

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета радиотехники  
и электроники  
/ В.А. Небольсин /  
25 ноября 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

**«Физическая химия материалов и процессов электронной техники»**

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2023

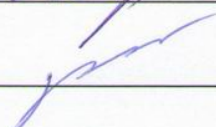
Автор программы

  
\_\_\_\_\_ Е.П. Николаева

И.о.заведующего кафедрой  
полупроводниковой электроники  
и наноэлектроники

  
\_\_\_\_\_ А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

  
\_\_\_\_\_ А.В. Арсентьев

Воронеж 2022

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области физической химии материалов и процессов электронной техники в связи с задачами и современными требованиями полупроводникового материаловедения и микроэлектроники.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины:

– сформировать представления об общих физико-химических закономерностях, лежащих в основе технологических процессов получения материалов и структур микроэлектроники;

– установить взаимосвязь между составом, структурой, свойствами и условиями синтеза полупроводниковых материалов и структур;

– дать представление о тенденциях развития, основных направлениях и методах физической химии в связи с современными требованиями микроэлектроники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.О.30 «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» направлен на формирование следующих компетенций:

**ОПК-1:** способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

**ОПК-2:** способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	<b>знать</b> основные теоретические положения физической химии, химической термодинамики и кинетики; основы теории химической термодинамики; влияние концентрации, температуры и давления на равновесие химической реакции;
	<b>уметь</b> использовать справочные значения стандартных термодинамических функций для проведения расчетов типичных процессов полупроводниковой технологии;
	<b>владеть</b> методами термодинамического анализа химических и фазовых равновесий.

ОПК-2	<b>знать</b> основы теории и практики фазового равновесия; принципы построения фазовых диаграмм; основы моделирования технологических процессов производства полупроводниковых материалов и приборов;
	<b>уметь</b> использовать диаграммы состояния для выбора условий проведения процессов получения, очистки и легирования полупроводниковых материалов;
	<b>владеть</b> методикой анализа и выбора оптимальных условий проведения технологических процессов.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
<b>Самостоятельная работа</b>	58	58
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

##### Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	6	6
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	2	2
<b>Самостоятельная работа</b>	98	98
Контрольная работа	+	+
Часы на контроль	4	4
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак. зан.	СРС	Всего, час
1	Химическая термодинамика. Термодинамический метод описания свойств материалов	Общие понятия и определения физической химии. Термодинамические системы, процессы, функция состояния процесса. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Зависимость теплоемкости от температуры. Теплоемкость газов и твердых тел. Закон Гесса. Тепловой эффект процессов. Зависимость теплового эффекта от температуры. Определение температурной зависимости термодинамических свойств индивидуальных веществ. Второе начало термодинамики. Второе начало термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Энтропия. Изменение энтропии – критерий равновесия и направления процесса. Энергия Гиббса, Гельмгольца. Характеристические функции. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Термодинамические потенциалы. Температурная зависимость термодинамических функций при наличии фазовых переходов. Энтропийный критерий самопроизвольного процесса. Термодинамика фаз переменного состава. Химический потенциал идеального газа. Парциальные молярные величины и их значение в термодинамике растворов. Уравнение Гиббса – Дюгема. Идеальные, предельно разбавленные, неидеальные растворы. Законы Рауля, Генри. Температуры замерзания и кипения растворов. Растворимость твердых веществ. Расчет температурного коэффициента теплового эффекта химической реакции.	12	2	14	28
2	Химические равновесия в технологии получения полупроводниковых материалов	Термодинамика химических равновесий. Закон действующих масс. Константа равновесия и стандартная энергия Гиббса химической реакции. Химическое равновесие в гетерогенных системах. Определение направления химической реакции в равновесных условиях. Уравнение изотермы, изобары, изохоры химической реакции. Влияние давления на равновесие химической реакции. Третье начало термодинамики. Константа равновесия химической реакции. Определение состава равновесий смеси. Определение направления химической реакции в неравновесных условиях.	8	4	16	28
3	Фазовые равновесия в полупроводниковой технологии	Фазовые превращения в гетерогенных системах. Правило фаз Гиббса. Физико-химический и термический анализы. Диаграмма состояния двухкомпонентных систем с твердыми растворами, компоненты которых взаимно неограниченно и ограниченно растворимы. Двухкомпонентные системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии. Системы с полной взаимной нерастворимостью и ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Системы с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися химическими соединениями. Системы с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися химическими соединениями. Термодинамика жидких летучих смесей. Диаграммы состояния жидких летучих смесей с неограниченной взаимной растворимостью компонентов. Закон Коновалова. Летучие смеси с неограниченно, ограниченно и практически взаимно нерастворимыми жидкими смесями. Диаграммы состояния ограниченно растворимых и практически взаимно нерастворимых жидких летучих смесей.	12	8	22	42
4	Термодинамика необратимых процессов	Принцип кинетического описания технологических процессов. Обобщенное уравнение переноса параметра. Поток – основная характеристика системы. Диффузионный, конвективный и переходной потоки. Источники и стоки системы. Кинетика химических реакций.	2	2	6	10
<b>Итого</b>			<b>34</b>	<b>16</b>	<b>58</b>	<b>108</b>

#### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак. зан.	СРС	Всего, час
1	Химическая термодинамика. Термодинамический метод описания свойств материалов	Общие понятия и определения физической химии. Термодинамические системы, процессы, функция состояния процесса. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Зависимость теплоемкости от температуры. Теплоемкость газов и твердых тел. Закон Гесса. Тепловой эффект процессов. Зависимость теплового эффекта от температуры. Определение температурной зависимости термодинамических свойств индивидуальных веществ. Второе	2	-	10	12

		начало термодинамики. Второе начало термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Энтропия. Изменение энтропии – критерий равновесия и направления процесса. Энергия Гиббса, Гельмгольца. Характеристические функции. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Термодинамические потенциалы. Температурная зависимость термодинамических функций при наличии фазовых переходов. Энтропийный критерий самопроизвольного процесса. Термодинамика фаз переменного состава. Химический потенциал идеального газа. Парциальные молярные величины и их значение в термодинамике растворов. Уравнение Гиббса – Дюгема. Идеальные, предельно разбавленные, неидеальные растворы. Законы Рауля, Генри. Температуры замерзания и кипения растворов. Растворимость твердых веществ. Расчет температурного коэффициента теплового эффекта химической реакции.				
2	Химические равновесия в технологии получения полупроводниковых материалов	Термодинамика химических равновесий. Закон действующих масс. Константа равновесия и стандартная энергия Гиббса химической реакции. Химическое равновесие в гетерогенных системах. Определение направления химической реакции в равновесных условиях. Уравнение изотермы, изобары, изохоры химической реакции. Влияние давления на равновесие химической реакции. Третье начало термодинамики. Константа равновесия химической реакции. Определение состава равновесий смеси. Определение направления химической реакции в неравновесных условиях.	2	-	10	12
3	Фазовые равновесия в полупроводниковой технологии	Фазовые превращения в гетерогенных системах. Правило фаз Гиббса. Физико-химический и термический анализы. Диаграмма состояния двухкомпонентных систем с твердыми растворами, компоненты которых взаимно неограниченно и ограниченно растворимы. Двухкомпонентные системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии. Системы с полной взаимной нерастворимостью и ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Системы с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися химическими соединениями. Системы с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися химическими соединениями. Термодинамика жидких летучих смесей. Диаграммы состояния жидких летучих смесей с неограниченной взаимной растворимостью компонентов. Закон Коновалова. Летучие смеси с неограниченно, ограниченно и практически взаимно нерастворимыми жидкими смесями. Диаграммы состояния ограниченно растворимых и практически взаимно нерастворимых жидких летучих смесей.	-	-	60	60
4	Термодинамика необратимых процессов	Принцип кинетического описания технологических процессов. Обобщенное уравнение переноса параметра. Поток – основная характеристика системы. Диффузионный, конвективный и переходной потоки. Источники и стоки системы. Кинетика химических реакций.	-	2	18	20
<b>Всего</b>			<b>4</b>	<b>2</b>	<b>98</b>	<b>104</b>
<b>Контроль</b>						<b>4</b>
<b>Итого</b>						<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	<b>знать</b> основные теоретические положения физической химии, химической термодинамики и кинетики; основы теории химической термодинамики; влияние концентрации, температуры и давления на равновесие химической реакции;	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> использовать справочные значения стандартных термодинамических функций для проведения расчетов типичных процессов полупроводниковой технологии;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> методами термодинамического анализа химических и фазовых равновесий.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	<b>знать</b> основы теории и практики фазового равновесия; принципы построения фазовых диаграмм; основы моделирования технологических процессов производства полупроводниковых материалов и приборов;	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> использовать диаграммы состояния для выбора условий проведения процессов получения, очистки и легирования полупроводниковых материалов;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> методикой анализа и выбора оптимальных условий проведения технологических процессов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

#### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются во 2 семестре для очной формы обучения, в 5 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»;

«не зачтено».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	<b>знать</b> основные теоретические положения физической химии, химической термодинамики и кинетики; основы теории химической термодинамики; влияние концентрации, температуры и давления на равновесие химической реакции;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> использовать справочные значения стандартных термодинамических функций для проведения расчетов типичных процессов полупроводниковой технологии;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> методами термодинамического анализа химических и фазовых равновесий.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	<b>знать</b> основы теории и практики фазового равновесия; принципы построения фазовых диаграмм; основы моделирования технологических процессов производства полупроводниковых материалов и приборов;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> использовать диаграммы состояния для выбора условий проведения процессов получения, очистки и легирования полупроводниковых материалов;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> методикой анализа и выбора оптимальных условий проведения технологических процессов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Какие функции относятся к процессам в формулировке первого закона термодинамики  $\delta Q = dU + \delta A$  ?

1. внутренняя энергия;
2. работа;
3. теплота;
4. работа и теплота;
5. теплота и внутренняя энергия.

2. При превращении моля льда при 0 °С в пар при 100 °С изменение энтропии равно:

1.  $\Delta S$  нагревания от 0 °С до 100 °С;
2.  $\Delta S$  плавления +  $\Delta S$  испарения;
3.  $\Delta S$  плавления +  $\Delta S$  нагревания +  $\Delta S$  испарения;
4.  $\Delta S$  нагревания +  $\Delta S$  плавления;
5. невозможно рассчитать.

3. При нагревании 1 моля льда при 0 °С до 100 °С изменение энтропии равно:

1.  $\Delta S = \Delta S$  нагревания =  $\int_{273}^{373} \frac{C_p}{T} dT$  ;
2.  $\Delta S = \Delta S$  нагревания +  $\Delta S$  плавления;

3.  $\Delta S$  плавления;
4. невозможно рассчитать.

4. Разность энтропии между переохлаждением воды до 263 К (-10 °С) и энтропией льда при одной и той же температуре определяется:

1.  $\Delta S = S_{\text{вода, тв, 263}} - S_{\text{вода, ж, 273}} = \int_{273}^{373} \frac{C_{p,\text{ТВ}}}{T} dT - \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}}$ ;
2.  $\Delta S = \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}}$ ;
3.  $\Delta S = \int_{273}^{373} \frac{C_{p,\text{ж}}}{T} dT - \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}}$ ;
4.  $\Delta S = \int_{273}^{373} \frac{C_{p,\text{ж}}}{T} dT - \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}} + \int_{273}^{373} \frac{C_{p,\text{ТВ}}}{T} dT$ .

5. Свободная энергия Гиббса определяется уравнением:

1.  $G = U - TS$ ;
2.  $G = H - TS$ ;
3.  $G = Q - TS$ ;
4.  $G = H - S$ ;
5.  $G = U - TV$ .

6. Для уравнения  $dH = TdS + VdP$  значения характеристических функций  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S, \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$ :

1.  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S = V, \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P = T$ ;
2.  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S = V, \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P = T$ ;
3.  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S = S, \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P = P$ ;
4.  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S = P, \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P = H$ .

7. Свободная энергия Гельмгольца определяется уравнением:

1.  $F = U - TS$ ;
2.  $F = H - TS$ ;
3.  $F = U - TS$ ;
4.  $F = H - TV$ ;
5.  $F = Q - TS$ .

8. Критерий самопроизвольного процесса:

1.  $\Delta G_{T,P} < 0$ ;
2.  $\Delta G_{T,P} = 0$ ;
3.  $\Delta G_{T,P} > 0$ ;
4.  $\Delta G_{T,P} \geq 0$ ;
5.  $\Delta G_{T,P} \leq 0$ .

9. Определение изменения энергии Гиббса необходимо для определения направления:

1. изобарно-изотермическом процесса;
2. изохорно-изотермическом процесса;
3. изобарных процессов;
4. изотермических процессов;
5. любых процессов.



10. Для уравнения  $dF = -SdT - PdV$ , значения характеристических функций  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V, \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$ :
1.  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = V, \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = P;$
  2.  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = P, \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = V;$
  3.  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = T, \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = S;$
  4.  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = S, \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = V;$
  5.  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = -S, \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = -P$

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Найти изменение энтропии при превращении 1 моля льда при 0 °С в пар при 100 °С.
2. Найти изменение энтропии 1 моля  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  при нормальном давлении в интервале температур 298 – 1800 К.
3. Найти температурную зависимость теплового эффекта реакции с помощью стандартных термодинамических величин.
4. Найти тепловой эффект химической реакции  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ , при температуре 298 К с помощью стандартных термодинамических величин.
5. Найти тепловой эффект химической реакции  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ , при температуре 1300 К с помощью стандартных термодинамических величин.
6. Рассчитать константу равновесия при  $T=1000$  К для химической реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  с помощью стандартных термодинамических величин.
7. Определить направление химической реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  при температуре  $T = 298$  К.
8. Определить направление химической реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  при температуре  $T = 1000$  К.
9. Как изменится выход продукта реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  в интервале температур 298 ~ 1000 К.
10. Рассчитать выход реакции восстановления  $\text{FeO}_T + \text{CO} = \text{Fe}_T + \text{CO}_2$  при  $T = 873$  К.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить, пойдет ли самопроизвольно процесс кристаллизации воды при  $T = 263$  К и давлении  $P = 1$  атм.
2. Рассчитать температурную зависимость  $\Delta_r G_T^0$  для химической реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  с помощью стандартных термодинамических величин.
3. Определение степени завершенности реакции в состоянии равновесия  $1/2 \text{N}_{2\text{газ}} + 1/2 \text{O}_{2\text{газ}} = \text{NO}_{\text{газ}}$ . Вычислить выход  $\text{NO}$  ( $x$ ) при окислении азота при 4000 К.
4. Пользуясь справочными данными, рассчитайте тепловой эффект ( $\Delta H$ ) реакции  $2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)} = 4\text{HCl}_{(г)} + \text{O}_2$ , протекающей при 798 К и постоянном давлении 1 атм.
5. Стандартная теплота образования кристаллического  $\text{In}_2\text{O}_3$  равна -926,76 кДж/моль. Напишите уравнение реакции, к которой относится этот тепловой эффект.
6. Исследовать диаграмму состояния плавкости веществ, образующих неустойчивое химическое соединение. Определить фазовый состав и кривые термоанализа.
7. Исследовать диаграмму состояния двухкомпонентной системы с неограниченной растворимостью в жидкой и твердой фазе. Определить фазовый состав, температуру первого кристалла и последней капли для состава  $A_\alpha B_{1-x}$ . Построить кривые термоанализа

8. Исследовать диаграмму состояния двухкомпонентной системы с неограниченной растворимостью в жидкой фазе и полной нерастворимостью в твердой фазе. Определить фазовый состав, температуру первого кристалла и последней капли для состава  $A_xB_{1-x}$ . Построить кривые термоанализа.
9. Исследовать диаграмму состояния двухкомпонентной системы с неограниченной растворимостью в жидкой и ограниченной растворимостью в твердой фазе. Определить фазовый состав, температуру первого кристалла и последней капли для состава  $A_xB_{1-x}$ . Построить кривые термоанализа.
10. Исследовать диаграмму состояния двухкомпонентной системы с образованием химического соединения постоянного состава. Определить фазовый состав, температуру первого кристалла и последней капли для состава  $A_xB_{1-x}$ . Построить кривые термоанализа

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Общие понятия и определения физической химии.
2. Термодинамические системы, процессы, функция состояния процесса.
3. Первое начало термодинамики.
4. Теплоемкость. Зависимость теплоемкости от температуры.
5. Теплоемкость газов и твердых тел. Закон Гесса.
6. Тепловой эффект процессов. Зависимость теплового эффекта от температуры.
7. Определение температурной зависимости термодинамических свойств индивидуальных веществ.
8. Второе начало термодинамики.
9. Второе начало термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
10. Энтропия. Изменение энтропии – критерий равновесия и направления процесса.
11. Энергия Гиббса, Гельмгольца. Характеристические функции.
12. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Термодинамические потенциалы.
13. Температурная зависимость термодинамических функций при наличии фазовых переходов.
14. Энтропийный критерий самопроизвольного процесса.
15. Термодинамика фаз переменного состава.
16. Химический потенциал идеального газа.
17. Парциальные молярные величины и их значение в термодинамике растворов.
18. Уравнение Гиббса – Дюгема.
19. Идеальные, предельно разбавленные, неидеальные растворы. Законы Рауля, Генри.
20. Температуры замерзания и кипения растворов.
21. Растворимость твердых веществ.
22. Расчет температурного коэффициента теплового эффекта химической реакции.
23. Термодинамика химических равновесий.
24. Закон действующих масс.
25. Константа равновесия и стандартная энергия Гиббса химической реакции.
26. Химическое равновесие в гетерогенных системах.
27. Определение направления химической реакции в равновесных условиях.
28. Уравнение изотермы, изобары, изохоры химической реакции.
29. Влияние давления на равновесие химической реакции.
30. Третье начало термодинамики.
31. Константа равновесия химической реакции.
32. Определение состава равновесий смеси.
33. Определение направления химической реакции в неравновесных условиях.
34. Фазовые превращения в гетерогенных системах. Правило фаз Гиббса.

35. Физико-химический и термический анализы.
36. Диаграмма состояния двухкомпонентных систем с твердыми растворами, компоненты которых взаимно неограниченно и ограниченно растворимы.
37. Двухкомпонентные системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии.
38. Системы с полной взаимной нерастворимостью и ограниченной растворимостью в твердом состоянии.
39. Системы с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися химическими соединениями.
40. Термодинамика жидких летучих смесей.
41. Диаграммы состояния жидких летучих смесей с неограниченной взаимной растворимостью компонентов.
42. Закон Коновалова. Летучие смеси с неограниченно, ограниченно и практически взаимно нерастворимыми жидкими смесями
43. Диаграммы состояния ограниченно растворимых и практически взаимно нерастворимых жидких летучих смесей.
44. Принцип кинетического описания технологических процессов. Обобщенное уравнение переноса параметра.
45. Поток – основная характеристика системы. Диффузионный, конвективный и переходной потоки.
46. Источники и стоки системы. Кинетика химических реакций.

### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 7 до 10 баллов.

2. Оценка «не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 7 баллов.

При получении оценки «зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Химическая термодинамика. Термодинамический метод описания свойств материалов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, устный опрос
2	Химические равновесия в технологии получения полупроводниковых	ОПК-1, ОПК-2	Тест, устный опрос

	материалов		
3	Фазовые равновесия в полупроводниковой технологии	ОПК-1, ОПК-2	Тестустный опрос
4	Термодинамика необратимых процессов	ОПК-1, ОПК-2	Тест устный опрос

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

Основная литература

1. **Стромберг А.Г.** Физическая химия: учеб. пособие / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко; под ред. А.Г. Стромберга. - 5-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 2003. - 527 с. - ISBN 5-06-003627-8

2. **Николаева Е.П.** Термодинамика твердого состояния: учеб. пособие / Е.П. Николаева, Н.Н. Кошелева, Е.И. Прибылова. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 127 с.

3. **Горшунова В.П.** Краткий курс физической химии: учеб. пособие / В.П. Горшунова. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. – 169 с.

4. **Корнеева В.В.** Диаграммы состояния двойной системы: учеб. пособие / В.В. Корнеева, А.Н. Корнеева. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. - 91 с.

5. **Новокрещенова Е.П.** Введение в кристаллохимию полупроводников [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.П. Новокрещенова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,38 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012.

6. **Николаева Е.П.** Точечные дефекты в кристаллах [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.П. Николаева, Н.Н. Кошелева. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,3 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016.

7. **Корнеева В.В.** Электродвижущие силы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Корнеева, А.Н. Корнеева. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014.

Дополнительная литература

8. **Тимакова Е.В.** Физическая химия. Сборник заданий с примерами решений [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.В. Тимакова, А.А. Казакова. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. – 136 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7782-3575-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/91475.html>

9. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 1 : Элементы O, H (D, T), F, Cl, Br, I, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, S, N, P и их соединения. Кн. 1. Методы расчета. Вычисление термодинамических свойств. Кн. 2. Таблицы термодинамических свойств / В.П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1978. - 495 с., 326 с.

10. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 2. Элементы C, Si, Ge, Sn, Pb и их соединения. Кн. 1. Вычисление термодинамических свойств / В.П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1979. - 440 с.

11. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 2. Элементы C, Si, Ge, Sn, Pb и их соединения. Кн. 2. Таблицы термодинамических свойств / В.П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1979. - 340 с.

12. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 3. Элементы B, Al, Ga, In, Tl, Be, Mg, Ca, Sr, Ba и их соединения. Кн. 1. Вычисление термодинамических свойств / В. П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1981. - 472 с.

13. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 3. Элементы B, Al, Ga, In, Tl, Be, Mg, Ca, Sr, Ba и их соединения. Кн. 2. Таблицы термодинамических свойств / В.П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1981. - 395 с.

14. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 4. Элементы Cr, Mo, W, V, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, Sc, Y, La, Th, U, Pu, Li, Na, K, Rb, Cs и их соединения. Кн. 1. Вычисление термодинамических свойств / В. П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1982. - 622 с.

15. **Термодинамические свойства индивидуальных веществ:** справочное издание: в 4 т. Т. 4 : Элементы Cr, Mo, W, V, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, Sc, Y, La, Th, U, Pu, Li, Na, K, Rb, Cs и их соединения. Кн. 2. Таблицы термодинамических свойств / В.П. Глушко (отв. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и расшир. – М.: Наука, 1982. - 559 с.

16. **Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» для студентов направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (направленность «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т», каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники ; сост.: Е.П. Николаева, С.О. Николаева. - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2017. - 59 с. (№ 78-2017)**

17. **Методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплине «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» для студентов направления подготовки бакалавров 210100 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» заочной формы обучения**

[Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост. Е.П. Николаева, Е.П. Новокрещенова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (241 Кбайт). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. - 1 файл. (№ 136-2013)

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

### **Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

### **Используемые электронные библиотечные системы:**

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:  
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

### **Информационные справочные системы:**

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ:  
<https://old.education.cchgeu.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**1. Лекционная аудитория 311/4**, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

- комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
- проектор BenQ MP515 DLP;

экран ScreenMedia настенный.

огнетушитель.

**2. Дисплейный класс** для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенный необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);

рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.

компьютер-сборка каф.9;

компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);

компьютер-сборка каф.7;

компьютер-сборка каф.3;

компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);

компьютер-сборка каф.5;

компьютер-сборка каф.4;

компьютер-сборка каф.8;

компьютер-сборка каф.2;

компьютер-сборка каф.6;

компьютер-сборка каф.10;

комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;

компьютер-сборка каф.1;

экран Projecta ProScreen настенный рулонный;

проектор BenQ MP515 DLP;

огнетушитель.

## **10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение навыков проведения расчетов типичных процессов полупроводниковой технологии. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.

	Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Практические занятия позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.



## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			