

Федеральное агентство по образованию  
САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра радиотехники  
и электродинамики

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по дисциплине **СТРУКТУРНАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ**

**ЭЛЕКТРОННОЙ НАНО- И МИКРОТЕХНИКИ**

для специальности 013800 «Радиофизика и электроника»,

реализуемой на физическом факультете

Автор: Терентьев Олег Анатольевич

Саратов, 2010

## Раздел 1. Организационно-методическое сопровождение

Курс "Структурная механика материалов электронной нано- и микротехники" предназначен для подготовки специалистов по специальности "Радиофизика и электроника". Курс читается для студентов старших курсов. Основу лекционного курса составляет описание современного подхода к изучению строения и свойств материалов.

Цель курса – изучение студентами традиционных способов исследования структуры и характеристик материалов нано- и микротехники.

Задача курса – сформировать у студентов современное представление о методах испытания материалов, о состоянии современной науки в области нанотехнологий и дать общее представление о способах исследования характеристик нано- и микроструктур.

Для освоения курса необходимы основы знаний в области математического анализа, квантовой физики. В результате усвоения курса студент приобретает фундаментальные знания о строении, свойствах и методах изучения характеристик материалов нано- и микротехники.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- структуру и свойства материалов микро- и наноэлектроники;
- методы оценки прочности материалов;
- механику деформации и разрушения материалов;
- основы метода молекулярной динамики.

## Раздел 2. Тематический план учебной дисциплины

№ п/п	Наименование разделов	Бюджет учебного времени					Форма текущего и итогового контроля
		Всего	в том числе				
			Лекции	Лабораторные и практические	Семинарские занятия	Самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7	8
Очная полная программа							
1	Структура и характеристики материалов микроэлектроники	7	4	-	-	3	Контрольная работа
2	Материалы нано- и микроэлектроники	7	4	-	-	3	
3	Механика деформации и оценка прочности материалов	7	4	-	-	3	
4	Линейная механика разрушения	6	4	-	-	2	
5	Молекулярная динамика	3	2	-	-	1	
Итого:		30	18	-	-	12	Экзамен

### Раздел 3. Содержание учебной дисциплины

#### I. СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

**Введение.** Основные понятия.

1. **Совершенные кристаллы.** Строение кристаллов. Дефекты строения кристаллов. Деформация и разрушение. Сплавы. Поликристаллические материалы.
2. **Методы испытания материалов.** Кратковременные и длительные испытания. Испытания при статических, ударных, повторно-переменных нагрузках. Неразрушающие испытания. Косвенные методы определения механических характеристик материалов.

#### II. МАТЕРИАЛЫ НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

1. **Наноструктуры.** Фуллерены, нанотрубки, фуллериты. Формирование наноразмерных объектов. Определение механических свойств нанобъектов. Деформация нанобъектов. Компьютерное моделирование при изучении параметров наноструктур.
2. **Керамика.** Ультрадисперсные и пористые керамики, биокерамика. Характеристики и свойства
3. **Нанотрибология.** Изучение адгезии, трения, износа наноструктур. Атомно-силовая микроскопия.

#### III. МЕХАНИКА ДЕФОРМАЦИИ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

1. **Деформация твердых тел.** Напряжения, деформативность, прочность. Тензор напряжений. Деформации. Физические уравнения состояния тела. Реологические модели.
2. **Оценка прочности материалов.** Критерии прочности материалов. Контакт упругих тел. Краевые дислокации. Адгезия.

#### IV. ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ

1. **Критерии разрушения.** Критерий Гриффитса. Энергетический и силовой критерий разрушения.
2. **Инденторные методы.** Оценка трещиностойкости.

#### V. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА

1. **Основы метода молекулярной динамики.** Полуэмпирические и эмпирические межатомные потенциалы. Потенциалы Морзе, Леннарда-Джонса.

### Контрольная работа

Тема контрольной работы: «Структурная механика материалов электроники. Методы испытаний материалов. Деформация и разрушение».

Задания на контрольной работе:

1. Понятие кристаллической решетки. Типы кристаллических решеток. Перечислите типы кристаллографических систем и как они определяются.
2. Опишите систематизацию обозначений координатных плоскостей и направлений с помощью индексов Миллера.
3. Опишите типы дефектов кристаллической решетки: точечные, одномерные и двумерные.
4. Понятие тензора напряжений.
5. Перечислите энергетические и силовые критерии разрушения материалов.
6. Межатомный потенциал Леннарда-Джонса.

**Виды самостоятельной работы:** чтение литературы, подготовка рефератов.

Темы рефератов для самостоятельной работы:

1. Виды дефектов кристаллов.
2. Виды испытаний материалов
3. Оценка трещиностойкости материалов
4. Испытания при статических нагрузках
5. Испытания при ударных нагрузках
6. Косвенные методы определения механических свойств материалов
7. Определение механических характеристик наноразмерных объектов.
8. Принцип функционирования атомно-силового микроскопа.
9. Композиционные наноматериалы.
10. Моделирование процесса формирования нанобъекта.
11. Моделирование деформации нанобъекта.
12. Механические свойства нанотрубок.
13. Классические критерии прочности материалов.
14. Энергетический критерий разрушения материалов.
15. Оценка прочности материала.
16. Применение метода молекулярной механики для оценки механических характеристик твердых тел.

### Раздел 4. Перечень основной и дополнительной литературы

#### Основная литература

1. О.П. Кормилицын, Ю.А. Шукейло Механика материалов и структур нано- и микротехники – М.: «Академия», 2008.
2. Ч. Пул, Ф. Оуэнс Нанотехнологии – М.: Техносфера, 2005.
3. В.К. Неволин Зондовые нанотехнологии в электронике – М.: Техносфера, 2005.
4. А.И. Гусев Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.

5. И.П. Суздаев Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов – М.: КомКнига, 2006.
6. П.Н. Дьячков Углеродные нанотрубки. Строение, свойства, применения – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006.
7. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин Основы наноэлектроники – М.: Физматкнига, 2006.
8. И. Броудай, Дж. Мерей Физические основы микротехнологии – М.: Мир, 1985.
9. Л.С. Палатник, В.К. Сорокин Материаловедение в микроэлектронике – М.: Энергия, 1978.

#### Дополнительная литература

1. П. Харрис Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI века – М.: Техносфера, 2003.
2. Н. Кобаяси Введение в нанотехнологию – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2005.
3. Л.А. Грибов, В.И. Баранов Теория и методы расчета молекулярных процессов. Спектры, химические превращения и молекулярная логика – М.: КомКнига, 2006.
4. В.Д. Лахно Кластеры в физике, химии, биологии – М.; Ижевск: НИЦ "Регуляр. и хаот. динамика", 2001.
5. М.Б. Гусева, Е.М. Дубинина Физические основы твердотельной электроники – М.: Изд-во МГУ, 1986.
6. Г.И. Епифанов, Ю.А. Мома Твердотельная электроника – М.: Высш. шк., 1986.

#### Раздел 5. Перечень средств обучения

Мультимедийный проектор, персональный компьютер.

#### Раздел 6. Вопросы к курсу

1. Механические характеристики материалов.
2. Типы состояний твердых тел.
3. Кристаллографические системы.
4. Индексы Миллера.
5. Дефекты кристалла.
6. Типы разрушений кристалла.
7. Виды механических испытаний материалов.
8. Косвенные виды испытаний и что они позволяют определить.
9. Основные физико-механические характеристики фуллерита.
10. Классификация и область применения нанотрубок.
11. Физико-химические характеристики нанотрубок.
12. Формы потери устойчивости нанотрубок.
13. Методы исследования механических свойств тугоплавких материалов.
14. Влияние масштабного фактора при исследовании наноструктурных материалов.
15. Физические процессы формирования нанообъектов.
16. Определение механических характеристик пленок на подложке.
17. Трибиологические характеристики наноматериалов.
18. Составляющие тензора напряжений. Главные напряжения.

19. Составляющие тензора деформаций. Главные деформации.
20. Реологические модели механики деформируемого твёрдого тела.
21. Условия текучести Треска, Мизерса.
22. Критерии прочности материала.
23. Задача Герца о контакте двух тел.
24. Спектр задач линейной механики разрушения.
25. Критерий разрушения Гриффитса.
26. Суть силового подхода в механике разрушения.
27. Область применения методов молекулярной динамики.
28. Параметры материалов определяемые методами молекулярной динамики.
29. Уравнения молекулярной динамики.
30. Потенциалы взаимодействия частиц в методах молекулярной динамики.

## Раздел 7. Глоссарий

**Адгезия** (в физике) – сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел.

**Биокерамика** – керамические заменители частей организма.

**Дефект** – нарушение трансляционной симметрии кристалла — идеальной периодичности кристаллической решётки.

**Деформативность** – изменение формы и размеров материалов под действием наружных сил.

**Деформация** – изменение относительного положения частиц тела, связанное с их перемещением. Деформация представляет собой результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов.

**Дислокация** – линейный дефект кристаллической структуры твёрдых тел.

**Керамика** – изделия из неорганических, неметаллических материалов (например, глины) и их смесей с минеральными добавками, изготавливаемые под воздействием высокой температуры с последующим охлаждением.

**Кристалл** – твёрдые тела, в которых атомы расположены закономерно, образуя трёхмерно-периодическую пространственную укладку – кристаллическую решётку.

**Нанообъект** – объект, линейный размер которого хотя бы в одном направлении составляет порядка 1-100 нм.

**Нанотрибология** – область физики, изучающая трение, адгезию, износ, химическую активность на наноструктурном уровне.

**Углеродные нанотрубки** – цилиндрические молекулы, состоящие из одних лишь атомов углерода. Внешне выглядят как свёрнутая в цилиндр графитовая плоскость.

**Поликристалл** – агрегат мелких кристаллов какого-либо вещества, иногда называемых из-за неправильной формы кристаллитами или кристаллическими зёрнами.

**Реология** – наука о деформациях и текучести сплошных сред, обнаруживающих упругие, пластические и вязкие свойства в различных сочетаниях.

**Фуллерены** – молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие — алмаз, карбин и графит) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода.

**Фуллерит** – молекулярный кристалл, в узлах решётки которого находятся молекулы фуллерена.