

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета нано- и биомедицинских
технологий, профессор


С.Б. Вениг
«09» 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
Поверхностные явления в полупроводниках



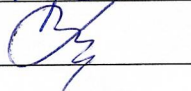
Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
«Физика и технология твердотельных электронных»
микро- и наноструктур»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Сергеев С.А.		20.10.2021
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		22.10.2021
Заведующий кафедрой	Михайлов А.И.		20.10.2021
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Поверхностные явления в полупроводниках» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний умений и владений и усвоение материала о современных знаниях о физике поверхности полупроводников.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о поверхностных явлениях в полупроводниках и их применении в молекулярной электронике;
- формирование умений теоретически исследовать поверхностные явления в полупроводниках;
- формирование владений методами и исследования поверхности полупроводников;
- формирование знаний практического использования и учета поверхностных явлений в электронике.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Поверхностные явления в полупроводниках» относится к профессиональному циклу и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению «Электроника и наноэлектроника», в течение 7 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, инженерной и компьютерной графике, методам математической физики, теоретическим основам электротехники, квантовой механике, кристаллографии и кристаллофизике, термодинамике, электродинамике, физике конденсированного состояния, физике полупроводников, подготавливает студентов к изучению в том же семестре таких дисциплин как физико-химические основы технологии электроники и наноэлектроники, основы молекулярной электроники.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины «Поверхностные явления в полупроводниках» формируются следующие компетенции: ПК-3

ПК-3. Готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительно-вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности. Компетенция ПК-3 формируется в части учета тенденции дальнейшего развития поверхностных явлений в полупроводниках.

В результате изучения дисциплины обучающийся студент должен:

- знать физические и химические процессы, протекающие на поверхности полупроводников;
- уметь теоретически анализировать, рассчитывать и экспериментально исследовать поверхностные явления в полупроводниках;
- владеть методиками экспериментального исследования поверхностных явлений в полупроводниках, методами и основными подходами к их теоретическому описанию и анализу.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

					Формы текущего контроля
--	--	--	--	--	-------------------------

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- местр	Неделя се- местра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоем- кость (в часах)				успеваемости (по неделям се- местра) Формы проме- жуточной атте- стации (по се- местрам)
				Лек	Лаб	Пр	СРС	
1.	Введение. Объекты рассмотре- ния и исследования физики по- верхности. Основные термины и определения. Реальная поверх- ность полупроводника. Общие сведения о поверхностных со- стояниях.	7	1	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 1
2.	Поверхностный потенциальный барьер и его влияние на равно- весные свойства полупроводни- ков. Приповерхностная область пространственного заряда. Рабо- та выхода. Емкость. Поверх- ностная проводимость.	7	2	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 2
3.	Роль поверхностных уровней в неравновесных электронных процессах. Скорость поверх- ностной рекомбинации. Методы исследования поверхностной рекомбинации.	7	3	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 3
4.	Методы определения поверх- ностного потенциала и парамет- ров поверхности полупроводни- ка. Электрофизические методы. Фотоэлектрические методы. Оп- тические и специальные методы.	7	4	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 4
5.	Атомарно-чистая поверхность полупроводников. Методы получения атомарно- чистой поверхности. Исследова- ние основных физико- химических свойств атомарно- чистой поверхности.	7	5	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 5
6.	Реальная поверхность. Элек- трохимические свойства по- верхностей твердых тел. По- верхностная энергия и свобод- ная поверхностная энергия и методы их оценки. Поверх- ность раздела жидкость - твердое тело. Удельная по- верхность адсорбентов. Ад- сорбция из растворов. Ад- сорбция газов и паров на твер- дых телах.	7	6	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 6
7.	Исследование поверхностных процессов в полупроводниках с помощью МДП-структур. Устройство и основные элек- трофизические свойства МДП- структур. Вольт-фарадные характеристики (ВФХ). Све- дения, получаемые при обра- ботке ВФХ, методика прове-	7	7	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 7

	дения измерений и обработки результатов.							
8.	Влияние поверхности на параметры и характеристики диодов, транзисторов. Методы пассивации.	7	8	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 8
9.	Приборы на основе поверхностно-чувствительных эффектов. МДП-диоды, транзисторы, приборы с зарядовой связью. МДП-варикапы, МДП-фотоэлектрические преобразователи. Сенсоры компонентов газовых, жидких сред. Типы. Основные принципы работы.	7	9	2		2	4	Выполнение и отчет по задачам к разделу 9
	Итого:			28		28	16	
	Общая трудоемкость дисциплины					72		Зачет

Содержание дисциплины

1. Введение. Объекты рассмотрения и исследования физики поверхности. Основные термины и определения. Реальная поверхность полупроводника. Общие сведения о поверхностных состояниях.
2. Поверхностный потенциальный барьер и его влияние на равновесные свойства полупроводников. Приповерхностная область пространственного заряда. Работа выхода. Емкость. Поверхностная проводимость.
3. Роль поверхностных уровней в неравновесных электронных процессах. Скорость поверхностной рекомбинации. Методы исследования поверхностной рекомбинации.
4. Методы определения поверхностного потенциала и параметров поверхности полупроводника. Электрофизические методы. Фотоэлектрические методы. Оптические и специальные методы.
5. Атомарно-чистая поверхность полупроводников. Методы получения атомарно-чистой поверхности. Исследование основных физико-химических свойств атомарно-чистой поверхности.
6. Реальная поверхность. Электрохимические свойства поверхностей твердых тел. Поверхностная энергия и свободная поверхностная энергия и методы их оценки. Поверхность раздела жидкость - твердое тело. Удельная поверхность адсорбентов. Адсорбция из растворов. Адсорбция газов и паров на твердых телах.
7. Исследование поверхностных процессов в полупроводниках с помощью МДП-структур. Устройство и основные электрофизические свойства МДП-структур. Вольт-фарадные характеристики (ВФХ). Сведения, получаемые при обработке ВФХ, методика проведения измерений и обработки результатов.
8. Влияние поверхности на параметры и характеристики диодов, транзисторов. Методы пассивации.
9. Приборы на основе поверхностно-чувствительных эффектов. МДП-диоды, транзисторы, приборы с зарядовой связью. МДП-варикапы, МДП-фотоэлектрические преобразователи. Сенсоры компонентов газовых, жидких сред. Типы. Основные принципы работы.

5. Образовательные технологии

В преподавании дисциплины «Поверхностные явления в полупроводниках» используются следующие образовательные технологии:

- лекционные занятия
- практические (семинарские) занятия
- самостоятельная внеаудиторная работа

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении части лекционных занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

При проведении практических занятий предполагается решение и проверка задач.

При проведении практических занятий (семинаров) в активной форме проводится решение задач по дисциплине «Поверхностные явления в полупроводниках», в соответствии с приведенным ниже списком тем проведения практических занятий.

Тематика практических занятий (семинаров)

1. Метод Кельвина измерения поверхностного потенциала.
2. Система электролит /полупроводник.
3. Модели химической и физической сорбции.
4. Динамика поверхностных состояний, равновесный и неравновесный случаи.
5. CV-характеристики: методика исследования.
6. Спектроскопии глубоких уровней - метод исследования слоистых структур.
7. Термостимулированный разряд конденсатора. Информативность метода.
8. Методы пассивации поверхности.
9. Влияние органического покрытия на поверхностный потенциал и электрофизические характеристики МДП структур

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим занятиям, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим занятиям, в выполнении заданий лектора.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;

- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;

- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой;

- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета и экзамена.

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций:

- Описать влияния освещения поверхности полупроводника на результаты измерения методом Кельвина.
- Описать технологическую линейку метода принтования.
- Выяснить при каких условиях может наблюдаться эффект гигантского усиления комбинационного рассеяния.
- Рассказать о методике приготовления образцов для исследования методами электронной микроскопии.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации

1. Дайте определения поверхностных состояний.
2. Перечислите методы исследования поверхностной рекомбинации, приведите схему эксперимента по исследованию скорости поверхностной рекомбинации.
3. Перечислите методы получения атомарно-чистой поверхности и её свойства.
4. Какими свойствами обладает реальная поверхность твердого тела. Перечислите модели для описания таких свойств.
5. Перечислите основные методы исследования физических и химических параметров и характеристик поверхности.
6. Рассмотрите влияние поверхности на характеристики полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
7. Опишите методы измерения поверхностного потенциала. Как зависит значение поверхностного потенциала от внешних воздействий и условий проведения измерений.
8. Перечислите методы пассивации поверхности.
9. Перечислите основные модели описывающие процесс адсорбции частиц на поверхности твердых подложек.
10. Расскажите о методах исследования поверхностных процессов в полупроводниках с помощью МДП-структур.
11. Расскажите о методах измерений вольт-фарадных характеристик (ВФХ) и методике определения параметров на основе анализа ВФХ МДП структур.
12. Опишите принцип действия МДП-диода, транзистора, приборов с зарядовой связью. МДП-варикапов, МДП-фотопреобразователей.

Вопросы для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Дайте определения поверхностных состояний.
2. Перечислите методы исследования поверхностной рекомбинации.
3. Перечислите методы получения атомарно-чистой поверхности и её свойства.
4. Какими свойствами обладает реальная поверхность твердого тела.
5. Перечислите основные методы исследования физических и химических параметров и характеристик поверхности.
6. Рассмотрите влияние поверхности на характеристики полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
7. Опишите методы измерения поверхностного потенциала. Как зависит значение поверхностного потенциала от внешних воздействий и условий проведения измерений.
8. Перечислите методы пассивации поверхности.

9. Перечислите основные модели описывающие процесс адсорбции частиц на поверхности твердых подложек.
10. Расскажите о методах измерений вольт-фарадных характеристик (ВФХ) и методике определения параметров на основе анализа ВФХ МДП структур.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Физические и химические основы нанотехнологий [Текст] / Н. Г. Рамбиди, А. В. Берёзкин. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 454, [2] с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 447-454. - ISBN 978-5-9221-0988-8 (в пер.) :
2. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст] / И. П. Суздалев. - М. : КомКнига, 2006. - 589, [3] с. : рис., табл. - (Синергетика: от прошлого к будущему). - ISBN 5-484-00243-5 (в пер.)

б) дополнительная литература:

1. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения - 2008 год [Текст] : сборник / под ред. П. П. Мальцева. - М. : Техносфера, 2008. - 430, [2] с. : цв. ил. - (Мир материалов и технологий). - Библиогр.: с. 422 (18 назв.), 429-430 (11 назв.). - ISBN 978-5-94836-180-2 (в пер.)
2. Физико-химия наноструктурированных материалов [Текст] : рук. к лаб. практикуму : учеб. пособие для студентов фак. нано- и биомед. технологий / Б. Н. Климов [и др.] ; под общ. ред. Б. Н. Климова, С. Н. Штыкова. - Саратов : [б. и.], 2008 (Отпеч. в ООО "Новый ветер"). - 98 с. - ISBN 978-5-98116-055-4
3. Физико-химия наноструктурированных материалов [Текст] : учеб. пособие для студентов фак. нано- и биомед. технологий / Б. Н. Климов [и др.] ; под ред. Б. Н. Климова, С. Н. Штыкова ; ГОУ ВПО Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов : Новый ветер, 2009. - 216, [1] с. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-98116-089-9

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Поверхностные явления в полупроводниках» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом Примерной ООП ВО по направлению «Электроника и наноэлектроника» и профилю «Физика и техно-логия твердотельных электронных микро- и наноструктур».

Автор Сергей С.А.

Программа одобрена на заседании кафедры физики полупроводников 22 мая 2019 г., протокол № 6.

Программа актуализирована на заседании кафедры физики полупроводников 20 октября 2021 г., протокол № 2.