

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный технический  
университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Физическое материаловедение и биомедицинская инженерия»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

### ***Б.1.3.5.1 «Способы получения монокристаллов и поликристаллических слитков»***

*22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
Профиль 1 – «Материаловедение и технология материалов»  
Квалификация (степень) – бакалавр*

форма обучения – дневная

курс – 1

семестр – 1

часов в неделю – 4

всего часов – 108

в том числе:

лекции – 28

коллоквиум – 8

практических занятий – 36

лабораторных занятий – нет

самостоятельная работа – 36

зачет – 1 семестр

экзамен – нет

РГР – нет

курсовая работа – нет

курсовой проект – нет

## 1. Цель и задачи дисциплины

Курс посвящен методам выращивания кристаллов и поликристаллических слитков.

Задачи дисциплины состоят в изучении:

- Элементов кристаллографии
- Дефектов структуры кристаллов
- Теории зарождения кристаллов
- Фазовых превращений
- Кристаллизации из твердого, жидкого и газообразного состояния
- Выращивании профильных кристаллов
- Механической обработки кристаллов
- Нанесения пленок ионным осаждением
- Осаждении пленок катодным осаждением

**2. Дисциплины, которые должен знать студент при изучении предлагаемого курса:**

Б.1.1.16 «Общее материаловедение и технологии материалов», Б.1.1.8 «Физическая химия», Б.1.1.7 «Неорганическая и органическая химия».

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

**ПК-6 – способностью использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями**

Студент должен знать: современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков

Студент должен уметь: использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков

Студент должен владеть: способностью использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков

**ПК-11 – способностью применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов**

Студент должен знать: основные типы современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методы получения кристаллов и поликристаллических слитков, принципы выбора материалов для заданных

условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности

Студент должен уметь: применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методах получения кристаллов и поликристаллических слитков, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности

Студент должен владеть: способностью применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методах получения кристаллов и поликристаллических слитков, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности

#### 4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ Мо-ду-ля	№ Неде-ли	№ Те-мы	Наименование темы	Часы / Из них в интерактивной форме					
				Всего	Лек-ции	Коллок-виумы	Лабора-торные	Прак-тичес-кие	СРС
1	2	3	4	5	6	7		8	9
1 семестр									
1	1	1	Элементы кристаллографии	12	2	4	-	2	4
	2	2	Дефекты структуры кристаллов	12	2	4	-	2	4
	3	3	Общий случай фазовых превращений	8	2	-	-	2	4
	4	4	Теория зарождения и роста кристаллов	8	2	-	-	2	4
	5	5	Методы выращивания кристаллов	10	2	-	-	4	4
	6	6	Выращивание профильных кристаллов	8	2	-	-	2	4
2	7	7	Механическая обработка монокристаллов	8	2	-	-	4	2
	8	8	Физические основы процесса эпитаксии	8	2	-	-	4	2
	9	9	Импульсное нанесение пленок	8	2	-	-	4	2

	10	10	Осаждение пленок катодным распылением	10	4	-	-	4	2
	11	11	Ионное осаждение.	10	4	-	-	4	2
	12	12	Методы контроля толщины пленок	6	2	-	-	2	2
<b>Всего</b>				<b>108</b>	<b>28</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>36</b>

### 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего Часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	<b>Элементы кристаллографии.</b> Макроскопические характеристики кристаллов. Химическая связь в кристаллах. Геометрия кристаллической решетки.	1-5
2	2	2	<b>Дефекты структуры кристаллов.</b> Точечные дефекты. Линейные дефекты. Поверхностные дефекты. Объемные дефекты.	2-8
3	2	3	<b>Общий случай фазовых превращений.</b> Фазовые переходы первого и второго рода. Кристаллизация из паров, жидкости, твердого состояния. Кристаллизация путем полиморфного превращения. Энергия кристаллизации.	3-8
4	2	4	<b>Теория зарождения и роста кристаллов.</b> Экспериментальные данные по зарождению кристаллов. Факторы влияющие на рост кристаллов. Теория Гибса о росте кристаллов. Метастабильность системы. Молекулярный механизм зарождения и роста монокристаллов.	4-7
5	2	5	<b>Методы выращивания кристаллов.</b> Методы выращивания кристаллов Киропулиса, Вейренеля. Метод жидкостной герметизации. Метод зонной плавки. Метод безтигельной плавки. Гарнисажный метод. Методы подпитки раствора.	2-5
6	2	6	<b>Выращивание профильных кристаллов.</b> Метод Степанова. Рост профильных кристаллов из паровой фазы, из раствора. Выращивание профильных монокристаллов методом сублимации.	2-5
7	2	7	<b>Механическая обработка монокристаллов.</b> Подготовка монокристаллов к резке на пластины. Кристаллографическая ориентация монокристаллических слитков: изотропных диэлектриков; кварца; кальцита; рубина; полупроводников. Рентгеновский метод.	3-6
8	2	8	<b>Физические основы процесса эпитаксии.</b> Хэмоэпитаксия. Методы проведения	4-5

			эпитаксии. Конденсация из паровой фазы в вакууме. Метод молекулярных пучков в вакууме. Сублимация. Катодное распыление. Кристаллизация из газовой фазы: осаждение при нормальном давлении; осаждение при низком давлении.	
9	2	9	<b>Импульсное нанесение пленок.</b> Электрический взрыв проводников и полупроводников. Импульсное испарение под действием электронной бомбардировки. Импульсное лазерное испарение в режиме свободной генерации. Импульсное лазерное испарение в режиме модулированной добротности. Получение пленок из ионизированных потоков многоатомных частиц методами ионного осаждения: метод ионно-кластерного осаждения; ионизация поток кластеров.	2-8
10	4	10-11	<b>Осаждение пленок катодным распылением.</b> Автоэмиссионный метод получения пленок. Катодное распыление в плазме газового разряда и ионным лучем	3-7
11	4	12-13	<b>Ионное осаждение.</b>	1-5
12	2	14	<b>Методы контроля толщины пленок.</b> Метод отражения. Бесконтактный фотометрический метод. Метод эллипсометрии. Резистивный метод. Емкостной метод. Ионизационный метод контроля скорости напыления вещества. Частотный метод.	2-9

### 6. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Изучение методов направленной кристаллизации. Метод Бриджмена.	1-7
2	2	2	Изучение процессов выращивания кристаллов из различных фаз.	2-9
3	2	3	Изучение метода Чехральского	3-5
4	2	4	Изучение установок для выращивания монокристаллов. Схема установки полунепрерывного действия для выращивания крупных монокристаллов кремния из расплава небольшой массы.	1-8
5-6	4	5	Изучение метода выращивания кристаллов Киропулиса.	1-6
7	2	6	Изучение устройств для зонной плавки.	1-7
8-9	4	7	Изучение методов выращивания профильных кристаллов (из паровой фазы, из раствора).	2-8
10-11	4	8	Резка монокристаллов на пластины: калибровка, ориентация.	3-8
12-13	4	9	Изучение устройств для резки	1-7

			монокристаллов.	
14-15	4	10	Изучение методов эпитаксии.	2-5
16-17	4	11	Изучение нанесения пленок ионным осаждением.	3-9
18	2	12	Изучение устройств для контроля толщины пленок.	3-4

### 7. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
1-3	12	Методы контроля: метод эллипсометрии; резистивный метод; емкостной метод.	1-10
4-6	12	Методы контроля толщины. Метод отражения. Бесконтактный фотометрический метод. Ионизационный метод контроля скорости напыления вещества. Частотный метод	1-10
7-12	12	Выращивание профильных кристаллов. Метод Степанова. Рост профильных кристаллов из паровой фазы, из раствора. Выращивание профильных монокристаллов методом сублимации	1-10

### 8. Перечень лабораторных работ

Не предусмотрены учебным планом

### 9. Расчетно-графическая работа

Не предусмотрена учебным планом

### 10. Курсовая работа

Не предусмотрена учебным планом

### 11. Курсовой проект

Не предусмотрен учебным планом

### 12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Критерии сформированности компетенций:

При проверке знаний по компетенции в целом, положительное решение о сформированности компетенции принимается в случае правильного ответа не менее чем 30 % вопросов теста и/или ответа на поставленные на зачёте вопросы в соответствии с указанными выше уровнями освоения компетенций, при условии выполнения полного комплекса лабораторных работ по дисциплине, отчета по каждой и выполнения заданий на самостоятельную работу студента.

При проверке умения в соответствии с уровнями освоения компетенции студенту предоставляется возможность после выполнения лабораторной

работы и заданий на самостоятельную работу, предоставления отчёта по лабораторной работе в соответствии с требованиями, представленными в методических указаниях по лабораторной работе, отчета по лабораторной работе, продемонстрировать действия по наладке и использованию оборудования в объёме уровней освоения.

При проверке владения навыковыми составляющими компетенций студенту предоставляется возможность решения профессиональных задач в соответствии с уровнями их освоения, с оценкой полноты предлагаемых для решения методов, оптимальности выбора метода и средств её решения, устойчивости демонстрируемых способностей по выполнению действий в соответствии с уровнями освоения компетенции.

Сформированность компетенции ПК-6 оценивается по следующим критериям:

Б.1.3.5.1 «Способы получение монокристаллов и поликристаллических слитков»

Ступени уровней освоения компетенций	Отличительные признаки
Пороговый (удовлетворительный)	<p>Знает: современные представления о влиянии нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Умеет: использовать на практике современные представления о влиянии нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Владеет: способностью использовать на практике современные представления о влиянии нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p>
Продвинутый (хорошо)	<p>Знает: современные представления о влиянии микроструктуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Умеет: использовать на практике современные представления о влиянии микроструктуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Владеет: способностью использовать на практике современные представления о влиянии микроструктуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p>
Высокий (отлично)	<p>Знает: современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Умеет: использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков</p>

	Владеет: способностью использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры на особенности получения монокристаллов и поликристаллических слитков
--	--

Сформированность компетенции ПК-11 оценивается по следующим критериям:

Б.1.3.5.1 «Способы получение монокристаллов и поликристаллических слитков»

Ступени уровней освоения компетенций	Отличительные признаки
Пороговый (удовлетворительный)	<p>Знает: основные типы современных неорганических и органических материалов</p> <p>Умеет: применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов</p> <p>Владеет: способностью применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов</p>
Продвинутый (хорошо)	<p>Знает: основные типы современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методы получения кристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Умеет: применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методах получения кристаллов и поликристаллических слитков</p> <p>Владеет: способностью применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методах получения кристаллов и поликристаллических слитков</p>
Высокий (отлично)	<p>Знает: основные типы современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методы получения кристаллов и поликристаллических слитков, принципы выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности</p> <p>Умеет: применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методах получения кристаллов и поликристаллических слитков, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности</p> <p>Владеет: способностью применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, в т.ч. методах получения</p>



	кристаллов и поликристаллических слитков, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности
--	--

### Вопросы для зачета

- 1 Элементы кристаллографии.  
Макроскопические характеристики кристаллов. Химическая связь в кристаллах. Геометрия кристаллической решетки.
- 2 Дефекты структуры кристаллов.  
Точечные дефекты. Линейные дефекты. Поверхностные дефекты. Объемные дефекты.
- 3 Общий случай фазовых превращений.  
Фазовые переходы первого и второго рода.
- 4 Кристаллизация из паров, жидкости, твердого состояния.  
Кристаллизация путем полиморфного превращения. Энергия кристаллизации.
- 5 Теория зарождения и роста кристаллов. Экспериментальные данные по зарождению кристаллов. Факторы влияющие на рост кристаллов.
- 6 Теория Гибса о росте кристаллов. Метастабильность системы. Молекулярный механизм зарождения и роста монокристаллов.
- 7 Методы выращивания кристаллов. Методы выращивания кристаллов Киропулиса, Вейренеля. Метод жидкостной герметизации.
- 8 Метод зонной плавки. Метод безтигельной плавки. Гарнисажный метод.
- 9 Методы подпитки раствора при кристаллизации.
- 10 Выращивание профильных кристаллов. Метод Степанова. Рост профильных кристаллов из паровой фазы, из раствора. Выращивание профильных монокристаллов методом сублимации.
- 11 Механическая обработка монокристаллов. Подготовка монокристаллов к резке на пластины. Рентгеновский метод.
- 12 Кристаллографическая ориентация монокристаллических слитков: изотропных диэлектриков; кварца; кальцита; рубина; полупроводников.
- 13 Физические основы процесса эпитаксии. Хэмоэпитаксия. Методы проведения эпитаксии. Конденсация из паровой фазы в вакууме. Метод молекулярных пучков в вакууме.
- 14 Сублимация. Катодное распыление.
- 15 Кристаллизация из газовой фазы (при эпитаксии): осаждение при нормальном давлении; осаждение при низком давлении.
- 16 Импульсное нанесение пленок. Электрический взрыв проводников и полупроводников. Импульсное испарение под действием электронной бомбардировки.
- 17 Импульсное лазерное испарение в режиме свободной генерации. Импульсное лазерное испарение в режиме модулированной добротности
- 18 Получение пленок из ионизированных потоков многоатомных частиц

- методами ионного осаждения: метод ионно-кластерного осаждения; ионизация поток кластеров.
- 19 Осаждение пленок катодным распылением. Автоэмиссионный метод получения пленок
  - 20 Катодное распыление в плазме газового разряда и ионным лучем
  - 21 Ионное осаждение.
  - 22 Методы контроля толщины. Метод отражения. Бесконтактный фотометрический метод. Ионизационный метод контроля скорости напыления вещества. Частотный метод.
  - 23 Методы контроля: метод эллипсометрии; резистивный метод; емкостной метод.

**Тестовые задания по дисциплине**  
Размещены в среде АСТ СГТУ

**14. Образовательные технологии**

Для достижения планируемых результатов используется следующие образовательные технологии:

1. Дистанционные на основе информационно-образовательной среды СГТУ имени Гагарина Ю.А., основе реализации возможности самостоятельного изучения материалов по всем видам образовательной деятельности в соответствии с учебным планом, в том числе до прохождения занятий, текущего дистанционного консультирования студентов.

2. Развивающее проблемно-ориентированное обучение, направленное на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения на основе рассмотрения примеров из практической деятельности преподавателей, в области научно-практических исследований.

3. Личностно ориентированное обучение, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе в рамках самостоятельной работы.

**15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине**

**ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Физические основы микро- и нанoeлектроники : учеб. пособие / Е. Л. Парфенова, Л. А. Терентьева, М. Г. Хусаинов. - Ростов н/Д : Феникс, 2012. - 234 с. Экземпляры всего: 8

2. Механика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Н.В. Александрова [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2014.— 111 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47940>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

3. Раскин А.А. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Раскин А.А., Прокофьева В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 165 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12273>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

4. Рошин В.М. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Рошин В.М., Силибин М.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 180 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12274>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы [Электронный ресурс]/ Андриевский Р.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.— 253 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/4575>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

6. Перинский В.В. Материаловедение специальных материалов машиностроения : учеб. пособие / В. В. Перинский, В. Н. Лясников, Г. П. Фетисов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Саратовский гос. техн. ун-т. - Саратов : СГТУ, 2011. - 504 с Экземпляры всего: 40

7. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы [Электронный ресурс]/ Андриевский Р.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.— 253 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/4575>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

8. Дворкин Л.И. Справочник по строительному материаловедению [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. — Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2013.— 472 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13557>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

9. Материаловедение специальных отраслей машиностроения [Электронный ресурс] / Солнцев Ю.П., Пирайнен В.Ю., Вологжанина С.А. — Электрон. текстовые данные.— СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. – 784с. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938082939.html>

10. Материалы для низких и криогенных температур [Электронный ресурс] / Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Слепцов О.И. Электрон. текстовые данные.— СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. – 786с. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938083127.html>

#### ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

11. Материаловедение [Текст] : науч.-техн. журн. - М. : ООО "Наука и технологии", 1997 - . - Выходит ежемесячно. - ISSN 1684-579X(2010-2012)

12. Известия РАН. Механика твердого тела. - М. : Наука, 1966 - . - Выходит раз в два месяца. - ISSN 0572-329 (2010-2015).

## **16. Материально-техническое обеспечение**

Лекционная аудитория площадью 60 м<sup>2</sup>, оборудованная мебелью, компьютером, проектором, экраном, доской для записей фломастером или мелом, лаборатория для проведения лабораторных работ площадью 60 м<sup>2</sup>, оборудованная компьютером, проектором, экраном, доской для записей фломастером или мелом, наглядными пособиями, техническими средствами

Все лекции сопровождаются демонстрацией материалов в виде презентаций Power Point с наглядными иллюстрациями, графиками, таблицами.

### **Технические средства**

1. Микроскопы МИМ-7, МБС-1.
2. Цифровой микротвердомер HVS-1000B
3. Машина испытательная универсальная Н75К-S
4. Атомно-силовой микроскоп СММ-2000
5. Анализатор для определения площади удельной поверхности NOVA2000e
6. Универсальный лазерный комплекс LRS-50
7. Ультразвуковой дефектоскоп УСД-50