

Александр Васильев  
Евгений Борисов  
micro@ostec-group.ru

## Типовые комплексные решения для производства МЭМС

Сегодня уже сложно представить современную электронику без микроэлектромеханических систем, т.е. МЭМС. Акселерометры в мобильных телефонах и планшетах, датчики давления в автомобильных шинах, датчики угловых скоростей и гироскопы в приборах для авиации – 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 (рис. 1).

Согласно декабрьскому отчету компании Yole Development, за прошедший год объем мирового рынка МЭМС впервые превысил отметку в 10 млрд. долларов. Разработка и выпуск кристаллов с частичным или полным использованием производственных мощностей других предприятий (fabless) становится жизнеспособной бизнес-моделью, а ведущие мировые компании, такие как Apple, Google и Facebook создают свои собственные подразделения по разработке и выпуску МЭМС.

Растет доля рынка массового производства МЭМС (главным образом для нужд потребительской электроники), например, мобильных телефонов. МЭМС-датчики используются во всех типах электронных систем, позволяя им взаимодействовать с окружающим миром и "чувствовать" все, что происходит вокруг: это боеприпасы, кардиостимуляторы, портативные мультимедиа устройства, буровые установки и т.д.

Имеются объективные факты, позволяющие полагать, что в 2012 г. рост мировой потребно-

сти, а, следовательно, и рынка МЭМС продолжится со среднегодовым темпом порядка 14% (рис. 2). Аналитики утверждают, что такая тенденция сохранится вплоть до 2016 г., когда сектор вырастет вдвое по сравнению с показателями прошедшего года. В общем объеме производимых МЭМС наиболее перспективными признаются инерционные устройства, изделия для микрофлюидики, а также датчики давления (рис. 3). Стоит отметить, что отечественный рынок с каждым годом демонстрирует тенденции, приближающиеся к мировым. И хотя российский рынок не может похвастаться такими объемами, как скажем, азиатский, то с европейскими производителями МЭМС можно будет успешно конкурировать уже в ближайшие несколько лет.

С одной стороны, растущее многообразие областей применений ускоряет процесс стандартизации МЭМС в рамках отрасли, но, с другой стороны, усложняющиеся требования по функциональности изделий наоборот выталкивают МЭМС к разработкам, максимально адаптированным под конкретные области применения. Оказавшись в таких плотных тисках, промышленность начинает наиболее остро нуждаться как в передовых технологиях для упаковки кристаллов в корпус и методах экономически эффективного неразрушающего контроля, так и в лучшем понимании причин выхода МЭМС из строя в процессе эксплуатации.

Активный спрос на МЭМС-изделия объясняется их основными достоинствами – малыми размерами, широкой функциональностью и высокой надежностью, а также минимальным энергопотреблением. Простота интеграции МЭМС-

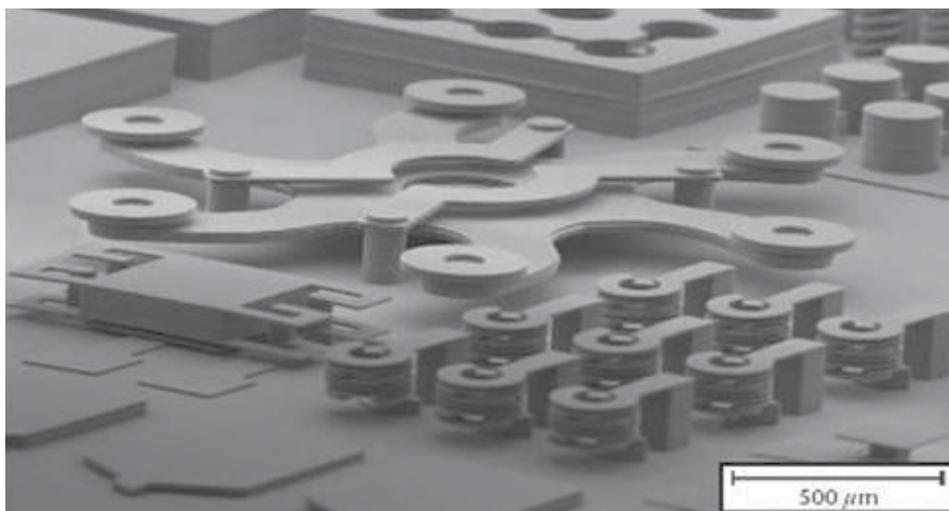


Рис. 1 Пример МЭМС-структуры

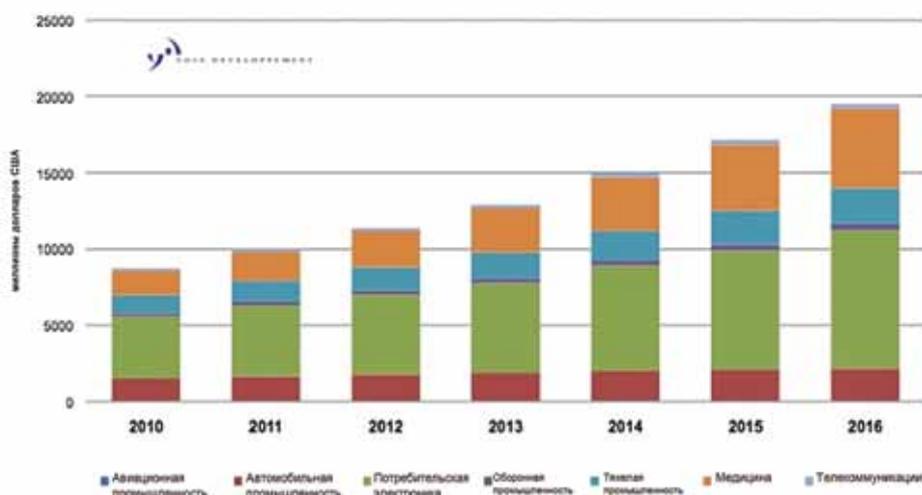


Рис. 2 Рост рынка МЭМС (прогноз компании Yole Development)

структур обеспечивает высокий спрос почти на всех рынках электроники.

Особенности производства МЭМС обусловлены разнообразием типов устройств, широким диапазоном применяемых для производства материалов и многообразием 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 уровень производимых датчиков комбинированного типа, требующих специальных подходов в производстве и те-

стировании.

Одной из развивающихся технологий создания МЭМС, а также НЭМС, сегодня является технология наноимпринтной литографии. В данной технологии поверх основного материала наносится тонкий слой полимерного материала (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 повышенная температура (метод горячего тиснения) или же УФ-засветка (метод холодного тиснения).

Как показывает опыт – наноимпринтная литография оказывается проще в исполнении, чем традиционная фотолитография, она позволяет работать с широким диапазоном фоторезистов и создавать 3D структуры. Преимуществом этой техно-

логии служит возможность за один проход выполнять топологию как на нано- так и на микроуровне. Так, например, за один шаг (совмещение и экспонирование) можно сформировать на пластине как активные элементы с минимальным размером 10 нм, так и элементы топологии МЭМС в субмикронном диапазоне, а также крупные элементы, например, контактные площадки.

На данный момент существуют два типа технологий производства МЭМС – по технологии объемной и поверхностной обработки.

Объемная обработка – это процесс создания МЭМС, в котором используется технология 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) или же осуществляют монтаж или так называемый «бондинг» подложек (кремний-кремний или кремний-стекло).

В технологии поверхностной обработки кремниевая подложка служит основой, на которую наносятся структурные и жертвенные слои. В качестве структурного материала (можно регулировать его механическое напряжение) обычно используют поликремний, а в качестве жертвенного – оксид кремния. После создания требуемой структуры для освобождения подвижных элементов МЭМС-структуры жертвенные слои удаляются с помощью химических реактивов.

Разработка и производство МЭМС – сложное и зачастую рискованное предприятие по сравнению с производством интегральных схем (ИС), и на это есть объективные причины. Одним из главных факторов неопределенности, по мнению ряда экспертов, является отсутствие или недостаточная развитость эффективных сквозных средств автоматизированного проектирования (САПР) для МЭМС, недостаток стандартизации и, как следствие, высокая сложность и стоимость проектирования и производства современных МЭМС.

Очевидно, что для создания функциональных и надежных устройств различного назначения крайне важно обеспечить слаженное взаимодействие от разработки до

выпуска в серию. Производитель МЭМС является здесь центральной фигурой, привлекающей частично или полностью услуги компаний-партнеров для выполнения определенных этапов. Классический 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.

Чтобы облегчить поиск и предоставить первую необходимую информацию по производству, специалистами Остена был разработан ряд типовых комплексных решений для производства МЭМС-структур, опирающихся на типовой укрупненный технологический маршрут производства МЭМС (рис. 5). Все решения предусматривают необходимый для производства определенного типа изделий состав оборудования, технологическую поддержку и обучение специалистов работе на оборудовании. Кроме того, в случае необходимости, можно организовать разработку необходимого изделия от конструктива до технологии по исходным параметрам.

Для решения уравнения с неопределенным количеством неизвестных, каким, несомненно, является новый проект создания или модернизации МЭМС-производства, необходимо применение экспертного комплексного подхода со стержневой системной организацией – от определения параметров будущих изделий до начала их серийного выпуска. Известные примеры фрагментарного подхода к комплектации производства МЭМС оборудованием лишь отбрасывают производителя на месяцы и годы назад. Ответом же на множество вопросов и определенной гарантией успешного результата должен быть единый инженеринговый центр, состоящий из команды профессионалов, имеющих опыт запуска производств такого рода и разбирающихся в специфике продукта. Центр, который будет располагать всеми необходимыми ресурсами для выполнения данного проекта, успешно организует запуск производства "под ключ" и возьмет на себя исключительную ответственность за итоговый результат.

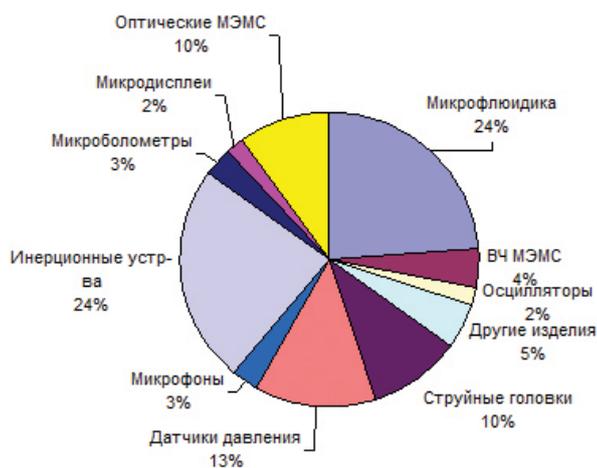


Рис. 3 Структура рынка МЭМС в 2016 г. (прогноз компании Yole Development)



Рис. 4 Экосистема производителя МЭМС

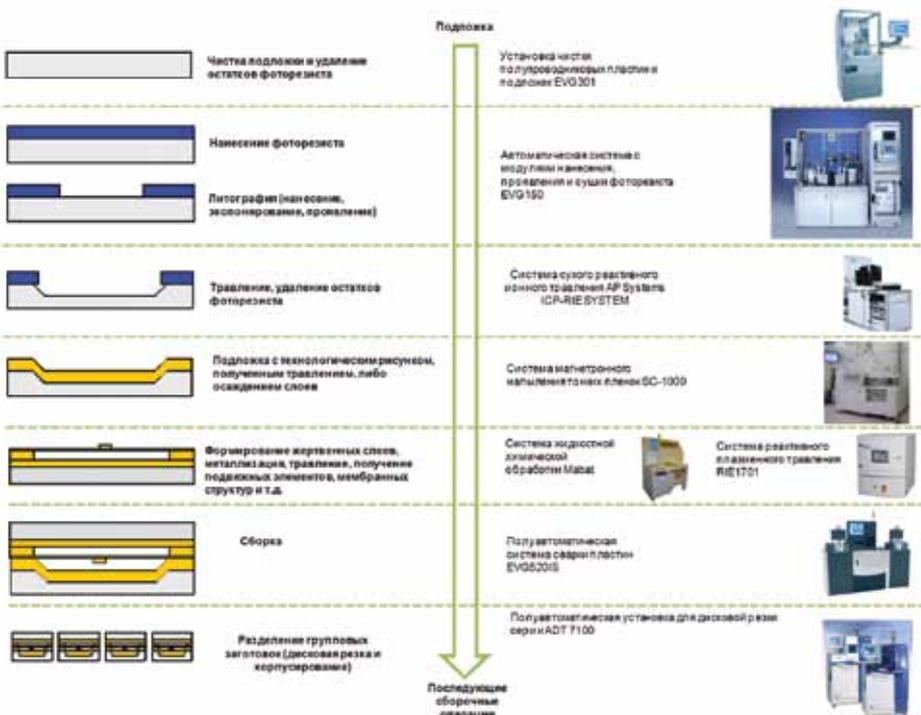


Рис. 5 Укрупненный типовой технологический маршрут производства МЭМС