



БЕЗМАСКОВАЯ ЛИТОГРАФИЯ

MASKLESS LITHOGRAPHY

УДК 621.38, ВАК 05.27.06

АВАКОВ СЕРГЕЙ МИРЗОЕВИЧ

ASM@kbtem-omo.by

ПЛЕБАНОВИЧ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

Vpleba@kbtem-omo.by

ОАО «КБТЭМ-ОМО»

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

AVAKAW SYARHEI M.

ASM@kbtem-omo.by

PLEBANOVICH VLADIMIR I.

Vpleba@kbtem-omo.by

KBTEM-OMO JSC

2 Partizansky Ave., Minsk, 220033, Republic of Belarus

Наряду с массовым производством все чаще возникает потребность в индивидуальном подходе при производстве интегральных микросхем (ИМС). Десятилетиями складывающаяся технология производства ИМС не подразумевает индивидуального производства. Наличие фотошаблона (маски) подразумевает многократное повторение одного и того же изделия. Появление многолучевых сканирующих генераторов изображений позволило серьезно подойти к освоению технологии безмасочной литографии.

Ключевые слова: безмасочная литография; лазерный генератор изображений; фотолитография; моделирование.

Alongside mass production, there is a growing necessity for individual approach to IC fabrication. The IC production process which has been developing for decades does not imply piece production. The existence of photomasks means repeated fabrication of the same item. The emergence of multi-beam scanning pattern generators has made it possible to adopt maskless lithography process.

Keywords: maskless lithography; laser pattern generator; photolithography; simulation.

Интерес к безмасочной литографии формируют несколько причин:

- отсутствие товара массового производства;
- конструктивные особенности изделия, которые по своим характеристикам превосходят возможности установок проекционной печати;
- рост стоимости производства фотошаблонов;
- высокая стоимость хранения, учета и поддержания в требуемом состоянии комплектов фотошаблонов;
- желание иметь полупроводниковое производство, которое с одинаковой эффективностью может производить широкую гамму изделий;
- снижение затрат на оснастку при проведении ОКР;
- ограничения на тиражирование уникальных конструкторских решений.

С появлением сканирующих многолучевых генераторов изображений, оснащенных системой прецизионного совмещения, появилась возможность отказаться от фотошаблонов и создавать топологию непосредственно в фоторезисте на полупроводниковой пластине. Что это дает?

1. Повышается точность переноса топологии. Если по традиционной технологии точность размещения элемента топологии и его размеры обеспечиваются точностью изготовления фотошаблона (генератор изображений) и точностью переноса изображения (степпера) в фоторезист на пластине, то по безмасочной технологии точность расположения элемента и его размеры зависят только от точности работы генератора изображений, что равносильно повышению точности в два раза. Таким образом, для изготовления прецизионных ИМС предпочтительно использовать генератор изображений.

2. Размеры изготавливаемой микросхемы определяются рабочим полем экспонирования установки совмещения

и мультипликации. Но если вам необходимо сделать изделие «макросхема» с размерами, превышающими имеющиеся возможности, тогда специалисты идут на всякие ухищрения (склейки топологии) во вред качеству. Генератор изображений позволяет нарисовать топологию размерами с подложку (сегодня это 215×215 мм) без всяких ухищрений.

3. Так как генератору все равно, каких размеров кристалл, то создание multi-проект тоже ограничивается только размером подложки. А это позволяет одновременно изготавливать несколько изделий по одному технологическому маршруту.

4. Точность совмещения у генераторов изображений выше, чем у установок совмещения и мультипликации.

5. Требования к фоторезисту такие же, как и для установок мультипликации, и они определяются длиной волны, на которой работает установка.

6. Метки совмещения используются общие как для генераторов изображений, так и для степперов, что позволяет проводить комбинированное изготовление изделий на генераторе изображений и степпере в обоснованных случаях.

7. Фокусировка: в отличие от степперов, где для улучшения переноса изображения используется выравнивание по клину, в генераторах изображений фокусировка непрерывно отслеживает нахождение пластины под объективом и тем самым улучшает изображение даже для не совсем ровных пластин.

8. Для степперов на определение «окна технологического процесса» значительное влияние оказывает «эффект близости», который проявляется в том, что необходимо подбирать энергию экспонирования для топологии в зависимости от ее плотности. Если у вас в топологии присутствуют участки с различной плотностью элементов, то это приведет к тому, что лучшие условия экспонирования для этих участков топологии будут разными и в итоге «окно технологического процесса» значительно



уменьшится. При экспонировании на генераторе изображений данный эффект отсутствует.

У безмасочной литографии только один недостаток — время экспонирования подложки. Но сегодня с развитием техники скоростные показатели генераторов изображений непрерывно улучшаются. Генераторы изображений, работающие с одним лучом, уходят в прошлое, поэтому современные установки делают с 16 или 32 лучами, что позволяет значительно повысить производительность.

ОАО «КБТЭМ-ОМО» (Республика Беларусь) поставляет две модели генераторов, оптимизированных под проектные нормы 350 нм и 600 нм, оба генератора работают как с подложками, так и фотошаблонными заготовками. Генератор ЭМ-5189-02 укомплектован твердотельным лазером.

Чтобы понять, при каких объемах выпуска применение генераторов изображений экономически обосновано, нужно обратиться к графику. При работе на генераторах себестоимость фотолитографии не зависит от объема выпуска продукции. Себестоимость фотолитографии на мультипликаторе (установке контактной печати) дополнительно включает стоимость комплекта шаблонов, а он (комплект фотошаблонов) для субмикронных размеров имеет значительную стоимость. Поэтому себестоимость фотолитографии при работе на степпере при плане выпуска менее 1000 пластин будет значительно выше, чем при работе на генераторе изображений. Изделия, изготавливающиеся в небольших объемах, экономически целесообразно производить на генераторах изображений.

Генераторы изображений



ЭМ-5189-02

- лазерная установка UV
- минимальный элемент 600 нм
- **Твердотельный лазер**
- Фазосдвигающие шаблоны
- **Опция прямого рисования на подложке**
- 16-лучевая архитектура



ЭМ-5289Б

- лазерная установка DUV
- минимальный элемент 350 нм
- фазосдвигающие шаблоны
- **Опция прямого рисования на подложке**
- 32-лучевая архитектура

Себестоимость фотолитографии в пересчете на пластину

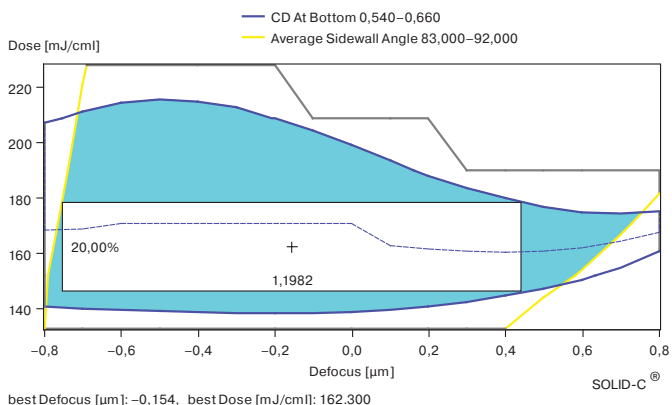
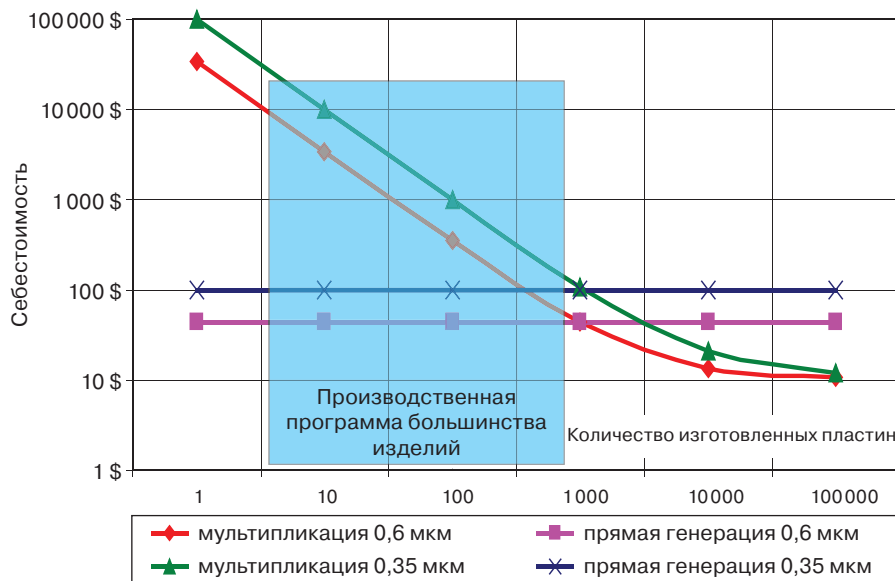


Рис. 1. Результат моделирования «окна технологического процесса» для генератора изображений ЭМ-5189-02 при толщине фоторезиста 0,97 мкм

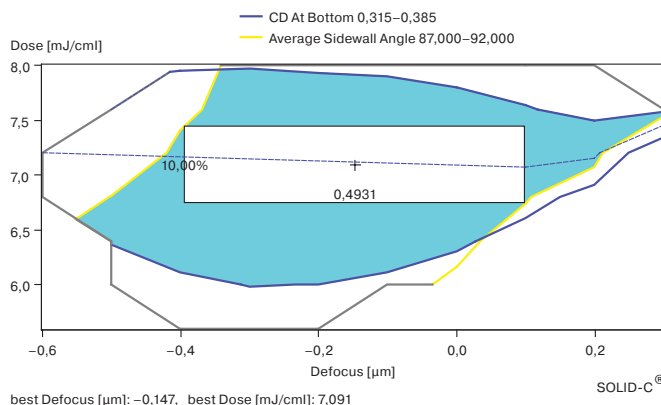


Рис. 2. Результат моделирования «окна технологического процесса» для генератора изображений ЭМ-5289Б при толщине фоторезиста 0,56 мкм

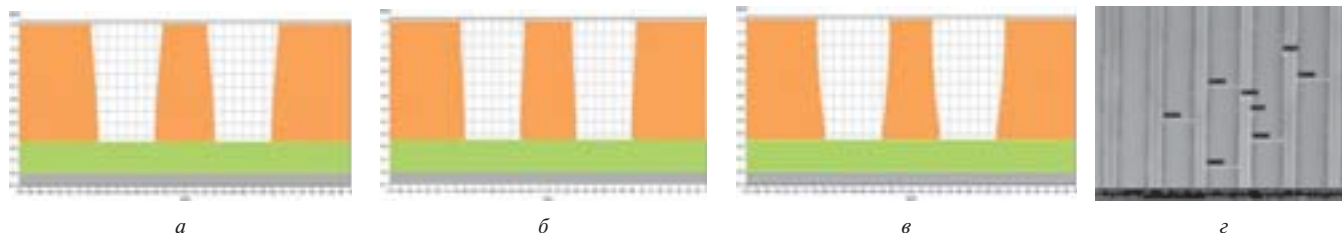


Рис. 3. Профили фоторезиста при экспонировании на генераторе изображений ЭМ-5189-02 в «окне процесса» при крайних значениях глубины фокуса: а) значение фокуса $DoF = -0,6$ мкм, размер элемента $CD = 589$ нм, угол наклона фоторезиста = $84,4^\circ$; б) лучший фокус $DoF = -0,0$ мкм, размер элемента $CD = 600$ нм, угол наклона фоторезиста = $86,4^\circ$; в) $DoF = 0,6$ мкм, размер элемента $CD = 593$ нм, угол наклона фоторезиста = $84,2^\circ$, г) фактический результат

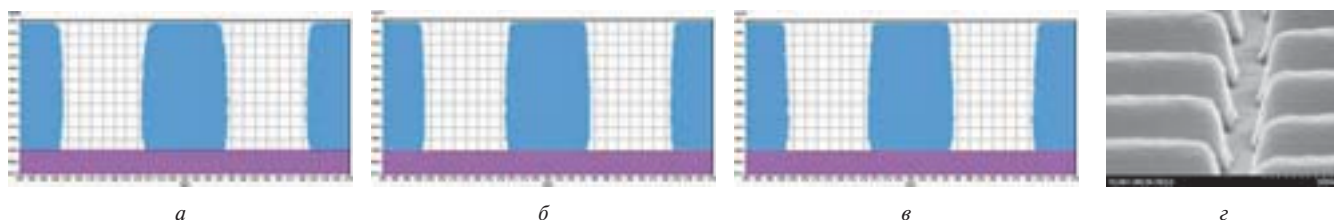


Рис. 4. Профили фоторезиста при экспонировании на генераторе изображений ЭМ-5289Б в «окне процесса» при крайних значениях глубины фокуса: а) значение фокуса $DoF = -0,2$ мкм, размер элемента $CD = 346$ нм, угол наклона фоторезиста = $88,4^\circ$; б) лучший фокус $DoF = -0,0$ мкм, размер элемента $CD = 350$ нм, угол наклона фоторезиста = $88,5^\circ$; в) $DoF = 0,2$ мкм, размер элемента $CD = 344$ нм, угол наклона фоторезиста = $88,8^\circ$, г) фактический результат

Для моделирования технологического процесса безмасочной фотолитографии удобно пользоваться программой моделирования SOLID-C. Она позволяет рассчитать «окно процесса» фотолитографии для каждого конкретного технологического случая.

Критериями оценки являются угол наклона фоторезиста и размер элемента. Исходными данными для моделирования являются марка фоторезиста, его толщина, исходная подложка и параметры оптической системы генератора изображений (апертура объектива и длина волны).

Результатом моделирования является график с проходом по дозе экспонирования и фокусу и рассчитанными значениями заданного топологического размера и угла наклона фоторезиста. На рис. 1, 2 представлены результаты моделирования для генератора изображений ЭМ-5189-02 и ЭМ-5289Б.

Для наглядности можно посмотреть, как меняется профиль фоторезиста в разных областях «окна процесса». На рис. 3, 4 представлены результаты моделирования профиля фоторезиста при крайних значениях фокуса для генераторов изображений ЭМ-5189-02 и ЭМ-5289Б. Исходные параметры остались неизменными, что и в предыдущем случае.

ВЫВОДЫ

Существует много применений для безмасочной литографии. Безмасочная литография позволяет получать преимущества в процессе производства прецизионных изделий, изделий с большой площадью ИМС, реализовывать multi-project любой сложности. Рабочее «окно технологического процесса» не хуже, чем для степера аналогичного технологического уровня. Более подробную информацию о генераторах изображений можно получить у авторов статьи по электронной почте или на сайте WWW.KB-OMO.BY.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аваков С., Дрогун Е., Карпович С., Титко Д., Шоломицкий В., Овчинников В. Оптико-механическое оборудование для бездефектного изготовления фотосаблонов // Электроника НТБ, 2016. — № 3(00153)6. — С. 127–133.
2. Плебанович В.И. Создание ЭКБ. Инновационные решения или импортозамещение? // Электроника НТБ, 2015. — № 1(00141). — С. 110–118.
3. Плебанович В.И. Безмасочная литография — требование сегодняшнего дня // Электроника НТБ, 2015. — № 7(00147). — С. 112–118.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЭЛЕКТРОНИКА
ПЛАТКА
ТЕХНОЛОГИИ
БАЗИС

НАНОИНДУСТРИЯ
НАУКА | ТЕХНОЛОГИИ | ПРОИЗВОДСТВО

ФОТОНИКА

ПЕРВАЯ
МИЛЯ

Аналитика
НАУКА | ТЕХНОЛОГИИ | ПРОИЗВОДСТВО

СТАНКОИНСТРУМЕНТ
НАУКА | ПРОЕКТИРОВАНИЕ | ПРОИЗВОДСТВО