

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Полупроводниковые материалы и структуры

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Физика и технология приборов нанoeлектроники**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d

Д.С.
Холодный

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d

Д.С.
Холодный

Заведующий
выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

А.З.
Славинский

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен проводить исследования материалов и изделий микро- и нанoeлектроники

ИД-2 Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования материалов микро- и нанoeлектроники

ИД-3 Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. «Конструктивно-технологические проблемы, возникшие при переходах с топологической (технологической) нормы 32 нм до 14 нм при изготовлении МОП полевых транзисторов». (Контрольная работа)

2. «Литография экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения». (Контрольная работа)

3. «Особенности конструктивного исполнения МОП полевых транзисторов с длиной канала порядка и менее 60 нм». (Контрольная работа)

4. «Проблемы замены материала подзатворного диэлектрика в МОП полевых транзисторах с длиной канала менее 60 нм». (Контрольная работа)

5. «Проблемы формирования затвора, областей стока и истока в МОП полевом транзисторе с субмикронными размерами» (Контрольная работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	10	12	16
1. Основные предпосылки перехода к производству цифровых УБИС на основе МОП полевых транзисторов с субмикронными и суб100-нанометровыми размерами						
(1)	+					
3. Эффекты « короткого канала» в МОП ПТ и методы уменьшения их влияния на характеристики приборов с субмикронными размерами						
(2)		+			+	

3. Проблемы формирования подзатворного диэлектрика в МОП полевом транзисторе с субмикронными размерами					
(3)		+			+
4. Особенности формирования затвора субмикронных МОП ПТ					
(4)	+		+		
5. Методы формирования сток-истоковых областей суб100-нанометрового МОП ПТ					
(5)			+		
6. Технология «кремний-ни-на-чем» (SoN), приборы с вертикальным каналом					
(6)			+		+
7. Приборы с высокой подвижностью электронов на гетеропереходе AlGaAs/GaAs для СВЧ диапазона					
(7)	+		+		
8. Особенности конструкции и технологии приборов, выполненных по топологической норме 22 нм (на примере процессоры линейки Ivy Bridge компании Intel)					
(8)				+	
9. Литография экстремального ультрафиолетового излучения (ЭУФ-литография)					
(9)				+	
Вес КМ:	20	20	20	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-2ПК-2 Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования материалов микро- и наноэлектроники	Знать: принципы применения новых материалов и проведения технологических процессов при изготовлении элементов УБИС по топологическим нормам менее 90 нм. 4 – основные методы проведения исследований свойств структур и материалов наноэлектроники Уметь: выбирать перспективные материалы микро- и наноэлектроники, использовать современные технологические процессы и операции при изготовлении приборов. 4 на основе	«Проблемы замены материала подзатворного диэлектрика в МОП полевых транзисторах с длиной канала менее 60 нм». (Контрольная работа) «Особенности конструктивного исполнения МОП полевых транзисторов с длиной канала порядка и менее 60 нм». (Контрольная работа) «Конструктивно-технологические проблемы, возникшие при переходах с топологической (технологической) нормы 32 нм до 14 нм при изготовлении МОП полевых транзисторов». (Контрольная работа) «Проблемы формирования затвора, областей стока и истока в МОП полевом транзисторе с субмикронными размерами» (Контрольная работа) «Литография экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения». (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. «Проблемы замены материала подзатворного диэлектрика в МОП полевых транзисторах с длиной канала менее 60 нм».

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Ответы на контрольные вопросы тестового задания

Краткое содержание задания:

654

Контрольные вопросы/задания:

Знать: — основные методы проведения исследований свойств структур и материалов нанoeлектроники	1.11 1. Особенности конструкции субмикронных МОП ПТ: поясните требования, предъявляемые к областям стока и истока МОП ПТ (влияние глубины залегания переходов данных областей, степени легирования, значения контактного и переходных сопротивлений сток- истоковых и LDD-областей на быстродействие прибора). 2. Особенности конструкции субмикронных МОП ПТ: поясните основные причины, вызвавшие необходимость уменьшения толщины подзатворного диэлектрика при переходе к приборам с суб-100 нанометровыми размерами канала и основные эффекты, возникающие при этом. 3. Объясните необходимость перехода к подзатворным диэлектрикам с высоким значением диэлектрической проницаемости в конструкции МОП ПТ с субмикронными размерами. Объясните, каких изменений в конструкции прибора потребовал этот переход и решение каких проблем пришлось искать технологам. 4. Поясните технологию послойного атомного осаждения, применяемую при создании подзатворного диэлектрика из HfO_2. 5. Приведите основные причины, по которым оказалось необходимым вернуться от поли-Si затвора к металлическому в приборах, изготовленных по топологической норме 65 и менее нанометров. 6. Приведите основные преимущества использования материалов с высоким значением диэлектрической проницаемости в качестве подзатворного диэлектрика. 7. Поясните термин «Напряженный Si» и особенности изменения энергетической диаграммы (и свойств материала, соответственно). Приведите
---	---

	методы получения напряженного кремния и поясните примеры применения данного материала в субмикронных МОП ПТ.
Знать: основные области применения элементов СБИС на основе МОП-структур в современных приборах микро- и нанoeлектроники	1.12 2.13
Уметь: на основе экспериментальных методов исследований выбирать при разработке и проектировании элементов УБИС оптимальные технологические решения	1.12

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Подробные и исчерпывающие ответы на вопросы контрольного мероприятия. Допускаются в ответах незначительные неточности, не влияющие на правильность ответов

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: При ответе на вопросы контрольного мероприятия допускаются незначительные ошибки, не влияющие на правильность излагаемого материала в целом и не имеющие принципиального значения.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Неполные ответы на вопросы контрольного мероприятия. Содержат многочисленные неточности и ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Отсутствие ответов по существу на вопросы контрольного мероприятия. Либо ответы содержат многочисленные грубые ошибки и неточности при изложении материала.

КМ-2. «Особенности конструктивного исполнения МОП полевых транзисторов с длиной канала порядка и менее 60 нм».

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Ответы на контрольные вопросы

Краткое содержание задания:

21

Контрольные вопросы/задания:

Знать: 4	1.22
Знать: принципы применения новых материалов и проведения технологических процессов при	1.21 1. Основные причины, по которым производители вынуждены постоянно уменьшать линейные размеры активных областей полевых

изготовлении элементов УБИС по топологическим нормам менее 90 нм.	транзисторов и, соответственно, снижать топологическую норму технологического процесса. 2. Приведите и поясните критерий, который позволяет отнести конкретный прибор к категории коротко-канального. Объясните основные проблемы, возникающие при наличии в приборе «короткого канала». 3. Объясните основные особенности и отличия в физических моделях работы МОП ПТ с субмикронными размерами и «классического» (или длинно-канального) прибора. 4. Объясните причину уменьшения величины порогового напряжения МОП ПТ при уменьшении длины канала прибора до значений, позволяющих относить его к категории коротко-канальных. 5. Объясните термин «подпороговые характеристики» МОП ПТ, работающего в режиме слабой инверсии. В чем заключается влияние подпороговых характеристик на работу субмикронного МОП ПТ. Поясните термин «обратная крутизна S подпороговой характеристики». 6. Объясните основные причины, вызывающие уменьшение подвижности носителей заряда в канале субмикронного МОП ПТ. Поясните основные меры, которые позволяют уменьшить снижение подвижности. 7. Объясните термин: «салицидная технология» создания затвора и областей стока – истока МОП ПТ. Поясните основные этапы применения данной технологии и основные недостатки данного метода. 8. Объясните причины возникновения «горячих носителей» в канале субмикронного МОП ПТ и влияние данного эффекта на стабильность характеристик прибора. 9. Объясните <i>назначение и технологию</i> создания областей слабо-легированного стока (LDD-областей или SDE-областей) в коротко-канальном МОП ПТ. 10. Объясните <i>назначение и технологию</i> создания областей ореола вокруг LDD –областей стока и истока; <i>назначение и технологию</i> создания области резко неоднородного (или ретроградного) распределения примеси в канале. 2.23
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Подробные и исчерпывающие ответы на вопросы контрольного мероприятия. Допускаются в ответах незначительные неточности, не влияющие на правильность ответов

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: При ответе на вопросы контрольного мероприятия допускаются незначительные ошибки, не влияющие на правильность излагаемого материала в целом и не имеющие принципиального значения.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Неполные ответы на вопросы контрольного мероприятия. Содержат многочисленные неточности и ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Отсутствие ответов по существу на вопросы контрольного мероприятия. Либо ответы содержат многочисленные грубые ошибки и неточности при изложении материала.

КМ-3. «Конструктивно-технологические проблемы, возникшие при переходах с топологической (технологической) нормы 32 нм до 14 нм при изготовлении МОП полевых транзисторов».

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Ответы на контрольные вопросы

Краткое содержание задания:

31

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные области применения элементов СБИС на основе МОП-структур в современных приборах микро- и нанoeлектроники	1.32 2.33
Уметь: 4	1.32
Уметь: выбирать перспективные материалы микро- и нанoeлектроники, использовать современные технологические процессы и операции при изготовлении приборов.	1.31
Уметь: на основе экспериментальных методов исследований выбирать при разработке и проектировании элементов УБИС оптимальные технологические решения	1.33

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Подробные и исчерпывающие ответы на вопросы контрольного мероприятия. Допускаются в ответах незначительные неточности, не влияющие на правильность ответов

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: При ответе на вопросы контрольного мероприятия допускаются незначительные ошибки, не влияющие на правильность излагаемого материала в целом и не имеющие принципиального значения.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Неполные ответы на вопросы контрольного мероприятия. Содержат многочисленные неточности и ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Отсутствие ответов по существу на вопросы контрольного мероприятия. Либо ответы содержат многочисленные грубые ошибки и неточности при изложении материала.

КМ-4. «Проблемы формирования затвора, областей стока и истока в МОП полевом транзисторе с субмикронными размерами»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: ответы на контрольные вопросы

Краткое содержание задания:

41

Контрольные вопросы/задания:

Знать: 4	1.42
Уметь: выбирать на основе анализа известных решений варианты конструктивного исполнения элементов УБИС	1.41 2.42 3.43

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Подробные и исчерпывающие ответы на вопросы контрольного мероприятия. Допускаются в ответах незначительные неточности, не влияющие на правильность ответов

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: При ответе на вопросы контрольного мероприятия допускаются незначительные ошибки, не влияющие на правильность излагаемого материала в целом и не имеющие принципиального значения.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Неполные ответы на вопросы контрольного мероприятия. Содержат многочисленные неточности и ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Отсутствие ответов по существу на вопросы контрольного мероприятия. Либо ответы содержат многочисленные грубые ошибки и неточности при изложении материала.

КМ-5. «Литография экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения».

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: ответы на контрольные вопросы

Краткое содержание задания:

51

Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы применения новых материалов и проведения технологических процессов при изготовлении элементов УБИС по топологическим нормам менее 90 нм.	1. 51 1. <i>Основные причины</i>, по которым производители вынуждены постоянно уменьшать линейные размеры активных областей полевых транзисторов и, соответственно, снижать топологическую норму технологического процесса 2. Чем было вызвано массовое применение в полупроводниковой микроэлектронике метода иммерсионной литографии. Какие преимущества обеспечило применение данного метода. 2. Поясните работу маски с фазовым фильтром, чем была вызвана необходимость ее использования. 3. В чем заключается метод двойного экспонирования, какие требования предъявляются к резисту. Какие преимущества и какие недостатки присущи этому методу. 4. В, чем заключается метод двойного паттернирования, какие проблемы удалось преодолеть при использовании данного метода. Какие преимущества, и какие недостатки присущи этому методу. 5. Особенности работы ЭУФ-литографа, основные требования к источнику питания литографа, обеспечивающего генерацию излучения с длиной волны 13,5 нм. Проблемы нейтрализации длинноволнового излучения. 6. Приведите основные требования к оптической системе установки ЭУФ-литографии и резисту, основные проблемы, препятствующие широкому практическому использованию данного метода. 7. Основные проблемы, препятствующие широкому практическому использованию метода ЭУФ-литографии. 8. Поясните основные причины, вызвавшие резкую интенсификацию исследований по разработке метода ЭУФ-литографии в начале XXI века. 9. Принцип работы отражательной оптики ЭУФ-
---	---

	литографа. 10. Поясните, какие требования предъявляются к точности контроля и соблюдения идеальности геометрической формы элементов оптической системы ЭУФ-литографа при их изготовлении. Какие существуют при этом проблемы. 2.52 3.53
Уметь: выбирать перспективные материалы микро- и нанoeлектроники, использовать современные технологические процессы и операции при изготовлении приборов.	1.51

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Подробные и исчерпывающие ответы на вопросы контрольного мероприятия. Допускаются в ответах незначительные неточности, не влияющие на правильность ответов

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: При ответе на вопросы контрольного мероприятия допускаются незначительные ошибки, не влияющие на правильность излагаемого материала в целом и не имеющие принципиального значения.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Неполные ответы на вопросы контрольного мероприятия. Содержат многочисленные неточности и ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Отсутствие ответов по существу на вопросы контрольного мероприятия. Либо ответы содержат многочисленные грубые ошибки и неточности при изложении материала.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

билет 1

Процедура проведения

стандартная

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-2} Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования материалов микро- и нанoeлектроники

Вопросы, задания

1. билет 14
2. билет 15
3. билет 16
4. билет 2
5. билет 3
6. билет 5
7. билет 4

Материалы для проверки остаточных знаний

1. остаточные 1
 Ответы:
 остаточные 1
 Верный ответ: остаточные 1
2. остаточные 2
 Ответы:
 остаточные 2
 Верный ответ: остаточные 2
3. остаточные 3
 Ответы:
 остаточные 3
 Верный ответ: остаточные 3
4. остаточные 8
 Ответы:
 остаточные 8
 Верный ответ: остаточные 8
5. остаточные 9
 Ответы:
 остаточные 9
 Верный ответ: остаточные 9

2. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗПК-2 Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники

Вопросы, задания

- 1.билет 11
- 2.билет 12
- 3.билет 13
- 4.билет 17
- 5.билет 18
- 6.билет 19

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.остаточные 4
 Ответы:
 остаточные 4
 Верный ответ: остаточные 4
- 2.остаточные 5
 Ответы:
 остаточные 5
 Верный ответ: остаточные 5
- 3.остаточные 6
 Ответы:
 остаточные 6
 Верный ответ: остаточные 6
- 4.остаточные 7
 Ответы:
 остаточные 7
 Верный ответ: остаточные 7
- 5.остаточные 10
 Ответы:
 остаточные 10
 Верный ответ: остаточные 10
- 6.остаточные 11
 Ответы:
 остаточные 11
 Верный ответ: остаточные 11
- 7.остаточные 12
 Ответы:
 остаточные 12
 Верный ответ: остаточные 12

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: 90

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: 70

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: 50

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

стандартные