

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению **11.03.04 Электроника и наноэлектроника** и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор А.А.Саркисян



Инженерно-Физический институт

Кафедра: Квантовая и оптическая электроника

Автор: канд.физ.-мат.наук Кафадарян Евгения Артёмовна

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.ДВ.07.02 Современные экспериментальные методы исследования тонких пленок и наноструктур

Направление: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

ЕРЕВАН 2023

1. Аннотация

1.1 Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления).

Дисциплина тесно связана с физикой твердого тела, кристаллографией, оптикой, наноструктурными материалами, полупроводниковой физикой, микро- и наноэлектроникой, входит в цикл специальных дисциплин и является обязательной для изучения. В курсе излагаются современные методы исследования наноструктурированных материалов, нанокomпозитов, тонких пленок, их особенности, классификация. Представлены методы измерения, анализа и контроля наноструктур и полупроводниковых материалов, основы анализа поверхности и микроскопические методы изучения элементного состава, структуры и геометрических параметров наноразмерных частиц и материалов, основы технологии изготовления наноструктурированных и тонкопленочных материалов, а также перспективы применения и развития новых технологий, вопросы и проблемы микроминиатюризации изделий на основе наноструктурированных материалов. Лабораторные работы составлены в соответствии с программой дисциплины.

1.2 Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)

Для изучения данной дисциплины необходимы знания в области физики, физической химии, физики твердого тела, оптики и кристаллографии. Уметь хорошо разбираться в актуальных фундаментальных и прикладных вопросах полупроводниковой физики. Владеть принципами и методикой постановки различных лабораторных работ по физике. Должны уметь интерпретировать результаты проводимых исследований.

1.3 Предварительное условие для прохождения (дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)

Для успешного освоения данного курса студенты должны иметь необходимую базу по физике твердого тела, физике полупроводников, оптики, кристаллографии, микро- и наноэлектронике. Студенты должны знать правила безопасности работы в физической лаборатории.

2.Содержание

2.1 Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины направлено на ознакомление студентов с основными методами анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем, связанными с исследованием их физических свойств, элементного состава, структуры и геометрических параметров наноразмерных частиц и материалов; экспериментальной реализации методов анализа наноструктурированных материалов и систем; получение знаний о современных достижениях в развитии методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем; формирование у студентов современного понимания основных научно-технических проблем и перспектив в области наноэлектроники. Изучение данной дисциплины способствует получению знаний и практических навыков, необходимых для самостоятельного проведения исследований на современном научно-методическом уровне.

2.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- классификацию основных методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;
- физические принципы и сущность явлений, на которых основаны методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;
- базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве для контроля синтеза материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.

2. должен уметь:

- применять полученные знания для совершенствования технологических процессов;
- применять современные методы оперативного контроля основных параметров тонкопленочного покрытия и методов исследования тонкопленочных материалов и свойств поверхности;
- осуществлять постановку целей и задач работы при выполнении научных исследований и организации опытно-промышленного производства;
- применять современные методы исследования для синтеза и анализа материалов и компонентов нано и микросистемной техники;
- применять методы анализа и обработки экспериментальных данных, систематизации научно-технической информации.

3. должен владеть:

- навыками работы на современных установках по получению тонких пленок и модификации их свойств, а также навыками работы на современных приборах по исследованию поверхности и тонких пленок
- методами обработки и оценки погрешности результатов измерений.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- выбора методов и средств анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;
- проводить экспериментальные исследования по анализу и контролю материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
- анализировать и систематизировать результаты исследований, обрабатывать и представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

2.3 Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы

2.3.1 Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в ак. час.
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	108(3 кр)
1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	72
1.1. Лекции	36
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	-
1.4. Лабораторные работы	36
2. Самостоятельная работа, в т.ч.	36
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	36
Итоговый контроль	Зачет

2.3.2 Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. занят. (ак. часов)	Семинары (ак. часов)	Лаб. занят. (ак. часов)
1	2=3+6	3	4	5	6
Модуль 1.					
Введение	1	1	-	-	-
Раздел 1. Основные методы измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов и структур.	21	9	-	-	12
Тема 1. Двухзондовый и четырехзондовый методы измерения удельного сопротивления. Бесконтактные методы измерения удельного сопротивления.	10	4	-	-	6
Тема 2. Метод Ван-дер-Пау. Измерение концентрации носителей заряда на основе эффекта Холла.	3	3	-	-	-
Тема 3. Вольт-фарадные методы измерения параметров полупроводников. Оптический способ измерения толщины пленок	8	2	-	-	6
Раздел 2. Измерение параметров неравновесных носителей заряда	27	15	-	-	12
Тема 4. Время жизни, подвижность, диффузная длина и коэффициент диффузии неравновесных носителей заряда. Методы измерения дрейфовой подвижности и диффузионной длины неосновных носителей заряда. Метод движущего светового луча.	4	4	-	-	-
Тема 5. Монополярная и биполярная световая генерация. Измерение времени жизни носителей заряда методом модуляции проводимости в точечном контакте.	4	4	-	-	-
Тема 6. Измерение фотопроводимости и фото-эдс. Измерение времени жизни носителей заряда методом затухания фотопроводимости.	8	2	-	-	6
Тема 7. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Метод подвижного светового зонда для измерения диффузионной длины. Измерение коэффициента диффузии методом движущегося светового луча.	3	3	-	-	-
Тема 8. Контактные явления. Работа выхода. Переходы на основе контакта Шоттки, металл-полупроводник, p-n переходы.	2	2	-	-	-

Тема 9. Измерение концентрации, проводимости и подвижности свободных носителей заряда в полупроводниках оптическим методом.	6	-	-	-	6
Раздел 3. Взаимодействие излучения с веществом и методы анализа поверхности.	23	11	-	-	12
Тема 10. Спектры поглощения, пропускания и отражения полупроводников, спектрофотометры, монохроматоры.	2	2	-	-	-
Тема 11. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника. Прямые и непрямые переходы.	2	2	-	-	-
Тема 12. Спектрометрия поверхности. Методы изучения элементного состава микрообъемов. Атомные столкновения и спектроскопия обратного рассеяния.	2	2	-	-	-
Тема 13. Масс-спектроскопия вторичных ионов. Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная и оже спектроскопия.	4	4	-	-	-
Тема 14. Электронный сканирующий микроскоп и микроанализ систем. Принципы туннельной и атомно-силовой микроскопии.	7	1	-	-	6
Тема 15. Рентгеновские методы исследования состава и структуры тел.	6	-	-	-	6
ИТОГО	72	36	-	-	36

2.3.3 Содержание разделов и тем дисциплины

Модуль 1.

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Классификация методов диагностики материалов и структур электроники. Краткое представление о фотонике и спинтронике.

Литература:

- 1) З. С. , Физика полупроводниковых приборов. Вступление. М.: Мир, 1988. 2) Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. Введение. М.: Мир, 1989 г.
- 2) Журналы: В мире науки 2010, № 3, 11-12 , Наука и жизнь, 2007, Физика, авторы: Дэвид Ошалом. Роберт Майерс, Ю. Като (2007); 2 фильма лекций Ж. Алферова.

Раздел 1. Основные методы измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов и структур.

Тема 1. Двухзондовый и четырехзондовый методы измерения удельного сопротивления. Метод Ван-дер-Пау. Бесконтактные методы измерения удельного сопротивления (индуктивный метод, емкостный метод).

Тема 2. Измерение концентрации носителей заряда на основе эффекта Холла.

Тема 3. Вольт-фарадные методы измерения параметров полупроводников. Электронная теория приповерхностной области пространственного заряда. Дифференциальная поверхностная емкость. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Зависимость дифференциальной емкости от частоты. Методы измерения поверхностного заряда МДП структуры. Измерение объемного генерационного времени носителей заряда. Определение параметров диэлектрических пленок МДП структур.

- 1) Павлов Л.И. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1987 г., глава 5, стр. 155.

Раздел 2. Измерение параметров неравновесных носителей заряда.

Тема 4. Время жизни, подвижность, диффузная длина и коэффициент диффузии неравновесных носителей заряда, скорость поверхностной рекомбинации. Методы измерения дрейфовой подвижности и диффузной длины неосновных носителей заряда. Метод движущего светового луча. 1) Павлов Л.И. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1987 г., глава 3, стр. 81-111. К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., глава 7, стр. 221-228.

Тема 5. Монополярная и биполярная световая генерация. Максвеловское время релаксации. Измерение времени жизни носителей заряда методом модуляции проводимости в точечном контакте. 1) Павлов Л.И., Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1987 г., глава 3, стр.105, 2) К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., глава 7, стр. 221-228,

Тема 6. Измерение фотопроводимости и фото-эдс. Измерение времени жизни носителей заряда методом затухания фотопроводимости. Фазовый метод измерения времени жизни носителей заряда. 1) Павлов Л.И. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1987 г., глава 4, стр.112, 2) К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., стр. 387-249, глава13.

Тема 7. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости. Метод подвижного светового зонда для измерения диффузионной длины. Измерение коэффициента диффузии методом движущегося светового луча. Измерение

диффузионной длины неосновных носителей заряда с помощью фотемагнитоэлектрического эффекта. 1) Павлов Л.И. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1987 г., стр., 2) К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., стр. 249, глава 8.

Тема 8. Контактные явления. Работа выхода. Переходы на основе контакта Шоттки, металл-полупроводник, р-п переходы. 1) К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., глава 9, стр. 266-295; 2) Зи С. Физика полупроводниковых приборов, глава 8, стр.298.

Тема 9. Измерение концентрации, проводимости и подвижности свободных носителей заряда в полупроводниках оптическим методом. Кафадарян Е. А. Лабораторный практикум для студентов.

Раздел 3. Взаимодействие излучения с веществом и методы анализа поверхности.

Тема 10. Характеристика излучения. Спектры поглощения, пропускания и отражения полупроводников, спектрофотометры, монохроматоры. Измерение концентрации, проводимости и подвижности свободных носителей заряда в полупроводниках оптическими методами.

К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., глава 11, стр. 323.

Тема 11. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника. Прямые и не прямые переходы. Люминесценция полупроводников.

К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г., глава 11, стр. 325.

Тема 12. Спектрометрия поверхности, спектрометры, основные понятия, единицы измерения физических величин. Методы изучения элементного состава микрообъемов. Атомные столкновения и спектроскопия обратного рассеяния. Сечение рассеяния и прицельный параметр. 1) Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. - М.: Мир, 1989 г., глава 1, стр.16, глава 2 , стр. 24.

Тема 13. Масс-спектроскопия вторичных ионов. Общие понятия. Распыление ионной бомбардировкой. 1) Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. - М.: Мир, 1989 г., глава 4, стр. 78.

Электронная спектроскопия. Основные и валентные уровни. Анализ энергии в электронной спектроскопии. Рентгеновская фотоэлектронная и оже спектроскопия. Источники фотонов. Химические сдвиги.

1) Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. - М.: Мир, 1989 г., глава 9, стр. 211; глава 11, стр. 250.

Тема 14. Электронный сканирующий микроскоп и микроанализ систем. Принципы туннельной и атомно-силовой микроскопии.

Тема 15. Рентгеновские методы исследования состава и структуры твердых тел. Спектры рентгеновских лучей. Формула Вульфа-Брегга. Метод Дебая-Шеррера. Метод Лауэ. Интерпретация рентгеновских дифрактограмм полупроводниковых структур с различными типами кристаллических решеток и различной степенью разупорядоченности.

1) Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. - М.: Мир, 1989 г.

2.4 Распределение весов по модулям и формам контроля

Формы контролей	Весы форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей			Весы форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей			Весы оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей			Весы итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей	Весы результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 ¹	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Вид учебной работы/контроля											
<i>Контрольная работа</i>						0,4					
Тест			0,3								
<i>Курсовая работа</i>											
Лабораторные работы			0,4								
<i>Письменные домашние задания</i>											
<i>Реферат</i>											
<i>Эссе</i>											
Другие формы (устный опрос)			0,3			0,6					
<i>Другие формы (Указать)</i>											
<i>Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей</i>											
<i>Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей</i>											
<i>Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей</i>										0	
<i>Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей</i>										0	
<i>Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей</i>										1	
<i>Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля</i>											0

¹ Учебный Модуль

Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)											1
	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$

3. Теоретический блок

3.1 Материалы по теоретической части курса

3.1.1 Учебник(и)

а) Основная литература

1. Павлов Л.И. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. - М.: Высшая школа, 1987 г., 239 с.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т 1,2. – М.: Мир, 1988.
3. Бублик В.Т., Дубровина А.Н. Методы исследования структуры полупроводников и металлов. - М.: Высшая школа, 1987 г., 272 с.
4. К. В. Шалимова. “Физика полупроводников”, Энергия, Москва, 1976г.
5. Бублик В.Т., Дубровина А.Н. Сборник задач и упражнений по курсу “Методы исследования структур”. - М.: Высшая школа, 1988 г., 190 с.
6. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. - М.: Мир, 1989 г.
7. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989 г

б) Дополнительная литература:

8. Петров Н.Н., Абрян И.А. Диагностика поверхности с помощью ионных пучков. – Л.:Изд.ЛГУ, 1987 г.
9. Зигбан К., Нордлинг К., Фальман и др. Электронная спектроскопия.-М.:Мир, 1971г.
10. Анализ поверхности методом Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Под ред. Д. Бриггса и М.П. Сиха - М.:Мир, 1987 г.
11. Измерения и контроль в микроэлектронике. Под ред. Сазонова А.А. - М.: высшая школа,1984 г.
12. Микроанализ и растровая электронная микроскопия. Под ред. Ф. Морис, Л. Мени, Р. Тиксье. М.: Металлургия, 1985 г.

4. Практический блок

4.1 Лабораторный практикум

1. Измерение удельного сопротивления пленочных образцов четырехзондовым методом. Вольт-амперные характеристики полупроводников.
2. Определение толщины тонких пленок оптическим методом. Спектрофотометры СФ-8 (ЛОМО), Specord M-40.
3. Сканирующий электронный микроскоп. Изучение микросостава и структуры вещества. Scanning Electron Microscopes VEGA TS-5130 MM и Analytical System INCA Energy 300.
4. Измерение фотопроводимости и фотовольтаического сигнала полупроводников. Определение времени жизни фотовозбужденных носителей. Виртуальные приборы в системе LABview.
5. Рентгеновские методы идентификации состава и структуры твердых тел. Интерпретация рентгеновских дифрактограмм структур с различными типами кристаллических решеток и различной степенью разупорядоченности.
6. Измерение концентрации, подвижности свободных носителей заряда с помощью спектров отражения. Компьютерная программа анализа и обработки спектральной информации.

5. Материалы по оценке и контролю знаний

5.1 Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

5.1.1 Зачетные вопросы

1. Измерение, элементы измерения, средство измерения, метод измерения
2. Погрешность измерения, способы обработки результатов измерений
3. Методы измерения удельного сопротивления полупроводников. Двухзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. Погрешность метода, источники погрешности измерения.
4. Четырехзондовый метод. Теория метода. Линейное расположение зондов. Расположение зондов по вершинам квадрата. Электрическая схема и методика измерения. Применение 4-х зондового метода к образцам простой геометрической формы. Граничные условия.
5. Метод Ван-дер-Пау. Сущность метода. Вид поправочной функции. Формы образцов. Схема измерения.

6. Метод сопротивления растекания. Сущность метода. Методика измерения. Требования к зондам.
7. Бесконтактные методы измерения удельного сопротивления (индуктивный метод, емкостный метод).
8. Измерение концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках. Эффект Холла. Что такое сильное и слабое магнитное поле. Угол Холла при дырочной и электронной электропроводности. Измерение подвижности свободных носителей заряда. Методика измерений источники погрешности.
9. Оптический метод измерения концентрации, сопротивления и подвижности свободных носителей заряда в полупроводниках. Время жизни свободных носителей и методы измерения. Поглощение света свободными носителями заряда. Метод определения концентрации и времени жизни свободных носителей в полупроводниковых пленках.
10. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Дифференциальная емкость МДП-структуры. Зависимость дифференциальной емкости от частоты. Электронная теория приповерхностной области пространственного заряда. Эффект поля.
11. Равновесные и неравновесные носители заряда. Измерение дрейфовой подвижности неосновных носителей заряда. Монополярная и биполярная световая генерация. Максвелловское время релаксации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости.
12. Метод подвижного светового зонда для измерения диффузионной длины. Схема измерения.
13. Измерение коэффициента диффузии методом движущегося светового луча. Методика измерения.
14. Фотопроводимость. Метод измерения затухания фотопроводимости.
15. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника из спектров пропускания.
16. Контактная разность потенциалов, контакт металл-полупроводник, работа выхода, определение р-п переходов. Контакты Шоттки. Расчет барьера Шоттки.
17. Атомные столкновения и спектроскопия обратного рассеяния.
18. Масс-спектроскопия вторичных электронов. Суть метода.
19. Рентгеновская фотоэлектронная и Оже спектроскопия (РФЭС, XPS)
20. Сканирующий туннельный зондовый микроскоп и атомно-силовая микроскопия.

5.1.2 Образцы тестов

1. Двухзондовый метод применяется для измерения удельного сопротивления:

1. образцов произвольной формы
2. образцов правильной геометрической формы
3. полубесконечных образцов

2. Сопротивление примесного полупроводника n -типа при $T=0$ К:

1. Равно нулю
2. Равно бесконечности
3. Зависит от концентрации примеси
4. Зависит от положения уровня Ферми

3. Наличие легирующей донорной примеси в полупроводнике:

1. Смещает уровень Ферми в сторону валентной зоны
2. Не изменяет положение уровня Ферми
3. Смещает уровень Ферми в сторону зоны проводимости
4. Увеличивает количество дырок в валентной зоне

4. При приложении к p - n переходу напряжения в прямом направлении:

1. Возрастает ток основных носителей заряда.
2. Возрастает ток неосновных носителей заряда
3. Ток не меняется
4. Ток основных носителей заряда компенсируется током неосновных носителей заряда

5. Метод Ван-дер-Пау применяется для:

1. толстых образцов произвольной формы
2. образцов правильной геометрической формы
3. полубесконечных образцов
4. тонких пластин произвольной формы

6. При выводе формулы четырехзондового метода измерения удельного сопротивления приняты допущения, что:

1. образец легирован однородно
2. образец имеет ограниченные размеры со всех сторон
3. образец ограничен с одной стороны плоской поверхностью
4. образец имеет правильную геометрическую форму

7. Прямоугольный образец полупроводника n -типа с размерами $l=50$ мм,

$w=5$ мм, $d=1$ мм помещен в магнитное поле с индукцией 0.5 Тл, перпендикулярное плоскости образца.

Под действием напряжения 0.42 В вдоль образца протекает ток 20 мА. Величина ЭДС Холла равна 6.25 мВ. Чему равно удельное сопротивление образца и холловская подвижность?

1. $0,21$ Ом·м, $29,76$ м²/В·с
2. 0.42 Ом·м, 6.25 м²/В·с

3. $2.5 \text{ Ом}\cdot\text{м}, 5.5 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$
4. $5 \text{ Ом}\cdot\text{м}, 45 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$

8. Для чего вместе с ЭДС Холла обычно измеряют удельную проводимость образца?

1. для определения концентрации примесей
2. для определения концентрации носителей
3. для определения Холл-фактора
5. для определения холловской подвижности

9. Как зависит коэффициент поглощения α прямого полупроводника от энергии квантов света $h\nu$?

1. α линейно зависит от $h\nu$
2. α^2 линейно зависит от $h\nu$
3. α экспоненциально зависит от $h\nu$
4. α логарифмически зависит от $h\nu$

10. Как создаются неравновесные носители заряда в методе подвижного зонда для измерения коэффициента диффузии:

1. путем освещения образца
2. путем нагревания образца
3. инжекции из эмиттера
4. за счет сильного электрического поля (Объяснить ответ)

11. При монополярной световой генерации при облучении полупроводника светом происходит:

1. переброс электронов с донорных уровней в зону проводимости
2. переброс электронов из валентной зоны в зону проводимости
3. переброс электронов с донорных уровней в зону валентную (Объяснить ответ)

12. В чем главные причины погрешности измерений метода Ван-дер-Пау?

1. Неточность средств измерений
2. Влияние внешних факторов
3. Протяженность омических контактов к образцу
4. Погрешность измерения толщин образца (Объяснить ответ)

13. При приложении к p-n переходу напряжения в прямом направлении

1. Возрастает ток основных носителей заряда.
 2. Возрастает ток неосновных носителей заряда.
 3. Ток не меняется.
 4. Ток основных носителей заряда компенсируется током неосновных носителей заряда.
- (Объяснить ответ)

14. Отрицательное значение коэффициента Холла означает, что образец:

1. высокоомный
2. собственной проводимости
3. электронного типа проводимости
4. дырочного типа проводимости

5.1.3 Примерные темы контрольных работ

1. Что такое p-n переход, описать принцип работы и чем он отличается от перехода Шоттки. Барьерная емкость и толщина области объемного заряда /от чего зависит/.

Энергетическая диаграмма p-n перехода.

2. Условие слабого и сильного магнитного поля, какими параметрами оно определяется в эффекте Холла. Если скорость носителей заряда определяется электрическим полем, то в какую сторону отклоняются электроны и дырки под действием силы Лоренца? Метод измерения ЭДС Холла.

3. Контакт металл-полупроводник. Шоттки барьер – описать принцип. Начертить эквивалентную схему диода Шоттки. Определить емкость барьера Шоттки. Зная зависимость емкости барьера от приложенного напряжения, какой параметр можно определить?

5.1.4 Типы задач для контрольных работ:

1. Определить толщину пленки (d) из спектров отражения, если порядок интерференционного максимума $m=2$, длина волны в максимуме $\lambda=1000$ нм, показатель преломления $n=2.63$.

2. Через прямоугольный образец полупроводника сечением $0,5\text{см}^2$ протекает ток 1А. Разность потенциалов между зондами, расположенными на расстоянии 1 см равна 6В. Определить удельное сопротивление образца.

3. Вычислить энергию ионизации доноров в кремнии n-типа, если концентрация электронов 10^{14}см^{-3} при $T_1=50$ К и 10^{12}см^{-3} при $T_2=28$ К.

4. Рассчитать плотность тока в Au/n-Si Шоттки переходе, если приложенное поле $V_A = + 0.5$ В, $T = 300\text{К}$ (т.е. $\Phi_T = 0.026$ эВ) и величина барьера $\Phi_B = 0.80$ эВ.

5. Прямоугольный образец полупроводника n-типа с размерами $l=50\text{мм}$, $w=5\text{мм}$, $d=1\text{мм}$ помещен в магнитное поле с индукцией 0.5 Тл, перпендикулярно плоскости образца. Под действием напряжения 0.42 В, вдоль образца протекает ток 20мА. Величина ЭДС Холла равна 6.25 мВ. Чему равна концентрация носителей заряда?

6. Определить концентрацию свободных носителей заряда, сопротивление и подвижность в примесной полупроводниковой пленке, если плазменная частота $\omega_p=0.12$ эВ, $\epsilon_\infty=4$.

7. Рассчитать величину объемной плотности носителей заряда n в пленке толщиной 200 нм, из поверхностной плотности носителей n_s , равной $5 \cdot 10^{20}\text{см}^{-2}$.

8. Рассчитать понижение барьера в Si, если напряженность приложенного поля $E = 1 \times 10^7$ $V \cdot m^{-1}$. Предположить, что диэлектрическая проницаемость полупроводника $\epsilon_s = 1.05 \times 10^{-10}$ $F \cdot m^{-1}$.

6. Методика преподавания

Каждая лекция подготавливается в виде презентации, завершается кратким резюме всех затронутых вопросов, электронный файл передается студентам.

Следующая лекция начинается с краткого устного опроса по теме предыдущей лекции. При этом оцениваются не только ответы студентов, но и удачные вопросы, которые они задают. Подобный подход способствует закреплению пройденного материала.