

ТЕХНОЛОГИИ

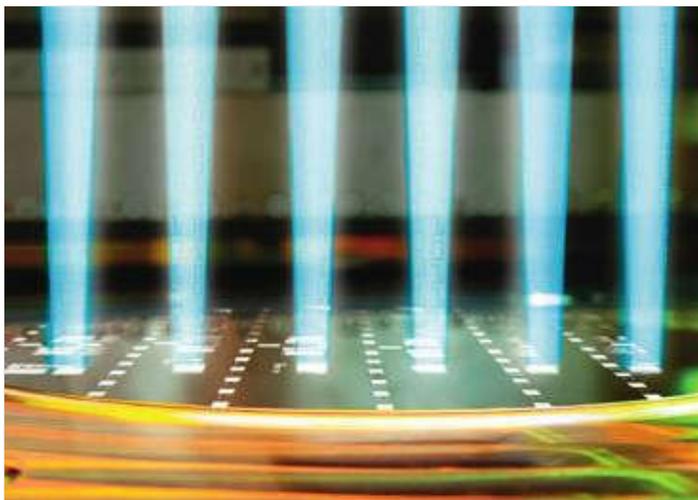
ТЕХНОЛОГИЯ MLE™ И EV GROUP БРОСАЮТ ВЫЗОВ ПРОЦЕССУ БЕЗМАСКОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЭМС И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ КОРПУСИРОВАНИЯ



Текст: Дмитрий Суханов



Можно ли применять технологию безмасковой литографии в процессах back-end в современном корпусировании (Advance Packaging)? Или применять ее в производстве МЭМС? Что лежит в основе данной технологии и помогает компании EVG успешно ее использовать? В статье мы попробуем дать ответы на эти вопросы.



1
Технология EVG MLE™. Источник: www.evgroup.com

Весьма захватывающим событием в полупроводниковом производстве является переход к трехмерной и гетерогенной интеграции в рамках процесса современного корпусирования. Мобильные процессоры положили начало первому циклу роста в области 3D- и гетерогенной интеграции. Ожидается, что этот цикл роста продолжится, поскольку применение высокопроизводительных систем, таких как искусственный интеллект и поколение связи 5G, набирает обороты в мобильных устройствах и, конечно же, в «двигателе» современной микроэлектроники – IoT (Интернет Вещей). Все эти тенденции способствуют развитию современного корпусирования, требуя новых технологий для обеспечения большей применимости различных конструкций – гибкости их применений. Это позволит повысить производительность и снизить стоимость проектирования системы. В частности, процесс литографии требует наибольшей гибкости или даже возможности подстраиваться под новые задачи. В этом процессе необходимо учитывать локальные изменения при процессе совмещения и нелинейную усадку материала – и это только несколько требований, которые предъявляют к пластинам в back-end процессе. В то же время уменьшение размеров межсоединений нуждается в формировании более плотной структуры линия-зазор (line and space).

Эти проблемы в процессе современной литографии поспособствовали развитию технологии безмаскового экспонирования EVG MLE™ (Maskless Exposure)¹ (рис 1). Технология MLE™ компании EVG и основанная на ней система безмасковой литографии EVG MLE™ (рис 2) позволяют удовлетворить все критические требования к гибкости системы, к гибкости конструкции разрабатываемых структур и минимальному времени их разработки особенно в «мире» крупносерийного производства, устраняя трудности и затраты, связанные с применением фотошаблонов. Технология



2
Система EVG MLE™. Источник: www.evgroup.com

MLE™ обеспечивает высокое разрешение для индустрии современного корпусирования (менее 2 мкм для структур линия-зазор, причем без сшивки) и экспонирование без использования фотошаблона (безмасковое экспонирование) по всей поверхности подложки с высокой производительностью и низкой стоимостью владения (Cost of Ownership).

В чем основное преимущество технологии MLE™?

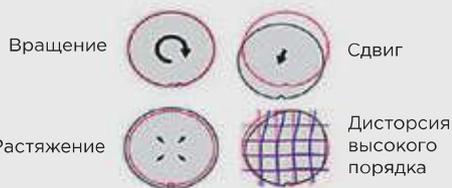
Возможность масштабирования системы в соответствии с потребностями клиента компания EVG решила просто – путем добавления или удаления пишущих головок ультрафиолетового облучения, что позволило упростить и ускорить переход от R&D к крупносерийному производству, оптимизировать производительность, а также адаптироваться к различным размерам подложки, на которой проводится процесс экспонирования, и используемым материалам. Система EVG MLE™ позволяет достичь одинаковых характеристик формирования рисунка независимо от типа и толщины фоторезиста благодаря гибкому и масштабируемому мощному УФ-лазерному источнику, который позволяет проводить процесс экспонирования на разных длинах волн. Это делает его идеальным для обработки различных подложек: от небольших кремниевых пластин или полупроводниковых пластин группы AIIIВV до панелей большого размера.

Технические характеристики пластин для процесса корпусирования fan-in довольно стандартные и имеют лишь небольшие различия. При этом данный процесс нельзя считать современным корпусированием, хотя на это есть все основания. А вот пластины в «настоящем» современном кор-

¹ «Расширяя границы существующих систем безмасковой литографии – технология MLE™ (Maskless Exposure) от EV Group», журнал «Вектор высоких технологий» № 1 (46) 2020

Компенсирование

- Механическое размещение кристаллов и неточности, вызванные напряжением, с помощью адаптивной подстройки
- Деформация подложки высокого порядка, например толстые пластины, стеклянные и органические подложки



Возможности

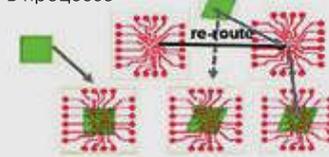
- Разработка многоуровневого дизайна кристаллов и пластин
- Создание индивидуальных слоёв в кристаллах (серийный номер, ключи шифрования)
- Смешивание и масштабирование с минимальным переключением
- Экспонирование без сшивки



Получить

- Возможности in-line, большая наработка на отказ, цена-качество
- Гибкость из-за отсутствия фотошаблонов
- Возможность экспонировать подложки различной формы и размера

Изменение маршрута в процессе



3

Основные показатели эффективности технологии EVG MLE™. Источник: www.evgroup.com

пусировании обладают целым рядом особенностей (эпоксидные материалы, установленные на носителе утоненные пластины и т. д.), которые могут серьезно повлиять на геометрию пластины (добавляют до нескольких миллиметров отклонения к изгибу и перекосу), а геометрия платины – это наисложнейшая проблема для процессов экспонирования с использованием фотошаблонов. Для работы с такими пластинами нужны адаптируемые платформы (рис 3). Для МЭМС формирование топографии является частым требованием. В обоих случаях конструктивные особенности EVG MLE™ позволяют создавать структуры с размерами элементов менее 2 мкм.

Какие проблемы могут возникнуть на пути данной технологии? Позволит ли технология EVG MLE™ обеспечить быстроту и гибкость при переходе от R&D к серийному производству?

Гибкость технологии EVG MLE™ позволит быстро выйти на рынок, используя одну и ту же технологию как для этапа разработки, так и на последующих этапах производства, в том числе при переходе на серийное производство. В этой технологии используются кластерные многоволновые лазерные источники света, работающие на длинах волн 375 и/или 405 нм. Это, в свою очередь, дает возможность создавать структуры (экспонировать) на тонких слоях фоторезиста, включая позитивные и негативные фоторезисты, различные полиимиды и полимеры, сухие пленочные фоторезисты, и проводить обработку печатных плат (экспонировать фотоземлю). Помимо тонких слоев светочувствительных материалов возможна обработка (экспонирование) толстых слоев фоторезиста, при этом поддерживается проведение процесса с высоким соотношением сторон, что обычно применяется в МЭМС-структурировании, микрофлюидике, сборке на уровне пластины и в фотонике. Область применения технологии безмаскового экспонирования очень широка. Для специализированных (исследовательских и мелкосерий-

ных) продуктов затраты на разработку фотошаблонов и внесение последующих изменений довольно высоки, и здесь MLE предлагает очень привлекательную по стоимости альтернативу. В целом, производительность и гибкость – это два основных фактора гетерогенной интеграции, которые на 100 % учитывает технология EVG MLE™.

Какие возможности даст гибкость и масштабируемость технологии EVG MLE™?

Возможность крупносерийного производства с использованием технологии безмаскового экспонирования – это главное изменение правил игры на современной арене производства микроэлектроники. Ранее результаты литографических процессов на этапах back-end во время проведения НИОКР с использованием оборудования для прямого формирования изображений невозможно было получить в серийном производстве при помощи степперов. Сегодня все изменилось. В микроэлектронике наблюдается рост номенклатуры продукции, так как микросхемы и сегментированные кристаллы будут «двигателем» непрерывного масштабирования совместно с производительностью. Появится необходимость динамического структурирования при различных толщинах фоторезиста и уровнях доз излучений (рис 4). Технология EVG MLE™ обеспечивает предъявляемые требования и при этом обладает высокой глубиной фокусировки при разрешении 2 мкм, используя физический предел дифракции установленной оптики.

Возможности масштабирования технологии EVG MLE™ очень широки. Комбинация перечисленных факторов позволяет создавать структуры на таких материалах как кремний, стекло, полимеры и ламинаты, используя одну и ту же оптику, а также компенсировать изгиб и деформацию подложки, что особенно важно для корпусирования fan-out на уровне пластины (FOWLP). Эти особенности и обеспечивают непрерывный процесс литографии с высоким выходом годных и высокой производительностью.

Typical		Metrics	<2017	2019	2022	2025	SiP Advancement
Flip Chip (IC Substrate)	FC BGA	Substrate RDL L/S	30/30 to 10/10 μm	8/8 to 5/5 μm		> 2/2 μm	FC BGA SiP
	FC CSP	Substrate I/O Pitch	1200 to 350 μm			300 μm	Double Sided FC SiP
		Substrate I/O Ball	500-3000		>> 3000		FO on Substrate
		Max level of RDLs	10-16x RDL		>> 10 RDL		
Fan-Out	FO	Substrate RDL L/S	15/15 to 8/8 μm	5/5 μm to 2/2 μm		< 1/1 μm	HD FO SiP PoP
		Substrate I/O Pitch	200 μm	350 μm	200 μm		
		Substrate I/O Ball	< 300	600-1300	>> 1500		
		Max level of RDLs	3x-4x RDL		> 4x RDL		

3

Прогноз технологического маршрута для процессов fan-in и fan-out в корпусировании на уровне пластины до 2025 года. Источник: www.yole.fr

Какие требования предъявляет процесс современного корпусирования к технологии безмаскового экспонирования?

Использование различных типов полупроводниковых пластин является основным элементом процесса современного корпусирования. В нем объединены кристаллы разных производителей, разных типов, а также различных размеров и материалов. Размещение кристалла и его сдвиг при установке создают дополнительный уровень сложности, с которым не справляются современные литографические системы, где используются фотошаблоны (степперы и др.). Кроме того, размер фотошаблона ограничивает изготовление большого размера интерпозеров – линии шивки в так называемом слое перераспределения могут влиять и даже менять электрические свойства проводников. Возможность применять метод экспонирования без шивки для интерпозеров длиной более 55 мм становится все более важной для использования в производстве высокопроизводительных вычислительных устройств, необходимых для работы с графикой, для искусственного интеллекта и устройств 5G.

Система EVG MLE™ способна адаптироваться к «стрессу» подложек благодаря встроенной функции динамического совмещения. Она позволяет «приспосабливаться» к материалу подложки и изменению рельефа поверхности, используя при этом активную компенсацию погрешности и неточности установки кристаллов, вызванных такими «стрессовыми» явлениями как изгиб и прогиб подложки, сдвиг кристалла, ошибки рассовмещения и искажения высокого порядка. Система EVG MLE™ допускает одновременную цифровую («двоичную») обработку слоев уровней подложки и индивидуальную компоновку кристаллов, создавая индивидуальные характеристики каждого кристалла (серийный номер, ключ шифрования). Регулируемая доза УФ-излучения во время процесса формирования рисунка (экспонирование без использования фотошаблона) дает

возможность изменять даже толщину фоторезиста при отработке процесса и после, если изменились требования. Благодаря этому можно изготавливать сложные трехмерные многоуровневые схемы на различных фоторезистах, которые применяются и будут применяться в МЭМС, фотонных устройствах или микрооптических элементах. Цифровая схема кристалла или всей пластины (рецепт) может быть сохранена в многочисленных стандартных отраслевых форматах векторных файлов (GDSII, Gerber, OASIS, ODB ++ или BMP). Векторный макет с любой заданной сложностью шаблона обрабатывается в течение нескольких секунд и сохраняется в растровом формате. В результате ни тип фоторезиста, ни его толщина, ни уровень требуемой дозы облучения, ни какая-либо конкретная сложность конструкции не влияют на скорость процесса формирования рисунка.

Рынок микроэлектроники развивается «семимильными» шагами. Постоянно возникают новые задачи, которые требуют нетривиальных решений и больших затрат на разработку новых технологий. Удастся ли компании EVG занять лидирующую позицию в области безмаскового экспонирования на арене производства полупроводниковой промышленности в дополнение к технологиям бондинга полупроводниковых пластин, системам контактной фотолитографии и обработки фоторезиста? Я думаю, что об этом мы скоро узнаем.

В статье использованы материалы «EV Group takes on maskless lithography for MEMS and advanced packaging, Chip Scale Review Volume 24, №2, March-April 2020», с сайтов компании EV Group: <https://www.evgroup.com> и Yole Development: <http://www.yole.fr>.