

ИННОВАЦИОННЫЕ МИКРОРОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Зарецкая А. С.

Павлюковец С. А. – канд. техн. наук, доцент кафедры химии

Людей нашего мира сегодня ничем не удивишь: очень сложные микроразмерные механические устройства производятся в промышленных масштабах и окружают человека повсюду – мы просто не можем их увидеть! Пожалуй, самым впечатляющим типом микроструктур, которые создаются людьми, являются MEMS-системы – микроэлектромеханические системы.

MEMS – это устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Они способны на микроуровне преобразовывать механическую энергию в электрические или оптические сигналы и наоборот. Создание MEMS стало возможным только в последнее время, преимущественно благодаря стремительному развитию полупроводниковых технологий [1].

Историческая справка. В конце 50-х годов XX в. молодой ученый Уильям Маклеллан вручную собрал микромотор с помощью пинцета и оптического микроскопа. С этого момента интерес к микроэлектромеханическим системам постепенно возрастал, и уже к середине 80-х годов прошлого века успехи в области разработки MEMS привели к созданию первых коммерческих продуктов на их основе [1, 2].

Современные тенденции. Принято считать, что к MEMS относят механические устройства размером от миллиметра до микрометра. Важно отметить, что на таком масштабе обычные законы макромеханики не всегда применимы. Поскольку отношение поверхности к объему для MEMS на порядки больше, чем для макроскопических механических устройств, особое значение приобретают поверхностные эффекты, связанные с трением, электростатикой и смачиваемостью.

Основным материалом для изготовления MEMS является кремний, что связано с его хорошими механическими свойствами и воспроизводимой технологией структурирования методом литографии, разработанной для создания современных интегральных схем и изделий наноэлектроники. Все это позволяет интегрировать MEMS с уже существующими электронными компонентами. В то же время, несмотря на массовое производство последних, монокристаллический кремний остается весьма дорогим материалом, поэтому MEMS нередко изготавливают на основе полимеров. Иногда для производства MEMS используют и металлы (золото, никель, алюминий, хром, титан, вольфрам и другие).

Датчики движения. Все чаще и чаще в последнее время производители стараются как можно более плотно использовать акселерометры (датчики ускорения) и гироскопы (датчики поворота) в современных устройствах. Спроектированный относительно простой, но чрезвычайно миниатюрный и чувствительный MEMS-акселерометр разработки Sandia Labs с размерами $3 \times 5 \times 0,9 \text{ мм}^3$ показан на рисунке 1. Причем речь идет именно о размерах готового устройства с корпусом и контактами – сам кристалл еще меньше. Зачастую, современные MEMS-гироскопы (рисунок 2) устроены идентично акселерометрам. Просто в них значения ускорений по осям пересчитываются в значения углов поворота – конструкция примерно та же, но на выходе другая величина.

MEMS-транспортёр – это устройство, состоящее из массива микроскопических ресничек (рисунок 3). Реснички упругие и в «выключенном» состоянии они отогнуты от основания. Кроме того, в реснички встроен терморезистор, за счет нагрева изменяющий упругость реснички. Как и в микрозеркальных матрицах, каждый из элементов системы может занимать только два положения – верхнее и нижнее, включено/выключено – но этого вполне хватает для перемещения предметов по поверхности массива. Транспортёр можно задействовать не только для поступательного движения вдоль оси массива. Можно перемещать предмет под любым углом, его можно даже вращать – необходимо лишь правильно составить программу.

MEMS-аккумуляторы – DLP-проекторы (DLP – Digital Light Processing). В основе этих проекторов лежит относительно крупная – по общему размеру готового чипа – микроэлектромеханическая система под названием DMD (Digital Micromirror Device, цифровое микрозеркальное

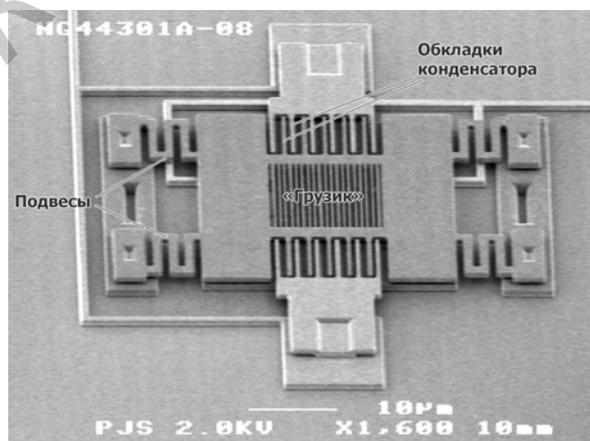


Рис. 1 – MEMS-акселерометр

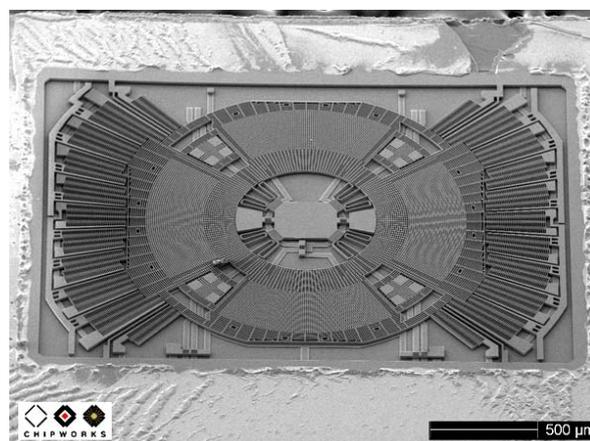


Рис. 2 – MEMS-гироскоп

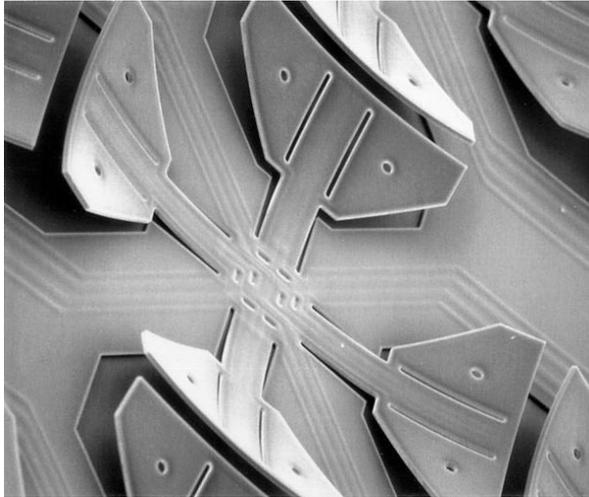


Рис. 3 – Ячейка MEMS-транспортера

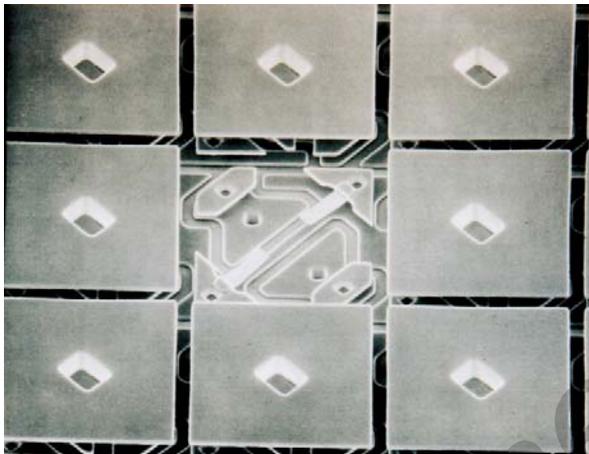


Рис. 4 – DMD-чип

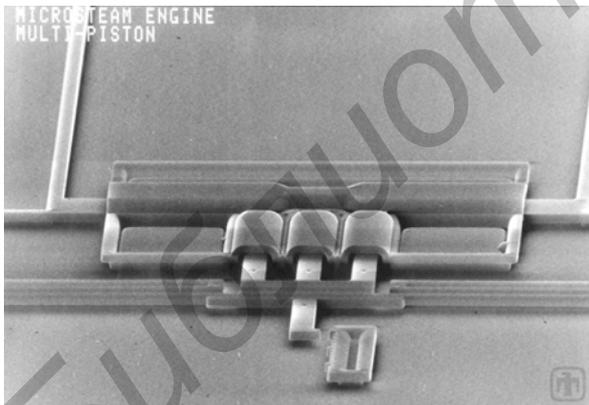


Рис. 5 – Трехцилиндровый паровой двигатель

устройство). DMD-чип представляет собой матрицу микрзеркал (рисунок 4). Каждое микрзеркало – крошечная алюминиевая пластинка размером порядка 100 мкм^2 .

Зеркало покоится на сравнительно массивной площадке, которая прикреплена к более тонкой и более гибкой, чем прочие детали системы, полоске – подвесу – натянутой между опорами. В двух других углах основания, не занятых опорами, расположены электроды, которые за счет кулоновской силы могут притягивать один из краев зеркала. Таким образом, зеркало может наклоняться в одну и в другую сторону: не слишком сильно, обычно угол поворота составляет 12 градусов. В одном из этих двух положений зеркальце отражает попадающий на него свет в сторону линзы и далее на экран. В другом положении – направляет световой поток в сторону, на теплоотвод. В первом случае на экране получается белая точка, во втором – черная. В результате слаженного действия всей матрицы создается картинка, состоящая из двух цветов: черного и белого.

MEMS-турбина. Разработка Массачусетского технологического института, которая создавалась в качестве замены традиционных литий-полимерных аккумуляторов – в первую очередь, для тех приложений, где требуется достичь минимальных размеров и максимальной энергоёмкости на килограмм. Как и с большинством MEMS, принцип можно использовать в обратном направлении: вместо того, чтобы превращать давление в электроэнергию, можно поступить наоборот. В этом случае из микротурбины получается микронасос.

Биомедицинские имплантаты. Недавно был создан кремниевый MEMS, содержащий звуковой сенсор и микропроцессор, который раскладывает звуковые волны на Фурье-гармоники. Устройство имплантируется непосредственно в человеческое ухо, после чего полученные Фурье-компоненты напрямую передаются слуховому нерву, благодаря чему глухие люди обретают возможность слышать. В настоящее время разрабатываются аналогичные устройства для восстановления зрения. Как ожидается, рынок биомедицинских имплантатов на основе MEMS в ближайшее время будет стремительно расти.

Миниатюрный паровой двигатель. Сложно себе представить, чтобы кто-то решил от современного энергогенератора – турбины – двигаться в сторону прошлого. И все же такие нашлись. В американской государственной лаборатории Sandia создали микроскопический паровой двигатель (рисунок 5). А вернее, даже целых два: одноцилиндровый и трехцилиндровый. Сложно сказать, какие цели они преследовали на самом деле – не исключено, что ученые и сами до конца это знали. Однако получилось весьма экстравагантно [3, 4]. Ну и потом – как ни крути, это самый миниатюрный паровой двигатель в мире!

Впрочем, прогресс на месте не стоит, так что наверняка к этой теме нам еще придется вернуться. В конце концов, уже идет разработка еще более тонких устройств – NEMS (наноэлектромеханических систем). А значит, будет о чем еще поговорить.

Список использованных источников

1. Williams, K. Etch rates for micromachining processing / K. Williams, R. Muller // J. of Microelectromechanical Systems. – 1996. – Vol. 5. – P. 256.
2. Poole, C. Introduction to Nanotechnology / C. Poole, F. Owens. – Hoboken, NY: John Wiley & Sons, 2003. – P. 400.
3. Monolithic ultrasonic integrated circuits based on micromachined semi-ellipsoidal piezoelectric domes / A. Hajati [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 2013. – Vol. 103, № 20. – P. 88–94.
4. Дрожжин, А. MEMS: микроэлектромеханические системы / А. Дрожжин // 3DNews Daily Digital Digest [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/editorial/MEMS-microelectromechanical-systems-Part-1>. – Дата доступа: 02.03.2014.