Государственное образовательное учреждение

«Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»

Физико-технический институт
Физико-математический факультет

Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ФФЭСС,
профессор С.И. Берил
(подпись, расшифровка подписи)
«_31_» __08__ 2023г

Фонд оценочных средств

по дисциплине **«Наноэлектроника»**

Направление подготовки:
11.03.04 «ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»
Профиль подготовки:
«Промышленная электроника»

Квалификация выпускника:
Бакалавр

Форма обучения:
очная
год набора 2020

Разработал: доцент
В.И. Чукита
(подпись, расшифровка подписи)
«_31__» _____08_____ 2023г.

Тирасполь 2023 г.

Паспорт фонда оценочных средств по учебной дисциплине

В результате изучения дисциплины **«Наноэлектроника»** у обучающихся должны быть сформированы следующие компетенции:

Категория компетенций	Код и наименование	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции
Универсальные компетенции выпускников и индикаторы их достижения		
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	ИД-1$_{УК-1}$ Знает: методы критического анализа; основные принципы критического анализа. ИД-2$_{УК-1}$ Умеет: получать новые знания на основе анализа, синтеза и др.; собирать данные, относящиеся к профессиональной области; осуществлять поиск информации и решений на основе действий, эксперимента и опыта. ИД-3$_{УК-1}$ Владеет: исследованием проблемы профессиональной деятельности с применением анализа; синтеза и других методов интеллектуальной деятельности; методами для решения научных проблем и возникающих проблемных профессиональных ситуаций.
Разработка и реализация проектов	УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	ИД-1$_{УК-2}$ Знает: принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе ИД-2$_{УК-2}$ Умеет: обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; анализировать проектную документацию; рассчитывать качественные и количественные результаты, сроки выполнения проектной работы ИД-3$_{УК-2}$ Владеет: методами реализации проекта в профессиональной области; организацией проведения профессионального обсуждения проекта, участием в ведении проектной документации; проектированием план графика реализации проекта; определением требований к результатам реализации проекта, участием в научных дискуссиях и круглых столах.
Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения		
Исследовательская деятельность	ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные	ИД-1$_{ОПК-2}$ Знает методы синтеза и исследования моделей. ИД-2$_{ОПК-2}$ Умеет адекватно ставить задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов

	приемы обработки и представления полученных данных	математического моделирования. ИД-3$_{ОПК-2}$ Владеет навыками методологического анализа научного исследования и его результатов.
Владение информационными технологиями	ОПК-3. Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности	ИД-1$_{ОПК-3}$ Знает принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности. ИД-2$_{ОПК-3}$ Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности. ИД-3$_{ОПК-3}$ Владеет методами математического моделирования радиотехнических устройств и систем, технологических процессов с использованием современных информационных технологий.
Обязательные профессиональные компетенции и индикаторы их достижения		
	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	ИД-1$_{ПК-1}$ Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков. ИД-2$_{ПК-1}$ Владеет навыками компьютерного моделирования.
	ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.	ИД-1ПК-2 Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков. ИД-2ПК-2 Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.

	ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ИД-1$_{ПК-3}$ Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов. ИД-2$_{ПК-3}$ Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов. ИД-3$_{ПК-3}$ Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем.

1. Программа оценивания контролируемой компетенции:

Текущая аттестация	Контролируемые модули, разделы (темы дисциплины и их наименование	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Разделы 1-6	УК-1, УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3.	Перечень вопросов для защиты лабораторных и практических работ. Контрольная работа, практическая работа.
Промежуточная аттестация		**Код контролируемой компетенции (или ее части)**	**Наименование оценочного средства****
Зачет с оценкой		УК-1, УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3.	Вопросы к зачету

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО»
Физико-технический институт
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

Перечень вопросов к защите практических работ:

1. Что такое наноэлектроника?
2. Что такое низкоразмерная структура?
3. Что такое наноразмерная структура?
4. Какие электронные волны могут существовать в квантовом колодце, размеры которого соизмеримы с длиной волны электрона?
5. Каким соотношением описывается спектр разрешенных энергетических состояний электронов в прямоугольной и параболической квантовых ямах?
6. Какой критерий используется для классификации элементарных низкоразмерных структур?
7. Что такое квантовая пленка, квантовый шнур, квантовая точка?
8. Формирование квантовых колодцев из полупроводниковых материалов.
9. Что такое двумерный электронный газ?
10. Что такое длина свободного пробега носителей заряда?
11. Что такое баллистический транспорт носителей заряда?
12. Какими параметрами характеризуют транспорт носителей заряда в твердотельных структурах?
13. Как относятся средние длины свободного пробега носителей заряда при неупругом и упругом рассеянии?
14. Чему равна квантовая единица проводимости?
15. Что такое квантовый точечный контакт?
16. Что такое реконструкция поверхности кристалла?
17. Каковы структурные особенности нереконструированной поверхности кристалла?
18. К чему приводит адсорбция примесных атомов на поверхности кристалла?
19. Что такое межфазная граница?
20. Чем определяется резкость межфазной границы?
21. Что такое сверхрешетка?
22. Что такое псевдоморфная сверхрешетка и каковы требования к формирующим ее материалам?
23. Что такое напряженная сверхрешетка и при каких условиях она образуется?

24. Как формулируется правило Вегарда?
25. Как сформировать квантовый колодец из полупроводниковых материалов?
26. Что такое сродство к электрону?

Критерии оценки:

- «отлично» - отличное владение всеми компетенциями, в ответе отлично ориентирован (либо возможны единичные незначительные ошибки) в механизмах физических процессов; легко их объясняет, отлично владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная научная литература.
- «хорошо» - хорошее владение необходимыми компетенциями, ответ выше среднего уровня, допускает 1-2 ошибки в знании отдельных физических процессов, но не в построении общей логической цепи, очень хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная учебная литература.
- «удовлетворительно» - значительное количество недостатков в знании физических процессов, цепь логических рассуждений в объяснении механизмов оказывается не полной, относительно хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована только основная учебная литература.
- «неудовлетворительно» - владеет не всеми необходимыми компетенциями, с материалом качественно не знаком, не способен выстраивать логические связи на основании предыдущего материала или учебного материала, полученных на других дисциплинах.

Составитель: _____ доцент В. И. Чукита
«31» 08 2024

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО»
Физико-технический институт
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

Примерные задания для практических работ:

Практическая работа №1

1. Рассчитать и построить графически соотношение между шириной одномерной прямоугольной потенциальной ямы с бесконечной высотой барьера и энергией первого разрешенного состояния E_1 в ней, варьируемой в диапазоне от 0,05 эВ до 2 эВ для электронов с эффективными массами $m^* = 0{,}05m_0$; 0,10m0; $0{,}15m_0$.

Контрольные вопросы к практической работе №1

1. Что такое наноэлектроника?
2. Что такое низкоразмерная структура?
3. Что такое наноразмерная структура?

Практическая работа №2

1. Рассчитать и построить графически соотношение между шириной квантовой прямоугольной потенциальной ямы с высотой барьера U_0 = 0,5; 1,0; 3,0 эВ и энергией первого разрешенного состояния $E1 = 0{,}05U_0$; $0{,}1U_0$; $0{,}3U_0$; $0{,}5U_0$ для электронов с эффективной массой $m^* = 0{,}06m_0$.

Контрольные вопросы к практической работе №2

1. Какие электронные волны могут существовать в квантовом колодце, размеры которого соизмеримы с длиной волны электрона?
2. Каким соотношением описывается спектр разрешенных энергетических состояний электронов в прямоугольной и параболической квантовых ямах?
3. Какой критерий используется для классификации элементарных низкоразмерных структур?

Практическая работа №3

1. Рассчитать распределение электронов в колодце в области двумерного электронного газа модулированно-легированной структуры AlGaAs/GaAs d в эффективном поле на границе $F_S = 10^7$ В/м при комнатной температуре. Концентрацию доноров в GaAs принять равной $4 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$.

2. **Контрольные вопросы к практической работе №3**

   1. Что такое квантовая пленка, квантовый шнур, квантовая точка?
   2. Формирование квантовых колодцев из полупроводниковых материалов.
   3. Что такое двумерный электронный газ?

Критерии оценки:

- «отлично» - отличное владение всеми компетенциями, в ответе отлично ориентирован (либо возможны единичные незначительные ошибки) в механизмах физических процессов; легко их объясняет, отлично владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная научная литература.
- «хорошо» - хорошее владение необходимыми компетенциями, ответ выше среднего уровня, допускает 1-2 ошибки в знании отдельных физических процессов, но не в построении общей логической цепи, очень хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная учебная литература.
- «удовлетворительно» - значительное количество недостатков в знании физических процессов, цепь логических рассуждений в объяснении механизмов оказывается не полной, относительно хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована только основная учебная литература.
- «неудовлетворительно» - владеет не всеми необходимыми компетенциями, с материалом качественно не знаком, не способен выстраивать логические связи на основании предыдущего материала или учебного материала, полученных на других дисциплинах.

Составитель: _____ доцент В. И. Чукита

«31» 08 2024 г.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО»
Физико-технический институт
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

Перечень вопросов к защите лабораторных работ:

1. Что такое низкоразмерная структура?
2. Что такое наноразмерная структура?
3. Какие электронные волны могут существовать в квантовом колодце, размеры которого соизмеримы с длиной волны электрона?
4. Каким соотношением описывается спектр разрешенных энергетических состояний электронов в прямоугольной и параболической квантовых ямах?
5. Какой критерий используется для классификации элементарных низкоразмерных структур?
6. Что такое квантовая пленка, квантовый шнур, квантовая точка?
7. Формирование квантовых колодцев из полупроводниковых материалов.
8. Что такое двумерный электронный газ?
9. Что такое длина свободного пробега носителей заряда?
10. Что такое баллистический транспорт носителей заряда?
11. Какими параметрами характеризуют транспорт носителей заряда в твердотельных структурах?
12. Как относятся средние длины свободного пробега носителей заряда при неупругом и упругом рассеянии?
13. Чему равна квантовая единица проводимости?
14. Что такое квантовый точечный контакт?
15. Что такое реконструкция поверхности кристалла?
16. Каковы структурные особенности нереконструированной поверхности кристалла?
17. К чему приводит адсорбция примесных атомов на поверхности кристалла?
18. Что такое межфазная граница?
19. Чем определяется резкость межфазной границы?
20. Что такое сверхрешетка?
21. Что такое псевдоморфная сверхрешетка и каковы требования к формирующим ее материалам?
22. Что такое напряженная сверхрешетка и при каких условиях она образуется?
23. Как формулируется правило Вегарда?

24. Как сформировать квантовый колодец из полупроводниковых материалов?
25. Что такое сродство к электрону?
26. Что такое работа выхода электрона?

Критерии оценки:

- «отлично» - отличное владение всеми компетенциями, в ответе отлично ориентирован (либо возможны единичные незначительные ошибки) в механизмах физических процессов; легко их объясняет, отлично владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная научная литература.
- «хорошо» - хорошее владение необходимыми компетенциями, ответ выше среднего уровня, допускает 1-2 ошибки в знании отдельных физических процессов, но не в построении общей логической цепи, очень хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная учебная литература.
- «удовлетворительно» - значительное количество недостатков в знании физических процессов, цепь логических рассуждений в объяснении механизмов оказывается не полной, относительно хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована только основная учебная литература.
- «неудовлетворительно» - владеет не всеми необходимыми компетенциями, с материалом качественно не знаком, не способен выстраивать логические связи на основании предыдущего материала или учебного материала, полученных на других дисциплинах.

Составитель: _____ доцент В. И. Чукита

«21» 08 2024г.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО»
Физико-технический институт
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

Примерные задания для контрольной работы:

Контрольная работа

Вариант 1

1. Рассчитать значение ширины прямоугольной потенциальной ямы, при котором энергетический зазор между первым и вторым разрешенными состояниями в ней был равен от 0,05; 0,1 и 0,13 эВ при эффективной массе электронов $m^* = 0{,}06m_0$ и высоте барьера с бесконечной высотой барьера $U_0 = 2{,}0$ эВ и $U_0 = \infty$.
2. Формирование квантовых колодцев из полупроводниковых материалов.

Вариант 2

1. Рассчитать и построить график зависимости концентрации электронов в квантовой яме, квантовом шнуре и квантовой точке при комнатной температуре от положения уровня Ферми относительно дна зоны проводимости ($E_F - E_C$) в полупроводнике, из которого они изготовлены. Ширина квантовой ямы – 10 нм, сечение квантового шнура – 10 х 10 нм^2, размеры квантовой точки - 10 х 10 х 10 нм^3. Эффективная масса электрона - $m^* = 0{,}07m_0$. Отношение $(E_F - E_C)/(kT)$ варьировалось в пределах от – 4 до + 10.
2. Параметры, характеризующие транспорт носителей заряда в твердотельных структурах.

Критерии оценки:

- «отлично» - отличное владение всеми компетенциями, в ответе отлично ориентирован (либо возможны единичные незначительные ошибки) в механизмах физических процессов; легко их объясняет, отлично владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная научная литература.
- «хорошо» - хорошее владение необходимыми компетенциями, ответ выше среднего уровня, допускает 1-2 ошибки в знании отдельных физических процессов, но не в построении общей логической цепи, очень хорошо владеет

практическими навыками; в подготовке использована дополнительная учебная литература.

- «удовлетворительно» - значительное количество недостатков в знании физических процессов, цепь логических рассуждений в объяснении механизмов оказывается не полной, относительно хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована только основная учебная литература.
- «неудовлетворительно» - владеет не всеми необходимыми компетенциями, с материалом качественно не знаком, не способен выстраивать логические связи на основании предыдущего материала или учебного материала, полученных на других дисциплинах.

Составитель: _____ доцент В. И. Чукита
«31» 08 2021 г.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО»

Физико-технический институт

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

Вопросы к промежуточной аттестации:

Вопросы к зачету по предмету: «Наноэлектроника»:

1. Фундаментальные явления в наноразмерных структурах.
2. Квантовое ограничение движения электрона (дырок) в низкоразмерной структуре.
3. Баллистический транспорт носителей заряда в твердотельных структурах.
4. Туннелирование носителей заряда через область, ограниченную потенциальным барьером.
5. Спиновые эффекты в наноразмерных структурах.
6. Свободная поверхность твердого тела и межфазные границы между материалами с различными физическими свойствами.
7. Образование напряженной и релаксационной сверхрешеток.
8. Формирование квантовых колодцев из полупроводниковых материалов.
9. Электронные процессы в модуляционно-легированных структурах.
10. Энергетическая диаграмма в дельта-легированной полупроводниковой структуре.
11. Структура полевого транзистора металл-диэлектрик-полупроводник и его энергетическая диаграмма.
12. Структуры с расщепленным затвором, обеспечивающие формирование одномерных и нульмерных элементов.
13. Фазовая интерференция электронных волн в твердотельных структурах с нанометровыми размерами.
14. Электрические свойства низкоразмерных структур.
15. Квантовый эффект Холла.
16. Конструкция и принцип действия квантово интерференционного транзистора.
17. Приборы на баллистических отраженных электронах.
18. Одноэлектронное туннелирование в двухбарьерных структурах.
19. Приборы на основе одноэлектронного туннелирования.
20. Одноэлектронная ловушка и ячейка динамической памяти.
21. Резонансное туннелирование электронов в низкоразмерной структуре.
22. Приборы на основе резонансного туннелирования электронов.

Критерии оценки:

- «отлично» - отличное владение всеми компетенциями, в ответе отлично ориентирован (либо возможны единичные незначительные ошибки) в механизмах физических процессов; легко их объясняет, отлично владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная научная литература.
- «хорошо» - хорошее владение необходимыми компетенциями, ответ выше среднего уровня, допускает 1-2 ошибки в знании отдельных физических процессов, но не в построении общей логической цепи, очень хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована дополнительная учебная литература.
- «удовлетворительно» - значительное количество недостатков в знании физических процессов, цепь логических рассуждений в объяснении механизмов оказывается не полной, относительно хорошо владеет практическими навыками; в подготовке использована только основная учебная литература.
- «неудовлетворительно» - владеет не всеми необходимыми компетенциями, с материалом качественно не знаком, не способен выстраивать логические связи на основании предыдущего материала или учебного материала, полученных на других дисциплинах.

Составитель: _____ доцент В. И. Чукита

«31» 08 2024 г.