

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 23.09.2022 14:27:37
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



[Handwritten signature]

Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Физика кристаллизации

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н.доцент Иванова А.И.

Иванова

Тверь, 2022

I. Аннотация

1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

Физика кристаллизации

2. Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является: углубленное изучение теории и практики роста монокристаллов и наноструктур на основе сочетания неравновесной термодинамики и учения о симметрии. Умение работать с компьютерными моделями кристаллических решеток и их сравнение с натуральными моделями. Правильное понимание неравновесной термодинамики в области физики кристаллизации. Умение обращаться с уравнениями и трактовать их с позиций тензорного исчисления.

Задачами дисциплины является приобретение навыков в решении кристаллофизических задач с точки зрения неравновесности систем кристаллизации. особые навыки, рассчитанные на школьную практику – рост кристаллов из растворов и гелей.

3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного плана

4. Объем дисциплины:

3 зачетных единиц, 108 академических часов, в том числе

контактная работа: лекции 22 часов, лабораторные работы 22 часов; **самостоятельная работа:** 64 часов.

5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-2 способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные	Владеть: навыками поиска информации в сети Интернет; Уметь: самостоятельно приобретать знания, используя современное оборудование и информационные технологии

образовательные информационные технологии	
ПК-1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	<p>Владеть: навыками исследования структуры и свойств кристаллов оптическими, химическими и электрофизическими методами</p> <p>Уметь: анализировать структуру, примесную неоднородность и оптические свойства монокристаллов;</p> <p>Знать: основные законы и основные понятия термодинамики фазовых равновесий и фазовых превращений, диаграммы фазовых равновесий и методы их построения</p>

6. Форма промежуточной аттестации

экзамен в 8 семестре

7. Язык преподавания русский.

II. Структура дисциплины

Учебная программа – наименование тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные работы	
1. Введение в предмет. Из истории развития науки. Неравновесная термодинамика. Некоторые понятия теории поля. Границы применимости неравновесной термодинамики.	2	2		
2. Балансовые уравнения. Сохранение энтропии. Скорость возрастания энтропии. Нелинейность. Соотношения взаимности.	6	2		4
3. Фазовые переходы Фазовые переходы второго рода. Ферроики. Симметрично-групповой анализ ФП 2-го рода.	6	4		2

4. Неприводимые представления. Представления точечных и федоровских групп. Классы сопряженных элементов. Характеры представлений. Соотношения ортогональности.	8	4		4
5. Симметрия волновых функций. Малые представления. Правила отбора. Прафазы.	8	4		4
6. Вариационные принципы. Принципы минимального производства энтропии. Принципы наименьшего рассеяния энергии. Фазовые портреты систем. Понятие о синергетике. Самоорганизация	6	4		2
7. Материалы нано- и гетеротехнологии. Нано- и гетероструктуры. . Система германий-кремний. Теллуриды. Фотоприемники и фотоприемные устройства.	4	2		2
<i>Лабораторные работы</i>				
1. Выявление дислокационной структуры монокристаллов полупроводников. Часть 1. Подготовка кристаллов и селективное травление Часть 2. Оптический метод подсчета плотности дислокаций	8		6	2
2.Изучение пространственной структуры кристаллов кубической сингонии и парателлурита	6		4	2
3 Изучение электрофизических свойств кристаллов	6		4	2
4 Выращивание сложных форм кристаллов под микроскопом.	6		4	2
5. Растровый электронный микроскоп	6		4	2
Экзамен	36			36
ИТОГО	108	22	22	64

III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- планы лабораторных занятий,
- методические рекомендации
- тестовые задания
- требования к рейтинг контролю
- итоговый контроль

IV. Фонды оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Форма проведения промежуточного контроля: студенты, освоившие программу курса «Физика кристаллизации» могут сдать экзамен по итогам рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.). Максимальная сумма баллов, которые можно получить за семестр 100.

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

Контроль сформированности компетенции осуществляется с помощью оценочных средств на основе критериев, которые разрабатываются с целью выявления соответствия этапов освоения компетенции планируемым результатам обучения (см. карту компетенций).

1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-2 "Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии "

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Владеть: навыками поиска информации в сети Интернет;	Сделать доклад на тему "Нано- и гетероструктуры." Сделать доклад на тему "Фазовые переходы второго рода".	<ul style="list-style-type: none">• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;• тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;• использованы публикации последних

		<p>лет – 1 балл;</p> <ul style="list-style-type: none"> определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;
<p>Уметь: самостоятельно приобретать знания, используя современное оборудование и информационные технологии</p>	<p>Какие материалы относятся к материалам нанoeлектроники.</p> <p>Методы, применяемые в нанотехнологии</p>	<ul style="list-style-type: none"> Тема 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

2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 "Способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования"

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
---	--	--

<p>Владеть: навыками исследования структуры и свойств кристаллов оптическими, химическими и электрофизическими методами</p>	<p>Описать оптический метод подсчета плотности дислокаций</p> <p>С помощью каких приборов исследуются электрофизические свойства кристаллов</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл; • тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла; • использованы публикации последних лет – 1 балл; • определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;
<p>Уметь: анализировать структуру, примесную неоднородность и оптические свойства монокристаллов</p>	<p>Рассчитать плотность дислокаций на монокристалле германия</p> <p>Проанализировать спектр пропускания монокристалла германия и определить показатель поглощения</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тема 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
Знать: основные законы и основные понятия термодинамики фазовых равновесий и фазовых превращений, диаграммы фазовых равновесий и методы их построения	Фазовые портреты систем. Термодинамическая модель описания систем	<ul style="list-style-type: none"> • Тема раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 4 балла • Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы – 4 балла • Ответ характеризуется композиционной цельностью, соблюдена логическая последовательность – 3 балла

V. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература

1. **Каплунов И. А. Физическое материаловедение. Фазовые равновесия** [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Тверь: Тверской государственный университет, 2009. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Режим доступа: http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe_materialovedenie_fazovye_ravnovesiya_2011/e-book/index.html

б) дополнительная литература

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

VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

План лабораторных работ

1. Выявление дислокационной структуры монокристаллов полупроводников.
Часть 1. Подготовка кристаллов и селективное травление
Часть 2. Оптический метод подсчета плотности дислокаций

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение пространственной структуры кристаллов кубической сингонии и парателлуриата 2. Изучение электрофизических свойств кристаллов |
|--|

3. Выращивание сложных форм кристаллов под микроскопом.

4. Растровый электронный микроскоп

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 графиков 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.

Тестовые задания

Характерные размеры структур для нанoeлектроники и нанооптоэлектроники:

1 мм – 100 мкм,

100 мкм – 10 мкм,

10 мкм – 1 нм.

К материалам нанoeлектроники относятся:

монокристаллический кремний, монокристаллический парателлуриг,

пористый кремний, пористый оксид алюминия,

Одностенные углеродные нанотрубки имеют полупроводниковые свойства, если являются свёрнутыми вокруг оси параллельной С-С связям, свёрнутыми вокруг оси перпендикулярной С-С связям.

Одностенные углеродные нанотрубки обладают металлическими свойствами, если являются свёрнутыми вокруг оси параллельной С-С связям, свёрнутыми вокруг оси перпендикулярной С-С связям.

Средний диаметр одностенных нанотрубок составляет,

12-14 нм

0.1-0.5 нм

1.2-1.4 нм

Типичный диаметр многостенных нанотрубок составляет,

100-400 нм

10-40 нм

1-4 нм

Химическое осаждение из газовой фазы

является методом, применяемым в нанотехнологии

не применяется в нанотехнологии

Молекулярно-лучевая эпитаксия

является методом, применяемым в нанотехнологии
не применяется в нанотехнологии

Термином «металлоорганика» называется группа соединений имеющих химические связи типа

металл-углерод,
неметалл-углерод,
металл-неметалл.

Разрешающая способность оптической литографии достигает

500 нм,
50 нм,
5 нм.

Максимальная скорость экспонирования достигается при использовании

Оптической литографии,
Электронно-лучевой литографии,
Литографии сканирующими зондами.

Основой самоупорядочения в нанотехнологиях является

адсорбция,
хемосорбция,
абсорбция

Плётки Лэнгмюра-Блоджетт имеют

неупорядоченную структуру при формировании на кристаллических подложках,
упорядоченную структуру при формировании на некристаллических подложках.

Мода Франка-Ван-дер-Мерве соответствует

последовательному росту сплошной плёнки,
образованию и росту островков,
последовательному росту с последующей трансформацией в островковую структуру

Требования к рейтинг-контролю

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

В каждом модуле студент может набрать максимально по 30 баллов. Для того чтобы студент был допущен к экзамену, ему нужно набрать не менее 20 баллов.

Интегральная (рейтинговая) оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

- оценки по итогам текущего контроля (до 60 баллов);
- оценки итоговых знаний в ходе экзамена (до 40 баллов).

Критерии оценки качества знаний для итогового контроля

5-ти балльная оценка/ балльно-рейтинговая	Пояснение к оценке
--	--------------------

оценка	
«отлично», 85-100 баллов	теоретическое содержание курса освоено полностью , без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены .
«хорошо», 70-84 баллов	теоретическое содержание курса освоено полностью , без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, предусмотренные программой обучения учебные задания частично выполнены .
«удовлетворительно», 50 -69 баллов	теоретическое содержание курса освоено не полностью , с пробелами, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы частично, предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены с ошибками .
«Неудовлетворительно», Менее 20-49 баллов	теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы , все выполненные учебные задания содержат грубые ошибки.

Итоговый контроль проводится в форме экзамена, который включает письменные или устные ответы на теоретические вопросы.

1. Наноструктурные элементы вещества. Материалы на основе наноструктурных элементов.
2. Материалы электроники для нанотехнологий.
3. Методы нанотехнологий. Субмикронные технологии. Сканирующие зонды.
4. Методы нанотехнологий. Нанопечатная литография. Эпитаксиальные методы.
5. Саморегулирующие процессы в нанотехнологии. Самосборка в объемных материалах. Самосборка при эпитаксии.
6. Основные понятия теории поля. Термодинамическая модель описания систем. Границы применимости неравновесной термодинамики.
7. Балансовые уравнения. Баланс экстенсивных величин.
8. Термодинамика континуума. Термодинамические силы и потоки. Коэффициенты Онсагера-Казимира.
9. Вариационные принципы. Принципы наименьшего рассеяния энергии. Принципы вариационного подхода. Фазовые портреты систем.

VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)

Процесс обучения включает аудиторные занятия путем проведения лекционных и семинарских занятий, групповые и индивидуальные консультации, текущий контроль

полученных знаний, использование различных форм научно-исследовательской деятельности студентов, самостоятельную работу, а так же проведение итогового контроля.

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебно-научная лаборатория физики диэлектриков, пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков-полупроводников №35 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Экран настенный ScreenMedia 153*203 (M082-08147) 2. Ноутбук DEll Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB 3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,2 200 ANSI Lm, 4. Проектор Quadra 250 X 5. Комплект учебной мебели на 24 посадочных мест	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации,	1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд	Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027

<p>практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
---	--	--

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.