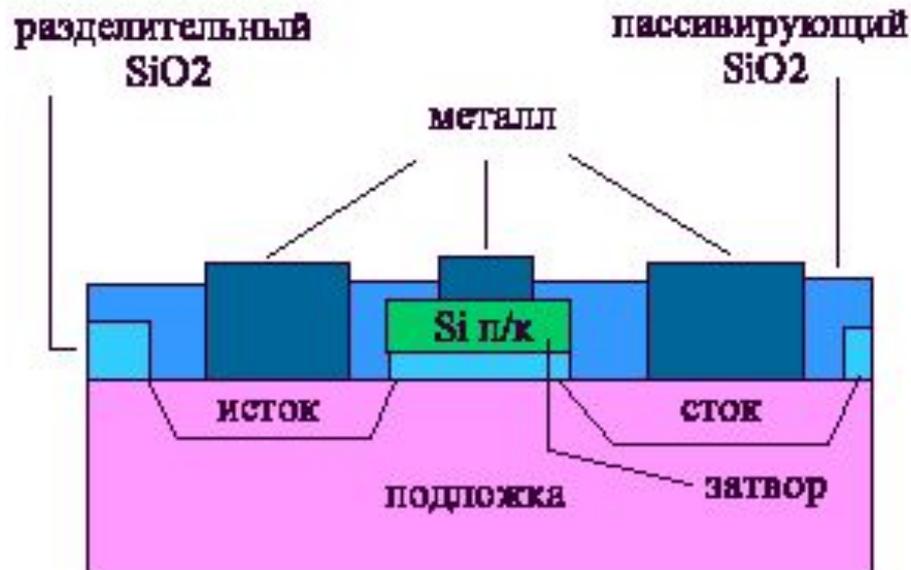


Металлизация

Процесс металлизации заключается в реализации межкомпонентных соединений с низким сопротивлением и создании низкоомных контактов к легированным областям и поликремнию



К системам металлизации ИС предъявляются следующие требования:

- высокая проводимость ($\rho < 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$);
- хорошая адгезия как к Si, так и к SiO₂;
- способность к образованию качественного омического контакта с кремнием n- и p-типов;
- отсутствие вредных интерметаллических соединений или протекания реакций, разрушающих кремний в процессе обработки и эксплуатации системы;
- технологичность методов осаждения и нанесения рисунков;
- устойчивость к электродиффузии в металле;
- металлургическая совместимость со сплавами, которые применяются для присоединения внешних проводов к металлизированной схеме.

Для осуществления коммутации в ИС можно использовать следующие материалы: Au, Ni, Ag, Cr, Al, а также системы Ti - Au, Mo - Au, Ti - Pt - Au и т.д.

Наиболее удобным, простым в изготовлении и дешевым материалом для металлизации ИМС является алюминий и сплав алюминий-кремний. Удельное сопротивление напыленной пленки алюминия толщиной 1 мкм составляет около $3 \cdot 10^{-6}$ Ом·см, т.е. всего на 10 - 20 % больше, чем объемное удельное сопротивление чистого алюминия. Широкое использование пленок алюминия для металлизации в интегральных схемах обусловлено: высокой электропроводностью, близкой к электропроводности объемного алюминия; легкостью испарения в вакууме и чистотой испаряемой пленки.

Хорошая адгезия к кремнию и окислам.

Алюминий образует низкоомный контакт с кремнием n- и p-типа. Контактные площадки на пластине кремния всегда покрыты слоем естественного окисла SiO_2 .

Алюминий реагирует с SiO_2 в свободной энергии, образуя окислы алюминия. В результате между кремнием и алюминием создается низкоомный контакт. Скорости этой реакции и диффузии кремния в алюминий очень высоки, так что для получения низкоомного контакта достаточно прогреть образец при температуре 550°C в течение всего лишь нескольких минут.

Алюминий пластичен и стоек к циклическим изменениям температуры.

Низкая температура подложки при его напылении ($120 - 160^\circ\text{C}$) и отжиге ($\sim 200^\circ\text{C}$) позволяет получить пленки с низкими механическими напряжениями вследствие малой разницы ТКР при уменьшении температуры до комнатной.

Алюминий устойчив к окисляющему воздействию атмосферы, легко обрабатывается методами фотолитографии.

Алюминий образует прочные контакты при креплении золотой или алюминиевой проволоки к его пленке методами термокомпрессии.

Недостатки алюминиевой металлизации:

- **мягкость** и, следовательно, легкость повреждения алюминиевой пленки;
- **появление пустот** в пленке вследствие электродиффузии при меньших, чем для других металлов, плотностях тока;
- **возможность короткого замыкания через диэлектрическую пленку** в системах с несколькими уровнями металлизации из-за образования выступов при электродиффузии или низкотемпературной рекристаллизации пленок;
- **возникновение коррозии вследствие гальванического эффекта при одновременном использовании других металлов;**
- **взаимодействие с SiO_2 при низких температурах** (начиная от комнатной и выше), что может приводить к нестабильности, особенно в МДП интегральных схемах;
- **способность образовывать хрупкие соединения с золотом** (При пайке золота с алюминием температуре 350C° образуется красноватое соединение AuAl_2 (пурпурная чума) с низкой механической прочностью).

Контакт металла и полупроводника в изготавливаемых схемах, как правило, являются омическими.

Сопротивление такого рода контактов R_c при слабом уровне легирования полупроводника не зависит от уровня его легирования N_d и задается выражением:

$$R_c = k / (q * A * T) * \exp(q * f / (k * T)), \text{ где}$$

A - постоянная Ричардсона, ($A^* = 4\pi m^* k^2 / h^3$)

k - постоянная Больцмана,

f - высота потенциального барьера на границе металл-полупроводник.

При высоком уровне легирования полупроводника $N_d > 10^{19} \text{ см}^{-3}$ R_c быстро уменьшается с ростом концентрации примеси по закону:

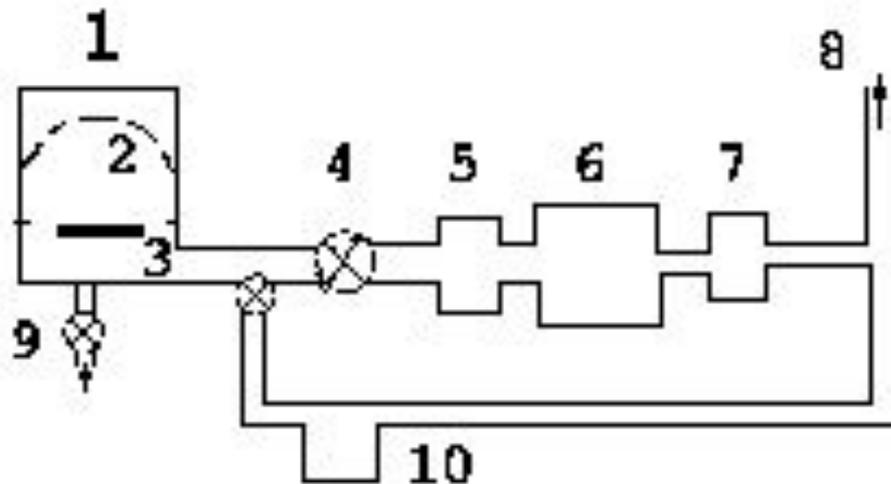
$$R_c \sim \exp(C * f / N_d^{1/2}),$$

где $C = 4p^* (e * m)^{1/2} / h$ - константа.

Осаждение металлических пленок проводят, как правило, путем осаждения металлосодержащих компонент на поверхности подложек в вакуумных камерах.

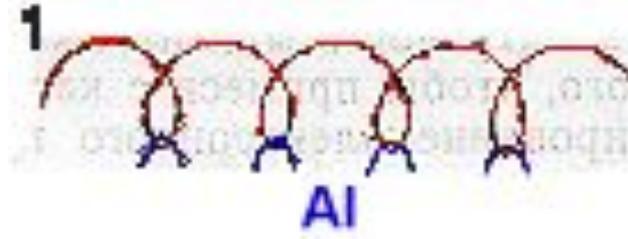
Методы металлизации:

испарение с использованием резистивного нагрева
электронно-лучевое испарение
испарение с использованием индукционного нагрева
ионное распыление
магнетронное испарение
химическое осаждение из парогазовых смесей



Основными частями вакуумной системы являются:

рабочая камера (1), в которой располагаются подложкодержатель (2) и источник распыляемого материала (3),
 система предварительной откачки, состоящая из насоса предварительной откачки (10), форвакуумного насоса (7) и цеолитовых молекулярных ловушек,
 система высокого вакуума, состоящая из охлаждаемой жидким азотом ловушки (5) и паромасляного диффузионного, турбомолекулярного или криогенного насосов (6),
 система клапанов (4),
 измерительные датчики,
 система напуска распыляющего газа (9) для случая ионного распыления в атмосфере аргона.



Металлизация с использованием источников резистивного нагрева

Идея метода

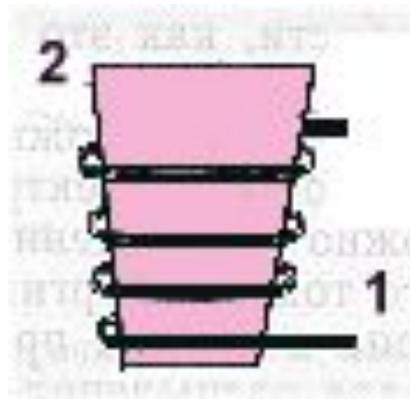
Металл закрепляется на нити (1), изготовленной из тугоплавкого материала (например, вольфрама), или помещается в специально приготовленную лодочку. Затем нить или лодочку нагревают, пропуская через них электрический ток. Металл при этом испаряется в окружающее пространство рабочей вакуумной камеры. Для достижения более равномерного покрытия ступенчатого рельефа напыление осуществляют из нескольких спиралей одновременно.

Преимущества метода

- простота конструкции нагревателя,
- низкая стоимость,
- отсутствие ионизирующего излучения.

Недостатки метода

- загрязнение пленки материалом нагревателя,
- низкий срок службы спирали,
- малая величина загрузки.



Металлизация с использованием источников индукционного нагрева

Идея метода

Схема установки приведена на рисунке. В тигель (2), обычно изготовленный из нитрида бора, помещают испаряемый материал. Тигель нагревается с помощью высокочастотного индуктора (1), охлаждаемого водой.

С помощью данного способа возможно испарение алюминия и его сплавов, а также металлов, совместимых с материалом тигля.

Преимущества метода

- отсутствие ионизирующего излучения,
- высокая скорость роста пленок.

Недостатки метода

- наличие тигля, вызывающее дополнительные загрязнения,
- возможное разбрызгивание капель испаряемого материала из тигля.

Металлизация с использованием ионного распыления

Идея метода

Процесс заключается в бомбардировке ионами Ag, ускоренными в электрическом поле, поверхности мишени или катода. За счет передачи импульса мишени приповерхностные атомы испаряются и переносятся в виде пара на подложки. Поток энергии можно видоизменять посредством независимой регулировки ионного тока и энергии ионов.

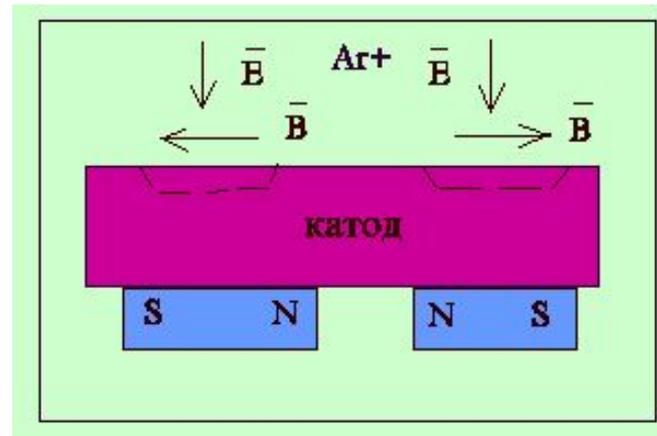
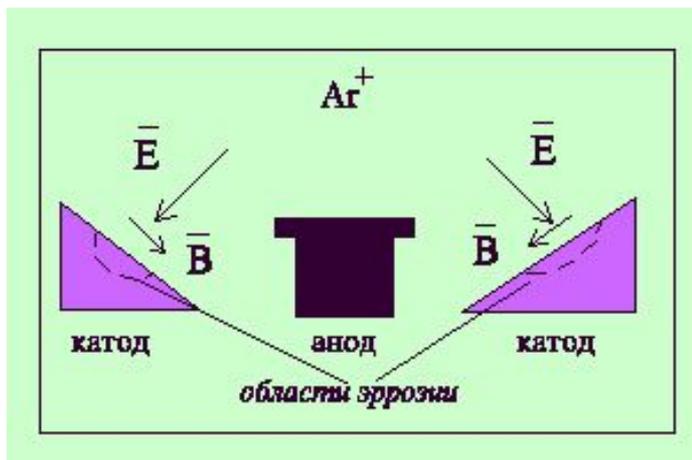
Для распыления диэлектриков (двуокись алюминия или кремния) необходимо использовать источники ВЧ-энергии. Проводящие материалы (Ti, Pt, Au, Mo, W, Ni, Co) легко могут быть распылены с использованием разряда постоянного тока.

Преимущества метода

- большее, чем в других способах, количество распыляемого вещества, достигающего поверхности подложек (реализовано за счет высокого вакуума);
- малая степень внедрения ионов остаточного газа в осаждаемую пленку;
- возможность удаления окисных и других пленок во вскрытых областях подложки за счет ее ВЧ-обработки перед осаждением (ионное травление);
- возможность выравнивания поверхности перед металлизацией за счет ВЧ-обработки подложки при осаждении (распыление со смещением).

Недостатки метода

- внедрение аргона (2 %) и фонового газа (1 %) в пленку;
- нагрев подложек (до 350 С);
- отсутствие возможности одновременного нанесения пленок на большое количество пластин;
- наличие проникающего излучения.



Металлизация с использованием магнетронного источника

Идея метода

Электроны, ускоряясь в электрическом поле, производят ионизацию газа, например, аргона. Ионы аргона ускоряются в электрическом и магнитном полях и фокусируются на поверхности металлической мишени. При этом плотность потока ионов достигает значительной величины.

Преимущества метода

- высокая скорость формирования пленок (1 мкм/мин),
- возможность одновременной обработки большого числа пластин (использование планарных держателей подложек),
- относительно малый поток проникающего излучения (за счет меньшей, чем при ионном распылении величины напряженности электрического поля).

Недостатки метода

- внедрение аргона в пленку,
- наличие проникающего излучения,

Использование силицидов металлов

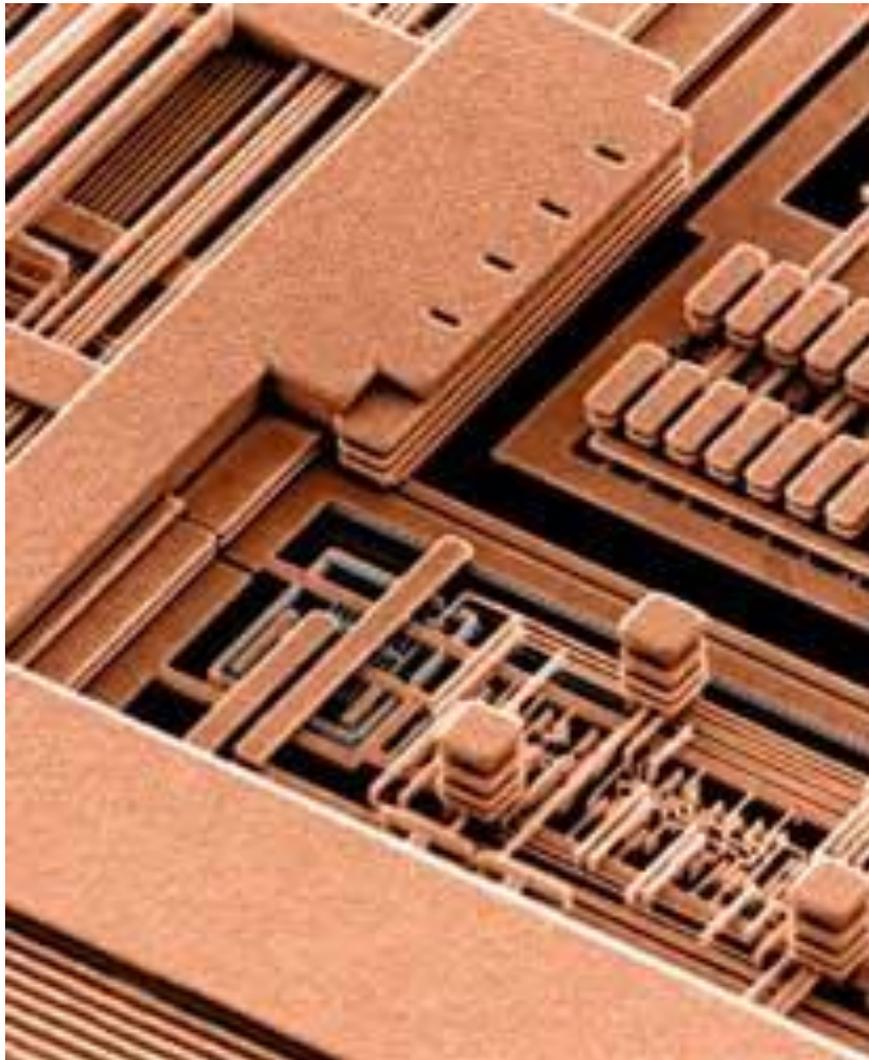
С увеличением степени интеграции и уменьшением размеров элементов интегральных схем стало невозможным решить с помощью только металлических пленок **проблемы создания контактов и межсоединений к сверхтонким структурам** (эмиттерные и базовые контакты в биполярных транзисторах, контакты и выводы в МДП-транзисторах). Широко используются сейчас, наряду с алюминием и тугоплавкими металлами (Mo, W), **силициды тугоплавких металлов $TiSi_2$, $TaSi_2$, WSi_2 , $MoSi_2$** , с легированным поликристаллическим кремнием. Особенно привлекателен $TiSi_2$, обладающий наименьшим удельным сопротивлением. Силициды металлов могут быть получены либо при **осаждении металла на кремний с последующим отжигом**, либо при **одновременном распылении (сораспылении) кремния и тугоплавкого металла**, например с использованием магнетронного распыления.

Многослойная разводка

В современных интегральных схемах (СБИС и УБИС) необходима многоуровневая металлизация. При изготовлении систем с многоуровневой металлизацией между слоями металла наносится пленка диэлектрика. Контакт между первым и вторым слоями металла или других материалов должен быть низкоомным.

При использовании многослойной разводки в интегральных схемах нельзя применять в качестве проводящего слоя только алюминий, так как за счет взаимодействия с диэлектрическими слоями, между которыми он наносится, проводимость пленки будет со временем уменьшаться, могут появиться отдельные непроводящие участки или разрывы в металлизации. Вследствие этого при многослойной разводке используется обычно и многослойная металлизация. В качестве первого слоя, как указывалось ранее, могут быть выбраны платина, титан, молибден и их силициды. Задача первого слоя - обеспечить омический контакт к Si, хорошую адгезию к кремнию и окислу. Второй слой - проводящий - создается напылением золота, меди, алюминия, серебра. Далее наносится третий слой - изолирующий. В качестве металла третьего слоя могут использоваться платина, хром, титан, тантал, молибден или ванадий.

Многослойная металлизация применяется также для схем, имеющих поверхность с сильно выраженным рельефом, так как алюминиевые пленки на неровностях поверхности могут иметь обрывы из-за электродиффузии и возникающих в пленках напряжений.



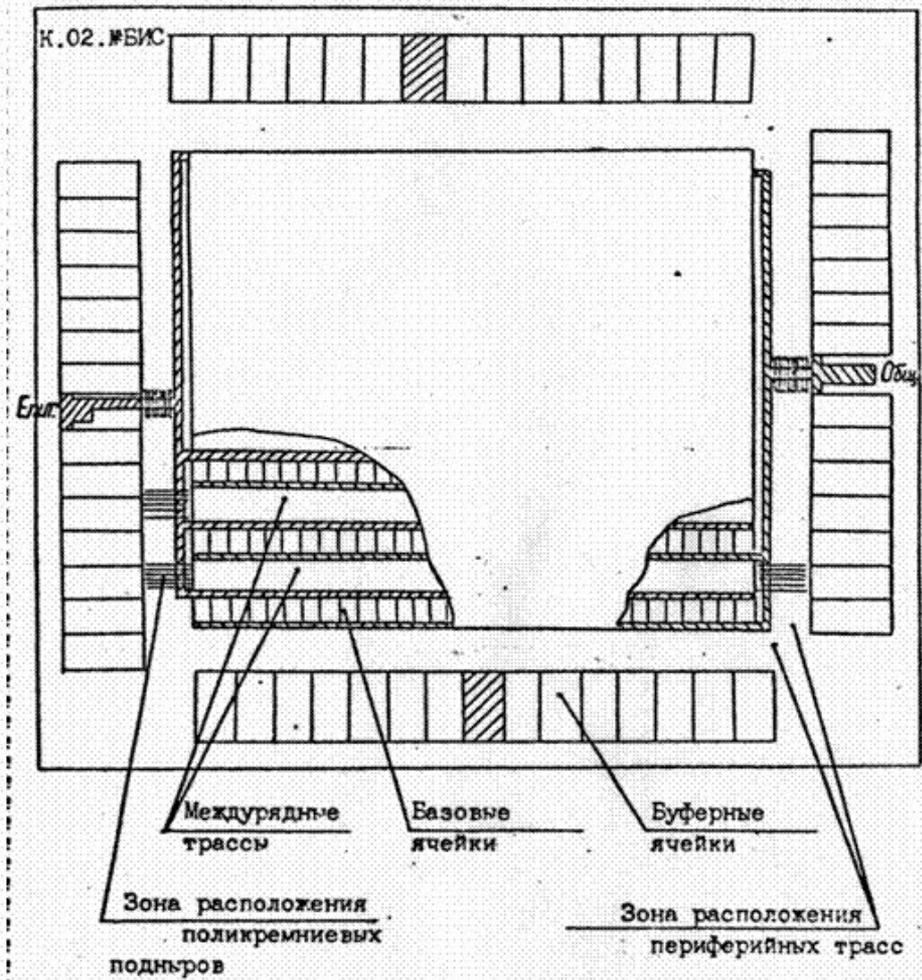
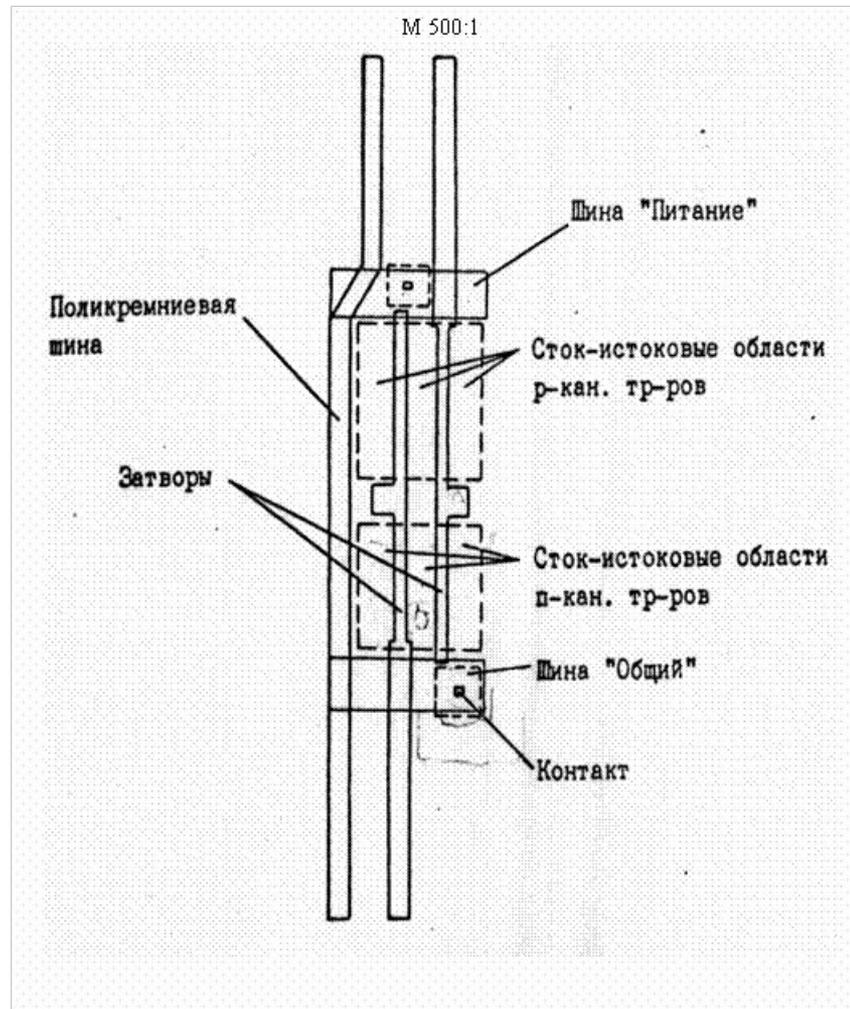


Рис. 2.1

БМК 1582ВЖ2



Чертеж топологии БЯ в масштабе 500:1. Размер БЯ - 224 x 60 мкм.