

# ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**БЕНЕДЕТТО ВИНЬЯ (BENEDETTO VIGNA)**, вице-президент и генеральный директор отделения MEMS и медицинских приложений, ВЧ-трансиверов и датчиков, компания ST

*Микроэлектромеханические системы (Micro-Electro-Mechanical-Systems, MEMS) впервые появились в 1960-х гг. В настоящее время MEMS активно внедряются во многие приложения, поэтому мы решили коснуться физических основ этих компонентов, не опуская и технологические подробности их производства. Последние сегодня актуальны и для разработчиков конечных изделий, которым приходится все чаще сталкиваться с некоторыми аспектами микроэлектроники, например при разработке СБИС. Настоящая статья представляет собой сокращенный перевод [1].*

Микромеханические датчики получили самое широкое распространение во многих приложениях, в т.ч. и в автомобильной электронике — в системах управления ДВС, системах безопасности и стабилизации движения, где требования к надежности и стойкости к механическим и климатическим воздействиям весьма высоки.

В настоящее время MEMS-системы переживают «волну коммерциализации». Переносные ПК оснащены трехосным акселерометром для защиты данных на жестком диске при случайном падении ноутбука. В ряде мобильных телефонов используются миниатюрные акселерометры сенсорной системы, что позволяет упростить пользовательский интерфейс. К впечатляющим достижениям таких игровых устройств как Nintendo Wii или Sony PS3 относится и технология определения пространственного положения игрового контроллера.

На рынке бытовой электроники спрос на эти датчики будет расти еще большими темпами. Например, датчики скорости рыскания применяются для повышения стабилизации изображения в видеокамерах и фотоаппаратах. Более того, предполагается реализовать сопряжение датчиков перемещения и навигационных приборов (в т.ч. электронных компасов) в модулях для измерения параметров движения, что позволит осуществлять персональную навигацию с помощью переносных устройств. В результате произойдет дальнейшее развитие сервисов, предоставляемых операторами телекома с учетом местоположения пользователя.

Датчики малых давлений в настоящее время находят широкое применение в автомобильных и медицинских приложениях. Недавно появившиеся тонкие небольшие и недорогие датчики давления будут востребованы и на рынке потребительской электроники,

способствуя развитию новых приложений. Кремниевые емкостные микрофоны также соперничают с электретными микрофонами, устанавливаемыми в мобильных телефонах и ноутбуках.

В отдельных приложениях в один модуль будут устанавливаться несколько датчиков, например акселерометры, гироскопы и датчики давления. У компании STMicroelectronics имеются две технологические платформы — THELMA и VENSENS, предназначенные для интеграции датчиков. К настоящему времени ST разработала несколько осевых гироскопов, датчиков давления и микрофонов. Производство и разработка осуществляются на фабрике 8-дюймовых MEMS-систем, что обеспечивает быстрое время выхода продукции на потребительский рынок. Микромеханические датчики физических величин изготавливаются по тем же технологиям, что и основные ИС. На фабрике создаются объемные механические структуры, чаще всего — на кремниевой подложке. Кварц и керамика используются для производства пьезоэлектрических резонаторов и гироскопов, принцип работы которых основан на эффекте Кориолиса. Однако наиболее распространенным материалом становится кремний благодаря своим превосходным электрическим, механическим и тепловым свойствам.

Помимо физических свойств привлекательность кремния в том, что производители имеют возможность изготавливать тысячи микромеханических компонентов — благодаря такому масштабу относительно недорогого производства MEMS-систем, как и микроэлектроники, имеет большой успех. Более того, поскольку эти компоненты изготавливаются бок о бок с кремниевыми пластинами и этот процесс очень хорошо отлажен, устройства отличаются большей точностью и воспроизводимостью, чем схожие продукты, но произведенные иначе.

Основное отличие MEMS-устройств от их КМОП-транзисторных собратьев в том, что в результате функционального объединения MEMS-устройств с микросхемами электрические сигналы, генерируемые перемещающимися объектами, например диафрагмой или рычагом, обеспечивают функции восприятия и управления, используемые в датчиках для широкого круга приложений.

Многие этапы производства микромеханических изделий схожи с производством ИС, но в MEMS-устройствах используются такие материалы как золото или стеклоприпой, которые запрещены в КМОП-технологии.

Несмотря на то, что каждый производитель MEMS применяет собственную микромеханическую технологию, все процессы можно отнести к следующим двум широким классам.

Объемная микрообработка. Это субтрактивная технология, которая заключается в выборочном удалении кремния для формирования требуемых структур. Данный метод имеет меньшую точность, чем поверхностная микрообработка. Эта технология существует довольно давно и применяется все реже.

Поверхностная микрообработка характеризуется построением микроструктуры на поверхности кремния путем осаждения тонких защитных (жертвенных, удаляемых в конце процесса) и структурных слоев. Основная часть подложки в этом процессе не затрагивается. Данный метод изначально применялся лишь для создания тонких устройств (менее 2 мкм), т.к. на подложку можно нанести только тонкие пленки. Этот класс технологических процессов более перспективен и распространен для создания датчиков движения.

STMicroelectronics использует два разных процесса микрообработки в производстве MEMS — THELMA (Thick Epitaxial Layer for Microgyroscopes and

Accelerometers — толстый эпитаксиальный слой для формирования микрогироскопов и акселерометров) и VENSSENS (VENice process for SENSor — технология получения датчиков).

Первый метод предназначен для производства быстродействующих и недорогих датчиков движения, например акселерометров и гироскопов, а также микрофонов, тогда как второй метод — для изготовления датчиков малых давлений. Оба метода являются частными разработками производственных этапов технологий объемной и поверхностной микрообработки.

На начальном этапе процесса THELMA на стандартную кремниевую пластину наносится слой диоксида кремния толщиной менее 2 мкм для обеспечения электрической изоляции. Затем осаждается тонкий поликремниевый слой для создания межсоединений и второй жертвенный слой (менее 1/4 мкм). В этом слое протравливаются отверстия для крепления неподвижных элементов и якоря для подвижных элементов. Более толстый поликремниевый эпитаксиальный слой (менее 15 мкм) наращивается сверху; с помощью единой маски в нем вытравливаются структуры для подвижных и неподвижных элементов. Наконец, жертвенный слой диоксида кремния под этими структурами удаляется в процессе изотропного травления для освобождения подвижных частей.

Открытое пространство вокруг этих структур заполняется газом — как правило, сухим азотом, чтобы уменьшить или устранить эффекты, обусловленные влажностью или изменениями в плотности газа, которые могут повлиять на резонансные частоты устройства. Вторая пластина скрепляется с первой для защиты миниатюрных структур в процессе литья под давлением при высоких температурах.

Процесс VENSSENS имеет дело со стандартной кремниевой пластиной.

В этой технологии используется сочетание собственных разработок фирмы, использующих этапы мокрого и сухого травления для формирования жертвенного слоя толщиной менее 3 мкм, на который наносится слой монокристаллического кремния до 20 мкм толщиной. Конечный результат очень схож с тем, что получается в процессе склеивания двух пластин в технологии объемной микрообработки, однако имеется одно важное преимущество: у чипов меньшая толщина и выше механическая прочность. Более того, герметизация полости не требует склеивания пластин, благодаря чему повышается надежность уплотняющего шва.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что современные микронные MEMS-устройства можно изготавливать на фабриках, использующих старые 6-дюймовые пластины, многие компании переходят на 8-дюймовые технологические линии, чтобы удовлетворить быстрорастущий спрос и справиться с ценовым давлением рынка бытовой электроники. Компания STMicroelectronics уже совершила такой переход. С технической точки зрения, большой масштаб использования MEMS-систем в основном обусловлен их чрезвычайно миниатюрными размерами, высокой надежностью и низким энергопотреблением, что во многих случаях позволяет им быстрее и точнее выполнять функции по сравнению с их макроскопическими аналогами. Не стоит также пренебрегать и ценовыми преимуществами этих систем, особенно на рынке бытовой электроники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Benedetto Vigna. Making MEMS: A short guide//[www.automotivedesignline.com/211100187?cid=RSSfeed\\_automotivedesignline\\_adIRSS](http://www.automotivedesignline.com/211100187?cid=RSSfeed_automotivedesignline_adIRSS)

## НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

**| PANASONIC РАЗВИВАЕТ ТЕХНОЛОГИЮ ПЛАЗМЕННЫХ ДИСПЛЕЕВ |** В планах компании понизить потребление энергии плазменными дисплеями на 75% к 2011 г. Новая технология Panasonic называется NeoPDP.

Хироюки Нагано, директор подразделения плазменных дисплеев компании Panasonic, в своей речи на конференции FPD International 2008. сообщил, что исследователи компании подняли светоизлучение плазменных панелей вдвое по сравнению с 2007 г. Для достижения лучшего КПД панелей разработчики подобрали оптимальное сочетание люминофора и газа внутри дисплея, оптимизировав также электрическую часть системы. Новую технологию компания будет использовать в 2009 г.

Panasonic — последний оставшийся японский производитель плазменных панелей. Нагано сообщил, что, хотя мировое производство плазменных панелей меньше, чем жидкокристаллических, спрос на первые все еще достаточно велик, и плазменная технология сможет долго конкурировать с LCD.

[www.russianelectronics.ru](http://www.russianelectronics.ru)



**www.atel.ru**

### электронные компоненты

**ПРОФЕССИОНАЛЬНО**  
ПРЯМЫЕ ПОСТАВКИ ✓

**ATMEL**

- Микроконтроллеры: AVR, ARM, 80C51
- Программируемая логика: FPGAs, PLDs
- Микросхемы памяти: Data Flash, FLASH, EEPROMs
- Микросхемы: RFID
- Технология: Finger Chip
- Микросхемы приемопередатчиков УВЧ
- Приемники ИК-диапазона
- Микросхемы для телефонии
- Автоэлектроника
- ПЗС-матрицы

---

✓ **НАДЕЖНО**

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЕ И СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Плиты: LSA-PLUS, LSA-PROFIL, DT-PLUS 
- Оборудование защиты
- Патч-панели и патч-корды (категории 6, 5e)
- ADSL-разделители
- Волоконно-оптическое оборудование
- Монтажный инструмент и принадлежности

ДЕКЛАРАЦИИ О СООТВЕТСТВИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА СВЯЗИ РОССИИ

---

**КАЧЕСТВЕННО** ✓

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**MAXIM** **DALLAS**

- iButtons™ и 1-Wire™ компоненты
- Микросхемы контроля батарей
- Датчики температуры
- Часы реального времени
- Супервизоры
- Память NVRAM
- Цифровые потенциометры
- Интерфейсы RS232
- Микроконтроллеры 8051 с NVRAM
- Линии задержек, генераторы
- Терминаторы шины SCSI

---

✓ **БЫСТРО**

ВСЕГДА НА СКЛАДЕ

**PVI** **POWERTIP** **WINSTAR**

- TFT дисплеи промышленного применения
- Символьные индикаторы – PC, WH, встроенная RAM память со знакогенератором
- Графические индикаторы – PG, WG, WX
- Цветные графические индикаторы – WC
- Сенсорные панели (Touch Panels)
- Технологии: TN, STN, FSTN, TAB, COG, COF, COB, SMT
- Подсветки: LED, EL, CCFL
- Расширенный диапазон температур (-20...+70°C)

Санкт-Петербург: тел./факс: (812) 325-08-57  
тел. (812) 325-08-56 e-mail: market@atel.ru  
Москва: тел./факс: (495) 709-33-80  
тел. (495) 709-33-81 e-mail: atlas-el@mtu-net.ru