

ПРОИЗВОДСТВО МЭМС ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕШЕНИЯ

А.Васильев, Е.Борисов micro@ostec-group.ru

В последние годы рынок микроэлектромеханических систем (МЭМС) стремительно растет. Производитель электроники, желающий применять МЭМС в своей продукции, пользуется услугами сторонних предприятий либо самостоятельно осваивает новые технологии. Сделать сотрудничество с партнерами максимально эффективным, организовать и обеспечить поддержку производства поможет экспертный центр, специализирующийся на МЭМС-технологиях.

Сложно найти современное электронное устройство, в котором не применялись бы МЭМС (рис.1). Акселерометры в мобильных телефонах и планшетах, датчики давления в автомобильных шинах, гироскопы и датчики угловых скоростей в авиационных приборах, кардиостимуляторы и портативные мультимедийные устройства, боеприпасы и буровые установки – вот лишь немногие примеры широкого использования технологий МЭМС во всех сферах современной электроники. Более того, в ближайшие несколько лет ожидается экспоненциальный рост рынка МЭМС в области производства датчиков, устройств микрофлюидики, ВЧ-компонентов и многофункциональных гироскопов для датчиков движения. Растет доля рынка массового производства МЭМС, главным образом в секторе потребительской электроники (например, мобильных телефонов).

Согласно отчету компании Yole Development за декабрь прошлого года, в 2011 году объем мирового рынка МЭМС впервые превысил отметку в 10 млрд. долл. Вполне жизнеспособной стала бизнес-модель по разработке и выпуску кристаллов с частичным или полным использованием производственных мощностей других предприятий

(fables). Многие же ведущие мировые компании (такие как Apple, Google и Facebook) создают свои собственные подразделения.

Можно смело предположить, что в 2012 году рост мировой потребности в МЭМС, а, следовательно, и их рынка продолжится и составит примерно 14% в год. Аналитики утверждают, что такая тенденция сохранится вплоть до 2016 года, когда рынок МЭМС вырастет вдвое по сравнению с показателями 2011 года (рис.2). Стоит отметить, что

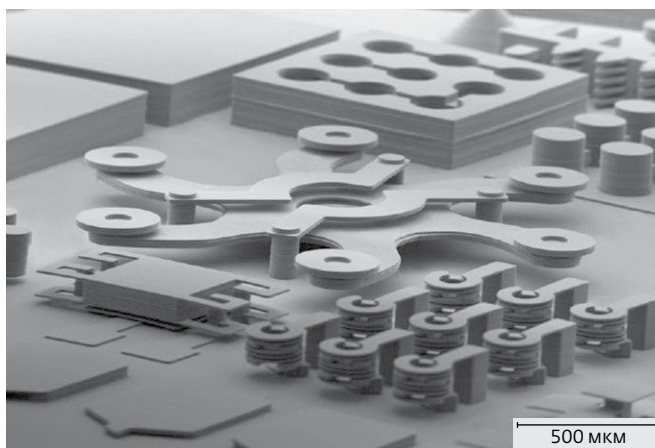


Рис.1. МЭМС-структура

тенденции развития российского рынка МЭМС с каждым годом приближаются к мировым, хотя он не может похвастаться такими объемами, как, скажем, азиатский. Однако уже через несколько лет российские производители МЭМС смогут успешно конкурировать с европейскими. В общем объеме производимых МЭМС наиболее перспективными считаются инерционные устройства, изделия для микрофлюидики и датчики давления (рис.3).

Высокий спрос на МЭМС-изделия объясняется их основными достоинствами – малыми размерами, широкой функциональностью, высокой надежностью, минимальным энергопотреблением, а также простотой интеграции. Расширение областей применения МЭМС ускоряет процесс их стандартизации в рамках отрасли, однако рост требований по функциональности изделий, наоборот, "выталкивает" МЭМС к максимально адаптированным под конкретные области применения разработкам. В этой ситуации промышленность начинает особенно остро нуждаться как в передовых технологиях для упаковки



Рис.2. Рост рынка МЭМС (прогноз Yole Development)

кристаллов в корпус и методах экономически эффективного неразрушающего контроля, так и в более глубоком понимании причин выхода МЭМС из строя в процессе эксплуатации.



Рис.3. Структура рынка МЭМС в 2016 году (прогноз Yole Development)

Особенности производства МЭМС обусловлены разнообразием типов устройств, применяемых материалов и технологических подходов. Самые простые МЭМС выполняются на кремниевых пластинах с применением фотолитографии, изотропного травления и нанесения металлических и/или резистивных пленок. Передовые же МЭМС-разработки отличаются высокой технологической сложностью и могут представлять собой интеграцию МЭМС-устройства и вычислительного КМОП-ядра посредством 3D TSV (сквозных переходных отверстий в кремнии). Кроме того, в последнее время растет производство датчиков комбинированного типа, требующих особого подхода при производстве и тестировании.

Сегодня существуют два основных метода производства МЭМС – объемная и поверхностная обработка. Метод объемной обработки основан на технологии анизотропного травления кремния по маске из пленок оксида кремния или нитрида кремния, а также золота или хрома. Для получения более сложных 3D-структур обычно применяют технологию глубокого анизотропного сухого травления (например, метод реактивно-ионного травления газовой плазмой) либо осуществляют монтаж или так называемый "бондинг" подложек (кремний-кремний или кремний-стекло).

При использовании метода поверхностной обработки кремниевая подложка служит основой, на которую наносятся структурные и жертвенные слои. В качестве структурного материала (можно регулировать его механическое напряжение) обычно

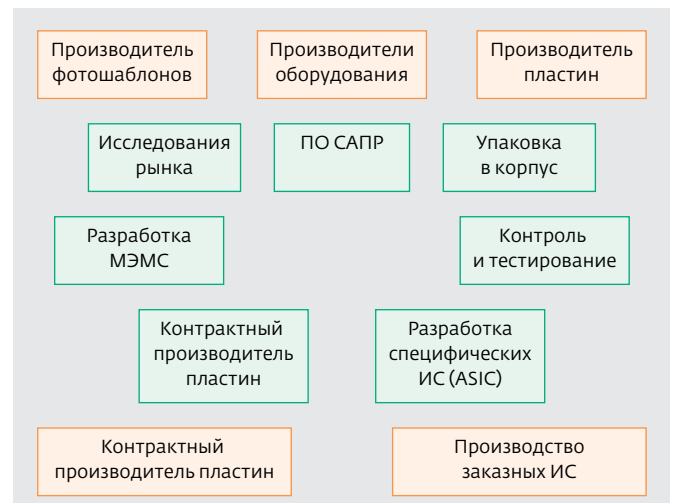


Рис.4. Экосистема производителя МЭМС

используют поликремний, а в качестве жертвенного – оксид кремния. После создания требуемой структуры необходимо освободить подвижные элементы МЭМС-структуры, для чего с помощью химических реактивов удаляются жертвенные слои.

В последнее время развивается технология создания МЭМС (а также НЭМС) с помощью наноиmprинтной литографии. При использовании этой технологии поверх основного материала наносится тонкий слой полимера, например, фоторезиста. Затем с помощью специального штампа в этом слое отпечатывается оттиск требуемой формы, создавая тем самым конечную структуру или маску. При последующей обработке фоторезиста применяются давление и высокая температура (метод горячего тиснения) или УФ-засветка (метод холодного тиснения). Как показывает опыт, наноиmprинтная литография оказывается проще в исполнении, чем традиционная фотолитография, она позволяет работать с широким диапазоном фоторезистов и создавать трехмерные структуры. Преимущество этой технологии – возможность за один проход выполнять топологию на нано- и на микроуровне. Так, за один шаг (совмещение и экспонирование) можно сформировать на пластине активные элементы с минимальным размером 10 нм, элементы топологии МЭМС в субмикронном диапазоне, а также крупные элементы (например, контактные площадки).

Разработка и производство МЭМС – сложное и зачастую рискованное предприятие по сравнению с производством интегральных схем, и на это есть объективные причины. По мнению некоторых экспертов, одним из главных факторов неопределенности является отсутствие либо недостаточная



Рис.5. Укрупненный типовой технологический маршрут производства МЭМС

развитость эффективных сквозных средств автоматизированного проектирования МЭМС, недостаток стандартизации и, как следствие, высокая сложность и стоимость проектирования и производства современных МЭМС.

Для создания функциональных и надежных устройств различного назначения важно грамотно организовать взаимодействие между партнерами и внутри производства – от разработки прототипа до выпуска изделия в серию. Центральной фигурой здесь является производитель МЭМС, который для выполнения определенных этапов производства пользуется услугами компаний-партнеров. Типичный отечественный производитель МЭМС, как правило, желает иметь максимум инструментов для реализации своих проектов, включая разработку изделий, кристалльное производство и упаковку в корпус (рис.4). При выборе оборудования для того или иного технологического процесса перед производителем всегда стоит сложная задача – найти готовое и оптимальное решение для своего продукта.

Для того чтобы облегчить поиск и предоставить первую необходимую информацию по производству, специалистами ЗАО Остек был разработан ряд типовых комплексных решений, основой для которых послужил типовой укрупненный технологический

маршрут производства МЭМС (рис.5). Все эти решения предусматривают необходимое для производства определенного типа изделий оборудование, технологическую поддержку и обучение специалистов. Также возможно организовать разработку изделия по исходным параметрам – от конструктива до технологии производства.

Любой новый проект создания или модернизации МЭМС-производства – это всегда уравнение с несколькими неизвестными. Решить его поможет только экспертный комплексный подход со стержневой системной организацией – от определения параметров будущих изделий до начала их серийного выпуска. Известны примеры фрагментарного подхода к выбору оборудования для производства МЭМС, которые в итоге отбрасывали производителя на месяцы и годы назад. Гарантией же успешного результата должен стать единый инженеринговый центр, сотрудники которого – профессионалы, разбирающиеся в специфике продукта и имеющие опыт работы с производствами такого рода. Этот центр поможет ответить на множество возникающих вопросов, он будет располагать всеми необходимыми ресурсами для выполнения данного проекта, успешно организует запуск производства "под ключ" и возьмет на себя ответственность за итоговый результат. ●