические модели компонентов МСТ	Решение стандартных практи-	Задачи решены в полном объеме и	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

		ческих задач	получены верные ответы	получен верный ответ во всех задачах	большинстве задач	
	владеть методами анализа и экспериментального исследования	Решение прикладных задач по компонентам МСТ	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получены верные результаты во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать методы обработки результатов исследований	Выполнение и защита курсовой работы	Курсовая работа оформлена правильно и в срок	При оформлении курсовой работы допущены ошибки	При оформлении курсовой работы допущено множество ошибок	При оформлении курсовой работы допущено множество ошибок
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Выполнение и защита курсовой работы	Курсовая работа оформлена правильно и в срок. Задачи решены в полном объеме и получены верные результаты	При оформлении курсовой работы допущены ошибки. Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получены верные результаты во всех задачах	При оформлении курсовой работы допущено множество ошибок	Задачи не решены
	владеть анализом и систематизацией результатов исследований	Выполнение и защита курсовой работы	Задачи решены в полном объеме и получены верные результаты	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получены верные результаты во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-1	знать формальные процедуры решения задач моделирования компонентов МСТ	Тест	Выполнение теста на 90—100 %	Выполнение теста на 80—90 %	Выполнение теста на 70—80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь применять компьютерные программы моделирования компонентов МСТ	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получены верные результаты во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть средствами моделирования компонентов МСТ	Решение прикладных	Задачи решены в полном	Продемонстрирован верный ход решения	Продемонстрирован верный ход	Задачи не решены

		задач по компонентам МСТ	объеме и получены верные ответы	всех задач, но не получены верные результаты во всех задача	решения в большинстве задач	
ПКВ-3	знать методы решения краевых задач математической физики	Тест	Выполнение теста на 90—100 %	Выполнение теста на 80—90 %	Выполнение теста на 70—80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь выявлять значимые факторы при исследовании физических принципов работы компонентов МСТ	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получены верные результаты во всех задача	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками моделирования компонентов МСТ	Решение прикладных задач по компонентам МСТ	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получены верные результаты во всех задача	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Укажите величину реакции в нагретом защемленном по торцам микростержне с площадью сечения S :

- А) $\alpha SE\Delta T$; Б) $\alpha Sl\Delta T$; В) $\alpha Sl^2\Delta T$; Г) $Sl^2E\Delta T$.

2. Укажите величину деформации пластины с защемленными краями при нагреве:

- А) αE ; Б) $\alpha\Delta T$, В) 0; Г) $\alpha l\Delta T$.

3. Укажите положение нейтральной плоскости в двухслойной структуре, где $h_1 < h_2$:

- А) $h_2/2$; Б) $h_1/2$; В) $(h_1+h_2)/2$; Г) h_1 .

4. Укажите температурные напряжения в тонком слое двухслойной пластины:

- А) $(\alpha_1-\alpha_2)E\Delta T$; Б) $(\alpha_1-\alpha_2)l\Delta T$; В) $(\alpha_1-\alpha_2)lE$; Г) $\alpha_1E\Delta T$.

5. В чувствительном элементе микроакселерометра применяют принцип преобразования:

- А) пьезорезистивный;
- Б) емкостной;
- В) тепловой;
- Г) электромагнитный.

6. Демпфирование колебаний в чувствительном элементе микроакселерометра реализуется на основе:

- А) вязкого трения газовой среды;
- Б) вязкого трения в жидкости;
- В) внутрикристаллического трения в материалах;
- Г) конструкционного трения.

7. В конструкции микроакселерометра пьезорезистивные преобразователи размещают:

- А) на балках в местах, где наибольшие нормальные напряжения;
- Б) на торсионах в местах, где наибольшие касательные напряжения;
- В) на упругих подвесах в местах концентрации напряжений;
- Г) в местах наибольших перемещений инерционной массы.

7. Демпфер в механической системе МЭМС предназначен для:

- А) быстрой обработки измеряемого сигнала;
- Б) уменьшения времени собственных колебаний;
- В) ограничения резонансных колебаний;
- Г) защиты от перегрузок;
- Д) повышения чувствительности.

8. Характеристики чувствительного элемента МЭМС зависят от величины:

- А) массы;
- Б) жесткости подвеса;
- В) демпфирования;
- Г) внешних воздействий;
- Д) температуры окружающей среды.

9. Чувствительность микроакселерометра пропорциональна:

- А) ω_0 ; Б) $1/\omega_0^2$; В) $1/\omega_0$; Г) ω_0^2 ;
- Д) жесткости упругого подвеса; Е) деформации упругого подвеса.

10. Рабочий диапазон микроакселерометра пропорционален:

- А) жесткости упругого подвеса; Б) ω_0 ;
- В) величине массы ЧЭ; Г) величине демпфирования;
- Д) деформации упругого подвеса.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Собственная демпфированная частота (в Гц) микроприбора, имеющего инерционную массу $m=10^{-4}$ кг, жесткость подвеса $k=10^4$ Н/м, коэффициент демпфирования $\zeta=0,71$, составляет:

- 1) 10^4 ; 2) $1,6 \cdot 10^3$; 3) $1,12 \cdot 10^3$; 4) $0,08 \cdot 10^3$.

2. Собственная частота f_0 (в Гц) микроприбора, имеющего инерционную массу $m=10^{-6}$ кг и жесткость подвеса $k=100$ Н/м, составляет:

- 1) 10^4 ; 2) $1,6 \cdot 10^3$; 3) $3,16 \cdot 10^2$; 4) $0,5 \cdot 10^2$.

3. Укажите, какова круговая собственная демпфированная частота микросенсора, если его инерционная масса $m=10^{-3}$ кг, жесткость подвеса $k=10^3$ Н/м, добротность $Q=0,75$:

- 1) 10^3 ; 2) 700; 3) 159; 4) 111.

4. Как изменится коэффициент демпфирования чувствительного элемента микроакселерометра при уменьшении давления газа в два раза?

- А) Уменьшится в два раза; Б) Увеличится в два раза; В) Не изменится.

5. Как изменится коэффициент демпфирования чувствительного элемента микроакселерометра при изменении его топологии с квадратной на прямоугольную той же площади?

- А) Не изменится; Б) Увеличится в $n^2/2+2/n^2$ раз; В) Уменьшится в $n^2/2+2/n^2$ раз.

6. Зависит ли коэффициент демпфирования от зазора между параллельно движущимися поверхностями микроакселерометра?

- А) Уменьшается с увеличением зазора;
Б) Увеличивается с увеличением зазора;
В) Не меняется с изменением зазора.

7. Какие напряжения действуют в однослойной пластине с осесимметричным распределением температуры?

- А) радиальные; Б) тангенциальные; В) радиальные и тангенциальные.

8. От чего зависит деформация пластины, изогнутой по шаровой поверхности?

- А) радиуса шаровой поверхности;
Б) толщины пластины;
В) градиента температуры в пластине;
Г) коэффициента термического расширения материала пластины;
Д) градиента температуры в пластине и коэффициента термического расширения материала пластины;

Е) радиуса шаровой поверхности и толщины пластины.

9. Где возникают максимальные напряжения в заземленной по контуре пластине при нагружении равномерно распределенной нагрузкой?

А) по контуру заземления пластины;

Б) в центре пластины;

В) напряжения равномерно распределены по всей пластине.

10. Что характеризуют граничные условия при определении прогиба пластины с заземленными краями?

А) угол поворота сечения пластины;

Б) прогиба пластины;

В) угол поворота сечения пластины и прогиб пластины.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Рассчитать абсолютный коэффициент демпфирования квадратного чувствительного элемента микроакселерометра размером 800×800 мкм². Величина зазора между параллельно сближающимися плоскостями 3 мкм. Демпфирующая среда — воздух при давлении 1 атм. Рабочая температура 20 °С.

А) $5,57 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м;

Б) $2,73 \cdot 10^{-2}$ Н·с/м;

В) $5,57 \cdot 10^{-2}$ Н·с/м.

2. Определить напряжения в тонком слое двухслойной пластины ($h_1 \ll h_2$) при заданном максимальном прогибе $\delta_{\max} = 30$ мкм. Модуль упругости материала $E = 140$ ГПа. Длина пластины $l = 5$ мм, толщина $h_2 = 100$ мкм.

А) 0,67 ГПа;

Б) 0,067 ГПа;

В) 6,72 ГПа.

3. Во сколько раз нормальная компонента силы, действующей между пластинами конденсатора, больше продольной компоненты при изменении площади перекрытия пластин, если расстояние между пластинами равно 2,5 мкм, ширина и длина пластин соответственно 10 мкм и 100 мкм?

А) 4;

Б) 40;

В) 160.

4. Рассчитать радиус кривизны двухслойной пластины при термическом нагружении, если $h_1 = h_2 = 0,4$ мм; $E_1 = 160$ ГПа; $E_2 = 150$ ГПа; $\alpha_1 = 6 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹; $\alpha_2 = 5,2 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹; $T = 200$ °С.

А) 1,667 мм;

Б) 1,667 см;

В) 1,667 м.

5. Рассчитать коэффициент жесткости упругого подвеса, образованного четырьмя последовательно соединенными парами балок толщиной 10 мкм с отношением длины к ширине 25, отношением длин балки и элемента жесткости 5 и отношением длины к ширине элемента жесткости 2, изготовленного из материала с модулем упругости 160 ГПа.

А) 20,5 Н/м;

Б) 205 Н/м;

В) 2050 Н/м.

6. Найти собственную частоту микроакселерометра с подвесом инерционной массы из поликремния (модуль упругости 170 ГПа). Инерционная масса $0,37 \cdot 10^{-6}$ кг подвешена на двух упругих балках длиной 200 мкм с размерами поперечного сечения: шириной 40 мкм и высотой 20 мкм.

- А) 3,04 кГц; Б) 30,4 кГц; В) 191,7 кГц.

7. На инерционную массу $0,37 \cdot 10^{-6}$ кг действует ускорение $1g$. Определить инерционную нагрузку.

- А) 3,63 мкН; Б) 0,37 мг; В) 3,63 мг.

8. Во сколько раз коэффициент жесткости в осевом направлении больше коэффициента жесткости в поперечном направлении подвеса из двух параллельных мостовых балочных опор квадратного сечения, если длина балки превышает ширину в 10 раз?

- А) 10; Б) 100; В) 1000.

9. Определите зависимость от давления прогиба в центре квадратной кремниевой мембраны (модуль упругости 170 ГПа, модуль Юнга 0,385) размером 1×1 мм² и толщиной 1 мкм.

- А) $5,47 \cdot 10^{-11} P$, нм; Б) $5,47 \cdot 10^{-8} P$, нм; В) $5,47 \cdot 10^{-5} P$, нм.

10. Ширина консоли в два раза больше толщины. Каково соотношение между коэффициентами ее жесткости для направлений, перпендикулярных к толщине k_t и ширине k_w ?

- А) $k_t/k_w=1$; Б) $k_t/k_w=2$; В) $k_t/k_w=4$; Г) $k_t/k_w=8$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Зачет учебным планом не предусмотрен.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Собственные и вынужденные колебания системы второго порядка.
2. Явление резонанса в колебательной системе.
3. Вязкое демпфирование среды.
4. Конструкционное демпфирование.
5. Температурные напряжения и деформации в однослойной прямоугольной пластине.
6. Температурные напряжения и деформации в однослойной пластине с осесимметричным распределением температуры.
7. Напряжения в тонкой пластине с линейным изменением температуры вдоль радиуса.
8. Температурные напряжения и деформации в двухслойных структурах.
9. Напряженно-деформированное состояние круглой пластины.

10. Напряженно-деформированное состояние прямоугольной пластины.
11. Напряженно-деформированное состояние опорных элементов микромеханических приборов.
12. Напряженно-деформированное состояние в системе с многоконсольной балочной опорой.
13. Коэффициент жесткости складчатой балки.
14. Принцип работы электростатических актюаторов.
15. Принцип работы электростатических сенсоров.
16. Влияние краевого электрического поля на характеристики электростатических преобразователей.
17. Пьезоэлектрические преобразователи.
18. Принцип работы приборов на поверхностных и объемных акустических волнах.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Корректное использование широкого спектра научных понятий. Рассуждения логически непротиворечивы, последовательны, выявлены причинно-следственные связи, осуществлен последовательный анализ проблемы, все выводы обоснованы достоверной фактологической базой. Продемонстрировано умение целостно видеть проблему, выделять ее ключевое звено.
Хорошо	Достаточный уровень знаний. Может быть продемонстрировано знание основных принципов и концепций при наличии некоторых несущественных пробелов. Целостное видение рассматриваемой проблемы присутствует, но не до конца выражено в авторском анализе.
Удовлетворительно	Удовлетворительный уровень знаний. Налицо ряд пробелов в знании основных принципов и концепций. Анализ проблемы проведен фрагментарно. Выводы в основном верные, но в рассуждении допущены логические пробелы, мешающие целостному видению рассматриваемой проблемы.
Неудовлетворительно	Низкий уровень знаний. Допущены существенные ошибки. Отсутствие логических рассуждений, понимания проблемы, необоснованность выводов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Микросистемные датчики физических величин	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-1, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи
2	Инженерная механика для конструирования датчиков МСТ	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-1, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи
3	Электростатический эффект и использование его в МСТ	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-1, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи
4	Оптимизация характеристик	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-	Ответы на вопросы в билете и экзамена-

интегральных датчиков	1, ПКВ-3	тора, решение прикладной задачи
-----------------------	----------	---------------------------------

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 20 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении текущего контроля знаний.

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении текущего контроля знаний.

Решение прикладных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задачи 20 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 15 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Тимофеев В.Н. Техническая механика микросистем [Электронный ресурс] / В.Н. Тимофеев, А.И. Погалов, С.В. Угольников, А.М. Андрианов, О.В. Панкратов. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 176 с.

2. Тимофеев В.Н. Учебное пособие по дисциплине «Введение в механику наноразмерных объектов» / В.Н. Тимофеев, А.И. Погалов, С.В. Угольников, А.А. Дегтярев. — М.: МИЭТ, 2011. — 244 с.

3. Тимошенко С.П. Курс теории упругости / С.П. Тимошенко. — Киев: Наукова думка, 1972. — 508 с.

4. Иоссель Ю.Я. Расчет электрической емкости / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский. — Л.: Энергоиздат, 1981. — 288 с.

5. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / Под. ред. Б. Бхушана. — М.: Техносфера, 2010. — Т.1 — 864 с.; Т.2 — 1039 с.; Т.3 — 812 с.

6. Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Компоненты микросистемной техники» для студентов направления подготовки 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении» очной формы обучения; сост. Г.И. Липатов [Электронный ресурс]. — Воронеж:

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2019. — 76 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

<http://www.microsystems.ru> — сайт журнала «Нано- и микросистемная техника»

www.smalltimes.com — новости МЭМС и нанотехники

<http://perst.issp.ras.ru> — информационный бюллетень «Перспективные технологии»

<http://www.nanonewsnet.ru> — сайт аналитического агентства Nanotechnology News Network

<http://www.nanodigest.ru> — интернет-журнал о нанотехнологиях

<http://www.nano-info.ru> — сайт о современных достижениях в области микро- и нанотехнологий

<http://www.nanometer.ru> — сайт нанотехнологического сообщества ученых

<http://www.nano-portal.ru> — портал, посвященный теме развития нанотехнологий и их внедрения в производство

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет.

Контрольно-измерительное оборудование.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«Физические основы наноинженерии»

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы обучающиеся должны своевременно и

в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных занятий, для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего ка- федрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			