


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

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

**Институт информатики, электроники и робототехника**

**Кафедра электроника и цифровые информационные технологии**

**СОГЛАСОВАНО**  
Руководитель образовательной  
программы  Мустафаев Г.А.  
« 30 » 2023 г.

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор института  Тешен Р.Ш..  
« 30 » 2023 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.04. «ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВ»**

Направление подготовки

**11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника**

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

Квалификация (степень) выпускника  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**Очная**

**Нальчик, 2023**



**Рабочая программа дисциплины «Электронные процессы на поверхности полупроводников» /сост.Гаев Д.С.– Нальчик: КБГУ, 2023 г. - 25 с.**

Рабочая программа дисциплины предназначена для студентов *очной* формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, 8 семестра, 4 курса.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «12» марта 2015 г. №218.

## Содержание

	стр
1. Цели и задачи освоения дисциплины	4
1.1. Цели освоения дисциплины	4
1.2. Задачи изучения дисциплины	4
2. Место дисциплины в структуре ООП ВО	4
3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины	4
4. Содержание и структура дисциплины	6
4.1. Содержание разделов дисциплины	6
4.2. Структура дисциплины	8
4.2.1. Общий трудоемкость дисциплины	8
4.2.2. Лекционные занятия	9
4.2.3. Лабораторные занятия	10
4.2.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплины	12
5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации	12
5.1. Задания для текущего контроля	12
5.1.1. Коллоквиумы	12
5.1.2. Примеры тестовых заданий	14
5.1.3. Промежуточная аттестация	16
6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности	19
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)	20
7.1. Основная литература	20
7.2. Дополнительная литература.	20
7.3. Периодические издания	21
7.4. Интернет-ресурсы	21
7.5. Методические указания по проведению учебных занятий и организации самостоятельной работы студентов	21
7.5.1. Методические рекомендации к чтению лекции	21
7.5.2. Критерии оценки лекции	22
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	24
Лист изменений в рабочей программе дисциплины	25

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

### **1.1. Цели:**

- изучение теории электронных явлений на поверхности полупроводников и в МДП и квантово-размерных структурах.
- освоение теоретических работы ряда полупроводниковых приборов, таких как полевые транзисторы, цифровые интегральные схемы, элементы полупроводниковой памяти, приборы и интегральные схемы с переносом заряда.
- обучения студентов основам и методам исследования электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых структурах.

### **1.2. Задачи:**

- ознакомить студентов с основными законами и явлениями физики полупроводников и на его поверхности и с их теоретической интерпретацией;
- дать четкое представление о границах применимости физических моделей и гипотез;
- ознакомить студента с современными достижениями физики полупроводников и поверхностных полупроводниковых наноструктур и использованием их в науке и технике;
- сформировать навыки экспериментальной работы в области физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур;
- дать навыки расчета физических характеристик поверхности полупроводниковых материалов и структур на их основе.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина входит в вариативную часть Б1.В.ДВ.06.02 учебного плана по направлению подготовки ВО 11.03.04 Электроника и наноэлектроника и профилю «Современные информационные технологии в электронной технике».

Дисциплина предназначена для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, 8 семестра, 4 года обучения и относится к дисциплинам вариативной части.

Основой для изучения данной дисциплины являются курсы математики, общей физики, физики полупроводников.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

**а)Выпускник должен обладать следующими общекультурными компетенциями (ОК):**

**ПКС-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

**ПКС-Б.1.1.**Способен строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков

**ПКС-Б.1.2.** Способен пользоваться методами компьютерного моделирования

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- основные понятия, законы и модели электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур и их математические выражения; границы их применимости, применение законов в практических приложениях.

-фундаментальные физические опыты в области физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур и их роль в развитии науки и техники.

-методы экспериментального и теоретического исследования электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

-понимать сущность физических явлений на поверхности полупроводников.

-оценивать численные порядки величин, характерных для физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур .

-области применения физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

- современное состояние и основные направления развития физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

-вклад российских и зарубежных ученых оказавших наибольшее влияние на развитие физики электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

#### **Уметь:**

- правильно понимать и объяснять физические законы явлений и свойства тел, отличать гипотезы от научных теорий;

- пользоваться основными физическими приборами, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи, обрабатывать, анализировать оценивать полученные результаты;

- видеть физическое явление с разных точек зрения;

- мыслить творчески и самостоятельно;

- проявлять осведомленность в вопросах, связанных с историей важнейших открытий в физике полупроводников и полупроводниковых наноструктур;

- пользоваться при работе справочной и учебной литературой;

- применять полученные знания для объяснения разнообразных явлений и свойств полупроводниковых материалов и нано структур на их основе;

- оценивать достоверность естественнонаучной информации;

- использовать приобретенные знания и умения для решения практических задач, обеспечения безопасности собственной жизни, природопользования и охраны окружающей среды.

#### **Владеть:**

навыками по работе с экспериментальными установками и анализа результатов эксперимента.

#### **Приобрести опыт деятельности:**

-по измерению основных свойств полупроводников и полупроводниковых наноструктур и интерпретации результатов измерений;

-по обслуживанию экспериментального оборудования;

-по использованию математических моделей полупроводников и полупроводниковых наноструктур при изучении их свойств.

## **4. Содержание и структура дисциплины**

### **4.1. Содержание разделов дисциплины**

*Таблица 1.*

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Код контролируемых компе-	Форма текущего контро
-----------	----------------------	--------------------	---------------------------	-----------------------

			тенция	ля
1	2	3		4
1	Введение	Роль и место поверхности полупроводников и МДП-структур в науке и технике. История развития физики полупроводников и МДП-структур. Вклад русских и зарубежных ученых. Современное состояние науки и практических применений и перспективы развития.	ПК-1	К Т
2	Введение в теорию электронных явлений на поверхности полупроводников .	Поверхностные состояния и заряды. Область пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике, примыкающая к поверхности. Энергетические зонные диаграммы приповерхностной области полупроводника. Феноменологическая теория ОПЗ. Плотность объемного заряда. Распределение электростатического потенциала в ОПЗ. Обогащенный, обедненный и инверсионный слои. Зависимости поверхностного и объемного зарядов от изгиба зон. Работа выхода. Потенциал поверхности. Поверхностная фотоэдс. Барьерная, барьерно-ловушечная и демберовская фотоэдс. Измерение потенциала поверхности и его изменений методом динамического и статического конденсатора. Поверхностная проводимость. Измерение поверхностной проводимости. Зависимость проводимости и подвижности от изгиба зон. Определение изгиба зон на поверхности полупроводника из измерений поверхностной проводимости. Эффект поля. Общая характеристика эффекта поля. Квазистационарный эффект поля и методика его измерения. Экспериментальные методики исследования эффекта поля в импульсных и переменных полях. Определение параметров поверхности полупроводника и поверхностных состояний из измерений эффекта поля.	ПК-1	К ЛР Т
3	Квантовые размерные эффекты на поверхности полупроводника	Локализация электронов и образование двумерного газа. Двумерная поверхностная проводимость. Гигантские осцилляции проводимости в магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Фотоэлектрическая спектроскопия квантово-размерных гетеронаноструктуры.	ПК-1	К ЛР Т
4	Поверхностная рекомбинация	Скорость поверхностной рекомбинации. Локализация электронов и образование двумерного газа. Двумерная поверхностная проводимость. Гигантские осцилляции проводимости в магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Фотоэлектрическая спектроскопия квантово-размерных гетеронаноструктуры.	ПК-1	К Т

		ры.		
5	Атомарно-чистая и реальная поверхность полупроводников	Получение и свойства атомарно-чистых поверхностей полупроводника. Структура. Плотность и энергетический спектр поверхностных состояний. Реальная поверхность полупроводника. Способы получения. Некоторые свойства реальной поверхности. Пассивированная поверхность. Физический и химический способы пассивации.	ПК-1	К ЛР Т
6	Физика МДП структур	Феноменологическая теория МДП-структуры. Поверхностная и барьерная емкость и их зависимости от изгиба зон, уровня легирования полупроводника, плотности и энергетического распределения поверхностных состояний. Эквивалентные схемы МДП-структуры. Высокочастотная и низкочастотная вольт-фарадные характеристики (ВФХ) МДП-структуры. Методы измерения. Определение основных параметров МДП-структуры из измерений высокочастотной ВФХ. Неравновесная емкость МДП-структуры. Методика измерения неравновесной емкости. Определение времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации из анализа кинетики неравновесной емкости. Гистерезисные явления в МДП-структурах. Способы стабилизации МДП-структур при электронном и ионном типах гистерезиса. Использование явления зарядки состояний на границе раздела SiO <sub>2</sub> /Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> в МНОП-структуре для создания элементов полупроводниковой памяти.	ПК-1	К ЛР Т
7	Приборы с зарядовой связью	Использование явления неравновесного обеднения в полупроводнике в МДП-структуре для создания приборов с переносом заряда. Принцип работы фоточувствительных ПЗС матриц.	ПК-1	К ЛР Т

## 4.2. Структура дисциплины

4.2.1. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 часов)

Таблица 2.

Вид работы	Трудоемкость, часы	
	8 семестр	Всего
Общая трудоемкость	144	144



<b>Контактная работа:</b>	66	66
<b>Лекции (Л)</b>	33	33
<b>Лабораторные работы (ЛР)</b>	33	33
<b>Самостоятельная работа (в часах):</b>	69	69
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	9(Зачет)	9(Зачет)

#### 4.2.2. Лекционные занятия

Таблица 3

№ п/п	Темы
1	Роль и место поверхности полупроводников и МДП-структур в науке и технике. История развития физики полупроводников и МДП-структур. Вклад русских и зарубежных ученых. Современное состояние науки и практических применений и перспективы развития.
2	Поверхностные состояния и заряды. Область пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике, примыкающая к поверхности. Энергетические зонные диаграммы при поверхностной области полупроводника. Феноменологическая теория ОПЗ. Плотность объемного заряда. Распределение электростатического потенциала в ОПЗ. Обогащенный, обедненный и инверсионный слой. Зависимости поверхностного и объемного зарядов от изгиба зон. Работа выхода. Потенциал поверхности. Поверхностная фотоэдс. Барьерная, барьерно-ловушечная и демберовская фотоэдс. Измерение потенциала поверхности и его изменений методом динамического и статического конденсатора. Поверхностная проводимость. Измерение поверхностной проводимости. Зависимость проводимости и подвижности от изгиба зон. Определение изгиба зон на поверхности полупроводника из измерений поверхностной проводимости. Эффект поля. Общая характеристика эффекта поля. Квазистационарный эффект поля и методика его измерения. Экспериментальные методики исследования эффекта поля в импульсных и переменных полях. Определение параметров поверхности полупроводника и поверхностных состояний из измерений эффекта поля.
3	Локализация электронов и образование двумерного газа. Двумерная поверхностная проводимость. Гигантские осцилляции проводимости в магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Фотоэлектрическая спектроскопия квантово-размерных гетеронаноструктуры.
4	Скорость поверхностной рекомбинации. Локализация электронов и образование двумерного газа. Двумерная поверхностная проводимость. Гигантские осцилляции проводимости в магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Фотоэлектрическая спектроскопия квантово-размерных гетеронаноструктуры.
5	Получение и свойства атомарно-чистых поверхностей полупроводника. Структура. Плотность и энергетический спектр поверхностных состояний. Реальная поверхность полупроводника. Способы получения. Некоторые свойства реальной поверхности. Пассивированная поверхность. Физический и химический способы пассивации.
6	Феноменологическая теория МДП-структуры. Поверхностная и барьерная емкость и их зависимости от изгиба зон, уровня легирования полупроводника, плотности и энергетического распределения поверхностных состояний. Эквивалентные схемы МДП-структуры. Высокочастотная и низкочастотная вольт-фарадные характеристики (ВФХ) МДП-структуры. Методы измерения. Определение

	основных параметров МДП- структуры из измерений высокочастотной ВФХ. Неравновесная емкость МДП-структуры. Методика измерения неравновесной емкости. Определение времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации из анализа кинетики неравновесной емкости. Гистерезисные явления в МДП-структурах. Способы стабилизации МДП-структур при электронном и ионном типах гистерезиса. Использование явления зарядки состояний на границе раздела $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ в МНОП-структуре для создания элементов полупроводниковой памяти.
7	Использование явления неравновесного обеднения в полупроводнике в МДП-структуре для создания приборов с переносом заряда. Принцип работы фоточувствительных ПЗС матриц.

#### 4.2.3. Лабораторные работы (контролируемая компетенция ПК-3)

Таблица 4

№ п/п	Тема
1	Исследование структуры поверхности полупроводников методом дифракции медленных электронов.
2	Измерение распределения примеси в поверхностном слое полупроводников методом рентгеновской фотоэлектронной эмиссии или характеристических потерь энергии
3	Определение плотности поверхностных состояний в полупроводниках по вольтамперной и вольт-фарадной характеристикам МДП-структур
4	Измерение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда на поверхности полупроводников
5	Измерение скорости поверхностной рекомбинации неравновесных носителей заряда в поверхностном слое полупроводников
6	Изучение поглощения света в поверхностном слое полупроводников
7	Изучение фотопроводимости поверхностного слоя полупроводников
8	Исследование электронных свойств межфазной границы полупроводник-металл методами вольтамперной и вольт-фарадной характеристик диодов Шоттки
9	Исследование электронных свойств межфазной границы между полупроводниками p- и n- типов методами вольтамперной и вольт-фарадной характеристик МДП-структур

#### Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий

Лабораторный практикум является важным элементом процесса обучения. Лабораторные занятия должны быть ориентированы на решение типовых (базовых) задач, в будущей профессиональной деятельности с использованием методов, методик, формул, подходов, алгоритмов, моделей и прочих, изложенных на лекциях и в материалах, вынесенных на самостоятельную работу. Лабораторные занятия должны обеспечивать формирование компонентов «уметь» заданных дисциплинарных компетенций. Лабораторные занятия целесообразно предусмотреть (при наличии возможности) по всем темам непосредственно после изучения на лекциях теоретического материала. Одной из главных целей лабораторных занятий является углубление, закрепление и наиболее полное усвоение того материала, который был освещен на лекциях или задан для самостоятельного изуче-

ния. Лабораторный практикум должен прививать навыки самостоятельной работы на различном лабораторном оборудовании и умение пользоваться различными приборами и инструментами.

Успех лабораторных занятий зависит от качества подготовки преподавателя, студентов и лабораторного оборудования.

На первом занятии студенты изучают технику безопасности, получают список лабораторных работ и индивидуальный график выполнения лабораторных работ в виде

### **Индивидуальный график выполнения лабораторных работ**

**Таблица 5**

Даты выполнения работ									
№№ лабораторных работ									
Количество баллов за одну работу									
Сумма баллов по рейтинго- вым точкам	I			II			III		

Студенты также получают основные требования к выполнению и оформлению лабораторных работ по дисциплине в электронном или бумажном виде.

### **Выполнение каждой лабораторной работы складывается из следующих этапов**

1. Самостоятельная подготовка студентов к работе и получение допуска. Перед началом работы студенты должны знать: название работы; краткую теорию темы; цель работы; методику измерения и экспериментальную установку; задания и ожидаемые результаты. Рекомендуется иметь запись в рабочей тетради по всем этим пунктам и заготовку таблицы для записи результатов измерений и вычислений. Студенты, не подготовившиеся к работе в соответствии с этими требованиями, к выполнению работы не допускаются.

2. Проведение эксперимента. Этот этап осуществляется в соответствии с методическими указаниями, которые содержатся в руководстве к каждой работе и техническому описанию лабораторной установки. Результаты первичных измерений записываются без какой-либо обработки в “Таблицу результатов измерений и вычислений”.

При работе в лаборатории необходимо строго выполнять все правила техники безопасности и указания преподавателя.

3. Обработку результатов измерений рекомендуется проводить одним из современных пакетов математических программ, например, Mathcad, Origin и др. Но если обработку результатов измерений ведется ручным способом, то графики необходимо построить на миллиметровой бумаге.

4. Для полного понимания «обнаруженной закономерности» студенту необходимо описать ход графика и сделать выводы, являющиеся итогом самостоятельного анализа результатов эксперимента.

5. Отчет о проделанной работе представляет собой совокупность всех этапов от допуска до полного завершения лабораторной работы и описанные в рабочей тетради.

6. Завершающим этапом является защита выполненной работы. На защите студент представляет отчет и отвечает на контрольные вопросы из руководства к лабораторным работам по физике полупроводников и полупроводниковых структур и ему выставляется балл, которым оценена данная лабораторная работа.

В ходе проведения лабораторных занятий преподаватель помогает студентам овладеть лабораторной техникой, проводить измерения, анализ результатов и сделать выводы из полученных результатов.

Активная работа студентов на практических занятиях является одним из показателей хорошей организации таких занятий. При этом очень важно подлинно научное решение на лабораторных занятиях задач, связанных с областью и видам профессиональной деятельности выпускников по направлению подготовки «Электроника и микроэлектроника»

#### 4.2.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Таблица 6

№ п/п	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение
1	Уравнение Пуассона для поверхностной ОПЗ полупроводника.
2	Первый интеграл уравнения Пуассона. Распределение напряженности электрического поля в приповерхностной ОПЗ полупроводника.
3	Второй интеграл уравнения Пуассона в случае малых потенциалов ( $ \varphi_{ys}  \ll 1$ ).
4	Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обогащения (n - полупроводник).
5	Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обеднения (n - полупроводник).
6	Второй интеграл уравнения Пуассона для режима инверсии (n - полупроводник).
7	Второй интеграл уравнения Пуассона в собственном полупроводнике.
8	Приповерхностные избытки носителей заряда.
9	Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обеднения (p - полупроводник).
10	Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обогащения (p - полупроводник).
11	Второй интеграл уравнения Пуассона для режима инверсии (p - полупроводник).
12	Дифференциальная емкость поверхностной ОПЗ полупроводника ( $C_{sc}$ и $C_{u sc}$ ).
13	Дифференциальная емкость поверхностной ОПЗ полупроводника (определение $C_n$ ).
14	Дифференциальная емкость поверхностной ОПЗ полупроводника (определение $C_p$ ).

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

## **5.1. Задания для текущего контроля**

### **5.1. 1. Коллоквиумы (контролируемая компетенция ОК-7, ОПК-7, ПК-3)**

#### **Вопросы к коллоквиуму по I текущему контролю**

1. Уравнение Пуассона для поверхностной ОПЗ полупроводника.
2. Первый интеграл уравнения Пуассона. Распределение напряженности электрического поля в приповерхностной ОПЗ полупроводника.
3. Второй интеграл уравнения Пуассона в случае малых потенциалов.
4. Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обогащения (n - полупроводник).
5. Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обеднения (n - полупроводник).
6. Второй интеграл уравнения Пуассона для режима инверсии (n - полупроводник).
7. Второй интеграл уравнения Пуассона в собственном полупроводнике.
8. Приповерхностные избытки носителей заряда.
9. Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обеднения (p - полупроводник).
10. Второй интеграл уравнения Пуассона для режима обогащения (p - полупроводник).
11. Второй интеграл уравнения Пуассона для режима инверсии (p - полупроводник).

#### **Вопросы к коллоквиуму по II текущему контролю**

1. Определение заряда на поверхностных состояниях в случае моноэнергетического распределения локализованных состояний.
2. Определение заряда на поверхностных состояниях в случае непрерывного распределения локализованных состояний акцепторного типа с постоянной плотностью.
3. Определение заряда на поверхностных состояниях в случае непрерывного распределения локализованных состояний донорного типа с постоянной плотностью.
4. Определение заряда на поверхностных состояниях в случае экспоненциального распределения локализованных состояний акцепторного типа.
5. Определение заряда на поверхностных состояниях в случае экспоненциального распределения локализованных состояний донорного типа.
6. Равновесные дифференциальные емкости поверхностных состояний.
7. Распределение потенциала в МДП – структурах (базовая система уравнений). Требования к диэлектрическим слоям МДП – структур.
8. Распределение потенциала в МДП – структурах (при  $Q_{встр}=0$  и  $V_k=0$ ).
9. Распределение потенциала в МДП – структурах (при  $Q_t=Q_{встр}=0$ ).
10. Общие сведения об МДП – структурах. Работа выхода и контактная разность потенциалов.
11. Распределение потенциала МДП – структур для произвольного распределения встроенного заряда диэлектрика.

#### **Вопросы к коллоквиуму по III текущему контролю**

1. Дифференциальная емкость поверхностной ОПЗ полупроводника ( $C_{sc}$  и  $C_{u sc}$ ).
2. Дифференциальная емкость поверхностной ОПЗ полупроводника (определение  $C_n$ ).
3. Дифференциальная емкость поверхностной ОПЗ полупроводника (определение  $C_p$ ).
4. Напряжение плоских зон МДП – структур в частных случаях распределения встроенного заряда диэлектрика.
5. Эквивалентные схемы МДП-структуры
6. Статические вольт-фарадные характеристики.

#### **Рекомендации при подготовке к коллоквиуму**

-проработать конспекты лекций по вопросам коллоквиума;

- прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемым вопросам;
- ответить на вопросы коллоквиума;
- при затруднениях, проконсультироваться с преподавателем.

#### Критерии оценивания

Таблица 7

Оценка			
неудовлетворительно 2 балла	Удовлетворительно 4 балла	хорошо 6 баллов	отлично 8 баллов
Студент не знает значительной части вопросов, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы.	Студент поверхностно знает вопросы коллоквиума, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

#### 5.1.2. Примеры тестовых заданий (контролируемая компетенция ОК-7,ОПК-7, ПК-3)

##### Первая контрольная точка

КТ = ; МТ = ;

Состояние электрона в атоме определяется квантовым числом:

- 1) главным  $n$
- 2) орбитальным  $l$
- 3) магнитным  $m$
- 4) спиновым  $s$
- 5) **всеми перечисленными**

КТ = ; МТ = ;

Главное квантовое число принимает значения:

- 1)  $1/2, 1/3, 1/4, \dots$
- 2)  $0, 1, 2, 3, \dots$
- 3)  **$1, 2, 3, \dots$**
- 4)  $-1, 0, 1$
- 5)  $-1/2, 1/2$

КТ = ; МТ = ;

Орбитальное квантовое число принимает значения:

- 1)  **$0, 1, 2, \dots, (n-1)$**
- 2)  $-n, -(n-1), \dots, 0, \dots (n-1), n$
- 3)  $-1/2, 0, 1/2$
- 4)  $-1/2, 1/2$
- 5)  $-1, -2, -3, \dots, -(n-1)$

КТ = ; МТ = ;

##### Вторая контрольная точка

##### Кинетические явления в полупроводниках

КТ = ; МТ = ;

В реальных полупроводниках комбинированная подвижность определяется рассеянием на ионах примеси и фононах, а в зависимости от температуры выражается соотношением

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_0} = aT^{-3/2} + bT^{3/2}$$

@

КТ = ; МТ = ;

В атомных полупроводниках с ростом температуры, если рассеяние происходит только на ионах примеси, подвижность носителей заряда растет пропорционально

1) Т

2)  $T^{3/2}$

3)  $T^{-3/2}$

4)  $T^{5/2}$

5)  $T^{-5/2}$

@

КТ = ; МТ = ;

В атомных полупроводниках с ростом температуры, если рассеяние происходит только на длинноволновых акустических фононах, подвижность носителей заряда уменьшается пропорционально

1) Т

2)  $T^{3/2}$

3)  $T^{-3/2}$

4)  $T^{5/2}$

5)  $T^{-5/2}$

@

КТ = ; МТ = ;

### Третья контрольная точка

#### Контактные явления в полупроводниках

Контактные явления в полупроводниках КТ = ; МТ = ;

... -энергия необходимая для перевода электрона с уровня Ферми на нулевой уровень в вакууме.

+: Работа выхода электрона

@

Контактные явления в полупроводниках КТ=; МТ=;

Невырожденный полупроводник  $n$  – типа контактирует с металлом работа выхода электрона из которого выше, чем у полупроводника. Полученный контакт является ... .

-: запирающим

+: антизапирающим

-: омическим

@

Контактные явления в полупроводниках КТ=; МТ=;

Невырожденный полупроводник  $n$  – типа контактирует с металлом работа выхода электрона из которого меньше, чем у полупроводника. Полученный контакт является ... .

+: запирающим

-: антизапирающим

-: омическим

@

В рамках обеспечения применения компьютерных технологий в образовательном процессе имеются специализированные компьютерные классы с современным программным обеспечением и имеющим выход в Интернет. С текущего учебного года организована возможность тестирования и вне университета.

### **Методические рекомендации по подготовке к тестированию**

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 ответы (их может быть несколько);
- г) 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**

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

### **5.1.3. Промежуточная аттестация (контролируемая компетенция ОК-7, ОПК-7, ПК-3)**

#### **Список вопросов к устному экзамену**

1. Феноменологическая теория области пространственного заряда полупроводника. Плотность пространственного заряда. Распределение потенциала в ОПЗ. Обогащенный, обедненный и инверсионный поверхностные слои.
2. Феноменологическая теория области пространственного заряда полупроводника. Зависимость поверхностного и объемного зарядов от изгиба зон.
2. Феноменологическая теория области пространственного заряда полупроводника. Заряд поверхностных состояний. Работа выхода и потенциал поверхности. Зависимость работы выхода от изгиба зон.
4. Поверхностная фотоэдс. Фотоэдс Дембера. Барьерная поверхностная фотоэдс (зависимость от изгиба зон и от уровня фотовозбуждения).
5. Поверхностная фотоэдс. Барьерно-ловушечная поверхностная фотоэдс (зависимость от уровня фото возбуждения).
6. Измерение потенциала поверхности и его изменений методом динамического и



статического конденсатора.

7. Поверхностная проводимость. Зависимости поверхностной проводимости и подвижности от изгиба зон.
8. Измерение поверхностной проводимости. Определение изгиба зон на поверхности полупроводника из измерений поверхностной проводимости.
9. Барьерная фотопроводимость полупроводников.
10. Эффект поля. Экспериментальные методы измерения эффекта поля на импульсных и синусоидальных сигналах. Определение характеристик поверхности полупроводника из этих измерений.
11. Поверхностная емкость. Барьерная емкость. Емкость поверхностных состояний. Зависимость от частоты.
12. Понятие об МДП-структуре. Применяемые материалы и конструкция. Идеальная МДП-структура.
13. Емкость МДП-структуры. Зависимость от изгиба зон, напряжения и частоты.
14. Явление неравновесного обеднения поверхности полупроводника в МДП-структуре. Определение профиля распределения примеси и времени жизни из измерений неравновесной емкости.
15. Феноменологическая теория поверхностной рекомбинации. Методы определения скорости поверхностной рекомбинации.
16. Методы получения и свойства атомарно-чистых поверхностей полупроводников.
17. Методы получения и свойства реальных и пассивированных поверхностей полупроводников.
18. Нестабильности в МДП-структурах. Гистерезисные явления.
19. Феноменологическая теория явления памяти в МНОП-структурах.
20. Неравновесное обеднение МДП структуры. Приборы с зарядовой связью
21. Элементы памяти на квантово-размерных структурах

### **Методические рекомендации по подготовке к процедуре осуществления промежуточной аттестации (экзамену)**

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

В конце семестра студентам выдаются экзаменационные вопросы. При подготовке ответов на вопросы 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 студенту необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания изучаемых вопросов. А это достигается не простым заучиванием, а усвоением прочных систематизированных знаний аналитическим мышлением. Следовательно, непосредственная подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала.

По рейтинговой системе в КБГУ на экзамен выделяется 30 баллов. Их можно распределять по уровню знания студента следующим образом

<b>Баллы на экзамене</b>			
<b>15 баллов</b>	<b>20 балла</b>	<b>25 балла</b>	<b>30 баллов</b>
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий и студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы.	Посещение составляет не менее 60% лекционных и практических занятий. Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос.	Посещение составляет не менее 70 % лекционных и практических занятий. Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Посещение составляет не менее 85% лекционных и практических занятий. Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Итоговая оценка выставляется по пятибалльной системе исходя из таблицы 10.

**Шкала оценки успеваемости студентов**

**Таблица 10**

Сумма баллов	Оценка
0-35	недопуск
36-60	неудовлетворительно
61-80	удовлетворительно
81-90	хорошо
91-100	отлично

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

**Таблица 11. Результаты освоения дисциплины, подлежащие проверке**

Результаты обучения (компетенции)	Основные показатели оценки результатов обучения	Вид оценочного материала
Способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7)	Планирует собственную работу в рамках самообразования, использует результаты самообразования для решения профессиональных задач. Понимает значение самообразования для профессиональной деятельности. Использует результаты самообразования в профессиональной деятельности. Умеет составлять и реализовывать план работы.	Оценочные материалы для проведения коллоквиума. Оценочные материалы для промежуточной аттестации
Способностью учитывать современные	Имеет представление о роли и месте математики в современной цивилизации и мировой культуре. Знает и понимает физическую сущность явлений и	Оценочные материалы для проведения

<p>тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7)</p>	<p>процессов, происходящих в материалах при взаимодействии с электромагнитным полем и рабочей средой в различных условиях эксплуатации. Умеет логически мыслить, оперировать с абстрактными объектами и быть корректным в употреблении математических понятий и символов для выражения количественных и качественных отношений. Владеет терминологией, методами решения систем линейных и алгебраических уравнений, основами векторной алгебры и аналитической геометрии, методами дифференциального и интегрального исчисления, методами исследования функции и построения графиков. Уметь решать уравнения Пуассона, кинетического уравнения Больцмана, Уравнения Шредингера.</p>	<p>коллоквиума. Оценочные материалы для промежуточной аттестации</p>
<p>Готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3).</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия, законы и модели в физике полупроводников и полупроводниковых наноструктур и их математические выражения; границы их применимости, применение законов в практических приложениях.</li> <li>- фундаментальные физические опыты в области физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> <li>- методы экспериментального и теоретического исследования в физике полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> <li>- области применения физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> <li>- современное состояние и основные направления развития физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- правильно понимать и объяснять физические законы явлений и свойства тел, отличать гипотезы от научных теорий;</li> <li>- пользоваться основными физическими приборами, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи, обрабатывать, анализировать оценивать полученные результаты;</li> <li>- видеть физическое явление с разных точек зрения;</li> <li>- мыслить творчески и самостоятельно;</li> <li>- пользоваться при работе справочной и учебной литературой;</li> <li>- применять полученные знания для объяснения разнообразных явлений и свойств полупроводниковых материалов и нано структур на их основе;</li> <li>- оценивать достоверность естественнонаучной информации;</li> <li>- использовать приобретенные знания и умения для решения практических задач, обеспечения</li> </ul>	<p>Оценочные материалы для проведения коллоквиума. Оценочные материалы для промежуточной аттестации</p>

	<p>безопасности собственной жизни, природопользования и охраны окружающей среды.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>навыками по работе с экспериментальными установками и анализа результатов эксперимента с помощью современных математических пакетов программ.</p> <p><b>Приобрести опыт деятельности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-по измерению основных свойств полупроводников и полупроводниковых наноструктур и интерпретации результатов измерений;</li> <li>-по обслуживанию экспериментального оборудования;</li> <li>-по использованию математических моделей полупроводников и полупроводниковых наноструктур при изучении их свойств.</li> </ul>	
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

1. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. Мартинес-Дуарт Дж.М. 2009.
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника. Учеб. пособие. М.: Техносфера 2005. 512 с.
3. Горшков А.П., Тихов С.В. Физика поверхности полупроводников: Учеб. пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. – 101 с.

### 7.2. Дополнительная литература

1. Овсяк В.Н. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. 1984. Новосибирск, Издательство “Наука”, Сибирское отделение, с. 252.
2. С .Зи. Физика полупроводниковых приборов. т.2, М.. Энергия, 1984г.
3. Тихов С.В.. Неравновесные процессы в МДП-структурах. Горький, ГГУ, 1985 г.

### 7.3. Периодические издания

1. Журнал «Физика и техника полупроводников».
2. Журнал «Российские нанотехнологии».
3. "Нанотехника".

### 7.4. Интернет-ресурсы

- 1.Поисковая система e-library.ru
- 2.Поисковая система google.ru
- 3.Электронная библиотека КБГУ lib.kbsu.ru
4. [www.nanorfu.ru](http://www.nanorfu.ru)

### 7.5. Методические указания по проведению учебных занятий и организация самостоятельной работы студента

#### 7.5.1. Методические рекомендации к чтению лекций

Основными формами организации учебных занятий по дисциплине «физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур» являются лекции и лабораторные занятия.

При подготовке лекционных занятий преподаватель должен определить цели и задачи лекции, разработать план проведения лекции, осуществить подбор литературы (ознакомить с периодическими изданиями по теме лекций), отбор необходимого и достаточного по содержанию учебного материала. Лектор определяет методы, приемы и средства поддержания интереса, внимания, стимулирования творческого мышления студентов.

Лекция должна включать в качестве этапов формулировку темы лекций, перечень вопросов, изложение вводной части, основной части, краткие выводы по каждому рассмотренному вопросу, замечание и рекомендации литературных источников по излагаемым вопросам. Если очередное занятие является продолжением предыдущей лекции, целесообразно кратко сформулировать полученное ранее результаты, необходимые для понимания и усвоения изучаемых вопросов. В заключительной части лекции желательно обобщить наиболее важные и существенные моменты лекции, сделать выводы, а также сформулировать задачи для самостоятельной работы студентов и указать рекомендуемую литературу. Целесообразной также оставить время для ответа на вопросы студентов и возможную дискуссию по изложенному материалу на лекции.

Содержание лекции по данной дисциплине должно соответствовать дидактическим принципам, которые обеспечивают соответствие излагаемого материала научно-методическим основам педагогической деятельности. Основными из них являются целостность, научность, доступность, систематичность и наглядность.

Эффективность лекции может быть повышена за счет рационального использования технических средств. Комплекты технических средств необходимо готовить к каждой лекции заблаговременно, не перегружая ими аудиторию.

Существует классификация лекций по типам и методам их проведения (вводная, установочная, программная, обзорная, итоговая и др.). При изложении программного материала по данной дисциплине на лекциях рекомендуется широкое использование средств информационно-коммуникационных технологии (ИКТ) или аудио-видеотехники. Подготовка видео – лекции состоит в перекодировании, переконструировании учебной информации по теме в визуальную форму для предъявления студентам через технические средства обучения или схемы, рисунки, чертежи.

### **7.5.2. Критерии оценки лекции**

Анализ качества лекции строится из оценки содержания, методики чтения, организации лекции, руководства работой студентов на лекции, лекторских данных преподавателя, результативности лекции.

#### **Оценка содержания лекции**

1. Соответствие темы и содержания лекции тематическому плану и учебной программе курса.
2. Научность, соответствие современному уровню развития науки.
3. Точность используемой научной терминологии.
4. Информативность; раскрытие основных понятий темы; сочетание теоретического материала с конкретными примерами.
5. Реализация принципа органической связи теории с практикой; раскрытие практического значения излагаемых теоретических положений.
6. Реализация внутри предметных и междисциплинарных связей.
7. Связь с профилем подготовки студентов, их будущей специальностью.

8. Соотношение содержания лекции с содержанием учебника (излагается материал, которого нет в учебнике; разъясняются особо сложные вопросы; дается задание самостоятельно прорабатывать часть материала по учебнику, пересказывается учебник и т.п.).

#### **Оценка методики чтения лекции**

1. Дидактическая обоснованность используемого вида лекции и соответствующих ему форм и методов изложения материала.
2. Структурированность содержания лекции: наличие плана, списка рекомендуемой литературы, вводной, основной и заключительной части лекции.
3. Акцентирование внимания аудитории на основных положениях и выводах лекции.
4. Рациональное сочетание методических приемов традиционной педагогики и новых методов обучения (проблемного, программного, контекстного, деятельностного и др.).
5. Логичность, доказательность и аргументированность изложения.
6. Ясность и доступность материала с учетом подготовленности обучаемых.
7. Соответствие темпов изложения возможностям его восприятия и ведения записей студентами.
8. Использование методов активизации мышления студентов.
9. Использование приемов закрепления информации (повторение, включение вопросов на проверку внимания, усвоения и т.п., подведение итогов в конце рассмотрения каждого вопроса, в конце всей лекции).
10. Использование записей на доске, наглядных пособий.
11. Использование раздаточного материала на лекции.
12. Использование ИКТ.

#### **Оценка организации лекции**

1. Соответствие лекции учебному расписанию.
2. Четкость начала лекции (задержка во времени, вход лектора в аудиторию, приветствие, удачность первых фраз и т.п.).
3. Посещаемость лекции студентами.
4. Дисциплина на лекции.
5. Рациональное распределение времени на лекции.
6. Соответствие аудитории, в которой проводится лекция, современным нормам и требованиям (достаточная вместимость, возможность использования ТСО, оформленные и т.п.).
7. Наличие необходимых средств наглядности и ТС.

#### **Оценка руководства работой студентов на лекции**

1. Осуществление контроля за ведением студентами конспекта лекций.
2. Оказание студентам помощи в ведении записи лекции (акцентирование изложения материала лекции, выделение голосом, интонацией, темпом речи наиболее важной информации, использование пауз для записи таблиц, вычерчивания схем и т.п.).
3. Просмотр конспектов лекций студентов (до, во время, после лекции).
4. Использование приемов поддержания внимания и снятия усталости студентов на лекции (риторические вопросы, шутки, исторические экскурсы, рассказы из жизни замечательных людей, из опыта научно-исследовательской, творческой работы преподавателя и т.п.).
5. Разрешение задавать вопросы лектору (в ходе лекции или после нее).
6. Согласование сообщаемого на лекции материала с содержанием других видов аудиторной и самостоятельной работы студентов.

#### **Оценка результативности лекции**

1. Степень реализации плана лекции (полная, частичная).
2. Степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытие темы лекции.
3. Информационно-познавательная ценность лекции.
4. Воспитательное воздействие лекции.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническую базу для проведения занятий по дисциплине составляют:

- Лекционная специализированная аудитория №134, оснащенная мультимедийным проектором и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы;

- Электронные версии лекций, учебников и методическими материалами для контрольных мероприятий (заданиями для коллоквиумов, тестов, экзаменационными билетами);

- Книжный фонд библиотеки;

- Лаборатории №133, №146 и №147 оборудованы современными приборами и установками, как промышленного производства, так и созданными в лабораторных условиях, необходимыми для выполнения лабораторных работ, предусмотренных в физическом практикуме;

- Методические указания к выполнению лабораторных работ, технические описания к лабораторным установкам и инструкции по технике безопасности имеются в указанных выше лабораториях.

### **Программное обеспечение**

Лицензионное ПО:

- ПО «Microsoft Windows» (подписка DreamSpark/Microsoft Imagine Standard); регистрационный номер 00037FFEBA CF8FD7,

**включает в себя:**

Microsoft Windows 7, Microsoft Office Visio 2007, Microsoft Office Access 2003, Microsoft Office 2010

- ПО «Антивирус Касперского» 2013-2014, действие с 2013 по 2014 гг

- ПО «Антивирус Касперского», действие 2019 г.;

Свободно распространяемое ПО:

- Open Office;

- Adobe Acrobat Reader;

- 7zip;

- FreeCommander.

Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины **«Электронные процессы на поверхности полупроводников»** по направлению подготовки 11.03.04 - Электроника и наноэлектроника на 202\_\_ - 202\_\_\_\_\_ уч. г.

**Таблица 12**

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

Обсуждена и рекомендована на заседании кафедры Физических основ микро- и наноэлектроники протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_ Тешев Р.Ш.