

Приложение 4

Рабочая программа дисциплины Технология приборов микросистемной техники

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция НГТУ: ПК.2.В готовностью к применению статистических методов в радиолокационных и радионавигационных системах; в части следующих результатов обучения:
з1. знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники
у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
---	---------------------------

Дисциплина по выбору аспиранта

ПК.2.В.з1 знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники	
1. О тенденциях развития компонент микросистем, использующих тех-нологию микроэлектроники. О классификации микросистем, сенсоров и актюаторов по свойствам и техническому назначению.	Самостоятельная работа
2. О новейших методах получения, экспериментального исследования и характеристики микросистем, сенсоров и актюаторов. О взаимосвязи микросистемной техники со схемотехническими и технологическими достижениями микроэлектроники	Самостоятельная работа
3. О новейших направлениях технологии микросистемной техники	Самостоятельная работа
4. Понятийный аппарат (терминологию) дисциплины. Физико-технологические принципы создания и работы сенсоров механических, тепловых, магнитных, химических и радиационных величин	Самостоятельная работа
5. Физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем. Влияние технологии изготовления на свойства и параметры различных групп микросистем, сенсоров и актюаторов.	Самостоятельная работа
6. Связь технологии изготовления и основных метрологических характеристики важнейших типов микросистем, сенсоров и актюаторов.	Самостоятельная работа
7. Процессы сборки микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение; системный подход к управлению качеством продукции; эксплуатацию и сервисное обслуживание технологического оборудования.	Самостоятельная работа
8. Выбирать практические варианты технологии изготовления микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач. Использовать. Выбирать практические варианты технологии изготовления микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач. Использовать основы физики, химии и теории твердого тела для постановки и решения задач описания технологических процессов для изготовления микросистем, сенсоров и актюаторов	Самостоятельная работа
9. Выдвигать и проверять гипотезы, делать обоснованный выбор методов изготовления и исследования свойств микросистем, сенсоров и актюаторов. Использовать технологические приемы улучшения параметров микросистем, сенсоров и актюаторов с необходимыми метрологическими характеристиками	Самостоятельная работа
10. Сборки микросистем; работы в лабораторных и производственных условиях; к системному подходу по управлению качеством продукции; эксплуатации и сервисному обслуживанию технологического оборудования.	Самостоятельная работа

ПК.2.В.у1 уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	
11. Проектирования технологии элементной базы микроэлектроники, микросистем, сенсоров и актюаторов.	Самостоятельная работа
12. Методы проектирования технологии микросистем, сенсоров и актюаторов.	Самостоятельная работа
13. Проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов.	Самостоятельная работа
14. Основные характеристики сенсоров и технологические методы их изготовления. Основные технологические факторы, влияющие на параметры микросистем и технологические приемы, улучшающие свойства микросистем.	Самостоятельная работа
15. Основные физико-химические явления, используемые для создания элементов микросистем.	Самостоятельная работа
16. Проектировать технологию микросистем, сенсоров и актюаторов с учетом особенностей требуемых выходных величин. Использовать справочный материал по разработке технологии выбранных или требуемых сенсоров и актюаторов для конкретных микросистем.	Самостоятельная работа
17. Об основных эксплуатационных характеристиках микросистем, сенсоров и актюаторов при использовании их в современной электронной аппаратуре. О тенденциях развития мирового рынка сенсоров, актюаторов и современных микросистем	Самостоятельная работа
18. Методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем.	Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы для самостоятельного изучения	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление				
1. Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности микросистем-ной техники. Элементы и компоненты микросистемной техники. МЭМС, НЭМС, МЭОМС, НЭОМС, сенсоры и актюаторы: области применения и тенденции развития. Классификация сенсоров. Физико-химические принципы действия сенсорных систем. Примеры.	0	4	1, 2, 4	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Материалы интегральной электроники.				

2. Материалы интегральной электроники. Материалы для мик-ромеханических и микроптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники. Свойства и технологические особенности кремния.	0	8	2, 3, 4	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Получение металлургического и кремния.				
3. Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП. Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин.	0	8	5	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев.				
4. Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев. Газо-фазная и жидко-фазная эпитаксия. Выращивание эпитаксиальных слоев кремния из газовой фазы. Процессы в приграничном слое кремниевой пластины в реакторе. Химическая кинетика роста эпитаксиальных пленок кремния	0	8	11, 15, 7	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния.				
5. Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния. Технологическое оборудование эпитаксиального роста. Выбор оптимальной технологии. Эпитаксиальные дефекты.	0	10	15, 6	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ).				

6. Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с ги-гантским магнитосопротивлением	0	10	5, 6, 8	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Термическое окисление кремния.				
7. Термическое окисление кремния. Физико-химические свойства и структура пленок диоксида кремния. Технологические режимы и оборудование термического окисления кремния. Быстрое термическое окисление кремния. Механизм роста термического окисла. Модель Дила-Гроува роста термического окисла. Особенности окисления в сухом и влажном кислороде, и в парах воды.	0	6	15, 3, 5, 6	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Сегрегация примесей на границе раздела SiO₂/Si.				
8. Сегрегация примесей на границе раздела SiO ₂ /Si. Особенности роста окисных пленок на внешних и внутренних углах ступеньки на кремниевой подложке. LOCOS-технология. Технология термического окисления глубоких и неглубоких изолирующих канавок. Методы определения толщины окисной пленки.	0	8	15, 9	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Ионная имплантация примесей в полупроводники.				

9. Ионная имплантация примесей в полупроводники. Оборудование для проведения процесса ионной имплантации. Преимущества и недостатки ионной имплантации. Расчет распределения внедренных ионов. Параметры, характеризующие распределение внедренных ионов: проецированная длина пробега, проецированное и боковое рассеяние. Приближение Пирсона для расчета профилей легирования. Особенности распределения Sb, As, P, B в кремнии.	0	8	5, 6	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Теория ионного торможения ЛШШ.				
10. Теория ионного торможения ЛШШ. Зависимость проецированной длины пробега, проецированного и бокового рассеяния от энергии ионов для B, P, As, внедряемых в Si и SiO ₂ . Эффект каналирования. Образование радиационных дефектов. Изохронный и изотермический отжиг радиационных дефектов. Диффузия имплантированной примеси при отжиге. Быстрый лазерный отжиг. Использование ионной имплантации для геттерирования нежелательных примесей и дефектов.	0	8	4, 5, 6	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Элементная база микросистемных устройств				
11. Элементная база микросистемных устройств: биполярные и МОП-транзисторы. Пассивные интегральные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивности. Примеры технологической реализации. Расчет и конструирование интегральных диффузионных и имплантированных резисторов. Расчет и конструирование микроэлектронных конденсаторов и индуктивностей.	0	8	3, 7	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Фотолитография.				

12. Фотолитография. Позитивные и негативные фоторезисты. Технологический процесс фотолитографии. Взрывная фото-литография. Фотолитографические системы: контактная, с микроазором, проекционная и их разрешающая способность. Пути улучшения разрешающей способности и качества передачи изображения. Источники излучения используемые в фотолитографических системах. Иммерсионная фото-литография.	0	9	5, 6	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Литографические процессы нового поколения:				
13. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.	0	9	5, 6	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Ионно-проекционная литография.				
14. Ионно-проекционная литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM-литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Millipen lithography). Квантовая (двухфотонная) литография.	0	9	11, 12, 9	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Влажное травление кремния.				

15. Влажное травление кремния. Параметры травления и их зависимость от внешних факторов. Изотропное травление. Составы для травления кремния, проводящих и диэлектрических пленок. Химическая кинетика изотропного травления. Кривые изотропного травления. Преимущества и недостатки изотропного травления. Использование влажного травления для очистки кремниевых пластин.	0	8	16, 18	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Анизотропное травление кремния.				
16. Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя. Стоп-травление. Примеры использования анизотропного травления при соз-дании микросистем.	0	8	7, 8, 9	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Технологии сухого травления.				
17. Технологии сухого травления. Виды сухого травления: газо-фазное, плазменное, реактивное ионное, распыление. Газо-фазное изотропное травление в XeF_2 . Плазменное травление. Способы создания плазмы. Разновидности систем и оборудование плазменного травления. Газы, используемые в плазменном травлении. Физические и химические явления в газовых разрядах. Зависимость скорости травления и селективности от состава газовой среды. Создание пассивирующих полимерных пленок. Травление пленок полиимида.	0	5	12, 8	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Реактивное ионное травление (RIE) и глубокое реактивное ионное травление (DRIE).				

18. Реактивное ионное травление (RIE) и глубокое реактивное ионное травление (DRIE). Оборудование RIE и DRIE - технологий. Высокочастотная диодная система для RIE. Механизмы анизотропии RIE. Преимущества и недостатки RIE и DRIE. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия. Примеры микромеханических систем полученных по DRIE - технологии.	0	5	15, 16	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Аддитивные технологии нанесения тонких пленок.				
19. Аддитивные технологии нанесения тонких пленок. Термическое вакуумное испарение. Технология напыления. Сравнение технологии испарения и напыления. Лазерное напыление. Ионное кластерное напыление. Ионное напыление.	0	5	13, 14	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: CVD-процессы.				
20. CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности по-крытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD.	0	5	10, 12, 14	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Плазмохимическое осаждение пленок диоксида кремния, нитрида кремния и поликристаллического кремния.				
21. Плазмохимическое осаждение пленок диоксида кремния, нитрида кремния и поликристаллического кремния. Оборудование плазмохимического осаждения. Параметры плазмо-химического осаждения и структура пленок	0	5	12, 15, 17	самостоятельное изучение
Дидактическая единица: Электрохимическое осаждение металлических пленок.				
22. Электрохимическое осаждение металлических пленок. Тер-модинамика электрохимического осаждения. Кинетический активационный и диффузионный контроль электрохимических реакций. Нелинейные диффузионные эффекты. Заключительная лекция.	0	5	15, 16	самостоятельное изучение

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Подготовка к аттестации	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	32	23
: Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161				
2	Самостоятельное изучение теоретического материала	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	159	0
Студент изучает темы, приведенные в таблице 3.1 : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161				

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	e-mail; Личный типовой сайт; Портал НГТУ; Чат
Консультирование	Личный типовой сайт; Портал НГТУ; Чат
Контроль	e-mail; Личный типовой сайт; Социальные сети; Чат
Размещение учебных материалов	e-mail; Личный типовой сайт; Портал НГТУ; Социальные сети; Чат; ЭБС

6. Литература

Основная литература

1. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. (В 3 т.). Т. 1 / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электрон. техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. С. Саурова. - М., 2010. - 862 с. : ил., табл.
2. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. (В 3 т.). Т. 2 / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электрон. техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. С. Саурова. - М., 2010. - 1039 с. : ил., табл.
3. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. (В 3 т.). Т. 3 / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электрон. техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. С. Саурова. - М., 2010. - 831 с. : ил.
4. Maluf N. An introduction to microelectromechanical systems engineering / Nadim Maluf, Kirt Williams. - Boston, 2004. - xx, 283 p. : ill.. - Пер. загл.: Внедрение микроэлектромеханических систем.
5. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон ; пер. с англ. В. В. Лучинина. - М., 2007. - 380 с. : ил.

6. Пул Ч. Нанотехнологии : учебное пособие по направлению подготовки "Нанотехнологии" / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина ; доп. В. В. Лучинина. - М., 2006. - 334 с. : ил.
7. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств / А. Медведев. - М., 2007. - 255 с. : ил., табл.
8. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов по специальностям 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 202100 "Нанотехнология в электрике" / Т. И. Данилина и др. ; Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. - Томск, 2005. - 314, 1] с.

Дополнительная литература

1. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 1 : Учебное пособие для вузов / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 415 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2004/04_gridchin.pdf
2. Технология СБИС. В 2 кн.. Кн. 1 / Пирс К. [и др.] ; под ред. С. Зи ; пер. с англ. В. М. Звероловлева [и др.]. - М., 1986. - 404 с. : ил., табл.
3. Технология СБИС. В 2 кн.. Кн. 2 / Пирс К., Адамс А., Кац Л. и др. ; под ред. Чистякова Ю. Д. - М., 1986. - 453 с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

7. Методическое и программное обеспечение

7.1 Методическое обеспечение

1. Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы, табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161

7.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Office
- 2 Microsoft Windows

8. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Аппаратно- программный комплекс Nicolet 6700	Используется для лабораторных исследований
2	Установка МЛЭ "АНГАРА"	Используется для лабораторных исследований
3	Лабораторный комплекс Катунь-100	Используется для лабораторных исследований

4	МИКРОСКОП МИИ-4	Используется для лабораторных исследований
5	Пирометр С-20,3-18...+1250С(1500С)	Используется для лабораторных исследований

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

Кафедра общей физики
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники
Кафедра электронных приборов

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

МОДУЛЯ "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины

Компоненты микросистемной техники

Образовательная программа: 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, профиль: Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины «Компоненты микросистемной техники» 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.1.В готовность проектировать различные типы полупроводниковых приборов и компонент микросистемной техники	31. знать принципы работы основных типов полупроводниковых приборов и компонент МСТ (микросистемной техники)	Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности. Элементы и компоненты микросистемной техники. Сенсоры и актюаторы. Примеры. Классификация сенсоров. Куб сенсоров. Сенсоры механических величин. Сенсоры на тензорезистивном эффекте. Металлические тензорезисторы. Принцип действия, основные характеристики, типичные конструкции. Применение. Тензорезистивный эффект в "n" и "p" кремнии. Деформационные и нагрузочные характеристики. Феноменологическое описание тензорезистивного эффекта. Нелинейность тензорезистивного эффекта. Матрица пьезосопротивления для кремния. Температурная и концентрационная зависимости пьезосопротивления. Проектирование интегральных сенсоров давления на тензорезистивном эффекте. Проектирование упругих элементов. Распределение деформации и напряжений в квадратной и круглой защемленных диафрагмах. Проектирование топологии тензорезистивных сенсоров давления. Пример: топология сенсора давления с квадратной диафрагмой и тензорезисторами n и p типов. Электрические схемы тензорезистивных сенсоров		Зачет, вопросы 1 – 30.

		давления. Потенциометрическая схема и мост Уитстона. Метрологические характеристики сенсоров давления - чувствительность, начальный разбаланс, нелинейность, гистерезис Сенсоры на емкостном эффекте. Преобразовательная характеристика емкостного сенсора давления с круглой диафрагмой. Особенности конструкции емкостных сенсоров давления. Пример реализации сенсора с использованием ЛОКОС-технологии. Акселерометры. Структура микроэлектронных акселерометров. Основные уравнения и характеристики. Конструкция тензорезистивных и емкостных акселерометров. Акселерометр ADXL-50. Нетрадиционные направления построения тензорезистивных сенсоров давления. Сенсоры на сдвиговом эффекте. Основные уравнения, описывающие работу сенсоров. Особенности топологии. Пример технической реализации - сенсоры МХ фирмы Моторола. Тензорезистивные сенсоры с диэлектрической изоляцией. Пьезоэлектрические пленки и их применение в сенсорах и актюаторах. Математическое описание пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрические материалы. Конструкции сенсоров давления. Пьезоэлектрические актюаторы. Сенсоры термического сигнала. Температура, температурные шкалы. Теплопроводность, конвекция, излучение. Термочувствительные элементы. Резисторы, термопары. Примеры реализации сенсоров: вакуумметры, сенсоры ИК-излучения. Электронные термометры. Диоды и транзисторы как элементы электронного термометра. РТАТ- термометры. Термические сенсоры влажности. Магнитные сенсоры. Области применения магнитных сенсоров. Эффект Холла, эффект магнитосопротивления. Особенности проектирования		
--	--	---	--	--

		сенсоров магнитного поля. Материалы для холловских сенсоров. Типичные конструкции сенсоров, характеристики. Магнитные сенсоры на эффекте магнитосопротивления (эффект Гаусса). Магнитотранзисторы. Типичные топологические решения. Особенности характеристик. Сенсоры излучения. Шкала электромагнитных волн и классификация сенсоров излучения. Сенсоры оптического и ИК излучения. Физические принципы работы, основные характеристики, особенности конструкции. Сенсоры (детекторы) радиоактивного излучения. Физические причины радиоактивного излучения		
ПК.2.В готовностью к применению статистических методов в радиолокационных и радионавигационных системах	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	Актюаторы с электростатическим и термическим принципами управления. Особенности электростатического управления. Микрозеркала с электростатическим принципом управления. DMD - дисплей: принцип работы и технология изготовления. Развитие элементной базы микросистемной техники. Оптические ключи. Микроклапаны. Микронасосы. Биморфные структуры - как пример актюатора с термическим принципом управления. Стандартная архитектура измерительных систем. Эволюция твердотельной электроники. Организация и электроника микросистем. Заключительная лекция. Тенденции развития микросистемной техники. Тенденция развития рынка микросистем. Сенсоры механических величин. Сенсоры на тензорезистивном эффекте. Металлические тензорезисторы. Принцип действия, основные характеристики, типичные конструкции. Применение. Тензорезистивный эффект в "n" и "p" кремнии. Деформационные и нагрузочные характеристики. Феноменологическое описание тензорезистивного эффекта. Нелинейность тензорезистивного эффекта. Матрица пьезосопротивления		Зачет, вопросы 1 – 30.

		для кремния. Температурная и концентрационная зависимости пьезосопротивления. Проектирование интегральных сенсоров давления на тензорезистивном эффекте. Проектирование упругих элементов. Распределение деформации и напряжений в квадратной и круглой заземленных диафрагмах. Проектирование топологии тензорезистивных сенсоров давления. Пример: топология сенсора давления с квадратной диафрагмой и тензорезисторами п и р типов. Электрические схемы тензорезистивных сенсоров давления. Потенциометрическая схема и мост Уитстона. Метрологические характеристики сенсоров давления - чувствительность, начальный разбаланс, нелинейность, гистерезис Сенсоры термического сигнала. Температура, температурные шкалы. Теплопроводность, конвекция, излучение. Термочувствительные элементы. Резисторы, термопары. Примеры реализации сенсоров: вакуумметры, сенсоры ИК-излучения. Электронные термометры. Диоды и транзисторы как элементы электронного термометра. РТАТ- термометры. Термические сенсоры влажности. Магнитные сенсоры. Области применения магнитных сенсоров. Эффект Холла, эффект магнитосопротивления. Особенности проектирования сенсоров магнитного поля. Материалы для холловских сенсоров. Типичные конструкции сенсоров, характеристики. Магнитные сенсоры на эффекте магнитосопротивления (эффект Гаусса). Магнитотранзисторы. Типичные топологические решения. Особенности характеристик. Сенсоры излучения. Шкала электромагнитных волн и классификация сенсоров излучения. Сенсоры оптического и ИК излучения. Физические принципы		
--	--	---	--	--

		работы, основные характеристики, особенности конструкции. Сенсоры (детекторы) радиоактивного излучения. Физические причины радиоактивного излучения		
--	--	---	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

Промежуточная аттестация по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины проводится в 4 семестре - в форме зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1.В, ПК.2.В.

Форма проведения зачета приведена в паспорте зачёта, приложенном к рабочей программе.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1.В, ПК.2.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.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра общей физики
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники
Кафедра электронных приборов

Паспорт зачета

по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины «Компоненты микросистемной техники», 4 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной (письменной) форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1 – 13, второй вопрос из диапазона вопросов 14 – 30 (список вопросов приведен ниже). 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 «Компоненты микросистемной техники»

1. Тензор пьезосопротивления. Матричные обозначения. Особенности структуры тензоров в п-и р-кремнии.
2. Магниторезистивные сенсоры.
3. По техническому заданию требуется разработать ёмкостный сенсор давления с круглой мембраной, чувствительностью не менее 0,9 пФ/Па для давления 150 Па. Оцените минимальный радиус сенсора, чтобы при толщине мембраны $h = 30$ мкм и зазора $d = 2$ мкм обеспечивались нужные по техническому заданию параметры.

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

«23» июня 2017 г.

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачёта 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 зачёта засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-

следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет **50 – 66 баллов**.

- Ответ на билет для зачёта засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет **67 – 86 баллов**.
- Ответ на билет для зачёта засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, 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, сдать и защитить курсовую работу не менее, чем на 10 баллов, а также написать контрольную работу не менее, чем на 6 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 экзамена 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 9,6 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 итоговый 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 итоговых баллов.

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

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

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

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

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Компоненты микросистемной техники»

1. Тензор механических напряжений. Матричные обозначения. Правило преобразования компонент.
2. Тензор деформаций. Матричные обозначения. Правило преобразования компонент.

3. Закон Гука. Тензор упругих постоянных. Матричные обозначения.
4. Тензор пьезосопротивления. Матричные обозначения. Особенности структуры тензоров в п-и р-кремнии.
5. Распределение напряжений и деформации в кремниевом упругом элементе (жесткое защемление).
6. Угловая зависимость продольного пьезосопротивления в плоскости (100).
7. Феноменологическое описание тензорезистивного эффекта в кремнии.
8. Определение рационального размещения тензорезисторов на упругом элементе сенсора.
9. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрический конденсатор.
10. Тензор пьезоэлектрических модулей. Матричные обозначения. Угловая зависимость модуля d_{111} .
11. Математическое описание работы акселерометра.
12. Эффект Холла. Преобразовательная характеристика Холловского сенсора для слабых полей.
13. Эффект магнетосопротивления. Физические причины эффекта.
14. Классификация сенсоров.
15. Металлические тензорезисторы. Характеристики, конструкция, материалы.
16. Метрологические характеристики сенсоров давления.
17. Сенсоры на основе ёмкостного эффекта. Классификация. Уровнемеры. Датчики сплошности.
18. Преобразовательная характеристика ёмкостного сенсора давления.
19. Конструктивная реализация ёмкостного сенсора по LOCOS-технологии.
20. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических сенсоров. Коэффициент электромеханической связи. Материалы.
21. Акселерометры, области применения. Общая структура акселерометра.
22. Конструкция и технология тензорезистивного акселерометра.
23. Ёмкостные акселерометры. Принцип работы и устройство акселерометра с обратной связью.
24. Термические сенсоры. Классификация. Температурные шкалы. Физический смысл температуры.
25. Терморезисторы и термисторы (характеристики, устройство, материалы).
26. Термопары. Физический принцип работы термопар.
27. Транзистор, как температурный сенсор.
28. Магнитные сенсоры. Сенсоры измерения магнитных величин. Классификация магнитных сенсоров.
29. Конструкция магниторезисторов.
30. Метрологические характеристики Холловских сенсоров и магниторезисторов.

Задачи к зачёту по дисциплине «Компоненты микросистемной техники»

1. По техническому заданию требуется разработать ёмкостный сенсор давления с круглой мембраной, чувствительностью не менее 0,9 пФ/Па для давления 150 Па. Оцените минимальный радиус сенсора, чтобы при толщине мембраны $h = 30$ мкм и зазора $d = 2$ мкм обеспечивались нужные по техническому заданию параметры.
2. На прямоугольный кремниевый столбик размерами $1 \times 1 \times 10$ мм и ориентацией сторон вдоль направления $[100]$ действует сжимающая сила 10 кГ. Найдите компоненты тензора деформации и механических напряжений в системе координат образца.
3. Прямоугольная кремниевая пластина $2 \times 6 \times 0.5$ мм и удельным сопротивлением 20 Ом·см находится в однородном магнитном поле 0.1 Тл. Оцените Холловскую ЭДС и

магнитную чувствительность этой пластины.

4. К прямоугольной пластинке пьезокварца размерами $15 \times 10 \times 5$ мм приложено давление 150 Па, перпендикулярно к её наибольшей грани. Оцените электрическую ёмкость и выходной сигнал полученного сенсора давления, если компонента тензора пьезоэлектрических модулей $d_{11} = -2.3 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н.
5. Оцените выходной сигнал, чувствительность и погрешность тензорезистивного моста Уитстона, состоящего из четырёх планарных кремниевых тензорезисторов сопротивлением $1 \text{ кОм} \pm 1\%$, если коэффициент тензочувствительности равен 100, деформация не превышает 10^{-3} , а напряжение питания составляет 5 В.
6. Вычислить компоненты тензора пьезосопротивления в матричных индексах для системы кристаллографических осей, повёрнутой относительно оси z на угол $+45^\circ$. Изначально тензор записан в главных кристаллографических осях.

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. Хрусталев
“ ” _____ Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

МОДУЛЯ "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины

Специальные главы направления

Образовательная программа: 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, профиль:
Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины Специальные главы направления 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.1.В готовность проектировать различные типы полупроводниковых приборов и компонент микросистемной техники	31. знать принципы работы основных типов полупроводниковых приборов и компонент МСТ (микросистемной техники)	Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси. Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с р-п переходом. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике. Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники. Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники. Основы статистической	нет	Зачет, вопросы с 1 по 45

		физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация. Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными p-n переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора. Электронно-дырочный (p-n) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Токи носителей заряда в p-n переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в p-n переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой p-n перехода: тепловой, лавинный, туннельный. Электронно-дырочный (p-n) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.		
--	--	--	--	--

		Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Токи носителей заряда в р-п переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный. Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона		
ПК.1.В	у1. Уметь пользоваться классической теорией полупроводниковых приборов	Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- р-п перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона	нет	Зачет, вопросы с 46 по 91

		проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси. Излучение полупроводников. Прямые и не прямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо-, фотолюминесценция. Спектры излучения. Квантовый выход. Вывод излучения из полупроводников. Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с р-п переходом. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике. Лазерный эффект в полупроводниках. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники. Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Основы		
--	--	---	--	--

		статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация. Термоэлектрические явления. Термо- и гальвано-магнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными р-п переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Электронно-дырочный (р-п) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Токи носителей заряда в р-п переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства.		
--	--	--	--	--

		Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный. Электронно-дырочный (р-п) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Токи носителей заряда в р-п переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный. Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона		
--	--	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

Промежуточная аттестация по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины проводится в 4 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1.В.

В билете два вопроса. На подготовку ответа аспиранту отводится 60 минут. Ответ производится у доски в устно (письменной) форме.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.1.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.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра общей физики
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники
Кафедра электронных приборов

Паспорт зачета

по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины «Специальные главы направления», 3 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1 – 45, второй вопрос из диапазона вопросов 46 – 91 (список вопросов приведен ниже). 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 «Специальные главы направления»

1. Зонная теория твердого тела.
2. Транзисторный эффект.

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

«23» 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 **0 – 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 допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, 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 характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, 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

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

Оценка «**неудовлетворительно**» (оценки F, FX) ставится в случае, если студент отвечает на **неудовлетворительном** уровне, и набирает по сумме ответов на все вопросы от 0 до 9,6 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 итоговый 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 итоговых баллов.

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

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее **10** итоговых 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 «Специальные главы направления»

1. Зонная теория твердого тела.
2. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках.
3. Зона проводимости и валентная зона.
4. Электроны и дырки.
5. Эффективная масса электрона.
6. Экситоны.
7. Собственные и примесные полупроводники.
8. Донорные и акцепторные примеси.
9. Контакт металл-полупроводник.
10. Теория Шоттки.
11. Вольт-амперная характеристика.
12. Омический контакт. Сопоставление с р-п переходом.
13. Структура металл-диэлектрик-полупроводник.

14. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения.
15. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.
16. Общие свойства полупроводников.
17. Природа химической связи.
18. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы.
19. Дефекты в кристаллах.
20. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др.
21. Поликристаллические и аморфные полупроводники.
22. Общие свойства полупроводников.
23. Природа химической связи.
24. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах.
25. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др.
26. Поликристаллические и аморфные полупроводники.
27. Основы статистической физики.
28. Функция распределения Ферми-Дирака.
29. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости.
30. Распределение Максвелла-Больцмана.
31. Критерий вырождения электронного газа.
32. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Основы статистической физики.
33. Функция распределения Ферми-Дирака.
34. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости.
35. Распределение Максвелла-Больцмана.
36. Критерий вырождения электронного газа.
37. Вырожденные и невырожденные полупроводники.
38. Рекомбинация носителей заряда.
39. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примеси и дефекты.
40. Теория рекомбинации Шокли-Рида.
41. Диффузионная длина и время жизни носителей.
42. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примеси и дефекты.
43. Теория рекомбинации Шокли-Рида.
44. Диффузионная длина и время жизни носителей.
45. Поверхностная рекомбинация.
46. Транзисторный эффект.
47. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными p-n переходами.
48. Коэффициент инжекции.
49. Коэффициент переноса носителей через базу.
50. Коэффициент усиления транзистора.
51. Электронно-дырочный (p-n) переход.
52. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.
53. Вольт-амперная характеристика p-n перехода.
54. Токи носителей заряда в p-n переходе, квазиуровни Ферми.
55. Генерация и рекомбинация носителей в p-n переходе.
56. Барьерная и диффузионная емкость.
57. Частотные и импульсные свойства.
58. Пробой p-n перехода: тепловой, лавинный, туннельный.
59. Электронно-дырочный (p-n) переход.
60. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.
61. Вольт-амперная характеристика p-n перехода.

62. Токи носителей заряда в р-п переходе, квазиуровни Ферми.
63. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе.
64. Барьерная и диффузионная емкость.
65. Частотные и импульсные свойства.
66. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный.
67. Электропроводность полупроводников.
68. Носители заряда в слабом электрическом поле.
69. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами.
70. Подвижность электронов и дырок.
71. Условие электронейтральности.
72. Диффузия и дрейф носителей заряда.
73. Соотношение Эйнштейна.
74. Носители заряда в сильном электрическом поле.
75. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках.
76. Электрические домены и токовые шнуры.
77. Эффект Ганна.
78. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках.
79. Уравнение непрерывности.
80. Уравнение Пуассона
81. Электропроводность полупроводников.
82. Носители заряда в слабом электрическом поле.
83. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами.
84. Подвижность электронов и дырок.
85. Условие электронейтральности.
86. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках.
87. Уравнение непрерывности.
88. Уравнение Пуассона Гетероструктуры.
89. Зонная диаграмма гетеро- р-п перехода.
90. Коэффициент инжекции. Суперинжекция.
91. Одинарные и двойные гетероструктуры.

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

МОДУЛЯ

**Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах (модуль)
в составе дисциплин:**

Специальные главы направления

Компоненты микросистемной техники

**Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники;
Технология приборов микросистемной техники**

Образовательная программа: 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, профиль:
Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств модуля

Обобщенная структура фонда оценочных средств по модулю Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)

в составе дисциплин:

Специальные главы направления

Компоненты микросистемной техники

Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники; Технология приборов микросистемной техники

приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Дисциплины
ПК.1.В готовность проектировать различные типы полупроводниковых приборов и компонент микросистемной техники	з1. знать принципы работы основных типов полупроводниковых приборов и компонент МСТ (микросистемной техники)	Дисциплина:"Специальные главы направления
ПК.1.В	з1. знать принципы работы основных типов полупроводниковых приборов и компонент МСТ (микросистемной техники)	Дисциплина:"Компоненты микросистемной техники
ПК.1.В	у1. Уметь пользоваться классической теорией полупроводниковых приборов	Дисциплина:"Специальные главы направления
ПК.2.В готовностью к применению статистических методов в радиолокационных и радионавигационных системах	з1. знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники	Дисциплина:"Технологические процессы микроэлектроники
ПК.2.В	з1. знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники	Дисциплина:"Технология приборов микросистемной техники
ПК.2.В	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	Дисциплина:"Технология приборов микросистемной техники
ПК.2.В	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	Дисциплина:"Компоненты микросистемной техники

ПК.2.В	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	Дисциплина: "Технологические процессы микроэлектроники"
--------	--	---

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках модуля.

Промежуточная аттестация по **модулю** проводится в 3 семестре - в форме зачета, в 4 семестре - в форме зачета, в 5 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1.В, ПК.2.В.

Зачет в 3 семестре проводится в письменной форме, с последующим устным собеседованием по вопросам билета и дополнительным вопросам. В билете 2 вопроса. Вопросы приведены в паспорте зачета, позволяющие оценить показатели сформированности соответствующих компетенций. Время подготовки ответов на вопросы 60 минут. Ответ проходит у доски. Преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы.

Зачет в 4 семестре проводится в письменной форме, с последующим устным собеседованием по вопросам билета и дополнительным вопросам. На подготовку аспиранту отводится 60 минут. В билете 2 вопроса. Вопросы приведены в паспорте зачета, позволяющие оценить показатели сформированности соответствующих компетенций. Ответ проходит у доски. Преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы.

Экзамен в 5 семестре проводится в письменной форме с последующим устным собеседованием по вопросам билета и дополнительным вопросам. Билет содержит три вопроса по содержанию образовательной программы и самостоятельной работы аспиранта. Вопросы для подготовки приведены в паспорте к экзамену. Время подготовки ответов на вопросы 60 минут.

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

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1.В, ПК.2.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 дисциплин освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой модуля учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

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

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание дисциплин освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой модуля 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

дисциплин освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой модуля учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

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. Хрусталев
“ ” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

МОДУЛЯ "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины

Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники
Образовательная программа: 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, профиль:
Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники 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.2.В готовностью к применению статистических методов в радиолокационных и радионавигационных системах	31. знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники	Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ). Оборудование РИТ и ГРИТ - технологий. Высокочастотная диодная система для РИТ. Механизмы анизотропии РИТ. Преимущества и недостатки РИТ и ГРИТ. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия. Микромеханические системы, полученные по ГРИТ - технологии. CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя. Стоп-травление. Использование анизотропного травления при создании микросистем. Зольгель метод осаждения пленок. Технология электрохимического осаждения пленок. Технология микро-прессования. LIGA- процесс. Ионно-проеекционная	Контроль самостоятельной работы во время контакта с аспирантом	Экзамен, вопросы №1- №12

		литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM - литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Millipede lithography). Квантовая (двухфотонная) литография. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в твердотельной электронике и микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники. Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с гигантским магнитосопротивлением		
ПК.2.В	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости	Контроль самостоятельной работы во время контакта с аспирантом	Экзамен, вопросы №13- №24

		травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя. Стоп-травление. Использование анизотропного травления при создании микросистем. Золь-гель метод осаждения пленок. Технология электрохимического осаждения пленок. Технология микро-прессования. LIGA- процесс. Литографические процессы нового поколения: экс-тремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в твердотельной электронике и микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники.		
--	--	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

Промежуточная аттестация по модулю **"Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины** проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2.В.

Экзамен проводится в письменной форме с последующим устным собеседованием по вопросам билета и дополнительным вопросам. Билет содержит три вопроса по содержанию технологической части образовательной программы и самостоятельной работы аспиранта. Вопросы для подготовки приведены в паспорте к экзамену. Время подготовки ответов на вопросы 60 минут.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе модуля **"Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.**

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.2.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.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины «Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной и устной форме в виде собеседования, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов №1 - №8, второй вопрос из диапазона вопросов №8 - №16, третий вопрос из диапазона вопросов №16 - №24. (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники»

1. Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
2. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.
3. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств.

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

(дата)

1. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если аспирант при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0-19 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если аспирант при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *20-29 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если аспирант при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при ответах на вопросы, оценка составляет *30-35 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если аспирант 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 технологического метода изготовления прибора, оценка составляет *36-40 баллов*.

2. Шкала оценки

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

3. Вопросы к экзамену по дисциплине «Дисциплина по выбору аспиранта: Технологические процессы микроэлектроники»

1. Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
2. Оборудование РИТ и ГРИТ - технологий. Высоочастотная диодная система для РИТ. Механизмы анизотропии РИТ. Преимущества и недостатки РИТ и ГРИТ.
3. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия.
4. Микромеханические системы, полученные по ГРИТ - технологии.
5. CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD.
6. Изотропное травление кремния. Химическая кинетика травления кремния. Полирующие и селективные травители. Травление диоксида кремния.
7. Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя.
8. Анизотропное стоп-травление. Использование анизотропного травления при создании микросистем.
9. Золь-гель метод осаждения пленок.
10. Технология электрохимического осаждения пленок.
11. Технология микро-прессования. LIGA- процесс.
12. Ионно-проекционная литография.
13. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография.
14. Микрозондовая AFM -литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Millipede lithography). Квантовая (двухфотонная) литография.
15. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты.
16. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов.
17. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.
18. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств.

19. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в твердотельной электронике и микросистемной технике.
20. Кремний - основной материал микроэлектроники и микросистемной техники.
21. Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек.
22. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве.
23. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ.
24. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с гигантским магнитосопротивлением

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники 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.2.В готовностью к применению статистических методов в радиолокационных и радионавигационных системах	31. знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники	CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD. Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя. Стоп-травление. Примеры использования анизотропного травления при создании микросистем. Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности микросистемной техники. Элементы и компоненты микросистемной техники. МЭМС, НЭМС, МЭОМС, НЭОМС, сенсоры и актюаторы: области применения и тенденции развития. Классификация сенсоров. Физико-химические принципы действия сенсорных систем. Примеры. Ионная имплантация примесей в полупроводники. Оборудование для проведения процесса ионной имплантации. Преимущества и недостатки ионной	Контроль самостоятельной работы во время контакта с аспирантом	Экзамен, вопросы №1- №12

		имплантации. Расчет распределения внедренных ионов. Параметры, характеризующие распределение внедренных ионов: проецированная длина пробега, проецированное и боковое рассеяние. Приближение Пирсона для расчета профилей легирования. Особенности распределения Sb, As, P, В в кремнии. Ионно-проекционная литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM - литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография. Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния. Технологическое оборудование эпитаксиального роста. Выбор оптимальной технологии. Эпитаксиальные дефекты. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны. Материалы интегральной электроники. Материалы для мик-ромеханических и микроптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники. Свойства и технологические особенности кремния. Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП.		
--	--	--	--	--

		Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин. Сегрегация примесей на границе раздела SiO₂/Si. Особенности роста окисных пленок на внешних и внутренних углах ступеньки на кремниевой подложке. LOCOS-технология. Технология термического окисления глубоких и неглубоких изолирующих канавок. Методы определения толщины окисной пленки. Теория ионного торможения ЛШШ. Зависимость проецированной длины пробега, проецированного и бокового рассеяния от энергии ионов для В, Р, As, внедряемых в Si и SiO₂. Эффект каналирования. Образование радиационных дефектов. Изохронный и изотермический отжиг радиационных дефектов. Диффузия имплантированной примеси при отжиге. Быстрый лазерный отжиг. Использование ионной имплантации для геттерирования нежелательных примесей и дефектов. Термическое окисление кремния. Физико-химические свойства и структура пленок диоксида кремния. Технологические режимы и оборудование термического окисления кремния. Быстрое термическое окисление кремния. Механизм роста термического окисла. Модель Дила-Гроува роста термического окисла. Особенности окисления в сухом и влажном кислороде, и в парах воды. Технологии сухого травления. Виды сухого травления: газо-фазное, плазменное, реактивное ионное, распыление. Газо-фазное изотропное травление в XeF₂. Плазменное травление. Способы создания плазмы. Разновидности систем и оборудование плазменного травления. Газы, используемые в плазменном травлении. Физические и химические явления в газовых разрядах. Зависимость скорости травления и селективности от состава газовой среды. Создание		
--	--	---	--	--

		пассивирующих полимерных пленок. Травление пленок полиимида. Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев. Газо-фазная и жидко-фазная эпитаксия. Выращивание эпитаксиальных слоев кремния из газовой фазы. Процессы в приграничном слое кремниевой пластины в реакто-ре. Химическая кинетика роста эпитаксиальных пленок кремния Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с ги-гантским магнитосопротивлением Фотолитография. Позитивные и негативные фоторезисты. Технологический процесс фотолитографии. Взрывная фото-литография. Фотолитографические системы: контактная, с микроззором, проекционная и их разрешающая способность. Пути улучшения разрешающей способности и качества передачи изображения. Источники излучения используемые в фотолитографических системах. Иммерсионная фото-литография. Элементная база микросистемных устройств: биполярные и МОП-транзисторы. Пассивные интегральные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивности. Примеры технологической реализации. Расчет и конструирование интегральных диффузионных и имплантированных резисторов Расчет и конструирование микроэлектронных конденсаторов и индуктивностей.		
--	--	---	--	--

ПК.2.В	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD. Аддитивные технологии нанесения тонких пленок. Термическое вакуумное испарение. Технология напыления. Сравнение технологии испарения и напыления. Лазерное напыление. Ионное кластерное напыление. Ионное напыление. Влажное травление кремния. Параметры травления и их зависимость от внешних факторов. Изотропное травление. Составы для травления кремния, проводящих и диэлектрических пленок. Химическая кинетика изотропного травления. Кривые изотропного травления. Преимущества и недостатки изотропного травления. Использование влажного травления для очистки кремниевых пластин. Ионно-проекционная литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM - литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография. Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния. Технологическое оборудование эпитаксиального роста. Выбор оптимальной технологии. Эпитаксиальные дефекты. Плазмохимическое осаждение пленок диоксида кремния, нитрида кремния и поликристаллического кремния. Оборудование плазмохимического осаждения. Параметры плазмо-химического осаждения и структура пленок Реактивное ионное травление (RIE) и глубокое реактивное	Контроль самостоятельной работы во время контакта с аспирантом	Экзамен, вопросы №13- №24
--------	--	--	--	---------------------------

		ионное травление (DRIE). Оборудование RIE и DRIE - технологий. Высокочастотная диодная система для RIE. Механизмы анизотропии RIE. Преимущества и недостатки RIE и DRIE. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия. Примеры микромеханических систем полученных по DRIE - технологии. Сегрегация примесей на границе раздела SiO₂/Si. Особенности роста окисных пленок на внешних и внутренних углах ступеньки на кремниевой подложке. LOCOS-технология. Технология термического окисления глубоких и неглубоких изолирующих канавок. Методы определения толщины окис-ной пленки. Термическое окисление кремния. Физико-химические свойства и структура пленок диоксида кремния. Технологиче-ские режимы и оборудование термического окисления крем-ния. Быстрое термическое окисление кремния. Механизм роста термического окисла. Модель Дила-Гроува роста тер-мического окисла. Особенности окисления в сухом и влаж-ном кислороде, и в парах воды. Технологии сухого травления. Виды сухого травления: газо-фазное, плазменное, реактивное ионное, распыление. Газо-фазное изотропное травление в XeF₂. Плазменное травление. Способы создания плазмы. Разновидности систем и оборудование плазменного травления. Газы, используемые в плазменном травлении. Физические и химические явления в газовых разрядах. Зависимость скорости травления и селективности от состава газовой среды. Создание пассивирующих полимерных пленок. Травление пленок полиимида. Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев. Газо-фазная и жидко-фазная эпитаксия. Выращивание эпитаксиальных слоев кремния из газовой фазы. Про-		
--	--	--	--	--

		цессы в приграничном слое кремниевой пластины в реакто-ре. Химическая кинетика роста эпитаксиальных пленок кремния Электрохимическое осаждение металлических пленок. Тер-модинамика электрохимического осаждения. Кинетический активационный и диффузионный контроль электрохимических реакций. Нелинейные диффузионные эффекты. Заключительная лекция.		
--	--	---	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

Промежуточная аттестация по модулю **"Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины** проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2.В.

Экзамен проводится в письменной форме с последующим устным собеседованием по вопросам билета и дополнительным вопросам. Билет содержит три вопроса по содержанию технологической части образовательной программы и самостоятельной работы аспиранта. Вопросы для подготовки приведены в паспорте к экзамену. Время подготовки ответов на вопросы 60 минут.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе модуля **"Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.**

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.2.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.

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники 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.2.В готовностью к применению статистических методов в радиолокационных и радионавигационных системах	31. знать классические технологические процессы изготовления интегральных микросхем и микросистемной техники	CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD. Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя. Стоп-травление. Примеры использования анизотропного травления при создании микросистем. Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности микросистемной техники. Элементы и компоненты микросистемной техники. МЭМС, НЭМС, МЭОМС, НЭОМС, сенсоры и актюаторы: области применения и тенденции развития. Классификация сенсоров. Физико-химические принципы действия сенсорных систем. Примеры. Ионная имплантация примесей в полупроводники. Оборудование для проведения процесса ионной имплантации. Преимущества и недостатки ионной	Контроль самостоятельной работы во время контакта с аспирантом	Экзамен, вопросы №1- №12

		имплантации. Расчет распределения внедренных ионов. Параметры, характеризующие распределение внедренных ионов: проецированная длина пробега, проецированное и боковое рассеяние. Приближение Пирсона для расчета профилей легирования. Особенности распределения Sb, As, P, В в кремнии. Ионно-проекционная литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM - литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография. Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния. Технологическое оборудование эпитаксиального роста. Выбор оптимальной технологии. Эпитаксиальные дефекты. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны. Материалы интегральной электроники. Материалы для мик-ромеханических и микроптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники. Свойства и технологические особенности кремния. Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП.		
--	--	--	--	--

		Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин. Сегрегация примесей на границе раздела SiO₂/Si. Особенности роста окисных пленок на внешних и внутренних углах ступеньки на кремниевой подложке. LOCOS-технология. Технология термического окисления глубоких и неглубоких изолирующих канавок. Методы определения толщины окисной пленки. Теория ионного торможения ЛШШ. Зависимость проецированной длины пробега, проецированного и бокового рассеяния от энергии ионов для B, P, As, внедряемых в Si и SiO₂. Эффект каналирования. Образование радиационных дефектов. Изохронный и изотермический отжиг радиационных дефектов. Диффузия имплантированной примеси при отжиге. Быстрый лазерный отжиг. Использование ионной имплантации для геттерирования нежелательных примесей и дефектов. Термическое окисление кремния. Физико-химические свойства и структура пленок диоксида кремния. Технологические режимы и оборудование термического окисления кремния. Быстрое термическое окисление кремния. Механизм роста термического окисла. Модель Дила-Гроува роста термического окисла. Особенности окисления в сухом и влажном кислороде, и в парах воды. Технологии сухого травления. Виды сухого травления: газо-фазное, плазменное, реактивное ионное, распыление. Газо-фазное изотропное травление в XeF₂. Плазменное травление. Способы создания плазмы. Разновидности систем и оборудование плазменного травления. Газы, используемые в плазменном травлении. Физические и химические явления в газовых разрядах. Зависимость скорости травления и селективности от состава газовой среды. Создание		
--	--	---	--	--

		пассивирующих полимерных пленок. Травление пленок полиимида. Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев. Газо-фазная и жидко-фазная эпитаксия. Выращивание эпитаксиальных слоев кремния из газовой фазы. Процессы в приграничном слое кремниевой пластины в реакто-ре. Химическая кинетика роста эпитаксиальных пленок кремния Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с ги-гантским магнитосопротивлением Фотолитография. Позитивные и негативные фоторезисты. Технологический процесс фотолитографии. Взрывная фото-литография. Фотолитографические системы: контактная, с микроззором, проекционная и их разрешающая способность. Пути улучшения разрешающей способности и качества передачи изображения. Источники излучения используемые в фотолитографических системах. Иммерсионная фото-литография. Элементная база микросистемных устройств: биполярные и МОП-транзисторы. Пассивные интегральные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивности. Примеры технологической реализации. Расчет и конструирование интегральных диффузионных и имплантированных резисторов Расчет и конструирование микроэлектронных конденсаторов и индуктивностей.		
--	--	---	--	--

ПК.2.В	у1. уметь пользоваться численными моделями технологических процессов	CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD. Аддитивные технологии нанесения тонких пленок. Термическое вакуумное испарение. Технология напыления. Сравнение технологии испарения и напыления. Лазерное напыление. Ионное кластерное напыление. Ионное напыление. Влажное травление кремния. Параметры травления и их зависимость от внешних факторов. Изотропное травление. Составы для травления кремния, проводящих и диэлектрических пленок. Химическая кинетика изотропного травления. Кривые изотропного травления. Преимущества и недостатки изотропного травления. Использование влажного травления для очистки кремниевых пластин. Ионно-проекционная литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM - литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография. Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния. Технологическое оборудование эпитаксиального роста. Выбор оптимальной технологии. Эпитаксиальные дефекты. Плазмохимическое осаждение пленок диоксида кремния, нитрида кремния и поликристаллического кремния. Оборудование плазмохимического осаждения. Параметры плазмо-химического осаждения и структура пленок Реактивное ионное травление (RIE) и глубокое реактивное	Контроль самостоятельной работы во время контакта с аспирантом	Экзамен, вопросы №13- №24
--------	--	--	--	---------------------------

		ионное травление (DRIE). Оборудование RIE и DRIE - технологий. Высокочастотная диодная система для RIE. Механизмы анизотропии RIE. Преимущества и недостатки RIE и DRIE. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия. Примеры микромеханических систем полученных по DRIE - технологии. Сегрегация примесей на границе раздела SiO₂/Si. Особенности роста окисных пленок на внешних и внутренних углах ступеньки на кремниевой подложке. LOCOS-технология. Технология термического окисления глубоких и неглубоких изолирующих канавок. Методы определения толщины окис-ной пленки. Термическое окисление кремния. Физико-химические свойства и структура пленок диоксида кремния. Технологиче-ские режимы и оборудование термического окисления крем-ния. Быстрое термическое окисление кремния. Механизм роста термического окисла. Модель Дила-Гроува роста тер-мического окисла. Особенности окисления в сухом и влаж-ном кислороде, и в парах воды. Технологии сухого травления. Виды сухого травления: газо-фазное, плазменное, реактивное ионное, распыление. Газо-фазное изотропное травление в XeF₂. Плазменное травление. Способы создания плазмы. Разновидности систем и оборудование плазменного травления. Газы, используемые в плазменном травлении. Физические и химические явления в газовых разрядах. Зависимость скорости травления и селективности от состава газовой среды. Создание пассивирующих полимерных пленок. Травление пленок полиимида. Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев. Газо-фазная и жидко-фазная эпитаксия. Выращивание эпитаксиальных слоев кремния из газовой фазы. Про-		
--	--	--	--	--

		цессы в приграничном слое кремниевой пластины в реакто-ре. Химическая кинетика роста эпитаксиальных пленок кремния Электрохимическое осаждение металлических пленок. Тер-модинамика электрохимического осаждения. Кинетический активационный и диффузионный контроль электрохимических реакций. Нелинейные диффузионные эффекты. Заключительная лекция.		
--	--	---	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках модуля "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.

Промежуточная аттестация по модулю **"Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины** проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2.В.

Экзамен проводится в письменной форме с последующим устным собеседованием по вопросам билета и дополнительным вопросам. Билет содержит три вопроса по содержанию технологической части образовательной программы и самостоятельной работы аспиранта. Вопросы для подготовки приведены в паспорте к экзамену. Время подготовки ответов на вопросы 60 минут.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе модуля **"Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины.**

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.2.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.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины «Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной и устной форме в виде собеседования, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов №1 - №8, второй вопрос из диапазона вопросов №8 - №16, третий вопрос из диапазона вопросов №16 - №24. (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники»

1. Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
2. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.
3. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ Гайслер В.А.

(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается неудовлетворительным, если аспирант при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0-19 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на пороговом уровне, если аспирант при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-

следственные связи явлений, допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 20-29 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на базовом уровне, если аспирант при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при ответах на вопросы, оценка составляет 30-35 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на продвинутом уровне, если аспирант 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 технологического метода изготовления прибора, оценка составляет 36-40 баллов.

3. Шкала оценки

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

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники»

1. Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
2. Оборудование РИТ и ГРИТ - технологий. Высоочастотная диодная система для РИТ. Механизмы анизотропии РИТ. Преимущества и недостатки РИТ и ГРИТ.
3. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия.
4. Микромеханические системы, полученные по ГРИТ - технологии.
5. CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD.
6. Изотропное травление кремния. Химическая кинетика травления кремния. Полирующие и селективные травители. Травление диоксида кремния.
7. Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя.
8. Анизотропное стоп-травление. Использование анизотропного травления при создании микросистем.
9. Золь-гель метод осаждения пленок.
10. Технология электрохимического осаждения пленок.
11. Технология микро-прессования. LIGA- процесс.
12. Ионно-проеctionная литография.
13. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография.
14. Микрозондовая AFM -литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография.
15. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты.
16. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов.

17. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.
18. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств.
19. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в твердотельной электронике и микросистемной технике.
20. Кремний - основной материал микроэлектроники и микросистемной техники.
21. Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек.
22. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве.
23. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ.
24. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с гигантским магнитосопротивлением

Паспорт экзамена

по модулю "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах (модуль)" по материалам дисциплины «Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной и устной форме в виде собеседования, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов №1 - №8, второй вопрос из диапазона вопросов №8 - №16, третий вопрос из диапазона вопросов №16 - №24. (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники»

1. Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
2. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.
3. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ Гайслер В.А.

(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается неудовлетворительным, если аспирант при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0-19 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на пороговом уровне, если аспирант при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-

следственные связи явлений, допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 20-29 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на базовом уровне, если аспирант при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при ответах на вопросы, оценка составляет 30-35 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на продвинутом уровне, если аспирант 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 технологического метода изготовления прибора, оценка составляет 36-40 баллов.

3. Шкала оценки

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

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Дисциплина по выбору аспиранта: Технология приборов микросистемной техники»

1. Реактивное ионное травление (РИТ) и глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
2. Оборудование РИТ и ГРИТ - технологий. Высоочастотная диодная система для РИТ. Механизмы анизотропии РИТ. Преимущества и недостатки РИТ и ГРИТ.
3. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия.
4. Микромеханические системы, полученные по ГРИТ - технологии.
5. CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности покрытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD.
6. Изотропное травление кремния. Химическая кинетика травления кремния. Полирующие и селективные травители. Травление диоксида кремния.
7. Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя.
8. Анизотропное стоп-травление. Использование анизотропного травления при создании микросистем.
9. Золь-гель метод осаждения пленок.
10. Технология электрохимического осаждения пленок.
11. Технология микро-прессования. LIGA- процесс.
12. Ионно-проеctionная литография.
13. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография.
14. Микрозондовая AFM -литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография.
15. Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты.
16. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов.

17. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.
18. Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств.
19. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в твердотельной электронике и микросистемной технике.
20. Кремний - основной материал микроэлектроники и микросистемной техники.
21. Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек.
22. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве.
23. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ.
24. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с гигантским магнитосопротивлением