

УДК 621.3.049(075.8)
ББК 32.85
П16

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/6774/>

Факультет «Машиностроительные технологии»
Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Панфилов, Ю. В.

П16 Формирование функциональных слоев : учебное пособие / Ю. В. Панфилов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — 90, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5350-4

Дано описание основных физических явлений при воздействии ускоренных потоков электронов, ионов и газоразрядной плазмы на поверхность обрабатываемых изделий. Рассмотрены ключевые операции изготовления микро- и наноструктур: нанесение тонких пленок в вакууме, вакуумно-плазменное травление и ионная имплантация. Акцентировано внимание на взаимосвязи между характеристиками технологических операций и показателями качества получаемых микро- и наноструктур. Приведены физико-химические модели расчета основных режимов эионной обработки.

Для студентов, обучающихся по направлениям «Наноинженерия» и «Электроника и нанoeлектроника».

УДК 621.3.049(075.8)
ББК 32.85



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: info@baumanpress.ru

ISBN 978-5-7038-5350-4

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Основы электронных, ионных и плазменных технологий.	
Нанесение тонких пленок в вакууме	6
1.1. Потоки ускоренных частиц в качестве инструмента в электронных технологиях	7
1.1.1. Эффекты взаимодействия частиц с поверхностью твердого тела в зависимости от их энергии	7
1.1.2. Элионные операции при изготовлении интегральных микросхем	9
1.2. Нанесение тонких пленок в вакууме	10
1.2.1. Материалы и области применения тонких пленок	10
1.2.2. Классификация методов нанесения тонких пленок в вакууме	15
1.2.3. Термическое испарение материалов	18
1.2.4. Ионное распыление материалов	20
1.2.5. Осаждение тонких пленок методом взрыва	21
1.2.6. Осаждение тонких пленок методом дугового разряда	22
1.2.7. Ионное осаждение тонких пленок	22
1.2.8. Газофазное осаждение тонких пленок	23
1.2.9. Реактивное осаждение тонких пленок	23
1.2.10. Осаждение многокомпонентных пленок	24
1.2.11. Выбор метода нанесения тонкой пленки	25
1.2.12. Расчет режимов реактивного осаждения тонких пленок	26
Краткие выводы по разделу	27
Задания для самостоятельной работы и самоконтроля	28
2. Расчет режимов нанесения тонких пленок в вакууме	29
2.1. Структура тонкой пленки	30
2.1.1. Начальные стадии роста тонкой пленки	30
2.1.2. Молекулярно-кинетическая теория роста тонких пленок	31
2.1.3. Получение тонкой пленки с заданной структурой	35
2.2. Толщина пленки и ее неравномерность по диаметру подложки	36
2.2.1. Влияние толщины пленки на ее удельное сопротивление	36
2.2.2. Неравномерность толщины пленки. Закон Кнудсена	36
2.2.3. Расчет стехиометрического состава тонкой пленки	38
2.3. Однородность состава тонкопленочного покрытия	40
Краткие выводы по разделу	43
Задания для самостоятельной работы и самоконтроля	43

Оглавление

3. Вакуумно-плазменное травление и ионно-лучевая обработка	45
3.1. Вакуумно-плазменное травление	46
3.1.1. Области применения и классификация методов вакуумно-плазменного травления	46
3.1.2. Скорость травления	50
3.1.3. Погрешность травления	51
3.1.4. Материалы маски	53
3.1.5. Расчет погрешности ионного травления	54
3.1.6. Расчет погрешности ионно-химического травления	54
3.2. Ионно-лучевая обработка	55
3.3. Ионная имплантация	58
3.3.1. Сущность процесса ионного легирования материалов	58
3.3.2. Формирование моноизотопного пучка с заданной энергией	61
3.3.3. Расчет характеристик масс-сепаратора	63
3.3.4. Отклоняющие системы и приемные камеры	64
3.3.5. Расчет характеристик системы сканирования	66
3.4. Легирование полупроводников методом диффузии	66
Краткие выводы по разделу	69
Задания для самостоятельной работы и самоконтроля	69
4. Измерения и контроль в вакууме	71
4.1. Общие положения	71
4.2. Измерение скорости осаждения тонких пленок	72
4.3. Исследование характеристик поверхностных слоев и тонких пленок	75
Краткие выводы по разделу	83
Задания для самостоятельной работы и самоконтроля	83
5. Перспективы эллионных технологий	84
5.1. Парадоксы наноструктурных материалов	84
5.2. Области применения современных эллионных методов обработки материалов	87
Краткие выводы по разделу	89
Задания для самостоятельной работы и самоконтроля	89
Интернет-источники	89