

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович
Должность: Ректор
Дата подписания: 24.05.2024 10:28:23
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

Приложение А

(обязательное к рабочей программе дисциплины)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ДИСЦИПЛИНЫ

« 2.1.1.3. Электронная компонентная база микро-и наноэлектроники, квантовых устройств »

Уровень высшего образования
ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Группа научных специальностей

2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь
(шифр и наименование группы научных специальностей)

Научная специальность

2.2.2. Электронная компонентная база микро-и наноэлектроники, квантовых устройств
(шифр и наименование научной специальности образовательной программы)

Форма обучения

Очная

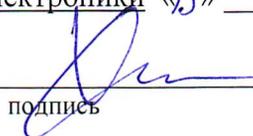
Разработчик _____


подпись

Гаджиев Х.М., к.т.н., доцент
(ФИО уч. степень, уч. звание)

Фонд оценочных средств обсужден на заседании кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники «15» 06 2023г., протокол № 10

Зав. кафедрой _____


подпись

Гаджиев Х.М., к.т.н., доцент
(ФИО уч. степень, уч. звание)

Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Для оценки степени сформированности и уровня освоения дисциплины используются оценочные материалы, представленные ниже.

1. Шкала комплексной оценки освоения дисциплины приведена в таблице 1.

Таблица 1. Шкала комплексной оценки освоения дисциплины

Оценка	Формулировка требований к степени освоения дисциплины
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне ориентирования , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на репродуктивном уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на системном уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Средняя интегральная микросхема (СИС) – это ИС, содержащая:
 - 1) свыше 100 до 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 100 до 500 – для аналоговых (2..3 степень);
 - 2) до 100 элементов и (или) компонентов включительно (1..2 степень);
 - 3) свыше 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 500 – для аналоговых ИС (3..4 степень).

2. В какой из перечисленных микросхем все элементы выполнены в объеме кристалла полупроводника?
- 1) тонкопленочной;
 - 2) гибридной; 3) полупроводниковой.
3. Большая интегральная микросхема (БИС) – это ИС, содержащая:
- 1) свыше 100 до 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 100 до 500 – для аналоговых (2..3 степень);
 - 2) до 100 элементов и (или) компонентов включительно (1..2 степень);
 - 3) свыше 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 500 – для аналоговых ИС (3..4 степень).
4. В какой из перечисленных микросхем все элементы представляют собой пленки, нанесенные на диэлектрическое основание?
- 1) тонкопленочной;
 - 2) гибридной; 3) полупроводниковой
5. Сверхрешетка –
- 1) это полупрозрачный диэлектрик с определенной периодической структурой и уникальными оптическими свойствами;
 - 2) это твердотельная периодическая структура, в которой на носители заряда наряду с потенциалом кристаллической решетки действует дополнительный встроенный потенциал;
 - 3) это фазы переменного состава, в которых атомы различных элементов расположены в общей кристаллической решётке.
6. Напряженная полупроводниковая структура представляет собой
- 1) тонкий слой узкозонного полупроводника, помещенный в матрицу относительно широкозонного материала с меньшим параметром решетки и испытывающий сжимающие напряжения;
 - 2) тонкий слой широкозонного полупроводника, помещенный в матрицу относительно узкозонного материала с меньшим параметром решетки и испытывающий сжимающие напряжения;
 - 3) тонкий слой узкозонного полупроводника, помещенный в матрицу относительно широкозонного материала с большим параметром решетки и испытывающий сжимающие напряжения.
7. Туннельный эффект - это
- 1) явление, связанное с квантованием энергии носителей заряда, движение которых ограничено в одном, двух или трех направлениях;
 - 2) квантовое явление, в котором на частицу с электрическим зарядом или магнитным моментом электромагнитное поле влияет даже в тех областях, где напряженность электрического поля и индукция магнитного поля равны нулю, но не равен нулю электромагнитный потенциал;

3) преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия, остающаяся при туннелировании неизменной, меньше высоты барьера.

8. Композиционная сверхрешетка – это сверхрешетка

- 1) с одним нанометровым измерением;
- 2) с переменным легированием, в которой периодичность параметров создается введением небольшого количества примеси в узкие, строго ограниченные части кристаллической структуры;
- 3) с переменным составом, в которых чередуются тонкие слои материалов различного состава.

9. Легированная сверхрешётка - это сверхрешетка

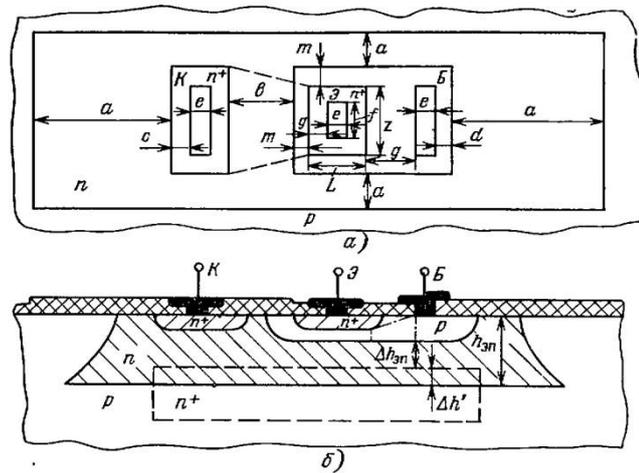
- 1) с переменным легированием, в которых периодичность параметров создается введением небольшого количества примеси в узкие, строго ограниченные части кристаллической структуры;
- 2) с одним нанометровым измерением;
- 3) с переменным составом, в которых чередуются тонкие слои материалов различного состава.

10. Структура обращенного НЕМТ - транзистора содержит

- 1) металлический контакт – широкозонный гетерослой AlGaAs, выполняющий роль подзатворного диэлектрика - узкозонный слой GaAs, в котором формируется канал;
- 2) металлический контакт – нелегированный слой GaAs («подзатворный диэлектрик»), узкозонный слой GaAs, в котором формируется канал - широкозонный гетерослой AlGaAs;
- 3) металлический контакт – широкозонный гетерослой AlGaN, выполняющий роль подзатворного диэлектрика - узкозонный слой GaN, в котором формируется канал.

2.2. Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Рассчитать сопротивление тела коллектора при отсутствии и наличии скрытого $n+$ -слоя. Будем полагать, что транзистор имеет структуру, показанную на рисунке при следующих значениях параметров: $f = e = m = c = g = d = 4$ мкм, $b = z = L = q = 12$ мкм; $\Delta h_{эп} = 3$ мкм; $\Delta h' = 3$ мкм; $\rho_k = 0,5$ Ом*см; толщина скрытого $n+$ -слоя 5 мкм, удельное сопротивление скрытого $n+$ -слоя $R_s = 10$ Ом/; глубины залегания эмиттерного и коллекторного переходов равны 2 и 3 мкм соответственно. Будем считать боковые стенки диффузионных областей вертикальными.



Топология (а) и структура (б) интегрального биполярного транзистора

2. Масса одной углеродной нанотрубки составляет $2.99 \cdot 10^{-19}$ г. Сколько атомов углерода входит в состав этой частицы?
3. Одноэлектронный транзистор, включающий в себя в качестве основного элемента конденсатор со структурой металл-диэлектрик-металл (МДМ), способен реагировать на туннелирование одного электрона, если емкость указанной структуры составляет $10^{-18} - 10^{-19}$ Ф. Какова площадь обкладок конденсатора с диоксидом кремния SiO_2 в качестве диэлектрика, если емкость составляет 10^{-18} Ф при толщине диэлектрика, равной 10 нм.
4. Найдите емкость плоского конденсатора с диоксидом кремния (SiO_2) в качестве диэлектрика, при толщине диэлектрика $d = 1$ нм и обкладках, представляющих собой круги радиусом $R_0 = 10$ нм. Диэлектрическую проницаемость SiO_2 ϵ принять равной 2,825. Какую энергию имеет этот конденсатор, если зарядить его обкладки зарядами $+e$ и $-e$, где e - заряд электрона. Считать, что заряды распределены по обкладкам равномерно, краевыми эффектами пренебречь.
5. Какую долю от населенности основного уровня составляет в равновесном состоянии населенность уровня с энергией 0,1 эВ при температуре 300 К (статистические веса принять равными единице)?
6. Какую энергию (в обратных сантиметрах) должен иметь энергетический уровень, чтобы его населенность составила 0,1 % населенности основного уровня (статистические веса принять равными единице)?
7. Верхний лазерный уровень в твердотельном лазере на стекле с неодимом имеет энергию около 12000 см^{-1} . Выразите эту энергию в электронвольтах.
8. Ненасыщенный показатель преломления рубинового лазера $k_0 = 0,1 \text{ см}^{-1}$, а длина активной среды $l = 10$ см. Найдите условие для коэффициента обратной связи β , при котором возможна генерация.

9. Активная среда оптического квантового генератора имеет коэффициент квантового усиления g и коэффициент потерь k . Зеркала резонатора одинаковые с коэффициентом отражения $r_{\text{отр}}$. Вычислите отношение когерентной выходной мощности P_0 к мощности P_k , поглощаемой в активном веществе, считая $P_0 \sim g - k$ и $P_k \sim k$. Покажите, что при длине стержня активного вещества больше критической поглощаемая в образце мощность становится больше мощности когерентного выходного излучения и в этом смысле оптический квантовый генератор становится неэффективным.

10. 7. Используя справочные данные, определите по обобщенному правилу Вегарда составы $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, которые без напряжений могут быть выращены на подложке InP .

2.3. Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Рассчитайте разрывы зон проводимости ΔE_c и валентной зоны ΔE_v , а также диффузионный потенциал ϕ_0 для гетероперехода $n\text{-Si-p-Ge}$. Постройте энергетическую диаграмму. Концентрацию мелких доноров в кремнии примите равной $N_d = 5 \cdot 10^{15} \text{см}^{-3}$, концентрацию мелких акцепторов в германии $N_a = 2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$.

2. Рассчитайте для идеального гетероперехода $n\text{-Si-p-Ge}$ из предыдущей задачи толщину обедненных слоев, напряженности полей на границе раздела и контактные разности потенциалов, приходящиеся на каждый материал. Постройте энергетическую диаграмму. Определите, какой высоты потенциальные барьеры стоят на пути встречного движения через переход основных носителей.

3. Используя правило Андерсона вычислите разрывы зоны проводимости и валентной зоны для гетероперехода: а) GaAs-AlAs и б) InAs-GaSb .

4. Используя правило Андерсона, нарисуйте зонную диаграмму при комнатной температуре для гетероструктуры $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As} - n\text{-GaAs}$. Какие типы зарядов, может захватывать данная структура на гетерогранице? Как изменится зонная диаграмма при приложении постоянного потенциала V ?

5. Схематически изобразите диаграмму p - n и n - p -переходов на основе гетероперехода II типа и в каком случае электроны и дырки могут «захватываться» на интерфейсе. Что изменится в случае нелегированного гетероперехода III типа (например, InAs-GaSb)?

6. Рассчитайте контактную разность потенциалов и изобразите энергетическую диаграмму pn -перехода на основе GaAs при следующих параметрах легирования: $N_D = 2 \cdot 10^{21} \text{м}^{-3}$, $N_A = 10^{23} \text{м}^{-3}$, $N_C = 4.7 \cdot 10^{23} \text{м}^{-3}$, $N_V = 7 \cdot 10^{24} \text{м}^{-3}$.

7. Диод из предыдущей задачи замените гетеропереходом между $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ и $p\text{-GaAs}$. Легирование Al меняется скачком. Сосчитайте положение уровня Ферми, нарисуйте диаграмму, и рассчитайте контактную разность потенциалов. Покажите, что

контактная разность потенциалов вычисляется как: $eV = E_{g(p)} + \Delta E_c - [E_{c(n)} - E_{F(n)}] - [E_{F(p)} - E_{v(p)}]$.

Две разности в скобках могут быть вычислены просто исходя из уровня легирования. Покажите, что эффект от замены GaAs на AlGaAs на n -стороне сводится к увеличению контактной разности потенциалов на ΔE_c .

8. Определите спектральный диапазон (или диапазон длин волн) работы фотоприемной матрицы на основе наногетероструктур для следующих параметров квантовых ям: $E_{g1} = 1,43$ эВ, $E_{g2} = 1,78$ эВ, $E_1 = 0,05$ эВ, $E_2 = 0,175$ эВ, середины запрещенных зон полупроводниковых материалов, составляющих квантовую яму, совпадают.

9. Определите минимальную площадь фотоприемной матрицы инфракрасного (ИК) диапазона спектра для передачи изображения телевизионного стандарта. Чувствительным элементом матрицы является многослойная наногетероструктура, содержащая $n = 50$ слоев квантовых ям и два контактных слоя общей толщиной $h_k = 2,67$ мкм. Считайте, что разделение фотоматрицы на элементы проводится с помощью изотропного травления. Минимально допустимые размеры поверхности чувствительного элемента d и окна для травления l составляют 1 мкм, толщины слоев узкозонного и широкозонного полупроводников, составляющих структуру квантовой ямы, $h_y = 5$ нм и $h_{ш} = 45$ нм соответственно, число строк изображения $N = 600$. Чувствительный элемент фотоматрицы имеет форму квадрата.

10. Определите долю мощности оптического излучения, поглощаемого в фотоприемнике на квантовых ямах. Излучение падает перпендикулярно к поверхности фотоприемника. Коэффициент поглощения излучения в узкозонном полупроводнике $\alpha = 7 \cdot 10^3$ см⁻¹, коэффициенты отражения от границ раздела узкозонного и широкозонного полупроводников $R_1 = 0,01$, $R_2 = 0,02$, толщина слоя узкозонного полупроводника $d = 5$ нм, число периодов фотоприемной структуры $n = 50$. Преобразовать ответ для $R_1 = R_2 = 0$. Объяснить полученный результат.

2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Микроэлектроника и нанoeлектроника, сравнительный анализ терминологии. Классификация элементов и приборов нанoeлектроники.
2. Важнейшие эффекты и процессы, проявляющиеся в элементах нанoeлектроники. Размерные эффекты. Эффекты масштабирования.
3. Физические ограничения нанoeлектроники. Фундаментальные ограничения на миниатюризацию элементов микроэлектроники и нанoeлектроники.
4. Двумерный электронный газ. Квантовые нити (проволоки). Вискеры. Квантовые точки.

5. Классификация микросхем по функциональным и конструкторско-технологическим признакам.
6. Элементы и компоненты микросхем. Активные элементы интегральных микросхем.
7. Особенности структуры биполярных транзисторов полупроводниковых микросхем.
8. Диодные структуры в микроэлектронике.
9. Транзисторные структуры специального назначения: многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, транзисторы с диодом Шоттки.
10. Конструктивные особенности МДП транзисторов интегральных микросхем.
11. Пассивные элементы интегральных микросхем.
12. Полупроводниковые и пленочные резисторы. Конденсаторы и индуктивные элементы
13. Дифференциальные усилители. Операционные усилители.
14. Интегральные аналоговые умножители, аналоговые коммутаторы и ключи, интегральные стабилизаторы напряжения.
15. Основные характеристики, физические процессы и применение МОП ИС. Логика р-МОП.
16. Основные уравнения р-МОП-транзистора. Логика nМОП. Рабочие характеристики транзистора n-МОП в режиме обогащения.
17. Основные уравнения транзистора типа n-МОП. Запоминающие устройства типа n-МОП.
18. Логика КМОП. Характеристики КМОП-приборов. Сравнение структур КМОП и n-МОП. Приборы КМОП с кремниевыми затворами.
19. Логические устройства типа КМОП-КНС и КМОП-КНД. Использование МОП-технологии в СБИС.
20. Зонная диаграмма изотипных и анизотипных гетероструктур.
21. Выбор материалов для гетеропереходов. Элементы на основе гетеропереходов. Гетеротранзисторы на основе одинарного и множественных гетеропереходов
22. . Характеристики и параметры биполярных гетеротранзисторов. Быстродействие гетеротранзисторов. Гетеротранзисторы на основе твердых растворов, обладающих повышенной подвижностью носителей зарядов.
23. Преимущества и недостатки гетеротранзисторов.
24. Элементы с напряженными полупроводниковыми нанослоями. СВЧ-элементы на основе твердого раствора кремния-германия.
25. Транзистор с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). НЕМТ, выполненные на основе твердых растворов полупроводниковых соединений.
26. Мощные транзисторы на двумерном электронном газе. НЕМТ, выполненные на основе нитрида галлия и алмаза. Использование в НЕМТ дельта-легированных слоев
27. Гетероструктурные транзисторы. Аналоговые транзисторы. Транзисторы на квантовых эффектах.
28. Элементы на основе фуллеренов и графенов. Графитовые нанотрубки и их применение в нанoeлектронике.
29. Полимерные нанотранзисторы. Микромеханические транзисторы.
30. Элементы нанoeлектроники, использующие эффект баллистического транспорта электронов.
31. Элементы на основе резонансного туннелирования. Полимерная электроника. Молекулярная электроника. Микросистемная техника.
32. Логические микросхемы на базе неклассических КМОП-структур и новых логических технологий.
33. Микросхемы памяти, формируемые в процессах КМОП-технологий и на базе других технологических платформ.
34. Нанoeлектронные ключи. Атомные переключающие устройства.
35. Элементы нанoeлектроники на основе отдельных атомов и молекул.

36. Спинтроника. Гигантское магнитосопротивление. Магнитная память. Энергонезависимая память на спин-зависимом туннелировании 54 60 нии.
37. Квантовые компьютеры. Принципы организации и функционирования. Кубиты. Элементы квантовых компьютеров.

3. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;
- если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;
- осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.