

# Технология гибридных микросхем

## Лекция 6

## Гибридные интегральные схемы (ГИС)

основное применение получили в специализированных электронных устройствах. Тем не менее, на ГИС была построена широко распространенная в свое время американская система IBM360, ставшая в последствии прототипом ЕС ЭВМ.

ГИС могут быть аналоговыми, цифровыми и аналого-цифровыми.

Печатные элементы и межэлементные соединения ГИС получают в основном методами тонко- и толстопленочной технологии.

## Подложки

Подложки служат диэлектрическим и механическим основанием для пленочных элементов и навесных компонентов, а также выполняют функцию теплоотвода.

Основные параметры подложек:

диэлектрические характеристики (объемное и поверхностное удельное сопротивление, относительная диэлектрическая проницаемость, тангенс потерь);

теплопроводность;

химическая стойкость и инертность;

термическая стойкость; механическая прочность и обрабатываемость;

плоскостность и шероховатость поверхности;

согласованность температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) с ТКЛР материалов наносимых пленок;

стоимость.

Наибольшее распространение в ГИС и МСБ получили подложки из ситалла и керамики размеров 60x48 мм, толщиной 0,5...1,0 мм.

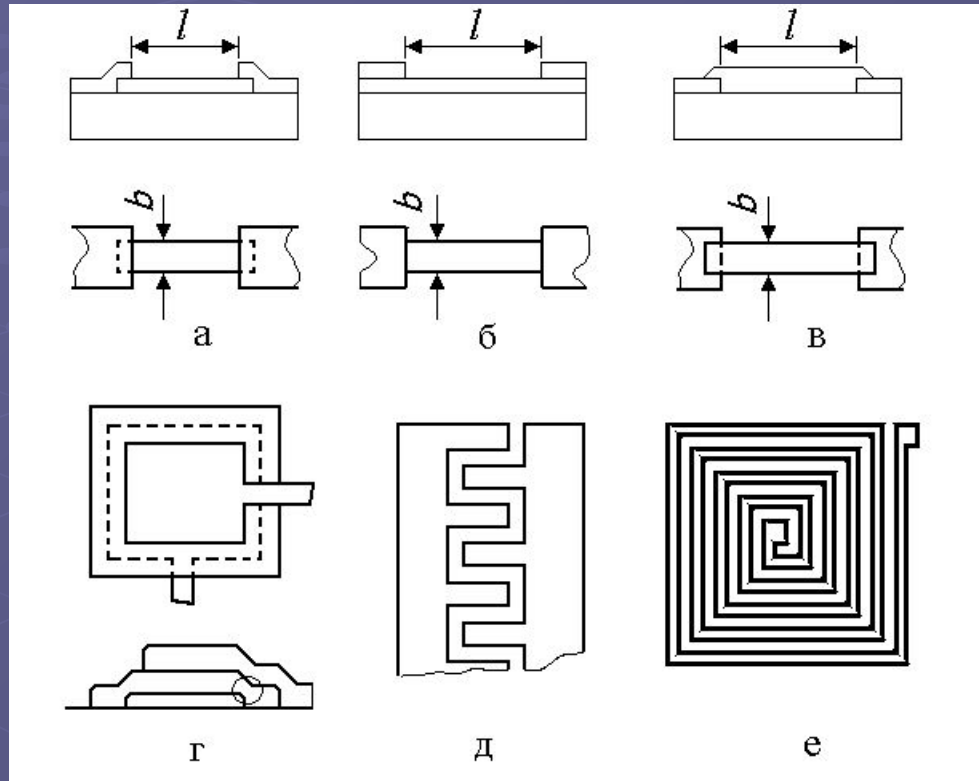
Ситаллы - стеклокристаллические материалы, получаемые термической обработкой стекол, в результате чего, формируется однородная, полностью или частично кристаллическая структура с размерами кристаллов порядка 1 мкм. Ситаллы характеризуются низким ТКЛР, высокой химической стойкостью, невысокой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности  $K_t = 1... 1,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), диапазон рабочих температур составляет от  $-60^\circ\text{C}$  до  $+700^\circ\text{C}$ .

*Ситалловые подложки (например, СТ-50-1) являются наиболее распространенными в тонкопленочных ГИС.*

*Толстопленочные схемы работают, как правило, с большими мощностями, а при их изготовлении используется высокотемпературная обработка — вжигание паст при 500...1000 °С. Поэтому подложки для толстопленочных схем должны обладать высокой теплопроводностью и термостойкостью. Этим требованиям удовлетворяют подложки из окисной керамики, такие как: ВК 94-1 (22ХС), ВК 100-1 (Поликор), Брокерит, термостойкость которых превышает 2000°С.*



# Пленочные элементы



Пленочные элементы:  
а, б, в – резисторы;  
г, д – конденсаторы;  
е – индуктивность

Пленочные резисторы состоят из частично перекрываемых участков двух пленок: резистивной и проводящей (коммутационной). Резисторы, на рис. а) и б) получают по тонкопленочной, а на рис. в) – по толстопленочной технологии.

При расчете пленочных резисторов используют величину  $\rho_{\square} =$

$$\rho_v / h,$$

представляющую собой удельное поверхностное сопротивление (сопротивление квадрата пленки толщиной  $h$ ). В этом случае сопротивление пленочного резистора определится как

$$R = \rho_{\square} \cdot l/b$$

(где  $b$  – ширина резистора, определяемая по резистивной пленке, а  $l$  – его длина, определяемая по проводящей пленке, причем,  $K_{\phi} = l/b$  – коэффициент формы).

Для каждой марки материала, предназначенного для получения пленочных резисторов, существует рекомендуемый диапазон значений .

*Пленочные конденсаторы обычно выполняют по двум вариантам: в несколько слоев (рис. г.) и в один слой (рис. д). В первом случае нижний и верхний слой выполняют из проводящего материала, а промежуточный — из диэлектрика. Гребенчатые конденсаторы (рис. д) обычно используются в высокочастотных схемах. Роль обкладок в них выполняют пленочные проводники в форме гребенки.*

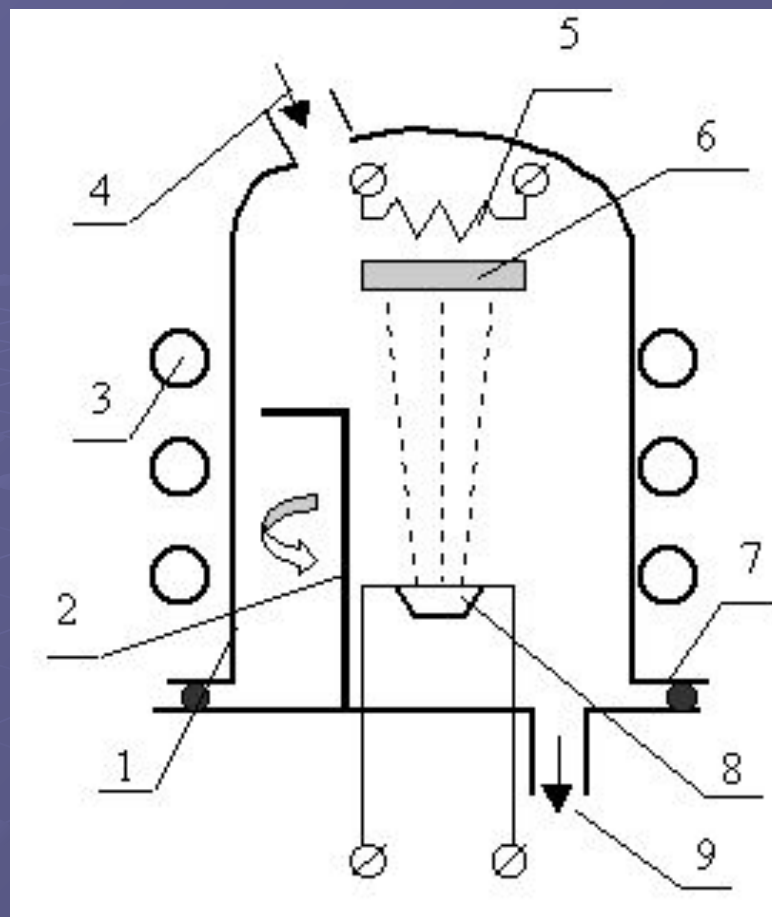
*Пленочные индуктивности (рис. е) представляют собой плоские спирали из проводящего материала.*



## Методы получения тонких плёнок

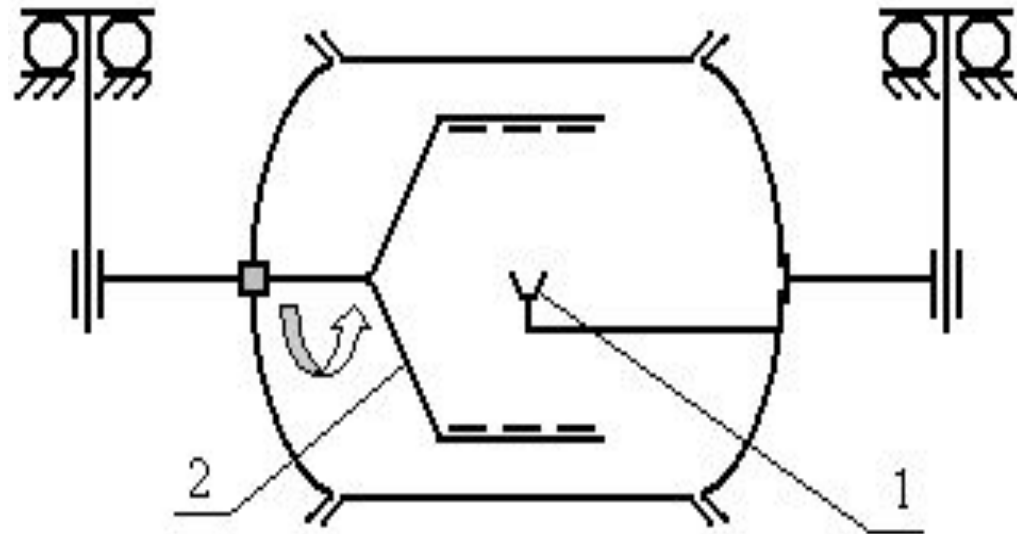
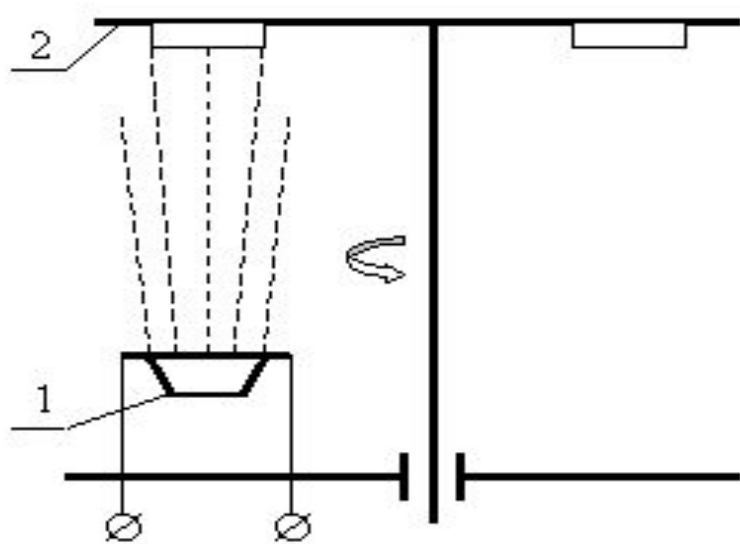
*В тонкопленочной технологии резистивные, коммутационные и диэлектрические пленки толщиной 0,1 ... 2 мкм получают главным образом термическим испарением в вакууме и распылением ионной бомбардировкой.*

*Первый метод основан на свойстве атомов (молекул) металлов и некоторых других материалов при испарении в условиях высокого вакуума перемещаться прямолинейно (лучеобразно) и осаждаться на поверхности, поставленной на пути их движения.*



*Схема рабочей камеры установки термического вакуумного нанесения:*

*1 - вакуумный колпак из нержавеющей стали; 2 - заслонка; 3 - трубопровод для водяного нагрева или охлаждения колпака; 4 - игольчатый натекатель для подачи атмосферного воздуха в камеру; 5 - нагреватель подложки; 6 - подложкодержатель с подложкой; 7 - герметизирующая прокладка из вакуумной резины; 8 - испаритель с испаряемым веществом; 9 - откачка*

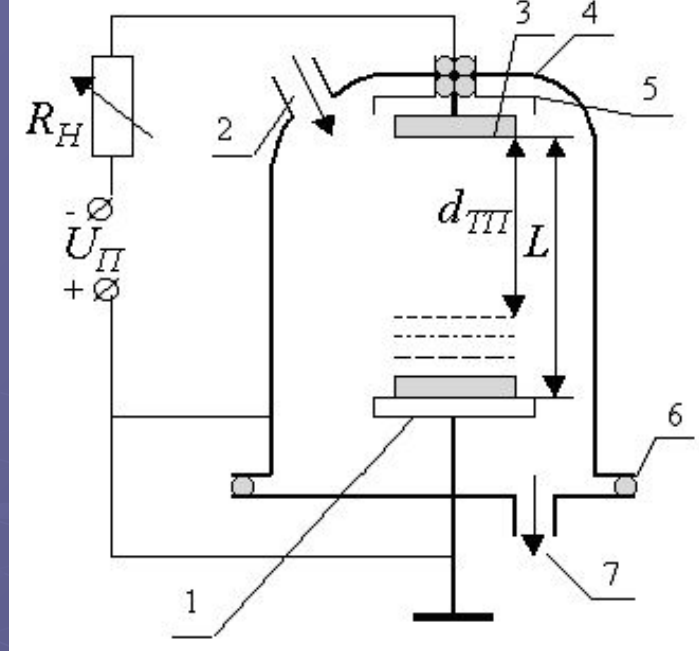


*Время откачки вакуумной камеры (около 1,5 часов) значительно превышает время осаждения одного слоя (обычно 1...5 минут). Поэтому в промышленных установках стараются за один цикл загрузки и откачки обработать максимальное количество подложек и нанести несколько слоев. С этой целью подложки в количестве от 6 до 60 шт. располагают на вращающихся относительно испарителя каруселях или барабанах.*

## Распыление ионной бомбардировкой.

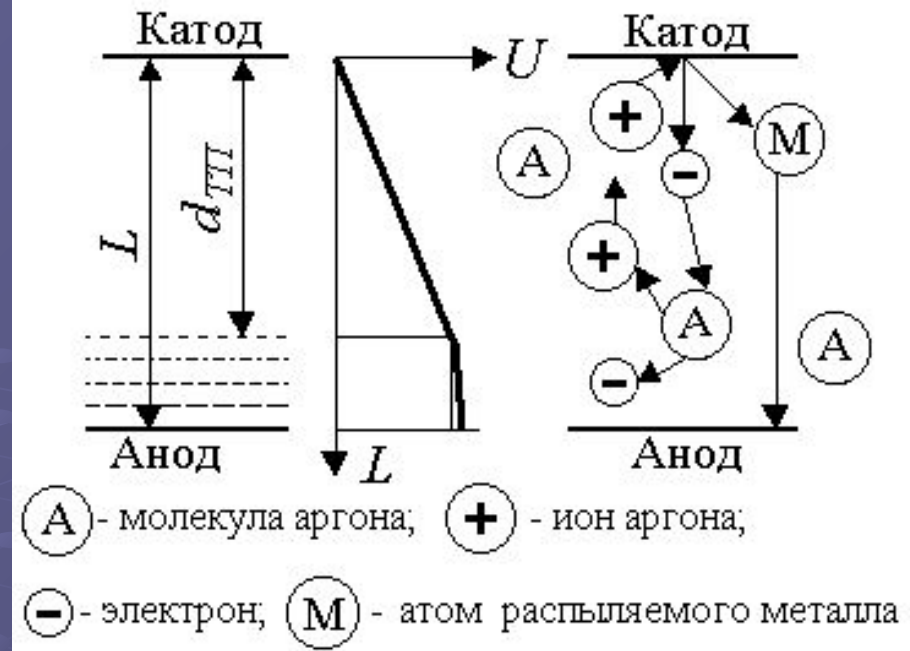
В этом методе атомарный (или молекулярный) поток вещества получают, бомбардируя поверхность твердого образца (называемого мишенью) ионами инертного газа (обычно аргона), которые разгоняют до энергии сотни и тысячи электрон-вольт. Энергия ионов аргона после разгона в электрическом поле в несколько раз превышает теплоту сублимации поверхностных атомов мишени, поэтому последняя интенсивно испаряется. Потребность в разработке подобных процессов возникла из-за необходимости получения пленок тугоплавких металлов (Ta, W, Mo) для ГИС военного применения.

Простейшим вариантом распыления материалов ионной бомбардировкой является катодное распыление на постоянном токе самостоятельного тлеющего разряда.



Упрощенная схема рабочей камеры установки катодного распыления:

1 - анод с подложками; 2 - игольчатый натекаТЕЛЬ; 3 - катод - мишень; 4 - колпак из нержавеющей стали; 5 - экран; 6 - герметизирующая прокладка; 7 - откачка



Распределение потенциала (а) и виды частиц (б) в межэлектродном пространстве



## Получение тонкопленочных резисторов

Для получения тонкопленочных резисторов необходимо на диэлектрической подложке (чаще всего из ситалла) получить и соответствующим образом сконфигурировать пленки из резистивных и проводящих материалов.

Основные требования к материалам резистивных пленок: стабильность во времени; минимальное значение температурного коэффициента сопротивления (ТКС); хорошая адгезия к подложке; коррозионная стойкость; стойкость к воздействию высоких температур; технологические свойства (легкость испарения, конфигурирования и т.п.).

Для получения тонкопленочных резисторов используются различные материалы: металлы, металлические сплавы, оксиды металлов, металлокерамические соединения.

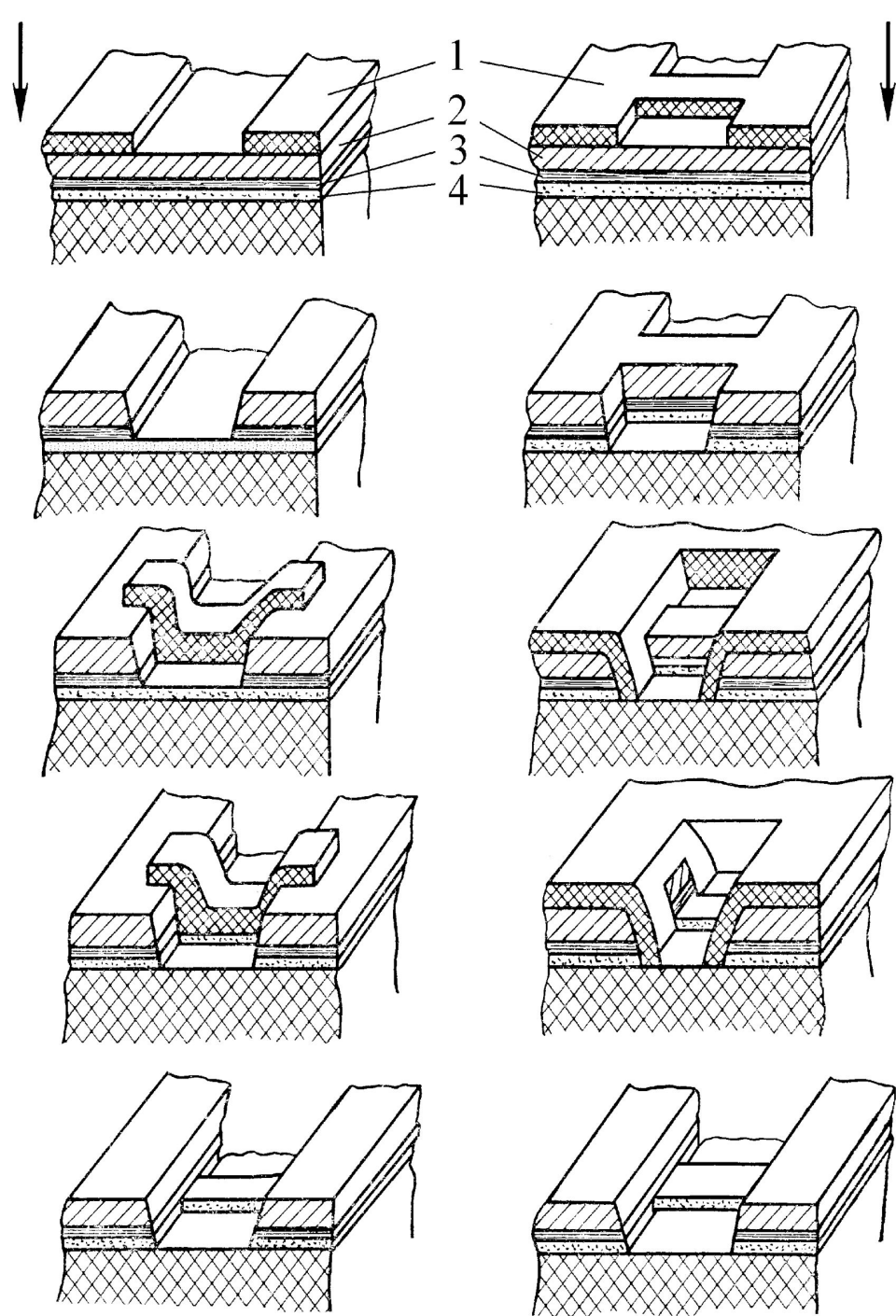
## Свойства сплавов РС

Марка сплава	$\rho_s$ , Ом/□	ТКС, $10^{-4} 1/^\circ\text{C}$	$P_0$ , Вт/см <sup>2</sup>	Необратимые изменения за 1000 час. при 85°C при нагрузке 1 Вт/см <sup>2</sup> , не более
PC5006	3—20	0,5	5	0,02
PC5402	5—100	0,5	2	0,01
PC5406K	10—500	0,5	2	0,01
PC5406H	50—500	0,3	2	0,01
PC3710	50—3000	1	5	0,005
PC4800	100—1000	2	5	0,01
PC1714	300—500	2	5	0,01
PC4206	1000	0,5	2	0,005
PC4400	1000—5000	3	10	—
PC1004	3000—50000	15	5	0,02
PC2310	10000—30000	12	5	0,02
PC2005	30000—500000	12	5	0,02

$P_0$  – допустимая удельная мощность рассеивания

Альтернативным вариантом является селективная фотолитография, осуществляемая в следующей последовательности: осаждение один на другой сплошных слоев резистивного и коммутационных материалов; последовательное конфигурирование слоев фотолитографией (при этом травитель одного слоя не должен разрушать нижележащий слой, т.е. обладать селективным действием). В этом случае осаждение всех слоев может быть выполнено за один цикл откачки (при смене испарителей), но выбор материалов слоев ограничен их стойкостью к травителям.





Варианты (а) и (б) получения тонкопленочного резистора селективной фотолитографией:

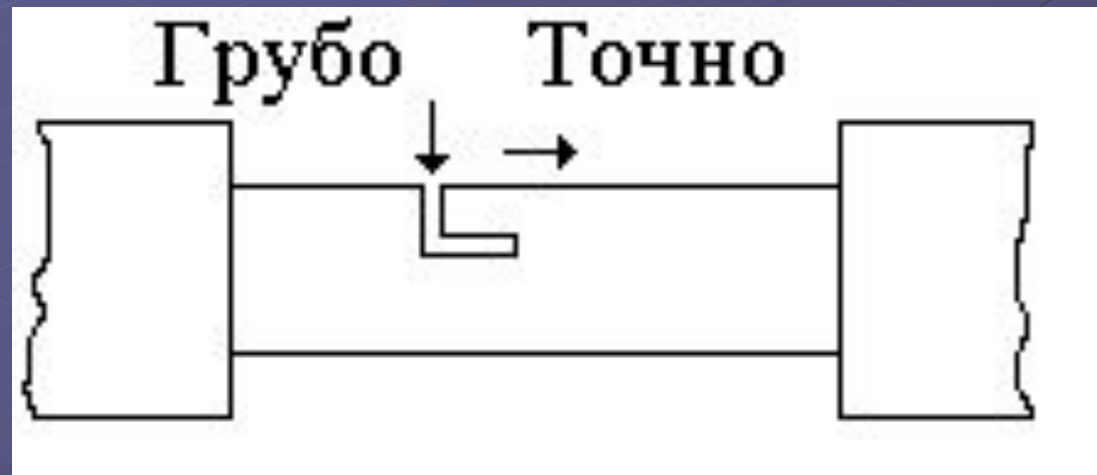
1- ФР;

2 – проводящая пленка (например, Au);

3 – промежуточный слой (например, Cr);

4 – резистивный слой (например, МЛТ или РС)

*Отклонение от номинала тонкопленочных резисторов обычно составляет  $\pm 10...20\%$ . Для получения прецизионных (высокоточных) резисторов применяется подгонка. Наибольшее распространение получил лазерный метод. Резистор сначала получают с заниженным значением номинала, а затем его повышают путем лазерного фрезерования. Таким способом получают резисторы с точностью  $0,01\%$ .*



*Лазерная подгонка резистора*