

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЭМС

ИНТЕНСИВНЫЙ РОСТ, НОВАЯ ДВИЖУЩАЯ СИЛА

М.Гольцова

В апреле 2013 года компания Yole Développement опубликовала десятое издание ежегодного обзора "Статус МЭМС-промышленности" (Status of MEMS Industry), согласно которому рынок МЭМС-устройств за период с 2012 по 2018 год увеличится вдвое. Стабильный рост рынка скрывает изменения, происходящие в различных секторах МЭМС-промышленности, где высокие доходы от продаж потребительской техники стимулируют быстрое освоение инновационных изделий. И чтобы удержаться на этом рынке, производители вынуждены учитывать в своей стратегии потребности потребительских устройств, в первую очередь сотовых телефонов. Но играть заметную роль на рынке без внушительного ассортимента продукции нельзя. И только такие крупные компании, как STMicroelectronics и Robert Bosch, производящие различные типы МЭМС-устройств, смогли переместить прежних лидеров (Texas Instruments и Hewlett Packard) в списке 30 ведущих фирм на рынке МЭМС (TOP 30 MEMS) с первого и второго мест на третье и четвертое.

ДИНАМИЧНОЕ РАЗВИТИЕ МЭМС ПРОДОЛЖАЕТСЯ

Тогда как в 2012 году продажи огромной мировой микроэлектронной промышленности сократились на 2%, МЭМС-промышленности, по данным компании Yole Développement, удалось вновь увеличить продажи на 10% (до 11 млрд. долл.). И аналитики компании ожидают дальнейшего роста за 2012–2018 годы с совокупными годовыми темпами роста (СГТР), равными 12–13%. В результате в 2018 году будет продано 23,5 млрд. МЭМС-изделий на сумму в 22,5 млрд. долл. (рис.1) [1].

Достигнутый в 2012 году объем продаж в 11 млрд. долл. ниже ранее прогнозировавшегося уровня в 11,5 млрд. долл. Это объясняется более быстрым, чем ожидалось, сокращением

спроса на головки струйных принтеров в связи с развитием технологий постраничной печати и печати с неподвижными головками. Оказалось, что дешевые комбинированные инерциальные датчики (combos) быстрее заменяют дискретные датчики этого типа, сокращая рост доходов от их продаж [2]. Росту продаж МЭМС-приборов в рассматриваемый период будет существенно способствовать спрос на них со стороны производителей мобильных систем, в первую очередь сотовых телефонов. Так, уже сейчас ведущий изготовитель инерциальных датчиков для потребительских систем (смартфонов, планшетных компьютеров, игровых устройств, разумного телевидения и носимых передатчиков) InvenSense сумел увеличить продажи своих

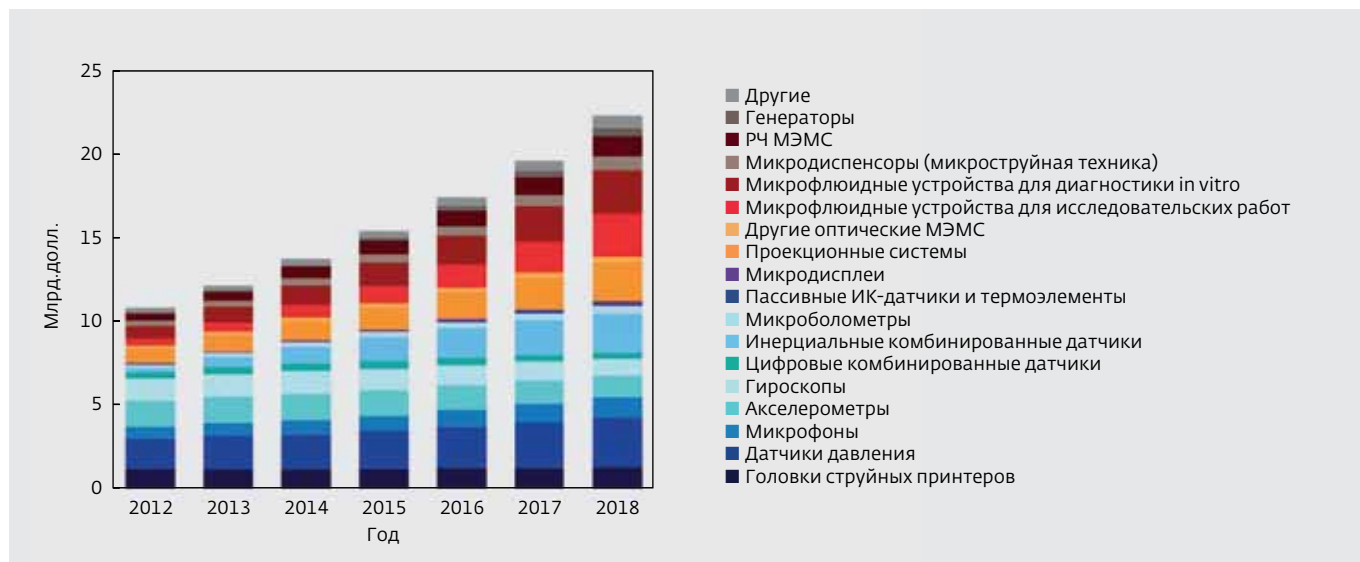


Рис.1. Динамика рынка МЭМС (данные отчета Status of MEMS Industry компании Yole Développement)

приборов, выпускаемых в рамках контрактного производства, на 30%.

Казалось бы, неуклонный рост рынка МЭМС свидетельствует о его стабильности. Но фактически он маскирует появление множества новых разнообразных приложений МЭМС-устройств по мере завершения развития старых приборов и разработки новых. Расширяется применение combos в потребительских устройствах и автомобильной электронике, и на их долю приходится все больший объем продаж инерциальных датчиков. Благодаря низкой стоимости их можно найти в таких популярных и перспективных системах, как смартфон Galaxy III компании Samsung. Акселерометр, гироскоп в одном корпусе, совместно использующие специализированную ASIC-схему в том же корпусе, лишь ненамного дороже одного гироскопа. Это существенно сократило продажи дискретных акселерометров. Такая же ситуация ожидается и для магнитометров в связи с применением в электронных компонентах combos с акселерометром/магнитометром. С использованием в смартфонах всех трех видов инерциальных датчиков и все большего числа combos в малогабаритных корпусах, позволяющих избавиться от источников магнитных помех, таких как девятиосевой гироскоп/акселерометр/магнитометр, доля инерциальных датчиков в общем объеме продаж МЭМС для сотовых телефонов и планшетных компьютеров в 2018 году, по прогнозам Yole, будет равна 29,1% против 58,6% в 2012 году.

О росте потребительского сектора рынка МЭМС свидетельствует следующее:

- В 2018 году на мировом рынке будет продано 17,5 млрд. МЭМС для сотовых телефонов (в 2012 – 4,5 млрд.) на сумму в 6,6 млрд. долл. (СГТР за 2012-2018 годы – 18,5%);
- продажи инерциальных combos к 2018 году достигнут 2 млрд. долл. (СГТР – 43%);
- наибольшие продажи прогнозируются для датчиков движения. Правда, несмотря на их быстрый рост (СГТР – 4,1%), через пару лет ожидается завершение их развития;
- лишь некоторые типы МЭМС близки к завершению развития. Это – фильтры на основе объемных акустических волн (ОАВ-фильтры), акселерометры (рис.2).;
- многие МЭМС-датчики и электромеханические преобразователи (актюаторы) формируют наиболее доходные сегодня сектора рынка. Это – гироскопы, переключатели, микрофоны...;
- более 15 видов новых МЭМС появятся на рынке или будут разработаны.

Наибольший объем продаж за рассматриваемый период по-прежнему будет характерен для сектора МЭМС-датчиков давления, которые широко применяются в автомобильных и промышленных системах. Растет и спрос на них со стороны поставщиков бытовой техники. Их все чаще применяют в смартфонах и планшетных компьютерах с целью улучшения точности данных GPS благодаря регистрации положения высоты передатчика. По оценкам экспертов Yole Développement, в 2014 году МЭМС-датчики

давления первыми достигнут объема продаж в 2 млрд. долл., а в 2018 – 3 млрд. долл.

Спад мирового производства полупроводниковых приборов в 2011 году ограничил рост продаж МЭМС-таймеров для синхронизации микросхем. Однако Yole Développement прогнозирует динамичный рост таких МЭМС в ближайшие несколько лет. Этому в немалой степени способствует впервые выпущенное в начале этого года компанией SiTime семейство МЭМС-генераторов, предназначенных для замены схем на кварцевых резонаторах в сотовых телефонах и планшетных компьютерах [3].

Семейство МЭМС-генераторов SiT15xx включает приборы на частоту до 32,768 кГц (в него входит и серия генераторов с программируемой частотой от 1 Гц). Ключевое достоинство нового МЭМС-семейства – на 50% меньшая, чем у кварцевых резонаторов, потребляемая мощность (ток 0,75 мкА) при сопоставимой цене. Генераторы поставляются в CSP-корпусе, совместимом по размеру с кристаллом (1,5×0,8×0,5 мм), и в корпусе размером 2,0×1,2 мм, совместимом по разводке выводов с кварцевыми резонаторами. В результате новые МЭМС-генераторы занимают на 85% меньшую площадь печатной платы, чем резонаторы в корпусе 2012, и на 70% меньшую площадь, чем самые миниатюрные современные резонаторы. Работают генераторы от стабилизированного источника питания на напряжение 1,2–3,63 В, возможно и нестабилизированное питание от литиево-ионной батареи на напряжение 2,7–4,5 В. При этом по уровню надежности новые генераторы превосходят приборы на основе кварцевых резонаторов в 15 раз.

Таким образом, МЭМС-генераторы компании SiTimes отвечают требованиям, предъявляемым к генераторам для сотовых телефонов, при меньшей, чем у кварцевых устройств, цене. Это должно обеспечить освоение МЭМС-приборами потенциально большого рынка смартфонов, в которых могут использоваться и два генератора. К тому же поставщики МЭМС-таймеров – SiTime и Discera – установили партнерские соглашения на поставку своих приборов с признанными традиционными поставщиками устройств синхронизации в надежде получить доступ на этот консервативный для проведения замен рынок. Благодаря выходу на рынок таких игроков, как IDT, Sand9 и, возможно, Silicon Labs увеличиваются представленные на нем варианты МЭМС-таймеров для мобильных систем. Вероятно,

в этом секторе рынка усилится ценовая конкуренция, благодаря чему среднегодовые темпы роста спроса смогут составить 50%.

Продажи РЧ МЭМС за рассматриваемый период возрастут на 17%. И хотя развитие ОАВ-фильтров завершается (см. рис.2), поставщики смартфонов, нуждающиеся во все большем числе частотных каналов для поддержки связи в стандарте LTE, продолжают их приобретать у компаний Avago и Triquint. В 2012 году Triquint увеличила свои доходы на 27% именно благодаря тому, что выпускаемые ею ОАВ-фильтры отвоевывали все большее применение в смартфонах.

С появлением в смартфонах антенного согласующего устройства ряд компаний, наконец, анонсировал радиочастотные МЭМС-переключатели и конденсаторы переменной емкости. В 2011 году РЧ-схема согласования путем настройки импедансов (Tunable Impedance Match, TIM) WS2017 компании WiSpry впервые была использована таким крупным производителем, как Samsung, в смартфоне Focus Flash Windows. Схема выполнена на основе цепочки элементов индуктивности с малыми потерями и МЭМС-конденсаторов переменной емкости с дискретной настройкой. Правда, в 2012 схема не была поставлена ни одному производителю сотовых телефонов. Но новая РЧ-схема для согласующих устройств антенны компании, превосходящая по своим характеристикам конкурирующие изделия, уже должна появиться в нескольких мобильных системах.

Компания RF Micro Devices выпустила два согласующих МЭМС-устройства антенны для смартфона iPhone 5. DelfiMEMS начала поставки опытных образцов МЭМС-схемы переключателя каналов. А компания Cavendish Kinetics сейчас проводит квалификационные испытания совместимой с КМОП-технологией МЭМС-схемы

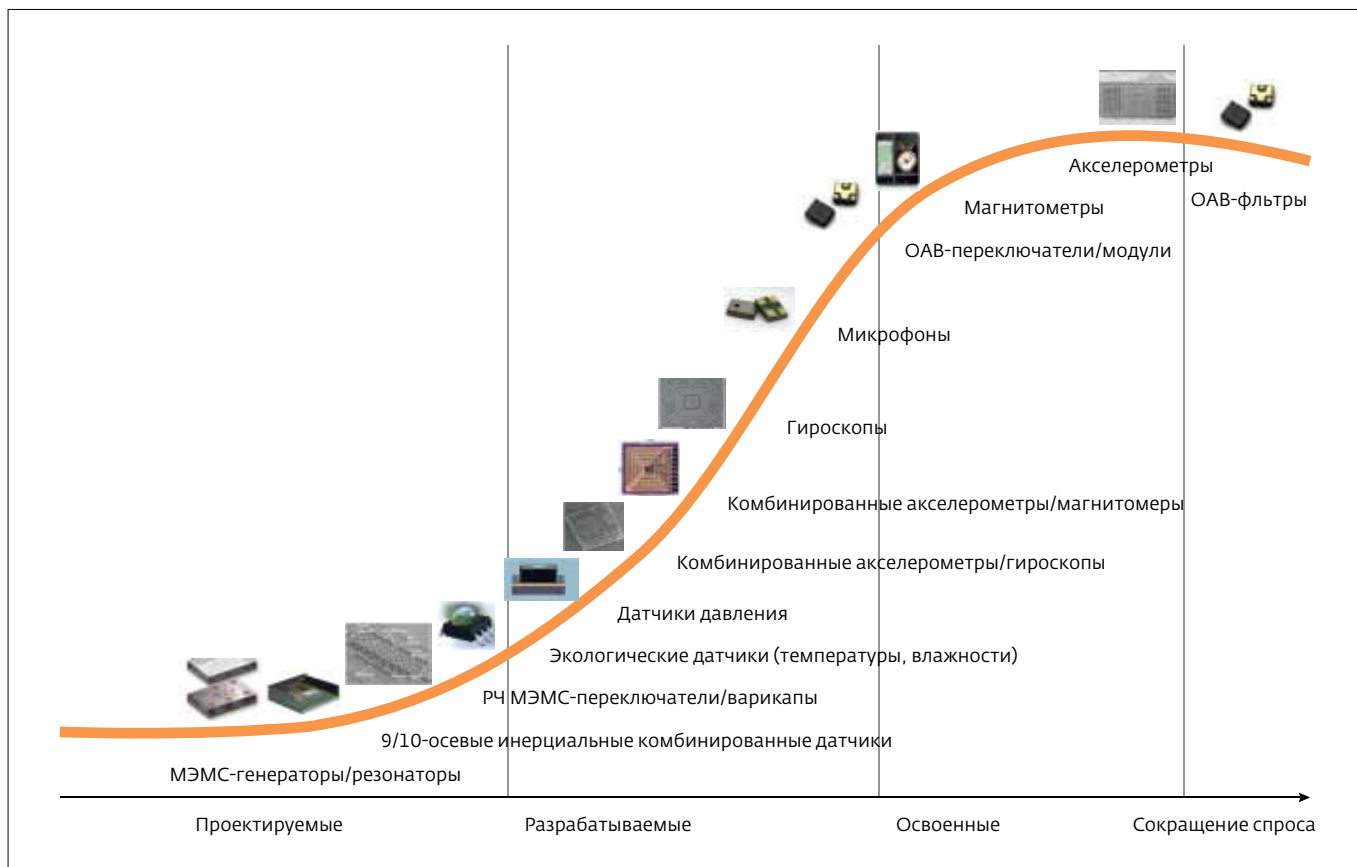


Рис.2. Достижение к 2013 году "зрелости" МЭМС для сотовых телефонов и появление их новых видов

настройки частоты, массовое производство которой планируется начать в конце года.

Рынок проекционных установок с микрорезкалами, по оценкам Yole Développement, увеличится на 18%. Они находят разнообразные применения – от пикопроекторов бытовых систем до промышленных устройств считывания штрихового кода, лазерных принтеров и оптических ключей. Это в основном нишевые секторы рынка, интересующие новые фирмы, разрабатывающие однозеркальные лазерные проекторы. Но они могут способствовать достижению объема продаж проекционных систем, равного 2 млрд. долл.

Секторы МЭМС-устройств спортивно-оздоровительного назначения и контроля производственных условий в ближайшие годы не принесут ощутимых доходов производителям. Но в перспективе значение таких приборов возрастет.

Темпы роста рынка МЭМС для промышленных систем (от телекоммуникационных до аэрокосмических систем и систем военного назначения) составят 12%, МЭМС медицинского назначения – 22%.

ЧЕГО ЖДАТЬ?

После нескольких десятилетий освоения коммерческого производства теперь МЭМС-технология при разработке новых устройств опирается на прочный фундамент. Время перехода от НИОКР к коммерциализации МЭМС существенно сократилось: 21 год потребовался для датчиков давления в 1960-е годы против 11 лет для генераторов сейчас. Объем продаж МЭМС, а следовательно, и доходы производителей были большими. Сегодня в стремлении обеспечить большой объем продаж недорогих МЭМС разработчики новых типов нацелены на сектор потребительских систем.

Но для успешной продажи новых изделий необходимо до наращивания коммерческого производства обеспечить снижение их стоимости. А большинство компаний-разработчиков новых МЭМС, таких как устройства автоматической фокусировки или микрофлюидных ячеек, – это вновь образованные start-ups, выпуск изделий которых зависит от крупных мировых контрактных производителей. В стремлении быстрее пробиться на рынок потребительских товаров, они

игнорируют обычную фазу "поставок малого объема" на нишевые секторы рынка, позволяющие постепенно снижать стоимость изделия и отрабатывать его производство. В конечном итоге эти компании испытывают ценовой прессинг рынка.

Для скорейшего достижения больших объемов отгрузок разрабатываемых изделий новые компании начинают требовать от контрактного производителя быстрого освоения технологического процесса, повышения выхода годных и полного решения всех производственных проблем – от начала обработки пластин до корпусирования. Вот почему массового производства некоторых давно ожидаемых МЭМС приходится ждать несколько лет. Так, хотя существует серьезная потребность в давно разработанных МЭМС-устройствах автоматической фокусировки, отгрузка их первых опытных образцов из-за трудностей освоения производства планируется лишь на конец этого года. Правда, аналитики Yole считают, что в итоге к 2018 году объем их продаж может составить 450 млн. долл.

С другой стороны крупные компании, осваивающие новые технологии и уже присутствующие на целевом рынке, проводят стандартную

политику наращивания производства МЭМС для нишевых секторов рынка с последующим их совершенствованием с целью расширения применения. Пример – МЭМС-переключатели, которые предназначались для распределительных установок пилуль или для автоматического тестового оборудования, а в будущем смогут получить спрос на многомиллионном рынке герконовых переключателей.

Стимул к развитию большинства из 15 установленных нарождающихся МЭМС-технологий, которые в рассматриваемый период успешно или безуспешно появятся на рынке, – в первую очередь потребности производителей смартфонов и планшетных компьютеров, средств медицинского ухода на дому, а также Интернета вещей. Крупные компании, производящие смартфоны, намерены добавить в свои изделия экологические датчики (температуры и влажности), и, скорее всего, они будут выполнены на МЭМС. Действительно последний установленный в смартфоне Galaxy S4 новый тип датчика – это датчик температуры и влажности компании Sensirion. Назначение датчика – поддержка функций персональной метеостанции, но он может быть использован и для выработки

сигнала предупреждения о слишком высокой температуре или влажности, а также о неблагоприятном их воздействии на пользователя. По-видимому, разработчики постепенно найдут новые заслуживающие внимания применения этих датчиков.

По мере снижения стоимости растет интерес к применению в мобильных телефонах неохлаждаемых микроболометров обнаружения ИК-излучения в качестве дешевой альтернативы температурным датчикам для регистрации утечек воздуха или влаги, обеспечения энергоэффективности или установления необходимости ремонта. К другим разрабатываемым экологическим датчикам относятся УФ-датчики компании Sunkey для медицинского обслуживания и ухода за кожей. Сложной проблемой является выполнение требований к мощности газовых датчиков, поскольку для очистки от поглощенного газа их необходимо нагревать. По оценкам Yole, доля датчиков влажности и давления в общем объеме продаж МЭМС для сотовых телефонов/планшетников за период с 2012 по 2015 год увеличится с 2,5 до 13%.

Создатели МЭМС-динамиков продолжают поиск контрактных производителей разработанных устройств. Возможно, на этот сектор рынка помимо компании AudioPixel обратят внимание и другие игроки. Контрактным производителем для AudioPixel может выступить STMicroelectronics. Компания Knowles, которая уже продает небольшие обычные динамики, тоже может выйти на этот рынок. Но качественные изделия появятся не раньше, чем через два года.

Очевидно, Qualcomm продолжит работы по созданию цветных энергоэффективных МЭМС-дисплеев с использованием технологий приобретенной ею компании Pixtronics и ее партнера Sharp. Через несколько лет эти дисплеи смогут появиться на коммерческом рынке [4, 5].

В целом на долю новых МЭМС-устройств в 2018 году придется 10% общего рынка МЭМС. Но очевидно ощутимый рост объема их продаж начнется лишь после 2015 года, когда завершатся квалификационные испытания и начнется массовое производство.

ТЕХНОЛОГИЯ

К технологиям изготовления МЭМС, которые должны получить более широкое распространение в будущем, аналитики Yole относят:

- формирование сквозных отверстий через кремний (TSV). Эту технологию

сейчас уже применяют такие компании, как STMicroelectronics и Bosch, а также контрактные производители;

- приварка контактов при комнатной температуре. Эту технологию, которая рассматривается как альтернатива КМОП-процессам, сейчас осваивают компании EVC, Mitsubishi и AML. Она позволяет соединять МЭМС- и КМОП-структуры, не повреждая последнюю. Эта технология перспективна для изготовления микроболометров;
- применение тонких пленок титаната и цирконата свинца для замены емкостных измерительных устройств по мере уменьшения размеров приборов.

Сегодня все больше производителей изготавливают изделия с помощью установок литографии с пошаговым экспонированием. Для создания инерциальных датчиков и combos по-прежнему будет использоваться процесс глубокого реактивного ионного травления. Аналитики считают, что надо следить и за такими процессами, как анодная сварка, метод оплавления, применение стеклокерамического припоя, формирование адгезионных соединений. Не следует отказываться от нанесения демфирующих покрытий (в первую очередь на МЭМС микрофоны), применения газопоглотителей и процессов удаления жертвенного слоя в парах фтористого водорода или с помощью плазмы кислорода. Технология атомно-послойного осаждения, используемая компанией SensoNorfor при изготовлении микроболометров для систем тепловидения, пока не находит широкого применения в МЭМС-производстве из-за высокой стоимости формирования слоев нужной толщины. Поэтому она в основном используется для обработки поверхности пластин или тонких жертвенных слоев (в основном при производстве чрезвычайно жестких структур высокочастотных генераторов или нанесения тонких слоев беспористого диэлектрика для компактных конденсаторов). Компания Qualcomm применяет эту технологию для изготовления МЭМС-дисплеев с плотностью 577 пикселей/дюйм и в шесть раз меньшим, чем у ЖКД, энергопотреблением. Процесс вытравливания жертвенного слоя в технологии Mirasol с помощью фтористого ксенона, практически не используемый для изготовления МЭМС, теперь применяется при создании акселерометров, микроболометров, генераторов.

Основное назначение КМОП-технологии при производстве МЭМС – создание матриц, хотя некоторые компании все еще применяют ее при изготовлении отдельных приборов. Так, по КМОП-технологии МЭМС-микрофоны производит Akustica, дочерняя фирма компании Bosch. Компания X fab освоила производство приборов по совместной КМОП- и МЭМС-технологии. Из-за применения специфичных материалов, взаимного загрязнения структур (например, при жидкостном травлении) технологические процессы обработки таких структур пришлось разделить: на начальных стадиях формируются стандартные КМОП-элементы, на конечных стадиях – МЭМС. Компанией Baolab Microsystems разработан процесс NanoEMS, позволяющий использовать слои металлизации КМОП-схемы для формирования МЭМС-структур с помощью стандартных шаблонов. Правда, он пока не внедрен в производство [6].

СТРАТЕГИЯ МЭМС-КОМПАНИЙ

Из отчета Yole легко выявить степень зависимости рынка МЭМС от спроса на инерциальные датчики и микрофоны в первую очередь для сотовых телефонов. Более 90% роста чистого объема продаж ведущих компаний, составившего в 2012 году 500 млн. долл., пришлось на долю восьми фирм в основном за счет поставки МЭМС инерциальных датчиков и микрофонов. И впервые ежегодный список 30 ведущих МЭМС-компаний, составляемый Yole Développement, возглавили компании, производящие инерциальные датчики (рис.3). Это – STMicroelectronics, первая в отрасли достигшая объема продаж МЭМС-устройств в 1 млрд. долл. и ставшая крупнейшим их поставщиком на рынке, и Robert Bosch, которая по объему продаж в 842 млн. долл. опередила Texas Instruments и Hewlett Packard. Таким образом, эти два производителя МЭМС отодвинули Texas Instruments и Hewlett Packard в списке ведущих компаний с первого и второго мест на третье и четвертое. Кроме того, в результате высокого спроса производителей смартфонов и автомобильных электронных систем на МЭМС на рынке появились игроки с внушительным ростом продаж "правильных" МЭМС-изделий в "правильных" секторах рынка. Эти компании, доход которых в скором времени станет совсем немалым, перекрыли ранее существовавший большой разрыв между продажами ведущих производителей и остальных игроков на рынке. Впервые в список 30 вошла компания AAC

Technologies, объем продаж МЭМС-микрофонов которой в 2012 году увеличился на 90% и составил 65 млн. долл. Благодаря росту спроса на микрофоны на 20% увеличились и продажи компаний Infineon и Knowles. В итоге в 2012 году доходы от продаж МЭМС почти 50% из 30 ведущих компаний превысили 200 млн. долл.

Сложившаяся на рынке МЭМС ситуация не обошла и контрактных производителей. Продажи МЭМС гиганта в области производства КМОП-микросхем – TSMC – увеличились на 80% и достигли ~42 млн. долл. (в основном благодаря выпуску инерциальных датчиков компании InvenSense), тогда как доходы Teledyne DALSA и Silex Microsystems, "чистых" производителей МЭМС, составили 39 млн. и 34 млн. долл., соответственно.

STMicroelectronics. Значительный ассортимент продукции и собственный контроль

Рост продаж МЭМС компании, по оценкам Yole, в 2012 году составил ~10%. Казалось бы, это средний рост. Но он означает увеличение продаж единиц изделий на 50% (на сумму в 100 млн. долл.) в год, когда доходы компании от производства головок для струйных принтеров по контрактам начали падать, а цены на ее основной продукт – инерциальные датчики, на долю которых приходится 70% продаж, – упали на 20–30%. Занять первое место в списке 30 STM сумела благодаря увеличению продаж гироскопов, инерциальных датчиков перемещения с шестью степенями свободы (6 DoF IMUs), а также микрофонов и датчиков давления. Таким образом, основные компоненты успеха компании – энергичное расширение номенклатуры выпускаемых изделий, освоение собственного массового производства. Как отметил вице-президент и руководитель отделения аналоговых приборов, МЭМС и датчиков компании Бенедитто Вигна, играть заметную роль на рынке без внушительного ассортимента продукции нельзя. Поставщикам только акселерометров или гироскопов на рынке делать нечего. Для быстрого выхода на рынок с новой продукцией компания привлекает технологии сторонних организаций, исходя из принципа: "Рынок нас не ждет". Сегодня задача изготовления отдельного кантилевера или мембраны не стоит, важно освоить массовое производство МЭМС и располагать большим портфелем изделий, позволяющих удовлетворять разнообразные потребности потребителя.

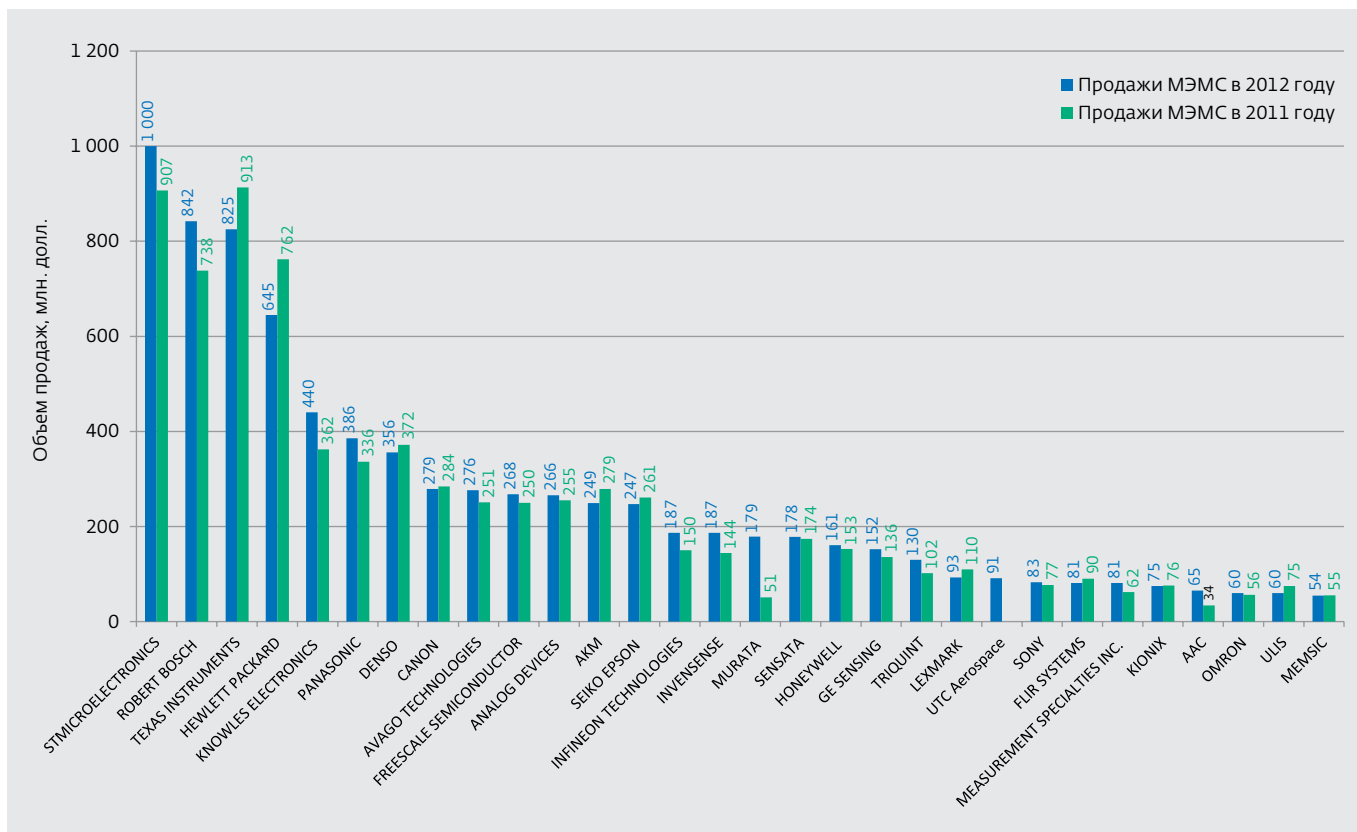


Рис.3. Рейтинг производителей МЭМС в списке TOP 30 MEMS в 2012 году по отношению к 2011

После совершенствования технологии обработки в 2011 году компания в 2012 направила усилия на расширение и наращивание собственных средств сборки и испытаний различных новых изделий. В дальнейшем STM планирует продолжать работы по уменьшению размеров выпускаемых приборов и применению сквозных отверстий через кремний при их компоновке. В 2014 году новые МЭМС должны появиться в транспортных средствах для коммерческих перевозок, в информационно-развлекательных и навигационных системах. Увеличится производство акселерометров, которые, по мнению Вигна, в этом году будут использоваться во всех выпускаемых телефонах, а в 2015 во всех мобильных телефонах можно будет найти гироскоп. Рост МЭМС-рынка в будущем, помимо продаж экологических датчиков, обеспечит спрос на портативные проекторы.

Robert Bosch

Успех компании обеспечила политика предоставления заказчиком, не имеющим производства (fabless-заказчик), и заказчиком, занятым разработкой, проектированием,

производством и маркетингом микросхем (IDM-заказчик) своих ресурсов, с тем чтобы они могли наладить собственное производство МЭМС. В 2011 году компания организовала выпуск и испытания МЭМС на основе оборудования и процессов, освоенных при контрактном производстве КМОП-микросхем. В 2012 году она начала постепенно наращивать производство и в этом году освоила выпуск нескольких заказных МЭМС-изделий и знакомство с результатами НИОКР некоторых заказчиков, производство изделий которых намечено на 2014 год. Цель контрактного производства компании – выпуск инерциальных и радиочастотных МЭМС при наращивании производительности обработки приборов для одного заказчика со 100 до 1000 пластин в месяц.

Решение этих задач не было простым. Поскольку до этого компания выступала как контрактный производитель КМОП-микросхем, она имела дело с хорошо освоенным оборудованием, предназначенным для массового производства, тогда как некоторые МЭМС-промышленные установки при внедрении в производство определенных процессов, освоенных в лаборатории,

требовали существенных доработок. Компания стремится стать сначала поставщиком технологии, а затем и решений на ее основе.

Контрактные производители, в конце концов, станут похожими на производителей микросхем и будут предоставлять готовые к применению комплекты проектирования и стандартные технологические маршруты. Но это потребует времени. Для скорейшего освоения производства разработанных изделий полезны открытые платформы, приемлемые для различных приборов. Bosch стремится ввести в процесс производства МЭМС больше этапов контроля, подобных тем, которые применяются при выпуске КМОП РЧ-микросхем. В структуру микросхем вводятся блоки оперативного контроля. Правда, для оригинальных процессов изготовления МЭМС компания использует такие необычные для полупроводникового производства методы тестирования, как проверка герметичности, поскольку ИК-контроль не может обнаружить пустоты в областях соединения МЭМС- и КМОП-структур. Растет интерес к корпусированию МЭМС в сопоставимые по размеру с кристаллом корпуса и к разработке собственных газопоглотителей. Крупным рынком сбыта своих изделий Bosch считает оборудование промышленного мониторинга, для выполнения которого каждый станок и промышленное оборудование должны иметь датчики перемещения для контроля их состояния.

Freescal Semiconductor

К числу успешных компаний 2012 года Yole отнесла и Freescal, которая при увеличении продаж МЭМС в 2012 году сумела занять десятое место в списке 30, несмотря на перевод своего производства из завода в Сендай, пострадавшего при землетрясении, в завод в Остине.

IDM-компания расширяет деятельность в области изделий для потребительских систем (в 2012 году она выпустила на 40% больше инерциальных датчиков, чем в предыдущем году). Компания делает ставку на собственные процессы, с тем чтобы облегчить интеграцию "интеллектуальных способностей" в МЭМС. Завершено наращивание производства и начинается массовый выпуск новых МЭМС – дискретного магнитометра и комбинированного акселерометра/магнитометра для электронного компаса. Новые приборы выполнены по довольно необычной туннельной магнито-резистивной технологии, позволяющей измерять изменение

сопротивления слоев, разделенных барьером, при изменении под воздействием магнитного поля положения свободного слоя магнитного материала, находящегося с одной стороны барьера, относительного слоя, закрепленного с другой стороны. С помощью этой технологии на одном кристалле можно изготавливать датчики, формирующие данные по трем осям. В одном корпусе с МЭМС-магнитометром размещен и сигнальный процессор компании с графическим интерфейсом, облегчающим программирование прибора пользователем.

По прогнозу Freescal, все большее число МЭМС-устройств будут обладать интеллектом, позволяющим управлять энергоэффективностью датчиков. Правда, формировать такие МЭМС с использованием контроллеров и процессоров приложений не просто.

Таким образом, большой рынок МЭМС-устройств является важным стимулом современных разработок. Но это не сулит удач малым предприятиям, страдающим от неопределенности инвестиций. Чтобы продержаться, по крайней мере, десятилетний период между окончанием разработки и освоением производства первых коммерческих приборов необходима сильная финансовая поддержка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Status of MEMS Industry. Exploring new growth opportunities/ – www.semiconwest.org/sites/semiconwest/org/files/docs/SW2013_JC%20Eloy_Yole%20Developpement/pdf
2. **Mounier E., Robin L.**, Steady 10-12% growth will double the MEMS market over next six years. – www.cowin4u.eu/analystcorner_memstrends_april2013
3. SiTime Introduces SiT15xx Family of 32 kHz MEMS Oscillators – www.azonano.com/news.aspx?newsID=26964
4. **Mounier E., Bonnabel A.** Driven by smartphones & microfluidics, emerging MEMS will account for 10% of the value of the total MEMS business by 2018", announces Yole Développement. – www.yole.fr/iso_upload/News/2013/PR_EmergingMEMS_August2013.pdf
5. **Robin L.** Smart phones and tablets on track to become \$6 billion opportunity for MEMS sensors. – www.i-micronews.com/upload/pdf/mems_juillet2013_AC.pdf
6. What Is NanoEMS? – baolab.com/technology.htm
7. **Finkbiener S., Kumar R., Growth J., Viga B.** Top MEMS companies: Smart phone market re-orders the MEMS industry 10 MEMS' Trends – Market Trends, 2013, July, p.10-14. – www.yole.fr/iso_upload/Mag/mems_avril_2013_mail.pdf