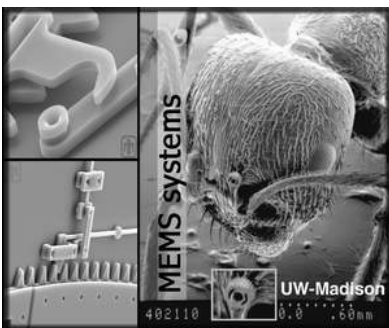


Микромашины наступают

Лето 2015-го

Санкт-Петербург, жаркое лето 2015 г., 3 часа по полудню. Дорога плыла в знойном мареве асфальта. С Лиговки, через Кузнечный переулок, повернул на Марата и опять попал в пробку. На этот раз надолго. Включил бортовой компьютер и вышел в сеть. Для поиска новостей набил ключевое слово «MEMS». И на экране постепенно, по мере загрузки, начали проявляться сообщения:



... сегодня, в Чикаго, в одном из самых высоких небоскребов «Сирс и Робак», в своем пентхаусе был убит глава нефтяной корпорации «ОйлТраст» Сержо Кобальёни. Этот 92-летний миллиардер последние восемь лет практически никогда не покидал своих шикарных апартаментов, и вот сегодня, его мертвое тело нашли у открытого окна, скрюченным в страшной агонии. Как сообщает полиция, орудие убийства найдено – им оказалась MEMS-микромашинка со стертими идентификационными номерами. Этот летающий микробот класса 2-B,

размером с комара, был найден на полу возле жертвы с поврежденными крыльями. Предположительно, смерть наступила от сильноедействующего тахиаритмика. И если бы микромашине удалось уйти, мы бы сегодня читали в некрологах о сердечном приступе, и ...

... наконец-то, компания «Микродивайсиз» выпустила портативную модель биолaborатории «BioLab-04a» для массового потребления. Ее сверкающий полупрозрачный корпус элегантно впишется на вашем рабочем столе возле компьютера. Все что вам нужно – просто подключить ее к порту вашего кома, и 120 тыс. MEMS-микромашин, упрятанных внутри ее главного бионического процессора, за считанные секунды произведут вам любой биомедицинский анализ крови, выявят поврежденные гены в вашей хромосомной ДНК и, на основании этих данных, синтезируют необходимое лекарство, подходящее именно для вас...

... в это воскресенье, Международное Аэрокосмическое Агентство зарегистрировало миллионный запуск грузового «Шатла» с одной тысячью низкоорбитальных персональных спутников связи на борту. Как сообщает агентство, практически все спутники принадлежат частным лицам и изготовлены по самым современным MEMS-технологиям: масса спутника со всем телекоммуникационным оборудованием не превышает 1.5 кг, а его размеры с разложенными антеннами не больше теннисного мяча. Теперь каждый владелец спутника будет иметь

персонального помощника и днем и ночью, в любой части мира...

Пока все это выглядит как фантастика, скажите вы мне, - ну где ж вы видели управляемых дистанционно комаров-убийц, или биомедицинские лаборатории на рабочем столе, которые сейчас-то занимают порой целые корпуса зданий, а то, что сантехник Федорыч из соседнего двора имеет свой спутник, ну это уж точно полный вздор, он то на бутылку неделю собирает. Согласен, сейчас – да, а лет эдак через 15-20, может, и нет.

MEMS, значит – микромашинки

Но начнем все по порядку. С буржуазного, аббревиатура «MEMS» переводится как «микроэлектромеханические системы» - MicroElectroMechanical Systems, или просто, микромашинки. Метафизическая сущность этих машин заключается в том, что вся их микроэлектронная часть - память,



процессоры, контроллеры и т.д., интегрированы вместе на микроуровне

электромеханическими элементами и конструкциями, типа: электромоторами, насосами, фильтрами, приводами, шестеренками и пружинами, рычагами, тягами, реверсными и часовыми механизмам.

Представьте себе микродвигатель с размером ротора всего в 140 микрон (0.14 мм), дающий, почти 150 тыс. оборотов в минуту целые сутки, и питающийся электростатическим электричеством, снятым, к примеру, с вашей головы. Представили!? И это не выдумка, это реально действующая модель. Ее создали инженеры из университета Висконсин-Мэдисон еще в 1994 г.

Или вообразите сверхсекретный оптико-механический замок с шестнадцатью миллионами возможных вариантов кода, помещающегося в отверстие игольного ушка. Что впечатляет?!

Да, порой микромашины бывают настолько мелкие, что их трудно увидеть не вооруженным глазом, а их детали – и подавно, – некоторые мельче пыльцевого зернышка. Не верите? Приглядитесь повнимательней к фотографии муравья, на кутикулярный волосок его головы надета шестеренка с зубчиками. И это не предел. MEMS-индустрия с каждым годом постоянно уменьшает и усложняет MEMS-системы, и с такими темпами, что точно, лет через десять появятся первые прообразы искусственных электромеханических комаров, или мух, или что-то подобное.

Микро и макро

Чем же хороши MEMS-системы, чем они лучше своих «больших» братьев?

Почему во всем мире сейчас происходит бум на микромашины, а индустриально развитые страны, прежде всего США и Япония, на официальном уровне принимают резолюции, провозглашающие развитие MEMS-технологий приоритетным и стратегически важным, со всеми вытекающими отсюда обстоятельствами: повышенное финансирование науки и отрасли, снижение

налогообложения для коммерческих проектов и т.д.

Во-первых, потому что микро – это всегда экономия, экономия на сырье и ресурсах, экономия на энергии. Экономия – значит



выгодно. А выгодно – в постиндустриальном «загнивающем» Западе – значит правильно. Вот такая простая цепочка.

Во-вторых, микро – это всегда быстрее. Быстрее вращается вал мотора, быстрее шестеренки крутятся, быстрее клапана срабатывают, быстрее насосы качают. Одним словом, на микроуровне быстрее взаимодействуют между собой все механические части. А причин этому несколько: в субмиллиметровом мире, т.е. в мире где размеры объектов варьируют от нескольких микрон до одного миллиметра, силы гравитации уже не играют особой роли, на этом уровне начинают действовать межмолекулярные и межатомные силы притяжения и отталкивания. Сильно уменьшается паразитное трение деталей, их износ, снижается нагрев элементов MEMS-конструкций от все того же трения.

Таким образом, снижение трения и износа, а отсюда логично вытекает и увеличение срока эксплуатации микромашин – это будет в третьих.

В четвертых, микро – всегда лучше интегрируется с микроэлектроникой на физическом и технологическом уровнях. Они как бы превращаются в одну систему, составляют единое целое. Получается некий гибрид из сверхсложной электроники и не

менее сложной механики или оптики. А схожесть технологических процессов производства позволяет их «штамповать» вместе, на одних и тех же заводах и фабриках тысячами штук с себестоимостью в несколько долларов.

Ну и в пятых, микро – это всегда чувствительнее и точнее, недаром первыми MEMS-конструкциями еще двадцать лет назад были сенсоры давления, скорости и вибрации.

Как их делают

Существует масса технологий и методов. Все они довольно сложны, а большая часть из них еще и требует сверхчистых помещений с особым микроклиматом. Перечислю лишь некоторые из них: гальваническое осаждение металлов на микроповерхностях, фотолитография трехмерных структур, микроштамповка и пластика, лазерная резка и гранка, мелкоабразивная шлифовка и т.д. А одним из самых популярных материалов при строительстве MEMS-машин считается – поликристаллический кремний (полукремний). Он прочнее стали, примерно, в 100 раз, пластичнее и меньше изнашивается. Используются и другие материалы: сплавы никеля, пьезокерамика, стекло и пластик.

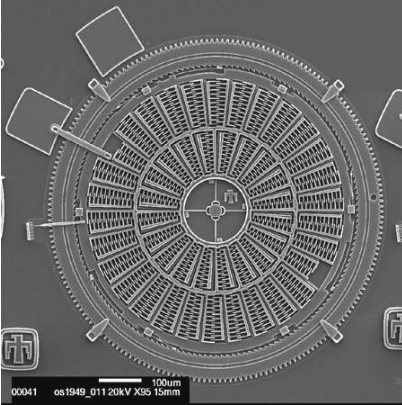
Где же сегодня применяются все эти замысловатые «машины-пигмеи»? Где уже реально работают? Разберемся по порядку.

Микромашины на военной и гражданской службе

Истребитель «Mirage-III Fighter» сделал крутой вираж и ушел на «банку», его реактивные двигатели плавно «уснули» и только почти у самой земли, на отметке 800, также плавно, наполнились жаром.» Таким сложным поведением реактивных двигателей, топливных и воздушных систем современных самолетов управляют миниатюрные датчики, сенсоры, изготовленные по MEMS-технологиям. Они следят за

сотнями характеристик окружающей среды, минимально изменяя ее и докладывают в центральный бортовой компьютер машины.

Вообще, весь



аэрокосмический комплекс – это клиент «номер один» для MEMS-индустрии. Микросенсорами просто напичканы последние модели истребителей, штурмовиков, бомбардировщиков, да и гражданские лайнеры «Boeing», фордовские пропеллерные и реактивные двигатели набиты ими под завязку. Много микромашин используется и на спутниках, в гироскопах, солнечных батареях, антеннах, датчиках положения корпуса и т.д.

Особенно запали на них военные. Их можно назвать клиентом «номер два» для микромашинной отрасли. MEMS-сенсоры и приводы активно используются в детонаторах, минах, ракетах, в том числе и баллистических, в различных подводных и надводных подрывных устройствах, везде, где нужны невидимые и очень прецизионные улавливатели движения, давления, вибрации и тепла.

Hardware и MEMS тоже начали объединяться

И все больше и больше. Взаимопроникновение друг в друга уже осуществляется на уровне периферийных устройств: принтеров (управляемые пьезокерамические сопла нанолитрового выброса чернил), оптических CD/DVD-устройств чтения и записи (лазеры), жестких дисков (магнитооптические и

магниторезистивные головки), проекторов высокого разрешения (матричные механические зеркала), цифровых фотоаппаратов и кинокамер (зумеры, устройства наведения и фокусировки).

А через несколько лет очередь дойдет и до самого компьютера. По крайней мере, сегодня во всем мире очень активно ведутся разработки так называемых «фотонных процессоров», где вместо электронов по транзисторным элементам и ячейкам памяти, будут бегать фотоны, т.е. свет. А светом, как известно, лучше всего управляют зеркала. Во всяком случае, именно они – механические миниатюрные зеркала (от 50 микрон до 300) вот уже несколько лет используются в оптических переключателях (коммутаторах) телекоммуникационных сетей, гоня интернет по континентам. Так постепенно дело дойдет и до сердцевин компьютера – процессора.

Биотехнологии и MEMS

Вообще, биотехнологиям пророчат большое будущее и без MEMS. Но так уж получается, что в нашу жизнь все больше и больше вторгается компьютерная техника, равной ей в обработке информации, в том числе и биологической, пока нет. А MEMS-системы, как никак лучше подходят к роли посредников между биологическим субстратом и «глухонемым» и «слепым», но страшно «умным» компьютером, так как сами по себе эти «умники» воспринимать окружающий мир и управлять им, не могут. Зато микромашины именно для этого и создавались.

Как только появились миниатюрные химические сенсоры и фильтры, pH и ионоселективные электроды, размером с пылинку, генные и молекулярные анализаторы, технологии создания микрорезервуаров и крошечных канальцев в кремниевых кристаллах с полупроводниковой начинкой, – сразу же биотехнология и медицина ухватились за идею создания химических, биохимических,

генных, молекулярных и иммунологических портативных микролабораторий, так называемых – «лабораторий на чипе». То, на что раньше, да и сейчас уходило масса времени, многие часы и даже сутки работы целых лабораторий с огромным штатом высококлассных специалистов, в будущем, буде выполнять один прибор, уместающийся на вашей ладони, и за считанные секунды.

Сама идея довольно проста. Основная масса всех биологических или медицинских анализов производится в жидкой фазе, т.е. в растворах, а кто как никак лучше умеет управлять поведением растворов на микроуровне, – конечно же MEMS-системы. Здесь, под управлением поведением подразумевается следующее: обеспечение заданного тока жидкости по микрополостям и канальцам «лабораторий на чипе» (это выполняют микронасосы, клапаны и вентили), избирательная сортировка клеток или молекул (работают микрофильтры), слежение за качественными реакциями в микрореакторах и преобразование полученной информации в электрический ток, который дальше перекодируется в двоичный код и идет в компьютер (химические, биологические, генные, иммунологические сенсоры-зонды). В итоге, у ученых должно получиться что-то наподобие биотехнологического завода, втиснутого всего в несколько кубических сантиметрах кремния. Поместил в такой анализатор микролитр, к примеру, крови – через пару секунд, получил на экране компьютера полную картину ее состояния: гемоглобин, сахар, ионный состав, лейкоциты, эритроциты и т.д., плюс вдобавок вашу хромосомную карту с отметкой всех поврежденных или измененных в результате мутаций генов. Круто, не правда ли! Это довольно интересная тема для меня, думаю и для вас. Обещаю держать вас в курсе самых последних новостей из мира современных биотехнологий, молекулярных и генных компьютеров, MEMS-систем на страничках «ПЧП».

И в заключении

Хотелось бы сказать, что это только малая толика всех «живых» примеров использования MEMS-систем, реально их в сотни, если не в тысячи раз больше. Чего стоит только количество компаний, выпускающих «запчасти» к микромашинам; я насчитал их больше сотни. А лабораторий, работающих на эту технологию и втянутых в этот бизнес, еще больше. Тех же, кто хочет поподробнее узнать о MEMS-системах, познакомиться с микромеханическими устройствами и конструкциями, историей их создания, разобраться в технологических приемах и методах рождения «малышей», отправляю к своей статье, которая выйдет в сентябрьском номере «Терабайта». Искренне Ваш – научный обозреватель – Олег Сеньков.

* * *