

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

ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Учебный модуль по направлению подготовки

11.03.04 – Электроника и микроэлектроника

Фонд оценочных средств

СОГЛАСОВАНО

Принято на заседании Ученого совета ИЭИС

Протокол № 92 от 22.06 2017 г.

Директор ИЭИС

С.И.Эминов С.И.Эминов

Разработал

Профессор кафедры ФТТМ

М.А.Захаров

«05» 06 2017 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 11 от 05.06 2017 г.

Заведующий кафедрой ФТТМ

Б.И. Селезнев Б.И. Селезнев

Паспорт фонда оценочных средств (ФОС)
по учебному модулю «Процессы микро- и нанотехнологии»
для направления подготовки 11.03.04 – Электроника и микроэлектроника

Модуль, раздел (в соответствии с РП)	ФОС		Контролируемые компетенции (или их части)
	Вид оценочного средства	Количество вариантов заданий	
Раздел. 1			ДПК-2
Раздел 2	разноуровневые задачи	24	
	расчетно-графические задачи	24	
Раздел 3.	разноуровневые задачи	24	
	расчетно-графические задачи	24	
Аттестация - экзамен	Комплект экзаменационных билетов	12	

Характеристики оценочных средств

1 Разноуровневые задачи

1.1 Комплект разноуровневых задач и расчетно-графических задач по разделу 2, приложение А к ФОС.

1.2 Комплект разноуровневых задач и расчетно-графических задач по разделу 3, приложение А к ФОС.

Таблица 1 – Параметры оценочного средства (разноуровневые задачи)

Предел длительности контроля	15-30 мин на одну задачу
Предлагаемое количество задач из одного контролируемого раздела	1
13-15 баллов, если	Способен правильно выбрать нужную формулу и правильно ее применить
10-12 баллов, если	Допускает неточности в подборе формул и (или) допускает некритические ошибки в их использовании
8-9 баллов, если	Не всегда адекватно подбирает формулы и (или) использует их с ошибками

2 Расчетно-графические задачи

Таблица 2 – Параметры оценочного средства (расчетно-графические задачи)

Предел длительности контроля	30-45 мин на одну задачу
Предлагаемое количество задач из одного контролируемого раздела	1
45-50 баллов, если	Способен правильно выбрать нужную формулу и правильно ее применить
36-44 баллов, если	Допускает неточности в подборе формул и (или) допускает некритические ошибки в их использовании
26-35 баллов, если	Не всегда адекватно подбирает формулы и (или) использует их с ошибками

3 Экзамен

Каждый экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу.

Полный комплект всех экзаменационных билетов дается в Приложении Б к фонду оценочных средств, находится в закрытом для студентов доступе и хранится на кафедре.

Критерии оценивания экзамена:

- уверенное владение терминологией – 10 баллов максимум;
- глубина знаний по теме вопроса – 10 баллов максимум;
- полнота ответа – 10 баллов максимум;
- логическая связность – 10 баллов максимум;
- аргументированность ответа – 10 балла максимум.

Таблица 3 – Параметры оценочного средства (экзамен)

Предел длительности контроля	50 минут – подготовка; 20 минут – ответы на вопросы
Предлагаемое количество вопросов и задач	2 вопроса + 1 задача
Критерии оценки:	
«5», если 45-50 баллов, если	демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала и задача решена правильно
«4», если 35-44 балла, если	допускает неточности при ответе на теоретические вопросы и (или) допущены неточности в решении задачи
«3», если 25-34 балла, если	испытывает трудности при ответе на теоретические вопросы или задача решена неправильно

Приложение А

(справочное)

Разноуровневые задачи

Комплект разноуровневых задач по разделу 2.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются следующие типовые задачи:

Задача № 1.

После механической обработки полированная кремниевая пластина на отдельных участках имеет клиновидность k (мкм/см). На её поверхность наложена плоская стеклянная пластина. При нормальном освещении монохроматическим светом с длиной волны λ в зазоре наблюдаются интерференционные полосы, расположенные на расстоянии l одна от другой. Определите недостающие в таблице значения.

Вариант	k мкм/см	λ мкм	l см
1	?	0,45	0,1
2	?	0,47	0,2
3	?	0,5	0,3
4	?	0,55	0,4
5	?	0,6	0,5
6	?	0,65	0,6
7	?	0,45	0,6
8	?	0,47	0,5
9	?	0,5	0,4
10	?	0,55	0,3
11	?	0,6	0,2
12	?	0,65	0,1
13	0,2	0,45	?
14	0,3	0,47	?
15	0,4	0,5	?
16	0,5	0,55	?
17	0,6	0,6	?
18	0,7	0,65	?
19	0,8	0,45	?
20	0,9	0,47	?
21	1,0	0,5	?
22	1,1	0,55	?
23	1,2	0,6	?
24	1,3	0,65	?

Задача № 2.

Определите расклинивающее давление жидкости ΔP при абразивной обработке полупроводникового материала, если толщина трещины составляет величину d .

Вариант	Вид жидкости	d <i>мкм</i>
1	вода	0,10
2	вода	0,15
3	вода	0,20
4	вода	0,30
5	вода	0,35
6	вода	0,40
7	вода	0,45
8	вода	0,50
9	керосин	0,10
10	керосин	0,15
11	керосин	0,20
12	керосин	0,30
13	керосин	0,35
14	керосин	0,40
15	керосин	0,45
16	керосин	0,50
17	этиловый спирт	0,10
18	этиловый спирт	0,15
19	этиловый спирт	0,20
20	этиловый спирт	0,30
21	этиловый спирт	0,35
22	этиловый спирт	0,40
23	этиловый спирт	0,45
24	этиловый спирт	0,50

Коэффициент поверхностного натяжения равен:

для воды 72,8 мН/м

керосина 28,9 мН/м

этилового спирта 22,8 мН/м

Задача № 3.

Для разделения абразивных материалов на фракции используется процесс отмучивания порошков, который можно осуществить следующим образом. В сосуд, заполненный водой, сверху аккуратно наливают тонкий слой водяной суспензии абразивного порошка. Определите время в течении которого зерна абразива с плотностью ρ и диаметром d_1 опустятся на расстояние l . Найдите толщину слоя h , в котором диаметр зерен абразива находится в пределах от d_1 до d_2 . Зерна абразива считать сферическими.

Вариант	ρ г/см ³	l см	d_1 мкм	d_2 мкм
1	4,0	5	5	7
2	4,0	7	6	8
3	4,0	10	8	10
4	4,0	12	10	14
5	4,0	15	12	16
6	4,0	17	14	20
7	4,0	20	15	20
8	4,0	25	20	25
9	3,2	5	5	7
10	3,2	7	6	8
11	3,2	10	8	10
12	3,2	12	10	14
13	3,2	15	12	16
14	3,2	17	14	20
15	3,2	20	15	20
16	3,2	25	20	25
17	2,5	5	5	7
18	2,5	7	6	8
19	2,5	10	8	10
20	2,5	12	10	14
21	2,5	15	12	16
22	2,5	17	14	20
23	2,5	20	15	20
24	2,5	25	20	25

Вязкость воды принять равной $1,05 \cdot 10^{-2}$ Па/с

Задача № 4.

В полупроводниковый материал производят вплавление электродного сплава в виде плоской фольги толщиной l при температуре T . Рассчитайте глубину вплавленной области h .

Вариант	Полупроводниковый материал	Электродный сплав	l мкм	T °C
1	кремний	алюминий	1	600
2	кремний	алюминий	2	920
3	кремний	индий	1	1280
4	кремний	индий	2	1100
5	кремний	золото	1	950
6	кремний	серебро	2	1120
7	кремний	золото	0,5	1050
8	кремний	серебро	0,5	1050
9	германий	олово	1	500
10	германий	олово	2	600
11	германий	индий	1	600
12	германий	индий	2	650
13	германий	золото	1	700
14	германий	свинец	2	850
15	германий	серебро	1	800
16	германий	серебро	2	700
17	германий	золото	0,5	600
18	германий	свинец	0,5	750
19	InSb	индий	50	400
20	InSb	индий	100	450
21	GaAs	галлий	300	850
22	GaAs	галлий	400	900
23	InP	индий	300	850
24	InP	индий	400	900

Задача № 5. (Расчетно-графическая задача)

1. Определить неизвестные параметры процесса имплантации примесей в кремний.
2. Построить графики распределения примесей.

<i>№ n/n</i>	<i>Ион</i>	<i>U кВ</i>	<i>N_s см⁻²</i>	<i>N₀ см⁻³</i>	<i>N_{max} см⁻³</i>	<i>I₀ мкА</i>	<i>Q мкКл/ см²</i>
1.	BF₃⁺	120	1,4•10 ¹⁴	1•10 ¹⁵	?	?	?
2.	BF₃⁺⁺	90	1,4•10 ¹⁴	1•10 ¹⁵	?	?	?
3.	PH₃⁺⁺	160	4•10 ¹⁴	5•10 ¹⁴	?	?	?
4.	PH₃⁺	100	2•10 ¹⁴	5•10 ¹⁴	?	?	?
5.	PCl₃⁺	90	2•10 ¹³	4•10 ¹⁴	?	?	?
6.	PCl₃⁺⁺	120	1•10 ¹³	4•10 ¹⁴	?	?	?
7.	AsH₃⁺⁺	110	1•10 ¹⁴	2•10 ¹⁵	?	?	?
8.	AsH₃⁺	140	1•10 ¹⁴	2•10 ¹⁵	?	?	?
9.	SbH₃⁺	150	4•10 ¹³	8•10 ¹⁴	?	?	?
10.	SbH₃⁺⁺	150	6•10 ¹³	6•10 ¹⁴	?	?	?
11.	GaCl₃⁺⁺	130	3•10 ¹³	9•10 ¹⁴	?	?	?
12.	GaCl₃⁺	130	2•10 ¹³	9•10 ¹⁴	?	?	?
13.	BF₃⁺	?	?	1•10 ¹⁵	2•10 ¹⁹	0,14	?
14.	BF₃⁺⁺	?	?	1•10 ¹⁵	3•10 ¹⁹	0,24	?
15.	PH₃⁺	?	?	2•10 ¹⁵	3•10 ²⁰	0,25	?
16.	PH₃⁺⁺	?	?	2•10 ¹⁵	1•10 ²⁰	0,35	?
17.	PCl₃⁺	?	?	2•10 ¹⁵	3•10 ²⁰	0,25	?
18.	PCl₃⁺⁺	?	?	9•10 ¹⁴	2•10 ²⁰	0,12	?
19.	AsH₃⁺⁺	?	?	8•10 ¹⁴	3•10 ²⁰	0,3	?
20.	AsH₃⁺	?	?	8•10 ¹⁴	5•10 ²⁰	0,11	?
21.	SbH₃⁺	?	?	7•10 ¹⁴	1•10 ¹⁹	0,12	?
22.	SbH₃⁺⁺	?	?	7•10 ¹⁴	1•10 ¹⁹	0,29	?
23.	GaCl₃⁺	?	?	6•10 ¹⁴	1•10 ¹⁹	0,05	?
24.	GaCl₃⁺⁺	?	?	5•10 ¹⁴	8•10 ¹⁸	0,07	?

Комплект разноуровневых задач по разделу 3.

Для решения на практических занятиях студентам предлагаются следующие типовые задачи:

Задача № 6. (Расчетно-графическая задача)

1. Определить неизвестные параметры процесса имплантации примесей в кремний.
2. Построить графики распределения примесей.

<i>№ n/n</i>	<i>Ион</i>	<i>U кВ</i>	<i>N_s см⁻²</i>	<i>N₀ см⁻³</i>	<i>N_{max} см⁻³</i>	<i>I₀ мкА</i>	<i>Q мкКл/ см²</i>
1.	BF₃⁺	120	1,4•10 ¹⁴	1•10 ¹⁵	?	?	?
2.	BF₃⁺⁺	90	1,4•10 ¹⁴	1•10 ¹⁵	?	?	?
3.	PH₃⁺⁺	160	4•10 ¹⁴	5•10 ¹⁴	?	?	?
4.	PH₃⁺	100	2•10 ¹⁴	5•10 ¹⁴	?	?	?
5.	PCl₃⁺	90	2•10 ¹³	4•10 ¹⁴	?	?	?
6.	PCl₃⁺⁺	120	1•10 ¹³	4•10 ¹⁴	?	?	?
7.	AsH₃⁺⁺	110	1•10 ¹⁴	2•10 ¹⁵	?	?	?
8.	AsH₃⁺	140	1•10 ¹⁴	2•10 ¹⁵	?	?	?
9.	SbH₃⁺	150	4•10 ¹³	8•10 ¹⁴	?	?	?
10.	SbH₃⁺⁺	150	6•10 ¹³	6•10 ¹⁴	?	?	?
11.	GaCl₃⁺⁺	130	3•10 ¹³	9•10 ¹⁴	?	?	?
12.	GaCl₃⁺	130	2•10 ¹³	9•10 ¹⁴	?	?	?
13.	BF₃⁺	?	?	1•10 ¹⁵	2•10 ¹⁹	0,14	?
14.	BF₃⁺⁺	?	?	1•10 ¹⁵	3•10 ¹⁹	0,24	?
15.	PH₃⁺	?	?	2•10 ¹⁵	3•10 ²⁰	0,25	?
16.	PH₃⁺⁺	?	?	2•10 ¹⁵	1•10 ²⁰	0,35	?
17.	PCl₃⁺	?	?	2•10 ¹⁵	3•10 ²⁰	0,25	?
18.	PCl₃⁺⁺	?	?	9•10 ¹⁴	2•10 ²⁰	0,12	?
19.	AsH₃⁺⁺	?	?	8•10 ¹⁴	3•10 ²⁰	0,3	?
20.	AsH₃⁺	?	?	8•10 ¹⁴	5•10 ²⁰	0,11	?
21.	SbH₃⁺	?	?	7•10 ¹⁴	1•10 ¹⁹	0,12	?
22.	SbH₃⁺⁺	?	?	7•10 ¹⁴	1•10 ¹⁹	0,29	?
23.	GaCl₃⁺	?	?	6•10 ¹⁴	1•10 ¹⁹	0,05	?
24.	GaCl₃⁺⁺	?	?	5•10 ¹⁴	8•10 ¹⁸	0,07	?

Задача № 7.

Кремниевая пластина исходной толщиной h , диаметром D и массой M термически окисляется в атмосфере сухого или влажного кислорода. При этом наблюдается увеличение массы пластины на величину ΔM и образуется окисел толщиной Δh и плотностью $\rho = 2,2 \text{ г/см}^3$ для сухого кислорода и $\rho = 2,0 \text{ г/см}^3$ для влажного кислорода. Определите предельную нагрузку на весы $M_{\max}$ и допустимую погрешность в определении массы σ , если относительная ошибка в определении толщины окисла не должна превышать величины δ . Найдите недостающие в таблице величины. Плотность кремния принять равной $2,33 \text{ г/см}^3$.

Вариант	Состав атмосферы	h мм	D мм	M г	ΔM мг	Δh мкм	δ %
1	сухой кислород	0,4	76	?	?	0,5	10
2	влажный кислород	0,4	76	?	?	0,5	15
3	сухой кислород	0,45	100	?	?	0,5	10
4	влажный кислород	0,45	100	?	?	0,5	15
5	сухой кислород	0,45	125	?	?	0,5	20
6	влажный кислород	0,45	125	?	?	0,5	20
7	сухой кислород	0,5	150	?	?	0,4	20
8	влажный кислород	0,5	150	?	?	0,4	20
9	сухой кислород	0,5	175	?	?	0,6	10
10	влажный кислород	0,5	175	?	?	0,6	10
11	сухой кислород	0,6	200	?	?	0,5	15
12	влажный кислород	0,6	200	?	?	0,5	15
13	сухой кислород	?	76	4,2	5,0	?	10
14	влажный кислород	?	76	4,2	4,8	?	15
15	сухой кислород	?	100	7,5	9	?	10
16	влажный кислород	?	100	7,5	8	?	15
17	сухой кислород	?	125	12	14	?	20
18	влажный кислород	?	125	12	14	?	20

19	сухой кислород	?	150	17	19	?	20
20	влажный кислород	?	150	17	18	?	20
21	сухой кислород	?	175	25	30	?	10
22	влажный кислород	?	175	26	28	?	10
23	сухой кислород	?	200	36	40	?	15
24	влажный кислород	?	200	36	40	?	15

Задача № 8.

При электролитической полировке пластины германия диаметром **D** с величиной тока **I** в течение времени **t**, и значении выхода по току **η** произошло удаление слоя толщиной **h**. Определите недостающие в таблице значения. Плотность германия = 5,46 г/см³, атомный вес 72,6 г/моль. Валентность германия принять равной 4.

Вари- ант	<i>D</i> см	<i>I</i> А	<i>t</i> мин	η	<i>h</i> мкм
1	4	1.2	5	0,6	?
2	4	1.0	3	0,6	?
3	6	2,5	4	0,6	?
4	6	2,0	5	0,6	?
5	7,6	3,0	10	0,5	?
6	7,6	3,5	12	0,5	?
7	4	?	5	0,6	6
8	4	?	3	0,6	5
9	6	?	4	0,6	4
10	6	?	5	0,6	6
11	7,6	?	10	0,5	7
12	7,6	?	12	0,5	8
13	4	1.2	?	0,6	5
14	4	1.0	?	0,6	6
15	6	2,5	?	0,6	5
16	6	2,0	?	0,6	5
17	7,6	3,0	?	0,5	8
18	7,6	3,5	?	0,5	7
19	4	1.2	6	?	6
20	4	1.0	4	?	5
21	6	2,5	5	?	4
22	6	2,0	6	?	6
23	7,6	3,0	12	?	7
24	7,6	3,5	14	?	8

Задача № 9.

Определите максимально возможное число разрешаемых линий на миллиметр при использовании оптической проекционной литографии, если диаметр объектива **D**, фокусное расстояние **F**, а длина волны излучения λ .

Вариант	<i>D</i> <i>мм</i>	<i>F</i> <i>мм</i>	<i>λ</i> <i>мкм</i>
1	40	45	0,40
2	40	50	0,42
3	40	55	0,44
4	40	60	0,46
5	40	70	0,48
6	40	80	0,50
7	60	60	0,40
8	60	70	0,42
9	60	80	0,44
10	60	90	0,46
11	60	100	0,48
12	60	120	0,50
13	80	80	0,40
14	80	900	0,42
15	80	100	0,44
16	80	110	0,46
17	80	120	0,48
18	80	130	0,50
19	100	100	0,40
20	100	110	0,42
21	100	120	0,44
22	100	140	0,46
23	100	160	0,48
24	100	180	0,50

Задача № 10.

Определите геометрическое разрешение Δl в методе рентгеновской литографии, если диаметр излучающего пятна D , расстояние от рентгеновской трубки до шаблона L , а величина зазора между шаблоном и пластиной z .

Вариант	D мм	L см	z мкм
1	2	20	5
2	2	25	6
3	2	30	7
4	2	35	8
5	2	40	9
6	2	45	10
7	1,5	40	5
8	1,5	35	6
9	1,5	30	7
10	1,5	27	8
11	1,5	25	9
12	1,5	20	10
13	2,5	20	5
14	2,5	25	6
15	2,5	30	7
16	2,5	35	8
17	2,5	40	9
18	2,5	45	10
19	3	40	5
20	3	35	6
21	3	30	7
22	3	27	8
23	3	25	9
24	3	20	10

Задача № 11.

Определите толщину легированного слоя, выявленного окрашиванием шлифа, если известен угол плоского шлифования α , наблюдаемое в микроскоп расстояние между границами легированного слоя l , диаметр шарового или цилиндрического шлифа D , диаметры видимых границ легированного слоя d_1 и d_2 (для шарового шлифа).

Вари- ант	Вид шлифа	α <i>град</i>	l <i>мкм</i>	D <i>см</i>	d_1 <i>мкм</i>	d_2 <i>мкм</i>
1	плоский	0,5	16	-	-	-
2	плоский	0,6	15			
3	плоский	0,7	18	-	-	-
4	плоский	1,0	14	-	-	-
5	плоский	1,2	16	-	-	-
6	плоский	1,5	20	-	-	-
7	плоский	1,7	18	-	-	-
8	плоский	2,0	30	-	-	-
9	плоский	3,0	15	-	-	-
10	сферический	-	-	2.0	500	400
11	сферический	-	-	2.2	600	350
12	сферический	-	-	2.4	700	500
13	сферический			2.5	700	500
14	сферический	-	-	2.6	750	450
15	сферический	-	-	2.8	800	500
16	сферический	-	-	3.0	850	550
17	сферический	-	-	3.2	900	650
18	сферический	-	-	4.0	900	700

Задача № 12.

Определите массу навески распыляемого в вакууме вещества **m**, необходимую для получения на подложке диаметром **D** и расположенной на расстоянии **l** от точечного испарителя, тонкой пленки толщиной не менее **h**, если:

- а) испарение ведется из капли,
б) испарение ведется из плоского источника.

Вариант	распыляемое вещество	D мм	l см	h мкм
1	золото	76	20	0,1
2	золото	76	20	0,2
3	золото	100	25	0,1
4	золото	100	25	0,2
5	золото	125	30	0,1
6	золото	125	30	0,2
7	золото	150	35	0,1
8	золото	150	35	0,2
9	алюминий	76	20	0,4
10	алюминий	76	20	0,6
11	алюминий	100	25	0,4
12	алюминий	100	25	0,6
13	алюминий	125	30	0,4
14	алюминий	125	30	0,6
15	алюминий	150	35	0,4
16	алюминий	150	35	0,6
17	медь	76	20	0,4
18	медь	76	20	0,6
19	медь	100	25	0,4
20	медь	100	25	0,6
21	медь	125	30	0,4
22	медь	125	30	0,6
23	медь	150	35	0,4
24	медь	150	35	0,6