

БАКАЛАВРИАТ

С.А. Гаврилов, А.Н. Белов

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
В ТЕХНОЛОГИИ МИКРО-
И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com



УДК 544.6:621.3(075.8)

ББК 24.57я73

Г12

ФЗ
№ 436-ФЗ

Издание не подлежит маркировке
в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Гаврилов С.А., Белов А.Н.

Г12

Электрохимические процессы в технологии микро- и нанoeлектроники : учеб. пособие / С.А. Гаврилов, А.Н. Белов. — 2-е изд. — М. : РИОР : ИНФРА-М, 2019. — 240 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI://doi.org/10.12737/1063

ISBN 978-5-369-01299-4 (РИОР)

ISBN 978-5-16-009298-0 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-100019-9 (ИНФРА-М, online)

Книга посвящена научно-технологическим основам электрохимических процессов, применяемых в технологии микро- и наноструктур, которые интенсивно развиваются в последнее время.

В пособии приведены краткие сведения о законах и положениях теории электродного равновесия и электрохимической кинетики, рассмотрены механизмы формирования твердотельных микро- и наноструктур, особенности получения и применения пористого кремния, описаны электрохимические процессы в технологии МЭМС, процессы формирования барьерных и пористых анодных оксидов и их применение в микро- и нанотехнологии, процессы анодного окисления с помощью сканирующего зондового микроскопа, катодного осаждения металлов и полупроводников, их применение в технологии УБИС, МЭМС и нанотехнологии.

Предназначено для студентов, аспирантов, научных работников и инженеров.

УДК 544.6:621.3(075.8)

ББК 24.57я73

ISBN 978-5-369-01299-4 (РИОР)

ISBN 978-5-16-009298-0 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-100019-9 (ИНФРА-М, online)

© Гаврилов С.А.,
Белов А.Н.

СОДЕРЖАНИЕ

Список использованных сокращений.....	3
Предисловие.....	5
Введение.....	7
1 ЗАКОНЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	9
1.1. Предмет электрохимии. Основные понятия и определения.....	9
1.2. Электролитическая диссоциация.....	13
1.3. Электрическая проводимость растворов электролитов.....	15
1.4. Механизм образования ЭДС и природа электродного потенциала.....	18
1.5. Двойной электрический слой вблизи поверхности металлического электрода и его строение.....	22
1.6. Термодинамическое выражение для равновесного электродного потенциала.....	24
1.7. Диаграммы электрохимического равновесия.....	29
1.7.1. Диаграмма равновесия воды.....	30
1.7.2. Диаграмма потенциал–рН системы Cd–H ₂ O.....	32
1.7.3. Диаграмма потенциал–рН системы S–H ₂ O.....	34
1.8. Основные принципы кинетики электродных процессов.....	36
1.8.1. Стадии электрохимической реакции.....	36
1.8.2. Поляризация электродов и перенапряжение.....	38
1.8.3. Поляризация переноса заряда.....	41
1.8.4. Диффузионная поляризация.....	46
1.9. Полупроводниковые электроды в электрохимических процессах.....	49
1.10. Энергетические характеристики ячейки с полупроводниковым электродом.....	58
1.11. Методика построения энергетической диаграммы полупроводник–электролит.....	61
1.12. Кинетика электродных реакций на полупроводниковых электродах.....	62
1.13. Электрохимическое разложение и пассивность полупроводников.....	66

2 ПРОЦЕССЫ АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР 69

2.1. Анодное растворение полупроводников 71	
2.1.1. Анодное растворение кремния в электролитах, содержащих HF 72	72
2.1.2. Поляризационная кривая кремния в водном растворе HF ... 73	73
2.1.3. Зонная энергетическая диаграмма системы Si–водный раствор HF 74	74
2.1.4. Механизм окислительно-восстановительного процесса, определяющего состояние кремниевого электрода в растворах HF 77	77
2.1.5. Начальные стадии формирования пор 79	79
2.1.6. Электрохимическое равновесие в системе Si–HF–H ₂ O 89	89
2.1.7. Диффузионные ограничения массопереноса в системе por-Si–электролит 93	93
2.1.8. Анодное растворение в технологии кремниевых микро- и наноструктур 97	97
2.2. Анодное растворение кремния в щелочных электролитах 123	123

3 АНОДНЫЕ ОКСИДНЫЕ ПЛЕНКИ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР 129

3.1. Типы анодных оксидных пленок и электролиты для их получения 129	129
3.2. Закономерности образования барьерных анодных оксидов на поверхности металлов и полупроводников 130	130
3.3. Применение барьерных анодных оксидов в технологии микроэлектроники 135	135
3.3.1. Маскирование поверхности полуизолирующего GaAs перед ионной имплантацией 135	135
3.3.2. Выравнивание активных слоев арсенидгаллиевых ПТШ ... 137	137
3.3.3. Автография дефектных областей полуизолирующего GaAs 139	139
3.3.4. Применение барьерных анодных оксидов в технологии создания наноструктур. Метод локального зондового окисления 140	140
3.4. Пористый анодный оксид алюминия 156	156
3.4.1. Закономерности формирования пористого оксида алюминия 156	156
3.4.2. Электрохимический анализ строения и кинетики образования пористого анодного оксида алюминия 160	160
3.4.3. Фазовый состав анодных пленок пористого оксида алюминия 167	167
3.4.4. Диэлектрические свойства пористого оксида алюминия ... 169	169

3.4.5. Оптические свойства пористого оксида алюминия	171
3.4.6. Получение пористого оксида алюминия с высокой степенью упорядоченности структуры	174
3.4.7. Примеры применения пористого оксида алюминия.....	183
3.5. Пористые оксиды различных металлов	195
4 КАТОДНОЕ ОСАЖДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР	198
4.1. Физико-химические основы катодного осаждения материалов.....	198
4.2. Катодное осаждение меди в технологии УБИС.....	202
4.3. Катодное осаждение сплавов в технологии соединения элементов микросистем.....	207
4.4. LIGA-технологии	210
4.5. Осаждение наноразмерных кластеров металлов на поверхность полупроводников	211
4.6. Матричное (темплатное) осаждение нитевидных нанокристаллов на постоянном токе	214
4.7. Матричное (темплатное) осаждение нитевидных нанокристаллов в реверсивном режиме	227
Заключение	234
Список литературы	235