

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Проектирование и технология электронной компонентной базы

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, магистерская программа: Компоненты микро- и наносистемной техники

Курс: 1, семестр : 1

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	1
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	65
4	Лекции, час.	0
5	Практические занятия, час.	18
6	Лабораторные занятия, час.	36
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	16
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	9
10	Самостоятельная работа, час.	79
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ
12	Вид аттестации	ДЗ

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №990 от 09.09.2015 г. , дата утверждения: 05.10.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Факультативные дисциплины, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

доцент, к.т.н. Гридчин А. В.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция НГТУ: ПК.19.В способность разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники; в части следующих результатов обучения:
з1. знать методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств
у1. владеть методами математического моделирования приборов и технологических процессов с целью оптимизации их параметров
у2. владеть методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и нанoeлектроники
у3. владеть современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения
у4. уметь разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники, разрабатывать технологические маршруты их изготовления

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Проектирование и технология электронной компонентной базы</i>	
ПК.19.В.з1 знать методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств	
1.Знать понятийный аппарат (терминологию) дисциплины	Практические занятия; Самостоятельная работа
2.Знать перечень основных физических параметров, применяемых для составления конечно-элементной модели проектируемого устройства.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.19.В.у1 владеть методами математического моделирования приборов и технологических процессов с целью оптимизации их параметров	
3.Уметь применять основные физические принципы, эффекты и процессы, лежащие в основе функционирования проектируемых электронных компонент.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
4.Знать и применять справочную систему (справку), интегрированную в систему автоматизированного проектирования электронных компонент.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
5.Уметь находить в справочной системе (справке) требуемую научно-техническую информацию.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
6. Уметь получать необходимую информацию из источников, представленных на иностранном языке.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.19.В.у2 владеть методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и нанoeлектроники	
7.Знать основные этапы проектирования электронной компонентной базы и место изучаемой САПР в этом проектировании.	Практические занятия; Самостоятельная работа
8.Уметь конкретизировать общую задачу в виде параметров модели на внутреннем языке программирования САПР.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
9.Уметь создавать геометрию модели проектируемого устройства, задавать граничные и начальные условия, прикладывать внешние и внутренние (встроенные) нагрузки.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

10. Уметь осуществлять анализ полученных результатов и их сопоставление с результатами аналитического расчета, полученными ранее.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
11. Уметь осуществлять вывод полученных результатов для их последующего анализа.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.19.В.у3 владеть современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	
12. Знать смысл и назначение основных команд, применяемых при создании конечно-элементной модели проектируемых электронных компонент.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
13. Знать функциональное назначение основных и вспомогательных меню системы автоматизированного проектирования электронных компонент.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
14. Знать перечень основных типов конечных элементов, применяемых при создании модели проектируемых электронных компонент.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
15. Уметь объяснить назначение и смысл основных команд, применяемых в системе автоматизированного проектирования электронных компонент.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
16. Владеть основными навыками составления программ (скриптов) на внутреннем языке программирования в системе автоматизированного проектирования ANSYS Workbench.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.19.В.у4 уметь разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники, разрабатывать технологические маршруты их изготовления	
17. Иметь опыт практического проведения различных видов анализа в САПР ANSYS Workbench.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
18. Владеть основными навыками работы с графическим интерфейсом Workbench системы автоматизированного проектирования ANSYS Workbench.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
19. Иметь опыт самостоятельного решения поставленной проектной задачи.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
20. Знать технологические нормы проектирования электронной компонентной базы, применяемые ведущими отечественными предприятиями электронной промышленности.	Практические занятия; Самостоятельная работа
21. Уметь адаптировать построенную конечно-элементную модель под конкретные нормы проектирования.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 1				
Дидактическая единица: Изучение основных особенностей программной оболочки ANSYS Workbench, в т.ч.: графического интерфейса, командной строки, командного режима, видов анализа, справочной системы, библиотеки свойств материалов, библиотеки конечных элементов. Построение первых конечно-элементных моделей.				

1. Знакомство с ANSYS Workbench.	2	4	13, 16, 2	Изучение расположения основных и вспомогательных панелей ANSYS Workbench, назначения кнопок на основных и вспомогательных панелях. Изучение перечня основных видов анализа и возможностей графического интерфейса ANSYS Workbench. Изучение структуры справочной системы ANSYS, знакомство с библиотекой конечных элементов. Поиск в справочной системе ANSYS информации по заданному вопросу.
Дидактическая единица: Структурный анализ в ANSYS, в т.ч.: статический (линейный и нелинейный), модальный, транзиентный (анализ переходных процессов), гармонический, спектральный.				
2. Статический структурный анализ.	2	4	10, 12, 14, 16, 2, 3, 8, 9	Изучение особенностей выполнения в ANSYS статического структурного анализа на примере построения простейшей конечно-элементной модели жёстко заземленной кремниевой пластинки. Самостоятельная разработка и реализация программы на внутреннем языке программирования ANSYS, задающей и рассчитывающей механические характеристики кремниевой жестко заземленной пластинки, получение и интерпретация результатов расчета.
3. Модальный и транзиентный (нестационарный) структурный анализ.	2	4	10, 15, 16, 17, 3, 8	Изучение особенностей выполнения в ANSYS модального и транзиентного (нестационарного) структурного анализа, интерпретация полученных результатов. Самостоятельная разработка и реализация программы на внутреннем языке программирования ANSYS.
Дидактическая единица: Тепловой анализ в ANSYS, в т.ч. анализ процессов теплопроводности, конвекции и излучения в различных структурах.				

4. Теплообмен за счет теплопроводности.	2	4	10, 11, 12, 14, 16, 17, 2, 3, 9	Изучение особенностей выполнения в ANSYS теплового анализа различных структур с заданными тепловыми граничными условиями. Самостоятельная разработка и реализация программ на внутреннем языке программирования ANSYS, задающей и рассчитывающей поля распределения температур и тепловые потоки от нагретых тел различной формы, получение и интерпретация результатов расчета.
5. Конвективный и радиационный теплообмен.	2	4	10, 4, 5, 6, 9	Изучение особенностей выполнения в ANSYS теплового анализа различных структур с заданными граничными условиями конвективного и радиационного теплообмена. Самостоятельная разработка и реализация программ на внутреннем языке программирования ANSYS, задающей и рассчитывающей поля распределения температур и тепловые потоки от нагретых тел различной формы, получение и интерпретация результатов расчета.
Дидактическая единица: Связанные виды анализа в ANSYS, в т.ч.: структурно-тензорезистивный, структурно-пьезоэлектрический, термомеханический, термоэлектрический, низкочастотный электромеханический анализы.				
6. Структурно-тензорезистивный анализ.	2	4	10, 11, 14, 15, 17, 4, 5, 9	Изучение особенностей выполнения в ANSYS структурно-тензорезистивного анализа на примере построения и расчета конечно-элементной модели четырехконтактного тензопреобразователя типа X-ducer, расположенного на жёстко заземленной кремниевой пластинке. Самостоятельная разработка и реализация программы на внутреннем языке программирования ANSYS, задающей и рассчитывающей распределение электрических потенциалов в пределах области растекания тока, получение и интерпретация результатов расчета.

7. Структурно-пьезоэлектрический анализ.	2	4	10, 11, 14, 15, 17, 2, 3, 4, 5, 9	Изучение особенностей выполнения в ANSYS структурно-пьезоэлектрического анализа. Самостоятельная разработка и реализация программы на внутреннем языке программирования ANSYS, задающей и рассчитывающей распределение деформаций и механических напряжений под влиянием поданной разности потенциалов.
8. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа.	2	4	10, 11, 14, 15, 17, 4, 5, 6, 9	Изучение особенностей выполнения в ANSYS термомеханического и термоэлектрического видов анализа. Самостоятельная разработка и реализация нескольких программ на внутреннем языке программирования ANSYS, рассчитывающих распределение деформаций, механических напряжений и электрических потенциалов в различных условиях.
9. Моделирование сложных микросистем.	0	4	18, 19, 21	Составление геометрической модели кремниевого торсионного микрзеркала, подготовка и реализация программы на внутреннем языке ANSYS, проведение низкочастотного электромеханического анализа, определение собственных частот колебаний структуры и других частотных характеристик, получение полей механических напряжений в деформированной структуре.

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 1				
Дидактическая единица: Изучение основных особенностей программной оболочки ANSYS Workbench, в т.ч.: графического интерфейса, командной строки, командного режима, видов анализа, справочной системы, библиотеки свойств материалов, библиотеки конечных элементов. Построение первых конечно-элементных моделей.				

1. Метод конечных элементов и его реализация в программной оболочке ANSYS.	0	2	12, 16, 7, 9	Изучение особенностей метода конечных элементов и его реализации в программной оболочке ANSYS. Знакомство с командами, задающими геометрию создаваемой модели. Построение первых моделей.
Дидактическая единица: Структурный анализ в ANSYS, в т.ч.: статический (линейный и нелинейный), модальный, транзитный (анализ переходных процессов), гармонический, спектральный.				
2. Расчет прогибов и механических напряжений в кремниевой жестко заземленной пластинке.	0	2	1, 10, 2, 3	Знакомство с методикой расчета параметров упругих элементов путем аналитического решения задач о характере распределения прогибов и механических напряжений в тонкой квадратной жестко заземленной кремниевой пластинке под воздействием поданного на нее давления.
3. Расчет механических напряжений и собственных частот колебаний кремниевого торсионного микроактюатора.	0	2	1, 10, 2, 3	Расчет механических напряжений и собственных частот колебаний кремниевого торсионного микроактюатора (кремниевой пластинки, свободно подвешенной на двух торсионах).
Дидактическая единица: Тепловой анализ в ANSYS, в т.ч. анализ процессов теплопроводности, конвекции и излучения в различных структурах.				
4. Закон Фурье. Анализ процессов теплопроводности.	0	2	1, 10, 2, 3	Расчет кремниевых микроструктур при помощи составления и анализа тепловых цепей на основании аналогии между процессами теплопроводности и электропроводности
5. Конвективный и радиационный теплообмен.	0	2	1, 10, 2, 3, 9	Расчет тепловых режимов работы кремниевых микроструктур с учетом граничных условий конвекции и излучения.
Дидактическая единица: Связанные виды анализа в ANSYS, в т.ч.: структурно-тензорезистивный, структурно-пьезоэлектрический, термомеханический, термоэлектрический, низкочастотный электромеханический анализы.				
6. Моделирование четырехконтактного кремниевого тензопреобразователя.	0	2	10, 2, 3, 9	Моделирование четырехконтактного кремниевого тензопреобразователя с областью растекания тока прямоугольной формы, с точечными потенциальными контактами, расположенного на краю жестко заземленной квадратной кремниевой пластины.

7. Моделирование четырехконтактного кремниевого тензопреобразователя с областью растекания тока специальной формы.	0	2	1, 10, 2, 3, 9	Расчет коэффициента формы, геометрической поправочной функции, входного и выходного сопротивлений четырехконтактного кремниевого тензопреобразователя с областью растекания тока типа "Греческий крест", расположенного на краю жестко заземленной квадратной кремниевой пластины.
Дидактическая единица: Особенности организации процесса проектирования электронных компонент в условиях современного промышленного производства				
8. Структура и особенности организации современного промышленного производства электронных компонент.	0	2	20, 7	Знакомство с особенностями организации процесса проектирования и изготовления электронных компонент. Причины разделения предприятий мировой электронной промышленности на Fabless и Foundry. Основное направление деятельности предприятий первой и второй группы, структура их основных доходов и расходов. Необходимые условия для работы предприятий первой и второй группы. Роль и место инженера-конструктора в Fabless компании и инженера-технолога в Foundry компании. Технологические нормы проектирования электронных компонент и ограничения, наложенные в связи с этим.
9. Основные тенденции в развитии микро/наноэлектроники.	0	2	6	Знакомство с основными направлениями развития микро- и наноэлектроники, основными тенденциями в ее развитии, обзор основных достижений на различных направлениях. Представление докладов по заранее определенным темам.

Таблица 3.3

Темы для самостоятельного изучения	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 1				
Дидактическая единица: Изучение основных особенностей программной оболочки ANSYS Workbench, в т.ч.: графического интерфейса, командной строки, командного режима, видов анализа, справочной системы, библиотеки свойств материалов, библиотеки конечных элементов. Построение первых конечно-элементных моделей.				

1. Знакомство с ANSYS Workbench.	0	2	1	Изучение учебной и учебно-методической литературы в рамках подготовки к практическому и лабораторному занятиям.
Дидактическая единица: Структурный анализ в ANSYS, в т.ч.: статический (линейный и нелинейный), модальный, транзиентный (анализ переходных процессов), гармонический, спектральный.				
2. Введение в теорию прогибов и механических напряжений в кремниевых жестко заземленных упругих элементах, возникающих при подаче на них внешнего давления.	0	3	1, 10, 2, 3, 6	Знакомство с основным понятийным аппаратом теории упругости, изучение соответствующей теме учебной литературы.
3. Знакомство с теорией упругих колебаний кремниевых упругих элементов.	0	3	1, 10, 2, 3, 6	Знакомство с теорией упругих колебаний кремниевых упругих элементов, методикой расчета собственных частот, изучение соответствующей теме учебной литературы.
Дидактическая единица: Тепловой анализ в ANSYS, в т.ч. анализ процессов теплопроводности, конвекции и излучения в различных структурах.				
4. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Аналогия между процессами теплопроводности и электропроводности.	0	2	1, 10, 2, 3, 6	Знакомство с основным понятийным аппаратом теории теплопроводности в электронных приборах, изучение соответствующей теме учебной литературы.
5. Закон Ньютона. Критерии подобия. Конвективный и радиационный теплообмен.	0	2	1, 10, 2, 3, 5, 6	Знакомство с основным понятийным аппаратом теории конвективного и радиационного теплообмена в электронных приборах, изучение соответствующей теме учебной литературы.
Дидактическая единица: Связанные виды анализа в ANSYS, в т.ч.: структурно-тензорезистивный, структурно-пьезоэлектрический, термомеханический, термоэлектрический, низкочастотный электромеханический анализы.				
6. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках.	0	2	2, 3, 5, 6	Знакомство с основным понятийным аппаратом теории тензорезистивного эффекта в металлах и полупроводниках, изучение соответствующей теме учебной литературы.
7. Сдвиговый тензорезистивный эффект в кремнии.	0	3	2, 3, 5, 6	Знакомство с основным понятийным аппаратом теории сдвигового тензорезистивного эффекта в кремнии, изучение соответствующей теме учебной литературы. Знакомство с основным принципом работы тензопреобразователя давления типа X-ducer.

8. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект.	0	2	2, 3, 5, 6	Знакомство с основным понятийным аппаратом теории прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта в металлах и полупроводниках, изучение соответствующей теме учебной литературы.
9. Термомеханические напряжения в деформированном кремнии.	0	3	2, 3, 5, 6	Знакомство с причинами возникновения термомеханических напряжений в деформированных кремниевых структурах, способами их учета и путях устранения, изучение соответствующей теме учебной литературы.
10. Термоэлектрические явления. Эффекты Пельтье и Томсона.	0	2	2, 3, 5, 6	Знакомство с термоэлектрическими явлениями на примере эффектов Пельтье и Томсона, со способами расчета электрических полей в элементах Пельтье, изучение соответствующей теме учебной литературы.
11. Торсионные микрзеркала.	0	2	2, 3, 5, 6	Знакомство с современными сложными микросистемами на примере устройства и физики работы торсионного микрзеркала, изучение соответствующей теме научной и учебной литературы.
Дидактическая единица: Особенности организации процесса проектирования электронных компонент в условиях современного промышленного производства				
12. Основные направления, тенденции развития и достижения в микро- и наноэлектронике	0	18	4, 5, 6	Поиск научной литературы, её анализ и составление электронной презентации, отражающей определенное направление развития современной микро- и наноэлектроники (по выбору преподавателя), совершенствование её компонентной базы, основные тенденции развития и достижения на настоящее время.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 1				
1	РГЗ	1, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 2, 3, 8, 9	35	5

Подготовка и реализация средствами САПР ANSYS Workbench программы расчета физической модели конструктивного элемента устройства. Составление обзора литературы по различным методам конечно-элементного анализа, реализованными в ANSYS Workbench.: Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016				
2	Подготовка к занятиям	1, 12, 13, 14, 15, 2, 20, 4, 5, 6, 7	0	0
: Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016				
3	Подготовка к аттестации	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 2, 20, 21, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	0	4
Консультация при подготовке к экзамену, ответы на вопросы.: Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016				
4	Самостоятельное изучение теоретического материала	1, 10, 2, 3, 4, 5, 6	44	0
Студент изучает темы, приведенные в таблице 3.3 : Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Портал НГТУ; Социальные сети
Консультирование	e-mail
Размещение учебных материалов	ЭБС

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS.

Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 1		
Лабораторная №1: №1, выполнение	2	3
Лабораторная №1: №1, защита	2	3

Лабораторная №2: №2, выполнение	2	3
Лабораторная №2: №2, защита	2	3
Лабораторная №3: №3, выполнение	2	3
Лабораторная №3: №3, защита	2	3
Лабораторная №4: №4, выполнение	2	3
Лабораторная №4: №4, защита	2	3
Лабораторная №5: №5, выполнение	2	3
Лабораторная №5: №5, защита	2	3
Лабораторная №6: №6, выполнение	2	3
Лабораторная №6: №6, защита	2	3
Лабораторная №7: №7, выполнение	2	3
Лабораторная №7: №7, защита	2	3
Лабораторная №8: №8, выполнение	2	3
Лабораторная №8: №8, защита	2	3
Практические занятия №1: №1, посещение	1	1
Практические занятия №1: №1, активность	1	1
Практические занятия №2: №2, посещение	1	1
Практические занятия №2: №2, активность	1	1
Практические занятия №3: №3, посещение	1	1
Практические занятия №3: №3, активность	1	1
Практические занятия №4: №4, посещение	1	1
Практические занятия №4: №4, активность	1	1
Практические занятия №5: №5, посещение	1	1
Практические занятия №5: №5, активность	1	1
Практические занятия №6: №6, посещение	1	1
Практические занятия №6: №6, активность	1	1
Практические занятия №7: №7, посещение	1	1
Практические занятия №7: №7, активность	1	1
Практические занятия №8: №8, посещение	1	1
Практические занятия №8: №8, активность	1	1
Практические занятия №8: №9, посещение	1	1
РГЗ:	7	15
Контролирующие материалы приводятся в "Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016 "		
Зачет:	10	20
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016 "		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
		Защита РГЗ	Зачет
	ПК.19.В з1. знать методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств	+	+
	ПК.19.В у1. владеть методами математического моделирования приборов и технологических процессов с целью оптимизации их параметров	+	+
	ПК.19.В у2. владеть методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и нанoeлектроники	+	+
	ПК.19.В у3. владеть современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	+	+
	ПК.19.В у4. уметь разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники, разрабатывать технологические маршруты их изготовления	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, И. Г. Неизвестный, В. Н. Шумский ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2006. - 495 с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000066370
2. Ивликов С. Ю. Основы конечно-элементного моделирования в системе ANSYS : учебное пособие / С. Ю. Ивликов ; Новосибир. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 66, [1] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000077935. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

Дополнительная литература

1. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 1 : Учебное пособие для вузов / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов; Новосибир. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 415 с. : ил. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2004/04_gridchin.pdf
2. Madenci E. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using Ansys® [electronic resource] // by Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. - Boston, MA :, 2006. : v.: digital // Springer e-books. - Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-28290-9>

Интернет-ресурсы

1. ANSYS Student [Electronic resource] // ANSYS. - ANSYS, Inc., 2016. - Mode of access: <http://www.ansys.com/Student>. - Title from screen.
2. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
3. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>

5. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>

6. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : [учебное пособие] / А. В. Гридчин, В. А. Колчужин, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 80, [2] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234016

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 Ansys Academic Research

2 ANSYS ACADEMIC Mechanical HPC

9. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Терминальный класс №2	Применяется для проведения расчетов при помощи специализированного программного обеспечения

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование и технология электронной компонентной базы

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника,
магистерская программа: Компоненты микро- и наносистемной техники

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине «Проектирование и технология электронной компонентной базы» приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.19.В способность разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	31. знать методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств	Введение в теорию прогибов и механических напряжений в кремниевых жестко заземленных упругих элементах, возникающих при подаче на них внешнего давления. Закон Ньютона. Критерии подобия. Конвективный и радиационный теплообмен. Закон Фурье. Анализ процессов теплопроводности. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Аналогия между процессами теплопроводности и электропроводности. Знакомство с ANSYS Workbench. Знакомство с теорией упругих колебаний кремниевых упругих элементов. Конвективный и радиационный теплообмен. Моделирование четырехконтактного кремниевого тензопреобразователя. Моделирование четырехконтактного кремниевого тензопреобразователя с областью растекания тока специальной формы. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Расчет механических напряжений и собственных частот колебаний кремниевого торсионного микроактюатора. Расчет прогибов и механических напряжений в кремниевой жестко заземленной пластинке. Сдвиговый тензорезистивный эффект в кремнии. Статический структурный анализ. Структурно-пьезоэлектрический анализ. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках. Теплообмен за счет теплопроводности. Термомеханические	РГЗ, разделы: Аналитический расчёт прогибов, деформаций и механических напряжений упругого элемента кремниевого тензопреобразователя давления. Сравнение результатов расчёта, полученных аналитическими и численными методами.	Зачет, вопросы: Тензоры деформаций и механических напряжений в кремниевых упругих элементах. Закон Гука. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Расчет простейших тепловых цепей. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Критерии подобия. Радиационный теплообмен. Законы Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Принцип работы кварцевого генератора. Упругие колебания кремниевых упругих элементов. Собственные частоты. Расчет частотных характеристик. Термомеханические напряжения, причины их возникновения, способы их расчета и компенсации. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках. Расчет коэффициента тензочувствительности. Сдвиговый тензорезистивный эффект (феноменологическое описание). Структурно-пьезоэлектрический анализ, методика его выполнения.

		напряжения в деформированном кремнии.		
ПК.19.В	у1. владеть методами математического моделирования приборов и технологических процессов с целью оптимизации их параметров	Введение в теорию прогибов и механических напряжений в кремниевых жестко заземленных упругих элементах, возникающих при подаче на них внешнего давления. Закон Ньютона. Критерии подобия. Конвективный и радиационный теплообмен. Закон Фурье. Анализ процессов теплопроводности. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Аналогия между процессами теплопроводности и электропроводности. Знакомство с теорией упругих колебаний кремниевых упругих элементов. Конвективный и радиационный теплообмен. Модальный и транзитный (нестационарный) структурный анализ. Моделирование четырехконтактного кремниевго тензопреобразователя. Моделирование четырехконтактного кремниевго тензопреобразователя с областью растекания тока специальной формы. Основные направления, тенденции развития и достижения в микро- и наноэлектронике Основные тенденции в развитии микро/наноэлектроники. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Расчет механических напряжений и собственных частот колебаний кремниевго торсионного микроактюатора. Расчет прогибов и механических напряжений в кремниевой жестко заземленной пластинке. Сдвиговый тензорезистивный эффект в кремнии. Статический структурный анализ. Структурно-пьезоэлектрический анализ. Структурно-тензорезистивный анализ. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках. Теплообмен за счет теплопроводности. Термомеханические	РГЗ, разделы: Оптимизация размещения чувствительного элемента на поверхности кремниевго тензопреобразователя давления. Оптимизация выбора типа конечного элемента для проведения расчёта.	Зачет, вопросы: Тензоры деформаций и механических напряжений в кремниевых упругих элементах. Закон Гука. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Расчет простейших тепловых цепей. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Критерии подобия. Радиационный теплообмен. Законы Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Принцип работы кварцевого генератора. Упругие колебания кремниевых упругих элементов. Собственные частоты. Расчет частотных характеристик. Термомеханические напряжения, причины их возникновения, способы их расчета и компенсации. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках. Расчет коэффициента тензочувствительности. Сдвиговый тензорезистивный эффект (феноменологическое описание). Структурно-пьезоэлектрический анализ, методика его выполнения. Эффекты Пельтье и Томсона, причины их возникновения. Основные тенденции в развитии микро- и наноэлектроники в России и в мире.

		напряжения в деформированном кремнии. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа. Термоэлектрические явления. Эффекты Пельтье и Томсона. Торсионные микрзеркала.		
ПК.19.В	у2. владеть методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и наноэлектроники	Введение в теорию прогибов и механических напряжений в кремниевых жестко заземленных упругих элементах, возникающих при подаче на них внешнего давления. Закон Ньютона. Критерии подобия. Конвективный и радиационный теплообмен. Закон Фурье. Анализ процессов теплопроводности. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Аналогия между процессами теплопроводности и электропроводности. Знакомство с теорией упругих колебаний кремниевых упругих элементов. Конвективный и радиационный теплообмен. Метод конечных элементов и его реализация в программной оболочке ANSYS. Модальный и транзиентный (нестационарный) структурный анализ. Моделирование четырехконтактного кремниевго тензопреобразователя. Моделирование четырехконтактного кремниевго тензопреобразователя с областью растекания тока специальной формы. Расчет механических напряжений и собственных частот колебаний кремниевго торсионного микроактюатора. Расчет прогибов и механических напряжений в кремниевой жестко заземленной пластинке. Статический структурный анализ. Структура и особенности организации современного промышленного производства электронных компонент. Структурно-пьезоэлектрический анализ. Структурно-тензорезистивный анализ. Теплообмен за счет теплопроводности. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа.	РГЗ, разделы: Разработка конечно-элементной модели кремниевго тензопреобразователя давления для численного моделирования. Расчет прогибов, деформаций и механических напряжений численными методами.	Зачет, вопросы: Зачет, вопросы: Тензоры деформаций и механических напряжений в кремниевых упругих элементах. Закон Гука. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Расчет простейших тепловых цепей. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Критерии подобия. Радиационный теплообмен. Законы Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Принцип работы кварцевого генератора. Упругие колебания кремниевых упругих элементов. Собственные частоты. Расчет частотных характеристик. Термомеханические напряжения, причины их возникновения, способы их расчета и компенсации. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках. Расчет коэффициента тензочувствительности. Сдвиговый тензорезистивный эффект (феноменологическое описание). Структурно-пьезоэлектрический анализ, методика его выполнения. Эффекты Пельтье и Томсона, причины их возникновения. Основные тенденции в развитии микро- и наноэлектроники в России и в мире. Общая структура

				мировой электронной промышленности. Причины ее разделения на группы Fabless и Foundry. Взаимодействие между ними. Достоинства и недостатки такого способа взаимодействия. Роль и место инженера-конструктора и инженера-технолога в структуре электронной промышленности. Технологические нормы проектирования электронных компонент и ограничения, налагаемые ими.
ПК.19.В	у3. владеть современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	Знакомство с ANSYS Workbench. Метод конечных элементов и его реализация в программной оболочке ANSYS. Модальный и транзитный (нестационарный) структурный анализ. Статический структурный анализ. Структурно-пьезоэлектрический анализ. Структурно-тензорезистивный анализ. Теплообмен за счет теплопроводности. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа.	РГЗ, разделы: Связанный структурно-тензорезистивный анализ: техника выполнения в ANSYS Workbench. Расчёт выходных напряжений тензорезистивных структур различной формы.	Зачет, вопросы: Общая характеристика ANSYS Workbench 16.2. Возможности проектирования электронных компонент в САПР ANSYS. Графический редактор ANSYS Mechanical APDL. Способы создания моделей. Этапы моделирования и их описание. Справочная система ANSYS и ее применение при моделировании структур. Метод конечных элементов, как способ проектирования в ANSYS. Стационарный тепловой анализ в ANSYS, общее описание и методика выполнения. Нестационарный тепловой анализ в ANSYS, общее описание и методика выполнения. Транзитный (нестационарный) структурный анализ, методика его выполнения и область применения. Структурно-тензорезистивный анализ, методика его выполнения.

				Структурно-пьезоэлектрический анализ, методика его выполнения. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа, методика их выполнения.
ПК.19.В	у4. уметь разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники, разрабатывать технологические маршруты их изготовления	Модальный и транзитный (нестационарный) структурный анализ. Моделирование сложных микросистем. Структура и особенности организации современного промышленного производства электронных компонент. Структурно-пьезоэлектрический анализ. Структурно-тензорезистивный анализ. Теплообмен за счет теплопроводности. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа.	РГЗ, разделы: Разработка аналитической модели кремниевого тензопреобразователя давления для заданных технических условий.	Зачет, вопросы: Модальный структурный анализ, методика его выполнения и область применения. Транзитный (нестационарный) структурный анализ, методика его выполнения и область применения. Общая структура мировой электронной промышленности. Причины ее разделения на группы Fabless и Foundry. Взаимодействие между ними. Достоинства и недостатки такого способа взаимодействия. Структурно-тензорезистивный анализ, методика его выполнения. Структурно-пьезоэлектрический анализ, методика его выполнения. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа, методика их выполнения.

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 1 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.19.В.

Зачет проводится в устной форме, по билетам.

Форма проведения зачёта описана в паспорте зачёта, прилагаемого к рабочей программе.

Кроме того, сформированность компетенции проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 1 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (РГЗ). Требования к выполнению РГЗ, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.19.В, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт зачета

по дисциплине «Проектирование и технология электронной компонентной
базы», 1 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1 – 13, второй вопрос из диапазона вопросов 14 – 24 (список вопросов приведен ниже). Третьим вопросом во всех билетах является задача, решение которой производится с применением специализированного приложения ANSYS Workbench 16.2 в терминальном классе. В ходе зачёта проверяется весь комплекс теоретических и практических знаний, умений и навыков, которые приобрёл студент в ходе освоения им данной дисциплины. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Проектирование и технология электронной компонентной
базы»

1. Сдвиговый тензорезистивный эффект (феноменологическое описание).
2. Стационарный тепловой анализ в ANSYS, общее описание и методика выполнения.
3. Дана прямоугольная кремниевая балка, один конец которой зачернен, второй поддерживается при постоянной температуре $T = 0^{\circ}\text{C}$. На поверхность зачерненной части падает излучение мощностью 1 Вт. Написать программу на ANSYS, позволяющую рассчитать поле распределения температур и тепловых потоков, если размеры балки (длина, ширина, толщина): $L = 5$ мм, $W = 1$ мм, $h = 40$ мкм, а размеры зачерненной части $L1 = 0.5$ мм, $W = 1$ мм, толщина пренебрежимо мала. Все поверхности балки, кроме зачерненной части, считать теплоизолированными.

Утверждаю: зав. кафедрой ППиМЭ _____ проф. В.А. Гайслер
(подпись)

«19» июня 2017 г.

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет **25 – 49 баллов**.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи решения не получает, но ход решения в целом верный, оценка составляет **50 – 66 баллов**.
- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает качественную характеристику процессов и явлений, проводит анализ причин возникновения физических эффектов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет **67 – 86 баллов**.
- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет **87 – 100 баллов**.

3. Шкала оценки

Для допуска к зачёту студент обязан выполнить и защитить все лабораторные работы, присутствовать на всех практических занятиях, а также сдать и защитить расчетно-графическое задание не менее, чем на 7 баллов. Минимальный общий балл для допуска к зачёту составляет 30 баллов.

Максимальный балл, который студент может набрать в ходе сдачи зачёта, равен 20, таким образом, коэффициент пересчёта баллов зачёта в итоговые баллы по дисциплине равен 0,2.

Оценка «**неудовлетворительно**» (оценка FX) ставится в случае, если студент отвечает на **неудовлетворительном** уровне, и набирает по сумме ответов на все вопросы от 5 до 9,8 итоговых баллов.

Оценка «**удовлетворительно**» (оценки E, D-, D) ставится в случае, если студент отвечает на **пороговом** уровне, и набирает от 10 до 13,2 баллов, а также на **базовом** уровне, если набранный им балл по сумме ответа на все вопросы находится в пределах от 13,4 до 14,4 (оценки D+ и C-).

Оценка «**хорошо**» (оценки C, C+, B-, B) ставится в случае, если студент отвечает на **базовом** уровне, и набирает от 14,6 до 17,2 баллов.

Оценка **«отлично»** (оценки B+, A-, A, A+) ставится в случае, если студент отвечает на **продвинутом** уровне, и набирает от 17,4 до 20 баллов.

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее **10** баллов (из **20** возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Проектирование и технология электронной компонентной базы»

1. Основные тенденции в развитии микро- и наноэлектроники в России и в мире.
2. Общая структура мировой электронной промышленности. Причины ее разделения на группы Fabless и Foundry. Взаимодействие между ними. Достоинства и недостатки такого способа взаимодействия.
3. Роль и место инженера-конструктора и инженера-технолога в структуре электронной промышленности. Технологические нормы проектирования электронных компонент и ограничения, налагаемые ими.
4. Тензоры деформаций и механических напряжений в кремниевых упругих элементах. Закон Гука.
5. Тензорезистивный эффект в металлах и полупроводниках. Расчет коэффициента тензочувствительности.
6. Сдвиговый тензорезистивный эффект (феноменологическое описание).
7. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Расчет простейших тепловых цепей.
8. Эффекты Пельтье и Томсона, причины их возникновения.
9. Термомеханические напряжения, причины их возникновения, способы их расчета и компенсации.
10. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Критерии подобия.
11. Радиационный теплообмен. Законы Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта.
12. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Принцип работы кварцевого генератора.
13. Упругие колебания кремниевых упругих элементов. Собственные частоты. Расчет частотных характеристик.
14. Общая характеристика ANSYS Workbench 16.2. Возможности проектирования электронных компонент в САПР ANSYS.
15. Графический редактор ANSYS Mechanical APDL. Способы создания моделей. Этапы моделирования и их описание.
16. Справочная система ANSYS и ее применение при моделировании структур.

17. Метод конечных элементов, как способ проектирования в ANSYS.
18. Стационарный тепловой анализ в ANSYS, общее описание и методика выполнения.
19. Нестационарный тепловой анализ в ANSYS, общее описание и методика выполнения.
20. Модальный структурный анализ, методика его выполнения и область применения.
21. Транзиентный (нестационарный) структурный анализ, методика его выполнения и область применения.
22. Структурно-тензорезистивный анализ, методика его выполнения.
23. Структурно-пьезоэлектрический анализ, методика его выполнения.
24. Термомеханический и термоэлектрический виды анализа, методика их выполнения.

Задачи к зачёту:

1. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух коротких торцевых сторон, размерами $250 \times 150 \times 25$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 100 кПа. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.
2. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух длинных торцевых сторон, размерами $500 \times 150 \times 40$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 120 кПа. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.
3. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами $300 \times 125 \times 30$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 110 кПа. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.
4. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами $600 \times 220 \times 40$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 120 кПа. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.

5. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами $250 \times 150 \times 25$ мкм. На одной из её коротких торцевых сторон поддерживается температура 0°C , на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток плотностью 0.1 Вт/см^2 . На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции $25 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 построить распределение температур и тепловых потоков в мембране.
6. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами $300 \times 100 \times 25$ мкм. На её коротких торцевых сторонах поддерживается температура 0°C , на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток плотностью 0.1 Вт/см^2 . На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции $25 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 построить распределение температур и тепловых потоков в мембране.
7. Дана кремниевая квадратная мембрана, жёстко закреплённая со всех сторон, с шириной 200 мкм, толщиной 20 мкм. Давление приложено по перпендикуляру к наибольшей поверхности мембраны. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ относительных единиц.
8. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух длинных торцевых сторон, размерами $450 \times 120 \times 35$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ относительных единиц.
9. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами $320 \times 125 \times 30$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ относительных единиц.
10. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко закреплённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами $450 \times 120 \times 25$ мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ относительных единиц.

11. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами $250 \times 150 \times 25$ мкм. На одной из её коротких торцевых сторон поддерживается температура 0°C , на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток, выраженный в Ваттах. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции $25 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальное значение теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50°C .
12. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами $300 \times 100 \times 25$ мкм. На её коротких торцевых сторонах поддерживается температура 0°C , на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток с плотностью, выраженной в Вт/м^2 . На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции $25 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальную плотность теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50°C .
13. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами $250 \times 150 \times 25$ мкм. На одной из её коротких торцевых сторон поддерживается температура 0°C , на прилежащую к ней торцевую поверхность падает тепловой поток, выраженный в Ваттах. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции $25 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальное значение теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50°C .
14. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами $300 \times 100 \times 25$ мкм. На её коротких торцевых сторонах поддерживается температура 0°C , на противоположную к ней торцевую поверхность падает тепловой поток с плотностью, выраженной в Вт/м^2 . На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции $25 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. При помощи пакета программ ANSYS Workbench 16.2 оценить максимальную плотность теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50°C .

Паспорт расчетно-графического задания

по дисциплине «Проектирование и технология электронной компонентной базы», 1 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания по дисциплине студенты должны спроектировать и рассчитать тензопреобразователь давления с областью растекания тока в форме Греческого креста для сенсора давления катетерного типа в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны:

1. Самостоятельно изучить теорию сдвигового тензорезистивного эффекта в кремнии и основные принципы тензопреобразователя с областью растекания тока в форме Греческого креста.
2. На основе данных технического задания разработать эскиз модели, выбрать оптимальное место расположения тензопреобразователя на поверхности упругого элемента, обосновать правильность выбора и отразить в пояснительной записке.
3. Выполнить чертеж конструкции и приложить к пояснительной записке.
4. Произвести аналитический расчет механических напряжений и деформаций в упругом элементе, возникающих в результате приложения давления.
5. Произвести аналитический расчет выходного сигнала и чувствительности тензопреобразователя. Результаты аналитических расчетов отразить в пояснительной записке.
6. Построить конечно-элементную модель проектируемой конструкции в среде ANSYS, и произвести необходимые расчеты.
7. Результаты расчетов представить в виде таблиц и графиков, сопоставить с результатами аналитических расчетов, сделать вывод.
8. Описать результаты проектирования в пояснительной записке.

Отчет по РГЗ (пояснительная записка) должен в обязательном порядке содержать:

1. Титульный лист, заполненный в соответствии установленной формой, и названием работы «Проектирование кремниевого тензопреобразователя давления», подписанный исполнителем (студентом) (2 экз.).
2. Лист с заданием на РГЗ (2 экз.) Лист должен содержать Ф.И.О. студента (исполнителя задания), название дисциплины, название темы работы, исходные данные (указание, что требуется разработать), дату выдачи задания, дату представления работы руководителю, поле «Замечания к работе» (с достаточным местом для замечаний) и подпись руководителя (преподавателя).
3. Лист с техническим заданием для РГЗ (2 экз.)
4. Содержание работы с нумерацией страниц.
5. Текст пояснительной записки, содержащей все проведенные студентом расчёты, обоснования и выводы, а также графическую и табличную информацию, если она требуется.
6. Вывод и заключение. Вывод должен соответствовать цели работы, указанной в

графе «Исходные данные»

7. CD диск, с полным набором всех файлов, созданных студентом в ходе выполнения РГЗ, включая файл с полным текстом пояснительной записки.

Оцениваемые позиции:

1. Наличие/отсутствие титульного листа, заполненного в соответствии с установленной формой.
2. Наличие/отсутствие заполненных полей на листе с заданием для РГЗ.
3. Наличие/отсутствие вывода и заключения.
4. Ясность и полнота изложенной информации.
5. Наличие/отсутствие необходимых по тексту рисунков и таблиц.
6. Наличие/отсутствие комментариев к рисункам и таблицам.
7. Ясность и полнота ответов на вопросы преподавателя.

Отрицательная информация по любой из позиций оценивается в 0 баллов, положительная – в 1 балл и более, в зависимости от качества ответа.

2. Критерии оценки

Работа считается **не выполненной**, если в ней допущены фактические ошибки, например:

- 1) тип конечного элемента выбран неверно;
- 2) граничные условия наложены неверно;
- 3) при запуске расчёта программа выдаёт ошибку, приводящую к прерыванию её работы;
- 4) при расчёте на программе получены величины выходного напряжения, не соответствующие величинам, полученным в ходе аналитических расчётов;
- 5) аналитические расчёты выходного напряжения не проведены;
- 6) пояснительная записка к РГЗ не оформлена надлежащим образом;
- 7) студент не может прокомментировать представленную преподавателю пояснительную записку к РГЗ.

Оценка составляет **25 – 49** баллов.

Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ выполнены формально, например:

- 1) рисунки и таблицы приведены без пояснений;
- 2) выбор типа конечного элемента и способа моделирования дан без обоснования;
- 3) выбор места расположения чувствительного элемента на поверхности тензопреобразователя не обоснован;
- 4) сравнение аналитических расчётов с результатами компьютерного моделирования не проведено;
- 5) пояснительная записка к РГЗ оформлена неаккуратно, CD отсутствует;
- 6) студент затрудняется прокомментировать некоторые места представленной преподавателю пояснительной записки к РГЗ.

Оценка составляет **50 – 66** баллов.

Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если:

- 1) пояснительная записка содержит все расчёты, рассуждения и выводы, а также необходимые по тексту рисунки и таблицы в полном объёме;
- 2) пояснительная записка оформлена аккуратно, с соблюдением всех предъявляемых к её оформлению требований;
- 3) к пояснительной записке приложен CD с полной версией всех файлов, созданных студентом в ходе выполнения работы;

- 4) тип конечного элемента, место расположения чувствительного элемента на поверхности тензопреобразователя, способ разбиения модели на сетку конечных элементов не оптимизированы;
- 5) качество комментариев студента к представленной преподавателю пояснительной записке побуждает преподавателя задавать дополнительные наводящие вопросы.

Оценка составляет **67 – 86** баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если:

- 1) пояснительная записка содержит все расчёты, рассуждения и выводы, а также необходимые по тексту рисунки и таблицы в полном объёме, со всеми необходимыми обоснованиями;
- 2) все требования к оформлению пояснительной записки соблюдены;
- 3) РГЗ представлен на проверку преподавателю в определённые преподавателем сроки;
- 4) все необходимые параметры конечно-элементной модели оптимизированы;
- 5) качество комментариев студента к представленной преподавателю пояснительной записке не побуждает преподавателя задавать дополнительные наводящие вопросы.

Оценка составляет **87 – 100** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Максимальный балл, который студент может набрать в ходе выполнения РГЗ, равен 15, таким образом, коэффициент пересчёта баллов РГЗ в итоговые баллы по дисциплине равен 0,15.

Оценка «**неудовлетворительно**» (оценка FX) ставится в случае, если работа **не выполнена** (от 3,75 до 7,35 итоговых баллов), в этом случае работа возвращается студенту на доработку.

Оценка «**удовлетворительно**» (оценки E, D-, D) ставится в случае, если работа выполнена на **пороговом** уровне (от 7,35 до 9,9 баллов), а также на **базовом** уровне, если балл за работу находится в пределах от 9,9 до 10,8 (оценки D+ и C-).

Оценка «**хорошо**» (оценки C, C+, B-, B) ставится в случае, если работа выполнена на **базовом** уровне (от 10,8 до 12,9 баллов).

Оценка «**отлично**» (оценки B+, A-, A, A+) ставится в случае, если работа выполнена на **продвинутом** уровне (от 12,9 до 15 баллов).

4. Типовые параметры технического задания для РГЗ

Тип кремния для упругого элемента	n
Тип легирования тензопреобразователя	p
Кристаллографическая плоскость кремния	(100)
Форма мембраны	квадратная
Толщина мембраны	40 мкм
Размеры мембраны	5 мм
Порядок симметрии области растекания тока	4
Ширина луча области растекания тока	5 мкм
Длина луча области растекания тока	10 мкм
Коэффициент покрытия контактов	1