

Курс лекций "Фазовые переходы"

В 2010–2024 годах был разработан новый курс лекций "Фазовые переходы" для СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова.

Курс читается 1 раз в неделю магистрам в осеннем и весеннем семестрах и состоит из двух частей.

Первая часть курса (осенний семестр) - введение в общую теорию фазовых переходов, фазовые переходы первого и второго рода, введение в теорию критических явлений.

Вторая часть курса (весенний семестр) - кинетическая теория фазовых переходов первого рода, теория зарождения новой фазы в трехмерных системах и теория зарождения на поверхности. Теория роста тонких пленок. Рассматриваются общие механизмы формирования новой фазы из паровой фазы и расплава. Обсуждаются механизмы роста кристаллов. Кратко рассматриваются процессы формирования квантовых точек и нанокристаллов.

Целью данного цикла лекций является приобретение студентами знаний, умений и навыков в области физики фазовых превращений, критических явлений, физики образования конденсированных сред, фундаментальных процессов зарождения и роста кристаллов и тонких пленок, эволюции наноструктур, фундаментальных основ выращивания полупроводниковых пленок и применений для успешной профессиональной деятельности. Существенное внимание на лекциях уделяется термодинамике и кинетике зарождения новой фазы, вводятся основные фундаментальные, основополагающие понятия и кинетические уравнения, позволяющие не только рассчитать эволюцию процессов зарождения новой фазы, но и заранее предсказывать и рассчитать структуру, состав и свойства синтезируемых наноструктур и тонких пленок. Рассматриваются конкретные примеры роста тонких полупроводниковых пленок, квантовых точек с целью создания высокосовершенных гетероструктур для полупроводниковых приборов. Впервые на основе общей теории фазовых переходов первого рода рассказывается проблеме хрупкого разрушения твердых тел. Исследуются сегнетоэлектрические фазовые переходы в электрических полях. В заключительной части лекции рассказывается о новом типе роста пленок, при котором один из компонентов пленки берется прямо из подложки. Данный метод получил название "Метод согласованного замещения атомов". В лекциях на примере роста пленок карбида кремния на кремнии подробно обсуждаются механизмы роста пленок карбида кремния на кремнии методом замещения и новые методы синтеза низкодефектных широкозонных полупроводников соединений АЗВ5.

В первой части курса (осенний семестр) дается классификация фазовых переходов по Эренфесту. Рассматриваются основные признаки фазовых переходов первого и второго родов, вводится понятие о параметре порядка. Вводится понятие о дальнем и ближнем параметре порядка. Дальность порядка. Рассказывается о теории Брэгга-Вильямса. Подробно рассматривается теория фазовых переходов Ландау. На основе теории Ландау размариваются фазовые переходы второго и первого родов. Исследуются фазовые переходы I рода близкие к фазовым переходам II рода и вводится понятие о трикритической точке. Дается введение во флуктуационную теорию фазовых переходов. Рассказывается о критических индексах. Вводится понятие эффективного гамильтониана. Дается понятие о гипотезе подобия и скейлинге. Обсуждаются: теория фазовых переходов Янга и Ли; модель Изинга и теория фазовых переходов Онсагера.

Во второй части курса (весенний семестр) рассматриваются термодинамика зарождения новой фазы; образование зародышей при фазовых переходах; дается понятие о минимальной работе образования зародыша новой фазы; вводится понятие о бинодали и спинодали на примере системы пар-жидкость. Основное внимание уделяется кинетической теории образования новой фазы по Фольмеру и Веберу. Определяется скорость зарождения новой фазы по Фольмеру и Веберу. Подробно излагается теория зарождения новой фазы по Беккер и Дёрингу. Вводится понятие функции распределения “доктрических” зародышей по размерам. Затем излагается капиллярная теория зародышеобразования Зельдовича и выводится уравнение Зельдовича. Вводится понятие о коэффициент диффузии в “пространстве размеров”. Вводится общая формула для расчета коэффициент диффузии в “пространстве размеров”. Приводится стационарное решение уравнения Зельдовича. Рассчитывается стационарный поток зародышей-скорость нуклеации для: кавитации; роста зародышей из пара; роста зародышей из расплава; роста зародышей в твёрдых, и жидких растворах. Исследуется влияние вязкости расплава на скорость нуклеации. Введение в теорию стеклования расплавов. Скорость зарождения новой фазы в расплавах. Вводится понятие о времени нестационарности (время инкубации) зародышеобразования.

Исследуется переходная стадия зародышеобразования – стадия массового зарождения новой фазы. Кратно излагается решение основной системы уравнений, описывающей зарождение новой фазы методом малого параметра.

Излагается поздняя стадия фазовых переходов первого рода – стадия оствальдовского созревания. Подробно излагается теория Лифшица-Слезова, описывающая стадию оствальдовского созревания.

В заключительных лекциях данного курса, рассматриваются фазовые переходы на поверхности твёрдых тел. Излагается классическая теория зарождения тонких пленок. Обсуждаются основные процессы, происходящие на поверхности подложки. Исследуются режимы роста тонких пленок. Рассматривается рост квантовых точек и наноструктур. Обсуждаются основы управления процессами роста зародышей новой фазы на поверхности твёрдых тел.