

**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
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

Д.С.
Холодный

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень,
ученое звание)

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

(подпись)

Д.С.
Холодный

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень,
ученое звание)

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

(подпись)

А.З.
Славинский

(расшифровка
подписи)

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

2. ПК-3 способен осуществлять разработку пооперационного маршрута изготовления нанoeлектронных изделий в составе проектной группы

ИД-3 Составление пооперационного маршрутного (сопроводительного) листа

ИД-4 Определение порядка, вида и технологических параметров операций

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	15
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 Ive 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-2 _{ПК-2} Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования материалов микро- и наноэлектроники	Знать: – основные методы проведения исследований свойств структур и материалов наноэлектроники Уметь: на основе экспериментальных методов исследований выбирать при разработке и проектировании элементов УБИС оптимальные технологические решения	«Проблемы замены материала подзатворного диэлектрика в МОП полевых транзисторах с длиной канала 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)
ПК-2	ИД-3 _{ПК-2} Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники	Знать: основные области применения элементов СБИС на основе МОП-структур в современных приборах микро- и наноэлектроники Уметь: выбирать на основе анализа известных решений варианты	«Проблемы замены материала подзатворного диэлектрика в МОП полевых транзисторах с длиной канала менее 60 нм». (Контрольная работа) «Проблемы формирования затвора, областей стока и истока в МОП полевом транзисторе с субмикронными размерами» (Контрольная работа)

		конструктивного исполнения элементов УБИС	
ПК-3	ИД-3 _{ПК-3} Составление пооперационного маршрутного (сопроводительного) листа	Знать: принципы применения новых материалов и проведения технологических процессов при изготовлении элементов УБИС по топологическим нормам менее 90 нм. Уметь: выбирать перспективные материалы микро- и нанoeлектроники, использовать современные технологические процессы и операции при изготовлении приборов.	«Особенности конструктивного исполнения МОП полевых транзисторов с длиной канала порядка и менее 60 нм». (Контрольная работа) «Литография экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения». (Контрольная работа)
ПК-3	ИД-4 _{ПК-3} Определение порядка, вида и технологических параметров операций	Знать: 4 Уметь: 4	«Особенности конструктивного исполнения МОП полевых транзисторов с длиной канала порядка и менее 60 нм». (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:

<p>Знать: – основные методы проведения исследований свойств структур и материалов нанoeлектроники</p>	<p>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).</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>4. Поясните технологию послойного атомного осаждения, применяемую при создании подзатворного диэлектрика из HfO₂.</p> <p>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.</p> <p>6. Приведите основные преимущества использования материалов с высоким значением диэлектрической проницаемости в качестве подзатворного диэлектрика.</p> <p>7. Поясните термин «Напряженный Si» и особенности изменения энергетической диаграммы (и свойств материала, соответственно). Приведите</p>
---	---

	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

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.

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: принципы применения новых материалов и проведения технологических процессов при изготовлении элементов УБИС по топологическим нормам менее 90 нм.	1.21 1. Основные причины, по которым производители вынуждены постоянно уменьшать линейные размеры активных областей полевых 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.
--	--

	<p>4. Объясните причину уменьшения величины порогового напряжения МОП ПТ при уменьшении длины канала прибора до значений, позволяющих относить его к категории коротко-канальных.</p> <p>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».</p> <p>6. Объясните основные причины, вызывающие уменьшение подвижности носителей заряда в канале субмикронного МОП ПТ. Поясните основные меры, которые позволяют уменьшить снижение подвижности.</p> <p>7. Объясните термин: «салицидная технология» создания затвора и областей стока – истока МОП ПТ. Поясните основные этапы применения данной технологии и основные недостатки данного метода.</p> <p>8. Объясните причины возникновения «горячих носителей» в канале субмикронного МОП ПТ и влияние данного эффекта на стабильность характеристик прибора.</p> <p>9. Объясните <i>назначение и технологию</i> создания областей слабо-легированного стока (LDD-областей или SDE-областей) в коротко-канальном МОП ПТ.</p> <p>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.</p>
Знать: 4	1.22 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.

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:

Уметь: на основе	1.31
экспериментальных методов	2.32
исследований выбирать при	3.33
разработке и проектировании	
элементов УБИС оптимальные	
технологические решения	

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.

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:

Уметь: выбирать на основе	1.41
анализа известных решений	2.42
варианты конструктивного	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.**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:

Уметь: выбирать перспективные материалы микро- и наноэлектроники, использовать современные технологические процессы и операции при изготовлении приборов.	1.52 2.53
Уметь: 4	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.

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

Вопросы, задания

1. билет 2
2. билет 3
3. билет 5
4. 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

2. Компетенция/Индикатор: ИД-3ПК-2 Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники

Вопросы, задания

1. билет 11
2. билет 12
3. билет 13

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

3. Компетенция/Индикатор: ИД-3ПК-3 Составление пооперационного маршрутного (сопроводительного) листа

Вопросы, задания

1.билет 14
2.билет 15
3.билет 16

Материалы для проверки остаточных знаний

1.остаточные 8
Ответы:
остаточные 8
Верный ответ: остаточные 8
2.остаточные 9
Ответы:
остаточные 9
Верный ответ: остаточные 9

4. Компетенция/Индикатор: ИД-4ПК-3 Определение порядка, вида и технологических параметров операций

Вопросы, задания

1.билет 17
2.билет 18
3.билет 19

Материалы для проверки остаточных знаний

1.остаточные 10
Ответы:
остаточные 10
Верный ответ: остаточные 10
2.остаточные 11
Ответы:
остаточные 11
Верный ответ: остаточные 11
3.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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

стандартные