

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени акаде-
мика С.П.КОРОЛЕВА»

А 64

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА МИКРОСБОРОК

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Управление качеством электронных средств»

САМАРА 2004 (2005)

Составитель: *М.Н. Пиганов*

УДК 621.382 (075)

Анализ качества технологического процесса производства микросборок. Метод. указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *М.Н. Пиганов*. Самара, 2004. 16с.

Рассмотрены производственные погрешности в процессе изготовления микросборок. Приведены методики оценки точности и стабильности технологических процессов. Даны схемы возникновения производственных погрешностей.

Рекомендуются студентам специальности 200800.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева

Рецензент: Меркулов А.И.

Цель работы – провести анализ технологического процесса изготовления тонкопленочных резисторов гибридных интегральных микросхем (ИМС) и микросборок (МСБ) по критериям точности и стабильности.

Задание:

1. Получить полное распределение погрешностей сопротивления резисторов и построить точностную диаграмму.
2. Принять гипотезу о принадлежности исследуемого процесса к определенной теоретической схеме возникновения производственных погрешностей.
3. Провести анализ физико-технологической сущности процесса напыления, подтвердить принятую гипотезу и определить факторы, действие которых обуславливает данную теоретическую схему.
4. Дать рекомендации по изменению технологического процесса с целью повышения его точности и стабильности.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАНЯТИЯ

1.1. Производственные погрешности

В процессе изготовления микросхем под влиянием тех или иных причин возникают практически неустраняемые погрешности, в результате наличия которых параметры качества ИМС в той или иной степени отличаются от номинальных. Такие погрешности называют производственными.

Различают два вида производственных погрешностей – систематические и случайные.

Производственные погрешности называют случайными, если в ходе изготовления партии ИМС отсутствует закономерность изменения погрешностей параметров качества. При этом ни абсолютную величину, ни знак отклонения параметров качества от номинала заранее предсказать невозможно.

Систематические погрешности делятся на постоянные и закономерно изменяющиеся.

Производственные погрешности называют постоянными, если погрешности параметра качества ИМС, входящих в партию, одинаковы.

Закономерно изменяющимися погрешностями называются погрешности, изменяющиеся в процессе изготовления партии ИМС по определенному закону.

Кроме случайных и систематических погрешностей имеют место также грубые ошибки ("промахи"), которые зависят от ошибок оператора, неправильно рассчитанных технологических режимов и т.д.

Основными факторами, вызывающими производственные погрешности изготовления гибридных интегральных микросхем, являются:

1) Неточности работы вакуумной установки, обусловленные погрешностями электрической, кинематической и других схем. Например, колебания температу

ры испарителя, температуры подложки в процессе напыления и т.д.;

2) Погрешности, обусловленные принципом работы установки и оснастки. Например, погрешность сопротивления ТПР, вызванная систематическим изменением толщины резистивного слоя от центра подложки к её периферии при точечном испарителе;

3) Неточности приспособлений и технологической оснастки, обусловленные в основном недостаточной их жёсткостью, погрешностью в конфигурации и размерах; погрешностью установки оборудования и т.д. Например, изменение зазора между подложкой и маской, погрешность установки и совмещения масок, погрешность в геометрических размерах окон масок;

4) Погрешности приспособлений и технологической оснастки, обусловленные их износом, отклонением от требуемой конфигурации и т.д. Например, изменение диаграммы направленности испарителя, частичное "запыление" окон масок;

5) Неоднородность электрофизических, механических и других свойств резистивных, диэлектрических и других исходных материалов. Например, неоднородность удельного сопротивления, диэлектрической проницаемости, плотности;

6) Субъективные ошибки оператора при настройке оборудования и поддержании режимов его работы. Например, субъективные ошибки при определении сопротивления свидетеля, поддержания требуемого значения тока испарителя и т.д.;

7) Метрологические погрешности в результате неточности работы измерительных средств при контроле параметров ИМС.

1.2. Оценка точности технологических процессов

О точности процесса изготовления ИМС можно судить по абсолютным величинам случайной и систематической составляющих производственной погрешности.

Случайные производственные погрешности могут быть охарактеризованы определёнными численными характеристиками и законами распределений.

Распределение производственных погрешностей параметра качества ИМС в общем виде представлено на рис. 1.

Случайную составляющую производственной погрешности характеризует величина размаха поля рассеяния, определяемого по формуле:

$$R_c = x_{\max} - x_{\min}$$

Систематическую составляющую производственной погрешности характеризует отклонение Δ центра группирования (среднего значения) X от номинала $M(x)$.

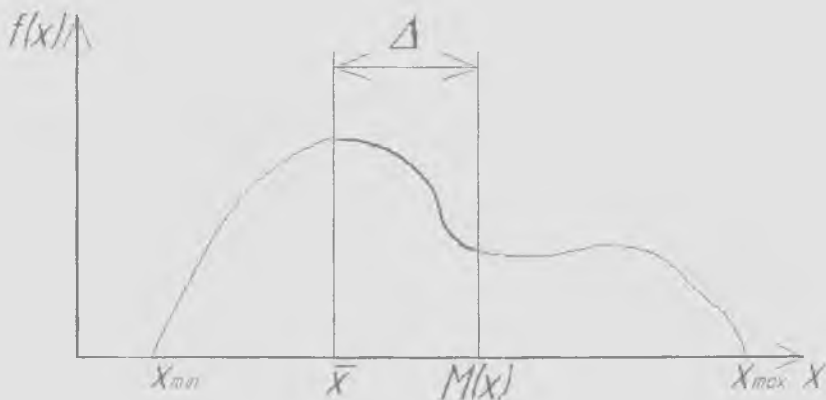


Рис. 1. Распределение производственных погрешностей параметра качества ИМС

Различают конструкторскую и технологическую точность. Величина допустимых отклонений параметра качества ИМС от соответствующих номинальных значений характеризует конструктивную точность. Допуск определен чертежами или ТУ.

Технологическая точность-степень соответствия фактических отклонений параметра качества ИМС допускаемым отклонениям согласно чертежам, техническим условиям или другой документации на ИМС.

Для оценки технологической точности используют ряд числовых характеристик: процент выхода годных, коэффициент точности, коэффициент смещения.

Коэффициент точности определяется по следующей формуле:

$$T = 2\varepsilon / ks,$$

где ε - абсолютная величина половины поля допуска на параметр качества;

s - выбранное среднее квадратичное значение параметров качества совокупности ИМС (стандартное отклонение);

k - коэффициент который зависит от вида закона распределения погрешностей параметра качества ИМС, ($k=6$ и 3.464 , соответственно, для законов нормального распределения и равной вероятности).

Коэффициент T характеризует точность процесса при действии случайной составляющей производственных погрешностей. Чем меньше T , тем ниже точность (тем больше число ИМС попадает в брак).

Коэффициент смещения вычисляют по следующей формуле:

$$E = \Delta / (2\varepsilon).$$

Коэффициент E характеризует точность при действии систематических произ-

водственных погрешностей. Чем ближе E к нулю, тем выше точность процесса (меньше влияние систематических погрешностей).

Процент выхода годных P при условии нормального закона распределения параметра качества определяется как площадь, ограниченная кривой нормального распределения и полем установленного допуска на параметры качества. В общем случае $P=f(T,E)$.

Параметры точности учитывают не только соотношение между полем допуска и полем рассеяния, но и их распределения.

Наиболее полной оценкой точности технологического процесса следует считать теоретический закон распределения производственных погрешностей параметра качества ИМС, ибо знание закона (а не только границ поля рассеяния погрешности) позволяет познать физическую сущность технологического процесса, приводящего к данному распределению, произвести оценку точности процесса и выявить причины производственных погрешностей.

Близким к теоретическому закону является гистограмма или полигон распределения, полученные путём измерения параметров качества партии (выборки) ИМС, изготовленных по данному технологическому процессу.

1.3. Оценка стабильности технологических процессов

Устойчивостью технологического процесса называют свойство процесса сохранять точность параметров качества ИМС во времени.

Стабильностью технологического процесса называют свойство процесса сохранять во времени параметры и закон распределения погрешностей параметров качества ИМС. Стабильность технологического процесса является более общей характеристикой.

Для оценки стабильности технологических процессов используют текущие выборки, которые дают мгновенные распределения производственных погрешностей.

Под мгновенным распределением $f_i(x)$ понимается распределение значений x , за достаточно малый промежуток времени Δt , в течение которого действие всех внешних факторов остаётся неизменным. Примером мгновенного распределения может служить распределение сопротивления тонкоплёночных резисторов на подложке интегральной микросхемы, изготовленной на конкретной вакуумной установке за один технологический цикл.

В отличие от мгновенного полным или суммарным распределением $f_{\Sigma}(x)$ называют распределение производственных погрешностей параметров качества одной или нескольких партий ИМС, полученных за сравнительно большой промежуток времени. Примером полного распределения является распределение сопротивления тонкоплёночных резисторов, полученных за несколько технологических циклов напыления за сравнительно большой период (смену, неделю).

месяц, и т.д.).

При нестабильном технологическом процессе изготовления ИМС полное распределение часто отличается от мгновенного по численным характеристикам и даже по виду закона распределения.

Стабильность технологических процессов чаще всего оценивают с помощью контрольных карт либо по точностным диаграммам. Более точной является оценка по точностной диаграмме.

На точностной диаграмме по оси абсцисс откладывают время, а по оси ординат - значение параметра качества. В поле координат точностной диаграммы изображают зависимости центров группирования (средних значений) [функция $a(t)$], среднеквадратичных значений [функция $b(t)$], и полей рассеяния [функция $\eta(t)$] мгновенных распределений погрешностей параметра качества X от какого либо аргумента t (времени, температуры, расстояния и пр.). При этом предполагается, что за рассматриваемый отрезок Δt тип мгновенного распределения не меняется.

На рис.2 изображена точностная диаграмма технологического процесса в общем виде.

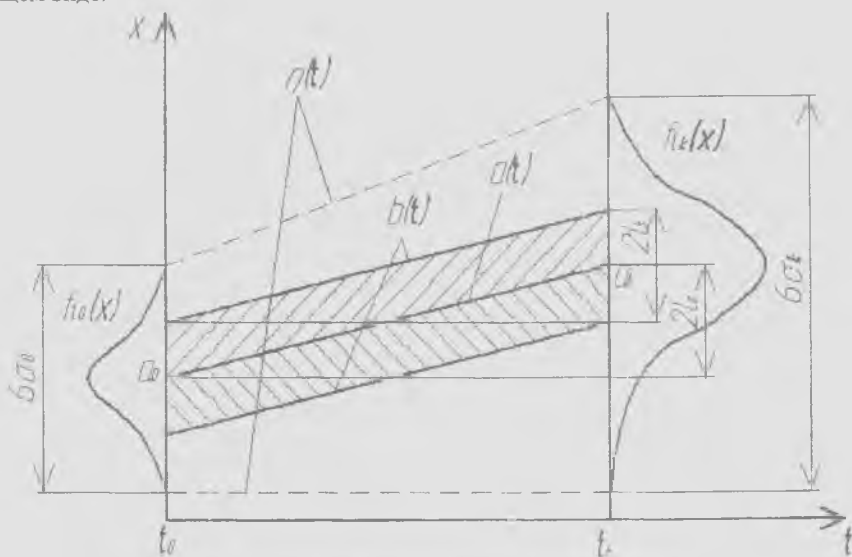


Рис.2 Точностная диаграмма технологического процесса

На рис.2 приняты следующие обозначения $f_0(x)$ и $f_{t_k}(x)$ - нормальные мгновенные распределения погрешностей параметра качества X , соответствующие соответственно начальному значению аргумента t_0 и конечному t_k ; a_0 и a_k - цен-

тры группирования погрешностей в мгновенных распределениях $f_{i0}(x)$ и $f_{ik}(x)$, соответственно.

Из рис.2 видно, что центры группирования средних квадратических значений и поля рассеяния мгновенных распределений для данного технологического процесса за интервал $t_k - t_0$ изменяются по линейному закону.

О стабильности технологического процесса судят по интенсивности изменения функций $a(t)$, $b(t)$, $\eta(t)$.

Количественной оценкой интенсивности изменения функций $a(t)$ и $b(t)$ принято считать отношение:

$$\lambda_a = I_a / \sigma_0 \text{ и } \lambda_b = I_b / \sigma_0,$$

где, λ_a и λ_b - половины диапазонов изменения функции $a(t)$ и $b(t)$; σ_0 - среднее квадратичное значение параметра качества в начальный момент t_0 .

Для идеально стабильного технологического процесса, $\lambda_a = \lambda_b = 0$.

На рис.3 и рис.4 в качестве примера приведены точностные диаграммы соответственно нестабильного и стабильного процессов напыления тонкоплёночных резисторов. Напыление производилось через биметаллические маски. Очевидно, что совокупность ТПР, полученных за один цикл напыления, может быть представлена мгновенным распределением погрешностей сопротивления резисторов. Совокупность ТПР, полученных за несколько циклов напыления представляет полное распределение погрешностей сопротивления.

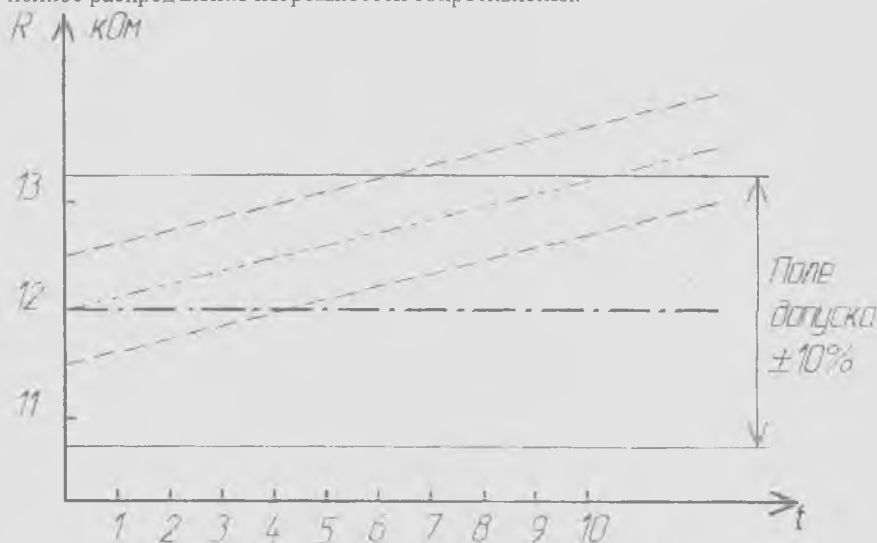


Рис.3 Точностная диаграмма нестабильного процесса напыления тонкоплёночных резисторов

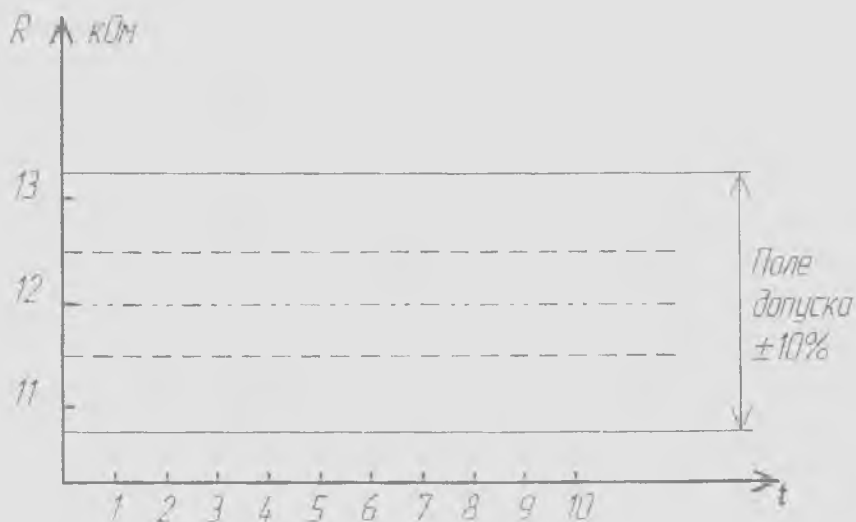


Рис.4. Точностная диаграмма стабильного процесса напыления тонкопленочных резисторов

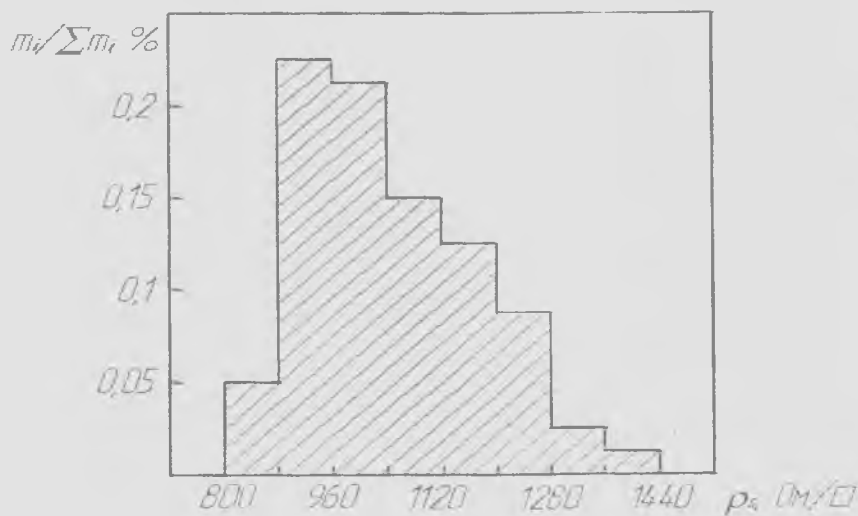


Рис.5. Гистограмма распределения удельного поверхностного сопротивления до модернизации техпроцесса

Анализ точностной диаграммы представленной на рис.3 показывает, что, начиная с шестого цикла напыления, поле рассеяния погрешностей сопротивления ТПР выходит за пределы поля допуска.

Гистограммы распределения ρ_s тонкопленочных резисторов до модернизации и после модернизации техпроцесса приведены на рис.5 и рис.6 соответственно.

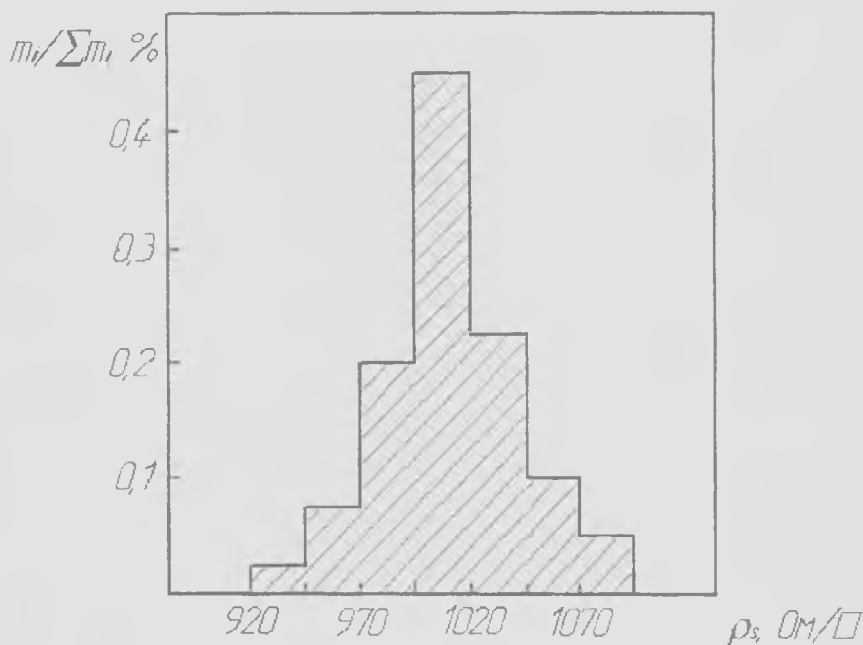


Рис.6. Гистограмма распределения удельного поверхностного сопротивления после модернизации техпроцесса

1.4 Теоретические схемы условий возникновения производственных погрешностей

Согласно теории точности производства технологический процесс может быть описан определённой теоретической схемой системы факторов, которая приводит к вполне определённому теоретическому распределению погрешностей параметра качества изделия.

Под теоретическим законом распределения случайной величины X будем понимать теоретическую закономерность, вывод аналитического выражения для которой сделан теоретически для вполне определённой конкретной схемы, отображающей реальную сущность исследуемого явления или процесса, приводящего к рассеиванию случайной величины X .

Наиболее распространённой теоретической схемой возникновения производственных погрешностей в технологических процессах изготовления интегральных микросхем является схема, согласно которой погрешность параметров качества ИМС является суммой значительного числа случайных и в общем случае неслучайных слагаемых.

Эта схема имеет большое число разновидностей, отличающихся друг от друга структурой суммы и свойствами её слагаемых.

Наиболее распространённой является сумма вида:

$$X = \sum_{i=1}^{m} Y_i,$$

где X - сумма случайных слагаемых.

Распределение значений X случайной величины x точно соответствует нормальному закону, если слагаемые суммы подчиняются условиям теоремы Ляпунова - Лидберга (структура суммы, число слагаемых, характеристики их распределений не изменяются ни во времени, ни в зависимости от других аргументов в процессе изготовления ИМС; слагаемые этой суммы взаимно независимы, или слабо зависимы, среди них нет резко доминирующих по своему влиянию над остальными, их число при теоретическом рассмотрении может быть сколь угодно большим).

В технологии изготовления интегральных микросхем приходится сталкиваться и с распределением производственных погрешностей параметров ИМС, заметно отличающихся от распределения по нормальному закону. В этих случаях наблюдаются изменения в структуре схемы суммы и свойств её составляющих.

Одной из разновидностей структур сумм, характеризующей аномальное распределение погрешностей является сумма вида:

$$X_i = \sum_{i=1}^n Y_i + C_i,$$

где $C_i = \sum_s C_s^{(i)}$ - значение суммы неслучайных слагаемых $c_s^{(i)}$, соответствующих определённому значению аргумента t .

В состав суммы, кроме независимых случайных составляющих Y_i , подчинённых условиям теоремы Ляпунова - Лидберга, входят неслучайные слагаемые

C_t , число или значение которых меняются в зависимости от какого либо аргумента (времени, температуры, и др.).

Мгновенные распределения значений x случайной величины X для каждого конкретного значения аргумента t (или достаточно малого отрезка его изменения Δt) будут нормальными законами вида:

$$f_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\frac{[x-(a_0+c_t)]^2}{2\sigma_0^2}},$$

где a_0 и σ_0 - среднее и среднеквадратичное значения, соответственно, в нормальном распределении для суммы случайных слагаемых Y_i

Полное распределение значений X случайной величины x отличается от нормального и может быть записано в следующем виде:

$$f_{\Sigma}(x) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\frac{[x-(a_0+a(t))]^2}{2\sigma_0^2}} dt,$$

где t_0 и t_k - начало и конец действия интервала аргумента t ;

$a(t)$ - монотонная функция, характеризующая изменение значения C_t в зависимости от аргумента t .

Другой разновидностью теоретической схемы суммы является сумма вида:

$$X_t = \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{s=1}^{n_1} Y_s^{(t)}$$

В состав суммы кроме группы случайных слагаемых Y_i , подчинённых условиям центральной предельной теоремы, входят группы случайных слагаемых $Y_s^{(t)}$, число которых (или значения параметров их распределения) меняется в зависимости от некоторого аргумента t , а средние значения остаются неизменными.

Полное распределение значений X случайной величины x для данной теоретической схемы имеет вид:

$$f_{\Sigma}(x) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sqrt{2\pi}b(t)} e^{-\frac{(x-a_0)^2}{2b^2(t)}} dt,$$

где $b(t)$ - функция, характеризующая изменение параметра рассеяния σ_t в зависимости от аргумента t .

Вид закона полного распределения зависит от вида функции $b(t)$ и вклада группы слагаемых $Y_s^{(t)}$ в сумму X_t .

Мгновенные распределения значений x случайной величины X в этом случае будут подчиняться нормальному закону с параметрами a_0 и σ_t .

Если объединить две последние разновидности теоретической схемы суммы, то получим сумму вида:

$$X_i = \sum_{s=1}^{n_i} Y_s^{(i)} + \sum_{s=1}^{n_j} Y_s^{(j)} + C_i.$$

В состав этой суммы кроме группы случайных слагаемых; входят группы неслучайных C_i и случайных вида $Y_s^{(i)}$ слагаемых.

Полное распределение производственных погрешностей для данного случая имеет вид:

$$f_{\Sigma}(x) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sqrt{2\pi b(t)}} e^{-\frac{[x-(a_0+a(t))]^2}{2b^2(t)}} dt.$$

Мгновенные распределения для данной разновидности суммы будут нормальными законами с параметрами a_i и σ_i :

$$f_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} e^{-\frac{[x-(a_0+C_i)]^2}{2\sigma_i^2}}$$

Кроме рассмотренных выше, можно выделить ещё одну сумму вида:

$$X = \sum_{i=1}^n Y_i + Y_k.$$

В состав этой суммы кроме большого числа случайных слагаемых Y_i , входит ещё одно случайное слагаемое Y_k , резко доминирующее по своему влиянию над остальными.

Предельным теоретическим законом распределения погрешностей для данной разновидности суммы будет композиция законов распределения двух независимых случайных слагаемых. Одним из них будет нормальный закон для слагаемых Y_i с параметрами a_0 и σ_0 , а другим - закон распределения значений y_k случайной величины Y_k , устанавливаемый теоретическим или опытным путём.

Полный закон распределения для такой разновидности суммы будет иметь вид:

$$f_{\Sigma}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(y_k) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0}} e^{-\frac{[x-(y_k+a_0)]^2}{2\sigma_0^2}} dy_k.$$

где $f(y_k)$ - закон распределения случайной величины Y_k .

Кроме рассмотренных схем имеют место и другие схемы возникновения производственных погрешностей.

Различают конструктивную и технологическую точность.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ К ВЫПЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Какие производственные погрешности называются случайными и систематическими?
2. Назовите основные факторы вызывающие производственные погрешности ГИМС и микросборок.
3. В чем состоит отличие конструкторской точности от технологической?
4. Какие характеристики используются для оценки технологической точности?
5. Что называют стабильностью технологического процесса?
6. Назовите основные теоретические схемы условий возникновения производственных погрешностей.
7. Что называется мгновенным и полным распределением производственных погрешностей?

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя образцы тонкопленочных резисторов, уточнить значение номинала конструктивной точности сопротивлений резисторов.
2. Произвести измерения сопротивлений резисторов на всех подложках.
3. Для каждой подложки определить поля и центры группировки погрешностей сопротивления. Определить T и E .
4. Построить точностную диаграмму технологического процесса напыления, ТПР.
5. Построить эмпирические мгновенное и полное распределения погрешностей сопротивления ТПР. Произвести статистическую оценку гипотезы о сходимости эмпирических распределений с нормальным теоретическим распределением (по критерию согласия “хи-квадрат”).
6. Принять гипотезу о принадлежности исследуемого процесса напыления к определенной схеме возникновения производственных погрешностей. Произвести анализ физической сущности технологического процесса и определить факторы, которые обуславливают данную теоретическую схему.
7. Сделать рекомендации по изменению технологического процесса с целью повышения точности и стабильности.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель лабораторной работы.
2. Таблица значений сопротивлений резисторов.
3. Расчет числовых характеристик $\bar{x}, \Delta, T, E, \sigma_0, \sigma_k$.

4. Точностная диаграмма процессам напыления ТПР.
5. Расчет характеристик λ_a и λ_b .
6. Гистограмма полного распределения сопротивления тонкопленочных резисторов.
7. Статистическая оценка сходимости эмпирических распределений с нормальным распределением (расчет критерия Пирсона “хи-квадрат”).
8. Выражение выбранной теоретической схемы суммы слагаемых производственных погрешностей для выбранной схемы суммы.
9. Анализ процесса напыления и перечень факторов, которые обуславливают данную теоретическую схему суммы.
10. Рекомендации по изменению процесса напыления.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

1. Как построить точностную диаграмму? Приведите пример.
2. Напишите выражение полного и мгновенного распределений для изучаемых теоретических схем суммы слагаемых производственных погрешностей ИМС и МСБ.
3. Проведите анализ физической сущности исследуемого процесса напыления. Определите факторы, которые обуславливают систематическую закономерно изменяющуюся погрешность сопротивления ППР в данном процессе.
4. Приведите методику оценки сходимости эмпирического распределения с теоретическим по критерию “хи-квадрат”.
5. Как построить гистограмму полного распределения? Приведите пример.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем: Учеб. пособие для студентов вузов /Под ред. А.А.Васенькова.- М.: Энергия, 1977.-376с.
2. Глудкин О.П., Обичкин Ю.Г., Блохин В.Г. Статистические методы в технологии производства радиоэлектронной аппаратуры /Под общ. ред. В.Н.Черняев.- М.: Энергия, 1977.- 296с.
3. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романенков Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента.- М.: Автониздат, 1978.- 232с.
4. Управление качеством электронных средств: Учеб. ля вузов /О.П. Глудкин, А.И. Гуров, А.И. Коробов, и др.; Под общ. ред. О.П.Глудкина. – М.: Высш. шк., 1994.- 414с.

Учебное издание

**АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПРОИЗВОДСТВА МИКРОСБОРОК**

Методические указания к лабораторной работе

Составитель: *Пиганов Михаил Николаевич*

Редактор Л.Я.Чегодаева

Подписано в печать 27.12.04. Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л.0,75. Усл.кр.- отт. 0,77. Уч.- изд.л. 0,8.

Тираж 100 экз. Заказ № 110. Арт. С- 51 /2004.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева.

443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного аэрокосмического
Университета. 443001 г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151.