

Наномир на данный момент является своего рода фронтиром – передним краем науки, который пока еще только покоряют ученые-пионеры. А вот микромир уже достаточно давно освоен, и в нем вовсю идет строительство. Пожалуй, самым впечатляющим типом микроструктур, которые создаются людьми, являются MEMS – микроэлектромеханические системы.

Обычно MEMS делят на два типа: сенсоры – измерительные устройства, которые переводят те или иные физические воздействия в электрический сигнал – и актуаторы (исполнительные устройства) – системы, которые занимаются обратной задачей, то есть переводом сигналов в те или иные действия. В этой части статьи поговорим о первой категории MEMS.

Пожалуй, самыми «трендовыми» из MEMS-сенсоров являются датчики движения. Они в последнее время постоянно на слуху: телефоны, коммуникаторы, игровые приставки, фотокамеры и ноутбуки все чаще и чаще снабжаются акселерометрами (датчиками ускорения) и гироскопами (датчиками поворота).

В мобильных телефонах и видеоприставках чувствительность к движениям пользователя используется в основном, что называется, «для прикола». А вот в портативных компьютерах акселерометры выполняют очень даже полезную функцию: улавливают момент, когда жесткий диск может подвергнуться повреждению из-за удара и паркуют его, диска, головки. В фототехнике использование датчиков движения не менее актуально – именно на их основе работают честные системы стабилизации изображения.



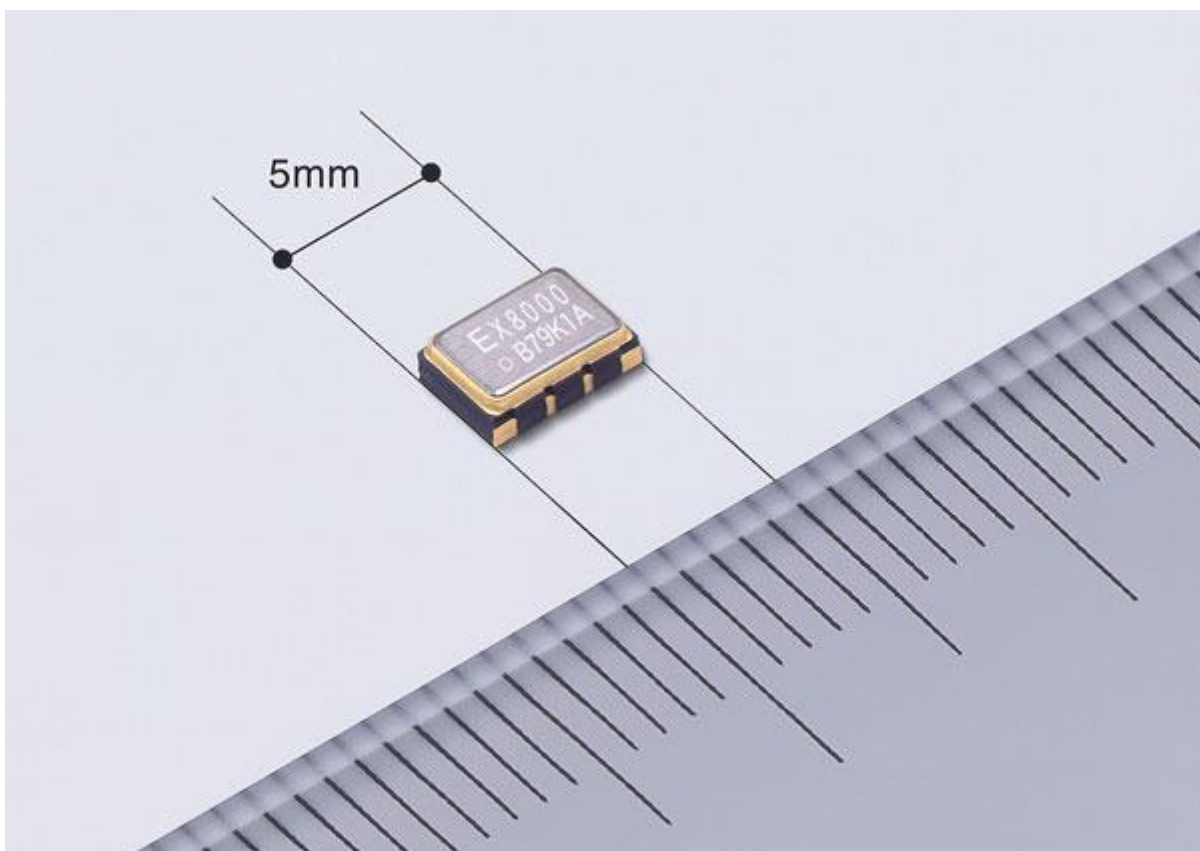
Классический гироскоп образца XIX века. Засунуть такой в iPhone или джойстик Wii довольно-таки затруднительно

Впрочем, рассуждать о том, что в реальности полезнее – активные игры на Wii, функция автоматического поворота картинки на iPhone, защита винчестера или возможность снимать фотографии без смазывания – дело неблагодарное. Покупателям нравится и то, и другое, и третье, и четвертое. Поэтому производители в последнее время стараются как можно более плотно использовать датчики движения.

Благо, возможностей у них для этого предостаточно: автопроизводители (из массовых индустрий они первыми опробовали данного рода устройства) уже несколько десятилетий активно эксплуатируют датчики движения, например, в подушках безопасности и антиблокировочных системах тормозов.

Так что соответствующие чипы давно разработаны, выпускаются целым рядом крупных и сравнительно мелких компаний и производятся в таких количествах, что цены давно и надежно сбиты до минимума. Типичный MEMS-акселерометр сегодня обходится в несколько долларов за штуку.

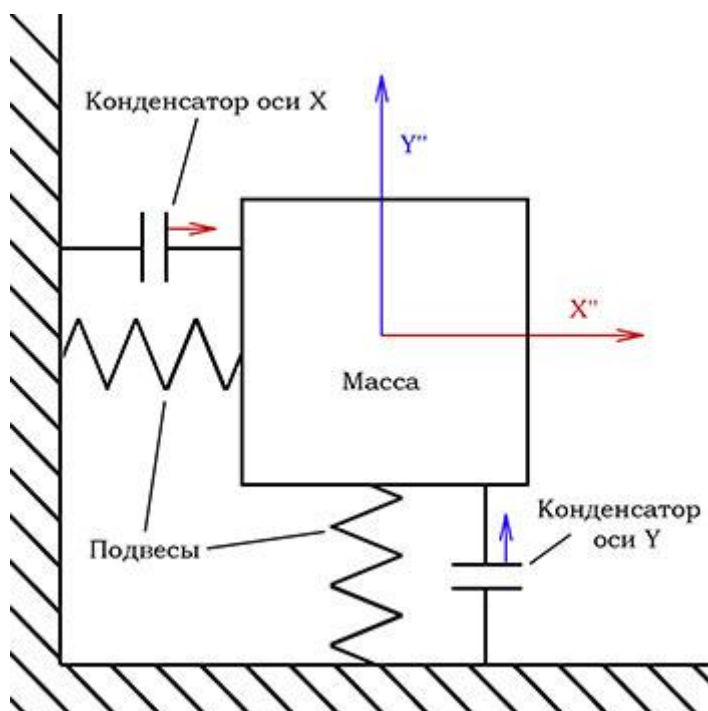
И места занимает – всего ничего. Для примера, размер корпуса пьезогироскопа Epson XV-8000 составляет 6x4,8x3,3 мм, а трехосного акселерометра LIS302DL производства ST Microelectronics – всего лишь 3x5x0,9 мм. Причем речь именно о размерах готового устройства с корпусом и контактами – сам кристалл еще меньше.



Датчик движения Epson XV-8000. И это далеко не самый компактный MEMS-сенсор

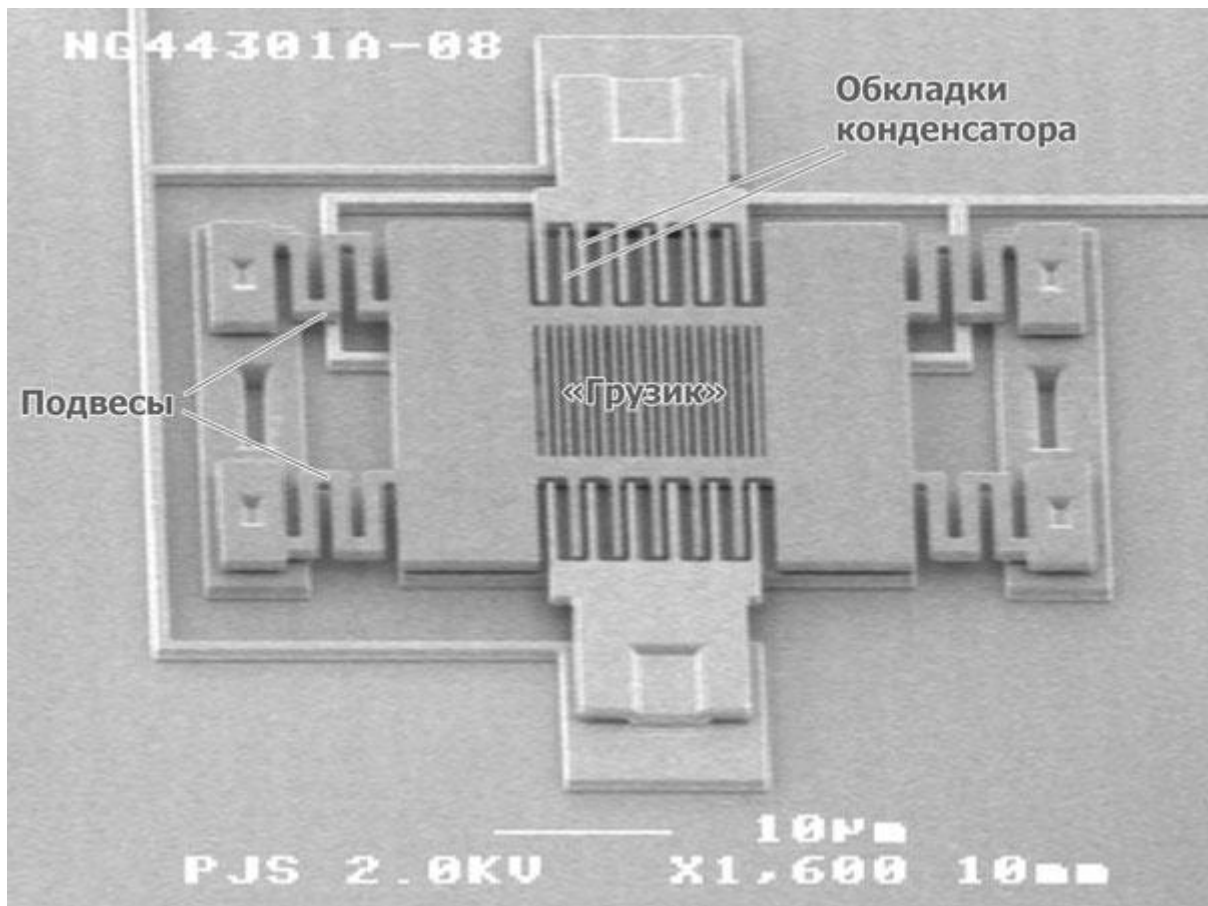
На сегодняшний день наиболее популярны датчики движения, основанные на конденсаторном принципе. Подвижная часть системы – классический грузик на подвесах.

При наличии ускорения грузик смещается относительно неподвижной части акселерометра. Обкладка конденсатора, прикрепленная к грузику, смещается относительно обкладки на неподвижной части. Емкость меняется, при неизменном заряде меняется напряжение – это изменение можно измерить и рассчитать смещение грузика. Откуда, зная его массу и параметры подвеса, легко найти и искомое ускорение.



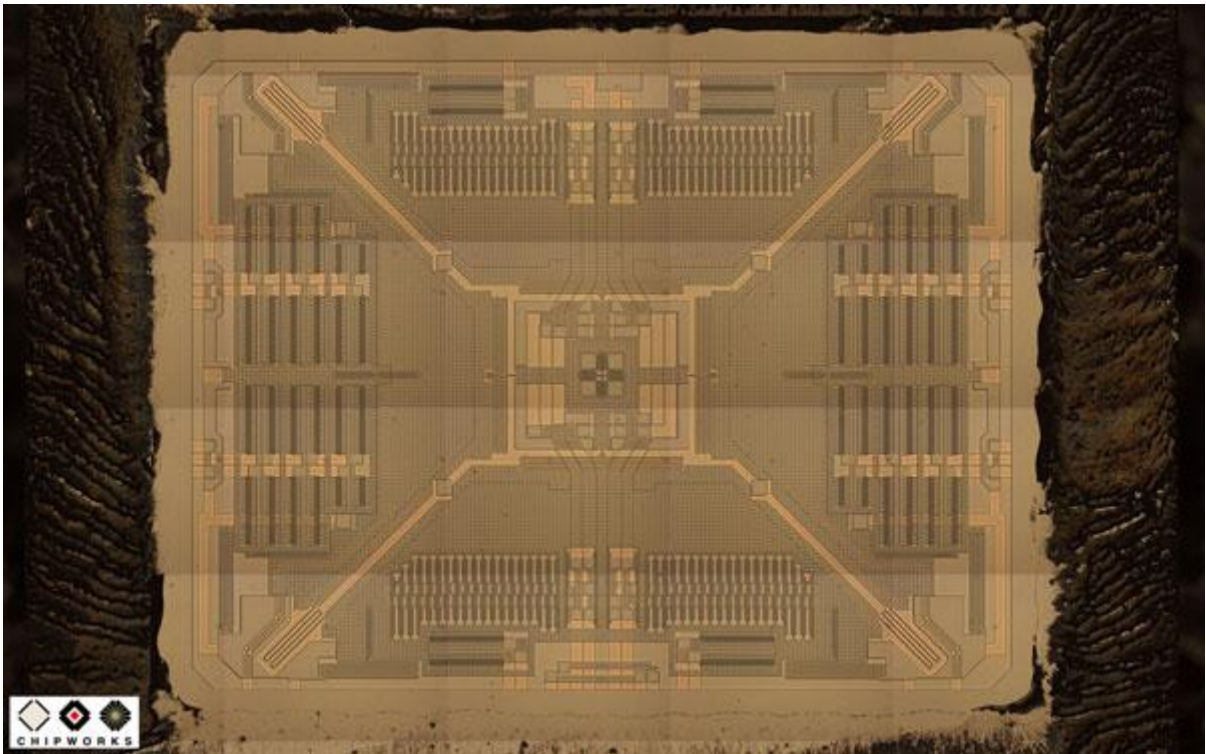
Основной принцип работы конденсаторных акселерометров

Это теория. На практике, MEMS-акселерометры устроены таким образом, что отделить друг от друга составные части – грузик, подвес, корпус и обкладки конденсатора – не так-то просто. Собственно, изящество MEMS в том и заключается, что в большинстве случаев в одной детали здесь удастся (а вернее, попросту приходится) комбинировать сразу несколько предметов.

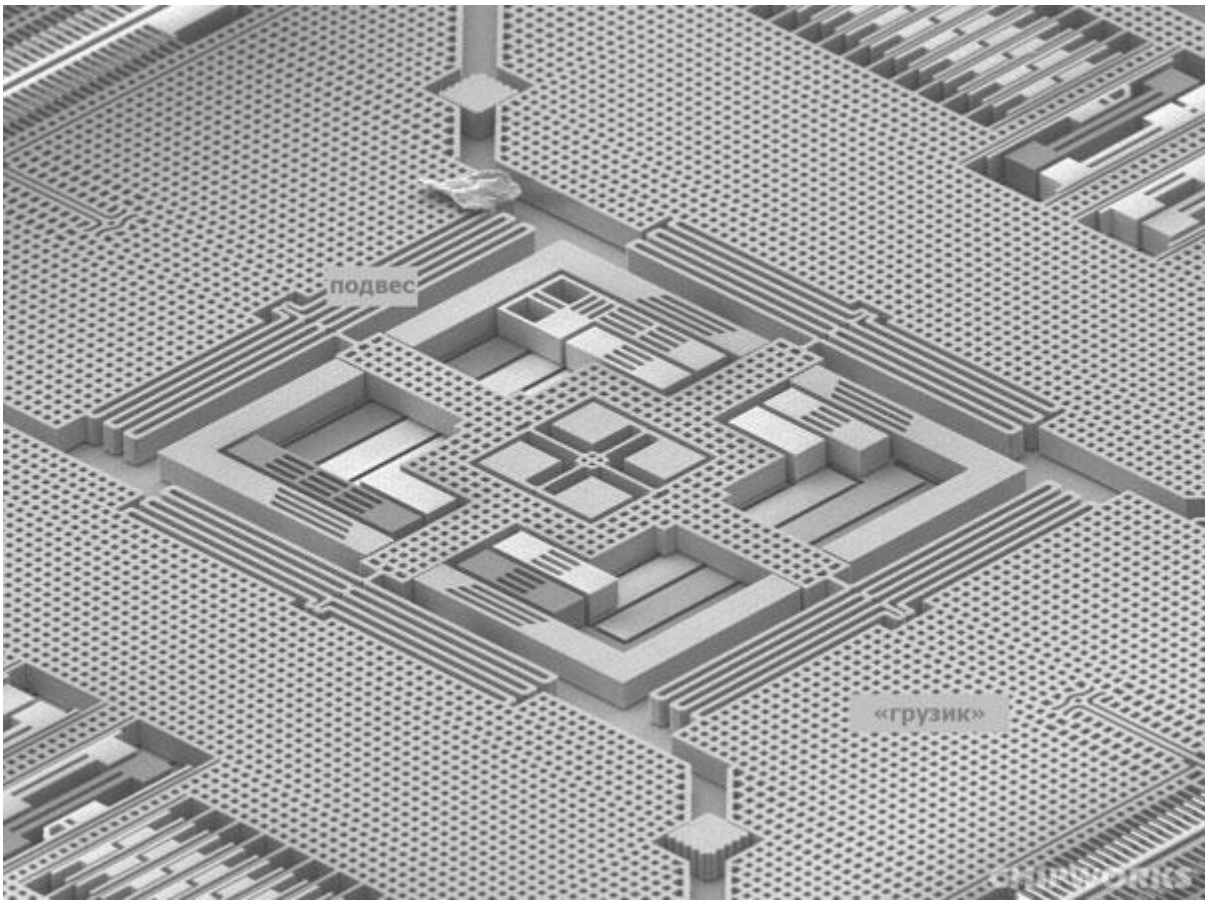


Относительно простой, но чрезвычайно миниатюрный и чувствительный MEMS-акселерометр разработки Sandia Labs

Зачастую, современные MEMS-гироскопы устроены идентично акселерометрам. Просто в них значения ускорений по осям пересчитываются в значения углов поворота – конструкция примерно та же, но на выходе другая величина.

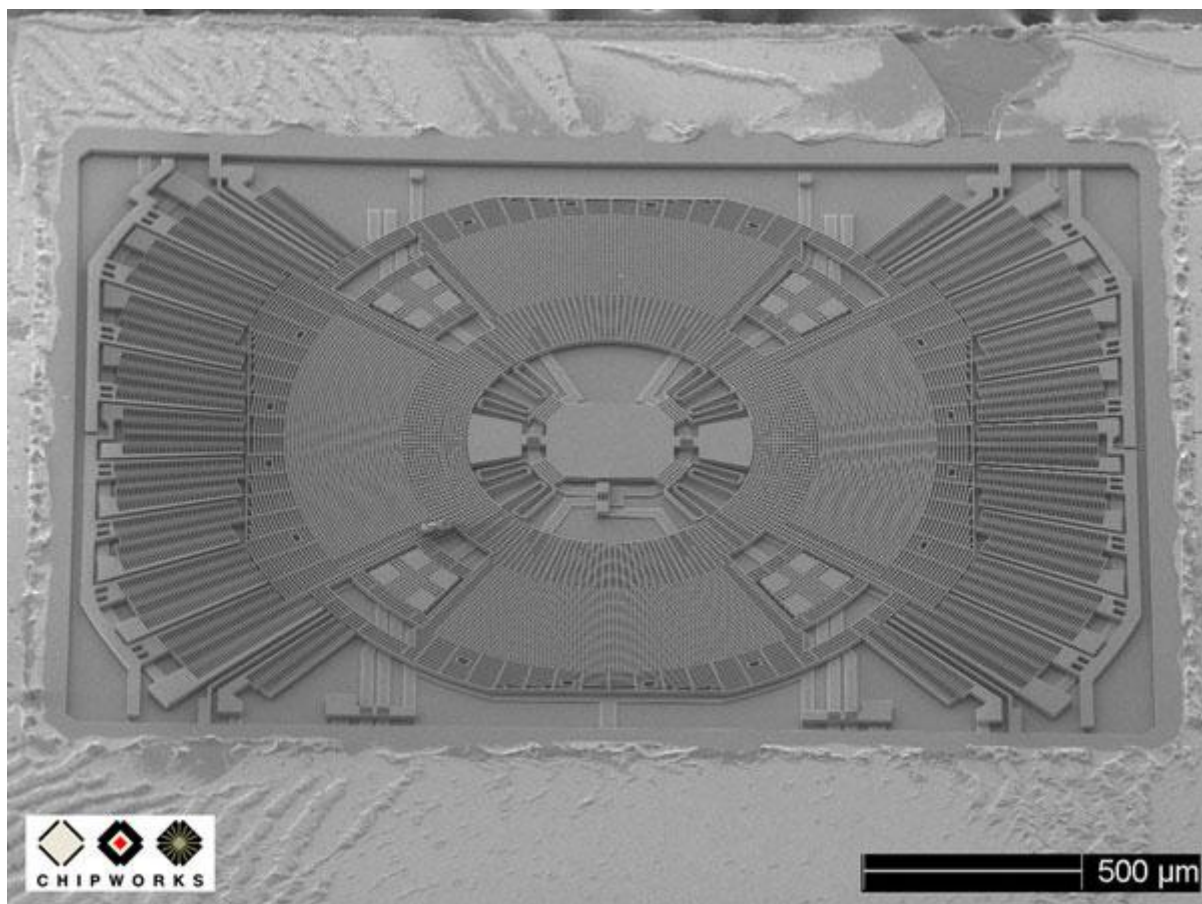


Гироскоп L3G4200D производства ST Microelectronics используется в iPhone 4

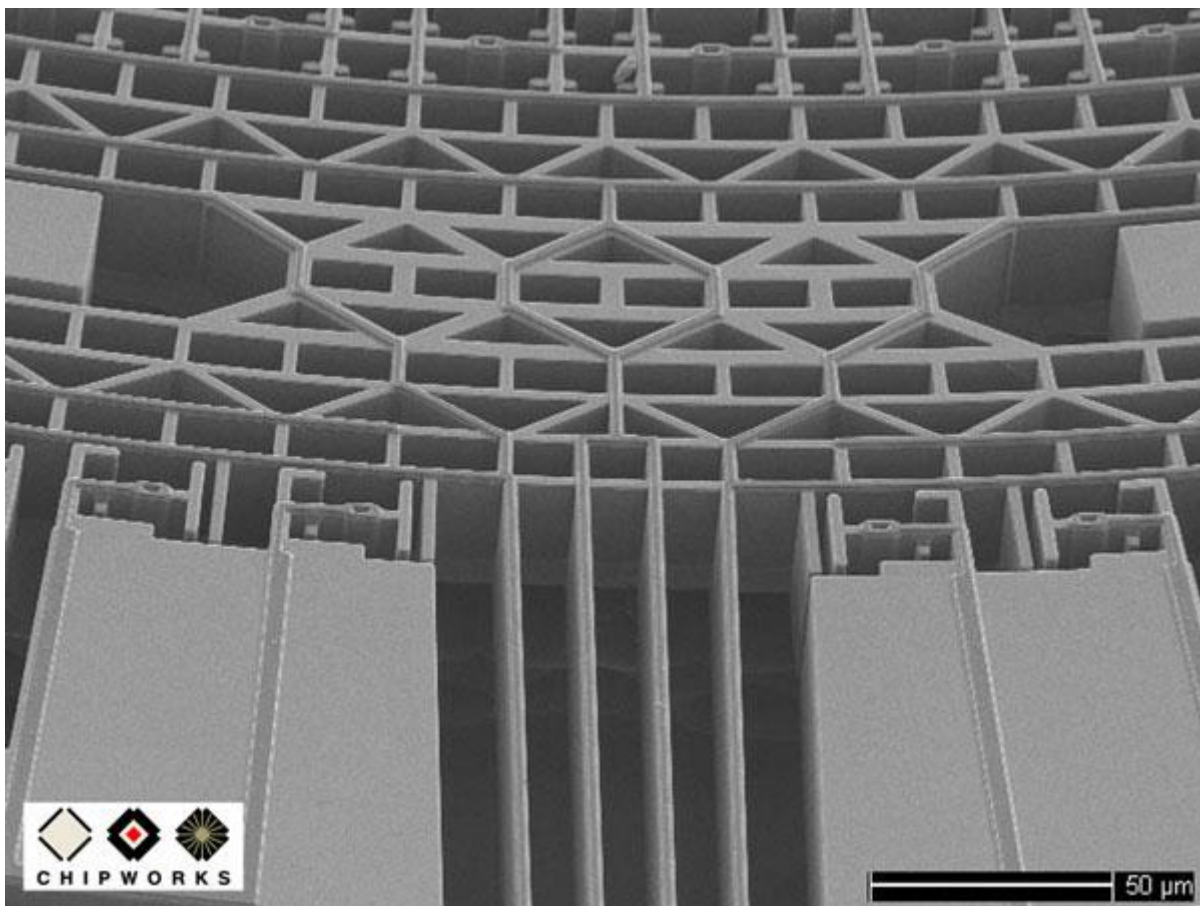


Тот же STM L3G4200D, фотография с большим увеличением

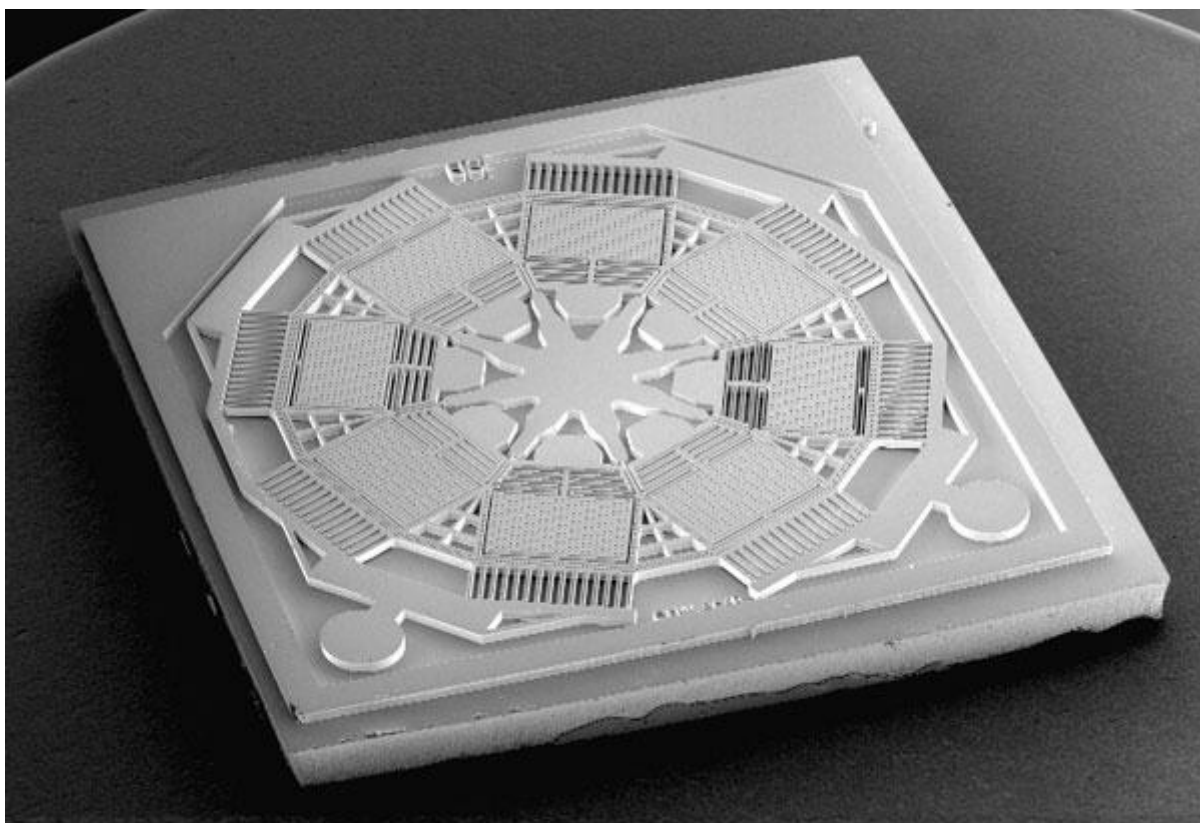
Однако встречаются и гироскопы, устройство которых "заточено" именно под вращение. Такие MEMS – одни из красивейших.



Еще один гироскоп ST Microelectronics – LYPR540AH

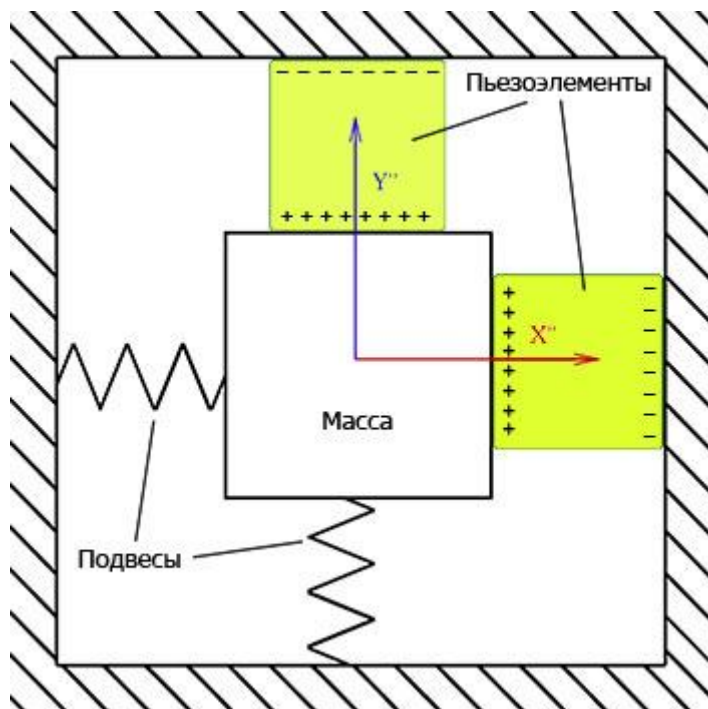


Крупный план STM LYPR540AH. Толщина деталей этой ажурной конструкции – около 3 микрон!



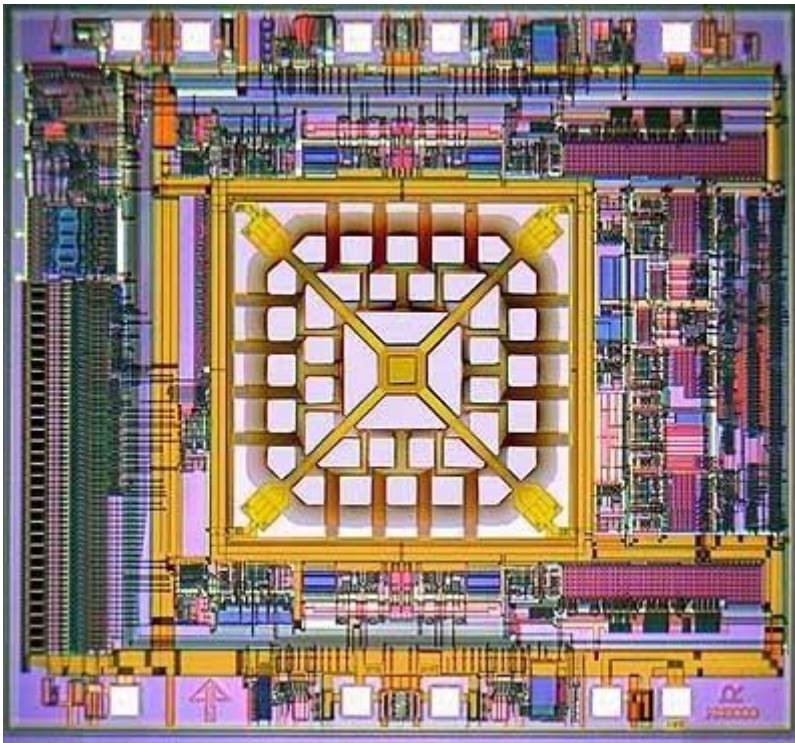
Еще один MEMS-гироскоп

Помимо конденсаторных датчиков, существуют MEMS-акселерометры, использующие иные принципы. Например, датчики, основанные на пьезоэффекте. Вместо смещения обкладок конденсатора, в акселерометрах такого типа происходит давление грузика на пьезокристалл. Основной принцип тот же, что и в пьезозажигалках – под воздействием деформации пьезоэлемент вырабатывает ток. Из значения напряжения, зная параметры системы, можно найти силу, с которой грузик давит на кристалл – и, соответственно, рассчитать искомое ускорение.



Основной принцип работы акселерометров на пьезоэлементах

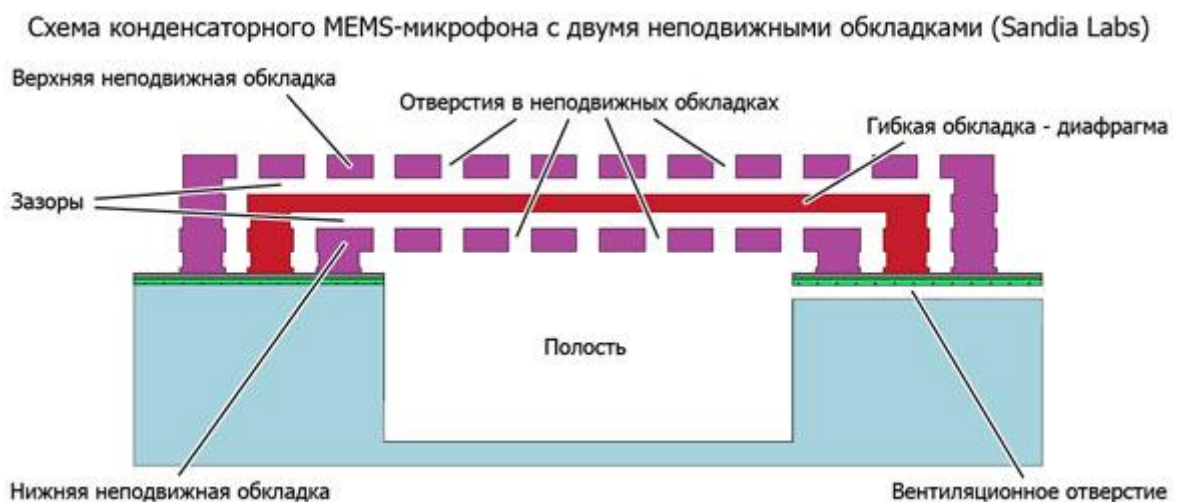
Есть и более экзотический тип MEMS-акселерометров – термальные датчики ускорения. В них в качестве основного объекта используется горячий пузырек воздуха. При движении пузырек отклоняется от центра системы, это отслеживается датчиками температуры. Чем дальше сместился пузырек – тем больше величина ускорения.



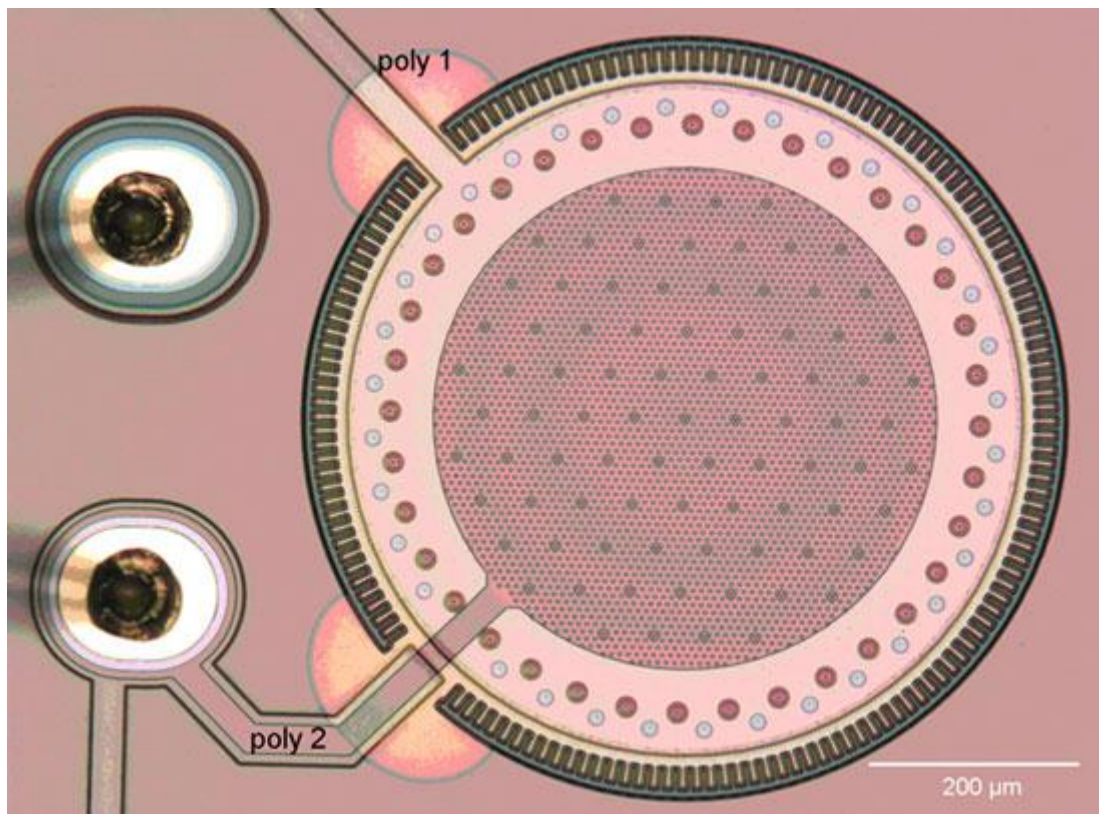
Двухосный термальный акселерометр

Менее популярный в статьях и обсуждениях, но гораздо более массовый тип MEMS-устройств – микроскопические микрофоны. Опять-таки, наиболее распространенными системами этого типа являются те, которые основаны на конденсаторном принципе.

Устроены они – проще некуда. Принципиально важных элементов в таком микрофоне всего два: это гибкая обкладка – мембрана – и более толстая, неподвижная обкладка. Под воздействием давления воздуха мембрана смещается, изменяется емкость между обкладками – при постоянном заряде изменяется напряжение. Эти данные пересчитываются в амплитуды и частоты звуковой волны.

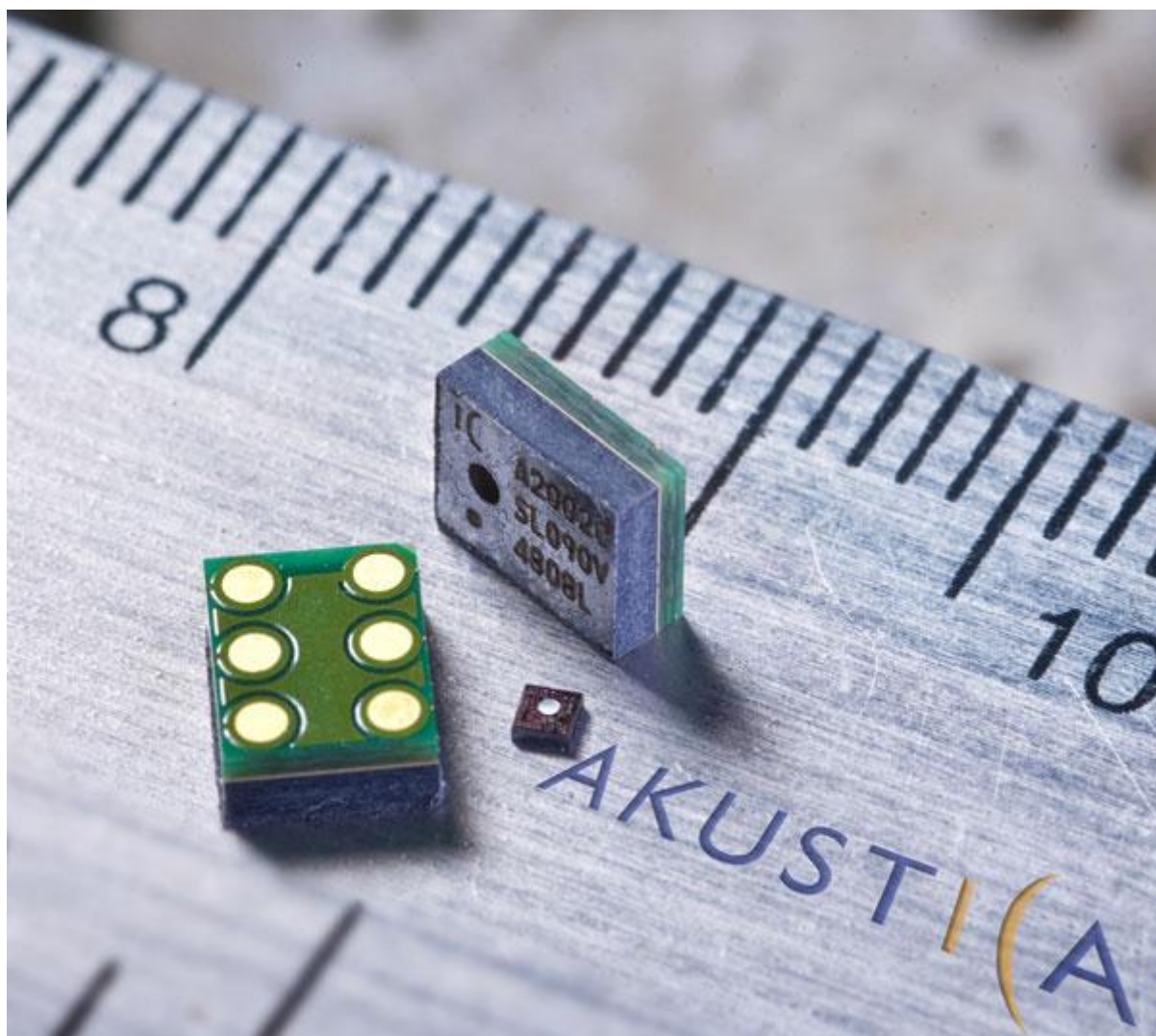


Чтобы минимизировать влияние давления воздуха на неподвижную обкладку, эта обкладка перфорируется. Кроме того, под ней делается сравнительно большая ниша с обязательным вентиляционным отверстием. Идея в том, что единственным подвижным элементом в системе в идеале должна быть мембрана – и только она.



микроэлектромеханический микрофон под микроскопом. Диаметр мембраны чуть больше половины миллиметра

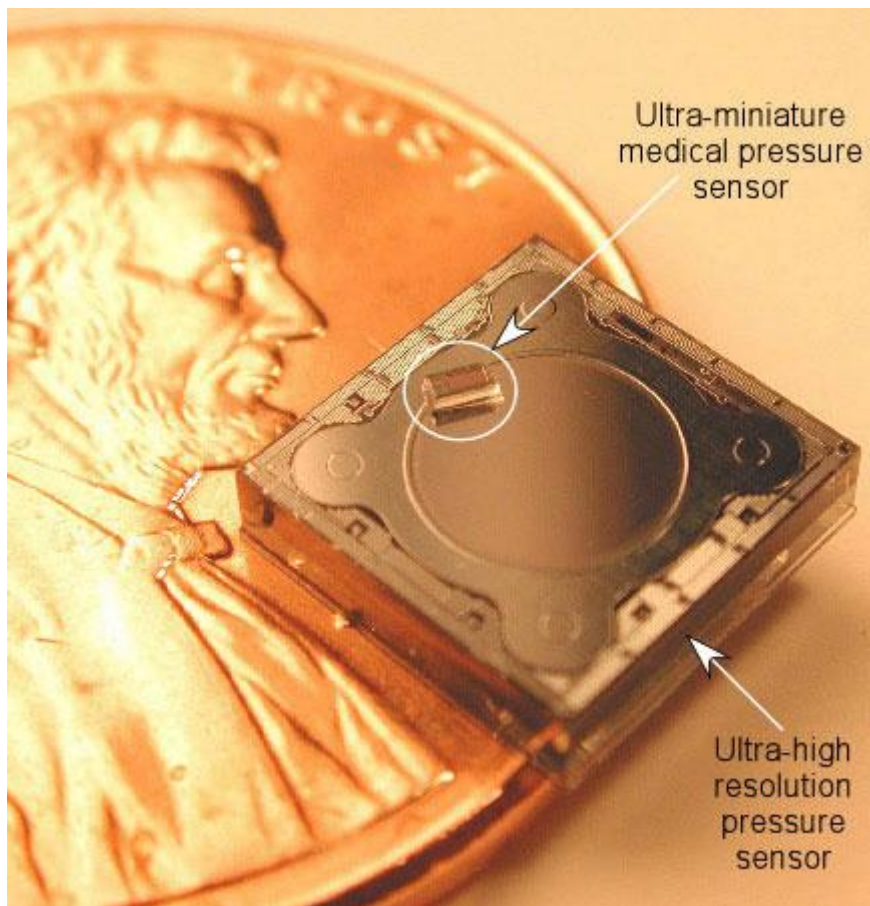
Как и в случае с акселерометрами, здесь может быть использован пьезоэффект - в этом случае под мембраной ставится пьезокристалл. Далее – как и в случае пьезоакселерометров: давление воздуха передается мембраной на пьезоэлемент, под этим воздействием кристалл вырабатывает ток. Напряжение измеряется и переводится в амплитуду и частоту звука.



Самый миниатюрный MEMS-микрофон компании Akustika (площадь кристалла – 1 кв.мм) теряется рядом со своими более крупными родственниками

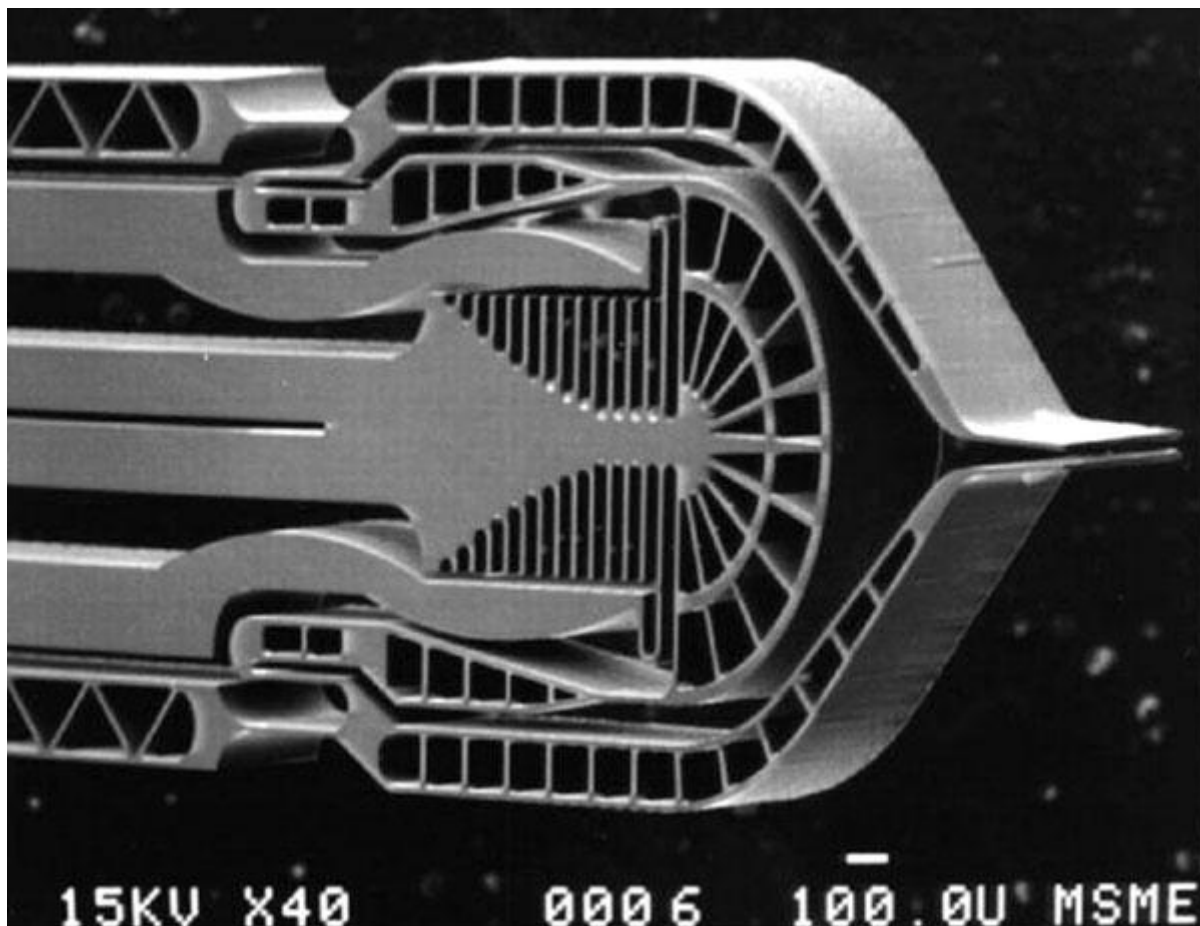
То, что годится для звука – подходит и для измерения давления в иных областях. Похожие на микрофоны MEMS-системы могут использоваться в качестве датчиков давления. Несложно догадаться, что применение такие сенсоры находят в уйме областей.

Но можно выделить одну область, которая является наиболее интересной и наиболее специфичной для датчиков давления, основанных на MEMS-технологии. Это медицина. Здесь размер действительно имеет значение. Если в какой-нибудь трубопровод вполне можно встроить «обычный», макроскопический датчик, то с кровеносным сосудом такой фокус, очевидно, не получится. Тут нужны очень и очень компактные решения.



Ультракомпактный и высокоточный датчики давления на фоне одноцентовой монеты (по размеру она примерно эквивалентна нынешним русским 50 копейкам)

Разумеется, в медицине востребованы не только датчики давления. Существует множество микроскопических биодатчиков, измеряющих массу разнообразных величин – от температуры до уровня глюкозы. Есть и более неожиданные устройства, вроде микроскопических систем подачи лекарств. И, разумеется, есть куча интереснейших прототипов, многие из которых в принципе не имеют аналогов среди макроустройств.



Прототип щипцов для микрохирургии глаза. Размеры головки щипцов – порядка 1,5x1,5 миллиметра. Толщина губ – несколько десятков микрон. Человеческий волос этими щипцами подцепить не получится – он для них слишком толстый

Что ж, разговор о MEMS-сенсорах мы на этом завершим. Впереди у нас еще более интересная и захватывающая тема: MEMS-актуаторы. Печатающие головки струйных принтеров, микрозеркальные матрицы, элементы опто-волоконных сетей и многое другое. Обещаем: скучно не будет!