

Государственный комитет РСФСР
по делам науки и высшей школы
Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МДП-МИКРОСХЕМ

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 1991

Составители: М.Н.Пиганов, В.Д.Дмитриев,
М.А.Леднев

УДК 621.382.82

Исследование конструкций полупроводниковых МДП-микросхем: Метод. указ. к лаборатор. работе / Самар. авиац. ин-т; Сост. М.Н.Пиганов, В.Д.Дмитриев, М.А.Леднев. Самара, 1991. 12 с.

Дается анализ конструкций полупроводниковых интегральных микросхем на МДП-транзисторах, их элементов, структур, методов изоляции. Предлагается определить разновидности конструкций МДП-транзисторов интегральных микросхем; воспроизвести топологический чертеж и структуру кристалла, схему технологического процесса изготовления МДП интегральных микросхем, рассчитать степень интеграции и определить плотность упаковки элементов.

Рекомендуются студентам спец. 23.03. Составлены на кафедре "Микроэлектроника и технология РГА".

Печатается по решению редакционно-издательского совета
ордена Трудового Красного Знамени авиационного
института имени академика С.П.Королева

Рецензент В.И.С о к о л о в

Ц е л ь р а б о т ы - анализ и изучение конструкции полупроводниковой интегральной микросхемы (ИМС) на МДП-структурах, ее элементов и топологии.

З а д а н и я :

1. Провести анализ конструкции ИМС на МДП-транзисторах, ее элементов.

2. Воспроизвести структуру кристалла, топологию и принципиальную электрическую схему.

3. Составить схему топологического процесса изготовления ИМС на МДП-транзисторах.

4. Определить степень интеграции микросхемы, плотность компоновки элементов; ознакомиться с электрическими параметрами и условиями эксплуатации изученной ИМС.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ НА МДП-СТРУКТУРАХ

ИМС на транзисторах со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) получили широкое распространение, и их производство составляет значительную долю продукции электронной промышленности. ИМС на МДП-транзисторах характеризуются высокой плотностью компоновки элементов, малой мощностью рассеивания, высокой помехоустойчивостью и низкой стоимостью. В то же время большие интегральные схемы (БИС) на МДП-транзисторах уступают БИС на биполярных транзисторах в технологической воспроизводимости, стабильности параметров и быстродействию.

В случае, когда ИМС выполнена на транзисторах со структурой металл-оксид-полупроводник, ее называют ИМС на МДП-транзисторах или ИМС-МОП типа. Классификация микросхем по уровню интеграции и основные технологические преимущества ИМС на МОП-транзисторах по сравнению с ИМС на биполярных транзисторах приведены в табл. 1 и 2.

При изготовлении МДП ИМС используют те же технологические процессы, что и при изготовлении ИМС на биполярных транзисторах: окисление, фотолитография, диффузия, металлизация и т.д. Выполняют основные операции технологического процесса изготовления МДП ИМС в следующей последовательности;

- химическая обработка исходных пластин;
- окисление;
- 1-я фотолитография;
- химическая обработка;
- диффузия истока и стока;
- 2-я фотолитография;
- химическая обработка;
- создание подзатворного окисла;
- напыление алюминия;
- вжигание алюминия;
- 3-я фотолитография;
- напыление алюминия;
- 4-я фотолитография;
- ионное легирование;
- отжиг;
- контроль параметров;
- скрайбирование и ломка подложки на кристаллы;
- сборка.

Т а б л и ц а I

Классификация микросхем по уровням интеграции

Уровень интеграции	Число элементов и компонентов в одной микросхеме		
	Цифровые микросхемы		Аналоговые микросхемы
	на МДП-транзисторах	на биполярных транзисторах	
МИС	≤ 100	≤ 100	≤ 30
СИС	$> 100 \leq 1000$	$> 100 \leq 500$	$> 30 \leq 100$
БИС	$> 1000 \leq 10000$	$> 500 \leq 2000$	$> 100 \leq 300$
СБИС	> 10000	2000	> 300

П р и м е ч а н и е: МИС-малые интегральные микросхемы; СИС-средние интегральные схемы; БИС-большие интегральные схемы; СБИС-сверхбольшие интегральные схемы.

Т а б л и ц а 2

Сравнение базовых технологий МОП- и биполярных ИМС
по числу основных процессов

Основной процесс	Число процессов в производстве ИМС		Основной процесс	Число процессов в производстве ИМС	
	МОП	биполярных		МОП	биполярных
Диффузия	I	4...6	Маскирование	4...5	8
Эпитаксия	0	I	Высокотемпературный процесс	2	10

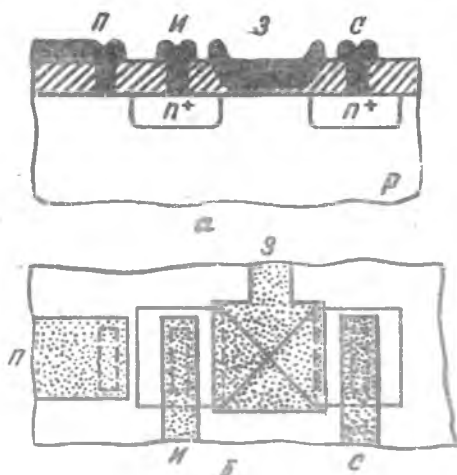
Для создания МДП ИМС требуется меньшее число операций, чем для создания ИМС на биполярных транзисторах. Основной трудностью при изготовлении МДП-транзисторов является необходимость получения достаточно качественной диэлектрической пленки, изолирующей затвор транзистора.

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

Транзисторы со структурой МДП представляет собой одну из разновидностей полевых транзисторов - активных полупроводниковых приборов в которых используются эффекты дрейфа основных носителей под действием продольного электрического поля и модуляции дрейфового тока поперечным электрическим полем. Действие полевых транзисторов основано на перемещении только основных носителей заряда в полупроводниковом материале.

МДП-транзистор имеет четыре электрода: исток, сток, затвор и подложку (рис. 1). Полупроводниковая область, от которой начинается дрейф основных носителей, называется и с т о к о м; область, в которой осуществляется дрейф основных носителей и амплитудная модуляция дрейфового тока, к а н а л о м; область, к которой под действием поля движутся основные носители - с т о к о м; металлическая или полупроводниковая область, используемая для создания модуляции дрейфового тока - з а т в о р о м.

Подложка выполняет роль конструктивной основы МДП-транзистора. Типовые структуры МДП-транзисторов показаны на рис. 2. В приповерхностном слое полупроводниковой подложки методом локальной диффузии

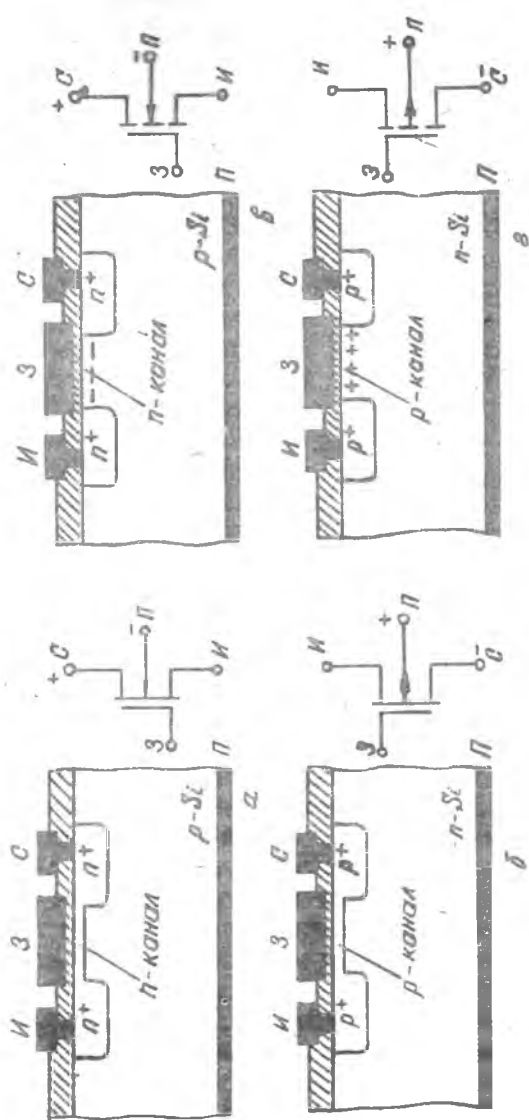


Р и с.1. Конструкция МДП-транзистора: а-структура; б-топология; и-исток; з-затвор; с-сток; п-подложка

МДП-транзисторы с n -каналом (см. рис.2, а, в) и p -каналом (см. рис.2, б, г). МДП-транзисторы, в которых тонкий n - или p -канал сформирован технологическим путем (ионное легирование), называют транзисторами с **встроенным каналом** (см. рис.2, а, б). В таких транзисторах под действием управляющего поперечного электрического поля, создаваемого напряжением на затворе, осуществляется модуляция проводимости и соответственно управление током, протекающим по каналу между истоком и стоком. Так, если в МДП-транзисторе с n -каналом (см. рис.2, а) к затвору относительно канала приложено положительное напряжение, то канал обогащается электронами, и увеличивается проводимость канала (режим обогащения). Наоборот, при отрицательном напряжении на затворе в канале у границы раздела кремний-оксид наблюдается обеднение электронами, и проводимость канала уменьшается (режим обеднения). В МДП-транзисторе с p -каналом (рис.2, б) в зависимости от полярности напряжения на затворе наблюдается обогащение ($U_z < 0$) или обеднение ($U_z > 0$) канала дырками.

МДП-транзисторы, в которых проводящий канал устанавливается под действием поперечного электрического поля между затвором и подложкой, называют транзисторами с **индуцированным каналом** (см. рис.2, в, г). Такие транзисторы работают

или ионного легирования формируют исток и сток МДП-транзистора, изолированные от подложки p - n -переходами. Между истоком и стоком технологическим путем (рис.2, а, б) или с помощью поперечного электрического поля, сосредоточенного в пространстве между полупроводником и затвором (рис.2, в, г), формируют проводящий канал. Тип носителей тока в канале (электроны или дырки) соответствует типу проводимости полупроводникового материала истока и стока. В зависимости от типа носителей



Р и с. 2. Структурн и условные обозначения МП-транзисторов: со
 втроенными л - (а) и р-каналами (б), с индуцированными
 л - (в) и р -каналами (г)

только в режиме обогащения. Для образования индуцированного канала в n -канальном транзисторе на затвор подает положительное напряжение. При этом поверхность полупроводника обогащается электронами и обедняется дырками. При вполне определенной напряжении на затворе происходит инверсия проводимости приповерхностного слоя полупроводника p -типа, и между истоком и стоком устанавливается n -канал. Проводимость канала модулируется изменением напряжения на затворе. В МДП-транзисторе с индуцированным p -каналом для образования канала на затвор подает отрицательное напряжение. При этом приповерхностная область подложки обедняется электронами и обогащается дырками - образуется инверсный p -слой.

В последнее время в ИМС и больших интегральных схем (БИМС) широко применяют n -канальные МДП-транзисторы, характеризующиеся повышенным быстродействием. В качестве исходной пластины берут кремний p -типа, в области истока и стока формируют сильно легированными фосфором слоями p -типа толщиной $0,1 \dots 0,2$ мкм на расстоянии $2 \dots 4$ мкм друг от друга. Между областями исток-сток на поверхности кремния формируют тонкий ($0,04 \dots 0,1$ мкм) слой оксида кремния.

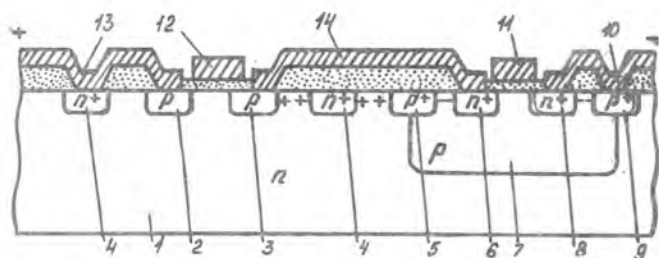
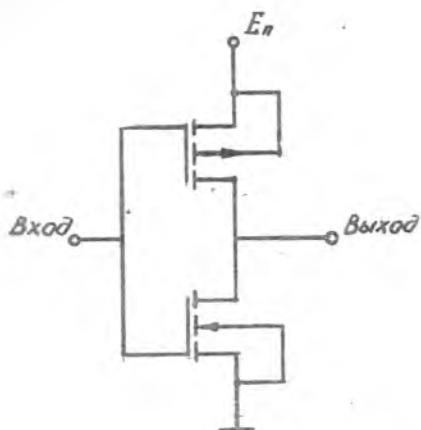
Комплементарные транзисторы (КМДП). Для создания некоторых типов логических схем используют комплементарные структуры. В их состав входят МДП-транзисторы с индуцированными каналами n - и p -типов, сформированные в одном кристалле (рис.3). В рассматриваемой конструкции МДП-транзисторы изолированы друг от друга: n -канальный МДП-транзистор расположен в изолированной p -области. Истоки каждого из транзисторов соединены с собственными подложками.

Основные преимущества КМДП-структур - минимальное энергопотребление и широкий диапазон напряжений питания.

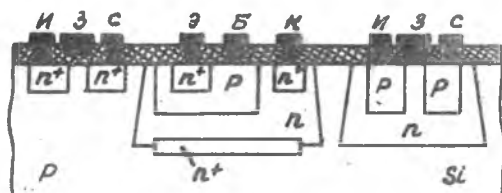
Комбинированные транзисторные структуры. Иногда необходимо сочетать в одном кристалле МДП-транзисторы с биполярными. В этом случае n -канальные транзисторы выполняют непосредственно в исходной пластине p -типа на этапе эмиттерной диффузии. На этапе базовой диффузии в изолирующих карманах создают p -канальные МДП-транзисторы (рис.4).

ВЫПОЛНЕНИЕ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МДП ИМС

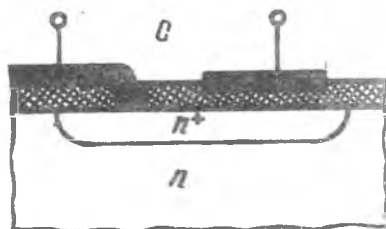
К о н д е н с а т о р ы. Конденсаторы со структурой МДП требуют изготовления тонкого слоя оксида кремния, такого же, как и у МДП-транзисторов. Конструктивное исполнение представляет собой трехслойную



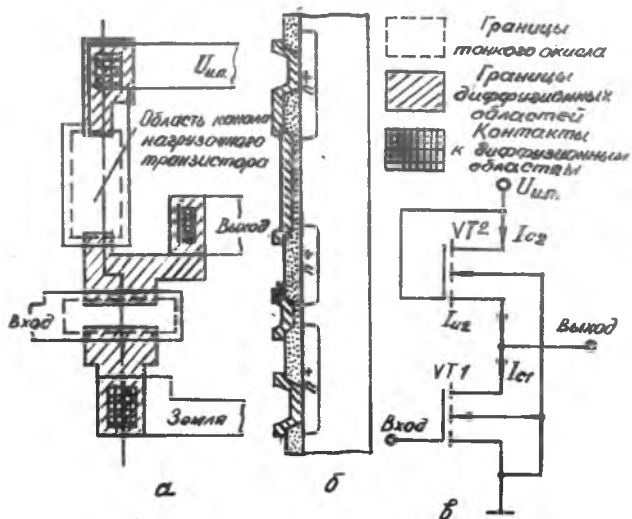
Р и с. 3. Схема электрическая принципиальная (а) и структура (б) КМОП-инвертора: 1-подложка n -типа; 2,3-исток и сток p -канального МДП-транзистора; 4-каналоограничивающая n^+ -область; 5,9-охранная (каналоограничивающая) p^+ -область; 6,8-сток и исток n -канального МДП-транзистора; 7-карман p -типа; 10-область соединения истока n -канального МДП-транзистора с карманом-подложкой; 11, 12-затворы n -канального и p -канального МДП-транзистора; 13-область соединения истока p -канального МДП-транзистора с подложкой; 14-коммутационный проводник



Р и с. 4. Сочетание биполярного и МДП-транзисторов в одном кристалле



Р и с. 5. Структура интегрального МДП-конденсатора



Р и с. 6. Фрагмент инвертора на МДП-транзисторах: а - топология; б - структура; в - схема электрическая принципиальная

структуру: металл-диэлектрик-полупроводник (рис.5). Для уменьшения сопротивления обкладки используют n^+ -слой.

Резисторы. В МДП ИМС в качестве резисторов обычно используют сами МДП-транзисторы, при этом их включают по схеме с общим стоком. На рис. 6 представлены топология, структура и электрическая принципиальная инвертора на МДП-транзисторах.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка содержит микроскоп МБС-9 и МИИ-4 и набор исследуемых МДП ИМС.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с заданием.
2. Получить полупроводниковую ИМС.
3. Провести анализ конструктивного выполнения ИМС и элементов.
4. Зарисовать топологию ИМС.
5. Воспроизвести структуру кристалла и схему электрическую принципиальную.
6. Составить схему технологического процесса изготовления изучаемой ИМС.
7. Определить степень интеграции и плотность компоновки элементов данной ИМС.
8. Сравнить технологию изготовления МДП-ИМС с технологией изготовления ИМС на биполярных транзисторах.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Схема электрическая принципиальная.
4. Топология ИМС.
5. Структура кристалла.
6. Расчет плотности упаковки и определение степени интеграции.
7. Структурная схема технологического процесса изготовления ИМС.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается ИМС на МДП-транзисторах от ИМС на биполярных транзисторах?
2. Нарисуйте структуру и топологию МДП-транзистора.
3. Чем отличается МДП-транзистор с индуцированным каналом от МДП-транзистора со встроенным каналом?
4. Составьте структурную схему технологического процесса изготовления комплементарных структур.
5. Каковы особенности изоляции элементов МДП ИМС?
6. Каковы преимущества и недостатки КМДП ИМС?
7. Нарисуйте структуру кристалла комбинированной ИМС.

Библиографический список

К о л е д о в Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.

Ч е р н я е в В.Н. Технология производства ИМС и микросборок. М.: Радио и связь. М., 1987. 464 с.

П о н о м а р е в М.Ф. Конструкции и расчеты микросхем и микроэлементов ЭВА. М.: Радио и связь, 1982. 288 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МДП-МИКРОСХЕМ**

Составители: П и г а н о в Михаил Николаевич,
Д м и т р и е в Василий Дмитриевич,
Л е д н е в Михаил Алексеевич

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн. редактор Г.А.У о а ч е в а

Подписано в печать 22.10.91. Формат 60x84¹/16.
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.печ.л. 0,7.
Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,75. Тираж 300 экз.
Заказ 4444 Бесплатно.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Тип.им.В.П.Мяги Самарского полиграфического объединения.
443099 Самара ул. Венцека, 60.