

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра микро- и нанoeлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Могильная Е.П.

« 04 »

2025 года



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине (практике)**

**Специальные разделы химии (химические основы технологий
электронных средств)**

(наименование учебной дисциплины, практики)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки (специальности))

Электронные приборы и устройства

(наименование профиля подготовки (специальности, магистерской программы); при отсутствии ставится прочерк)

Разработчик (разработчики):

доцент

(должность)

(подпись)

Савицкий И.В.

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники
от « 03 » 03 2025 г., протокол № 7

Заведующий кафедрой

(подпись)

Войтенко В.А.

(ФИО)

Луганск 2025 г.

**Комплект оценочных материалов по дисциплине
«Специальные разделы химии (химические основы технологии
электронных средств)»**

Задания закрытого типа

Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

1. Выберите один правильный ответ

Граница перехода от ламинарного течения к турбулентному зависит от безразмерной величины, которая носит название

- А) число Рейнольдса
- Б) параметр состояния
- В) число Больцмана

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.3)

2. Выберите один правильный ответ

В каких процессах химические реакции протекают на поверхности твердого тела, граничащего с жидкостью или газом, находящихся в движении?

- А) гетерогенных
- Б) гомогенных
- В) однофазных

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

3. Выберите один правильный ответ

Если на границе поверхности с движущейся средой в диффузионной области протекает необратимая гетерогенная химическая реакция с участием нескольких исходных компонентов $A_1, A_2, \dots, A_i$, то для протекания реакции достаточно, чтобы между потоками $J_1, J_2, \dots, J_i$ и стехиометрическими коэффициентами $a_1, a_2, \dots, a_i$ выполнялось условие стехиометрии:

- А) $J_1/a_1 = J_2/a_2 = \dots = J_i/a_i$
- Б) $J_1 \cdot a_1 = J_2 \cdot a_2 = \dots = J_i \cdot a_i$
- А) $a_1/J_2 = a_2/J_1$

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

4. Выберите один правильный ответ

При высоких давлениях паров адсорбата, когда константа равновесия $K_{адс} \gg 1$, то с учетом уравнения Ленгмюра степень заполнения адсорбционных центров θ :

- А) Близка к 1
- Б) Близка к 0
- В) Превосходит $K_{адс}$ на несколько порядков

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2)

Задания закрытого типа на установление соответствия

1. Установите соответствие между механизмами роста пленки и их описаниями. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Механизм роста пленки		Описание механизма роста	
1)	Зародышевый механизм	А)	Имеет место на атомно-гладких поверхностях с малыми индексами Миллера, наиболее вероятен для плотноупакованных структур. Необходимым условием образования зародышей являются высокие пересыщения, достигающие десятков процентов
2)	Послойный механизм	Б)	Наиболее вероятен рост на тех местах поверхности, в которых осаждение частицы дает наибольший энергетический выигрыш – адсорбированные атомы, попав на ступеньку, передвигаются к излому и закрепляется в трехгранном угле до заполнения всей цепочки
3)	Спиральный механизм роста	В)	Реализуется на подложках, которые имеет линейные дефекты в виде винтовых дислокаций, выходящих на поверхность и образующих ступени с изломами

Правильный ответ:

1

2

3

А

Б

В

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

2. Установите соответствие между видами эпитаксии и их характеристиками. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Вид эпитаксии		Характеристика	
1)	Гомоэпитаксия	А)	Для получения эпитаксиальной пленки с кристаллографической ориентацией, идентичной ориентации подложки, процесс должен быть организован так, чтобы выполнялось условие ориентированного роста.
2)	Гетероэпитаксия	Б)	В ходе процесса наращивания вещества, отличающегося по составу от вещества подложки, имеет место кристаллохимическое взаимодействие

срастающихся фаз с образованием переходного эпитаксиального слоя.

- 3) Хемозэпитаксия В) Сформированный слой отличается по составу, как от вещества подложки, так и вещества, поступающего на ее поверхность.

Правильный ответ:

1	2	3
А	Б	В

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2)

3. Установите соответствие между методами эпитаксии и их особенностями. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Метод эпитаксии	Особенности метода
1) Молекулярно-лучевая эпитаксия	А Отличительной особенностью является низкая скорость роста пленки (1 монослой/сек), что позволяет модулировать молекулярные пучки, попадающие на подложку.
2) Газофазная эпитаксия	Б) Относится к непрямым процессам переноса. В результате определенных химических реакций, протекающих на подложке или в близости от нее, образуется эпитаксиальный слой.
3) Жидкофазная эпитаксия	В) Эпитаксия монокристаллических слоев полупроводниковых материалов осуществляется из растворов-расплавов полупроводников в легкоплавком металле-растворителе.

Правильный ответ:

1	2	3
А	Б	В

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.3)

4. Установите соответствие между типами химических реакций, используемых в технологии эпитаксиальных слоев и общим видом уравнения протекающей реакции. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Тип химических реакций	Уравнение протекающей реакции
1) Реакции разложения	А) $AB_{(g)} \rightarrow A_{(s)} + B_{(g)}$
2) Реакции восстановления	Б) $AB_{(g)} + C_{(g)} \rightarrow A_{(s)} + BC_{(g)}$
3) Газотранспортные химические реакции	В) $aA_{(s)} + bB_{(g)} \rightarrow aAB_{(g)}$

Правильный ответ:

1	2	3
---	---	---

В) поверхностная диффузия, сопровождающаяся образованием докритических, критических и субкритических зародышей.

Правильный ответ: А, Б, В

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2)

4. Расположите в правильной логической последовательности.

Процесс газового транспорта может быть представлен в виде трех основных стадий:

А) превращение материала источника с помощью химической реакции в газообразное соединение (газовое травление)

Б) перенос полученного соединения в область осаждения (область подложки)

В) разложение газообразного соединения непосредственно на подложке или вблизи нее с выделением твердофазного материала источника

Правильный ответ: А, Б, В

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.3)

Задания открытого типа

Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Процесс зародышеобразования на поверхности и дальнейшего роста происходит благодаря упорядочивающей и выравнивающей роли _____ диффузии.

Правильный ответ: поверхностной

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

2. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Процесс зародышеобразования на поверхности является динамическим из-за чего разрастаются и принимают участие в процессе образования пленки лишь те зародыши, радиус которых _____ критического радиуса зародышеобразования.

Правильный ответ: больше

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2)

3. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Реакции восстановления – частный случай реакций _____, протекающих с участием второго химически активного вещества.

Правильный ответ: разложения

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2)

4. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Реакции, сопровождающиеся понижением химической стойкости соединений нормальной валентности, обычно используют для _____ и реже для получения эпитаксиальных структур.

Правильный ответ: очистки

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.3)

Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. При эпитаксии с использованием реакции восстановления в качестве восстановителей обычно применяют _____.

Правильный ответ: чистый водород или пары металлов

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

2. Реакции диспропорционирования основаны на том, что многие нелетучие элементы при высоких температурах _____.

Правильный ответ: образуют нестабильные галоидные соединения низшей валентности

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2)

3. Процессы восстановления чаще всего реализуются в реакторах проточного типа, конструкция которых позволяет _____.

Правильный ответ: регулировать соотношение вводимого основного вещества и восстановителя, проводить легирование растущих слоев, получать многослойные структуры

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2, ПК-7.3)

4. Компоненты бинарных систем образуют друг с другом в твердой фазе химические соединения постоянного или переменного состава с кристаллической решеткой _____.

Правильный ответ: отличной от решеток исходных веществ / не совпадающей с решетками исходных веществ

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2, ПК-7.3)

Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Какое число атомов содержится в наночастице золота диаметром 3 нм, если радиус атома Au составляет 0,144 нм?

Время выполнения – 15 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Радиус частицы – 1,5 нм. Число атомов Au в 1,5 нм составит около 10,42. Таким образом, если вычислить объем частицы в единицах атомов Au по формуле $V = (4/3)\pi R^3$, то пренебрегая пустотами между атомами получим 4734.

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

2. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Какая доля в % атомов золота находится на поверхности наночастицы Au диаметром 3 нм?

Время выполнения – 15 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Долю золота находящегося на поверхности наночастицы можно рассчитать как отношение разности объемов наночастицы с диаметром 3 нм и частицы с диаметром, уменьшенным на 1 атом, к объему наночастицы с исходным диаметром, умноженную на 100%: $100 \cdot (V_{\text{исх}} - V_{\text{исх}-1}) / V_{\text{исх}}$. Таким образом, доля атомов на поверхности будет составлять около 26%.

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.1)

3. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Опишите метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Назовите его основные преимущества перед газофазной и жидкофазной эпитаксией.

Время выполнения – 25 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Молекулярно-лучевая эпитаксия является процессом прямого переноса вещества источника к нагретой монокристаллической подложке. Осевшие на поверхность частицы удерживаются межмолекулярными силами и образуют правильную структуру, определяемую кристаллической ориентацией подложки. Процесс проводится в сверхвысоком вакууме. Рост пленок осуществляется в режиме молекулярных потоков условиях, исключая столкновение частиц.

МЛЭ, по сравнению с методами ЖФЭ и ГФЭ, обладает следующими основными достоинствами:

- высокая точность управления уровнем легирования;
- расширен выбор легирующих элементов как р-, так и n-типа;
- эпитаксиальные слои обладают совершенной структурой и однородны по толщине;
- метод позволяет выращивать гетеропереходы с сопряженными решетками и с постепенно изменяющимися периодами;
- обеспечивает низкие температуры процесса;
- открывает возможности для получения сверхтонких пленок и многослойных структур на их основе;
- высокий вакуум, присущий МЛЭ, позволяет осаждать металлические, диэлектрические и полупроводниковые пленки на особо чистой поверхности, что дает возможность создавать приборы с улучшенными параметрами.

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-7.2, ПК-7.3)

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее – ФОС) по дисциплине «Специальные разделы химии (химические основы технологии электронных средств)» соответствует требованиям ФГОС ВО.

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки / специальности 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки обучающихся по указанному направлению / специальности.

Председатель учебно-методической комиссии
института

 Ясуник С.Н.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)