УДК 621.396.931

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Д.т.н. В.Е. Овчаренко[1], к.т.н. Е.В.Токарева[2], Н.В. Кононенко[2]

1. *Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, г. Харьков*
2. *Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

В статье рассмотрены перспективные направления развития микросистемной техники для различных сфер применения.

У статті розглянуті перспективні напрями розвитку мікросистемної техніки для різних сфер застосування.

The article describes the promising areas of microsystems technology for various applications

Ключевые слова: *микросистемная техника, микроэлектромеханические системы, сенсоры, актюаторы, нанотехнологии, миниатюризация, перовскиты*

Введение

Уникальные свойства, высокое качество и надежность устройств микросистемной техники (МСТ) уже несколько десятилетий привлекают внимание специалистов различных направлений науки и техники.

Прецизионность исполнительных устройств, чувствительность датчиков и преобразователей энергии, быстродействие, малые размеры, масса и потребляемая энергия обеспечиваются высоким уровнем интеллекта разработчиков, конструкторов и технологов. Уровень капиталовложений в производство МСТ в технически развитых странах мира возрастает с каждым годом.

Развитие микросистемной техники является актуальной задачей для отечественного космического приборостроения.

Анализ перспектив развития

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) - устройства микросистемой техники, сформированные путём локального вытравливания подложки, легирования, нанесения на неё материала и т.д. Подложки, как правило, изготавливаются из кремния. Размеры МЭМС лежат в диапазоне от 1 микрона до нескольких миллиметров, в зависимости от мощности, области применения, наличия встроенных схем обработки и количества элементов (рис.1).

Во всех устройствах МЭМС присутствуют элементы различной физической природы, объединяемые принципом аналогии физических и химических процессов [1].

При этом существует возможность выбора таких сочетаний компонентов, которые обеспечивают получение характеристик устройств, превышающих возможности исходных составляющих.

Кроме того, процесс микроминиатюризации этих компонентов сопровождается изменением соотношениям сил, действующих в них.

Освоенными компонентами МСТ являются сенсоры и актюаторы, которые изготавливается на кремниевых подложках с использованием объемных, поверхностных и комбинированных технологических процессов.

В МСТ используются различные материалы: керамики, полимеры (органические и неорганические, объемные и клеточные), аллотропные формы углерода, ферромагнитные жидкости, фотонные кристаллы, интеллектуальные материалы, стекла, различные металлы, многослойные структуры металлов и др. [2]. Свойства этих материалов в пленочных, линейных и точечных структурах могут существенно отличаться от свойств в объемном состоянии.

Применение МЭМС технологии позволяет получать микромеханические и оптические узлы значительно меньших размеров, чем это возможно по традиционным технологиям. Идея изготовления сенсоров и обрабатывающих схем в одном устройстве даёт прекрасную возможность создавать готовые, достаточно высокой сложности изделия в едином, относительно небольшом корпусе, что является выгодным разработчикам конечных устройств, поскольку позволяет выполнять проект на основе готовых решений на уровне законченных функциональных модулей.

Так же преимуществом МЭМС является электронная часть, и электрические соединения с датчиками и механизмами, выполненные по интегральной технологии и имеющие малые размеры, поскольку они позволяют улучшить такие характеристики, как рабочие частоты, соотношение сигнал/шум и т. п. Высокая повторяемость чувствительных элементов, и их интегральное изготовление вместе с обрабатывающей схемой позволяет значительно повысить точность измерений. Благодаря интегральной технологии надежность МЭМС выше, чем надежность аналогичной системы, которая собрана из дискретных компонентов. Также большей надежностью и долговечностью обладают оптические системы, поскольку они располагаются в герметичном корпусе и защищены от воздействий внешней среды.

© В.Е. Овчаренко, Е.В.Токарева, Н.В. Кононенко

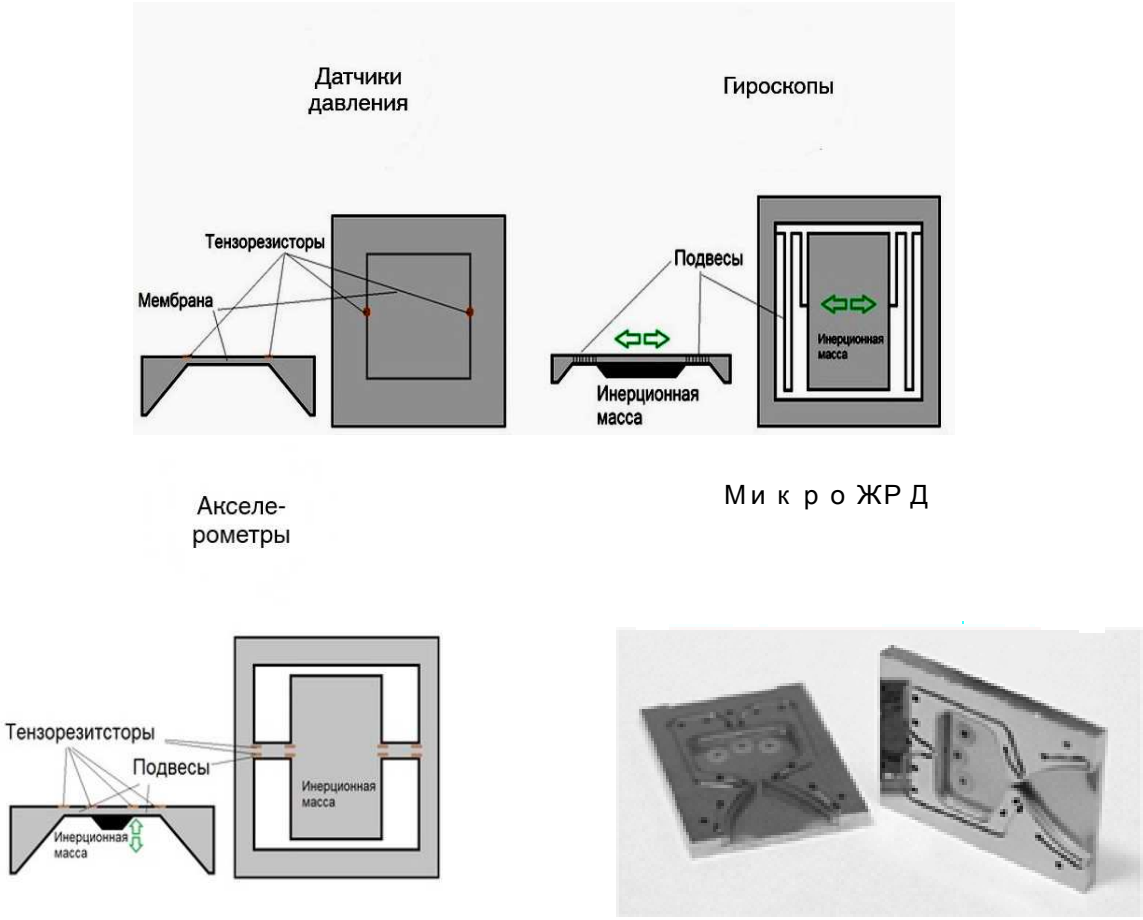

Рис. 1. Примеры реализации МЭМС

Применение МЭМС уменьшает стоимость как механической, так и электронной частей устройства, поскольку обрабатывающая электроника и МЭМС интегрированы в единой подложке, что позволяет избежать дополнительных соединений и, в некоторых случаях, применения согласующих схем.

На сегодняшний день известны различные виды магнитосопротивлений или так называемые ферромагнитные жидкости, которые представляют собой колоиды с магнитными частицами порядка 10 нм, и которые уже сейчас нашли практическое применение.

Перспективным направлением использования ферромагнитных жидкостей, может быть их применение в миниатюрных реактивных двигателях, способных обеспечить возможность перемещения в космосе наноспутников практически любого класса и размеров, предложенное исследователями из Мичиганского технологического университета. В большинстве случаев миниатюрные реактивные двигатели имеют решетки из тончайших иголок, толщина которых меньше толщины человеческого волоса. За счет приложенных к ним электрических полей и других физических эффектов эти иголки испускают в пространство потоки ионной «жидкости», которые обеспечивают небольшую тягу, достаточную для движения миниатюрного космического аппарата. Средний двигатель нуждается приблизительно в двухстах таких иглах, которые обеспечивают ему суммарную тягу, достаточную для осуществления перемещений и маневров в космосе. Но процесс изготовления игл достаточно сложен и дорог, а иглы являются чрезвычайно хрупкими и могут быть разрушены воздействием различных неблагоприятных факторов, в том числе и силой тяги, которую они сами и создают. Именно поэтому такая технология считается пока неприемлемой и не получила широкого распространения.

Решением этой проблемы может быть магнитная жидкость, жидкость, в которой растворены ферромагнитные наночастицы, благодаря чему она может течь и принимать определенные формы под воздействием внешних магнитных полей. Под воздействием точечного магнитного поля, индуцируемого постоянным или электрическим магнитом, такая жидкость может формировать крошечный «пик», выступающий в роли иголки реактивного двигателя, по которой течет ионная «жидкость».

Естественно, что для того, чтобы магнитные жидкости стали основой реальных реактивных двигателей, толкающих наноспутники в космосе, ученым придется проделать еще массу работы и создать множество опытных образцов таких двигателей. Самой основной проблемой, которую им предстоит решить, является состав растворителя магнитной жидкости, которая должна оставаться текучей и при чрезвычайно низкой температуре, которую в космосе может практически моментально сменить высокая температура,

возникающая в момент перехода космического аппарата с теневой на освещенную сторону околоземной орбиты.

Солнечная энергетика находится на пороге бурного развития. Наряду с кремниевыми элементами солнечных батарей на монокремнии, поликремнии и аморфном, появляются все новые перспективные материалы: двуокись титана, оксид цинка, органические соединения и другие. К материалам этого класса предъявляются требования эффективного поглощения светового излучения в широком спектре частот, эффективного разделения положительных и отрицательных зарядов комплексом наноструктур за счет поглощения энергии солнца, обеспечение рекомбинации положительных и отрицательных зарядов с высвобождением кулоновской энергии при замыкании внешней цепи токовой нагрузки, сохранение работоспособности материала в течение длительного времени (до 50 000 часов).

Одним из перспективных материалов последних лет стали перовскиты [3]. Это соединение $CaTiO_3$. Они достаточно просто получаются при невысоких температурах (100-500°С) в виде высококристаллических пленок. Электроны в пленке солнечного элемента остаются связанными со своими атомами потому, что это диэлектрик. Под действием солнечного света некоторые электроны получают дополнительную энергию и перемещаются по кристаллической решетке пока не попадут в электрод, образуя ток. В отличие от толстых и жестких кремниевых пластин перовскитные пленки тонкие (~300 нм – 1 мкм) и гибкие.

За последние десять лет эффективность преобразования увеличена с 3,8% до 20,1% путем получения пленок с малым количеством дефектов. Внесение добавок в состав перовскитов позволяет изменять ширину запрещенной зоны и чувствительность к длине волн спектра поглощения, что позволяет поглощать энергию света во всем видимом диапазоне частот. Возможно получение многослойных структур с поглощением слоев на разных длинах волн. В дополнение полупрозрачности тонких слоев они могут дополнять кремниевые структуры, повышая коэффициент преобразования других видов элементов солнечных батарей. Найдены композиции перовскитов без вредных примесей свинца (заменен оловом).

Материал почти в 5 раз дешевле кремниевых элементов. Максимальная нагрузка элементов на перовскитах достигает 1,07В (против 0,7В в кремниевых).

Перовскиты считаются революционным направлением солнечной энергетики в мире. Они найдут широкое применение в качестве строительных материалов для стен и окон домов, которые вырабатывают электрическую энергию из солнечной. Проблемные вопросы – увеличение срока эксплуатации пленок путем защиты от влаги.

Темпы миниатюризации источников питания примерно в 40 раз ниже уменьшения габаритов электронной аппаратуры, поэтому важны различные виды преобразователей неиспользуемых в настоящее время видов энергии: тряски, ударов, деформаций элементов конструкции, шумов и т.д. Одним из важных направлений создания источников электрической энергии являются пьезоэлектрические преобразователи, в частности, работающие под нагрузкой транспортными средствами, а также топливные элементы различных принципов действия [4].

Перспективные планы совершенствования авиационной и космической техники предусматривает снижение размеров и массы космических объектов в 50 тысяч раз за период 2000-2030 годы. Существенный вклад в решение проблемы вносит МСТ. МСТ – это техника микроспутников [5].

Датчики физических величин, в том числе МЭМС – акселерометры и гироскопы, микротурбогенераторы, жидкостные и твердотельные реактивные микродвигатели, термопреобразователи, системы инерциальной навигации и связи, диагностические системы успешно заменяют в ряде применений макроаналоги этих устройств. Кроме снижения габоритно-массовых характеристик на несколько порядков, снижаются затраты на производство и эксплуатацию таких систем, безопасность, надежность и управляемость.

Использование пьезоэлектрических сенсоров перспективно в адаптивных самоконтролируемых структурах, таких как обшивка космических и глубоководных аппаратов, устройств, которые работают в агрессивной среде, с целью постоянного контроля механической целостности и изменения параметров в зависимости от условий эксплуатации.

Выводы

Применение МЭМС технологий в разработках и производстве приборов космической техники обеспечивает высокоэффективное решение широкого класса задач.

Перспективными направлениями МЭМС технологиями является их применение в разработках конструкций микро- и наноспутников, в том числе жидкостных и электронагревных двигателях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Варадан, В. Высокочастотные МЭМС и их применение [Текст]: пер. с англ./В.Варадан, К.Виной, К.Джозе. –М.:Техносфера, 2004.-528 с.

2. Гейм, А. Углерод – страна чудес [Текст] / А.Гейм, Ф.Ким//В мире науки. -2008. №7. –с.30-37.

3. Кобрянский, В.М. Новые органические материалы для электроники будущего. ВМН.2014 №7-8. с.93-97.

4. Пул, Ч. Нанотехнологии [Текст] / Ч.Пул, Ф.Оуэнс. М.:Техносфера, 2007. -376с.

5. Пятышев, Е.Н. Микросистемы в аэрокосмической технике. Сп ГПУ. Лаборатория нано- и микросистемной технике: www.mems.ru. 57 слайдов.