

### *Лекция 3*

Тема: Гибридные интегральные микросхемы

1. Тонкопленочные гибридные ИС.
2. Формирование проводящих пленок.
3. Формирование резистивных пленок.
4. Монтажные операции.

Гибридные ИС представляют собой совокупность пленочных пассивных элементов и навесных активных компонентов. Поэтому технологию тонкопленочных ГИС можно разбить на технологию тонкопленочных пассивных элементов и технологию монтажа активных компонентов.

Изготовление пассивных элементов. Тонкопленочные элементы ГИС осуществляются с помощью технологических методов, т.е. путем локального (через маски) термического, катодного или ионно-плазменного напыления того или иного материала на диэлектрическую подложку.

В качестве масок длительное время использовались накладные металлические трафареты. Такие трафареты представляли собой тонкую биметаллическую фольгу с отверстиями-окнами. Основу трафарета составлял слой электрохимически нанесенного никеля толщиной 10-20 мкм. Последний определял размеры окон, т.е. рисунок трафарета, а слой бериллиевой бронзы выполнял роль несущей конструкции.

Серьезные недостатки металлических накладных трафаретов заключаются в том, что, во-первых, в процессе напыления пленок происходит напыление на сами трафареты, что меняет их толщину и постепенно приводит их в негодность. Во-вторых, металлические трафареты мало пригодны при катодном и ионно-плазменном напылении, так как металл искажает электрическое поле и, следовательно, влияет на скорость напыления. Поэтому в последние годы от металлических накладных трафаретов практически отказались и используют для получения необходимого рисунка фотолитографию – метод, заимствованный из технологии полупроводниковых ИС рис. 27.

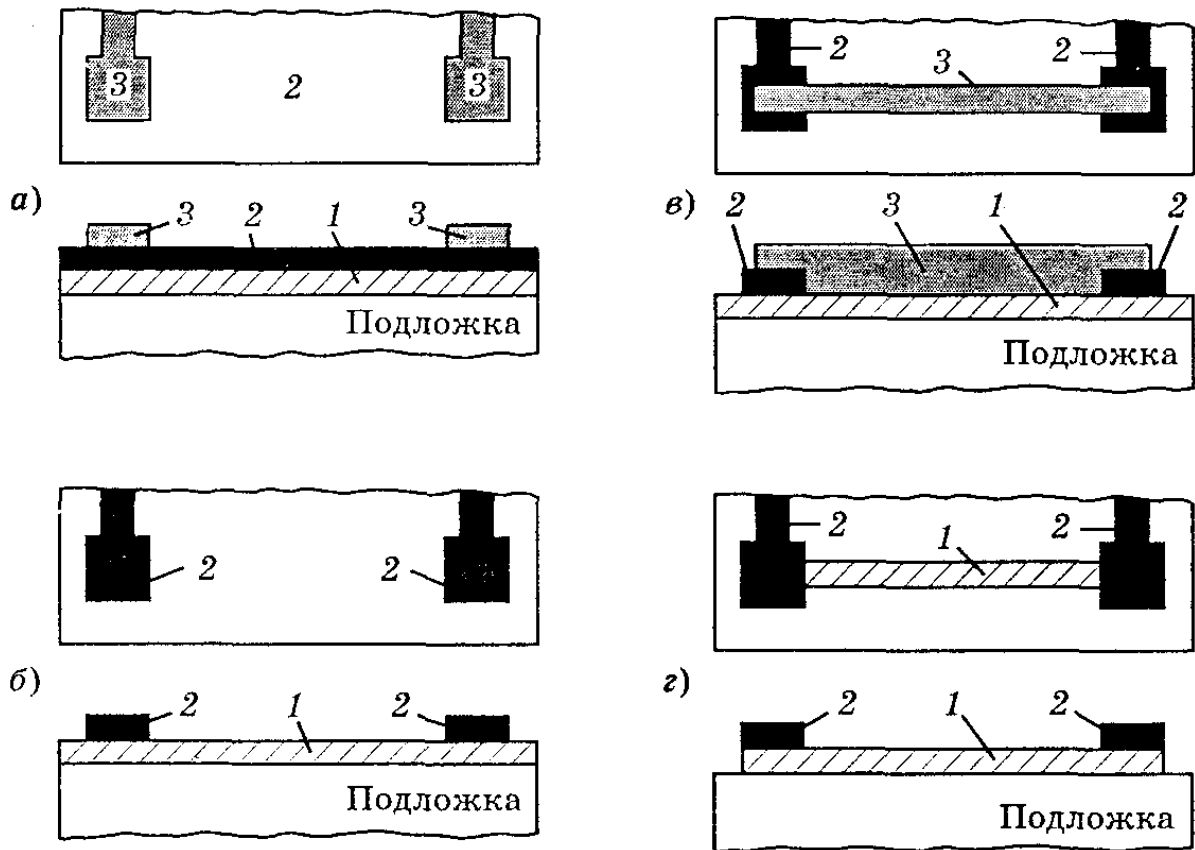


Рис. 27. Получение тонкопленочных резисторов методом фотолитографии: *а* – фоторезистная маска (3) под рисунок проводящего слоя; *б* – готовый рисунок проводящего слоя (2); *в* – фоторезистная маска (3) под рисунок резистивного слоя; *г* – готовый резистор с проводящими выводами

Фотолитографию осуществляют следующим образом. На подложку наносят сплошные пленки необходимых материалов, например, резистивный слой и поверх него – проводящий слой. Затем поверхность покрывают фоторезистом и с помощью соответствующего фотошаблона создают в нем рисунок для проводящего слоя (например, для контактных площадок будущего резистора, рис. 27, *а*). Через окна в фоторезистивной маске проводят травление проводящего слоя, после чего фоторезист удаляют. В результате на пока еще сплошной поверхности резистивного слоя получают готовые контактные площадки (рис. 27, *б*). Снова наносят фоторезист и с помощью другого фотошаблона создают рисунок полоски резистора (рис. 27, *в*). Затем проводят травление, удаляют

фоторезист и получают готовую конфигурацию резистора с контактными площадками (рис. 27, з).

Конечно, важно, чтобы травитель, действующий на проводящий слой, не действовал на резистивный и наоборот. Имеется и еще ряд ограничений, которых мы не будем касаться. Заметим лишь, что с помощью фотолитографии не удастся получать многослойные структуры типа конденсаторов. Однако это ограничение не очень существенно, так как в последнее время предпочитают использовать в ГИС навесные конденсаторы (ради экономии площади).

Для резистивных пленок чаще всего используют хром, нихром (Ni – 80%, Cr – 20%) и кермет из смеси хрома и монооксида кремния (1:1). Метод напыления для этих материалов – термический (вакуумный). Омические контакты к резистивным пленкам (полоскам) осуществляются так, как показано на рис. 27.

Для обкладок конденсаторов используют алюминий, причем до напыления нижней обкладки (прилегающей к подложке) приходится предварительно напылять тонкий подслой из сплава CrTi, так как адгезия алюминия непосредственно с подложкой оказывается недостаточной.

Для диэлектрических слоев пленочных конденсаторов по совокупности требований (большая диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , малый тангенс угла потерь  $\text{tg}\delta$ , большая пробивная напряженность и др.) наибольшее распространение имеют монооксид кремния SiO и монооксид германия GeO. Особое место среди диэлектриков занимают окислы Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые получают не методом напыления, а методом анодирования нижних металлических обкладок (Ta или Al).

Для проводниковых пленок и омических контактов используют, как правило, либо золото с подслоем CrTi, либо медь с подслоем ванадия (назначение подслоев – улучшить адгезию с подложкой). Толщина проводящих пленок и контактных площадок обычно составляет 0,5-1 мкм. Размеры контактных площадок от 100×100 мкм и более.

Толщина наносимых пленок контролируется в процессе напыления. Для этого используются несколько методов. Один из них, пригодный только в случае резистивных пленок, состоит в использовании так называемого свидетеля. Свидетель представляет собой вспомогательный (не входящий в структуру ГИС) слой, напыляемый одновременно с

рабочими слоями, но расположенный на периферии подложки и снабженный двумя заранее предусмотренными внешними выводами. Через эти выводы осуществляется контроль сопротивления свидетеля в процессе напыления. Геометрия свидетеля известна. Поэтому, когда его сопротивление достигает значения, соответствующего необходимой толщине, напыление прекращают (перекрывают заслонку). Толщина рабочих слоев будет такой же, как у свидетеля, так как они напылялись в одинаковых условиях.

Другой способ контроля состоит в использовании в качестве свидетеля тонкой кварцевой пластины, которая через внешние выводы присоединена к колебательному контуру генератора колебаний. Как известно, кварцевая пластина обладает свойствами колебательного контура, причем резонансная частота однозначно связана с толщиной пластины. В процессе напыления толщина пластины меняется и меняется частота генератора. Изменения частоты легко измерить и остановить процесс напыления в нужный момент.

Подложки тонкопленочных ГИС должны прежде всего обладать хорошими изолирующими свойствами. Кроме того, желательны малая диэлектрическая проницаемость, высокая теплопроводность, достаточная механическая прочность. Температурный коэффициент расширения должен быть близким к температурным коэффициентам расширения используемых пленок. Типичные параметры подложек следующие:  $\rho = 10^{14}$  Ом·см;  $\varepsilon = 5-15$ ;  $\operatorname{tg}\delta = (2-20) \cdot 10^{-4}$ ;  $TKL = (5-7) \cdot 10^{-6}$ .

В настоящее время наибольшее распространение в качестве подложек имеют ситалл и керамика. Ситалл представляет собой кристаллическую разновидность стекла (обычное стекло аморфно), а керамика – смесь окислов в стекловидной и кристаллической фазах (главные составляющие  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ ).

Толщина подложек составляет 0,5-1 мм в зависимости от площади. Площадь подложек у ГИС иногда больше площади кристаллов у полупроводниковых ИС. Стандартные размеры подложек лежат в пределах от 12×10 до 96×120 мм. Требования к гладкости поверхности примерно такие же, как и в случае кремния: допустимая шероховатость не превышает 25×50 нм (класс шероховатости 12-14).

Обычно ГИС, как и полупроводниковые ИС, изготавливаются групповым методом на ситалловых или иных пластинах большой площади. По завершении основных технологических операций, связанных с получением пленочных пассивных элементов и металлической разводки, проводится выходной тестовый контроль и, если необходимо, подгонка параметров пассивных элементов. Только после контроля пластины скрайбируются и снабжаются навесными компонентами. ГИС могут, как и ИС, помещаться в корпусе или (в бескорпусном исполнении) герметизироваться в составе аппаратуры.

Монтаж навесных компонентов. В качестве навесных компонентов используются бескорпусные диоды, транзисторы, резистивные и конденсаторные сборки, а также бескорпусные ИС и БИС. Рассмотрим пример.

Простейшим вариантом бескорпусного транзистора является кристалл, полученный после скрайбирования, к трем контактными площадкам которого присоединены тонкие проволочные выводы и который защищен от внешней среды каплей эпоксидной смолы, обволакивающей кристалл со всех сторон. Такой транзистор приклеивается к подложке вблизи тех пленочных элементов, с которыми он должен быть соединен, после чего проволочные выводы транзистора методом термокомпрессии присоединяются к соответствующим контактными площадкам на подложке.

Имеется два других варианта бескорпусных транзисторов, монтаж которых осуществляется иначе. Первый вариант называется транзистором с шариковыми выводами (рис. 28, а). Шарики диаметром 50-100 мкм связаны с контактными площадками транзистора, а через них – с тем или иным слоем кремния: эмиттерным, базовым или коллекторным. Материалом для шариков служит золото, медь или сплав Sn–Sb. Из того же материала на диэлектрической подложке пленочной ГИС делаются контактные столбики высотой 10-15 мкм и диаметром 150-200 мкм, расположенные в точном соответствии с расположением шариков на кристалле кремния (рис. 28, б). Соединение шариков со столбиками осуществляется методом перевернутого монтажа (англ. термин *flip-chip*): кристалл транзистора переворачивается «вверх ногами», т.е. шариками вниз, и накладывается шариками на столбики подложки (рис. 28, в). Сочетая давление на кристалл с повышением температуры (т.е. в сущности используя термокомпрессию), обеспечивают прочное

соединение шариков со столбиками. Как видим, метод перевернутого монтажа существенно экономит площадь подложки ГИС и время, необходимое на разводку активных компонентов. Главная трудность состоит в совмещении шариков со столбиками, поскольку кристалл при наложении перевернут «вверх ногами» и закрывает от оператора места соединения.

Трудность совмещения контактных площадок кристалла и подложки облегчается при использовании второго варианта бескорпусных транзисторов – транзистора с балочными выводами (рис. 28, а). Здесь контактные площадки продлены за пределы кристалла и нависают над его краями на 100-150 мкм, откуда и название – балки. Толщина балок (10-15 мкм) значительно больше толщины металлической разводки на кристалле. Поэтому их получают не напылением, а электрохимическим осаждением золота (с подслоем из титана). Длина балочных выводов 200-250 мкм (включая выступ), а ширина такая же, как у обычных контактных площадок (50-200 мкм).

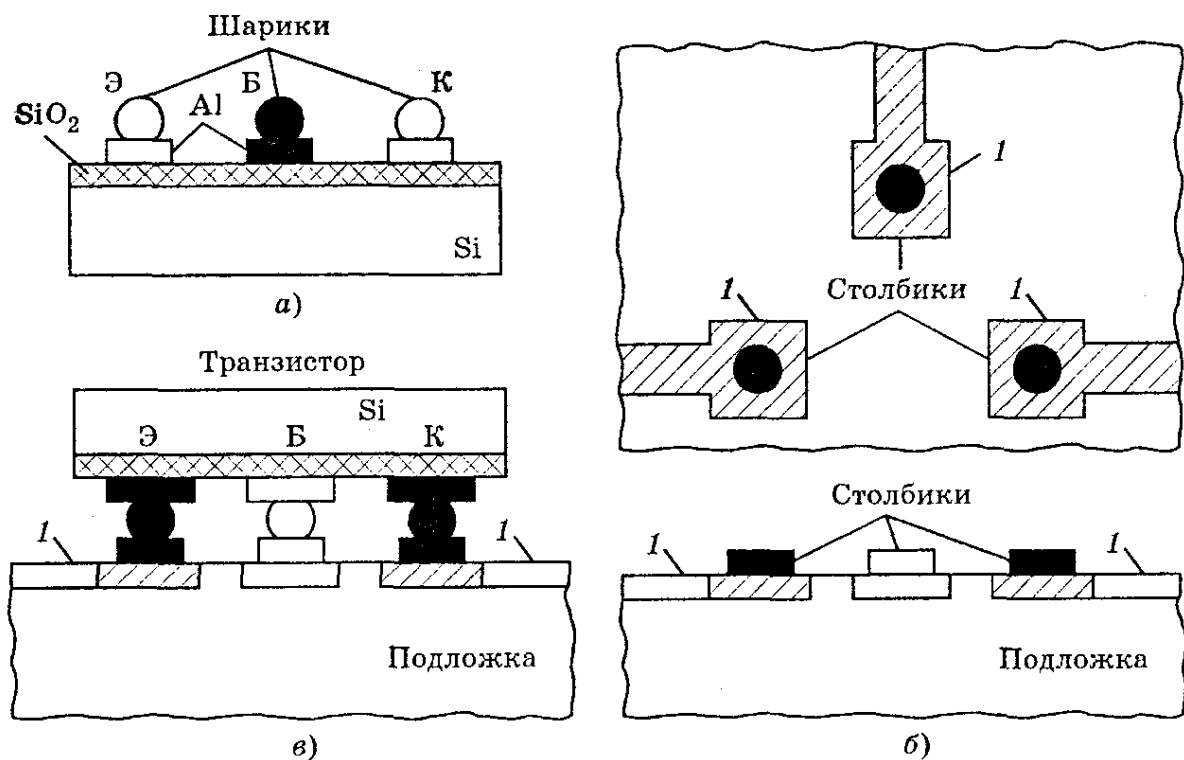


Рис. 28. Монтаж бескорпусных транзисторов с шариковыми выводами:

*a* – транзистор с шариковыми выводами; *б* – контактные столбики на подложке пленочной ИС; *в* – соединение шариков с контактными столбиками; 1 – контактные площадки на подложке и выводы от них

Получение балок основано на сквозном травлении кремния через фоторезистную маску, нанесенную на нижнюю поверхность пластины (рис. 29, б). При сквозном травлении одновременно с получением балок достигается разделение пластины на отдельные кристаллы без механического скрайбирования. До начала травления пластина приклеивается верхней (лицевой) поверхностью к стеклу. Чтобы сократить время травления и избежать бокового растравливания пластины, ее (после приклеивания к стеклу) сошлифовывают от обычной

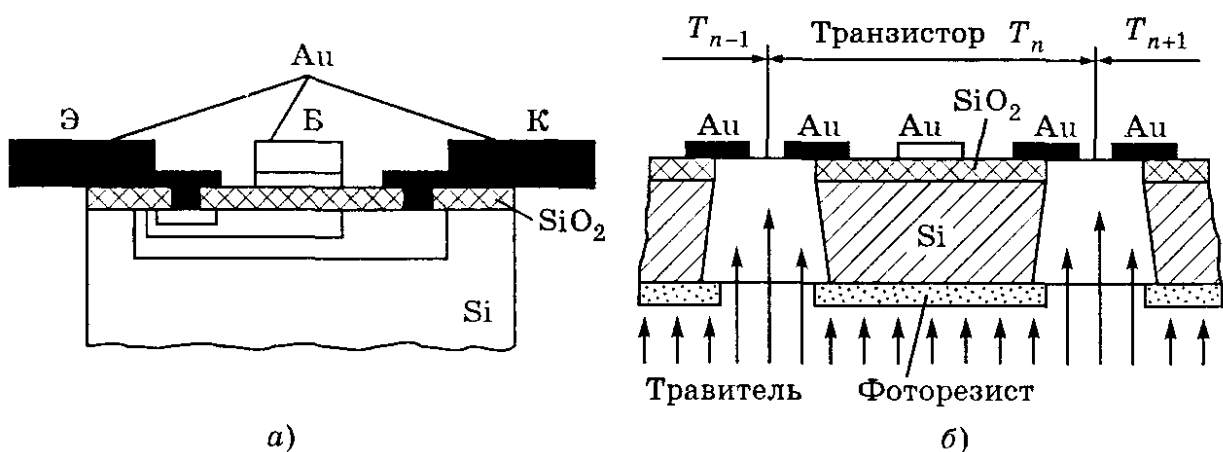


Рис. 29. Бескорпусные транзисторы с балочными выводами: *a* – транзистор с балочными выводами; *б* – получение балок и разделение транзисторов на пластине толщины 200-300 мкм до 50 мкм. По окончании травления клей растворяют и разделенные кристаллы отпадают от стекла.

Монтаж навесных компонентов с балочными выводами может осуществляться так же, как и в случае шариковых выводов – методом перевернутого монтажа. При этом выступающие балки хорошо видны и их совмещение с контактными площадками на подложке не представляет

затруднений. Можно монтировать кристалл и «лицом вверх», но тогда в подложке следует предусмотреть углубление для кристалла.

Изготовление шариковых и балочных выводов сложнее и дороже, чем проволочных, но они обеспечивают существенное упрощение и удешевление сборочных операций и в 4-10 раз позволяют уменьшить площадь на подложке ГИС, отводимую для размещения навесных компонентов. К сожалению, надежность таких соединений ниже, чем в случае использования гибких выводов.