

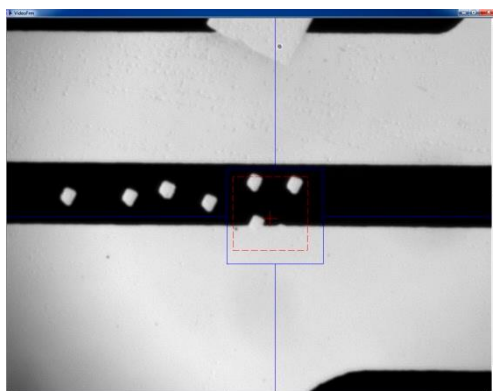
## МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛАЗЕРНОГО ИСПРАВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ОРИГИНАЛОВ ТОПОЛОГИЙ НА ФОТОШАБЛОНАХ

инж. <sup>1</sup> Дедков А.И.

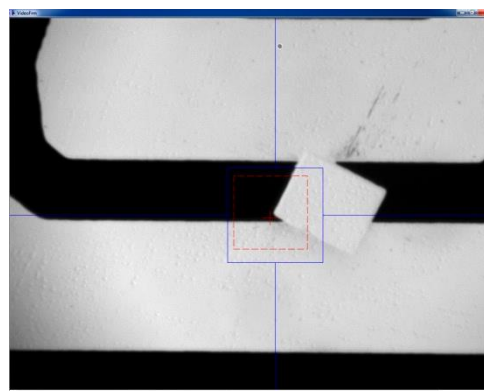
<sup>1</sup> ОАО «КБТЭМ-ОМО»

**Введение.** С развитием современной микро- и нанoeлектроники все больше прослеживаются тенденции к интеграции различных типов устройств в один чип. Так элементы микро электромеханических систем (МЭМС) комбинируют с электронными или нанооптическими. В связи с этим происходит значительное усложнение топологий слоев при производстве чипов таких интегральных устройств. И если ранее преобладали, в основном, прямолинейные формы и участки, то в настоящее время приоритет принадлежит сложным криволинейным конфигурациям.

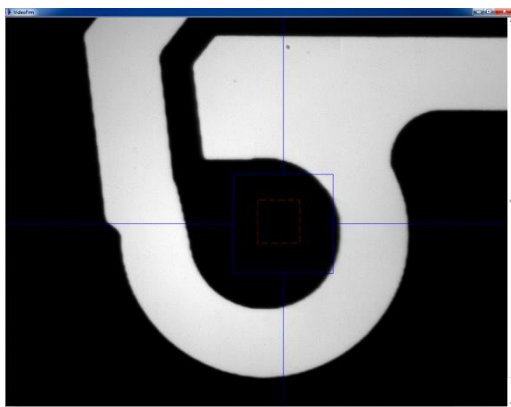
Исходя из тезиса о невозможности бездефектного производства фотошаблонов, вероятность попадания дефектов на сложные участки топологии значительно возросла. И если на предыдущих поколениях устройств мы сталкивались преимущественно с нарушениями, представленными на рисунке 1 (а и б), в современной фотолитографии преобладают конфигурации типа в и г (рисунок 1).



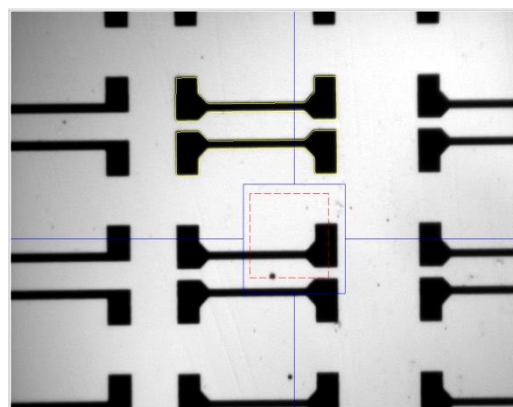
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Примеры конфигураций топологии на фотошаблонах

Таким образом, при разработке оборудования устранения дефектов мы сталкиваемся с проблемой восстановления рисунка топологии в тех допусках и

точностях, которые необходимы для дальнейшего технологического цикла производства изделия. Нужно отметить, что эти сложности испытывают и конкурирующие производители оборудования данного типа. И далеко не у всех моделей ретушеров есть возможность решения данной проблемы.

Целью данной работы явилось исследование влияния параметров проекционной системы и системы видеонаблюдения на качество исправления дефектов. И как следствие, разработка методов, позволяющих повысить качество результатов ремонта.

**Проблемы и методы их решения.** Наиболее характерным технологическим требованием при устранении дефектов является отклонение размеров малых элементов, не превышающих 5–10% от номинала. Таким образом, при ширине линии 300 нм искажения формы после ремонта не должны превышать 30 нм.

В рамках статьи описаны методы и алгоритмы, которые разработаны и внедрены в последние модели установок ремонта фотошаблонов ЭМ-5131, ЭМ-5141 для повышения качества устранения дефектов сложной формы.

Методика, которую мы предлагаем, основана на использовании алгоритмов машинного зрения для формирования шаблонов контуров восстанавливаемых участков топологии, а также субпиксельного определения расположения фрагментов топологии. В отличие от других подобных методик, которые для работы требуют наличия эталонного описания фотошаблона в одном из общепринятых векторных форматах типа GDS [1-3], наши алгоритмы формируют графический шаблон непосредственно по реальному видеоизображению. Данный подход значительно упрощает работу оператора, т.к. в основе своей имеет визуальную составляющую, что позволяет одновременной проводить контроль ремонта непосредственно в процессе его проведения. На рисунке 2 представлен процесс ремонта с применением контурного шаблона элемента топологии на установке ремонта фотошаблонов ЭМ-5131.

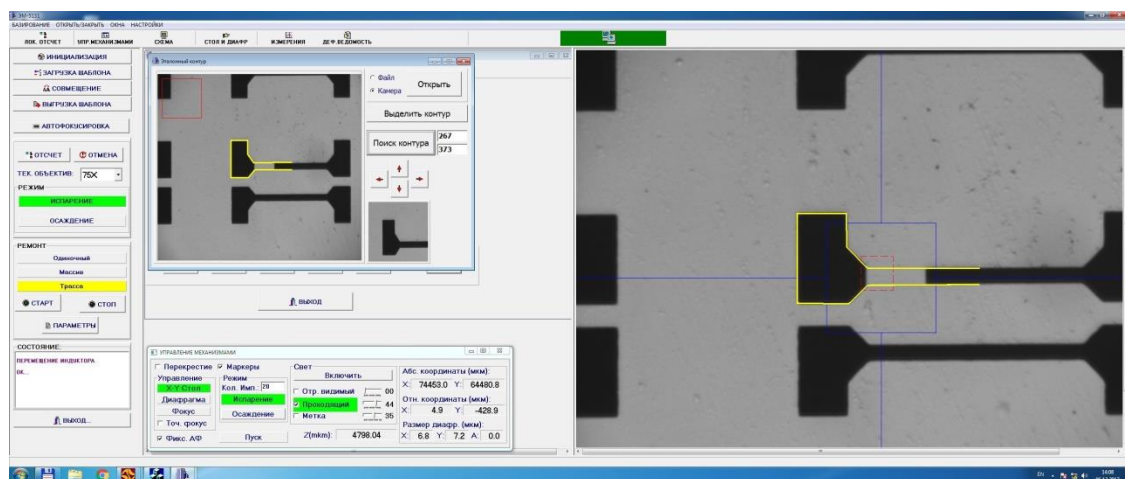


Рис. 2. Применение контурного шаблона при восстановлении формы элемента топологии

Важно то, что расположение эталонного контура на элементе не меняется, а перемещается синхронно с объектом в поле видеокamеры. Это позволяет постоянно контролировать процесс ремонта.

Основной проблемой при ремонте сложных элементов топологий являются физические ограничения системы наблюдения. На рисунке 3а представлено изображение топологии линия-промежуток размером 300 нм, полученное при помощи объектива с числовой апертурой  $N_A=0.5$ , на рисунке 3б то же изображение с объективом с числовой апертурой  $N_A=0.7$  при освещении с длиной волны  $\lambda=257$  нм на установке ремонта ЭМ-5141.

На рисунках 3в и 3г представлены горизонтальные профили этих изображений

соответственно. Из представленных изображений видно, что при достаточном разрешении таких структур края элементов отображаются смазанными. Это объясняется оптическими эффектами при конечных апертурах объективов и дифракцией на краях элементов.

Размер пикселя на изображения 3а и 3б 60 нм и 40 нм соответственно, что однозначно не позволяет нам удовлетворить требования по искажениям формы при проведении ремонта по визуальным данным. Для решения этой проблемы были разработаны алгоритмы и программы автоматизированного наведения на дефект. Данные алгоритмы учитывают интегральный профиль краев элементов и позволяют вычислять координаты с нанометровой точность. Применяя разработанные алгоритмы и программы на их базе, а также прецизионную систему координатного позиционирования, удалось провести устранение дефекта типа перемычка с требуемыми допусками. Результаты приведены на рисунке 4.

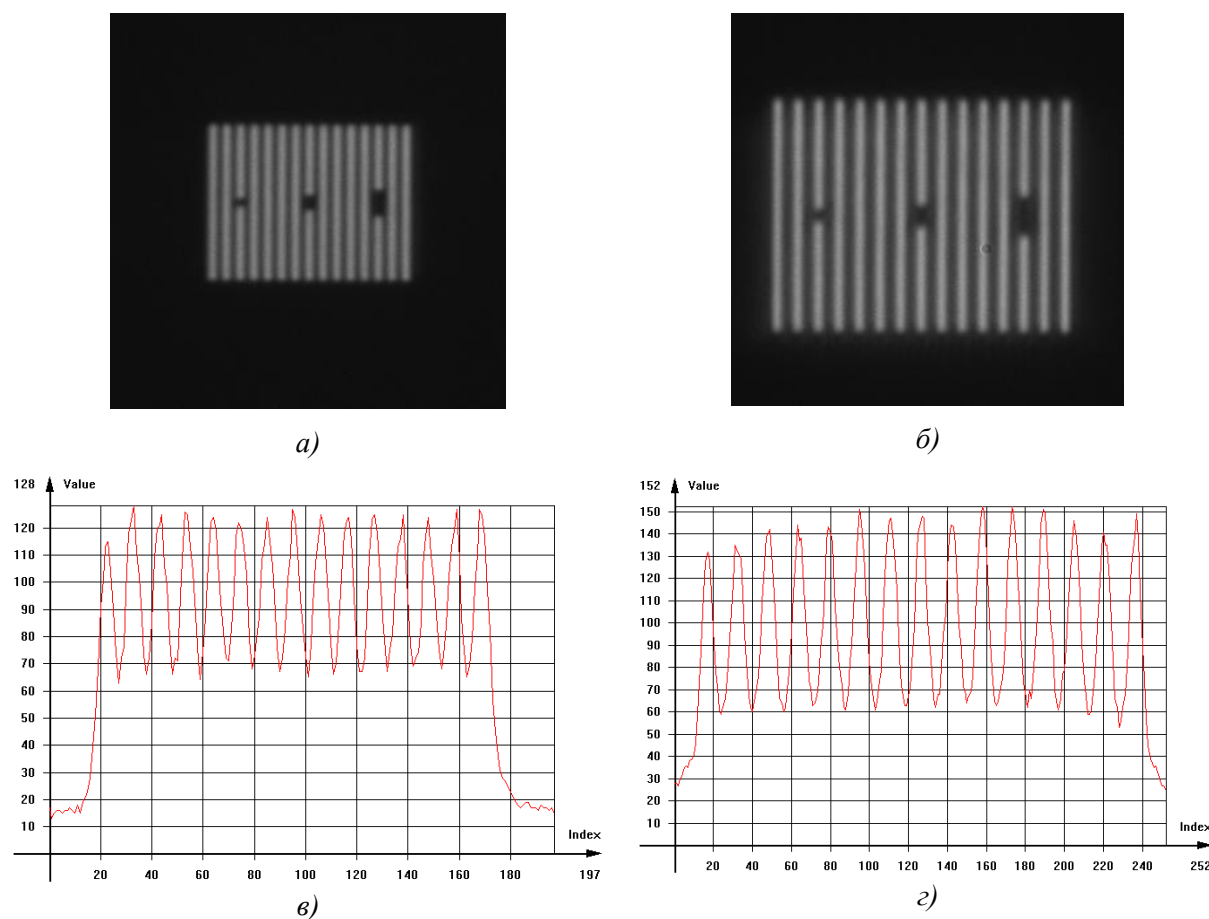


Рис. 3. Изображение структуры линия-промежутки с шириной линии 300 нм

На рисунке видно, что при номинале линии 314.7 нм результат после ремонта составил 303.1 нм, что уверенно удовлетворяет технологическим требованиям на 5% допуск на искажение формы и размера элемента.

Также следствием физических ограничений системы наблюдения является затрудненный анализ результатов устранения дефектов. На практике для решения этой проблемы используют повторный контроль на установках автоматического поиска дефектов или анализ фрагментов отремонтированной топологии на установках типа AIMS (Система автоматического измерения изображений) [4].

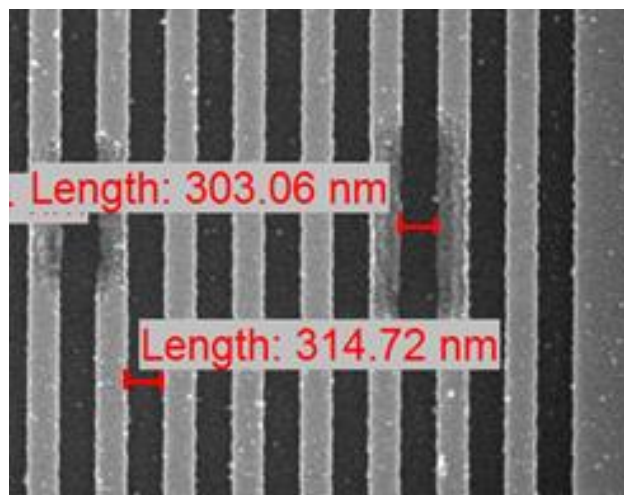


Рис. 4. Результат устранения дефекта типа перемычка в структуре линия-промежуток с шириной линии 300 нм. Получено и измерено на электронном микроскопе Nova NanoSEM 650.

Нами предложены и применены алгоритмы цветового представления монохромной видеоинформации. На рисунке 5 представлены фрагменты видеозображения до (а) и после (б) применения данного представления. Применение такого представления обусловлено особенностями человеческого зрения к лучшему восприятию малых элементов и форм в цветовом контрасте, чем в оттенках серого.

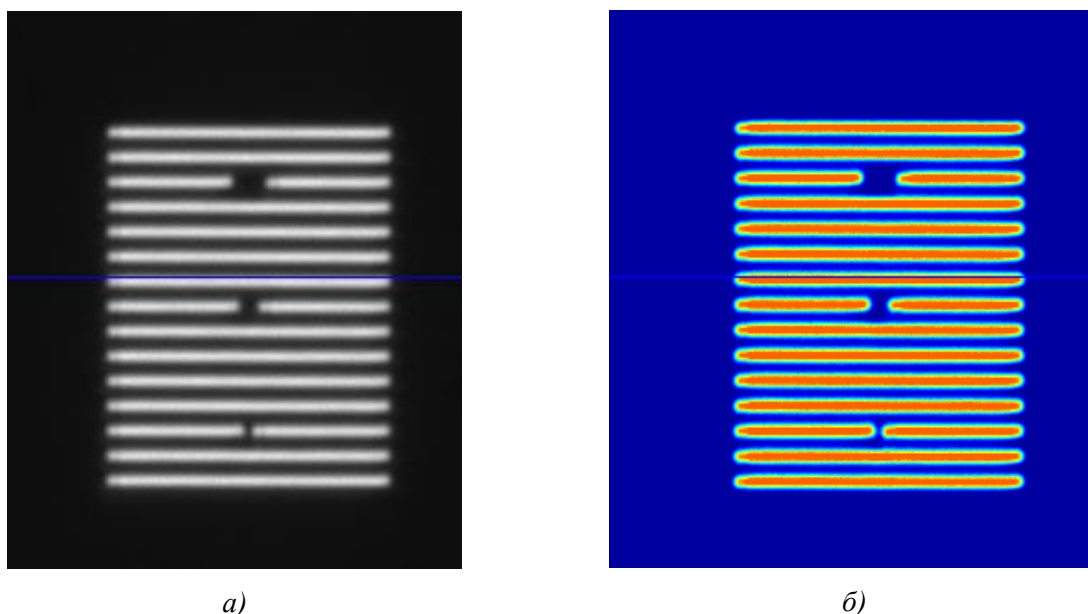


Рис. 5. Цветовое представление монохромного видеозображения. Ширина линий 400 нм.

Особенностями данных алгоритмов является их оптимизация по времени выполнения, что позволило обрабатывать каждый кадр видеопотока без снижения его скорости. Кроме того, мы значительно повысили четкость краев элементов, что позволило оператору установки оперативно анализировать результаты ремонта и при необходимости проводить дополнительную коррекцию.

**Заключение.** В данной статье рассмотрены основные ограничения и проблемы, с которыми приходится сталкиваться при конструировании и производстве оборудования устранения дефектов на фотосаблонах, работающего в диапазоне глубокого ультрафиолета (ГУФ). Как видно из проведенных исследований, даже использование ГУФ не дает гарантированных результатов при устранении сложных

дефектов. Дальнейшее увеличение разрешающей способности для визуального процесса ремонта предполагает переход к электронно-лучевым системам ремонта. Это влечет за собой значительное усложнение, как оптических систем установки, так и систем управления процессом ремонта. А это, в свою очередь, значительно увеличивает время и сложность разработки, а также стоимость готового образца.

Использование предложенных алгоритмов и методик позволило получить значительное улучшение технологических характеристик оборудования с малыми экономическими затратами. Также было получено доказательство успешного применения описанных методик в реальных технологических процессах ремонта как бинарных, так и фазосдвигающих фотошаблонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Irene Shi, Eric Guo, Max Lu, Izumi Santo. *Micro-defect repair assisted with contour-based 2D metrology / SPIE 10451, Photomask Technology, 2017*
2. Wenzhe Shi, Jose Caballero, Ferenc Huszar, Johannes Totz, Andrew P. Aitken, Rob Bishop, Daniel Rueckert, Zehan Wang. *Real-Time Single Image and Video Super-Resolution Using an Efficient Sub-Pixel Convolutional Neural Network / 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 105-114, 2017.*
3. Evangelidis, G.D., Psarakis, E.Z.: *Parametric image alignment using enhanced correlation coefficient maximization / IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 30(10), 1858–1865 (2008).*
4. Kristian Schulz, Kokila Egodage, Gilles Tabbone, Christian Ehrlich, Anthony Garetto. *SEM AutoAnalysis: enhancing photomask and NIL defect disposition and review / SPIE 10446, 33rd European Mask and Lithography Conference, 2017*