

УДК 004.93'1

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

С. М. Аваков, генеральный директор ОАО «Планар», д. т. н., доцент

А. А. Воронов, старший научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси, к. т. н., доцент

В. В. Ганченко, старший научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси, к. т. н.

В статье описана авторская архитектура программного обеспечения системы технического зрения для контроля критических размеров изготовления сверхбольших интегральных схем, используемых в телекоммуникационном оборудовании. Рассматриваются преимущества выбранной архитектуры, а также ее применение для решения задач анализа изображений микросхем, изготовленных по субмикронным нормам с помощью оборудования автоматического контроля топологии.

Ключевые слова: СБИС, машинное зрение, системы технического зрения.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых проблем при производстве полупроводниковых пластин является обеспечение их бездефектного изготовления. В настоящее время автоматический контроль и исправление дефектов полупроводниковых пластин уже достаточно широко применяется в микроэлектронике [1]. В связи с усложнением микросхем и переходом на субмикронные нормы проектирования СБИС возникает необходимость решения задач обработки, хранения, приема и передачи больших объемов данных с использованием современных интерфейсов. Для этого требуется разработка оригинальных подходов, методов и алгоритмов цифровой обработки изображений, оптических методов и приборов контроля технологических процессов, компьютерных методов и алгоритмов анализа получаемых в литографическом процессе данных, позволяющих в полной мере соответствовать условиям субмикронного производства, обеспечивать качественную отработку процессов фотолитографии при изготовлении СБИС и сокращение стоимости производства [2].

Актуальной задачей при разработке и выпуске конкурентоспособных наукоемких изделий микроэлектроники является создание современной научно-технической и производственно-технологической базы производства: интегральных микросхем (ИС) и полупроводниковых приборов (ПП), спроектированных по субмикронным нормам, а также оптико-механического, контрольно-измерительного и сборочного оборудования.

Обновление технологического потенциала электронного машиностроения является основой для повышения конкурентоспособности других отраслей народного хозяйства. Современные средства разработки электронных схем направлены на сокращение времени освоения и запуска в производство новых изделий, а также на понижение стоимости цифровой аппаратуры при ее массовом производстве. Такую возможность и обеспечивает названная выше технологическая база, в том числе системы ма-

шинного (технического) зрения, которые являются составной частью современной технологии проектирования и производства ИС [2].

В качестве объекта исследования выступает процесс контроля фотомасок и технологических слоев СБИС на изображениях, получаемых средствами видеозахвата. Обработка заключается в анализе и измерении различного рода элементов изображений, формировании отчетов по результатам анализа, управлении системой фокусировки, координатным столом и другими внешними устройствами, а также синтезе программы для управления специальным технологическим оборудованием оптического контроля изготовления ИС на основе систем технического зрения.

ТЕОРИЯ

В настоящее время успехи в машинном зрении позволяют обеспечить автоматизированный процесс производства как электронных компонент, так и ИС в целом.

Типовая система автоматического оптического контроля (САОК) выполняет следующие три основные функции:

- сбор изображений (оптическое сканирование);
- анализ изображений (детектирование дефектов);
- локализация дефектов (генерация отчета об ошибках).

Изображение объекта, полученное с помощью оптического прибора в устройстве первичной обработки изображения, усиливается и запоминается. Устройство анализа изображения (вторичной обработки) служит для выделения и распознавания объекта, определения его координат и положения. На основе полученной информации контроллер связи выбирает управляющие сигналы, которые приводят в действие исполнительные механизмы, осуществляющие целенаправленное воздействие на объект. При необходимости обработанная информация об объекте высвечивается на устройстве визуального контроля, записывается на носители информации и выводится на печатающее устройство или иные устройства вывода информации.

Основная задача для устройства первичной обработки состоит в подготовке (улучшении) изображения и частичном сжатии информации для уменьшения общего времени обработки изображения: изображения фильтруются, чтобы удалить фоновый шум и скорректировать геометрические искажения, производимые системой сбора данных. При этом изображение представляется в виде его характерных точек и параметров (центра объекта, размера, позиции, углов, расстояний от центра до края, размера контура, текстурных мер областей и т. д.), т. е. извлекаются признаки, которые формируют описание входного изображения.

Устройство вторичной обработки осуществляет анализ и распознавание изображения, т. е. формирует функционалы (меры близости, коэффициенты разложения, выборки и др.), с помощью которых по характерным признакам изображений определяет, к какому классу принадлежит объект.

Следует отметить, что «удельный вес» отдельных блоков системы может быть весьма разным. Последнее зависит от характера изображений, априорной информации, успешности выбора первичных параметров и класса решающих правил. Кроме того, возможно выполнение одними и теми же блоками нескольких функций [2]. Методы и алгоритмы анализа цифровых изображений ИС для систем компьютерного зрения в приложении к проектированию и изготовлению СБИС изложены в [3]. Особенностью методов и алгоритмов является возможность их проблемно-ориентированной настройки с учетом специфики изображений, а также учет конструкторско-технологических ограничений (КТО) на каждом из этапов обработки, что повышает устойчивость алгоритмов к изменениям условий съемки кадров изображения ИС. Нейросетевые алгоритмы идентификации и классификации объектов топологических слоев ИС в виде многослойного перцептрона, неокогнитрона, сверточной нейронной сети и их ансамблей позволяют повысить достоверность идентификации и классификации дефектов топологии.

На сегодняшний момент отсутствует методика, позволяющая на основании анализа характеристик контролируемых объектов и условий контроля выбрать метод контроля: сравнение с эталоном, анализ проектных норм (КТО), анализ морфологических описаний или групповой анализ элементов рисунка топологии ИС. Вследствие этого, известные САОК, как правило, ориентированы на конкретный метод контроля. Например, сравнение с эталоном реализовано в оборудовании KLA-Tencor, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329 ЭМ-6729, методы морфологических описаний и/или групповой анализ – в оборудовании ЭМ-6479. Полученные результаты позволили создать новую комбинированную технологию обработки изображений топологических слоев ИС. Положенный в ее основу принцип модульности является развитием работ по установкам автоматического контроля топологии шаблонов ЭМ-6029В, ЭМ-6029М, ЭМ-6329, ЭМ-6329В. Он позволяет реализовать контроль с одновременным использованием трех методов и достичь качественно новый уровень достоверности контроля за счет применения объектно-ориентированного подхода к проектированию алгоритмов детектирования дефектов, получить высокую производительность контроля за счет возможности параллельного выполнения набора

специализированных алгоритмов детектирования дефектов, реализовать полномасштабный контроль шаблонов, изготовленных с использованием техники повышения разрешения (resolution enhancement technique, RET), обеспечить возможность определения моделирования и фотолитографической значимости дефектов. В рамках данной технологии возможна реализация методов неразрушающего контроля и технологического моделирования при управлении качеством технологических процессов формирования СБИС.

Важной частью САОК, реализующей данную технологию, является блок управления. В его функции входит управление параметрами блоков обработки, а также синхронизация процессов, выполняющихся в системе. Следует отметить, что функции отдельных блоков системы могут существенно варьироваться. Это зависит от характера изображений, априорной информации, успешности выбора первичных параметров и класса решающих правил. Кроме того, возможно выполнение одними и теми же блоками нескольких функций.

Из систем обработки топологии ИС следует выделить продукты фирмы Mentor Graphics Corporation (Calibre ORCTM, Calibre ORCproTM, Calibre PRINTimageTM), КБ-ТЭМ-ОМО концерна «Планар» [3, 4], Зеленоградского кластера, специализированные программные платформы компаний Synopsys (CATS) и Cadence (MaskCompose). Системы автоматической классификации дефектов топологии ИС в настоящее время поставляют две фирмы: Vistec Semiconductor Systems (Leica Microsystems) (Германия) и KLA-Tencor Corporation (США).

Анализ САОК позволяет сформулировать условия для качественного оптического контроля: получение хорошего изображения, так как плохое изображение дает плохой базис для анализа; анализ изображения для получения полезного точного отчета о дефектах, так как слабая аналитическая логика не идентифицирует все ошибки или будет сверхчувствительной и выдаст слишком много ошибочных дефектов; возможность идентифицировать и дать развитое решение об найденных ошибках, потому как плохая локализация дефектов приведет к пропущенной верификации и ошибкам в отчете.

Целью данной статьи является представить программный комплекс (ПК) цифровой обработки изображений для систем технического зрения оптического контроля ИС, являющихся основой технологии бездефектного изготовления СБИС.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПК ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБИС НА ОСНОВЕ СТЗ

ПК обеспечивает выполнение следующих функций: предобработка изображений с учетом КТО; обработка и анализ изображений с поддержкой оборудования видеозахвата сторонних производителей; анализ изображений для контроля КТО; хранение и доступ к данным с возможностью импорта и экспорта данных в различных форматах; синтез программы для автоматического режима работы; управление механизмами сторонних производителей; визуализация данных.

Прецеденты или варианты использования можно условно разделить на основные и вспомогательные. Основ-

ными прецедентами использования программного комплекса являются следующие.

1. Загрузка объекта исследования (полупроводниковой пластины или фотошаблона) – подготовка объекта исследования для дальнейшей работы (предварительная ориентация в пространстве, перемещение в рабочую зону).

2. Выгрузка объекта исследования – удаление объекта исследования из рабочей зоны в хранилище (контейнер, кассету); инициализация установки и базирование механизмов – загрузка в установку данных, описывающих исходное состояние оборудования для решения конкретной задачи, и установка механизмов в соответствующее состояние/положение.

3. Управление перемещениями координатного стола – формирование обобщенных команд для управления движением координатного стола; совмещение и ориентация – привязка системы отсчета и координатной системы объекта к координатной системе установки.

4. Контроль и измерение размеров – запуск алгоритмов контроля и измерения размеров; автоматическое измерение – запуск алгоритмов автоматического измерения размеров; определение размеров элементов – запуск алгоритмов определения размеров изображения.

5. Управление механизмами – подготовка команд управления оборудованием (метакоманд) и соответствующих параметров.

6. Формирование управляющих команд – преобразование метакоманд в формат, требуемых тем либо иным микроконтроллером управления оборудованием; создание программы контроля и измерений для автоматического режима – формирование списка управляющих воздействий с соответствующими параметрами и их сохранение в виде файла либо записи в базе данных.

7. Создание карты-структуры объекта (объектом может служить как пластина, так и шаблон) – подготовка описания структуры объекта для дальнейшего его исследования (кадры изображения, программные модули).

8. Сохранение результатов контроля и измерений – компоновка результатов работы ПК в структуру, предназначенную для дальнейшего хранения в базе данных и последующее сохранение полученного блока данных с использованием СУБД.

Вспомогательные прецеденты (идентификация пользователя) требуется для разграничения доступа к функциональности ПК оптического контроля изготовления СБИС на основе систем технического зрения.

АРХИТЕКТУРА ПК ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБИС НА ОСНОВЕ СТЗ

ПК обеспечивает управление специальным технологическим оборудованием для изготовления СБИС и состоит из нескольких компонент. Архитектура ПК может быть описана в виде диаграммы компонентов (см. рисунок). Программный комплекс оптического контроля имеет следующие обобщенные программные интерфейсы: IStateStorage – интерфейс хранилища данных о состоянии процесса контроля и измерения. Интерфейс должен обеспечивать возможность добавления, получения и управления структурированной информацией. Может быть реализован в виде базы данных или файлов; IHardwareController – интерфейс системы управления оборудованием, обеспечивающий передачу и преобразование метакоманд управления в команды управления для конкретных микроконтроллеров (посредством использования соответствующего SDK). Также интерфейс должен предоставлять возможность контролировать состояние

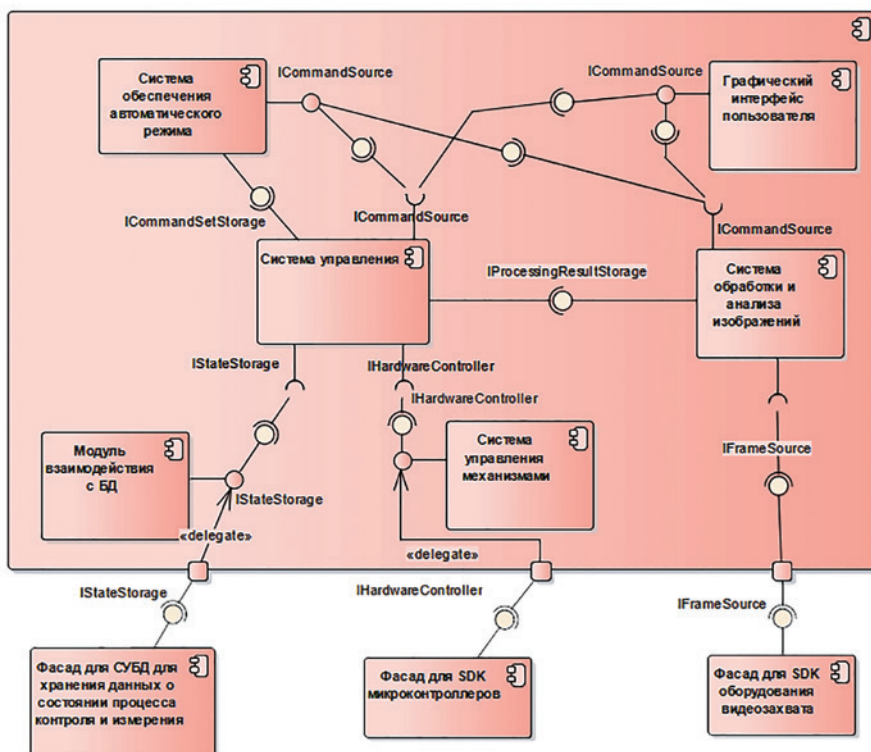


Диаграмма компонентов ПК оптического контроля изготовления СБИС на основе СТЗ

процесса выполнения этих команд; IFrameSource – интерфейс источника изображений и связанной метаинформации из видео потока оборудования. Интерфейс скрывает для разрабатываемого ПК детали работы с SDK оборудования видеозахвата.

Внутренние интерфейсы ПК: ICommandSource – интерфейс источника управляющих команд, предназначен обеспечивать выдачу команд и связанных параметров. Данный интерфейс может быть реализован в виде графического интерфейса пользователя для интерактивного режима работы либо в виде некоторого хранилища последовательностей команд для автоматической или пакетной обработки; IProcessingResultStorage – контейнер результатов обработки, хранит и обеспечивает доступ к результатам обработки и анализа изображений; ICommandSetStorage – контейнер, позволяющий хранить и манипулировать (создавать, корректировать, удалять) последовательности команд управления обработкой, анализом данных, а также выработкой управляющих команд для управления оборудованием. Как видно из схемы компонентов за взаимодействие с компонентой обработки и анализа изображений отвечают обобщенные интерфейсы IFrameSource, ICommandSource, IProcessingResultStorage.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны необходимые алгоритмы и ПК оптического контроля изготовления СБИС на основе систем технического зрения, который позволяет работать с большими объемами входных данных и легко адаптируется под конкретное оборудование. Существенным преимуществом оборудования, управляемого программным комплексом и разрабатываемого ОАО «Планар» для производства СБИС, перед зарубежными аналогами является то, что оно проектируется на единой конструкторско-технологической базе, реализуя полную аппаратную, программную и метрологическую совместимость всего комплекта установок, работающих в едином технологическом цикле для воплощения в кремнии критических технологий микроэлектронной промышленности.

Главными зарубежными аналогами разработанного ПК являются ПК Olympus MicroSuite FIVE компании Olympus Corporation (Japan) и NIS-Elements Microscope Imaging Software компании Nikon Instruments Inc. (USA). Аналоги установок контроля критических размеров: LEICA LWM 250 UV и KLA Tencor IPRO4.

Разработанный ПК внедрен на ОАО «Планар» в состав ПО проектирования специализированного техно-

логического оборудования для реализации технологий в микроэлектронике.

ПК использовался при разработке установки контроля критических размеров, установки контроля совмещаемости слоев полупроводниковых пластин, установки автоматической фотометрии с прецизионной системой фокусировки, автоматизированного контроля дефектности, установок автоматической спектральной эллипсометрии, установки автоматического контроля топологии фотошаблонов, измерительного комплекса контроля дефектов на пластинах с топологией, лазерно-оптической установки автоматизированной коррекции микроструктур фазосдвигающих фотошаблонов, установки лазерного устранения дефектов фотошаблонов. Использование ПК позволяет: сократить время проектирования и наладки прецизионного оборудования, сократить расходы на выпуск оборудования для производства СБИС. Значимость новшества состоит в создании новых методов и алгоритмов обработки изображений и оптического контроля топологии СБИС, обеспечивающих: контроль критических размеров на базе системы получения видеоизображения с поддержкой минимальных элементов размером 350–500 нм и повторяемостью не хуже 2 нм; определение неровности края на всем участке измерений; определение размеров периодических решеток; измерение с проходом по фокусировке для повышения повторяемости и точности контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамеев, С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С. В. Абрамеев, Д. М. Лагуновский. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – 304 с.
2. Аваков, С. М. Методы автоматического контроля топологии планарных структур изделий электронной техники. / С. М. Аваков [и др.] // Электроника НТБ, № 9 (00149), 2013. – С.11-16.
3. Awakaw, S. Semi-transparent isolated defect detection by die-to-database mask inspection using virtual scanning algorithms for sub-pixel resolution / S. Awakaw // Proc. SPIE 5504, 26–35 (2004).
4. S. Awakaw, A. Doudkin, Ya. Marushko, and A. Voronov, Image stitching algorithm for description of integrated circuit layouts, Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2016), October 3-5, 2016, Minsk. – Minsk: Publishing Center of BSU, 2016.- P. 139-147.

In this paper the main functional requirements and the structure of software package for optical control equipment of manufacturing VLSI on submicron technology based on the computer vision are described.

The article describes the author's software architecture for a vision system for controlling the critical dimensions of the manufacture of ultra-large integrated circuits used in telecommunications equipment. The advantages of the chosen architecture are considered, as well as its use for solving problems of image analysis of microcircuits manufactured according to submicron standards using automatic topology control equipment. Keywords: VLSI, machine vision, vision systems.