

УДК 004.021

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КРИТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН СБИС

А.А. ДУДКИН, А.А. ВОРОНОВ, В.В. ГАНЧЕНКО,
А.В. ИНУТИН, Е.Е. МАРУШКО

*Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси», Республика Беларусь*

Поступила в редакцию 01 октября 2019

Аннотация. Приводится описание алгоритмического обеспечения программного комплекса управления оборудованием контроля критических размеров полупроводниковых пластин СБИС на базе систем компьютерного зрения.

Ключевые слова: Полупроводниковая пластина, СБИС, оптический контроль, машинное зрение, цифровое изображение.

Введение

Актуальной задачей при разработке и выпуске конкурентоспособных наукоемких изделий микроэлектроники является создание современной научно-технической и производственно-технологической базы производства сверхбольших интегральных микросхем (СБИС), в том числе оптико-механического, контрольно-измерительного и сборочного оборудования.

В связи с переходом на субмикронные нормы проектирования и усложнением самих СБИС возникает необходимость решения задач обработки, хранения, приема и передачи больших объемов данных с использованием современных интерфейсов, для чего требуется разработка оригинальных подходов, методов и алгоритмов цифровой обработки изображений и приборов контроля технологических процессов литографии, компьютерных методов и алгоритмов анализа получаемых данных, которые в совокупности позволят обеспечить качественную отработку процессов фотолитографии при изготовлении СБИС по субмикронным нормам.

Объектами контроля на топологических слоях СБИС являются контактная площадка, контактное окно, диффузионный или металлизированный проводник, другие элементы топологии. С точки зрения фотолитографии они создаются как комбинация двух областей: прямоугольник и линия (промежуток).

Области структур создаются локальным введением в подложку примесей (посредством диффузии из газовой фазы или ионным легированием), осуществляемым через маску (обычно из пленки формируемую при помощи фотолитографии). Последовательно проводя процессы окисления, фотолитографии и введения примесей, можно получить легированную область любой требуемой конфигурации, а также внутри области с одним типом проводимости (уровнем концентрации примеси) создать другую область с другим типом проводимости. Наличие на одной стороне пластины выходов всех областей позволяет осуществить их коммутацию в соответствии с заданной схемой при помощи пленочных металлических проводников, формируемых также с помощью методов фотолитографии.

Основной параметр, характеризующий совершенство и качество фотолитографии, — это воспроизводимое и стабильно получаемое разрешение, или минимальный размер элемента. При этом топологическая норма определяется как полуширина линии и пространства между линиями в регулярных плотно упакованных полосчатых структурах. Тенденции в развитии микроэлектроники определяются законом Мура.

Требования к функциям алгоритмического обеспечения контроля

Алгоритмы должны обеспечить возможность выполнения следующих функций:

- предобработки изображений с учетом конструкторско-технологических ограничений (КТО);
- обработки и анализа изображений с поддержкой оборудования видеозахвата сторонних производителей;
- анализа изображений для контроля конструкторско-технологических ограничений;
- хранения и доступа к данным с возможностью импорта и экспорта данных в различных форматах;
- синтеза программы для автоматического режима работы контроля;
- управления механизмами сторонних производителей;
- визуализации данных.

Основные алгоритмы предварительной обработки

Алгоритмы предварительной обработки изображений слоев СБИС с учетом КТО позволяют исправить их дисторсию и геометрические искажения, повысить их информативность, удалить шум, уточнить положение кадров слоя, улучшить изображения.

Отметим особо разработанные оригинальные алгоритмы:

- повышения информативности снимков слоев полупроводниковых микросхем с учетом КТО, основанный на объединении объектов интереса с нескольких экземпляров кристалла;
- семантической фильтрации изображений с учетом КТО, основанный на использовании дескрипторов формы сегментов изображения: общей площади сегмента, геометрического центра сегмента, длины главной диагонали сегмента, размеров аппроксимирующего прямоугольника для сегмента;
- предобработки изображений с учетом КТО на основе мягкой морфологии, условной эрозии и дилатации;
- сшивки изображений с учетом КТО;
- улучшения изображений с учетом КТО, позволяющий выровнять неоднородности освещения отдельных кадров и перепадов яркости на их границе.

Алгоритмы автофокусировки предназначены для количественной оценки функции резкости с использованием различных критериев на конкретных сериях изображений, непрерывного автоматического определения фокусного расстояния для съемочной системы по изображениям топологии СБИС и определения неравномерности освещенности, что обеспечивает требуемой точности идентификации объектов контроля.

Алгоритмы анализа

Операция автоматического контроля является одной из самых ответственных при производстве изделий микроэлектроники. Так, оборудование для автоматического контроля оригиналов топологии является самым дорогим во всей технологической цепочке кристалльного производства, что обусловлено с одной стороны, высокой сложностью, с другой стороны – высокой ценой возможного пропуска дефектов.

На сегодняшний момент отсутствует методика, позволяющая на основании анализа характеристик контролируемых объектов и условий контроля выбрать метод контроля, поэтому предлагается комплекс алгоритмов, реализующий следующие основные методы контроля:

- метод контроля проектных норм, который заключается в проверке элементов топологии на соответствие КТО, детальное описание которых содержится в руководствах и стандартах (SEMI [1] и др.);
- метод сравнения с эталоном, который основан на использовании моделей с заранее определенными информативными признаками в качестве эталона (изображений, получаемых

с идеальной топологии или с САПР), с которыми непосредственно сравнивается тестовое изображение фотошаблона или топологического слоя СБИС и фиксируются различия;

– метод морфологических описаний, который предполагает анализ критериев корректности элементов рисунка топологии как списка признаков или образов в комбинации с некоторыми базовыми критериями правил проектирования.

Эта группа методов позволяет идентифицировать локальные дефекты топологии, такие как прокол, островок, вырыв, выступ, а также дефекты, связанные с нарушением предельных КТО, например, допусков на толщину проводника, расстояние между проводниками и т.п.

Каждый из названных методов имеет как свои достоинства, так и недостатки. Техника сравнения проста и эффективна с точки зрения вычислений, ограничена необходимостью иметь образец, а также требует точного совмещения изображений. Морфологический подход работает с большим числом форм и требуется постоянная доработка алгоритма контроля. Применение процесса верификации правил проектирования непосредственно к изображению образов является затратным по времени и требует больших вычислительных мощностей. Кроме того, проверка правил проектирования приводит к большому числу ложных дефектов. Поэтому важно комбинирование различных методов контроля для достижения лучшего результата.

Разработанные перечисленные выше оригинальные алгоритмы обеспечивают:

– 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.

Основную функциональность алгоритмического обеспечения опишем диаграммой прецедентов или вариантов использования. Прецеденты можно условно разделить на основные и вспомогательные.

Основными прецедентами использования являются:

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

– 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;

– управление перемещениями координатного стола – формирование обобщенных команд для управления движением координатного стола;

– управление механизмами – подготовка команд управления оборудованием (метакоманд) и соответствующих параметров;

– 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;

– создание карты-структуры объекта (объектом может служить как пластина, так и шаблон) – подготовка описания структуры объекта для дальнейшего его исследования (кадры, модули);

– сохранение результатов контроля и измерений – формирование структур, предназначенных для дальнейшего хранения в базе данных и последующее сохранение полученного блока данных с использованием СУБД.

Вспомогательные прецеденты требуются для идентификации.

Для эффективной реализации приведенных выше функций был разработан программный комплекс, структура которого показана на рис. 1.

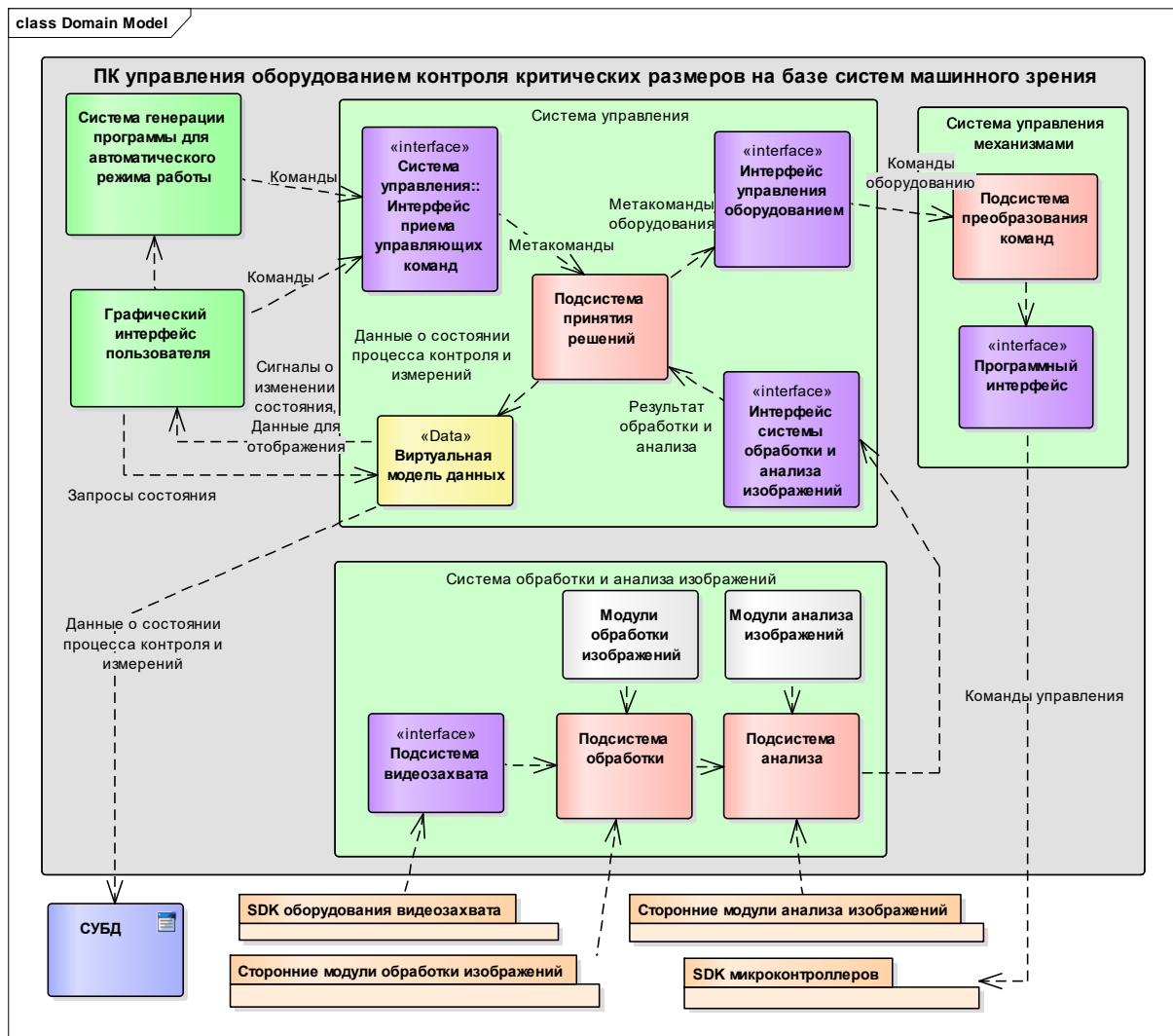


Рис. 1. Структурная схема программного комплекса контроля

Пользователь может самостоятельно компоновать цепочки простых алгоритмов для получения более сложных. При этом реализована возможность подключения внешних модулей, реализующих ту или иную функциональность. Архитектурно и функционально обеспечена возможность хранения параметров работы, а также программ автоматической обработки, в базе данных программного комплекса. При реализации встроенных алгоритмов обработки и анализа изображений использованы средства для повышения производительности путем распараллеливания: использование векторных инструкций процессора, использование стандарта OpenCV для обработки нескольких изображений одновременно и возможность конвейерной обработки для обеспечения равномерной загрузки вычислительных ресурсов при обработке больших объемов данных.

Программный комплекс совместим с оборудованием контроля, выпускаемым ОАО «КБТЭМ-ОМО» [2].

ALGORITHMIC SUPPORT FOR OPTICAL INSPECTION OF CRITICAL DIMENSIONS ON VLSI SEMICONDUCTOR WAFERS

A.A. DOUDKIN, A.A. VORONOV, V.V. GANCHENKO,
A.V. INUTIN, E.E. MARUSHKO

Abstract. The description of algorithmic maintenance of the program complex of control equipment of the critical dimensions of semiconductor wafer plates on the basis of computer vision systems was given.

Keywords: Semiconductor chip, VLSI, optical inspection, computer vision, digital image.

Список литературы

1. SEMI International Standards [Electronic resource]. URL: <http://www1.semi.org/en/Standards>. (date of access: 27.03.2019).
2. Достанко А.П., Аваков С.М., Агеев О.А. и др. Технологические комплексы интегрированных процессов производства изделий электроники. Минск: Беларуская Навука, 2016.