

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Дополнительные главы теории роста кристаллов

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2023

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

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, скорость роста кристаллов и формирование эпитаксиальных наноструктур.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

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

Второй семестр, 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

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

-лекции: 24 ч.

в том числе практическая подготовка: 10 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Кинетика послойного роста кристаллов и проблема устойчивости поверхности при молекулярно-лучевой эпитаксии.

Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) как метод прямого получения (самоорганизации) наноструктур. Современные методы исследования поверхностных процессов и их возможности. Проблема устойчивости системы вицинальных ступеней. Краевая задача поверхностной диффузии. Эффект проницаемости ступеней. Эшелонирование и неустойчивость формы ступеней. Роль барьера Эрлиха-Швёбеля, 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).

ННК – свойства и возможные применения. Методы синтеза вертикально-ориентированных ННК. Au-каталитические, само-каталитические 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. Модели латерального роста ННК. Политипизм кристаллической структуры 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, опросов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий (написания рефератов) и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет во втором семестре проводится в устной форме и включает выступление студента с презентацией по теме реферата, проверку текста реферата и ответы на контрольные вопросы по курсу. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - [Курс: Дополнительные главы теории роста кристаллов. 1 курс \(ФФ.М.2 сем.\) \(tsu.ru\)](https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/)

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.
- Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин [и др.] - М: Наука, 2006. – 490 с.
- В.Г. Дубровский, Г.Э. Цырлин. Полупроводниковые нитевидные нанокристаллы: рост, физические свойства и приложения. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 128 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.

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.
- Jeong H.-C., Williams E.D. Steps on surfaces: experiment and theory // Surf. Sci. Rep.—1999.—V.34.—P.171–294.
- 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.
- Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов. Под ред. Б.К.Вайнштейна. М.: Наука, 1980. – 407 с.
- Markov, I. Crystal Growth for Beginners, 2nd ed. — World Scientific, Singapore, 2003. - 546 p.
- Krug J. Introduction to step dynamics and step instabilities // International series of numerical mathematics. Multiscale modeling of epitaxial growth / Ed. by A. Voigt. - Birkhauser, 2005.—V.149.—P.69–95.

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