

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРАФАРЕТА НА РАЗБРОС НОМИНАЛОВ ТП-РЕЗИСТОРОВ НА ПОДЛОЖКЕ

В. П. Николаев

Киев

При разработке серийной технологии напыления тонкопленочных интегральных схем (ИС) наиболее важная задача — создание эффективных методов получения тонких пленок, что позволило бы увеличить выход продукции с одного квадратного метра производственной площади.

Основные преимущества метода получения резистивных элементов при помощи вакуумного распыления через трафареты — сравнительная простота и отсутствие дополнительных операций (фотолитографии, травления и т. д.).

Очень важно оценить влияние следующих факторов, связанных с методом трафаретного напыления, на воспроизводимость номиналов резисторов и их распределение по поверхности подложки: ошибку в изготовлении трафаретов (масок); толщину маски; деформацию маски.

Влияние точности изготовления трафаретов

Резисторы ИС обычно образуются напылением высокоомного материала в виде прямоугольника шириной v до требуемого значения удельного поверхностного сопротивления ρ_s , поверх которого наносятся тонкопленочные площадки из низкоомного материала (рис. 1). Примером могут служить резисторы с номинальными размерами:

$$v = 0,3 \text{ мм}; \quad l = 2 \text{ мм}; \quad \rho_s = 300 \text{ ом/мм}^2.$$

Пусть заданы допуски на размеры v и l , $\pm \Delta v$ и $\pm \Delta l$ соответственно (в случае симметричных границ поля допуска). Тогда максимальная относительная погрешность номиналов резисторов (при $\rho_s = \text{const}$) равна

$$\frac{\Delta R}{R} = \pm \left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta v}{v} \right).$$

Допуски на геометрические размеры прорезей в трафаретах складываются из допуска на изготовление фотошаблонов и допуска на изготовление трафарета. Последний обусловлен неравномерностью процессов химического травления материалов трафарета. Применение трехслойной маски типа Ni — бронза — Ni увеличивает точность вытравливания рисунка, но, как будет показано дальше, отрицательно сказывается на поведении масок в температурном поле. Абстрагируясь от погрешностей фотошаблонов, можно утверждать, что чем тоньше маска, тем более точно можно ее изготовить.

Для экспериментальной проверки влияния точности трафарета позиции напыления T_0 был собран статистический материал о разбросах номиналов резисторов микросхемы, напыленных через один комплект

масок (установка типа К-20). На одном модуле 8×20 мм находилось 14 двухкилоомных резисторов.

Предварительно с помощью микроскопа были замерены прорезы v_i на одном модуле. Проведено 60 напылений на два столика, после чего найдены среднеарифметические значения каждого резистора. Сравнение значений v_i и R_i показало (рис. 2), что характер отклонений этих величин одинаков. Следует отметить, что на небольшом объеме статистической информации (5—10 напылений) связь v_i и R_i при небольших отклонениях v_i порядка 2—3% трудно выявить экспериментально в силу непостоянности v_i по поверхности подложки.

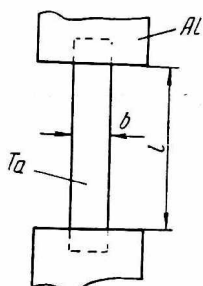


Рис. 1. Геометрия тонкопленочного резистора.

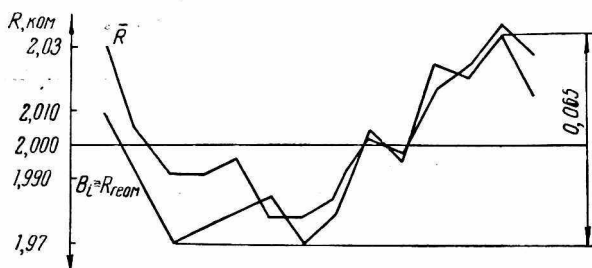


Рис. 2. Сравнительные характеристики разброса номиналов резисторов и разброса прорезей в масках.

Итак, среднеарифметическое значение номиналов в пределах одного модуля с точностью до константы определяется геометрическими размерами прорезей маски высокоомного материала.

Распределение номиналов по поверхности подложки

Известно, что если длина свободного пробега атомов газа превышает расстояние испаритель-подложка, то распределение конденсата на подложке можно сравнить с освещенностью подложки, если заменить точечный испаритель соответствующим источником света. Поэтому, чем толще маска и больше размеры испарителя, тем большего разброса номиналов можно ожидать. Применение трехслойной маски уменьшает этот эффект, но полностью не устраняет, так как толщина слоя никеля соизмерима с шириной резистивной пленки, отчего могут образовываться полутени. Неблагоприятное влияние оказывают такие факторы, как зазор между маской и подложкой, который возникает при плохой посадке столика с подложкой или в результате потери устойчивости трафарета (деформации) при нагреве. Это усугубляется появлением внутренних напряжений в трафарете, так как он является триметаллической пластиной (коэффициенты линейного расширения никеля и бронзы различны).

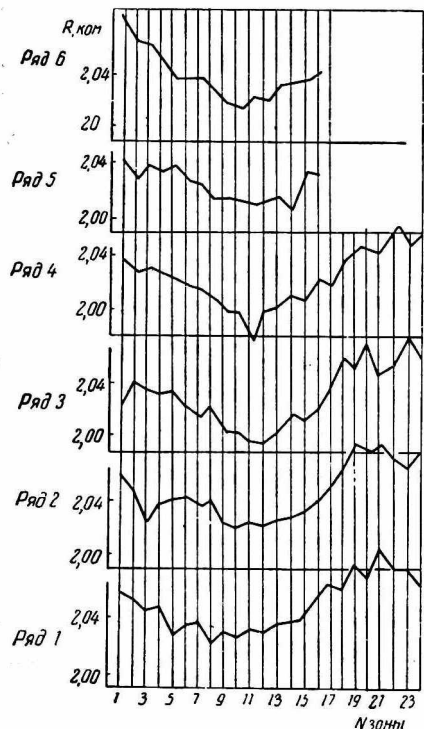
Подтрафаретник не предотвращает деформации трафарета, так как при этом развиваются большие усилия (порядка нескольких килограммов), в результате чего столик приподнимается.

Изучение распределения номиналов по поверхности подложки проводилось следующим образом.

С одной напылительной установки чисто случайно были взяты 100 подложек по 8—15 подложек нескольких типов микросхем. Все номиналы резисторов измерены и скорректированы в зависимости от геометрических размеров прорезей в семи трафаретах. Эта задача облегчалась тем, что практически на каждом трафарете от модуля к модулю раз-

меры повторяются (из-за мультипликации оригинала при изготовлении фотошаблонов). Далее поверхность модулей 8×20 разбивалась на восемь равных частей. Подсчитывались среднеарифметические значения номиналов резисторов, попавших в каждую из 108 зон подложки 48×60 .

На рис. 3 показаны шесть графиков изменения среднего значения вдоль каждого ряда резисторов, параллельного большей стороне подложки. Неточность в изготовлении масок исключена.



Поверхность $\bar{R}(x, y)$ имеет следующие особенности:

а) номиналы в центре подложки занижены;

б) поверхность имеет кривизну относительно двух координатных осей;

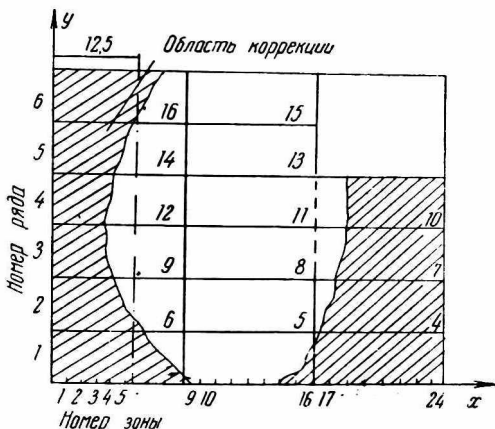


Рис. 3. Разброс средних значений резисторов вдоль ряда, параллельного большей стороне подложки.

Рис. 4. К коррекции размеров прорезей по плоскости трафарета.

в) кривизна поверхности $\bar{R}(x, y)$ вдоль оси x (большая сторона подложки) значительно превышает кривизну вдоль меньшей стороны;

г) номиналы резисторов, лежащие в первой полуплоскости (модули 1, 4, 7, 10, рис. 4) в целом выше, чем симметричные им номиналы в левой полуплоскости (модули 3, 6, 9, 12, 14, 16). Используя знание поверхности $\bar{R}(x, y)$ можно произвести коррекцию трафаретов, которая будет заключаться в сознательном увеличении части прорезей трафарета. Очевидно, что увеличению подлежат прорези, расположенные на периферийных участках трафарета.

Для простоты технологии изготовления фотошаблонов всю область подложки надо разбить на две части, в каждой из которых номинальное значение прорези должно быть постоянным.

Для нахождения этих областей и величины коррекции ширины прорезей построена регрессия вероятности отбраковки модуля в зависимости от среднего значения $\bar{R}(x, y)$ по поверхности модуля, изображенная на рис. 5, из которого видно, что вероятность выхода модуля в брак начи-

нает резко возрастать, когда среднестатистическое значение номинала превышает 2,04—2,05 ком. Отсюда величину коррекции принимает 2,0%. Области трафарета, подлежащие коррекции, определяются как области, лежащие ниже уровня $\bar{R}(x, y) = 2,04$ ком. Поскольку получена лишь грубая статистическая оценка поверхности $\bar{R}(x, y)$, наиболее явными являются области, принадлежащие модулям 1, 4, 7, 10 и частично модулям 3, 6, 9, 12, 14, 16.

Для упрощения изготовления фотошаблонов с коррекцией предлагается два варианта корректировки:

1. Увеличение размеров прорезей на модулях 1, 4, 7, 10 и прорезей, лежащих в прямоугольной области, показанной на рис. 4. Подсчитано, что при этом выход схем увеличится на 4%.

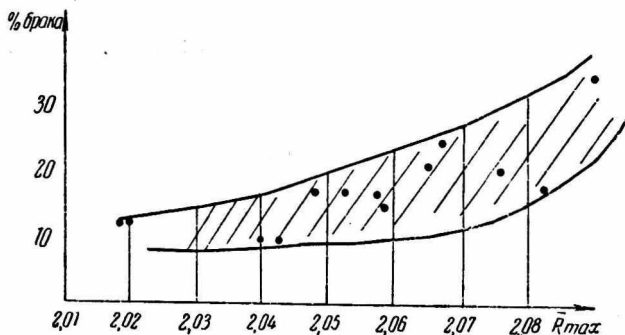


Рис. 5. Зависимость регрессии вероятности отбраковки модуля от среднего значения сопротивления.

2. Увеличение размеров прорезей на всех модулях, примыкающих к меньшим сторонам подложки, 48×60 . Выход схем при этом увеличится на 2,5—3%.