

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

**Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Физическая химия полупроводников**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сарач О.Б.
	Идентификатор	R2562e7bf-SarachOB-f26c228a

(подпись)


О.Б. Сарач

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70ca18c

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(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-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов  
ИД-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур
2. ПК-2 Способен участвовать в проектировании интегральных схем  
ИД-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 1. Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2. Использование полупроводниковых материалов (Контрольная работа)
3. Тест. Дефекты в полупроводниках (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	14
Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества					
Материаловедение полупроводников	+				
Высокочистые вещества	+				
Растворимость в бинарных системах					
Растворимость в бинарных системах		+			
Основы теории кристаллизации					

Основы теории кристаллизации			+	
Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности				
Дефектообразование в кристаллах полупроводников				+
Взаимодействие дефектов				+
Протяжённые неоднородности				+
Вес КМ:	15	25	25	35

\$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-1	ИД-2ПК-1 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур	Знать: классификацию дефектов в полупроводниковых кристаллах и фазах переменного состава Уметь: оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых материалов в конкретных устройствах	Тест. Дефекты в полупроводниках (Тестирование) Контрольная работа № 2. Использование полупроводниковых материалов (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-2ПК-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем	Знать: физико-химические процессы изготовления интегральных схем Уметь: разрабатывать технологический маршрут изготовления интегральных схем	Контрольная работа № 1. Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа) Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Тест. Дефекты в полупроводниках

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Выбрать верные ответы на вопросы из предложенных

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: классификацию дефектов в полупроводниковых кристаллах и фазах переменного состава	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Вакансия аниона при <math>T=300</math> К (а.заряжена положительно;b.заряжена отрицательно;c.нейтральна;d. может заряжаться как положительно, так и отрицательно)</li><li>2.Вакансия катиона при <math>T=300</math> К (а.заряжена положительно;b.заряжена отрицательно;c.нейтральна;d. может заряжаться как положительно, так и отрицательно)</li><li>3.Не возникают под действием механической нагрузки: (а. Френкелевы пары; б.примесные атомы с.краевые дислокации; d. винтовые дислокации)</li><li>4.Не притягиваются между собой: (а. вакансия и атом в междоузлии; б.два собственных атома в междоузлии; с. положительная и отрицательная краевые дислокации; d. правая и левая винтовые дислокации)</li><li>5.Не может быть заряжен положительно дефект: (а. атом в междоузлии; б. примесь замещения; с. вакансия катиона в ионной решетке; d. вакансия аниона в ионной решетке)</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

## КМ-2. Контрольная работа № 1. Растворимость в бинарных системах

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выполняется по вариантам

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: физико-химические процессы изготовления интегральных схем

1. Показать на диаграмме состояния (рис.1) линии ликвидус и солидус. На всех участках диаграммы подписать компоненты, присутствующие в системе.

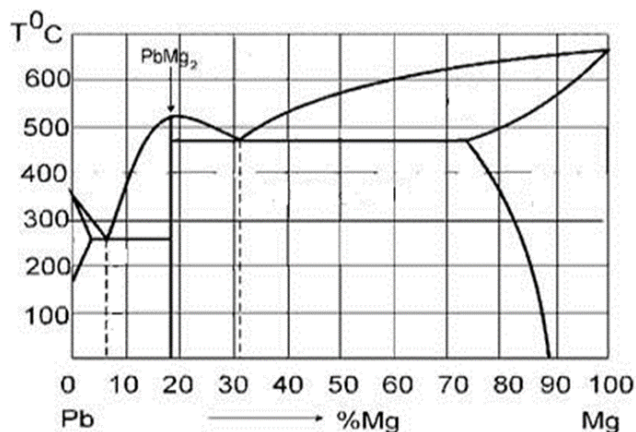


Figure 1 Рис.1

2. По диаграмме состояния (рис.1) указать температуры плавления чистых веществ и эвтектических сплавов, температуры плавления (диссоциации) соединений.

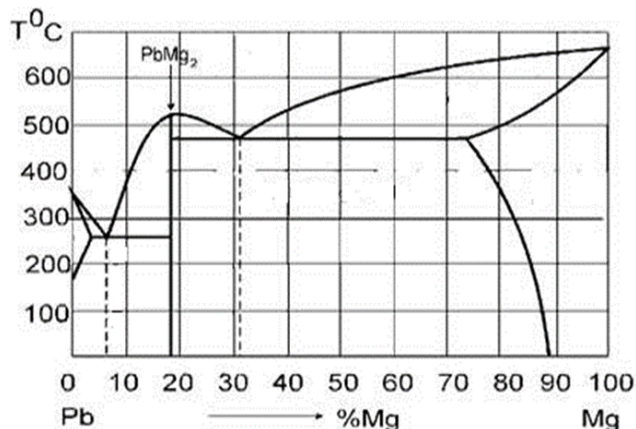
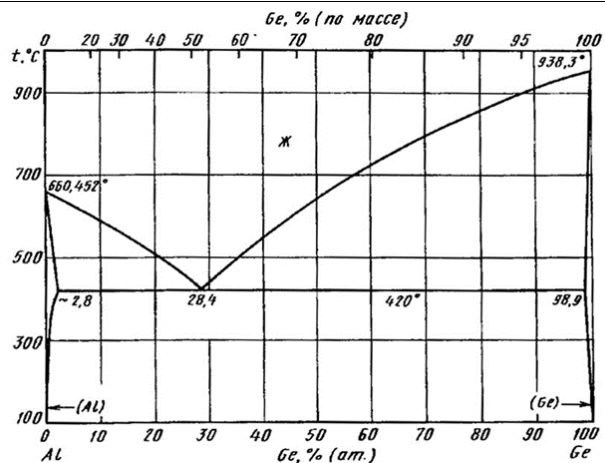


Figure 2 Рис. 1



3.

Figure 3 Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают.

Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают. При какой температуре начнется затвердевание сплава? Каков будет состав выпадающей твердой фазы?

4. Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают. Каково будет соотношение жидкой и твердой фаз при температуре 700  $^\circ\text{C}$ ? Каким будет состав фаз?

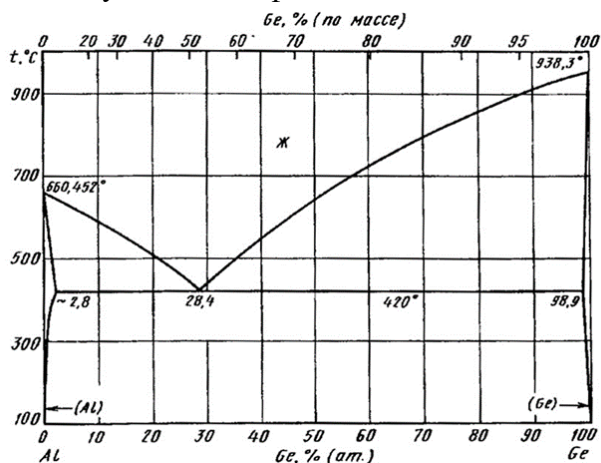
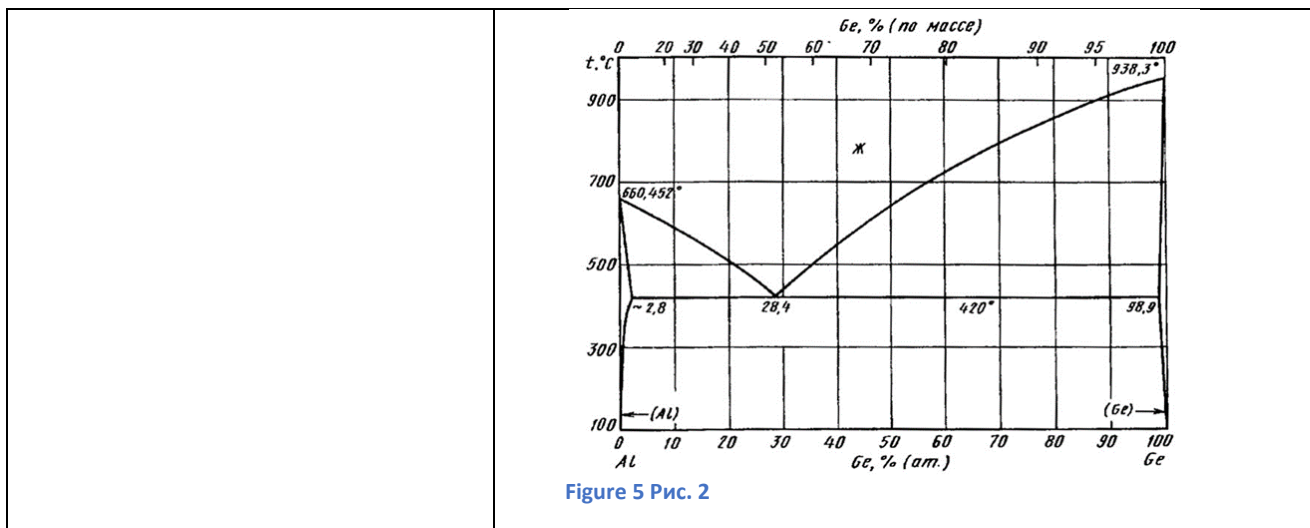


Figure 4 Рис. 2

5. Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают. При какой температуре закончится затвердевание сплава? Каков будет состав жидкой фазы перед полным затвердеванием?





**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-3. Контрольная работа № 2. Использование полупроводниковых материалов**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых материалов в конкретных устройствах</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Объясните, каковы достоинства и недостатки кремния, полученного методом зонной плавки</li> <li>2.Объясните, каковы достоинства и недостатки кремния, полученного методом Чохральского</li> <li>3.Объясните, на каких подложках можно получить гетероэпитаксиальную пленку кремния</li> <li>4.Объясните, какие примеси можно использовать при изготовлении ИС на <i>n-p-n</i>-транзисторах для создания скрытого коллекторного слоя, почему</li> <li>5.Объясните, почему при изготовлении ИС на <i>n-p-n</i>-транзисторах для создания области база не</li> </ol>
--	---

используется легирование алюминием

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-4. Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется дома самостоятельно

**Краткое содержание задания:**

Выполнить расчет по заданному конструктивно-технологическому варианту

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: разрабатывать технологический маршрут изготовления интегральных схем	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Разработать конструктивно-технологические ограничения на размеры биполярного транзистора (технологическая норма 1 мкм)</li><li>2.Разработать конструктивно-технологические ограничения на размеры КМОП пары (технологическая норма 0,5 мкм)</li><li>3.Рассчитать режимы высокотемпературных технологических операций изготовления ИС на основе биполярных транзисторов</li><li>4.Разработать технологический маршрут изготовления ИС на основе биполярных транзисторов</li><li>5.Разработать технологический маршрут изготовления ИС на основе КМОП транзисторов</li></ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

6 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Точечные дефекты в сложных полупроводниках, область гомогенности.
2. Механизмы и кинетика роста кристаллов, закономерности кристаллизации.
3. По диаграмме состояния (рис.3) определить температурный диапазон существования соединений и твердых растворов, предельные растворимости, показать точки эвтектики и перитектики.

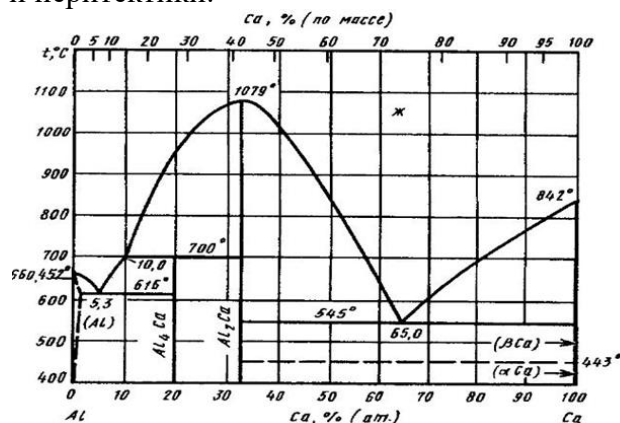


Figure 6 Рис. 3

## Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур

### Вопросы, задания

1. Равновесные дефекты и устойчивое состояние кристалла
2. Кластеры, взаимодействие примесей с собственными дефектами
3. Неограниченная и ограниченная растворимость в бинарных системах

### Материалы для проверки остаточных знаний

#### 1. Чем является вакансия?

Ответы:

- точечным дефектом
- линейным дефектом
- примесным дефектом
- электронным дефектом

Верный ответ: точечным дефектом

#### 2. Чем является краевая дислокация?

Ответы:

- точечным дефектом
- линейным дефектом

электронным дефектом  
разупорядоченностью по Френкелю

Верный ответ: линейным дефектом

**3. Как называют дефекты на границе между подложкой и гетероэпитаксиальным слоем?**

Ответы:

точечными  
дислокациями несоответствия  
разупорядоченностью по Шоттки  
разупорядоченностью по Френкелю

Верный ответ: дислокациями несоответствия

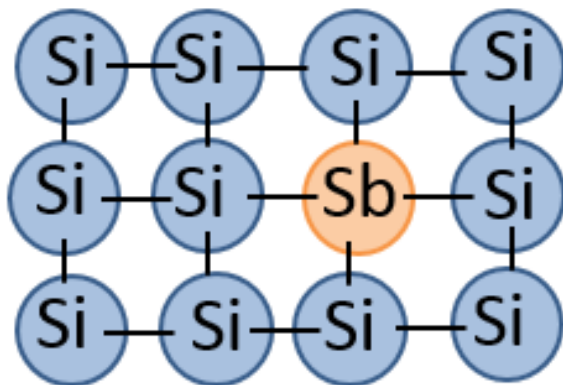
**4. Как называют энергетический уровень в середине запрещенной зоны?**

Ответы:

донорным  
акцепторным  
ловушечным  
поверхностным

Верный ответ: ловушечным

**5. Схема какого твердого раствора показана на рисунке?**



Ответы:

раствор замещения  
раствор внедрения  
раствор вычитания

Верный ответ: раствор замещения

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем

### Вопросы, задания

1. Термическое переохлаждение и его роль в процессе кристаллизации чистых веществ
2. Зарождение и рост кристаллов
3. Роль собственных точечных дефектов в процессах легирования кристаллов

### Материалы для проверки остаточных знаний

**1. Какую примесь можно использовать для формирования слоя активной базы ИС на основе биполярных n-p-n транзисторов?**

Ответы:

бор  
фосфор  
мышьяк

сурьму

Верный ответ: бор

**2.Какую примесь можно использовать для формирования глубокого коллектора ИС на основе биполярных п-р-п транзисторов?**

Ответы:

бор

фосфор

мышьяк

сурьму

Верный ответ: фосфор

**3.Какие примеси можно использовать для формирования скрытого коллекторного слоя ИС на основе биполярных п-р-п транзисторов?**

Ответы:

бор

фосфор

мышьяк

сурьму

алюминий

Верный ответ: мышьяк сурьму

**4.Какие примеси можно использовать для формирования эмиттерного слоя ИС на основе биполярных п-р-п транзисторов?**

Ответы:

бор

фосфор

мышьяк

алюминий

Верный ответ: фосфор мышьяк

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня*

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.