

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 16.06.01 Физико-технические науки и технологии

Направленность (специальность) 01.04.10 Физика полупроводников

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Кристаллография и физическая химия полупроводников»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.1

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часа – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 16.06.01 Физико-технологические науки и технологии, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 882, и паспорта специальности 01.04.10 Физика полупроводников, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение основных понятий кристаллографии, симметрию кристаллов, кристаллических систем, классификацию кристаллов, рассматривает основы структурного анализа строения и разновидностей полупроводниковых материалов

Задачами дисциплины являются:

- освоение физических основ полупроводниковых материалов;
- освоение методов исследования строения полупроводниковых материалов,
- научить методам расчета и моделирования строения полупроводниковых материалов.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- способность анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);

- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики полупроводников и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- классификацию дефектов в полупроводниковых материалах, их физико-химические особенности (ПК-2);

уметь:

- рассчитывать параметры полупроводниковых материалов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);
- собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по физической химии полупроводников (ПК-3).

Владеть:

- приемами и методами оценки параметров и характеристик полупроводников с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- навыками работы с информационными базами данных и поиском информации о физической химии полупроводников (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Основные понятия кристаллографии

Элементы симметрии. Точечные группы симметрии. Кристаллические системы-сингонии. Символика Бравэ. Ячейки Бравэ. Индицирование плоскостей и направлений. Обратная решетка. Зона плоскостей. Условие зональности. Кристаллографические проекции. Основные положения химической термодинамики. Термодинамические принципы описания фазовых равновесий, оценка разупорядочения в системе, термическое переохлаждение и его роль в процессе кристаллизации чистых веществ. Понятие ближнего и дальнего порядка. Влияние дефектов на свойства материалов.

2. Методы анализа

Взаимодействие рентгеновского излучения с кристаллом. Общее интерференционное уравнение трехмерной решетки. Дифракция как отражение. Соотношение Вульфа-Брегга. Анализ интенсивностей дифракционных максимумов.

Фазовый анализ вещества. Метод Дебая. Определение параметров кристаллической решетки. Ориентация кристалла по Лауэ. Применение метода Лауэ для изучения симметрии кристалла. Дифрактометрия. Метод вращения кристалла.

Особенности дифракции электронов. Электронография. Электронограммы моно- и поликристаллов, мозаичных и текстурированных образцов. Электронная микроскопия.

3. Структура реального кристалла

Структуры типичных полупроводников, ионных и молекулярных кристаллов. Основные типы точечных дефектов, зависимость их от температуры, присутствия примесей, равновесие точечных дефектов в кристалле. Отклонение от стехиометрии. Линейные дефекты-дислокации, контур и вектор Бюргерса, движение дислокаций, взаимодействие с

точечными дефектами и примесями. Классификация дефектов в полупроводниковых материалах. Дефекты упаковки. Методы обнаружения дислокаций и дефектов упаковки.

Примесные дефекты: изо- и иновалентные примеси, фоновые примеси. Физико-химические основы легирования кристаллов: растворимость, политропия примеси, кластеры, взаимодействие примесей с собственными дефектами.

Точечные дефекты в сложных полупроводниках (соединениях): типы, равновесие дефектов, стехиометрия, область гомогенности. Физико-химические основы управления типом и концентрацией точечных дефектов в кристаллических фазах переменного состава. Роль собственных точечных дефектов в процессах легирования кристаллов. Радиационные дефекты, радиационное легирование, радиационная тренировка.

Дислокации: основные типы, энергия и перемещение, плотность дислокаций, методы определения. Дефекты упаковки в кристаллах ГЦК и ГПУ структур. Окислительные дефекты упаковки. Конденсированные среды с фрактальной структурой

4. Твердые растворы

Основы теории кристаллизации. Зарождение и рост кристаллов. Рост кристалла. Механизмы и кинетика роста кристаллов, закономерности кристаллизации. Фазовые равновесия в системе полупроводник - примесь. Твердые растворы, термодинамические критерии существования и температурной стабильности.

Типы твердых растворов. Неограниченная и ограниченная растворимость в бинарных системах. Эвтектики. Ретроградная растворимость примеси. Перитектические превращения. Химические соединения на диаграммах состояния: с конгруэнтным и инконгруэнтным плавлением, областью гомогенности

Равновесная и неравновесная кристаллизация. Равновесный коэффициент распределения. Неравновесная кристаллизация. Концентрационное переохлаждение.

Направленная и зонная кристаллизация

5. Высокочистые вещества

Высокочистые вещества: современные требования, способы выражения концентрации примеси, методы очистки, методы статистического прогнозирования. Понятие полупроводниковой чистоты.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 3 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Элементы внутренней и внешней симметрии кристаллов.
2. Кристаллические системы-сингонии.
3. Пространственная решетка. Ячейки Бравэ.
4. Индицирование плоскостей и направлений.
5. Понятие обратной решетки.
6. Кристаллографическая зона плоскостей. Условие зональности.
7. Кристаллографические проекции.
8. Спектральный состав рентгеновского излучения.
9. Взаимодействие рентгеновского излучения с кристаллом.
10. Уравнения Лауэ. Общее интерференционное уравнение трехмерной решетки.
11. Дифракция как отражение. Соотношение Вульфа-Брегга.
12. Отражение рентгеновских лучей сложной элементарной ячейкой. Анализ интенсивностей дифракционных максимумов.
13. Метод Дебая. Фазовый анализ вещества. Определение параметров кристаллической решетки.
14. Ориентация кристалла по Лауэ. Применение метода Лауэ для изучения симметрии кристалла.
15. Дифрактометрия.

16. Метод вращения кристалла.
17. Особенности дифракции электронов. Электронография. Электронограммы моно- и поликристаллов, текстурированных образцов.
18. Нейтронография.
19. Структуры типичных полупроводников.
20. Кристаллы с ковалентной связью.
21. Структуры ионных кристаллов.
22. Структуры металлических кристаллов.
23. Плотные шаровые упаковки.
24. Структуры молекулярных кристаллов. Сопоставление различных видов связи.
25. Основные типы точечных дефектов.
26. Взаимодействие дефектов. Равновесие точечных дефектов в кристалле.
27. Линейные дефекты-дислокации.
28. Контур и вектор Бюргерса.
29. Движение дислокаций. Взаимодействие дислокаций.
30. Дефекты упаковки.
31. Методы обнаружения дислокаций и дефектов упаковки.
32. Типы твердых растворов.
33. Изменение дебаеграмм при образовании твердых растворов.
34. Основные типы диаграмм состояния.
35. Неограниченная и ограниченная растворимость в бинарных системах.
36. Эвтектики. Ретроградная растворимость примеси.
37. Перитектические превращения.
38. Химические соединения на диаграммах состояния.
39. Понятие ближнего и дальнего порядка.
40. Влияние дефектов на свойства материалов.
41. Основные положения химической термодинамики.
42. Физико-химические основы легирования кристаллов.
43. Радиационные дефекты, радиационное легирование, радиационная тренировка.

44. Механизмы и кинетика роста кристаллов, закономерности кристаллизации.
45. Равновесная и неравновесная кристаллизация.
46. Высокочистые вещества, методы очистки.
47. Понятие полупроводниковой чистоты.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Морозова Н.К., Кристаллография и методы исследования структур. Пособие к практическим занятиям. Учебное пособие по курсу "Технология материалов и элементов электронной техники" по направлению "Электроника и микроэлектроника" – М. Издательский дом МЭИ, 2008 . – 120 с.
2. Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства функциональных материалов. Составитель: Асабина Е.А. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 65 с. http://www.unn.ru/books/met_files/Asabina.pdf в свободном доступе.
3. Калинин Б.А (ред.) Физическое материаловедение. Материалы с заданными свойствами Учебник для вузов: В 6 т. Том 5 . М.: МИФИ, 2008. 672 с. Авторы: М.И. Алымов, Г.Н., Елманов, Б.А. Калинин, А.Н. Калашников, В.В. Нечаев, А.А. Полянский, И.И. Чернов, Я.И. Штромбах, А.В. Шульга. http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Kalin_Fizicheskoe_materialovedenie_Tom_5_2008.pdf в свободном доступе
4. Афанасьев Б. Н., Акулова Ю. П. Физическая химия: Учебное пособие. 1-е изд.– СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2012. – 463 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4312 электронно-библиотечная система.
5. Кудряшева Н. С. Физическая химия / Н.С. Кудряшева, Л.Г. Бондарева. — Москва: Юрайт, 2012. — 340 с ISBN 978-5-9916-1293-7
6. Дубровский В.Г. Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур. Электронный учебник Санкт – Петербург 2006 <http://window.edu.ru/resource/346/63346/files/Posobie.pdf> в свободном доступе.

7. Суздалев И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, – 2006. 592 с
http://www.vixri.com/d/Suzdalev%20I.P.%20_NANOTECHNOLOGIJa.pdf в свободном доступе.

Дополнительная литература:

8. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. В 2-х ч. / Общ. ред. Ю. А. Чаплыгин . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010, 2011 . - ISBN 978-5-94774-583-2.