

УДК 621.38.049.77:539.23(075.8)
В191

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *Н. И. Филимонова*

канд. техн. наук, ведущий инженер-технолог АО «НЗПП Восток» *В. П. Попов*

Васильев В. Ю.

В191

Методы и возможности *in-line* контроля тонкопленочных материалов в производстве субмикронных интегральных микросхем: учебное пособие / В. Ю. Васильев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2023. – 128 с.

ISBN 978-5-7782-4926-4

Пособие составлено на базе 40-летнего личного опыта работы автора на отечественных и зарубежных предприятиях микроэлектронной отрасли. Рассмотрена совокупность вопросов организации и использования в серийном производстве субмикронных интегральных микросхем (ИМС) методов непосредственного производственного (*in-line*) контроля тонкопленочных материалов – основы современных ИМС. Приведены примеры приборов контроля и возможностей их применения для характеристики процессов получения и свойств тонких пленок. Рассмотрены решения технологических задач с помощью *in-line* методов на примере важнейшего узла ИМС – диэлектрической планаризируемой изоляции между транзисторным уровнем (*FEOL*) и первым уровнем металлизации (*BEOL*) микросхем. Проанализирован подход к квалификации технологических процессов/оборудования для создания тонких пленок в производстве, изложены примеры проведения исследований технологической направленности. Показаны необходимость и возможности использования вместе с *in-line* методами также методов контроля *at-line* (в лабораториях вне производства) и *off-line* (в специализированных аналитических организациях). В пособии использованы и пояснены многочисленные англоязычные термины, принятые в технологиях и производстве интегральных микросхем.

Материал пособия может быть рекомендован для обучения бакалавров и магистрантов по направлениям 11.03.04 и 11.04.04 («Электроника и нанoeлектроника»), 28.03.01 и 28.04.01 («Нанотехнологии и микросистемная техника») в рамках семинаров по специальностям и по дисциплинам, связанным с преподаванием физико-химических основ технологических процессов изделий микроэлектроники, микросистемной техники, нанoeлектроники. Рекомендуется для магистрантов и аспирантов по специальности 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи», а также для технологов производства ИМС, исследователей в области нанотехнологий.

УДК 621.38.049.77:539.23(075.8)

ISBN 978-5-7782-4926-4

© Васильев В. Ю., 2023

© Новосибирский государственный
технический университет, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Вопросы для самопроверки по введению	12
Дополнительная литература по технологиям и маршрутам ИМС.....	12
Глава 1. Тонкие пленки в технологиях ИМС.....	13
1.1. Общие сведения.....	13
1.2. Краткие физико-химические основы ХОГФ	15
1.3. Основные методы ХОГФ в технологиях ИМС.....	16
1.4. Химические реакции формирования тонких пленок	18
1.5. Основные функциональные зависимости ХОГФ	19
1.6. Проблематика ХОГФ для технологий ИМС.....	22
Вопросы для самопроверки по главе 1	25
Дополнительная литература к главе 1	26
Глава 2. <i>In-line</i> контроль в технологиях ИМС.....	27
2.1. Общая информация	27
2.2. Общие требования к <i>in-line</i> методам контроля и оборудованию.....	31
2.3. Примеры методов и оборудования для <i>in-line</i> контроля тонких пленок в производстве ИМС.....	34
2.3.1. Измерение толщины тонких пленок (<i>thickness</i>).....	35
2.3.2. Измерение поверхностного сопротивления (<i>sheet resistance</i>)	36
2.3.3. Измерение поверхностной дефектности (<i>surface defects</i>)	38
2.3.4. Измерение механических напряжений (<i>stress measurement</i>)	40
2.3.5. Контроль состава тонких пленок (<i>composition, content</i>).....	42
2.3.6. Сканирующая зондовая микроскопия (<i>AFM</i>).....	44
2.3.7. Электрические измерения (<i>electrical</i>)	45
2.4. <i>At-line</i> методы анализа на предприятиях микроэлектроники.....	47
2.5. <i>Off-line</i> методы анализа.....	50
2.6. Использование результатов <i>in-line</i> контроля в производстве ИМС	53
2.6.1. Мониторинг технологических процессов.....	54
2.6.2. Концепция 6-сигма	56
2.6.3. Оценка техпроцессов по безразмерным индексам	60
Вопросы для самопроверки по главе 2.....	62
Дополнительная литература к главе 2.....	62

Глава 3. Пример решения технологических задач в производстве ИМС: квалификация процессов ХОГФ ТП	64
3.1. Общие сведения	64
3.2. Постановка задачи	67
3.3. Квалификация технологии ТП БФСС по опции 1	69
3.3.1. Оборудование для SACVD БФСС	69
3.3.2. Выбор методов контроля ТП БФСС	72
3.3.3. Характеризация процесса SACVD и ТП БФСС	73
3.4. Квалификация технологии по опции 2	81
3.4.1. Оборудование для APCVD БФСС	81
3.4.2. Характеризация процесса APCVD и ТП БФСС	83
3.4.3. Оценка варианта APCVD <i>liner oxide</i> для опции 2	83
Вопросы для самопроверки по главе 3	85
Дополнительная литература к главе 3	85
Глава 4. Пример решения системных исследовательских задач в производстве ИМС: дефектность ТП БФСС	87
4.1. Исходные данные, проблема и постановка задач	87
4.2. Направление и методология исследований	88
4.3. Кинетика роста и укрупнение дефектов БФСС	91
4.4. Внешний вид и классификация дефектов БФСС	93
4.5. Обобщение результатов	100
4.6. Оценка заряда в пленках БФСС <i>in-line</i> методом SPV	101
Вопросы для самопроверки по главе 4	103
Глава 5. Примеры решений частных технологических задач в производстве ИМС: оценка процессов ХОГФ и тонких пленок для ПМД в субмикронных ИМС	104
5.1. Общие сведения	104
5.2. Задачи и методология оценки процессов ХОГФ	105
5.3. Оценка заполнения пустот в БФСС при использовании RTA	107
5.4. Оценка модифицированных процессов SACVD БФСС	107
5.5. Оценка PECVD <i>liner oxide</i>	110
5.6. Оценка процесса получения SiO ₂ и ФСС в ПВП	112
Вопросы для самопроверки по главе 5	115
Библиографический список	116
Термины, аббревиатуры, определения	120