

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ



С.И. Филимонов

факультет

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕОРИИ РОСТА КРИСТАЛЛОВ

по направлению подготовки

03.04.02 – Физика

Профиль подготовки

«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

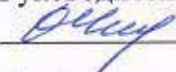
Год приема

2021

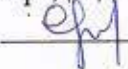
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.05.07

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:

ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать

2. Задачи освоения дисциплины

- Получить представления об современных задачах теории роста кристаллов.
- 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 образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Семестр 2, зачет.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: общая физика, математический анализ, кристаллография, кристаллохимия полупроводников, термодинамика материалов, кинетика фазовых переходов, физическая химия, теория роста кристаллов.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часа, из которых:

– лекции: 24 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Кинетика начальной стадии роста и проблема устойчивости поверхности при МЛЭ.

Молекулярно-лучевая эпитаксия как метод прямого получения (самоорганизации) наноструктур. Современные методы исследования поверхностных процессов и их возможности. Проблема устойчивости системы вицинальных ступеней. Эшелонирование и неустойчивость формы ступеней. Роль барьера Швевеля, эффекта проницаемости и

упругого взаимодействия ступеней. Эшелонирование ступеней при электромиграции адатомов.

Тема 2. Легирование и поверхностная сегрегация примеси.

Росте цепей сополимеров и многокомпонентных кристаллов - статистика проб и ошибок. Кооперативные эффекты при встраивании атомов примеси в изломы на ступенях. Легирование в системах МЛЭ. Концентрационные профили легирования и дельта-легированные слои. Механизмы поверхностной сегрегации примеси. Суперэкспоненциальная температурная зависимость коэффициента сегрегации при легировании кремния и германия сурьмой.

Тема 3. Механизмы и кинетика роста нитевидных нанокристаллов (ННК).

Методы синтеза вертикально-ориентированных ННК. Au-каталитические, самокаталитические и авто-каталитические ННК. Рост по механизму пар-жидкость-кристалл в условиях молекулярно-лучевой эпитаксии. Роль поверхностной диффузии в кинетике роста ННК. Зависимость скорости аксиального роста ННК от радиуса ННК. Влияние температуры полочки на форму ННК. Кристаллическая структура ННК полупроводниковых соединений III-V.

Темы дисциплины могут меняться в зависимости от тем магистерских работ слушателей.

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 промежуточной аттестации

Зачет предполагает выступление с презентацией, содержащей обзор литературы на заданную тему, и проверяющие ИПК-1.2 и ответы на контрольные вопросы по курсу, проверяющие ИПК-1.1.

Примеры тем презентаций:

1. Температурные режимы эшелонирования вицинальных ступеней при сублимации кремния в условиях нагрева подложки постоянным током.
2. Квантово-химические расчеты адсорбции примесей на поверхностях кремния и германия.
3. Эффекты затенения и реадсорбции при росте нитевидных нанокристаллов.

Примеры контрольных вопросов:

1. Как упругое взаимодействие между ступенями влияет на устойчивость системы вицинальных ступеней относительно образования эшелонов?
2. Назовите возможные причины неустойчивости прямолинейной формы вицинальных ступеней.
3. Назовите возможные механизмы влияния примеси на скорость роста кристалла.
4. Какие существуют режимы поверхностной сегрегации примеси?
5. Как зависит скорость роста ННК от радиуса в случаях адсорбционно - десорбционного и диффузионного режимов роста?

Результаты зачета определяются оценками «зачтено» и «не зачтено».

Промежуточная аттестация (контрольная точка) предполагает посещаемость более половины лекций и ответы на вопросы тестов.

Оценка «зачтено» ставится, если студент представил презентацию (обзор литературы на заданную тему), уверенно ответил на вопросы по презентации и на контрольные вопросы по курсу. Оценка «не зачтено», если студент не представил презентацию, 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: Дополнительные главы теории роста кристаллов. 1 курс \(ФФ.М.2 сем.\) \(tsu.ru\)](#)
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
- Латышев А.В., Асеев А.Л. Моноатомные ступени на поверхности кремния. Новосибирск: Из-во СО РАН, 2006. – 241 с.
 - Дубровский В.Г. Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. М: Физматлит, 2009. – 352 с.
 - Владимиров Г. Г. Физика поверхности твердых тел. Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 352 с. <https://e.lanbook.com/book/168884>
- б) дополнительная литература:
- Чернов А.А. Рост цепей сополимеров и смешанных кристаллов - статистика проб и ошибок. Успехи физических наук, 1970, Т.100, вып.2, С.277-328.
 - Misbah C., Pierre-Louis O., Saito Y. Crystal surfaces in and out of equilibrium: A modern view // Rev. Mod. Phys. – 2010. - V.82. – P.981 -1040.
 - Voigtländer B. Fundamental processes in Si/Si and Ge/Si epitaxy studied by scanning tunneling microscopy during growth // Surf. Sci. Rep. - 2001. - V. 43. - P.127-254.
 - Пчеляков О.П., Болховитянов Ю.Б., Двуреченский А.В., Соколов Л.В., Никифоров А.И., Якимов А.И., Фойхтлендер Б. Кремний-германиевые наноструктуры с квантовыми точками: механизмы образования и электрические свойства // Физика и техника полупроводников. - 2000. - Т. 34, Вып.11.- С.1281–1299.

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