

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по развитию образования  
\_\_\_\_\_ Е.В.Сапир

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Рабочая программа дисциплины  
послевузовского профессионального образования  
(аспирантура)  
Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых  
пленок**

**по специальности научных работников**

**01.04.10 Физика полупроводников**

Ярославль 2012

## 1. Цели освоения дисциплины

**Целями** освоения дисциплины «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок» в соответствии с общими целями основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) (далее - образовательная программа послевузовского профессионального образования) являются:

- усвоение аспирантами знаний о физических явлениях, имеющих место в полупроводниковых пленках, об использовании пленочных систем в твердотельных устройствах нового поколения;
- изучение модельных представлений и основных теоретических принципов изменения свойств полупроводниковых пленок при вариации толщины и структурных параметров;
- формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения явлений переноса в пленочных системах.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы послевузовского профессионального образования

Данная дисциплина относится к разделу обязательные дисциплины (подраздел дисциплины по выбору аспиранта) образовательной составляющей образовательной программы послевузовского профессионального образования по специальности научных работников 01.04.10 Физика полупроводников.

Дисциплина «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок» рассматривает основные физические процессы, происходящие в полупроводниковых пленках. Даная дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими частями ООП, а именно с обязательной дисциплиной «Специальность», курсами по выбору (Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников) и педагогической практикой.

Для изучения данной дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета или бакалавриата – магистратуры. Дисциплина является основой для последующего изучения дисциплины «Специальность» в аспирантуре.

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок»

В результате освоения дисциплины «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок» обучающийся должен:

### **знать:**

основные понятия, связанные с процессами формирования и исследования полупроводниковых пленок, с основными физическими явлениями в пленочных системах, с условиями реализации квантовых и классических размерных эффектов в полупроводниковых пленках.

### **уметь:**

применять полученные знания для анализа параметров и характеристик пленочных объектов, использовать физические законы для предсказания поведения физических параметров полупроводниковых систем в составе сложных композиций, оперировать физическими и технологическими терминами и величинами, анализировать задачи по реализации классических и квантовых размерных эффектов в пленках.

### **владеть:**

информацией об областях применения полупроводниковых пленок и сверхрешеток; практическими приемами при работе с пленочными структурами электроники; методами измерения основных электрических параметров полупроводниковых пленок.

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел Дисциплины	Курс	Неделя	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, и трудоемкость (в часах) Форма обуч.: очная/заочная					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям) Форма промежуточной аттестации
				Лекций	Лабораторных	Практических	Сам. работа	Контроль сам. работы	
1	Тема 1	1	1	2			10		реферат
2	Тема 2	1	2,3				14		реферат
3	Тема 3	1	4,5				14		реферат
4	Тема 4	1	6,7				14		Контрольная работа №1
5	Тема 5	1	8,9	2/1			12/13		реферат
6	Тема 6	1	10,11				14		реферат
7	Тема 7	1	12,13				14		Контрольная работа №2
8	Тема 8	1	14,15	2/1			10/11		реферат
				<b>6/4</b>			<b>102/104</b>		<b>зачет</b>

#### Содержание дисциплины

##### Тема 1.

Предмет, цели и задачи курса. Основная терминология. Роль пленочного материаловедения в современном технологическом процессе. Общая характеристика методов формирования пленок. Особенности эпитаксиального роста полупроводниковых пленок. Критическое соотношение параметров пленки и подложки.

##### Тема 2.

Процессы эпитаксиального роста полупроводниковых пленок. Механизмы роста. Механизм Фольмера-Вебера. Механизм Франка и Ван-дер-Мерве. Механизм Крастанова-Странского. Методы определения кристаллического совершенства полупроводниковых пленок.

##### Тема 3.

Кинетические явления в полупроводниковых пленках. Особенности размерных явлений в 2-D системе. Модель Фукса-Зонгмейера проводимости тонких пленок. Зависимость удельного сопротивления полупроводниковых пленок от толщины. Примеры реализации. Зависимость подвижности носителей заряда от толщины.

**Тема 4.** Квантовые размерные эффекты в полупроводниковых пленках. Осцилляции кинетических эффектов в зависимости от толщины. Модель «электрон в ящике». Зависимость плотности состояний от толщины пленки. Примеры расчета ширины запрещенной зоны для полупроводниковых пленок в зависимости от толщины.

#### **Тема 5.**

Классические методы определения концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниковых пленках. Особенности проведения холловских измерений на пленочных структурах. Требования к контактам. Методы определения омичности контактов.

#### **Тема 6.**

Влияние неоднородности по толщине на результаты измерений классическими методами. Двухслойная модель Петрица как способ описания простейших неоднородностей.

**Тема 7.** Специальные методы диагностики электрических параметров полупроводниковых пленок. Достоинства и недостатки зондовых методов анализа. Четырехзондовый метод определения удельного сопротивления полупроводниковых пленок. Четырехзондовый метод магнитосопротивления.

**Тема 8.** Трехзондовый метод. Пятизондовый метод. Исключение роли подложки при анализе данных электрических измерений. Методы определения профиля распределения удельного сопротивления по толщине пленки.

### **5. Образовательные технологии**

В преподавании используются мультимедийные презентации, иллюстрации, таблицы, методические пособия. Знакомство с экспериментальными установками проводится на базе ЦКП «Диагностика микро- и наноструктур». В преподавании курса используются активные и интерактивные технологии проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой. Аспиранты имеют возможность посещать компьютерный класс, выходят в Интернет в зоне Wi-Fi, организованной в университете.

### **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

В качестве средств текущего контроля используется 2 контрольных работы, а также написание в течение семестра 1 реферата на выбранную тему. Итоговая форма контроля (зачет) дает возможность выявить уровень профессиональной подготовки аспиранта по данной дисциплине.

#### **Контрольная работа № 1**

Охарактеризуйте основные физические закономерности, сопровождающие изменение параметров полупроводниковых пленок при изменении толщины.

#### **Контрольная работа № 2**

Дайте характеристику базовым методам измерения электрических параметров полупроводниковых пленок.

### **Темы рефератов**

1. Требования к подложкам для оптимального эпитаксиального роста.
2. Механизм Фольмера-Вебера.
3. Механизм Франка и Ван-дер-Мерве.
4. Механизм Крастанова-Странского
5. Классические размерные эффекты в полупроводниковых пленках.
6. Квантовые размерные эффекты в полупроводниковых пленках
7. Достоинства и недостатки двухслойной модели Петрица.
8. Приемы учета электрических свойств подложки при анализе измерений пленочных систем.

### **Вопросы к аттестации (зачету)**

1. Роль пленочного материаловедения в современном технологическом процессе.
2. Общая характеристика методов формирования пленок.
3. Особенности эпитаксиального роста полупроводниковых пленок. Соотношение параметров пленки и подложки.
4. Процессы эпитаксиального роста полупроводниковых пленок. Механизмы роста.
5. Механизм Фольмера-Вебера.
6. Механизм Франка и Ван-дер-Мерве.
7. Механизм Крастанова-Странского.
8. Методы определения кристаллического совершенства полупроводниковых пленок.
9. Кинетические явления в полупроводниковых пленках. Особенности размерных явлений в 2-D системе.
10. Модель Фукса-Зонгмейера проводимости тонких пленок.
11. Зависимость удельного сопротивления полупроводниковых пленок от толщины. Примеры реализации.
12. Зависимость подвижности носителей заряда от толщины.
13. Квантовые размерные эффекты в полупроводниковых пленках. Осцилляции кинетических эффектов в зависимости от толщины.
14. Модель «электрон в ящике». Зависимость плотности состояний от толщины пленки.
15. Примеры расчета ширины запрещенной зоны для полупроводниковых пленок в зависимости от толщины.
16. Классические методы определения концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниковых пленках.
17. Особенности проведения холловских измерений на пленочных структурах.
18. Требования к контактам. Методы определения омичности контактов.
19. Влияние неоднородности по толщине на результаты измерений классическими методами. Двухслойная модель Петрица.
20. Специальные методы диагностики электрических параметров полупроводниковых пленок. Достоинства и недостатки зондовых методов анализа.
21. Четырехзондовый метод определения удельного сопротивления полупроводниковых пленок.
22. Четырехзондовый метод магнитосопротивления.
23. Трехзондовый метод. Пятизондовый метод.
24. Методы определения профиля распределения удельного сопротивления по толщине пленки.

### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

- а) основная литература:

- Бочкарева Л.В., Зимин С.П. Явления переноса в полупроводниковых пленках. Уч. пособие, ЯрГУ, 1985.

- Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.

б) дополнительная литература:

- Технология тонких пленок. Под ред. Майсела Л., Глэнга Р., М.: Сов. радио, 1977, Т.1, Т.2.

- Зимин С.П. Измерение параметров пленочных структур. МУ, ЯрГУ, 2004.

- Кравченко А.Ф., Митин В.В., Скок Э.М. Явления переноса полупроводниковых пленках.

- Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках. М.: Мир, 1972.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- для демонстрации презентаций используются программы *Windows* и *MS Office*.

- в качестве вспомогательных **интернет-ресурсов** по дисциплине используется электронная библиотека ЯрГУ, электронная библиотека e-library.

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- компьютер и мультимедийный проектор;

- набор электронных презентаций и схем по курсу.

Программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) (приказ Минобрнауки от 16.03.2011 г. № 1365) с учетом рекомендаций, изложенных в письме Минобрнауки от 22.06.2011 г. № ИБ – 733/12.

Программа одобрена на заседании кафедры микроэлектроники

16.10.2012 (протокол № 2)

Заведующий кафедрой

Рудый А.С., доктор физико-математических наук, профессор

Автор

Зимин С.П., доктор физико-математических наук, профессор