

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



С.Н. Филимонов

2021 г.

Рабочая программа дисциплины

ТЕОРИЯ РОСТА КРИСТАЛЛОВ

по направлению подготовки

03.03.02 – Физика

Профиль подготовки
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

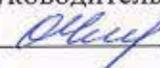
Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

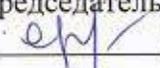
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.06.08

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

ПК-1 – способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

– Получить представления о связи формы кристалла с его кристаллической структурой, об элементарных процессах роста кристаллов, об источниках элементарных ступеней на поверхности кристалла, о роли анизотропии кристалла в кинетике роста кристаллов, о механизмах эпитаксии.

– Научиться применять понятийный и математический аппарат теории роста кристаллов для анализа влияния условий кристаллизации на морфологию поверхности и скорость роста кристаллов.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 7, устный экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам модулей: : «Общая физика», «Высшая математика», а также дисциплинам Кристаллография, Кристаллохимия полупроводников, Термодинамика материалов, Кинетика фазовых переходов.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

в том числе практическая подготовка: 8 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Поверхностная энергия и равновесная форма кристалла.

Классификация поверхностей по Гартману (метод ПЦС). Анизотропия поверхностной энергии. Равновесие на искривленной границе анизотропной фазы. Уравнение Херринга. Равновесная форма кристалла. Правило Вульфа. Кинематические теории формы роста. Теоремы Франка.

Тема 2. Атомная структура поверхности в модели Косселя.

Поверхностные конфигурации и их энергии. Метод средних работ отрыва. Шероховатость ступени. Равновесная концентрация изломов. Шероховатость поверхности. Связь с задачей Изинга. Модель Джексона и модель Темкина. Современные модели перехода от гладкой грани к шероховатой грани.

Тема 3. Кинетика роста на вицинальной поверхности.

Элементарные поверхностные процессы роста: адсорбция, десорбция, поверхностная диффузия, встраивание в ступень. Общая формулировка краевой задачи поверхностной диффузии. Краевая задача поверхностной диффузии для системы вицинальных ступеней. Режимы перемещения ступеней при росте из пара и из молекулярного пучка. Роль барьера Эрлиха-Швебеля в устойчивости системы прямолинейных ступеней.

Тема 4. Источники ступеней на сингулярной грани.

Рост за счет винтовых дислокаций. Нелинейная зависимость скорости роста грани от пересыщения. Образование зародышей на поверхности кристалла. Термодинамическое описание. Атомистическая картина зарождения. Рост по механизму образования и разрастания двумерных островков.

Тема 5. Механизмы эпитаксии.

Образование зародыша на инородной поверхности. Энергия адгезии. Соотношение Дюпре. Механизмы эпитаксии Франка – ван-дер Мерве, Фольмера – Вебера и Странского – Крастанова. Релаксация упругих напряжений. Дислокации несоответствия и когерентные трехмерные островки.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания аттестации

Экзамен проводится в устной форме по билетам, содержащим теоретические вопросы, предполагающие развернутый ответ и проверяющие ИОПК-2.2, а также по контрольным вопросам по материалу курса, требующим краткий ответ и проверяющим ИПК-1.1.

Примеры теоретических вопросов в билете:

1. Винтовые дислокации как источник ступеней на сингулярной грани. Скорость роста грани за счет перемещения спиральной ступени.
2. Релаксация упругих напряжений при эпитаксии по механизму Странского-Крастанова. Дислокации несоответствия. Упруго-напряженные 3D-островки.

Примеры контрольных вопросов:

1. Что такое сингулярные и вицинальные поверхности?
2. В связи с чем полагают, что встраивание атомов в кристалл происходит, в основном, в изломах на ступенях?
3. Как зависит скорость отдельной вицинальной ступени от расстояния между ступенями?
4. Как барьер Эрлиха-Швебеля влияет на переход от послойного (одноуровневого) роста к многоуровневому росту.
5. Перечислите основные механизмы эпитаксии.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация (контрольная точка) предполагает посещаемость более половины лекций, ответы на вопросы тестов и выполнение не менее половины домашних заданий.

Оценка «отлично» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность. Оценка «хорошо» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе. Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент, показывает фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирует базовые понятия. Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - [Курс: Теория роста кристаллов 4 курс \(ФФ.Б.2 сем.\) \(tsu.ru\)](http://tsu.ru)

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов. Под ред. Б.К.Вайнштейна. М.: Наука, 1980. – 407 с.

- Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин [и др.] - М: Наука, 2006. – 490 с.

- Филимонов С.Н. Динамика ступеней при росте кристалла из газовой фазы и молекулярного пучка. Учебно-методическое пособие / Филимонов С.Н., Эрвье Ю.Ю. Издательство Томского госуниверситета, 2019. – 54 с.

- Рашкович Л.Н. Физика кристаллизации. М.: Научный мир, 2015. -101 с.

б) дополнительная литература:

- Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения. М: БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. - 400 с.

- Гармашов С. И. Методы исследования процессов кристаллизации: учебное пособие. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. — 84 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/170341>

- Чернов А.А. Слоисто-спиральный рост кристаллов // Успехи физических наук. - 1961. - Т.73, N2. - С.277–331.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Эрвье Юрий Юрьевич, доктор физ.-мат. наук, ТГУ, кафедра физики полупроводников, профессор.