

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ СУБПИКСЕЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Е. А. Титко, А. С. Манин, Г. А. Зубов

Факультет компьютерных систем и сетей, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: mmts@bsuir.by

Представлена универсальная система получения субпиксельного разрешения при формировании топологии планарных структур. Она основана на двухуровневой системе динамического виртуального сканирования для получения оптимального взаимного расположения сетки дискретизации и формируемого элемента. Предложенная универсальная система была предназначена для реализации в установках ЭМ-6029Б, ЭМ-6329 и ЭМ-6729.

Одним из возможных путей решения задачи получения субпиксельного разрешения является использование алгоритмов, осуществляющих сканирование полутоновых моделей изображения, сформированных в памяти компьютера с целью получения оптимального совмещения сетки дискретизации установки и координатной системы фотошаблона, так называемых, алгоритмов виртуального сканирования. Использование этих алгоритмов позволяет обнаруживать изолированные дефекты, меньшие по размеру, чем размер элемента разложения изображения (пикселя).

Для достижения требуемого результата эти алгоритмы должны использоваться параллельно с подсистемой динамического автосовмещения, обеспечивающей точное совмещение оптического и эталонного изображений в процессе сравнения (далее эта система будет описана более детально). Для обеспечения возможности эффективно встраивания этих алгоритмов в систему контроля была создана специальная двухуровневая динамическая модель оптического изображения. Эта модель позволяет, с одной стороны, выполнять точное совмещение оптического изображения с эталонным, а с другой стороны - выполнять анализ оптического изображения для получения оптимального взаимного расположения сетки дискретизации установки контроля и позиции обнаруживаемых дефектов. Алгоритмы виртуального сканирования и второй уровень динамической модели оптического изображения в совокупности представляют собой систему виртуального сканирования.

Субпиксельное разрешение при этом достигается за счёт формирования динамической двухуровневой модели процесса автоматического контроля топологии. Первый уровень этой модели формируется подсистемой динамического автосовмещения, обеспечивающей совмещение эталонного и реального изображений. Второй уровень модели формируется при помощи алгоритмов виртуального сканирования, обеспечивающих оптимальное совмещение сетки дискретизации установки контроля с пространствен-

ным расположением дефектов. Эта система используется в отечественных установках контроля топологии методом сравнения с проектными данными ЭМ-6029Б и ЭМ-6329 [1]. Совмещение оптического и эталонного изображений, так же как и совмещение сетки дискретизации установки контроля с топологией фотошаблона производится при помощи двухуровневой модели, которая обновляется на каждом шаге сканирования. Первый уровень модели представляет собой совокупность совмещённых полутоновых моделей оптического и эталонного изображений, в которых каждому пикселю соответствует определённый код сигнала. Наиболее сложной проблемой при построении этого уровня модели является определение текущей точки оптического изображения, которая соответствует текущей точке эталонного изображения. Эта проблема решается в процессе сканирования шаблона при помощи подсистемы динамического автосовмещения изображений. Эта подсистема построена на базе многоканального компаратора, который на каждом шаге просчитывает число несовпадений оптического и эталонного изображений при шестнадцати возможных вариантах рассовмещения этих изображений. Далее, по минимуму несовпадений определяется точка оптимального совмещения.

Второй уровень модели представляет собой полутоновую модель, полученную в результате сканирования модели первого уровня. Сканирование называется виртуальным, потому что не связано с перемещением реального изображения и построением оптического изображения. Оно производится путём выполнения определённых преобразований кодов модели первого уровня, в результате чего формируется модель второго уровня, которая соответствует некоторому изображению, реальное сканирование которого не производилось. Построение модели первого уровня производится с опережением относительно процесса компарирования оптического и эталонного изображений, что делает оба уровня модели независимыми.

Подсистема виртуального сканирования позволяет производить преобразование кодов полутоновой растровой модели изображения первого уровня, в результате чего формируется набор моделей второго уровня. Каждая из этого набора моделей соответствует определённому варианту совмещения сетки дискретизации установки с изображением дефекта. Путём проведения анализа амплитудного контраста каждой модели изображения, из полученного набора моделей второго уровня выбирается та, которая соответствует оптимальному совмещению сетки дискретизации системы формирования изображения с текущим элементом изображения. Алгоритмы виртуального сканирования позволяют вводить коррекцию положения обнаруженных дефектов в долях пикселя на полутоновой модели топологии, изменяя одновременно полутоновые коды пикселей так, как они бы изменились, если бы аналогичное смещение имело место при реальном сканировании. При этом в памяти подсистемы анализа изображений строится полутоновая модель просканированного участка топологии. После этого производится поиск групп элементов, имеющих амплитуду сигнала выше порога шума, но ниже той, которая позволяет сделать заключение о наличии изображения. Далее производится градиентный анализ пространственного распределения сигналов, полученных в процессе фотометрирования топологии, который позволяет выявить компактные области аномалий сигналов.

Субпиксельное разрешение при таком подходе позволяет повысить обнаружительную способность установки контроля для изображений с высоким контрастом как минимум на 20%. Соответственно, коэффициент захвата изображения K_d [2] уменьшается при этом также примерно на 20%.

$$K_d = DefectSize / (\lambda / N_A), \quad (1)$$

где $DefectSize$ – размер дефекта; λ – длина волны; N_A – числовая апертура.

При таком подходе величина субпиксельной обнаружительной способности составляет 0,20 мкм при размере пикселя 0,25 мкм, 0,40 мкм при размере пикселя 0,50 мкм. При меньших размерах пикселя эти значения могут быть различными, в зависимости от конкретных реализаций системы формирования изображения и используемых алгоритмов. Расчётное значение субпиксельной обнаружительной способности при размере пикселя 0,15 мкм составляет 0,12 мкм.

Точность вычисления параметров моделей может быть при этом значительно меньше, чем размер пикселя. При использовании полутонового представления значения некоторых параметров моделей могут быть в несколько десятков раз точнее, чем размер пикселя. Так например, для топологии типа «контактные окна», при контроле традиционным методом сравнения с проект-

ными данными размер минимального обнаруживаемого дефекта не может быть меньше квадрата со стороной, равной размеру пикселя, а в случае применения метода сравнения параметризованных моделей, минимальный размер обнаруживаемого дефекта может достигать 10% размера пикселя и менее, что определяется соотношением сигнал/шум в канале ПЗС-камеры. Применение алгоритмов детектирования дефектов с быстродействием, превышающим быстродействие формирования модели топологического рисунка интегральной схемы, позволяет обрабатывать одну и ту же топологию по разным алгоритмам и получать субпиксельное разрешение для различных типов топологических объектов. Базовыми типами топологии при этом являются основные два типа структур, рассматриваемые в фотолитографии – структуры типа линия-промежутки и структуры типа контактное окно [3].

Предложенная универсальная система получения субпиксельного разрешения, реализованная в отечественных установках автоматического контроля топологии ЭМ-6029Б, ЭМ-6329 и ЭМ-6729, в которых реализованы два метода: метод, основанный на применении алгоритмов виртуального сканирования модели топологии; метод сравнения параметризованных моделей топологии. Первый метод основан на использовании двухуровневой модели изображения совместно с алгоритмами виртуального сканирования, работающими параллельно с подсистемой динамического автосовмещения. Этот метод позволяет улучшить обнаружительную способность установки автоматического контроля топологии фотошаблонов при сравнении топологии фотошаблона с проектными данными на 20-30% без изменения размера пикселя и, соответственно, без изменения параметров системы сканирования. Предложенный метод универсален и может быть использован при контроле топологии любого типа. Применение второго метода (метода сравнения параметризованных моделей) позволяет получить субпиксельное разрешение на основных типах структур фотолитографии – структур типа «линия-промежутки» и «контактное окно» – менее 10% размера пикселя установки автоматического контроля топологии, что для установки ЭМ-6329, например, составляет 25 нм. Этот метод эффективен при использовании специализированных алгоритмов для отдельных видов топологических структур.

1. Аваков, С. М. Автоматический контроль топологии планарных структур / С. М. Аваков. – Минск: ФУ-Аинформ, 2007. – 168 с.
2. Vicky Philipsen, Rik Jonckheere. A Printability Study for Phase-Shift Masks at 193 nm Lithography. Lectures held at the GMM-Conference. January 13-15, 2003 in Sonthofen, Germany, VDE Verlag. pp. 67 – 77.
3. Alfred Kwok-Kit Wong. Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography. SPIE PRESS, USA 2001, pp. 1 – 213.