

**Заведите новую тетрадь для новой дисциплины «Основы электроники»**

**Прочитайте, выделите главное. Запишите в тетрадь конспект.**

**Тетрадь проверю и поставлю оценку.**

Тема 1.4. Интегральные микросхемы

### **Интегральные микросхемы. Классификация. Назначение.**

#### **Классификация интегральных микросхем (ИС)**

##### **Введение.**

Любой прибор, входящий в состав электронной аппаратуры, в свою очередь, состоит из большого числа деталей. Каждая из этих деталей выполняет в аппаратуре определенную функцию. Часть деталей служит для придания аппаратуре определенных механических и конструктивных свойств. К таким деталям относятся шасси и корпус прибора, платы, крепежные детали. С помощью других деталей в аппаратуре производятся различные преобразования электрической энергии, ее регулирование и распределение. Благодаря этим деталям электронная аппаратура обладает свойствами, позволяющими использовать ее для практических целей. Такие детали аппаратуры, выполняющие определенные функции по отношению к электрической энергии, принято называть компонентами электронной аппаратуры.

При конструировании гибридных ИМС в качестве навесных компонентов используют миниатюрные резисторы и конденсаторы, миниатюрные корпусные диоды и транзисторы, бескорпусные диоды и транзисторы, диодные и транзисторные матрицы, полупроводниковые микросхемы. Выбор компонентов для конкретной микросхемы ведут исходя из схемотехнических, конструктивно-технологических и других требований, которые предъявляются к параметрам, габаритам и методам сборки разрабатываемой конструкции.

Реализация принципов, гибридных интегральных схем, методов полупроводниковой микроэлектроники привела к созданию БИС и СБИС, представляющие собой целые устройства и даже системы, размещенные в одном полупроводниковом кристалле. Однако не все устройства можно изготовить с помощью полупроводниковой технологии.

#### **Классификация интегральных микросхем (ИС)**

Классификация ИС может производиться по различным признакам, ограничимся здесь лишь одним. По *способу изготовления* и получаемой при этом структуре различают интегральные схемы двух принципиально разных типов: полупроводниковые и пленочные.

**Полупроводниковая ИС** – это микросхема, элементы которой выполнены в приповерхностном слое полупроводниковой подложки. Эти ИС составляют основу современной микроэлектроники.

Технология полупроводниковых ИС основана на легировании полупроводниковой (кремниевой) пластины поочередно донорными и акцепторными примесями, в результате чего под поверхностью образуются тонкие слои с разным типом проводимости и р-п-переходы на границах слоев. Отдельные слои используются в качестве резисторов, а р-п-переходы – в диодных и транзисторных структурах.

Легирование пластины приходится осуществлять локально, т.е. на отдельных участках, разделенных достаточно большими расстояниями. Локальное легирование осуществляется с помощью специальных масок с отверстиями, через которые атомы примеси проникают в пластину на нужных участках. При изготовлении полупроводниковых ИС роль маски обычно играет пленка двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$ , покрывающая поверхность кремниевой пластины. В этой пленке специальными методами гравировается необходимая совокупность отверстий различной формы или, как говорят, необходимый рисунок. Отверстия в масках, в частности в окисной пленке, называют окнами.

Кратко охарактеризуем составные части (элементы) полупроводниковых ИС. Основным элементом биполярных ИС является п-р-п-транзистор. На его изготовление ориентируется весь технологический цикл. Все другие элементы должны изготавливаться, по возможности, одновременно с этим транзистором, без дополнительных технологических операций.

Основным элементом МДП ИС является МДП-транзистор. Изготовление других элементов также подстраивается под базовый транзистор. Элементы биполярной ИС необходимо тем или иным способом изолировать друг от друга с тем, чтобы они не взаимодействовали через кристалл.

Элементы МОП ИС не нуждаются в специальной изоляции друг от друга, так как между смежными МОП-транзисторами взаимодействия не существует. В этом – одно из главных преимуществ МОП ИС по сравнению с биполярными.

Характерная особенность полупроводниковых ИС состоит в том, что среди их элементов отсутствуют катушки индуктивности и, тем более, трансформаторы. Это объясняется тем, что до сих пор не удалось использовать в твердом теле какое-либо физическое явление, эквивалентное электромагнитной индукции. Поэтому при разработке ИС стараются реализовать необходимую функцию без использования индуктивностей, что в большинстве случаев удается. Если же катушка индуктивности или трансформатор принципиально необходимы, их приходится использовать в виде навесных компонентов.

Размеры кристаллов у современных полупроводниковых ИС достигают  $20 \times 20 \text{ мм}^2$ . Чем больше площадь кристалла, тем более сложную, более многоэлементную ИС можно на нем разместить. При одной и той же площади кристалла можно увеличить количество в нем элементов, уменьшая их размеры и расстояния между ними.

Функциональную сложность ИС принято характеризовать степенью интеграции, т.е. количеством элементов (чаще всего транзисторов) на кристалле. Максимальная степень интеграции составляет  $10^6$  элементов на кристалле. Повышение степени интеграции (а вместе с ней и сложности функций, выполняемых ИС) – одна из главных тенденций в микроэлектронике.

Для количественной оценки степени интеграции используют условный коэффициент:

$$k = \lg N.$$

В зависимости от его значения интегральные схемы называются по-разному:

- интегральная схема (ИС)  $k < 2$  ( $N < 100$ );
- интегральная схема средней степени интеграции (СИС)  $2 < k < 3$  ( $N < 1000$ );
- большая интегральная схема (БИС)  $3 < k < 5$  ( $N < 10^5$ );
- сверхбольшая интегральная схема (СБИС)  $k > 5$  ( $N > 10^5$ ).

Кроме степени интеграции, используют еще такой показатель, как плотность упаковки – количество элементов (чаще всего транзисторов) на единицу площади кристалла. Этот показатель, который характеризует, главным образом, уровень технологии, в настоящее время составляет до  $500 - 1000$  элементов на  $1 \text{ мм}^2$ .

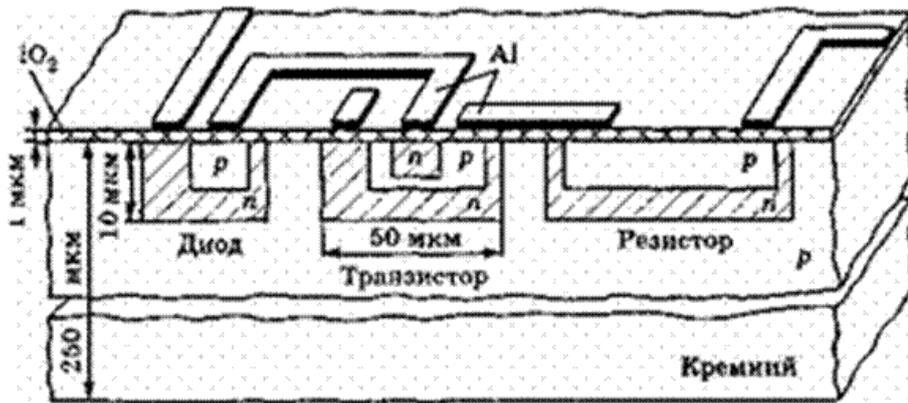


Рис. 10.2. Структура элементов полупроводниковой ИС

**Пленочная ИС** – это микросхема, элементы которой выполнены в виде разного рода пленок, нанесенных на поверхность диэлектрической подложки. В зависимости от способа нанесения пленок и связанной с этим их толщиной различают тонкопленочные ИС (толщина пленок до 1 – 2 мкм) и толстопленочные ИС (толщина пленок от 10 – 20 мкм и выше).



Рис. 10.3. Структура элементов пленочной ИС:  
1 – верхняя обкладка; 2 – нижняя обкладка; 3 – диэлектрик; 4 – соединительная металлическая полоска

Поскольку до сих пор никакая комбинация напыленных пленок не позволяет получить активные элементы типа транзисторов, пленочные ИС содержат только пассивные элементы (резисторы, конденсаторы и т.п.). Поэтому функции, выполняемые чисто пленочными ИС, крайне ограничены. Чтобы преодолеть эти ограничения, пленочную ИС дополняют активными компонентами (отдельными транзисторами или ИС), располагая их на той же подложке и соединяя с пленочными элементами. Тогда получается ИС, которую называют гибридной.

**Гибридная ИС** (или ГИС) – это микросхема, которая представляет собой комбинацию пленочных пассивных элементов и активных компонентов, расположенных на общей диэлектрической подложке. Дискретные компоненты, входящие в состав гибридной ИС, называют навесными, подчеркивая этим их обособленность от основного технологического цикла получения пленочной части схемы.

Еще один тип «смешанных» ИС, в которых сочетаются полупроводниковые и пленочные интегральные элементы, называют совмещенными.

**Совмещенная ИС** – это микросхема, у которой активные элементы выполнены в приповерхностном слое полупроводникового кристалла (как у полупроводниковой ИС), а пассивные нанесены в виде пленок на предварительно изолированную поверхность того же кристалла (как у пленочной ИС).

Совмещенные ИС выгодны тогда, когда необходимы высокие номиналы и высокая стабильность сопротивлений и емкостей; эти требования легче обеспечить с помощью пленочных элементов, чем с помощью полупроводниковых.

Во всех типах ИС межсоединения элементов осуществляются с помощью тонких металлических полосок, напыленных или нанесенных на поверхность подложки и в нужных местах контактирующих с соединяемыми элементами. Процесс нанесения этих соединительных полосок называют металлизацией, а сам «рисунок» межсоединений – металлической разводкой.

## **Печатная плата**

**Печатная плата** – конструктивный элемент электронной аппаратуры, предназначенный для механического крепления и электрической коммутации электронных компонентов. Печатные платы состоят из плоского диэлектрического основания, на котором выполняются печатные проводники.

В зависимости от числа слоев печатных проводников печатные платы делятся на односторонние, двусторонние и многослойные. Коммутация между слоями проводников осуществляется с помощью переходных металлизированных отверстий, пистонов или перемычек.

Основанием печатной платы чаще всего служит эпоксидная смола, армированная стекловолокном. При изготовлении многослойных печатных плат в качестве промежуточных соединительных слоев диэлектрика применяется специализированный материал, называемый препрегом. Также в настоящее время получают широкое распространение печатные платы на основе гибких диэлектриков: полиимида и сложного полиэфира (гибкие печатные платы), а также их сочетание с обычными жесткими основаниями (гибко-жесткие печатные платы).

Проводники обычно выполняются путем травления медной фольги, нанесенной на основание (фольгированного диэлектрика), химическим и гальваническим наращиванием. Также применяются и другие способы изготовления печатного рисунка, такие как печать проводящей краской.

В зависимости от количества слоёв с электропроводящим рисунком, печатные платы подразделяют на:

- односторонние (ОПП): имеется только один слой фольги, наклеенной на одну сторону листа диэлектрика.
- двухсторонние (ДПП): два слоя фольги.
- многослойные (МПП): фольга не только на двух сторонах платы, но и во внутренних слоях диэлектрика. Многослойные печатные платы получают склеиванием нескольких односторонних или двухсторонних плат.

По мере роста сложности проектируемых устройств и плотности монтажа, увеличивается количество слоёв на платах.

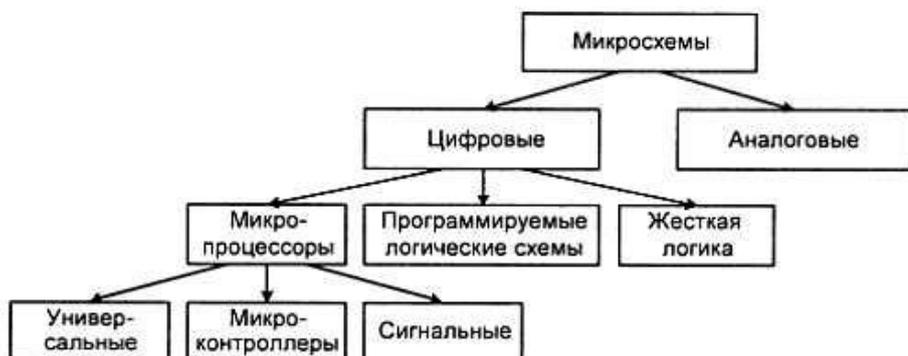
Изготовление ПП возможно аддитивным или субтрактивным методом. В аддитивном методе проводящий рисунок формируется на нефольгированном материале путём химического меднения через предварительно нанесённую на материал защитную маску. В субтрактивном методе проводящий рисунок формируется на фольгированном материале путём удаления ненужных

участков фольги. В современной промышленности применяется исключительно субтрактивный метод.

Весь процесс изготовления печатных плат можно разделить на четыре этапа:

- Изготовление заготовки (фольгированного материала).
- Обработка заготовки с целью получения нужных электрического и механического вида.
- Монтаж компонентов.
- Тестирование.

Часто под изготовлением печатных плат понимают только обработку заготовки (фольгированного материала). Типовой процесс обработки фольгированного материала состоит из нескольких этапов: сверловка переходных отверстий, получение рисунка проводников путём удаления излишков медной фольги, металлизация отверстий, нанесение защитных покрытий и лужение, нанесение маркировки. Для многослойных печатных плат добавляется прессование конечной платы из нескольких заготовок.



### Классификация интегральных микросхем по функциональному назначению



## Классификация и УГО интегральных микросхем.

**ИМС** – микроэлектронное устройство, выполняющее функции целой электрической схемы и выполненное как единое целое.

Классифицируют ИМС по следующим признакам:

### 1. По технологии изготовления:

▢ **Плёночные** – это ИМС, у которых все элементы выполнены в виде тонких плёнок, нанесённых на диэлектрическое основание, т. е. подложку.

▢ **Гибридные (ГИС)** – это ИМС, у которых пассивные элементы выполнены по тонкоплёночной технологии, а активные элементы выполнены как отдельные, навесные, бескорпусные.

▢ **Полупроводниковые ИМС** – это микросхемы, у которых все элементы «выращены» в кристалле полупроводника.

**2. По способу преобразования и обработки информации** имеется два вида ИМС:

▢ **Аналоговые ИМС** – с непрерывной обработкой информации (смотрите процесс, запечатлённый, на рисунке 145);

▢ **Цифровые ИМС** – с дискретной обработкой информации (смотрите рисунок 146).

### 3. По степени интеграции:

$$K = \lg N$$

N – количество элементов в одном корпусе микросхемы.

## Классификация ИМС

### 1. В зависимости от технологии изготовления

1. Пленочные;
2. Полупроводниковые;
3. Микросборки.

### 2. В зависимости от количества элементов ИМС делят по степеням интеграции

1. Первой степени – до 10 элементов;
2. Второй степени – от 11 до 100 элемент. ;
3. Третьей – от 101 до 1000
4. Свыше 1000 элементов – большие ИМС

### 3. По функциональному назначению

1. Логические (цифровые);
2. Аналоговые (линейно-импульсные);
3. Комбинационные;
4. Последовательные микросхемы;
5. Микросхемы памяти. Логические микросхемы включают в себя микросхемы «И», «ИЛИ», «НЕ», «ИЛИ-НЕ», «И-НЕ»; обозначаются следующими знаками: &, 1, и т. д.

## Система обозначений ИМС.

К 155 Л А 7

К 226 У Н 4

1 2 3 4

**1 – серия ИМС.** В одну серию объединяются ИМС, разработанные на основе единых схмотехнических решений и выполненные по одной технологии. Первая цифра серии - технологический признак ИМС:

1, 5, 7, 8 – полупроводниковые ИМС;

2, 4, 6, 8 – гибридные ИМС;

3 – все прочие.

**2 – группа ИМС по функциональному назначению:**

У – усилители

Г – генераторы

А – формирователи сигналов

Е – вторичные источники питания (ВИП)

Х – многофункциональные схемы

Л – логические схемы

Т – триггеры

И – схемы цифровых устройств

В – схемы вычислительных устройств и микро ЭВМ

Р – элементы памяти

**3 – подгруппа, уточняющая функциональный признак.** В ней обозначения могут записываться так: УН, УВ, УН, УТ, УД, УН, например, обозначает «усилитель низкочастотный».

**4 – вид ИМС по своим электрическим параметрам** (для аналоговых ИМС) или же дальнейшее

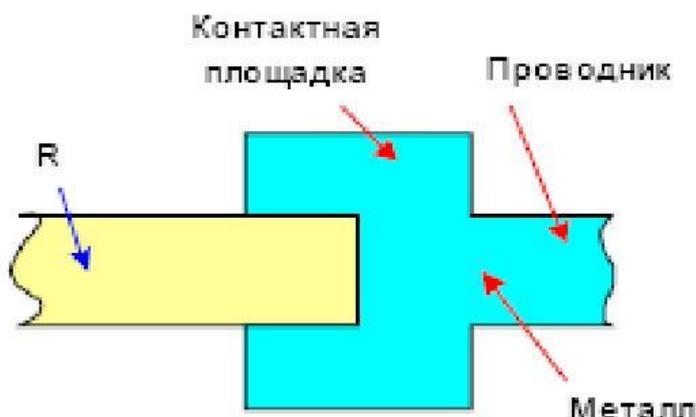
уточнение функций (для цифровых ИМС).

К155ЛА3 – 4 элемента 2И-НЕ. КР, КМ – разновидность корпуса, из чего сделан.

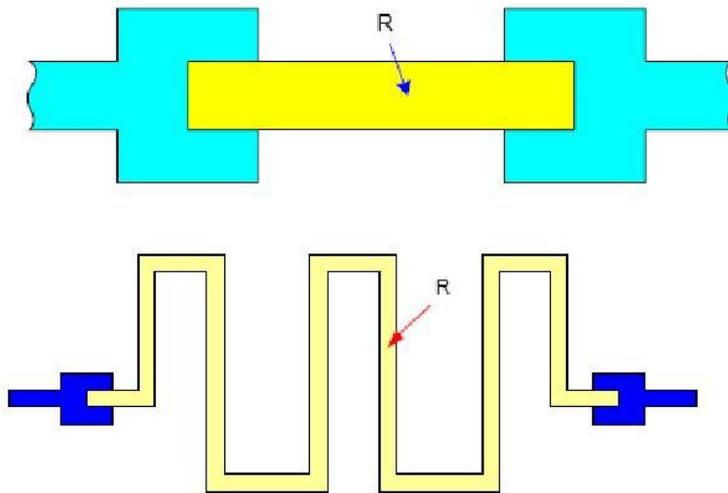
**Элементы и компоненты ГИС.** Одним из основных элементов ГИС является подложка из стеклокерамического материала. Форма всегда прямоугольная. К подложке предъявляются высокие требования по чистоте обработки поверхности, по химической стойкости и электрической прочности.

**Контактные площадки и соединительные проводники.**

Контактные площадки предназначены для обеспечения электрического контакта между плёночными элементами и соединительными проводниками, а также между плёночными и навесными элементами.



Контактные площадки чаще всего изготавливаются из алюминия, потом медь, реже серебро, золото. Для улучшения адгезии (прилипания) между проводником (контактной площадкой) и подложкой их напыляют на подслои из никеля. Плёночные резисторы имеют прямоугольную форму



### Степень интеграции

В СССР были предложены следующие названия микросхем в зависимости от степени интеграции, разная для цифровых и аналоговых микросхем (указано количество элементов для схем):

- малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле,
  - средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле,
  - большая интегральная схема (БИС) — до 10000 элементов в кристалле,
  - сверхбольшая интегральная схема (СБИС) — до 1 миллиона элементов в кристалле,
  - ультрабольшая интегральная схема (УБИС) — до 1 миллиарда элементов в кристалле,
  - гигабольшая интегральная схема (ГБИС) — более 1 миллиарда элементов в цифровых кристалле.
- В настоящее время название УБИС и ГБИС практически не используется (например, последние версии процессоров Itanium, 9300 Tukwila, содержат два миллиарда транзисторов), и все схемы с числом элементов, превышающим 10 000, относят к классу СБИС, считая УБИС его подклассом.

### Вид обрабатываемого сигнала

Классифицируют на:

- аналоговые;
- цифровые;
- аналого-цифровые.

**Аналоговые микросхемы** — входные и выходные сигналы изменяются по закону непрерывной функции в диапазоне от положительного до отрицательного напряжения питания.

**Цифровые микросхемы** — входные и выходные сигналы могут иметь два значения: логический ноль или логическая единица, каждому из которых соответствует определённый диапазон напряжения. Например, для микросхем типа ТТЛ при напряжении питания +5 В диапазон напряжения 0...0,4 В соответствует логическому нулю, а диапазон 2,4...5 В — логической единице; а для микросхем ЭСЛ-логики при напряжении питания -5,2 В диапазон -0,8...-1,03 В — логической единице, а -1,6...-1,75 В — логическому нулю.

**Аналого-цифровые микросхемы** совмещают в себе формы цифровой и аналоговой обработки сигналов.

### Типы логики

Основным элементом аналоговых микросхем являются транзисторы (биполярные или полевые). Разница в технологии изготовления транзисторов существенно влияет на характеристики микросхем.

Поэтому нередко в описании микросхемы указывают технологию изготовления, чтобы подчеркнуть тем самым общую характеристику свойств и возможностей микросхемы.

В современных технологиях объединяют технологии биполярных и полевых транзисторов, чтобы добиться улучшения характеристик микросхем.

Микросхемы на униполярных (полевых) транзисторах — самые экономичные (по потреблению тока):

-МОП-логика (металл-окисел-полупроводник логика) — микросхемы формируются из полевых транзисторов n-МОП или p-МОП типа;

-КМОП-логика (комплементарная МОП-логика) — каждый логический элемент микросхемы состоит из пары взаимодополняющих (комплементарных) полевых транзисторов (n-МОП и p-МОП).

Микросхемы на биполярных транзисторах:

-РТЛ — резисторно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);

-ДТЛ — диодно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);

-ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика — микросхемы сделаны из биполярных транзисторов с многоэмиттерными транзисторами на входе;

-ТТЛШ — транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки — усовершенствованная ТТЛ, в которой используются биполярные транзисторы с эффектом Шоттки;

-ЭСЛ — эмиттерно-связанная логика — на биполярных транзисторах, режим работы которых подобран так, чтобы они не входили в режим насыщения, — что существенно повышает быстродействие;

-ИИЛ — интегрально-инжекционная логика.

КМОП и ТТЛ (ТТЛШ) технологии являются наиболее распространёнными логиками микросхем. Где необходимо экономить потребление тока, применяют КМОП-технологию, где важнее скорость и не требуется экономия потребляемой мощности применяют ТТЛ-технологию. Слабым местом КМОП-микросхем является уязвимость от статического электричества — достаточно коснуться рукой вывода микросхемы и её целостность уже не гарантируется. С развитием технологий ТТЛ и КМОП микросхемы по параметрам сближаются и, как следствие, например, серия микросхем 1564 — сделана по технологии КМОП, а функциональность и размещение в корпусе как у ТТЛ технологии. Микросхемы, изготовленные по ЭСЛ-технологии, являются самыми быстрыми, но и наиболее энергопотребляющими, и применялись при производстве вычислительной техники в тех случаях, когда важнейшим параметром была скорость вычисления. В СССР самые производительные ЭВМ типа ЕС106х изготавливались на ЭСЛ-микросхемах. Сейчас эта технология используется редко.

### **Технологический процесс**

При изготовлении микросхем используется метод фотолитографии (проекционной, контактной и др.), при этом схему формируют на подложке (обычно из кремния), полученной путём резки алмазными дисками монокристаллов кремния на тонкие пластины. Ввиду малости линейных размеров элементов микросхем, от использования видимого света, и даже ближнего ультрафиолета, при засветке давно отказались.

В качестве характеристики технологического процесса производства микросхем указывают минимальные контролируемые размеры топологии фотоповторителя (контактные окна в оксиде кремния, ширина затворов в транзисторах и т. д.) и, как следствие, размеры транзисторов (и других элементов) на кристалле. Этот параметр, однако, находится во взаимозависимости с рядом других производственных возможностей: чистотой получаемого кремния, характеристиками инжекторов, методами фотолитографии, методами вытравливания и напыления.

В 1970-х годах минимальный контролируемый размер составлял 2-8 мкм, в 1980-х был уменьшен до 0,5-2 мкм. Некоторые экспериментальные образцы фотолитографического оборудования рентгеновского диапазона обеспечивали минимальный размер 0,18 мкм.

В 1990-х годах, из-за нового витка «войны платформ», экспериментальные методы стали внедряться в производство и быстро совершенствоваться. В начале 1990-х процессоры (например, ранние Pentium и Pentium Pro) изготавливали по технологии 0,5-0,6 мкм (500—600 нм). Потом их уровень поднялся до 250—350 нм. Следующие процессоры (Pentium 2, K6-2+, Athlon) уже делали по технологии 180 нм.

В конце 1990-х фирма Texas Instruments создала новую ультрафиолетовую технологию с минимальным контролируемым размером около 80 нм. Но достичь её в массовом производстве не

удавалось вплоть до недавнего времени. По состоянию на 2009 год технологии удалось обеспечить уровень производства вплоть до 90 нм.

Новые процессоры (сперва это был Core 2 Duo) делают по новой УФ-технологии 45 нм. Есть и другие микросхемы, давно достигшие и превысившие данный уровень (в частности, видеопроцессоры и флеш-память фирмы Samsung — 40 нм). Тем не менее дальнейшее развитие технологии вызывает всё больше трудностей. Обещания фирмы Intel по переходу на уровень 30 нм уже к 2006 году так и не сбылись.

По состоянию на 2009 год альянс ведущих разработчиков и производителей микросхем работает над тех. процессом 32 нм.

В 2010-м в розничной продаже уже появились процессоры, разработанные по 32-х нм тех. процессу. Ожидается, что, следующим, наверное, будет тех. процесс 22 нм.

Здесь действителен Закон Мура (Мур высказал предположение, что число транзисторов на кристалле будет удваиваться каждые 24 месяца).

### **Контроль качества**

Для контроля качества интегральных микросхем широко применяют так называемые тестовые структуры.

### **Назначение**

Интегральная микросхема может обладать законченным, сколь угодно сложным, функционалом — вплоть до целого микрокомпьютера (однокристалльный микрокомпьютер).

### **Аналоговые схемы**

Операционные усилители.

Компараторы.

Генераторы сигналов.

Фильтры (в том числе на пьезоэффекте).

Аналоговые умножители.

Аналоговые аттенюаторы и регулируемые усилители.

Стабилизаторы источников питания: стабилизаторы напряжения и тока.

Микросхемы управления импульсных блоков питания.

Преобразователи сигналов.

Схемы синхронизации.

Различные датчики (например, температуры).

Цифровые схемы

Логические элементы

Триггеры

Счётчики

Регистры

Буферные преобразователи

Шифраторы

Дешифраторы

Цифровой компаратор

Мультиплексоры

Демультимплексоры

Сумматоры

Полусумматоры

Ключи

АЛУ

Микроконтроллеры

(Микро)процессоры (в том числе ЦП для компьютеров)

Однокристалльные микрокомпьютеры

Микросхемы и модули памяти

ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы)

## Цифровые интегральные микросхемы

Они имеют ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми:

Уменьшенное энергопотребление связано с применением в цифровой электронике импульсных электрических сигналов. При получении и преобразовании таких сигналов активные элементы электронных устройств (транзисторов) работают в «ключевом» режиме, то есть транзистор либо «открыт» — что соответствует сигналу высокого уровня (1), либо «закрыт» — (0), в первом случае на транзисторе нет падения напряжения, во втором — через него не идёт ток. В обоих случаях энергопотребление близко к 0, в отличие от аналоговых устройств, в которых большую часть времени транзисторы находятся в промежуточном (резистивном) состоянии.

Высокая помехоустойчивость цифровых устройств связана с большим отличием сигналов высокого (например, 2,5-5 В) и низкого (0-0,5 В) уровня. Ошибка возможна при таких помехах, когда высокий уровень воспринимается как низкий и наоборот, что маловероятно. Кроме того, в цифровых устройствах возможно применение специальных кодов, позволяющих исправлять ошибки. Большое отличие сигналов высокого и низкого уровня и достаточно широкий интервал их допустимых изменений делает цифровую технику нечувствительной к неизбежному в интегральной технологии разбросу параметров элементов, избавляет от необходимости подбора и настройки цифровых устройств.

## Аналогово-цифровые схемы

цифро-аналоговые (ЦАП) и аналогово-цифровые преобразователи (АЦП).

Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС).

Трансиверы (например, преобразователь интерфейса Ethernet).

Модуляторы и демодуляторы.

Радиомодемы

Декодеры телетекста, УКВ-радио-текста

Трансиверы Fast Ethernet и оптических линий

Dial-Up модемы

Приёмники цифрового ТВ

Сенсор оптической мыши

Преобразователи напряжения питания и другие устройства на переключаемых конденсаторах

Цифровые аттенюаторы.

Схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с последовательным интерфейсом.

Коммутаторы.

Генераторы и восстановители частоты тактовой синхронизации

Базовые матричные кристаллы (БМК): содержит как аналоговые, так и цифровые первичные элементы.

## Серии микросхем

Аналоговые и цифровые микросхемы выпускаются сериями. Серия — это группа микросхем, имеющих единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначенные для совместного применения. Микросхемы одной серии, как правило, имеют одинаковые напряжения источников питания, согласованы по входным и выходным сопротивлениям, уровням сигналов.

## Корпуса микросхем

Микросхемы выпускаются в двух конструктивных вариантах — *корпусном* и *бескорпусном*.

**Бескорпусная микросхема** — это полупроводниковый кристалл, предназначенный для монтажа в гибридную микросхему или микросборку (возможен непосредственный монтаж на печатную плату).

**Корпус микросхемы** — это часть конструкции микросхемы, предназначенная для защиты от внешних воздействий и для соединения с внешними электрическими цепями посредством выводов.

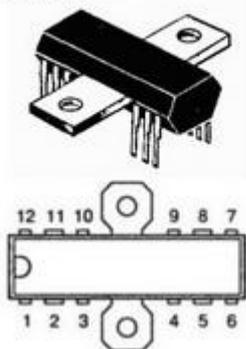
Корпуса стандартизованы для упрощения технологического процесса изготовления изделий из разных микросхем. Число стандартных корпусов исчисляется сотнями.

В российских корпусах расстояние между выводами (шаг) измеряется в миллиметрах и наиболее часто это 2,5 мм и 1,25 мм. У импортных микросхем шаг измеряют в дюймах, используя величину 1/10 или 1/20 дюйма, что соответствует 2,54 и 1,28 мм. В корпусах до 16 выводов эта разница не

значительна, а при больших размерах (20 и более выводов) соответствующие корпуса уже достаточно конструктивно несовместимы: для штыревых выводов — обламывание выводов при монтаже, для планарных — спайка соседних.

В современных импортных корпусах для поверхностного монтажа применяют и метрические размеры: 0,8 мм; 0,65 мм и другие.

K174УН7



#### **Пример корпусной микросхемы:**

Назначение выводов микросхемы K174УН7:

- 1 — питание (+  $U_n$ );
- 4 — вольтодобавка, питание (+ $U_n$ );
- 5—коррекция;
- 6—обратная связь;
- 7—фильтр;
- 8—вход;
- 9— общий (—  $U_n$ );
- 10—эмиттер выходного каскада;
- 12—выход.

### **Специфические названия микросхем**

Фирма Intel первой изготовила микросхему, которая выполняла функции микропроцессора (англ. microprocessor) — Intel 4004. На базе усовершенствованных микропроцессоров 8088 и 8086 фирма IBM выпустила свои известные персональные компьютеры).

Микропроцессор формирует ядро вычислительной машины, дополнительные функции, типа связи с периферией выполнялись с помощью специально разработанных наборов микросхем (чипсет). Для первых ЭВМ число микросхем в наборах исчислялось десятками и сотнями, в современных системах это набор из двух-трёх микросхем. В последнее время наблюдаются тенденции постепенного переноса функций чипсета (контроллер памяти, контроллер шины PCI Express) в процессор. Микропроцессоры со встроенными ОЗУ и ПЗУ, контроллерами памяти и ввода-вывода, а также другими дополнительными функциями называют микроконтроллерами. Примерами могут служить современные процессоры Intel со встроенными контроллерами ОП, видео и т.д.

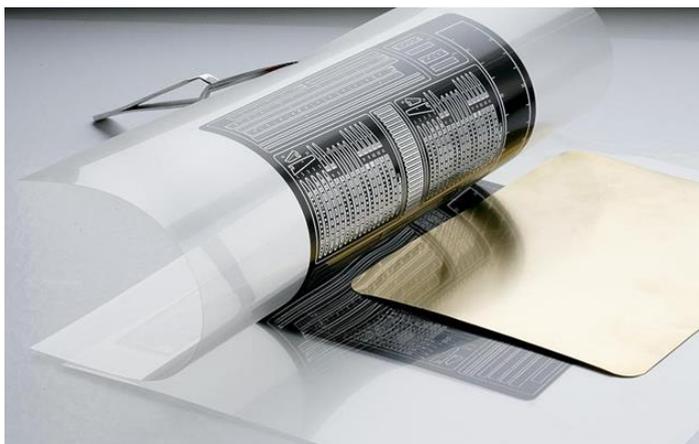


Гибридная микросборка STK403-090, извлечённая из корпуса

### **Уровни проектирования**

- топологический — топологические фотошаблоны для производства
- физический — методы реализации одного транзистора (или небольшой группы) в виде легированных зон на кристалле
- электрический — принципиальная электрическая схема (транзисторы, конденсаторы, резисторы и т. п.)
- схемотехнический уровень — схемотехнические схемы (триггеры, компараторы, шифраторы, дешифраторы, АЛУ и т. п.)
- логический — логическая схема (логические инверторы, элементы ИЛИ-НЕ, И-НЕ и т. п.)
- программный — позволяет программисту программировать (для ПЛИС, микроконтроллеров и микропроцессоров) разрабатываемую модель, используя виртуальную схему

В настоящее время (2014 г.) большая часть интегральных схем проектируется при помощи специализированных САПР, которые позволяют автоматизировать и значительно ускорить производственные процессы, например, получение топологических фотошаблонов.



**Фотошаблон** — стеклянная или иная пластина либо полимерная плёнка со сформированным на её поверхности рисунком элементов схем из материала, не пропускающего актиничное излучение.

Фотошаблон является одним из основных инструментов при создании заданного рельефного защитного покрытия при проведении фотолитографии в планарной технологии. В зависимости от материала пленочного покрытия различают фотошаблоны на основе:

- фотографической эмульсии (эмульсионные

фотошаблоны)

- металлической плёнки (металлические фотошаблоны)
- окиси железа (цветные фотошаблоны)

### Технология изготовления полупроводниковых микросхем

В зависимости от разновидности полупроводниковой технологии (локализация и литография, вакуумное напыление и гальваническое осаждение, эпитаксия, диффузия, легирование и травление) получают области с различной проводимостью, которые эквивалентны емкости, либо активным сопротивлениям, либо различным полупроводниковым приборам. Изменяя концентрацию примесей, можно получить в кристалле многослойную структуру, воспроизводящую заданную электрическую схему.

В настоящее время применяют групповые способы изготовления полупроводниковых интегральных микросхем, позволяющие за один технологический цикл получить несколько сотен заготовок микросхем. Наибольшее распространение получил групповой планарный способ, заключающийся в том, что элементы микросхем (конденсаторы, резисторы, диоды и транзисторы) располагаются в одной плоскости или на одной стороне подложки.

Рассмотрим основные технологические процессы, применяемые при изготовлении полупроводниковых микросхем (термическое окислирование, литография, эпитаксия, диффузия и ионное легирование).

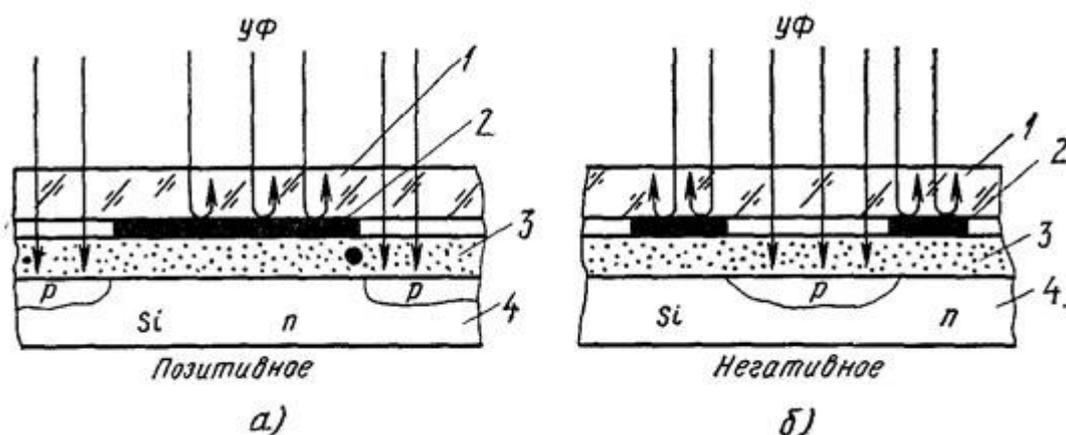


Рис. 22. Перенос изображений с помощью негативного (а) и позитивного (б) фоторезистов:

1 — основа фотошаблона, 2 — непрозрачные участки рисунка фотошаблона, 3 — фоторезистивный слой, 4 — подложка

Термическое оксидирование мало чем отличается от типовых технологических процессов, известных при производстве полупроводниковых приборов. В технологии кремниевых полупроводниковых микросхем оксидные слои служат для изоляции отдельных участков полупроводникового кристалла (элементов, микросхемы) при последующих технологических процессах.

Литография является самым универсальным способом получения изображения элементов микросхемы на кристалле полупроводника и делится на три вида: оптическая, рентгеновская и электронная.

В производстве полупроводниковых интегральных микросхем самый универсальный технологический процесс — это оптическая литография или фотолитография. Сущность процесса фотолитографии основана на использовании фотохимических явлений, происходящих в светочувствительных покрытиях (фоторезистах) при экспонировании их через маску. На рис. 22, а показан процесс негативного, а на рис. 22, б — позитивного переноса изображений с помощью фоторезистов, а на рис. 23 приведена схема технологического процесса фотолитографии.

Весь процесс фотолитографии с помощью фоторезистивной маски состоит из трех основных этапов: формирования на поверхности подложки фото-резистивного слоя I, фоторезистивной контактной маски II и передачи изображения с фотошаблона на фоторезистивный слой III.

Фотолитография может производиться бесконтактным и контактным способами. Бесконтактная фотолитография по сравнению с контактной дает более высокую степень интеграции более высокие требования к фотооборудованию.

Процесс получения рисунка микросхемы фотолитографическим способом сопровождается рядом контрольных операций, предусмотренных соответствующими картами технологического контроля.

Рентгеновская литография позволяет получить более высокую разрешающую способность (большую степень интеграции), так как длина волны рентгеновских лучей короче, чем световых. Однако рентгенолитография требует более сложного технологического оборудования.

Электронная литография (электронно-лучевое экспонирование) выполняется в специальных вакуумных установках и позволяют получить высокое качество рисунка микросхемы. Этот вид литографии легко автоматизируется и имеет ряд преимуществ при получении больших интегральных микросхем с большим (более 10<sup>5</sup>) числом элементов.

В настоящее время полупроводниковые элементы и компоненты микросхем получают тремя методами: эпитаксии, термической диффузии и ионного легирования.

Эпитаксия — процесс выращивания слоев с упорядоченной кристаллической структурой путем реализации ориентирующего действия кристалла подложки. Ориентированно выраженные слои нового вещества, закономерно продолжающие кристаллическую решетку подложки, называют эпитаксиальными слоями. Эпитаксиальные слои на кристалле выращивают в вакууме. Процессы эпитаксиального выращивания полупроводниковых слоев аналогичны получению тонких пленок. Эпитаксию можно разделить на следующие этапы: доставка атомов или молекул вещества слоя на поверхность кристалла подложки и миграция их по поверхности; начало группирования частиц вещества около поверхностных центров кристаллизации и образование зародышей слоя; рост отдельных зародышей до их слияния и образования сплошного слоя.

Эпитаксиальные процессы могут быть очень разнообразными. В зависимости от используемого материала (полупроводниковой пластины и легирующих элементов) с помощью процесса эпитаксии можно получить однородные (мало отличающиеся) по химическому составу электронно-дырочные переходы, а также однослойные и многослойные структуры наращивания слоев различных типов

проводимости. Этим методом можно получить сложные сочетания: полупроводник — полупроводник; полупроводник — диэлектрик; полупроводник — металл.

В настоящее время наиболее широко применяют избирательный локальный эпитаксиальный рост с использованием SiO<sub>2</sub> — контактных масок с эпитаксиально-планарной технологией.

Для получения заданных параметров эпитаксиальных слоев осуществляют контроль и регулировку толщины, удельного сопротивления, распределения концентрации примеси по толщине слоя и плотности дефектов. Эти параметры слоев определяют пробивные напряжения и обратные токи р-гс-переходов, сопротивления насыщения транзисторов, внутреннее сопротивление и вольт-фа-радные характеристики структур.

Термическая диффузия — это явление направленного перемещения частиц вещества в сторону убывания их концентрации, которое определяется градиентом концентрации.

Термическую диффузию широко используют для введения легирующих примесей в полупроводниковые пластины или в выращенные на них эпитаксиальные слои с целью получения элементов микросхемы противоположного по сравнению с исходным материалом типа проводимости, либо элементов с более низким электрическим сопротивлением. В первом случае получают, например, эмиттеры, во втором — коллекторы.

Диффузию, как правило, проводят в специальных кварцевых ампулах при 1000—1350° С. Способ проведения диффузии и диффузант (примесь) выбирают в зависимости от свойств полупроводника и требований, предъявляемых к параметрам диффузионных структур. Процесс диффузии предъявляет высокие требования к оборудованию и частоте легирующих примесей и обеспечивает получение слоев с высокой точностью воспроизведения параметров и толщин. Свойства диффузионных слоев тщательно контролируют, обращая внимание на глубину залегания р-гс-перехода, поверхностное сопротивление или поверхностную концентрацию примеси, распределение концентрации примеси по глубине диффузионного слоя и плотность дефектов диффузионного слоя.

Дефекты диффузионных слоев (эрозию) проверяют с помощью микроскопа с большим увеличением (до 200х) или электрорадиографии.

Ионное легирование также получило широкое применение при изготовлении полупроводниковых приборов с большой плоскостью переходов, солнечных батарей и др.

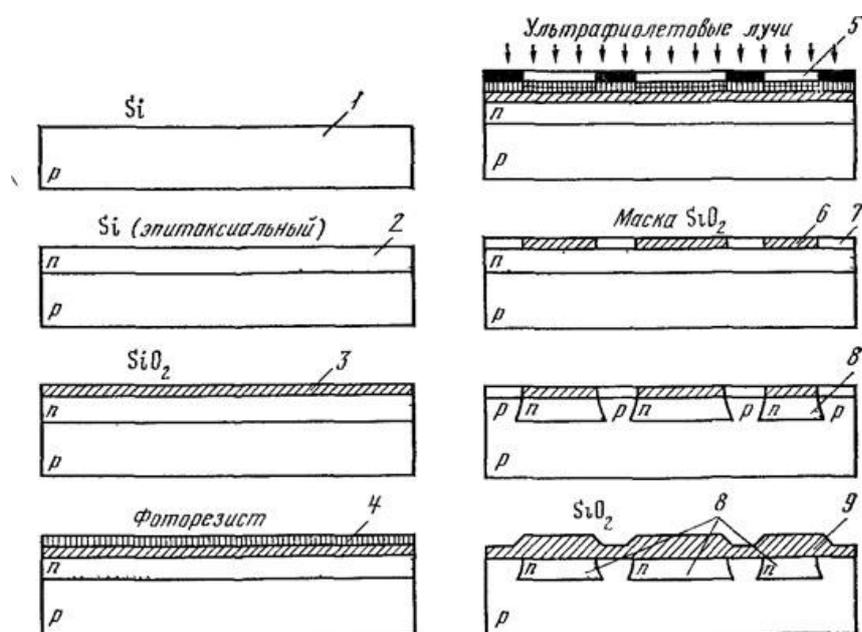
Процесс ионного легирования определяется начальной кинетической энергией ионов в полупроводнике и выполняется в два этапа. Сначала в полупроводниковую пластину на вакуумной установке с дуговым разрядом внедряют ионы, а затем проводят отжиг при высокой температуре, в результате чего восстанавливается нарушенная структура полупроводника и ионы примеси занимают узлы кристаллической решетки. Метод получения полупроводниковых элементов наиболее перспективен при изготовлении различных СВЧ-структур.

Основные технологические этапы получения полупроводниковых микросхем показаны на рис. 24. Самым распространенным методом получения элементов в микросхеме (разделения участков микросхемы) является изоляция оксидной пленкой, получаемой в результате термообработки поверхности кристалла (подложки).

Чтобы получить изолирующие р-п -переходы на подложке кремниевой пластины 1, ее обрабатывают в течение нескольких часов в окислительной среде при 1000—1200° С. Под действием окислителя эпитаксиальный полупроводниковый поверхностный слой кремния 2 окисляется. Толщина оксидной пленки 3 — несколько десятых долей микрона. Эта пленка препятствует проникновению в глубь кристалла атомов другого вещества. Но если снять пленку с поверхности кристалла в определенных местах, то с помощью диффузии или других рассмотренных выше методов можно ввести в

эпитаксиальный слой кремния примеси, создав тем самым участки различной проводимости. После того как на подложке получена оксидная пленка, на подложку наносят светочувствительный слой — фоторезист 4. Далее этот слой используют для получения в нем рисунка фотошаблона 5 в соответствии с топологией микросхемы.

Перенос изображения с фотошаблона на окисленную поверхность кремниевой пластины, покрытую слоем фоторезиста, чаще всего производят фотографией, а экспонирование — ультрафиолетовым светом или рентгеном. Затем подложку с экспонированным рисунком проявляют. Те участки, которые освещались, растворяются в кислоте, обнажая поверхность оксида кремния 6. Те же участки, которые не экспонировались, кристаллизуются и становятся нерастворимыми участками 7. Полученную подложку с нанесенной на ней рельефной схемой расположения изолирующих переходов промывают и сушат. После травления незащищенных участков оксида кремния защитный слой фоторезиста удаляют химическим способом. Таким образом, на подложке получают «окна». Такой способ получения рисунка схемы называют позитивным.



Через обнаженные участки 6 подложки методом диффузии вводят примеси атомов бора или фосфора, которые создают изолирующий барьер 8. На полученных изолированных друг от друга участках подложки методом вторичной диффузии, травления, наращивания или другим методом получают активные и пассивные элементы схемы и токопроводящие пленки 9.

Технология получения полупроводниковых интегральных схем состоит из 15—20, а иногда и более операций. После того как получены все компоненты схем и пленка оксида вытравлена с тех мест, где будут находиться выводы компонентов, полупроводниковую схему покрывают методом напыления или гальванического осаждения пленкой алюминия. С помощью фотолитографии с последующим травлением получают внутрисхемные соединения.

Поскольку в едином технологическом цикле на подложке изготавливают большое количество однотипных интегральных схем, пластины нарезают на отдельные кристаллы, каждый из которых содержит готовую микросхему. Кристаллы приклеивают к держателю корпуса, а электрические контакты микросхемы методом пайки, сварки и термокомпрессии соединяют с выводами проволочными перемычками. Готовые микросхемы при необходимости герметизируют одним из описанных ниже способов.

Промышленность выпускает большую номенклатуру полупроводниковых интегральных микросхем. Например, кремниевые микросхемы с диодно-транзисторными связями предназначены для работы в

логических узлах ЭВМ и узлах автоматики; германиевые полупроводниковые микросхемы с непосредственными связями являются универсальными логическими переключающими элементами НЕ — ИЛИ.

Дальнейшим развитием технологии производства интегральных микросхем явилось создание схем с большой интеграцией микроэлементов.

В совмещенной интегральной микросхеме элементы выполнены в объеме и на поверхности полупроводниковой подложки комбинированием технологии изготовления полупроводниковых и пленочных микросхем. В монокристалле кремния — подложке методами диффузии, травления и другими получают все активные элементы (диоды, транзисторы и др.), а затем на эту подложку, покрытую плотной пленкой оксида кремния, напыляют пассивные элементы (резисторы, конденсаторы) и токопроводящие проводники. Совмещенную технологию применяют для изготовления микро-мощных и быстродействующих интегральных микросхем.

Для получения контактных площадок и выводов микросхемы на подложку осаждают слой алюминия. Подложка со схемой крепится на внутреннем основании корпуса, контактные площадки на монокристалле соединяются проводниками с выводами корпуса микросхемы.

Совмещенные интегральные микросхемы конструктивно могут быть выполнены в виде моноблока довольно малых размеров. Например, двухкаскадный высокочастотный усилитель, состоящий из двух транзисторов и шести пассивных элементов, размещается на монокристалле кремния размером 2,54X1,27 мм.

Быстрый рост интеграции полупроводниковых микросхем при разработке РЭА привел к созданию микросхем высокой степени сложности: БИС, СБИС и БГИС (микросборок).

Большая интегральная схема представляет собой сложную полупроводниковую микросхему с высокой степенью интеграций. В последние годы созданы полупроводниковые БИС, имеющие на кристалле кремния размером 1,45x1,6 мм до 1000 и более элементов (транзисторов, диодов, резисторов и др.) и выполняющие функции 300 и более отдельных интегральных микросхем. Разработан микропроцессор (микро-ЭВМ), имеющий степень интеграции свыше 10<sup>7</sup> элементов на кристалле.

Используя несколько навесных структур БИС на диэлектрической подложке с пассивной пленочной частью микросхем, можно получить микросборки (БГИС), которые просты в проектировании и изготовлении.

Повышение интеграции микросхем достигается автоматизацией и введением в технологический процесс математического моделирования с машинным проектированием топологии и применением новых методов формирования элементов микросхем (ионное легирование и др.).

Основной цикл проектирования БИС состоит из двух этапов: архитектурно - схемотехнического и конструкторско - технологического.

Архитектурно-схемотехнический этап включает разработку архитектуры и структуры микросхемы, функциональных и принципиальных электрических схем, математическое моделирование и другие работы.

Конструкторско-технологический этап включает разработку топологии и конструкции микросхемы, технологии ее изготовления, а также их испытания.

Большие и сверхбольшие интегральные микросхемы на современном уровне представляют последний этап развития классических интегральных микросхем, в которых можно выделить области, эквивалентные пассивным и активным элементам. Дальнейшее развитие элементной базы электроники возможно при использовании различных эффектов и физических явлений в молекулах твердого тела (молекулярная электроника).