Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
учреждения образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»
_____ Е.И. Галешова
«__» _____ 2023 г.
Регистрационный № УД-3461/23/уч.

МОДУЛЬ «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ»

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности
6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии»

2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта по специальности высшего образования ОСВО 6-05-0713-02-2023 и учебного плана специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии» (регистрационный № 15-23/уч. ФКНЭ от 04.04.2023 г.)

СОСТАВИТЕЛЬ:

Дмитрий Александрович Довгяло, доцент кафедры энергетики и электроники учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», к.т.н., доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Александр Витальевич Нелин, главный инженер ОАО «Измеритель»;
Ирина Брониславовна Бураченок, доцент кафедры математики и компьютерной безопасности учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», к.т.н., доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергетики и электроники учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»
(протокол № 14 от 05.12 2023г.);

Методической комиссией факультета компьютерных наук и электроники учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»
(протокол № 4 от 14.12 2023г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»
(протокол № 3 от 28.12 2023г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель и задачи дисциплины.

Основной целью преподавания дисциплины является изучение студентами физико-химических основ функционирования микро- и наноэлектронных структур, эффектов и закономерностей сплошных сред, которые проявляются и используются при производстве и эксплуатации электронной аппаратуры, отличающейся высокими показателями по выполняемым функциям и качеству, массогабаритным показателям и надежности, унификации процессов и автоматизации их проектирования.

Задачи изучения дисциплины

Для понимания принципов действия электронных приборов, технологии их производства и возможности их использования в новых разработках электронной аппаратуры студент должен овладеть необходимым комплексом физических и химических знаний. В этой связи, основными задачами изучения дисциплины являются:

– освоение студентами современных достижений физических наук, которые составляют фундамент в реализации заданных функций отдельными элементами и компонентами электронной аппаратуры, а также электронных устройств в целом;

– понимание студентами специальных физико-химических процессов, эффектов и явлений, которые лежат в основе проектирования, производства и эксплуатации электронной и микроэлектронной аппаратуры;

приобретение студентами навыков использования основных электрофизических процессов и явлений при разработке, производстве и эксплуатации современной электронной и микроэлектронной аппаратуры.

Для достижения поставленной цели и решения поставленных задач в результате изучения дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» студенты должны:

- ***иметь представление:***

– об основных физических явлениях, лежащих в основе физико-химических процессов технологии микро- и наноэлектроники;

– об особенностях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов на работоспособность полупроводниковых приборов и интегральных микросхем;

– о математических методах решения задач при проектировании p-n переходов;

– об существующих тенденциях, направлениях и перспективах развития электронных технологий;

- ***знать:***

– физические явления, процессы и закономерности, лежащие в основе работы p-n переходов;

– механические, электрические и тепловые свойства полупроводниковых материалов;

– виды и типы дефектов кристаллических структур, влияние технологических режимов обработки на качество обрабатываемых поверхностей;

– основы моделирования процессов диффузии, ионного легирования, эпитаксии;

– методы прогнозирования состояния полупроводниковых структур при воздействии дестабилизирующих факторов на стадиях изготовления и эксплуатации;

– зонную теорию твердого тела;

➢ ***уметь использовать:***

– современные конструкционные материалы, применяемые в микро- и наноэлектронных структурах;

– типовые технологические процессы получения p-n-переходов: диффузию, ионное легирование, эпитаксию;

➢ ***владеть:***

– методами анализа протекания токов в реальных p-n переходах;

➢ ***иметь опыт:***

– работы с измерительными приборами;

– прогнозирования поведения состояния полупроводниковых устройств на основе p-n переходов в реальных промышленных объектах;

– постановки научно-исследовательской работы по обеспечению работоспособности p-n переходов при различных условиях эксплуатации.

Диагностика компетенций

Материал дисциплины направлен на формирование следующих ***базовых профессиональных компетенций:***

– БПК-8 Анализировать вещества, их свойства, строение и превращения, происходящие в результате химических реакций, рассчитывать результаты химических реакций в соответствии с законами химии.

– БПК-9 Применять основные понятия и законы физики для изучения физических явлений и процессов.

– БПК-11 Применять знания о физической природе явлений и химических процессов, определяющих технологию изготовления электронных устройств, физико-химические законы при разработке и производстве электронных устройств.

Место дисциплины в образовательном процессе

Учебная дисциплина является специальной в подготовке инженеров по специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии», относится к модулю «Физико-химические основы материалов электроники». Изучается в рамках государственного компонента.

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины

1. Физика – разделы молекулярной физики и термодинамики, электростатики, электромагнетизма, волновой оптики, элементов атомной физики и квантовой механики, элементов квантовой статистики.

2. Математический анализ - разделы дифференциального и интегрального исчисления.

3. Химия – полупроводники.

На основе курса базируются дисциплины «Электронные приборы», «Проектирование изделий интегральной электроники», «Технологические процессы

интегральной электроники», «Типовые компоненты и датчики контрольно-диагностических средств», «Физические основы проектирования программно-управляемых электронных средств».

Форма получения образования – дневная.

Общее количество часов по учебной дисциплине – 180, из них аудиторных – 80 (в том числе лекции – 64 часа, лабораторные занятия – 16 часов). Самостоятельная работа студента – 100 часов. Трудоемкость учебной дисциплины – 5 зачетных единиц.

Дисциплина изучается во втором семестре.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ТЕМА 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ.

1. Классификация физико-химических процессов микро- и наноэлектроники.
2. Материалы электронной техники. Силы связи в твердых телах.
3. Кристаллическая решетка. Дефекты кристаллических структур. Деформация.
4. Энергетические уровни и зоны. Примесные уровни.
5. Кинетические явления в полупроводниках.
6. Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках.
7. Химическая термодинамика технологических процессов производства РЭС.
8. Тепловые свойства твердых тел. Тепловое расширение.
9. Проводимость металлов и сплавов. Удельное сопротивление.
10. Электропроводность полупроводников. Сверхпроводимость.
11. Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля.

ТЕМА 2. ЯВЛЕНИЯ В КОНТАКТАХ.

12. Контакт полупроводник-полупроводник. Потенциальный барьер.
13. Неравновесное состояние перехода. Инжекция и экстракция.
14. Характеристики p-n перехода. Емкость перехода. Пробой перехода.
15. Неинжектирующие контакты. Туннельный переход.
16. Контакт металл-полупроводник. Запирающие и антизапирающие контакты.
17. Особенности контактов металл-полупроводник. Омический контакт.
18. Контакт двух металлов. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов.

ТЕМА 3. МАССОПЕРЕНОС В МАТЕРИАЛАХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ.

19. Законы диффузии. Механизмы диффузии.
20. Одностадийная и двухстадийная диффузия. Дополнительная функция ошибок. Функция Гаусса.
21. Ионное легирование полупроводников. Схема процесса ионного легирования. Каналирование.

ТЕМА 4. СВОЙСТВА СПЛАВОВ, АМОРФНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛИМЕРОВ. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДИЭЛЕКТРИКАХ.

22. Особенности сплавов, полимеров и аморфных веществ. Диаграммы состояния.
23. Магнитные свойства твердых тел.
24. Диэлектрические свойства твердых тел. Поляризация.
25. Электрическая проводимость диэлектриков. Диэлектрические потери.

ТЕМА 5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. ДЕГРАДАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.

26. Процессы удаления вещества с поверхности твердой фазы.
27. Влияние процессов в окисных слоях на свойства полупроводниковых приборов.
28. Дефекты в металлах и полупроводниках.

ТЕМА 6. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ.

29. Свойства и особенности формирования пленочных микроэлектронных структур.
30. Эпитаксиальные пленки. Пленки элементоорганических соединений.
31. Физические свойства тонких пленок. Механическая прочность пленок.
32. Электрическая проводимость пленок.

Учебно-методическая карта учебной дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» Дневная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов			Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	лабораторные занятия	Управляемая (контролируемая) самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	**Физико-химические процессы микро- и наноэлектроники.**	**22**	**8**				
1.1	Классификация физико-химических процессов микро- и наноэлектроники. 1. Геометрический, структурный, физико-химический критерии. 2. Критерии совместимости при оценке временной стабильности: химические, физические. 3. Задачи физика-химика технолога. 4. Процессы нанесения, удаления, перераспределения.	2	-		УМК, мультимедийная презентация,	[2,5,15]	
1.2	Материалы электронной техники. Силы связи в твердых телах. 1. Классификация материалов электронной техники: основные, технологические, конструкционные, вспомогательные. 2. Силы связи в твердых телах. 3. Ионная связь. 4. Ковалентная связь. 5. Металлическая связь. 6. Силы Ван-дер-Ваальса.	2	-		УМК, мультимедийная презентация,	[1,2,9,14]	
1.3	Лабораторная работа. Электрохимические процессы и явления. 1. Процессы электролиза. 2. Ряд напряжений 3. Электролиз раствора хлорной меди. 4. Электролиз раствора сернокислого калия.	-	2		Установка электролиза, лабораторные весы, источник постоянного тока источник постоянного тока	[16]	
1.4	Лабораторная работа. Электрохимические процессы и явления. 1. Законы электролиза. 2. Факторы, влияющие на эффективность реакции. 3. Определение толщины медного покрытия, полученного электролитическим способом.	-	2		Установка электролиза, лабораторные весы, источник постоянного тока источник постоянного тока	[16]	Компьютерное тестирование при защите отчета по лабораторной работе*

1	2	3	4	5	6	7	8
1.5	Кристаллическая решетка. Дефекты кристаллических структур. Деформация. 1. Анизотропия. 2. Индексы Миллера. 3. Точечные и линейные дефекты кристаллических структур. 4. Дислокации. Перемещение дислокаций. 5. Деформация. 6. Предел прочности. Предел текучести. 7. Упругая деформация. Пластическая деформация.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[11,14]	
1.6	Энергетические уровни и зоны. Примесные уровни. 1. Энергетические уровни. 2. Зона проводимости. 3. Валентная зона. 4. Запрещенная зона. 5. Зонные диаграммы металлов, диэлектриков и полупроводников при Т 0 К. 6. Примесные уровни. 7. Переходы носителей между зонами. 8. Работа выхода электрона.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[2,4,11,13]	
1.7	Кинетические явления в полупроводниках. 1. Концентрация носителей заряда. 2. Закон действующих масс. 3. Основные и неосновные носители заряда. 4. Подвижность носителей. 5. Время свободного пробега носителей. 6. Дрейф носителей. 7. Механизмы рассеяния: на колебаниях решетки, на примесях, на структурных дефектах.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[4,8,11]	
1.8	Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках. 1. Неравновесные носители заряда и их основные характеристики. 2. Условие электрической нейтральности полупроводника. 3. Время жизни неравновесных носителей заряда. 4. Вероятность рекомбинации электронов и дырок. 5. Коэффициент рекомбинации. 6. Межзонная рекомбинация носителей заряда. 7. Рекомбинация через локальные уровни. 8. Эффективные центры рекомбинации. 9. Поверхностная рекомбинация.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[4,13]	
1.9	Лабораторная работа. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках. 1. Метод подвижного светового зонда. 2. Метод модуляции проводимости в точечном контакте.	-	2		Генератор импульсов. осциллограф. полупроводниковые слитки и диоды	[16]	
1.10	Лабораторная работа. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках. 1. Метод «полочки». 2. Метод спада послеинжекционной ЭДС. 3. Определение времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниковых структурах.	-	2		Генератор импульсов. осциллограф. полупроводниковые слитки и диоды	[16]	Компьютерное тестирование при защите отчета по лабораторной работе*

1	2	3	4	5	6	7	8
1.11	Химическая термодинамика технологических процессов производства РЭС. 1. Вырожденные и невырожденные системы. 2. Фермионы и бозоны. 3. Химический потенциал. 4. Уровень Ферми. 5. Условие невырожденности. 6. Статические функции распределения.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[12,13,14]	Миниконтрольная*
1.12	Тепловые свойства твердых тел. Тепловое расширение. 1. Внутренние и внешние температурные поля. 2. Тепловые колебания решетки. 3. Акустические и оптические колебания решетки. 4. Представление о фононах. 5. Температура Дебая. 6. Закон Дюлонга и Пти. 7. Механизмы теплопереноса. 8. Тепловое расширение. 9. Коэффициент линейного расширения.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[10,11,14]	
1.13	Проводимость металлов и сплавов. Удельное сопротивление. 1. Удельная проводимость. 2. Длина свободного пробега. 3. Удельное сопротивление. 4. Механизм рассеяния на примесях. 5. Электрон-электронное рассеяние.	2	-		УМК, мультимедийна я презентация.	[1,4,6,10]	
1.14	Электропроводность полупроводников. Сверхпроводимость. 1. Электропроводность собственных полупроводников. 2. Температурная зависимость электропроводности. 3. Температурный коэффициент удельного сопротивления. 4. Понятие о терморезисторе. 5. Механизм возникновения сверхпроводимости. 6. Пары Купера. 7. Зонная диаграмма сверхпроводника.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[1,4,6,10,13,14]	
1.15	Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля. 1. Дебаевская длина. 2. Эффект поля. 3. Эффект поля в примесных полупроводниках. 4. Поверхностные уровни. 5. Поверхностная рекомбинация. 6. Влияние состояния поверхности на механические свойства материалов. 7. Режим обогащения. Режим обеднения. 8. Инверсия типа проводимости.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[13]	
2	**Явления в контактах.**	**14**	-				
2.1	Контакт полупроводник-полупроводник. Потенциальный барьер. 1. Классификация контактов. 2. Гомо- и гетеропереходы. 3. Электронно-дырочный переход. 4. Симметричный и односторонний переходы. 5. Потенциальный барьер. 6. Зонная диаграмма перехода в равновесном состоянии.	2	-		УМК, мультимедийна я презентация.	[2-5]	
2.2	Неравновесное состояние перехода. Инжекция и экстракция. 1. Особенности прямого и обратного включения p-n перехода. 2. Инжекция и экстракция. 3. Искривление энергетических зон при прямом и обратном включении p-n перехода. 4. Распределение концентрации носителей при прямом и обратном включении перехода.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[2-5]	

1	2	3	4	5	6	7	8
2.3	Характеристики p-n перехода. Емкость перехода. Пробой перехода. 1. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. 2. Тепловой ток. 3. Дифференциальное сопротивление. 4. Емкость перехода. Барьерная и диффузионная емкость. Оценка барьерной емкости реального перехода. 5. Пробой перехода: полевой, лавинный, тепловой, поверхностный.	2			УМК, мультимедийная презентация.	[3,4,8,12]	
2.4	Неинжектирующие контакты. Туннельный переход. 1. Неинжектирующие контакты. 2. Туннельный переход в равновесном состоянии. 3. Формирование ВАХ туннельного перехода. 4. Зонные диаграммы туннельного перехода. 5. Отрицательное дифференциальное сопротивление.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[3,4,8,12]	
2.5	Контакт металл-полупроводник. Запирающие и антизапирающие контакты. 1. Условие равновесия в приконтактной области. 2. Запирающие и антизапирающие контакты. 3. Условия возникновения запирающих и антизапирающих контактов.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[7,8,12]	
2.6	Особенности контактов металл-полупроводник. Омический контакт. 1. Выпрямляющий контакт. 2. Прямое и обратное включение контакта металл – полупроводник. 3. Омический контакт. 4. Зонная диаграмма омического контакта в равновесном состоянии, при прямом и обратном включении.	2	-		УМК, мультимедийна я презентация.	[7,8,12]	
2.7	Контакт двух металлов. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. 1. Классификация металлических контактных систем. 2. Контактная разность потенциалов. 3. Энергетические диаграммы двух металлов до и после установления динамического равновесия. 4. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. 5. Переходное сопротивление. 6. Тепловой режим контакта.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[7,8,12]	
3	**Массоперенос в материалах электронной техники.**	**6**					
3.1	Законы диффузии. Механизмы диффузии. 1. Применение диффузии в технологических процессах. 2. Энергия активации диффузии. 3. Механизмы диффузии в идеальных кристаллах. 4. Концентрация дефектов по Шоттки и по Френкелю. 5. Коэффициент диффузии. 6. Примеси внедрения. Примеси замещения. 7. Законы Фика.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[5,15]	
3.2	Одностадийная и двухстадийная диффузия. Дополнительная функция ошибок. Функция Гаусса. 1. Диффузия из постоянного источника в полубесконечное тело. 2. Распределение примеси при диффузии из постоянного источника. Дополнительная функция ошибок. 3. Диффузия из источника с заданным числом атомов. Распределение примеси. Функция Гаусса.	2	-		УМК, мультимедийная презентация.	[5,15]	

1	2	3	4	5	6	7	8
3.3	Ионное легирование полупроводников. Схема процесса ионного легирования. Каналирование. 1. Представление об элионике. 2. Схема процесса ионного легирования. Особенности технологического процесса. 3. Механизмы потерь энергии при проведении имплантации. 4. Распределение Гаусса. 5. Каналирование. 6. Модель решетки кремния при ионной имплантации.	2	-		УМК. мультимедийная презентация.	[5.15]	Миниконтрольная*
4	**Свойства сплавов, аморфных веществ, полимеров. Магнитные свойства твердых тел. Физические процессы в диэлектриках.**	4	4	4			
4.1	Особенности сплавов, полимеров и аморфных веществ. Диаграммы состояния. 1. Физические основы строения металлов и сплавов. 2. Классификация металлов. 3. Металлические сплавы и их свойства. 4. Диаграммы состояния. 5. Анализ диаграммы состояний двухкомпонентного сплава. 6. Полимеры. 7. Аморфные тела. 8. Переохлажденная жидкость.	2	-		УМК. мультимедийная презентация.	[3.9]	
4.2	Лабораторная работа. Термографический анализ диаграммы состояния бинарных систем. 1. Физико-химический анализ. 2. Диаграмма плавкости. 3. Эвтектическая температура.	-	2		Ванна с эвтектическим сплавом Pb-Sn. вольтметр, секундомер	[16]	
4.3	Лабораторная работа. Термографический анализ диаграммы состояния бинарных систем. 1. Кривые охлаждения. 2. Системы магний-свинец, кадмий-висмут, олово-свинец, алюминий-кремний.	-	2		Ванна с эвтектическим сплавом Pb-Sn. вольтметр. секундомер	[16]	Компьютерное тестирование при защите отчета по лабораторной работе*
4.4	Магнитные свойства твердых тел. 1. Магнитная восприимчивость. 2. Магнитный момент. 3. Диамагнетизм. Парамагнетизм. 4. Кривая намагничивания. 5. Относительная магнитная проницаемость. 6. Физика явлений, происходящих в ферромагнетиках. 7. Понятие о доменах. 8. Стадии процесса намагничивания: смещение границ доменов, вращение, парапроцесс. 9. Петля гистерезиса. Коэрцитивная сила. Индукция насыщения. Остаточная индукция. 10. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. 11. Антиферромагнетизм. 12. Точка Нееля. 13. Ферримагнетики.	2	-		УМК. мультимедийная презентация.	[2.11]	
4.5	Диэлектрические свойства твердых тел. Поляризация. 1. Время диэлектрической релаксации. 2. Диэлектрическая проницаемость. 3. Поляризация. 4. Механизмы поляризации: электронная, ионная, ориентационная.	-	-	2	УМК. мультимедийная презентация.	[9,12]	мультимедийная презентация, реферат

1	2	3	4	5	6	7	8
4.6	Электрическая проводимость диэлектриков. Диэлектрические потери. 1. Ионная проводимость. 2. Проводимость неоднородных и неупорядоченных структур. 3. Диэлектрические потери. 4. Токи, протекающие в диэлектрике. 5. Угол диэлектрических потерь.	-	-	2	УМК, мультимедийная презентация.	[9.12]	мультимедийная презентация, реферат
5	**Электрохимические процессы в технологии РЭС. Деградационные процессы.**			**6**			
5.1	Процессы удаления вещества с поверхности твердой фазы. 1. Категории процессов удаления вещества. 2. Основные направления обработки поверхности твердой фазы. 3. Процессы физического и химического удаления. 4. Механические методы обработки поверхности. 5. Методы химико-механической обработки 6. Вакуум-термическое удаление.	-	-	2	Мультимедийная презентация. наглядные образцы	[5.15]	мультимедийная презентация, реферат
5.2	Влияние процессов в окисных слоях на свойства полупроводниковых приборов. 1. Классификация отказов полупроводниковых приборов и ИМС. 2. Отказы, связанные с явлениями в объеме кристалла. 3. Отказы, зависящие от состояния контактных соединений. 4. Отказы, обусловленные явлениями на поверхности кристаллической структуры.	-	-	2	УМК, мультимедийная презентация,	[5.15]	мультимедийная презентация, реферат
5.3	Дефекты в металлах и полупроводниках. 1. Интерметаллические соединения: возникновение, характеристики, особенности. 2. Деградация паяных соединений. 3. Причины отказов p-n переходов. 4. Окисление поверхности кремния. 5. Структура энергетических зон на окисленной поверхности полупроводника. Образование инверсной области. 6. Отказы полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. 7. Схема возникновения отказа ИМС вследствие дефектов окисной пленки.	-	-	2	УМК. мультимедийная презентация.	[5.15]	мультимедийная презентация, реферат
6	**Физические явления в тонких пленках.**		**4**	**8**			
6.1	Свойства и особенности формирования пленочных микроэлектронных структур. 1. Классификация пленок. 2. Образование тонкой пленки. Зародыш. Адатом. Хемосорбция. 3. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. 4. Время релаксации. 5. Рост пленки. Стадии процесса. Центры конденсации. Условия роста пленок. 6. Зависимость удельного сопротивления пленки от ее толщины. 7. Первая и вторая критическая толщина. 8. Плотность тонких пленок.	-	-	2	УМК, мультимедийная презентация.	[6]	мультимедийная презентация, реферат
6.2	Лабораторная работа. Изучение адгезии тонких металлических пленок к различным типам подложек. 1. Понятие адгезии, когезии, аутогезии. 2. Причины адгезии пленок. 3. Адгезионная прочность пленок. 4. Определение работы отрыва пленки от поверхности подложки.	-	2		Микроскоп, дифманометр, микропаяльник, полиамидные пленки, печатные платы	[16]	

1	2	3	4	5	6	7	8
6.3	Лабораторная работа. Изучение адгезии тонких металлических пленок к различным типам подложек. 1. Усадка пленки. 2. Устройство микроскопа МБС-10. 3. Пайка микропаяльником.	-	2		Микроскоп, дифманометр, микропаяльник, полиамидные пленки, печатные платы	[16]	Комплексное тестирование при защите отчета по лабораторной работе*
6.4	Эпитаксиальные пленки. Пленки элементоорганических соединений. 1. Эпитаксия. Автоэпитаксия. Гетероэпитаксия. 2. Влияние дефектов на свойства пленок. 3. Эпитаксиальная температура. 4. Влияние состояния подложки на свойства тонких пленок. 5. Пленки элементоорганических соединений.	-	-	2	УМК, мультимедийная мультимедийная презентация.	[6]	мультимедийная презентация, реферат
6.5	Физические свойства тонких пленок. Механическая прочность пленок. 1. Влияние шероховатости поверхности подложки на свойства пленок. 2. Зависимость плотности пленок от толщины. 3. Механическая прочность пленок. 4. Гранулированная, пористая, сплошная пленки.	-	-	2		[6]	мультимедийная презентация, реферат
6.6	Электрическая проводимость пленок. 1. Очень тонкие пленки. 2. Механизмы проводимости очень тонких пленок: надбарьерная эмиссия, туннелирование через вакуумный зазор, туннелирование через ловушки в диэлектрической подложке. 3. Потенциальный барьер на границе раздела сред. 4. Сила электрического (зеркального) изображения. 5. Эффект Шоттки для тонких пленок. 6. Проводимость сплошных металлических пленок. 7. Рассеяние на тонких пленках. 8. Формула Нордгейма. 9. Влияние дефектов и примесей на проводимость диэлектрических пленок. 10. ВАХ диэлектрической пленки. 11. Распределение свободных электронов в диэлектрике, помещенном между двумя электродами. 12. Особенности реальных диэлектрических пленок.	-	-	2	УМК, мультимедийная презентация.	[6]	мультимедийная презентация, реферат
	Всего	**46**	**16**	**18**			

*мероприятия текущего контроля

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Никифоров, И. К. Электронная аппаратура. Основные материалы и технологии микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. К. Никифоров. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 416 с. // ЭБС «Znanium». – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/2102072.

2. Смирнов, В. И. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. И. Смирнов. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 232 с.// ЭБС «Znanium» – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/2102024.

3. Поленов, Ю. В. Физико-химические основы нанотехнологий [Электронный ресурс] : учебник / Ю. В. Поленов, Е. В. Егорова. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 180 с.// Лань: электронно-библиотечная система. – Режим доступа: по подписке: URL: https://e.lanbook.com/book/207023 (дата обращения: 20.11.2023).

4. Параскевов, А. В. Микроэлектроника и схемотехника [Электронный ресурс]: учебник / А. В. Параскевов. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 116 с.// ЭБС "Znanium". – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/2095077

5. Технологии субмикронных структур микроэлектроники/ С. В. Бордусов [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; под редакцией А.П. Достанко. - Минск: Беларуская навука, 2018. - 269 с.

6. Игумнов, В. Н. Основы высокотемпературной криоэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Н. Игумнов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. – 238 с.// ЭБС «Университетская библиотека онлайн» Режим доступа: по подписке: URL: https://biblioclub.ru/index.php?page book&id=684695 .

7. Дорогой, С. В. Физические основы электроники. Контакты металл-полупроводник [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / С. В. Дорогой. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. - 50 с. // ЭБС «Znanium». Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/1869093.

8. Драгунов, В. П. Специальные главы наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 104 с. // ЭБС "Znanium". – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/1868875.

9. Илюшин, В. А. Наноматериалы [Электронный ресурс]/: учебное пособие / В. А. Илюшин. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - 114 с. // ЭБС "Znanium". – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/1866281 .

10. Ильичев, Е. В. Микро- и нанотехнологии [Электронный ресурс]/ : учебно-методическое пособие / Е. В. Ильичев, Б. И. Иванов. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 64 с. // ЭБС "Znanium". – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/1866280

Чурнова Е. В

11. Поклонский, Н.А. Физика полупроводниковых систем. Основные понятия/ Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, О.Н. Поклонская. – Минск: Беларуская навука, 2023. – 311 с.

12. Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники [Электронный ресурс]/ : учебное пособие / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 232 с. // ЭБС "Znanium". – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/1836506

13. Чернышев, А. Н. Введение в физику полупроводников и нанофизику. Специальный курс физики. Конспект лекций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Н. Чернышев. — Новосибирск : НГТУ, 2021. — 82 с.// Лань : электронно-библиотечная система.– Режим доступа: по подписке: URL: https://e.lanbook.com/book/

14. Шиманский, В.И. Основы физики твердого тела: учебно-методическое пособие / В. И. Шиманский, Е. Н. Туромша, Н. Н. Кольчевский ; Белорусский государственный университет. - Минск : БГУ, 2021. - 207 с. - Рекомендовано Учебно-методическим объединением по естественно-научному образованию в качестве учебно-методического пособия для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-31 04 01 "Физика (по направлениям)", 1-31 04 06 "Ядерные физика и технологии".

15. Бодров, Е. Э. Основы технологии электронной компонентной базы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е. Э. Бодров. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 204 с. // ЭБС "Znanium". – Режим доступа: по подписке: URL: https://znanium.com/catalog/product/1902462

Дополнительная:

16. Физико-химические основы микроэлектроники: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. I-39 02 01 / Сост. Д.А. Довгяло.– Новополоцк: ПГУ, 2006. 192 с.

17. Шалимова,К.В. Физика полупроводников: учебник / К. В. Шалимова. - Изд. 4-е, стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 390 с.

18. Довгяло Д.А. Методические указания к курсовому проектированию по курсу «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники», Новополоцк, ПГУ, 2014. 37 с.

19. Игумнов, В. Н. Физические основы микроэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Н. Игумнов; В.Н. Игумнов. – Москва/Берлин: Директ-Медиа, 2014. - 358 с.: ил., табл. – Режим доступа: по подписке: URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271708

20. Легостаев, Н. С. Микроэлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. С. Легостаев, К. В. Четвергов. – Москва: ТУСУР, 2013. — 172 с. // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/110393

21. Витязь, П.А. Наноматериаловедение: учебное пособие / П. А. Витязь, Н. А. Свидунович, Д. В. Куис. - Минск : Вышэйшая школа, 2015. - 511 с.: ил. - Библиогр.: с. 503-508. - Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов вузов по техническим специальностям.

22. Троян, П. Е. Твердотельная электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. Е. Троян ; П.Е. Троян. - Томск : Томский государственный университет

систем управления и радиоэлектроники, 2006. - 330 с. – Режим доступа: по подписке: URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208664

23. Барыбин, А. А. Физико-технологические основы макро-, микро, и наноэлектроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов ; под общ. ред. А. А. Барыбина. – Москва : Физматлит, 2011. - 783 с.: ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457643

24. Борисенко В.Е. Наноэлектроника: теория и практика [Электронный ресурс] : учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. 3-е изд. (эл.). М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 366 с.: ил.

25. Дробот, П. Н. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / П.Н. Дробот; П.Н. Дробот; Министерство образования и науки Российской Федерации; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). - Томск: ТУСУР, 2016. - 286 с.: ил.,табл., схем. - Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений. – Режим доступа: по подписке: URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480771

26. Троян, П. Е. Наноэлектроника [Электронный ресурс] / П. Е. Троян, Ю. В. Сахаров. Москва: ТУСУР, 2010. 88 с.// Лань: электронно-библиотечная система. — Режим доступа: по подписке: URL: https://e.lanbook.com/book/4967

27. Багницкий В.Е. Новая физика электронных приборов. – Владивосток, 2014. – 323 с.

28. Борисенко В.Е. Учебное пособие по курсу "Наноэлектроника" для студентов специальности "Микроэлектроника". В 3 ч. Ч.1: Основы наноэлектроники. – Мн.: БГУИР, 2001. - 47 с.:ил// Репозиторий БГУИР – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by

29. Борисенко В.Е. Наноэлектроника: Учеб. пособие для студентов спец. «Микроэлектроника» дневной формы обучения. В 3 ч. Ч. 2. Нанотехнология / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева. – Мн: БГУИР, 2003. – 76 с.: ил. // Репозиторий БГУИР Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by

30. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 424 с.

31. Погребняков А.В. Физические основы электронной техники: Учебное пособие / А.В. Погребняков; Под ред. А.П. Достанко. Мн.: БГУИР, 2003. 107 с.: ил. // Репозиторий БГУИР – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by

32. Марголин В.И. Физические основы микроэлектроники: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.И. Марголин, В.А. Жабрев, В.А. Тупик. М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 400 с.

33. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие / В. И. Старосельский М.: Юрайт, 2009. – 463 с.

34. Шишкин Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 408 с.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ пп	Название темы	Объем в часах
1	Термографический анализ диаграммы состояния бинарных систем.	4
2	Изучение адгезии тонких металлических пленок к различным типам подложек.	4
3	Измерение времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках.	4
4	Электрохимические процессы и явления.	4
Всего		**16**

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

1. Классификация физико-химических процессов технологии микроэлектроники. Процессы нанесения, удаления, перераспределения.
2. Геометрический, структурный, физико–химический критерии. Критерии совместимости при оценке временной стабильности. Задачи физика-химика технолога.
3. Классификация материалов электронной техники.
4. Физические основы строения металлов и сплавов.
5. Силы связи в твердых телах. Ионная связь. Ковалентная связь.
6. Силы связи в твердых телах. Металлическая связь. Силы Ван-дер Ваальса.
7. Кристаллическая решетка. Анизотропия. Индексы Миллера.
8. Точечные дефекты кристаллических структур.
9. Линейные дефекты кристаллических структур.
10. Механические свойства структур. Деформация. Предел прочности. Предел текучести.
11. Механические свойства структур. Упругая деформация. Пластическая деформация.
12. Энергетические уровни и зоны. Зонные диаграммы. Зона проводимости. Валентная зона. Запрещенная зона.
13. Примесные уровни. Переходы носителей между зонами.
14. Распределение носителей в зонах. Химический потенциал. Уровень Ферми.
15. Вырожденные и невырожденные системы. Фермионы и бозоны.
16. Вырожденные и невырожденные системы. Функции распределения Максвелла–Больцмана.
17. Вырожденные и невырожденные системы. Функции распределения Ферми–Дирака. Функции распределения Бозе–Эйнштейна. Условие невырожденности.
18. Концентрация носителей заряда. Закон действующих масс.
19. Основные и неосновные носители заряда. Определение концентрации носителей в акцепторном и донорном полупроводниках. Свойства компенсированного полупроводника.
20. Подвижность носителей заряда.
21. Механизмы рассеяния носителей.
22. Неравновесные носители и их основные характеристики.
23. Время жизни.
24. Межзонная рекомбинация.
25. Рекомбинация через локальные уровни.
26. Поверхностная рекомбинация. Влияние состояния поверхности на механические свойства материалов.
27. Тепловые колебания решетки. Акустические и оптические колебания решетки.
28. Квантовая теория тепловых колебаний решетки. Температура Дебая.
29. Теплоемкость твердых тел. Механизмы теплопереноса.
30. Тепловое расширение.
31. Электрическая проводимость твердых тел
32. Проводимость металлов и сплавов.
33. Электропроводность полупроводников. Температурная зависимость сопротивления полупроводников. Термисторы.
34. Сверхпроводимость. Пары Купера.
35. Поверхностные явления в полупроводниках. Уровни Тамма.
36. Эффект поля. Эффект поля в структуре металл – диэлектрик – полупроводник Дебаевская длинна.
37. Режим обогащения. Режим обеднения. Инверсия типа проводимости.
38. Адгезия пленок. Причины адгезии.
39. Адгезионная прочность пленок. Параметры, влияющие на качество адгезии.
40. Влияние внутренних напряжений на адгезионную прочность. Усадка пленки.
41. Микроскоп МБС-10: устройство и оптическая схема.
42. Электролиз. Ряд напряжений и его особенности.
43. Законы электролиза. Факторы, влияющие на эффективность реакции при электролизе.
44. Виды контактов. Контакт полупроводник-полупроводник. Потенциальный барьер.
45. Неравновесное состояние перехода. Инжекция и экстракция.
46. Искривление энергетических зон при прямом и обратном включении p-n перехода. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Дифференциальное сопротивление. Емкость перехода.
47. Пробой p-n перехода. Виды пробоя.
48. Неинжектирующие контакты.
49. Тунельный переход.
50. Контакт металл-полупроводник. Условие равновесия в приконтактной области.
51. Выпрямляющий контакт. Омический контакт.
52. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Переходное сопротивление.
53. Диффузия. Механизмы диффузии. Законы диффузии.

54. Диффузия из постоянного источника в полубесконечное тело.
55. Диффузия из источника с заданным числом атомов.
56. Физические процессы, протекающие при ионном внедрении. Каналирование.
57. Схема процесса ионного легирования. Установка ионного внедрения.
58. Металлические сплавы и их свойства. Диаграмма состояния.
59. Полимеры. Аморфные тела.
60. Физические основы магнетизма. Диамагнетизм.
61. Ферромагнитные свойства вещества. Стадии процесса намагничивания.
62. Петля гистерезиса. Точка Кюри. Магнитострикция.
63. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.
64. Диэлектрические свойства твердых тел. Диэлектрическая проницаемость. Поляризация. Механизмы поляризации.
65. Электрическая проводимость диэлектриков. Диэлектрические потери.
66. Классификация процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы. Механические, химические и электрохимические методы удаления вещества. Вакуум-термическое удаление.
67. Физические явления в тонких пленках. Зародышеобразование.
68. Рост пленки. Первая и вторая критическая толщина.
69. Физические свойства тонких пленок.
70. Электрическая проводимость металлических и диэлектрических пленок.
71. Физико-химический анализ материалов. Эвтектическая диаграмма состояний. Фазы и линии раздела.
72. Методы измерения времени жизни неосновных носителей заряда: метод подвижного светового зонда, метод модуляции проводимости в точечном контакте.
73. Импульсные методы измерения времени жизни неосновных носителей заряда. Кремниевые и германиевые диоды. ВАХ диодов.

Тестовые задания по изучаемому материалу

К разделу 1

1.1. Какие физико-химические процессы технологии микроэлектроники по характеру проникания Вы знаете?
1.2. Какие виды активации процессов микроэлектроники Вы знаете?
1.3. Что такое эпитаксия?
1.4. Когда необходим учет физико-химического критерия?
1.5. Какие Вы знаете критерии совместимости при оценке временной стабильности?
1.6. Какие теплофизические свойства материалов Вы знаете?
1.7. Для чего служат фоторезисты?
1.8. Какие защитные диэлектрические покрытия Вы знаете?
1.9. Какие виды кристаллической решетки имеют металлы?
1.10. Что такое металлический сплав?
1.11. Какие связи в твердых телах относят к первичным?
1.12. Как определить энергию притяжения кулоновских сил?
1.13. Чему равна полная энергия при сближении 2-х разноименных ионов?
1.14. Что характеризует энергия сублимации?
1.15. Приведите пример ионной связи.
1.16. Что такое координационное число?
1.17. Чем характеризуется ковалентная связь?
1.18. В чем отличие ковалентной связи от ионной?
1.19. Что такое насыщаемость связи?
1.20. В чем природа металлической связи?
1.21. Чем металлическая связь схожа с ковалентной? С ионной?
1.22. Чем обусловлены силы Ван-дер-Ваальса?
1.23. Какие типы связи преобладают в твердых телах?
1.24. Что такое элементарная ячейка кристалла?
1.25. Что такое анизотропия?
1.26. Что такое индекс направления в кристалле?
1.27. Что такое индексы Миллера?
1.28. Что такое дефект по Шоттки? Проиллюстрируйте.
1.29. Что такое дефект по Френкелю? Проиллюстрируйте.
1.30. Какие дефекты кристаллических структур относят к линейным?
1.31. Что такое аннигиляция дислокации?
1.32. Что такое плотность дислокаций?
1.33. Какая деформация является упругой?
1.34. Приведите формулу модуля упругости.
1.35. Чему равен коэффициент Пуассона идеального материала?
1.36. Что такое предел текучести?
1.37. Что такое предел прочности?
1.38. Приведите соотношение предела прочности σ_A и предела текучести σ_B для пластичных материалов.
1.39. Какая зона называется валентной с точки зрения энергетических зон?
1.40. Какие механизмы проводимости в кристаллах с узкой запрещенной зоной Вы знаете?
1.41. Нарисуйте зонные диаграммы металла, собственного полупроводника и диэлектрика.
1.42. Какие энергетические уровни называются донорными?
1.43. Какие энергетические уровни называются акцепторными?
1.44. Нарисуйте зонные диаграммы полупроводников p- и n- типов.
1.45. Что такое термоэмиссия?
1.46. Что такое работа выхода?
1.47. Что такое рекомбинация электрона и дырки?
1.48. Как найти температурный потенциал?
1.49. Чему равна ширина запрещенной зоны кремния? Германия?
1.50. Как определить зависимость ширины запрещенной зоны от температуры?
1.51. Как определить концентрацию свободных электронов в зоне проводимости?
1.52. Какие системы называются невырожденными?
1.53. Какие системы называются вырожденными?

1.54. Какие частицы в вырожденных системах могут в неограниченном количестве заселять данное состояние?
1.55. Приведите функцию распределения Максвелла – Больцмана.
1.56. Приведите функцию распределения Бозе – Эйнштейна.
1.57. Как найти химический потенциал?
1.58. Приведите функцию распределения фермионов.
1.59. Приведите функцию распределения бозонов.
1.60. Приведите условие невырожденности.
1.61. Как найти концентрацию свободных электронов в полупроводнике n-типа?
1.62. Как найти концентрацию свободных дырок в полупроводнике p-типа?
1.63. Какие материалы называются компенсированными?
1.64. Как определить плотность дрейфового тока?
1.65. Чем обусловлена хаотичность движения свободных носителей в кристалле в отсутствии внешнего электрического поля?
1.66. Что такое время свободного пробега носителей?
1.67. Что такое дрейф носителей заряда?
1.68. Как определить подвижность носителей?
1.69. Какой механизм рассеяния носителей преобладает на низких температурах?
1.70. Какой механизм рассеяния носителей преобладает на высоких температурах?
1.71. В каком случае необходим учет рассеяния носителей на дислокациях?
1.72. Приведите условие электрической нейтральности полупроводника.
1.73. Как найти среднее время жизни электрона в свободном состоянии?
1.74. Как определить коэффициент рекомбинации дырки?
1.75. Как определить коэффициент рекомбинации электронов?
1.76. Какие механизмы рекомбинации Вы знаете?
1.77. Где находится центр прилипания в полупроводниках?
1.78. Где находятся эффективные центры рекомбинации?
1.79. Как связано общее время жизни с объемным и с поверхностным в полупроводниках?
1.80. Как найти число носителей заряда, ежесекундно рекомбинирующих в единице площади поверхности?
1.81. Какие свойства твердых тел определяют акустические колебания решетки?
1.82. Какие колебания решетки называются оптическими?
1.83. Что такое фонон?
1.84. Что такое фонон-фононное взаимодействие?
1.85. Как найти энергию тепловых колебаний кристалла?
1.86. Как найти дебаевскую частоту тепловых колебаний атомов около положения равновесия?
1.87. Как найти температуру Дебая?
1.88. Какие температуры считаются высокими для данного кристалла?
1.89. Что такое теплоемкость твердых тел?
1.90. О чем гласит закон Дюлонга и Пти?
1.91. Чем обусловлена решеточная теплоемкость твердых тел?
1.92. Чем обусловлена электронная или дырочная теплопроводность твердых тел?
1.93. Благодаря чему осуществляется перенос тепла в диэлектриках?
1.94. Как найти коэффициент линейного расширения твердых тел?
1.95. Обладает ли анизотропией коэффициент расширения?
1.96. Как определить удельную проводимость через время или длину свободного пробега?
1.97. Как определить удельную проводимость через подвижность электронов и дырок?
1.98. Что больше – сопротивление сплава или металлов, входящих в него? Почему?
1.99. Как найти удельную проводимость собственного полупроводника?
1.100. Как определить зависимость электропроводности от температуры?
1.101. Нарисуйте ВАХ термистора.
1.102. Что такое сверхпроводимость?
1.103. Что такое пары Купера?
1.104. Где расположен уровень Ферми в сверхпроводнике? Нарисуйте зонную диаграмму.
1.105. Что такое эффект поля?
1.106. Что такое дебаевская длина экранирования?
1.107. Чему равна дебаевская длина собственного полупроводника?
1.108. Чему равна дебаевская длина экранирования примесного полупроводника?
1.109. Как найти концентрацию электронов в приповерхностном слое полупроводника?

1.110. Когда в полупроводнике возникает обеднение приповерхностной области носителями заряда?
1.111. Когда в приповерхностном слое полупроводника возникает инверсная область?
1.112. Когда в приповерхностном слое полупроводника возникает обогащенная область?

К разделу 2

2.1. Приведите требования, предъявляемые к омическим контактам.
2.2. Что такое гомопереход?
2.3. Что такое симметричный переход?
2.4. Что такое односторонний переход?
2.5. Почему p-n переход называют обедненным или истощенным слоем?
2.6. Как определить высоту потенциального барьера перехода в равновесном и неравновесном состояниях?
2.7. В каком случае электрон из слоя n может перейти в слой p в p-n переходе?
2.8. Какие токи протекают в p-n переходе в равновесном состоянии?
2.9. Запишите выражение ширины перехода.
2.10. Нарисуйте прямое и обратное включение p-n перехода.
2.11. Запишите соотношение для высоты барьера при приложении к нему внешнего напряжения.
2.12. Как изменяется ширина p-n перехода при приложении к нему внешнего напряжения?
2.13. Что такое инжекция неосновных носителей?
2.14. Что такое экстракция неосновных носителей?
2.15. Запишите выражение для обратного или теплового тока.
2.16. Приведите недостатки перехода как вентильного элемента.
2.17. Как найти дифференциальное сопротивление?
2.18. Запишите формулу ВАХ p-n перехода.
2.19. Запишите соотношение для дифференциального значения барьерной емкости.
2.20. Где применяется барьерная емкость?
2.21. В чем сущность пробоя перехода?
2.22. Какие механизмы пробоя перехода происходят вследствие ударной или электростатической ионизации?
2.23. Чем обусловлен поверхностный пробой p-n перехода?
2.24. Как ведет себя ширина перехода в неинжектирующем контакте по сравнению с классическим?
2.25. Для создания каких контактов используются неинжектирующие переходы?
2.26. Приведите основное отличие ВАХ туннельного перехода от обычного.
2.27. Нарисуйте ВАХ туннельного перехода.
2.28. Какие полупроводники используются для создания туннельных переходов?
2.29. Почему в системе металл – полупроводник объемный заряд в металле распределяется на меньшую глубину?
2.30. В каком случае контакт металла с полупроводником будет запирающим?
2.31. В каком случае контакт металла с полупроводником будет антизапирающим?
2.32. Приведите уравнение Пуассона выпрямляющего контакта.
2.33. От чего зависит ширина запирающего слоя в системе металл – полупроводник?
2.34. Какими свойствами должен обладать омический контакт?
2.35. Приведите пример структуры омического контакта.
2.36. Приведите примеры разъемных металлических контактов.
2.37. Что такое внешняя контактная разность потенциалов при контакте двух металлов?
2.38. Чем определяется внутренняя контактная разность потенциалов при контакте двух металлов?
2.39. За какое время после включения устанавливается температура локального перегрева контакта и из-за чего она возникает?
2.40. Что такое эффект Пельтье?

К разделу 3

3.1. Что такое вязкость?
3.2. Что такое теплопроводность?
3.3. Что такое диффузия?
3.4. Что такое самодиффузия?
3.5. Что такое гетеродиффузия?
3.6. Как определяется температура Таммана вещества?

3.7. Что такое энергия активации диффузии?
3.8. Какой механизм диффузии требует меньших затрат энергии?
3.9. Чему равна концентрация дефектов по Френкелю? Приведите формулу.
3.10. Чему равна концентрация дефектов по Шоттки? Приведите формулу.
3.11. Как определить коэффициент диффузии через среднюю скорость?
3.12. Приведите зависимость коэффициента диффузии от температуры.
3.13. Приведите первый закон Фика.
3.14. Приведите второй закон Фика.
3.15. Приведите функцию распределения примеси при одностадийной диффузии.
3.16. Как определить количество диффузанта, проникшего в кристалл за время диффузии?
3.17. Нарисуйте распределение примеси при диффузии из постоянного источника.
3.18. Нарисуйте распределение примеси при диффузии из неограниченного источника.
3.19. Приведите формулу гауссовского распределения примеси для двухстадийной диффузии.
3.20. Какие области транзистора изготавливаются двустадийной диффузией?
3.21. Каким образом осуществляется ионизация газа в установке ионного внедрения?
3.22. Какие столкновения испытывают ионы при внедрении в кристалл?
3.23. Приведите распределение Гаусса для ионного внедрения.
3.24. Как ведет себя каналирование с увеличением дозы легирования?

К разделу 4

4.1. Какие фазы наблюдаются в сплаве?
4.2. Нарисуйте диаграмму состояний бинарной системы, обозначьте фазы и линии раздела.
4.3. Чем характеризуются молекулы полимеров?
4.4. Что такое степень полимеризации полимера?
4.5. Какие силы связи действуют в полимерах?
4.6. Какие тела называются аморфными?
4.7. Чем аморфные тела отличаются от жидкости? От кристалла?
4.8. Что такое переохлажденная жидкость?
4.9. Что показывает относительная магнитная проницаемость?
4.10. Поясните сущность диамагнетизма.
4.11. Как определить намагниченность парамагнетика?
4.12. Что такое ферромагнетик?
4.13. Что такое индукция насыщения?
4.14. Стадии процесса намагничивания.
4.15. Нарисуйте петлю гистерезиса магнитного материала. Обозначьте характерные точки.
4.16. Приведите единицы магнитной индукции и напряженности магнитного поля.
4.17. Чему равна коэрцитивная сила магнитомягких и магнитотвердых материалов?
4.18. Что такое остаточная индукция?
4.19. Что такое коэрцитивная сила?
4.20. Что такое индукция насыщения?
4.21. Чем характеризуется точка Кюри?
4.22. Что такое магнитострикция?
4.23. Приведите необходимое условие антиферромагнетизма.
4.24. Что происходит с антиферромагнетиком в точке Нееля?
4.25. В каких телах происходит спонтанное намагничивание?
4.26. Приведите обобщенную химическую формулу ферритов.
4.27. Достоинства ферритов.
4.28. Как определяется время диэлектрической релаксации?
4.29. Что такое диэлектрическая проницаемость?
4.30. Поясните явление поляризации диэлектрика.
4.31. Чем обусловлена электронная поляризация?
4.32. Чем обусловлена ионная поляризация?
4.33. Что такое время релаксации при поляризации?
4.34. В чем заключается ионная проводимость диэлектриков?
4.35. Что такое диэлектрические потери?
4.36. Что такое угол диэлектрических потерь?
4.37. Как определить тангенс угла диэлектрических потерь?
4.38. За счет чего реализуется прыжковая проводимость в диэлектриках?
4.39. В каких материалах проявляется прыжковая проводимость?
4.40. Чему равна проводимость халькогенидных стекол?

К разделу 5

5.1. Приведите категории процессов удаления вещества.
5.2. Какие существуют процессы физического удаления?
5.3. Приведите методы абразивной обработки полупроводниковых материалов.
5.4. На чем основаны методы химического и электрохимического удаления вещества?
5.5. Какими методами получают поверхность кристалла с высокой степенью совершенства?
5.6. На чем основано вакуум-термическое удаление вещества?
5.7. Какие способы подвода тепла при вакуум-термическом удалении Вы знаете?
5.8. Из-за чего возникают отказы контактных соединений?
5.9. Каким способом производится крепление выводов от кристалла к внешнему выводу ИМС?
5.10. Чем объяснить изменение электрофизических свойств кремния вблизи поверхности раздела $Si - SiO_2$?
5.11. Приведите полную классификацию процессов удаления вещества.
5.12. Охарактеризуйте отказы, связанные с образованием интерметаллических соединений.
5.13. Приведите структуру энергетических зон на окисленной поверхности полупроводника.
5.14. Какие нежелательные эффекты приборов возникают при наличии дефектов в окисных слоях полупроводника?
5.15. Приведите схему возникновения отказа ИМС вследствие дефектов окисной пленки.

К разделу 6

6.1. Какие факторы оказывают влияние на структуру пленок?
6.2. Какие пленки являются очень тонкими, тонкими, толстыми, очень толстыми?
6.3. На какие по толщине пленки наиболее сильно влияет степень вакуума при нанесении?
6.4. Что такое зародыш?
6.5. Что такое адатом?
6.6. Что такое адсорбент?
6.7. Приведите формулу центра конденсации.
6.8. Что такое гомогенное зародышеобразование?
6.9. Что такое гетерогенное зародышеобразование?
6.10. Что такое время релаксации при нанесении пленок? Как оно определяется?
6.11. Как найти среднюю диффузионную длину адатома?
6.12. Что такое первая критическая толщина? Приведите ее значение.
6.13. При каком размере пленки возникает вторая критическая толщина?
6.14. Как технологически получить мелкозернистую пленку?
6.15. Что является количественной мерой шероховатости пленки?
6.16. Что такое эпитаксия?
6.17. Чем характеризуются автоэпитаксия и гетероэпитаксия?
6.18. Приведите соотношение, связывающее скорость осаждения при эпитаксии с температурой.
6.19. Как электрическое поле влияет на рост эпитаксиальных пленок?
6.20. Какой метод лежит в основе получения пленок элементоорганических соединений?
6.21. Какова степень вакуума и температура нанесения пленок элементоорганических соединений (по сравнению с обычными пленками)?
6.22. Как можно управлять структурой пленки элементоорганического соединения?
6.23. Как влияет скорость осаждения на плотность тонкой пленки?
6.24. Как зависит плотность пленки от температуры подложки?
6.25. Что такое островковая пленка?
6.26. Что больше: проводимость тонкой пленки или массивного образца? Почему?
6.27. Приведите механизмы проводимости очень тонких пленок.
6.28. На какой параметр оказывают влияние силы электрического изображения при получении тонких пленок?
6.29. Как определяются силы электрического изображения?
6.30. Что такое эффект Шоттки в тонких пленках?
6.31. Приведите формулу плотности тока при эмиссии Шоттки.
6.32. В каком случае в тонких пленках преобладает туннелирование?
6.33. Как зависит вероятность туннелирования от высоты потенциального барьера?
6.34. Как определить длину свободного пробега в сплошной металлической пленке?
6.35. Поясните механизм рассеяния электронов в тонких пленках.
6.36. Как определить проводимость пленки из металла?

6.37. Приведите формулу Нортгейма для толстых пленок.

6.38. В чем особенности температурного коэффициента сопротивления тонких пленок (по сравнению с ТКС массивных образцов)?

6.39. Как определяется критическое напряжение, при котором в диэлектрических пленках начинается переход от закона Ома к квадратичному закону?

6.40. Поясните ВАХ диэлектрической пленки.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

– самостоятельная работа в виде выполнения индивидуальных заданий при подготовке к защите лабораторных работ, подготовка к компьютерному тестированию и защите лабораторной работы;

– подготовка к миниконтрольным.

Содержание самостоятельной работы студентов

Виды самостоятельной работы	Содержание (ссылки на источники)	Количество часов на выполнение СР, часов
1	2	3
Подготовка к компьютерному тестированию при защите лабораторной работы	**Темы:** 1. Термографический анализ диаграммы состояния бинарных систем. 2. Изучение адгезии тонких металлических пленок к различным типам подложек. 3. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках. 4. Электрохимические процессы и явления. Информационные источники: [16]	10 10 10 10
Подготовка к аудиторной миниконтрольной	**Миниконтрольная 1** Классификация физико-химических процессов микро- и наноэлектроники. Материалы электронной техники. Силы связи в твердых телах. Кристаллическая решетка. Дефекты кристаллических структур. Деформация. Энергетические уровни и зоны. Примесные уровни. Кинетические явления в полупроводниках. Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках. Химическая термодинамика технологических процессов производства РЭС. Тепловые свойства твердых тел. Тепловое расширение. Проводимость металлов и сплавов. Удельное сопротивление. Электропроводность полупроводников. Сверхпроводимость. Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля. Информационные источники: [1-15] **Миниконтрольная 2** Контакт полупроводник-полупроводник. Потенциальный барьер. Неравновесное состояние перехода. Инжекция и экстракция. Характеристики p-n перехода. Емкость перехода. Пробой перехода. Неинжектирующие контакты. Туннельный переход. Контакт металл-полупроводник. Запирающие и антизапирающие контакты. Особенности контактов металл-полупроводник. Омический контакт. Контакт двух металлов. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. Законы диффузии. Механизмы диффузии. Одностадийная и двухстадийная диффузия. Дополнительная функция ошибок. Функция Гаусса. Ионное легирование полупроводников. Схема процесса ионного легирования. Каналирование. Информационные источники: [1-15]	12 12
Подготовка к экзамену		36
Всего		**100**

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УСВОЕНИЯ ЗНАНИЙ

Диагностика качества усвоения знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации. Методика расчета и календарный план мероприятий текущего контроля доводится до сведения студентов на первом занятии изучаемой дисциплины.

Мероприятия текущего контроля проводятся в течение семестра и включают в себя следующие формы контроля:

1. Миниконтрольные по разделам изучаемой дисциплины;

2. Письменные отчеты по лабораторным работам, компьютерное тестирование при защите отчёта по лабораторной работе.

Результат текущего контроля за семестр оценивается отметкой в баллах по десятибалльной шкале и выводится исходя из отметок, выставленных в ходе проведения мероприятий текущего контроля в течение семестра по следующей формуле:

$$T=(TK_1+TK_2+...+TK_n)/n,$$

где TK_1... TK_n – отметки, выставленные в ходе проведения мероприятий текущего контроля,

n – количество мероприятий текущего контроля.

Допускается по представлению преподавателя и по решению кафедры энергетики и электроники Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой увеличение результата текущего контроля для студентов, принимавших участие в студенческих конференциях, конкурсах студенческих работ, имеющих опубликованные научные работы по тематике дисциплины и т.д.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится во втором семестре в форме экзамена.

Экзаменационная отметка по дисциплине является средневзвешенной и формируется по следующим правилам:

- экзаменационная оценка определяется с учетом весового коэффициента текущего контроля k, который устанавливает вклад отметок, полученных в ходе текущего контроля в течение семестра в экзаменационную отметку и принимает значение 0,5;

- экзаменационная отметка по дисциплине рассчитывается на основе результата текущего контроля и отметки, полученной студентом за ответ по билету, по формуле

$$Э = k \cdot T + (1 - k) \cdot O,$$

где – Э- экзаменационная отметка; k – весовой коэффициент текущего контроля; Т – результат текущего контроля за семестр, оценивается одной отметкой по десятибалльной шкале, которая выводится из отметок, полученных в семестре; О – отметка по десятибалльной шкале, полученная студентом за ответ по билету.

Положительной является отметка не ниже 4 баллов.

Методика расчёта отметки текущего контроля за семестр

Тип занятия	Номер недели	Мероприятия текущего контроля	Максимальный балл текущего контроля
Лекционные занятия	6	Аудиторная миниконтрольная	2
	12	Аудиторная миниконтрольная	2
	16	Подготовка презентаций и рефератов	2
Лабораторные работы	4	Защита отчета по лабораторной работе 1	1
	8	Защита отчета по лабораторной работе 2	1
	12	Защита отчета по лабораторной работе 3	1
	16	Защита отчета по лабораторной работе 4	1

ХАРАКТЕРИСТИКА ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К ПРЕПОДАВАНИЮ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» используются следующие инновационные подходы:

- для подготовки к проведению всех видов занятий используется учебно-методический комплекс;
- для оценки знаний и компетенций студентов используется рейтинговая система;
- компьютерные тесты для контроля знаний по разделам изучаемой дисциплины на базе платформ Smart test, moodle.

Методы и технологии обучения: аудиторные лекционные занятия с применением мультимедийных презентаций.

При изучении дисциплины предусмотрена управляемая самостоятельная работа студентов по разделам:

– физические процессы в диэлектриках;
– электрохимические процессы в технологии РЭС;
–. деградационные процессы;
– физические явления в тонких пленках.

В результате УСРС каждый студент готовит реферат по соответствующему разделу и мультимедийную презентацию. Данные материалы выкладываются в Google classroom либо Moodle.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ УЧЕБНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Принятое решение кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Электронные приборы	энергетики и электроники	Предложений и замечаний нет /В.А. Довгяло/ Зав. кафедрой ЭиЭ	
Технологические процессы интегральной электроники			
Проектирование изделий интегральной электроники			
Типовые компоненты и датчики контрольно-диагностических средств			
Физические основы проектирования программно-управляемых электронных средств			

РЕЦЕНЗИЯ
на учебную программу учреждения высшего образования
учебной дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники»
для специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии»

Учебная программа дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» для специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии» соответствует общим квалификационным требованиям, определяемым типовым учебным планом данной специальности.

Учебная программа разработана на 180 академических часов, из которых в аудитории должно быть проведено 80, включая 64 часа лекций и 16 часов лабораторных занятий.

Для понимания принципов действия электронных приборов, технологии их производства, возможности использования в новых разработках электронной аппаратуры студент должен овладеть необходимым комплексом физических и химических знаний. Поэтому цель и задачи, поставленные перед студентами, безусловно, актуальны и их реализация диктуется производственной необходимостью.

Требования к умениям, навыкам, знаниям, поставленные автором при составлении учебной программы и определенные базовыми профессиональными компетенциями данной дисциплины, направлены на приобретение студентами багажа знаний для успешного применения электрофизических процессов, эффектов и явлений в разработке, производстве и эксплуатации современной электронной и микроэлектронной аппаратуры.

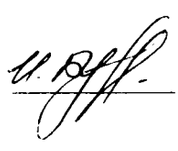
Лекционный курс дисциплины построен логически правильно. Содержание тем, предлагаемых для изучения, безусловно, позволяет в полном объеме получить знания о явлениях, лежащих в основе физико-химических процессов технологии микро-и наноэлектроники, физических явлениях, процессах и закономерностях, лежащих в основе работы p-n переходов, особенностях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов на работоспособность полупроводниковых приборов и изделий интегральной электроники. Кроме того, студенты должны освоить типовые технологические процессы легирования полупроводников.

Лабораторные работы, предлагаемые автором программы, позволяют практически исследовать явления адгезии и электролиза, строить диаграммы состояния бинарных систем и определять времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках.

В целом, программа составлена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям документа от 27.05.2019 «Порядок разработки и утверждения учебных программ», утвержденным Министерством образования, может быть рекомендована к утверждению в качестве учебной программы учреждения высшего образования для учебной дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии».

Рецензия рассмотрена и утверждена на кафедре математики и компьютерной безопасности УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»

протокол № 11 от «16» 11 2023 г.

Заведующий кафедрой
математики и компьютерной безопасности  И.Б. Бураченок

РЕЦЕНЗИЯ

на учебную программу учреждения высшего образования
учебной дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники»
для специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии»

Учебная программа учебной дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» изложена на 30 страницах и содержит следующие разделы: цель и задачи дисциплины, содержание учебного материала, учебно-методическую карту учебной дисциплины, информационно-методическую часть, протокол согласования учебной программы с другими учебными дисциплинами специальности. Информационно-методическая часть содержит перечень основных и дополнительных литературных источников, электронные ресурсы из медиатеки кафедры энергетики и электроники, перечень вопросов для проведения экзамена, тестовые задания по изучаемому материалу, порядок организации самостоятельной работы студентов, контроль качества усвоения знаний, характеристику инновационных подходов к преподаванию учебной дисциплины.

Название и содержание учебной программы дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» соответствует типовому учебному плану специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии» (регистрационный № 15-23/уч. ФКПиЭ от 04.04.2023 г.), а также квалификационным требованиям к выпускникам.

Программа рассчитана на 180 академических часов, из которых 80 аудиторных (лекции – 64 часов, лабораторные занятия – 16 часов).

Содержание учебной программы соответствует уровню подготовленности студентов к изучению данной дисциплины. Успешность изучения дисциплины «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» обеспечивается предшествующей подготовкой студентов.

Знание физико-химических основ функционирования и производства микро- и наноэлектронных структур позволит будущим инженерам успешно владеть методами использования основных электрофизических процессов и явлений при разработке, производстве и эксплуатации современной электронной и микроэлектронной аппаратуры.

Материал, представленный к изучению в дисциплине полностью соответствует формированию базовых профессиональных компетенций, предусмотренных учебным планом специальности.

Заключение: учебная программа «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники» рекомендуется к утверждению в качестве учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности 6–05-0713-02 «Электронные системы и технологии».

Главный инженер
ОАО «Измеритель» А.В. Нелин

Беларусь. Витебская область. Новополоцк. Республика. ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ИЗМЕРИТЕЛЬ»