

Генераторы изображений для безмасковой литографии

С. Аваков д. т. н.¹, В. Плебанович к. т. н.², А. Лапко

УДК 621.38 | ВАК 05.27.06

Многие годы технологи фотолитографии работают на традиционных установках совмещения и экспонирования – проекционной или контактной печати. Но за последнее время инженеры-конструкторы создали такие лазерные генераторы изображений (ГИ), которые по точности переноса топологии превзошли все ранее известные способы. Многолучевые лазерные генераторы изображений позволяют на практике внедрять в серийное производство безмасковую литографию.

Лазерные генераторы не могут похвастаться разрешением лучше 200 нм, но зато они позволяют исключить затраты на производство фотшаблонов, для них нет ограничений на размеры кристалла, и реализация multi project не требует дополнительных затрат, их скорость печати высока по сравнению с генераторами E-beam. Все это открывает новые возможности для разработчиков микросхем и их производства.

Если вам не удастся вписать все функции устройства в кристалл типовых размеров вы можете кристалл увеличить до нужных размеров и создать полнофункциональное устройство на уровне кристалла, а не платы. Это позволит не только уменьшить массогабаритные характеристики, но и повысить надежность. Возможность менять топологию рядом расположенных кристаллов в одном технологическом цикле позволяет создавать изделия, близкие по техническим параметрам, но разные по функциональному применению. Возможности конструктора в данном случае становятся безграничными [1].

Но как доказать, что генераторы изображений обеспечивают качество переноса изображения лучше, чем повсеместно используемые установки проекционной печати, которые на сегодняшний день являются эталоном технологического оборудования для фотолитографии. Основным критерием оценки качества является расчет индексов воспроизводимости.

Индекс воспроизводимости – это коэффициент, показывающий во сколько раз граница допуска на параметр, установленная в конструкторской документации, больше, чем фактическое среднеквадратичное отклонение параметра, обеспечиваемое технологией. Графическое представление распределения технологического параметра при разных

значениях среднеквадратичного распределения (σ) представлено на рис. 1. Если допуск на параметр измерять в величинах среднеквадратичного отклонения параметра, то чем меньше значение среднеквадратичного распределения, тем больше количество его значений может находиться в его пределах.

Из теории статистического анализа известно, что если величина допуска для параметра равняется двум среднеквадратичным отклонениям, то в этот допуск (2σ) попадет только 68,3% всех значений выборки, а 31,7% значений не будут соответствовать требованиям конструкции и, следовательно, должны быть забракованы. Результаты расчетов процента выхода годных для различных разбросов параметров в выборке (4σ , 6σ , 8σ , 10σ) представлены в табл. 1. В зависимости от количества последовательных операций с данными значениями разброса можно рассчитать результирующий процент выхода для технологического маршрута. Если взять простой КМОП-маршрут

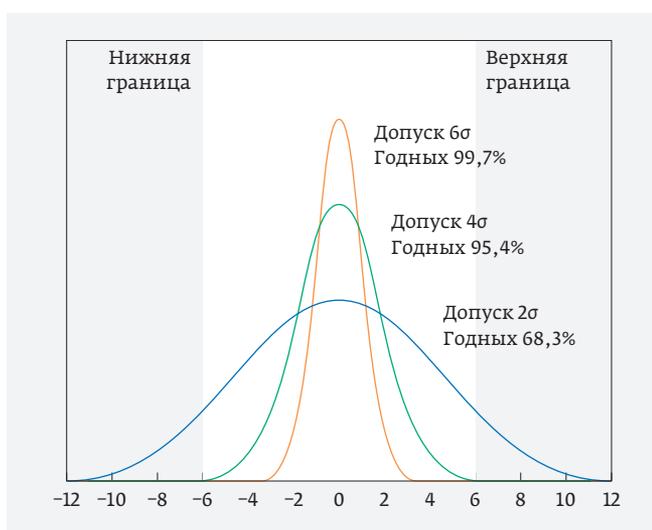


Рис. 1. Нормальное распределение параметра в рамках допуска для различных значений среднеквадратичного распределения

¹ ОАО «КБТЭМ-ОМО», Республика Беларусь, г. Минск, ASM@kbtm-omo.by.

² ОАО «КБТЭМ-ОМО», Республика Беларусь, г. Минск, Vpleba@kbtm-omo.by.

для технологических норм 2–3 мкм, то он состоит из 100 технологических операций. Если у нас для каждой операции на маршруте разброс параметров будет вкладываться в 4σ от допуска, то окончательный процент выхода будет составлять 0,9%, что неприемлемо. Чем меньше разброс параметров, тем меньше значение среднеквадратичного распределения, тем большее количество этих значений может вписаться в допуск на параметр, следовательно, выше будет процент выхода годных. Исходя из приведенных аргументов допуск на параметр является важнейшей характеристикой в оценке качественных показателей сравниваемых единиц оборудования.

Сравним лазерные генераторы изображений производства ОАО «КБТЭМ-ОМО» и стейперы японской фирмы Nikon. Генератор изображения ЭМ-5589 предназначен для безмасковой литографии с технологическими нормами 0,6 мкм, а генератор ЭМ-5289Б со стейперами – для технологических норм 0,35 мкм. Для данных технологических норм японская фирма Nikon была лидером по производству стейперов, поэтому выберем установку NSR2205i8A для нормы 0,5 мкм и NSR2205i14E2 – для норм 0,35 мкм.

Если сравнить параметры генератора изображений и стейпера аналогичного уровня технологии (табл. 2, 3), можно увидеть, что по основным параметрам, которые определяют

Таблица 1. Результаты расчета процента выхода для выборок с различным разбросом параметров и количества операций

Допуск/σ	4	6	8	10
Ср или Срк	0,67	1,0	1,33	1,67
% пластин в допуске, 1 операция на маршруте	95,4	99,7	99,97	99,99
% пластин в допуске, 10 операций на маршруте	62,4	97	99,7	99,97
% пластин в допуске, 100 операций на маршруте	0,9	74	97	99,7
Оценка	Неуд.	Уд.	Хор.	Отлично

точность передачи топологии (точность расположения элемента, нелинейность элемента, воспроизводимость критического размера), генератор изображений ничем не уступает стейперу. При этом нужно обратить внимание на то, что параметры стейпера даются без учета точности изготовления шаблона. Величина точности изготовления фотошаблона соответствует параметрам генератора изображений, что с учетом масштаба экспонирования стейпера (5:1) приведет к росту погрешности еще на 20%. Если технические параметры генератора изображений и стейпера сравнить с требованиями технологии для этих норм, то мы получим:

- при технологии 0,35 мкм (см. табл. 2) для генератора изображения индексы воспроизводимости лежат

Таблица 2. Сравнение основных параметров стейпера и генератора изображений для технологии 0,35 мкм

Параметры	Требования ITRS	Генератор изображений	Стейпер	Стейпер + шаблон
Наименование установки		ЭМ-5289Б	Nikon NSR2205i14E2	Nikon NSR2205i14E2
Проектная норма, мкм	0,35	0,35	0,35	0,35
Поле экспонирования, мм		215×215	22×22	22×22
NA		0,78	0,5–0,63	0,5–0,63
Точность расположения элемента, нм Lens Distortion, nm	±80	±40 6,0σ	±35	±43 5,6σ
Нелинейность элемента, нм Resolution linearity	±50	±30 5,0σ	±35	±41 3,7σ
Воспроизводимость критического размера, нм Isolated / Dense lines bias uniformity, nm	±70	±25 8,4σ	±35	±40 5,3σ
Точность совмещения с предыдущим слоем, нм Total Overlay (Overlay + Stepping Precision), nm	±110	±50 6,6σ	±75	±85 3,9σ
Наклон ф/р Resist Slope		83° 59%	81° 55%	81° 55%

Таблица 3. Сравнение основных параметров степпера и генератора изображений для технологии 0,6 мкм

Параметры	Требования технологии	Генератор изображений		Степпер	Степпер + шаблон	
Наименование установки		ЭМ-5589		Nikon NSR2005i8A	Nikon NSR2005i8A	
Проектная норма, мкм	0,6	0,6		0,5	0,5	
Поле экспонирования, мм		215×215		20×20	20×20	
NA		0,6		0,5	0,5	
Точность расположения элемента, нм Lens Distortion, nm	±150	±60	7,5σ	±70	±82	5,5σ
Нелинейность элемента, нм Resolution linearity	±90	±40	6,8σ	±50	±58	4,6σ
Воспроизводимость критического размера, нм Isolated / Dense lines bias uniformity, nm	±120	±40	9σ	±50	±58	4,6σ
Точность совмещения с предыдущим слоем, нм Total Overlay (Overlay + Stepping Precision), nm	±150	±70	6,4σ	±180	±194	2,3σ
Наклон ф/р Resist Slope		83°		81°	81°	
		59%		55%	55%	

в диапазоне от 5,0σ до 8,4σ, для тех же параметров степпера индексы воспроизводимости будут составлять от 3,7σ до 5,6σ, что значительно ниже;

- при технологии 0,6 мкм (см. табл. 3) для генератора изображений индексы воспроизводимости в диапазоне от 6,4σ до 9,0σ, для тех же параметров степпера индексы воспроизводимости будут составлять от 2,3σ до 5,5σ, что значительно ниже.

По точности совмещения топологии степпер существенно уступает лазерному генератору изображений, так как суммарная погрешность степпера зависит от точности определения координат меток совмещения (что соизмеримо с точностью генератора) и точности перемещения между модулями экспонирования. В результате генератор переносит изображение второго слоя в 1,5–2 раза точнее.

Вторым важным преимуществом генератора изображений является поле экспонирования. Оно сегодня соответствует размеру 215×215 мм, хотя может быть сделано и больше по требованию заказчика. Размер поля экспонирования дает возможность не только рисовать кристаллы больших размеров, что востребовано при создании системы на кристалле (СНК), мультиплексоров, ПЗС-матриц, но и предлагать оптимальные объемы поставок различных зашивок БМК, ПЛИС, ПЗУ и реализовывать multi project при разработке новых конструкций ИМС или при оказании услуг по фаундри. Одной пластиной, экспонируемой на генераторе изображений, вы можете заменить целую опытную партию изделий [2].

За все хорошее приходится расплачиваться временем экспонирования. Сегодня оно составляет около одного часа на

пластину при однопроходном экспонировании, соответственно для получения качественного изображения требуется два прохода, что приведет к увеличению суммарного времени. Но техника не стоит на месте, появляются новые быстродействующие электрооптические, акустооптические, МЭМС-системы контроля и управления лучом лазера, что в итоге приводит к сокращению времени экспонирования.

Некоторые специалисты не видят проблем в длительных сроках выполнения операций ионной имплантации или термомодиффузионных процессов, но при этом считают, что увеличенное время экспонирования может привести к росту дефектов на пластине при экспонировании при безмасковой литографии. Такие предположения не имеют под собой никаких оснований. Генератор состоит из узлов, которые не генерируют дефекты: стол перемещается на воздушной подушке, управление лучом лазера проводят электрооптические преобразователи. Запыленность внутри установки определяется классом чистоты помещения, в котором он расположен. Небольшие размеры оптомеханического устройства (ОМУ), полная его автономность позволяют создать такой уровень чистоты помещения, который обеспечит необходимые условия для бездефектной фотолитографии.

Сразу хочу предупредить читателей, что не все лазерные генераторы изображений обладают такими параметрами, как приведенные в табл. 2, 3. Сегодня на рынке представлена большая гамма дешевых генераторов изображений или псевдодорогих, для которых большинство параметров, рассмотренных в статье, совсем не специфицировано, и установки по ним не проходят аттестацию при приемо-сдаточных

КБТЭМ-ОМО

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



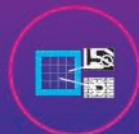
Увидимся в Мюнхене 12-15 ноября
на SEMICON Europa 2019, холл В1,
стенд № 254
Ваш КБТЭМ-ОМО



ПРОЕКТИРОВАНИЕ



ГЕНЕРАЦИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ



КОНТРОЛЬ
ФОТОШАБЛОНОВ



РЕМОНТ
ФОТОШАБЛОНОВ



ФОТОЛИТОГРАФИЯ



КОНТРОЛЬ
ПЛАСТИН

БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0.35, 0.6 μm
- Высокая точность совмещения
- $\varnothing 200, 150, 100$ мм



ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина – шаблон



КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом Die-to-DB, Die-to-Die
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0.15/ 0.3/ 0.5 μm min элемент
- Размер шаблона до 9"x9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты



КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



СТЕППЕРЫ

- Проектная норма 0.35, 0.8 μm
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 100, 150, 200$ мм
- Твердотельный источник света



КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



Создаем традиции будущего!

- Единое таможенное пространство
- 58 лет опыта в разработке и производстве прецизионного оптико-механического оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства
- Высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования, адаптированного для Российского рынка, программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GenSys (Германия)

Республика Беларусь
220033, г. Минск
Партизанский пр-т, 2

тел: (+375 17) 226 09 82
(+375 17) 223 71 28
факс: (+375 17) 226 12 05

office@kbtem-omo.by
kbtem.omo@gmail.com
www.kb-omo.by



испытаниях. Некоторые параметры хоть и заявлены в спецификации, но их уровень не соответствует уровню технологии, и они к тому же часто не подтверждаются на практике. Например, точность совмещения для технологии 0,6 мкм должна быть не хуже ± 150 нм, так как этот параметр влияет на величину перекрытия между слоями и в результате определяет размер кристалла. Встречающиеся на рынке установки декларируют точность совмещения 200–1000 нм, хотя никто из пользователей не подтверждает такую точность совмещения и чаще всего сообщает о точности совмещения 1,5–3 мкм, что может устроить только изготовителей очень простых изделий микроэлектроники.

Для контроля большинства параметров генераторов изображений требуется дорогостоящее прецизионное контрольно-измерительное оборудование, которое имеется только у серьезных поставщиков. Контроль таких параметров, как воспроизводимость критического размера, нелинейность элемента топологии, точность совмещения с предыдущим слоем, требуют измерения расстояний в единицы нанометров, что возможно только на хорошем растровом электронном микроскопе (РЭМ), работающем с увеличением не менее 40 000 крат. Для контроля точности расположения элемента требуются установки для контроля координат топологии, позволяющие измерять расстояния в сотни миллиметров с точностью несколько нанометров. Измерения такого уровня позволяют реализовать такие уникальные установки, как ЭМ-6209 (КБТЭМ-ОМО) или IPRO (Leica).

ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Генератор изображений ЭМ-5589 (рис. 2) – это многолучевой (16 лучей) лазерный генератор изображений, предназначенный для создания топологии по безмасковой технологии с проектными нормами 0,6 мкм и более на полупроводниковых (или др.) подложках. Для экспонирования используется твердотельный лазер, работающий на i-line с гарантированной наработкой на отказ более 22 тыс. часов.

Генератор изображений ЭМ-5289Б (рис. 3) – многолучевой (32 луча) лазерный генератор изображений, предназначенный для создания топологии по безмасковой технологии с проектными нормами 0,35 мкм и более на полупроводниковых (или др.) подложках. Для создания топологии используется газовый лазер, работающий в DUV-диапазоне.

В генераторах изображений загрузка стандартных полупроводниковых пластин проводится автоматически с кассеты. Все функции аттестации и работы генераторов автоматизированы. В генераторах есть встроенные системы пассивной и активной защиты от вибрации. Конструктивные элементы генераторов изображений, отвечающие



Рис. 2. Внешний вид генератора изображений ЭМ-5589

за создание топологии, выполнены из термостабильных материалов. Все это в комплексе позволяет обеспечить высокое качество и достоверность создаваемой топологии на полупроводниковых подложках [3]. Более подробную информацию можно получить на нашем сайте (<http://kb-omo.by/>) или по электронной почте (kbtem.omo@gmail.com).

Представленные в этой статье генераторы изображений производства ОАО «КБТЭМ-ОМО» сегодня успешно применяются для безмасковой литографии в серийном производстве изделий микроэлектроники на передовых предприятиях Российской Федерации. Как показала практика, по безмасковой технологии можно изготовить настолько уникальные изделия, которые невозможно было бы создать при помощи другого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Плебанович В.** Создание ЭКБ. Инновационные решения или импортозамещение? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 1(00141). С. 110–118.
2. **Плебанович В.** Безмасковая литография – требование сегодняшнего дня // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 7(00147). С. 112–118.
3. **Аваков С.** Все ключевые технологии мы реализуем у себя на предприятии // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 5(00176). С. 12–18.



Рис. 3. Внешний вид генератора изображений ЭМ-5289Б