

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

УДК 631.327.521 : 681.3.06

И. М. АРСЕНИН, В. В. БАЧУРИН, В. И. ГЕРАСЬКО,  
Ю. А. ГРЯЗИН, Б. Х. ЗИНГЕР, В. А. ИВАНЧЕНКО,  
А. Н. КАСПЕРОВИЧ, С. М. КОНОНОВ, И. Е. ЛОВОВ,  
Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, В. И. ПРОКОПЕНКО, А. Н. ПРОСЕКОВ,  
В. Г. СУТЯГИН, А. А. ЯНТИМИРОВ

(Воронеж — Новосибирск)

### СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ НА РАСТРОВЫМ ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ

В последнее время значительно возрос интерес исследователей в самых различных областях науки к использованию растровых электронных микроскопов (РЭМ). Такой микроскоп дает информацию о материале и структуре поверхности объекта в диапазоне увеличений 500 — 100 000. Этот диапазон в значительной мере перекрывается диапазоном увеличения оптического микроскопа на нижней границе и просвечивающего электронного микроскопа на верхней границе. В сочетании с прецизионной «подвижкой» предметного стола такие особенности делают РЭМ незаменимым инструментом, обладающим большим полем экрана и высоким разрешением при исследовании микрообъектов.

Наряду с описанными достоинствами, большая часть существующих РЭМ имеет заметный недостаток: нельзя признать удовлетворительным принятый метод регистрации изображения объекта. В типичном РЭМ изображение формируется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), на которую синхронно с разверткой раstra микроскопа выводится изображение исследуемого объекта. При этом существует обратная зависимость между скоростью развертки раstra РЭМ и качеством изучаемого изображения: при быстрой развертке высок уровень шумов.

С другой стороны, при получении устойчивой (целиком воспринимаемой глазом) картины время заполнения экрана не должно превышать долей секунды. Данное противоречие до недавнего времени разрешалось путем регистрации изображения на фото пленку, что значительно усложняет процедуру получения изображения. Помимо естественных неудобств, вызываемых значительными временными задержками, добавление нового технологического процесса вносит в изображение дополнительные погрешности. Это особенно существенно при исследовании относительно крупных объектов, которые для обеспечения достаточного разрешения приходится разбивать на большое число фрагментов. Цель описываемой разработки — создание рабочей станции для анализа и обработки высокоинформативных изображений, полученных с помощью растрового электронного микроскопа (в реализованном варианте использовался РЭМ ZRM («Карл Цейсс», ГДР)).

Аппаратное и программное обеспечение системы предназначено для решения широкого круга исследовательских задач — анализа биологических и медицинских микрообъектов, полупроводниковых структур и т. д.

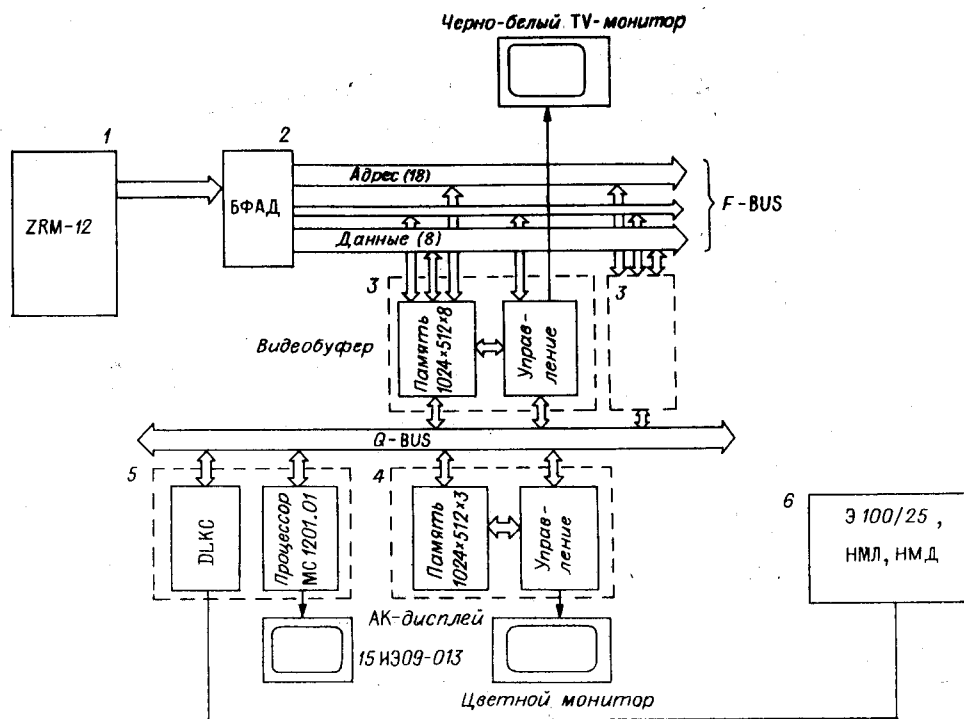


Рис. 1

Новые области применения систем обработки изображений, в том числе предлагаемого комплекса, — контроль топологии и тестирование больших интегральных схем (БИС). Поэтому комплекс спроектирован таким образом, чтобы он мог быть составной частью системы автоматизированного проектирования БИС. Для этой цели, в частности, предусмотрено соответствующее стандартизованное представление данных.

**Принципы построения и архитектура системы.** Оценки показывают, что в настоящее время невозможно обеспечить необходимые для проектировщика или исследователя скорость и четкость обработки сложных изображений, получаемых с помощью растрового электронного микроскопа, с применением существующего стандартного оборудования. Поэтому поставленная задача может быть решена путем создания проблемно-ориентированного вычислительного комплекса.

В основу архитектуры комплекса были положены следующие принципы:

- модульность структуры с использованием специальных блоков (аппаратных и программных) для выполнения отдельных функций;
- интеллектуализация внешних устройств (видеобуфера, средств графического вывода, координатного манипулятора и т. д.);
- сведение к минимуму разработки нестандартного оборудования;
- стандартизованное подключение к системе новых устройств и программных разработок;
- возможность параллельной обработки массивов данных;
- возможность простой адаптации системы к типу приемного устройства (микроскопа) и используемой графической станции.

В качестве базовой выбрана трехуровневая структура, причем каждый ее уровень является законченной функционально независимой подсистемой (рис. 1). Нижний уровень предназначен для ввода и оцифровки изображений с РЭМ и формирования адресов из аналоговых разверток РЭМ.

Для практической реализации идеи параллельности обработки информации в основу архитектуры комплекса положена двухшинная

организация. Через шину Q-BUS реализуется оперативное программное управление работой системы от ЭВМ класса «Электроника 60» и при необходимости быстрая ее реконфигурация для обеспечения максимально-го аппаратно-программного быстродействия. По F-шине осуществляются процессор, АЛУ, табличный преобразователь интенсивности, дополнительные карты памяти). Ее формат определяется размерностью кадра и равен 22 разрядам: 18-разрядной шине адреса и 8-битовой шине данных. Кроме этих основных сигналов, по F-шине предусмотрена передача управляющих и синхронизирующих импульсов. С F-BUS данные поступают в видеобuffer (2-й уровень), который является связующим звеном между шинами Q-BUS и F-BUS.

Конкретная работа с изображениями в основном сосредоточена на 3-м уровне. Кроме того, этот уровень используется для общего управления комплексом, тестирования, регистрации и документирования результатов. Аппаратная основа 3-го уровня — управляющая ЭВМ типа Э 100/25 и цветная графическая станция на базе ЭВМ «Электроника 60» [1].

В соответствии с вышеизложенным система состоит из следующих основных блоков (см. рис. 1): РЭМ ZRM-12 1; блок формирования адресов и данных (БФАД) 2; черно-белый полутоновый видеобuffer 3; цветная графическая станция 4; процессор MC 1201.01 с периферийными устройствами 5; центральная ЭВМ Э 100/25 (HOST-компьютер) с периферийными устройствами 6.

HOST-компьютер в силу большей производительности осуществляет основные вычисления, связанные с работой графического редактора, обеспечивает работу с внешней памятью (накопители НМД, НМЛ) и поддерживает связь с ЭВМ типа «Электроника 60». Последняя занята непосредственно поддержкой работы графической аппаратуры на нижнем уровне (обработка прерываний, построение графических примитивов и т. д.). Предполагается, что HOST-компьютер будет управлять несколькими такими комплексами графического оборудования (их число зависит от производительности компьютера, Э 100/25 может поддерживать два рабочих места).

В качестве цветной графической станции был выбран цветной графический дисплей растрового типа [1] (так называемый АК-дисплей). Его достоинствами являются малый объем оборудования, сочетающийся с хорошими возможностями, а также довольно широкое распространение. Дисплей имеет ряд аппаратных функций. Среди них наличие двух «кадров» памяти размерностью  $512 \times 512$  пиксел, возможность масштабирования, выделения «окон» и т. д.

В полутоновом видеобufferе для программной преемственности использована идеология растрового дисплея. Это позволило включить в систему два сходных по внутренней структуре видеобufferа и иметь одинаковую возможность отображения как реального полутонового, так и цветного обработанного графического изображения.

Управление системой производится с помощью алфавитно-цифрового дисплея и координатного манипулятора («мышь») (для управления курсором). Оцифрованное реальное изображение выводится на черно-белый полутоновый монитор, а обработанное или псевдораскрашенное — на цветной. Предусмотрена возможность передачи полутонового изображения через канал последовательной связи DLKC (либо стандартный телеграфный канал) в HOST-машину Э 100/25 для обработки или записи на долговременные цифровые носители НМЛ, НМД.

Система соединяется с РЭМ (расположенным в другом помещении) кабельной линией связи, оборудованной соответствующими схемотехническими драйверами, поскольку при их объединении возникает задача подавления помех (разные потенциалы точек заземления).

В макетном образце системы реализовано следующее оборудование: каналы связи с РЭМ, канал связи с мини-ЭВМ, видеобuffer черно-белого изображения и цветная графическая станция. Конструктивно система выполнена в корзине стандарта Q-BUS, в которой размещены видеобuffer, блок формирования адресов и данных, процессор ЭВМ и интерфейсы.

**Работа системы в режиме ввода и обработки топологии БИС.** В соответствии с задачами регистрации, обработки, контроля и кодировки изображения топологии БИС в системе предусмотрен диалоговый режим работы и Цветной на черно-белом. Изображение топологии ИС, полученное с микроскопа. Это изображение оператор с помощью совмещенного маркера может поэлементно переносить на цветной монитор, экран которого первоначально чист. При этом в памяти компьютера автоматически создается копия перенесенного изображения в векторной форме.

**Блок формирования адреса и данных.** Для создания двумерного цифрового массива данных необходим собственный блок формирования адреса и данных, который производит бы равномерное разбиение поля сканирования луча РЭМ, тем самым создавая сетку  $512 \times 512$  пиксел, в узлах которой находились бы оцифрованные значения выходных сигналов с детекторов вторичных и отраженных электронов (ВЭ и ОЭ).

Растровый электронный микроскоп ZRM-12 не имеет цифровой системы формирования разверток. пилообразные напряжения, поступающие на отклоняющую систему, формируются аналоговыми цепями с достаточно большой нелинейностью (порядка 5 %), поэтому разбиение раstra по осям X и Y на равные временные интервалы с квантом, равным  $1/512$  длительности развертки, приведет, вообще говоря, к искажению точного соответствия между размерами элементов объекта и изображением на TV-мониторе. Предлагаемое решение этой задачи заключается в том, что в БФАД квантуется не длительность развертки, а напряжение, пропорциональное току отклоняющей системы. Для этой цели используются 9-разрядные АЦП следящего типа (рис. 2). При этом приращение текущего адреса элемента проводится только при достижении пилообразным напряжением развертки порога, равного  $1/512 U_{\max}$ . Таким образом, нелинейность развертки не вносит искажений в получаемое изображение исследуемого объекта.

Рассмотрим работу адресной части БФАД. На вход 1-го входного буфера поступает пилообразный сигнал X-развертки с линии ZRM-12 — БФАД. Входной буфер представляет собой измерительный усилитель с высоким коэффициентом подавления синфазной составляющей. Этот сигнал далее поступает на АЦП следящего типа, построенный на основе 12-разрядного ЦАП. Содержимое счетчика I является адресом по оси X. Аналогичным образом работает формирователь адреса по оси Y. Неравномерность расположения отсчетов по X- или Y-направлениям определяется дифференциальной нелинейностью следящего АЦП, которая не превышает 10 % кванта шкалы.

Восьмиразрядный АЦП данных (Video) построен по параллельно-последовательному принципу, что позволяет получить достаточно малое время преобразования и приемлемую дифференциальную нелинейность. Строб «Начало преобразования» для АЦП данных формируется в

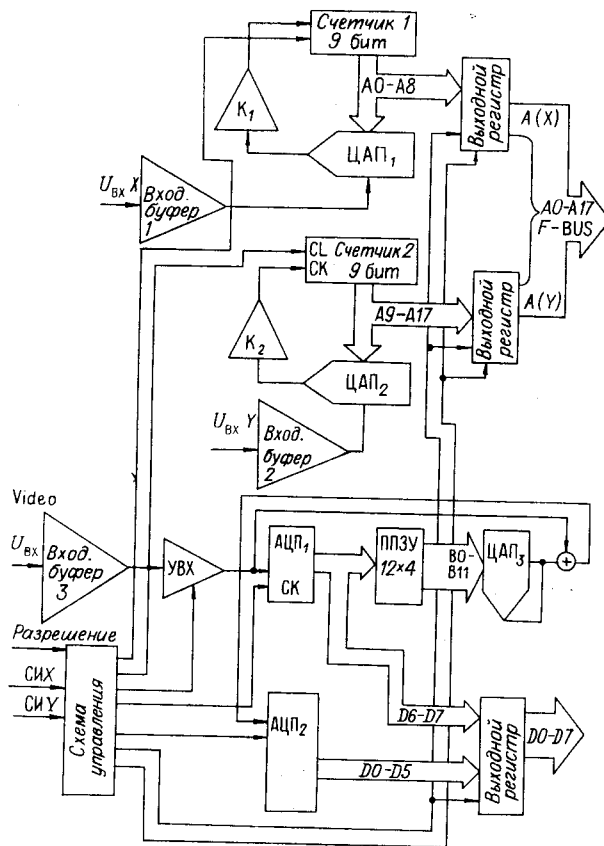


Рис. 2

момент инкрементирования адреса  $X$  блока формирования адреса. По этому сигналу УВХ (устройство выборки и хранения) адреса фиксирует выборку из текущего значения сигнала с детекторов вторичных электронов, которая проходит первоначальную оценку на «грубом» АЦП<sub>1</sub>. Затем 2-разрядный код, являющийся двумя старшими разрядами АЦП данных, поступает на ППЗУ, которое формирует 12-разрядный управляющий код для АЦП<sub>3</sub>, с тем, чтобы АЦП<sub>3</sub> создал напряжение смещения входного сигнала. Входной сигнал суммируется с напряжением смещения так, чтобы попасть в рабочую зону АЦП<sub>2</sub>, выходной код которого представляют младшие 6 бит результата.

**Видеобуфер.** Видеобуфер реального изображения предназначен для записи в реальное время данных об интенсивности

вводимого изображения и визуализации зарегистрированного изображения на стандартном черно-белом мониторе. Память видеобуфера трехпортовая ( $F$ -,  $Q$ -,  $M$ -BUS) и обеспечивает одновременную запись информации, поступающей из РЭМ, обмен данными с управляющей ЭВМ и просмотр их на телевизионном мониторе.

При проектировании видеобуфера (ВБ), как указывалось выше, ставилась задача его функциональной совместимости по управлению от ЭВМ с АК-дисплеем. Отсюда вытекают требования к характеристикам ВБ (сервисным возможностям и функциям регистров): поле памяти изображения  $1024 \times 512$  8-битовых точек изображения; визуализируемый кадр  $512 \times 512$ ; масштабирование  $1:1$ ;  $1:2$ ;  $1:3$ ; ...;  $1:8$ ; движение по полю изображения в режиме «окна» при любом масштабе; возможность записи (чтения) ВБ по шинам  $F$ -BUS (со скоростью до 100 нс/пиксел) и  $Q$ -BUS; выходной сигнал — полный телевизионный сигнал по ГОСТу.

Структурная схема ВБ представлена на рис. 3.

Видеобуфер можно разделить на две основные части (платы): управление 1 и банк памяти изображения 2. Управляющая часть содержит пять блоков.

1. Синхронизатор SINC генерирует управляющие сигналы для работы ВБ, инициирует обмен данными в многопортовом режиме работы и вырабатывает синхросмесь для визуализации изображения на телевизионном мониторе.

2. Интерфейс (INTERFACE) необходим для дешифрации команд обмена данными и поддержания протокола работы  $Q$ -BUS.

3. Блок формирования адресов (БФА) состоит из схем формирования адреса для записи (чтения) данных от ЭВМ (MEM ADR  $Q$ ), счет-

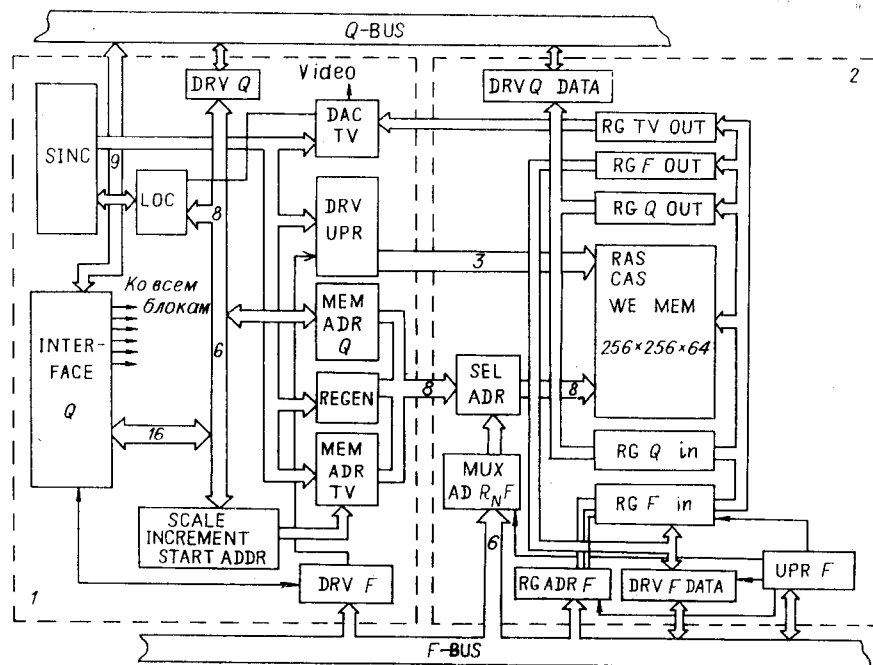


Рис. 3

чика регенерации (REGEN) и программируемого счетчика адреса точек изображения для визуализации (MEM ADR TV), которые программируются при помощи трех регистров: регистра масштаба (SCALE), регистра, задающего поле визуализируемого изображения (INCREMENT), и регистра, показывающего виртуальную точку начала визуализации. Работой БФА управляет синхронизатор. Он выдает сигналы, реализующие подключение каждого из трех портов в строго определенное время.

4. Блок формирования маркера (LOC) служит для задания на экране TV-монитора перекрестия, состоящего из пересекающихся вертикальной и горизонтальной линий, при помощи которых можно указать интересующую точку или фрагмент изображения. Этот блок выполнен на основе загружаемых от ЭВМ 9-разрядных счетчиков.

5. Блок визуализации (DAC TV) служит для преобразования 8-битового кода яркости точки изображения в аналоговый сигнал, содержащий 256 градаций яркости. Этот сигнал складывается с сигналом маркера и в нужных пропорциях с синхросмесью. Результатом работы такого блока является полный телевизионный видеосигнал, который отображает данные памяти видеобuffers на экран черно-белого TV-монитора.

Конструктивно управляющая часть представляет собой печатную плату двойного формата в стандарте «Электроника 60», имеющую два печатных разъема, один из которых подключается к шине Q-BUS, другой — к F-BUS. С противоположной стороны на плате расположен третий разъем, соединяющий локальной шиной плату управления с платой памяти.

Структура блока памяти изображения (БПИ) обеспечивает трехпортовый режим работы, при этом запись или чтение памяти в любом из портов производится в произвольное время независимо от операций, выполняемых другим портом. Отсюда вытекают временные ограничения на операции записи — чтения. Цикл обращения к памяти составляет 1600 нс, он разбит на 4 такта по 400 нс; первый и третий такты — чтение памяти для визуализации, второй такт — обмен данными с Q-BUS, четвертый — обмен данными с F-BUS. Если операций обмена не происходит, то второй и четвертый такты заменяются регенерацией памяти.

Накопительная матрица выполнена на микросхемах 565РУ5 и имеет объем 64 К 64-разрядных слов ( $256 \times 256 \times 64$ ). Через буферные 64-разрядные регистры ( $8 \times ИР23$ ) происходит переформирование входного слова в 8 байт.

БПИ содержит схему формирования адресов памяти для *F*-BUS, функция которой — мультиплексировать 16 старших разрядов адреса *F*-BUS, поступающих на адресный селектор, управляемый синхронизатором, а затем на адресные входы микросхем памяти. Три младших адреса *F*-BUS выбирают один из восьми входных (выходных) регистров. Платы видеобуфера связаны с управляющими шинами *Q*-BUS и *F*-BUS через драйверы линии DRVQ и DRVF.

Конструктивно плата БПИ выполнена аналогично плате управления. Управляющие сигналы на плату памяти и данные для визуализации, полученные из памяти, подаются с одной платы на другую через кабель, содержащий 30 скрученных пар провода.

**Программное обеспечение системы.** Ниже приводится краткое описание архитектуры и основных положений программного обеспечения системы регистрации, кодирования и редактирования топологии СБИС на базе растрового электронного микроскопа. Система регистрации — это программно-аппаратный комплекс, позволяющий в интерактивном режиме регистрировать, кодировать и редактировать топологию СБИС, информация о которой поступает с РЭМ.

Программное обеспечение состоит из трех основных компонентов:

1) программное обеспечение подсистемы, реализующей в режиме меню ряд проектно-конструкторских алгоритмов (для выполнения, например, таких операций, как провести шину; создать библиотечный элемент);

2) программная поддержка созданного для выполнения этих алгоритмов структурированного набора графических примитивов (прямоугольник, полигон, круг, библиотечный элемент и т. п.);

3) МО и комплекс программ для графической станции, взаимодействия оператора с HOST-ЭВМ и электронным микроскопом.

Входной информацией системы может служить: полутоновое изображение СБИС, считанное с РЭМ и подлежащее контролю или кодированию; описание топологии СБИС в формате SOURCE системы 15УТ-4-017 («Кулон-1»), подлежащее редактированию.

Результатом работы системы является представление топологии СБИС также в формате SOURCE.

Весь процесс проектирования отображается на цветном графическом дисплее, что обеспечивает визуальный контроль. Конструктор-проектировщик имеет возможность уменьшать или увеличивать изображение (работать в режиме «окна»), а также создавать, удалять, модифицировать, дублировать элементы или записывать результат проектирования на магнитные диски для дальнейшей обработки.

Система обеспечивает обработку библиотечных элементов с неограниченной глубиной вложения. При этом одинаковые фрагменты могут быть реализованы в качестве библиотечных элементов и затем мультиплицированы необходимое количество раз. Такой метод привлекателен тем, что набор библиотечных элементов может быть подготовлен для последующего использования высококвалифицированным конструктором.

Реализован удобный интерфейс взаимодействия конструктора с системой в режиме меню. В этом режиме происходит установка многих параметров системы таких, как: количество и окраска отображаемых слоев, формат и привязка «окна», масштаб используемой сетки, имена входных и выходных файлов с описанием топологии, имя сохраненного или восстанавливаемого сеанса, имена создаваемых или подключаемых библиотечных элементов.

Многие операции, связанные с графическим отображением топологии, а также с манипуляциями над графическими примитивами, выпол-

няются на графической станции. За счет этого значительно повышается автономность выполнения графических функций, а центральная ЭВМ разгружается от рутинных операций.

Для ускорения процесса проектирования в системе введен программный курсор. Программный курсор перемещается по сетке с шагом, заданным конструктором посредством меню, кратным 0,1 мкм. Введение программного курсора позволяет легко контролировать и соблюдать различные технологические ограничения на размеры и взаиморасположение геометрических примитивов топологии СБИС.

Необходимо отметить, что в реализованном варианте системы максимально допустимое количество слоев топологии равно 100, однако редактирование можно совершать лишь в активных слоях, указанных конструктором в меню (разрешенных для модификации). Активные слои могут быть выбраны только из числа отображенных слоев. Таким образом обеспечивается визуальный контроль всех действий и значительно сокращается число возможных ошибок.

Редактирующие действия можно осуществлять как над отдельными геометрическими примитивами, так и над группами элементов. Автоматически можно контролировать углы геометрических примитивов.

Следует отметить, что редактировать следует лишь элементы, указанные конструктором. Задание элементов, подлежащих редактированию, производится курсором либо «окном» (прямоугольной областью). При этом левый нижний угол «окна» привязывается курсором к точке экрана нажатием кнопки «Отбор окном». «Окно» динамически перерисовывается на экране по мере перемещения курсора. Выбранные для редактирования элементы выделяются на экране подсвечиванием их границ. В случае необходимости выборку легко отменить, при этом цвет границы прежде выбранных элементов восстанавливается.

Для того чтобы обрабатывать большие массивы информации (количество геометрических примитивов может составлять  $10^5$ ), были созданы специализированные структуры данных и реализованы соответствующие методы обработки, позволяющие обеспечить приемлемую реакцию системы на действия конструктора-проектировщика. Для хранения и обработки структур данных потребовалось реализовать виртуальную память с 32-разрядной адресацией. Необходимость в 32-разрядной адресации обусловлена размерностью задачи (количеством геометрических примитивов). По тем же соображениям возникла необходимость в реализации подпрограмм, реализующих целую арифметику над 32-разрядными словами.

Программное обеспечение реализовано в рамках операционной системы RSX-11M.

Так как основная часть программного обеспечения написана на машинно-независимом языке программирования Паскаль, то система является в большой мере переносимой. Модульная организация программного обеспечения позволяет легко расширять функциональные возможности системы.

## ВЫВОДЫ

Создан действующий аппаратно-программный комплекс цифровой регистрации и обработки изображения топологии микросхем на линии с растровым электронным микроскопом.

В процессе создания системы стали ясны дополнительные области ее применения. Среди них прежде всего следует указать электронно-лучевое тестирование БИС. Система цифровой регистрации РЭМ-изображения — база для создания электронно-лучевого тестера [2].

Кроме того, возможность регистрации изображения за один проход зондирующего луча открывает перспективы использования РЭМ-методик при локальном анализе поверхности и состояний узкозонных полупроводников, сегнетоэлектриков и диэлектриков.



Дополнительным аспектом применения цифровой системы регистрации РЭМ-изображений является возможность реализации оперативной электронно-лучевой литографии на анализируемой поверхности.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность С. Л. Мушеру за обсуждение проекта системы и текста статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев А. М., Талныкин Э. А. Графический дисплей растрового типа для систем двухкоординатного проектирования // Автометрия.— 1984.— № 4.
2. Page Walton J. Wafer imaging and analysis // European Semiconductor Design and Production.— 1984.— V. 5, N 6.

Поступила в редакцию 23 ноября 1987 г.

УДК 519.67 : 629.78

О. И. БИТЮЦКИЙ, В. С. КИРИЧУК, Г. И. ПЕРЕТЯГИН

(Новосибирск)

### ВЫДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ОТЛИЧИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Обработка серии изображений с целью поиска и выделения локальных изменений практически во всех случаях сводится к совместному анализу двух изображений: текущего  $[X]$  и его оценки  $[\hat{X}]$ , представляемых двумерными массивами данных. Оценка  $[\hat{X}]$  производится по всему множеству повторных изображений поиском экстремума некоторого критерия. Критерий выбирается исходя из априорных сведений о характере обрабатываемых изображений и из соображений практической реализуемости процедуры [1]. Рассматриваемые нами изображения  $[X]$  и  $[\hat{X}]$  представимы аддитивной смесью неизменной части сигнала фона, присутствующего во всех изображениях, объектов и помех (шумы измерения, квантования, несовершенства датчиков, геометрическое несоответствие отсчетов и т. д.):

$$[X] = [F] + [W] + [\Xi];$$

$$[\hat{X}] = [F] + [H],$$

где  $[F]$  — изображение фона;  $[W]$  — изображение объектов;  $[\Xi]$  — случайная составляющая измерений;  $[H]$  — погрешность оценки изображения  $[\hat{X}]$ . Необходимо по результатам измерений  $[X]$  и  $[\hat{X}]$  оценить значения  $[W]$  (в исходном изображении  $[X]$ ) для принятия соответствующих статистических выводов. Приступая к решению данной задачи, будем считать, что  $X$ ,  $\hat{X}$  и т. п. являются  $n^2$ -мерными векторами, полученными из  $[n \times n]$ -матриц  $[X]$ ,  $[\hat{X}]$  и т. д. «разверткой» в одномерную последовательность некоторым регулярным способом (например, по столбцам).

**Критерий.** Метод максимального правдоподобия (ММП) в предположениях гауссовости распределения  $\Xi$  и  $H$  и детерминированности функции  $F$  приводит к поиску минимума функционала

$$J = \begin{pmatrix} X - F - W \\ \hat{X} - F \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} K_{\xi\xi} & K_{\xi h} \\ K_{\xi h} & K_{hh} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X - F - W \\ \hat{X} - F \end{pmatrix}$$

по векторам параметров  $F$  и  $W$ , где  $K_{\xi\xi}$ ,  $K_{\xi h}$ ,  $K_{hh}$  — авто- и кросскорреляционные матрицы случайных векторов  $\Xi$  и  $H$ . Нетрудно показать (невы-