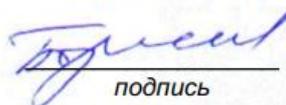


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
физики полупроводников и микроэлектроники



(Бормонтов Е.Н.)  
расшифровка подписи

31.08.2024

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
по учебной дисциплине**

Б1.О.22 Нанозлектроника

*Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

**Код и наименование направления подготовки/специальности: 11.03.04**

Электроника и нанозлектроника

**Направленность (профиль) подготовки/специализация: \_\_\_\_\_**

Интегральная электроника и нанозлектроника

**Квалификация выпускника: \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_**

**Форма обучения: \_\_\_\_\_ очная \_\_\_\_\_**

**Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: \_\_\_\_\_**

физики полупроводников и микроэлектроники

**Составители рабочей программы дисциплины, в том числе фонда оценочных средств по учебной дисциплине: \_\_\_\_\_ Бормонтов Евгений Николаевич,**

доктор физико-математических наук, профессор

*(ФИО, ученая степень, ученое звание)*

**Учебный год: \_\_\_\_\_ 2027-2028 \_\_\_\_\_**

**Семестр(ы): \_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_**

Освоение данной дисциплины направлено на формирование следующих компетенций

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1	Демонстрирует знания фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- фундаментальные законы природы и основные физические математические законы;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- понимать главные проблемы и задачи современной физики</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>методами естественных наук и математики в приложении к решению задач современной физики</li> </ul>
		ОПК-1.2	Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- существующие теории различных физических явлений и процессов, происходящих в квантоворазмерных структурах</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в нанoeлектронике</li> </ul>
		ОПК-1.3	Использует положения, законы и методы естественных наук для решения инженерных задач в сфере профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные представления о физических идеях и принципах современной квантовой физики</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать полученные теоретические знания и умения для решения конкретных инженерных и прикладных задач нанoeлектроники</li> </ul>
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1	Находит и критически анализирует научно-техническую информацию, необходимую для решения поставленной задачи	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные тенденции развития нанoeлектроники</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать и учитывать современные тенденции развития нанoeлектроники</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основными областями применения нанoeлектронных структур</li> </ul>
		ОПК-2.2	Определяет в рамках поставленной инженерной задачи совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- явления и процессы в нанoeструктурах, использующихся при разработке элементов и приборов нанoeлектроники</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работать с технической доку-</li> </ul>

			её достижение	ментацией - применять методы расчета параметров и характеристик приборов и устройств наноэлектроники <i>Владеть:</i> - моделями, теориями различных физических явлений, лежащих в основе функционирования элементной базы наноэлектроники
--	--	--	---------------	--

### Перечень заданий для оценки уровня освоения дисциплины:

- 1) тестовые задания (выбор правильного(-ых) ответа(-ов) из предложенного перечня; задания на соответствие):

ЗАДАНИЕ 1.1. Выберите правильный вариант ответа:

При каких размерах полупроводника проявляется размерное квантование,

- а) при размере меньше одного микрона;
- б) при размере меньше одного нанометра;
- в) когда размер становится порядка длины волны де-Бройля электрона ;
- г) когда размер становится меньше одного миллиметра.**

ЗАДАНИЕ 1.2. Выберите правильный вариант ответа:

Как зависит энергия электрона от ширины квантовой ямы?

- а) вообще не зависит;
- б) увеличивается линейно с увеличением ширины квантовой ямы;
- в) увеличивается обратно пропорционально квадрату ширины квантовой ямы с уменьшением последней;**
- г) уменьшается линейно с уменьшением ширины квантовой ямы.

ЗАДАНИЕ 1.3. Выберите правильный вариант ответа:

Как зависит электронная плотность состояний от энергии в одномерных полупроводниках?

- а) квадратично;
- б) обратно пропорционально;
- в) линейно;
- г) обратно пропорционально корню квадратному от энергии.**

ЗАДАНИЕ 1.4. Выберите правильный вариант ответа:

От чего зависит проводимость инверсионного слоя на поверхности полупроводника?

- а) от напряжения сток–исток;
- б) от толщины окисла на поверхности;
- в) от напряжения затвора
- в) от всего выше перечисленного.**

ЗАДАНИЕ 1.5. Выберите правильный вариант ответа:

Как зависит длина экранирования от концентрации электронов в невырожденном газе 2D-случая?

- а) обратно пропорционально корню квадратному от концентрации;**
- б) линейно;

- в) экспоненциально;
- д) осциллирует.

ЗАДАНИЕ 1.6. Выберите правильный вариант ответа:

Чем определяется энергия электронов в магнитном поле для 2D-случая?:

- а) эффективной массой электрона;
- б) индукцией магнитного поля  $B$ ;
- в) циклотронной частотой  $\omega_c$ ;
- г) **всеми этими параметрами .**

ЗАДАНИЕ 1.7. Выберите правильный вариант ответа:

Чем определяется квантовое сопротивление Холла?

- а) наличием локализованных уровней в двумерном газе;
- б) наличием ряда эквидистанционных уровней;
- в) наличием уровней Ландау;
- г) **наличием заполненных уровней Ландау.**

ЗАДАНИЕ 1.8. Выберите правильный вариант ответа:

В каких полупроводниковых структурах наблюдается квантовый эффект Холла?:

- а) в гетероструктурах;
- б) в квантовых ямах;
- в) в сверхрешётках;
- г) **во всех пьербчисленных структурах.**

ЗАДАНИЕ 1.9. Выберите правильный вариант ответа:

Чем определяется квант сопротивления?

- а) постоянной Планка;
- б) зарядом электрона;
- в) **постоянной Планка, делённой на квадрат заряда электрона;**
- г) зарядом электрона, делённым на квадрат постоянной Планка.

ЗАДАНИЕ 1.10. Выберите правильный вариант ответа:

Энергия размерного квантования в легированной сверхрешётке определяется:

- а) **уровнем легирования и толщиной слоёв;**
- б) циклотронной частотой;
- в) плазменной частотой;
- г) отношением плазменной и циклотронной частот.

ЗАДАНИЕ 1.11. Выберите правильный вариант ответа:

Легированные сверхрешётки создаются:

- а) **последовательным планарным легированием донорной и акцепторной примесью одного полупроводника;**
- б) чередованием двух разных полупроводников с донорным легированием;
- в) последовательным планарным легированием донорной примесью с увеличивающимся уровнем одного полупроводника;
- г) чередованием двух разных полупроводников с акцепторным легированием.

ЗАДАНИЕ 1.12. Выберите правильный вариант ответа:

Сопротивление баллистического проводника возникает:

- а) **из-за рассеяния электронов на примесях в нём;**
- б) из-за рассеяния электронов на поверхности проводника;
- в) в контактах на конце проводника;
- г) из-за рассеяния электронов друг на друге.

ЗАДАНИЕ 1.13. Выберите правильный вариант ответа:

Какими параметрами характеризуют динамику изменения дрейфовой скорости в двумерном газе?

- а) плотностью тока;
- б) временем релаксации (по импульсу и по энергии);**
- в) величиной координаты электрона;
- г) длиной свободного пробега.

ЗАДАНИЕ 1.14. Выберите правильный вариант ответа:

Квантово-размерные уровни энергии в квантовой точке определяются:

- а) упругими напряжениями в решётке квантовой точки;
- б) размерами квантовой точки;**
- в) материалом квантовой точки;
- г) всеми этими параметрами.

ЗАДАНИЕ 1.15. Выберите правильный вариант ответа:

Если на уровне размерного квантования в многоуровневой квантовой точке есть один электрон, то второму электрону для вхождения в квантовую точку требуется

- а) в 2 раза меньшая энергия по сравнению с первым;
- б) большая энергия по сравнению с первым;
- в) такая же энергия для основного состояния;**
- г) меньшая энергия.

ЗАДАНИЕ 1.16. Выберите правильный вариант ответа:

При параболическом ограничивающем потенциале на каком расстоянии находятся уровни размерного квантования?

- а) расстояние между ними растёт как квадрат номера уровня;**
- б) расстояние между ними увеличивается линейно с ростом номера уровня;
- в) расстояние между ними уменьшается с ростом номера уровня;
- г) расстояние между ними не зависит от их номера .

2) задания с коротким ответом (ответ на задание состоит из числа, слова или словосочетания):

ЗАДАНИЕ 2.1. Чем определяется ширина мини-зоны композиционной сверхрешётки?

**Ответ: периодом сверхрешётки**

ЗАДАНИЕ 2.2. Как изменяется дифференциальная проводимость сверхрешётки вдоль её оси с ростом приложенного напряжения

**Ответ: увеличивается**

ЗАДАНИЕ 2.3. Как зависит сопротивление баллистического проводника от его длины?

**Ответ: не зависит**

ЗАДАНИЕ 2.4. Как зависит энергия излучения из квантовой точки при увеличении её размеров?

**Ответ: не зависит**

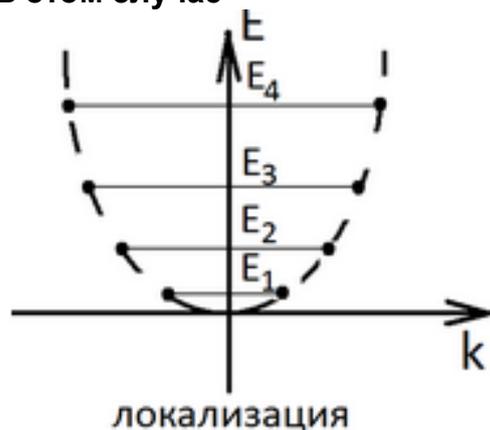
3) расчетные, ситуационные, практико-ориентированные задачи / мини-кейсы (ответ содержит решение поставленной задачи):

**ЗАДАНИЕ 3.1.** В чем заключается сущность размерного квантования?

**Ответ:** Эффект, возникающий при ограничении или лимитировании движения электронов физическими размерами области, в которой он находится, называется эффектом локализации или размерным квантованием или квантовым размерным эффектом.

Квантовый размерный эффект связан с квантованием импульса электрона. Вследствие чего непрерывный энергетический спектр электронов распадается на дискретные уровни, т.е. происходит квантование энергии спектра электрона.

В этом случае



**ЗАДАНИЕ 3.2.** При каких условиях наблюдаются квантовые размерные эффекты?

**Ответ:** Квантовые размерные эффекты начинают оказывать влияние на электронные свойства, когда размер области локализации свободных носителей становится, соизмерим с длиной волны де Бройля

$$\lambda_g = \hbar / \sqrt{2mE},$$

где  $m$  – эффективная масса электронов;  $E$  – энергия носителей;  $\hbar$  – постоянная Планка

**ЗАДАНИЕ 3.3.** Опишите резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке.

**Ответ:** Транзисторы на квантовых точках представляют тип приборов на горячих электронах, весьма перспективный для СВЧ-электроники.

В гетероструктурах растят эпитаксиальный слой на подложке с другими параметрами решетки. Квантовые точки возникают в слое, если его толщина превышает некоторое критическое значение.

Подвижность и концентрация электронов в двумерном газе уменьшаются из-за наличия квантовых точек. Это означает, что квантовыми точками захватывается меньшее число электронов.

Транспорт электронов в гетероструктурах с квантовыми точками имеет две компоненты. Одна компонента формируется подвижными электронами из двумерного газа и соответствует насыщению их дрейфовой скорости, другая обусловлена электронами, локализованными в квантовых ямах. Вторая компонента дает вклад в электронный транспорт только в сильных электрических полях.

**В транзисторах на квантовых точках концентрация участвующих в транспорте электронов в сильных полях не зависит от напряжения на затворе. Пороговое же напряжение, необходимое для эмиссии электронов из квантовых точек, уменьшается, когда напряжение на затворе становится отрицательным.**

**ЗАДАНИЕ 3.4. Что такое кулоновская блокада?**

**Ответ:**

**Кулоновская блокада — блокирование прохождения электронов через квантовую точку, включённую между двумя туннельными контактами, обусловленное отталкиванием электронов в контактах от электрона на точке, а также дополнительным кулоновским потенциальным барьером, который создаёт электрон, находящийся на точке. Аналогично тому, как поле ядерных сил при альфа распаде[1] препятствует вылету альфа-частицы, кулоновский барьер препятствует вылету электрона из точки, а также попаданию новых электронов на неё. Экспериментально кулоновская блокада проявляется как пикообразная зависимость проводимости точки от потенциала точки, то есть от напряжения на дополнительном электроде (затворе).**

**ЗАДАНИЕ 3.5. Одноэлектроника. Основные принципы**

**Ответ: При уменьшении линейных размеров информационных электронных приборов и устройств возникает проблема манипулирования и определения состояния отдельных носителей заряда. И прежде всего электронов. Это направление развития электроники получило название «твердотельная одноэлектроника». Одноэлектронные устройства представляют собой перспективные наноэлектронные приборы, основанные на эффекте дискретного туннелирования отдельных электронов и обеспечивающие ультранизкие уровни потребляемой энергии при ультранизких рабочих напряжениях.**

#### **Критерии и шкалы оценивания:**

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

##### 1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

##### 2) задания с коротким ответом:

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

##### 3) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи / мини-кейсы:

- 5 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 2 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;

- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).