

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



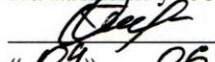
Поверхностные явления в полупроводниках

Учебный модуль по направлению подготовки
11.03.04 – Электроника и наноэлектроника
Профиль – Микроэлектроника и твердотельная электроника

Рабочая программа

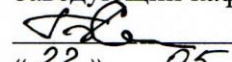
СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела

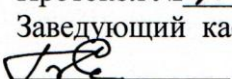
 О.Б. Широколобова
« 03 » 06 20 г.

Разработал

Заведующий кафедрой ФТТМ

 Б.И. Селезнев
« 22 » 05 20 17 г.

Принято на заседании КФТТМ
Протокол № 10 от 22.05.2017 г.

Заведующий кафедрой, проф.
 Б.И. Селезнев

1 Цели и задачи учебного модуля

Цель изучения учебного модуля (УМ) – анализ явлений на поверхности полупроводников, границах раздела полупроводник-диэлектрик и диэлектрических пленках и формирование научной основы для создания элементов, приборов и устройств микро и нанoeлектроники.

Основные задачи УМ:

- установление связей между характеристиками поверхности и технологией создания твердотельных микро- и наноструктур;
- выявление доминирующих характеристик поверхности, определяющих параметры твердотельных микроприборов и элементов интегральных схем;
- анализ областей применения диэлектрических пленок в микроэлектронике;
- анализ характеристик границ раздела диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник.

Ведущая идея учебного модуля – демонстрация роли курса «Поверхностные явления в полупроводниках» как важнейшего связующего звена при изучении студентами широкого цикла специальных дисциплин ОП по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника».

2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Учебный модуль «Поверхностные явления в полупроводниках» входит в часть «Дисциплины (модули) по выбору» блока 1. Изложение курса базируется на результатах изучения учебных модулей базовой части блока 1: математики, физики, химии, физики конденсированного состояния, основ проектирования и технологии электронной компонентной базы и вариативной части: микроэлектроники и твердотельной электроники.

В результате изучения предшествующих модулей и для изучения УМ «Поверхностные явления в полупроводниках», обучающиеся должны:

знать:

- технологию создания твердотельных микро- и наноструктур;
- физические процессы, лежащие в основе функционирования базовых полупроводниковых структур;
- физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники.

уметь:

- применять физические и математические модели для расчета характеристик микроструктур;
- выявлять доминирующие физико-химические факторы в технологическом цикле создания микроприборов;

владеть:

- современным математическим аппаратом, используемым для построения моделей приборов и устройств электроники и навыками расчета основных параметров и характеристик приборов твердотельной электроники.

Освоение данного модуля необходимо при изучении следующих учебных модулей:

- нанoeлектроника;
- элементная база сверхбольших интегральных схем;

- процессы микро- и нанотехнологии.

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенций:

- ОПК-2 - способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

- ПК-1 - способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

- ПК-2 - способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения;

- ПК-3 - готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;

В результате изучения учебного модуля «Поверхностные явления в полупроводниках» студент должен знать, уметь, владеть:

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-2	Базовый	Основные физико-химические процессы, происходящие на поверхности твердых тел	Объяснять сущность физических явлений, происходящих на границах раздела диэлектрик-полупроводник и в объеме диэлектрических пленок	Способами выявления доминирующих физико-химических факторов на поверхности твердых тел
ПК-1	Повышенный	Способы построения физико-химических моделей центров захвата и рекомбинации	Уметь проводить анализ влияния физико-химических воздействий на концентрацию центров захвата и рекомбинации	Владеть способами расчета концентрации центров захвата и рекомбинации
ПК-2	Повышенный	Основные параметры и характеристики поверхности; основные проблемы применения диэлектрических	Уметь выбирать типы диэлектрических покрытий для конкретных применений в микро- и наноструктурах	Методами экспериментального и теоретического исследования структуры диэлектрических пленок и границ раздела

		пленок в микро- и наноэлектронике; основные характеристики системы Si-SiO₂ ; характеристики систем металл-полупроводник		диэлектрик-полупроводник
ПК-3	Повышенный	Алгоритмы представления научно-технической информации и результатов исследований	Производить анализ результатов исследований, делать количественные оценки параметров поверхности полупроводников, выявлять научную и практическую значимость	Способами подготовки научных докладов на конференциях (в т.ч. презентации), тезисов докладов, научных публикаций

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

Учебная работа (УР)	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
	8 семестр	
Трудоёмкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	3	
Распределение трудоёмкости по видам УР в академических часах (АЧ)	108	
лекции	18	ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3
практические занятия	36	
лабораторные работы	0	
аудиторная СРС (в т.ч.)	9	
внеаудиторная СРС	54	
Аттестация - дифференцированный зачет		

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

Учебный модуль разбит на два учебных элемента:

- УЭМ1 Теория поверхности
- УЭМ2 Системы диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник

УЭМ1 Теория поверхности

1. 1 Предмет и задачи курса

Роль поверхностных явлений в полупроводниках в микро- и наноэлектронике. Атомарно чистая поверхность. Поверхностные уровни. Диэлектрические пленки в микроэлектронике. Границы раздела. Роль границ раздела. Физико-химические свойства границ раздела, как факторы, определяющие использование полупроводниковых материалов в приборах микроэлектроники.

1.2 Расчет области пространственного заряда у поверхности полупроводника

Поверхность реального кристалла. Модель реальной поверхности. Энергетические зоны у поверхности полупроводника. Расчет напряженности поля и суммарного заряда. Вывод выражения для функции $F(\phi)$. Расчет распределения потенциала в области пространственного заряда. Квазинейтральная область. обедненная область. Инверсные и обогащенные слои.

1.3 Параметры и характеристики поверхности

Безразмерный электростатический потенциал Y . Безразмерный поверхностный электростатический потенциал Y_s . Безразмерная величина λ , характеризующая объемные свойства образца полупроводника. Уровень инжекции δ . Функция $F(Y, \lambda, \delta)$. Поверхностный и объемный заряд. Емкость приповерхностного слоя пространственного заряда. Зависимость емкости пространственного заряда от Y_s . Дифференциальная емкость, соответствующая изменению заряда, захваченного на поверхностные уровни. Полная дифференциальная емкость. Приповерхностные избытки носителей заряда и поверхностная проводимость. Зависимость поверхностной проводимости от Y_s . Эффект поля. Поверхностная рекомбинация. Скорость поверхностной рекомбинации. Зависимость скорости поверхностной рекомбинации от Y_s .

1.4 Реальная поверхность полупроводников

Быстрые поверхностные состояния. Параметры быстрых поверхностных состояний. Энергетический спектр центров захвата. Модели происхождения центров захвата. Параметры рекомбинационных центров. Влияние внешних воздействий на концентрацию рекомбинационных центров. Модели центров поверхностной рекомбинации. Медленные состояния. Зависимость медленной релаксации от температуры. Место локализации медленных состояний. Модель медленной релаксации. Связь электрофизических параметров поверхности с ее адсорбционными характеристиками. О возможной физико-химической природе поверхностных состояний.

1.5 Эквивалентная схема МДП-системы и ее вольт-фарадная характеристика

Низкочастотная эквивалентная схема МДП-структуры. Математическое выражение полных равновесных емкостей. Равновесная дифференциальная емкость МДП-структуры. Полная эквивалентная схема МДП-структуры. Эквивалентная схема объема. Влияние емкости поверхностных состояний на форму $C(V)$ кривых.

УЭМ2 Системы диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник

2.1 Диэлектрические пленки в микроэлектронике

Диоксид кремния. Нитрид кремния. Оксид алюминия. Боросиликатные и фосфорно-силикатные стекла. Маскирование поверхности полупроводника при локальном легировании или ионной имплантации. Пассивация поверхности полупроводников. Защитные покрытия при ионной имплантации в арсенид галлия и нитрид кремния.

2.2 Система кремний-диоксид кремния

Электронно-ионные процессы в системе $Si-SiO_2$. Взаимосвязь технологических

параметров и электрофизических свойств МДП-систем. Фиксированный заряд. Поверхностные состояния. Нестабильность электрофизических свойств системы **Si-SiO₂**. Ловушечные уровни в системе **Si-SiO₂**. Стабилизация электрофизических свойств системы **Si-SiO₂**.

2.3 Методы ИК-спектроскопии для исследования структуры диэлектрических пленок

Характеристики полос ИК-пропускания. Валентные и деформационные колебания. Структура пленок **SiO₂**, полученных различными методами. Структура нитридных и оксинитридных пленок. ИК спектры пропускания пассивирующих и защитных стекол. Метод многократного нарушенного полного внутреннего отражения.

2.4 Метод вольт-фарадных характеристик

Квазистатические и высокочастотные C-V характеристики. Определение типа проводимости полупроводниковой подложки и расчет толщины подзатворного диэлектрика. Неравновесное обеднение. Определение величины и профиля концентрации легирующей примеси. Определение величины и знака встроенного заряда на основе теоретического и экспериментального значения напряжения плоских зон. Дифференциальный, интегральный и температурный методы расчета плотности поверхностных состояний на границе раздела полупроводник - диэлектрик.

2.5 Границы раздела металл-полупроводник

Границы раздела металл - полупроводник. Зонные энергетические диаграммы барьера, образующегося при контакте металла с полупроводником. Эффект Шотки. Омический контакт. Барьеры Шотки к кремнию и арсениду галлия. Омические контакты к кремнию и полупроводникам A^3B^5 .

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

4.3 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в приложении А.

5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения модуля используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра, рубежный (после освоения каждого УЭМ) и семестровый – по окончании изучения УМ.

Максимальный рейтинг по УМ – 150 баллов. В баллах оценивается решение задач на практических занятиях, опросы и результаты контрольных работ.

Рубежная аттестация проводится на 9 неделе семестра по результатам текущего и рубежного контроля по УЭМ1. Пороговому уровню соответствует 38 баллов,

максимальное количество баллов – 75.

Семестровая аттестация проходит на 18-й неделе в виде дифференцированного зачета. Зачет проставляется по результатам рубежного контроля (9 неделя) и текущего контроля за соответствующий период.

Оценка качества освоения учебного модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования» и Положением «О фонде оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации студентов и итоговой аттестации выпускников». В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: практические занятия, контрольные работы, самостоятельное решение задач и самостоятельная работа по ознакомлению с аналитическим оборудованием.

Содержание видов контроля и график отражены в технологической карте учебного модуля (приложение Б). Паспорта компетенций представлены в приложении В.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (приложение Г).

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине необходима лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами и специальное оборудование: зондовая станция с системой исследования ВФХ, ИК- спектрометр.

Приложения (обязательные):

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорт компетенций

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

Приложение А (обязательное)

Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Поверхностные явления в полупроводниках»

Учебный модуль «Поверхностные явления в полупроводниках» разделен на два учебных элемента модуля (УЭМ). Каждый из УЭМ состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены практические занятия.

В таблице А.1 отражены темы, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студентов и ссылки на дополнительную литературу.

А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний о характеристиках реальной поверхности полупроводников, свойствах диэлектрических пленок и границах раздела диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник.

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице А.1.

А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям

Цель практических занятий – получение навыков расчета параметров и характеристик поверхности, ознакомление со сложным аналитическим оборудованием

На практических занятиях студенты знакомятся с методами расчета зарядовых эффектов, параметров поверхностной рекомбинации, поверхностной проводимости, характеристик ИК-пропускания. Зарядовые эффекты рассчитываются на основе экспериментально измеренных студентами вольт-фарадных характеристик.

Пример контрольной работы:

1. При каких значениях потенциала образуются инверсные слои в германии, если концентрация $N_D - N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$.
2. Рассчитать и построить зависимость потенциала φ в обедненной области от $(d - x)^2$. Концентрацию $N_A - N_D$ принять равной $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.
3. Какие наиболее серьезные последствия существования заряда на границе Si-SiO₂ с точки зрения характеристик биполярных или МДП-схем?
4. Какова физическая природа заряда на границе Si-SiO₂?

А.3 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов по УМ предусматривает проработку необходимых разделов конспекта лекций и подготовку к практическим занятиям. На занятиях студент, прежде всего, должен освоить методы расчета параметров поверхности и характеристик систем полупроводник-диэлектрик.

Оценка самостоятельной работы студентов по темам проверяется на опросах. Вопросы для проверки самостоятельной работы содержатся в фонде оценочных средств (ФОС), приложение Б.

Например – Тема: Теория поверхности (вопросы для опроса)

1. Атомарно чистая поверхность. Поверхностные уровни Тамма.
2. Применение диэлектрических пленок в микроэлектронике.

Для самостоятельной подготовки предлагаются вопросы по учебному модулю.

УЭМ1

1. Атомарно чистая поверхность. Поверхностные уровни Тамма.
2. Применение диэлектрических пленок в микроэлектронике.
3. Поверхность реальных кристаллов германия и кремния.
4. Энергетические зоны у поверхности полупроводника.
5. Квазинейтральная область.
6. Обедненная область.
7. Инверсные и обогащенные слои.
8. Безразмерный электростатический потенциал Υ .
9. Поверхностный и объемный заряд.
10. Емкость приповерхностного слоя пространственного заряда.
11. Приповерхностные избытки носителей заряда.
12. Поверхностная проводимость.
13. Поверхностная рекомбинация.
14. Реальная поверхность полупроводников
15. Быстрые поверхностные состояния.
16. Модели происхождения центров захвата.
17. Медленные состояния.
18. Низкочастотная эквивалентная схема МДП- структуры.
19. Влияние емкости поверхностных состояний на форму $C(V)$ кривых.

УЭМ2

1. Диоксид кремния.
2. Нитрид кремния.
3. Оксид алюминия.
4. Пассивация поверхности полупроводников.
5. Защитные покрытия при ионной имплантации в арсенид галлия и нитрид кремния.
6. Взаимосвязь технологических параметров и электрофизических свойств МДП-систем.
7. Фиксированный заряд.
8. Поверхностные состояния.
9. Стабилизация электрофизических свойств системы **Si-SiO₂**.
10. Характеристики полос ИК-пропускания
11. Структура пленок **SiO₂**, полученных различными методами.
12. Структура нитридных и оксинитридных пленок.
13. Квазистатические и высокочастотные C-V характеристики.
14. Определение величины и знака встроенного заряда на основе теоретического и экспериментального значения напряжения плоских зон.
15. Границы раздела металл - полупроводник.
16. Зонные энергетические диаграммы барьера, образующегося при контакте металла с полупроводником.
17. Омический контакт.
18. Барьеры Шотки к кремнию и арсениду галлия.

Таблица А.1 - Организация изучения учебного модуля «Поверхностные явления в полупроводниках»

Разделы	Технология формы проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература
УЭМ1 Теория поверхности			
1. 1 Предмет и задачи курса	- вводная лекция - проведение ПЗ	- подготовка к опросу изучение литературы по теме - подготовка к выполнению практических занятий - подготовка к выполнению контрольной работы	1 Красников Г.Я. Система кремний-диоксид кремния субмикронных СБИС/ Г.Я.Красников, Н.А.Зайцев. – М.: Техносфера, 2003. – 383 с. 2 Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников / В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. – М.: Наука, 1990. – 627 с. 3 Сборник задач по физике полупроводников / В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В.Карпенко, А.Г.Миронов. – М.: Наука, 1987. – 144 с. 4 Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2-х кн. / Пер. с англ. – Кн. 1. – М.: Мир, 1984. – 456 с. 5 Матухин В.Л. Физика твердого тела: учебное пособие. – СПб: Лань, 2010. – 218 с.: ил. 6 Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2011. – 463 с.
1.2 Расчет области пространственного заряда у поверхности полупроводника	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ - проведение опроса		
1.3 Параметры и характеристики поверхности	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ		
1.4 Реальная поверхность полупроводников	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ		
1.5 Эквивалентная схема МДП-системы и её вольт-фарадная характеристика	- информационные лекции - проведение ПЗ - проведение контрольной работы		

Разделы	Технология формы проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература
УЭМ2 Системы диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник			1 Красников Г.Я. Система кремний-диоксид кремния субмикронных СБИС/ Г.Я.Красников, Н.А.Зайцев. – М.: Техносфера, 2003. – 384 с.:ил. 2 Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников / В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. – М.: Наука, 1990. – 627 с. 3 Сборник задач по физике полупроводников / В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В.Карпенко, А.Г.Миронов. – М.: Наука, 1987. – 144 с. 4 Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2-х кн. / Пер. с англ. – Кн. 1. – М.: Мир, 1984. – 456 с. 5 Матухин В.Л. Физика твердого тела: учебное пособие. – СПб: Лань, 2010. – 218 с.: ил. 6 Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2011. – 463 с.
2.1 Диэлектрические пленки в микроэлектронике	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ	- изучение литературы по теме - подготовка к опросу - подготовка к выполнению практических занятий - подготовка к выполнению контрольной работы - подготовка к зачету	
2.2 Система кремний-диоксид кремния	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ		
2.3 Методы ИК-спектроскопии для исследования структуры диэлектрических пленок	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ		
2.4 Метод вольт-фарадных характеристик	- опрос - информационная лекция - проведение ПЗ		
2.5 Границы раздела металл-полупроводник	- опрос - заключительная лекция - проведение ПЗ - выполнение контрольной работы		

Приложение Б

(обязательное)

Технологическая карта
учебного модуля «Поверхностные явления в полупроводниках»
семестр 8, ЗЕТ 3, вид аттестации ДЗ, акад.часов 108, баллов рейтинга 150

Номер и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успеваемости (в соотв. с паспортом ФОС)	Максимальное количество баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
УЭМ1 Теория поверхности	1-9	9	18		4	27		75
1.1 Предмет и задачи курса	1	1	2			5	разн. задачи	10
1.2 Расчет области пространственного заряда у поверхности полупроводника	2-3	2	4		1	6	разн. задачи	10
							опрос	5
1.3 Параметры и характеристики поверхности	4-5	2	4		1	6	разн. задачи	10
							опрос	5
1.4 Реальная поверхность полупроводников	6-7	2	4		1	5	разн. задачи	10
							опрос	5
1.5 Эквивалентная схема МДП-системы и ее вольт-фарадная характеристика	8-9	2	4		1	5	разн. задачи	10
							опрос	5
							конт. работа	5
Рубежный контроль по УЭМ1	9	(не менее 38 баллов из 75)						
УЭМ2 Системы диэлектрик-полупроводник, металл-полупроводник	10-18	9	18		5	27		75
2.1 Диэлектрические пленки в микроэлектронике	10 -11	1	4		1	5	разн. задачи	10
2.2 Система кремний-диоксид кремния	12-13	2	4		1	5	разн. задачи	10
							опрос	5
2.3 Методы ИК-спектроскопии для исследования структуры диэлектрических пленок	14	2	2		1	6	разн. задачи	10
							опрос	5
2.4 Метод вольт-фарадных характеристик	15-16	2	4		1	5	разн. задачи	10
							опрос	5
2.5 Границы раздела металл-полупроводник	17-18	2	4		1	6	разн. задачи	10
							опрос	5
							контр. работа	5
Рубежный контроль по УЭМ2	18	(не менее 38 баллов из 75)						
Семестровый контроль							ДЗ	
Итого:		18	36		9	54		150

Критерии оценки качества освоения студентами учебного модуля

3 ЗЕТ = 50 б. × 3 = 150 баллов: «удовлетворительно» – от 75 до 104 баллов; «хорошо» – от 105 до 134 баллов; «отлично» – от 135 до 150 баллов

Приложение В
(обязательное)

Паспорта компетенций ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3

ОПК-2 - Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый	Основные физико-химические процессы, происходящие на поверхности твердых тел	Ограниченность представлений о влиянии внешних воздействий на характеристики поверхности	Отдельные неточности при анализе явлений на реальной поверхности твердых тел	Умеет анализировать физико-химические процессы, происходящие на поверхности твердых тел
	Объяснять сущность физических явлений, происходящих на границах раздела диэлектрик-полупроводник и в объеме диэлектрических пленок;	Неполные представления о зарядовых эффектах на границах раздела	Отдельные неточности при анализе процессов на границах раздела сред	Полные представления о физических процессах на границах раздела диэлектрик-полупроводник и в объеме диэлектрических пленок
	Способами выявления доминирующих физико-химических факторов на поверхности твердых тел	Неполный перечень факторов, определяющих физико-химические процессы на поверхности полупроводников	Отдельные неточности при выявлении взаимосвязи физических и химических процессов на поверхности твердых тел	Способен правильно оценивать роль различных физико-химических факторов и выявлять доминирующие

ПК-1 - Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

Уро вни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный	Способы построения физико-химических моделей центров захвата и рекомбинации	Недостаточно адекватное соответствие физико-химических моделей роли центров захвата и рекомбинации	Отдельные неточности при анализе моделей центров захвата и рекомбинации	Способен адекватно строить модели центров захвата и рекомбинации
	Уметь проводить анализ влияния физико-химических воздействий на концентрацию центров захвата и рекомбинации	Недостаточно полное владение процессами адсорбции и десорбции на поверхности полупроводников	Отдельные неточности при анализе температурных режимов процессов адсорбции	Способен полно и адекватно анализировать влияние различных физико-химических факторов на формирование центров захвата и рекомбинации
	Владеть способами расчета концентрации центров захвата и рекомбинации	Неполные представления о методах расчета центров захвата и рекомбинации	Некоторые неточности при выборе моделей расчета	Способен рассчитывать концентрации центров захвата и рекомбинации при различных состояниях поверхности

ПК-2 - Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения

Уро вни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный	Знать основные параметры и характеристики поверхности; основные проблемы применения диэлектрических пленок в микро- и нанoeлектронике; основные характеристики системы Si-SiO ₂ ; характеристики систем металл-полупроводник	Неполное владение способами применения диэлектрических пленок	Отдельные неточности при анализе применения диэлектрических пленок	Способен проводить экспериментальные и теоретические систем диэлектрик-полупроводник
	уметь выбирать типы диэлектрических покрытий для конкретных применений в микро- и наноструктурах	Допускает ошибки при выборе диэлектрических пленок для конкретных применений	Отдельные неточности при выборе диэлектрических покрытий	Способен адекватно проводить выбор диэлектрических пленок для конкретных применений
	методами экспериментального и теоретического исследования структуры диэлектрических пленок и границ раздела диэлектрик-полупроводник	Не в полной мере владеет методами теоретического исследования	Неточности при комплексном проведении экспериментальных и теоретических исследований	Способен правильно выбирать основные методы экспериментальных исследований и давать теоретическое обоснование

ПК-3 - Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный	Алгоритмы представления научно-технической информации и результатов исследований	Неполное владение способами представления результатов исследований	Неточности при анализе способов представления научно-технической информации	Владеет алгоритмами представления научно-технической информации
	Производить анализ результатов исследований, делать количественные оценки параметров поверхности полупроводников, выявлять научную и практическую значимость	Ошибки при проведении количественных оценок параметров поверхности	Отдельные неточности при анализе результатов исследований (выводы)	Способен проводить анализ результатов исследований
	Способами подготовки научных докладов на конференциях (в т.ч. презентации), тезисов докладов, научных публикаций	Неточности при представлении целей, задач , а также ошибки при представлении выводов	Отдельные неточности при подготовке презентаций	Владеет способами представления результатов исследований

Приложение Г
(обязательное)
Карта учебно-методического обеспечения

Учебного модуля **«Поверхностные явления в полупроводниках»**
 Направление (специальность) 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
 Формы обучения очная
 Курс 4 Семестр 8
 Всего: 3 ЗЕ, часов: 108, лекций 18, практ. зан. 36, лаб. раб. 3, СРС 54
 Обеспечивающая кафедра ФТТМ институт ИЭИС

Таблица Г.1 - Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учеб. пособие для вузов / Г. И. Епифанов. - 3-е изд., испр. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 287, [1] с.	5	
2. Ефимов И.Е. Основы микроэлектроники: учебник /И.Е.Ефимов, И.Я. Козырь. – 3-изд., стер. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. – 383 с.	26	
3. Красников, Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 1 / Г. Красников. - М. : Техносфера, 2002. - 413 с.	2	
4. Красников, Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 2 / Г. Красников. - М. : Техносфера, 2004. - 535 с.	2	
5. Красников, Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г. Я. Красников. - 2-е изд., испр. - М. : Техносфера, 2011. - 799, [1] с.	4	
6. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учеб. для вузов / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 390, [2] с.	15	
Учебно-методические издания		
1. Рабочая программа «Поверхностные явления в полупроводниках» /авт.-сост. Б.И.Селезнев; НовГУ. – В.Новгород, 2017. – 17 с.		

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание

Таблица Г.3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1. Красников, Г. Я. Система кремний - диоксид кремния субмикронных СБИС / Г. Я. Красников, Н. А. Зайцев. - М. : Техносфера, 2003. - 383 с.	2	
2. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учеб. пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - СПб. : Лань, 2010. - 218, [1] с.	3	
3. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учеб. пособие для вузов / В. И. Старосельский. - М. : Юрайт, 2011. - 463, [1] с.	12	БиблиоТех - https://novsu.bibliotech.ru/Reader/BookPreview/1123792 (доступно 25 страниц)
4. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учеб. пособие для вузов / В. И. Старосельский. - М. : Юрайт, 2014. - 463, [1] с.	2	

Действительно для учебного года _____ / _____

Зав. кафедрой _____ Б.И. Селезнев

_____ 20 ____ г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ:

должность

подпись

расшифровка