

Компоненты микросистемной техники и устройства на их основе.

Датчики

Н. НЕЧАЕВА, канд. техн. наук, г. Москва

Компонентами микросистемной техники (МСТ) называют интегрированные микроэлементы с размерами от микрометра до миллиметра, объединяющие электрические и трёхмерные механические элементы. При таких размерах особое значение приобретают поверхностные эффекты, связанные с трением и смачиваемостью, а также электростатическое взаимодействие, поскольку отношение площади поверхности к объёму для элементов МСТ на порядки больше, чем для "обычных" электромеханических устройств.

Следует отметить, что единообразия в названии таких компонентов в настоящее время нет. В Японии используют термины "мехатроника" и "микромашин", в Европе — "микросистемы". Но наиболее широко распространены принятые в США термины MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) и MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems), так как компоненты MOEMS дополнительно содержат ещё и оптические компоненты. В России термин "микросистемная техника" стали ис-

пользовать в официальных документах после того, как в 1996 г. были утверждены "Приоритетные направления развития науки и техники. Критические технологии федерального уровня" [1]. Этот термин был подтверждён в Указе Президента РФ № ПР-578 от 30.03.2002 "Перечень критических технологий Российской Федерации" [2]. В некоторых случаях используются также наименования "Нанoeлектромеханические системы" (НЭМС), "Микроанотехнологии" (МНТ) и "Микроструктурирование" (МС).

Сегодня технология МСТ признана одним из направлений развития электроники, позволяющая существенно улучшить технические характеристики и расширить функциональные возможности электронных систем, снизить энер-

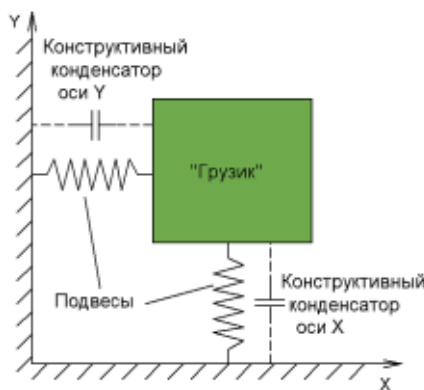


Рис. 1

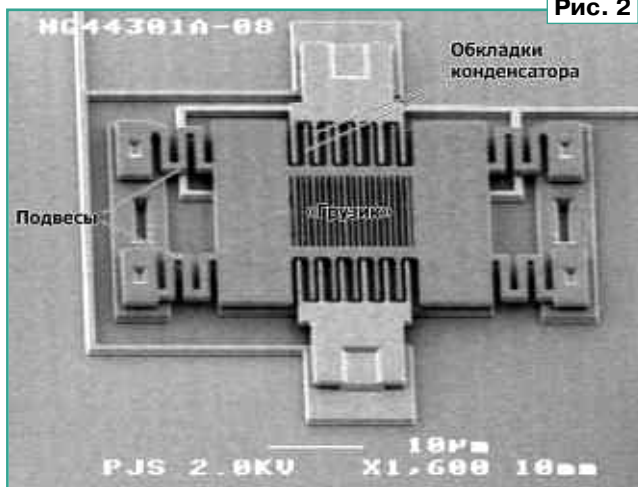


Рис. 2

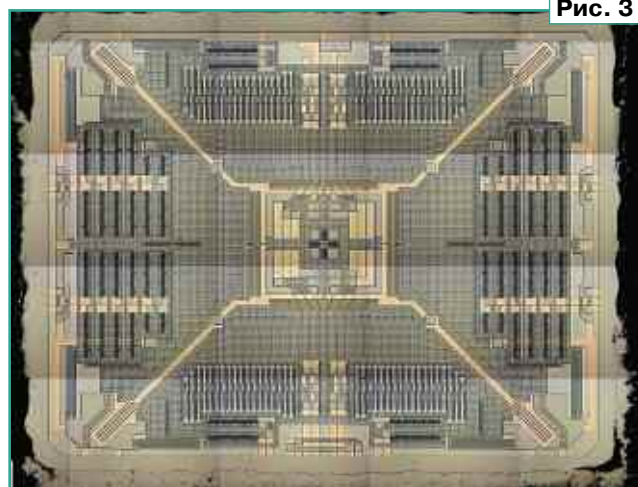


Рис. 3

Наступивший XXI век дал новое направление в развитии кремниевой технологии, основанное на использовании не только планарных, но и объёмных конструктивных свойств кремниевых элементов. В настоящее время МСТ-устройство представляет собой сочетание электронных, механических узлов и чувствительных элементов, выполненных в виде одного компонента на основе технологических процессов, которые применяют в производстве интегральных микросхем. Фактически технология МСТ дополняет традиционные электронные узлы датчиками и исполнительными механизмами, что позволяет создавать функционально законченные системы. Так, можно интегрировать такие устройства с уже существующими электронными компонентами. Основным материалом для изготовления является кремний, что связано с его механическими свойствами и отработанной технологией обработки. Иногда для производства используют металлы (золото, никель, алюминий, хром, титан, вольфрам и др.) или органические материалы.

Все основные МСТ элементы можно разделить на две группы: датчики (в литературе встречаются и другие названия — сенсоры, измерительные устройства), которые преобразуют те или иные неэлектрические воздействия в электрический сигнал и актуаторы (исполнительные устройства), которые выполняют обратную задачу, т. е. преобразуют электрические сигналы в те или иные воздействия или перемещения.

гопотребление, массогабаритные показатели и стоимость производства [3]. А начинались исследования в этом направлении в середине 50-х годов прошлого века, когда был открыт пьезорезистивный эффект (изменение сопротивления образца под действием приложенной механической силы) в кремнии и германии, основных материалах для изготовления полупроводниковых элементов. С середины 90-х годов начались активные исследования и разработки, появились первые промышленные образцы.

Датчики

Одни из самых известных и коммерчески успешных элементов МСТ — различные датчики движения. Всё больше изделий, как больших, так и малых, снабжают акселерометрами (датчиками ускорения) и гироскопами (датчиками поворота). Сегодня наиболее широко распространены датчики, работа которых основана на конденсаторном принципе (рис. 1). Такой датчик содержит подвижную часть — "грузик", подвешенный на эластичных подвесах-пру-

жинах. Между "грузиком" и неподвижным элементом существует конструктивный конденсатор, ёмкость которого постоянно контролирует специальный узел. При возникновении ускорения "грузик" смещается и ёмкость конденсатора изменяется. Измеряя значения и скорость этих изменений, а также зная массу "грузика" и параметры подвеса, можно определить ускорение и его направление. Один из вариантов реальной конструкции МСТ акселерометра показан на **рис. 2** [4].

Конструкции гироскопов могут быть аналогичны акселерометрам. Но в гироскопах значения ускорений по трём осям пересчитываются в значения углов поворота или угловых скоростей. На **рис. 3** показано устройство специализированной микросхемы гироскопа L3G4200D производства STMicroelectronics, которую применяют, например, в iPhone 4. На **рис. 4** показан центральный фрагмент её структуры с большим увеличением.

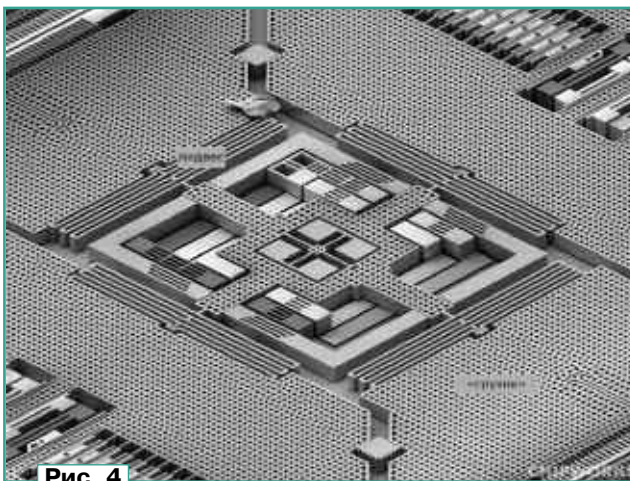


Рис. 4

Кстати, в начале 2012 г. эта фирма объявила о поставке двухмиллиардного датчика и тем самым подтвердила свою ведущую позицию в области поставок МСТ приборов для использования в бытовой и портативной технике. Следует отметить, что прошло всего пятнадцать месяцев с момента, когда был пройден одномиллиардный порог в поставках МСТ-датчиков [5].

Ещё один лидер в производстве датчиков для автомобильной промышленности и бытовой электроники — компания Bosch и её подразделения Bosch Automotive Electronics, а также дочерние предприятия Sensortec и Akustica. Суммарный объём их продукции за 16 лет также превысил два миллиарда. А в настоящее время за один день предприятия фирмы выпускают около 1,3 млн МСТ-датчиков [6].

Кроме конденсаторных, существуют акселерометры, использующие пьезоэффект. Взамен смещения обкладок конденсатора "грузик" оказывает давление на пьезокристаллы. Есть и термальные датчики ускорения. В них в качестве подвижного объекта используется горячий пузырёк воздуха. При ускорении датчика пузырёк отклоняется от центра системы, что отслеживают датчики температуры.

Автомобильная промышленность первой стала широко применять серийно выпускаемые устройства МСТ. Произошло это в 90-х годах прошлого века и касалось в первую очередь систем безопасности водителя и пассажиров. Оказалось, что миниатюрные акселерометры существенно меньше, дешевле и хорошо реагируют на резкое торможение автомобиля, поэтому их стали использовать в системах управления подушками безопасности и натяжения ремней безопасности. Кроме того, МСТ-датчики применяют для определения параметров человека: роста и массы, что позволяет создавать "умные"



Рис. 5

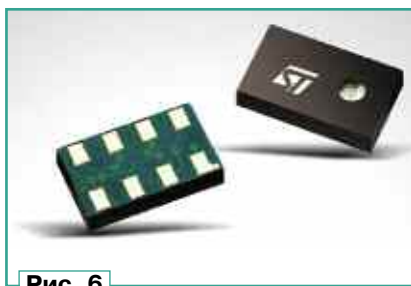


Рис. 6

подушки безопасности, учитывающие при срабатывании особенности водителя и пассажиров.

Всё более широкое применение такие устройства находят в системах управления автомобилем (датчики потока воздуха, давления в шинах, элементы систем безопасности движения, таких как антиблокировочная, антипробуксовочная, система распределения тормозных сил) и в охранных устройствах.

Как сказано выше, МСТ-элементы имеют много общего с интегральными микросхемами и выпускаются в аналоговых корпусах. На **рис. 5** показан акселерометр, уже не один год серийно выпускаемый фирмой Analog Devices [7].

В МСТ-элементах широко используется пьезорезистивный эффект, который применяют для построения различных датчиков, например давления. Ультракompактный МСТ-датчик LPS001WP в корпусе HCLGA-8L размерами 5x3x1 мм (**рис. 6**) компании STMicroelectronics способен измерять давление в интервале 300...1100 мбар с разрешением 0,065 мбар, что эквивалентно измерению высоты местонахождения с точностью около 80 см [8]. Он обладает высокой устойчивостью к уда-

рам и имеет выходы с интерфейсами SPI и I²C.

Ещё одно специфическое применение МСТ-датчиков — системы, направленные против угона автомобилей, краж бытовой и компьютерной техники. Примером может служить использование МСТ-гироскопов для определения наклона автомобиля, что позволяет охранной системе среагировать на попытку его кражи с помощью эвакуатора. Благодаря малым размерам такие датчики могут не только фиксировать перемещение даже небольшого предмета, но и по параметрам движения принимать решение, является ли это нормальной ситуацией или предмет пытаются похитить.

Применение МСТ-датчиков в системах навигации позволяет повысить их эффективность и универсальность. Типовая навигационная система строится на основе приёмника спутниковых сигналов системы ГЛОНАСС или GPS. В случаях, когда приём радиосигнала со спутников затруднён или невозможен (мосты, тоннели, другие сооружения), возникает потребность в отслеживании движения в таких условиях. Для решения этой задачи применяют МСТ-датчики: акселерометры, гироскопы и магнитометры. Совместное их использование позволяет в течение определённого времени осуществлять навигацию автономно, при этом "обнуление" ошибок происходит, когда приём сигнала со спутников возобновляется. В носимых системах навигации такой способ позволяет существенно снизить энергопотребление за счёт более редких обращений к системам глобального позиционирования [9].

Микросхему LISY300AL экономичного одноосевого гироскопа уже несколько лет серийно производит фирма STMicroelectronics. Она содержит ёмкостный чувствительный элемент, осуществляет измерение угловой скорости и формирует выходной аналоговый сигнал [10]. Новая цифровая микросхема LSM303DLHC этой фирмы содержит в одном корпусе трёхосевой акселерометр и трёхосевой магнитный датчик [11]. По сути, она является самым настоящим многофункциональным электронным компасом с низким энергопотреблением и предназначена для интеллектуальных навигаторов и автономных устройств распознавания движения и положения в пространстве. В акселерометре применены ёмкостные датчики ускорения, а цифровой магнитный датчик создан на основе магнитно-резистивной технологии (Anisotropic Magnetoresistive — AMR) компании Honeywell. Напряжение питания датчика — 2,16...3,6 В, температурный интервал — -40...+85 °С, корпус — LGA-14 (5x3x1 мм).

Некоторые портативные электронные устройства содержат накопители информации на жёстких дисках. При случайном падении устройства незапаркованная головка может повредить поверхность диска. Применение аксе-

лерометра исключает такую неприятность. Датчик регистрирует состояние свободного падения по отсутствию силы тяжести и выдаёт сигнал на парковку головок до момента удара устройства. Акселерометры можно успешно применить в аудиосистемах для измерения параметров вибрации с целью компенсации искажений, вызванных конструкцией активных сабвуферов. Трёхосевой акселерометр — микросхема MMA7660FCT компании Freescale Semiconductor измеряет ускорение по трём осям, имеет цифровой выход с интерфейсом I²C и малое энергопотребление (47 мкА в рабочем режиме, 2 мкА в режиме ожидания) при напряжении питания 2,4...3,6 В. Акселерометр размещён в корпусе DFN (3×3×0,9 мм) [12].

Ещё одна область применения гироскопов и акселерометров, где особенно важны малые габариты и масса, — стабилизация изображения при фото- и видеосъёмке портативными устройствами "с рук". Да и сами фотокамеры в мобильных устройствах и охранных системах всё чаще представляют собой устройства МСТ. Примером может служить цифровая камера (рис. 7) [13].

Однокристалльный инфракрасный цифровой МСТ-датчик температуры TMP006 серийно выпускает фирма Texas Instruments [14]. Он имеет размеры 1,6×1,6×0,625 мм и предназначен для применения в портативной аппаратуре для дистанционного измерения температуры. В его состав входят чувствительный ИК элемент, АЦП, встроенный интерфейс и другие вспомогательные узлы. Интервал измеряемой температуры — -40...+125 °С, максимальная погрешность в этом интервале — ±1,5 °С (типичное значение — ±0,5 °С), напряжение питания — 2,2...5,5 В, потребляемый ток (типичное значение) — 240 мкА.

В портативном газовом течейскателе [15] применён МСТ-датчик, принцип работы которого основан на различной теплопроводности газов. Он предназначен для поиска утечек в газопроводах и хранилищах газа. В качестве первичного преобразователя применён микронагреватель, а измеряемым параметром служит мощность, необходимая для поддержания постоянной его температуры. Обработку сигнала датчика — линейризация и термокомпенсацию — осуществляет микроконтроллер.

Автономный датчик без батареи питания (рис. 8) разработали специалисты бельгийского института IMEC [16]. В нём применён преобразователь энергии механических вибраций в электрическую, которая затем используется для питания электронных компонентов. Такой подход позволил создать беспроводной датчик давления, рассчитанный на установку внутри автомобильной шины и не нуждающийся в батарейном питании. Максимальная выходная мощность преобразователя приближается к 500 мкВт при колебаниях на резонансной частоте, примерно равной 1 кГц. Когда автомобиль движется со скоростью 70 км/ч, мощность приблизительно

равна 40 мкВт и её достаточно для питания датчика и беспроводного интерфейса. По мнению разработчиков, такие источники энергии могут быть востребованы там, где применение сменных источников питания непрактично или даже невозможно.

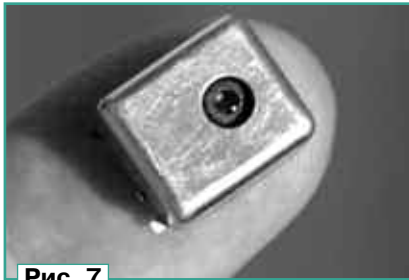


Рис. 7



Рис. 8

В кратком обзоре, конечно, невозможно охватить всё многообразие МСТ-датчиков. Они постоянно совершенствуются, а их номенклатура неуклонно растёт. Об актуаторах, которые выполняют функции, обратные датчикам, будет рассказано в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приоритетные направления развития науки и техники. Критические технологии федерального уровня. — <<http://www.bestpravо.ru/rossijskoje/er-dokumenty/c5g.htm>>.
2. Перечень критических технологий Российской Федерации. — <<http://archive.kremlin.ru/text/docs/2002/03/30295.shtml>>.
3. Белов Л. МЭМС-компоненты и узлы радиочастотной аппаратуры. — Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2008, № 2, с. 20—29.
4. Дрожжин А. MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 1. — <<http://www.3dnews.ru/editorial/MEMS-microelectromechanical-systems-Part-1>>.
5. Достижения фирмы STMicroelectronics в области МЭМС-датчиков. — <<http://www.tcen.ru/cgi-bin/lenta/view.pl?type=3#news1550>>.
6. Bosch выпустил два миллиарда MEMS-датчиков. — <<http://www.armtek.ru/3804.html>>.
7. Low Cost ±2 g/±10 g Dual Axis iMEMS® Accelerometers with Digital Output. — <<http://doc.chipfind.ru/ad/adx1202.htm>>.
8. LPS001WP. MEMS pressure sensor 300-1100 mbar absolute digital output barometer. — <<http://www.compel.ru/datapdf/st/pn/lps001wp/bb47cea108504af455018955e0f36561.pdf>>.
9. Применение микро-электро-механических систем. — <http://elinform.ru/articles_7.htm>.

10. LISY300AL. MEMS inertial sensor: single-axis ±300°/s analog output yaw rate gyroscope. — <<http://www.terraelectronics.ru/pdf/ST/LISY300AL.pdf>>.

11. LSM303DLHC — цифровой MEMS-компас и акселерометр в едином корпусе. — <http://www.terraelectronics.ru/news_postup.php?ID=2271>.

12. Цифровые 3-осевые акселерометры MMA7660FCT. — <http://www.terraelectronics.ru/news_postup.php?ID=1955>.

13. MEMS Digital Camera. — <http://www.ericfossum.com/Publications/Papers/MEMS_Digital_Camera_SPIE_Jan_2007.pdf>.

14. Первый в мире однокристалльный инфракрасный цифровой MEMS-датчик температуры. — <<http://www.ti.com/ww/ru/analog/tmp006/>>.

15. Портативный газовый течейскатель. — <<http://www.tmems.ru/index3.htm>>.

16. Imec presents a MEMS energy harvester suitable for shock-induced energy harvesting in car tires. — <http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/imeciedmitire.html>.

МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Дистанционные курсы обучения программированию микроконтроллеров. Занятия проводятся по электронной почте или с помощью программы Skype.

www.electroniclab.ru/courses.htm
Т. +7-912-619-5167

* * *

"ПОЗЫВНОЙ!"

ПРЕДЛАГАЕТ РАДИОНАБОРЫ:

РН-3КВ SSB р/ст. на 2 диап.

РН-7КВ SSB р/ст. на 4 диап.

РН-9 частотомер

РН-11 СИНТЕЗ р/ст. на 6 диап.

NEW

РН-15 СИНТЕЗ р/ст. на 9 диап.

Цифровые шкалы NEW

603106, г. Н. Новгород, а/я-102 NEW Т. (831) 417-88-04.

www.pozyvnoi.ruE-mail: pozyvnoi@mail.ru

* * *

Издательство "Наука и Техника"

высылает книги

наложенным платежом:

✓ Черномырдин А. В.

Видеокурс: семь шагов в электронику. Книга + CD, 160 с.

В лёгкой и доступной форме в книге разбираются устройство и принципы работы семи различных конструкций. Каждая конструкция сделана в нескольких вариантах на различной элементной базе — транзисторах, микросхемах, микроконтроллерах, — чтобы можно было наглядно увидеть и сходство, и различия между ними.

Книга сопровождается диском, на котором записан видеокурс, видеоролики с демонстрацией работающих конструкций, имеется разводка печатных плат всех конструкций в электронном виде.

Цена указана без учёта почтовых расходов.

Звоните 8 (812) 412-70-26.

Пишите admin@nit.com.ru

192029, С.-Петербург, а/я 44.

Подробно о книгах

на www.nit.com.ru