

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
МИКРОСХЕМ

Методические указания к лабораторной работе 36

Занятия I, 2, 3

УДК 621.382.83

Описываются конструкции тонкопленочных и толстопленочных гибридных микросхем. Анализируется топологический чертеж микросхемы. Воспроизводится принципиальная электрическая схема и схема технологического процесса изготовления. Определяется также плотность упаковки элементов и степень интеграции микросхемы. Проводится анализ электрических параметров и условий эксплуатации.

По комплексному критерию качества проводится выбор технологии изготовления микросхемы, разрабатывается общий топологический чертеж и схема технологического процесса.

Рекомендуется для студентов специальности 0705 и 0701.

Составитель: М.Н.П и г а н о в

Утверждены на редакционно-издательском совете института 16.12.81 г.

## З а в я т к е I

### АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Ц е л ь р а б о т ы - анализ и изучение конструкции тонкопленочной интегральной микросхемы, ее элементов, топологии, способов монтажа компонентов.

#### З а д а н и я :

1. Изучить конструкцию микросхемы и элементов, определить тип компонентов, подложки, корпуса, способ монтажа компонентов.
2. Составить топологический чертеж микросхемы и по нему воспроизвести принципиальную электрическую схему.
3. Определить плотность упаковки элементов и степень интеграции микросхемы; по каталогу микросхем ознакомиться с электрическими параметрами данной микросхемы и условиями ее эксплуатации.
4. Воспроизвести полную схему технологического процесса данной микросхемы.

## I. Т е о р е т и ч е с к и е о с н о в ы

### I.1. Общие сведения об интегральных микросхемах

Основной элементной базой современной радиоэлектронной аппаратуры являются интегральные микросхемы. Согласно стандарта СЭВ I623-79 интегральная микросхема - микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, обработки сигнала и (или) накопления информации и имеющее высокую плотность упаков-

ки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и (или) кристаллов, которое, с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации, рассматривается как единое целое.

Составными частями микросхем являются элементы и компоненты.

Элемент интегральной микросхемы – часть интегральной микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая выполнена нераздельно от кристалла или подложки и не может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации.

Под электрорадиоэлементом понимают транзистор, диод, резистор, конденсатор и др.

Компонент интегральной микросхемы – часть интегральной микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке, эксплуатации.

Компонент является частью гибридной интегральной микросхемы.

## 1.2. Типы микросхем

Согласно ГОСТ 18682-73 интегральные микросхемы по технологическому исполнению делят на полупроводниковые, гибридные и прочие (пленочные, вакуумные, керамические и др.).

Пленочная интегральная микросхема – интегральная микросхема, все элементы и межеlementные соединения которой выполнены в виде пленок.

Частным случаем пленочных интегральных микросхем являются толстопленочные и тонкопленочные интегральные микросхемы.

Тонкопленочная интегральная микросхема – пленочная интегральная микросхема с толщиной пленок до  $1 \cdot 10^{-6}$  м.

Гибридная интегральная микросхема – интегральная микросхема, содержащая кроме элементов компоненты и (или) кристаллы.

Частным случаем гибридной интегральной микросхемы является многокристальная интегральная микросхема.

В зависимости от вида сигнала микросхемы делят на аналоговые и цифровые. Аналоговая интегральная микросхема – интегральная микросхема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов по закону непрерывной функции. Частным случаем аналоговой интегральной микросхемы является микросхема с линейной характеристикой (линейная микросхема).

Цифровая интегральная микросхема - интегральная микросхема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции. Частным случаем цифровой микросхемы является логическая микросхема.

### 1.3. Классификация микросхем

Для классификации интегральных микросхем разработана система обозначений. Условное обозначение отечественных микросхем состоит из пяти элементов.

Первый элемент - цифра, обозначающая группу микросхем по технологическому исполнению. Второй элемент - две цифры, обозначающие порядковый номер разработки данной серии. Первый и второй элементы обозначения указывают номер серии, в которую входит данная микросхема. Третий элемент - две буквы, обозначающие функциональное назначение микросхемы. Четвертый элемент - цифра, обозначающая порядковый номер микросхемы данного функционального назначения в серии. Пятый элемент - буква, обозначающая величину разброса электрических или эксплуатационных параметров у микросхемы одного и того же типа. При маркировке на корпусах буква может быть заменена цветной точкой. Конкретные значения разброса параметров микросхем и цвет маркировочной точки указываются в соответствующей технической документации. Шестой элемент - цифра, обозначающая вариант конструктивного исполнения бескорпусной микросхемы. В условное обозначение микросхем широкого применения вводится буква К, которая ставится в начале обозначения.

Для микросхем, разработанных до введения ГОСТ 18682-73, используется другой способ обозначения. Разница состоит в том, что в старом обозначении после цифры, указывавшей на вариант технологического исполнения, ставятся две буквы, обозначающие функциональное назначение. Две цифры, обозначающие порядковый номер разработки данной серии, ставятся после указанных букв.

Таким образом, номер серии указывает первый и третий элементы обозначения. Кроме того, в старой системе обозначения отсутствовал шестой элемент.

По технологическому исполнению микросхем обозначаются следующим образом: полупроводниковые - 1, 5 и 7; гибридные - 2, 4, 6 и 8; прочие - 3. Например, полупроводниковая логическая микросхема I2I серии, выполняющая функция И-НЕ/ ИЛИ-НЕ, имеет следующее обоз-

назначение - И2ЛБ1А. Гибридная логическая микросхема 217 серии, выполняющая те же функции, но разработанная до введения нового ГОСТа на обозначения, имеет следующее обозначение - 2ЛБ172А. Буква А обозначает, что для питания микросхемы используется источник напряжения 6 В.

По конструктивному исполнению бескорпусные микросхемы имеют следующие обозначения: 1 - бескорпусная микросхема с гибкими выводами; 2 - с ленточными (паучковыми) выводами и выводами, выполненными на диэлектрической пленке; 3 - с жесткими (шариковыми или столбиковыми) выводами; 4 - бескорпусные микросхемы, выполненные на общей подложке или пластине и неотделенные друг от друга; 5 - бескорпусные микросхемы, выполненные на общей подложке или пластине и отделенные друг от друга без потери ориентировки (например, наклеенные на пленку); 6 - бескорпусная микросхема с контактными площадками без выводов. Так, последняя цифра в обозначении К740УД5-Б-1 указывает, что данная бескорпусная микросхема имеет гибкие выводы.

#### 1.4. Конструктивные характеристики микросхем

Важными характеристиками интегральных микросхем являются плотность упаковки и степень интеграции. Плотность упаковки интегральной микросхемы - это отношение числа компонентов и элементов интегральной микросхемы, в том числе содержащихся в составе компонентов, к объему интегральной микросхемы без учета объема выводов. Иногда пользуются понятием плотности упаковки на площади  $J_S$ , которая равна отношению числа элементов  $N_3$  и компонентов  $N_K$  к площади кристалла  $S_K$  или платы  $S_n$ .  $J_S = \frac{N_3 + N_K}{S_K}$ .

Степень интеграции интегральной микросхемы - показатель степени сложности микросхемы, характеризуемый числом содержащихся в ней элементов и компонентов.

Степень интеграции интегральной микросхемы определяется по формуле

$$K = \lg N,$$

где  $K$  - коэффициент, определяющий степень интеграции, значение которого округляется до ближайшего большего целого числа;  $N$  - число компонентов и элементов интегральной микросхемы, в том чис-

ле содержащихся в составе компонентов, входящих в интегральную микросхему.

В настоящее время выпускаются микросхемы шести степеней интеграции.

В гибридном исполнении выполняются обычно микросхемы частного применения, которые разрабатываются специально для определенного вида аппаратуры и выпускаются в единичном варианте или малыми сериями. Чаще всего это аналоговые и линейные схемы и устройства, в которых сигналы носят непрерывный характер и изменяются в широких пределах как по мощности, так и по частоте. В связи с этим они должны иметь широкий диапазон номиналов пассивных элементов.

Гибридные микросхемы обладают следующими преимуществами: широкий диапазон и высокая точность изготовления номиналов пассивных элементов; низкий уровень паразитных связей между элементами; возможность рассеяния большой мощности; высокая стабильность пассивных элементов; относительная легкость реализации многослойной схемы; относительная легкость топологических решений.

## 2. Получение гибридных микросхем

### 2.1. Схема технологического процесса изготовления тонкопленочных гибридных микросхем

Технологические процессы, применяемые при изготовлении тонкопленочных гибридных микросхем, можно разделить на основные и вспомогательные. К основным технологическим процессам относят процессы получения тонких пленок и формирования структур (резисторы, конденсаторы и др.). К вспомогательным - процессы получения требуемой конфигурации элементов, подготовка оснастки, исходных материалов и др.

Упрощенная схема технологического процесса (ТП) изготовления тонкопленочной гибридной микросхемы приведена на рис. 1.

### 2.2. Конструкции элементов гибридных микросхем

Наиболее распространенными элементами тонкопленочных гибридных микросхем являются резисторы. Резисторы тонкопленочных гибридных микросхем получают, чаще всего, осаждением на диэлектричес-

кую подложку резистивных полосок различной конфигурации и контактных площадок, имеющих с ними зону перекрытия.



Рис.1. Упрощенная схема ТП изготовления тонкопленочной гибридной микросхемы

Основные конструкции тонкопленочных резисторов представлены на рис. 2.

Наибольшее распространение получили резисторы прямоугольной формы (рис.2,а). Сопротивление резистора прямоугольной формы определяется по формуле

$$R = \rho_s K_f,$$

где  $\rho_s$  - удельное поверхностное сопротивление, Ом/квадрат;  $K_f$  - коэффициент формы резистора. Коэффициент формы определяется по формуле  $K_f = l/b$ , где  $l$  и  $b$  - длина и ширина резистивного слоя соответственно. На рис.2,б приведена конструкция низкоомного резистора с  $K_f < 1$ . Для изготовления резисторов повышенной мощности используют конструкцию, представляющую несколько параллельно соединенных резистивных полосок (рис.2,в). Такая конструкция обеспечивает большую площадь теплоотдачи. При  $l > 10b$  целесообразно использовать конструкцию, состоящую из нескольких последовательно соединенных резистивных полосок прямоугольной формы (рис.2,г). Она обеспечивает необходимую механическую жесткость и

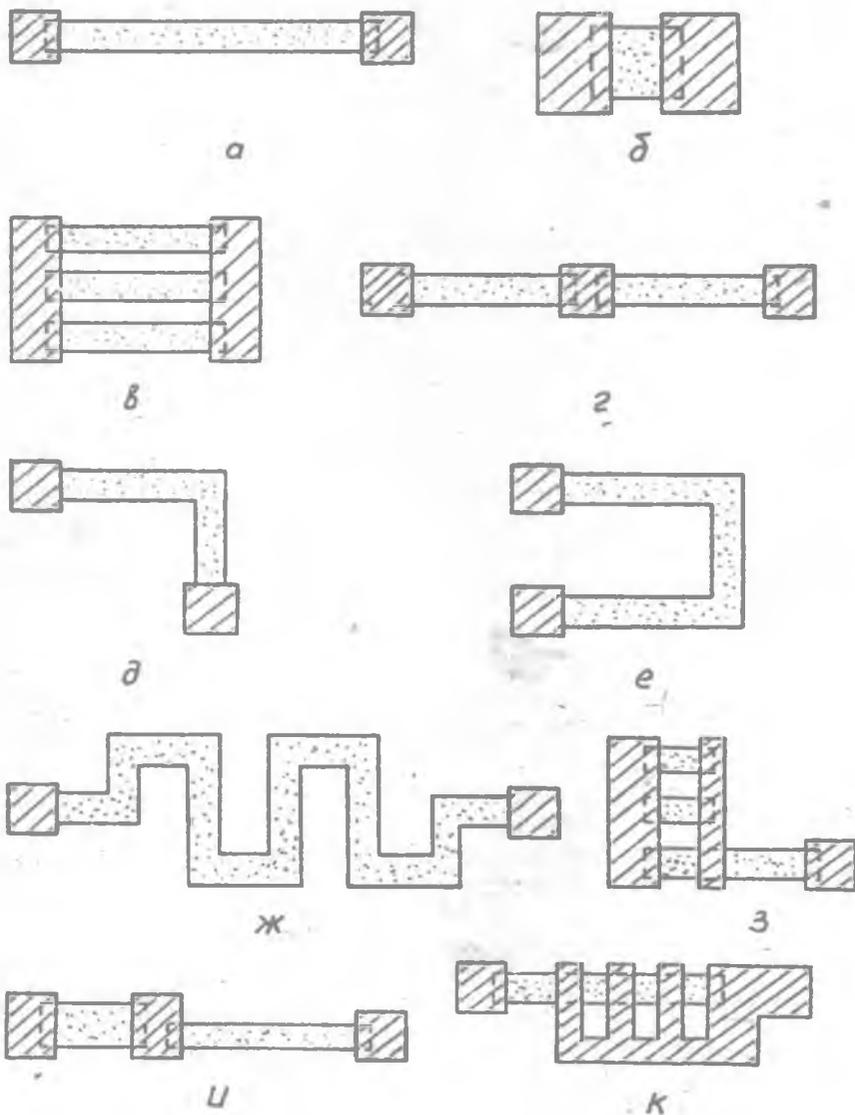


Рис.2. Конструкции тонкопленочных резисторов

плотность прилегания масок к подложкам при изготовлении резисторов методом свободной маски. Для изготовления высокоомных резисторов используют также конструкции Г-образной (рис.2,д), П-образной (рис.2,е) формы, типа "меандр" (рис.2,ж) и др.

Для изготовления резисторов высокой точности используют конструкции с подгоночными секциями: с шунтирующими токопроводящими перемычками (рис.2,з), с шунтирующими резистивными участками (рис.2,и), с подгоночной секцией из другого материала (рис.2,к) и др. В первых двух случаях подгонка резисторов осуществляется путем "разрезания" шунтирующих токопроводящих или резистивных участков. Сопротивление резистора при этом возрастает. Третья конструкция может быть использована для подгонки уплотнением резистивного слоя. В этом случае подгоночная секция выполняется из материала, легко поддающегося подгонке уплотнением, например, кермета К-50С. При подгонке уплотнением сопротивление резистора уменьшается.

Более сложными и громоздкими, чем резисторы, являются тонкопленочные конденсаторы (ТПК). Наибольшее распространение получили однослойные ТПК (рис.3,а,б), которые состоят из двух обкладок и одного слоя диэлектрика. Емкость такого конденсатора определяется по формуле

$$C = 8,84 \cdot 10^{-4} \frac{\epsilon S}{d},$$

где  $C$  - емкость конденсатора, пФ;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость;  $S$  - площадь перекрытия обкладок, м<sup>2</sup>;  $d$  - толщина диэлектрика, м.

Для повышения удельной емкости иногда используют многослойные ТПК (рис.3,в). Малое значение емкости (до 30 пФ) можно получить с помощью гребенчатого конденсатора (рис.3,г). У него обе обкладки получаются за одну операцию нанесения проводящих контуров на подложке, а емкость образуется за счет краевого эффекта. Емкость гребенчатого конденсатора определяется по формуле

$$C = C_n \epsilon_{ср} P,$$

где  $C_n$  - погонная емкость гребенчатого конденсатора;  $\epsilon_{ср}$  - обобщенная диэлектрическая проницаемость окружающей среды;  $P$  - периметр границы обкладок.

Для изготовления ТПК высокой точности используют конструкции с подстроечными секциями (рис.3,д). При разрезании подстроечных секций емкость ТПК уменьшается.

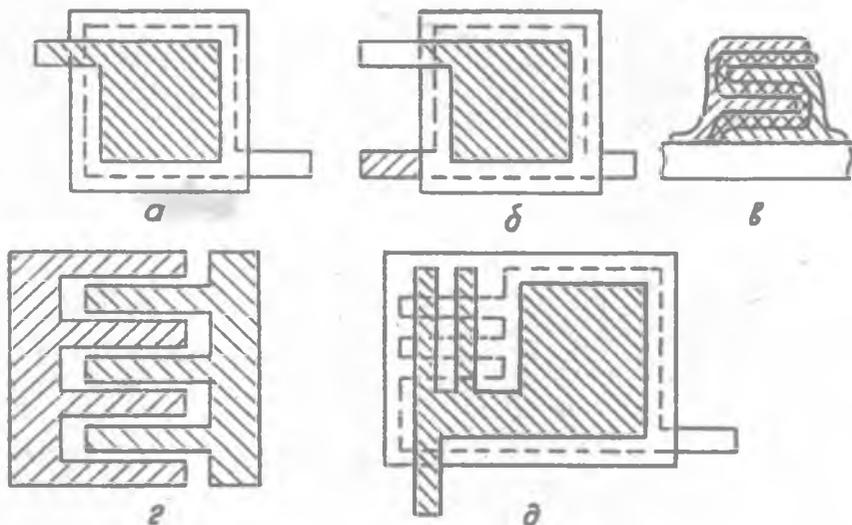


Рис.3. Конструкция тонкопленочных конденсаторов

Наибольшее распространение для получения пленочных индуктивностей получили плоские спиральные катушки (рис.4) из проводящего материала. Индуктивность таких катушек не превышает 5-7 мкГн. Выполняя индуктивности на ферритовых подложках или используя ферритовые пленки, можно на 10-40% увеличить значение индуктивности. Однако это усложняет технологический процесс их изготовления.

Для электрического соединения элементов и компонентов микросхемы служат тонкопленочные проводники и контактные площадки. Контактные площадки интегральной микросхемы - металлизированный участок на плате или кристалле, служащий для присоединения выводов компонентов и интегральных микросхем, перемычек, а также для контроля ее электрических параметров и режимов.

### 3. Компоненты гибридных микросхем

#### 3.1. Типы компонентов

В качестве компонентов гибридных микросхем используются как активные, так и пассивные электрорадиоэлементы, кристаллы и мик-

росхемы: диоды, транзисторы, диодные и транзисторные матрицы, полупроводниковые микросхемы, конденсаторы, наборы прецизионных резисторов и конденсаторов, выполненные на отдельных платах, трансформаторы, дроссели, индуктивности. Компоненты бывают корпусные и

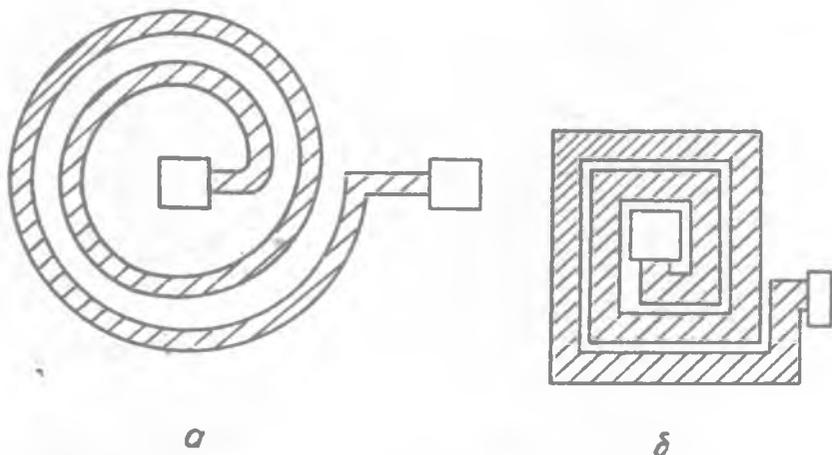


Рис. 4. Конструкции тонкопленочных индуктивностей

бескорпусные. Бескорпусные компоненты защищены от воздействия окружающей среды с помощью специальных покрытий (лаков, компаундов, эмалей и т.д.) и заключены в пластмассовый корпус, который снимается перед монтажом. Корпусные компоненты помещены в корпус. Например, активные компоненты ГТ-109, ГТ-310 имеют корпус диаметром 3,7 мм и высотой 2,5 мм.

В настоящее время наибольшее распространение получили бескорпусные компоненты с гибкими выводами (проволочными или плоскими), жесткими выводами (шариковыми, столбиковыми или балочными), с лужеными припоем противоположными гранями. Метод монтажа компонентов на плате в значительной степени определяется типом их выводов.

### 3.2. Монтаж компонентов

Методы монтажа бескорпусных компонентов с различными типами выводов показаны на рис.5.

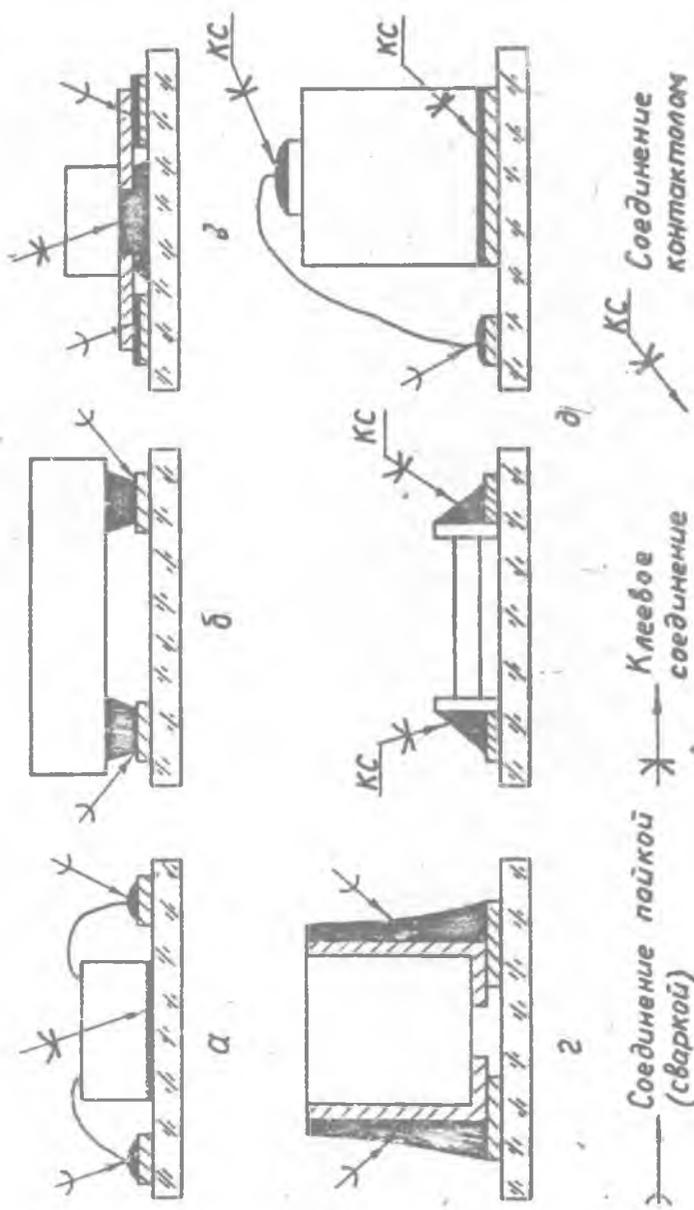


Рис. 5. Методы монтажа бескорпусных компонентов

Компоненты с гибкими выводами крепятся к плате с помощью клеев, компаундов или припоев. Крепление с помощью припоев осуществляется в результате образования эвтектических сплавов между компонентом и пленкой на подложке. В этом случае обеспечивается омический контакт компонента с платой. Такое крепление обеспечивает минимальное тепловое сопротивление.

После крепления кристалла к плате выводы изгибаются таким образом, чтобы они касались контактных площадок. В местах касания производится микросварка или пайка (рис.5,а). При этом возможен визуальный контроль процесса монтажа.

Монтаж компонентов с шариковыми и столбиковыми выводами осуществляется методом "перевернутого кристалла" (рис.5,б). В этом случае компонент имеет контактные выступы высотой 10-15 мкм и диаметром 50-150 мкм. Для обеспечения соединения с контактными площадками на плате используют термокомпрессионную или ультразвуковую сварку. Данный метод монтажа является групповым. Преимуществом метода является также и то, что компонент не требует специального места на плате. Главная трудность данного метода состоит в совмещении выступов компонента с контактными площадками.

При монтаже компонентов с балочными выводами устраняется основной недостаток предыдущего метода - трудность совмещения выступов с контактными площадками. Крепление компонента с балочными выводами осуществляют приклеиванием его к плате с последующей групповой сваркой выводов с контактными площадками (рис.5,в). Балочные выводы имеют толщину 10-15 мкм и длину 200-250 мкм. Они выступают за края компонента на 100-150 мкм. Выступающие балки хорошо видны при монтаже и их совмещение с контактными площадками на плате не вызывает затруднений.

Установку компонента с лужеными припоем противоположными гранями выполняют одновременно с электрическим соединением луженых граней с контактными площадками напылом припоя или соединением с помощью контактола, например, К13-А (рис.5,г,д).

### 3.3. Подложки тонкопленочных гибридных микросхем

Конструктивной основой пленочных и гибридных микросхем является подложка. Подложка интегральной микросхемы - это заготовка, предназначенная для нанесения на нее элементов гибридных и пленоч-

ных интегральных микросхем, межэлементных и (или) межкомпонентных соединений, а также контактных площадок.

Часть подложки гибридной (пленочной) интегральной микросхемы, на поверхности которой нанесены пленочные элементы микросхемы, межэлементные и межкомпонентные соединения и контактные площадки, называется платой интегральной микросхемы.

Подложка тонкопленочной гибридной микросхемы должна иметь высокую электрическую прочность, минимальную шероховатость поверхности, хорошую адгезию с осаждаемыми материалами, малую диэлектрическую проницаемость, высокую теплопроводность, высокое значение удельного сопротивления.

Наибольшее распространение получили подложки на основе ситаллов СТ 50-I и СТ 38-I, стекло С4I-I и С48-3, поликора. Толщины подложек составляют 0,6 или 1,6 мм.

#### 4. Т о п о л о г и ч е с к и й ч е р т е ж т о н к о п л е н о ч н о й г и б р и д н о й м и к р о с х е м ы

Топологический чертеж гибридной микросхемы - это конструкторский документ, строго определяющий ориентацию и взаимное расположение всех элементов и компонентов микросхемы на площади подложки, а также их форму и размеры. Топология составляется с учетом ряда требований и ограничений, определяемых принципом работы и назначением микросхемы. По топологии можно рассчитать тепловые режимы отдельных элементов и микросхемы в целом, определить характер и величину паразитных связей, определить априорную надежность микросхемы. По одной принципиальной схеме устройства этого сделать нельзя.

На рис.6 представлена топология буферного усилителя (пассивные элементы выполнены по тонкопленочной технологии), а на рис.7 его принципиальная электрическая схема. В левой нижней и средней части изображения имеется две пары крест-накрест расположенных уголков. Это технологические знаки. Они обозначают местоположение компонентов с гибкими выводами. Для ориентации микросхемы служит ключ. Ключом является площадка в форме равнобедренного треугольника, расположенная в нижнем левом углу платы. Вершина треугольника обращена к первому выводу.

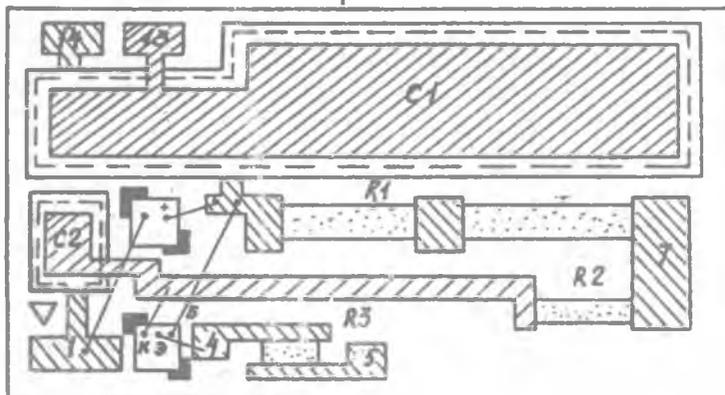


Рис.6. Топология микросхем

На рис.8,а показано крепление бескорпусного транзистора с гибкими выводами, а на рис.8,б - с шариковыми выводами. Во втором случае монтаж компонентов осуществляется на специальные площадки (на рисунке показаны штриховыми линиями).

### 5. Герметизация микросхем.

Для защиты микросхем от воздействия окружающей среды (влаги), температуры, механических воздействий и т.п. производят их герметизацию. Различают бескорпусную и корпусную герметизацию. Для бескорпусной герметизации используют различные пластические полимерные материалы. Герметизацию осуществляют литьем под давлением, свободной заливкой и т.д. Использование бескорпусной герметизации позволяет уменьшить вес и стоимость микросхем.

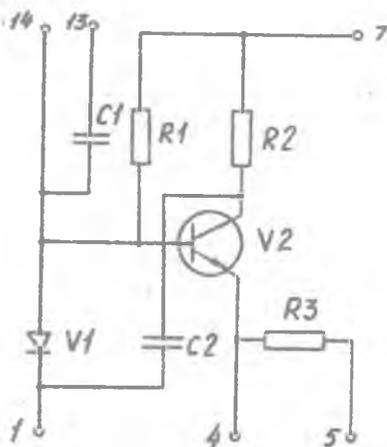


Рис.7. Принципиальная схема буферного усилителя

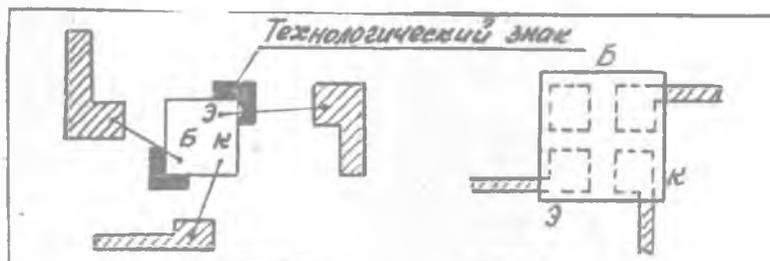


Рис. 8. Варианты крепления компонентов

Однако, такая герметизация не обеспечивает надежной защиты микросхемы от влаги. Более эффективной в данном случае является корпусная герметизация.

В зависимости от применяемых материалов корпуса делятся на следующие типы: металлостеклянные, стеклянные, керамические, полимерные, металлополимерные.

Некоторые разновидности указанных типов корпусов приведены на рис. 9.

В металлостеклянных корпусах в качестве конструктивного материала используют ковар. Иногда используют никель, сталь, медь. Выводы герметизируются стеклом. Такой корпус имеют микросхемы серий К228, К260, 273, 304 и др.

Стеклянные корпуса (серии 303, К106 и др.) состоят из основания и кольцевой структуры, в которую герметизируются коваровые выводы. Основание получают прессованием из боросиликатного или другого стеклянного порошка.

Керамические корпуса используются в основном для герметизации толстопленочных микросхем. Они имеют конструкцию, аналогичную стеклянным или металлостеклянным корпусам. Основание и кольцевую структуру выполняют из керамики (окись алюминия или бериллия).

В металлополимерном корпусе герметизация осуществляется заливкой металлического корпуса эпоксидным компаундом (микросхемы серий 214, К215, К202, 301 и др.).

Пластмассовые корпуса выполняются, чаще всего, из термореактивных смол (серия К224 и др.).

Полимерные корпуса получают путем опрессовки микросхемы компаундом (серия К155 и др.). Опрессовку осуществляют методом литья под давлением в специальные формы.

Конструктивные разновидности и габаритные размеры отечественных корпусов унифицированы.

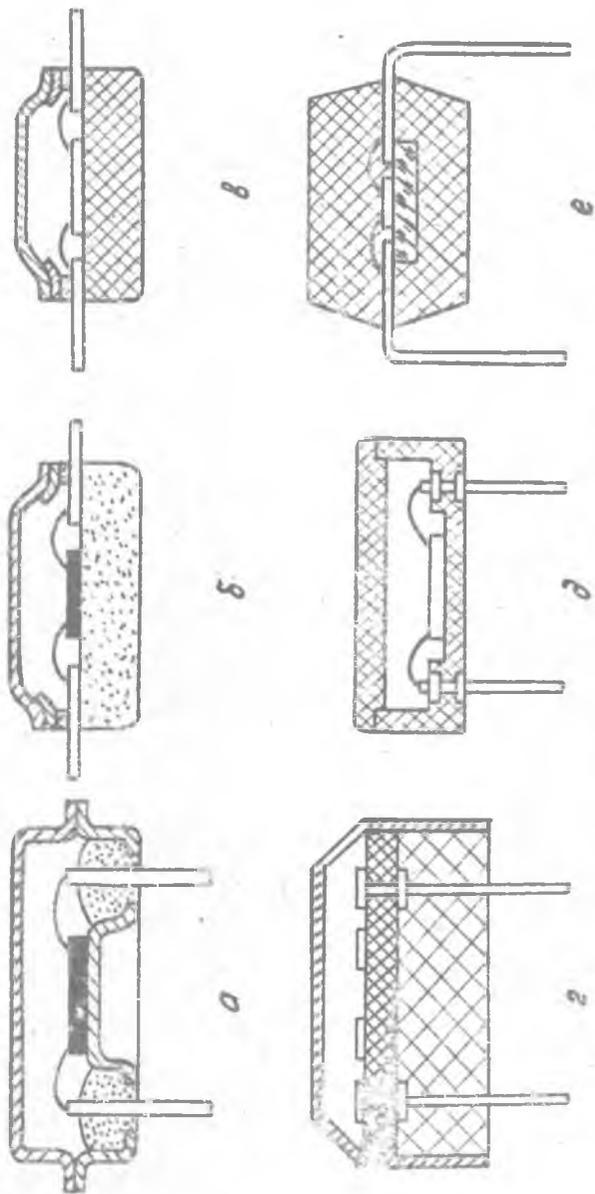


Рис. 9. Конструкции корпусов: а - металлостеклянный, б - стеклянный, в - керамический, г - металлополимерный, д - пластмассовый, е - полимерный

## 6. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит микроскоп типа МБС-9 (МБС-2) и набор исследуемых тонкопленочных гибридных микросхем (см. описание).

## 7. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя гибридную микросхему.
  2. Изучить конструкцию микросхемы и элементов.
  3. Определить тип компонентов, подложки, корпуса, способ монтажа компонентов.
  4. Составить топологический чертёж микросхемы.
  5. По топологическому чертежу воспроизвести принципиальную электрическую схему.
  6. Зарисовать эскиз корпуса микросхемы и произвести расшировку его условного обозначения.
  7. Замерить геометрические размеры микросхемы и корпуса.
  8. Определить плотность упаковки элементов и степень интеграции микросхемы.
  9. По каталогу микросхем ознакомиться с электрическими параметрами данной микросхемы и условиями ее эксплуатации.
  10. Воспроизвести полную схему технологического процесса изготовления изученной микросхемы.
- II. Сделать выводы о целесообразности выполнения данной микросхемы в гибридном исполнении, о целесообразности использования указанных типов компонентов, подложки, корпуса и способа монтажа.

## 8. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расшировка условного обозначения микросхемы и корпуса.
3. Топология тонкопленочной гибридной микросхемы.
4. Принципиальная электрическая схема.
5. Расчет плотности упаковки и определение степени интеграции микросхемы.
6. Эскиз корпуса микросхемы.

7. Электрические параметры исследованной микросхемы.
8. Условия эксплуатации исследованной микросхемы.
9. Схема технологического процесса получения данной микросхемы.

## 10. Выводы.

### 9. Контрольные вопросы

1. Что такое интегральная микросхема?
2. Что такое топологический чертеж гибридной микросхемы?
3. Принципы классификации микросхем.
4. Что такое плотность упаковки элементов и степень интеграции микросхемы?
5. Нарисуйте схему технологического процесса изготовления гибридной микросхемы.
6. Какие типы компонентов используются при изготовлении гибридных микросхем? Способы их монтажа.
7. Преимущества и недостатки тонкопленочной технологии? Тонкопленочных гибридных микросхем?
8. Какие конструкции гибридных интегральных микросхем вы знаете? В каких случаях их целесообразно использовать?
9. Произвести расшифровку условного обозначения ряда микросхем.

## Л и т е р а т у р а

1. Ермолаев Ю. П., Пономарев М. Ф., Крюков Д. Г. Конструкции и технология микросхем (ГИС и БГИС) / Под ред. Ермолаева Ю. П.: Учебник для вузов. М.: Сов. радио, 1980. - 256 с.
2. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры / Под ред. Высоцкого Б. Ф. М.: Сов. радио, 1978. - 352 с.
3. Ефимов И. Е., Козырь И. Я. Основы микроэлектроники. Учебное пособие для вузов. М.: Связь, 1975. - 272 с.

## З а н я т и е 2

### АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Ц е л ь р а б о т ы - анализ и изучение конструкций толсто-  
пленочной интегральной микросхемы, ее элементов, топологии, спосо-  
бов монтажа элементов.

#### З а д а н и я :

1. Провести анализ конструктивного исполнения микросхемы и ее элементов. Определить тип компонентов, способ монтажа компонентов.

2. Зарисовать топологический чертеж микросхемы и по нему воспроизвести принципиальную электрическую схему и схему технологического процесса изготовления.

3. Произвести расчет плотности упаковки элементов и определить степень интеграции микросхемы.

4. По каталогу микросхем ознакомиться с электрическими параметрами данной микросхемы и условиями ее эксплуатации.

## І. Т е о р е т и ч е с к и е о с н о в ы р а б о т ы

### І.І. Основные сведения о толстопленочных гибридных микросхемах

К толстым пленкам относят пленки толщиной более 1 мкм.

Для создания заданного рисунка толстопленочной гибридной микросхемы используется метод трафаретной печати - сеткография. Сущность метода заключается в том, что паста определенного состава и вязкости продавливается через сетчатый трафарет на подложку (пла-

ту). Для закрепления материала образовавшегося слоя на плате и придания ему заданных электрофизических и механических свойств производят дополнительную обработку - вжигание (сушку, обжиг и спекание).

Схема нанесения пасты приведена на рис.1. Паста 1 продавливается через сетчатый трафарет 2 на подложку 3 с помощью специальной лопатки - ракеля 4. По мере того, как ракель проходит, трафарет под действием натяжения отделяется от подложки. Образовавшийся слой 5 удерживается на подложке силами сцепления.

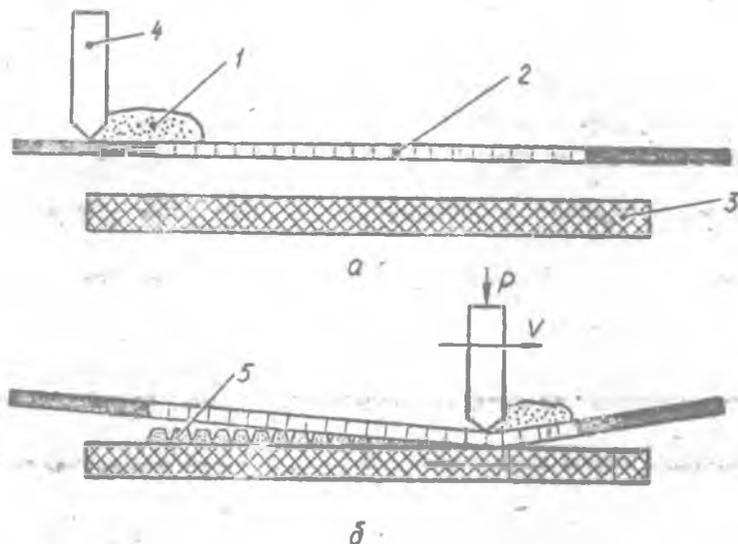


Рис.1. Схема нанесения пасты через сетку - трафарет: а - исходное состояние; б - момент печати

На рис.2 показана схема типового технологического процесса изготовления толсто пленочных гибридных микросхем.

## 1.2. Подложки толсто пленочных микросхем

Подложки для толсто пленочных гибридных микросхем должны обладать хорошим теплопроводом. Наибольшее распространение получили подложки на основе высокоглиноземистой керамики 22ХС, бериллиевой керамики, электрокорунда.



Рис.2. Схема технологического процесса изготовления толсто пленочных микросхем

Для толсто пленочных микросхем применяются подложки с менее гладкими поверхностями. Это объясняется тем, что при более шероховатой поверхности адгезия толстой пленки к керамике получается лучшей.

Чтобы уменьшить коробление подложек при вжигании, их выполняют либо квадратной формы, либо прямоугольной с небольшим отношением длины к ширине. Групповые керамические подложки не применяют из-за сложности их резки.

Для повышения степени интеграции толсто пленочных микросхем используют многослойные керамические подложки. Они создаются в самостоятельном технологическом цикле. Многослойные подложки появились как результат дальнейшего развития многослойных печатных плат, но по сравнению с ними имеют на порядок меньший объем и порядка в 100 раз большую теплопроводность.

### 1.3. Топологический чертеж микросхемы

На рис.3 показан сборочный чертеж толсто пленочной гибридной микросхемы, который, в отличие от тонко пленочной, всегда выполняется в трех проекциях. Это обусловлено расположением элементов на обеих сторонах подложки. Компоненты в этом случае устанавливают



на той стороне платы, которая располагается внутри корпуса. Близкие по номиналам резисторы, которые изготавливают из одной пасты, выполняют на одной стороне подложки. Подложка имеет размер  $11 \times 11 \times 1,5$  мм.

Проводники и металлизированные участки контактных площадок оттены штриховкой под  $45^\circ$ . Утолщенными линиями выделены контуры резисторов.

На главном изображении (в середине) видны выводы длиной 9,1 мм. На виде слева концентрическими окружностями показаны проекции выводов, их буртиков и контактных площадок. На виде справа видны расклепаные головки выводов, контактные площадки, проводники, резисторы и компоненты (бескорпусные транзисторы и диодная матрица). Выводы компонентов припаяны к пленочным проводникам и контактным площадкам. Места пайки обозначены точками. Для изоляции проволочных выводов от пленочного проводника (см. вид справа) на последней нанесен слой диэлектрика, показанный штриховой линией и штриховкой под углом  $45^\circ$ . Вывод в центре платы необходим только для электрического соединения двух частей схемы, расположенных на обеих сторонах платы.

#### 1.4. Преимущества и недостатки

Толстопленочная технология имеет следующие достоинства: низкая стоимость микросхем, малое время подготовки производства; возможность получения широкого диапазона номинальных значений резисторов и конденсаторов; значительная мощность рассеяния пленочных резисторов.

К основным недостаткам толстопленочной технологии можно отнести следующие: пониженная стабильность и высокий уровень шумов резисторов; значительный разброс сопротивлений резисторов и конденсаторов; низкая адгезия пленок на полированных поверхностях.

#### 2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит микроскоп типа МБС-9 (МБС-2) и набор исследуемых толстопленочных гибридных микросхем (см. описание).

### 3. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя толстопленочную гибридную микросхему.
2. Провести анализ конструктивного исполнения микросхемы, элементов и корпуса.
3. Определить тип компонентов и способ их монтажа.
4. Зарисовать топологический чертеж микросхемы.
5. Воспроизвести принципиальную электрическую схему.
6. Воспроизвести схему технологического процесса изготовления изучаемой микросхемы.
7. Зарисовать эскиз корпуса микросхемы.
8. Определить геометрические размеры микросхемы.
9. Произвести расчет плотности упаковки элементов и определить степень интеграции микросхемы.
10. Произвести расшифровку условного обозначения микросхемы и корпуса.
11. По каталогу микросхем ознакомиться с электрическими параметрами и условиями эксплуатации данной микросхемы.
12. Сравнить толстопленочную технологию с тонкопленочной.

### 4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расшифровка микросхемы.
3. Сборочный чертеж толстопленочной гибридной микросхемы.
4. Принципиальная электрическая схема.
5. Эскиз корпуса и расшифровка его типа.
6. Расчет плотности упаковки и степени интеграции микросхемы.
7. Полная схема технологического процесса получения исследованной микросхемы.
8. Описание типа компонентов и метода их монтажа.
9. Электрические параметры и условия эксплуатации данной микросхемы.
10. Выводы.

### 5. Контрольные вопросы

1. Сущность толстопленочной технологии.

2. Что такое гибридная микросхема?
3. Нарисуйте схему технологического процесса изготовления толсто пленочной гибридной микросхемы.
4. Произвести расшифровку условного обозначения ряда микросхем.
5. Произвести расшифровку условного обозначения ряда корпусов.
6. Какие типы корпусов вы знаете? Их преимущества и недостатки? Какие типы используются для герметизации толсто пленочных гибридных микросхем?
7. Преимущества и недостатки толсто пленочной технологии и толсто пленочных гибридных микросхем.
8. В чем отличие в выполнении сборочного чертежа толсто пленочной гибридной микросхемы от сборочного чертежа тонко пленочной гибридной микросхемы?
9. Какие типы подложек используются для изготовления толсто пленочных гибридных микросхем? Их отличия от подложек для тонко пленочных гибридных микросхем.

#### Л и т е р а т у р а

1. Черныев В.Н. Технология производства интегральных микросхем. Учебное пособие для вузов /Под ред. Васенкова А.А. М.: Энергия, 1977.-376с.
2. Сергеев В.С., Воженкин И.Н. Интегральные микросхемы. М.: Сов.радио, 1973.-64с.
3. Хаммер Д., Биггерс Дж. Технология толсто пленочных гибридных интегральных схем./Пер. с англ. под ред. Шермергора Т.Д. М.: Мир, 1975.-496с.

### З а н я т и е 3

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Ц е л ь р а б о т ы - на основе технико-экономического анализа произвести выбор конструкции и технологии изготовления гибридной микросхемы, разработать общую топологию и схему технологического процесса.

#### З а д а н и я:

1. Провести анализ технического задания, принципиальной электрической схемы устройства, технических требований.
2. По комплексному критерию качества К произвести выбор технологии изготовления микросхемы.
3. Разработать общий топологический чертеж микросхемы.
4. Разработать полную схему технологического процесса изготовления данной микросхемы.

### 1. Т е о р е т и ч е с к и е о с н о в ы р а б о т ы

#### 1.1. Виды микросхем и технология их изготовления

Для изготовления интегральных микросхем используют, в основном, три технологии: полупроводниковую, тонкопленочную и толсто-пленочную. С точки зрения размеров, массы и стоимости при массовом производстве наиболее рациональна полупроводниковая технология. При разработке микросхем частного применения чаще используют тонкопленочную и толстопленочную технологии.

При выборе вида технологии необходимо учитывать как возмож-

ность достижения требуемых характеристик, так и время, стоимость подготовки производства, стоимость разработанных микросхем и ряд других факторов и ограничений.

В табл. I приведена условная оценка трех технологий и соответствующих им типов микросхем по шестибальной шкале (высшая оценка I, низшая 6). Высшая оценка соответствует лучшему варианту (более высокая точность, более низкая стоимость и т.д.).

Т а б л и ц а I

Характеристики	Полупроводниковая	Тонкопленочная	Толсто-пленочная
Диапазон сопротивлений резисторов	I	5	6
Диапазон емкостей конденсаторов	I	5	5
Точность сопротивления резисторов	I	6	4
Точность емкости конденсаторов	I	6	4
Стабильность свойств резисторов	I	6	5
Стабильность свойств конденсаторов	I	6	6
Предельное напряжение конденсаторов	I	5	5
Шумовые свойства резистора	3	6	4
Надежность микросхем	6	4	5
Предельная мощность резисторов	I	4	6
Пригодность для аналоговых схем	3	6	6
Пригодность для цифровых схем	6	3	3
Пригодность для СВЧ техники	I	6	4
Стоимость подготовки производства	I	3	6
Стоимость эксплуатации оборудования	I	4	5
Эффективность крупносерийного производства	6	3	3
Эффективность мелкосерийного производства	I	5	6
Степень интеграции, габариты, вес	6	4	3

Стоимость минимально необходимого оборудования составляет для толстопленочных микросхем I условную единицу (усл. ед.), для тонкопленочных - I,5 - 2 усл. ед., для полупроводниковых - 3-4 усл. ед.

Время, необходимое для подготовки производства полупроводниковых микросхем, значительно больше, чем для обеих пленочных технологий. В табл.2 проведено сравнение стоимостей подготовки производства и эксплуатации оборудования в усл.ед.

Т а б л и ц а 2

Вид технологии	Время подготовки, год	Стоимость подготовки	Стоимость эксплуатации
Полупроводниковая	2	5000	2000
Тонкопленочная	1	1500	750
Толстопленочная	0,5	750	500

Оборудование для изготовления толстопленочных микросхем недорогое. Это делает толстопленочную технологию весьма конкурентоспособной в условиях, когда требуется быстро организовать производство. Из трех видов микросхем у толстопленочных самый короткий цикл изготовления и самая низкая стоимость эксплуатации оборудования.

В табл.3 приведены сравнительные данные стоимости в усл.ед. различных видов микросхем для различных типов производства (программ выпуска).

Т а б л и ц а 3

Вид микросхемы	Объем выпуска, шт				
	1-25	100-1000	1000-10000	10000-100000	Свыше 100000
Полупроводниковая	0,3	0,15	0,08	0,06	0,04
Тонкопленочная	0,75	0,45	0,3	0,2	0,15
Толстопленочная	0,5	0,3	0,25	0,15	0,12

Наиболее дешевыми являются полупроводниковые микросхемы. Однако полупроводниковую технологию следует применять только в тех

случаях, когда оправдываются затраты на организацию производства.

### 1.2. Выбор технологии изготовления

Достижимые для современного этапа развития тонкопленочной и толстопленочной технологии характеристики пассивных элементов приведены в табл.4

Т а б л и ц а 4

Характеристики элементов	Тонкопленочная технология			Толстопленочная технология		
	$R$ , ком	1-300	$10^2-10^3$	$10^3-10^4$	$1-10^3$	$10^2-10^4$
$\rho_s$ , ком/д	1-5	5-30	30-100	1-10	$10-10^2$	$10^2-10^4$
ТКС, $10^{-6}$ I/град	$\pm(30\pm 200)$	$\pm(100\pm 500)$	$-(300\pm 2000)$	$\pm(10^2-10^3)$	$-(5\cdot 10^2-3\cdot 10^3)$	$-(2\cdot 10^3-9\cdot 10^3)$
$\frac{\Delta R}{R}$ , % (1000ч)	0,01-0,2	0,1-0,5	0,2-3	0,1-2	1-5	3-100
Точность изготовления, %	1-10	3-20	5-50	5-20	15-100	50-200
Точность изготовления с подгонкой, %	0,001-0,1	0,01-1	0,05-3	0,1-2	1-5	3-10
$\mu_{ш}$ , $\frac{\text{мкВ}}{\text{В}}$	$10^{-5}-10^{-2}$	$10^{-4}-10^{-1}$	$10^{-3}-1$	$10^{-2}-1$	$10^{-1}-10$	10-50
$P_0$ , $\frac{\text{мВт}}{\text{мм}^2}$	10-20	10-20	10-30	10-50	20-50	20-60

Так, если для реализации микросхем необходимы резисторы с высокой точностью (0,01-0,1%), стабильностью (0,1%) и малым ТКС ( $(50-100)\cdot 10^{-5}$  I/град), то практически единственно возможной технологией является тонкопленочная.

Если для выполнения микросхем требуется высокосомные резисто-

ры (более 100 МОм) с большой удельной мощностью рассеяния (более 20 мВт/мм<sup>2</sup>), то практически единственно возможной технологией является толстопленочная.

Если обе технологии позволяют достичь требуемых технических характеристик, то для выбора метода изготовления можно воспользоваться комплексным критерием качества  $K$

$$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \mu_i,$$

где  $n$  - число частных показателей качества или эффективности;

$\mu_i$  - значение  $i$ -го показателя;

$\alpha_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го показателя (определяется методом экспертных оценок).

Лучшим будет тот вариант, для которого критерий  $K$  будет максимальным.

В качестве примера рассмотрим выбор метода изготовления двух изделий - дифференциального операционного усилителя ОУ (рис.1) и выходного усилителя промежуточной частоты изображения УПЧИ (рис.2). Требуемые по техническому заданию электрические параметры ОУ и УПЧИ приведены, соответственно, в табл. 5 и 6. Тип производства в обоих случаях серийный. Программа выпуска 5000 шт. Время подготовки производства не более одного года.

Из анализа технического задания и принципиальной схемы ОУ следует, что для достижения требуемых электрических параметров микросхема должна удовлетворять следующим техническим требованиям:

1 - широкий диапазон номинальных значений резисторов (от 1 кОм до 500 кОм);

2 - высокая точность изготовления резисторов (от  $\pm 0,25$  до 5%).

Т а б л и ц а 5

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное сопротивление	МОм	5
Средний ток смещения	А	$10^{-9}$
Выходное сопротивление	Ом	200
Коэффициент усиления		20000
Коэффициент ослабления синфазного сигнала	дБ	70

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение смещения нуля на входе	мВ	10
Температурный дрейф по напряжению	мкВ/град	50
Максимальное выходное напряжение	В	5
Мощность, потребляемая от источника питания	мВт	50
Размах напряжения шума	мкВ	5
Полоса пропускания	кГц	100

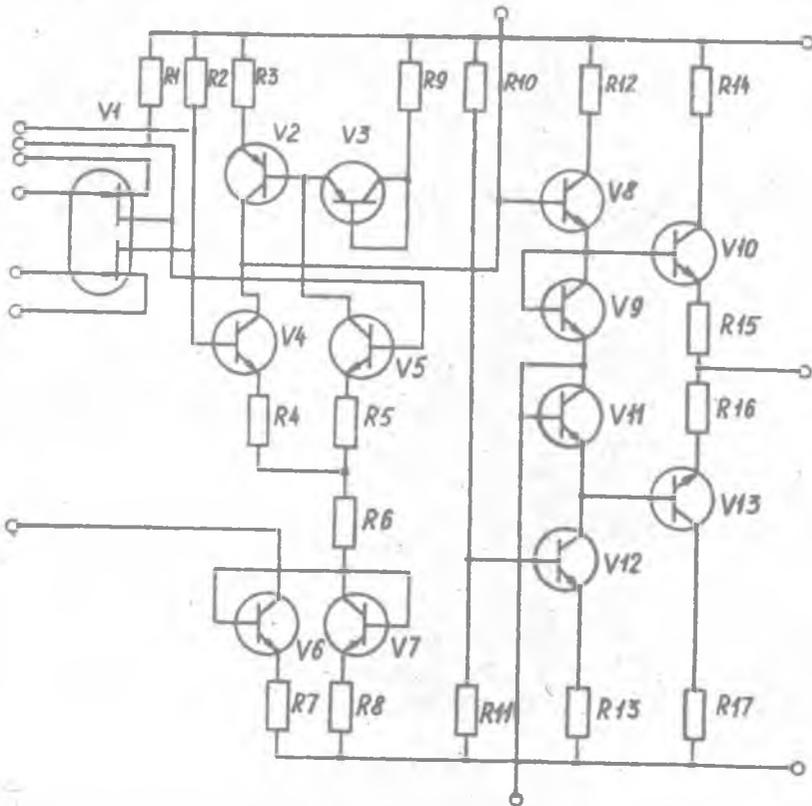


Рис.1. Принципиальная электрическая схема 0V

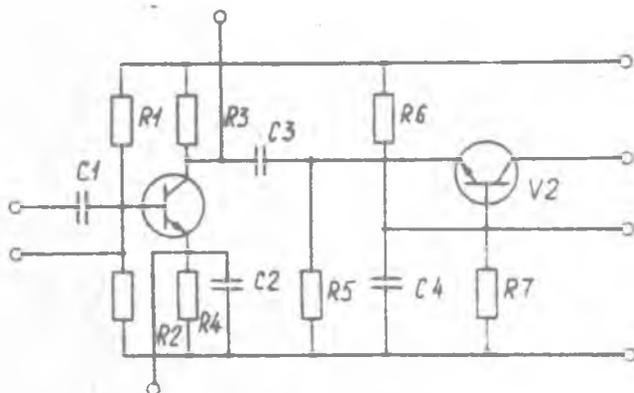


Рис.2. Принципиальная схема УПЧ1

Т а б л и ц а 6

Наименование параметра	Размерность	Значение
Мощность, потребляемая от источника питания	мВт	800
Диапазон рабочих частот	МГц	30-45
Крутизна ВАХ (на $f = 35$ МГц)	мА/В	50
Ток потребления	мА	40
Неравномерность частотной характеристики	дБ	3

3 - высокая временная ( $0,1\%$ ) и температурная ( $50-100 \cdot 10^{-6}$  I/град) стабильность резисторов;

4 - низкое значение ЭДС шума.

Мощность рассеяния резисторов в данном случае незначительна.

Из табл.1, 2 и 4 следует, что для изготовления ОУ следует выбрать тонкопленочную технологию.

Анализ технического задания и принципиальной схемы УПЧ1 показывает, что для достижения требуемых электрических параметров микросхема должна удовлетворять следующим техническим требованиям. иметь:...

I - высокую мощность рассеяния резисторов (от 0,25 до 0,5 Вт) и, соответственно, высокую удельную мощность рассеяния (до  $40$  мВт/мм<sup>2</sup>);

2 - диапазон номинальных значений резисторов от 150 Ом до 50 кОм;

3 - точность изготовления резисторов не хуже  $\pm 10\%$ .

Из табл. 1, 2 и 4 следует, что для изготовления УПЧИ следует использовать толсто пленочную технологию.

В обоих рассмотренных случаях выбор метода изготовления определяется фактически однозначно требуемыми техническими характеристиками микросхем. Поэтому можно было обойтись без подсчета критерия К.

## 2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить у преподавателя принципиальную электрическую схему и техническое задание на разработку микросхемы.

2. Провести анализ принципиальной электрической схемы изделия.

3. Сформулировать технические требования на микросхему (при необходимости с помощью преподавателя).

4. Задаться весовыми коэффициентами  $\alpha_i$ .

5. Подсчитать значение критерия К для тонкопленочной и толсто пленочной технологии.

6. Выбрать технологию изготовления микросхемы.

7. Разработать общий топологический чертеж микросхемы.

8. Составить полную схему технологического процесса изготовления данной микросхемы.

9. Выбрать тип корпуса для данной микросхемы.

10. Составить условное обозначение для данной микросхемы.

## 3. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Принципиальная схема изделия.

3. Техническое задание на разработку.

4. Анализ принципиальной схемы и технического задания.

5. Технические требования на микросхему.

6. Расчет критерия К для двух вариантов.

7. Обоснование выбора технологии изготовления микросхемы.

8. Общий топологический чертеж микросхемы.

9. Схема технологического процесса изготовления микросхемы.

Ю. Выбор типа корпуса.

II. Условное обозначение разработанной микросхемы.

#### 4. Контрольные вопросы

1. В каких случаях целесообразно использовать тонкопленочную технологию? В каких толстопленочную?

2. Преимущества и недостатки тонкопленочной и толстопленочной технологий?

3. Какую технологию целесообразно использовать для изготовления аналоговых и цифровых схем?

4. В каком случае обеспечивается минимальная стоимость подготовки производства? Эксплуатации оборудования?

5. Какая технология более эффективна для крупносерийного производства? Почему?

6. Как выбирается метод изготовления микросхем?

7. Напишите выражение для комплексного критерия К.

8. Какова перспектива развития тонкопленочной и толстопленочной технологий?

#### Л и т е р а т у р а

1. Конструирование и расчет больших гибридных интегральных схем, микросборок и аппаратуры на их основе. Учебное пособие для вузов. / Алексеев Г.В., Борисов В.Ф., Воробьева Т.Л. и др./ Под ред. Висоцкого Б.Ф. М: Радио и связь, 1981.-216с.

2. Хаммер Д., Биггерс Дж. Технология толстопленочных гибридных интегральных схем. /Пер. с англ. под ред. Шермергора Т.Д./ М.: Мир, 1975.-496с.

3. Ненашев А.П., Коледов Л.А. Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1981.-304с.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

З а н я т и е I	3
I. Теоретические основы.	3
I.1. Общие сведения об интегральных микросхемах	3
I.2. Типы микросхем	4
I.3. Классификация микросхем	5
I.4. Конструктивные характеристики микросхем	6
2. Получение гибридных микросхем	7
2.1. Схема технологического процесса изготовления тонкопленочных гибридных микросхем	7
2.2. Конструкции элементов гибридных микросхем	11
3. Компоненты гибридных микросхем	11
3.1. Типы компонентов	12
3.2. Монтаж компонентов	14
3.3. Подложки тонкопленочных гибридных микросхем	15
4. Топологический чертеж тонкопленочной гибридной микросхемы	16
5. Герметизация микросхем	19
6. Описание лабораторной установки	19
7. Порядок выполнения работы	20
8. Содержание отчета	20
9. Контрольные вопросы	21
Литература	21
З а н я т и е 2	21
I. Теоретические основы	21
I.1. Основные сведения о толстопленочных гибридных микросхемах	21
I.2. Подложки толстопленочных микросхем	22

1.3. Топологический чертёж микросхемы	23
1.4. Преимущества и недостатки	25
2. Описание лабораторной установки	25
3. Порядок выполнения работы	26
4. Содержание отчёта	26
5. Контрольные вопросы	26
Литература	27
З а н я т и е 3	28
I. Теоретические основы	28
1.1. Виды микросхем и технология их изготовления	28
1.2. Выбор технологии изготовления	31
2. Порядок выполнения лабораторной работы	35
3. Содержание отчёта	35
4. Контрольные вопросы	36
Литература	36

Составитель Михаил Николаевич Пиганов

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Методические указания  
к лабораторной работе № 36  
Занятия 1, 2, 3

Редактор Л.М.Соколова  
Техн.редактор Н.М.Каленюк  
Корректор С.П.Чернов

Подписано в печать 21.09.82 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.

Печать оперативная. Усл.п.л. 2,32. Уч.-изд.л. 2,0.

Тираж 300 экз. Заказ №286 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. академика С.П.Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Обсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.