

# Динамичное изменение топологии микросхем – преимущество мультифотонаборного степпера

В. Плебанович, к. т. н.<sup>1</sup>, С. Аваков, д. т. н.<sup>2</sup>, В. Карлов<sup>3</sup>

УДК 621.382.002 | ВАК 05.27.06

Среди большого разнообразия микросхем существует определенный класс интегральных микросхем (ИМС), именуемых «метками». Они отличаются от других ИМС тем, что в каждую микросхему записывается уникальный код, который отличает ее от другой микросхемы. Выпускать «метки» традиционным способом нерационально, хотя мало кто из специалистов об этом задумывается. Специалисты ОАО «КБТЭМ-ОМО» предлагают применять для изготовления «метки» с уникальным кодом специальное фотолитографическое оборудование – мультифотонаборный степпер, который позволяет топологическим способом записать уникальный код в «метку» (причем перезапись кода невозможна). Экономические показатели производства схем-меток с применением степпера значительно улучшаются.

**И**МС-метки бывают контактные (ID) или бесконтактные (RFID). Уникальный код, записанный в микросхемах, позволяет использовать их как электронные ключи, электронные деньги, акцизные марки, метки товара и т. д. Подделать такую «метку» очень трудно. Потребность в «метках» измеряется миллиардами. Но, как известно, в массовом производстве по планарной технологии каждый кристалл микросхемы на пластине мало чем отличается от соседнего, а здесь еще надо записать уникальный код, который содержит 64 ячейки или более. Часть информации в этих ячейках динамично изменяется (уникальный код), а часть является условно постоянной (идентификатор поставщика услуг).

Как это делается сегодня? Конструктор встраивает в ИМС ряд одноразовых блоков (занимающих до 50% общей площади ИМС), которые позволяют записывать такой уникальный код во время функционального тестирования ИМС. **Одноразовые блоки** – это функциональные узлы ИМС, которые используются только для записи данного уникального кода. Некоторые специалисты считают наличие таких блоков в микросхеме нежелательным, так как их **можно применять для несанкционированного перепрограммирования «метки»**. Поскольку программирование «метки» возможно при повышенных напряжениях (14 В), то и элементная база блоков выбирается

соответствующая. Например, если «метка» будет функционировать при напряжениях питания 3...5 В, а блоки, связанные с программированием «метки», работают при напряжениях до 14 В, то это потребует применения как минимум двух наборов транзисторов (низковольтных и высоковольтных). Расширение набора транзисторов приведет к увеличению маршрута изготовления ИМС как минимум **на две операции фотолитографии**. Более того, высоковольтные транзисторы по сравнению с аналогичными низковольтными занимают большую площадь.

Процесс тестирования микросхем с проведением записи уникального кода очень трудоемкий, состоит из нескольких этапов. Сначала проверяется готовность микросхемы к записи – фактически это тест на функциональный контроль и контроль наиболее важных статических параметров ( $I_{cc}$ ,  $U_{oi}$ ,  $U_{oh}$ ,  $I_o$  и др.). На следующем этапе ИМС программируется (т. е. записывается уникальный код) при подаче соответствующих высоких напряжений. На последнем этапе осуществляются полный контроль функционирования ИМС и контроль статических параметров. Пластина диаметром 200 мм тестируется около 36 ч.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

- используемый маршрут изготовления «меток» избыточный (на две фотолитографии больше);
- до 50% площади кристалла используется нерационально;
- процесс тестирования трудоемкий.

Как показывает анализ полученных данных, причиной такого положения дел при производстве «меток»

<sup>1</sup> ОАО «КБТЭМ-ОМО», заместитель директора, VPlaba@kbtem-omo.by.

<sup>2</sup> ОАО «КБТЭМ-ОМО», директор.

<sup>3</sup> ОАО «КБТЭМ-ОМО», главный конструктор.



Масштаб изображения	1 : 5
Рабочая длина волны, нм	354,7
Разрешение (минимальный размер), мкм	0,35
Размер рабочего поля, мм	3,2 × 3,2
Числовая апертура объектива	0,45–0,61
Диаметр экспонируемых пластин, мм	100, 150

Рис. 1. Установка совмещения и экспонирования ЭМ-5784 и основные технические параметры степпера

является невозможность в процессе фотолитографии динамично изменять топологию микросхемы (или хотя бы ее части).

Предприятие ОАО «КБТЭМ-ОМО» предлагает два способа динамичного изменения топологии в процессе фотолитографии – безмасковую и мультифотонаборную фотолитографию. Первый способ рассматривался в журнале «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» № 7 за 2015 год [1], а второму посвящена настоящая статья.

**Мультифотонаборный степпер ЭМ-5784** (рис. 1) производится в ОАО «КБТЭМ-ОМО» (г. Минск, Республика Беларусь).

Основные отличия ЭМ-5784 от других степперов [2–4]:

- промежуточный шаблон размещается на координатном столе, который может перемещаться по оси Y с высокой точностью относительно пластины;
- прецизионный набор шторок по X, Y позволяет с высокой точностью (2 мкм) выделить нужный фрагмент топологии на промежуточном шаблоне и впечатать его в микросхему;
- источник экспонирования – твердотельный лазер;
- возможность работы с пьезоэлектрическими подложками.

Компоновочное решение установки совмещения и экспонирования ЭМ-5784 представлено на рис. 2.

Автоматические функции установки:

- загрузка подложек из подающей кассеты, ориентация и перенос на столик экспонирования;
- загрузка промежуточного шаблона (ПШ) из кассеты и базирование;
- фокусировка и выравнивание подложки;

- измерение координат положения знаков совмещения на подложке;
- измерение координат положения знаков совмещения ПШ;
- экспонирование и мультипликация фрагментов изображений ПШ на подложку;
- выгрузка проэкспонированных подложек в приемную кассету.

Интерферометрическая измерительная система позволяет прецизионно перемещать подложку по координатам X, Y, Z в плоскости резкого изображения объектива. Для системы характерно шесть степеней свободы, 12 возможных линейных и угловых измерений. Точность измерения координат составляет 0,6 нм.

Установка может работать в двух режимах совмещения.

#### **Глобальное совмещение по 2, 4, 9, 16 и 25 знакам.**

По результатам измерений реальных координат знаков



Рис. 2. Компоновочная схема установки ЭМ-5784

совмещения установка рассчитывает коррекцию координат положения экспонируемых модулей и использует их при последующей мультипликации.

**Покадровое совмещение.** В этом режиме экспонируются все модули, рядом с которыми есть знаки совмещения (последовательно: измерение координат знака совмещения, выход в рассчитанную координату и экспонирование).

Для обеспечения лучшего разрешения установка реализует два режима выравнивания подложки.

**Глобальное выравнивание.** После загрузки и перемещения центра пластины под ось проекционного объектива обеспечиваются ее фокусирование и выравнивание, затем система выравнивания отключается и в дальнейшем пластина только фокусируется.

**Покадровое выравнивание.** Выравнивание и фокусировка пластины проводится на каждом экспонируемом кадре.

Оба режима позволяют получать наилучшие результаты в фоторезисте, тестовые отъемы представлены на рис. 3.

**Производственный маршрут изготовления ИМС «Метка» с использованием степпера ЭМ-5784.** В конструкцию ИМС встраивается ПЗУ, которое программируется в процессе производства на фотолитографии «Контакты». ИМС «Метка» изготавливается по типовому маршруту

с использованием традиционных установок мультипликации и совмещения. Фотолитография «Контакты» выполняется на степпере ЭМ-5784. За первый проход в каждый кристалл впечатывается топология «Контактов-const», имеющая неизменную часть. За второй проход впечатывается топология «Контактов-1», для которой характерны незначительные изменения между соседними кристаллами – например, ячейки старших разрядов изменяются с минимальной частотой и т. д. Все топологии, из которых набрана требуемая топология слоя «Контакты», размещаются на промежуточном шаблоне, внешний его вид представлен на рис. 4.

На промежуточном шаблоне (ПШ) размерами 127×127 мм можно разместить N модулей с различными фрагментами топологии. Рядом с каждым фрагментом топологии находится метка (знак) базирования (рис. 5). Это позволяет обеспечить расположение различных фрагментов топологии на подложке с точностью не хуже 50 нм.

Топология знака базирования дает возможность обеспечить большую зону захвата ( $\pm 0,6$  мм) в режиме грубого наведения и малую погрешность считывания координаты при точном базировании. Нелинейность измерения

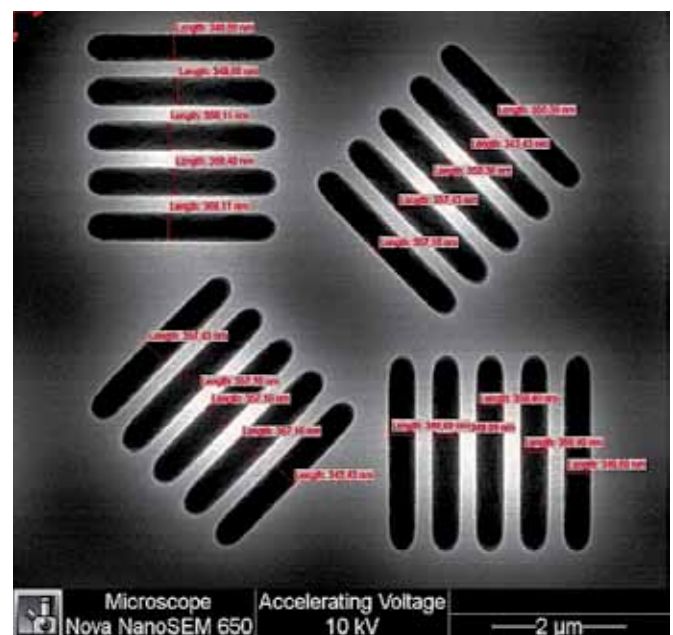


Рис. 3. Тестовые отъемы с установки ЭМ-5784



## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



### БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0.35, 0.6  $\mu\text{m}$
- Опция прямого рисования
- $\varnothing 200, 150, 100 \text{ mm}$
- Высокая точность совмещения



### КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

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



### ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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



### СТЕПЕРЫ

- Проектная норма 0.35, 0.8  $\mu\text{m}$
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 100, 150, 200 \text{ mm}$
- Твердотельный источник света



### КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

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



### КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

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



### РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный / пикосекундный лазер
- 0.2 / 0.5  $\mu\text{m}$  min элемент
- Размер шаблона 7" x 7"
- Устранение прозрачных и непрозрачных дефектов



### АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Визуальный контроль
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



- Единое таможенное пространство
- 55-летний опыт разработки и производства 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. В том числе, адаптированного для Российского рынка программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GenISys (Германия)



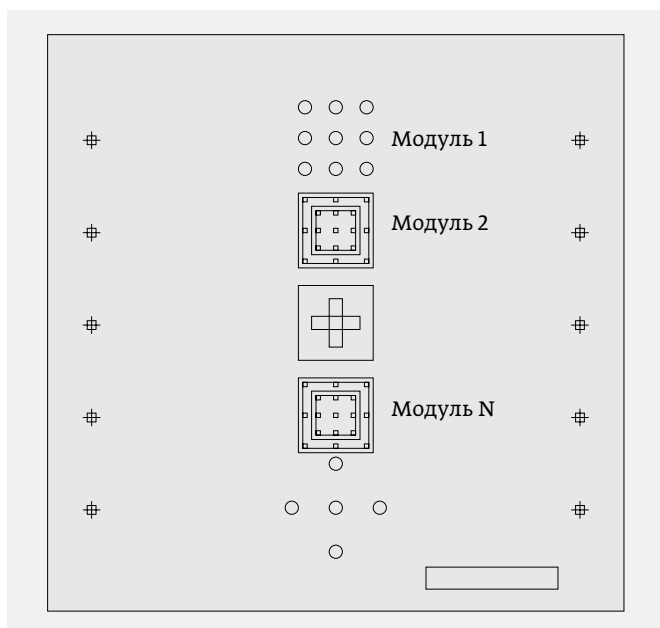


Рис. 4. Внешний вид промежуточного шаблона

координат ПШ с помощью датчиков базирования, приведенная в плоскость пластины, меньше 5 нм.

Источником экспонирования является твердотельный лазер, благодаря чему установка снабжена высокостабильной световой энергией. К преимуществам данного источника света относятся: большое время наработки на отказ – около 22 тыс. ч (например, у ртутной лампы 1,5 тыс. ч), высокий КПД (1,7%) активной световой энергии (у ртутной лампы 0,5%) и малая потребляемая мощность 1700 Вт (у ртутной лампы 2500 Вт).

Установка оптимизирована для работы не только с кремниевыми подложками, но и пьезокерамическими, что позволяет ее применять для изготовления «Меток» с использованием эффектов на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Таким образом, в ОАО «КБТЭМ-ОМО» разработана установка совмещения и экспонирования ЭМ-5784

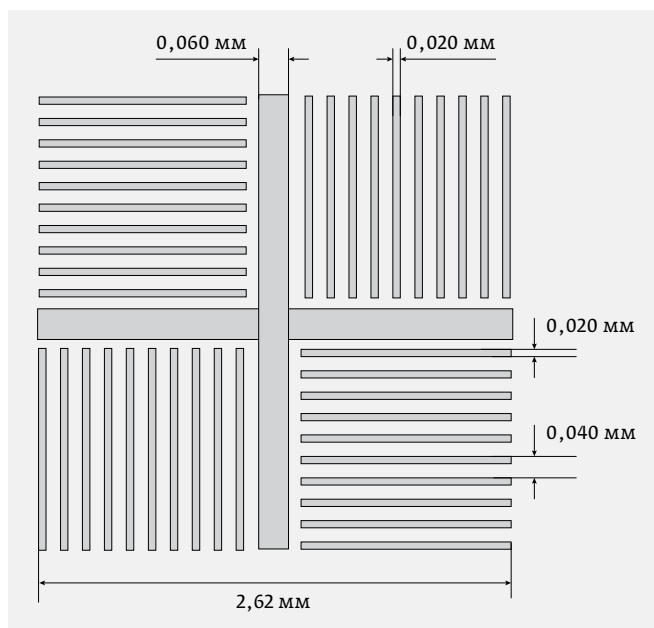


Рис. 5. Знак базирования

с уникальной возможностью динамического изменения топологии ИМС в процессе фотолитографии.

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

В заключение остается в очередной раз пожелать руководителям предприятий радиоэлектронной промышленности, техническим специалистам, производителям изделий микроэлектроники больше доверять разработчикам оборудования (отечественным, из стран Ближнего зарубежья) и получать оборудование мирового уровня с низкой стоимостью владения. Как показывает опыт, такое оборудование используется на предприятиях, что подтверждается хорошими отзывами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Плебанич В. И.** Безмасковая литография – требование сегодняшнего дня // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 7 (00147). С. 112–118.
2. **Плебанич В. И., Воронин С. И., Сятковский Л. Г.** Фотолитография. Решение проблемы прецизионного совмещения слоев после эпитаксии // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2012. № 1 (00115). С. 100–102.
3. **Плебанич В. И.** Создание ЭКБ. Инновационные решения или импортозамещение? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 1 (00141). С. 110–118.
4. **Плебанич В. И.** Двухсторонняя литография – решение проблемы отвода тепла и разводки межсоединений в ИМС // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 4 (00144). С. 58–62.