

УДК 621.382.088 (088)

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ЗОНДОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ НА ПЛАСТИНЕ

Минченко В.А., Ковальчук Г.Ф., Школык С.Б.

ГНПО «ПЛАНАР», г. Минск, Республика Беларусь

Предложены принципы построения и структурные схемы зондовых систем для аналитического и межоперационного измерения и контроля быстродействующих микро- и наносистем на пластине в наносекундном диапазоне. Определены источники искажений широкополосных сигналов и погрешностей зондовых систем контроля, а также переходные характеристики широкополосных контактирующих устройств для контроля больших интегральных схем (БИС) в наносекундном диапазоне с помощью рефлектометрической установки с пикосекундным временным разрешением. Представлены особенности и определены погрешности прецизионных позиционеров на линейных шаговых двигателях и магнитовоздушной подушке для точного позиционирования зондов на контактные площадки БИС при автоматическом зондировании полупроводниковых пластин. (E-mail: shkolyksb@kbtcm.by)

Ключевые слова: зондовый контроль, полупроводниковая пластина.

Введение

Зондовый контроль (ЗК) является основным методом контроля статических и динамических параметров БИС на пластине и кристалле перед монтажом их в корпус. Зондовые системы контроля (ЗСК) осуществляют аналитический контроль с контактированием специальными зондами элементов размером (0,3–0,5) мкм внутри микросхемы или межоперационный контроль БИС и сверхбольших интегральных схем (СБИС) на пластине и характеризуются, с одной стороны, погрешностью позиционирования зондов с контактными площадками микросхем, с другой – погрешностью измерительной части ЗСК. Существующие зондовые установки имеют координатные системы, выполненные на шаговых двигателях вращения типа ШД-5Д, ШДР-721. Измерительная часть имеет контактирующие устройства (КУ) с отдельно настраиваемыми зондами, коммутирующие матрицы, несогласованные по импедансу с измерительным трактом, согласующие устройства недостаточной широкополосности для передачи импульсов наносекундного диапазона. Такие установки не обеспечивают требуемую точность позиционирования, имеют значи-

тельную (до $\pm 20\%$) погрешность измерения параметров быстродействия и не обеспечивают контроль многовыводных (260 выводов) БИС.

Целью работы является разработка методов зондового контроля, принципов построения и структурных схем ЗСК, обеспечивающих автоматический аналитический и межоперационный контроль на пластинах диаметром 150, 200 мм с требуемой погрешностью измерений всей номенклатуры ИС, БИС, СБИС, а также разработка новых принципов построения и структур позиционеров по координатам X, Y, Z, φ на линейных шаговых двигателях (ЛШД) и магнитовоздушной подушке, обеспечивающих погрешность позиционирования $\pm (2-3)$ мкм и перемещение контролируемого изделия без дополнительных кинематических звеньев (муфт, редукторов, пары винт-гайка и др.). Последнее гарантирует точное попадание зондов на контактные площадки при автоматизированном зондировании пластин. Разработанные ЗСК являются полностью автоматизированными (зондовые автоматы) системами зондирования полупроводниковых пластин. ЗСК имеют новое построение измерительных каналов на полосковых ВЧ линиях, обеспечивающих подвод испытательного сиг-

нала и снятие выходного сигнала наносекундного диапазона БИС с минимально допустимыми искажениями. До настоящего времени в СНГ не было систем автоматического зондирования полупроводниковых пластин (существовали ручные и полуавтоматические). В связи с переходом мировой технологии на пластины размером 300 мм ужесточатся требования к точности измерительных и координатных систем и величине погрешности измерительной части ЗСК, а повышение частотного диапазона вплоть до СВЧ приведет к уменьшению размеров контактных площадок микросхем с 80–100 мкм до 20–50 мкм, что усложнит разработку ЗСК.

Ниже приведены принципы построения и конструктивные решения, позволившие значительно улучшить технические характеристики ЗСК.

Сочетание электронно-механического устройства, включающего прецизионный привод на ЛШД и средства технического зрения, служащие для автоматического совмещения, загрузки и выгрузки полупроводниковых пластин, вместе с визуальным оптическим каналом, а также зондовой измерительной частью (включает измеритель, коммутирующие, контактирующие и согласующие устройства) представляет сложную структуру, решающую задачу автоматизации контроля операций, включая разбраковку по группам годности и маркировку бракованных кристаллов.

Ввиду сложности ЗСК и необходимости решения комплекса научно-технических проблем в статье рассматриваются лишь концептуальные принципы проектирования ЗСК. Представлены пути решения научно-технических проблем автоматизированного зондового контроля на кристалле и пластине быстродействующих БИС.

Прецизионные четырехкоординатные (X , Y , Z , φ) высокоскоростные позиционеры на магнитовоздушной подушке и линейных шаговых двигателях. Теоретические аспекты, конструкции, погрешности

Структурная схема автоматической ЗСК включает следующие разработанные специальные подсистемы, в частности: подсистемы позиционирования по координатам X , Y , Z , φ ; автоматического обхода пластин по программе и диагностирования основных устройств, загрузки-выгрузки и автоматической ориентации

пластин; подсистемы определения края пластины, контакта с ней и инициирования зондового сопротивления (перед измерением) ультразвуковыми колебаниями (частотой порядка 50 кГц) за счет снятия пленок и загрязнений с контактных площадок БИС; корректировки разнотолщинности полупроводниковых пластин и разновысотности зондов, стабилизации переходного сопротивления за счет нормированного натяга зондов, измерения, контроля и классификации ИС. Позиционер с указанной выше точностью перемещает изделие в заданную зону координатного стола и автоматически совмещает зонды с контактными площадками ИС (БИС).

Ниже рассмотрены конструктивные особенности, результаты аналитических и экспериментальных исследований электропривода на ЛШД.

Индуктор позиционера выполнен из электротехнической стали в виде П-образных магнитопроводов, на каждом из которых расположено по одной обмотке управления. Статор представляет собой плиту из магнитомягкого материала и имеет зубцовую структуру (зубцовые деления τ статора и индуктора равны). Зубцы двух полюсов индукторов в пределах одного магнитопровода сдвинуты по отношению к зубцам статора на $1/2$ зубцового деления магнитопровода по отношению к другому, зубцы вторых пар полюсов сдвинуты на $1/4$ зубцового деления. Синхронизирующая сила перемещает индуктор в такое положение, чтобы против зубцов статора находились зубцы индуктора т.е. на $1/4$ зубцового деления. Линейный шаг ЛШД и скорость перемещения определяется зубцовым делением τ (период), частотой f переключения фазы, числом тактов k схемы управления и числом фаз m :

$$\Delta X = \tau / k, V = \tau f / m. \quad (1)$$

Особенностью такой конструкции является возможность перемещения индуктора по любой траектории в плоскостях X , Y , реализуемая при помощи аэростатических опор, обеспечивающих практически отсутствие трения при зазоре $\approx 20 \cdot 10^{-6}$ м (давление воздуха $6 \cdot 10^5$ Па). Предметный стол ЗСК, на который устанавливается контролируемая пластина, осуществляет перемещение по оси Z с помощью ЛШД (для программного регулирования усилия прижатия зонда к контактной площадке БИС с целью получения необходимого переходного сопротивления

$R_{\text{п}} = 0,1-0,5 \text{ Ом}$). Ниже аналитическими и экспериментальными методами определены составляющие погрешности координатных систем на ЛШД, обеспечивающие точное попадание зондов на контактные площадки БИС. В общем виде суммарная погрешность привода:

$$\delta_{\text{ЛШД}} = \sum_{k=1}^l \delta_s + k \sqrt{\sum_{i=1}^m \delta_{OS_i}^2 + \sum_{i=1}^m t_k^2 \delta_k^2}, \quad (2)$$

$$\delta_{OS} = 1,1 \sqrt{\delta_{\text{МХ}}^2 + \delta_{\text{ВЗ}}^2 + \delta_{\text{ВИ}}^2 + \delta_{\text{ИЦ}}^2 + \delta_{\text{ТП}}^2 + \delta_{\text{ТФ}}^2},$$

где δ_s – систематическая погрешность привода на ЛШД (состоит из погрешностей нарезки зубцовых структур статора δ_{s1} , индуктора δ_{s2} и δ_{s3} – электронного деления частоты импульсов управления ЛШД); Δ_{OS} – неисключенные составляющие систематической погрешности: $\delta_{\text{МХ}}$ – из-за отклонения стандартных магнитных характеристик материала индуктора; $\delta_{\text{ВЗ}}$ – из-за отклонения воздушного зазора ЛШД от номинального значения; $\delta_{\text{ВИ}}$ – из-за технологических отклонений витков индуктора и его сопротивления; $\delta_{\text{ИЦ}}$ – циклическая погрешность ЛШД; $\delta_{\text{ТП}}$ – из-за разброса температуры в пределах $6,5 \text{ }^\circ\text{C}$ по полю $150 \times 150 \text{ мм}$ статора; $\delta_{\text{ТФ}}$ – из-за отклонения тока в фазе ЛШД от номинального значения; $\delta(\sigma)$ – случайные составляющие погрешности привода на ЛШД; k – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешности ($P = 0,95$; $k = 1,1$); t – коэффициент Стьюдента; σ – среднее квадратическое отклонение.

Статическая погрешность обработки шага $\Delta\alpha$ (в процентах от значения шага) определена по формуле:

$$\Delta\alpha = (|\Delta\alpha| + |-\Delta\alpha|) / 2\alpha, \quad (3)$$

где $+\Delta\alpha$, $-\Delta\alpha$ – наибольшая (по абсолютной величине) положительная и отрицательная разница между измеренной и расчетной величиной шага; α – номинальный шаг ЛШД. Разработаны методы повышения точности позиционирования: метод калиброванных управляющих токов фаз ЛШД путем формирования координатной сетки токов высокого разрешения и разработки соот-

ветствующего алгоритма; метод алгоритмической коррекции погрешности позиционирования привода с учетом индуктивности обмоток, насыщения магнитопроводов, несинусоидальности магнитного сопротивления ЛШД.

Экспериментально с помощью лазерно-интерферометрической системы (ЛИС) установлено, что суммарная погрешность позиционирования привода на ЛШД (по координатам X, Y, Z, φ) на поле $150 \times 150 \text{ мм}$ составляет $\pm (5-6) \text{ мкм}$ без использования обратной связи и $\pm (2-3) \text{ мкм}$ с использованием обратной связи в системе, что достаточно при зондовом контроле ИС (БИС). С помощью ЛИС и специальных методик получены характеристики позиционеров на ЛШД: зависимость тягового усилия от скорости движения; статическое синхронизирующее тяговое усилие (сила) привода ЛШД в зависимости от значения тока в фазе; погрешности позиционирования и обработки шага.

Классификация зондовых систем, определение источников искажений сигналов и погрешностей в измерительных каналах зондовых систем контроля

Наряду с разработкой позиционеров, весьма актуально создание измерительной части, так как именно от нее зависит погрешность зондового контроля (время измерения параметров измерителем значительно больше времени позиционирования полупроводниковых пластин). Измеряемые с помощью ЗСК параметры быстродействия являются функцией двух переменных:

$$T_k = \Psi(X_k, Y_k), \quad T_k = T(U_1) - T(U_2), \quad (4)$$

где X_k – параметры комплекса внешних условий, задающих режим функционирования БИС; Y_k – параметры внутренней структуры БИС; $T(U_1)$, $T(U_2)$ – отсчеты времени и уровни испытательных и выходных сигналов.

Широкополосные ЗСК разделяются на следующие типы:

1) ЗСК совмещенного межоперационного измерения и контроля динамических и статических параметров БИС среднего быстродействия (в диапазоне $10-50 \text{ нс}$), а также проверки на функционирование;

2) ЗСК для межоперационного измерения и контроля быстродействующих (более 5 нс) и

сверхбыстродействующих ИС и БИС (в диапазоне 0,5–5 нс);

3) СВЧ, аналитические и специальные ЗСК: контроль в камерах тепла, холода, при криогенных температурах.

Из-за отступления переходной характеристики (ПХ) каждого узла от идеальной, необходимо, чтобы время установления канала T_u было существенно меньше измеряемых временных интервалов T_i , т.е. $T_u \ll T_i$, что трудно выполнимо в наносекундном диапазоне (БИС имеют быстродействие приблизительно 0,5–20 нс). Поэтому достаточно выполнения соотношения $T_u < (2-3) T_i$ (широкополосность ЗСК: $\Delta f = 0,35 / f_{гр} = 700 \div 1000$ МГц).

Широкополосные каналы ЗСК требуют учета паразитной задержки по цепям линий связи к входам и выходам (контактным площадкам) контролируемых БИС. Полная задержка сигнала T_z (T_{z_i} – задержка в i -ом узле) и измеряемый временной интервал T_i :

$$T_z = \sum_{i=1}^n T_{z_i}; \quad T_x = T_i - (T_{звх} - T_{звых}), \quad (5)$$

где T_x – фактическая временная задержка БИС; задержка во входных $T_{звх}$ и выходных $T_{звых}$ зондовых цепях учитывается как неисключенная систематическая составляющая погрешности измерения и определяется при аттестации зондовых каналов с помощью эталонных ВЧ кабелей. При этом ПХ каналов ЗСК $H(t)$ равны [1]:

$$H(t) = \operatorname{erfc}(Z) = 1 - \Phi(Z), \quad (6)$$

где $\Phi(Z) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^Z e^{-x^2} dx$ – функция Лапласа;

$Z = \alpha^2 l^2 / 4\pi f_{гр} T$; ($f_{гр}$ – граничная частота; T – текущее время; α – коэффициент затухания).

Время нарастания ПХ широкополосных контактирующих устройств КУ: на полосковых, ленточных и копланарных линиях длиной l соответственно равно 0,5; 0,65; 0,25 нс.

Источниками искажений широкополосных сигналов в ЗСК являются: паразитные LC-параметры (источников сигналов, линий передачи, коммутирующих и контактирующих устройств), наводки, отражения от дискретных и распределенных неоднородностей. Предел

допускаемой основной погрешности Δ_{OP} измерения быстродействия БИС включает систематическую Δ_S , неисключенную систематическую Δ_{OS} и случайную Δ_I (σ) погрешности:

$$\Delta_{OP} = \sum_{\ell=1}^P \Delta_{S_\ell} + k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{OS_i}^2 + \sum_{k=1}^M t_k^2 \sigma_k^2}, \quad (7)$$

$$\Delta_{OS} = 1,4 \sqrt{\Delta_{КУ}^2 + \Delta_{НК}^2 + \Delta_{ЗК}^2 + \Delta_{И}^2 + \Delta_{ФВ}^2 + \Delta_{НУ}^2},$$

где Δ_S – ℓ -я систематическая составляющая ЗСК ($\Delta_{S_\ell} = \Delta_{МЗ} = 0,35$ нс – погрешность меры задержки); Δ_{OS} – неисключенная систематическая погрешность и ее составляющие: $\Delta_{КУ}$, $\Delta_{НК}$ – из-за влияния параметров зондового КУ и конечного времени нарастания ПХ измерительных каналов; $\Delta_{ЗК}$ – из-за задержки испытательных и выходных сигналов в измерительных каналах; $\Delta_{И}$ – вносимая измерителем динамических параметров; $\Delta_{ФВ}$ – из-за влияния параметров формирователя испытательных воздействий; $\Delta_{НУ}$ – из-за нестабильности измерительных и согласующих устройств; k – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей.

В таблице представлены параметры ЗСК и ниже приведены их структурные схемы.

Особенности структурных схем зондовых систем контроля

Зондовые системы аналитического контроля изделий микро- и нанoeлектроники

Новый уровень изделий микро- и нанoeлектроники и переход в нанометровый (до 180–250 нм) диапазон проектирования новых изделий, тенденции повышения плотности межсоединений в микросхемах требуют совершенствования аналитических ЗСК. При разработке новых изделий микро- и нанoeлектроники необходимо обнаружение дефектов и проникновение во внутренние точки изделий, а также контроль прохождения сигналов внутри проектируемого изделия. Такие установки дают возможность осуществлять раннюю диагностику конструкторско-технологических дефек-

тов, повышающую надежность, и измерять электрофизические параметры проектируемых ИС (БИС).

Аналитические ЗСК имеют прецизионный позиционер по координатам X, Y, Z, φ, с помощью которого зонд специальной коаксиальной

или полосковой конструкции (с малыми размерами острой контактирующей части) наводится на контролируемую линию шириной десятые доли микрометра, и при необходимости резком отсоединяется часть изделия, после чего анализируется работа этой части микросхемы.

Таблица

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Измеряемые параметры | Зондовый аналитический (диагностический) контроль изделий микроэлектроники и оптоэлектроники: УСТАНОВКИ ЭМ-6040, ЭМ-6050, ЭМ-6070А | Зондовый контроль статических параметров, функционирования, параметров быстродействия БИС УСТАНОВКИ ЭМ-690, ЭМ-690Р, ЭМ-6190, ЭМ-6290, ЭМ-6520 | Зондовый температурный (тепло – холод) контроль УСТАНОВКИ ЭМ-6010, ЭМ-6020 | Зондовый контроль функционирования параметров, быстродействия БИС и СБИС УСТАНОВКИ ЭМ-680Д, (ЭМ-647Д1), ЭМ-690Р, ЭМ-6190, ЭМ-6290, ЭМ-6520 | Специальные ЗКУ -контроля параметров быстродействующих и сверхбыстродействующих ИС (БИС) УСТАНОВКИ Специальные |
| Емкость зонда относительно корпуса Сз-к, пФ ТУ/Факт. | 3,0/1,3 | 3,0/1,3 | 2,0/1,2 | 1,0/0,8–0,9 | 0,2–0,3/0,2–0,3 |
| Емкость между зондами Сз-з, пФ ТУ/Факт. | 2,0/1,4 | 2,0/1,5 | 1,5/1,4 | 1,0/0,7–0,9 | 0,2–0,4/0,2–0,3 |
| Индуктивность зонда и зондовых цепей L, нГ ТУ/Факт. | 150/100 | 150/100 | 150/100 | 100/80 | 5–15/5–15 |
| Переходное сопротивление R, Ом ТУ/Факт. | 0,5/0,1–0,2 | 0,5/0,1–0,2 | 0,5/0,1–0,2 | 0,5/0,1–0,2 | 0,5/0,1–0,2 |
| Сопротивление изоляции зондовых цепей, Ом ТУ/Факт. | $310^{12}/310^{12}$ | $2-10^{12}/2-10^{12}$ | $2-10^{12}/2-10^{12}$ | $1,5-10^{12}/1,5-10^{12}$ | $1-10^{12}/1-10^{12}$ |
| Число зондов (изм. каналов) | до 24 (с разномнож. до 48) | 72 (спец. УКФ до 260) | 72 (спец. УКФ до 260) | до 260 (спец. УКФ до 520) | до 260 (от числа выводов БИС) |

Зондовые системы для совмещенного статико-динамического и функционального контроля изделий микро- и нанoeлектроники среднего быстродействия

Так как операция зондового контроля предполагает получение механического контакта зондов КУ с площадкой контролируемой БИС, то неизбежно повреждается (допустимый предел – до 20 % площади) часть контактной площадки микросхемы. Для повышения производительности контроля и уменьшения повреждения контактных площадок целесообразно при контроле ИС (БИС) среднего быстродействия совместить динамический и статический контроль за одно контактирование, что усложняет конструкцию ЗСК и увеличивает погрешность измерения. Структурная схема и основ-

ные узлы ЗСК для совмещенного контроля ИС (БИС) на пластине представлена на рисунке 1.

Особенностью данной ЗСК является наличие между КУ и блоком коммутации переходного многоконтактного программируемого устройства, устанавливаемого на испытательные платы подключения и служащего для перехода от одного типа контролируемой БИС к другому, и входных измерительных цепей в виде подводящих испытательные сигналы к зонду линии передачи и отводящих их в коммутатор нагрузки (подсоединение зондов осуществляется к точке соединения линий передачи). Кроме того, к выходным измерительным цепям (статических и динамических измерительных цепей) подключаются эквивалент нагрузки и широкополосное согласующее устройство: активный или строб-пробник.

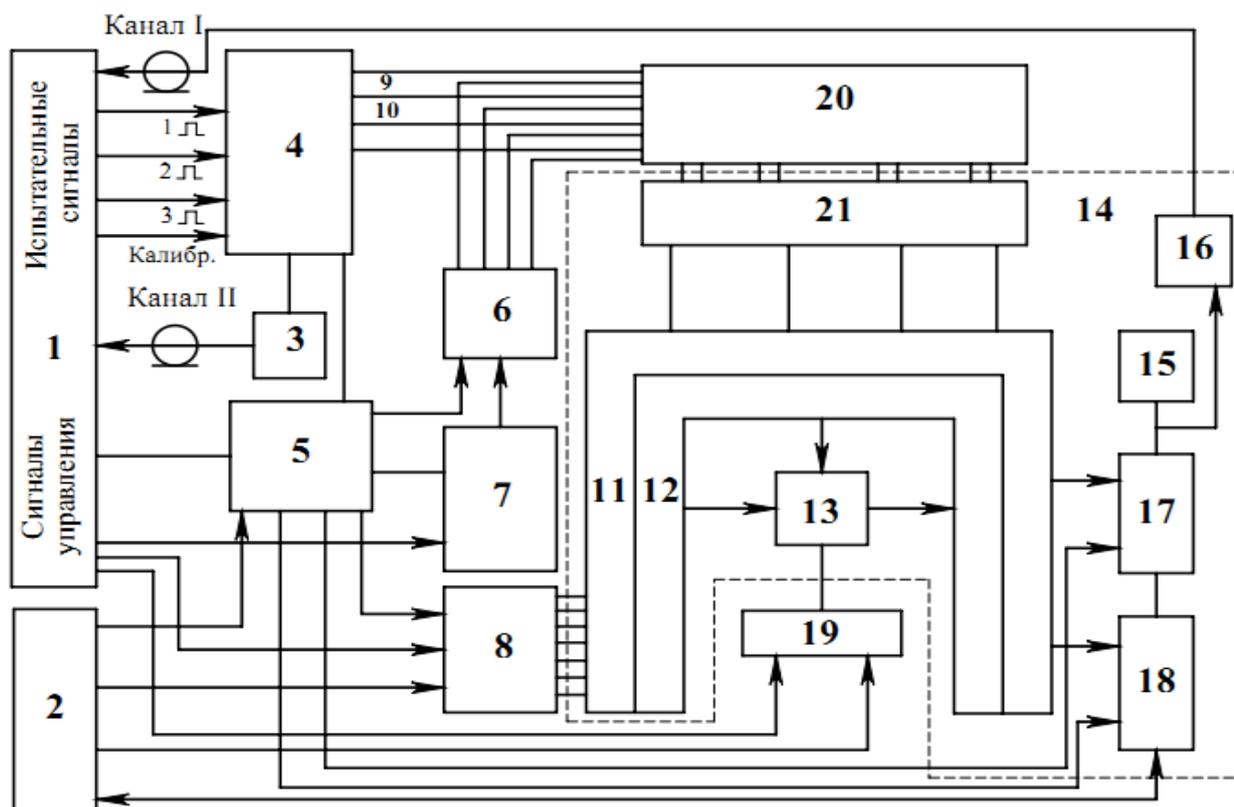


Рисунок 1 – Структурная схема зондовой широкополосной системы для совмещенного контроля динамических и статических параметров ИС (БИС) на пластине: 1,2 – измеритель динамических и статических параметров ИС (БИС); 3, 16 – входное и выходное согласующие устройства; 4, 17 – ВЧ-коммутатор входов и выходов ИС (БИС); 5 – устройство управления коммутацией и измерением; 6 – коммутатор ВЧ-нагрузок и смещения; 7 – коммутатор НЧ-сигналов и питания; 8, 18 – НЧ-входной и выходной коммутаторы; 9, 10 – ВЧ-линии передачи; 11- переходное многоконтактное устройство; 12 – зондовое КУ; 13- контролируемая ИС (БИС); 14 – испытательная плата; 15 - эквивалент нагрузки; 19 – позиционер по координатам X, Y, Z, φ; 20 – ВЧ-соединительная плата сдвоенных (падающих и отводящих сигналы ИС и БИС) коаксиальных кабелей; 21 – блок разъемных соединений типа СР

Во входных измерительных цепях такой ЗСК подача питания и смещения ИС (БИС) осуществляется через коммутатор нагрузки и смещения, а подача испытательных импульсных сигналов производится от генератора через ВЧ коммутатор и линии передачи 9, 10.

При использовании широкополосных контактирующих устройств (со сдвоенными линиями передачи) подача широкополосных сигналов осуществляется по согласованной коаксиальной или полосковой линии вплоть до контактной площадки ИС (БИС). В выходных измерительных цепях при измерении статических параметров используется соединение Кельвина, а при контроле динамических параметров (БИС) выходные импульсные сигналы подаются через коммутатор на широкополосные выходные согласующие устройства.

Зондовая система контроля параметров быстро- и сверхбыстродействующих изделий микро- и нанoeлектроники

В системах контроля динамических параметров быстро- и сверхбыстродействующих ИС (БИС) на пластине устанавливается на каждый зонд КУ универсальная миниплата (в микроэлектронном исполнении), имеющая измерительные, согласующие и коммутирующие цепи и обеспечивающая весь процесс измерения и контроля ИС (БИС). Упрощенная структурная схема ЗСК представлена на рисунке 2.

Система с измерительными зондами увеличивает широкополосность каналов ЗСК за счет размещения части коммутирующих, измерительных и согласующих цепей непосредственно в зонде контактирующего устройства. Это сокращает длину измерительных линий связи и уменьшает паразитные L , C – параметры и соответственно погрешность измерения быстродействующих микросхем. Элементы платы, размещенные в зонде, создают емкостную нагрузку 3–5 пФ, что ухудшает широкополосность и увеличивает погрешность измерения при контроле сверхбыстродействующих БИС. Требования к нагрузкам 9 ЗСК при контроле быстродействующих высокоомных (ТТЛ, ТТЛШ, МОП) и низкоомных 50-омных (ЭСЛ) БИС по входам и выходам противоречивы. Для удовлетворения условий контроля всех типов ИС длина линий связи, на которой размещены нагрузки, должна быть минимальной. Эффективными методами построения ЗСК являются

метод формирователей и метод «обтекания» контактных площадок ИС (БИС) испытательными сигналами. В первом случае формирователи, расположенные непосредственно у контактных площадок и управляемые от блока коммутации, формируют сигналы с фронтами 1–5 нс; во втором случае испытательные сигналы (по линиям связи 5, 6) подводятся к контактной площадке БИС и одновременно отводятся в коммутатор нагрузки 9, где размещена согласованная нагрузка. В обоих случаях обеспечивается подача и коммутация испытательных широкополосных сигналов на контактную площадку контролируемой ИС (БИС) с минимальными искажениями формы и выбросом на ПХ не более 3–4 %.

Для контроля сверхбыстродействующих ИС (БИС) используются сдвоенные полосковые линии, встроенные во входные КУ, а в выходные КУ встраиваются в микроэлектронном исполнении ВЧ-согласующие устройства ($C = 2–4$ пФ), $t = 0,25–0,5$ нс, размещенные вместе с эквивалентом нагрузки в зондах КУ [2].

Температурный зондовый контроль интегральных структур на пластине

В мировой практике зондового контроля используются методы специального зондового контроля при повышенной температуре с помощью термостолов в температурном диапазоне 30–130 °С (погрешность задания температуры ± 2 °С) и пониженной температуре в криогенных зондовых установках при разработке и исследовании параметров специальных быстродействующих изделий микроэлектроники на пластине [3]. Разработанные зондовые установки используют микрокамеры и большие камеры тепла и холода при функциональном контроле и измерении статических параметров. Установки температурного зондового контроля ЭМ-6010, ЭМ-6020 эксплуатируются в Республике Беларусь, СНГ, КНР, Корея.

Экспериментальное определение переходных характеристик широкополосных контактирующих устройств

Проведение на пластине контроля на функционирование и в особенности измерение параметров современных быстродействующих БИС ТТЛ- и ЭСЛ-типа с длительностью фронта и среза сигналов соответственно 5–15 нс и

0,5–5 нс с погрешностью $\pm(5-10) \%$ представляет сложную техническую задачу. Основным узлом ЗСК, воспринимающим информацию о ВЧ-параметрах измеряемых микросхем, является зондовое контактирующее устройство. Контроль динамических параметров и функциональный контроль на пластине может проводиться универсальными КУ (УК-1, УК-2), вносящими существенную погрешность в измерение быстродействующих БИС, однако они мо-

гут использоваться для контроля ИС среднего быстродействия. УКФ с числом зондов до 260 используются для контроля быстродействующих БИС. Широкополосные КУ имеют ПХ 0,2–0,4 нс и определены с помощью рефлектометрической установки пикосекундного диапазона, состоящей из стробоскопического осциллографа (полоса частот 10 ГГц), генератора пикосекундных импульсов И1-12 (50 пс; 70 пс; 100 пс) и согласующих устройств [1].

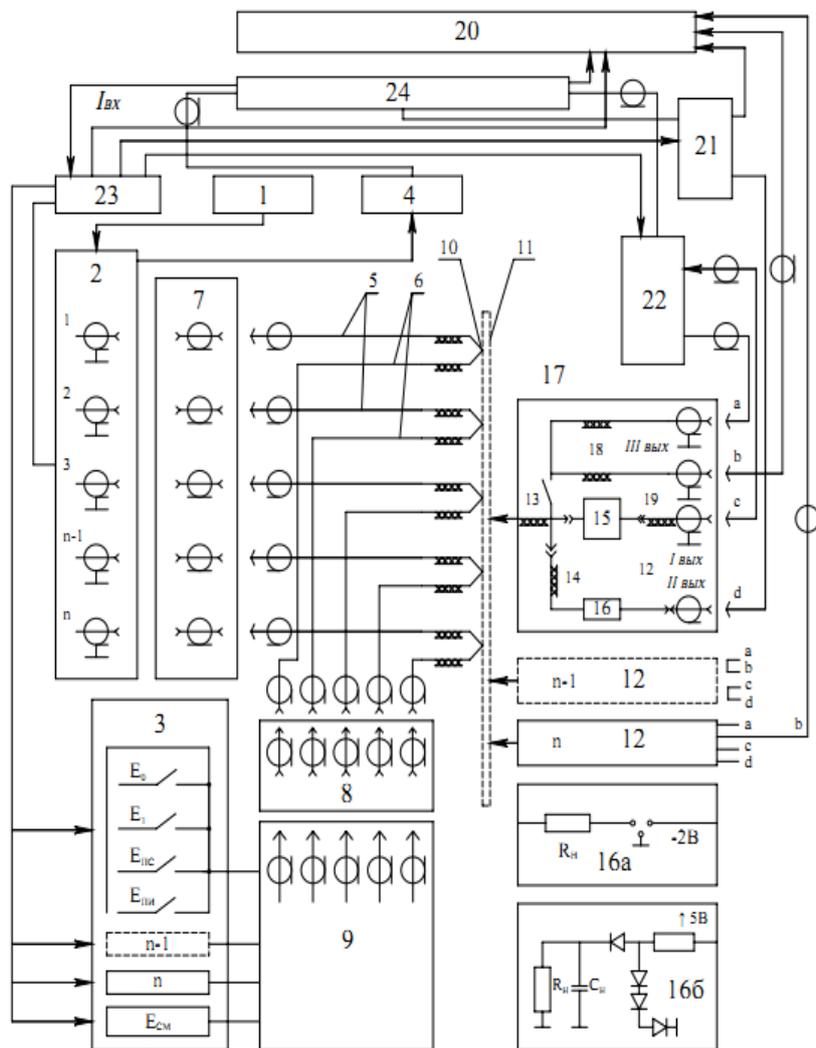


Рисунок 2 – Структурная схема зондовой широкополосной системы для контроля динамических параметров быстродействующих и сверхбыстродействующих ИС (БИС) на пластине и кристалле: 1 – генератор испытательных сигналов; 2, 3 – ВЧ и НЧ коммутаторы; 4, 15 – входное и выходное согласующие устройства; 5, 6 – входные полосковые линии; 7, 8 – основная и дополнительная разъемные линии; 9 – коммутатор нагрузок, питания и смещения; 10 – зонды; 11 – контролируемая ИС; 12 – выходные измерительные цепи; 13, 14, 17, 18, 19 – полосковые линии (выходные и калибровки); 16 – эквивалент нагрузки (16а – низкоомный, 16б – высокоомный); 20 – коммутатор нагрузки сигналов калибровки; 21, 22 – ВЧ и НЧ коммутаторы сигналов калибровки; 23 – устройство управления коммутацией и измерением; 24 – измеритель динамических параметров ИС

Заключение

Предложенные принципы построения автоматических ЗСК (защищенных авторскими свидетельствами и патентами) и их исследования позволили создать зондовые системы для аналитического и межоперационного контроля всей номенклатуры ИС (БИС). Разработанные для ЗСК контактирующие устройства (в том числе до 260 зондов) позволяют осуществлять контроль ИС (БИС) на кристалле в наносекундном диапазоне: до 1 нс – с погрешностью $\pm (5-10) \%$, в диапазоне 0,3–1 нс – до $\pm 20 \%$.

Разработанные впервые в СНГ прецизионные позиционеры на ЛШД (по координатам X, Y, Z, φ) и магнитовоздушной подушке обеспечивают погрешность позиционирования $\pm (2-3)$ мкм на поле 150×150 мм. Время нарастания ПХ широкополосных КУ, измеренное с помощью рефлектометрической установки пикосекундного диапазона, составило 0,25–0,4 нс,

что позволяет проводить контроль сверхбыстродействующих БИС.

Работа выполнена в рамках НТП Союзного государства «Нанотехнология-СГ».

Список использованных источников

1. Минченко, В.А. Измерение переходной характеристики и задержки широкополосных контактирующих устройств для контроля параметров интегральных микросхем на пластине / В.А. Минченко. – Электронная техника. – Сер. 8. – 1992. – Вып. 5 (122). – С. 83–86.
2. Минченко, В.А. Увеличение широкополосности контактирующих устройств для контроля БИС на пластине / В.А. Минченко, А.В. Ярош, В.С. Кононов. – Электронная промышленность. – 1991. – № 10. – С. 58–59.
3. Котани. Конструкция и характеристики зондовой установки для низкотемпературных испытаний интегральных структур / Котани. – Приборы для научных исследований. – 1986. – № 1.

Minchenko V.A., Kovalchuk G.F., Shkolyk S.B

Design principles and block schemes of the probe automatic inspection systems for micro- and nanoelectronics on a wafer

In this work we suggested the principles of design and block schemes of probe systems for analytical and interoperation measurement and inspection of high-speed micro- and nano on - a chip systems in the nano-second range. The sources of wideband signals distortion and errors of probe inspection systems for large integrated circuits inspection as well as transient response of high speed contacting probes are considered with the OTDR device with picosecond resolution. The features and defined errors of precision positioners for linear stepper motors and magnetic air motors for precise positioning of the probes on the pads with automatic sensing of LSI wafer are discussed.

Key words: probe testing, semiconductor wafer.

Поступила в редакцию 09.01.2012.