

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

А.М. Ефремов, В.И. Светцов, В.В. Рыбкин

## **ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

Учебное пособие

Допущено учебно-методическим объединением по образованию в области химической технологии и биотехнологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология монокристаллов, материалов и изделий электронной техники»

Иваново 2006

УДК

Вакуумно-плазменные процессы и технологии: Учеб. пособие/А.М. Ефремов, В.И. Светцов, В.В. Рыбкин; ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2006. 260 с. ISBN 5-9616-0155-2

Рассмотрены процессы образования активных частиц в плазме и их взаимодействия с поверхностью твердого тела, а так же технологические применения неравновесной плазмы для травления и модификации полимерных и неорганических материалов. Пособие предназначено для студентов специальности «Химическая технология монокристаллов, материалов и изделий электронной техники» и может быть полезно для студентов и аспирантов, специализирующихся по технологии микроэлектроники и в смежных областях.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГОУВПО Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

Д.х.н., профессор Гиричев Георгий Васильевич

Д.т.н., профессор Семенов Владимир Константинович

Редактор В.Л. Родичева

© ГОУВПО Ивановский  
государственный  
химико-технологический  
университет,  
2006

Подписано в печать 28.03.2006. Формат 60х84 1/16. Бумага писчая. Усл. печ. л. 15,11. Уч.-изд. л. 16,77

Тираж 150 экз. Заказ

ГОУВПО Ивановский государственный химико-технологический  
университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и  
финансов ГОУВПО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b>	3
<b>Введение</b>	4
<b>Глава 1. Физические и химические свойства плазмы</b>	6
1.1. Плазма: основные понятия и свойства. Место плазменных процессов в технологии микроэлектроники	6
1.2. Физические свойства плазмы: квазинейтральность, дебаевский радиус, плазменная частота	9
1.3. Процессы под действием электронного удара. Энергетическое распределение электронов	12
1.4. Уравнение непрерывности. Кинетика и концентрации активных частиц в плазме	20
1.5. Дрейфовое движение электронов и ионов в плазме	35
1.6. Диффузия заряженных частиц. Плавающий потенциал	37
1.7. Пространственные распределения концентраций частиц в плазме. Баланс вкладываемой мощности и параметры плазмы	47
1.9. Заключение	63
1.9. Контрольные вопросы	64
<b>Глава 2. Основные виды электрического разряда в газе и их применение в технологии</b>	65
2.1. Несамостоятельный газовый разряд. Условия развития самостоятельного разряда	66
2.2. Тлеющий разряд постоянного тока. Особенности катодных областей тлеющего разряда	73
2.3. Периодические разряды. Плазма ВЧ и СВЧ разрядов	80
2.4. Плазма электрон-циклотронного резонанса (ЭЦР – плазма)	93
2.5. Дуговой разряд	99
2.6. Искровой разряд	102
2.7. Коронный разряд	104
2.8. Заключение	105
2.9. Контрольные вопросы	106
<b>Глава 3. Физико-химические основы процессов взаимодействия активных частиц плазмы с поверхностью</b>	108
3.1. Классификация процессов взаимодействия активных частиц плазмы с поверхностью	108
3.2. Физика процессов распыления материалов при ионной бомбардировке	110
3.3. Гетерогенные химические реакции в условиях ННГП: основные понятия и подходы к анализу	114
3.4. Кинетика взаимодействия ХАЧ с поверхностью	119
3.5. Взаимосвязь объемных параметров плазмы и кинетики процессов на поверхности	127
3.6. Закономерности и особенности взаимодействия плазмы галогенсодержащих газов с металлами и полупроводниками	135

3.7. Заключение	146
3.8. Контрольные вопросы	147
<b>Глава 4. Процессы и технологии плазменной обработки неорганических материалов</b>	148
4.1. Место и роль плазмохимических и ионно-плазменных процессов в технологии производства интегральных микросхем	148
4.2. Технологические требования и параметры, характеризующие процесс травления	150
4.3. Рабочие газы для плазменного травления	151
4.4. Плазменное травление (ПТ)	154
4.5. Радикальное травление (РТ)	164
4.6. Ионно-плазменное травление (ИПТ)	171
4.7. Реактивное ионно-плазменное травление (РИПТ)	178
4.8. Ионно-лучевое травление (ИЛТ)	186
4.9. Реактивное ионно-лучевое травление (РИЛТ)	195
4.10. Радиационно-стимулированное травление (РСТ)	200
4.11. Заключение	209
4.12. Контрольные вопросы	210
<b>Глава 5. Плазменная обработка полимерных материалов</b>	215
5.1. Применение полимеров в технологии микроэлектроники и требования к ним	216
5.2. Зависимости скоростей травления от параметров плазмы и типа полимера	222
5.3. Плазменная модификация поверхности полимерных материалов	227
5.4. Прикладные аспекты плазменной обработки полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и материалов на их основе	229
5.5. Заключение	234
5.6. Контрольные вопросы	235
<b>Глава 6. Методы контроля параметров плазмы, плазмохимических и ионно-плазменных процессов</b>	236
6.1. Общие положения	236
6.2. Метод зондов Лангмюра	238
6.3. Масс-спектрометрия	242
6.4. Оптико-спектральные методы	245
6.4.1. Абсорбционная спектроскопия	246
6.4.2. Эмиссионная спектроскопия	249
6.5. Контроль по изменению электрофизических параметров плазмы	255
6.6. Заключение	257
6.7. Контрольные вопросы	257
<b>Список литературы</b>	258
<b>Содержание</b>	259