

1.2. ВИДЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Цель лекции: ознакомление с видами интегральных схем.

1.2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Интегральная микросхема (ИС, ИС) - микросхема, ряд элементов которой нераздельно выполнен и электрически соединен между собой таким образом, что с точки зрения технических требований, испытаний, торговли и эксплуатации устройство рассматривается как целое (ГОСТ 17021—88).

Структура (вертикальный профиль) ИС – это последовательность слоев в составе микросхемы по нормали к поверхности кристалла, различающихся материалом, толщиной и электрофизическими свойствами. Пример структуры современной ИС приведен на рис. 1.2.1.

Еще одним важным понятием является *топология ИС* – это чертеж, определяющий форму, размеры и взаимное расположение элементов и соединений ИС в плоскости, параллельной плоскости кристалла. Различают 2 вида топологии:

- общая (совмещенная);
- послойная.

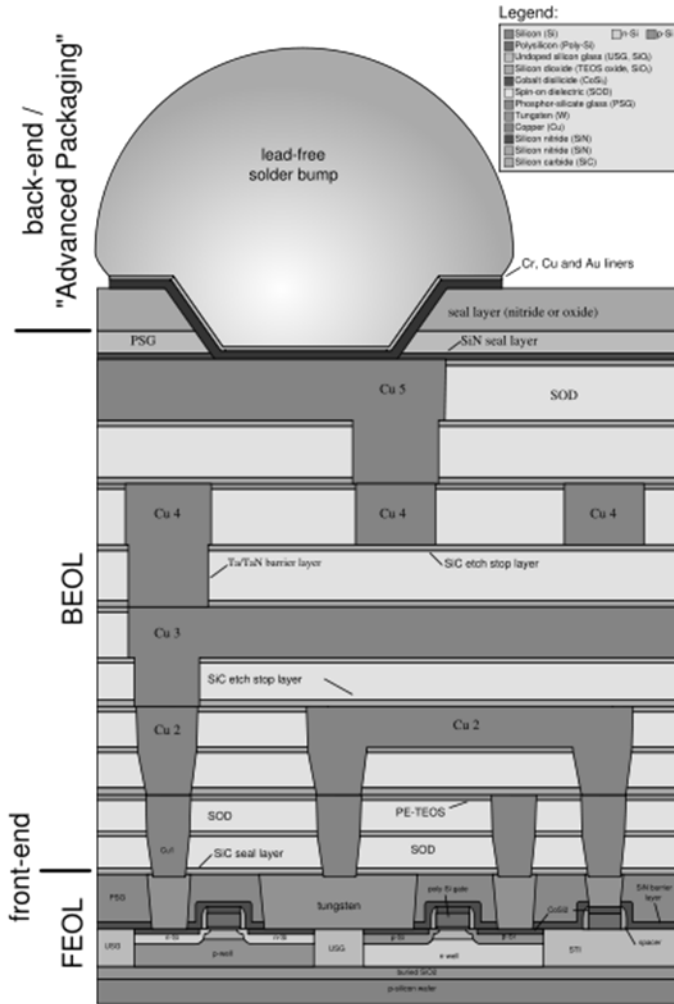


Рис. 1.2.1. Структура современной КМОП ИС
 Источник: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cmos-chip_structure_in_2000s_\(en\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cmos-chip_structure_in_2000s_(en).svg)

Пример общей топологии приведен на рис. 1.2.2 и 1.2.3. На ней все слои показываются на одном чертеже разным цветом. На послойной топологии изображается только один слой; как правило, она используется для чертежей фотошаблонов.

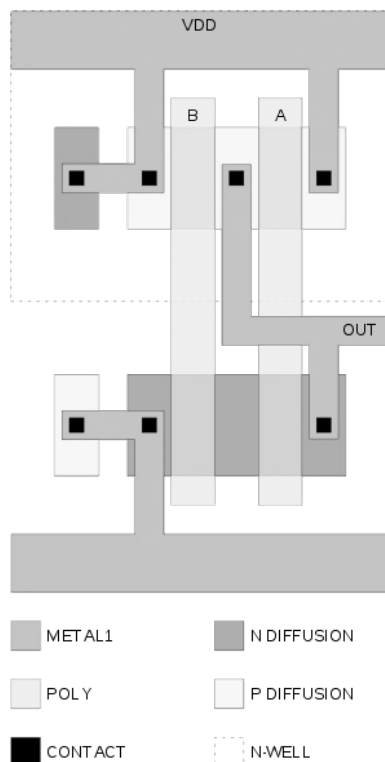


Рис. 1.2.2. Пример общей топологии фрагмента КМОП микросхемы
Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CMOS_NAND_Layout.svg

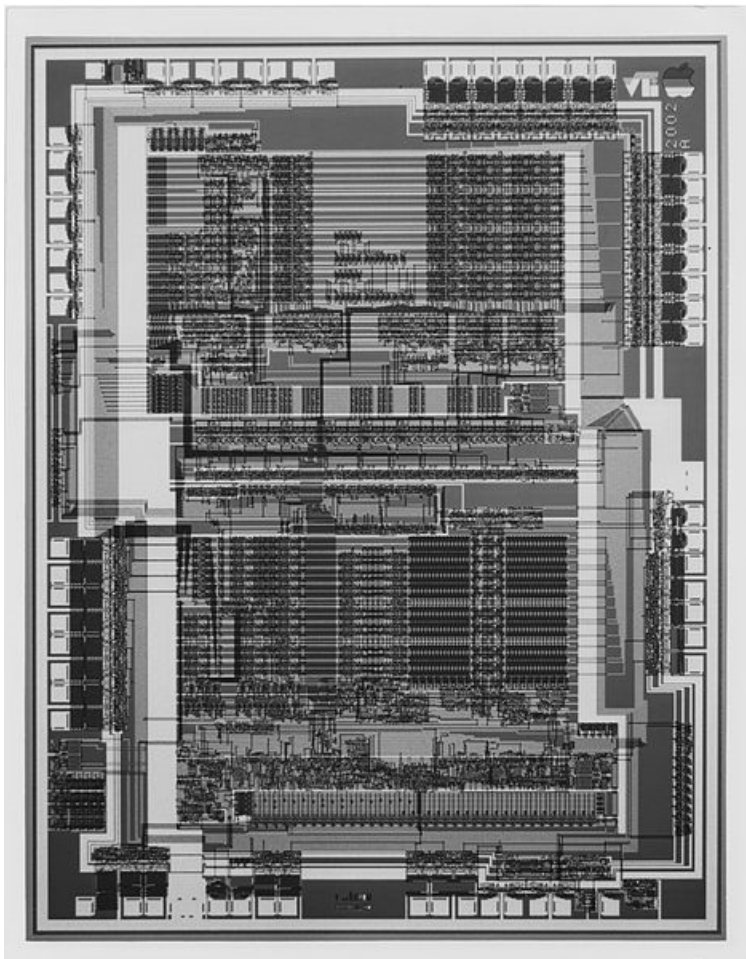


Рис. 1.2.3. Общая топология процессора Apple VTI Bagpipe

Все элементы ИС выполняются по *интегральной технологии* – это совокупность методов обработки, позволяющая при наличии структурного подобия (технологической совместимости) различных элементов ИС формировать их одновременно в едином технологическом цикле. Благодаря этому экономически выгодно изготавливать ИС на подложках большого диаметра, поскольку это позволяет одновременно изготавливать больше кристаллов, что снижает их себестоимость.

1.2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Интегральные схемы можно классифицировать по разным признакам:

- по степени интеграции;
- по физическому принципу работы элементов;
- по функциональному назначению;
- по быстродействию;
- по потребляемой мощности;
- по конструктивным особенностям;
- по применяемости.

По степени интеграции различают следующие виды микросхем:

- малые ИС (МИС) – до 100 элементов в кристалле);
- средние ИС (СИС) – до 1000 элементов в кристалле);
- большие ИС (БИС) – до 10000 элементов в кристалле);
- сверхбольшие ИС (СБИС) – свыше 100000 элементов в кристалле). В настоящее время число транзисторов в СБИС может составлять несколько десятков миллиардов.

По конструктивному признаку различают:

- полупроводниковые ИС;
- пленочные ИС;
- совмещенные ИС;
- гибридные ИС (среди них отдельно выделяют СВЧ ИС).
- функциональные ИС.

Полупроводниковая ИС – это ИС, представляющая собой полупроводниковый кристалл, в поверхностном слое которого с помощью методов полупроводниковой технологии сформированы области, эквивалентные элементам электрической схемы и соединения между ними.

В полупроводниковой ИС все элементы и соединения выполнены в приповерхностном объеме или на поверхности полупроводника.

Характеристики полупроводниковых материалов. Физические свойства наиболее часто применяемых в приборостроении полупроводниковых материалов и диэлектриков представлены в табл. 1.2.1.

При этом, несмотря на то что технологические процессы производства ИС относятся к сфере высоких технологий, только ~3% объема кремниевой пластины полезно используются для формирования структур компонентов ИС. Остальной объем кремниевой пластины (~97%) не используется и является лишь держателем (подложкой) для ИС, чтобы изготовленная ИС не рассыпалась из-за своей сверхмалой толщины (рис.1.2.4).

Таблица 1.2.1.

Физические свойства материалов приборостроения

	Si	Ge	GaAs	SiO ₂	Si ₃ N ₄
Плотность, г/см ³	2,238	5,327	5,316	2,19	3,44
Температура плавления, °С	1412	926	1238	~1700	~1900
Диэлектрическая проницаемость, ε	11,7	16,0	12,9	3,9	7,5
Теплопроводность, Вт·м ⁻¹ ·°С ⁻¹	1,25·10 ²	0,59·10 ²	0,52·10 ²	0,014	0,185
Термический коэффициент линейного расширения, 1/°С	2,33·10 ⁻⁶	5,75·10 ⁻⁶	5,64·10 ⁻⁶	5,0·10 ⁻⁷	2,8·10 ⁻⁶
Молярная теплоемкость, Дж/°С·моль	23,3	20,1	–	–	–
Критерий хрупкости	2	4,4	3	–	–

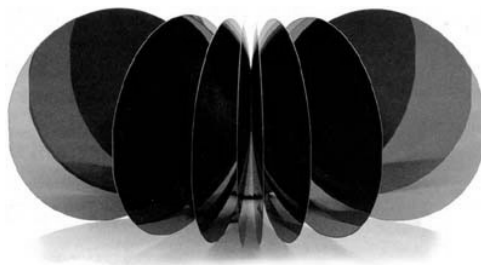


Рис. 1.2.4. Кремниевые пластины

Классификация полупроводниковых ИС приведена на рис. 1.2.5.

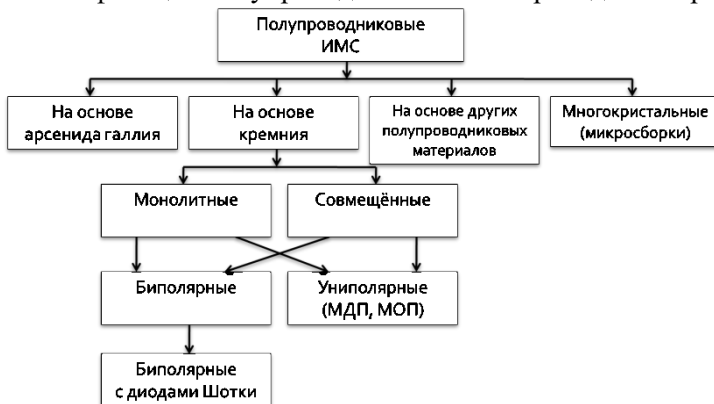


Рис. 1.2.5. Классификация полупроводниковых микросхем

Пленочные ИС – это ИС, все пассивные элементы и соединения в которых выполнены в виде пленок. Их классификация приведена на рис. 1.2.6.

Различают тонкопленочные (с толщиной пленок, формирующих структуру ИС, до 2 мкм) и толстопленочные (от 20 мкм и выше) ИС. В настоящее время они практически не встречаются.

Совмещенные ИС – это комбинированная полупроводниковая ИС, в которой некоторые элементы (обычно пассивные) наносят на поверхность пластины (кристалла) методами пленочной технологии.

Гибридные ИС (ГИС) – это ИС, которая наряду с пленочными элементами, полученными с помощью интегральной технологии, содержит компоненты, имеющие самостоятельное конструктивное оформление. В зависимости от технологии изготовления пленочных элементов различают тонкопленочные ГИС и толстопленочные ГИС. В настоящее время используется в основном только их разновидность — СВЧ ИС, которые работают в СВЧ диапазоне.

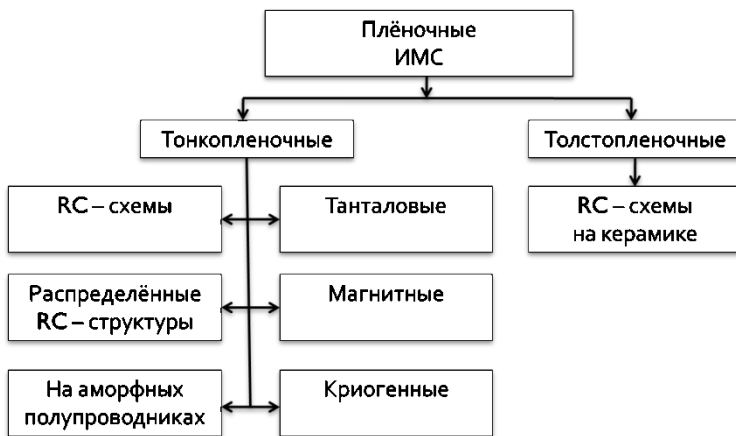


Рис. 1.2.6. Классификация пленочных микросхем

Функциональные ИС – ИС, которые используют различные физические эффекты и принципы для обработки сигнала. Их классификация приведена на рис. 1.2.7.

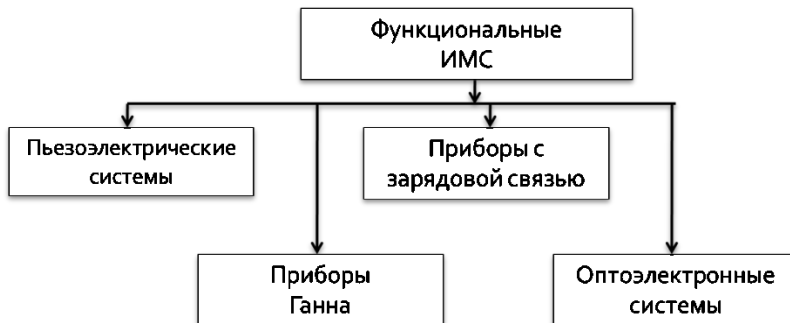


Рис. 1.2.7. Классификация функциональных микросхем

Пьезоэлектрические ИС содержат пленочные пьезоэлектрические элементы, которые позволяют генерировать электрические сигналы за счет использования механической энергии деформации (пьезоэффекта).

Приборы Ганна – ИС, которые используют для своей работы эффект Ганна.

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) – специализированная аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, выполненная на основе кремния, использующая технологию ПЗС — приборов с зарядовой связью.

Оптоэлектронные ИС – ИС, которые содержат одну или несколько оптопар, а также согласующие элементы или электронные ИС, объединенные при помощи гибридной технологии в один корпус.

Еще одной конструктивной особенностью ИС является наличие корпуса. В зависимости от этого различают корпусные ИС и бескорпусные ИС.

По функциональному назначению различают:

- цифровые ИС (содержат только цифровые элементы);
- аналоговые ИС (содержат только аналоговые элементы);
- аналого-цифровые ИС (содержат и цифровые, и аналоговые элементы).

Для цифровых ИС существует также классификация по типу логики, приведенная на рис. 1.2.8. Но современные цифровые ИС выполняются в основном на основе КМОП-логики.

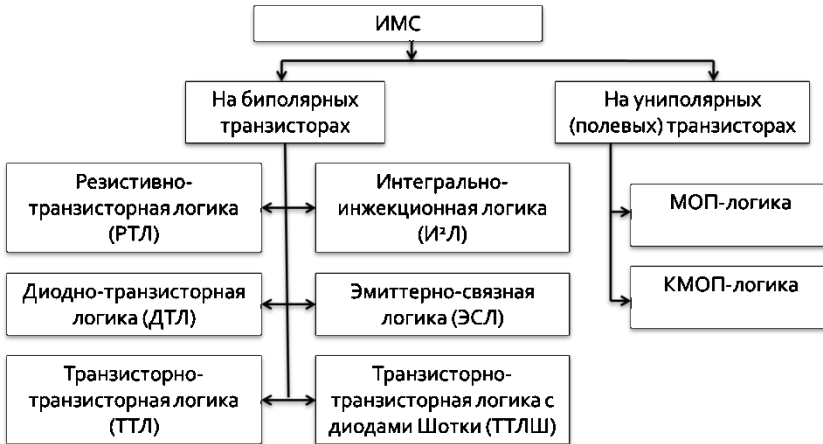


Рис. 1.2.8. Классификация цифровых микросхем

По применяемости различают:

- ИС широкого применения (серийно выпускаемые);
- специализированные ИС (разработанные по заказу потребителя).

1.2.3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Для того, чтобы понять технологию создания n -перехода в полупроводниковых кристаллах, необходимо сначала изучить понятие примесной проводимости. Примесную проводимость разделяют на донорную и акцепторную.

Донорная проводимость

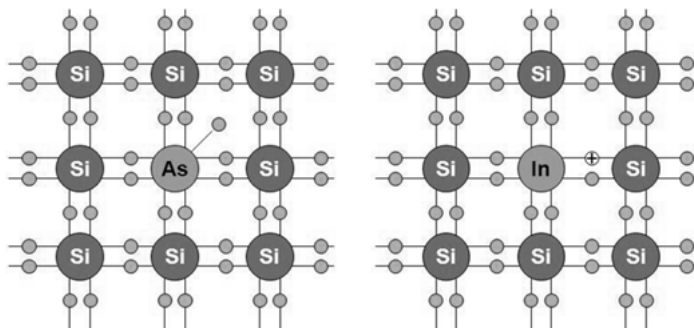
В четырехвалентном кремнии все электроны участвуют в создании ковалентных связей кристалла. Если некоторые атомы в кристалле будут пятивалентны, один электрон этих атомов не будет участвовать в связях. В результате он будет гораздо слабее связан со своим атомом, его подвижность будет выше даже без повышения температуры.

Примесная проводимость полупроводника, в которой пятивалентные атомы являются источником свободных электронов, называется донорной (рис. 1.2.9 а).

В качестве донорной примеси чаще всего используются пятивалентные фосфор (используется чаще всего, поскольку он обладает наивысшей скоростью диффузии), мышьяк или сурьма.

Полупроводники, имеющие донорную примесную проводимость, называются полупроводниками n -типа или электронными

полупроводниками.



а)

б)

Рис. 1.2.9. Схема образования примесной проводимости. а)- донорная (электронная проводимость) проводимость, б) – акцепторная (дырочная) проводимость.

Акцепторная проводимость

Другой вариант примесной проводимости – добавление в кристалл трехвалентных атомов. В этом случае, одна из связей трехвалентного атома будет одноэлектронной. Образуется дырка, которая может заполняться электронами соседних атомов (рис.1.2.9 б).

Примесная проводимость полупроводника, в которой трехвалентные атомы образуют дырки в кристалле, называется акцепторной.

В качестве акцепторной примеси используются трехвалентные бор (чаще всего, поскольку обладает наиболее высокой предельной растворимостью в кремнии), индий или галлий.

Полупроводники, имеющие акцепторную примесную проводимость, называются полупроводниками р-типа или дырочными полупроводниками.

Схема образования р-п перехода

р-п переходом называют слой полупроводника, располагающийся по обе стороны от границы раздела р- и п-областей. Чтобы получить электронно-дырочный переход (р-п-переход), нужно в одном и том же кристалле полупроводника образовать тоненькую границу полупроводника с разными типами проводимости. Проще всего это можно сделать так называемым сплавным методом. Рассмотрим полупроводник, в котором имеются две области: электронная и дырочная (рис. 1.2.10). В р-области основными носителями заряда являются дырки, а в п-области — свободные электроны. Обе области до образования контакта между ними были электрически

нейтральными. При образовании контакта вследствие диффузии небольшое количество свободных электронов из n -области перейдет в p -область, где есть дырки, и часть из них нейтрализует возле контакта. Дырки, в свою очередь, будут диффундировать из p -области в n -область, где будут рекомбинировать со свободными электронами. Таким образом, концентрация свободных электронов и дырок в месте контакта очень уменьшается, поэтому сопротивление этой части полупроводника большое.

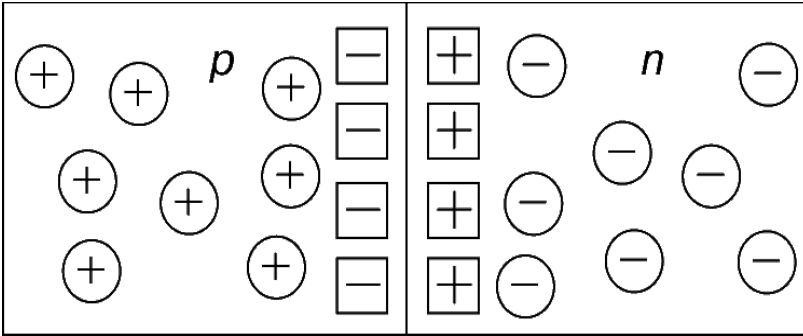


Рис. 1.2.10.Схема образования поля объемного заряда при контакте полупроводников p и n типов.

Кроме того, n -часть возле контакта с p -частью зарядится положительно, поскольку, во-первых, она утратила часть своих свободных электронов, а во-вторых, к ней перешла часть дырок из p -части. В свою очередь, p -часть зарядится отрицательно. Электрическое поле, которое при этом возникает, препятствует дальнейшей диффузии электронов и дырок. Таким образом, на границе полупроводников с разными типами проводимости возникает p - n -переход.

Прямое и обратное напряжение на p - n переходе

Если p - n -переход подключить в электрическую цепь так, как показано на рис. 1.2.11 б) (p -часть соединить с положительным полюсом источника тока, а n -часть — с отрицательной), то под действием внешнего электрического поля свободные носители заряда будут двигаться к p - n -переходу, концентрация их на переходе будет возрастать и через переход пойдет значительной силы ток. Если полярность включения перехода изменить (рис. 1.2.11 а), то ширина перехода возрастет, поскольку свободные носители заряда под действием внешнего электрического поля будут двигаться от перехода.

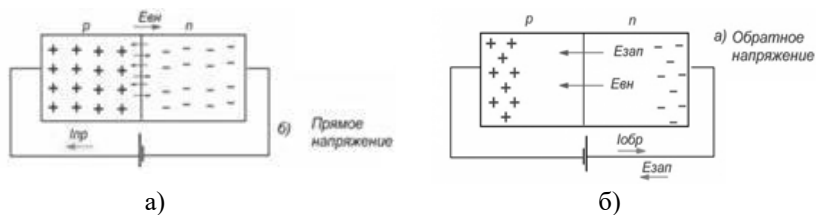


Рис. 1.2.11. Прямое и обратное включение р-п-перехода

Сопротивление перехода значительно возрастает, и сила тока в цепи будет незначительной.

1.2.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ Р-Н-ПЕРЕХОДОВ

Существует 3 технологии получения р-п переходов.

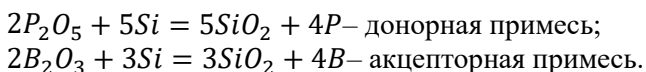
Сплавные переходы. На кристаллы n-типа, помещенные в графитовые кассеты, накладывают таблетку акцепторного материала, чаще всего индия. Затем кассета помещается в вакуумную печь, в которой таблетка индия и слой полупроводника под ней расплавляются. Нагрев прекращается и при охлаждении полупроводник кристаллизуется, образуя под слоем индия слой р-типа.

Диффузионные переходы получают термической диффузией примесного вещества в исходную полупроводниковую пластинку. Целью проведения диффузии является внедрение атомов легирующего элемента в кристаллическую решетку полупроводника для образования области с противоположным по отношению к исходному материалу типом проводимости. При этом вновь образованная область оказывается ограниченной р-п-переходом.

В настоящее время наиболее распространенным способом получения р-п-переходов является ионное легирование примеси (ионная имплантация), который основан на контролируемом внедрении в материал ускоренных в электростатическом поле ионизированных атомов примеси.

Использовать чистые атомарные В, Р, As трудно: фосфор легко воспламеняется, мышьяк токсичен, бор имеет высокую температуру плавления. Поэтому в качестве источников примеси при диффузии используют химические соединения этих элементов – ангидриды, галогениды, гидриды, обладающие достаточной летучестью.

Пример взаимодействия молекул ангидрида с Si и выделение атомов примеси:



ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ 2

Вопрос 1	Какие виды проводимости возможны в полупроводниках?
Ответы:	
1	донорная и акцепторная
2	электронная и тунельная
3	полупроводники ток не проводят
Вопрос 2	СБИС содержат
Ответы:	
1	более 100000 элементов
2	более 10 элементов
3	более 10000 элементов