

К. т. н. В. Г. СПИРИН

Россия, г. Арзамас, НПП "Темп-Авиа"
E-mail: temp@arzamas.nnov.ruДата поступления в редакцию
08.01 2004 г.Оппонент к. ф.-м. н. А. В. АНДРИЯНОВ
(ОНПУ, г. Одесса)КОМПЕНСАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЧЕРЕЗ ЭЛЕМЕНТЫ ФОТОШАБЛОНА

Предложена компенсация погрешностей конструктивных параметров тонкопленочных элементов путем изменения размеров элементов фотошаблона по определенным алгоритмам.

Различия в размерах тонкопленочных элементов при наличии систематических производственных погрешностей приводят к образованию критичных элементов, которые определяют выход годных тонкопленочных микросборок (МСБ). Вопросы повышения выхода годных МСБ путем уменьшения влияния производственных погрешностей тонкопленочных резисторов (ТПР) обсуждаются в [1, 2].

В [1, с. 167] реализуется выравнивание коэффициентов влияния основной формулы погрешности путем замены одиночного резистора двумя или несколькими параллельно соединенными резисторами с суммарной шириной, равной ширине одиночного резистора. Таким образом, достигается выравнивание погрешностей по ширине всех резисторов платы. Для выравнивания погрешностей по длине резисторов в [1] предлагается все резисторы составить из полосок равной длины, соединив их проводниками. Компенсация производственных погрешностей длины и ширины ТПР в описанных случаях достигается за счет подбора удельного поверхностного сопротивления резистивной пленки при напылении. Данный способ компенсации производственных погрешностей неприемлем для МСБ высокой интеграции, т. к. введение дополнительных зазоров при формировании одинаковой ширины резисторов и контактных площадок при формировании одинаковой длины резисторов значительно уменьшает полезную площадь платы.

В [2] увеличение выхода годных при компенсации производственных погрешностей по вышеуказанному методу достигается за счет изготовления ТПР одинаковой ширины. Однако уменьшение ширины резисторов не всегда возможно из-за различных значений мощности, рассеиваемой в резисторах. Поэтому одинаковой ширины ТПР можно достигнуть только за счет увеличения ширины маломощных резисторов до уровня резистора, рассеивающего максимальную мощность, что приведет к увеличению площади этих резисторов и уменьшит степень интеграции МСБ. Применение нескольких корректирующих фотошаблонов [2] для компенсации производствен-

ных погрешностей приводит к удорожанию МСБ. Поэтому такое решение неприемлемо в высокономенклатурном мелкосерийном производстве, характерном, например, для производства датчиков первичной информации.

В настоящей работе ставилась задача исследования новых возможностей компенсации систематических производственных погрешностей конструктивных параметров тонкопленочных элементов при производстве микросборок.

В общем случае микросборка может содержать пять групп резисторов, которые можно характеризовать различной чувствительностью к систематическим и случайным погрешностям размеров или сопротивления электродов. Первая группа резисторов чувствительна только к погрешности удельного поверхностного сопротивления ρ . Резисторы этой группы имеют большие размеры длины l и ширины b ($l > 0,5$ мм, $b > 0,5$ мм). Вторая группа резисторов чувствительна к погрешностям ρ и b . Эти резисторы имеют малую ширину и большую длину. Третья группа резисторов чувствительна к погрешностям ρ и l . Эти резисторы имеют малую длину и большую ширину. Четвертая группа чувствительна к погрешностям ρ , b и l . Эти резисторы имеют малую длину и ширину. Пятая чувствительна к погрешностям ρ , l и сопротивлению электродов R_e . Это низкоомные резисторы.

Номинальное сопротивление R этих групп резисторов, согласно [3], можно описать следующими формулами:

$$R = \rho l / b = \rho K_{\phi}; \quad (1)$$

$$R = \rho l / (b - \Delta b_c); \quad (2)$$

$$R = \rho (l + \Delta l_c) / b; \quad (3)$$

$$R = \rho (l + \Delta l_c) / (b - \Delta b_c); \quad (4)$$

$$R = \rho (l + \Delta l_c) / b + R_e, \quad (5)$$

где $K_{\phi} = l/b$ — коэффициент формы резистора;

Δl_c , Δb_c — систематические погрешности длины и ширины резистора из-за процессов фотолитографии и травления.

На рис. 1 приведена диаграмма интервалов для каждой группы ТПР. Для простоты рассуждений положим:

— резисторы каждой группы считаются годными, если они попадают в 15%-ный допуск δR от своего номинального значения;

— систематические относительные погрешности составляют: по длине $\delta l_c = +10\%$, по ширине $\delta b_c = -5\%$, по сопротивлению $\delta R_{zc} = R_j/R = +10\%$.

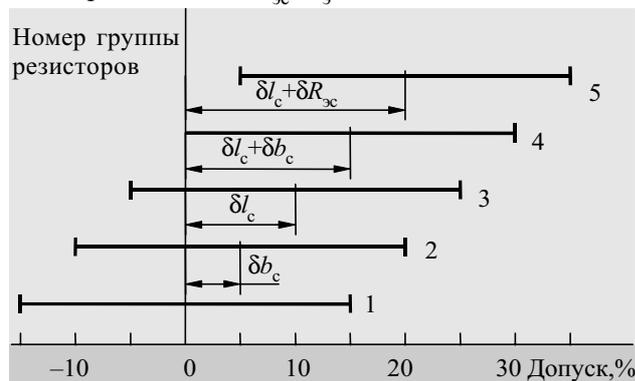


Рис. 1. Диаграмма интервалов групп резисторов

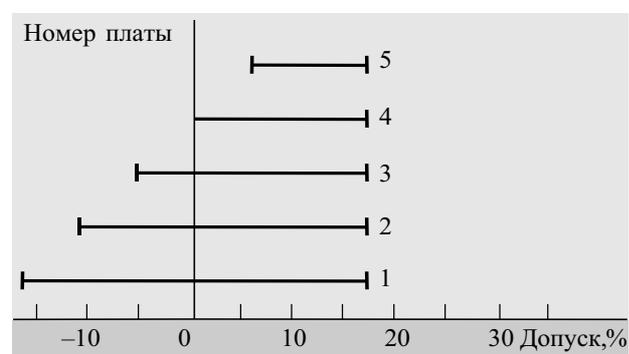


Рис. 2. Диаграмма интервалов годных резисторов

Ввиду сильной корреляции резисторов по ρ при изготовлении всех групп резисторов на одной плате среднее значение каждой группы резисторов будет сдвинуто относительно среднего значения резисторов первой группы на величину систематической погрешности, характерной для этой группы.

На рис. 2 приведена диаграмма интервалов годных резисторов, которая характеризует выход годных плат, содержащих различные группы резисторов. Интервал годных резисторов на плате образуется путем попадания сопротивления резисторов разных групп в общий интервал допуска. Плата 1 содержит первую группу резисторов, плата 2 — первую и вторую группы, плата 3 — первую—третью группы, плата 4 — первую—четвертую группы, плата 5 — первую—пятую группы резисторов.

Рис. 2 демонстрирует уменьшение вероятности выхода годных P с увеличением номера платы ($P_1=1$; $P_2=0,83$; $P_3=0,67$; $P_4=0,5$; $P_5=0,33$). Таким образом, с увеличением числа групп ТПР, чувствительных к разным систематическим погрешностям и формируемых на одной плате, уменьшается выход годных плат МСБ.

В некоторых случаях систематические погрешности сопротивления резистора можно устранить путем их компенсации при технологическом процессе напыления. В первую очередь, к таким погрешностям следует отнести систематические погрешности удельного поверхностного сопротивления, а именно: аппаратную погрешность, погрешности за счет влияния формирования защитной изоляции.

На практике компенсация вышеуказанных систематических погрешностей осуществляется экспериментально путем подбора сопротивления «свидетеля» по максимуму выхода годных плат. Если МСБ содержит ТПР с разными размерами l, b , то, как это следует из формул (1)—(5), а также рис. 1, 2, полной компенсации систематических погрешностей путем изменения ρ не происходит ввиду сильной корреляции резисторов по ρ . Поэтому необходима разработка иных алгоритмов компенсации данных систематических погрешностей.

Иногда выход годных МСБ может быть повышен путем изменения в конструкторской документации номинальных значений сопротивлений ТПР в соответствии с их точными значениями, которые можно рассчитать по формулам (1)—(5).

Можно также учитывать систематические погрешности при конструировании МСБ путем расчета длины и ширины ТПР. При $K_\phi \geq 10$ задаются шириной ТПР и определяют его длину:

$$l = K_\phi (b - \Delta b_c). \quad (6)$$

При $K_\phi \leq 0,1$ задаются длиной ТПР и определяют его ширину:

$$b = \rho (l + \Delta l_c) / (R - R_3). \quad (7)$$

При $0,1 < K_\phi < 10$ расчет размеров ТПР по формулам (6), (7) не всегда возможен — ввиду того, что при конструировании топологии платы применяют координатную сетку с определенным шагом (обычно 0,05—0,2 мм), а величины систематических погрешностей длины и ширины ТПР составляют 3—20 мкм. В этом случае линейные размеры ТПР увеличивают до таких значений, при которых обеспечивается требуемый допуск сопротивления ТПР, рассчитанный с учетом систематических погрешностей. По данному способу было сконструировано свыше 60 тонкопленочных плат. Изготовление этих плат производилось на предприятии НПП «Темп-Авиа» и «Чебоксарский приборостроительный завод». На обоих предприятиях выход годных плат не ограничивался причинами непопадания сопротивления ТПР в заданный допуск.

Однако вышеприведенные методы повышения выхода годных МСБ не всегда приемлемы с точки зрения работоспособности устройства (в случае изменения номиналов сопротивлений), обеспечивают невысокую точность компенсации систематических погрешностей и приводят к увеличению размеров ТПР. Поэтому радикальным способом повышения выхода годных МСБ является полная компенсация каждой систематической погрешности путем введения констант в программы изготовления фотошаблонов, которая заключается в следующем.

1. При учете сопротивления электродов для ТПР с коэффициентом формы $K_\phi < 0,1$ задаются длиной ТПР и определяют его ширину по формуле $b = \rho l / (R - R_3)$.

2. В программу для изготовления фотошаблона, определяющего длину ТПР, вводят константу $\Delta l_c / 2$ — таким образом, чтобы контуры элементов фотошаблона увеличились на величину $\Delta l_c / 2$ в каждую сторону.

3. В программу для изготовления фотошаблона, определяющего ширину ТПР, вводят константу $\Delta b_c / 2$

— таким образом, чтобы ширина соответствующего элемента фотошаблона увеличивалась (уменьшалась) на величину $\Delta b_c/2$ в каждую сторону. В результате ширина b_ϕ этих элементов составит $b_\phi = b + \Delta b_c$ или $b_\phi = b - \Delta b_c$. Знак константы определяется при измерении систематических погрешностей.

Компенсация погрешностей путем введения констант в программы изготовления фотошаблона, кроме улучшения воспроизводимости ТПР, позволяет улучшить также воспроизводимость проводников и контактных площадок. Кроме того, дополнительно повышается точность изготовления сопротивления ТПР за счет уменьшения относительной случайной погрешности.

Поясним сказанное на примере. Пусть при изготовлении резистора шириной 50 мкм систематическая абсолютная погрешность ширины ТПР составляет $\Delta b_c = -10$ мкм, а случайная — $\Delta b = \pm 5$ мкм. Тогда относительная случайная погрешность без компенсации систематической погрешности составит $\delta b_1 = 5/40 = 0,125$, а с компенсацией — $\delta b_2 = 5/50 = 0,1$.

Выводы

Из рассмотренных способов компенсации систематических погрешностей конструктивных параметров тонкопленочных резисторов наилучшей является компенсация путем изменения размеров элементов фотошаблона по определенным алгоритмам, которая позволит значительно уменьшить размеры тонкопленочных элементов без уменьшения процента выхода годных микросборок, что приведет к уменьшению себестоимости и размеров МСБ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ермолаев Ю. П., Пономарев М. Ф., Крюков Ю. Г. Конструкция и технология микросхем.— М.: Радио и связь, 1980.
2. Васильев И. И. Проектирование и изготовление резисторов для ГИС в массовом производстве // Обмен производственно-техническим опытом.— 1986.— Вып. 12.— С. 66—67.
3. Спирин В. Г. Математические модели сопротивления тонкопленочного резистора с размерами 50 мкм // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2004.— № 2.— С. 14—16.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ

Е·Х·Р·О
EXPO ELECTRONICA

8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

8th INTERNATIONAL EXHIBITION FOR ELECTRONIC
COMPONENTS AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

5-8 АПРЕЛЯ / APRIL 2005
РОССИЯ, МОСКВА, СК "ОЛИМПИЙСКИЙ"
OLIMPIYSKIY COMPLEX, MOSCOW, RUSSIA

Совместно с / Incorporating:
ElectronTech EXPO

Организаторы / Organisers:
Тел./Tel: +7(812)380-6007
380-6003, 380-6000
Факс/Fax: +7(812)380-6001
e-mail: electron@primexpo.ru

Соорганизатор / Co-organiser:
PRIMEXPO

При официальной поддержке / The official support:
Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации
Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации
Министерство информационных технологий и связи Российской Федерации
Правительство Москвы
Moscow government

Информационные спонсоры / Information sponsors:
www.expoelectronica.ru