

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета БГУ

_____ В.М. Анищик

___26.06.2009_____

Регистрационный № УД- 2029/баз.

**ИОННО-РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ
МАТЕРИАЛОВ**

**Учебная программа для специальности
1-31 04 01 Физика (по направлениям)
(1-31 04 01-01 научно-исследовательская деятельность)**

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.С. Просолович — доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

П.П. Петров — ведущий научный сотрудник Научно производственного центра НАН Беларуси по материаловедению, доктор физико-математических наук, профессор (т.е. один обязательно должен быть сотрудником внешней организации);

С.С. Сидоров — доцент кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент (т.е. второй обязательно должен быть сотрудником «чужой» кафедры)

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 5 от 27 мая 2009);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 26 июня 2009);

Ответственный за редакцию: **В.С. Просолович**

Ответственный за выпуск: **В.С. Просолович**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа "Ионно-радиационные методы модификации материалов " разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям).

Целью курса является формирование у студентов основных представлений об использующихся в настоящее время в электронике ионно-радиационных технологиях модификации материалов, развитие полученных знаний и навыков для последующей работы в области модификации материалов полупроводниковой электроники при помощи ионно-радиационных воздействий, формирование у будущих специалистов основополагающих принципов оценки возможности использования соответствующих технологий для разработки методов создания конкретных элементов и устройств электронной техники.

Центральное место в проблеме производства и качества продукции занимают современные технологические процессы, которые в настоящее время определяют развитие электронной отрасли промышленности. Разработка и освоение в производстве новых технологий, среди которых ведущее место занимают ионно-радиационные, является необходимым условием научно-технического прогресса в области микроэлектроники. В связи с этим глубокое понимание физической сущности процессов, происходящих в полупроводниковых материалах и структурах на их основе, является необходимым условием успешной профессиональной деятельности специалиста, имеющего квалификацию «Физик. Исследователь», работающего в области физики полупроводниковых материалов и приборов.

В данном курсе рассмотрены физические принципы и явления, лежащие в основе современных ионно-радиационных технологий, применяемых в микроэлектронике, как наиболее наукоемкой отрасли производства. Даны основные понятия ионной технологии твердых тел и ее основные параметры, физические основы катодного распыления, методы ионного распыления, технологические особенности ионно-плазменного распыления, трансмутационного легирования, корректировки эксплуатационных параметров полупроводниковых приборов ионизирующими излучениями. Анализируются достоинства и недостатки каждого из методов, их применимость для реализации в конкретных видах полупроводниковых приборов в зависимости от их электрофизических, оптических, рекомбинационных, магнитных свойств.

Студенты должны знать основы зонной теории полупроводников, статистическую физику полупроводников, физику явлений, происходящих в полупроводниковых материалах при облучении частицами высоких энергий, электрофизические, оптические, рекомбинационные и парамагнитные свойства радиационных дефектов, кинетики их генерации, трансформации, перестройки и отжига, уметь определять основные направления развития современного радиационного материаловедения.

Материал курса основан на знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах по электричеству, оптике, атомной физике, квантовой механике, спецкурсах по зонной теории полупроводников и статистической физике полупроводников. Он является базовым для последующих спецкурсов по физике полупроводниковых приборов и физике низкоразмерных структур.

Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Общее количество часов – 78; аудиторное количество часов — 26, из них: лекции — 20, контролируемая самостоятельная работа — 6. Форма отчётности — экзамен .

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Контролируемая самостоятельная работа	Всего
1.	Радиационное дефектообразование в полупроводниках	4	2	6
2.	Технологии использования радиационных дефектов	2		2
3	Физические основы ионного легирования полупроводников	8	2	10
4.	Ионно-радиационный синтез материалов	6	2	8
	Итого	20	6	26

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Радиационное дефектообразование в полупроводниках

Процессы образования первичных радиационных дефектов в полупроводниках. Классификация радиационных дефектов. Пороговая энергия образования радиационных дефектов. Модельные представления о процессах образования первичных дефектов и подпороговые эффекты. Классификация радиационных дефектов. Точечные дефекты. Подвижность вакансий и междоузельных атомов. Реакции в кристаллах и процессы диффузии. Энергия активации радиационных процессов. Процессы аннигиляции вакансий и междоузельных атомов. Разупорядоченные области и разупорядоченные слои. Радиационно-управляемая диффузия. Принципы и приемы радиационного управления диффузией в полупроводниках. Управление свойствами кристаллов.

2. Технологии использования радиационных дефектов.

Управление электрофизическими параметрами полупроводников. Локальные уровни. Применение разупорядоченных слоев. Взаимодействие радиационных дефектов с примесями, термодфектами и дислокациями.. Границы раздела двух фаз как сток для подвижных радиационных дефектов. Типы радиационных дефектов при облучении полупроводников тяжелыми частицами. Разупорядоченные области: образование и свойства.

3. Физические основы ионного легирования полупроводников

Понятие ионной имплантации и ее основные параметры. Упругие и неупругие взаимодействия ионов с твердым телом. Функция вероятности распределения ионов по глубине. Накопление и трансформация дефектов при облучении ионами. Распределение дефектов по глубине. Механизмы аморфизации при бомбардировке кристаллов ионами. Сопутствующие факторы, действующие при внедрении больших доз ионов. Профили примесей при различных дозах и плотностях тока пучка ионов. Структурные изменения в слоях при облучении. Радиационный отжиг. Стимулированные облучением синтез и кристаллизация. Структурные изменения в слоях при термическом отжиге. Высокотемпературная электрическая активация имплантированных примесей. Лазерный отжиг. Основные факторы, действующие на имплантированные слои при лазерном отжиге. Быстрый термический отжиг. Прибор-

ные структуры, полученные на полупроводниковых соединениях при помощи ионного внедрения.

4. Ионно-радиационный синтез материалов.

Основные методы синтеза пленок и соединений с помощью ионных и молекулярных пучков. Синтез соединений путем ионного внедрения компонентов в промежуточный слой. Осаждение пленок из ионных пучков. Эпитаксия из молекулярных пучков. Ионная имплантация диэлектриков и полимеров. Технологические особенности ионно-плазменного распыления. Плазмохимическое распыление. ВЧ- распыление. Магнетронное распыление. Электронно-лучевое напыление тонких пленок. Физические основы ядерного трансмутационного легирования, понятие о ядерных реакциях. Возможности и недостатки метода ядерного легирования.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемые формы контроля знаний

1. Тестовые задания
2. Реферативные работы

Рекомендуемые темы тестовых заданий

1. Процессы генерации, трансформации, аннигиляции и отжига радиационных дефектов в полупроводниках.
2. Ионная имплантация – один из основных видов радиационной модификации материалов.
3. Синтез новых материалов при помощи ионно-радиационных воздействий.

Рекомендуемые темы реферативных работ

1. Методы исследования радиационных дефектов в полупроводниках.
2. Основные виды точечных радиационных дефектов в кремнии.
3. Основные виды точечных радиационных дефектов в германии.
4. Особенности радиационного дефектообразования в полупроводниковых соединениях.
5. Физическая природа энергии активации отжига радиационных дефектов.
6. Виды отжига: изохронный и изотермический, их особенности.
7. Применение метода высокотемпературного облучения для регулировки параметров полупроводниковых приборов.
8. Методы создания материалов с высокой радиационной стойкостью.
9. Методы исследования распределения примесей и дефектов в ионно-имплантированных слоях.
10. Методы исследования структуры ионно-имплантированных слоев.
11. Основные виды установок, применяемых для ионного легирования.
12. Ионная имплантация кластеров как один из методов в нанотехнологиях.
13. Синтез соединений с помощью ионного внедрения.
14. Эпитаксия из молекулярных пучков.
15. Ядерное легирование кремния.
16. Ядерное легирование германия.
17. Ядерное легирование бинарных соединений.
18. Возможности и недостатки метода ядерного легирования полупроводников.
19. Осаждение пленок из ионных пучков.

20. Синтез соединений путем ионного внедрения в промежуточный слой.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Вопросы радиационной технологии полупроводников / Под ред. Л.С.Смирнова — Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1980. — 296 с.
2. Физические процессы в облученных полупроводниках / Под ред. Л.С.Смирнова — Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1977. — 256 с.
3. Аброян, И.А. Физические основы электронной и ионной технологии / И.А. Аброян, А.Н. Андронов, А.И. Титов. — М.: Высшая школа, 1984. — 320 с.
4. Легирование полупроводников методом ядерных реакций / Под ред. Л.С.Смирнова — Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1981. — 182 с.
5. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники / И.П.Степаненко — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. — 488 с.

Дополнительная

1. Блат, Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах / Ф.Блат — М.: Мир, 1971. — 256 с.
2. Верещагин, В.А., В.В. Журавлев Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия / В.А.Верещагин, В.В. Журавлев — Мн.: Высш. Шк., 1991. — 206 с.
3. Бринкевич Д.И. Редкоземельные элементы в монокристаллическом кремнии / Д.И. Бринкевич, С.А. Вабищевич, В.С. Просолович, Ю.Н. Янковский — Новополоцк: ПГУ, 2003. — 204 с.
4. Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. II Междунар. науч. конф., Минск, 5-6 окт. 2006 г. / редкол.: В.Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2006. — 259 с. — (Вузовская наука, пром-сть, междунар. сотрудничество).