


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)**

Институт информатики, электроники и робототехники

Кафедра электроники и цифровых информационных технологий

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной
программы  Мустафаев Г.А.

« 30 » 05 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директора Института
 Тешев Р.Ш.

« 30 » 05 2023 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.01.ДВ.03. «МЕТОДЫ ЕМКОСТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
НАНОСТРУКТУР»**

Направление подготовки
11.03.04 –Электроника и наноэлектроника

Профиль: **Современные информационные технологии
в электронной технике**

Квалификация (степень) выпускника:
Бакалавр

Форма обучения:
Очная

Нальчик 2023

Рабочая программа дисциплины: **Методы емкостной спектроскопии наноструктур** /
сост. Гаев Д.С. – Нальчик: КБГУ, 2023 - 20с.

Рабочая программа дисциплины предназначена для студентов очной формы обучения направления подготовки по направлению подготовки 11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника, 3 семестра, 2 курса.

Рабочая программа составлена в соответствии с учетом Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки «Электроника и нанотехнология», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «19» 09 2017 г. №927 и зарегистрированного приказом Министерства юстиции Российской Федерации от 10.10.2017 №48494.

Содержание

1. Цели и задачи освоения дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.....	4
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	5
4. Содержание и структура дисциплины.....	6
4.1. Содержание разделов дисциплины.....	6
4.2. Структура дисциплины.....	8
4.3. Лекционные занятия.....	8
4.4. Практические (Семинарские) занятия.....	8
4.5. Лабораторные работы.....	9
4.6. Самостоятельное изучение разделов дисциплины.....	9
4.7. Курсовая работа.....	9
5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	9
5.1. Коллоквиум.....	10
5.2. Тесты.....	12
5.3. Задания для лабораторных занятий.....	15
5.4. Промежуточная аттестация.....	15
7. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности.....	16
8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	18
9. Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий.....	19
10. Материально-техническое обеспечение работы.....	19
Лист изменений (дополнений) в рабочей программе дисциплины (модуля).....	21

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель изучения дисциплины изучение студентами теоретических и практических основ методов емкостной спектроскопии ориентировано на исследование параметров материалов и различных структур, включая наноматериалы и наноструктуры, составляющие основу элементной базы современной интегральной, квантовой и функциональной электроники.

Задача дисциплины:

- подготовка бакалавра к освоению теоретическими знаниями методов анализа наноструктур основанных на измерении вольт-фарадных характеристик;
- подготовка бакалавра к освоению методов емкостной спектроскопии применительно к исследованию наноструктур;
- подготовка бакалавра к овладению первичными навыками измерения характеристик наноструктур методами емкостной спектроскопии и их обработке.

Цели и задачи дисциплины ориентированы на подготовку специалистов, способных решать проблемы, возникающие при производстве и эксплуатации изделий электроники и нанoeлектроники с учетом области, типов и задач профессиональной деятельности в соответствии с профессиональными стандартами:

- 40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники», который утвержден приказом Минтруда России от 03.07.2019 №480н и зарегистрирован Минюстом России 29.07.2019 №55439;
- 40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур», который утвержден приказом Минтруда России от 07.09.2015 №593н (В редакции, введенной в действие с 20.01.2019 г. приказом Минтруда России от 14.12.2018 №807н) и зарегистрирован Минюстом России 23.09.2015 г. №38983.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина « Методы емкостной спектроскопии наноструктур» включена в вариативную часть блока 1 дисциплин по выбору Б1.В.01.ДВ.03.02 учебного плана по направлению подготовки ВО 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника профиль: «Современные информационные технологии в электронной технике».

Преподавание дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин(модулей): "Математика", "Физика (общая)".

Освоение учебной дисциплины методы емкостной спектроскопии наноструктур, необходимо для последующего изучения дисциплин (модулей): «Измерение параметров и модификация свойств наноматериалов и наноструктур», «Диагностика параметров наноматериалов и наноструктур», выполнения курсовых работ, выполнение квалификационной работы и приобретения знаний, умений и навыков, которые позволят обучающемуся частично продемонстрировать следующие обобщенные трудовые функции (ОТФ):

- Разработка единичных технологических процессов и рекомендаций по устранению и предупреждению браков в производстве изделий микроэлектроники (профессиональный стандарт 40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники», код В, уровень квалификации 6).
- Разработка типовых технологических процессов и планировок рабочих мест и производственных участков на производстве изделий микроэлектроники (профессиональный стандарт 40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники», код С, уровень квалификации 6).
- Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур (профессиональный стандарт 40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур», код С, уровень квалификации 6).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО направления подготовки ВО 11.03.04 Электроника и наноэлектроника изучение дисциплины (модуля) емкостная спектроскопия наноструктур направлено на частичное формирование элементов следующих компетенций:

Категория компетенции/ тип задач	Код и наименование компетенции	Индикаторы (показатели) достижения компетенций
Исследовательская деятельность	ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК - 1.1.Способен строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков ПК - 1.2. Способен пользоваться методами компьютерного моделирования

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные положения физики процессов, происходящих в полупроводниковых структурах, которые приводят к появлению емкости на переходах металл–полупроводник, металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-структура) или p-n–переход и т.д.;
- особенности измерения и контроля параметров гетероструктур металл-диэлектрик-полупроводник методами емкостной спектроскопии;
- основные физические модели перехода металл-полупроводник, лежащие в основе прогнозирования емкости гетероперехода.

Уметь:

- - использовать возможности и особенности метода емкостной спектроскопии для характеристики наноструктур, ориентированных на создание приборов и устройств интегральной, квантовой и функциональной электроники;
- логически мыслить, оперировать с абстрактными объектами и быть корректным в употреблении математических понятий и символов для выражения количественных и качественных отношений;
- организовывать процесс самообразования во временной перспективе.

Владеть:

- практическими навыками обработки результатов емкостной спектроскопии для определения концентрации, профилей распределения электрически активной примеси, глубоких уровней и их характеристик, генерационного времени неравновесных носителей заряда, плотности поверхностных состояний и их распределения по энергиям и т.д. методом емкостной спектроскопии;
- методами теории вероятностей и математической статистики, обработки экспериментальных данных.

4. Содержание и структура дисциплины

4.1. Содержание разделов дисциплины

В таблице 1 приводится описание содержания дисциплины, структурированное по разделам, с указанием по каждому разделу формы текущего контроля: защита лабораторной работы (ЛР), коллоквиум (К), тестирование (Т).

Таблица 1. Содержание разделов дисциплины

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Форма текущего контроля
1.	Введение в дисциплину	Цели и задачи дисциплины. Роль и место методов емкостной спектроскопии в исследованиях материалов и структур микро- и нанoeлектроники.	ПК-1	Т, К, ЛР
2.	Физика поверхности и МДП-структуры	<p>Феноменологическая теория поверхности полупроводников: поверхностные состояния и их классификация; теория приповерхностной области пространственного заряда; равновесный заряд в поверхностных состояниях; дифференциальная емкость в поверхностных состояниях. Вывод базовых соотношений.</p> <p>Теория идеальной МДП-структуры (Структура и вывод соотношений для определения основных параметров)</p> <p>Равновесные характеристики реальных МДП-структур: энергетические диаграммы, напряжение плоских зон, вольт-фарадные характеристики.</p> <p>Неравновесные процессы в МДП-структурах: неравновесное обеднение, механизмы релаксации инверсного слоя.</p>	ПК-1	Т, К, ЛР
3.	Определение электро-физических параметров МДП-структур	<p>Метод определения толщины окисла, типа и уровня легирования полупроводника.</p> <p>Методики определения зависимости поверхностного потенциала полупроводника от управляющего напряжения, напряжения плоских зон и порогового напряжения, эффективного поверхностного заряда.</p> <p>Методы определения энергетического распределения поверхностных состояний: дифференциальный метод Термана, интегральный метод Берглунда, метод температурной зависимости напряжения плоских зон Грея- Брауна.</p> <p>Метод определения профиля распределения примеси в полупроводнике. Теоретические</p>	ПК-1	Т, К, ЛР

		<p>основы метода с учетом влияния перезарядки поверхностных состояний, свободных носителей заряда и нарушения локальной электронейтральности на границе обедненного слоя(Поправка Кеннеди-О'Брайена).</p> <p>Методы определения генерационно-рекомбинационных характеристик: метод Цербста, метод переключения из области слабой инверсии в сильную инверсию, метод переключения из области сильной инверсии в область обеднения.</p>		
4.	Исследование поверхностных состояний методом адмиттанса МДП-структур	<p>Адмиттанс однородной МДП-структуры: адмиттанс моноуровня поверхностных состояний, адмиттанс континуума поверхностных состояний. Туннельная модель адмиттанса при захвате носителей заряда на приграничные состояния в диэлектрике.</p> <p>Флуктационная и тунельно-флуктационная модели адмиттанса(теоретические основы методов с учетом пространственного распределения ловушек в диэлектрике).</p> <p>Методика расчета нормированной проводимости поверхностных состояний из данных по измерению адмиттанса МДП-структур. Особенности анализа кривых нормированной проводимости однородных МДП-структур.</p> <p>Одночастотные методики исследования параметров в МДП –структурах: планарно-неоднородные структуры, структуры с ловушками в окисле..</p>	ПК-1	Т, К, ЛР
5.	Квантовые свойства МДП-структур	<p>Квантовые свойства приповерхностных слоев пространственного заряда в сильных электрических полях: условия образования квазидвумерного электронного газа, плотность квантовых состояний и концентрация квазидвумерного электронного газа, энергетических спектр.</p> <p>Квантовые свойства двумерного электронного газа в сильных магнитных полях: магнитное квантование и энергетический спектр; плотность и спектр энергетических состояний.</p> <p>Квантовый эффект Холла: условия наблюдения и методы измерения, метрологическое применение.</p>	ПК-1	Т,К, ЛР
6.	Методы емкостной спектроскопии в исследовании наноструктур	<p>Методы определения энергетических и динамических характеристик гетероструктур с квантовыми точками.</p> <p>Метод абсорбционно-емкостной спектроскопии: основы, особенности практической реализации и возмож-</p>	ПК-1	Т,К, ЛР

		ности метода		
--	--	--------------	--	--

4.2. Структура дисциплины

Таблица 2. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (108 часов)

Вид работы	Трудоёмкость, часы	
	5 семестр	Всего
Общая трудоемкость (в часах)	108	108
Контактная работа (в часах):	34	34
Лекции (Л)	17	17
лабораторные	17	17
Самостоятельная работа (в часах), в том числе и контактная:	47	47
Самостоятельное изучение разделов		
Подготовка и прохождение промежуточной аттестации	27	27
Вид промежуточной аттестации	Экзамен	

4.3. Лекционные занятия

Таблица 3. Перечень лекционных занятий

№ п/п	Тема	Код контролируемой компетенции (или ее части)
1	2	
1	Цели и задачи дисциплины. Роль и место методов емкостной спектроскопии в исследованиях материалов и структур микро- и нанозлектроники.	ПК-1
2	Физика поверхности и МДП-структуры	ПК-1
3	Определение электрофизических параметров МДП-структур	ПК-1
4	Исследование поверхностных состояний методом адмиттанса МДП-структур	ПК-1
5	Квантовые свойства МДП-структур	ПК-1
6	Методы емкостной спектроскопии в исследовании наноструктур	ПК-1

4.4. Практические занятия

Таблица 4. Темы практических занятий

№ п/п	Тема	Код контролируемой компетенции (или ее части)
1	Область пространственного заряда (ОПЗ) в равновесных условиях.	ПК-1
2	Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника в	ПК-1

	равновесных условиях. Заряд в области пространственного заряда. Уравнение Пуассона для ОПЗ. Выражение для заряда в ОПЗ.	
3	Форма потенциального барьера на поверхности полупроводника. Емкость области пространственного заряда. Влияние вырождения на характеристики ОПЗ полупроводника.	ПК-1
4	Вольт-фарадные характеристики структур МДП.	ПК-1
5	Емкость МДП-структур. Экспериментальные методы измерения вольт-фарадных характеристик. Определение параметров МДП-структур на основе анализа $C-V$ -характеристик.	ПК-1
6	пределение плотности поверхностных состояний на границе раздела полупроводник – диэлектрик. Флуктуации поверхностного потенциала в МДП-структурах.	ПК-1
7	Виды флуктуаций поверхностного потенциала. Конденсаторная модель Гюетцбергера для флуктуаций поверхностного потенциала. Среднеквадратичная флуктуация потенциала, обусловленная системой случайных точечных зарядов.	ПК-1
8	Двумерные электроны. Уравнение Шредингера для электрона в ОПЗ. Плотность состояний в двумерной подзоне.	ПК-1

4.5. Лабораторные работы

Лабораторные занятия не предусмотрены рабочей программой

4.6. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Таблица 5. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№ п/п	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Код контролируемой компетенции (или ее части)
1	Методика расчета нормированной проводимости поверхностных состояний из данных по измерению адмиттанса МДП-структур. Особенности анализа кривых нормированной проводимости однородных МДП-структур.	ПК-1
2	Методики определения зависимости поверхностного потенциала полупроводника от управляющего напряжения, напряжения плоских зон и порогового напряжения, эффективного поверхностного заряда.	ПК-1
3	Методы определения генерационно-рекомбинационных характеристик: метод Цербста, метод переключения из области слабой инверсии в сильную инверсию, метод переключения из области сильной инверсии в область обеднения.	ПК-1

4.7. Курсовая работа

Курсовая работа не предусмотрена программой.

5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные материалы для текущего, рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов по дисциплине определяются учебным планом образовательной программы и действующим положением о балльно-рейтинговой системе аттестации студентов обучающихся по программам высшего образования Кабардино-Балкарского университета (Приказ № 159/О от 31 августа 2017г.). При аттестации обучающихся оценивается качество ра-

боты на занятиях (умение вести дискуссию, способность чётко формулировать свои мысли), уровень подготовки к самостоятельной деятельности, качество выполнения заданий (курсовой работы, лабораторных работ и др.). Текущий и рубежный контроль успеваемости студентов по дисциплине проводится по трем контрольным точкам. В конце 1/3 семестра 1-я контрольная точка, вторая контрольная точка- конец 2/3 семестра, а третья контрольная точка последние две недели семестра. Распределение баллов в рамках балльно-рейтинговой системы аттестации студентов приведено ниже:

Таблица 6. Распределение баллов текущего и рубежного контроля

№		Общая сумма	1-я точка	2-я точка	3 точка
1.	Текущий контроль				
	посещение занятий	10 бал- лов	3 балла	3 балла	4 балла
2.	Рубежный контроль				
	тестирование	15 бал- лов	5 баллов	5 баллов	5 баллов
	коллоквиум	45 балла	15 баллов	15 баллов	15 баллов
Итого		70 баллов	23 балла	23 балла	24 балла

5.1. Коллоквиум

В семестре проводятся 3 коллоквиума, каждый из которых оценивается в пределах от 0 до 15 баллов. Таким образом, максимальное количество баллов, которые может получить студент при условии успешной сдачи трех коллоквиумов равно 45.

На коллоквиумах контролируется формирование элементов профессиональной компетенции ПК-1. Ниже приведен примерный перечень вопросов и заданий, выносимых на коллоквиумы:

1-коллоквиум (Раздел 1,2):

1. Поверхностные электронные состояния и их классификация.
2. Теория приповерхностной области пространственного заряда полупроводника.
3. Равновесный заряд в поверхностных состояниях.
4. Дифференциальная ёмкость поверхностных состояний .
5. Теория идеальной МДП-структуры.
6. Энергетические зонные диаграммы. Напряжение плоских зон.
7. Вольт-фарадные характеристики реальных МДП-структур
8. Анализ неравновесных процессов.
9. Неравновесное обеднение полупроводника.
10. Механизмы релаксации инверсионного слоя.

1-коллоквиум (Раздел 3,4):

11. Определение типа проводимости и уровня легирования полупроводника.
12. Определение зависимости поверхностного потенциала полупроводника от управляющего напряжения.
13. Определение напряжения плоских зон и порогового напряжения.
14. Определение эффективного поверхностного заряда.
15. Определение энергетического распределения поверхностных состояний
16. Дифференциальный метод Термана.
17. Интегральный метод Берглунда.
18. Определение профиля распределения легирующей примеси в полупроводнике.

19. Метод переключения из области слабой инверсии в сильную инверсию.
20. Метод переключения из области сильной инверсии в область слабой инверсии – обеднения.
21. Исследование флуктуационных и кинетических параметров поверхностных состояний в планарно-неоднородных МДП-структурах.
22. Определение поверхностных параметров МДП-структур с учетом флуктуационных и туннельных эффектов.
23. Экспресс-методики определения поверхностных параметров.

3-коллоквиум (Раздел 5,6):

1. Квантовые свойства приповерхностных слоев пространственного заряда в сильных электрических полях
2. Условия образования квазидвумерного электронного газа
3. Квантовые свойства двумерного электронного газа в сильных магнитных полях
4. Магнитное квантование и энергетический спектр 2D-носителей в магнитном поле
5. Квантовый эффект Холла (КЭХ)
6. Условия наблюдения и методы измерений (КЭХ)
7. Метрологические применения (КЭХ)
8. Методы определения энергетических и динамических характеристик гетероструктур с квантовыми точками.
9. Метод абсорбционно-емкостной спектроскопии: основы, особенности практической реализации и возможности метода.

Методические рекомендации

При подготовке к коллоквиуму следует, прежде всего, просмотреть конспекты лекций и отметить в них имеющиеся вопросы коллоквиума. Если какие-то вопросы вынесены преподавателем на самостоятельное изучение, следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем в качестве источника. При подготовке к коллоквиуму также рекомендуется посещение консультаций для своевременного снятия возникших вопросов в процессе подготовки. Коллоквиум проводится в виде устного опроса и собеседования со студентом.

Критерии оценивания

Степень подготовленности студента на коллоквиуме оценивается по следующим критериям: - *ясность, четкость и доказательность изложения ответов на вопросы;* - *владение специальными терминами;* *системность знаний по теме коллоквиума.* Ниже приведена шкала оценивания.

Таблица 7. Критерии оценивания студента на коллоквиуме

	Оценка			
0 баллов	5-8 баллов	9-11баллов	12-13 баллов	14-15баллов
Если ответы студента по учебным материалам коллоквиума оцениваются количеством баллов менее 4, то студенту выставяется 0 баллов.	Студент не освоил обязательный минимум знаний предмета, не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах.	Студент владеет основным объемом знаний по темам коллоквиума, проявляет затруднения в самостоятельных ответах, допускает неточные формулировки, в процессе ответа допускает ошибки по суще-	владеет учебным материалом, вынесенным на коллоквиум почти в полном объеме (имеются пробелы в знаниях только в некоторых, особенно сложных вопросах); самостоятельно и отчасти при наводя-	Студент владеет в полном объеме программным материалом, вынесенным на коллоквиум, достаточно глубоко осмысливает тему (раздел), исчерпывающе отвечает на все вопросы, выделяет при этом самое существен-

		ству вопроса.	щих вопросах дает полноценные ответы на вопросы; не всегда выделяет наиболее существенное, не допускает серьезных ошибок в ответах.	ное, умеет анализировать, сравнивает, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать программный материал, четко формирует ответы.
--	--	---------------	---	--

5.2. Тесты

Тестирование по изучаемым разделам проводится 3 раза в семестр. На тестах контролируется формирование элементов профессиональных компетенций ПК-1. Ниже приведены образцы тестовых заданий:

Образцы тестовых заданий:

1. Задание {{ 535 }} 2

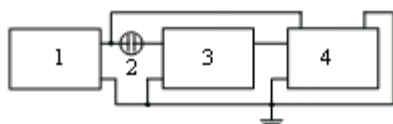
Отметьте правильный ответ

Метод высокочастотных C-V характеристик

- ☒ Период измерительного сигнала существенно меньше времени жизни неосновных носителей заряда
- ☐ Период измерительного сигнала существенно больше времени жизни неосновных носителей заряда
- ☐ Период измерительного сигнала по порядку величины равен времени жизни неосновных носителей заряда

2. Задание {{ 536 }} 3

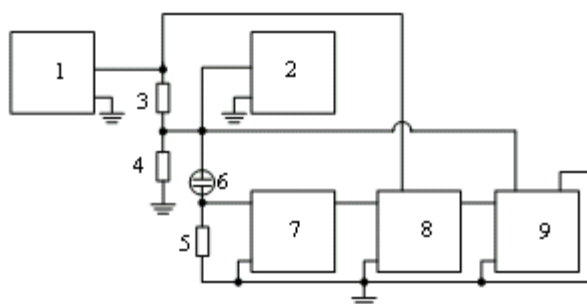
Отметьте правильный ответ



- ☒ 1- генератор пилообразного напряжения
- ☐ 1- электрометрический усилитель
- ☐ 1- двухкоординатный самописец
- ☐ 1 - образец

3. Задание {{ 537 }} 5

Отметьте правильный ответ



- ☒ 1- Генератор линейно меняющего напряжения
- ☐ 1- Генератор мало сигнального напряжения
- ☐ 1- МДП-структура

- ☐ 1- синхродетектор
- ☐ 1-двухкоординатный самописец
- ☐ 1 -усилитель

4. Задание {{ 538 }} 6

Отметьте правильный ответ

Возможности высокочастотного вольтфарадного метода

- ☒ определение типа проводимости подложки
- ☒ определение величины и знака встроенного заряда
- ☒ определение величины и профиля концентрации легирующей примеси
- ☐ определение толщины подзатворного диэлектрика

5. Задание {{ 539 }} 7

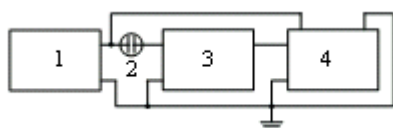
Отметьте правильный ответ

Интегральный метод C-V характеристик

- ☒ метод Берглунда
- ☐ метод Грея -Брауна
- ☐ метод Термана

6. Задание {{ 540 }} 31

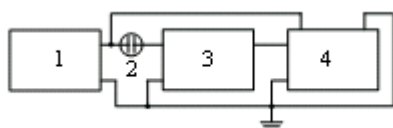
Отметьте правильный ответ



- ☐ 2- генератор пилообразного напряжения
- ☒ 2 - образец
- ☐ 2- электрометрический усилитель
- ☐ 2- двухкоординатный самописец

7. Задание {{ 541 }} 33

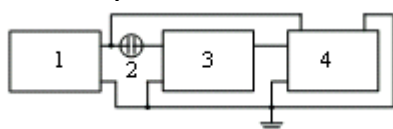
Отметьте правильный ответ



- ☐ 4- генератор пилообразного напряжения
- ☐ 4- электрометрический усилитель
- ☒ 4- двухкоординатный самописец
- ☐ 4 - образец

8. Задание {{ 542 }} 32

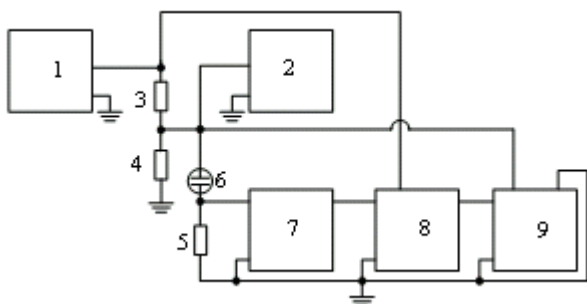
Отметьте правильный ответ



- ☐ 3- генератор пилообразного напряжения
- ☒ 3- электрометрический усилитель
- ☐ 3- двухкоординатный самописец
- ☐ 3- образец

9. Задание {{ 543 }} 51

Отметьте правильный ответ



- ☐ 2- Генератор линейно меняющего напряжения
- ☒ 2- Генератор мало сигнального напряжения
- ☐ 2- МДП-структура
- ☐ 2- синхродетектор
- ☐ 2-двухкоординатный самописец
- ☐ 2 -усилитель

Методические рекомендации

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

а) готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине. Проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

б) четко выясните все условия тестирования заранее. Знать, сколько тестов Вам будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т.д.

в) приступая к работе с тестами, внимательно и до конца прочтите вопрос и предлагаемые варианты ответов. Выберите правильные (их может быть несколько). На отдельном листке ответов выпишите цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

г) в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант.

д) если Вы встретили чрезвычайно трудный для Вас вопрос, не тратьте много времени на него. Переходите к другим тестам. Вернитесь к трудному вопросу в конце.

е) обязательно оставьте время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Критерии оценивания

Таблица 8. Критерии оценивания результатов тестирования

Оценка			
неудовлетворительно 0 баллов	удовлетворительно 3 балла	хорошо 4 балла	отлично 5 баллов
Менее 50 % правильно выполненных заданий.	50-70% правильно выполненных заданий.	71-85% правильно выполненных заданий.	86-100% правильно выполненных заданий.

5.3. Задания для лабораторных занятий

Не предусмотрено рабочей программой

5.4. Промежуточная аттестация

(Контролируемая компетенция ПК-1)

Изучение дисциплины завершается устным экзаменом. Примерный перечень основных вопросов выносимых на экзамен приведен ниже:

1. Поверхностные электронные состояния и их классификация
2. Теория приповерхностной области пространственного заряда полупроводника
3. Равновесный заряд в поверхностных состояниях.
4. Дифференциальная ёмкость поверхностных состояний
5. Теория идеальной МДП-структуры
6. Энергетические зонные диаграммы. Напряжение плоских зон
7. Вольт-фарадные характеристики реальных МДП-структур
8. Анализ неравновесных процессов
9. Неравновесное обеднение полупроводника
10. Механизмы релаксации инверсионного слоя
11. Определение типа проводимости и уровня легирования полупроводника
12. Определение зависимости поверхностного потенциала полупроводника от управляющего напряжения
13. Определение напряжения плоских зон и порогового напряжения
14. Определение эффективного поверхностного заряда
15. Определение энергетического распределения поверхностных состояний
16. Дифференциальный метод Термана
17. Интегральный метод Берглунда
18. Определение профиля распределения легирующей примеси в полупроводнике
19. Метод переключения из области слабой инверсии в сильную инверсию
20. Метод переключения из области сильной инверсии в область слабой инверсии - обеднения
21. Исследование флуктуационных и кинетических параметров поверхностных состояний в планарно-неоднородных МДП-структурах
22. Определение поверхностных параметров МДП-структур с учетом флуктуационных и туннельных эффектов
23. Экспресс-методики определения поверхностных параметров
24. Квантовые свойства приповерхностных слоев пространственного заряда в сильных электрических полях
25. Условия образования квазидвумерного электронного газа
26. Квантовые свойства двумерного электронного газа в сильных магнитных полях
27. Магнитное квантование и энергетический спектр 2D-носителей в магнитном поле
28. Квантовый эффект Холла (КЭХ)
29. Условия наблюдения и методы измерений (КЭХ)
30. Метрологические применения (КЭХ)

Методические рекомендации при подготовке к экзамену

Подготовка студентов к экзамену включает проработку лекций, в течение семестра и непосредственную подготовку в дни, предшествующие экзамену, включая, подготовку к коллоквиумам, тестированию, выполнению лабораторных работ и их защиту.

Для подготовки к ответам на экзаменационные вопросы (они выдаются в конце семестра) студент должен использовать не только курс лекций, но и основную и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы.

В ходе подготовки к экзамену студенту необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания изучаемых вопросов. Механическое запоминание числовых значений характеристик материалов не рекомендуется, но студент должен отчетливо представлять себе порядок этих величин. Непосредственная подготовка студента к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала.

Критерии оценивания

По итогам экзамена студенту, из максимального количества баллов, которое составляет 30, выставляется:

1) от 27 до 30 баллов, если владеет программным материалом по дисциплине в полном объеме; достаточно глубоко осмысливает дисциплину, исчерпывающе отвечает на все вопросы; умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, устанавливать причинно-следственные связи; четко формирует ответы;

2) от 24 до 26 баллов, если владеет программным материалом почти в полном объеме (имеются пробелы только в некоторых особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценные ответы на вопросы; не всегда выделяет наиболее существенные, не допускает вместе с тем серьезных ошибок в ответах;

3) от 15 до 23 баллов, если владеет основным объемом программного материала по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускает ошибки по существу вопросов.

В случаях, когда обучающийся не освоил обязательный минимум программного материала по дисциплине, не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах, выставляется 0 баллов. Студент, набравший 36 баллов в ходе текущего и рубежного контроля, к экзамену не допускается. Ниже приведены критерии и показатели оценивания промежуточной аттестации.

Таблица 10. Критерии и показатели оценивания промежуточной аттестации

Шкала по традиционной пятибалльной системе			
Неудовлетворительно	Базовый уровень удовлетворительно /диф. зачет	Продвинутый уровень хорошо/ диф. зачет	Высокий уровень отлично/ диф. зачет
Шкала по балльно-рейтинговой системе			
36 – 60	61 – 80	81 – 90	91 – 100

7. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Таблица 10. Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке

Результаты обучения (компетенции)	Основные показатели оценки результатов обучения
Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1)	Знать: основные положения физики процессов, происходящих в полупроводниковых структурах, которые приводят к появлению емкости на переходах металл–полупроводник, металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-структура) или p-n–переход и т.д.-ПК-1(31); основные положения физики процессов, происходящих в полупроводниковых структурах, которые приводят к появлению емкости на переходах металл–полупроводник, металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-структура) или p-n–переход и т.д. ПК-1(32);
	Уметь: использовать возможности и особенности метода емкостной спектроскопии для характеристики наноструктур, ориентированных на создание приборов и устройств интегральной, квантовой и функциональной электроники-ПК-1(У1);

	логически мыслить, оперировать с абстрактными объектами и быть корректным в употреблении математических понятий и символов для выражения количественных и качественных отношений ПК-1(У2);
	Владеть: - практическими навыками обработки результатов емкостной спектроскопии для определения концентрации, профилей распределения электрически активной примеси, глубоких уровней и их характеристик, генерационного времени неравновесных носителей заряда, плотности поверхностных состояний и их распределения по энергиям и т.д. -ПК-1(В1); стандартными программными средствами необходимыми для эффективной обработки экспериментальных данных по емкостной спектроскопии ПК-1(В2)

Таблица 11. Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Элементы компетенции		
	ПК-1(31), ПК-1(32)	ПК-1(У1), ПК-1(У2)	ПК-1(В1), ПК-1(В2)
Виды занятий	1. Лекции 2. Консультации 3. Самостоятельная работа	1. Самостоятельная работа 2. Практические занятия	1. Самостоятельная работа 2. Практические занятия
Средства оценивания	1. <i>Посещение занятий</i> (см., разд.5, Табл. 6). 2. <i>Коллоквиум</i> (см., разд.5, Табл.7) 3. <i>Тестирование</i> (см., разд.5, Табл.8) 4. <i>экзамен</i> (см., разд.5, Табл.10)	1. <i>Тестирование</i> (см., разд.5, Табл.8) 2. <i>Коллоквиум</i> (см., разд.5, Табл.7) 3. <i>Экзамен</i> (см., разд.5, Табл.10)	1. <i>Коллоквиум</i> (см., разд.5, Табл.7) 2. <i>Экзамен</i> (см., разд.5, Табл.10)

Уровень сформированности элементов компетенций в рамках изучения данной дисциплины включает четыре уровня:

- *низкий уровень*(оценка «неудовлетворительно») характеризуется либо отсутствием, либо частичной сформированностью элементов компетенций;
- *базовый уровень* (оценка «удовлетворительно») является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины, в целом элементы компетенций сформированы;
- *продвинутый уровень* (оценка «хорошо») характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;
- *высокий уровень* (оценка «отлично») характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

Ниже в таблице 13 приведены общие характеристики и критерии оценивания уровня освоения элементов компетенций закрепленными за дисциплиной.

Таблица 13. Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
«Отлично» (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости.	Умеет применять полученные знания для решения производственных и исследовательски задач в изучаемой области	Владеет технологиями в изучаемой предметной области и имеет навыки их совершенствования.
«Хорошо» (продвинутый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия и категории в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения профессиональных задач	Адаптирует свое поведение к обстоятельствам в решении задач в изучаемой области
«Удовлетворительно» (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями в изучаемой области	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения несложных задач в изучаемой области	Способен выполнять работы в изучаемой области под контролем .
«Неудовлетворительно» (Низкий уровень)	Отрывочные знания, путает основные понятия и категории в изучаемой области.	Умения не позволяют выполнить несложные задачи в изучаемой области, совершает ошибки.	Испытывает трудности при решении задач в изучаемой области даже под руководством

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Блесман, А. И. Теоретические основы методов исследования наноматериалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. И. Блесман, В. В. Даньшина, Д. А. Полонянкин. — Электрон. текстовые данные. — Омск : Омский государственный технический университет, 2017. — 78 с. — 978-5-8149-2506-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78478.html>.
2. Бормонтов Е.Н. Физика и метрология МДП-структур: Учебное пособие.-Воронеж: ВГУ, 1997-184с.
3. Павлов Л.П., Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа. 1987. 240 с.

Дополнительная литература

1. Пул, Ч. Нанотехнологии: пер. с англ.: учеб. пособие / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. - М.: Техносфера, 2004. - 327 с.
2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. [Электронный ресурс] – Томск: ТУСУР, 2010. – 115 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/535>.
3. Фомин Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Фомин Д.В.— Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2017. — 185 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57258>.— ЭБС «IPRbooks»
4. Блесман, А. И. Теоретические основы методов исследования наноматериалов : учеб. пособие / А. И. Блесман, В. В. Даньшина, Д. А. Полонянкин ; Мин- обрнауки России, ОмГТУ. –

Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. 78с. https://omgtu.ru/general_information/faculties/radio_engineering_department/department_of_quot_physics_quot/lib_pfys/280402-280302/TOMIM.pdf

5. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Феклистов В.Б., Вениг С.Б. Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ (учебное пособие)– Саратов: Электронное издание Саратов. ун-та, 2012. – 55 с.: Режим доступа: https://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2014/01/10/microwavemicronano2012_.pdf

Интернет - ресурсы

1. <http://lib.kbsu.ru/> - Библиотека КБГУ.
2. <http://www.garant.ru/> - Справочная правовая система «Гарант».
3. <http://www.consultant.ru/> -Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
4. <http://www.studmedlib.ru> - ЭБС «Консультант студента»
5. Электронные версии журналов: “Физика твердого тела”, “Журнал технической физики”, “Письма в журнал технической физики”, “Физика и техника полупроводников” <http://journals.ioffe.ru>.
6. www.nano-info.ru - Сайт о современных достижениях в области микро- и нанотехнологий.

9. Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий

1. Студенты имеют доступ к единому образовательному portalу, где могут в открытом доступе пользоваться ресурсами учебно-методической литературы, являющимися разработками ведущих ВУЗОВ России.
2. Для рейтингового контроля используется система компьютерного тестирования на базе программного обеспечения Moodle.
3. При выполнении лабораторного практикума студенты в обязательном порядке проводят обработку экспериментальных данных с применением программных пакетов Microsoft Excell, MathCad..
4. В рамках обеспечения применения компьютерных технологий в образовательном процессе имеются специализированные компьютерных класса с современным программным обеспечением и имеющим выход в Интернет.

10. Материально-техническое обеспечение работы

Материально-техническую базу для проведения занятий по дисциплине составляют:

- специализированная аудитория, используемая при проведении занятий лекционного типа №238, расположенная по адресу: 360004, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 175, учебный корпус университета №4 (ФМФ), оснащенная мультимедийным проектором и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы;
- рабочее место преподавателя;
- рабочие места студентов;
- меловая доска.

Мультимедийная презентация, сопровождающая лекцию, позволяет преподавателю акцентировать внимание студенческой аудитории на ключевых вопросах лекции.

Дисциплина обеспечена:

- тестовым материалами в электронной обучающей системе «Moodle» (Открытый университет);
- книжным фондом библиотеки;
- электронными версиями лекций и учебников.

Дисциплина обеспечена:

- тестовым материалами в электронной обучающей системе «Moodle» (Открытый университет);
- книжным фондом библиотеки;
- электронными версиями лекций и учебников.

Студенты имеют доступ через Интернет доступ к электронной обучающей системе «Moodle» (Открытый университет), которая позволяет размещать электронные учебные курсы в свободном доступе для студентов университета.

При проведении занятий лекционного типа, семинарских занятий используются:

лицензионное программное обеспечение и свободно распространяемые программы:

- Microsoft Office лицензия: Договор №135 от 22.05.2018, договор № л-21100 от 20.09.2017, сертификат от 29.11.2017, договор № 28/2017-31705322460 от 29.08.2017, договор № 18/2016-31603884322 от 12.08.2016, договор № 4/14-08 от 14.08.2015, договор № 1/01-12 от 01.12.2014, договор №0331100002314000061-0003152-01 от 25.11.2014, договор №0331100002314000077-0003152-01 от 29.12.2014, договор №0331100002314000038-0003152-01 от 10.09.2014, сертификат от 20.04.2009, сертификат от 18.06.2008, сертификат от 12.10.2007, сертификат от 14.03.2007;
- архиватор 7z, Adobe Acrobat Reader лицензия: предоставляется бесплатно на условиях по адресу <https://www.adobe.com/ru/legal/terms.html>;
- Mozilla Firefox лицензия: GPL/LGPL/MPL, Google Chrome лицензия: предоставляется бесплатно на условиях лицензионных соглашений на программное обеспечение с открытым исходным кодом по адресу <https://code.google.com/intl/ru/chromium/terms.html>.

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья созданы специальные условия для получения образования. Специализированное помещение для инвалидов расположено по адресу: 360004, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, главный учебный корпус университета, аудитория №145.

В целях доступности получения высшего образования по образовательным программам инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья университетом обеспечивается:

- альтернативной версией официального сайта в сети «Интернет» для слабовидящих;
- присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь;
- для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху – дублирование вслух справочной информации о расписании учебных занятий; обеспечение надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации;
- для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, созданы материально-технические условия обеспечивающие возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, объекту питания, туалетные и другие помещения университета, а также пребывания в указанных помещениях (наличие расширенных дверных проемов, поручней и других приспособлений).

Б1.В.01.ДВ.03. «Методы емкостной спектроскопии наноструктур»
11.03.04 Электроника и микроэлектроника на 202 -202 учебный год

№ п/п	Элемент (пункт)РДП	Перечень вносимых изменений (дополнений)	Примечание

Обсуждена и рекомендована на заседании кафедры
электроники и цифровых информационных технологий,
протокол № _____ от « _____ » _____ 202 ____ г.

Заведующий кафедрой _____ / **Р.И. Тешев** ____/
подпись расшифровка подписи дата

