

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ ОАО "КБТЭМ-ОМО" ДЛЯ ПРОЕКЦИОННОЙ СУБМИКРОННОЙ ЛИТОГРАФИИ

В.Плебанович, к.т.н.¹, С.Воронин²

УДК 621.38
ВАК 05.27.06

Фотолитография – ключевая операция в микроэлектронике, производстве МЭМС, МЭОС*, прецизионных СВЧ печатных плат. Точное соответствие изготавливаемой конструкции расчетам конструктора – залог высокого качества, воспроизводимости параметров и достижения предельных возможностей технологии. Специалистам необходимо иметь инструменты не только для точного совмещения и экспонирования, но и для постоянного контроля результатов на соответствие требованиям документации, а также своевременно выполнять комплекс работ по повышению качества в рамках функционирующей системы.

Возможности фотолитографии определяются комплектом оборудования, которым оснащен соответствующий участок. От его состава зависят возможности инженеров-технологов и конструкторов. Но для современных руководителей часто характерны два заблуждения, которые не позволяют динамично развиваться технологии.

Первое. "У нас есть установка, выпущенная 15–30 лет назад, которая согласно паспортным данным позволяет обеспечить требуемые проектные нормы. Зачем ее менять?"

Второе. "Зачем приобретать контрольно-измерительное оборудование, если купили хорошую установку для выполнения технологической операции?"

Правильный ответ на поставленные вопросы заключается в том, что создание на подложке топологии **с учетом конструктивных допусков** – основная задача при выполнении фотолитографии. И ее решение возможно только при наличии высокоточного оборудования, разработанного на базе современных элементов, кото-

рое позволяет выполнять экспонирование и совмещение в более жестких диапазонах конструктивных допусков.

Конструкция изделия, созданная на стадии проектирования, рассчитывается с учетом физических законов, моделируется на основе математических зависимостей и является эталоном. Естественно, повторить в идеале невозможно, поэтому на этапе проектирования проводится анализ и устанавливаются допуски на конструктивные и технологические параметры изделия. "Системная технология" устанавливает зависимость между параметрами технологического процесса, которые выражаются через дисперсию (σ) и допуск на параметр (Δ), а именно: $6\sigma \leq \Delta$.

Только в этом случае можно гарантировать, что 99,7% изделий будут соответствовать требованиям конструкторской документации. Это не так уж и много, если учесть, что по маршруту изготовления изделия необходимо выполнить сто операций, каждая из которых выполняется с данной вероятностью. Как показывает расчет, только 50% пластин будет полностью соответствовать требованиям документации. Результат не очень хороший.

Нестабильность поддержания температуры, разнотолщинность наносимого фоторезиста, неточность контроля времени, неравномерность энергии светового

¹ ОАО "КБТЭМ-ОМО", Республика Беларусь, Минск, заместитель директора, vpleba@kbtem-omo.by.

² ОАО "КБТЭМ-ОМО", начальник департамента маркетинга по странам ближнего зарубежья, kbtem.omo@gmail.com.

* МЭОС – микроэлектрооптические системы.

потока при экспонировании, точность задания зазоров и выравнивания подложки и фотошаблона, неплоскостность подложек и фотошаблонов и многое другое влияют на разброс параметров в технологическом процессе. Одни параметры могут быть управляемы в определенных пределах (температура, влажность, точность контроля времени, неравномерность энергии светового потока), другие – определяются параметрами установок (неравномерность нанесения фоторезиста, точность задания зазоров), третьи – принимаются как есть (неплоскостность подложек и фотошаблонов) или отбрасываются на входном контроле.

Параметры, которые определяются оборудованием, со временем ухудшаются. Происходит это, во-первых, за счет изменений (выработки) в механических деталях и узлах, во-вторых, за счет того, что оптические покрытия и детали со временем утрачивают свои свойства. Для того чтобы параметры привести к исходному состоянию, требуется обеспечить сервисное обслуживание на оборудовании с заменой либо восстановлением критических узлов. Поскольку такие работы не выполняются, технические параметры установок постепенно ухудшаются. **Для того чтобы своевременно обнаружить отклонения в технологическом процессе, нужно регулярно контролировать критические параметры с использованием контрольно-измерительного оборудования.**

Создание на подложке топологии с учетом конструктивных допусков – основная задача при выполнении фотолитографии. Контрольно-измерительное оборудование необходимо для того, чтобы контролировать параметры и обеспечивать соотношение для изготов-

ливаемого изделия путем влияния на параметры оборудования, окружающей среды и используемые материалы.

Конструктор для операции фотолитографии определяет следующие критические параметры: линейный размер тестового элемента и его разброс по полю пластины, рассовмещение между топологическими слоями, уровень дефектности по пластине. **Технологи** фотолитографии считают необходимым проводить контроль температуры, влажности, толщины фоторезиста и выборочный визуальный контроль. Последовательность операций субмикронной фотолитографии с перечнем оборудования представлен в табл.1.

Из маршрута изготовления (табл.1) следует, что ОАО "КБТЭМ-ОМО" производит полный комплект оптико-механического оборудования для участка субмикронной фотолитографии, что является его главным преимуществом перед конкурентами. Предприятие проектирует все оптико-механические и контрольно-измерительные установки как технологический комплекс на единой конструкторско-технологической базе. Установки, находящиеся в одном производственном цикле, согласованы аппаратно, программно и метрологически. При этом технические характеристики оборудования соответствуют мировому уровню, а по отдельным параметрам – превосходят лучшие зарубежные аналоги. Потребителю это позволяет снизить затраты на эксплуатацию.

Представим основное оборудование.

Автоматическая установка совмещения и экспонирования ЭМ-5084Б1 (рис.1) [1, 3] – это модернизированная установка ЭМ-5084, выпускаемая на пред-

приятию с 2000-х годов. Обновление в первую очередь коснулось комплекса управления (КУ), который сегодня построен на современной элементной базе с использованием промышленных компьютеров, ПЛИС, скоростных портов обмена информацией и архитектуры для промышленных устройств. Все аппаратные средства оформлены в конструктиве на базе стойки фирмы Schroff (Германия) с применением встроенных блоков питания и систем принудительной вентиляции. КУ комплектуется системой бесперебойного питания, которая позволяет исключить сбой оборудования при кратковременном отключении сетевого питания.

Модернизация оптико-механического устройства (ОМУ) заключалась



Рис.1. Установка ЭМ-5084Б1

Таблица 1. Операции получения топологического рисунка на подложке. Участок субмикронной фотолитографии

Маршрут изготовления (наименование операций)	Оборудование	Производитель оборудования	Примечание
Подготовка поверхности подложки	Установка химобработки, установка термической обработки	ОАО НИИПМ, Воронеж (Россия), SVCG (Чешская Республика)	Выполняется на участке химобработки
Нанесение и сушка фоторезиста	Автомат нанесения и сушки фоторезиста	ОАО НИИПМ, Воронеж (Россия) или зарубежная фирма	Требуется полный автомат
Контроль толщины фоторезиста по пластине	Установка автоматической спектральной эллипсометрии ЭМ-6022	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Полный автомат
Выборочный визуальный контроль	Установка автоматизированного контроля дефектности ЭМ-6015М	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Автоматизированное место визуального контроля
Совмещение и экспонирование	Автоматическая установка совмещения и экспонирования ЭМ-5084Б; ЭМ-5784. Для безмасочной литографии - генератор изображений ЭМ-5189-02; ЭМ-5289Б	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Минимальный размер: ЭМ-5084Б - 0,8 мкм; ЭМ-5784 - 0,35 мкм; ЭМ-5189-02 - 0,6 мкм; ЭМ-5289Б - 0,35 мкм
Проявление и дублирование фоторезиста	Автомат проявления и дублирования фоторезиста	ОАО НИИПМ, Воронеж (Россия) или зарубежная фирма	Требуется полный автомат
Выборочный визуальный контроль	Установка автоматизированного контроля дефектности ЭМ-6015	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Автоматизированное место визуального контроля
Контроль критических размеров	Установка автоматического контроля микроразмеров ЭМ-6239	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Полный автомат
Контроль рассовмещения топологических слоев	Установка автоматического контроля совмещения слоев ЭМ-6359	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Полный автомат
Контроль микродефектности на пластинах по фоторезисту	Установка автоматического контроля микродефектов на пластинах с топологией ЭМ-6429Б	ОАО "КБТЭМ-ОМО"	Полный автомат

в применении современных датчиков и исполнительных устройств, что позволило повысить производительность установки, увеличить диаметр обрабатываемых пластин до 200 мм, повысить точность управления шторами в проекционном канале, улучшить точность масштабирования изображения, ввести в состав установки дополнительные опции: совмещение по меткам с неплазменной стороны пластины-подложки, лифт для хранения и автоматической загрузки 10-ти фотошаблонов.

Новая разработка – **автоматическая установка совмещения и экспонирования ЭМ-5784** (рис.2) – предназначена для работы с субмикронными размерами 0,35 мкм. Отличительная ее особенность состоит в том, что в качестве источника излучения в проекционном канале используется твердотельный лазер. Применение лазера (табл.2) дает установке значительные преимущества перед аналогичными установками данного класса. Для пользователя наиболее важными являются снижение потребляемой мощности (на 32%) и увеличение срока службы (в 14 раз!!!).

Еще одной важной особенностью является размещение промежуточного фотошаблона (ПШ) на координатном столе, который может перемещаться по оси X с высокой точностью по меткам совмещения, расположенным на ПШ.

По сути, установка ЭМ-5784 – это фотонаборный степпер, позволяющий создавать новый класс изделий на подложке с наборными элементами топологии. Например, программировать RFID (БМК) непосредственно в процессе производства, проектировать системы-на-кристалле с управляемым набором компонентов и т.д.

Так как при создании установки ставилась задача обеспечить возможность работы и с пьезоэлектрическими подложками, она укомплектована датчиками, которые детектируют не только кремниевые

Таблица 2. Сравнение источников излучения проекционного канала

Параметр	Лазерный источник	Ртутная лампа НВО 2510W
Длина волны, нм	354,7	365 ± 2,5
Ширина спектра, пм	18	5000
Средняя выходная мощность, Вт	28	12
Потребляемая мощность, Вт	1700	2500
Срок службы, ч	22500	1500

подложки, но и подложки, изготовленные из ниобата лития, танталата лития, пьезокварца, лангасита, лангата и др.

Автоматическая установка совмещения и безмасочного экспонирования ЭМ-5289Б (ЭМ-5189-02) [2, 5] – **многолучевой сканирующий генератор изображений** – является развитием сканирующих генераторов изображений, которые ранее применялись только для создания топологии на фотошаблонах (рис.3, 4). Данные генераторы изображений предназначены для создания топологии на полупроводниковых подложках с субмикронными размерами более 0,35 мкм (для ЭМ-5189-02 минимальный размер 0,6 мкм). Отличительная особенность данной установки в том, что рисунок топологии в фоторезисте создается без применения фотошаблонов (масок),



- Рабочая длина волны, нм 354,7
- Фотолитографическое разрешение, мкм 0,35
- Масштаб проекционного уменьшения 1:5
- Рабочее поле, мм 3,2 × 3,2
- Диаметр обрабатываемых подложек, мм 76, 100, 150
- Размер фотошаблона, мм 127 × 127

Рис.2. Установка ЭМ-5784

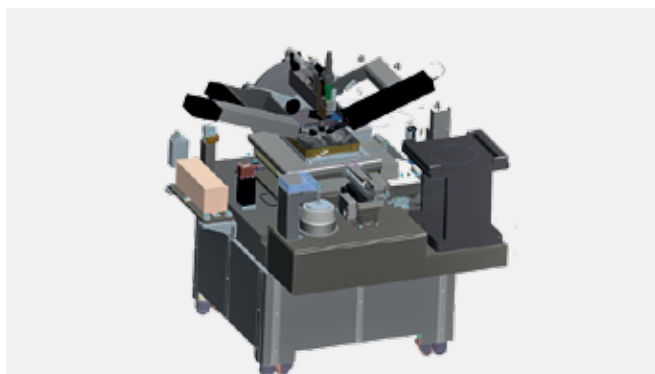


Рис.3.
Установка
ЭМ-5289Б

- Размер минимального элемента, нм.....350
- Погрешность совмещения, нм..... 50
- Точность расположения элемента, нм..... 40
- Среднее отклонение от номинала, нм25
- Неровность края, нм..... 30

а генерируется непосредственно с базы данных проекта. Это позволяет избавиться от погрешностей и неточностей, возникающих при изготовлении фотошаблонов. Так как образ фотошаблона существует только в электронном виде, то его легко редактировать при необходимости, создавать проекты размером с полупроводниковую подложку, объединяя разнообразные топологии производимых микросхем по базовому технологическому маршруту, или изготовить одну микросхему больших размеров.

При работе на генераторе изображений технологю не нужно искать окно процесса (широта экспозиции и оптимальный фокус) для различных топологических слоев, так как топология формируется попиксельно и ее насыщенность не сказывается на параметрах получаемого изображения, а автоматические системы поддержания интенсивности лазерных лучей позволяют своевременно обрабатывать влияние внешних факторов.



- Размер рабочего поля, мм 200×200
- Спектральный диапазон, нм245–1000
- Время контроля в заданной точке, с..... ≈1
- Диапазон контроля, нм..... 0,1–35 000
- Минимальный размер пятна (при нормальном падении света), нм 50
- Воспроизводимость..... $d < 0,25\lambda (1\sigma)$

Рис.5. Установка ЭМ-6022

Установка автоматической спектральной эллипсометрии ЭМ-6022 (рис.5) предназначена для контроля толщины прозрачных (полупрозрачных) пленок в диапазоне от 0,1 до 35 000 нм. Контроль проводится неразрушающими методами спектральной эллипсометрии. Установка представляет собой полный автомат для работы по методу "с кассеты в кассету".

Установка автоматического контроля микrorазмеров ЭМ-6239 (рис.6) предназначена для автоматического контроля размеров критических элементов топологии на полупроводниковых пластинах. Отличительная ее особенность в том, что размеры контролируются в условиях чистой комнаты (без вакуумирования) на длине волны 365 нм. Установка после обучения (потребитель должен один раз указать те действия, кото-



Рис.4. Установка ЭМ-5189-02

- Размер минимального элемента, нм 600
- Погрешность совмещения, нм70
- Точность расположения элемента, нм 60
- Среднее отклонение от номинала, нм 40
- Неровность края, нм..... 40



- Диапазон контролируемых размеров по X и Y, мкм.....0,5–35
- Среднеквадратическое отклонение случайной погрешности (σ), мкм 0,004
- Время контроля размера одного элемента, с1
- Диаметр контролируемых пластин, мм100, 150

Рис.6. Установка ЭМ-6239

рые должны выполнять механизмы установки для конкретной партии) представляет собой полный автомат для работы по методу "с кассеты в кассету".

Установка автоматического контроля совмещения слоев ЭМ-6439 (рис.7) предназначена для автоматического контроля совмещаемости топологических слоев по специальным меткам, формируемым одновременно с топологическим слоем.



- Среднеквадратическое отклонение случайной погрешности (σ_0), нм .. 2
- Производительность контроля, пластин/ч..... 70
- Диаметр контролируемых пластин, мм.....100, 150, 200

Рис.7. Установка ЭМ-6439



- Размер контролируемого пикселя, мкм 0,25
- Скорость контроля, мм²/с..... 10
- Диаметр контролируемых пластин, мм..... 100, 150

Рис.8. Установка ЭМ-6429Б

Установка после обучения на рабочем месте с пластинами заказчика представляет собой полный автомат для работы по методу "с кассеты в кассету".

Установка автоматического контроля микродефектов на пластинах с топологией ЭМ-6429Б (рис.8) [4] предназначена для контроля микродефектов на пластинах с топологическим рисунком. Метод контроля – попиксельное сравнение рядом расположенных кристаллов. В процессе контроля установка составляет карту дефектности и может демонстрировать на экране монитора каждый дефект для экспертной оценки.

После обучения на рабочем месте с пластинами заказчика установка представляет собой полный автомат для работы по методу "с кассеты в кассету".

Установка автоматизированного контроля дефектности ЭМ-6015М (рис.9) предназначена для автоматизированного контроля, обнаружения дефектов и измерения топологических размеров на полупроводниковых пластинах. Контроль проводится с использованием комбинированных режимов освещения: светлое и темное поле, отраженный и проходящий свет.

* * *

Таким образом, ОАО "КБТЭМ-ОМО" может поставить полный комплект оптико-механического оборудования для участка проекционной субмикронной фотолитографии, оснастить его как установками совмещения и экспонирования, так и комплектом контрольно-измерительного оборудования.

Более подробную информацию об оборудовании можно получить по телефонам +375 17-226-09-82, +375 17-392-25-06 или по e-mail: kbtem.omo@gmail.com.

В заключение остается пожелать руководителям предприятий радиоэлектронной промышленности, техническим специалистам, производителям изделий



- Диапазон увеличений объективов20–500
- Минимальный рабочий отрезок объективов, мм11
- Диапазон контролируемых размеров на увеличении 200х, мкм1–120
- Ход координатного стола для X и Y, мм200×200
- Потребляемая мощность, Вт, не более 500

Рис.9. Установка ЭМ-6015М

микроэлектроники больше доверять разработчикам оборудования (отечественным и из стран ближнего зарубежья) и получать оборудование мирового уровня с низкой стоимостью владения, которое, как показывает опыт, реально работает на предприятиях. Это подтверждается хорошими отзывами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Плебанович В.И., Воронин С.И., Сятковский Л.Г.** Фото-литография. Решение проблемы прецизионного совмещения слоев после эпитаксии // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2012. № 1. С. 100–102.
2. **Плебанович В.И.** Создание ЭКБ. Инновационные решения или импортозамещение? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 1. С. 110–118.
3. **Плебанович В.И.** Двухсторонняя литография – решение проблемы отвода тепла и разводки межсоединений в ИМС // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 4. С. 58–62.
4. **Плебанович В.И.** Автоматический контроль микродефектов на полупроводниковых пластинах // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 5. С. 132–140.
5. **Плебанович В.И.** Безмасковая литография – требование сегодняшнего дня // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 7. С. 112–118.