

каждом шаге работы детектора дефектов анализирует контекст топологии в окрестности детектируемой точки и определяет количество несовпадений на площади порядка $0,125 \text{ мм}^2$ при принудительном рассовмещении изображений в диапазоне ± 1 или ± 2 пикселя. В результате на каждом шаге выполняется попытка более точного совмещения изображений в восьми направлениях относительно координатных осей X, Y:

$$+X, +Y, -X, -Y, +X+Y, +X-Y, -X-Y, -X+Y.$$

Установка оснащена автоматической системой распознавания ложных дефектов на краях элементов топологии. Эта система может включаться и выключаться путем подачи команды оператором с клавиатуры. Система позволяет маскировать несовпадения в диапазоне $\pm 0,5 \text{ мкм}$ или $\pm 1,0 \text{ мкм}$ при пороге обнаружения $\pm 0,5 \text{ мкм}$, $\pm 1,0 \text{ мкм}$, $\pm 2,0 \text{ мкм}$ или $\pm 4,0 \text{ мкм}$. Эта система позволяет автоматически избавиться от большого количества ложных дефектов, возникающих на некоторых фотошаблонах из-за неровности края, ухода размеров и координат элементов топологии. Следует отметить, что производительность автоматического контроля при включении данной системы не уменьшается.

Система маскирования ложных дефектов работает на основании информации, получаемой от устройства распознавания края элемента, которое на каждом шаге работы детектора дефектов вырабатывает признак края элемента, который принимает значение «1» при компарировании края элемента и значение «0» - в противном случае. Эта система, при вводе соответствующего признака оператором-технологом, позволяет маскировать несовпадения реального и искусственного изображений в диапазоне ± 1 или ± 2 пикселя относительно положения края элемента искусственного изображения. В результате появляется возможность снизить чувствительность установки на краях элементов, что позволяет контролировать топологию изделий для которых допускается более высокая неровность края элементов и не регистрировать большое количество ложных дефектов на краях элементов топологии.

Дополнительной составляющей системы устранения ложных дефектов является система коррекции эталонного изображения, которая позволяет компенсировать технологические припуски на размеры элементов, связанные с подбором режимов проявления и травления.

Предложенный метод совмещения позволяет минимизировать количество ложных дефектов и реализуется путём оснащения оборудования для автоматического контроля топологии рядом систем компенсации погрешностей совмещения эталонного и реального изображений:

- системой привязки координатной системы установки к эталонной координатной системе;
- системой динамического автосовмещения реального и эталонного изображений;
- системой маскирования несовпадений на краях элементов топологии.

Как показали испытания установок ЭМ-6029Б и ЭМ-6329, в которых реализован предложенный метод компенсации погрешностей рассовмещения реального и эталонного изображений, этот метод позволяет иметь гарантированную устойчивость в диапазоне рассовмещений ± 4 элемента разложения, что с запасом удовлетворяет потребностям, возникающим при самых жестких режимах эксплуатации оборудования. в частности при изменении температуры окружающей среды в диапазоне до 2°C в час.

Список использованных источников:

1. Аваков, С.М. Автоматический контроль топологии планарных структур / С.М. Аваков. – Минск : ФУАинформ, 2007. – 168 с.
2. Alfred, K.W. Resolution Engancement Techniques in Optical Lithography. SPIE PRESS, USA, 2001. – pp. 1–213.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЛГОРИТМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ СТРУКТУР СБИС

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Тутко Е.А.

Карпович С. Е. – д-р. техн. наук, профессор

Представлены быстродействующие алгоритмы детектирования дефектов, которые основаны на объектно-ориентированном подходе анализа дефектов с минимальной логической сложностью и расширением структурных данных о топологии при незначительном изменении аппаратного обеспечения.

Полномасштабная реализация параллельного процесса автоматического контроля топологии планарных структур СБИС возможна только на базе разработки высокоскоростных алгоритмов детектирования дефектов, позволяющих получить требуемую производительность обработки информации. Объектно-ориентированный подход к разработке алгоритмов обнаружения дефектов обеспечивает существенное повышение производительности. Этот подход позволяет получать алгоритмы с максимально высоким быстродействием и минимальной логической сложностью. Соответственно, существенно упрощается аппаратная реализация этих алгоритмов. Скорость обработки информации при таком подходе может превышать скорость получения этой информации системой формирования изображения (скорость формирования изображения может составлять 200-600 Мпикс/с) и достигать порядка 10-100 Гпикс/с.

За счёт большого запаса по производительности появляется возможность иметь оригинальные, но унифицированные с точки зрения исполняемого кода, алгоритмы для различных типов топологии и,

соответственно, различных топологических слоёв, а также для различных типов дефектов. При этом настройка на конкретный тип топологии или дефекта осуществляется за счёт смены базы данных алгоритма, а сам алгоритм может оставаться, практически, неизменным.

Повышение эффективности обнаружения дефектов достигается за счёт специализации алгоритмов. Специализация алгоритмов (рис. 1) обеспечивает высокую достоверность контроля и минимальную вероятность появления ложных или некритичных дефектов.

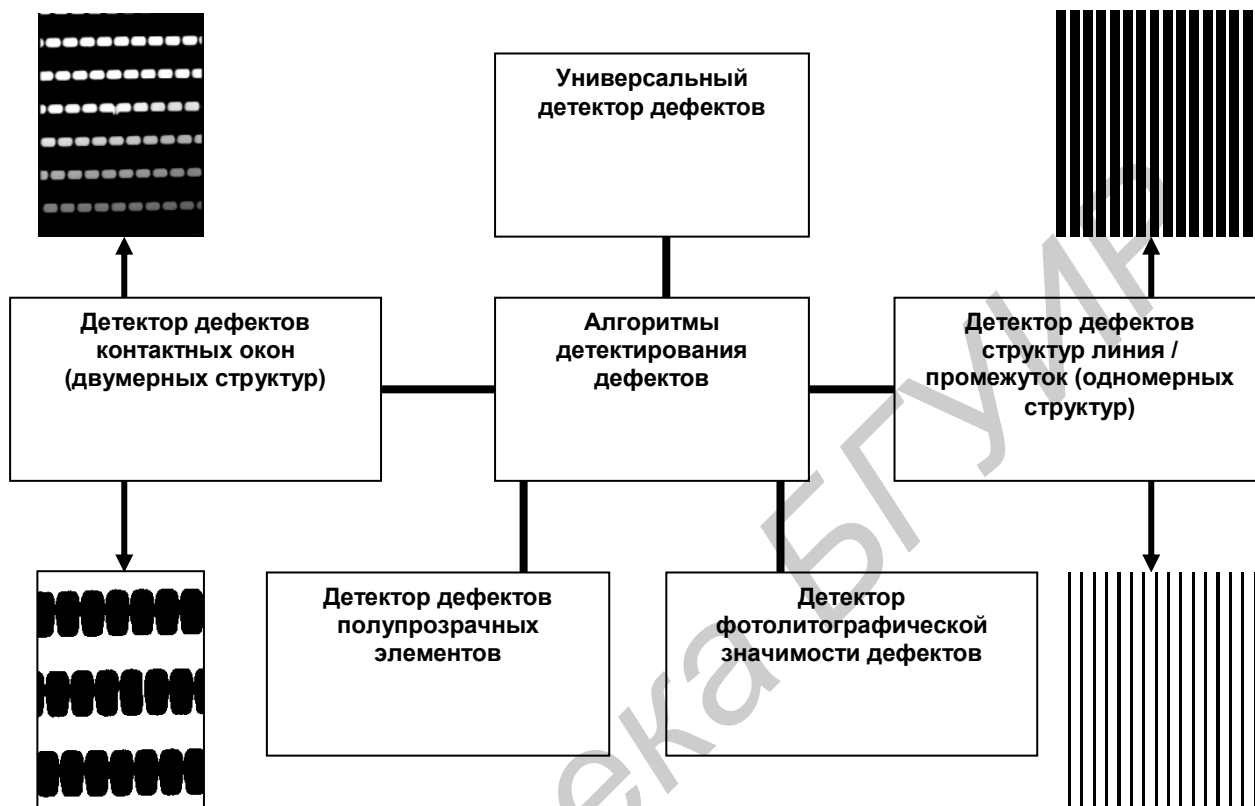


Рис. 1 – Алгоритмы детектирования дефектов

Самостоятельное значение имеет возможность определения фотолитографической значимости дефектов в режиме реального времени, что позволяет исправлять только критичные дефекты и, соответственно, уменьшить стоимость изготовления фотошаблонов. Таким образом, появляется возможность перейти от технологии «обнаруживать все дефекты, исправлять все дефекты» к технологии «обнаруживать все дефекты, исправлять только те дефекты, которые проработаются при проекционном переносе изображения с фотошаблона на полупроводниковую пластину», т.е. реализовать так называемый режим «виртуального степпера» (рис. 2), который позволяет оценивать фотолитографическую значимость обнаруживаемых дефектов [1]. В некоторых случаях возможность определения фотолитографической значимости дефектов в режиме реального времени позволяет также автоматически принимать решение о критичности дефекта и, соответственно, выполнять пакетную обработку шаблонов в автоматическом режиме.

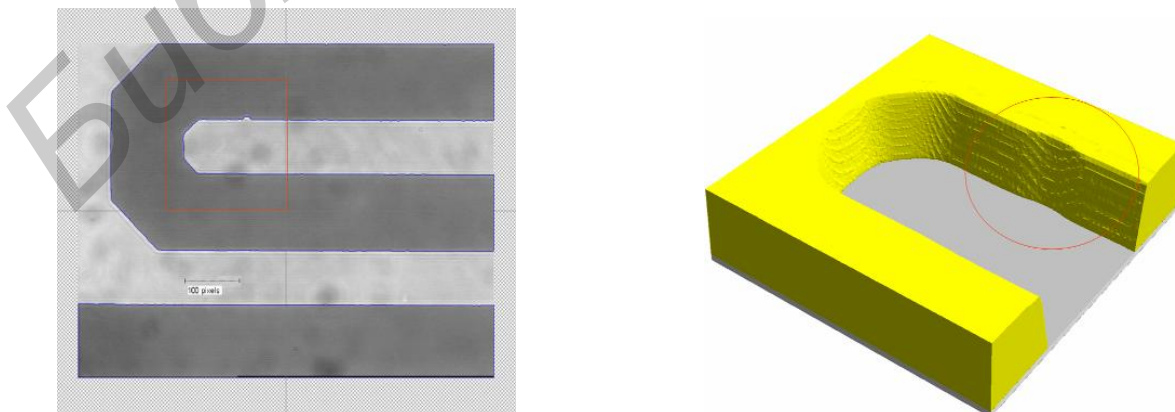


Рис.2 – Определение фотолитографической значимости дефектов

В общем случае за счёт применения новых алгоритмов детектирования дефектов достигаются следующие преимущества:

- высокая производительность автоматического контроля;
- более глубокое субпиксельное разрешение;
- возможность специализации алгоритмов по типам обрабатываемой топологии и группам дефектов, за счёт чего, в свою очередь, достигается высокая обнаружительная способность и низкая вероятность возникновения ложных или некритичных дефектов;
- существенное упрощение аппаратной реализации алгоритмов (такой подход позволяет до предела упростить аппаратную реализацию алгоритмов и в пределах свести их все до одной сильно распараллеленной операции, выполняемой за один такт);
- возможность глубокого распараллеливания каждого из алгоритмов;
- возможность определения фотолитографической значимости дефектов в режиме реального времени;
- простота введения элементов обучения и самообучения в систему.

Список использованных источников:

1. Аваков, С.М. Автоматический контроль топологии планарных структур / С.М. Аваков. – Минск : ФУАинформ, 2007. – 168 с.
2. Alfred, K.W. Resolution Engancement Techniques in Optical Lithography. SPIE PRESS, USA, 2001. – pp. 1–213.
3. Титко, Е.А. Автоматическое оборудование контроля топологии фотошаблонов / Е.А. Титко, Д.С. Титко, С.Е. Карпович // 50-я науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов по направлению: Компьютерные системы и сети : материалы конф., Минск, Респ. Беларусь, 24–28 марта 2014 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2014. – С. 62.
4. Титко, Е.А. Универсальная система получения субпиксельного разрешения / Е.А. Титко, С.А. Манин, Г.А. Зубов // Информационные технологии и системы 2016 : материалы Междунар. науч. конф., Минск, Респ. Беларусь, 26 окт. 2016 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2016. – С. 88–89.
5. Дайняк, И.В. Адаптивные системы перемещений для юстировки оптических элементов фотолитографического объектива / И.В. Дайняк, Е.А. Титко, Д.С. Титко // 5-ый Всероссийский Конгресс молодых учёных, ИТМО, Санкт-Петербург, 2016 – С. 125–126.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ С ЗАДАННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ ОБЪЕКТОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Форутан М. М.

Конюх Л. А. – канд. техн. наук, доцент

Представлен метод построения программируемых движений с заданной ориентацией объектов основанный на описании топологии механизма параллельной кинематики методами аналитической геометрии и матричных преобразований, в результате которых получены аналитические решения.

Для построения программируемых движений с заданной ориентацией объектов методами аналитической геометрии, не нарушая общности постановки задачи, рассмотрим расчетную геометрическую модель (рис. 1), представленную геометрическим местом точек, характеризующих текущую конфигурацию механизма [1]. При этом подвижная платформа обозначается вершинами A, B, C треугольника $\triangle ABC$, которые получены пересечением осей соответствующих кинематических подвижностей. В свою очередь, кинематические подвижности соответствующих треугольных ног системы перемещений с шестью степенями свободы задаются точками D, E, F с соответствующими векторами подвижностей $\vec{AB}, \vec{BC}, \vec{CA}$. Подвижные звенья с соответствующими двухкоординатными ЛШД в принятой геометрической модели представлены линейными подвижными звеньями DR_1, ER_2 и FR_3 .

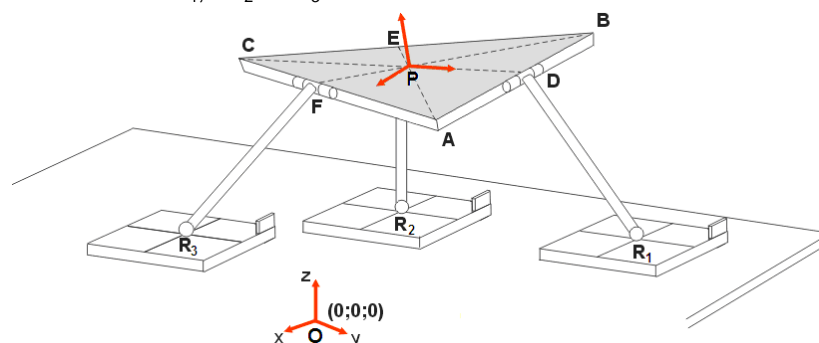


Рис. 1. – Обобщенная геометрическая модель