

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 ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
И ТОПОЛОГИИ ГИМС

Утверждено редакционным советом
института в качестве методических
указаний к лабораторной работе I
(занятия 1,2,3)

Описываются конструкции и дается методика расчета тонкопленочных резисторов и конденсаторов гибридных интегральных микросхем. Анализируются погрешности тонкопленочных элементов. Исходя из принципиальной электрической схемы устройства выбирается оптимальное взаимное расположение навесных компонентов и пленочных элементов. Приводится методика оценки качества конструкции ГИМС по величине паразитных связей между пленочными проводящими элементами.

Рекомендуется студентам специальности 0701 при изучении курса "Микроэлектроника"

Составитель - Волков Алексей Васильевич

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ТОПОЛОГИИ ГИМС

Редактор Б.Д. Антонова
Техн. редактор Н.М. Каленик
Корректор М.И. Логунова

Подписано в печать 12.01.84. Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 1,86. Уч.-изд.л. 1,8. Тираж 300 экз.
Заказ № 1140 Бесплатно.

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

Областная типография им. В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60

З а н я т и е I

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Ц е л ь р а б о т ы - изучение и освоение методики расчета тонкопленочных резисторов и овладение навыками конструирования тонкопленочных резистивных матриц.

З а д а н и я :

1. Ознакомиться с конструктивно-технологическими особенностями тонкопленочных резисторов (ТНР).
2. Сделать и обосновать выбор материалов и технологии для ТНР, отвечающий требованиям задания.
3. Произвести расчет геометрии ТНР.
4. Разработать топологию тонкопленочной резистивной матрицы, выполнить ее эскиз и оформить отчет.

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

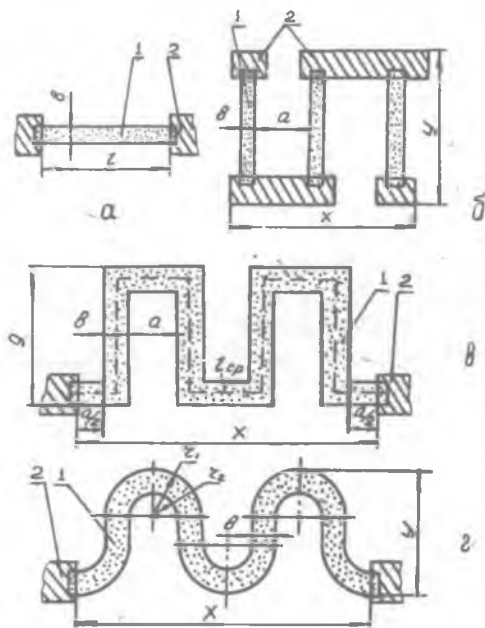
I.1. Общие принципы конструирования ТНР

На начальном этапе конструирования тонкопленочных резисторов выбирают их форму и производят расчет геометрических размеров.

Форма резистора определяется его номиналом R , сопротивлением квадрата резистивной пленки $R_{кв}$, точностью γ_R , предъявляемой к изготовлению, площадью на плате, отведенной под резистор, и технологическим процессом изготовления. Наиболее распространенные конфигурации тонкопленочных резисторов показаны на рис.1 и 2.

На практике самое широкое применение находят резисторы прямоугольной формы (рис.1,а). Это обусловлено в первую очередь простотой их конструкции, а также тем, что в подобных резисторах потенциальное поле однородно, отсутствуют локальные перегрузки, компенсируются погрешности совмещения масок или фотомаслонов. Если расчетная длина резистора превышает длину отведенной под него области, то резистор компонуется в виде отдельных резистивных пленок, соединенных проводящими перемычками (рис.1,б), или изгибает таким образом, как показано на рис.1, в,г. Следует отметить, что резисторы, приведенные на рис.1,б, отличаются более высокой точностью по сравнению с резисторами, представленными на рис.1, в,г, однако, занимают большую площадь. Резисторы типа "меандр" существенно уступают змеевидным в

в отношении рассеиваемой мощности.



Р и с. 1. Конфигурация тонкопленочных резисторов:
 а - прямоугольная; б - в виде отдельных резистивных
 полосок, соединенных проводящими перемычками; в - типа
 "меандр"; г - синусоидальная; 1 - резистивная пленка;
 2 - контактные площадки

1.2. Расчет резисторов прямоугольной формы. Одним из основных параметров пленочного резистора является коэффициент формы k_{ϕ} ($k_{\phi} = R/R_0$). Геометрические размеры резистора прямоугольной формы связаны с k_{ϕ} следующим выражением:

$$k_{\phi} = \frac{l}{b}, \quad (1)$$

где l - длина резистора; b - ширина резистора.

Для резисторов, имеющих $k_{\phi} > 1$, расчет геометрических размеров начинают с определения ширины. Ширину резистора выбирают из условия

$$b \geq \max \{ b_p, b_{\Delta}, b_{\text{техн}} \},$$

где b_p - минимальная ширина резистора, при которой рассеивается заданная мощность:

$$b_p = \sqrt{\frac{P_{\text{кв}} P}{R P_0}};$$

b_{Δ} - минимальная ширина резистора, при которой обеспечивается заданная точность:

$$b_{\Delta} = \frac{\Delta b + \frac{\Delta \ell}{k_{\phi}}}{\gamma_{R_{\Delta}}},$$

$\Delta b, \Delta \ell$ - точность воспроизведения геометрии резистора (для резисторов, напыляемых через маски, $\Delta b = \Delta \ell = \pm 10$ мкм);

$$\gamma_{R_{\Delta}} = \gamma_R - (\gamma_{R_{\text{кв}}} + \gamma_{R_{\text{т}}} + \gamma_{R_{\text{ст}}} + \gamma_{R_{\text{к}}});$$

$\gamma_{R_{\text{кв}}}$ - погрешность воспроизведения сопротивления квадрата резистивной пленки ($\gamma_{R_{\text{кв}}} = \pm 4\%$); $\gamma_{R_{\text{т}}}$ - температурная погрешность сопротивления; $\gamma_{R_{\text{ст}}}$ - погрешность сопротивления, обусловленная старением тонкопленочных резисторов; $\gamma_{R_{\text{к}}}$ - погрешность сопротивления, вносимая контактами; $b_{\text{техн}}$ - минимальная ширина резистора, определяемая разрешающей способностью выбранного метода формирования конфигурации (для масочного метода и метода фотолитографии $b_{\text{техн}} = 100$ мкм).

После того, как определена ширина резистора, используя формулу (1), рассчитывают его длину l .

Если же у пленочного резистора $k_{\phi} < 1$, то расчет его геометрических размеров начинают с определения длины. Длину резистора выбирают из условия

$$l \geq \max \{ l_p, l_{\Delta}, l_{\text{техн}} \},$$

где l_p - минимальная длина резистора, при которой рассеивается заданная мощность:

$$l_p = \sqrt{\frac{R P}{P_{\text{кв}} P_0}};$$

l_{Δ} - минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная точность:

$$l_{\Delta} = \frac{\Delta l + k_{\phi} \Delta b}{\gamma_{R_{\Delta}}};$$

$l_{\text{техн}}$ - минимальная длина резистора, определяемая разрешающей способностью выбранного метода формирования конфигурации (для масочного метода $l_{\text{техн}} = 300$ мкм, для метода фотолитографии $l_{\text{техн}} = 100$ мкм).

Ширина резистора b в данном случае определяется из формулы (1).

1.3. Расчет резисторов типа "меандр". Ориентировочный расчет резисторов типа "меандр" (рис. 1, в) ведет в следующем порядке. Вначале определяют оптимальное число n Z-образных звеньев, составляющих данный резистор:

$$n = \sqrt{\frac{a^2}{4(a+b)^2} + \frac{l_{cp}}{a+b}} - \frac{a}{2(a+b)}, \quad (2)$$

где a - расстояние между параллельными резистивными полосками; l_{cp} - длина средней линии меандра.

При масочном методе изготовления резисторов типа "меандр" $a \geq 300$ мкм, при методе фотолитографии $a \geq 100$ мкм. Кроме того, значение a должно удовлетворять следующему условию (только при масочном методе изготовления резисторов):

$$\frac{Y-b}{a} \leq 10.$$

Если это условие не выполняется, то величина a выбирается вновь и значение n определяется повторно.

Формулу (2) можно упростить, если из конструктивных соображений принять, что $a = b$. Тогда

$$n = \sqrt{\frac{R_{\phi}}{2}}. \quad (3)$$

Если же $c = 2b$, то

$$n = \sqrt{\frac{R_{\phi}}{3}}. \quad (4)$$

Оптимальное число Z-образных звеньев меандра, вычисленное по формулам (2) - (4), может получиться дробным. В этом случае значение n округляют до ближайшего целого числа. В связи с этим изменится общее сопротивление резистора R (увеличится или уменьшится на величину ΔR). Для компенсации величины ΔR изменяют значения b и a или изменяют длину крайнего Z-образного звена на величину

$$\Delta l = \pm \frac{\Delta R}{R_{\kappa b}} b$$

Размеры контура, в который вписывается резистор типа "меандр", определяются по следующим формулам:

$$X = n(a+b); \quad (5)$$

$$Y = \frac{l_{cp} - an}{n}. \quad (6)$$

При этом площадь контура

$$S = XY \quad (7)$$

или с учетом выражений (5) и (6)

$$S = (a+b)(l_{cp} - an). \quad (8)$$

Квадратная или близкая к квадратной форма контура резисторов типа "меандр" иногда оказывается неудобной при их компоновке на подложке. В этом случае, зная S , вычисленную по формулам (7) или (8), и задавшись одним из размеров контура резистора, например Y' , вычисляют второй размер и число Z -образных звеньев меандра по следующим формулам:

$$X' = \frac{S}{Y'}; \quad n' = \frac{X'}{a+b}.$$

Приведенный ориентировочный расчет резистора типа "меандр" справедлив лишь в том случае, если электрическое поле в резистивной полоске распределено равномерно по всему ее сечению. Неравномерность распределения поля приводит к сокращению электрической длины пленочного резистора, что в свою очередь способствует уменьшению его сопротивления. Поэтому расчеты, выполненные по формулам (2) - (8), являются, как правило, предварительными и требуют последующей корректировки.

При уточненном расчете резистора типа "меандр" его общее сопротивление определяют по формуле

$$R = \frac{P_{\text{кр}} X}{b(a+b)} (a + Y - 0,92b). \quad (9)$$

Формула (9) справедлива лишь в том случае, если $\frac{Y-b}{b} > 3$, а $\frac{a}{2b} > 0,4$.

Исходя из формулы (9), для резистора, вписанного в контур оптимальной формы (квадрат), значение X определится следующим образом:

$$X = \frac{b}{2} \left[-(m - 0,92) + \sqrt{(m - 0,92)^2 + 4k_{\phi}(m + 1)} \right],$$

где $m = a/b$.

Для случая, когда $m = 2$ (при $a = 2b$), $X = b(0,54 + \sqrt{3k_{\phi} + 0,29})$.

Для случая, когда $m = 1$ (при $a = b$), $X = b\sqrt{2k_{\phi}}$.

1.4. Расчет змеевидных резисторов. Расчет змеевидных резисторов (рис. 1, г) ведут аналогично расчету резисторов типа "меандр". Основу конструкции змеевидного резистора составляет S -образное звено. Коэффициент формы 1/4 части кольца определяется по формуле

$$k_{\phi} = 1,57 / \ln \frac{r_1}{r_2}.$$

где r_1 - внешний радиус кольца; r_2 - внутренний радиус кольца.

Общее сопротивление змеевидного резистора рассчитывают следующим образом:

$$R = \rho_{\text{КВ}} \frac{X}{r_2(1+m)} \left[\frac{3,14}{\ln m} - \frac{2m}{m-1} + \frac{Y}{r_2(m-1)} \right], \quad (10)$$

где $m = r_1/r_2$.

Число S -образных звеньев вычисляют по формуле

$$n = \frac{X}{r_1 + r_2}.$$

Задавшись значением m и решая уравнение (10) относительно r_2 , определяем ширину резистивной полоски

$$b = r_1 - r_2.$$

1.5. Анализ погрешностей ТПР. Суммарную относительную погрешность сопротивления резистора оценивают по формуле

$$Y_R = Y_{\rho_{\text{КВ}}} + Y_{R_D} + Y_{R_t} + Y_{R_{\text{ст}}} + Y_{R_K}, \quad (11)$$

где $Y_{\rho_{\text{КВ}}}$ - погрешность воспроизведения сопротивления квадрата резистивной пленки:

$$Y_{\rho_{\text{КВ}}} = \frac{\Delta \rho_{\text{КВ}}}{\rho_{\text{КВ}}};$$

Y_{R_D} - погрешность воспроизведения геометрических размеров резистора:

$$Y_{R_D} = 2 \frac{1 + \frac{\Delta l}{R_{\phi} \Delta b}}{\frac{b}{\Delta b} - \frac{\Delta b}{b}},$$

Y_{R_t} - температурная погрешность сопротивления резистора:

$$Y_{R_t} = \alpha_R (T - 20^\circ\text{C});$$

α_R - температурный коэффициент сопротивления (ТКС) материала резистивной пленки, $1/^\circ\text{C}$; T - максимальная рабочая температура резистора, $^\circ\text{C}$; $Y_{R_{\text{ст}}}$ - погрешность сопротивления, обусловленная старением ТПР; Y_{R_K} - погрешность сопротивления, вносимая контактами:

$$Y_{R_K} = \frac{2R_K}{R};$$

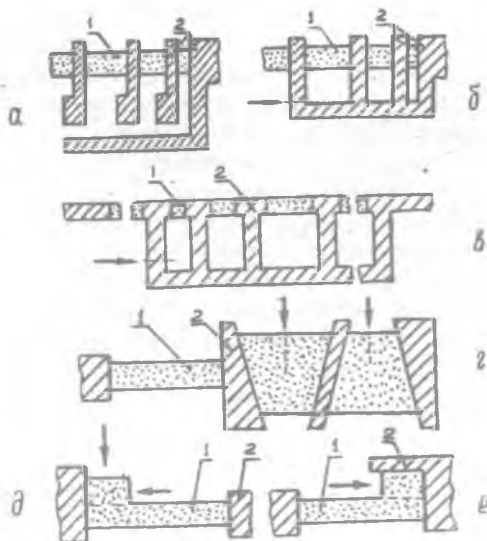
R_K - сопротивление переходного контакта.

Величина $Y_{\rho_{\text{КВ}}}$ обеспечивается технологическим процессом напыления резистивных пленок и не превышает $\pm 4\%$. Кроме того, для частного случая, когда $\Delta b = \Delta l$, соотношение для вычисления величин Y_{R_D} упрощается и принимает вид

$$Y_{R_D} = 2 \frac{1 + \frac{1}{R_{\phi}}}{\frac{b}{\Delta b} - \frac{\Delta b}{b}}.$$

Максимальная рабочая температура резисторов зависит от материала, который используется для изготовления резистивной пленки и, как правило, не превышает $\pm 125^{\circ}\text{C}$. Погрешность сопротивления резисторов, обусловленную их старением ($\nu_{\text{РСТ}}$), и величину ТЭС материала резистивной пленки выбирают из справочных данных. Методика определения сопротивления переходного контакта более подробно изложена в разделе по конструированию пленочных контактов. Однако для ориентировочных расчетов можно принять $\nu_{\text{РК}} = 1 - 3\%$.

Суммарная погрешность сопротивления резистора ν_{R} , вычисленная по формуле (II), не должна превышать $\pm 15\%$ (если в техническом задании на проектирование резистора не оговорена более высокая точность). Для резисторов, конфигурация которых показана на рис. 1, в, г, суммарная погрешность ν_{R} при массовом методе изготовления не должна превышать $\pm 20\%$.



Р и с. 2. Разновидности конструкций подгоняемых ТПР:
 а - в - для дискретной подгонки; г - е - для плавной подгонки; 1 - резистивная пленка; 2 - контактные площадки

1.6. Расчет подгоняемых резисторов. Если в процессе анализа погрешностей ТПР установлено, что условие

$$|\pm \mathcal{V}_R |_{расч} \leq |\pm \mathcal{V}_R |_{задан}$$

не выполняется, то такие резисторы нуждаются в подгонке. Кроме того, некоторые резисторы требуют подгонки для обеспечения заданных выходных характеристик микросхем, в которые эти резисторы входят.

Разновидности конструкций подгоняемых ТПР приведены на рис. 2. На рис. 2,а показана конструкция резистора, подгонка которого осуществляется путем соединения (пайкой или сваркой) проводящих перемычек с общей контактной площадкой. Ступенчатое изменение сопротивления подгоняемых резисторов обеспечивают также конструкции, показанные на рис. 2,б,в. Изменение сопротивления резисторов в данном случае достигается перерезанием проводящих перемычек. На рисунке стрелками показано направление движения режущего инструмента, а штриховыми линиями — места реза. Следует заметить, что резистор, представленный на рис. 2,б, формируется напылением через маску, а резистор, изображенный на рис. 2,в — методом фотолитографии. В ключевых делителях напряжения рекомендуется выполнять подгоняемые резисторы в виде составных (рис. 2,г). Такие резисторы содержат основную и подгоняемую части. Удалением части резистивной пленки осуществляется подгонка резисторов, которые приведены на рис. 2,д,е. Конструкции резисторов, представленные на рис. 2, а-в, предназначены для дискретной подгонки, остальные конструкции (рис. 2,г-е) позволяют плавно изменять сопротивление резисторов в процессе подгонки.

Исходными данными для расчета подгоняемых резисторов являются следующие: максимальное и минимальное значения сопротивления R_{max} и R_{min} ; относительная погрешность сопротивления резистора после подгонки $\mathcal{V}_{R_{пр}}$; максимальное и минимальное значения сопротивления квадрата резистивной пленки $R_{кв\ max}$ и $R_{кв\ min}$; максимальное и минимальное значения ширины b_{max} , b_{min} и длины l_{max} , l_{min} .

Расчет подгоняемых по длине пленочных резисторов (рис. 3,а) ведется в следующем порядке. Вначале определяют количество секций подгонки

$$m = \frac{\mathcal{V}_R}{\Delta R_{пр}} \quad (12)$$

Если величина m представляет дробное число, то ее округляют до ближайшего большего целого числа.

Длина нерегулируемого участка резистора определяется по формуле

$$l_n = b_{min} R_{max} / R_{кв\ max}$$

Общая длина резистора без проводящих перемычек может быть определена из соотношения $l'_0 = l_n + l_p = \frac{R_{min} b_{max}}{R_{кв\ min}}$

Длина регулируемой части

$$l_p = l'_0 - l_n$$

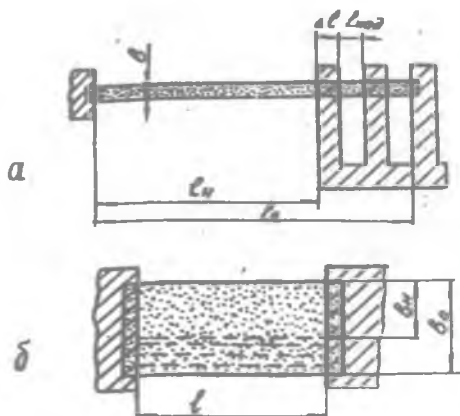


Рис. 3. Конструктивные параметры подгоняемых по длине (а) и по ширине (б) ТНР: b - ширина резистора; l_N - длина перпендикулярной части резистора; l_0 - общая длина резистора; Δl - длина параллельной перемычки; $l_{подг}$ - длина одной выровненной секции; l - длина резистора; b_N - ширина перпендикулярной части резистора; b_0 - общая ширина резистора

Ввиду из значения l_p и m , можно определить величину

$$l_{подг} = \frac{l_p}{m}.$$

При вычислении общей длины резистора необходимо к l_0 и l_N прибавить длину, занимаемую проводящими перемычками:

$$l_0 = l_N + l_p + \Delta l m.$$

Порядок расчета подгоняемых по ширине пленочных резисторов (рис. 3, б) состоит в следующем. Аналогично предыдущему случаю вначале по формуле (12) производят расчет количества секций подгонки m и округляют его до ближайшего большего целого числа.

В дальнейшем определяют минимально возможную ширину резистора

$$b_0 = \frac{R_{kmax} l_{max}}{R_{max}}.$$

Ввиду величины b_0 , можно определить минимально возможное сопротивление резистора

$$R'_{min} = \frac{R_{kmin} l_{min}}{b_0}.$$

Величина сопротивления, которую необходимо сконструировать, определяется как разность между R_{min} и R'_{min} :

$$\Delta R = R_{min} - R'_{min}.$$

Ширина перегрудуемой части подгоняемого резистора определяется по формуле

$$b = \frac{P_{кв\ min} l_{min}}{R_{min}}$$

Сопротивление каждой подгоночной секции можно определить из соотношения

$$R_i = R_L (1 + \frac{R_i}{\Delta R}),$$

где R_i - сопротивление резистора перед удалением i -й секция,

$$R_i = R'_{min} + n \Delta R [n = 0, 1, 2, \dots, (m-1)],$$

$$\Delta R = \frac{\Delta r}{m}$$

Ширина i -й секции подгонки определяется по формуле

$$\Delta b_i = \frac{P_{кв\ min} l_{min}}{R_i}$$

Правильность расчетов проверяется соотношением

$$b_0 - b_m = \sum_{i=1}^m \Delta b_i$$

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит микроскоп типа МБС-9(МБС-2) и малогабаритную телевизионную установку (МТУ-1). Каждому студенту выдается принципиальная электрическая схема тонкопленочной резистивной матрицы (5-10 резисторов) с указанными исходными данными: номинальное сопротивление R , Ом; сопротивление квадрата резистивной пленки $P_{кв}$, Ом/кв; относительная погрешность сопротивления резистора γ_R , %; мощность, рассеиваемая резистором P , Вт; максимальная удельная мощность рассеяния резистивной пленки P_0 , Вт/см².

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструктивно-технологическими особенностями резистивных матриц и ГИМС, находящихся на рабочем месте, обратив при этом внимание на:

- последовательность нанесения слоев,
- конфигурацию резисторов и ее зависимость от метода получения рисунка и номинала,
- взаимное расположение слоев,
- размещение выходных и внутренних контактных площадок,
- технологические поля и зазоры между элементами на плате,
- наличие или отсутствие элементов подгонки.

2. Сделать и обосновать выбор материалов и технологии для ТПР, отвечающих требованиям технического задания.

3. Произвести расчет геометрии ТПР.

4. Разработать резистивную матрицу, выполнив ее эскиз (2-3 варианта) на миллиметровой бумаге.

4. С о д е р ж а н и е о т ч е т а

1. Результаты анализа конструкции изученных резистивных плат.

2. Данные технического задания и принципиальная электрическая схема разрабатываемой резистивной матрицы.

3. Краткое обоснование выбора материалов и технологии изготовления ТПР.

4. Расчетные соотношения и таблицы с расчетными данными.

5. Чертеж топологии резистивной матрицы, выполненный на белой бумаге.

6. Краткие выводы.

5. К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. В чем достоинства ТПР по сравнению с другими видами резисторов ИМС?

2. Каково назначение пленочных резистивных матриц?

3. С чем связаны ограничения формы и размеров резисторов?

4. Какие материалы используются для резистивного слоя?

5. Почему в структуре ТПР нельзя размещать резистивный слой поверх контактной площадки?

6. Каково назначение защитного слоя в резистивных матрицах?

7. Как выглядит схема техпроцесса изготовления резистивной матрицы при использовании более чем одного резистивного материала?

8. Каково назначение и в чем особенности конструкции подгоняемых резисторов?

6. В о п р о с ы к з а щ и т е

1. Нарисуйте конструкции ТПР.

2. Что такое коэффициент формы?

3. Чем определяется точность изготовления ТПР?

4. Охарактеризуйте способы подгонки: токовый, электроискровой и факельный разряды, уплотнение структуры.

5. Перечислите технологические ограничения при разработке топологии резистивной матрицы.

6. Обоснуйте оптимальность варианта разработанной резистивной матрицы.

Л и т е р а т у р а

М а т с о н Э.А., К р ы ж а н о в с к и й Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. - Минск: Вышэйшая школа, 1982.

З а н я т и е 2

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Ц е л ь р а б о т ы - изучение и освоение методики расчета тонкопленочных конденсаторов и овладение навыками конструирования тонкопленочных конденсаторных матриц.

З а д а н и я :

1. Ознакомиться с конструктивно-технологическими особенностями тонкопленочных конденсаторов (ТПК).
2. Сделать и обосновать выбор материалов и технологии для ТПК, отвечающий требованиям задания.
3. Произвести расчет геометрии ТПК.
4. Разработать топологию тонкопленочной конденсаторной матрицы, выполнить ее эскиз и оформить отчет.

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

И.1. Общие принципы конструирования ТПК

В тонкопленочных микросхемах различают преимущественно три варианта конструкции конденсаторов: конденсаторы с трехслойной структурой (две проводящие обкладки, разделенные диэлектриками); многослойные конденсаторы, отличающиеся от предыдущего варианта повторяющимся нанесением проводящих и диэлектрических пленок; гребенчатые конденсаторы, у которых емкость образуется за счет краевого эффекта. В общем случае емкость конденсатора определяется по формуле

$$C = 0,0885 \frac{\epsilon S(N-1)}{d},$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика; S - активная площадь перекрытия обкладок конденсатора, см²; N - число обкладок; d - толщина диэлектрика, см.

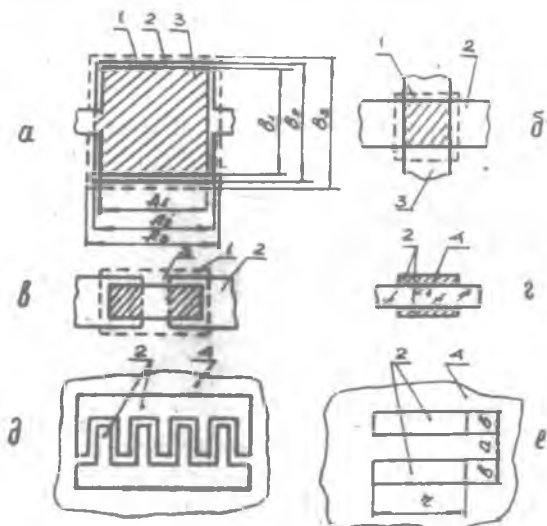
Для трехслойной структуры

$$C = 0,0885 \frac{\epsilon S}{d}.$$

Конструкция конденсатора определяется в первую очередь величиной активной площади перекрытия его обкладок. Некоторые разновидности конструкций конденсаторов с трехслойной структурой и гребенчатых конденсаторов приведены на рис.4. Гребенчатые конденсаторы (рис.4,д) и конденсаторы в виде двух параллельно расположенных проводящих пленок (рис.4,е) используются тогда, когда необходимо по-

лучить емкость единицы или доли пикофарад.

Конструктивный расчет ТКК сводится к определению его геометрических размеров S и d и удельной емкости C_0 . Спроектированный конденсатор должен удовлетворять предъявляемым требованиям к электрической прочности и заданной точности.



Р и с. 4. Разновидности конструкций ТКК: а - с активной площадью перекрытия обкладок $S > 5 \text{ мм}^2$; б - с $S = 1-5 \text{ мм}^2$; в, г - с $S < 1 \text{ мм}^2$; д, е - в виде двух параллельно расположенных проводящих пленок; 1 - диэлектрик; 2 - нижняя обкладка; 3 - верхняя обкладка; 4 - подложка

1.2. Конструктивный расчет ТКК с площадью перекрытия

обкладок 5 мм^2 и более (рис. 4, а). Расчет ведут в следующем порядке. Вначале определяют толщину диэлектрика

$$d \geq \frac{U_0 k_3}{E_{\text{пр}}}$$

где $E_{\text{пр}}$ - пробивное напряжение для выбранного материала диэлектрика, В/см; k_3 - коэффициент запаса [$k_3 = 2-4$ и зависит от условий эксплуатации конденсаторов (чем более жесткие условия, тем большее значение принимает коэффициент)] .

Затем вычисляют максимально допустимую относительную погрешность воспроизведения площади конденсатора

$$\gamma_{S_{\text{доп}}} = \gamma_C - \gamma_{C_0} - \gamma_{C_t} - \gamma_{C_{\text{ст}}}$$

где γ_{c_0} - погрешность воспроизведения удельной емкости (составляет 5-10%); γ_t - температурная погрешность емкости:

$$\gamma_{c_t} = \alpha_c (T - 20^\circ\text{C}),$$

α_c - температурный коэффициент емкости (ТКЕ) материала диэлектрика, $1/^\circ\text{C}$; T - максимальная рабочая температура конденсатора, $^\circ\text{C}$;

$\gamma_{c_{ст}}$ - погрешность емкости, обусловленная старением ТПК (не превышает 2-3%).

Впоследствии оценивают удельную емкость материала диэлектрика по формулам:

$$C_0' = 0,0885 \frac{\epsilon}{d},$$

$$C_0'' = C \left(\frac{\gamma_{c_{дон}}}{\Delta A} \right)^2 \cdot \frac{k_{\phi}}{(1+k_{\phi})^2},$$

где ΔA - абсолютная погрешность воспроизведения размеров конденсатора (для масочного метода $\Delta A = \pm 0,001$ см); k_{ϕ} - коэффициент формы конденсатора, $k_{\phi} = A_1/B_1$.

Окончательное значение удельной емкости C_0 выбирается из условия

$$C_0' > C_0 > C_0''.$$

В дальнейшем уточняется толщина диэлектрика по формуле

$$d = 0,0885 \frac{\epsilon}{C_0}.$$

Минимальная толщина диэлектрика ограничивается электрической прочностью, а максимальная - возможностями пленочной технологии. Чаще всего толщина диэлектрика находится в пределах от 0,3-0,5 до 1 мкм. После окончательного выбора d уточняется величина C_0 .

Из соотношения $S = \frac{C}{\epsilon_0}$ определяют активную площадь перекрытия обкладок конденсатора.

Геометрические размеры конденсатора рассчитывают по следующим формулам:

верхней обкладки

$$A_1 = \sqrt{S k_{\phi}} = \frac{\Delta A}{\gamma_{c_{дон}}} (1+k_{\phi});$$

$$B_1 = \frac{A_1}{k_{\phi}} = \frac{\Delta A}{\gamma_{c_{дон}}} \cdot \frac{1+k_{\phi}}{k_{\phi}};$$

нижней обкладки

$$A_2 = A_1 + 2(\Delta A + \eta); \quad (13)$$

$$B_2 = B_1 + 2(\Delta A + \eta); \quad (14)$$

диэлектрика

$$A_3 = A_2 + 2(\Delta A + \eta); \quad (15)$$

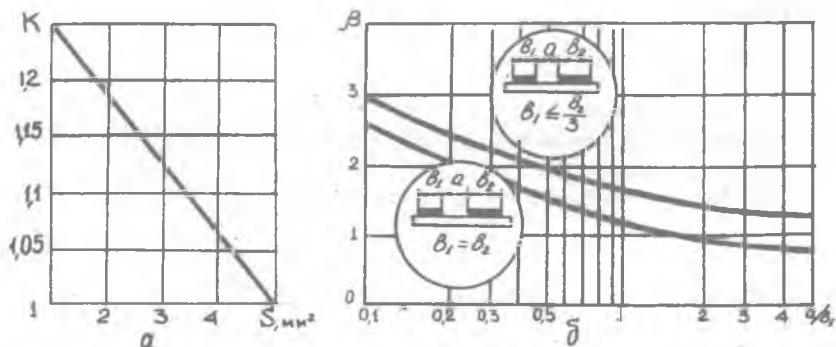
$$B_3 = B_2 + 2(\Delta A + \eta); \quad (16)$$

где η - погрешность установки и совмещения масок.

1.3. Конструктивный расчет ТК с площадью перекрытия обкладок $I-5 \text{ мм}^2$ (рис.4,б). При расчете таких конденсаторов необходимо учитывать краевой эффект. Емкость конденсатора в данном случае вычисляется по формуле

$$C = 0,0885 \frac{S}{k d},$$

где k - поправочный коэффициент, который определяется из графика, представленного на рис.5,а.



Р и с. 5. Зависимости, характеризующие изменение поправочного коэффициента от конструктивных параметров пленочного конденсатора: а - для конденсатора, показанного на рис.4,б; б - для конденсаторов, показанных на рис. 4,д,е.

Таким образом, с учетом краевого эффекта для получения заданной емкости конденсатора необходимо уменьшить его площадь в k раз. В остальном конструктивный расчет подобных конденсаторов не отличается от изложенного выше.

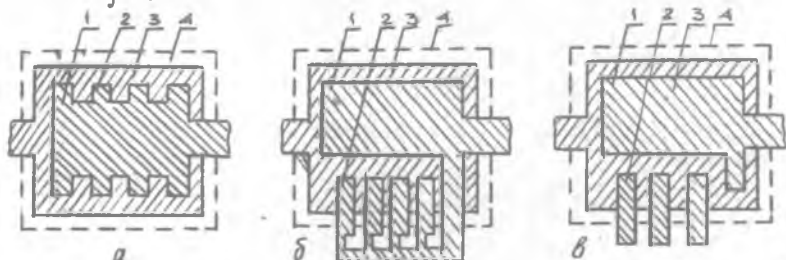
1.4. Конструктивный расчет гребенчатых конденсаторов (рис.4,д,е). Емкость гребенчатого конденсатора определяют по формуле

$$C = \beta \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} l,$$

где β - коэффициент, значение которого определяется из графика, представленного на рис.5,б; ϵ_1, ϵ_2 - диэлектрическая проницаемость соответственно материала подложки и окружающей среды; l - длина совместной границы двух проводников.

1.5. Конструктивный расчет подгоняемых конденсаторов. Основные конструкции подгоняемых конденсаторов представлены на рис.6. Исходными данными для расчета подгоняемых конденсаторов являются: ном-

нальная емкость C , пФ; рабочее напряжение U_p , В; относительное отклонение номинального значения емкости γ_c , %; рабочая частота f , МГц.



Р и с. 6. Конструкции подгоняемых пленочных конденсаторов: а, б - подгонка путем отрезания подгоночных секций; в - подгонка путем нерайки подгоночных секций; 1 - верхняя обкладка; 2 - подгоночные секции; 3 - нижняя обкладка; 4 - диэлектрик.

Расчет начинают с определения количества подгоночных секций

$$n = \frac{\gamma_{c0} + \gamma_s}{\gamma_c - \gamma_{cст}}$$

где
$$\gamma_s = \frac{\Delta A}{\gamma S} \left(\sqrt{k_{\phi}} + \frac{1}{\sqrt{k_{\phi}}} \right).$$

В случае дробного значения n оно округляется до ближайшего большего целого.

Площадь верхней обкладки вместе с подгоночными секциями определяется по формуле

$$S_{max} = \frac{C_{min}}{C_{0min}}$$

При этом максимально возможная емкость конденсатора

$$C'_{max} = S_{max} C_{0max}$$

Таким образом, величина емкости, которую необходимо скорректировать:

$$\Delta C = C'_{max} - C_{max}$$

Площадь основной нерегулируемой части конденсатора определяется соотношением

$$S_{осн} = \frac{C_{max}}{C_{0max}}$$

Величина емкости одной подгоночной секции

$$C_c = \frac{\Delta C}{n},$$

при этом площадь секции

$$S_c = \frac{C_c}{C_{0max}}$$

Размеры сторон верхней обкладки конденсатора определяются по формулам

$$A_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{2}\right)^2 (1+k_{\varphi})^2 + S_{\text{осн}} k_{\varphi}} - \frac{\Delta A}{2} (1+k_{\varphi});$$

$$B_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{2}\right)^2 \frac{(1+k_{\varphi})^2}{k_{\varphi}^2} + \frac{S_{\text{осн}}}{k_{\varphi}}} - \frac{\Delta A}{2} (1+k_{\varphi}).$$

Для случая, когда $k_{\varphi} = 1$ и конденсатор имеет достаточно большую емкость,

$$A_1 = B_1 = \sqrt{S_{\text{осн}}} - \Delta A. \quad (17)$$

Размеры подгоночной секции определяются по формуле (17), если вместо $S_{\text{осн}}$ подставить S_c .

Подгоночные секции можно произвольно размещать по сторонам верхней обкладки, однако необходимо стремиться к сохранению оптимальной формы конденсатора. Если число секций не превышает трех, то они размещаются на одной стороне, в противном случае - на двух и трех сторонах.

Размеры нижней обкладки и диэлектрика подгоняемого конденсатора определяются по формулам (13) - (16).

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит микроскоп типа МБС-9 (МБС-2) и малогабаритную телевизионную установку (МТУ-1). Каждому студенту выдается принципиальная электрическая схема тонкопленочной конденсаторной матрицы (5-10 конденсаторов) с указанными исходными данными: номинальная емкость C , пФ; относительное отклонение номинального значения емкости γ_c , %; рабочее напряжение U_p , В; рабочая частота f , МГц. Бригаде студентов предоставляются образцы конденсаторных матриц и ГИМС.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструктивно-технологическими особенностями конденсаторных матриц и ГИМС, находящихся на рабочем месте, обратив при этом внимание на:

- форму обкладок и выводов;
- конфигурацию диэлектрического слоя;

взаимное расположение нижней и верхней обкладок и диэлектрического слоя;

метод получения рисунка слоев (свободная или контактная маска);

метод получения диэлектрического слоя;

технологические поля и зазоры между элементами;

наличие элементов подстройки.

2. Сделать и обосновать выбор материалов и технологии для ТПК, отвечающих требованиям технического задания.

3. Произвести расчет геометрии ТПК.

4. Разработать конденсаторную матрицу, выполнив ее эскиз (2-3 варианта) на миллиметровой бумаге.

4. С о д е р ж а н и е о т ч е т а

1. Результаты анализа конструкции изученных конденсаторных плат.

2. Данные технического задания и принципиальная электрическая схема разрабатываемой конденсаторной матрицы.

3. Краткое обоснование выбора материалов и технологии изготовления ТПК.

4. Расчетные соотношения и таблицы с расчетными данными.

5. Чертеж топологии конденсаторной матрицы, выполненный на белой бумаге.

6. Краткие выводы.

5. К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Структура тонкопленочного конденсатора?

2. Чем объясняется низкая надежность ТПК?

3. Какие материалы используются в качестве диэлектрика и обкладок?

4. Какая форма верхней обкладки более предпочтительна и почему?

5. Чем определяется погрешность номинала емкости?

6. В чем трудности использования фотолиграфии в качестве метода получения рисунка слоев?

7. Последовательность нанесения слоев при изготовлении ТПК.

8. Технологические методы, используемые при нанесении диэлектрического слоя.

9. С какой точностью производится расчет геометрических размеров нижней и верхней обкладок?

10. В каком случае и почему наблюдается зависимость емкости от частоты?

6. Вопросы к заданию

1. Нарисуйте конструкцию ТПК.
2. Что такое коэффициент формы?
3. Чем определяется точность изготовления ТПК?
4. Охарактеризуйте способы подгонки.
5. Технологические ограничения при разработке технологии конденсаторной матрицы.
6. Обсудите оптимальность варианта разработанной конденсаторной матрицы.

Л и т е р а т у р а

Натсон Э.А., Крижановский Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. - Минск: Высшая школа, 1982, с.56-61.

З а н я т и е 3

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ГИМС И ОЦЕНКА ПАРАЗИТНЫХ СВЯЗЕЙ

Цель работы - овладение навыками конструирования тонкопленочных ГИМС.

З а д а н и я :

1. Изучить элементы конкретной ГИМС и их конструктивное исполнение.
2. Составить топологический чертёж ГИМС в масштабе, указанном преподавателем.
3. По топологическому чертежу составить электрическую схему ГИМС.
4. Оценить коэффициент использования площади подложки.
5. Оценить величину паразитных связей узлов ГИМС, указанных преподавателем.
6. Составить последовательность технологических операций изготовления ГИМС.

1. Теоретические основы

1.1. Общие принципы конструирования ГИМС. Исходными данными для разработки топологии гибридной ИМС являются следующие: принципиальная электрическая схема устройства и перечень элементов к ней; конструктивные требования и ограничения, связанные с проектированием и размещением элементов и компонентов на подложке; технологические ограничения, обусловленные процессом изготовления микросхем; технические требования к электрическим параметрам ключевых элементов и к конструкции микросхем в целом.

Процесс проектирования топологии ГИМС можно разделить на четыре этапа: составление схем соединений элементов на плате; расчет геометрических размеров ключевых элементов; выбор конфигурации и размещения ключевых элементов, а также навесных компонентов на подложке; оценка качества разработанной топологии.

При разработке топологии производится анализ принципиальной электрической схемы устройства; упрощается схема соединений элементов (уменьшается число пересечений проводников, сворачивается их длина); определяется размещение навесных компонентов; выбирается оптимальное название размещаемых навесных компонентов и ключевых

элементов, удовлетворяющее конструктивным и электрическим требованиям; составляется схема соединений элементов, которая впоследствии реализуется методами пленочной технологии. Все перечисленные действия не должны нарушать функционального построения исходной электрической схемы устройства. Геометрические размеры пленочных элементов определяют по методикам, изложенным на занятиях I,2.

При выборе конфигурации и размещении пленочных элементов и навесных компонентов на подложке определяют ориентировочную площадь подложки по формуле

$$S = k \left(\sum_{i=1}^n S_{Ri} + \sum_{i=1}^m S_{Ci} + \sum_{i=1}^l S_{Li} + \sum_{i=1}^s S_{Ai} + \sum_{i=1}^p S_{Ki} \right),$$

где k - коэффициент использования площади подложки (для ориентировочных расчетов $k = 2-3$); S_{Ri} , S_{Ci} , S_{Li} , S_{Ai} , S_{Ki} - соответственно площадь i -го резистора, конденсатора, катушки индуктивности, навесного компонента и контактной площадки; n , m , l , s , p - число соответственно резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, навесных компонентов и контактных площадок.

Затем по вычисленной ориентировочной площади подложки выбирают ее типоразмер.

Впоследствии в зависимости от размеров подложки выбирается окончательно конфигурация пленочных элементов.

В заключение данного этапа решается задача размещения на подложке всех пленочных элементов и навесных компонентов. Способы и последовательность решения этой задачи могут быть различными. Они во многом определяются опытом разработчика и носят индивидуальный характер.

I.2. Основные конструкторские требования и технологические ограничения

При размещении элементов и компонентов на подложке необходимо учитывать конструкторские требования и технологические ограничения. Основные требования и ограничения, касающиеся конструкции и технологии изготовления тонкопленочных ГММС, приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Основные конструкторские требования и технологические ограничения

Содержание ограничения (требования)	Величина ограничения		
	М ^а	Ф ^а	С ^а
I	2	3	4
Минимально допустимый размер резистора, δ мм	0,3	0,1 0,1	0,3
Точность воспроизведения линейных размеров пленочных элементов, мм		0,01	
Минимальное расстояние между пленочными элементами, расположенными в одном слое, мм	0,2	0,1	0,3
Минимальное расстояние между пленочными элементами, расположенными в разных слоях, мм	0,2	0,1	0,2
Минимальное расстояние от пленочных элементов до края платы, мм	0,5	0,2	0,5
Минимальная величина перекрытия для совмещения пленочных элементов, расположенных в разных слоях, мм	0,2	0,1	0,2
Максимальное отклонение сопротивления резистора от номинального значения, %		± 15	
Минимальная величина перекрытия диэлектрической нижней обкладки конденсатора, мм		0,1	
Минимальный выступ нижней обкладки конденсатора за край верхней, мм		0,2	
Минимальное расстояние от края диэлектрика до мест соединения выводов обкладок конденсатора с другими пленочными элементами, мм		0,3	
Минимальная площадь перекрытия обкладок конденсаторов, мм		0,5x0,5	
Максимальное отклонение емкости конденсатора от номинального значения, %		± 12	
Минимальная ширина пленочных проводников, мм	0,1	0,05	0,1
Размеры контактных площадок для монтажа навесных компонент с шариковыми или столбиковыми выводами, мм		0,2x0,2	
Минимальное расстояние между контактными площадками для припайки и приварки проволочных выводов, мм		0,2	
Минимальные размеры контактных площадок, мм:			

I	2	3	4
для приварки проводочных выводов для припайки проводочных выводов для контроля пленочных элементов		0,2x0,25 0,4x0,4 0,2x0,2	
Минимальное расстояние от проводочного проводника или вывода до края пленочного элемента, не защищенного изоляцией, мм		0,2	
Максимальная длина гибкого проводочного проводника без дополнительного крепления, мм		3	
Минимальное расстояние (мм) от края навесного компонента, до:			
края платы		0,4	
края другого компонента		0,3	
проводочного проводника		0,3	
края пассивного компонента		0,6	
края контактной площадки, предназначенной для приварки проводочных выводов		0,4	
Минимальные размеры периферийных контактных площадок (мм) при шагах расположения:			
0,625		0,4x0,4	
0,25		1x0,4	
2,5		1x0,4	

* М - масочный метод изготовления пленочных элементов; Ф - метод фотолитографии; С - совмещение масочного и фотолитографического методов.

1.3. Оценка качества разработанной топологии. Так как разработанная топология должна обеспечивать нормальное функционирование микросхемы при выбранном ее конструктивном исполнении и заданных условиях эксплуатации, то принятое при разработке топологии решение в первую очередь должно соответствовать электрической принципиальной схеме (проверяется методом синтеза электрической схемы по топологии, т.е. путем перехода от послойных чертежей топологии микросхемы к принципиальной электрической схеме устройства), удовлетворять конструкторским и технологическим требованиям, а также выбранным методам контроля, отличаться простотой реализации. С этой целью выполняют расчеты, связанные с определением паразитных связей в микросхеме. Если разработанная топология не удовлетворяет предъявляемым требованиям к качеству, то в нее вносят соответствующие коррективы.

1.4. Расчет паразитных связей

Емкость между двумя произвольно расположенными на подложке пленочными проводящими элементами определяют по формуле

$$C = 0,0885 \varepsilon' \varepsilon \ell \text{ [пФ]},$$

где ε' - расчетная диэлектрическая проницаемость ($\varepsilon' = \varepsilon_2$ при $\varepsilon_2 \gg \varepsilon_1$, $\varepsilon' = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$ при $\varepsilon_2 \approx \varepsilon_1$); $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - диэлектрические проницаемости соответственно окружающей среды и материала подложки; C - емкостный коэффициент, зависящий от взаимного расположения пленочных проводящих элементов в микросхеме (формулы для расчета емкостного коэффициента приведены в табл. 2); ℓ - длина пленочных проводящих элементов.

В табл. 2 емкостный коэффициент C выражается через основной K и дополнительный K' полные эллиптические интегралы, модули которых обозначены соответственно k и k' .

Частичные емкости между проводниками, параллельно расположенными на подложке и находящимися в окружении других проводников, вычисляют по следующей формуле:

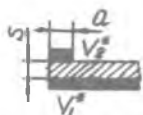
$$C_{ij} = 0,0885 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \varepsilon_{0ij} \ell, \text{ пФ}, \quad (18)$$

где i, j - номера проводников; ℓ - длина проводников, см; C_{ij} - емкостный коэффициент i -го и j -го проводников.

Т а б л и ц а 2

Основные соотношения для расчета емкостных коэффициентов

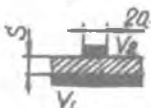
Расположение проводящих пленочных элементов в элементах конструкций в гибридной ИМС	формулы для расчета емкостного коэффициента C при		
	1	2	3
I	$\varepsilon' = \varepsilon_2 \gg \varepsilon_1$		$\varepsilon' = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$



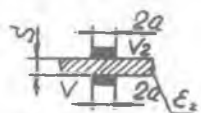
$$C_1 = \frac{K}{K'}$$

$$k = th \frac{\pi a}{2S}$$

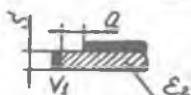
$$k' = \sqrt{1 - k^2}$$



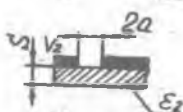
$$C_2 = C_1$$



$$C_3 = C_1$$



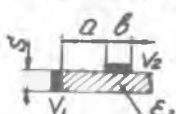
$$C_4 = \frac{1}{C_1}$$



$$C_5 = \frac{1}{2} C_4$$



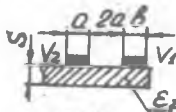
$$C_6 = (1.3-1.4) C_2$$



$$C_7 = \frac{K'}{K}$$

$$K = \frac{th \frac{\pi a}{L}}{th \frac{\pi(a+b)}{2L}}$$

$$K' = \sqrt{1 - K^2}$$

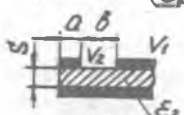


$$C_8 = \frac{1}{2} C_7$$

$$C_8 = \frac{K'}{K}$$

$$K = \frac{a}{a+b}$$

$$K' = \sqrt{1 - K^2}$$

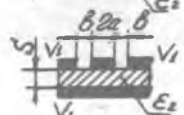


$$C_9 = \frac{1}{C_7}$$

$$C_9 = 2 \frac{K'}{K}$$

$$K = \sqrt{\frac{b}{a+b}}$$

$$K' = 1 - K^2$$



$$C_{10} = 2 C_9$$

$$C_{10} = 2 C_9$$



$$C_{11} = 2 C_8$$

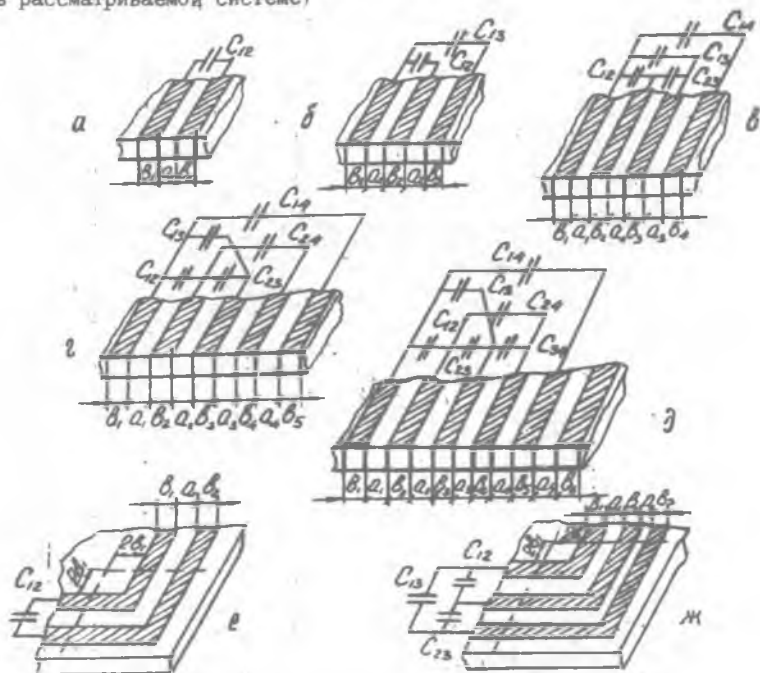
* V_1 и V_2 - потенциалы проводящих пленочных элементов, между которыми рассчитывается емкость.

Таблица 3

Основные соотношения для расчета емкостных коэффициентов в системах параллельных проводников, расположенных на подложке

Формулы для расчета емкостного коэффициента	! Вариант расположения проводников
$C_{12} = 1,56 + 0,41 \lg \frac{b_1 b_2}{a_1^2};$	Рис. 7, а
$C_{12} = 1,18 + 0,31 \lg \frac{b_1 b_2^2}{a_1^3};$ $C_{13} = 0,58 + 0,27 \lg \frac{b_1^{13/12} b_3^{1/3}}{a_1^{1/3} b_2^{3/2} a_2^{1/3}}$	Рис. 7, б
$C_{12} = 1,1 + 0,29 \lg \frac{b_1 b_2^2}{a_1^3};$ $C_{13} = 0,37 + 0,17 \lg \frac{b_1 b_2^{3/2}}{b_2^{1/6} a_1^{1/3} a_2^{1/3}};$	Рис. 7, в
$C_{14} = 0,36 + 0,18 \frac{b_1 b_4}{b_2^{3/4} a_2^{1/2} b_3^{3/4}};$ $C_{23} = 0,96 + 0,41 \lg \frac{b_2 b_3}{a_2^2};$	
$C_{12} = 1,07 + 0,28 \lg \frac{b_1 b_2^2}{a_1^3};$ $C_{13} = 0,32 + 0,15 \lg \frac{b_1 b_3^{3/2}}{b_2^{1/6} a_1^{1/3} a_2^{1/3}};$	
$C_{14} = 0,21 + 0,11 \frac{b_1 b_4^{3/2}}{b_2 a_2^{1/2} b_3};$ $C_{23} = 0,92 + 0,41 \lg \frac{b_2 b_3}{a_2^2};$	Рис. 7, г
$C_{24} = 0,25 + 0,15 \lg \frac{b_2^{13/12} b_4^{1/3}}{a_1^{1/3} b_3^{3/2} a_3^{1/3}};$	
$C_{12} = 1,06 + 0,28 \lg \frac{b_1 b_2^2}{a_1^3};$ $C_{13} = 0,3 + 0,14 \lg \frac{b_1 b_3^{3/2}}{b_2^{1/6} a_1^{1/3} a_2^{1/3}};$	
$C_{14} = 0,18 + 0,09 \lg \frac{b_1 b_4^{3/2}}{b_2 a_2^{1/2} a_3};$ $C_{23} = 0,91 + 0,39 \lg \frac{b_2 b_3}{a_2^2};$	Рис. 7, д
$C_{24} = 0,22 + 0,14 \lg \frac{b_2^{13/12} b_4^{1/3}}{a_1^{1/3} b_3^{3/2} a_3^{1/3}};$ $C_{34} = 0,89 + 0,39 \lg \frac{b_3 b_4}{a_3^2};$	
$L_{\text{эв}} = 6b_1 + \frac{1}{2}b_2 + a_1;$ $C_{12} = 1,56 + 0,41 \lg \frac{b_1 b_2}{a_1^2};$	Рис. 7, е
$L_{\text{эв}} = 20,25b_1;$ $C_{12} = 1,18 + 0,31 \lg \frac{b_1 b_2^2}{a_1^3};$	
$L_{\text{эв}} = 26,23b_1;$ $C_{23} = 1,18 + 0,31 \lg \frac{b_3 b_2^2}{a_2^3};$	Рис. 7, ж
$L_{\text{эв}} = 23,19b_1;$ $C_{13} = 0,58 + 0,27 \lg \frac{b_1^{13/12} b_3^{1/3}}{a_1^{1/3} b_2^{3/2} a_2^{1/3}}$	

Для систем параллельных проводников (рис.7) шириной b расположенных на подложке на расстоянии a друг от друга, емкостные коэффициенты C_{ij} определяют по формулам, приведенным в табл. 3. По тем же формулам рассчитывают и значения емкостных коэффициентов $C_{(n+1)-i, (n+1)-j}$, только заменяют в формулах b_k на $b_{(n+1)-k}$ и a_k на a_{n+1-k} ($k=1,2,\dots,n$, где n - число проводников в рассматриваемой системе)



Р и с. 7. Системы параллельных пленочных проводников, расположенных на подложке: а - два проводника; б - три проводника; в - четыре проводника; г - пять проводников; д - шесть проводников; е - два проводника, согнутых под прямым углом; ж - три проводника, согнутых под прямым углом; b_1, b_2, \dots, b_n - ширина проводников; a_1, a_2, \dots, a_n - расстояние между проводниками

При оценке емкостей между изогнутыми под прямым углом параллельными пленочными проводниками рассматриваемую систему разбивают на две: первую, состоящую из проводников, которые расположены под прямым углом с расстоянием $2b$ от изгиба первого проводника,

вторую, состоящую из двух групп параллельных проводников. При оценке емкостей первой группы проводников в формулу (18) вместо ϵ подставляют $\epsilon_{\text{эв}}$. Общая емкость рассматриваемой системы равна сумме емкостей, рассчитанных с учетом разбиения для каждой системы в отдельности.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит микроскоп типа МБС-9 (МБС-2) и малогабаритную телевизионную установку (МТУ-1). Бригаде студентов представляется набор исследуемых тонкопленочных ГИМС.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструктивно-технологическими особенностями ГИМС, находящимися на рабочем месте, изучив конструкцию микросхем и элементов.

2. Составить топологический чертеж микросхем.

3. По топологическому чертежу воспроизвести принципиальную электрическую схему.

4. Оценить геометрические размеры подложки и количество элементов, определить плотность упаковки элементов и степень интеграции микросхем.

5. Произвести расчет паразитных связей, дать оценку качества разработанной топологии.

6. Составить последовательность технологических операций изготовления ГИМС.

4. Содержание отчета

1. Чертеж топологии ГИМС, выполненный на миллиметровке.

2. Принципиальная электрическая схема.

3. Результаты расчетов.

4. Схема технологического процесса.

5. Краткие выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое интегральная микросхема?

2. Что такое плотность упаковки элементов и степень интеграции микросхем?

3. Составьте перечень последовательных операций изготовления ГИМС.

4. Что такое технологический слой?

5. Из каких этапов состоит процесс проектирования топологии ГИМС?

6. Преимущества и недостатки тонкопленочной технологии.

6. В о п р о с ы к з а щ и т е

1. Основные конструктивно-технологические требования и ограничения.

2. По каким параметрам оценивается качество разработанной топологии ГИМС?

3. Наиболее распространенное расположение пленочных элементов ГИМС.

4. Параллельные проводники и основные соотношения для расчета емкостных коэффициентов.

5. Топологический чертеж и его назначение.

6. Классификация и условное обозначение ИМС.

7. Методы изготовления пленочных элементов (масочные, фотолитография).

Л и т е р а т у р а

1. Матсон Э.А., Крыжановский Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. - Минск: Высшая школа, 1982, с.88-93.

2. Справочник по интегральным микросхемам / Под ред. Тарабарина Б.В. - М.: Энергия, 1977, с.19-24.