

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

ЧАСТЬ II

Учебно-методическое пособие

Составители: А. В. Тучин, А. Н. Шебанов,
Е. Н. Бормонтов

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Рассогласование элементов	6
1.1. Введение.....	6
1.2. Виды рассогласований элементов	6
1.3. Отклонения параметров процесса	7
1.3.1. Случайное рассогласование.....	8
1.3.2. Смещение масок.....	8
1.3.3. Глубина фокуса	9
1.3.4. Разброс критических размеров	10
1.3.5. Угол литографии	11
1.3.6. Перетрав.....	11
1.3.7. Затенение имплантации примеси	12
1.3.8. Уменьшение ширины канала	12
1.3.9. Эффект близости кармана	13
1.3.10. Боковая диффузия	14
1.3.11. Механические напряжения	14
1.3.12. Отклонения градиентов процесса	16
1.2.13. Прочие эффекты.....	16
1.3. Вопросы для самопроверки.....	17
2. Согласование	18
2.1. Введение.....	18
2.2. Базовые правила согласования	18
2.3. Метод корневого компонента	20
2.4. Перемешивание	22
2.5. Dummy - устройства.....	27
2.6. Согласование относительно общего центра (Common Centroid). 29	
2.7. Симметрия.....	31

1. Рассогласование элементов

1.1. Введение

Из данной главы вы узнаете:

- *почему схемотехническое и топологическое представления элементов не соответствуют реально изготавливаемым элементам схем;*
- *виды рассогласования элементов;*
- *что такое mismatch;*
- *основные действующие силы технологического процесса:*
 - *случайное рассогласование;*
 - *смещение масок;*
 - *глубина фокуса;*
 - *разброс критических размеров;*
 - *угол литографии;*
 - *недотрав/перетрав;*
 - *затенение имплантации;*
 - *уменьшение ширины канала;*
 - *эффект близости кармана;*
 - *боковая диффузия;*
 - *механические напряжения;*
 - *отклонения, определяемые градиентами процессов;*
 - *прочие эффекты.*

1.2. Виды рассогласований элементов

Выделяют два основных вида рассогласований элементов:

1. **глобальные – отклонения параметров устройств во всей микросхеме или в серии микросхем.** Глобальные отклонения ответственны за качество всей микросхемы, а не отдельных устройств. Например, отличие подвижностей электронов и дырок от пластины к пластине. Глобальные отклонения часто называются углами или *corners* и обычно могут быть промоделированы на уровне схемы;

2. **локальные отклонения (mismatch, рассогласование) – различие между двумя или более соседними компонентами в одной микросхеме.** Рассогласование может снизить качество, а в некоторых случаях послужить причиной функционального отказа всего устройства.

Отклонения определяются технологическим процессом и окружением устройств. Процесс не идеален и может являться причиной как глобальных, так и локальных отклонений. Устройства могут работать при различных условиях, что приведет к их рассогласованию. Необходимо учитывать температуру, шум, электромагнитные поля и т.д. Для устройств, требующих согласования, существенно, чтобы любые отклонения параметров были одинаковыми.

1.3. Отклонения параметров процесса

В схеме и топологии рассматривается идеальная геометрия устройств, например, ширина и длина затвора, пороговое напряжение, ширина и длина резистора, площадь и номинал конденсатора. При изготовлении размеры устройств могут отличаться от размеров масок. На уровне проектирования схемы и топологии невозможно контролировать различия элементов, которые возникнут в процессе изготовления. Основной задачей разработчиков является не устранение самих эффектов (за некоторым исключением), а уменьшение рассогласования, т.е. снижения влияния техно-

логического процесса на согласуемые устройства. Поэтому важно понимать основные эффекты процесса и применять специальные техники уменьшающие рассогласование. Далее рассмотрим основные движущие силы технологического процесса.

1.3.1. Случайное рассогласование

Случайное рассогласование характеризуется моделью, по которой рассогласование обратно пропорционально квадратному корню площади устройства:

$$M_r = 1/\sqrt{WL}.$$

Традиционным приближением является увеличение ширины W и длины L устройства для снижения рассогласования до допустимого уровня.

1.3.2. Смещение масок

Смещение масок (*mask misalignment, mask shift*) возникает, когда одна или более масок сдвигаются относительно масок, использованных на предыдущих этапах изготовления. Даже малое смещение может приводить к рассогласованию устройств. На рис. 1.1 показана топология устройства без смещения масок и со смещением всех масок относительно маски активных областей (слои *DIFF* или *ACTIVE*). Можно заметить, что соотношение площадей стока и истока изменились, следовательно, транзистор перестал быть симметричным, его паразитные емкости сток-подложка и исток-подложка отличаются.

Может происходить катастрофическое смещение масок, приводящее не только к рассогласованию, но и к появлению закороток или незамкнутых цепей.

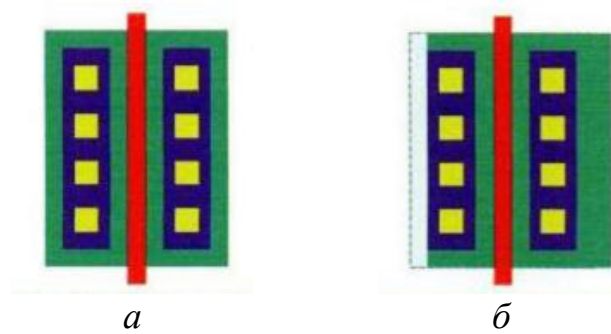


Рис. 1.1. Топология МОП транзистора: а – без смещения масок; б – со смещением всех масок относительно маски активных областей

1.3.3. Глубина фокуса

Литография – это процесс, в котором свет проецируется через линзу на поверхность пластины. Расстояние между источником света, линзой и пластиной строго контролируются, чтобы ее поверхность располагалась точно в фокальной плоскости линзы. Острая фокусировка обеспечивает точный перенос изображения маски. Все слои, располагающиеся ближе или дальше от фокальной плоскости, находятся не в фокусе. Ошибка в позиционировании пластины или не абсолютная планарность ее поверхности приведут к размытию изображения маски (рис. 1.2).

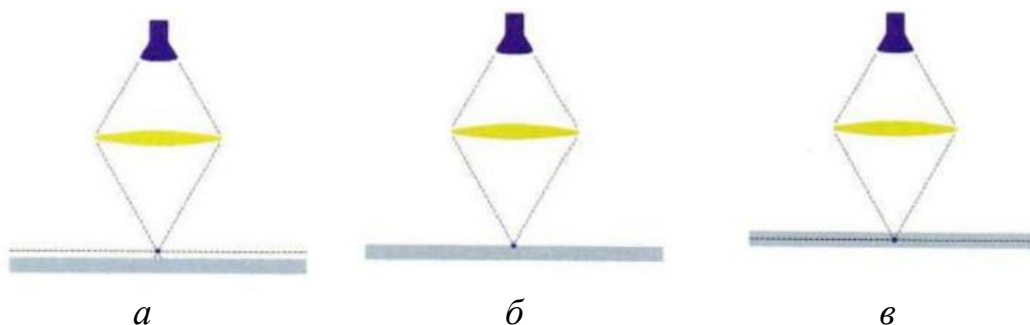








Рис. 1.2. Поверхность пластины: а, в – не в фокусе; б – в фокусе

1.3.4. Разброс критических размеров

Отличие размеров между компьютерными моделями устройств и реально изготовленными всегда есть и всегда будет. Различия определяются артефактами литографии и процесса изготовления. Если проводники оказались шире или уже, чем ожидалось, то изменится их паразитное сопротивление и паразитная емкость между ними. Экстракция паразитных элементов не будет отражать подобных отклонений, что приведет к несоответствию моделирования электрической схемы результатам измерения изготовленной микросхемы. Поскольку геометрия одних устройств будет отличаться от геометрии других, отклонения критических размеров могут оказывать существенное влияние на согласование элементов. Абсолютные значения отклонений критических размеров почти не зависят от размеров устройств, поэтому относительная погрешность воспроизведения размеров увеличиваются с уменьшением размеров элементов. Поэтому их сложнее контролировать в устройствах, выполненных по минимальным топологическим нормам (таблица 1.1).

Т а б л и ц а 1.1

Сравнение ширины поликремния в топологии и после изготовления (W_{eff} , W_{layout} – эффективная ширина прямоугольника и заложенная в топологии)

Изображение		
в топологии		
на кремнии		
эффективное		
$W_{eff}/W_{layout} * 100, \%$	86	64