

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 12:14:45

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

### Рост кристаллов

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

**Инженер-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**6 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

216

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 9

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

112

часов на контроль

36

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	9 (5.1)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	112	112	112	112
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

*д.ф.-м.н., проф., Волошин Алексей Эдуардович*

Рабочая программа

**Рост кристаллов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23\_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков**

Протокол от г., №

Руководитель подразделения Оганов Артем Ромаевич, д.ф.-м.н., профессор

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	формирование знаний и умений в области теории и методов выращивания кристаллических материалов для электроники и фотоники
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.28
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Механические свойства твердых тел	
2.1.2	Теория гомогенных и гетерогенных процессов	
2.1.3	Технология получения монокристаллов	
2.1.4	Физические свойства материалов	
2.1.5	Основы технологии получения материалов	
2.1.6	Процессы получения металлов, сплавов и соединений	
2.1.7	Технология материалов электроники	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.3	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.4	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.5	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.6	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.7	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.8	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-4: Способен выполнять исследования на стадии разработки технологических процессов и обеспечивать проведение инновационных технологических процессов в области материаловедения и технологии материалов</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-4-33	методы выращивания кристаллов
ПК-4-34	основные принципы, методы и формы контроля технологического процесса и качества продукции
ПК-4-31	законы, управляющие процессами роста монокристаллов
ПК-4-32	законы, управляющие процессами генерации дефектов в процессе роста кристаллов
<b>Уметь:</b>	
ПК-4-У1	подбирать оптимальные методы и условия процесса выращивания кристаллов
<b>Владеть:</b>	
ПК-4-В1	навыки анализа структуры кристаллов и процессов в кристаллизационных средах

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ**

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Элементарные процессы роста кристаллов</b>							
1.1	Рентгеновские дифракционные методы исследования структуры кристаллов /Лек/	9	4	ПК-4-34	Л1.3 Л1.6 Л1.7Л2.2 Л2.3	2 занятия		

1.2	Рентгеновские дифракционные методы исследования структуры кристаллов /Пр/	9	4	ПК-4-34	Л1.3 Л1.6 Л1.7Л2.2 Л2.3	2 занятия		Р1
1.3	Рентгеновские дифракционные методы исследования структуры кристаллов /Ср/	9	16	ПК-4-34	Л1.3 Л1.6 Л1.7Л2.2 Л2.3		КМ1	
1.4	Механизмы и кинетика роста кристаллов /Лек/	9	4	ПК-4-31	Л1.4Л2.6	2 занятия		
1.5	Механизмы и кинетика роста кристаллов /Пр/	9	4	ПК-4-31	Л1.4Л2.6	2 занятия		Р2
1.6	Механизмы и кинетика роста кристаллов /Ср/	9	12	ПК-4-31	Л1.4Л2.6		КМ1	
1.7	Массоперенос при росте кристаллов /Лек/	9	2	ПК-4-31 ПК-4-В1	Л1.4 Л1.8			
1.8	Массоперенос при росте кристаллов /Пр/	9	2	ПК-4-31 ПК-4-В1	Л1.4 Л1.8			Р3
1.9	Массоперенос при росте кристаллов /Ср/	9	10	ПК-4-31 ПК-4-В1	Л1.4 Л1.8		КМ1	
1.10	Дефекты структуры кристаллов /Лек/	9	2	ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.1Л2.1			
1.11	Дефекты структуры кристаллов /Пр/	9	2	ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.1Л2.1			Р4
1.12	Дефекты структуры кристаллов /Ср/	9	10	ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.1Л2.1		КМ1	
1.13	Механизмы образования дефектов структуры в процессе роста кристаллов /Лек/	9	4	ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.4Л2.5 Л2.9	2 занятия		
1.14	Механизмы образования дефектов структуры в процессе роста кристаллов /Пр/	9	4	ПК-4-32 ПК-4-У1	Л1.4Л2.5	2 занятия		Р4
1.15	Механизмы образования дефектов структуры в процессе роста кристаллов /Ср/	9	12	ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.4Л2.5		КМ1	
1.16	Особенности кристаллизации в многокомпонентных системах /Лек/	9	4	ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.5Л2.8	2 занятия		
1.17	Особенности кристаллизации в многокомпонентных системах /Пр/	9	4	ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.5Л2.8	2 занятия		Р5
1.18	Особенности кристаллизации в многокомпонентных системах /Ср/	9	7	ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.5Л2.8		КМ1	
	<b>Раздел 2. Методы выращивания кристаллов</b>							
2.1	Методы выращивания кристаллов из расплава /Лек/	9	4	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4Л2.4 Л2.7	2 занятия		
2.2	Методы выращивания кристаллов из расплава /Пр/	9	4	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4Л2.4 Л2.7	2 занятия		Р6
2.3	Методы выращивания кристаллов из расплава /Ср/	9	14	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4Л2.4 Л2.7		КМ2	
2.4	Методы выращивания кристаллов из паровой фазы /Лек/	9	2	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4			

2.5	Методы выращивания кристаллов из паровой фазы /Пр/	9	2	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4			Р7
2.6	Методы выращивания кристаллов из паровой фазы /Ср/	9	6	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4		КМ2	
2.7	Методы выращивания кристаллов из растворов /Лек/	9	4	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4Л2.6	2 занятия		
2.8	Методы выращивания кристаллов из растворов /Пр/	9	4	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4Л2.6	2 занятия		Р7
2.9	Методы выращивания кристаллов из растворов /Ср/	9	15	ПК-4-33 ПК-4-У1	Л1.2 Л1.4Л2.6		КМ2	
2.10	Особенности роста кристаллов в условиях микрогравитации /Лек/	9	4	ПК-4-33 ПК-4-У1		2 занятия		
2.11	Особенности роста кристаллов в условиях микрогравитации /Пр/	9	4	ПК-4-33 ПК-4-У1		2 занятия		Р8
2.12	Особенности роста кристаллов в условиях микрогравитации /Ср/	9	10	ПК-4-33 ПК-4-У1			КМ2	

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. На чем рассеивается рентгеновское излучение ?</li> <li>2. На чем рассеиваются электроны?</li> <li>3. На чем рассеиваются нейтроны?</li> <li>4. Запишите формулу Вульфа-Брэгга</li> <li>5. Запишите амплитуду рассеяния рентгеновских лучей <math>F(Q)</math> электронной плотностью <math>\rho(r)</math> бесконечного кристалла</li> <li>6. Для чего используют рентгеноструктурный анализ монокристаллов ?</li> <li>7. Для чего используют дифрактометрию поликристаллов (метод порошка) ?</li> <li>8. Для чего используют метод двухкристального спектрометра ?</li> <li>9. Для чего используют рентгеновскую топографию ?</li> <li>10. На каких приближениях (допущениях) строится кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах?</li> <li>11. Какие основные факторы, связанные с прохождением рентгеновских лучей через кристалл учитывает динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей?</li> <li>12. Как называется параметр, входящий в систему уравнений Такаги, который описывает искажения решетки при анализе рассеяния рентгеновских лучей в деформированных кристаллах?</li> <li>13. Какая схема двухкристального спектрометра из перечисленных приводит к максимальному уширению кривой дифракционного отражения?</li> <li>14. Перечислите структурные несовершенства кристалла, приводящие к уширению его кривой дифракционного отражения.</li> <li>16. Как называется дислокация, у которой угол между вектором Бюргерса и линией дислокации составляет 90 градусов?</li> <li>17. Как называется дислокация, у которой угол между вектором Бюргерса и линией дислокации составляет 60 градусов?</li> <li>18. Как называется дислокация, у которой угол между вектором Бюргерса и линией дислокации составляет 0 градусов?</li> <li>19. Сформулируйте условие погасания изображения дислокации на</li> </ol>

		<p>рентгеновской топограмме.</p> <p>20. Как называется консервативный механизм движения дислокаций? Как называется элемент пространства, в котором осуществляется консервативное движение дислокаций? Как он связан со структурными элементами дислокации?</p> <p>21. Как называется неконсервативный механизм движения дислокаций? За счет чего он реализуется?</p> <p>22. Как называется механизм, который объясняет температурную зависимость подвижности дислокаций?</p> <p>23. Какими операциями симметрии могут быть связаны кристаллические индивидуумы в двойниках?</p> <p>24. Что является причиной возникновения двойников при разращивании кристаллов в методе Бриджмена?</p> <p>25. Как зависит критическая скорость роста кристалла, при которой происходит захват инородных частиц, от размера частиц?</p> <p>26. Назовите возможные причины формирования включений второй фазы в кристалле.</p> <p>27. Какие факторы определяют возникновение зонарной неоднородности кристалла при нормальном механизме роста?</p> <p>28. Какие факторы определяют возникновение зонарной неоднородности кристалла при дислокационно-спиральном механизме роста?</p> <p>29. Если нормальная скорость роста грани увеличивается, то как меняется площадь ее поверхности?</p> <p>30. Как будет меняться концентрация сильно адсорбируемой примеси в кристалле при увеличении пересыщения?</p> <p>31. Как будет меняться концентрация слабо адсорбируемой примеси в кристалле при увеличении пересыщения?</p> <p>32. Чем определяется степень диффузионной релаксации примесей в кристалле?</p> <p>33. Какова основная причина возникновения полосчатой неоднородности в кристаллах, выращиваемых из раствора?</p> <p>34. В каких условиях вероятность образования макроступеней выше – при низких, или при высоких пересыщениях? Почему?</p> <p>35. Чем определяется ориентация дислокаций в кристаллах, выращиваемых из раствора?</p> <p>36. Какие дефекты являются источниками дислокаций при росте кристаллов из раствора?</p> <p>37. К образованию каких дефектов приводит движение ступеней в неоднородном поле упругих деформаций?</p> <p>38. Сформулируйте Первый закон Фика</p> <p>39. Сформулируйте Второй закон Фика</p> <p>40. Напишите уравнение диффузии в потоке, движущемся со скоростью <math>V</math> (в одномерном случае).</p> <p>41. При росте кристалла в стационарном режиме в отсутствие конвекции эффективный коэффициент распределения примеси равен</p> <p>42. Чем обусловлено существование пограничного гидродинамического слоя?</p> <p>43. Как соотносятся между собой толщины пограничного гидродинамического слоя и пограничного диффузионного слоя?</p> <p>44. Как меняется толщина диффузионного слоя вдоль поверхности пластины по мере удаления от ее края при набегающем сбоку потоке?</p> <p>45. Как меняется толщина диффузионного слоя вдоль поверхности вращающегося диска по мере удаления от его края?</p> <p>46. К какой величине стремится эффективный коэффициент распределения примеси в случае конвективно-диффузионного массопереноса при увеличении скорости движения жидкой фазы?</p> <p>47. Какая стадия массообмена является лимитирующей при росте кристалла из раствора в случае <math>\beta \ll D/\delta</math> (<math>\beta</math> - кинетический коэффициент ступени, <math>D</math> – коэффициент диффузии, <math>\delta</math> - толщина диффузионного слоя)?</p> <p>48. Какая стадия массообмена является лимитирующей при росте кристалла из раствора в случае <math>\beta \ll D/\delta</math> (<math>\beta</math> - кинетический коэффициент ступени, <math>D</math> – коэффициент диффузии, <math>\delta</math> - толщина диффузионного слоя)?</p> <p>49. Что такое коэффициент распределения?</p>
--	--	---

			<p>50. Что следует предпринять, чтобы устранить концентрационное переохлаждение расплава?</p> <p>51. При каких значениях коэффициента распределения <math>k</math> примесь накапливается перед фронтом кристаллизации?</p> <p>52. Сформулируйте первое начало термодинамики</p> <p>53. Что такое химический потенциал?</p> <p>54. Что такое удельная поверхностная энергия ?</p> <p>55. При каком соотношении химических потенциалов жидкой тж и кристаллической тк фаз происходит растворение?</p> <p>56. Сколько степеней свободы имеет система, в которой 2 компонента и 3 фазы?</p> <p>57. Сколько степеней свободы имеет система, в которой 3 компонента и 2 фазы?</p> <p>58. Сформулируйте правило фаз Гиббса.</p> <p>59. При росте из какой фазы/фаз поверхность кристалла может быть атомно-гладкой?</p> <p>60. При росте из какой фазы/фаз поверхность кристалла атомно-шероховатая?</p> <p>61. Какова атомная структура поверхности кристаллов, которые имеют округлую (цилиндрическую или сферическую) форму?</p> <p>62. Какова атомная структура поверхности кристаллов, которые имеют огранку?</p> <p>63. При каких значениях <math>\Delta H/kT</math> (<math>\Delta H</math> – теплота кристаллизации, <math>T</math> – температура, <math>k</math> – константа Больцмана) поверхность кристалла является атомно-шероховатой?</p> <p>64. При каких значениях <math>\Delta H/kT</math> (<math>\Delta H</math> – теплота кристаллизации, <math>T</math> – температура, <math>k</math> – константа Больцмана) поверхность кристалла является атомно-гладкой?</p> <p>65. Назовите два механизма роста кристаллов.</p> <p>66. В каких условиях реализуется нормальный механизм роста кристаллов?</p> <p>67. Перечислите шесть положений, которые может занимать атом в кристалле по модели Косселя.</p> <p>68. Какая из позиций атома в кристалле наиболее энергетически выгодна для присоединения частицы к кристаллу?</p> <p>70. Что может быть источником ростовых ступеней при послойном росте кристаллов?</p> <p>71. Благодаря чему преимущественно образуются ступени роста при низком пересыщении при росте из раствора?</p> <p>73. Напишите формулу для вычисления критического размера зародыша при гомогенном зарождении.</p> <p>74. Напишите формулу для вычисления критического размера двумерного зародыша.</p> <p>75. Как изменяется радиус критического зародыша при возрастании пересыщения раствора?</p> <p>76. Что такое критический размер зародыша?</p> <p>77. Какой режим массообмена – диффузионный или кинетический – создает условия для устойчивой морфологии кристалла?</p> <p>78. Каково по порядку величины переохлаждение на фронте кристаллизации при росте кристаллов из расплава?</p> <p>79. Как скорость роста кристалла из расплава связана со скоростью охлаждения и градиентом температуры?</p> <p>80. Что такое «эффект грани»?</p> <p>81. Как можно подавить образование участка плоской грани на округлом фронте кристаллизации?</p> <p>82. Какой режим роста предпочтителен для получения более совершенных кристаллов?</p> <p>83. Для чего в процессе роста кристалла осуществляется принудительное перемешивание раствора?</p>
--	--	--	---

КМ2	Контрольная работа	<p>1. В чем состоит принципиальное отличие метода Чохральского от метода Киропулоса?</p> <p>2. Что такое «угол роста»?</p> <p>3. При каких значениях коэффициента распределения к примесь накапливается перед фронтом кристаллизации?</p> <p>4. Какой из нижеперечисленных методов является методом направленной кристаллизации? Метод Чохральского Метод Киропулоса Метод объемной паровой фазы</p> <p>5. Какой из нижеперечисленных методов не является методом направленной кристаллизации? Метод Чохральского Метод Киропулоса Метод Стокбаргера-Бриджмена</p> <p>6. Если коэффициент распределения примеси меньше 1, то как изменится ее концентрация в кристалле при увеличении скорости его вращения в методе Чохральского?</p> <p>7. Какой материал тигля пригоден для индукционного нагрева в окислительной атмосфере? Графит Платина Иридий</p> <p>8. Какое из условий является необходимым для получения кристаллов постоянного диаметра в методе Чохральского? угол между поверхностями мениска и кристалла равен углу роста угол между поверхностями мениска и кристалла равен углу смачивания угол между поверхностями мениска и кристалла равен углу между поверхностями мениска и расплава</p> <p>9. Какое граничное условие в методе Степанова накладывается на угол контакта со стенкой формообразователя?</p> <p>10. Какое граничное условие в методе Степанова накладывается на угол контакта с острой кромкой формообразователя?</p> <p>11. В методе Степанова когда создается нужная форма материала? В жидком состоянии В твердом состоянии При затвердевании</p> <p>12. За счет чего осуществляется рост кристалла в методе Киропулоса? За счет охлаждения штока За счет охлаждения тигля За счет отвода тепла через кристалл</p> <p>13. В чем заключается геометрический отбор при росте кристаллов? В результате геометрического отбора остаются те кристаллы, у которых направление быстрого роста ближе к нормали к поверхности осаждения</p> <p>14. В чем заключается преимущество метода Киропулоса перед методом Чохральского? Можно выращивать более крупные кристаллы из-за уменьшения нагрузки на шток.</p> <p>15. Какой должна быть форма контейнера в методе Вернейля? Предпочтительнее цилиндрическая форма контейнера Контейнер может иметь любую форму и задает форму кристалла Контейнер не требуется</p> <p>16. Что подвергается плавлению в методе Вернейля? Шихта Поверхность кристалла И шихта, и поверхность кристалла</p> <p>17. Как можно регулировать окислительно-восстановительный потенциал атмосферы кристаллизации в методе Вернейля?</p> <p>18. Как меняется эффективность зонной очистки при уменьшении длины зоны?</p>
-----	--------------------	--

		<p>19. Как влияет перемешивание расплава на эффективность зонной очистки?</p> <p>20. Как влияет перемешивание расплава на эффективность зонного выравнивания?</p> <p>21. Как влияет скорость прохождения зоны на степень очистки кристалла в методе зонной плавки? Скорость движения зоны не влияет на степень разделения примеси При увеличении скорости движения зоны степень разделения примеси снижается При увеличении скорости движения зоны степень разделения примеси повышается</p> <p>22. Как осуществляется кристаллизация в методе Стокбаргера-Бриджмена? Зона расплавления перемещается вдоль контейнера Контейнер перемещается вдоль зоны расплавления Происходит охлаждение неподвижного контейнера</p> <p>23. Как осуществляется кристаллизация в методе Обреимова-Шубникова? Зона расплавления перемещается вдоль контейнера Контейнер перемещается вдоль зоны расплавления Происходит охлаждение неподвижного контейнера</p> <p>24. В методе Стокбаргера-Бриджмена где создается градиент температуры? В расплаве для улучшения его перемешивания В кристалле для улучшения теплоотвода На фронте кристаллизации</p> <p>25. Какой должна быть форма контейнера в методе Стокбаргера-Бриджмена? Предпочтительнее цилиндрическая форма контейнера Контейнер может иметь любую форму и задает форму кристалла Контейнер не требуется</p> <p>26. В каком случае при послойном механизме роста увеличение диаметра кристалла может привести к образованию двойника?</p> <p>27. Чем метод Багдасарова отличается от метода Стокбаргера-Бриджмена?</p> <p>28. При выращивании из раствора для каких кристаллов предпочтителен метод снижения температуры?</p> <p>29. При выращивании из раствора для каких кристаллов предпочтителен метод испарения растворителя?</p> <p>30. При выращивании из раствора для каких кристаллов предпочтителен метод температурного перепада?</p> <p>31. На каких двух принципах основан скоростной метод выращивания кристаллов из раствора?</p> <p>32. Растворимость соли в масс. %: <math>c=10+0,335*t</math>, где <math>t</math>-температура в градусах Цельсия. Масса раствора <math>m=1000</math> г. Раствор насыщен при 50 градусах. Найти максимально возможную массу кристалла, который может вырасти при охлаждении исходного раствора до 35 градусов.</p> <p>33. В какой области раствора осуществляется рост кристаллов? 1. Лабильной области 2. Метастабильной области 3. Области ненасыщенных растворов</p> <p>34. Как изменяется радиус критического зародыша при возрастании пересыщения раствора? 1. Увеличивается 2. Уменьшается 3. Не изменяется</p> <p>35. Какой режим роста предпочтителен для получения более совершенных кристаллов? 1. Кинетический 2. Диффузионный 3. Смешанный</p> <p>36. Какой метод нельзя использовать для выращивания кристаллов из низкотемпературных растворов солей, обладающих ретроградной растворимостью? 1. Метод изотермического отбора растворителя</p>
--	--	--

		<p>2. Метод снижения температуры раствора 3. Метод температурного перепада</p> <p>37. Какой термодинамический параметр замкнутой системы учитывается в методе гидротермального роста кристаллов, но не учитывается в методах роста из низкотемпературных растворов и роста из раствора в расплаве?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Давление паровой фазы</li> <li>2. Концентрация кристаллизующего вещества</li> <li>3. Температура</li> </ol> <p>38. Какое действие должен оказывать выбранный минерализатор на растворимость кристаллизующего методом гидротермального синтеза соединения (при фиксированных давлении и температуры процесса)?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышать растворимость соединения</li> <li>2. Снижать растворимость соединения</li> <li>3. Не должен влиять на растворимость кристаллизующего соединения</li> </ol> <p>39. Каким методом получают монокристаллы алмаза?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Методом Обреимова-Шубникова</li> <li>2. Методом раствор-расплавной кристаллизации</li> <li>3. Методом Стокбаргера-Бриджмена</li> </ol> <p>40. Каково одно из требований, предъявляемых к растворителю при кристаллизации из раствора в расплаве?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Растворитель и растворяемое вещество в жидком состоянии должны обладать полной смешиваемостью и образовывать твердые растворы</li> <li>2. Растворитель и растворяемое вещество в жидком состоянии не должны обладать полной смешиваемостью, но должны образовывать твердые растворы</li> <li>3. Растворитель и растворяемое вещество в жидком состоянии должны обладать полной смешиваемостью, но не должны образовывать твердые растворы</li> </ol> <p>41. Как введение правильно подобранного минерализатора может сказаться на растворимости кристаллизующего гидротермальным методом соединения?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увеличивает растворимость кристаллизующего соединения</li> <li>2. Снижает растворимость кристаллизующего соединения</li> <li>3. Позволяет не только увеличить растворимость кристаллизующего соединения, но и изменить температурную зависимость его растворимости.</li> <li>4. В зависимости от кристаллизующего соединения и типа минерализатора правильные ответы – и 1, и 3.</li> </ol> <p>42. Каковы могут быть значения коэффициента заполнения автоклава при гидротермальном методе выращивания кристаллов?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Всегда больше единицы</li> <li>2. Больше единицы, в случае инконгруэнтного растворения кристаллизующего соединения.</li> <li>3. Всегда меньше единицы</li> </ol> <p>43. Для чего в процессе роста кристалла осуществляется принудительное перемешивание раствора?</p> <p>44. Для чего при росте кристаллов гидротермальным методом в замкнутую двухкомпонентную систему (кристаллизующее вещество и вода) вводится третий компонент, минерализатор?</p> <p>45. Какие параметры позволяют управлять величиной пересыщения при росте кристаллов из гидротермальных растворов?</p> <p>46. Что обозначает термин "температура гомогенизации" при выращивании кристаллов гидротермальным методом?</p> <p>47. В каких случаях метод кристаллизации соединения из раствора в расплаве предпочтительнее чем методы выращивания кристаллов из расплава?</p> <p>48. Как может создаваться необходимое пересыщение раствора при росте кристаллов из растворов в высокотемпературных расплавах?</p> <p>49. Как должны соотноситься между собой температура плавления кристаллизующего вещества и температура плавления растворителя при кристаллизации из раствора в расплаве?</p>
--	--	--

		<p>50. Каково минимальное число компонентов, составляющих ростовые системы при гидротермальном методе выращивания кристаллов? Перечислите эти компоненты.</p> <p>51. Какие методы расплавной кристаллизации характеризуются малым объемом расплава: метод Киропулоса, метод Чохральского метод Вернейля метод зонной плавки</p> <p>52. Какие требования предъявляются к веществу для выращивания из расплава Конгруэнтный характер плавление Наличие полиморфных переходов Химическая активность</p> <p>53. Какой метод является бестигельным: Метод метод Киропулоса Метод Бриджмена Метод Вернейля</p> <p>54. Разновидностью какого метода является метод Степанова: метода Чохральского метода Багдасарова метода зонной плавки</p> <p>55. Эффективную очистку кристалла от примесей можно получить с помощью метода: Метода Бриджмена Метода зонной плавки Метода Вернейля Метода Киропулоса</p> <p>56. Какой метод обеспечивает кристаллизацию в условиях изменения температуры при неподвижном тигле: Метод Бриджмена Метод зонной плавки Метод Киропулоса</p> <p>57. Какой метод обеспечивает кристаллизацию в условиях перемещения тигля или печи в температурном градиенте: Метод Багдасарова Метод Бриджмена-Стокбаргера Метод Чохральского Метод Вернейля</p> <p>58. Преимущества методов выращивания из расплава в сравнении с ростом из растворов и газовой фазы: Высокие скорости роста Совершенство кристаллов Низкие скорости роста</p> <p>59. Каким образом можно создать переохлаждение на границе раздела фаз?</p> <p>60. В чем состоит сущность методов направленной кристаллизации?</p> <p>61. Для чего необходимо создавать переохлаждение на границе расплав- кристалл?</p> <p>62. Приведите недостатки метода метода Бриджмена для выращивания кристаллов.</p> <p>63. Как величина переохлаждения влияет на скорость роста кристаллов?</p> <p>64. Какими методами возможно выращивание кристаллов корунда?</p> <p>65. Приведите пример неконсервативного метода выращивания?</p> <p>66. Приведете классификацию методов роста по признаку фазового перехода:</p> <p>67. Приведите условия применимости методов выращивания кристаллов из расплава</p> <p>68. Приведите преимущества метода Багдасарова для выращивания кристаллов в сравнении с вертикальными методами</p>
--	--	--

КМЗ	Экзамен	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ряд Фурье. Прямое и обратное преобразование Фурье. Рассеяние рентгеновских лучей на электронной плотности и его связь с интегралом Фурье.</li> <li>2. Рассеяние рентгеновских лучей кристаллом. Атомный рассеивающий фактор. Структурная амплитуда. Интерференционная функция Лауэ.</li> <li>3. Кинематическая и динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей. Дисперсионная поверхность. Положение центров распространения на дисперсионной поверхности в зависимости от геометрии съемки.</li> <li>4. Экстинкционная длина. Ширина кривой дифракционного отражения и интегральная интенсивность Маятниковое решение. Аномальное прохождения рентгеновских лучей.</li> <li>5. Рассеяние рентгеновских лучей в деформированных кристаллах. Эффективная разориентация решетки. Виды рентгенопографического контраста.</li> <li>6. Фазовые равновесия. Химический потенциал и движущая сила кристаллизации. Пересыщение.</li> <li>7. Фазовое равновесие с учетом поверхности раздела фаз. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Радиус критического зародыша (трехмерного, двумерного). Работа образования зародыша.</li> <li>8. Поверхностные конфигурации атомов. Структура поверхности кристалла, критерий Джексона. Нормальный и послынный рост кристаллов. Источники ростовых ступеней.</li> <li>9. Кинетика послынного роста кристаллов по механизму двумерного зарождения и дислокационно-спиральному механизму. Простые и сложные дислокационные источники роста. Активность дислокационного источника. Конкуренция вичинальных холмиков.</li> <li>10. Тепловые условия при росте из расплава. Скорость роста из расплава.</li> <li>11. Коэффициент распределения. Законы диффузии. Диффузия в движущемся потоке. Захват примеси кристаллом при диффузионном массопереносе. Эффективный коэффициент распределения в модели Тиллера. Формирование начальной переходной области. Концентрационный профиль примеси в расплаве вблизи фронта кристаллизации.</li> <li>12. Особенности массопереноса при кристаллизации. Основные закономерности конвективного массопереноса. Пограничный гидродинамический слой. Пограничный диффузионный слой. Поверхность равного доступа.</li> <li>13. Конвективно-диффузионный массоперенос. Эффективный коэффициент распределения в модели Бартона-Прима-Слихтера.</li> <li>14. Скорость роста кристалла из раствора в смешанном диффузионно-кинетическом режиме. Диффузионный и кинетический режимы роста кристалла. Морфологическая неустойчивость.</li> <li>15. Точечные дефекты. Собственные и примесные точечные дефекты. Конфигурации точечных дефектов. Центр окраски.</li> <li>16. Равновесное распределение примесей. Захват примесей при послынном росте кристаллов: статистический отбор, диффузионная релаксация. Влияние примесей на кинетику роста кристалла.</li> <li>17. Секториальная неоднородность. Вичинальная секториальность. Зонарная неоднородность при дислокационно-спиральном росте кристаллов.</li> <li>18. Зонарная неоднородность при нормальном механизме роста кристаллов. Эффект грани.</li> <li>19. Концентрационное переохлаждение. Ячеистая структура.</li> <li>20. Дислокации. Вектор Бюргерса и плоскость скольжения дислокации. Механизмы движения дислокаций. Подвижность дислокаций. Барьер Пайерлса. Механизм двойных перегибов.</li> <li>21. Особенности дислокационной структуры при послынном росте кристаллов: источники дислокаций, ориентация дислокаций.</li> <li>22. Двойники и дефекты упаковки. Образование двойников при изменении формы кристаллов.</li> <li>23. Объемные дефекты: включения второй фазы, захват частиц. Кристаллизационное давление, расклинивающее давление.</li> <li>24. Механизмы образования включений при росте кристаллов из</li> </ol>
-----	---------	---

			<p>растворов.</p> <p>25. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах. Равновесия в трехкомпонентной системе. Обменный потенциал. Подавление обменных процессов при переохлаждении.</p> <p>26. Реакция изоморфного замещения. Материальный баланс процесса.</p> <p>27. Смешанные кристаллы: соотношение компонентов в кристалле и в растворе. Секториальная, зонарная, радиальная и мозаичная неоднородность смешанных кристаллов.</p> <p>28. Линейное (векторное) пространство. Норма вектора. Скалярное произведение. Линейное нормированное пространство R<sup>21</sup>. Диаграммы Шрейнемакера. Описание диаграмм Шрейнемакера с использованием свойств пространства R<sup>21</sup>. Свойства диаграмм Шрейнемакера. Объемный эффект реакции изоморфного замещения.</p> <p>29. Рентгеноструктурный анализ (РСА). Основные стадии РСА. Дифрактометрия поликристаллов.</p> <p>30. Метод двухкристального спектрометра. Эффект псевдомонохроматизации. Дисперсия схемы спектрометра. Причины уширения кривой дифракционного отражения. Подготовка и описание эксперимента.</p> <p>31. Метод стоячих рентгеновских волн.</p> <p>32. Методы рентгеновской топографии. Рентгенотопографический контраст в зависимости от поглощения кристалла.</p> <p>33. Геометрический отбор. Получение и приготовление затравок для выращивания кристаллов из расплава и раствора.</p> <p>34. Угол роста. Влияние мениска на форму роста кристалла.</p> <p>35. Метод Чохральского.</p> <p>36. Метод Степанова.</p> <p>37. Метод Киропулоса.</p> <p>38. Метод Вернейля.</p> <p>39. Зонная плавка. Зонная очистка и зонное выравнивание.</p> <p>40. Метод Стокбаргера – Бриджмена. Метод Багдасарова.</p> <p>41. Метод Обреимова-Шубникова. Модифицированный метод Обреимова-Шубникова.</p> <p>42. Метод объемной паровой фазы.</p> <p>43. Технология неорганических фторидов.</p> <p>44. Методы выращивания кристаллов из водных растворов.</p> <p>45. Гидротермальный метод выращивания кристаллов.</p> <p>46. Рост из раствора в расплаве.</p> <p>47. Скоростной рост кристаллов из раствора. Влияние растворимости на скорость роста. Стабильное и метастабильное состояния раствора. «Мертвая» зона. Подготовка раствора для скоростного роста. Приготовление и регенерация затравки.</p> <p>48. Принципы выращивания смешанных кристаллов на примере K<sub>2</sub>(Ni,Co)(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O.</p> <p>49. Рост неорганических кристаллов в условиях микрогравитации. Виды конвекции. Бесконтактный рост.</p> <p>50. Особенности кристаллизации белков. Эффект «самоочистки» раствора. Кристаллизация белков в космосе.</p>
--	--	--	--

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Рентгеновские дифракционные методы исследования структуры кристаллов	ПК-4-34	Расчет условий дифракционного эксперимента. Определение параметров структуры кристалла по дифракционным данным.
P2	Механизмы и кинетика роста кристаллов	ПК-4-31	Определение кинетических параметров кристаллизации при заданных условиях. Подбор условий роста кристаллов при заданных материальных и кинетических параметрах.
P3	Массоперенос при росте кристаллов	ПК-4-31;ПК-4-В1	Расчет параметров массопереноса при заданных условиях процесса. Определение режима роста кристалла при заданных условиях.

P4	Механизмы образования дефектов структуры в процессе роста кристаллов	ПК-4-32;ПК-4-В1	Оценка морфологической устойчивости фронта кристаллизации. Оценка условий генерации дефектов различных типов. Оценка влияния условий роста на генерацию дефектов.
P5	Кристаллизация в многокомпонентных системах	ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-В1	Оценка условий формирования островковых структур и сплошного слоя при гетероэпитаксии в жидкой фазе. Оценка величины неоднородности кристаллов твердых растворов в зависимости от условий роста. Использование свойств линейного нормированного пространства R <sup>21</sup> для анализа процессов изоморфного замещения.
P6	Рост кристаллов из расплава	ПК-4-33;ПК-4-У1	Выбор метода кристаллизации в зависимости от свойств фазовой диаграммы системы. Расчеты параметров роста кристаллов методом Чохральского. Расчеты параметров зонной очистки и зонного выравнивания. Подбор условий для роста кристаллов с заданной скоростью.
P7	Рост кристаллов из раствора и паровой фазы.	ПК-4-33;ПК-4-У1	Выбор метода кристаллизации в зависимости от свойств фазовой диаграммы системы. Расчеты параметров кристаллизации в зависимости от характера фазовой диаграммы и свойств жидкой фазы.
P8	Рост кристаллов в условиях микрогравитации	ПК-4-33;ПК-4-У1	Оценка величины конвекции в зависимости от уровня остаточных микроускорений. Оценка влияния конвекции на величину композиционной неоднородности кристаллов.

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Для экзамена используется 24 билета. Каждый билет содержит 2 вопроса: 1-й вопрос - по разделу 1 "Элементарные процессы роста кристаллов", 2-й вопрос - по разделу 2 "Методы выращивания кристаллов" Билеты хранятся на кафедре.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и полностью усвоил материал; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает; умеет тесно увязывать теорию с практикой; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий; использует в ответе материал из различных литературных источников; правильно обосновывает принятое решение; владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал; грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач; владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения, а также имеет достаточно полное представление о значимости знаний по дисциплине.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей; допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала; испытывает сложности при выполнении практических работ и затрудняется связать теорию вопроса с практикой.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части материала; неуверенно отвечает; допускает серьезные ошибки; не имеет представлений по методике выполнения практической работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной дисциплине.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Новиков И. И.	Дефекты кристаллического строения металлов: Учеб. пособие для студентов вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1983
Л1.2	Горелик С. С., Дашевский М. Я.	Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для студ. вузов по напр. 'Материаловедение и технология новых материалов', 'Материаловедение, технологии материалов и покрытий'	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2003

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.3	Бублик В. Т., Дубровина А. Н.	Методы исследования структуры полупроводников и металлов: учеб. пособие для вузов по спец.-Технология спец. материалов электрон. техники	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1978
Л1.4	Козлова О. Г., Белов Н. В.	Рост кристаллов: учеб. пособие для геолог. и химико-технол. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МГУ, 1967
Л1.5	Иванова А. В., Лисовская Татьяна Дмитриевна, Горелик Семен Самуилович	Материаловедение полупроводников и диэлектриков. Разд.: Фазовые равновесия в тройных полупроводниковых системах: учеб. пособие для практ. занятий для студ. спец. 0643,0604	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1983
Л1.6	Бублик Владимир Тимофеевич, Горелик Семен Самуилович	Основы динамической теории интерференции рентгеновских лучей	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1971
Л1.7	Бублик Владимир Тимофеевич, Дубровина Аида Николаевна, Зимичева Галина Михайловна	Методы исследования структуры. Применение методов рентгеноструктурного анализа (исследование структуры кристаллов материалов электронной техники): лаб. практикум для студ. спец. 0604,0629,0643 (часть 2)	Электронная библиотека	М.: Учеба, 1985
Л1.8	Горелик С. С., Дашевский М. Я.	Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для студ. вузов по напр. 'Материаловедение и технология новых материалов', 'Материаловедение, технологии материалов и покрытий'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2003

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Келли А., Гровс Г., Шаскольский М. П.	Кристаллография и дефекты в кристаллах	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1974
Л2.2	Каули Д., Пинскер З. Г.	Физика дифракции	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1979
Л2.3	Пинскер З. Г.	Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1974
Л2.4	Лисовская Татьяна Дмитриевна, Горелик Семен Самуилович	Материаловедение полупроводников и металловедение: Разд.: Основные закономерности влияния различных технологических способов получения и воздействия на фазовый состав, структуру, свойства. Ч. 4: лаб. практикум для студ. спец. 0604, 0629, 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.5	Галаев Аули Александрович, Горелик Семен Самуилович, Дашевский Михаил Яковлевич, др.	Материаловедение полупроводников и диэлектриков: Разд.: Структурные несовершенства в кристаллах: для практ. занятий студ. спец. 20.02, 20.08	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1990
Л2.6	Портнов Олег Григорьевич	Технология объемных монокристаллов полупроводников и диэлектриков. Выращивание технологичных монокристаллов иодата лития для устройств нелинейной оптики: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 2015
Л2.7	Дашевский М. Я., Горелик С. С.	Выращивание из расплавов кристаллов полупроводников с заданными свойствами Часть 1: Курс лекций	Электронная библиотека	М.: Учеба, 1971
Л2.8	Горелик С. С.	Разд.: Фазовые равновесия, химические связи и свойства полупроводниковых материалов: Лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 1980
Л2.9	Горелик С. С.	Влияние состава, структуры и структурных дефектов на свойства полупроводников: Шифр темы 334001 ГР N81056032	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 1983

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	ESET NOD32 Antivirus
П.2	Microsoft Office
П.3	MATLAB
П.4	CorelDRAW Graphics Suite X4
П.5	Microsoft Excel
П.6	Microsoft PowerPoint
П.7	PhotoShop
П.8	Acrobat Reader DC
П.9	Origin 2022

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
----------------------	--	--

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При конспектировании лекций в конспект следует заносить всё, что рекомендует преподаватель. Изучение и отработка прослушанных лекций без промедления значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории.

При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой вуза, а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой