

УДК 621.382

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПОСОБНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ
ИЗОЛИРОВАННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ
ОРИГИНАЛОВ ТОПОЛОГИИ НА ФОТОШАБЛОНАХ
МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ С ПРОЕКТНЫМИ ДАННЫМИ**

С.М. АВАКОВ

*Государственный научно-производственный концерн точного машиностроения "Планар"
Партизанский просп., 2, Минск, 220763, Беларусь*

Поступила в редакцию 25 апреля 2007

В статье представлены описание и результаты использования новой методики определения обнаружительной способности установок автоматического контроля оригиналов топологии. Эта методика реализована в установках ЭМ-6029Б и ЭМ-6329, которые осуществляют контроль оригиналов топологии СБИС на фотошаблонах путем сравнения топологии фотошаблона с проектными данными. Методика разработана для проведения испытаний с целью определения способности обнаружения дефектов типа прокол и островок (изолированных дефектов).

Ключевые слова: топология СБИС, фотошаблон, обнаружение дефектов.

Введение

Необходимость точного определения вероятности обнаружения дефектов заданного размера обусловлена двумя причинами. Во первых, необходимо гарантировать определенную вероятность обнаружения дефектов на уровне порога обнаружения установки и тем самым подтвердить один из ее основных параметров, а, во-вторых, необходимо определять обнаружительную способность для дефектов, имеющих размеры, меньшие порога обнаружения. Так например, для установки, имеющей порог обнаружения на уровне 0,25 мкм с вероятностью 0,95, необходимо, с одной стороны, подтвердить эту вероятность для дефектов с размерами 0,25 мкм, а с другой стороны, определить вероятность обнаружения дефектов с меньшими размерами — 0,20 и 0,15 мкм, которые выявляются соответственно с меньшей вероятностью. Определение этих вероятностей является важным потому, что при формировании ведомости дефектов, после завершения автоматического контроля, в нее включаются не только дефекты с заданными размерами, но и дефекты с меньшими размерами, которые, как правило, не являются критичными. При этом дефекты с размерами проекций на координатные оси, меньшими размера элемента разложения изображения (пиксела), идентифицируются как дефекты размером один пиксел. Для уточнения этих размеров используется специальный режим повторного сканирования обнаруженных дефектов с высоким интерполяционным разрешением, который позволяет отфильтровывать некритичные дефекты за счет получения более точных оценок их размеров. Несмотря на то что повышение обнаружительной способности оборудования является одной из основных задач на пути его совершенствования, в данном случае это пагубно влияет на характеристики системы, так как дефекты, меньшие порога обнаружения, считаются ложными и ухудшают параметр системы, связанный с вероятностью обнаружения ложных дефек-

тов. Количество их может оказаться существенным на общем фоне ложных дефектов различных типов (рис. 1).

Снижение количества ложных дефектов является одной из основных целей при создании оборудования для автоматического контроля оригиналов топологии [1, 2], что определяет актуальность исследования причин появления ложных дефектов и методов определения вероятности их появления.

При определении вероятностей обнаружения дефектов различного размера приходится производить дорогостоящие испытания большого объема, поэтому важным является определение точного числа испытаний, гарантирующего определение этих вероятностей.

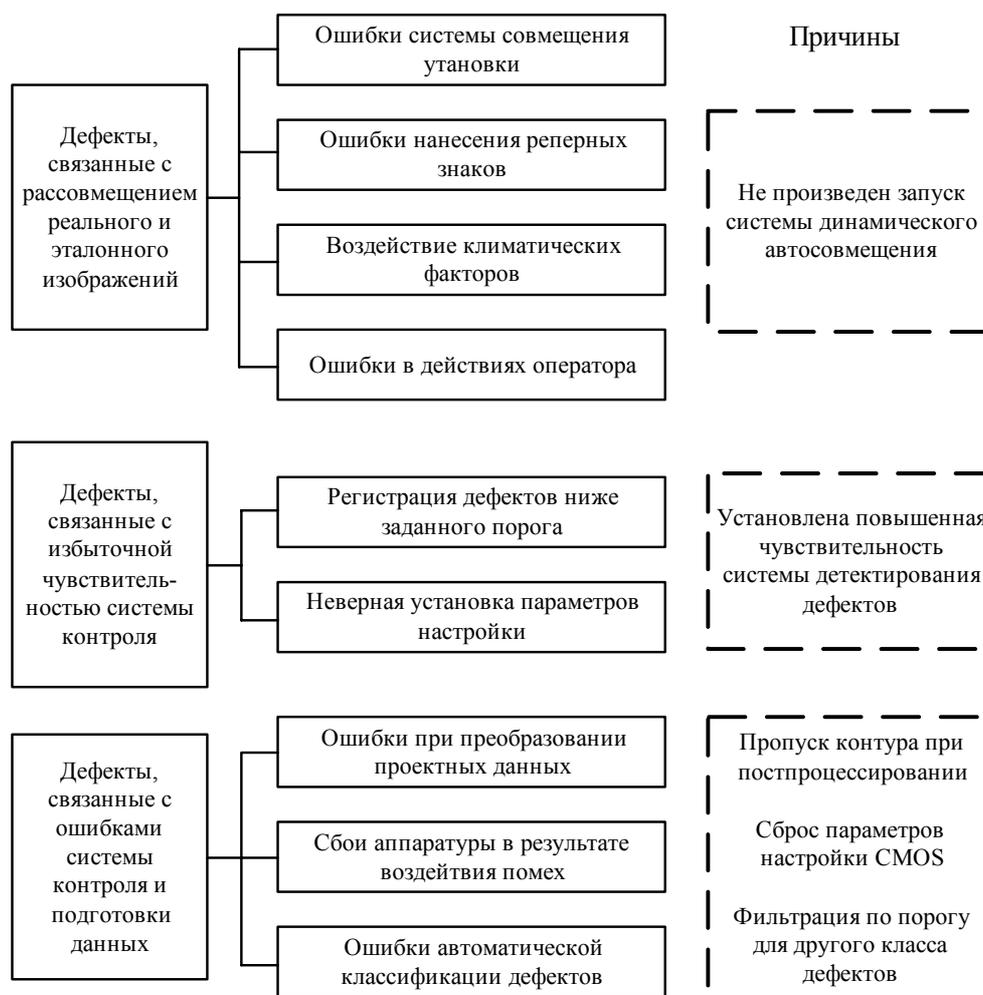


Рис. 1. Классификация источников происхождения ложных дефектов

Методика определения обнаружительной способности

Возможность обнаружения дефектов с размерами, меньшими порога обнаружения, обусловлена тем, что разрешение оптической системы установки автоматического контроля топологии для элементов с размерами, меньшими паспортного разрешения, меняется плавно, без порогового эффекта. В табл. 1 приведены частотно-контрастные характеристики (ЧКХ) двух объективов — с разрешением 0,5 мкм, апертурой NA=0,5 и с разрешением 0,25 мкм, апертурой NA=0,75. Из таблицы видно, что элементы изображения с размерами, меньшими, чем разрешение объектива, воспроизводятся с меньшим контрастом, что до определенного предела не мешает их обнаружению при автоматическом контроле топологии при определенной настройке системы детектирования дефектов.

Например, объектив с апертурой $NA=0,5$ разрешает элементы до $0,3$ мкм включительно, хотя и с меньшим контрастом. С учетом спектральной чувствительности используемой ПЗС это приводит к обнаружению при определенных вариантах совмещения сетки дискретизации установки с координатной сеткой фотошаблона дефектов с размерами до $0,35$ мкм. Примеры регистрации дефектов с размерами, меньшими порога обнаружения, показаны на рис. 2. Для объектива с апертурой $NA=0,75$ с некоторой вероятностью обнаруживаются дефекты с размерами до $0,19$ мкм. Аналогичные соотношения имеют место и для объектива с разрешением $0,15$ мкм, но в силу отсутствия экспериментальных результатов эти данные не приводятся.

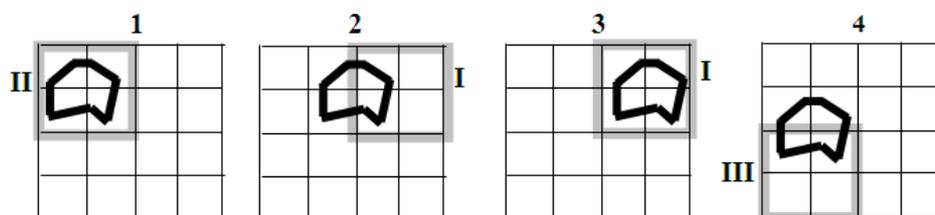


Рис. 2. Примеры регистрации дефектов с размерами, меньшими порога обнаружения

При испытаниях оборудования для автоматического контроля топологии одной из основных является задача экспериментального определения обнаружительной способности. Для этого обычно производится некоторое количество циклов сканирования специально изготовленного и аттестованного тестового шаблона, в результате чего подтверждается вероятность обнаружения дефектов разных типов и размеров. Количество циклов сканирования при этом определяется, как правило, эвристическим путем. Наиболее сложным в этом случае является определение вероятности обнаружения дефектов с линейными размерами, соответствующими границе чувствительности установки. Предлагаемая методика определения вероятности обнаружения таких дефектов, основана на точном расчете необходимого количества циклов сканирования для подтверждения чувствительности с заданной вероятностью. Следует отметить, что при этом необходимо уточнение определения дефекта заданного размера. Необходимость такого уточнения обусловлена тем, что обнаружительная способность установки автоматического контроля топологии зависит не только от линейных размеров дефекта, но и от его пространственного распределения, вследствие чего определение размера дефекта и соответственно размера минимального обнаруживаемого дефекта только через линейные размеры является неоднозначным. Этот вопрос решается путем стандартизации формы дефектов тестового шаблона и определения обнаружительной способности установки для дефектов фиксированной формы.

Испытания на обнаружительную способность проводятся по следующей схеме:

1. Подтверждение обнаружительной способности для минимального дефекта, обнаруживаемого со 100%-ной вероятностью.

2. Подтверждение обнаружительной способности для минимального дефекта размером d , обнаруживаемого с вероятностью 95%. При этом d соответствует порогу обнаружения.

Последовательное определение вероятностей обнаружения дефектов с размерами, меньшими порога обнаружения. При этом последовательно рассматриваются дефекты, начиная с дефектов размером $d-\Delta d$, с шагом Δd , заканчивая дефектами, имеющими контраст 10%. Шаг Δd может быть выбран, например, равным 50 нм.

Предложенная методика определения вероятности обнаружения дефектов основана на использовании двух теорем, представляющих частные варианты закона больших чисел. Этот метод состоит в следующем.

Процесс последовательных сканирований участка тестового шаблона с аттестованными дефектами рассматривается как последовательность из n независимых испытаний (событий A) с двумя исходами каждое ("успехом" и "неудачей"). При этом вероятности исходов не изменяются от испытания к испытанию. Такие испытания, как известно, называются испытаниями Бернулли. Если пренебречь погрешностью перемещения координатного стола в точку начала сканирования, то независимыми можно считать и испытания, состоящие в сканировании каждого из группы дефектов одинаковой формы и размера. При этом количество циклов сканиро-

вания может быть уменьшено в k раз, где k — число однотипных дефектов на тестовом шаблоне.

Таблица 1. Частотно-контрастные характеристики объективов установок контроля топологии

Оптическая система ЭМ-6029Б NA=0,5; $\beta=25^\circ$; $C_{\text{кор}}=0,8$; $\lambda=546$ нм					
Минимальный элемент (нм)	ЧКХ без-абerraц. об-ва	ЧКХ ре-альной системы	Контраст системы	Контраст фотоприемника	Результир. контраст
500	0,40	0,35	0,80	0,40	0,30
450	0,30	0,30	0,70	0,40	0,30
400	0,20	0,16	0,60	0,40	0,25
350	0,10	0,10	0,30	0,30	0,10
300	0,04	0,04	0,10	0,30	0,03
200	0,02	0,01	0,00	0,30	0,00
Оптическая система ЭМ-6329 NA=0,75; $\beta=52^\circ$; $C_{\text{кор}}=0,8$; $\lambda=436$ нм					
500	0,60	0,57	0,90	0,30	0,30
400	0,50	0,45	0,80	0,30	0,25
350	0,40	0,35	0,70	0,30	0,20
300	0,30	0,25	0,60	0,30	0,20
200	0,20	0,17	0,50	0,30	0,15
170	0,10	0,10	0,30	0,20	0,03
150	0,05	0,04	0,00	0,10	0,00

Согласно следствию из теоремы Бернулли (при неограниченном увеличении числа опытов n частота события A сходится по вероятности к его вероятности P) [3, 4], вероятность обнаружения дефектов связана с частотой обнаружения дефектов следующим образом:

$$P(|m/n - p| < \varepsilon) \geq 1 - p(q/n)\varepsilon^2,$$

где P — вероятность нахождения вероятности обнаружения в интервале $\pm\varepsilon$; m — число благоприятных исходов; n — общее число циклов сканирования; p — вероятность обнаружения дефектов; q — вероятность необнаружения дефектов; ε — размер доверительного интервала; m/n — частота события "обнаружение дефекта".

Для того чтобы с вероятностью, не меньшей чем P (например, 0,95), можно было утверждать, что вероятность обнаружения минимального дефекта составляет p (например, 0,95), должно выполняться следующее неравенство: $1 - p(q/n)\varepsilon^2 \geq 0,95$ и соответственно $n \geq 20 p q / \varepsilon^2 \geq 0,95 \varepsilon^2$.

Отсюда получаем соответствие между значениями расхождения частоты и вероятности обнаружения ε и необходимым количеством циклов сканирования фотошаблонов, приведенное в табл. 2. Например, для $\varepsilon=0,2$ должно быть выполнено 24 цикла сканирования (при наличии на тестовом шаблоне групп однотипных атестованных дефектов количество циклов сканирования может быть уменьшено в соответствующее число раз), а для $\varepsilon=0,005$ соответственно 38 000.

Таблица 2. Необходимое количество независимых испытаний

Величина рассогласования ε	Количество циклов n
0,005	38000
0,01	9500
0,05	380
0,1	95
0,2	24

При этом дефект должен быть обнаружен соответственно не менее 23-х и 38 000 раз.

Нужно отметить, что если воспользоваться теоремой Муавра–Лапласа, то можно получить существенно меньшие приближенные значения для числа циклов испытаний [4].

При необходимости подтверждения вероятностей P_1, P_2, \dots, P_n обнаружения дефектов различных размеров S_1, S_2, \dots, S_n можно уменьшить количество испытаний, если использовать теорему Пуассона — распространение теоремы Бернулли на случай последовательности независимых испытаний, где вероятность появления события может зависеть от номера испытания.

Пусть эта вероятность для k -го испытания равна $P_k, k=1, 2, 3, \dots, n$, и пусть $P'=(P_1+P_2+\dots+P_n)/n$, тогда, согласно следствию из теоремы Пуассона (если производится n независимых опытов и вероятность появления события A в i -м опыте равна P_i , то при увеличении n частота события A сходится по вероятности к среднему арифметическому вероятностей P_i) [3, 4]:

$$P(|m/n - P'| < \varepsilon) \geq 1 - P'Q'/n\varepsilon^2.$$

Представленный метод использован для подтверждения обнаружительной способности установок контроля топологии методом сравнения с проектными данными ЭМ-6029В и ЭМ-6329, для дефектов типа островок и прокол.

График, показывающий зависимость вероятности обнаружения дефектов типа островок и прокол от размеров дефектов для установок ЭМ-6029Б и ЭМ-6329 представлен на рис. 3.

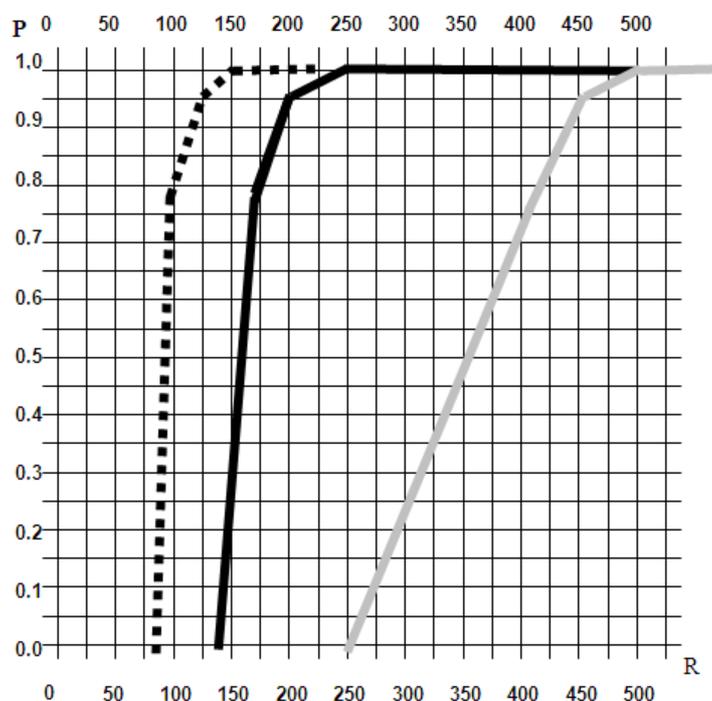


Рис. 3. Зависимость вероятности регистрации дефектов от порога обнаружения

Заключение

Для уменьшения влияния ложных и некритичных дефектов необходимо определить вероятности обнаружения дефектов, имеющих размеры ниже порога обнаружения. Имея значения этих вероятностей, с одной стороны, и зная, насколько вероятным является появление дефектов подобного рода, с другой стороны, можно выбрать оптимальные параметры системы фильтрации ложных дефектов. В частности, можно определять необходимость выполнения дополнительного цикла сканирования в режиме с высоким интерполяционным разрешением для уточнения размеров дефектов.

Точное определение вероятности обнаружения дефектов с размерами, меньшими порога обнаружения установки, позволяет оптимизировать процесс фильтрации ложных дефектов типа "прокол" и "островок" при автоматическом контроле топологии, а также повысить производительность контроля.

Предложенная методика позволяет точно определить количество испытаний, необходимых для подтверждения вероятности обнаружения дефектов при автоматическом контроле топологии и может использоваться при разработке программ и методик испытаний оборудования для автоматического контроля топологии СБИС и других изделий электронной техники.

METHOD TO DETERMINE A DETECTION CAPABILITY OF THE DIE-TO-DATABASE MASK INSPECTION SYSTEM IN REGARD TO ISOLATED DEFECTS

S.M. AVAKAW

Abstract

The paper presents a description and results of the use of a new technique to determine the detection capability of the automatic mask inspection systems. This technique is realized in the EM-6029B and EM-6329 systems, which employ the die-to-database inspection method. The technique is designed to determine the capability to detect such defects as pinholes and pindots (isolated defects).

Литература

1. Volk W.W., Broadbent W.H., Garsia H.I., et al. // EMC 2002. Januar 15–16. Munich, Germany, 2002. P. 163–173.
2. Hung C.C., Yoo C.S., Lin C.H., et al. // Yield Management. Spring 2001. Vol. 3, Issue 2. P. 68–75.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М., 2001.
4. Математическая энциклопедия: (в 5 т.) / Под ред. И.М. Виноградова. М., 1977.