

Лекция 4

Тема: Гибридные интегральные микросхемы (Продолжение)

1. Толсто пленочные гибридные ИС.
2. Формирование проводящих пленок.
3. Формирование резистивных пленок.
4. Элементы интегральных схем.

Пассивные элементы толсто пленочных ГИС получают локальным нанесением на подложку полужидких паст-стеклоэмалей с последующим их высушиванием и вжиганием в подложку. Следовательно, в данном случае пленки приобретают свою толщину сразу, а не постепенно – слой за слоем – как при тонко пленочной технологии.

Последовательность технологических операций при нанесении толстых пленок следующая:

а) нанесение слоя пасты на подложку через маску – накладной трафарет (отсюда название – метод трафаретной печати);

б) выжигание (испарение) растворителя при температуре 300-400 °С и тем самым превращение пасты из полужидкого состояния в твердое;

в) вжигание затвердевшего вещества пасты в подложку – спекание – при температуре 500-700 °С (в зависимости от состава пасты).

Операция вжигания – самая ответственная в технологическом цикле; она требует высокой стабилизации температуры: с точностью ± 1 °С.

В основе всех паст-стеклоэмалей лежит так называемая фритта – тончайший порошок стекла, к которому, в зависимости от назначения пасты, примешивается порошок резистивного, проводящего или диэлектрического материала. Дисперсная (т.е. совершенно однородная) смесь фритты и примесного материала приобретает вязкость при добавлении специальных органических веществ и растворителей. На этапе выжигания растворитель испаряется, а органические вещества связывают частицы порошка в единую компактную массу.

Для проводящих паст примесью обычно служит серебро или золото, для резистивных – смесь серебра и палладия (1:1), а для диэлектрических – титанат бария с высокой диэлектрической проницаемостью. Варьируя

материал и процентное содержание примесей, можно изменять электрические параметры пленок в очень широких пределах.

Масками для нанесения паст на подложку служат сетчатые трафареты (рис. 30, *а*). Они представляют собой тонкую сетку из капрона или нержавеющей стали, натянутую на дно рамки. Размер ячеек сетки – около 100 мкм, диаметр нитей – около 50 мкм. Большая часть сетки покрыта пленкой, но в пленке имеются окна. Рисунок окон получают методом фотолитографии, вытравливая отверстия в пленке. Учитывая ячеистую структуру сетки, размеры окон трудно сделать менее 10-200 мкм. Это предопределяет минимальные размеры элементов толстопленочных ГИС и ширину линий.

Рамка с трафаретом заполняется пастой и размещается над подложкой на расстоянии 0,5-1 мм. После этого на сетку опускается специальный нож – ракель, который, перемещаясь вдоль рамки, продавливает пасту через отверстия в сетке (рис. 30, *б*). Несмотря на простоту идеи продавливания, эта операция – прецизионная; на качество будущей пленки и повторяемость результатов оказывают влияние угол заточки ракеля, его наклон относительно подложки, скорость перемещения и другие факторы.

Вообще говоря, сетка на трафарете не обязательна: можно продавливать пасту и через сплошные отверстия. Однако качество пленок при этом хуже, так как сетка обеспечивает более однородные слои в результате слияния отдельных «капель», прошедших через ячейки сетки. Толщина получаемых пленок зависит от диаметра нитей и размеров ячеек. Обычно она составляет 20-40 мкм.

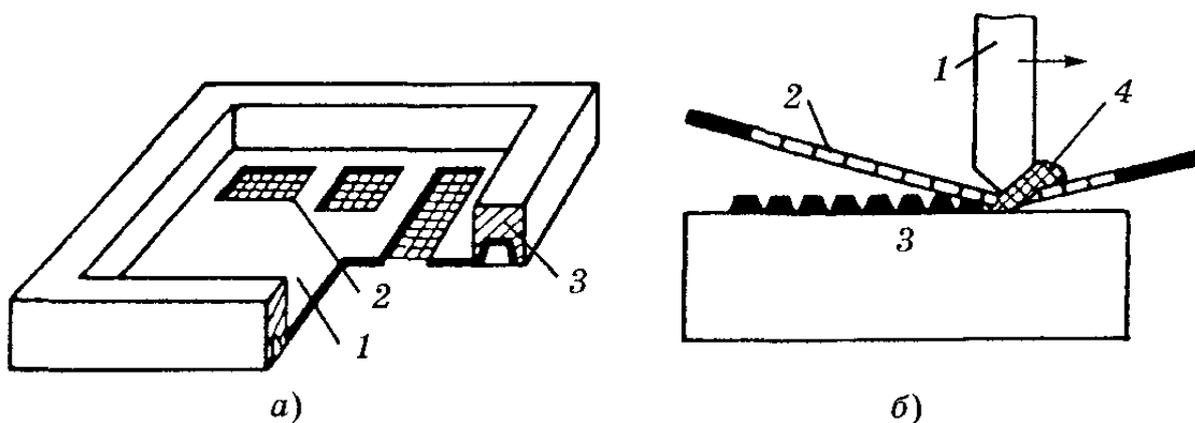


Рис. 30. Метод локального нанесения пасты: *а* – сетчатый трафарет;
б – продавливание пасты через трафарет: 1 – ракель; 2 – сетка; 3 –
подложка; 4 – паста

К подложкам для толсто пленочных ГИС предъявляются в общем те же требования, что и для тонко пленочных. Особое внимание часто уделяется повышенной теплопроводности, так как толсто пленочный вариант ГИС характерен для мощных схем. Поэтому распространены высокоглиноземистые керамики (96% Al_2O_3) и бериллиевые керамики (99,5% BeO); последние в 7-10 раз превышают глиноземистые по теплопроводности, но уступают им по прочности. Важная отличительная особенность подложек для толсто пленочных ГИС состоит в том, что их поверхность должна быть достаточно шероховатой, чтобы обеспечить необходимую адгезию с веществом пасты. Степень шероховатости характеризуется неровностями до 1-2 мкм.

Методы монтажа навесных компонентов те же, что и у тонко пленочных ГИС, но размеры контактных площадок делают больше: 400×400 мкм.

В целом толсто пленочная технология характерна простотой и низкой стоимостью ИС. Однако по сравнению с тонко пленочной технологией плотность компоновки оказывается меньше (из-за большей ширины линий), а разброс параметров – больше (из-за неконтролируемой толщины пленок).

ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Напомним, что элементами ИС (как полупроводниковых, так и гибридных) называют их неделимые составные части – те, которые нельзя отдельно специфицировать и поставить как отдельные изделия. Одна из особенностей элементов ИС по сравнению с аналогичными дискретными приборами или электрорадиоэлементами состоит в том, что они имеют электрическую связь с общей подложкой, а иногда и друг с другом.

Поэтому математические и физические модели (эквивалентные схемы) элементов ИС несколько отличаются от моделей дискретных аналогов.

Вторая важная особенность элементов ИС по сравнению с дискретными приборами связана с тем, что все элементы ИС получаются в едином технологическом процессе. Например, все резисторы пленочной ИС получаются одновременно и, следовательно, характеризуются одинаковой толщиной и одинаковым удельным сопротивлением (разница может быть только в длине и ширине слоя). Или в полупроводниковой ИС рабочий слой резистора получается одновременно с базовым слоем транзистора и, следовательно, имеет те же электрофизические параметры, что и базовый слой. Иначе говоря, при изготовлении элементов ИС имеется меньше «степеней свободы», чем при изготовлении их дискретных аналогов: можно варьировать главным образом конфигурацией элементов ИС «в плане», т.е. их длиной и шириной, а не глубиной слоев и их электрофизическими параметрами. В результате параметры элементов ИС в значительной мере коррелированы (взаимосвязаны) и ограничены, чего нет у дискретных компонентов.

Отметим, однако, что указанные особенности прежде всего характерны для элементов БИС и СБИС, при изготовлении которых из-за проблем совмещения всегда приходится «экономить» на количестве фотолитографий. Если проблема ограничения количества фотолитографий не превалирует над остальными, параметры элементов ИС могут значительно отличаться.

Помимо указанных двух особенностей, следует отметить, что в процессе развития микроэлектроники появились такие элементы ИС, которые не имеют аналогов в дискретной электронике: многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, транзисторы с барьером Шоттки, трехмерные элементы и др.

Традиционные компоненты – диоды, конденсаторы и т.п. – изменились конструктивно, изменился диапазон их параметров. В полупроводниковых ИС отсутствуют аналоги таких традиционных компонентов, как катушки индуктивности и тем более трансформаторы.

Компонентами ИС, называют такие составные части гибридных микросхем, которые можно специфицировать отдельно и поставлять в виде отдельных изделий. Компоненты ГИС представляют собой навесные

детали, отличающиеся от «обычных» дискретных компонентов лишь конструктивным оформлением (бескорпусные диоды, транзисторы и ИС).

Главными элементами биполярных полупроводниковых ИС являются *n-p-n*-транзисторы. Именно на них ориентируются при разработке новых технологических циклов, стараясь обеспечить оптимальные параметры этих транзисторов. Технология всех других элементов (*p-n-p*-транзисторов, диодов, резисторов и т.п.) должна «приспосабливаться» к технологии *n-p-n*-транзистора. Такое «приспособление» означает, что для изготовления других элементов следует по возможности избегать дополнительных технологических операций: желательно использовать те же рабочие слои (коллекторный, базовый и эмиттерный), которые необходимы для *n-p-n*-транзистора. Отсюда такая терминология: «в качестве резистора используется базовый слой» или «рабочий слой резистора получается на этапе базовой диффузии».

Главными элементами МДП-транзисторных ИС до последнего времени были МДП-транзисторы с индуцированным *p*-каналом. Соответственно на них ориентировался технологический цикл и к этому циклу «приспосабливалась» технология остальных элементов. В последние годы, после того как удалось преодолеть трудности изготовления качественных *n*-канальных МДП-транзисторов и разработать технологию комплементарных МДП (КМДП) схем, последняя, по существу, заняла главное место в технологии ИС.