

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 » 03 2025 года



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

Процессы микро- и нанотехнологии

(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 Савицкий И.В.
(должность) (подпись)

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

Заведующий кафедрой Войтенко В.А.
(подпись) (ФИО)

Луганск 2025 г.

**Комплект оценочных материалов по дисциплине
«Процессы микро- и нанотехнологии»**

Задания закрытого типа

Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

1. Выберите один правильный ответ

Сколько процессов литографии требует базовая изолирующая диффузия?

А) 4

Б) 5

В) 6

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1)

2. Выберите один правильный ответ

В каком виде комплектуется линия технологического оборудования для производства ИМС?

А) в виде чистого коридора, где используются физико-термические установки, установки ионной имплантации, оборудование для эпитаксии

Б) в виде конвейера, оснащенного установками эпитаксии, ионной имплантации и физико-термической обработки

В) в виде отдельных корпусов, оснащенных технологическим оборудованием согласно типу технологической операции

Г) вид комплектации линии технологического оборудования не имеет значения

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2)

3. Выберите один правильный ответ

Рабочая частота вращения центрифуги литографической установки составляет порядка:

А) 6000 об/мин

Б) 50000 об/мин

В) 100000 об/мин

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-7 (ПК-5.3)

4. Выберите один правильный ответ

В зависимости от механизма протекающих в фоторезистах реакций при облучении светом и особенностей изменения их свойств фоторезисты делят на:

А) позитивные и негативные

Б) поляризационные и нейтральные

В) прозрачные и непрозрачные

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4)

5. Выберите один правильный ответ

Для чего необходима коллекторная разделительная диффузия?

А) позволяет уменьшить площадь изолирующих областей

Б) уменьшает число операций фотолитографии

В) позволяет полностью избежать тока утечки

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-7.2)

6. Выберите один правильный ответ

В основе метода определения размеров наночастиц с помощью рассеянного света лежит теория

А) Рэлея

Б) Максвелла

В) Брэгга-Вульфа

Правильный ответ: А

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

7. Выберите один правильный ответ

Чем характеризуются процессы массопередачи?

А) переносом вещества из одной фазы в другую;

Б) передачей энергии;

В) передачей импульса;

Г) передачей количества движения.

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1)

8. Выберите один правильный ответ

Как называется перенос вещества из фазы к границе раздела фаз или в обратном направлении, то есть в пределах одной из фаз?

А) теплопроводностью;

Б) массоотдачей;

В) тепературопроводностью;

Г) диффузией.

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2)

9. Выберите один правильный ответ

Что необходимо учитывать в реальных условиях проведения технологических процессов для определения направления процессов массопереноса?

А) температуру;

Б) давление;

В) необходим учет разности концентраций переносимого вещества и градиента температур и давлений, вызванных внешними силами;

Г) влажность.

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3)

10. Выберите один правильный ответ

Что является движущей силой процессов переноса теплоты между телами или теплообмена?

А) температура;

Б) давление;

В) градиент;

Г) разность температур более нагретого и менее нагретого тел, при наличии которой теплота самопроизвольно по второму закону термодинамики переходит от более нагретого к менее нагретому телу.

Правильный ответ: Г

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4)

11. Выберите один правильный ответ

Что представляет собой сублимация (возгонка)?

А) процесс непосредственного перехода вещества из твердого состояния в парообразное;

Б) процесс испарения;

В) процесс конденсации;

Г) процесс диффузии.

Правильный ответ: А

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

12. Выберите один правильный ответ

Что представляет собой дистилляция (перегонка)?

А) получение дистиллированной воды;

Б) процесс очистки жидкостей и разделения их смесей на отдельные жидкости путем частичного испарения и последующей конденсации образовавшегося пара;

В) получение этилового спирта;

Г) процесс конденсации.

Правильный ответ: Б

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

13. Выберите один правильный ответ

Для чего применяется дробная, или фракционированная, дистилляция?

А) для испарения жидкости;

Б) для кипения жидкости;

В) для разделения жидкостей, кипящих при разной температуре;

Г) для конденсации жидкости.

Правильный ответ: В

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

14. Выберите один правильный ответ

Что собой представляет простая перегонка?

А) полное испарение жидкости;

Б) испарение жидкости;

В) конденсация жидкости;

Г) частичное испарение жидкой смеси путем непрерывного отвода и конденсации образовавшихся паров в холодильнике.

Правильный ответ: Г

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

Задания закрытого типа на установление соответствия

1. Установите правильное соответствие между описанием метода электронной микроскопии и его названием. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

	Описание метода	Название метода
1)	Электроны из некоторого источника попадают на образец, рассеиваются при прохождении сквозь него, фокусируются, проходят через увеличительную линзу и создают искомое изображение	А) Просвечивающая электронная микроскопия
2)	На металлическую иглу с острым кончиком в камере с высоким вакуумом подается положительный потенциал. Остаточные молекулы газа при приближении к острию иглы ионизируются, передавая ей электроны	Б) Ионно-полевая микроскопия
3)	Получение информации о поверхности выполняется зондом, измеряющим ток, который создается электронами, проходящими между поверхностью образца и кончиком зонда	В) Сканирующая туннельная микроскопия

Правильный ответ:

1

2

3

А

Б

В

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

2. Установите правильное соответствие между свойствами фотошаблонов и связанными параметрами. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Свойство фотошаблона

Связанные параметры

- | | |
|---|--|
| 1) Высокая разрешающая способность | А) Число линий на мм |
| 2) Большое число идентичных изображений | Б) Площадь фотошаблона |
| 3) Высокая контрастность | В) Прозрачность и непрозрачность |
| 4) Стабильность рисунка и его размеров во времени | Г) Повторяемость результатов литографического процесса |

Правильный ответ:

1	2	3	4
А	Б	В	Г

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

3. Установите правильное соответствие между используемыми формулами и методами измерения параметров наноразмерных структур, в которых они применяются. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Установите соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

- | | Метод | Формула |
|---|-------|------------------------------|
| 1) Рентгеноструктурный анализ | А) | $2d \sin\theta = n\lambda$ |
| 2) Масс-спектрометрия | Б) | $m/q = B^2 r^2 / (2U)$ |
| 3) Просвечивающая электронная микроскопия | В) | $\lambda = 0.0388 / U^{1/2}$ |

Правильный ответ:

1	2	3
А	Б	В

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

4. Установите правильное соответствие между измеряемым параметром наноструктуры и наиболее подходящим методом измерения. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

- | | Параметр наноструктуры | Метод измерения |
|----|--|-------------------------------|
| 1) | Кристаллографическая ориентация атомных плоскостей | А) Рентгеноструктурный анализ |
| 2) | Размер частиц, их концентрация и показатель преломления | Б) Метод рассеяния света |
| 3) | Распределение частиц по размерам для нанокристаллов менее 2 нм | В) Масс-спектрометрия |

Правильный ответ:

1	2	3
А	Б	В

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

5. Установите правильное соответствие между названиями технологических процессов и их описанием. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Технологический процесс	Описание
1) ректификация	А) используется для очистки не только жидких препаратов
2) возгонка	Б) служит для разделения жидкостей, кипящих при разной температуре
3) перегонка	В) процесс очистки жидкостей и разделения их смесей на отдельные жидкости путем частичного испарения и последующей конденсации образовавшегося пара
4) фракционированная дистилляция	Г) представляет собой процесс непосредственного перехода вещества из твердого состояния в парообразное

Правильный ответ:

1	2	3	4
А	Г	В	Б

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1), ПК-7 (ПК-7.1)

6. Установите правильное соответствие между названиями технологических процессов и их описанием. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Технологический процесс	Описание
1) простая перегонка	А) зависит от тепловых режимов испарителя и конденсатора, а также от давления и вида остаточных газов
2) массообмен в газовой фазе	Б) основана на различии растворимости примеси в жидкой и твердой фазах
3) ректификация	В) происходит автоматическое сочетание процессов дистилляции и конденсации
4) очистка кристаллизацией	Г) частичное испарение жидкой смеси путем непрерывного отвода и конденсации образовавшихся паров в холодильнике

Правильный ответ:

1	2	3	4
Г	А	В	Б

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2), ПК-7 (ПК-7.1)

7. Установите правильное соответствие между названиями технологических процессов и их описанием. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Технологический процесс		Описание
1)	направленная кристаллизация	А) вытягивание кристаллов из расплава
2)	формирование шейки слитка	Б) теплоотдача осуществляется только путем излучения
3)	выращивание кристаллов в вакууме	В) диаметр кристалла плавно уменьшают, создавая обратный конус для того, чтобы предотвратить тепловой удар, который приведет к размножению дислокаций в конечной части кристалла
4)	отрыв монокристалла от расплава	Г) производят с одновременным понижением температуры расплава с большой линейной скоростью и, соответственно, при больших осевых градиентах температур

Правильный ответ:

1	2	3	4
А	Г	Б	В

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3), ПК-7 (ПК-7.2)

8. Установите правильное соответствие между названиями технологических методов и их описанием. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

Метод	Описание
1) легирование	А) введение в состав твердых веществ легирующих элементов для придания им определенных физических, химических или механических свойств
2) пассивный сегрегационный метод выравнивания состава кристаллов	Б) процесс ориентированного нарастания одного кристаллического вещества на другом
3) активный сегрегационный метод выравнивания состава кристаллов	В) позволяют активно влиять на ход процесса легирования во время роста и программировать процесс изменения состава
4) эпитаксия	Г) монокристаллы с заданной однородностью распределения примеси получают без внесения каких-либо изменений в кристаллизационный процесс, то есть используют приблизительно равномерную часть монокристалла, выращенного из расплава обычным методом направленной кристаллизации

Правильный ответ:

1	2	3	4
А	Г	В	Б

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4), ПК-7 (ПК-7.3)

Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

1. Для вакуумной установки, содержащей вакуумный пост из форвакуумного и паромасленного насоса подготовка к проведению технологической операции, соответствующей назначению этой установки, выполняется в следующем порядке:

А) включается форвакуумный насос без открытия главного клапана в технологической камере, в паромасленном насосе создается разрежение;

Б) паромасленный насос перекрывается, открывается клапан откачки форвакуумным насосом из технологической камеры;

В) по достижении в технологической камере требуемого разрежения, открывается главный клапан;

Г) при достижении глубокого вакуума выполняется включение нагревателя, либо подача высокого напряжения на катод в зависимости от назначения установки и проводимого техпроцесса.

Правильный ответ: А, Б, В, Г.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2)

2. В масс-спектрометрическом методе измерения размеров наночастиц исследуемые образцы подвергаются следующим физическим воздействиям (расставить в правильном порядке):

А) ионизация бомбардировкой электронами;

Б) ускорение разностью потенциалов между выталкивающей и ускоряющей пластинами;

В) фокусировка системой линз;

Г) искривление траектории в магнитном поле.

Правильный ответ: А, Б, В, Г.

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

3. Механическая обработка кремниевых пластин включает в себя следующие этапы (расставить в правильном порядке):

А) шлифование крупнозернистым свободным абразивом

Б) шлифование мелкозернистым свободным абразивом

В) полировка

Г) очистка

Правильный ответ: А, Б, В, Г.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3)

4. После любой из операций шлифования на поверхности полупроводника остается нарушенный слой, который по мере углубления от поверхности пластины в толщу полупроводника распределяется на четыре последовательные области (расставить в правильном порядке):

- А) микрорельеф;
- Б) область микротрещин;
- В) область, содержащая петли и скопления дислокаций;
- Г) слой с повышенной плотностью дислокаций.

Правильный ответ: А, Б, В, Г.

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

5. Установите в правильной последовательности этапы расчета газодинамики в трубчатом реакторе горизонтального типа:

- А) рассчитать среднюю скорость течения газа;
- Б) рассчитать площадь поперечного сечения реактора;
- В) рассчитать расход газа при средней температуре;
- Г) рассчитать среднюю температуру.

Правильный ответ: Б, Г, В, А.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1), ПК-7 (ПК-7.1)

6. Установите в правильной последовательности этапы расчета газодинамики в трубчатом реакторе вертикального типа:

- А) рассчитать площадь поперечного сечения реактора;
- Б) рассчитать среднюю скорость течения газа;
- В) рассчитать расход газа при средней температуре;
- Г) рассчитать среднюю температуру.

Правильный ответ: А, Г, В, Б.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2), ПК-7 (ПК-7.1)

7. Установите в порядке уменьшения значимости допущения при математическом описании распределения компонентов при процессах направленной кристаллизации и зонной плавке:

А) при плавлении и затвердевании объем кристаллизуемого материала не изменяется, плотности жидкой и твердой фаз равны;

Б) процессами диффузионного перераспределения компонентов в твердой фазе можно пренебречь, то есть предполагается, что коэффициент диффузии компонентов в твердой фазе равен нулю;

В) перераспределение компонентов и, соответственно, выравнивание состава в жидкой фазе происходит мгновенно, то есть эффективный коэффициент диффузии в жидкой фазе равен бесконечности;

Г) величина эффективного коэффициента распределения, через который учитывается фазовая диаграмма кристаллизуемой бинарной системы, постоянна.

Правильный ответ: Б, В, Г, А.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3), ПК-7 (ПК-7.2)

8. Установить в правильной последовательности этапы расчета относительного изменения концентрации примеси по длине слитка с учетом испарения фосфора для монокристалла германия, выращенного по методу Чохральского:

- А) рассчитать распределение отношение примеси в случае ее испарения;
- Б) рассчитать коэффициент взаимодиффузии;
- В) рассчитать поверхность испарения расплава в тигле;
- Г) рассчитать коэффициент динамической вязкости при температуре плавления основного вещества.

Правильный ответ: Г, Б, В, А.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4), ПК-7 (ПК-7.3)

Задания открытого типа

Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

В результате флуктуаций энергии в кристалле образуется некоторое число атомов, которые могут покинуть свой узел и перейти в междоузлие. При этом образуются два точечных дефекта: междоузельный атом и _____.

Правильный ответ: вакансия

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1)

2. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Наиболее часто применяемые легирующие _____ примеси в кремнии — элементы V группы таблицы Менделеева: фосфор, мышьяк, сурьма.

Правильный ответ: донорные

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4)

3. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Если примесь вводится в приповерхностную область кристалла, то создается _____ концентрации и возникает направленный поток частиц.

Правильный ответ: градиент

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

4. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Суть процесса ионной _____ заключается в формировании пучков ионов с одинаковой массой и зарядом, обладающих необходимой заданной энергией, и внедрении их в подложку или мишень в определенном количестве.

Правильный ответ: имплантация

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3)

5. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Промежуточная область между двумя срастающимися фазами, структура и химический состав которой определяется характером физико-химического взаимодействия в данной системе, называется _____

Правильный ответ: переходный эпитаксиальный слой

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1), ПК-7 (ПК-7.1)

6. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Процесс ориентированного нарастания кристаллического вещества на кристаллической подложке из того же вещества, отличающегося от основного лишь содержанием примесей, называется _____

Правильный ответ: гомоэпитаксия

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2), ПК-7 (ПК-7.1)

7. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Процесс ориентированного нарастания вещества на инородной кристаллической поверхности называется _____

Правильный ответ: гетероэпитаксия

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3), ПК-7 (ПК-7.2)

8. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Процесс ориентированного нарастания, при котором происходит образование новой фазы (хемоэпитаксиального слоя) в результате химического взаимодействия подложки с веществом, поступающим из внешней среды, называется _____

Правильный ответ: хемиэпитаксия

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4), ПК-7 (ПК-7.3)

Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. Устранение дефектов, полученных в ходе ионной имплантации, требует _____.

Правильный ответ: высокотемпературной обработки / отжига / термической обработки.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1)

2. Причина ограничения энергии ионов несколькими сотнями килоэлектронвольт заключается в том, что _____.

Правильный ответ: в возрастании стоимости аппаратуры и усложнении методов генерации и анализа ионов

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

3. Литография — технологический метод, предназначенный для _____

Правильный ответ: формирования на подложке топологического рисунка микросхемы с помощью чувствительных к излучению покрытий.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3)

4. Наиболее удобным в изготовлении материалом для металлизации ИМС является алюминий, который обычно наносят _____.

Правильный ответ: методом испарения в вакууме / методом термического испарения

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4)

5. Дайте ответ на вопрос.

Что является ключевым для процесса напыления?

Правильный ответ: что он происходит в вакууме.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1), ПК-7 (ПК-7.1)

6. Дайте ответ на вопрос.

Какой метод лишен недостатка, заключающегося в сложности напыления материалов сложного состава из-за фракционирования, происходящего благодаря разнице в давлениях пара компонентов?

Правильный ответ: метод магнетронного распыления

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2), ПК-7 (ПК-7.1)

7. Дайте ответ на вопрос.

Что используется для обеспечения равномерности напыления?

Правильный ответ: вращающиеся подложкодержатели

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3), ПК-7 (ПК-7.2)

8. Дайте ответ на вопрос.

Какой технологический процесс используется для получения пленок и эпитаксиальных слоев полупроводников, пленочных металлических межсоединений, контактных площадок, диэлектриков, резисторов и обкладок конденсаторов?

Правильный ответ: конденсация из паровой фазы в вакууме

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4), ПК-7 (ПК-7.3)

Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Какие существуют варианты оптической проекционной фотолитографии? Кратко назовите сферы применения каждого из вариантов.

Время выполнения – 20 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Существуют следующие варианты оптической проекционной фотолитографии:

1) одновременная передача изображения всего фотошаблона на полупроводниковую пластину, покрытую фоторезистом;

2) последовательное поэлементное экспонирование изображения одного или разных типов модулей с уменьшением или без него;

3) последовательное вычерчивание изображения на фотослое сфокусированным световым лучом, например, лазерным, управляемым от ЭВМ.

Наиболее широкое распространение получил первый вариант проекционной фотолитографии, так как для успешного использования проекционной литографии необходима автоматическая система совмещения.

Второй вариант применяется при монтаже модулей, третий вариант используется главным образом для изготовления фотошаблонов.

Критерии оценивания:

Достоверность и полнота описания перечисленных вариантов оптической проекционной фотолитографии, логичность и аргументированность описания их сфер применения.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1)

2. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Из каких узлов состоит установка ионного легирования? Дайте краткое описание каждого из узлов и их назначения.

Время выполнения – 20 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Установка ионного легирования содержит следующие основные части: ионный источник, анализатор ионов по массам, сканирующее устройство и коллектор ионов.

В ионном источнике ионизируются исходные вещества и ускоряются в электрическом поле. Ускоренный ионный пучок для удаления многозарядных ионов и загрязняющих его ионов примесей поступает в систему, чувствительную к массе ионов.

Диаметр пучка делают малым, а затем сканируют его по поверхности образца. Для этого после анализатора ионов по массам используют систему фокусирующих линз. Система сканирования необходима не только для равномерной обработки пластины, но и для направления пучка в нужную ее часть.

Критерии оценивания:

соответствие приведенного описания установки ее описанию в открытых литературных источниках, логичность описания работы и назначения каждого узла.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2)

3. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Опишите технологические этапы получения стекла?

Время выполнения – 30 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Подготовленная шихта загружается в тигли и помещается в печь для варки стекла, в результате чего она превращается в жидкую стекломассу, претерпевая сложные физико-химические взаимодействия компонентов, происходящие на протяжении значительного температурного интервала. Различают пять этапов стекловарения: силикатообразование, стеклообразование, осветление (дегазация), гомогенизация (усреднение), студка (охлаждение). На стадии силикатообразования происходит начало взаимодействия компонентов шихты и образование силикатов – соединений компонентов шихты с кремнием. На этапе стеклообразования, образовавшийся на первом этапе спек с повышением температуры плавится, завершаются реакции силикатообразования, происходит взаимное растворение силикатов. В расплаве силикатов идет весьма медленное, постепенное растворение избыточного кварца, составляющее главное содержание этого этапа. К концу этапа появляется прозрачный не однородный по составу расплав, включающий много пузырей. Для обычных стекол этот этап завершается при 1200–1250 °С. В течение этапа осветления из расплава удаляются видимые газовые включения: крупные и мелкие пузыри. Для обычных стекол этот этап завершается при 1500–1600 °С. На этапе гомогенизации происходит усреднение расплава по составу, он становится химически однородным. Гомогенизация и осветление протекают одновременно при одних и тех же температурах.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.1), ПК-7 (ПК-7.1)

4. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Опишите особенности проведения процесса вакуумного напыления?

Время выполнения – 20 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Особенности проведения процесса: чистота осажденного покрытия зависит от качества вакуума и состава исходного материала; при данном давлении чистота пленки будет выше при большей скорости напыления, поскольку выше отношение потоков испаряемого материала и остаточных газов; толщина пленки зависит от геометрии напылительной системы; проволочные испарители не могут применяться для напыления толстых пленок, поскольку существует ограничение на количество материала, которое способно удержаться на них. Лодочки позволяют иметь большой запас материала, а электронно-лучевой метод – практически неограниченный; метод испарения является наиболее быстрым и обладает наибольшим КПД из всех методов напыления; не все материалы могут напыляться методом термического испарения. Тугоплавкие металлы имеют слишком низкое давление пара и требуют очень высокой температуры для испарения. Многие соединения разлагаются при меньшей температуре, чем начинают испаряться, даже при низких давлениях.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.2), ПК-7 (ПК-7.1)

5. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Опишите, какие добавки вводят в шихту для производства стекла и в каком виде?

Время выполнения – 30 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Двуокись кремния (кремнезем SiO_2) является главной составной частью большинства оптических стекол, для его введения используют природный кристаллический кварц (горный хрусталь), кварцевый песок (98 % основного вещества). Борный ангидрид (B_2O_3) вводят в шихту в виде борной кислоты (улетучивается в процессе варки, поэтому берут в 2 раза больше). Оксид алюминия (Al_2O_3) вводят глиноземом (98 % основного вещества). Двуокись циркония (ZrO_2) чаще всего вводят чистым оксидом циркония (100 % основного вещества). Окись натрия (Na_2O) – важнейшая составная часть большинства стекол; вводят в шихту посредством соды Na_2CO_3 . Окись калия (K_2O) вводят в шихту в виде углекислого калия K_2CO_3 . Окись лития (Li_2O) вводят в виде углекислого лития Li_2CO_3 . Окись кальция (CaO) вводится в шихту посредством углекислого кальция (мела) CaCO_3 . Окись магния (MgO) вводят в шихту карбонатом магния MgCO_3 . Окись бария (BaO) вводят в шихту в виде углекислого бария BaCO_3 . Окись свинца (PbO) вводят в шихту в виде свинцового глета или свинцового сурика. Окись бериллия (BeO) вводят чистым оксидом бериллия. Оксид цинка (ZnO) вводят цинковыми белилами (100 % основного вещества).

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.3), ПК-7 (ПК-7.2)

6. Дайте развернутый ответ на вопрос.

Опишите технологию производства стеклотекстолита и его свойства?

Время выполнения – 20 мин.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению:

Текстолит – слоистая пластмасса, где в качестве наполнителя используется хлопчатобумажная ткань, в качестве связующего – фенолоформальдегидная смола. Стеклотекстолит изготавливают прессованием пакета стеклоткани, пропитанной смолой. Выбор связующего определяется назначением стеклотекстолита и способом изготовления изделия. Стеклотекстолит КАСТ получают при использовании смеси фенолоформальдегидной смолы с поливинилацетатами, стеклотекстолит ВФГ – полисилоксана и полиацетала, стеклотекстолит ЭФ–32–301 – при использовании эпоксидной смолы. Диаметр стекловолокна в стеклоткани составляет 3,5–5 мкм. Связующее в стеклотекстолите выполняет роль клея, и его содержание не превышает 25–30 %, иначе прочность изделия снижается. Из пакета пропитанной стеклоткани прессуют листы, плиты, трубы. Стеклотекстолит применяют для изготовления сильно нагруженных конструктивных изделий, работающих в сухих и влажных

средах при температурах до 350 °С, стойких к растворам электролитов, маслам и жидким топливам, а также изделий, которые должны обладать высокими диэлектрическими свойствами и радиопрозрачностью.

Компетенции (индикаторы): ПК-5 (ПК-5.4), ПК-7 (ПК-7.3)

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее – ФОС) по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» 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 микроэлектроника.

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)