

Министерство по делам науки, высшей школы
и технической политики РСФСР

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П. Королёва

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ТОПОЛОГИИ
ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Методические указания
к лабораторным работам

Самара 1992

Составители: М.И. ПИГАНОВ, А.И. КОЛШАКОВ

УДК 621.382.83

Анализ конструкции и топологии гибридных интегральных микросхем: Метод. указания к лабораторн. работе (Самар. авиац. ин-т; Сост. М.И. ПИГАНОВ, А.И. КОЛШАКОВ. Самара, 1992. 20 с.

Описываются конструкции и топологии тонкопленочных гибридных интегральных микросхем (ГИМС). Приведены методики расчета топологических параметров схемы, а также оценки ее конструктивно-технологических и схемотехнических критериев. Изложены технологические ограничения на выпуск ГИМС.

Рекомендуются студентам спец. 2301. Составлены на кафедре "Микроэлектроника и технология РЭА" и являются частью лабораторного цикла по курсу "Основы микроэлектроники".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П. Королёва.

Рецензент В.Н. ЧЕПУРНОВ

Ц е л ь р а б о т ы - изучение и анализ конструктивно-технологических и схемотехнических особенностей гибридных интегральных микросхем (ГИМС), в том числе элементов, компонентов, топологии и способов монтажа компонентов.

Задания

1. Изучить конструкции элементов микросхемы, ее топологию, определить тип компонентов, подложки, корпуса, способ монтажа компонентов.
2. Составить топологический чертеж микросхемы и по нему рассчитать паразитные параметры и технологические ограничения.
3. Определить конструктивно-технологические и схемотехнические критерии оценки микросхем.
4. Составить таблицы и построить графики расчетных величин.
5. Сделать выводы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

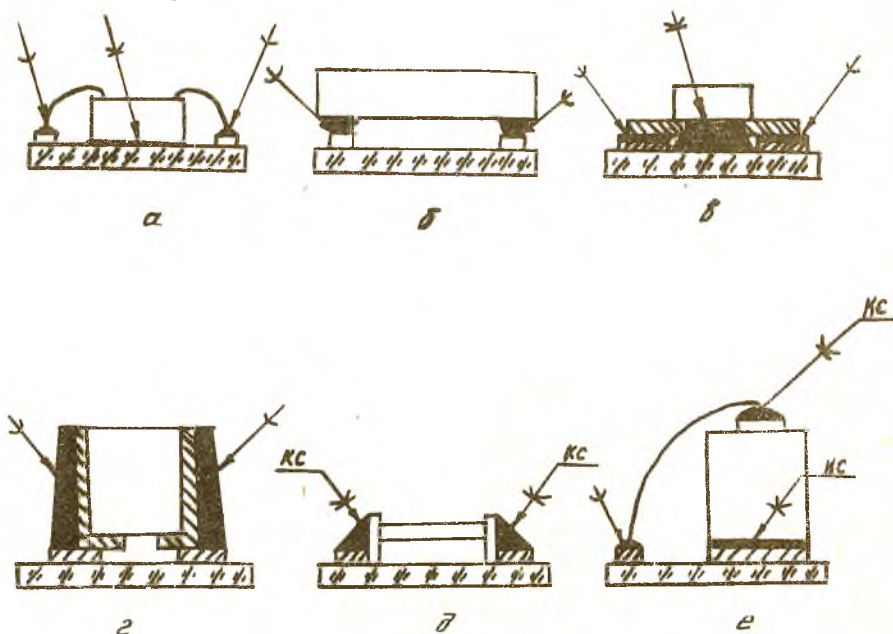
Общие сведения о гибридных интегральных микросхемах. Основной элементной базой современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) являются интегральные микросхемы (ИМС) различного назначения. Современные ИМС представляют собой микроэлектронное изделие, выполняющее преобразование, обработку сигнала, включая накопление информации, и имеющее высокую плотность монтажа элементов ($5 \cdot 10^5 - 10^6$ эл/кристалл).

Различают тонкопленочные и толстопленочные ИМС. К первым относят ИМС с толщиной пленок ≤ 1 мкм, полученных методами вакуумной технологии. Ко второй группе относят ИМС с толщиной пленок ≥ 1 мкм. Элементы этих ИМС изготавливают методом сеткографии с последующим жиганием.

Составными частями ИМС являются элементы и компоненты. Э л е м е н т о м ИМС называют локальную область поверхности или объема твердого тела, выполняющую функцию какого-либо простого дискретного

радиоэлемента, например, транзистора, диода, резистора, конденсатора и т.д., и которая в принципе не может быть выделена как самостоятельное изделие без разрушения ИМС.

Наряду с элементами в микроэлектронике используется понятие *компонент*, под которым понимают часть ИМС, реализующую функцию какого-либо дискретного радиоэлемента, но которая перед монтажом была самостоятельным изделием, способным решать самостоятельные задачи, и которая может быть отделена от ИМС или заменена в ИМС без ее разрушения (рис.1).



Р и с . 1. Методы монтажа бескорпусных компонентов с различными типами выводов: а - пайка или микросварка в местах касания; б - монтаж компонентов с шариковыми и стержневыми выводами; в - крепление компонентов балочными выводами; г, д, е - виды установки компонентов с луженым припоем

В настоящее время применяют два основных метода создания ИМС:

1. Метод локального воздействия на микроучастки поверхности или объема твердого тела, например полупроводника, с целью формирования элементов и токоведущих тонкопленочных соединений между ними. Изделия, выполненные по этому методу, называют *полупроводниковыми ИМС*.

2. Метод образования ИМС посредством послойного нанесения пленок различных материалов на поверхность общего основания (подложки) с одновременным формированием из них элементов и электрических соединений между ними. Подобные изделия называют пленочными ИМС.

Комбинирование этих двух методов привело к разработке ИМС нового типа - гибридных интегральных микросхем, которые называют еще ИМС частного применения.

Гибридный метод конструирования и изготовления ИМС заключается в компоновке двух частей, выполняемых отдельно:

микроминиатюрных бескорпусных радиоэлементов и ИМС;

пленочной многослойной коммутационной пасты на диэлектрической подложке.

Гибридный способ создания ИМС сочетает достоинства пленочной и полупроводниковой технологий. При этом обеспечивается возможность использования ИМС, различающихся как по функциональному назначению, так и по конструктивно-технологическому исполнению. Например, использование в одной ГИМС компонентов, выполненных по МДП- и биполярной технологиям, или компонентов накопления информации и ее обработки позволяет значительно повысить степень интеграции, функциональную сложность ИМС и ее ремонтпригодность (замена навесных компонентов). Кроме того, технологический процесс изготовления ГИМС значительно проще за счет применения структур стандартной конструкции и возможности автоматизации процесса монтажа компонентов на подложке. Однако по плотности упаковки и надежности работы они уступают полупроводниковым ИМС.

На практике формирование структуры ГИМС представляет собой процесс сборки-монтажа навесных компонентов с пленочными элементами и системой многослойной разводки, сформированных на коммутационной плате. Монтаж, как правило, осуществляется только с помощью жестких выводов - балочных или шариковых. Жесткие выводы повышают надежность соединений и позволяют осуществить автоматизацию сборки ГИМС. Современные сборочные автоматы позволяют проводить монтаж компонентов на плату со скоростью несколько тысяч кристаллов в час. После сборки ГИМС в целях защиты от окружающей среды герметизируют путем покрытия поверхности лаком и помещения готовых плат в корпус.

Конструкторско-технологические и схемотехнические критерии оценки ИМС. К основным параметрам, характеризующим конструктивно-технологические и схемотехнические особенности микросхем, следует отнести степень интеграции, функциональную сложность, интегральную плотность, функциональную плотность и информационную сложность.

Степень интеграции ИМС характеризуется числом содержащихся в ней элементов и компонентов. Аналитически этот критерий описывается выражением

$$K = \lg N, \quad (1)$$

где N - число элементов и компонентов. Степень интеграции K округляют до ближайшего целого числа. Причем, если $K < 1$, то интегральная микросхема считается простой, $1 < K < 2$ - средней, $2 < K < 4$ - большой интегральной схемой (БИС) и $K > 4$ - сверхбольшой интегральной схемой (СБИС).

Плотность упаковки определяет отношение числа компонентов и элементов ИМС, в том числе и содержащихся в составе компонентов, к объему ИМС без учета объема выводов. На практике часто пользуются понятием плотности упаковки на площади \mathcal{D}_S , описываемой формулами

$$\mathcal{D}_S = \frac{N_Э + N_K}{S_K} \quad (2)$$

или

$$\mathcal{D}_S = \frac{N_Э + N_K}{S_{\Pi}}, \quad (3)$$

где $N_Э$, N_K - количество элементов и компонентов соответственно;

S_K , S_{Π} - площадь кристалла и подложки (платы) соответственно.

Этот показатель характеризует технологический уровень и составляет в настоящее время 500-1000 элементов/мм² и более.

Функциональная сложность F представляет собой среднее число преобразований в микросхеме, приходящихся на одну переменную:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^P B_i N_{0i}}{n}, \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^P B_i$ - число однокаскадных логических элементов (компонентов) в ИМС;

N_{0i} - число разветвлений на выходе каждого i -го каскада;
 n - число переменных, поданных на входы ИМС.

Интегрально-групповая технология позволяет реализовать на одной плате несколько однотипных схем, например, усилителей, генераторов, ключей и т.д., или одну схему повышенной функциональной сложности. Это значительно сокращает число соединений, а следовательно повышает степень интеграции и надежности работы устройства. Однако при увеличении числа элементов на плате, и особенно пленочных, повышается вероятность брака платы из-за некачественного изготовления элементов или компонентов микросхемы. Поэтому определение функциональной сложности сводится к определению оптимального числа элементов, реализуемых в составе одной ИМС. При этом необходимо учитывать не только функционально-узловой метод проектирования, но и процент выхода годных схем и экономических затрат на их производство.

Оптимальное число элементов на одной плате можно получить расчетным путем.

Пусть на плате размещено N однотипных элементов, характеризующихся одинаковой вероятностью изготовления одного элемента p , которая не зависит от числа элементов на плате, а определяется только случайными дефектами и случайными отклонениями параметров. Тогда вероятность изготовления одной платы из N элементами

$$P_N = p^N p_0, \quad (5)$$

где p_0 - вероятность выхода годных плат, обусловленная общими для всех подложек факторами, причем p_0 также не зависит от числа элементов схемы.

Следует отметить, что если схема содержит m элементов, то с учетом брака общее число плат n определится из выражения

$$n = \frac{m}{N p^N p_0}. \quad (6)$$

Число элементов m в схеме задано, поэтому минимальное значение n будет при

$$N p^N p_0 \rightarrow \max. \quad (7)$$

Для определения оптимального числа элементов $N_{опт}$ возьмем первую производную по N от произведения $N p^N p_0$ и приравняем ее нулю, получим

$$(Np^N \ln p + p^N) p = 0. \quad (8)$$

Отсюда, после некоторых преобразований, можно определить

$$N_{опт} = - \frac{1}{\ln p}. \quad (9)$$

Величина $N_{опт}$ всегда имеет положительное значение, так как $p < 1$. Из (9) следует, что чем больше вероятность изготовления годного элемента, тем большее число однотипных элементов можно расположить на одной плате.

Реальные микросхемы всегда содержат разнотипные элементы, поэтому в этом случае все однотипные элементы с примерно одинаковой вероятностью брака разбивают на группы и принимают условие, что вероятность брака одного элемента в группе не зависит от числа элементов в группе, а определяется только технологией и конструкцией элемента. Тогда общее число плат

$$n = \frac{m}{N_{\Sigma} p_1^{N_1} p_2^{N_2} \dots p_K^{N_K} p_0}, \quad (10)$$

где N_1, N_2, \dots, N_K - число элементов в каждой из K групп;
 p_1, p_2, \dots, p_K - средние вероятности изготовления годного элемента в каждой из этих групп; $N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + \dots + N_K$ - общее число элементов в ИМС.

Используя методику получения выражения (9), оптимальное число разнотипных элементов на плате можно описать уравнением вида

$$N_{опт} = - \frac{1}{\ln p_{\Sigma}} = - \frac{1}{\ln (p_1^{N_1} + p_2^{N_2} + \dots + p_K^{N_K})}. \quad (11)$$

В уравнении (11) содержится значительное количество независимых переменных, поэтому величина $N_{опт}$ может иметь множество значений. При проектировании ИМС определение $N_{опт}$ осуществляют численным методом с использованием ЭВМ. При этом изменяют как общее число элементов N_{Σ} , так и их соотношение в группах. Из всей совокупности полученных при моделировании значений $N_{опт}$ выбирают наиболее приемлемое с учетом функционально-узлового принципа.

В результате определения функциональной сложности оформляется электрическая схема на узел, которая подлежит реализации в гибридном исполнении.

Интегральная плотность характеризуется числом элементов, приходящихся на единицу площади, занимаемую БИС:

$$\omega = \frac{N}{S} = \frac{10^K}{S}, \quad (12)$$

где N - общее количество элементов в схеме; S - площадь, занимаемая БИС; K - степень интеграции.

Функциональная плотность - число преобразований с одной переменной, приходящихся на единицу площади, занимаемой БИС:

$$\tau = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{i=1}^p B_i N_{0i}}{n S}, \quad (13)$$

Информационная сложность - это среднее число элементов и компонентов в БИС, приходящихся на преобразование одной переменной:

$$H = \frac{N}{P} = \frac{n \cdot 10^K}{\sum_{i=1}^p B_i N_{0i}}. \quad (14)$$

Монтаж компонентов. Методы монтажа бескорпусных компонентов с различными типами выводов показаны на рис. 1. 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. 1, а). При этом возможен визуальный контроль процесса монтажа.

Монтаж компонентов с шариковыми и столбиковыми выводами осуществляется методом "перевернутого кристалла" (рис. 1, б). В этом случае компонент имеет контактные выступы высотой 10-15 мкм и диаметром 50-150 мкм. Для обеспечения соединения с контактными площадками на пла-

те используют термокомпрессионную или ультразвуковую сварку. Преимуществом метода является то, что компонент не требует специального места на плате, т.к. компонент располагается над платой. 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 осуществляется приклеиванием его к плате с последующей групповой сваркой выводов с контактными площадками (рис.1,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 напыльвом припоя или соединением с помощью токопроводящей пасты "Контактол", например К13-А (рис.1 г,д).

Подложки гибридных микросхем. Качество формируемых элементов, надежность работы ИМС, многообразие выполняемых ИМС функций, а также различные способы формирования пленочных элементов во многом определяются материалом, геометрическими размерами и состоянием поверхности подложек. Кроме этого подложка служит и конструктивной основой ИМС. Таким образом, подложка является одним из основных элементов производства ИМС, и поэтому к ней предъявляют повышенные требования, главными из которых являются: высокая диэлектрическая проницаемость ($\epsilon \geq 10$) и ее стабильность в широком диапазоне частот ($10^6 - 10^{10}$) Гц и температур ($-80...+200^\circ\text{C}$); малые диэлектрические потери $\text{tg } \delta < 1 \cdot 10^{-4}$; высокие удельные сопротивления и механическая прочность в малых толщинах, обеспечивающая целостность подложки как в процессе изготовления ИМС, так и при ее эксплуатации в условиях климатических и механических воздействий; хорошая теплопроводность, позволяющая осуществлять эффективный отвод тепла от активной области элемента к корпусу; химическая инертность к материалам, создаваемым при высоких температурах в процессе формирования радиоэлементов; высокая чистота поверхности (до 12-13-го класса чистоты); хорошая адгезия с материалами формируемых слоев; минимальная пористость (0,5...1,0%), что позволяет избежать газовыделения в вакууме, а следовательно и загрязнения наносимых пленок; способность к хорошей механической обработке (шлифовка, полировка, резака и т.д.); максимально близкие зна-

чения температурного коэффициента линейного расширения материала подложки (ТКА) к ТКА напыляемых пленок; быть недефицитным и недорогим

В промышленных условиях для изготовления подложек используют в основном стекло, керамику, ситалл и фотоситалл. Так, например, для изготовления маломощных ИМС наиболее широко используют подложки из ситалла типа СТ-50, СТ-38, а для изготовления толстопленочных ГИМС - подложки из керамики типа 22ХС и "Поликор.". Толщины подложек составляют 0,6...1,6 мм.

В последнее время широкое внедрение в производство ИМС получили: гибкие подложки на основе полиамидных пленок толщиной 40...50 мкм и металлические подложки, поверхность которых покрывают слоем диэлектрика толщиной 40...60 мкм. В последнем случае используют алюминиевые пластины с анодированной поверхностью, стальные пластины, покрытые стеклом или полиамидным лаком и др. Металлические подложки существенно улучшают теплоотвод от элементов и компонентов, обеспечивая при этом необходимую жесткость конструкции.

Топологический чертеж ГИМС. Основной задачей проектирования ИМС является разработка топологического чертежа, под которым понимают конструкторский документ, строго определяющий ориентацию и взаимное расположение всех элементов и компонентов ИМС на площади подложки, а также их форму и размеры. Топология ИМС составляется с учетом конструкторско-технологических, схематических данных и требований и др. ограничений, определяемых принципом работы и назначением микросхемы. По топологии рассчитывают тепловые режимы отдельных элементов и микросхемы в целом, определяют характер и величину паразитных связей, определяют априорную надежность ИМС.

Исходными данными для разработки топологии ГИМС являются размер платы и тип корпуса; электрическая схема, выполненная в форме удобной для нанесения ее на поверхность подложки, геометрические размеры элементов и компонентов; конструктивные, технологические и схематические данные и требования.

Все элементы и компоненты снабжают контактными площадками, расположение и размеры которых должны соответствовать конструктивно-технологическим требованиям и ограничениям. Расположение периферийных контактных площадок, предназначенных для внешних соединений, должны соответствовать выводам корпуса.

Проверку топологии на соответствие электрическим требованиям проводят путем оценки индуктивно-емкостных связей в наиболее важных участках микросхемы, а проверку на соответствие условиям эксплуатации

проводят путем расчета теплового режима ИМС. В случае неравномерного распределения источников теплоты по плате осуществляет корректировку и уточнение топологии ИМС. После этого разрабатывают окончательный вариант топологии, называемый оригиналом, который удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

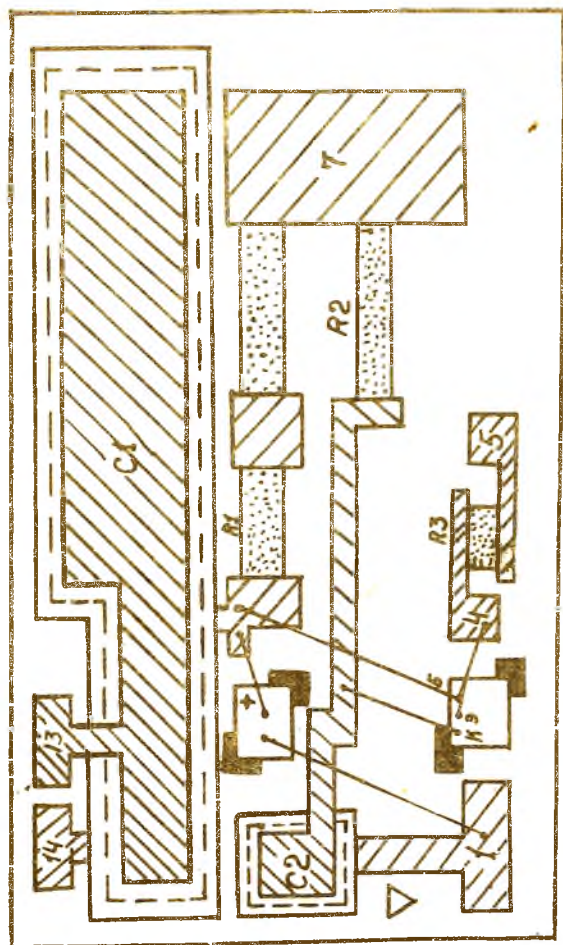
В качестве примера на рис. 2 представлен топологический чертёж буферного усилителя, электрическая схема которого представлена на рис.3. В левой нижней и средней части топологического изображения имеется две пары крест-накрест расположенных участков. Это технологические знаки, обозначающие местоположение компонентов с гибкими выводами. Для ориентации микросхемы служит ключ, в качестве которого может быть использована площадка в форме равнобедренного треугольника, расположенного в нижнем левом углу платы (см.рис.2). Вершина треугольника обращена к первому выводу.

На рис.4,а показано крепление бескорпусного транзистора с гибкими выводами, а на рис. 4,б - с шариковыми выводами. Во втором случае монтаж компонентов осуществляется на специальные площадки (на рисунке показаны штриховыми линиями).

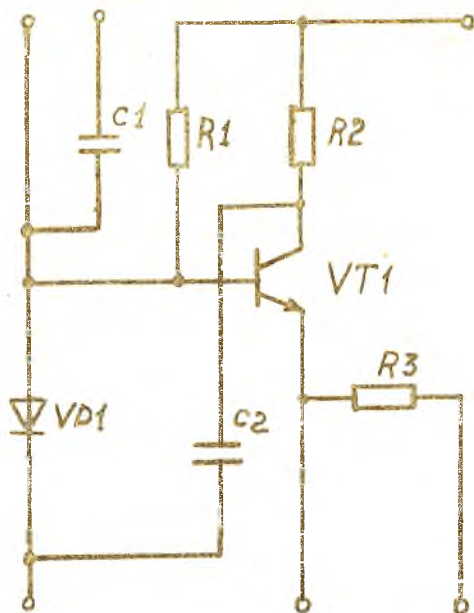
В заключение необходимо отметить, что при уменьшении радиоэлементов до 1 мкм и элементов топологии (ширина линий, зазоров между ними и т.д.) воспроизводимость технологических процессов повышает вероятность появления случайных дефектов и на порядок стоимость оборудования.

Основные ограничения, накладываемые тонкопленочной технологией. При разработке топологии ГИМС необходимо учитывать следующие основные ограничения.

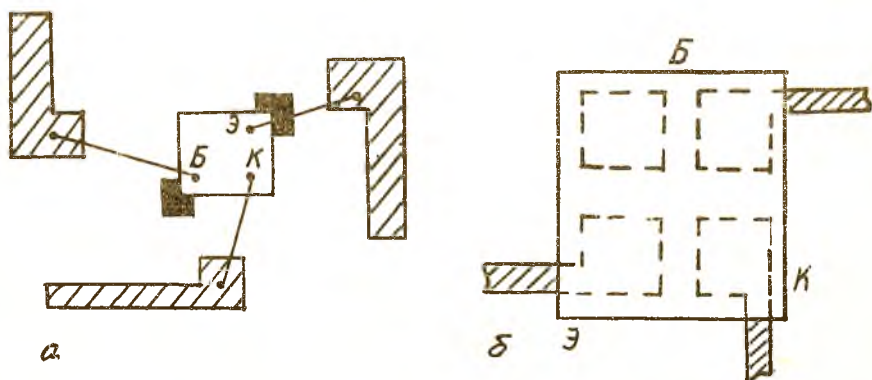
Пассивные элементы располагают на расстоянии не менее 500 мкм при масочном методе формирования слоев на поверхности подложки и на расстоянии 200 мкм от краев подложки при фотолитографическом методе. Измерение номиналов пленочных элементов и контроль режимов схемы осуществляют через контактные площадки размером 200x200 мкм, предусмотренные технологическим процессом. Если в схеме имеются навесные элементы (компоненты), то их устанавливают в специально отведенных местах на расстоянии $\geq 0,5$ мм от пленочных элементов и ≥ 600 мкм от контактной площадки. Причем минимальное расстояние между компонентами должно составлять 300 мкм. Паразитная индуктивность выводов может значительно изменить параметры схемы, поэтому длина проволочных выводов компонентов должна быть в пределах 0,600-3 мм. Для уменьшения паразитной емкостной связи между элементами и контактными площадками расстояние между ними должно быть 300 мкм при масочном методе и 100 мкм при фотолитографии. Минимально допустимая ширина пленоч-



Р и с. 2. Топология микросхем



Р и с. 3. Принципиальная схема буферного усилителя



Р и с. 4. Варианты крепления компонентов с гибкими выводами: а - крепление круглых выводов; б - крепление ленточных (плечочных) выводов

чных проводников составляет 100 мкм при масочном методе и 50 мкм при фотолитографии и танталовой технологии. В случае приварки гибких выводов ИМС размеры контактных площадок не могут быть менее 200x150 мкм, а при припайке менее 400x400 мкм.

При монтаже компонентов с шариковыми или столбиковыми выводами минимальные размеры контактных площадок составляет 0,2x0,1 мм, а компоненты с ленточными полиамидными носителями - 0,3x0,4 мм. Выполнение этих ограничений позволит разработать топологическую схему с минимальными величинами паразитных индуктивно-емкостных связей.

Определение параметров пленочных проводников. При практической реализации электрической схемы ГИМС используют пленочные проводники, их пересечения (переходы) и контактные площадки.

Конструктивно-технологическое исполнение проводников и контактных площадок должно обеспечивать минимальность электрических потерь и искажений передаваемого сигнала, высокую адгезию и выполняться из одного и того же материала. Конкретные значения параметров пленочных проводников и контактных площадок (сопротивление, индуктивность, паразитные емкости и т.п.) определяются материалом, технологией изготовления и геометрическими размерами. Поэтому при проектировании ГИМС необходимо каждый раз осуществлять расчет падения напряжения на проводнике, сопротивления проводника и контактного перехода, плотности тока через проводник, собственной емкости и индуктивности проводника, уровня помех и т.д.

Допускаемое падение напряжения на проводнике $U_{доп}$ можно найти из выражения

$$U_{пр} = I R_{пр} \leq U_{доп}, \quad (15)$$

где I - ток, проходящий через проводник; $R_{пр} = \rho_s \ell / b \leq R_{пр, доп}$ - сопротивление проводника; ρ_s - удельное поверхностное сопротивление; ℓ, b - длина и ширина проводника соответственно; $R_{пр, доп}$ - допустимое значение сопротивления проводника.

Следует отметить, что величину $R_{пр, доп}$ определяет из условия, что погрешность сопротивления резистора из-за сопротивления проводников, соединяющих резистор с электрической схемой, не превышает 0,1-0,2 допущения на номинал резистора.

Допустимые плотности тока в пленочных проводниках во много раз превосходят требуемые значения, поэтому обеспечение $U_{доп}$ при заданном ρ_s сводится к расчету соответствующих размеров ℓ и b .

Собственная паразитная емкость пленочного проводника описывается уравнением

$$C_{np} = 0,0241 \left(\frac{\epsilon_0 + \epsilon}{2} \right) \ell / \lg(4\ell/\delta), \quad (16)$$

где ϵ_0, ϵ - диэлектрические проницаемости воздуха и материала подложки соответственно.

К емкости C_{np} необходимо добавить емкость параллельных близлежащих проводников ширины δ и лежащих на расстоянии a от рассматриваемого проводника:

$$C_{np\text{ар}} = 0,0422 \ell \left(\frac{\epsilon_0 + \epsilon}{2} \right) \text{th} \left[\frac{\pi a}{2d_n} \right] \text{ccth} \left[\frac{\pi(a+\delta)}{2d_n} \right], \quad (17)$$

где d_n - толщина подложки; $C_{np\text{ар}}$ - паразитная емкость.

Паразитная индуктивность на пастах оказывается, как правило, более 50 МГц. Ее величина, выраженная в микрогенри (мкГн), определяется из уравнения

$$L_{np} = 0,02 \ell \left[2,3 \lg \left(\frac{2\ell}{\delta} \right) + 0,22 \frac{\delta}{\ell} + 0,5 \right], \quad (18)$$

где взаимная индуктивность между параллельными проводниками равной длины ℓ считается по формуле

$$M_{св} = 10^{-9} \ell \left\{ \ell_n \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\ell}{a} \right)^2} + \frac{\ell}{a} \right] - \sqrt{1 + \left(\frac{a}{\ell} \right)^2} + \frac{a}{\ell} \right\}, \quad (19)$$

где a - расстояние между осями проводников.

Величину ЭДС взаимной индукции, наводимую в проводниках, можно определить из формулы

$$E_M = -M_{св} \left(\frac{\Delta J_a}{t_\phi} \right), \quad (20)$$

где ΔJ_a - логический перепад тока в активном проводнике, являющийся источником помехи в пассивном проводнике; t_ϕ - длительность фронта токового перепада.

Напряжение импульсных помех U_n , возникающих в проводниках заземления, описывается выражением

$$\alpha_n = n L_{np} \left(\frac{\Delta J_a}{t \varphi} \right), \quad (21)$$

где n - количество одновременно переключающихся элементов.

Так, например, для ГИМС с $n = 3$ в проводнике длиной 50 мм и шириной 0,01 мм $\alpha_n \approx 0,45 \dots 1,125$ В. Для снижения уровня помех, обусловленных падением напряжений на проводниках питания и заземления, необходимо уменьшать сопротивление и индуктивность пленочных проводников за счет увеличения их толщины, ширины и уменьшения длины. Оптимизацию этих параметров осуществляют уже на стадии проектирования микросхемы. При этом шины питания и заземления необходимо проектировать в одном слое без пересечения проводников.

Герметизация микросхем. Для защиты микросхем от воздействия окружающей среды (влаги, температуры, механических воздействий и т.п.) их герметизируют путем помещения в корпуса, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

обладать достаточной механической прочностью;

иметь минимальные размеры и форму, позволяющую осуществлять компактную сборку;

конструкция корпуса должна обеспечивать легкое и надежное электрическое соединение между микросхемой и корпусом, а также между корпусом и коммутационной платой;

иметь минимальные значения паразитных емкостей и индуктивностей;

элементы и компоненты должны быть надежно изолированы от корпуса ИМС и друг от друга;

тепловые сопротивления электрических соединений микросхемы с корпусом должны иметь минимальные значения;

корпус должен обеспечивать полную 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 ГИМС. Однако, в условиях длительной (≥ 10 суток) эксплуатации ГИМС такая герметизация не обеспечивает надежной ее защиты от влаги. Более эффективной в данном случае является корпусная защита.

В зависимости от применяемых материалов корпуса делятся на металлостеклянные, стеклянные, керамические, полимерные и металло-полимерные (рис.5). В металлостеклянных корпусах в качестве конструктивного материала используют ковар, иногда никель, сталь, медь. Выводы герметизируют стеклом. Такой корпус имеют ИМС серий К228, К260, 273,304 и др.

Стеклянные корпуса ИМС серий 303, К106 и др. состоят из основания и кольцевой структуры, в которую помещают коваровые выводы. Основание получают прессованием боросиликатного или другого стеклянного порошка.

Керамические корпуса используют в основном для герметизации толстопленочных микросхем. Конструкция этих корпусов имеет структуру, аналогичную стеклянным или металлостеклянным корпусам. Однако основание и кольцевую структуру выполняют из керамики (окись алюминия или бериллия).

В металлополимерном корпусе герметизация осуществляется заливкой металлического корпуса эпоксидным компаундом. В этих корпусах выпускаются ИМС серий 2Г4, К215, К202, 301 и др.

Пластмассовые корпуса выполняются из термореактивных смол.

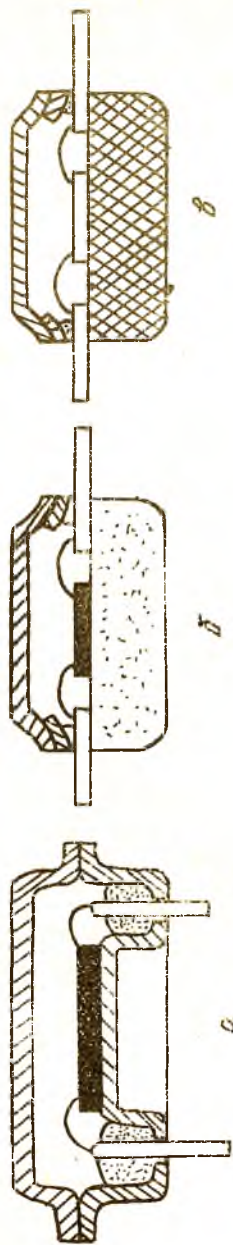
Металлостеклянные и пластмассовые, включая и металлополимерные корпуса, обеспечивают длительную работу радиоэлементов в условиях повышенной влажности ($\sim 90\%$) и в температурном диапазоне от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Количество выводов корпуса ИМС определяется степенью ее интеграции. Так, например, для ИМС с $K \leq 600$ эл./кристалл применяют металлографический корпус прямоугольной формы с 50-ю выводами. Для ИМС с $K \leq 30$ эл./кристалл - корпус с 48 выводами.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка содержит микроскоп типа МБС-Э и набор исследуемых тонкопленочных гибридных микросхем. С принципом работы микроскопа можно ознакомиться по его описанию.

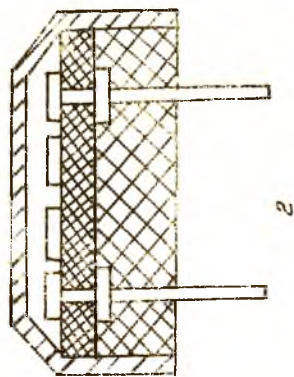
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить гибридную микросхему.
2. Изучить конструкцию и топологию ИМС.
3. Выделить элементы и компоненты, определить тип подложки, корпуса, способ монтажа компонентов.



б

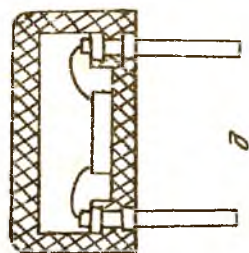
в



г



д



е

Р и с. 5. Конструкция корпусов: а - металlostеклянный; б - стеклянный; в - керамический; г - металлополимерный; д - пластмассовый; е - полимерный

4. Составить топологический чертеж ИМС.

5. По топологическому чертежу выделить участки для расчета R_{np} , C_{np} , C , L_{np} , $M_{об}$ и ϵ_m , если $\rho_s = 0,03-0,05 \text{ Ом/}\square$ (Al , подслои нихром), $0,06 \dots 0,1 \text{ Ом/}\square$ (Al , подслои нихром); диэлектрическая проницаемость при $f = 10^6 \text{ Гц}$ и $T = 20^\circ\text{C}$ равна $3,2 \dots 8, 5 \dots 8,5, 10,3; 10,5$ для подложек типа С48-3 (стекло), СТ50-1 (ситалл), 22ХС (96% Al_2O_3), поликор соответственно.

6. Измерить геометрические размеры пассивных элементов, длины выводов компонентов, контактных площадок, расстояние между элементами и т.д.

По размерам определить, какой технологический процесс был использован при формировании технологических элементов.

7. Определить конструктивно-технологические критерии, если $\rho = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$; величины N_{oi} , V_{oi} найти расчетным путем, используя принципиальную схему изучаемой ИМС.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Отчет выполняется на листах формата № 11 и начинается с титульного листа.

2. Цель работы.

3. Задание.

4. Перечень приборов, используемых в эксперименте.

5. Топологический чертеж.

6. Таблицы измеренных и расчетных величин.

7. Вывод с кратким изложением физических основ ГИМС.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое интегральная микросхема?

2. Что такое топологический чертеж ИМС?

3. Схемотехнические критерии оценки ИМС.

4. Конструктивно-технологические критерии оценки ИМС.

5. Оцените способы монтажа компонентов ИМС.

6. Какие типы компонентов используются в ГИМС?

7. Дать определения и характеристику элементам и компонентам

ГИМС.

8. Преимущества и недостатки ГИМС.

9. Требования, предъявляемые к подложкам ГИМС.

10. Методика расчета параметров R_{np} , C_{np} , C , L_{np} и E_M .
11. Технологические ограничения изготовления ГИМС.
12. Расчет оптимального количества плат, необходимых для реализации схемы.

Библиографический список

- Ефимов И.В., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И.
Микроэлектроника. М.: Высш.шк. 1987. 413 с.
- Ермолаев Ю.П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю.Г. Конструкции и технология микросхем (ГИС и БГИС)/Под ред. Ю.П.Ермолаева: Учебник для вузов. М.: Сов.радио, 1980. 256 с.
- Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры /Под ред. Б.Ф.Висоцкого. М.: Сов.радио, 1978. 352 с.