

В. П. ПАРХУТИК В. А. ЛАБУНОВ

ПЛАЗМЕННОЕ
АНОДИРОВАНИЕ
ФИЗИКА, ТЕХНИКА,
ПРИМЕНЕНИЕ
В МИКРО—
ЭЛЕКТРОНИКЕ



МИНСК
«НАВУКА І ТЭХНІКА»
1990

УДК 539.216.2+621.382.049.77 : 533.9

Пархутик В. П., Лабунув В. А. **Плазменное анодирование: Физика, техника, применение в микроэлектронике.**— Мн.: Навука і тэхніка, 1990.— 280 с.— ISBN 5-343-00522-5.

Рассмотрены проблемы физики, техники и применения в технологии микроэлектроники процессов плазменного анодирования металлов и полупроводников. Приведены результаты исследований кинетики процессов плазменного анодирования, физической природы этих процессов, структуры и электрофизических свойств тонких пленок, получаемых методами анодирования. Важное место занимает описание применения таких пленок в технологии микроэлектроники.

Книга рассчитана на специалистов в области электронной техники, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Табл. 15. Ил. 89. Библиогр.: 555 назв.

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук Ф. Ф. Комаров,
д-р техн. наук И. Н. Сорокин

16040110000—145

П—53—90

МЗ16(03)—90

ISBN 5-343-00522-5

© В. П. Пархутик, В. А. Лабунув,
1990.

БВ 43577

БІБЛІЯТЭКА
АЧ БССР

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Техника получения оксидных пленок в кислородной плазме разных видов и методы исследования свойств плазменных оксидов	
1.1. Основные понятия, используемые в области плазменного окисления металлов и полупроводников	8
1.2. Анализ исследовательского и технологического оборудования для проведения процессов плазменного анодирования и оксидирования	9
1.2.1. Устройства с плазмой ВЧ разряда	10
1.2.2. СВЧ системы плазменного анодирования	13
1.2.3. Устройства с плазмой дугового разряда	14
1.2.4. Устройства с плазмой тлеющего разряда	15
1.3. Принципы конструирования устройств для плазменного окисления металлов и полупроводников	18
1.3.1. Конструкция реакционной камеры устройства	19
1.3.2. Конструкция держателя образца	20
1.3.3. Электрический зонд для диагностики плазмы	21
1.3.4. Система управления устройством плазменного окисления, сбора и анализа экспериментальных данных	23
1.4. Методы исследования свойств кислородной плазмы	29
1.5. Методы исследования кинетики роста, химического состава, структуры и электрофизических свойств плазменных оксидов	30
1.5.1. Методы исследования толщины плазменных оксидов	30
1.5.2. Методы исследования структуры и морфологии оксидов	32
1.5.3. Методы исследования электрофизических свойств плазменных оксидов	34
2. Экспериментальные исследования процессов роста оксидных пленок на металлах и полупроводниках в плазме разных видов	
2.1. Кинетика плазменного анодирования металлов и полупроводников	42
2.1.1. Анодирование в гальваностатическом режиме	43
2.1.2. Анодирование в потенциостатическом режиме	45
2.1.3. Анодирование в потенциодинамическом режиме	48
2.1.4. Окисление изолированных образцов	49

2.2. Влияние параметров газового разряда на процесс анодирования	50
2.2.1. Давление кислорода	51
2.2.2. Ток разряда	54
2.2.3. Положение образца в зоне разряда	54
2.2.4. Температура подложки	55
2.2.5. Магнитное поле	57
2.2.6. Световое излучение	58
2.2.7. Материал подложки и особенности предварительной обработки	59
2.3. Роль электронов и отрицательных ионов кислорода при анодировании	60
2.4. Влияние примесей в газовой среде на процессы плазменного окисления	65
2.4.1. Пары воды	65
2.4.2. Инертные газы	67
2.4.3. Галогенсодержащие примеси	67
2.5. Распыление электродов генератора плазмы	69
2.6. Распыление оксида высокоэнергетичными частицами плазмы	73
2.7. Эффективность анодного тока при плазменном анодировании	76
3. Физические механизмы роста оксидных пленок при плазменном анодировании	
3.1. Обзор моделей плазменного анодирования металлов и полупроводников	81
3.2. Физические процессы в объеме кислородной плазмы	87
3.2.1. Кинетика элементарных реакций в кислородной плазме	87
3.2.2. Особенности кислородной плазмы, возбуждаемой в разных видах разрядов	92
3.3. Процессы на границе раздела оксид—плазма	97
3.3.1. Взаимодействие нейтральных частиц с поверхностью растущего оксида	98
3.3.2. Элементарные процессы на поверхности раздела оксид—кислородная плазма с участием заряженных частиц плазмы	104
3.4. Исследование механизма ионной миграции в растущем оксиде	109
3.4.1. Характер ионной миграции в оксидных пленках	109
3.4.2. Теоретическое описание процессов ионной миграции в плазменных оксидах	114
3.4.3. Модели ионной миграции в оксидах с учетом аморфности и неоднородности химического состава	124
3.5. Исследование механизмов электронной проводимости оксидов при плазменном окислении металлов и полупроводников	127
3.5.1. Квантово-механическое туннелирование	128
3.5.2. Эмиссия Шоттки	141
3.5.3. Горячие электроны в оксидных пленках	144
3.5.4. Эмиссия Пула—Френкеля	145

3.5.5. Токи, ограниченные пространственным зарядом	148
3.5.6. Одновременное проявление токов, ограниченных пространственным зарядом, и токов, определяемых эффектами Шоттки и Пула—Френкеля	153
3.5.7. Электрический пробой тонких оксидных пленок	156
3.5.8. Проводимость по дефектам в аморфных оксидных пленках	158
3.5.9. Идентификация механизмов электронной проводимости оксидов по заданным экспериментальным условиям	161
3.6. Модель плазменного оксидирования металлов и полупроводников	167
3.7. Теоретический анализ эффективности анодного тока при плазменном анодировании	173
3.8. Модель каталитического ускорения процессов плазменного анодирования	178

4. Свойства плазменных оксидных пленок

4.1. Свойства плазменных оксидов арсенида галлия	182
4.1.1. Химический состав оксидов	182
4.1.2. Граница раздела оксид — полупроводник	184
4.1.3. Термический отжиг оксидов	187
4.1.4. Некоторые методы улучшения химического состава оксидов и структуры границы раздела	188
4.1.5. Электрофизические свойства границы раздела оксид — полупроводник	190
4.1.6. Модели образования поверхностных состояний	195
4.1.7. Электронная проводимость и электрическая прочность	199
4.2. Собственные плазменные оксиды антимонида индия	200
4.3. Собственные плазменные оксиды фосфида индия	202
4.4. Собственные плазменные оксиды кремния	205
4.5. Плазменные оксиды силицидов тугоплавких металлов	209
4.6. Собственные плазменные оксиды тройных полупроводниковых соединений	211
4.6.1. Арсенид галлия—алюминия	211
4.6.2. Арсенид галлия—индия	212
4.6.3. Арсенид—фосфид галлия	213
4.6.4. Теллурид кадмия—ртути	213
4.7. Структуры несобственный плазменный оксид — полупроводник	218
4.7.1. Химический состав структур Al_2O_3 — полупроводник	218
4.7.2. Электрофизические свойства структур Al_2O_3 — полупроводник	219
4.8. Плазменное нитрирование полупроводников	222
4.9. Плазменные оксиды материалов криоэлектроники	225
4.10. Геометрические эффекты при формировании плазменных оксидов	228

5. Применение плазменных оксидов в микроэлектронике

5.1.	Формирование подзатворного диэлектрика МДП интегральных схем	233
5.1.1.	МОП транзисторы на кремнии	233
5.1.2.	МОП транзисторы на арсениде галлия	237
5.1.3.	МОП транзисторы с несобственным плазменным оксидом	239
5.2.	Пассивация поверхности полупроводниковых приборов меж-компонентная изоляция	242
5.3.	Тонкопленочные конденсаторы	244
5.4.	Переключающие элементы Джозефсона	246
	Заключение	249
	Литература	252



Научное издание

Пархутик Виталий Петрович
Лабунов Владимир Архипович

ПЛАЗМЕННОЕ АНОДИРОВАНИЕ: ФИЗИКА, ТЕХНИКА, ПРИМЕНЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Заведующая редакцией С. В. Машканова
Редактор В. Д. Макогонюк
Художник Л. И. Усачев
Художественный редактор Л. И. Усачев
Технический редактор В. И. Крученюк
Корректор Л. А. Воробей
ИБ № 3686

Печатается по постановлению РИСО АН БССР.
Сдано в набор 13.04.90. Подписано в печать
18.09.90. Формат 60×90^{1/4}. Бум. тип. № 1. Гар-
нитура литературная. Высокая печать. Усл. печ.
л. 17,5. Усл. кр.-отт. 17,5. Уч.-изд. л. 17,7. Тираж
1000 экз. Зак. № 897. Цена 2 р. 80 к.

Издательство «Навука і тэхніка» Академии наук
БССР и Государственного комитета БССР по пе-
чати. 220600. Минск, Жодипская, 18. Типография
им. Франциска Скорины издательства «Навука
і тэхніка». 220600. Минск, Жодинская, 18.