

О ПЕРСПЕКТИВАХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА

Виноградова Е.П.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
ver4545@mai.ru

Аннотация: Представлен обзор некоторых технологий, перспективных для создания новых средств мониторинга и улучшающих возможности и свойства систем мониторинга.

Ключевые слова: средства, мониторинг, микроэлектроника, MEMS-технология, нанотехнология.

Введение

Несмотря на то, что традиционные электрические и механические устройства до сих пор успешно используются в системах контроля, управления, мониторинга, они перестают отвечать современным требованиям и задачам. При анализе развития элементной базы в последние десятилетия четко прослеживается тенденция к миниатюризации, когда для повышения функциональности и улучшения параметров сначала просто уменьшались размеры за счет возможностей обработки, новых материалов или новых принципов работы, увеличения плотности размещения. При этом принцип действия не зависел от масштаба. А затем произошел переход на качественно другой уровень – электроника и микроэлектроника. Здесь также с помощью мультиплицирования, комплексирования, реализации многофункциональности, перехода к планарной, КМОП и другим видам технологий достигалось уменьшение размеров с существенным улучшением функциональности и характеристик технических средств. В последние годы за счет развития технологий микроэлектромеханики (МЭМС) и нанотехнологий элементная база, приборы и системы обещают в перспективе решать задачи управления и мониторинга на качественно новом уровне, в том числе бесконтактным способом.

1 Перспективные технологии для задач мониторинга

Использование новых технологий микроэлектроники в создании технических средств для систем контроля и мониторинга позволяет не только улучшить характеристики систем, но и часто приводит к расширению функциональных возможностей и реальной экономии средств на этапе создания и в процессе эксплуатации.

Современная элементная база микроэлектроники имеет огромное количество сенсоров и датчиков для измерения различных физических величин, которые отличаются не только функциональными свойствами, но и габаритами, стоимостью, сложностью, рабочими характеристиками. Дальнейшая миниатюризация в микроэлектронике приводит к появлению новых возможностей контроля и управления параметрами функционирования систем, датчиков, сигнализаций, обработки и передачи информации о контролируемом объекте, взаимодействия с исполнительными механизмами, а также комплексирования.

Примером одного из таких устройств является многофункциональный сенсор на основе специализированной полупроводниковой структуры с отрицательным дифференциальным

сопротивлением, выполненный по стандартной микроэлектронной технологии, разработанный в Институте проблем управления [1] (рис. 1).

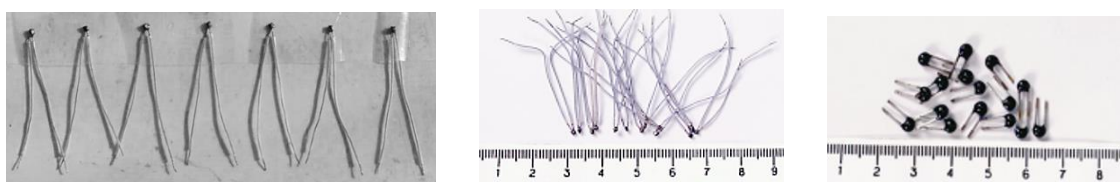


Рис. 1.

Элементы могут быть выполнены с различными, в зависимости от требований, конструктивно-технологическими параметрами. Вольтамперная характеристика их представлена на рис. 2.

Структура состоит из двух областей разного типа проводимости с дополнительными примесями, определяющими ее свойства и выполняемые функции.

В процессе исследований была выявлена чувствительность структур к следующим внешним воздействиям: температура; оптическое излучение в диапазоне 0.4 – 1.5 мкм; ультрафиолетовое излучение в диапазоне 0.2 - 0.4 мкм; магнитное поле; механическое сжатие и изгиб; тактильное воздействие; усилие. Также были выявлены разновидности ВАХ, при которых наблюдается наибольшая чувствительность к определенному типу внешнего воздействия. (рис.3)

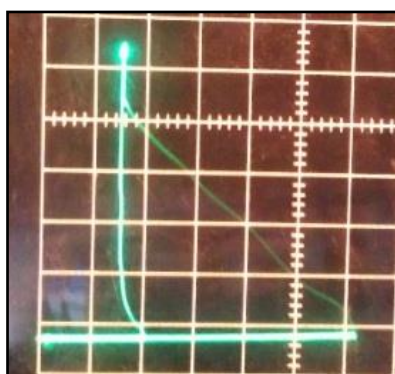


Рис.2

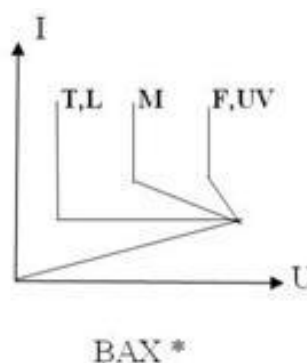


Рис.3

где обозначены: М – магнито чувствительные, Т - термочувствительные (термисторы), L - светочувствительные, F - сило-тактильные, UV - ультрафиолетового излучения.

Эти сенсоры для применения в различных системах контроля и управления, системах безопасности, системах мониторинга и т.д. имеют преимущества в том, что не требуют использования дополнительных схем усиления и преобразования выходного сигнала. Высокая помехозащищенность, надежность, простота эксплуатации, малое потребление энергии, очень малые габариты (1x1x0.3; 2x2x0.3; 5x2x0.3 мм) и низкая стоимость при серийном производстве – вот основные достоинства таких сенсоров.

Сенсоры способны работать в разных режимах: амплитудном, частотном, времяимпульсном или пороговом режимах работы. Особенно перспективны для использования в указанных выше системах пороговый и времяимпульсный режимы работы сенсора. Элементы (сенсоры) унифицированы по типу и величине выходного сигнала, по конструктивно-технологическим параметрам, принципам действия. Отсутствует необходимость усиления и кондиционирования выходных сигналов. Эти качества позволят использовать их в системах мониторинга с возможностями функциональной перестройки и совместимости с современными информационными сетями.

Очень важно для мониторинга, чтобы элементная база обеспечивала дальнейшее развитие и наращивание системы, составляя основу унифицированной распределенной инфраструктуры, и интеграцию автоматизированной системы контроля и управления инженерного оборудования с различных видов комплексами безопасности.

Одной из перспективных инновационных технологий в настоящее время является технология микроэлектромеханических систем – MEMS [2].

По этой технологии изготавливают кремниевые микросхемы с очень мелкими механическими элементами (интеллектуальными машинами), способными выполнять различные функции. По сути,

на одном основании посредством технологий микроэлектроники объединяются датчики, механические (исполнительные) элементы, приводы и электроника. Элементы МЕМС удовлетворяют современным требованиям унификации и стандартизации. Они могут быть выполнены в виде единого изделия с любым коэффициентом тиражирования, наподобие микросхем на кремниевой пластине, на основе традиционной технологии производства полупроводниковых интегральных микросхем.

По мнению экспертов ведущих фирм, MEMS-технология вносит существенные изменения в способы решения различных технических задач. Сочетание микроэлектроника + микромеханика на одном кристалле дало бурный толчок к развитию навигационных систем, интеллектуальных систем, увеличению информационных возможностей микродатчиков, расширению конструктивных возможностей таких систем. Применение МЕМС-устройств обширно. Это миниатюрные элементы систем (например, гидро- и пневмоклапаны), инструменты для работы с микрообъектами, миниатюрные механизмы и оборудование, микророботы, микролаборатории, микродатчики и исполнительные устройства и т. д. Преобразование энергии в МЕМС осуществляется микроактуатором - одним из элементов управления МЕМС, с помощью, в основном, электростатического, магнитного, пьезоэлектрического, гидравлического и теплового методов активации. Разработаны ячейки памяти с большой плотностью записи и с огромным количеством циклов перезаписи по КМОП технологии, работающие при температурах до 200° С. Сообщается о создании накопителей с плотностью записи данных свыше 19,2 Гбайт на 1 см². Это создает новые возможности обработки и передачи информации в системах мониторинга.

Сегодня по-прежнему наиболее популярны разнообразные МЭМС-датчики.

Национальный институт стандартов и технологии США разработал с использованием существующих технологий микроэлектроники и MEMS миниатюрный магнитный датчик, который может обнаруживать изменения магнитного поля порядка 50 пТ. Такой магнетометр способен дистанционно обнаруживать спрятанные металлические объекты на расстоянии 12 м или в земле на глубине 35 м.

Отмечается перспективность микроэлектромеханической технологии в создании полупроводниковых кристаллов со сформированными внутри или на поверхности кристалла микродатчиками, клапанами, шестернями, зеркалами, исполнительными элементами. Такие устройства характеризуются пониженным энергопотреблением, сверхкомпактными габаритами и выполняют вычислительные и коммуникативные функции. Это открывает большие возможности использования их для мониторинга крупномасштабных систем.

МЭМС-датчики давления и МЭМС-акселерометры находят широкие применения в трубопроводах, автоматических устройствах, автомобильной и медицинской отраслях, в сейсмических системах записи, мониторинге станков и механизмов, диагностических системах и др. Технология позволяет улучшить чувствительность преобразователей, повысить их устойчивость к изменениям условий, осуществлять дистанционные измерения и манипуляции.

Среди последних разработок отмечают 64-позиционный сверхминиатюрный кодировщик углового положения на элементах Холла, совместимый с любой микроконтроллерной системой и с неограниченным количеством датчиков, высокой точностью измерения положения и возможностью работы в агрессивных средах.

Создано немало МЕМС- устройств разного предназначения, в том числе для контроля и регистрации сейсмической активности при нефтегазовых разработках (сверхпрочный малозумящий сервоакселерометр фирмы Applied MEMS (США)), термодинамический измеритель направления и скорости потока газов и жидкостей (Фирма TNO TPD (Нидерланды)), высокоточные, высокочувствительные и стабильные датчики для измерения параметров буровых скважин в нефтегазовой промышленности, для авиационных, космических и военных изделий и т.п. МЕМС-датчик скорости пульсирующих или вибрирующих потоков. Благодаря малым размерам эти датчики могут монтироваться на стенках труб, компрессоров, насосов, турбин.

Новыми перспективными применениями МЕМС считаются оптические и беспроводные средства связи, которые обеспечат новые возможности системам мониторинга. Отмечается высокая надежность датчиков средней точности, позволяющая применять их в узлах транспортных средств, отвечающих за безопасность или жизнь людей.

МЭМС-технологии способны реализовывать новые функции, например, воспринимать звуковую информацию, читать тексты, принимать сигналы мозга, реагировать на движение, распознавать и многое другое. Малые размеры, высокая надежность и приемлемая стоимость позволяют использовать их в различных миниатюрных устройствах, вплоть до имплантантов.

Ведется разработка новых проектов по созданию базовых технологий на основе наноструктурированных пленок для автомобильной и авиационной промышленности, МММС-актюаторов на основе наноструктурированных пленок интерметаллидов с гигантской магнитострикцией и памятью формы, магнитно-управляемых пульсирующих и синтетических газовых микроинжекторов и МММС-элементов систем контроля давления и расхода газоздушных смесей.

Новый этап развития науки – нанотехнологии – приведет к появлению более миниатюрных, быстродействующих и дешевых материалов и устройств на основе квантоворазмерных структур с заданным электронным спектром и требуемыми оптическими, электрическими и другими свойствами.

Эксперты прогнозируют, что развитие нанотехнологий приведет к повышению производительности вычислительных систем; увеличению пропускной способности каналов связи; снижению энергозатрат, повышению чувствительности сенсоров, повышению функциональных возможностей [3].

Известны разработки на их основе различных вариантов фотоприемников среднего и дальнего ИК диапазона, модуляторов в ближнем ИК диапазоне, однофотонных приемников и генераторов, одноэлектронных транзисторов, системы управления световыми потоками.

Эффект гигантского магнитосопротивления, обнаруженный при исследовании магнетизма наноструктур, привел к появлению нового направления: магнитной спинтронике, использующей направление спина в качестве нового параметра устройства. В рамках магнитной спинтроники создаются новые преобразователи магнитного поля и новые магнитные среды для сверхплотной записи и хранения информации. В ИПУ РАН, совместно с НПК ТЦ ведутся исследования спин-вентильных и спин-туннельных магниторезистивных элементов [4-5]. Там же ведутся исследования в области магнитной стрейнтроники по созданию датчиков напряжения и давления с магниторезистивным считыванием [6] на основе магнитострикционных и магниторезистивных наноструктур. Такие разработки перспективны для дистанционного бесконтактного и онлайн мониторинга в любых сферах деятельности. Особенно эти преимущества окажутся выгодны в крупномасштабных системах, типа распределенных технологических или электрических сетей.

Магнитные наноструктуры и устройства на их основе необходимы в вычислительных процессах из-за очень низких уровней сигналов. Это же свойство обеспечит системам мониторинга новые возможности коммуникации и энергосбережения.

Развитие излучающих и фотоприемных приборов связано с развитием нанотехнологии квантовых точек (нанообластей в полупроводнике, ограничивающих движение электронов в трех направлениях). Предполагают, что здесь можно ожидать создания новых типов устройств и получение новых возможностей эффективного управления электронными и световыми потоками в таких структурах.

В проектах NASA и корпорации Aerspace планируется использовать нанодатчики массой несколько граммов в системах мониторинга данных о входе космических объектов в земную атмосферу из космоса, а также в космических экспедициях на другие планеты. Компактные скважинные нанодатчики решают задачу расширения функциональных возможностей систем контроля за разработкой нефтяных и газовых месторождений при расширении диапазона контролируемых параметров.

По мнению экспертов, использование нанотехнологий приведет к увеличению информационной емкости и качества систем отображения информации при снижении энергозатрат; существенное повышение чувствительности сенсорных устройств и расширение спектра измеряемых величин, что важно, в частности, для систем мониторинга и для задач экологии. Примером использования нанотехнологии для этих целей может служить создание лазеров дальнего и среднего ИК диапазонов, позволяющих контролировать загрязнение атмосферы с высокой чувствительностью и точностью.

Возможность создавать с помощью нанотехнологий вещества и структуры с заданными свойствами позволила получить новые конструктивные элементы - мембраны, балки, полости, отверстия с большим аспектным соотношением (калибром), за счет использования так называемых LiGA-технологий и т.д. Это дало толчок к созданию микродвигателей микророботов, микронасосов для микрофлюидики, сверхчувствительных сенсоров различных физических величин (давления, ускорения, температуры и др.), микрооптики. Наноземента для преобразования электрической энергии в механическую с высокой эффективностью на основе различного типа нанотрубок, заполнение нанополостей (в том числе нанотрубок), нанопористых сред чужеродными фракциями

(например, атомами, кластерами, фуллеренами) позволяет реализовывать новые функции и свойства, изменять характеристики элементов, создавать одномерные и фотонные кристаллы, хранить и доставлять определенные компоненты в нужное место для создания новых элементов с помощью зондовых технологий. На основе нанозементов могут быть созданы сверхчувствительные сенсоры без промежуточного преобразования энергии. Сочетание квантовомеханических эффектов с другими (например, автоэмиссии) позволяет создавать нанозементы и их комплексы, способные эксплуатироваться в экстремальных условиях и условиях спецвоздействий, создавать элементы для систем обработки информации новых поколений, что приведет к резкому улучшению возможностей и качества систем мониторинга. Например, наноземеханические ЗУ терабитной емкости с высокой плотностью записи информации.

Нанотехнологии стали успешно применяться для создания систем мониторинга доступа, паспортного контроля и антитеррористических средств (анализаторы и датчики взрывчаток и горючих веществ). Один из самых инновационных способов применения нанотехнологий в системах безопасности - интеллектуальные датчики «умная пыль». Например, создание распределенных массивов наносенсоров типа «умная пыль для охранных систем».

Перспективы применения микро- и наноземеханических датчиков различных физических величин (ускорения, давления, температуры, влажности, изменения размеров, скорости протекания химических и физических процессов) прослеживаются в системах управления оружием, космическими проектами, вредными производствами и ядерной энергетике, микророботами, микроустройствами, способными передвигаться, собирать, хранить и передавать информацию, осуществлять определенные воздействия по заложенной программе или команде.

Заклучение

Развитие нано- и микроземеханики приведет к созданию сверхминиатюрных устройств, способных генерировать энергию, проводить мониторинг окружающей среды, накапливать и передавать информацию, что несомненно обеспечит скачок развития систем мониторинга крупномасштабных природных и техногенных объектов, а также к дальнейшему развитию адаптивных систем дистанционного мониторинга крупномасштабных объектов.

Автор не ставил своей целью дать в данной статье какие-то готовые решения или схемы для конкретных задач, а хотел только отметить современные перспективные достижения науки, использование которых позволит разработчикам создать новые более качественные приборы и системы.

Литература

1. *Виноградова Е.П., Касаткин С.И.* О некоторых вопросах разработки систем контроля за состоянием крупномасштабных объектов / Труды 10-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2017, Москва). М.: ИПУ РАН, 2017. Том II. С. 338-343.
2. *Баринев И.Н., Волков В.С.* Микромеханика вокруг нас. – Режим доступа: http://dep_pribor.pnzgu.ru/files/dep_pribor.pnzgu.ru/mikromehhanika_vokrug_nas.pdf.
3. *Ж.И. Алферов, П.С. Копьев, Р.А. Сурис, А.Л. Асеев, С.В. Гапонов, В.И. Панов, Э.В. Полторацкий, Н.Н. Сибельдин.* Наноматериалы и нанотехнологии. <http://www.microsystems.ru/files/publ/601.htm>.
4. *В.В. Амеличев, П.А. Беляков, Д.В. Васильев, Д.В. Костюк, С.И. Касаткин, А.М. Муравьев, Н.В. Плотникова, А.И. Крикунов.* Создание совмещенной технологии спин-вентильных магниторезистивных элементов и микромагнитов // Журнал Технической Физики. 2018. №6. С.874-876.
5. *В.В. Амеличев, П.А. Беляков, Д.В. Васильев, Д.В. Костюк, С.И. Касаткин, А.И. Крикунов, В.Г. Жилов, А.А. Осипов.* Спин-туннельные магниторезистивные переходы на основе металлических многослойных магнитных наноструктур // Письма в Журнал Технической Физики. 2017. №.8. С.1268-1270.
6. *V.V. Amelichev, P.A. Belyakov, D.A. Zhukov, Y.V. Kazakov, S.I. Kasatkin, D.V. Kostyuk, A.I. Krikunov.* Investigation of magnetic properties of thin-film nanostructures of elements of magnetic straintronics // Intern. J. Appl. Engineer. Research. 2017. N.23. P.13142-13149.