

ДОЛГОЖДАННЫЕ МЭМС

ТЕХНОЛОГИЯ МАЛЫХ ФОРМ



В. Шурыгина

Возможности МЭМС-технологии (технология микро-электромеханических систем) были сформулированы еще в 1959 году. Но для превращения МЭМС (или как их называют в Европе, устройств микросистемной технологии – MST) из любопытных лабораторных "игрушек" в реальные изделия, пользующиеся спросом на рынке, потребовалось 30 лет. Однако и в конце 80-х еще не было вполне ясно не только как делать такие системы, но и к какому классу изделий их отнести, а возможные инвесторы не всегда могли правильно расшифровать аббревиатуру "МЭМС". Только в конце 90-х годов началось освоение промышленного производства МЭМС, и сейчас МЭМС-технология быстро развивается. Помимо уже достаточно хорошо известных акселерометров для систем управления воздушными мешками и разнообразных датчиков, многие фирмы сосредотачивают усилия на разработке и производстве МЭМС-устройств для телекоммуникационных систем и медицинских нужд. И если микросхемы – мозг электронных систем, то МЭМС – их глаза и руки. И МЭМС наращивают мускулатуру.

МАЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, БОЛЬШИЕ ПРИБЫЛИ?

По оценкам Промышленной группы МЭМС (MEMS Industrial Group – MIG)*, мировые продажи МЭМС за период 2000–2004 годы возрас- тают с 2–5 млрд. до 8–15 млрд. долл. Прогноз европейской органи- зации изучения рынка многофункциональных МЭМС-систем – Network of Excellence in Multifunctional Microsystems (NEXUS)** более оптимистичен – с 30 млрд. в 2000-м до 68 млрд. в 2005 году. Это объясняется тем, что оценка MIG проводится на уровне элемента, а NEXUS – на системном уровне. Если же учесть, что на долю собст- венно МЭМС приходится ~1–10% стоимости системы, в которой они использованы, оценки оказываются сопоставимыми. Правда, пока МЭМС по темпам развития существенно отстают от изделий микро-

электроники. Так, фирма Texas Instruments лишь в 2000 году начала получать прибыль от продажи разработанных в 1996 году МЭМС ци- фровой обработки светового излучения (Digital Light Processing – DLP), достаточно широко используемых в современных проекцион- ных системах. А фирме Analog Devices потребовалось девять лет, чтобы окупить затраты на разработку и производство МЭМС-акселе- рометра, которым оснащены большинство выпускаемых в США сис- тем управления подушкой безопасности новых моделей автомоби- лей. Аналогичная ситуация была характерна для полупроводниковой промышленности 20 лет назад, а сейчас новые изделия окупаются за полтора-два года. По-видимому, и дальнейшее развитие МЭМС бу- дет значительно более быстрым.

О справедливости этого утверждения свидетельствует рост объ- ема инвестиций в отрасль, которая до недавнего времени существо- вала в основном на средства, выделяемые государством (в 1991 го- ду они составили 3 млн. долл., в 1995-м – около 35 млн., из кото- рых почти 30 млн. долл. отчислило DARPA) и высшими учебными за- ведениями. По данным IntelliSense (с 2000 года производственное и программное МЭМС-подразделение компании Corning), еще три го- да назад практически никаких инвестиций венчурного капитала в эту отрасль не производилось. В 2000 году компании, разрабатываю- щие МЭМС-устройства, получили инвестиции в размере ~500 млн. долл. В первое полугодие 2001 года, по данным прогностического отделения In-Stat Group издательства Cahners, объем венчурного ка- питала, вложенного в развитие МЭМС, уже превысил эту сумму. По- явление инвесторов, требующих быстрой окупаемости вложенных денежных средств, приводит к интенсификации работ в области МЭМС. И в результате с 2000 года на рынке МЭМС-изделий появи- лось около 300 новых фирм. Эта технология привлекает внимание и крупнейших полупроводниковых производителей – Analog Devices, Texas Instruments, Intel, Motorola, Lucent Technologies. Уровень заня- тости в этой отрасли американской промышленности в 2001 году увеличился по сравнению с 1985 годом в 30 раз. Если в 1999 году представители МЭМС-промышленности могли назвать лишь двух крупнейших "чистых" производителей (foundries) – Cronos Integrated Microsystems и IntelliSense, то сегодня число независимых произво- дителей МЭМС растет. Это – Standard MEMS (поверхностная обра- ботка), Applied MEMS (объемная обработка), тайваньская Walsin Lihwa (ВЧ МЭМС для систем связи).

Но для быстрого продвижения МЭМС-устройств на рынок суще- ствует еще немало препятствий. Прежде всего – это проблемы, свя- занные с освоением их массового производства. Современные МЭМС – сформированные на одной подложке датчики, актюаторы (исполнительные механизмы), устройства управления с размерами элементов до нескольких единиц микрон и менее, – как правило, имеют трехмерную структуру. И хотя большей частью они изготовли-

* MIG – торговая ассоциация производителей МЭМС США, образованная в январе 2001 года. В нее входят 22 компании, в том числе один из ведущих производителей МЭМС – IntelliSense, приобретенный в 2000 году компанией Corning, а также фирмы Honeywell, Intel и Xerox.

** В NEXUS, созданную в 1993 году при финансовой поддержке ЕС, входят 400 представителей промышленности и академических организаций Европы.



ваются по полупроводниковой технологии, для их производства зачастую необходимо совершенно новое промышленное, контрольно-измерительное оборудование и методы корпусирования*. При этом следует учесть, что на долю исходного материала приходится лишь незначительная часть всей стоимости МЭМС-элемента, тогда как на корпусирование и тестирование – до 90–60% их стоимости. При этом в производство МЭМС вовлечено множество поставщиков различных материалов и оборудования, требуемых для создания разнообразных устройств.

Что же представлено на современном рынке МЭМС?

ДАТЧИКИ

Сегодня по-прежнему наиболее популярны разнообразные МЭМС-датчики. Практически каждая новая модель американского автомобиля оснащена МЭМС-элементами – от датчиков давления в трубопроводе двигателя до датчиков ускорения (МЭМС-акселерометры), используемых в активных системах подвески, автоматических дверных замках, противоугонных системах, системах воздушных подушек. Акселерометры начинают находить применение и в сейсмических системах записи, мониторах станков и механизмов, диагностических системах, т.е. там, где необходимо измерять ускорение, удар или вибрацию. Первые выпущенные на рынок в 1993 году акселерометры типа ADXL50, занимающие совместно со схемой формирования сигнала площадь кристалла в 5 мм², были разработаны фирмой Analog Devices в 1991-м. Цена акселерометра составляла 12 долл. против 200 долл. для применявшихся тогда датчиков на базе подшипников и трубок из нержавеющей стали. Благодаря появлению де-

*ЭЛЕКТРОНИКА:НТБ, 1998, №5-6, с.55.

шевых датчиков ускорения стоимость системы управления воздушной подушкой сегодня равна ~30 долл. Сейчас фирма ежегодно продает около 50 млн. МЭМС. Причем на долю акселерометров приходится почти 50% общего дохода от их продаж.

Датчики изготавливаются методом поверхностной обработки, предусматривающей осаждение тонких пьезорезистивных пленок на подложку с последующим вытравливанием требуемого рисунка подвижной диафрагмы (зазор между диафрагмой и поверхностью пластины и, следовательно, емкость образуемого ими конденсатора, зависит от значения ускорения). Таким образом, для изготовления МЭМС-акселерометров применяются те же процессы, что и в полупроводниковой технологии. Достоинства таких приборов, в отличие от устройств, формируемых методом объемной обработки, предусматривающей вытравливание подвижной диафрагмы в достаточно толстой пластине, – гибкость конструкции, возможность построения датчика ускорения по трем осям (объемная обработка допускает создание лишь двухосевого датчика) и формирования схемы считывания на одном с ним кристалле. Последнее обстоятельство нашло отражение и в названии технологии фирмы – integrated MEMS, или iMEMS.

В сентябре 1996 года Analog Devices выпустила третье поколение акселерометров – ADXL150/ADXL250, на одном кристалле с которыми размещены схемы формирования сигнала, генератор тактовых импульсов, демодулятор и таймер (рис. 1). ADXL150 измеряет ускорение по одной оси, ADXL250 – по двум взаимно перпендикулярным осям в плоскости кристалла. Эти датчики характеризуются низким уровнем шумов (плотность шума 1 mg/Hz^{1/2}), широким динамическим диапазоном (80 дБ), малой потребляемой мощнос-

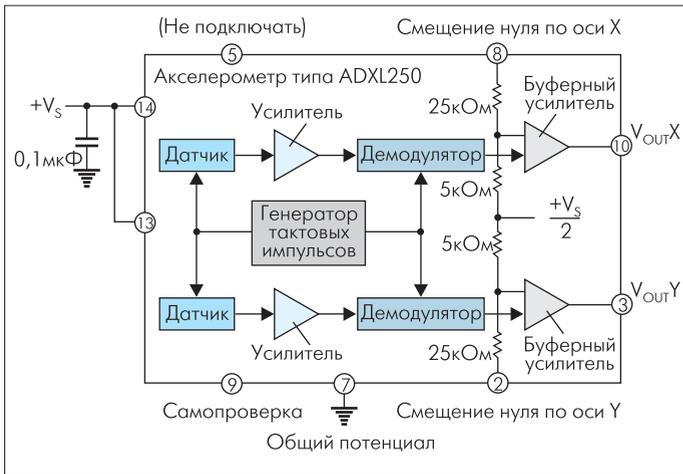


Рис. 1. Блок-схема акселерометра типа ADXL250 (в ADXL150 – всех элементов по одному)

тью (1,8 мА/ось, напряжение питания 4 В) и низким дрейфом при нулевом ускорении (0,4 g) в промышленном диапазоне температур (-40...+85°C). Разрешение их в диапазоне измерений ±50 g составляет 10 мг. Единственный внешний прибор, необходимый для нормальной работы акселерометра, – развязывающий конденсатор источника питания. Поставляются датчики в 14-выводном керамическом монтируемом на поверхность корпусе. Стоимость при закупке OEM-партий – 10 долл.

Следует отметить, что поскольку масса и размеры поверхностно обработанной структуры малы, схема считывания должна регистрировать чрезвычайно незначительные изменения емкости. Так что точность измерений ограничена разрешением схемы считывания. Поэтому следующим этапом развития технологии МЭМС-акселерометров стало появление датчиков серии ADXL202 с плотностью шумов 200 мг/Гц^{1/2} и разрешением не хуже 2 мг в диапазоне 60 Гц (для последнего датчика серии – ADXL202E). При этом датчик измеряет ускорение в динамическом (вибрации) и статическом (непосредственно ускорение) режимах. Предусмотрен интерфейс с микропроцессором или микроконтроллером (рис.2). Ускорение измеряется по коэффициенту заполнения (отношению ширины импульса к его периоду) выходного сигнала датчика (аналогового или цифрового), т.е. на выходе имеем ШИМ-сигнал. Этот сигнал непосредственно регистрируется счетчиком процессора, т.е. АЦП или какие-либо дополнительные логические устройства не нужны. С помощью резистора R_{уст} можно регулировать период сигнала в пределах 0,5–10 мкс. Напряжение питания акселерометра ADXL202E – 5 В, ток – менее 0,6 мА, ширина полосы аналогового сигнала – 50 Гц, тактовая частота микроконтроллера – 1 МГц, дрейф при нулевом ускорении в диапазоне температур 0–50°C – 0,05 g. Поставляется он в 8-выводном LCC-корпусе размером 5x5x2 мм. ADXL202E находит применение не только в системах управления воздушными подушками, но и в оборудовании обнаружения перемещений и сигнализации, драйверах дисковых накопителей, для измерения углов наклона (с точностью лучше 1,12°). Рассматривается возможность применения МЭМС акселерометров в системах управления воздушными подушками для защиты от боковых ударов. Совершенствование этих датчиков позволит создать устройства, способные устанавливать размер и вес пассажира и рассчитывать оптимальную реакцию системы с тем, чтобы снизить риск нанесения увечья при раскрытии подушки.

Другой крупный производитель МЭМС – фирма Motorola – отдала предпочтение датчикам давления, изготавливаемым методом объемной обработки. С 1980 года фирмой отгружено свыше 350 млн.

МЭМС-датчиков давления для автомобильной и медицинской отраслей промышленности. В начале 90-х годов были усовершенствованы конструкция самого датчика и биполярной схемы формирования сигнала, изготавливаемых на одном кристалле. Это позволило уменьшить размеры чувствительной к давлению пьезорезистивной диафрагмы, а также общую площадь датчика (на 30% – с 3,05x3,05 мм до 2,67x2,76 мм), улучшить чувствительность преобразователя и повысить его робостность. Так, диафрагма датчиков серии MPX5100, рассчитанных на измерение дифференциального давления в пределах до 100 кПа, выдерживает импульс давления до 1000 кПа. Среднее значение выходного напряжения составляет 4,7 В, в отсутствие давления – 0,2 В, точность измерения ±1,5% в температурном диапазоне 0–85°C.

Одним из перспективных направлений развития своей технологии фирма считает создание датчиков давления шин автомобилей, поскольку, согласно принятому Конгрессом США закону, с 2004 года все новые американские модели автомобилей должны быть оснащены устройствами дистанционного измерения давления шин.

Число фирм, выпускающих разнообразные датчики, непрерывно растет. Среди последних разработок уместно отметить 64-позиционный сверхминиатюрный кодировщик углового положения на элементах Холла типа AS5020 фирмы Austria Micro Systems (Австрия). На кристалле совместно со специализированной КМОП-схемой (ASIC) размещены матрица датчиков на элементах Холла, АЦП, два регистра, однократно программируемое ПЗУ и трехпроводная синхронная последовательная шина (рис.3). Схема располагается над или под двухполюсным постоянным магнитом (обычно диаметром 3–6 мм и высотой 2–3 мм, напряженность магнитного поля ±40 мТ) и кодирует его абсолютное угловое положение при вращении (скорость до 30 тыс. об/мин). Единственные внешние устройства, необходимые для измерения углового положения, – магнит и развязывающий конденсатор. Схема датчика совместима с любой микроконтроллерной системой, причем число датчиков, подключаемых к микроконтроллеру, не ограничено. Точность измерения положения составляет ±1,5°. Напряжение питания датчика 4,5–5,5 В, потребляемый ток 17 мА. Монтируется он в корпус типа SOIC-8 размером 4,93x3,94x1,48 мм. Предназначен датчик для замены механических поворотных переключателей и потенциометров в системах, работающих в агрессив-

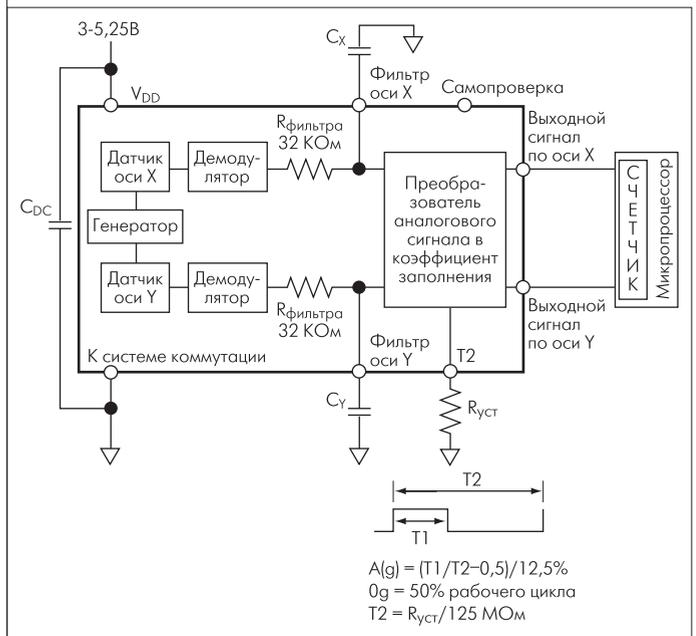


Рис. 2. Функциональная блок-схема акселерометра ADXL202E

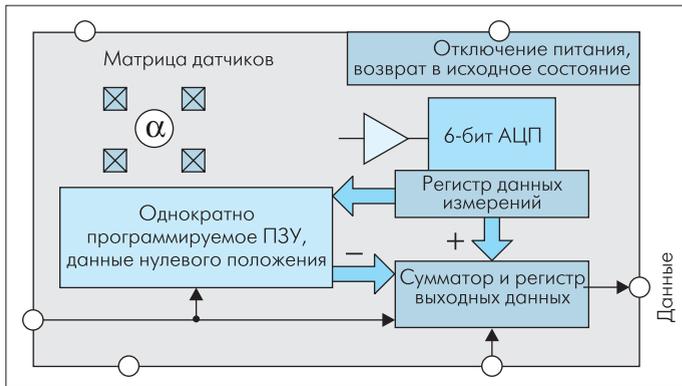


Рис.3. Блок-схема кодировщика углового положения типа AS5020

ной среде. Он может найти применение и в устройствах управления и остановки двигателей, в джойстиках, робототехнических системах, программируемых выключателях домашнего электронного оборудования.

Для регистрации сейсмической активности при газовых и нефтяных разработках предназначен сверхпрочный малошумящий сервоакселерометр типа SF1500-UNLD фирмы Applied MEMS (США). Трехвыводной емкостный МЭМС-датчик с четырехслойной структурой изготовлен методом объемной обработки. Его размер – 6,5х5,5х2 мм. Динамический диапазон этого 24-разрядного дельта-сигма датчика превышает 115 дБ, искажение сигнала во всем диапазоне измерений не превышает 10–4%. Плотность шума его необычайно низка – 100 ng/Hz^{1/2}. Потребляемая мощность – менее 200 мВт. Монтируется датчик в заказной керамический корпус. Для управления его работой разработана ASIC, содержащая более 30 тыс. КМОП-транзисторов и монтируемая в 44-выводной керамический корпус. Схема работает в режиме мультиплексной передачи с временным разделением каналов. К 2001 году фирма поставила более 10 тыс. таких датчиков.

Фирма TNO TPD (Нидерланды) создала термодинамический измеритель направления и скорости потока газов и жидкостей, реализовав с помощью МЭМС-технологии на одном кристалле множество нагревателей и датчиков температуры. Скорость потока определяется путем "введения" в контролируемый поток вещества с известной тепловой энергией и последующего измерения поверхностной температуры потока, зависящей от его скорости, – чем скорость выше, тем меньше поглощение тепловой энергии. Направление потока определяется по распределению поверхностной температуры. Датчик измеряет скорость потока в пределах от 0 до 100 миль/с (в среднем от 0 до 25 миль/с) при частоте изменения скорости 80 Гц, что позволяет использовать его для определения скорости пульсирующих или вибрирующих потоков. Благодаря малым размерам датчик может монтироваться на стенке трубопровода компрессоров, насосов и турбин. Он перспективен для применения в оборудовании пищевой и фармацевтической промышленности.

Множество привлекательных МЭМС-устройств было представлено на выставке Sensors Expo 2002 года. Не простая задача, например, увидеть Интернет-страницу на экране 3G сотового телефона (5х5 см). Но она легко решается с помощью МЭМС-датчика фирмы Memscic, позволяющего воспроизводить левую сторону страницы при наклоне трубки влево и правую сторону – при наклоне вправо, и даже увеличивать изображение, приближая трубку к лицу. Для определения угла наклона и ускорения в датчике используется нагреваемый пузырек газа и преобразователи температуры. Изготавливается он по стандартной КМОП-технологии, за исключением элементов преобразователей, требующих специальных этапов обработки. Разрешение датчика 1 mg в диапазоне измерений 10 g. Стоит он 3

долл. при закупке больших партий. А МЭМС-преобразователь *света-в-напряжение* или *света-в-частоту* фирмы Optical Solutions уже используется для проверки евро-банкнот на подделку.

Конечно, МЭМС-датчики находят самое разнообразное применение, но для успешного развития МЭМС-технологии нужны новые "продвинутые" области применения, и ими могут стать оптические и беспроводные средства связи.

МНОГООБЕЩАЮЩАЯ ИЛИ БЕЗЗАСТЕНЧИВО РЕКЛАМИРУЕМАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ?

Несмотря на спад экономики США, МЭМС оставались оазисом на рынке коммуникационных систем. Это можно объяснить большими ожиданиями, связанными с возможностью их применения в полностью оптических коммутаторах* систем, работающих в режиме плотного мультиплексирования по длинам волн (DWDM). Кросс-коммутатор – центральный элемент архитектуры оптических систем связи, а МЭМС – одна из перспективных технологий его реализации. С их помощью решена проблема переключения оптических сигналов на различных длинах волн из одного оптоволокну в другое независимо от протокола, ширины полосы или скорости передачи данных и без двойного преобразования его в электрический поток и обратно. Появление перестраиваемых лазеров и узкополосных оптических фильтров на базе МЭМС позволяет передавать по оптическому волокну со скоростью 40 Гбит/с до 160 сигналов на различных длинах волн (разделение каналов составляет 12,5 ГГц, в дальнейшем оно будет удвоено до 25 ГГц, что приведет к дальнейшему увеличению емкости волокна).

Самый распространенный МЭМС-переключатель – двух- или трехмерная матрица (2D или 3D) мельчайших зеркал, отражающих падающее на них излучение оптоволокну входного порта в оптоволокну выходного порта. Нужное оптоволокну задается углом поворота зеркала, регулируемого актюатором. Для управления актюатором можно применять магнитный или электростатический принцип. Во втором случае угол поворота зеркала задается напряжением между электродом зеркала и электродом, расположенным на его основании. В 2D-матрице зеркала поворачиваются в одной плоскости, в более сложной 3D-матрице – в двух плоскостях (рис.4), т.е., по образному выражению аналитиков In-Stat, различие между этими двумя типами матриц то же, что между качелями и гироскопом. Но, несмотря на то, что по сравнению с 2D-матрицей в трехмерной аналогичной емкости используется меньшее число зеркал, изготовить ее сложнее, а для управления требуется более сложное программное обеспечение. Поэтому она дороже.

На заре развития технологии оптических МЭМС-коммутационных матриц разработчики утверждали, что их изделия смогут обеспечить переключение нескольких тысяч каналов, и производители телекоммуникационного оборудования, стремясь первыми приобрести столь перспективные оптические устройства, вложили в их разработку немалые средства. Но затем стало ясно, что полностью оптическая сеть пока не выполнима. Это привело к созданию "гибридных" коммутаторов значительно меньшей емкости, чем утверждалось ранее. Сократилось и число фирм, занятых созданием оптических МЭМС-коммутаторов. Если на ранних этапах освоения технологии разработкой 3D-матричных устройств занимались около 10 фирм, то сегодня в этом секторе рынка остались только два крупных поставщика – Integrated Micromachines Inc. (IMMI) и Agere (бывшее отделение Microelectronics Group фирмы Lucent Technologies). Правда, работы в этой области продолжают более мелкие фирмы – Tellium, MEMX (группа, отделившаяся от Сандийской национальной лаборатории),

*ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 1999, №6, с.14–19.

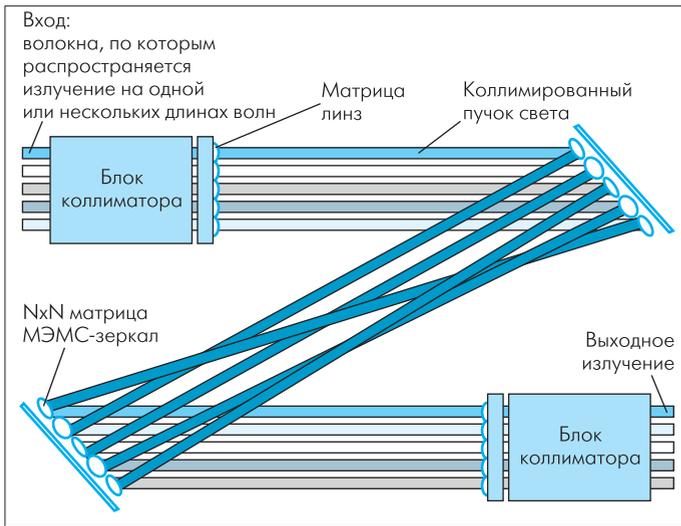


Рис.4. Структура 3D-матрицы МЭМС оптических переключателей

С Speed (численность занятых 54 человека). И президент компании IMMI Д. Миу прав, утверждая, что для 3D-систем существуют хорошие перспективы и они, конечно, будут востребованы, как только подтвердится надежность гибридных систем. Таков и прогноз фирмы Communications Industry Researchers, согласно которому до 2006 года самые большие доходы будут приносить 2D-переключатели, а самые высокие темпы прироста продаж будут иметь 3D-устройства.

Основной поставщик оптических 2D-коммутаторных матриц – компания OMM, выпускающая 4x4, 8x8, 16x16 и 32x32 модули для коммутаторов и мультиплексоров ввода-вывода (Optical Add-Drop Multiplexers – OADM). В конце 2001 года фирма выпустила 32x32 МЭМС-оптический модуль в специальном запатентованном фирмой корпусе. Он содержит четыре переключателя OMM16x16 и рассчитан на работу в диапазоне длин волн 1290–1610 нм. Вносимые потери его не превышают 6 дБ, время переключения – 13 мс, потребляемая мощность – 500 мВт. Напряжение питания – 5 В. По оценкам разработчиков, применение такого полностью оптического переключателя позволяет снизить стоимость системы коммутации более чем на 70%.

Новейшие разработки OMM – OMM2x16 оптический двунаправленный модуль, переключающий любое из двух входных оптоволокон на любое из 16 выходных, и OADM модуль OADS-8. Они также работают в диапазоне длин волн 1290–1610 нм. Модули, монтируемые в корпус размером 91x81x7,6 мм, предназначены для замены используемых в современном оборудовании оптомеханических коммутаторов. На создание семейства МЭМС-переключателей фирма получила от инвесторов более 150 млн. долл. Один из крупнейших инвесторов – компания Siemens Information and Communication Networks (США) намерена использовать переключатели OMM в кросс-коммутаторах протяженной оптической сети.

Но и разработчики 3D-матричных элементов не складывают оружие. В марте Агеге и IMMI объявили о создании новых 3D-коммутаторов. Агеге приступила к типовым испытаниям модуля S5200 с конфигурацией 64x64 и 32x32 портов и встроенными электронными схе-

мами управления. Габариты переключателя – 23x25x10 см. Его 3D-архитектура разработана специалистами Bell Labs. Начало массового производства планируется на лето 2002 года. Переключатель предназначен для оптических OADM-модулей DWDM-систем.

Оптический кросс-коммутатор IMX-80 фирмы IMMI на базе 3D МЭМС-матрицы достаточно легко объединяется с существующими электронными коммутаторами, что облегчает создание "гибридного" сетевого элемента. Это позволит операторам использовать оптический блок для быстрого назначения тракта передачи основной сети, не "поступаясь" дорогостоящим OC-192 трансивером. Главное достоинство коммутаторов семейства IMX (ведется разработка новых его изделий, в частности IMX-40 и IMX-256) – низкие вносимые потери, равные 1,7 дБ при числе портов 256. МЭМС-зеркала управляются тремя широкополосными контурами обратной связи на базе ASIC, объединяющими оптические датчики и датчики положения зеркал и обеспечивающими время переключения менее 10 мс.

Но 2D- и 3D-матричные устройства не единственные типы МЭМС-переключателей, используемых в оптических коммутаторах. Фирма Network Photonics в начале года сообщила о выпуске оптических подсистем CrossWave 1200 и CrossWave 2200, выполненных на базе разработанной ее специалистами одномерной линейки МЭМС-зеркал и фильтра типов волн по их длине на решетке. Применение линейной матрицы позволило отказаться от сложных сервосистем управления в 2D- и 3D-матрицах. Тем самым им удалось существенно снизить габариты, стоимость и потребляемую мощность коммутатора, улучшив его надежность и оптические характеристики. Подсистемы CrossWave – четырехпортовые (с конфигурацией 2x2) OADM-модули, оперирующие с сигналами на 96 различных длинах волн и обеспечивающие кросс-коммутацию по 192x192 длинам волн. Рассчитаны они на применение в DWDM-системах. Потребляемая ими мощность 8 Вт.

Интересен оптический переключатель без МЭМС-зеркал фирмы Agilent, в котором использован актюатор, подобный устройствам, применяемым в системах впрыскивания краски принтеров материнской фирмы Hewlett-Packard. Переключатель представляет собой планарную схему пересекающихся световодов на основе двуокиси кремния. В каждом пересечении вытравлено углубление, заполняемое жидкостью с тем же коэффициентом пропускания на длинах волн 1300 и 1550 нм, что и у материала световода. Для изменения направления распространения света в нужное пересечение подается напряжение. Это вызывает нагрев жидкости и образование пузырька, отражающего излучение в требуемый канал. По утверждению разработчиков, на основе этого переключателя можно легко реализовать NxN кросс-коммутаторы с низкими потерями (в среднем 5 дБ). Время переключения – менее 10 мс. Достоинство переключателя – отсутствие регулируемых зеркал, систем управления и высоких требований к защите от загрязнений. В мае 2000 года Agilent заключила договор с компанией STMicroelectronics на производство "пузырьковых" МЭМС-переключателей с 32x32 портами. Габариты переключателя – 16,5x30,4x4,8 см, напряжение питания 5±5% В и 15±10% В (при максимальном токе 6 и 1 А, соответственно). Интерес к этому переключателю проявила и фирма Alcatel, но о других приверженцах пузырьковой технологии пока неизвестно. Большинство потенциальных потребителей отдадут предпочтение технологии матриц МЭМС-зеркал. Что же, поживем, увидим, кто выиграет.

МЭМС находят применение не только в переключателях – все большее внимание разработчиков оптической сетевой инфраструктуры привлекают МЭМС регулируемых оптических аттенуаторов, перестраиваемых фильтров и лазеров. Именно на такое применение рассчитан МЭМС-линейный микродвигатель фирмы Agilent. Двигатель не

Согласно данным In-Stat Group, продажи МЭМС для оптических систем связи за период 2001–2005 годы возрастут с 67 млн. до 2,3 млрд. долл., а доходы фирм-производителей – с 33,1 млн. до 1,8 млрд. долл. Правда, аналитики прогностической фирмы Communications Industry Researchers считают эти данные сильно завышенными и определяют рынок оптических МЭМС в 2005 году в 600 млн. долл. Как бы ни отличались прогнозы, большинство экспертов высоко оценивают перспективность оптических МЭМС-переключателей.



вращается, а перемещается в одной плоскости (вперед-назад, влево-вправо) на расстояние до 50 мкм шагами в 1,5 нм за 2,5 мс.

Для DWDM-систем предназначен и перестраиваемый поверхностно излучающий лазер с вертикальным резонатором фирмы Nortel Networks. Полусимметричный МЭМС-резонатор обеспечивает непрерывную перестройку по длинам волн. Лазер смонтирован в корпусе с широкополосным фиксатором частоты для ее стабилизации на протяжении жизненного цикла и с прецизионным термистором с отрицательным температурным коэффициентом для контроля рабочей температуры. Минимальная выходная мощность лазера равна 20 мВт, стабильность – 0,3 дБ, потребляемая мощность 7 Вт. Скорость перестройки излучения по длинам волн в зависимости от применения не превышает 10 мс при точности ± 3 ГГц. Разнос каналов – от 25 до 200 ГГц.

Фирма Solus Micro Technologies в стремлении создать "послушные" оптические МЭМС (compliant MEMS – CMEMS) обратилась к полимерному материалу, а не кремнию. Специалисты объясняют свой выбор чрезвычайно низким выходом годных при производстве кремниевых МЭМС (около 2%). К тому же, кремний легко раскалывается при изгибе или растяжении. В качестве исходного материала был выбран эластомер на основе кремния, характеризующийся отличными механическими и химическими свойствами, а также высокой термостабильностью и благодаря этому выдерживающий чрезвычайно большие механические и термические нагрузки. А поскольку жесткость этих материалов на шесть порядков меньше, чем у кремния, структуры на них могут иметь большую толщину. Отклонение этих материалов под воздействием приложенного напряжения также значительно больше, чем у элементов кремниевых МЭМС. И наконец, в отличие от кремниевых устройств, основной метод изго-

товления которых – химическое осаждение из газовой фазы, эластомерные структуры можно формировать более дешевым методом центрифугирования.

Специалистами фирмы изготовлен перестраиваемый интерференционный CMEMS-фильтр Фабри-Перо, который отличается высокой точностью настройки (характеризующей ширину фильтруемой спектральной линии) при шаге настройки 50 и 25 ГГц, возможностью прецизионного измерения оптической мощности и отношения сигнал-шум. Вносимые потери фильтра не превышают 2,5 дБ. Фильтр образован тремя соединенными вместе кремниевыми пластинами. На внутреннюю поверхность первой нанесен диэлектрический слой с высокой отражательной способностью, на внешнюю – высокоэффективное антиотражающее покрытие. Эта пластина выполняет функцию фиксированного зеркала. Вторая пластина с диэлектрическим слоем с высоким коэффициентом отражения крепится с помощью эластомера к периметру рамы и представляет собой подвижное зеркало. На третью пластину нанесены электроды, положение которых соответствует расположению электродов на эластомерном слое. Напряжение, приложенное между второй и третьей пластинами, управляет зазором между первыми двумя. CMEMS-фильтр предназначен для контроля функционирования различных DWDM-систем (убыток провайдера при нарушениях в их работе может достигать 10 тыс. долл./час на канал), работающих в С- и Р-диапазонах (1500 и 1630 нм). Время перехода с одного канала на другой занимает несколько миллисекунд. Время жизни фильтра, по оценкам разработчиков, превысит 10 лет.

Electronic Business, Feb., 2002.

www.manufacturing.net

Материалы фирм Analog Devices, Motorola, Austria Micro Systems, Applied MEMS и др.