

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. академика С. П. Королева»

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И КОНСТРУКТИВНО –  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МПК

Методические указания к практической работе

Самара 2007

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

УКД 621.382

Изучение состава и конструктивно – технологических особенностей МПК: Метод. указания к лабораторной работе/ Сост. М. Н. Пиганов, В. Д. Дмитриев. – Самара: Самар. гос. аэрокосмический ун-т, 2007. – 22 с.

Рассматриваются состав и назначение микросхем микропроцессорных комплектов, изготовленных по различным технологиям. Сравниваются электрические и конструктивно-технологические параметры. Рассмотрены различные типы логических элементов.

Предлагается воспроизвести структуру кристалла и топологию типовых элементов микропроцессорного комплекта, ознакомиться с их основными параметрами и конструктивным исполнением.

Рекомендуется для студентов специальности 210.201 при изучении дисциплины «Технология микросборок».

Рецензент: Г. П. Шопин

*Цель работы* – изучение конструктивно-технологических особенностей изготовления микросхем, входящих в состав микропроцессорных комплектов.

*Задание:*

1 Изучить состав и назначение микросхем микропроцессорного комплекта. Ознакомиться с электрическими и эксплуатационными характеристиками.

2 Воспроизвести структуру кристалла и топологию типовых элементов МПК. Ознакомиться с основными параметрами типового логического элемента.

3 Ознакомиться с конструктивным исполнением МПК. Определить тип корпуса, дать его условное обозначение.

## 1 ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

### 1.1 Общие сведения о микропроцессорах

*Микропроцессор* – программно-управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управление им, построенное на основе одной или нескольких больших интегральных микросхем.

*Микропроцессорная интегральная микросхема* – интегральная микросхема, выполняющая функцию микропроцессора или его части.

*Микропроцессорный комплект* (МПК) – совокупность микропроцессорных и других интегральных микросхем (ИМС), совместимых по архитектуре, конструктивному исполнению и электрическим параметрам и обеспечивающих возможность совместного применения. Минимальный состав микропроцессорного комплекта, необходимый для построения основных узлов микропроцессора или контроллера, называют базовым микропроцессорным комплектом. Базовый МПК может состоять из одной большой интегральной микросхемы (БИС) – однокристалльный микропроцессор, двух БИС – двухкристалльный

микропроцессор, нескольких БИС – многокристальный микропроцессор. К другим ИМС, дополняющим базовый МПК до собственно МПК, относят ОЗУ, ПЗУ, блоки связи с устройствами ввода-вывода информации и другие.

Перечень выпускаемых отечественной промышленностью МПК приведен в таблице 1.

Таблица 1

Серия	Число ИМС		Базовая технология	Тип МПК	Разрядность, бит	Напряжение питания, В
	общее	в базовом комплекте				
K536	12	2	p – МДП	специализированный	8	-24; +1,5
K580	3	1	p – МДП	универсальный	8	-5; +5
K581	4	2	p – МДП	специализированный	16	-5; +5; +12
K584	3	2	И2Л	универсальный	4n	
K586	4	1	p – МДП	специализированный	16	-5; +5; +12
K587	4	2	КМДП	универсальный	4n	+9
K588	3	2	КМДП	универсальный	16n	+5
K589	8	2	ТТЛДШ	универсальный	2n	+5
U83- K1883	4	2	p – МДП	универсальный	8n	+5
KP580	7	2	p – МДП	универсальный	8	-5; +5; +12
KP581	3	1	p – МДП	специализированный	8	+5; -12; +12
KP582	2	1	И2Л	универсальный	4n	+1,5
KP583	4	2	И2Л	универсальный	4n	+1,5
KP584	3	2	И2Л	универсальный	4n	+5
KP588	5	2	КМДП	универсальный	8	+5
K1800	4	2	ЭСЛ	специализированный	4n	-2; -5,2
K1801	3	1	p – МДП	специализированный	16	+5
KP1802	6	2	ТТЛДШ	универсальный	8n	+5
KP1804	6	2	ТТЛДШ	универсальный	4n	+5

Наиболее характерным узлом микропроцессора является арифметико-логическое устройство, состоящее из двоичного сумматора, сдвигающего регистра, схем ускоренного переноса и регистров для временного хранения операндов. Для обеспечения приема, выдачи и обработки операндов используется группа внутренних регистров, в состав которой входят регистры общего назначения, регистр команд, регистр

адреса, стек, указатель стека, индексные регистры, счетчик команд, регистр состояния, регистр прямого доступа к памяти, накопительный регистр.

## 1.2 Структура микропроцессора

Структура микропроцессора (МП) показана на рисунке 1.

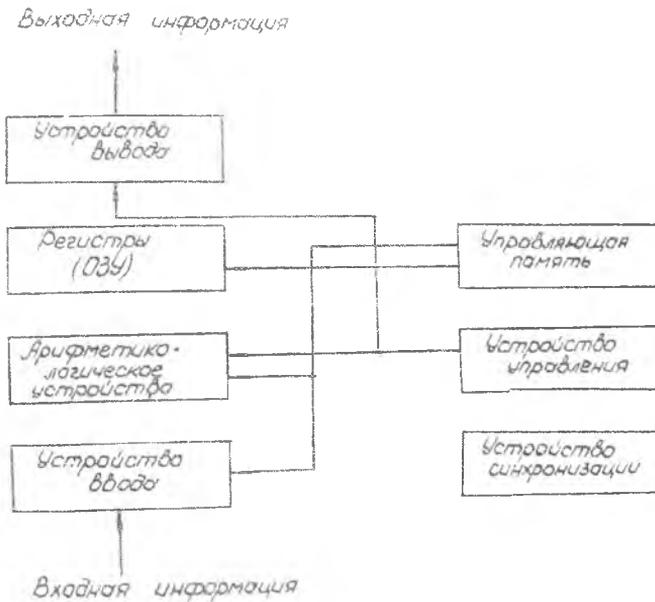


Рисунок 1 – Структура микропроцессора

Существует три поколения микропроцессоров. К первому поколению относят микропроцессорные комплекты на четыре разряда (бита). Они выполнены на основе р-канальных МДП-приборов. Основными недостатками МП первого поколения являются относительная сложность и низкое быстродействие.

Микропроцессоры второго поколения реализованы на основе МДП-приборов с каналами n-типа и отличаются

большей производительностью, более просты в использовании, требуют меньшего числа вспомогательных микросхем. К этому же поколению относят микропроцессоры на КМДП-транзисторах. Они более экономичны, помехоустойчивы, совместимы с ТТЛ-микросхемами.

К третьему поколению относятся микропроцессоры, построенные по биполярной технологии. Такие микропроцессоры обладают более высоким быстродействием и большими функциональными возможностями. К ним относятся И2Л, ТТЛДШ и другие структуры. Эти микропроцессоры реализуются в виде совокупности нескольких однокристалльных однотипных микросхем (процессорных секций) на два или четыре разряда, так как при биполярной технологии уровень интеграции микросхем получается ниже.

Микропроцессоры широко применяют в цифровой вычислительной технике: в терминалах цифровых ЭВМ, периферийных устройствах ЦВМ (накопителях на магнитной ленте, печатающих устройствах, телетайпах) и др. Применение МП в терминалах позволяет разгрузить процессоры центральных ЭВМ от многих операций, связанных с обслуживанием терминалов.

В настоящее время МП широко используют для управления различными технологическими процессами, в роботах-манипуляторах, в системах управления станками-автоматами, поточными линиями, для управления автоматическими телефонными станциями, для построения цифровых фильтров, синтезаторов частот, устройств управления антенными комплексами, цифровых систем автоподстройки, в радиоизмерительной аппаратуре, в бытовой технике.

Дополнив МП запоминающим устройством и устройством ввода-вывода, получим микро-ЭВМ. К первым простейшим микро-ЭВМ можно отнести *микрокалькуляторы*. Калькулятор является универсальным вычислительным

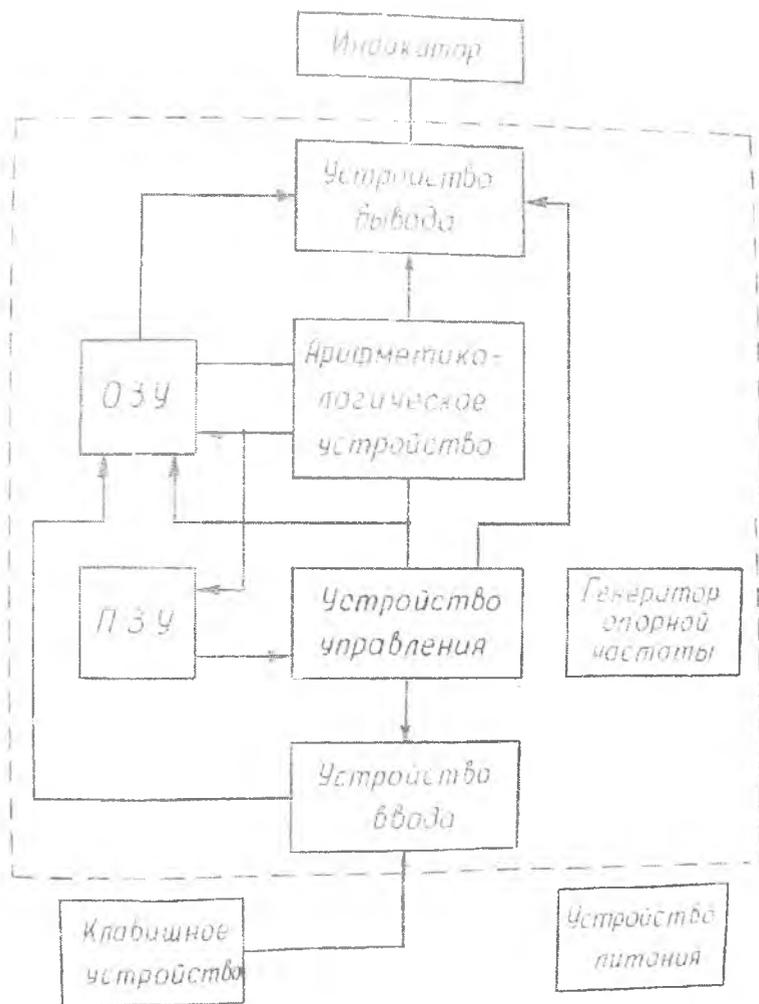


Рисунок 2 – Функциональная схема микрокалькулятора БЗ-18

устройством, способным выполнять самые разнообразные вычисления. Внутри пунктирного контура, на приведенной схеме (рисунок 2), показана та часть калькулятора, которая выполнена на однокристалльной БИС. Вне кристалла расположены клавишное устройство, индикатор и устройство питания.

*Клавишное устройство* предназначено для ввода в калькулятор числовой и командной информации. Оно представляет собой коммутационное поле (матрицу) из горизонтальных и вертикальных шин, соединяемых в местах пересечения контактами клавишей.

*Табло цифрового индикатора* управляется устройством вывода информации. В устройстве вывода происходит преобразование кодов, несущих выводимую информацию, и формируются электрические сигналы, которые подаются на табло. Индикаторное табло построено на базе девятиразрядного вакуумлюминисцентного сегментного индикатора. В настоящее время широко используют светодиодные и жидкокристаллические индикаторы.

В ПЗУ хранится комплект микропрограмм, т.е. набор команд-правил, необходимых для выполнения простейших арифметических действий.

*Устройство управления*, состоящее из набора триггеров, управляет подачей операционных (ввести число, вывести результат и т.д.) и вычислительных (вычесть, сложить) команд, регистрами оперативной памяти (ОЗУ); оно расшифровывает микрокоманды, поступающие из ПЗУ, производит адресацию памяти чисел и команд.

В регистрах ОЗУ хранятся числа, участвующие в вычислениях, а также промежуточные результаты и константы.

Генератор опорной частоты и синхронизирующих тактовых импульсов служит для согласования во времени работы всех узлов калькулятора.

Первые микрокалькуляторы выполнялись на четырех-пяти БИС, расположенных на общей коммутационной плате. Современные микрокалькуляторы выполняют на основе одной БИС, содержащей от 6 до 20 тыс. элементов. Кристалл БИС микрокалькулятора БЗ-18 имеет размеры 5x5,2 мм и содержит около 20 тыс. элементов. Корпус микросхемы имеет 48 внешних выводов.

Микрокалькулятор представляет собой автономный прибор, поэтому комплект микропрограмм должен обеспечивать выполнение отдельных арифметических операций, обработку и анализ получаемых результатов и принятие решений. При вычислениях на микрокалькуляторе алгоритм вычислений задает оператор.

Большая часть функциональных узлов МП строится на основе триггеров различного назначения. Они синтезируются из простых логических элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Для построения ячеек сдвиговых регистров, используемых для хранения и передачи с задержкой во времени информации, представленной в виде двоичного кода, используют цепочки триггеров, соединенных между собой «выход ко входу».

### 1.3 Типы логических элементов

В первых разработках логических микросхем широко использовалась транзисторная логика с непосредственными связями (ТЛНС). Основу такой логической схемы составляют параллельно включенные транзисторы, соединенные по схеме с общим эмиттером и общей нагрузкой (рисунок 3). Эту схему можно использовать для осуществления логической функции ИЛИ-НЕ. Когда все транзисторы (вентили) закрыты, то подача на один или несколько входов логической «1» приводит к изменению потенциала от «1» до «0».

Основным недостатком такой логики является резкая нелинейность сопротивления входа. В данном случае при подаче сигналов логической «1» на различные входы

некоторые базовые токи могут оказаться чрезмерно большими, а другие транзисторы не достигают насыщения.

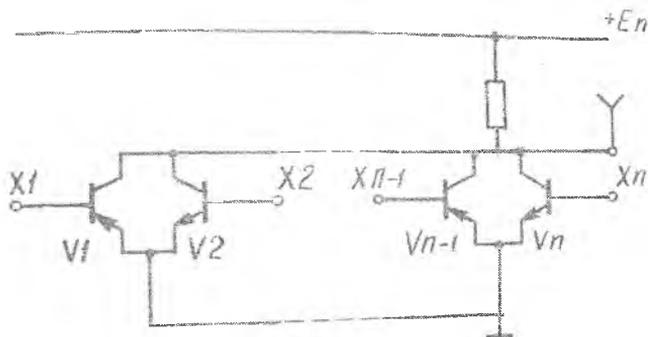


Рисунок 3 – Электрическая схема ТЛНС

Если в цепь базы каждого транзистора включить резисторы, ограничивающие степень нелинейности, то получим транзисторную логику с резистивной связью (РТЛ). Схема РТЛ уменьшает опасность перегрузки базовых цепей. Однако такая логика имеет меньшее быстродействие. Таким образом, быстродействие этой схемы ограничивается насыщением транзисторов (при их переходе из открытого состояния в закрытое) и величиной постоянной времени в цепи базы  $\tau_{ex}$  ( $\tau_{ex} = RC_b$ , где  $R$  – сопротивление в цепи базы, а  $C_b$  – емкость базы транзистора).

Для повышения быстродействия используют резистивно-емкостную транзисторную логику (РЕТЛ). В этом случае параллельно резисторам в цепях базы ставят

ускоряющие конденсаторы. Эти схемы достаточно экономичны.

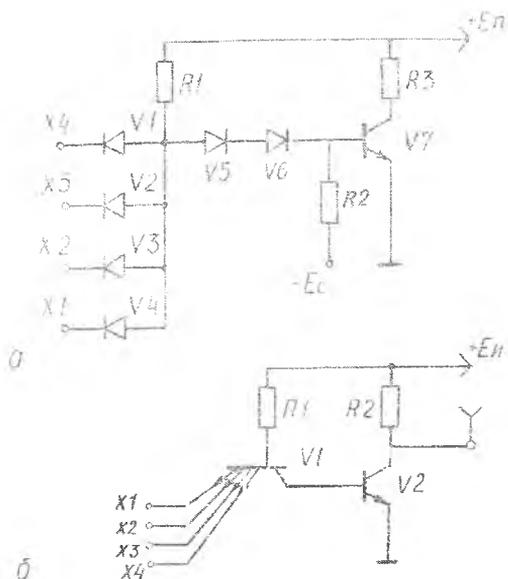


Рисунок 4 – Схемы ДТЛ (а) и ТТЛ (б)

Общим недостатком рассмотренных схем является низкая помехоустойчивость.

Высокой помехоустойчивостью обладает *диодно-транзисторная логика* (ДТЛ). Эта схема (рисунок 4а) осуществляет логическую операцию И-НЕ.

Когда на все входы поданы логические нули (исходное состояние), прямое падение напряжения на диодах во входных цепях не превышает  $0,5 В$ . При этом потенциал базы транзистора будет ниже нуля, так как в цепи базы включены последовательно два диода. Транзистор закрыт, что соответствует логической единице. Соответствующее напряжение сохранится в случае подачи на часть входов



Схемы И2Л выполняют операцию НЕ. При соединении двух или нескольких логических элементов осуществляется функция И-НЕ (ИЛИ-НЕ).

Если связь между транзисторами реализовать через эмиттерные цепи (в этом случае обеспечивается работа транзисторов в ненасыщенном режиме), то получим логическую схему с эмиттерными связями (ЭСЛ) (рисунок 5б). Ненасыщенный режим работы транзисторов и малое значение перепада между логическим «0» и «1» обеспечивают высокое быстродействие.

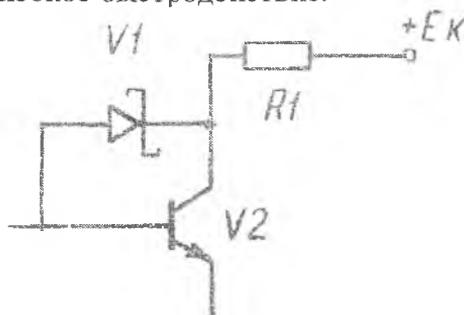


Рисунок 6 – Транзистор с диодом Шоттки

Высокое быстродействие обеспечивается также транзисторно-транзисторной логикой с диодами Шоттки (ТТЛДШ). Подключение параллельно переходу база-коллектор транзистора диода с малым падением напряжения (рисунок 6) позволяет избежать насыщения транзистора, исключить режим двойной инжекции и накопление избыточного заряда.

Широкое распространение получили логические элементы на МДП- транзисторах (рисунок 7). Используя последовательное и параллельное включение транзисторов, можно осуществить логические функции И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Затворы нагрузочных резисторов соединяют с источником относительно высокого напряжения отрицательного

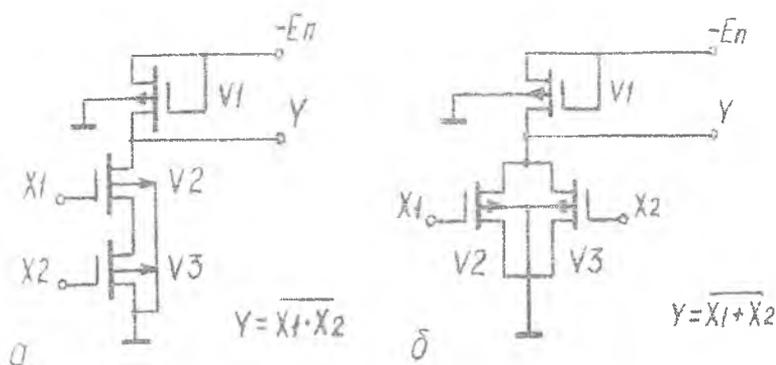


Рисунок 7 – Логические схемы на р-МДП транзисторах: а – схема И-НЕ; б – схема ИЛИ-НЕ

смещения или с отрицательным полюсом общего источника питания. Кристалл р-канальных МДП-транзисторов соединяется с нулевым потенциалом. Полярность сигналов соответствует отрицательной логике (уровень логической «1» близок к отрицательному напряжению источника питания, уровень «0» равен нулевому потенциалу).

Логические элементы на основе МДП-транзисторов с каналами n-типа строятся аналогично. Они более экономичны и занимают меньшую площадь. Такие схемы питаются от источников положительного напряжения и относятся к положительной логике.

Высокой помехоустойчивостью и экономичностью обладают логические схемы на комплементарных МДП-транзисторах (КМДП или КМОП-логика). Основным элементом таких схем является *инвертор* (рисунок 8а). р и n-канальные транзисторы соединяются последовательно. На их основе можно реализовать логические элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ (рисунок 8б,в).

Наиболее существенными параметрами логических элементов, используемыми для сравнительных оценок, являются следующие: средняя потребляемая мощность  $P_{\text{ном ср}}$ ; среднее время задержки распространения сигнала  $t_{\text{зд ср}}$ ;

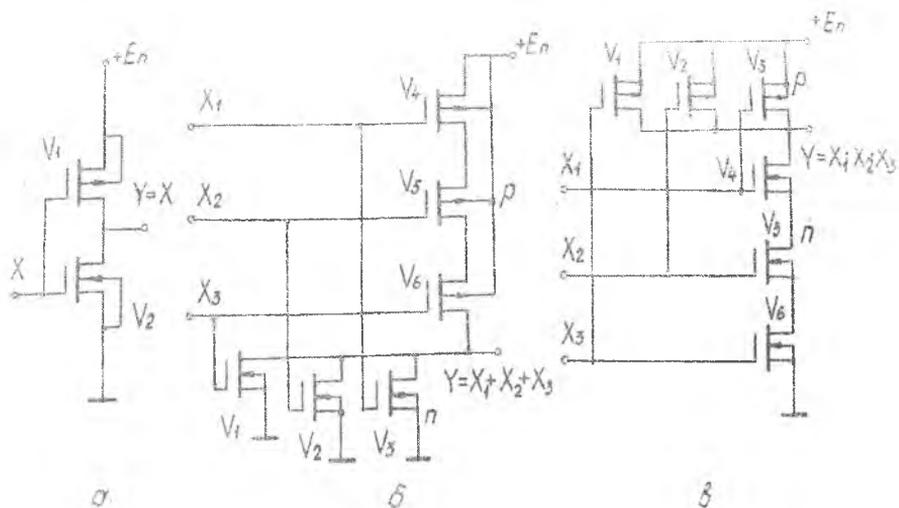


Рисунок 8 – Логические элементы на КМДП-транзисторах :  
 а – инвертор ; б – схема ИЛИ-НЕ; в – схема И-НЕ

средняя работа переключения  $A_{cp}$ ; статическая помехоустойчивость  $U_{н.ст}$ ; коэффициент объединения по входу  $k_{об}$ ; коэффициент разветвления по выходу  $k_{раз}$ .

Типичные параметры логических элементов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Тип логики	$P_{р,т.ф.}$ , мВт	$t_{д.ф.}$ , нс	$A_{ф.}$ , пДж	$U_{н.ст}$ , В	$K_{об}$	$K_{раз}$
ТТЛ	1-20	5-20	50-100	0,8-1	2-5	10
ТТЛДШ	1-20	2-10	20-50	0,5-0,8	2-5	10
ТЛЭС	20-50	0,7-3	20-50	0,2-0,3	2-5	10-20
И2Л	0,01-0,1	10-100	0,2-2	0,02-0,05	1	3-5
МОП	1-10	20-200	50-200	2-3	2-5	100-200
КМОП	0,01-0,1	50-100	0,5-5	1-2	2-5	100-200

## 1.4 Состав МПК

Каждый микропроцессорный комплект выполнен по определенной технологии и имеет определенное функциональное назначение. Так например МПК серии К536 выполнен по р-МДП технологии и содержит 12 интегральных микросхем различной степени интеграции и функциональной сложности. Этот комплект предназначен для построения микроЭВМ семейства «Электроника – С5», которые используются для сбора и обработки информации при построении систем управления технологическими процессами, контрольно-измерительных и коммутационных систем связи.

В таблице 3 приведено функциональное назначение каждой из микросхем этого комплекта, даны их условные обозначения, тип корпуса, число выводов корпуса и его габаритные размеры.

Таблица 3

Обозначение микросхем	Наименование микросхем	Характеристика корпуса			
		обозначение	число выводов	длина, мм	ширина, мм
К536ИК9	Арифметико логическое устройство	244,48-8	48	31,2	25
К536ИК8	Микропрограммное устройство	460,24-1	24	31,5	31,5
К536ИР1	Буферные регистры	460,24-1	24	31,5	31,5
К536ИК5	Устройство ввода-вывода (таймер)	413,48-1	48	37,8	28
К536ГГ1	Генератор распределитель синхроним пульсов	413,48-1	48	37,8	28
К536УИ2	Буферное устройство (шинный усилитель с запоминанием)	413,48-1	48	37,8	28
К536УИ1	Буферное устройство (усилитель мощности)	413,48-1	48	37,8	28

## Продолжение таблицы 3

Обозначение микросхем	Наименование микросхем	Характеристика корпуса			
		обозначение	число выводов	длина, мм	ширина, мм
K536ИК3	Устройство управления ввода-вывода	413,48-1	48	37,8	28
K536ИК4	Устройство ввода-вывода (адаптер)	413,48-1	48	37,8	28
K536ИК7	Управление устройством селекторного канала	413,48-1	48	37,8	28
K536ИВ1	Клавиатурный шифратор	413,48-1	48	37,8	28
K536ИК6	Схема управления преобразователем напряжение-код	413,48-1	48	37,8	28

## 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МПК

### 2.1 ТТЛДШ – технология

Структура кристалла транзистора с диодом Шоттки показана на рисунке 9.

Для реализации структуры транзистора с диодом Шоттки используется биполярная технология. Схема технологического процесса изготовления ТТЛДШ – схемы показана на рисунке 10. В качестве исходной заготовки используют кремниевую пластину р-типа, отполированную до 14 класса чистоты. В данном случае п-р-п транзистор выполнен со скрытым  $p^+$  слоем. Это позволяет уменьшить сопротивление коллекторного слоя примерно на порядок.

Для первой диффузии используют мышьяк, который имеет меньшее значение коэффициента диффузии по сравнению с фосфором. Это облегчает проведение последующих операций эпитаксии, диффузии и окисления,

которые сопровождаются нагревом кристалла до высоких температур.

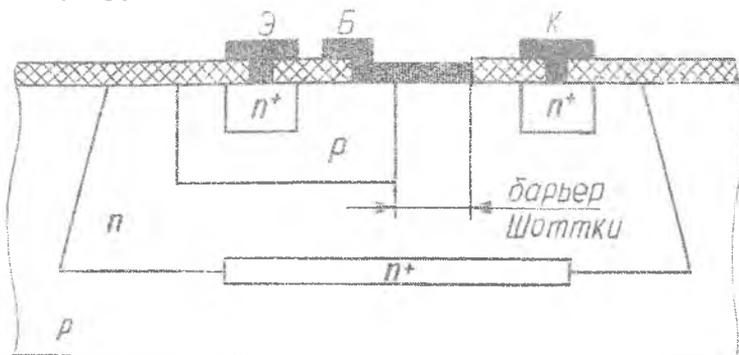


Рисунок 9 – Структура кристалла ТТЛДШ

После травления и образования требуемого рисунка контактов и межсоединений производят вжигание алюминия в кремний.

## 2.2 Другие типы технологий

Технология получения МОП и КМОП – структур описана в лабораторной работе «Анализ конструкций полупроводниковых интегральных микросхем». Схема технологического процесса изготовления И2Л – структур дана в лабораторной работе «Изучение принципов структурной интеграции, реализуемых в БИС».

ДТЛ, ТТЛ, ТЛНС, ЭСЛ – схемы выполняются по биполярной технологии.

## 2.3 Сравнительная оценка технологий

Технологии ТТЛДШ и ЭСЛ обеспечивают получение быстродействующих и сверхбыстродействующих приборов, что достигается за счет высокого и сверхвысокого

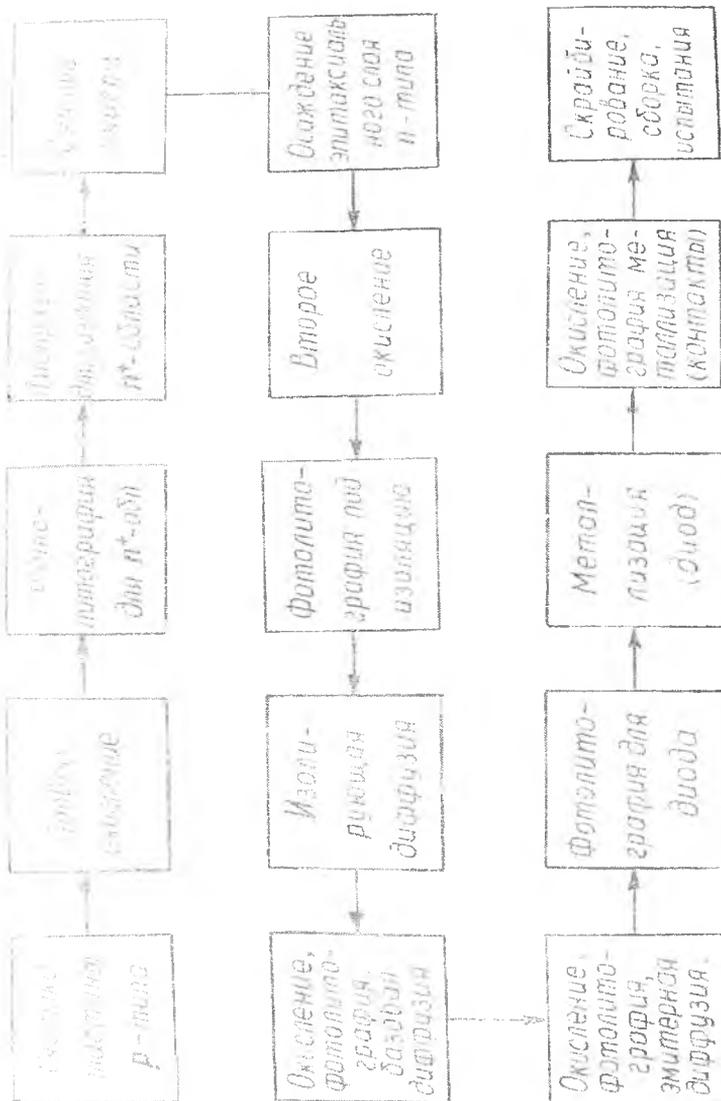


Рисунок 10 – Схема технологического процесса изготовления ТЛДШ-схемы

энергопотребления, которое приводит к трудностям теплоотвода в аппаратуре, а также снижению степени интеграции БИС. Применение n-МДП-технологии позволяет получить самую высокую степень интеграции БИС, выполненных по МДП-технологии, но ограничивает диапазон рабочих температур, что затрудняет их применение, например в автомобильной и сельскохозяйственной электронной аппаратуре. Приборы построенные на основе КМДП-технологии, обладают рекордно низким энергопотреблением, что делает их незаменимыми, например, в часах или калькуляторах, но не обеспечивают высокого быстродействия. Приборы, выполненные по p-МДП-технологии, являются самыми дешевыми, однако обладают самым малым быстродействием. ИЗЛ технология обеспечивает средние параметры БИС по всем основным характеристикам. Это делает эффективным их применение в тех областях народного хозяйства, где не предъявляются особые требования к отдельным характеристикам аппаратуры, например при построении модулей управления периферийными устройствами средств вычислительной техники.

Основные конструктивно-технологические характеристики логических элементов, выполненных по различным технологиям, приведены в таблице 4.

Таблица 4

Параметр*	Тип логики						
	p - МДП	n - МДП	КМДП	ИЗЛ	ТГЛ	ТГЛДШ	ЭСЛ
Площадь, занимаемая на кристалле, мм <sup>2</sup>	0,0040	0.0023	0,0052	0,0016	0,01	0,013	0,02
Число операций маскирования	4	7	6	4	7	7	7
Число операций диффузии или ионного легирования	1	3	3	2	4	4	4
Плотность упаковки, мм <sup>2</sup>	150	200	100	300	100	50	40

\*за основу принят трехходовый логический элемент.

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1 Ознакомиться с заданием. Получить у преподавателя номер варианта (серия МПК)

2 Дать краткую характеристику МПК, указать функциональное назначение входящих в него микросхем

3 По справочнику ознакомиться с условиями эксплуатации микросхем данной серии МПК

4 Воспроизвести топологию и структуру типовых элементов МПК

5 Ознакомиться с электрическими параметрами микросхем МПК

6 Ознакомиться с основными параметрами типовых логических элементов микросхем изученного МПК. Провести сравнение с другими типами элементов

7 Зарисовать принципиальную схему типового логического элемента

8 Ознакомиться с конструктивным исполнением МПК. Определить тип корпуса, дать его условное обозначение по ГОСТ 17467-88

9 Сделать выводы о преимуществах и недостатках технологии изготовления и характеристиках МПК

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Цель работы
- 2 Описание состава МПК
- 3 Условия эксплуатации микросхем МПК
- 4 Электрические параметры микропроцессорных микросхем
- 5 Топология и структура типовых элементов
- 6 Параметры типовых элементов изученных микросхем
- 7 Принципиальная схема логического элемента
- 8 Эскиз корпуса и его условное обозначение
- 9 Выводы

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что такое МПК?
- 2 Что такое микропроцессор и микропроцессорная микросхема?
- 3 Какие технологии используются для изготовления микропроцессорных микросхем?
- 4 Преимущества и недостатки используемых технологий?
- 5 Преимущества и недостатки МПК, выполненных по различным технологиям?
- 6 Нарисовать схему технологического процесса изготовления типовых элементов для следующих базовых технологий:
  - n-МДП;
  - p-МДП;
  - КМДП;
  - ТТЛДШ;
  - ЭСЛ;
  - И2Л.
- 7 Нарисовать топологию и структуру кристалла типового элемента, полученного по следующей технологии:
  - n-МДП;
  - p-МДП;
  - КМДП;
  - ТТЛДШ;
  - ЭСЛ;
  - И2Л.
- 8 По каким критериям осуществляется выбор МПК для конкретных применений?

## Литература

- 1 Агаханян Т.М. Интегральные микросхемы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 464с.
- 2 Бондарь Б.Г., Письменецкий В.А., Хорунжий В.А. Микроэлектроника/ Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 256с.
- 3 Борисов В.С., Васенков А.А., Малашевич Б.М. и др. Микропроцессорные комплекты интегральных схем. Состав и структура: Справочник/ Под ред. Васенкова А. А., Шахнова В. А. – М.: Радио и связь, 1982. – 192с.
- 4 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – М.: Сов. радио, 1980. 424с.

## Содержание

1	ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ	3
1.1	Общие сведения о микропроцессорах	3
1.2	Структура микропроцессора	5
1.3	Типы логических элементов	9
1.4	Состав МПК	16
2	ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МПК	17
2.1	ТТЛДШ – технология	17
2.2	Другие типы технологий	18
2.3	Сравнительная оценка технологий	18
3	ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	21
4	СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	22
	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	22
	Литература	24

Учебное издание

Изучение состава и конструктивно-технологических  
особенностей МПК

Методические указания к лабораторной работе

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