

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.06.2023 09:46:13  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Материаловедение электронной техники**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: д.т.н., профессор Каплунов И.А.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целью освоения дисциплины является изучению ряда материаловедческих проблем создания и применения полупроводниковых и диэлектрических материалов. Рассматриваются основные свойства материалов, вопросы создания материалов с заданными свойствами. Значительная часть курса включает изучение термодинамики фазовых равновесий, диаграмм фазовых равновесий (Т-Х, Р-Т-Х, Р-Т) двойных и тройных полупроводниковых систем.*

**Задачами** освоения дисциплины являются:

- получение сведений по основным классам материалов и областям их использования, по диаграммам состояния и термодинамическим расчетам применительно к системам, имеющим практическое значение в технологии материалов;
- формирование умения эффективно использовать требуемый математический аппарат для правильной расшифровки и идентификации исследуемых структур;
- формирование представлений о методах и аппаратуре, применяемых при анализе кристаллической структуры веществ.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Материаловедение электронной техники» изучается в модуле «Физика и технология материалов радиоэлектроники» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Курс содержательно закладывает основы знаний для научно-исследовательской и научно-производственной практик, в процессе которых изучаются свойства, строение и получение материалов для современной электронной техники. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания основ общей физики, разделы: Молекулярная физика, Электричество и магнетизм, Оптика, Атомная физика. Иметь представление о физике полупроводников и диэлектриков. Знать основные законы физики.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетные единицы, 144 академических часа, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 30 часов, практические занятия 30 часов;

**самостоятельная работа:** 84 часа, в том числе контроль 27 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3. Способен осуществлять разработку радиоэлектронных средств.	ПК-3.1. Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиоэлектронных средств.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Экзамен в 7 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Практические занятия		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	

<b>1. Основные свойства полупроводников, диэлектриков и металлов.</b> Электрические, оптические, акустические, механические свойства.	16	4		4		8
<b>2. Термодинамика фазовых равновесий.</b> Условия равновесия. Основные понятия. Диаграммы состояния. Химический потенциал. Правило фаз Гиббса.	18	5		5		8
<b>3. Диаграммы фазовых равновесий.</b> Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной и ограниченной растворимостью компонентов. Т-Х диаграммы равновесий тройных систем. Р-Т и Р-Т-Х диаграммы фазовых равновесий	19	5		5		9
<b>4. Методы построения диаграмм состояний.</b> Метод термического анализа. Метод отжига. Метод отжига с последующей закалкой. Рентгеновские методы. Методы измерения электропроводности, микротвердости	16	4		4		8
<b>5. Структурные и объемные дефекты в полупроводниках.</b> Точечные, линейные, двумерные дефекты. Объемные несовершенства.	16	4		4		8
<b>6. Фазовые превращения.</b> Образование и рост зародышей новой фазы. Фазовые превращения в твердой фазе. Кинетика процессов зарождения и роста.	16	4		4		8
<b>7. Примеси в полупроводниках.</b> Легирующие и фоновые примеси. Распределение примесей в полупроводниках.	16	4		4		8
<b>Экзамен</b>	27					27
<b>итого</b>	177	30		30		84

### III. Образовательные технологии

Учебная программа - наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<b>1. Основные свойства полупроводников, диэлектриков и металлов.</b> Электрические, оптические, акустические, механические свойства.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
<b>2. Термодинамика фазовых равновесий.</b> Условия равновесия. Основные понятия. Диаграммы состояния. Химический потенциал. Правило фаз Гиббса.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>

<b>3. Диаграммы фазовых равновесий.</b> Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной и ограниченной растворимостью компонентов. Т-Х диаграммы равновесий тройных систем. Р-Т и Р-Т-Х диаграммы фазовых равновесий	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
<b>4. Методы построения диаграмм состояний.</b> Метод термического анализа. Метод отжига. Метод отжига с последующей закалкой. Рентгеновские методы. Методы измерения электропроводности, микротвердости	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
<b>5. Структурные и объемные дефекты в полупроводниках.</b> Точечные, линейные, двумерные дефекты. Объемные несовершенства.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
<b>6. Фазовые превращения.</b> Образование и рост зародышей новой фазы. Фазовые превращения в твердой фазе. Кинетика процессов зарождения и роста.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
<b>7. Примеси в полупроводниках.</b> Легирующие и фоновые примеси. Распределение примесей в полупроводниках.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
<b>1. Проблемы получения данных о структуре материалов.</b> Предельное разрешение, даваемое оптической системой. Вид оптической индикатрисы в зависимости от точечной группы симметрии кристалла.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и

зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**ПК-3. Способен осуществлять разработку радиоэлектронных средств:**

ПК-3.1. Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиоэлектронных средств.

**Задание:**

Известно, что поверхность германия (IV) в качестве легирующей примеси содержит  $3 \cdot 10^{16}$  атомов на  $\text{см}^3$  ( $\text{см}^{-3}$ ) мышьяка (V). Затем он легируется фосфором (V) в количестве  $10^{17}$   $\text{см}^{-3}$  и после этого – бором ( $5 \cdot 10^{17}$   $\text{см}^{-3}$ ). Полученная структура проходит термический обжиг, которая активировывает все примеси. Определить тип проводимости.

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

**ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:**

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

**Задание:**

1. Сделать доклад на тему «Легирующие примеси в полупроводниках»

## 2. Сделать доклад на тему «Кинетика зародыщеобразования»

**Способ аттестации:** устный

**Критерии оценки:**

раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 4 балла

- Аргументация на теоретическом уровне неполная, смысл ряда ключевых понятий не объяснен – 1 балл
- Терминологический аппарат непосредственно не связан с раскрываемой темой – 0 баллов
- Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы – 3 балла
- Допущена фактическая ошибка, не приведшая к существенному искажению смысла – 2 балла
- Допущены фактические и логические ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### 1) Рекомендуемая литература

#### а) основная литература:

1. Захаров А. Ю. Теоретические основы физического материаловедения. Статистическая термодинамика модельных систем [Электронный ресурс]: учеб. пособие. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72580>.

#### б) дополнительная литература:

1. Ивлиев А. Д. Физика [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2009. — 672 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/163>.
2. Кульков В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90003>.

## 2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***Методические рекомендации***

Предметом оценки является подготовка студентов к занятиям, работа студентов на практических занятиях, выполнение ими тестовых заданий.

Оценки успеваемости студентов проходит в модульную неделю в соответствии с графиком учебного процесса.

Практические задания по демонстрации компетенций заключаются в устных или письменных ответах на поставленные преподавателем или составленным самими студентами вопросы (традиционные или в форме тестов). При этом оценивается обоснованность ответа, ясность и последовательность изложения мысли. Такая демонстрация компетенций проверяет уровень владения теоретическим и практическим материалом.

### ***Типовые тесты***

- Типовые тесты

(Отметить правильный вариант ответа.

Если правильных вариантов несколько, отметить все правильные)

1. Какой тип электропроводности в твердых телах связан с переносом массы?



1. Электронная
2. Ионная
3. Дырочная
4. Анионная

*2. Какой вид твердых растворов может приводить к неограниченной растворимости?*

1. Вычитания
2. Замещения
3. Внедрения

*3. Электропроводность полупроводников зависит от температуры:*

1. Всегда.
2. Только для примесных полупроводников.
3. Только для легированных полупроводников.
4. Только для собственных полупроводников.

*4. Компонентом физико-химической системы может быть:*

1. Элементарное вещество
2. Химическое соединение
3. Только элементарное вещество.

*5. Твердые растворы внедрения в двухкомпонентной системе могут приводить к образованию в системе:*

1. Ограниченной растворимости компонентов.
2. Неограниченной растворимости компонентов.
3. Возникновению эвтектики.
4. Появлению второй фазы.

*6. Подвижность электронов в металлах:*

1. Увеличивается с повышением температуры.
2. Не зависит от температуры.
3. Падает с увеличением температуры.
4. Может увеличиваться или падать с изменением температуры.

*7. Теплопроводность полупроводников:*

1. Увеличивается при легировании только электроактивными примесями.
2. Увеличивается при легировании любыми примесями.
3. Падает при введении электроактивными примесями.
4. Падает при введении любой примеси.
5. Не зависит от легирования.
6. Не зависит от легирования электроактивными примесями.
8. *Протяженность существования фазы в физико-химической системе определяется:*

*определяется:*

1. Температурой
2. Давлением
3. Концентрацией
4. Концентрацией - только для многокомпонентных систем.
9. *Расплав кремния и германия содержит легирующую примесь - сурьму.*

*Сколько фаз в системе:*

1. Одна фаза.
2. Две фазы.
3. Три фазы.

*10. Поликристаллический германий, легированный сурьмой - это:*

1. Однофазная система.
2. Двухфазная система.
3. Трехфазная система.

*11. Выше температуры солидуса в 2-х компонентной системе фазы находятся в:*

1. Твердом состоянии.
2. Жидком состоянии.
3. Твердом и жидком состоянии

*12. Кривая растворимости в 2-х компонентной системе отделяет друг от друга:*

1. Две жидкие фазы.
2. Две твердые фазы.

3. Твердую и жидкую фазы.
4. Двухфазную и однофазную области.
5. Область твердых растворов от двухфазной области.

*13. В двухкомпонентной системе в точке эвтектики в равновесии (при постоянном давлении) находится:*

1. Одна фаза.
2. Две фазы.
3. Три фазы.
4. Четыре фазы.

*14. В двухкомпонентной системе в точке перитектики в равновесии (при постоянном давлении) находится:*

1. Одна фаза.
2. Две фазы.
3. Три фазы.
4. Четыре фазы.

**Итоговый контроль** проводится в форме экзамена, который включает письменные

или устные ответы на теоретические вопросы.

Вопросы к зачету

1. Основные свойства полупроводников, диэлектриков и металлов: электрические, оптические, акустические, механические свойства, тепловые.
2. Термодинамика фазовых равновесий. Условия равновесия. Основные понятия. Диаграммы состояния. Химический потенциал. Правило фаз Гиббса.
3. Диаграммы фазовых равновесий. Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной и ограниченной растворимостью компонентов.
4. Т-Х диаграммы равновесий тройных систем. Р-Т и Р-Т-Х диаграммы фазовых равновесий.
5. Методы построения диаграмм состояний.
6. Структурные и объемные дефекты в полупроводниках. Точечные, линейные, двумерные дефекты. Объемные несовершенства.

7. Фазовые превращения. Образование и рост зародышей новой фазы. Фазовые превращения в твердой фазе. Кинетика процессов зарождения и роста.

8. Примеси в полупроводниках. Легирующие и фоновые примеси. Распределение примесей в полупроводниках.

### ***Требования к рейтинг-контролю***

Оценка знаний студентов осуществляется по результатам успеваемости и оценивается по 100 – бальной системе. Семестр делится на два модуля.

Согласно нормативно – методическим материалам рейтинговой системы оценки качества учебной работы студентов ТвГУ, студент по предмету для получения зачета должен набрать за семестр не менее 40 баллов.

1 контрольная точка. По текущей работе студента – 21 баллов. Итоговый контроль за модуль – 9 баллов. Всего 30 баллов.

2 контрольная точка. По текущей работе студента – 11 баллов. Итоговый контроль за модуль – 9 баллов. Выступление с докладом – 10 баллов. Всего 60 баллов.

Баллы по текущей работе студента начисляются за следующие виды работ:

- выступление с докладом – 10 баллов;
- модульная контрольная работа – максимум 9 баллов.

## **VII. Материально-техническое обеспечение**

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Учебная аудитория № 28 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Экран настенный Screen Media 153x203 2. Комплект учебной мебели на 24 посадочных места 3. Меловая доска 4. Переносной ноутбук 5. проектор EPSON EB-X05 с потолочным креплением	Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно
Учебно-научная лаборатория	1. Вольтметр цифровой	

радиоэлектроники № 25 А (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	В7-78/2 2. Осциллограф цифровой WA 102 (2 шт.) 3. Ноутбук DEll Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB 4. Генератор сигналов PCG 10A 5. Источник питания PCS 64i 6. Муфельная печь МИМП- 3П 7. Осциллограф двухканальный PCS 500 А 8. Источник питания Б5-49 9. Источник питания Б5-50 10. Генератор Г3-33 2шт 11. Генератор Г3-109 12. Генератор Г4-109 13. Калибратор фазы Ф1-4 14. Селективный микровольтметр В6-9 15. Осциллограф С1-72 2шт 16. Осциллограф С-1-73	
---	---	--

### VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			