

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

А. Г. Коротаев

Оценочные материалы по дисциплине

Технологии материалов и устройств микроэлектроники

по направлению подготовки / специальности

03.04.03 Радиофизика, 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:

Цифровые технологии фотоники и радиофизики

Форма обучения

Очная

Квалификация

инженер-исследователь

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А.П. Коханенко

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания в области физики, радиофизики и радиоэлектроники для решения научно-исследовательских задач

ОПК-3 Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.2 Организует проведение научного исследования и разработку в области профессиональной деятельности

РООПК-3.2 Предлагает новые идеи и подходы к решению научно-исследовательских и прикладных задач с использованием информационных систем и технологий

РОПК-3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач

РОПК-3.2 Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач

РОПК-3.3 Обрабатывает и анализирует результаты исследований

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- тесты;
- контрольная работа;
- презентации на семинарах.

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: РООПК-1.2 (Организует проведение научного исследования и разработку в области профессиональной деятельности), РОПК-3.2 (Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач), РОПК-3.3 (Обрабатывает и анализирует результаты исследований).

Примерный перечень вопросов для самостоятельной работы студентов (тестов)

1. Сформулируйте закон Мура и причины, по которым не возможно его соблюдение в исходной формулировке.
2. В чем заключается принцип масштабирования? Как осуществлялась классическая схема и почему возникают трудности при ее исполнении в настоящее время?
3. Назовите разновидности микросхем по технологии изготовления.
4. Что такое чистое помещение?
5. Как определяется класс чистоты?
6. Перечислите типы чистых помещений.
7. Как работает обратный осмос?
8. Перечислите типы загрязнений в воде.
9. Перечислите типы кристаллов.
10. Какие есть основные этапы роста кристалла методом Чохральского?
11. Почему можно использовать метод зонной плавки для очистки кристаллов?
12. Каковы причины формирования фасок на кромках пластин?
13. Что является характеристикой качества обработки пластин?
14. Назовите разновидности шлифовки и их отличия.

15. В чем заключаются отличия процессов полировки и шлифовки?
16. Перечислите методы газовой эпитаксии.
17. Что такое гомо- и гетероэпитаксия?
18. Чем определяется предел разрешающей способности фотолитографии?
19. Назовите способы ускорения и повышения качества обработки.
20. Дайте определение фоторезиста и актиничного излучения.
21. Каковы способы нанесения фоторезиста?
22. В каких случаях используются промоутеры адгезии?
23. Что такое фигура совмещения, как с ними работать?
24. Какие методы оптического экспонирования существуют и каковы их преимущества относительно друг друга?
25. За счет чего увеличивается разрешение при проведении литографии?
26. Что такое импринтинг, в чем его преимущества?
27. Какие методы диффузии существуют и в чем их особенности?
28. В чем заключается метод параллельного источника?
29. Что такое эффект каналирования?
30. Поясните, почему существует необходимость в отжиге после ИИ.
31. Какие требования предъявляются к металлическим контактам?
32. Какие методы нанесения металлических слоев существуют?
33. Чем отличается установка магнетронного напыления металлических и диэлектрических пленок?
34. В чем заключается проблема равномерности напыления пленок? Перечислите примеры их решения.
35. Какие способы измерения толщины пленок существуют?
36. Какие методы формирования диэлектрических пленок существуют?
37. Для чего необходимо применять диэлектрические слои?
38. Какой метод используют для создания подзатворного диэлектрика?
39. В чем заключается особенности использования нитрида кремния?
40. Что такое атомно-слоевое осаждение? Перечислите преимущества метода.
41. Какие требования предъявляются к процессу травления?
42. В чем заключается особенности травления многослойных структур?
43. В чем заключается разница методов сухого травления?
44. Зачем нужен скрытый слой в структуре биполярных транзисторов?
45. Перечислите пути решения проблем масштабирования.
46. Для чего используется технология Smart Cut?
47. Зачем «напрягать» кремний?
48. Перечислите схемы планаризации пластин.
49. Какие разновидности поверхностного монтажа существуют?
50. Как осуществляется проверка качества поверхностного монтажа?

Примеры задач:

1. В течение 20 с при температуре 1200°C осуществлялась диффузия фосфора в подложки р-типа проводимости, удельное сопротивление которых составило $\approx 103 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Определить глубину залегания примеси и интегральное количество введенной примеси, поступившей на единицу площади.
2. Термическая диффузия фосфора проходила при температуре $T = 1100^\circ\text{C}$. Концентрация носителей заряда в исходной подложке составляла $N_f = 1,3 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Определить время диффузии и дозу легирования, если глубина залегания примеси составила 5,6 мкм.
3. Интегральное количество введенной примеси, поступившей на единицу площади, после термической диффузии составило $3,016 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Диффузия проводилась

в течение 40 минут, а глубина загонки примеси составила 1,4 мкм. Определить температуру, при которой проводилась диффузия, и легирующую примесь. Значение функции $\operatorname{erfc}\eta=6.03\times 10^{-6}$.

Примерные темы семинарских занятий:

1. Рост тонких пленок. Зародышеобразование. Стадии роста. Механизмы Франка – ван дер Мерве, Вольмера-Вебера, Странского-Крастанова.
2. Свойства тонких пленок (механические и электрические). Электромиграция в металлических пленках.
3. Анализ химического состава приповерхностного слоя (Электронная Оже-спектроскопия, Вторичная ионная масс-спектроскопия, Спектроскопия обратного рассеяния Резерфорда).
4. Контроль качества поверхностного монтажа (Рентгеновская теневая микроскопия, Рентгеновская томография).

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: РООПК-3.2 (Предлагает новые идеи и подходы к решению научно-исследовательских и прикладных задач с использованием информационных систем и технологий), РОПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач).

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Чистое помещение, какие среды контролируются, как достигается чистота в помещении, особенности проектирования.
2. Основные технологические среды, их оптимальные параметры для обеспечения технологического процесса производства ИС.
3. Технологии роста полупроводниковых слитков. Метод Чохральского в индустрии микроэлектроники. Метод Бриджмана-Стокбаргера. Метод зонной плавки и его разновидности.
4. Этапы подготовки пластин кремния. Методы удаления нарушенного слоя и его контроль.
5. Газофазная эпитаксия. Типы химических реакций, использующихся при ГФЭ. Основные стадии процесса осаждения эпитаксиального слоя из газовой фазы. Эпитаксия кремния в технологии интегральных микросхем.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия (принцип метода; схема установки; преимущества метода МЛЭ при получении квантово-размерных структур, структур с модулированным легированием и сверхрешеток).
7. Эпитаксия из металлоорганических соединений (принцип метода; схема установки; преимущества при получении квантово-размерных структур). Твердофазная эпитаксия.
8. Диффузионные уравнения Фика. Диффузия при постоянной концентрации атомов примеси на границе полупроводника с внешней средой (граничные условия, распределение примеси, глубина залегания p – n -перехода). Проведение диффузии открытой трубе.

9. Диффузионные уравнения Фика. Диффузия атомов примеси из бесконечно тонкого легированного слоя полупроводника (граничные условия, распределение примеси, глубина залегания p - n -перехода). Проведение диффузии в замкнутом объеме.

10. Ионная имплантация примеси. Взаимодействие иона с подложкой. Радиационные дефекты. Кластеры. Роль послеимплантационного отжига. Каналирование ионов примеси в монокристаллической подложке. Преимущества метода ионной имплантации легирующей примеси.

11. Использование фотолитографии в технологии полупроводниковых приборов и ИМС. Позитивный и негативный фоторезисты. Фотошаблоны. Последовательность операций при фотолитографии.

12. Ограничения проекционной литографии и пути решения связанных с этим проблем. Иммерсионная литография.

13. Нано-импринтинг, электронно-лучевая и рентгеновская литография.

14. Функции диэлектрических слоев в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Получение слоев SiO_2 термическим окислением кремния. Основные стадии процесса.

15. Функции диэлектрических слоев в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Получение слоев Si_3N_4 . Преимущества Si_3N_4 перед SiO_2 , особенности их применения.

16. Плазмо-химическое осаждение. Атомно-слоевое осаждение, его принципы и этапы. Преимущества метода.

17. Требования к металлическим контактам и покрытиям. Принцип работы магнетрона. Химическое осаждение (виды осаждения, основные этапы).

18. Требования к металлическим контактам и покрытиям. Создание металлизации методами термического и электронно-лучевого распыления.

19. Удаление металлических и диэлектрических слоев. Требования к методам проведения травления. Процессы жидкого травления.

20. Виды ионного травления. Ионно-плазменное, плазмохимическое и реактивное ионно-плазменное травление. Преимущества и недостатки сухого и жидкого методов травления.

21. Пути решения проблем масштабирования, связанных с FEOL.

22. Пути решения проблем масштабирования, связанных с BEOL. Двойной Дамасский процесс. Финальные стадии изготовления элементов ИС. Корпусирование.

23. Стандартная технология полупроводниковой биполярной ИМС (последовательность основных операций, изменение структуры и профилей легирования подложки в процессе обработки).

24. Стандартная технология изготовления МДП-интегральной микросхемы (последовательность основных операций, изменение структуры подложки в процессе обработки).

Студент, не аттестованный в контрольной точке, не допускается к сдаче зачета.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

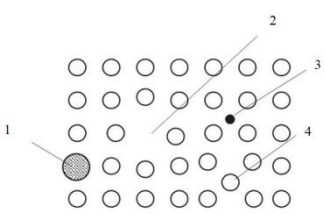
Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ОПК-3 Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности	РООПК-3.2 Предлагает новые идеи и подходы к решению научно-исследовательских и прикладных задач с использованием информационных систем и технологий	Не имеет представления о типовых проблемных ситуациях технологии производства материалов и устройств микроэлектроники.	Выявляет проблемную ситуацию при рассмотрении задач технологии материалов и устройств микроэлектроники, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ и диагностику.
ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач.	РОПК-3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач	Не имеет представления об основных технологических операциях. Не способен проанализировать структуру полупроводникового прибора. Не способен построить последовательность основных технологических операций для изготовления приборной структуры.	Имеет полное представление об основных технологических операциях. Анализирует структуру полупроводникового прибора. Способен построить последовательность основных технологических операций для изготовления приборной структуры.

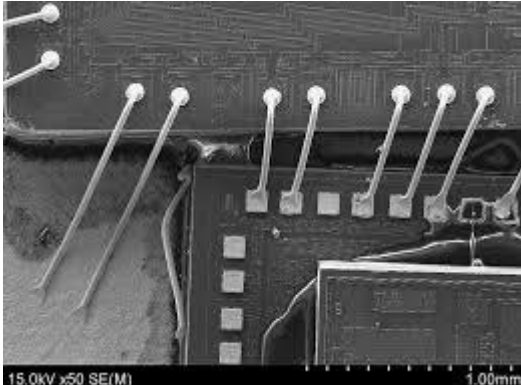
4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине
(верные ответы выделены курсивом)

№	Вопрос	Варианты ответа
1	Под понятием "техпроцесс" или "топологическая норма" изначально понимали	1) минимальную длину транзистора 2) минимальную ширину затвора 3) <i>минимальную длину канала</i> 4) минимальные размеры истока и стока
2	Исключите ложное. Минимальный размер частиц (в мкм), по которому определяется счетная концентрация частиц:	1) 0,1 2) 0,2 3) 0,5 4) 0,3 5) <i>1</i>

3	Процесс обратного осмоса представляет собой	1) вода проходит через полупроницаемую мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор 2) вода проходит через полупроницаемую мембрану из менее концентрированного в более концентрированный раствор	
4	В методе Чохральского поликристаллический кремний расплавляется при условиях:	1) 1240 C, аргоновая атмосфера 2) 1420 C, аргоновая атмосфера 3) 1360 C, гелиевая атмосфера 4) 1420 C, азотная атмосфера	
5	Метод зонной плавки основан на принципе	1) вытягивания слитка вверх из расплава 2) перемещения тигля через высокотемпературную зону плавления 3) создания градиента температуры в тигле 4) различной растворимости примесей в жидком и твердом состоянии	
6	Как именно скорость потока испаряемого вещества влияет на свойства пленок, выращиваемых методом молекулярно-лучевой эпитаксии? (Вопрос на соотнесение)	Увеличение вероятности появления дефектов в структурах	Малый поток вещества
		Чёткие границы и резкие переходы между слоями	Малый поток вещества
		Рост аморфных плёнок	Большой поток вещества
7	Каким способом лучше всего вырастить слой InGaP?	1) Жидкофазная эпитаксия 2) Молекулярно-лучевая эпитаксия 3) Твердофазная эпитаксия 4) МОС-гидридная эпитаксия	
8	Для проведения процесса ФЛ поверхность должна быть	1) гидрофильной 2) гидрофобной	
9	К методам интенсификации очистки поверхности относятся (возможно несколько вариантов ответа)	1) Центрифугирование 2) Подогрев растворов 3) Ультразвук и мегазвук 4) Распыление растворов	

10	Использование штампа в процессе фотолитографии предусмотрено в методе:	1) <i>Импринтинга</i> 2) Иммерсионной ФЛ 3) Рентгеновской ФЛ 4) ФЛ с фазосдвигающими шаблонами
11	Назовите дефекты в кристаллической решетке. 	1) <i>атом замещения</i> 2) <i>вакансия</i> 3) <i>атом внедрения</i> 4) <i>атом в междоузлие</i>
12	Диффузия в кристалле направленный процесс при условии (возможно несколько вариантов ответа)	1) <i>наличия градиента концентрации</i> 2) <i>наличия градиента температуры</i> 3) <i>наличия источника диффузии</i> 4) <i>отсутствия внешнего воздействия</i>
13	Глубина проникновения ионов при проведении ионной имплантации зависит от (возможно несколько вариантов ответа)	1) <i>Кристаллографической ориентации подложки</i> 2) <i>Энергии ионов</i> 3) <i>Природы ионов</i> 4) <i>Радиуса кривизны траектории ионов</i>
14	Какой из пунктов выгодно отличает методы химического осаждения от магнетронного распыления и термического испарения? (возможно несколько вариантов ответа)	1) <i>отсутствие загрязнения подложек</i> 2) <i>максимальный коэффициент использования материала</i> 3) <i>высокая однородность по всей площади</i> 4) <i>покрытие большой площади</i>
15	Разложение тетраэтоксисилана по реакции $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{органические продукты}$ происходит при температуре	1) 900°C 2) $800\text{-}900^\circ\text{C}$ 3) $650\text{-}750^\circ\text{C}$ 4) $600\text{-}700^\circ\text{C}$ 5) $400\text{-}450^\circ\text{C}$
16	Плазмо-химическое осаждение имеет следующие преимущества (возможно несколько вариантов ответа)	1) <i>формирование пленок нитрида кремния при низких температурах (до 350°C)</i> 2) <i>большая скорость роста (30 нм/ч)</i> 3) <i>большая скорость роста (30 нм/мин)</i> 4) <i>осаждение пленок для пассивации готовых элементов</i>
17	Для травления оксида кремния используется смесь:	1) <i>плавиковой и азотной кислоты</i> 2) <i>плавиковой и уксусной кислоты</i> 3) <i>плавиковой кислоты и фтористого аммония</i>
18	При каком методе сухого травления комбинируются механизмы физического и химического травления	1) <i>Ионно-лучевое</i> 2) <i>Реактивное плазмо-химическое травление</i>

19	Решением проблем масштабирования во front end processing являются (возможно несколько вариантов ответа)	3) Плазмо-химическое травление 1) использование low-k диэлектрика 2) использование high-k диэлектрика 3) использование металлического затвора 4) создание затвора из поликристаллического кремния 5) использование Al металлизации
20	Определите тип микросварки 	1) Клин-клин 2) Флип-чип 3) Шар-клин

Информация о разработчиках

Лозинская Анастасия Дмитриевна, Радиофизический факультет ТГУ, старший преподаватель.

Яковлев Никита Николаевич, Радиофизический факультет ТГУ, ассистент.