

ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ

Основными направлениями научно-технической и производственной деятельности "Научно-производственного республиканского унитарного предприятия "КБТЭМ-ОМО" ГНПО "Планар" являются научно-технические разработки и производство специального оптико-механического технологического и контрольно-измерительного оборудования для производства изделий микроэлектроники: для изготовления фотошаблонов (в том числе шаблонов для печатных плат, ЖК-панелей, теневых масок цветных кинескопов), для литографии и контроля фотошаблонов. На предприятии накоплен большой опыт выполнения совместных научно-технических разработок с рядом зарубежных компаний Южной Кореи, Тайваня, КНР. География экспорта продукции предприятия: Россия, Германия, Китай, Италия, Южная Корея, Мексика, Индия, Польша, Тайвань, Израиль.

Применение лазерных технологий в оптико-механическом оборудовании для бездефектного изготовления оригиналов топологии изделий микроэлектроники обеспечивает высокую производительность при хороших точностных параметрах.

Новый комплекс специального технологического и контрольно-измерительного оборудования предназначен для реализации процесса бездефектного изготовления оригиналов топологии на фотошаблонах, представляет собой развитие моделей оборудования, которое КБТЭМ-ОМО производит уже сегодня (рис.1). Это многоканальный лазерный генератор изображений ЭМ-5189 с минимальным размером топологического элемента 0,6 мкм, многоканальный лазерный генератор ЭМ-5289 с минимальным размером топологического элемента 0,35 мкм, установка автоматического контроля топологии на соответствие проектным данным ЭМ-6329 (обнаружительная способность 0,25 мкм), лазерная система ремонта фотошаблонов ЭМ-5001 В с минимальным размером ремонтируемого (непрозрачного и прозрачного) дефекта 0,5 мкм и установка визуального контроля фотошаблонов с двухсторонней пленочной защитой ЭМ-6015.

С.Аваков, Л.Пушкин, В.Русецкий,
Г.Трапашко, В.Юдицкий

Структура нового комплекта специального технологического оборудования для бездефектного изготовления фотошаблонов показана на рис.2. Это многоканальный ГУФ лазерный генератор изображений с минимальным размером элемента 0,2 мкм, установка контроля топологии на соответствие проектным данным с обнаружительной способностью 65 нм, установка лазерного устранения дефектов топологии фотошаблонов с минимальным размером устраняемых прозрачных и непрозрачных дефектов 0,2 мкм и установка контроля критических размеров топологии, позволяющая производить измерения элементов с размерами до 0,35 мкм.

Многоканальный лазерный генератор изображений ЭМ-5389 относится к новому поколению лазерных генераторов для изготовления фотошаблонов. Он спроектирован для реализации современных требования производителей фотошаблонов технологического уровня 90 нм. Эти требования заключаются в повышении точности записи, увеличении плотности данных и снижении размера минимального элемента. Точность генератора ЭМ-5389 сравнима с точностью электронно-лучевых генераторов, поэтому, учитывая традиционные преимущества лазерных генераторов изображений, ЭМ-5389 идеально соответствует требованиям высокопроизводительного производства фотошаблонов. Высокая производительность, достигаемая при оптической обработке резиста, максимально сокращает время от ввода данных до изготовления фотошаблона. Система совмещения генератора дает возможность печатать многослойные фазосдвигающие фотошаблоны и изготавливать фотошаблоны в двухпроходном режиме.

Оптико-механическое устройство генератора – оптический проекционный канал, датчик совмещения, осветитель, координатный стол с интерферометрической системой, механизм автофокусировки с датчиком автофокусировки – размещены на гранитном вибропоглощающем основании. Оптический проекционный канал в виде оптического блока установлен на верхней поверхности гранитного основания, а объектив помещен в полость стекло-керамической (ситалловой) плиты, служащей базой для объектива, датчика автофокусировки и интерферометров системы ко-



Рис. 1. Комплекс оборудования для бездефектного производства фотошаблонов

ординат. Источник экспонирующего излучения – непрерывный ГУФ аргоновый ионный лазер с длиной волны 257,2 нм и мощностью 1 Вт. Дифракционным элементом луч лазера разделяется на 32 луча равной интенсивности, которые затем преобразуются в 32 параллельных пучка с линейной поляризацией. Принцип формирования изображения в генераторе ЭМ-5389 иллюстрируется на рис.3.

Установка контроля топологии ЭМ-6729 гарантирует максимально достоверное обнаружение дефектов топологии при минимальном количестве ложных дефектов. Оптическая система установки, построенная на базе 266 нм лазера AZURE, позволяет получать три типа изображения рисунка топологии фотошаблона:

- обычное контрастное изображение в проходящем свете (для бинарных и EPSM фотошаблонов);
- изображение в отраженном свете;
- изображение с фазовым контрастом, предназначенное для контроля фазосдвигающих шаблонов с переменным фазовым сдвигом, полученным путем травления кварцевой подложки (AltPSM, безхромовых и т.д.).

Установка обеспечивает несколько режимов контроля, включая:

- контроль в соответствии с традиционным методом die-to-database;
- контроль при помощи нового метода сравнения изображений, полученных в отраженном и проходящем свете, с проектными данными. Этот метод позволяет обнаруживать загрязнения и частицы на непрозрачных топологических элементах, а также выполнять полную классификацию дефектов в автоматическом режиме;
- новый метод сравнения параметрических моделей топологических структур (метод PMoPFC). Первая из этих моделей соответствует оптическому изображению, получен-

ному с фотошаблона, вторая – искусственному изображению, сгенерированному из проектных данных. Такие топологические элементы могут быть представлены либо как одиночные фигуры или как группы фигур. Этот метод особенно эффективен при контроле контактных окон и при оценке интегральных характеристик генераторов изображений. При контроле контактных слоев он обеспечивает чувствительность к дефектам на уровне 0,0625 размера пиксела. В этом случае вместо поэлементного сравнения бинаризованных или полутоновых моделей изображения используется сравнение параметрических моделей топологических структур, общие принципы для каждого из трех методов контроля топологии иллюстрируются на рис.4.

Параллельная реализация нескольких методов контроля требует применения быстродействующих специализированных алгоритмов детектирования и анализа дефектов. Возможная специализация алгоритмов обнаружения дефектов, позволяющая повысить достоверность и производительность контроля, показана на рис.5. Специализация алгорит-

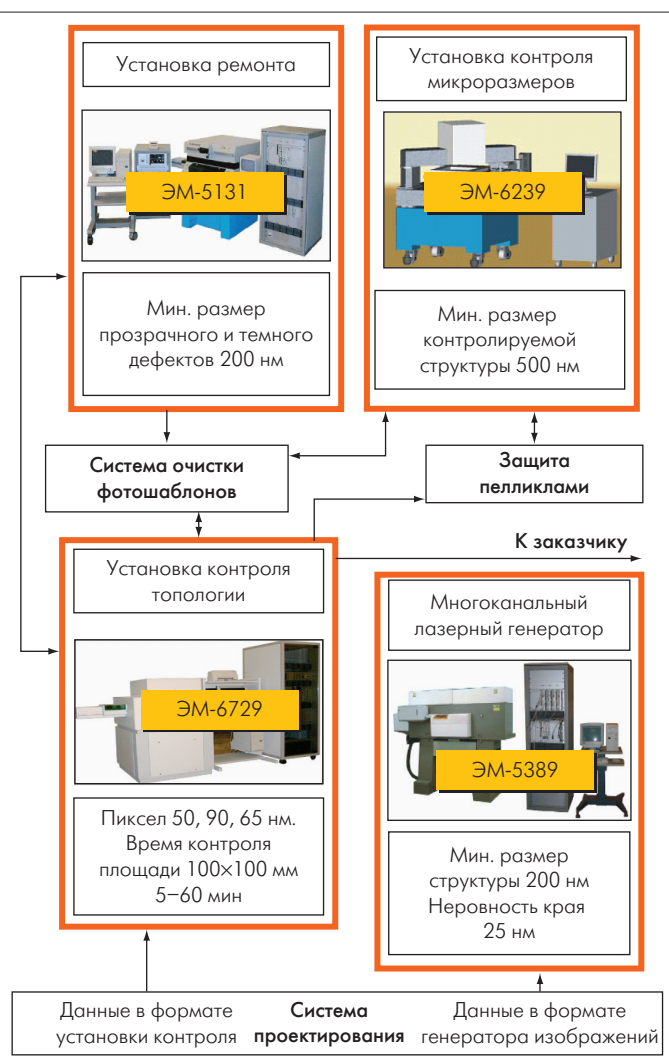


Рис.2. Комплекс оборудования для бездефектного производства фотошаблонов (разрабатываемый)

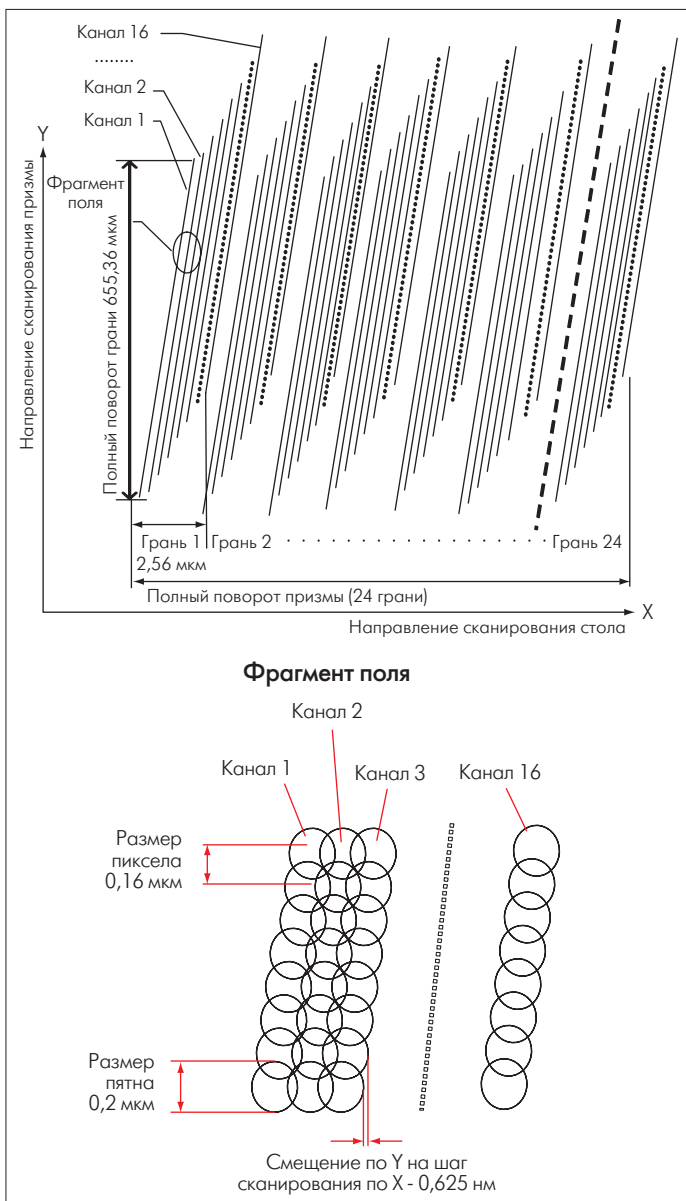


Рис.3. Принцип формирования изображения у генератора ЭМ-5389

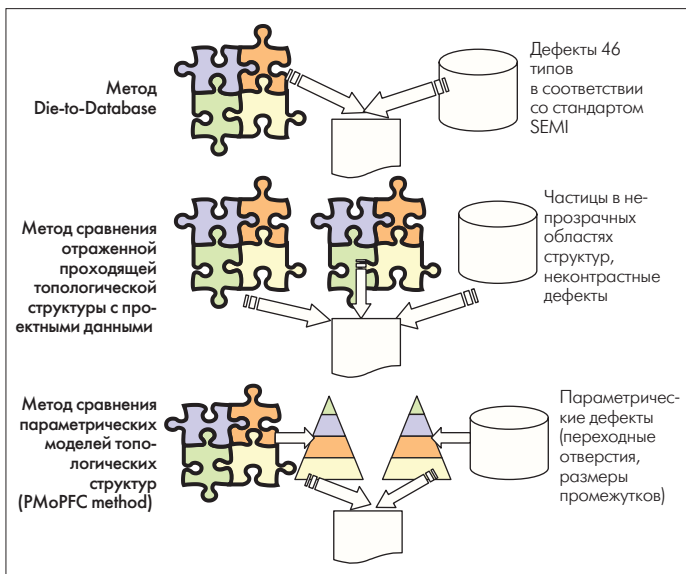


Рис.4. Общие принципы реализации трех методов контроля топологических структур

мов обеспечивает высокую достоверность контроля: максимальную обнаружительную способность и минимум ложных дефектов или некритичных дефектов.

Принцип модульности конструкции, примененный в установке, позволяет использовать широкий диапазон параметров системы обнаружения дефектов без каких-либо существенных изменений механической конструкции. Соблюдение этого принципа обеспечивает также широкий диапазон приложений и оптимальную адаптацию оборудования к требованиям заказчика, т.е. возможность:

- работы с различным размером пиксела в диапазоне 65–250 нм;
- использования различных типов устройств загрузки фотошаблонов;
- выполнения пакетной обработки при автоматической ориентации фотошаблона и полной автоматической классификации дефектов;
- реализации режима оценки размеров элемента с вычислением интегральных параметров, таких как точность размера, нелинейность размера, нелинейность сканирования.

Источником излучения для оптической системы установки служит непрерывный ГУФ лазер, работающий на длине волны 266 нм. Использование этого лазера позволяет реализовать высокую разрешающую способность и иметь достаточно световой мощности для надежной работы фотоэлектрических устройств регистрации изображения.

Установка ремонта фотошаблонов ЭМ-5131 предназначена для ремонта фотошаблонов имеющих прозрачные и непрозрачные дефекты, такие как островки, проколы, выступы, вырывы, закоротки между топологическими элементами, обрывы, скругление углов и т.д.

Ремонт прозрачных дефектов выполняется путем пиролитического осаждения металлоорганического соединения в зоне сфокусированного излучения непрерывного аргонового лазера. Источником излучения служит малогабаритный лазер с диодной накачкой, имеющий ряд преимуществ. Более короткая длина волны 488 нм и оптимальные характеристики излучения позволяют улучшить качество ремонта и обеспечить более действенный контроль процесса ремонта.

Непрозрачные дефекты устраняются путем испарения покрытия шаблона сфокусированным излучением лазера, работающего в импульсно-периодическом режиме. Отличительной особенностью создаваемой установки является использование нового технологического лазера с малой длиной импульса (130 пс). Этот источник обеспечивает выполнение самых высоких требований к отсутствию травмирования материала подложки фотошаблона в процессе испарения остатков маскирующего покрытия. Лазер излучает на двух длинах волн 514 и 257 нм, что позволяет использовать режимы работы в видимой области и в глубоком ультрафи-

олете (ГУФ) и в результате повысить производительность и качество ремонта фотошаблонов.

Выход в зону дефекта осуществляется автоматически по информации, полученной от установки контроля. Эта информация (файл-ведомость дефектов) содержит: координаты привязки каждого дефекта, размеры проекций дефекта на координатные оси X и Y, номер и тип дефекта. Ведомость дефектов может передаваться как по последовательному интерфейсу, так и на магнитном носителе. Производство фотошаблона завершается операциями контроля критических размеров элементов топологии шаблона (открытого или защищенного пелликом).

Установка контроля микроразмеров ЭМ-6239-01 предназначена для автоматизированного контроля, размеров элементов топологического рисунка и позволяет производить измерения элементов с размерами до 0,35 мкм на всех типах фотошаблонов и фотошаблонах с двухсторонней пленочной защитой.

Установку можно использовать для визуального контроля топологии фотошаблонов при большом увеличении (размер пиксела 35 нм) используя данные от систем контроля или ретуши дефектов. Эта возможность может быть полезной для детальной оценки результатов после ремонта фотошаблонов на длине волны экспонирования (365 нм). Установка работает по методу оптической микроскопии, когда критический размер элемента измеряется непосредственно по характерным точкам на профиле распределения интенсивности в его увеличенном изображении.

Точные измерения критических размеров проводятся в УФ-диапазоне на длине волны 365 нм монохромной CCD-камерой, режим освещения – проходящий или отраженный свет. Наблюдение объектов выполняется в видимом спектре в режиме отраженного света с помощью цветной CCD-камеры. Перед каждым измерением автоматически контролируется и устанавливается оптимальный уровень освещения и положение фокуса. Для достижения высоких метрологических характеристик и производительности контроля установка снабжена двухуровневой системой фокусировки. На первом уровне при перемещении и наблюдении объекта работает лазерная система фокусировки. Ее преимущества высокая чувствительность и динамические параметры, большая глубина захвата поверхности объекта (на два порядка превышает глубину резкости объектива), слабая зависимость результата фокусировки от оптических свойств поверхности образца и что наиболее важно, возможность фокусироваться на движущуюся поверхность образца (динамическая автофокусировка). Принцип ее работы основан на поиске плоскости объекта по минимальному размеру сфокусированного пятна отраженного от объекта луча лазера. Источником излучения служит полупроводниковый лазер с управляемой интенсивностью излучения, работающий в ближней ИК области спектра (670–720 нм). В системе используется свой-

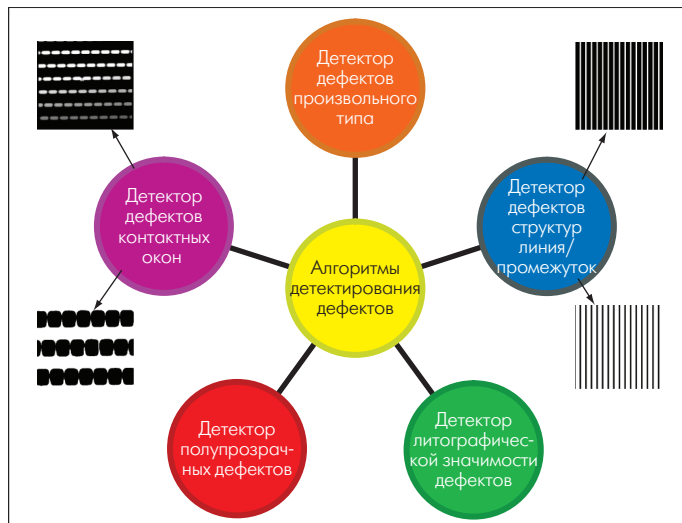


Рис.5. Специализация алгоритмов детектирования дефектов

ство лазерного излучения фокусироваться в пятно, минимальные размеры которого обусловлены только дифракционными ограничениями рабочего объектива.

Для достижения максимальной точности воспроизводимости и объективности фокусировки необходимо производить поиск фокуса по самому изображению, когда объект неподвижен (статическая фокусировка). Поиск фокуса производится в режиме вертикального сканирования с помощью алгоритма, который определяет величину некоторой характеристики в изображении и выбирает наилучшее положение фокуса как положение, при котором значение этой характеристики экстремально. Значения этой характеристики должны минимально зависеть от размеров элемента и уровня его освещенности. В положении фокуса, по характерным точкам на профиле интенсивности, измеряется критический размер элемента. При необходимо измерить "абсолютный" размер нужно провести калибровку по тест-шаблону с известными размерами и связать получаемый размер с "абсолютным" с помощью мультипликативной и аддитивной поправок. Однако в большинстве случаев важно знать лишь отклонение размера от заданного значения.

Таблица 1. ЭМ-5389. Минимальный размер элементов

Параметр	Значение
Основные элементы, мкм	0,20
Вспомогательные элементы, мкм	0,15
Размер пиксела, мкм	0,12

Таблица 2. ЭМ-5389. Требования точности

Параметр	Значение
Равномерность ширины линии, нм	20
Неровность края, нм	20
Точность совмещения, нм	50
Ошибка положения, нм	65
Совмещение второго слоя, нм	60

Таблица 3. ЭМ-5131. Минимальный размер дефектов

Параметр	Значение
Мин. темный дефект , мкм	0,2
Мин. прозрачный дефект , мкм	0,2

Таблица 4. ЭМ-6239-01. Требования точности

Параметр	Значение
Контролируемые элементы, мкм	0,35–35
СКО(1σ), мкм	2
Размер пиксела, мкм	35

Таблица 5. ЭМ-6729. Обнаружительная способность

Параметр	Значение
Размер пиксела, мкм	0,25; 0,15; 0,09; 0,065
Порог обнаружения для изолированных дефектов (P=0,95), мкм	0,20; 0,12; 0,065; 0,05
Порог обнаружения для изолированных дефектов (P= 1,00), мкм	0,25; 0,15; 0,09; 0,065
Порог обнаружения для примыкающих дефектов (P=0,95), мкм	0,25; 0,15; 0,09; 0,065
Порог обнаружения для примыкающих дефектов (P= 1,00), мкм	0,35; 0,20; 0,11; 0,09

Таблица 6. Производительность

Параметр	ЭМ-5389	ЭМ-5131	ЭМ-6729	ЭМ-6239-01
Производительность сканирования (время сканирования области 100×100 мм), Размер пиксела	2,2 мм ² /с (1,5 ч) 150 нм	–	2,5 мм ² /с (1,2 ч) 65 нм	–
Время настройки, мин	20	20	20	20
Время повторного запуска, мин	3	3	3	3
Время обработки одного элемента (проходящий и отраженный свет), с	–	4	4	4

Таблица 7. Размер рабочего поля

Параметр	ЭМ-5389	ЭМ-5131	ЭМ-6729	ЭМ-6239-01
Максимальный размер рабочего поля базовой модели, мм	215×215	153×153	153×153	200×200
Максимальная высота верхней рамки пелликла, мм	–	–	4	6
Максимальная высота нижней рамки пелликла, мм	–	–	4	6
Возможность опционального увеличения рабочего поля, мм	300×300	900×600	215×215	–

Таблица 8. Форматы данных

Формат	ЭМ-5389	ЭМ-6729
ЭМ-5x89	+	+
GDS-II	+	+
ZBA	Опция	Опция
Любой дополнительный формат, Incl., DXF, Gerber, 3600F	Опция	Опция

В заключение можно сказать, что преимущества комплексного подхода к проектированию такого оборудования заключаются в следующем.

- Обеспечивается возможность получения всесторонней совместимости координатных систем установок. Эта совместимость достигается путем применения однотипных интерферометрических систем контроля линейных перемещений, построенных на базе двухчастотных гелий-неоновых лазеров с длиной волны излучения 632 нм, а также путем применения одинаковых алгоритмов управления перемещением координатных столов.
- Осуществляются единые подходы к построению компенсации погрешностей системы координат. Эти погрешности связаны с изменениями параметров среды, локальной неоднородностью размеров фотошаблонов, изменением параметров во время производства компонентов координатной системы.
- Формируется единая система преобразования проектных данных для генератора изображений и установки контроля топологии. Эта система также включает общую подсистему, введения корректирующих поправок на размеры элементов структуры. Совместимость данных проектирования между генераторами с одной стороны и установками контроля топологии с другой, реализована не только на уровне формата данных, но также и на уровне внутренних алгоритмов процесса векторно-растрового преобразования при построении искусственного изображения. Это связано, например, с алгоритмами округления, алгоритмами, используемыми для огибания профилей и т.д.
- Обеспечивается возможность создания единых форматов данных при формировании баз данных дефектов топологии и применения единых подходов к классификации дефектов. При проектировании систем управления появляется возможность достижения максимальной унификации, что существенно упрощает эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования.

Основные параметры установок ЭМ-5389, ЭМ-6729, ЭМ-5131, ЭМ-6239-01 приведены в табл. 1–8.