

Полупроводниковые микросхемы

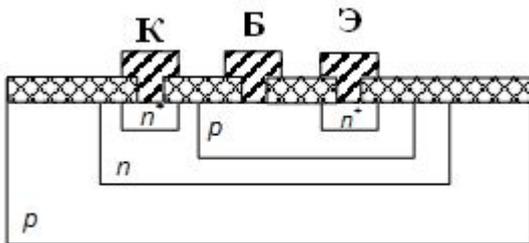
Для характеристики типа применяемых в ИМС транзисторов, а также технологических методов их изготовления пользуются понятиями топологии и структуры ИМС.

Топология задает размеры элементов ИМС в плане и их взаимное расположение и определяет выбор метода получения рисунка схемы.

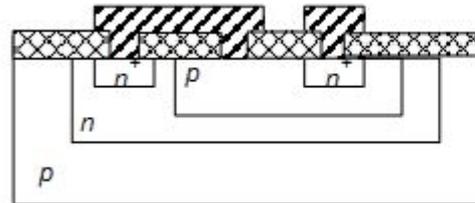
Структура ИМС показывает последовательность слоев в составе микросхемы по нормали к поверхности кристалла, различающихся материалом, толщиной и электрофизическими свойствами. По структуре ИМС устанавливается состав и последовательность технологических методов обработки пластины, и определяются технологические режимы каждого метода.

В настоящее время различают два класса полупроводниковых ИМС: биполярные и МДП ИМС в зависимости от используемых транзисторов в схеме.

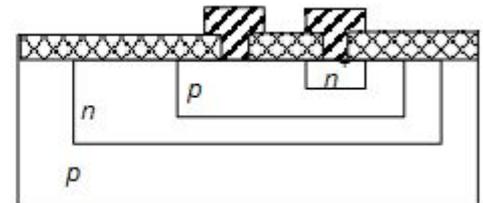
Элементы полупроводниковых ИМС



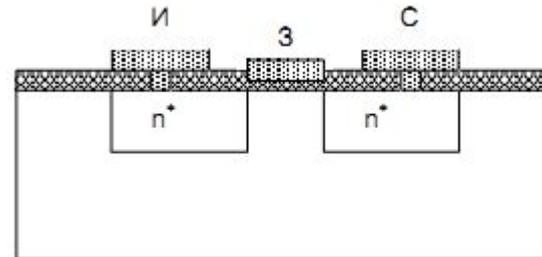
Биполярный транзистор n-p-n



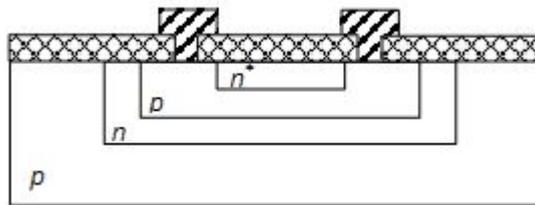
Диод биполярной ИМС



Резистор биполярных ИМС.



МДП-транзистор



Пинч-резисторы

Выбор материала подложек полупроводниковых ИМС

Пригодность полупроводникового материала для использования при изготовлении приборов и ИМС определяется в основном параметрами, зависящими от его физических свойств: оптических, термических, термоэлектрических, зонной структуры, ширины запрещенной зоны, положения в ней примесных уровней и др.

Очень важны электрические свойства полупроводниковых материалов: тип электропроводности, концентрация носителей заряда, их подвижность, удельное сопротивление, время жизни неосновных носителей заряда и их диффузионная длина, которые зависят от технологии получения полупроводника.

В настоящее время в полупроводниковой электронике используются кремний, германий, арсенид галлия, фосфид индия и др.

В последнее время происходит стремительное развитие технологии полупроводниковых приборов и ИМС на основе соединений A^3B^5 . Это обусловлено высокой подвижностью носителей заряда, характерной для арсенида галлия и других соединений A^3B^5 .

Если у кремния подвижность электронов составляет $1450 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$, то у арсенида галлия (GaAs) она $8800 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$, фосфида индия (InP) 4600 .

Ширина запрещенной зоны этих соединений также выше, чем у кремния (Si – 1,1 эВ, GaAs – 1,43 эВ, InP – 1,34 эВ). Однако широкое применение этих материалов в настоящее время ограничивается сложностью технологии, как при выращивании слитков, так и на операциях легирования, нанесения диэлектрика и т.д.

Кремниевые пластины для изготовления полупроводниковых приборов и ИМС выпускаются промышленностью трех видов:

- однослойные пластины р- и n-типов,
- двухслойные р- и n- типа с эпитаксиальным n- слоем,
- двухслойные р- типа с эпитаксиальным n- слоем и скрытым n⁺ – слоем.

$$80 \frac{10 \text{КЭФ} - 0,1}{200 \text{КДБ} - 1}$$

$$100 \frac{5 \text{КЭФ} - 0,2 / 2 \text{КЭМ} 5}{300 \text{КДБ} - 10}$$

Эпитаксиальное наращивание полупроводниковых слоев

Эпитаксией называют процесс наращивания монокристаллических слоев на подложку, при котором кристаллографическая ориентация наращиваемого слоя повторяет кристаллографическую ориентацию подложки.

Механизмы наращивания эпитаксиальных слоев:

1. Прямые процессы – атомы кремния от источника попадают на поверхность подложки (кремниевой пластины) и осаждаются на ней.
 - Молекулярно-лучевая эпитаксия
2. Непрямые процессы – атомы кремния образуются за счет разложения кремниевого соединения на поверхности нагретой подложки:
 - Эпитаксия из газовой фазы
 - Жидкостная эпитаксия

Эпитаксия из газовой фазы

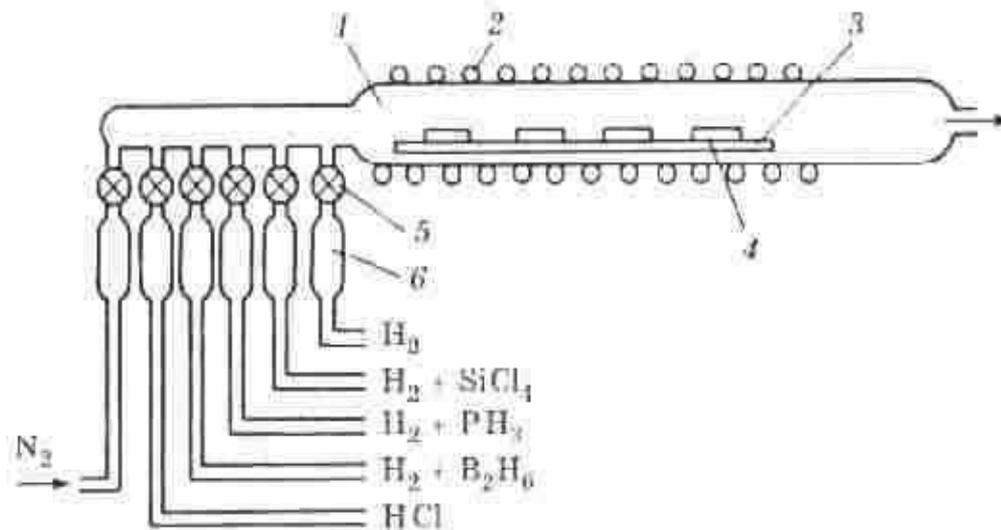
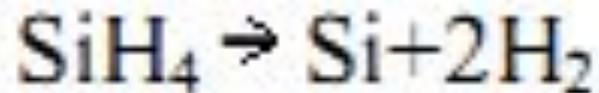
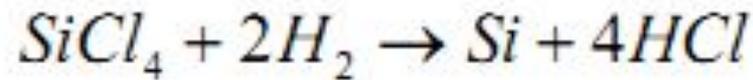


Рис. 6.2. Схема хлоридного процесса эпитаксии: 1 — кварцевая труба; 2 — катушка ВЧ нагрева; 3 — тигель с пластинами; 4 — пластина кремния; 5 — вентиль для перекрытия соответствующего газа; 6 — измеритель скорости потока

Жидкостная эпитаксия

Эпитаксия из жидкой фазы в основном применяется для получения многослойных полупроводниковых соединений, таких как GaAs, CdSnP₂.

Следует отметить, что в современной полупроводниковой промышленности данный метод уже давно не используется, ввиду сложности контроля параметров получаемых пленок (толщина, однородность толщины, значение стехиометрического коэффициента), их относительно низкого качества, малой производительности метода.

Молекулярно-лучевая эпитаксия МЛЭ

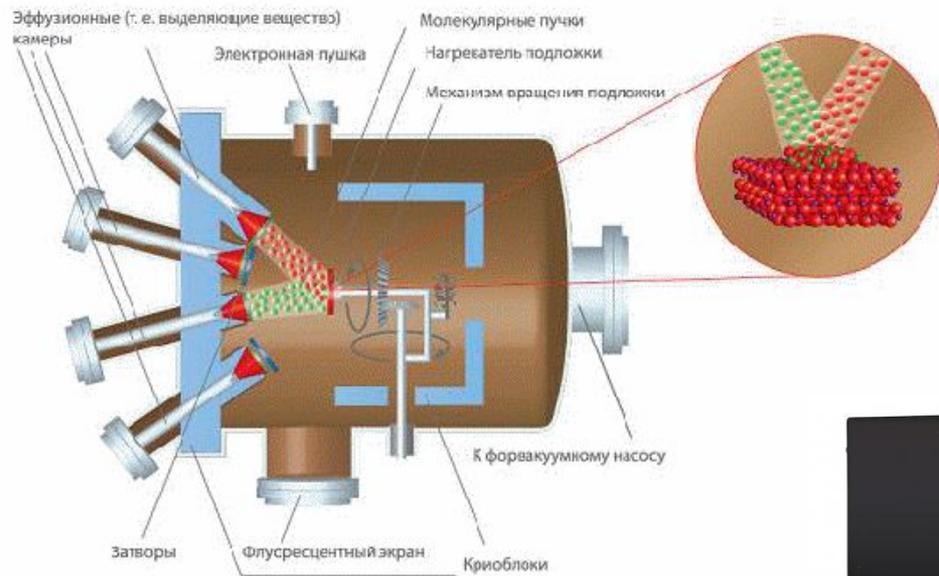
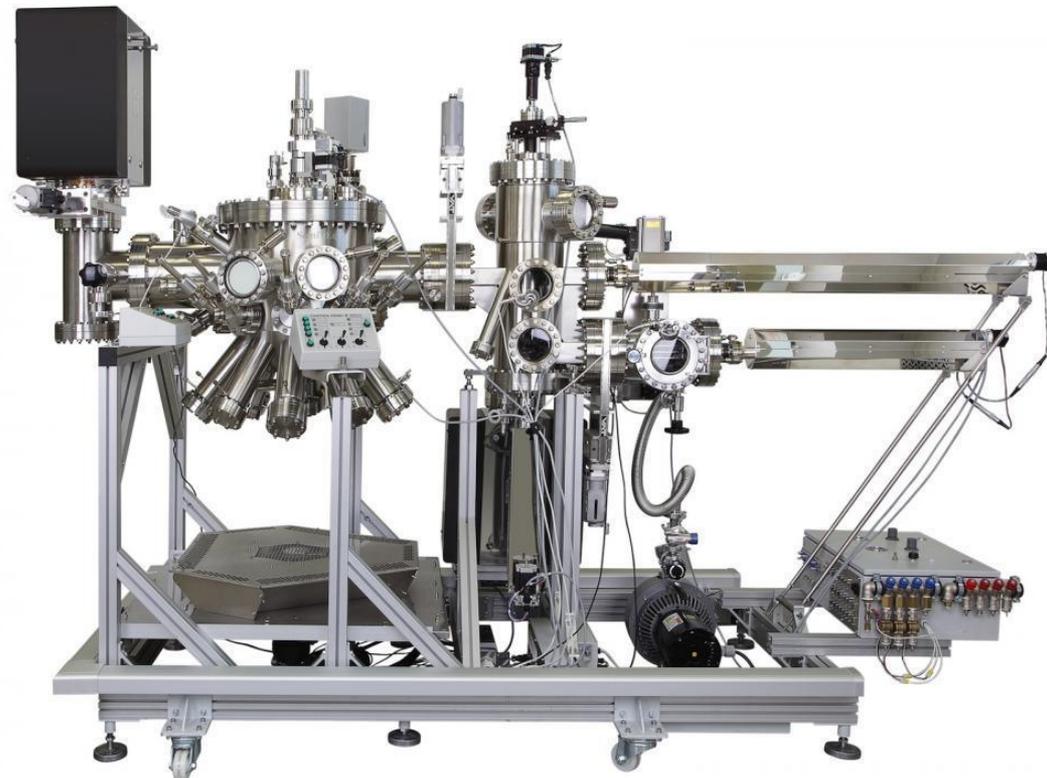


Рис. II.17. Система молекулярно-лучевой эпитаксии



Технология получения диэлектрических пленок

Диэлектрические пленки широко используются в технологии интегральных микросхем для различных целей:

- маскирование при диффузии и ионном легировании, окислении и травлении;
- изоляция приборов в схеме, контактов и межсоединений;
- в качестве подзатворного диэлектрика в МДП ИС.

Для получения диэлектрических слоев диоксида кремния SiO_2 , наиболее широко применяемого в полупроводниковых ИМС, используют методы:

- термического окисления;
- пиролитического осаждения;
- плазменного и электролитического анодирования;
- ионного распыления.

Второй диэлектрик, используемый в полупроводниковой технологии, нитрид кремния Si_3N_4 получают пиролитическим осаждением и ионным распылением.

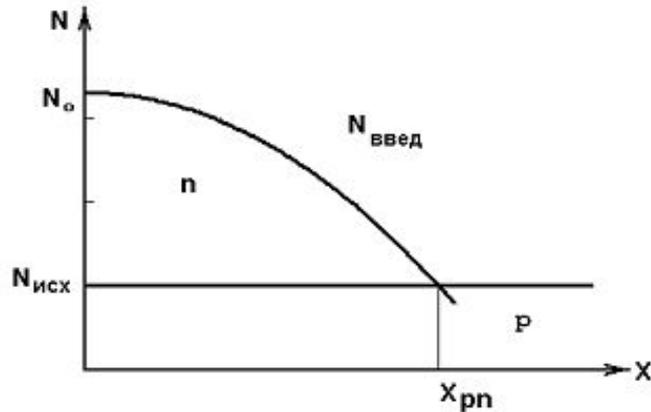
Легирование

Основой полупроводниковой технологии является создание р-п переходов путем легирования. Сущность легирования состоит во внедрении легирующей примеси в кристаллическую решетку полупроводника и образование области с противоположным типом проводимости. Эта область ограничивается р-п переходом.

Легирование можно осуществлять путем термической диффузии примеси в полупроводник, нагретый до высокой температуры, и внедрением ионов примеси с высокой энергией (ионное легирование).

Легирование полупроводников диффузией

Диффузией называют перенос вещества, обусловленный хаотическим тепловым движением атомов, возникающий при наличии градиента концентрации данного вещества и направленный в сторону убывания этой концентрации. Ввиду конечной скорости диффузии концентрация введенной примеси убывает в направлении от поверхности, через которую происходит диффузия, вглубь.



Для получения слоев дырочного типа проводимости в качестве легирующей примеси для кремния используют элементы III группы: бор, индий, галлий, алюминий, а для получения слоев электронного типа проводимости применяют элементы V группы: фосфор, мышьяк, сурьму.

При изготовлении полупроводниковых ИМС локальную диффузию примеси проводят с использованием маски из оксида кремния, окна в которой получены методом фотолитографии.

Диффузию чаще всего проводят в две стадии:

- вначале на поверхности пластины создают относительно тонкий диффузионный слой с высокой концентрацией примеси (загонка);
- затем пластину нагревают в атмосфере кислорода, не содержащей примесь, в результате происходит перераспределение примеси из приповерхностного слоя в пластину (разгонка).

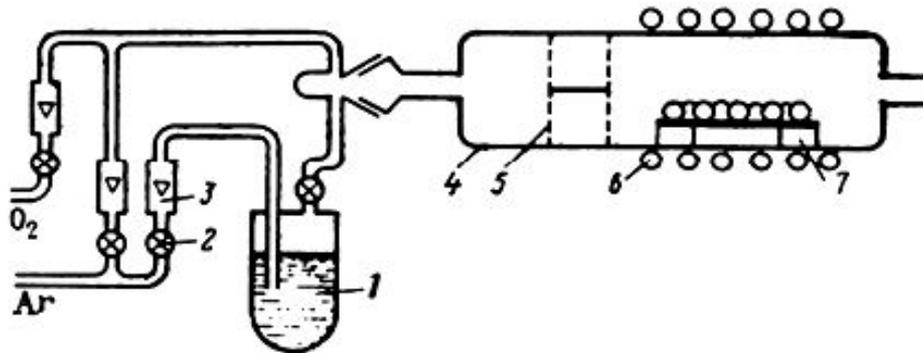


Рис. 8.12. Схема однозонной диффузионной печи
1 - источник жидкого диффузанта; 2 - кран; 3 - ротаметр;
4 - кварцевая труба; 5 - газосмеситель; 6 - нагреватель;
7 - кварцевая кассета с пластинами

Ионное легирование полупроводников

Сущность ионного легирования (ионной имплантации) заключается во внедрении ионов примеси вглубь твердого тела. Примесь загоняется не за счет диффузии при высокой температуре, а за счет энергии ионизированных атомов примеси.

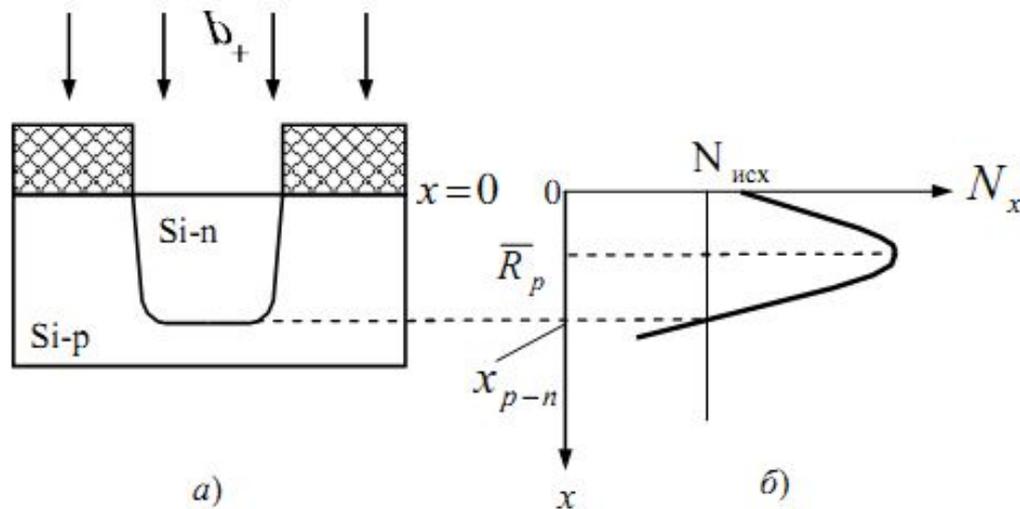


Рис. 9.4. Пример ионной имплантации фосфора в кремний p -типа проводимости (а) и образование $p-n$ перехода (б)

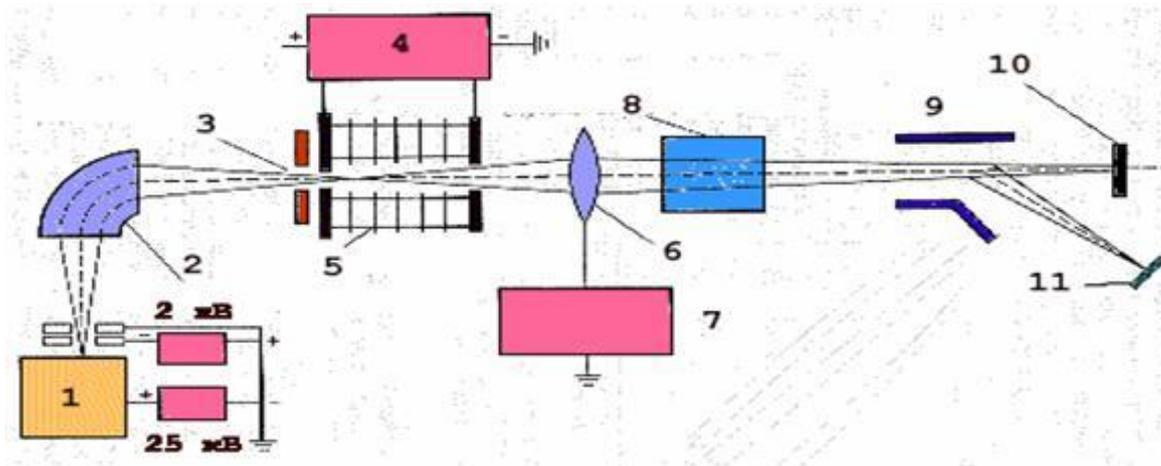


Схема установки для ионной имплантации приведена на рис.

- 1 - источник ионов
- 2 - масс-спектрометр
- 3 - диафрагма
- 4 - источник высокого напряжения
- 5 - ускоряющая трубка
- 6 - линзы
- 7 - источник питания линз
- 8 - система отклонения луча по вертикали и система отключения луча
- 9 - система отклонения луча по горизонтали
- 10 - мишень для поглощения нейтральных частиц
- 11 - подложка

Интервал энергий ускоренных ионов разделяют на три диапазона:

- Низкоэнергетическая имплантация. На практике к низкоэнергетическим относят ионные имплантеры, ускоряющие частицы до энергии $1 \div 10$ кэВ.
- Среднеэнергетическая имплантация. К ионам средней энергии относят частицы с энергией $10 \div 10^3$ кэВ.
- Высокоэнергетическая имплантация. К высокоэнергетической ионной имплантации относят обработку ионами, энергия которых превышает 10^3 кэВ.

Достоинства.

- Отсутствие зависимости предельной концентрации вводимой примеси от предела растворимости в материале подложки, вследствие чего дает возможность образования в поверхностных слоях таких сплавов, которые невозможны в обычных условиях;
- Позволяет контролировать профиль легирующей примеси изменением энергии, тока и положения ионного пучка, создание сложных профилей распределения концентрации примеси по глубине путем программного управления режимами;
- Низкая температура подложки в процессе имплантации;
- Позволяет формировать постепенный переход от модифицированного слоя в объем материала;
- Возможность модификации свойств функциональных и технологических приборных слоев с целью направленного изменения физических свойств за счет вариации характеристик внедрения и дефектообразования;
- Высокая точность и воспроизводимость параметров имплантации (доза, профиль) по площади обрабатываемой пластины от процесса к процессу.

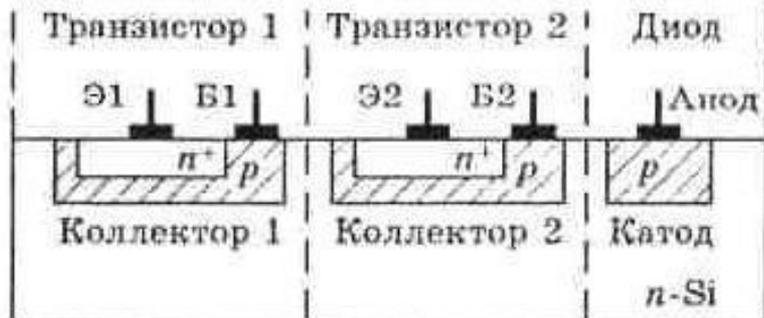
Недостатки. Метод имплантации имеет и некоторые недостатки, ограничивающие его применение.

1. Внедрение тяжелых частиц ведет к образованию дефектов, появление которых приводит к изменению таких электрофизических параметров, как подвижность носителей, время жизни, избыточные шумы р-п переходов; большинство внедренных атомов оказывается электрически неактивными. В связи с этим необходим термический отжиг для восстановления кристаллической решетки и ее электрофизических параметров, при этом полный отжиг дефектов достигается в диапазоне довольно высоких температур 900—1000° С.

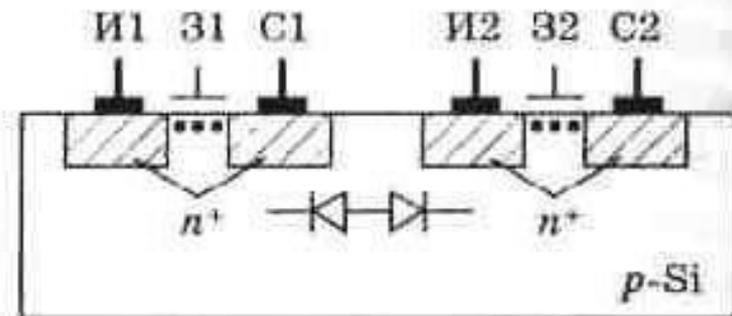
2. Имплантация охватывает только поверхностные слои, получение глубоко залегающих слоев технически осуществимо трудно.

3. Дополнительные эффекты, появляющиеся в процессе и после ионной имплантации (например, каналирование, диффузия на стадии отжига радиационных дефектов), затрудняют контроль профиля.

Изоляция элементов



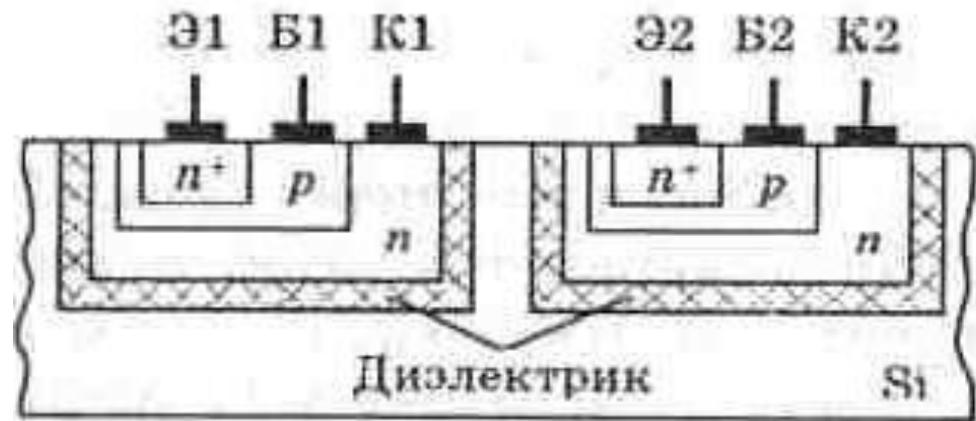
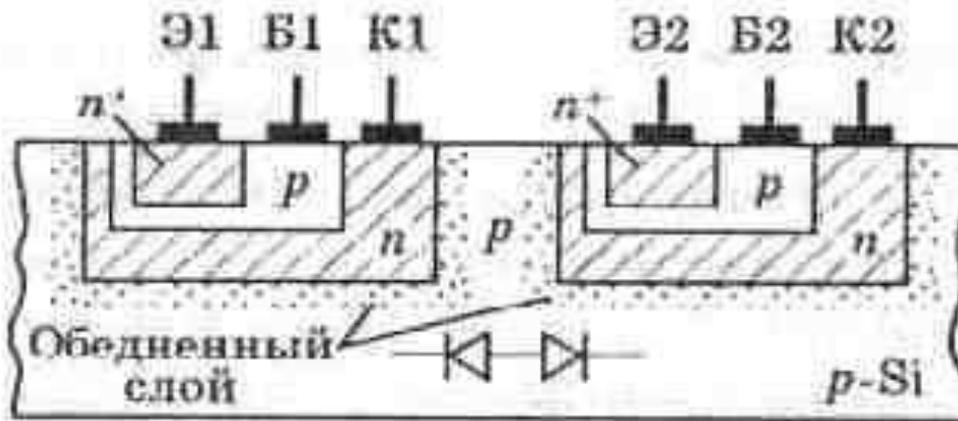
Внутренняя связь элементов
биполярных ИС через подложку в от-
сутствии изоляции



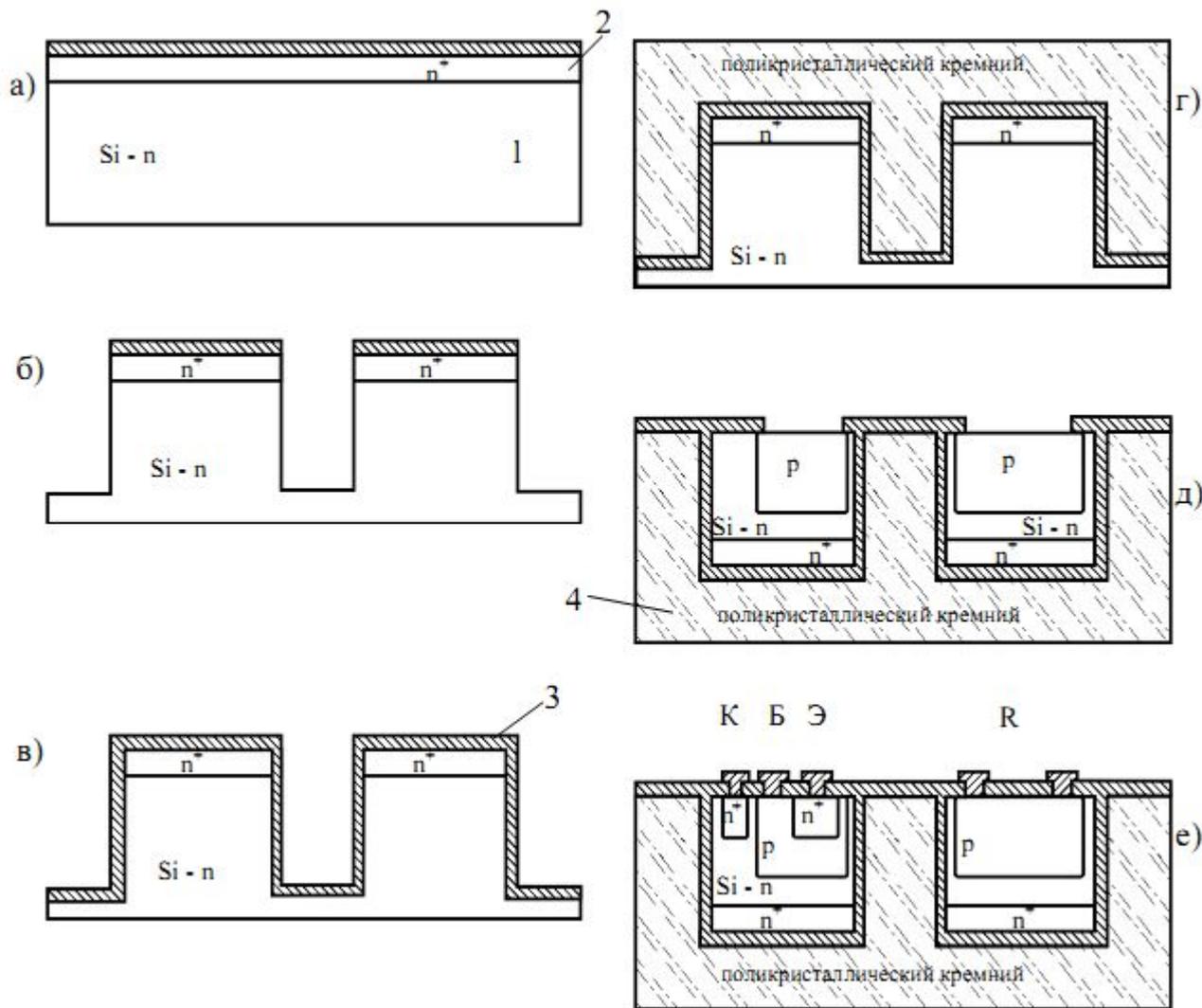
Отсутствие связи между
элементами МДП-транзисторных
ИС

Все известные способы изоляции можно разделить на два типа:

- Изоляция обратносмещенным р-п переходом
- Изоляция диэлектриком



Последовательность технологических операций при изготовлении биполярных ИМС с диэлектрической изоляцией



1 - исходная пластина кремния n-типа; 2 – диффузионный скрытый слой n+ типа;
 3 – оксид кремния; 4 - поликристаллический кремний.