

# Три уровня автомобильных сенсорных инноваций: макро, микро и нано

Светлана СЫСОЕВА  
S.Sysoeva@mail.ru

**Принято выделять два типа автомобильных сенсорных компонентов: 1) датчики типа plug&play, представляющие собой устройства в защитном корпусе вместе с автомобильными соединителями, включающие печатные платы, на которых размещены сенсорные компоненты и электроника, и 2) микроэлектронные сенсорные компоненты в корпусах с выводами для монтажа на печатную плату. Можно сказать, что это устройства макро- и микроуровня соответственно.**

Компоненты второго типа в свою очередь подразделяются на полностью интегральные преобразователи и требующие специализированного интерфейса и небольшого числа дискретных компонентов.

Но это деление на самом деле условно, и границы между устройствами становятся все менее четкими. Например, микромеханический датчик может быть включен в автомобильное макроустройство без предварительного корпусирования. При этом одно сенсорное устройство может поставлять данные для различных систем, виртуально заменяя несколько датчиков.

Поэтому понятие макроуровня шире: будем относить к нему сенсорные устройства и системы. А понятие сенсорного микроуровня распространяется на микроэлектронику и микросистемотехнику (микромеханику и микрооптику).

Развитие нанотехнологий приводит к их проникновению в транспортную отрасль и автомобильную сенсорную, и сегодня условно развивается еще один — наноуровень автомобильных сенсорных технологий, существующий параллельно с первыми двумя.

## Введение

Автомобильный сенсорный рынок огромен, он явно превышает уровень в \$10 млрд<sup>1</sup>, и для его полной характеристики уже давно существует объективная потребность в сегментации по назначению или типам устройств (датчики положения, температуры, ускорения, давления), технологиям (CMOS, МЭМС, индуктивные датчики), применениям (ESC, системы безопасности или контроля и управления двигателем).

Вероятно, правильным было бы выделение уровней физических принципов, материалов,

технологий, устройств и систем. Но и такое деление условно, поскольку четких границ между устройствами не существует. Однако системная интеграция позволяет реализовать в автомобиле все эти уровни одновременно. Долгое время интеграция ассоциировалась только с ИС, но теперь повсеместно принята интеграция микромеханики, микрооптики и других МЭМС-компонентов в ИС или модули, индивидуально закорпусированные для монтажа на печатной плате в составе датчика. С точки зрения снижения стоимости МЭМС перспективно корпусирование на уровне пластин WLP, при этом кристалл является корпусом. Использование флип-чипов для корпусирования, как в WLP-корпусах, так и согласно концепции CMOS-on-MEMS, и последующее размещение данных компонентов без предварительного корпусирования аналогично ИС в пластмассовый корпус с выводами стирает существующее различие между этими уровнями устройств и систем.

Сочетание технологий создания внутрикремниевых соединений (Through-Silicon Vias, TSV) и 3D-интеграции (3DIC) направлено на повышение интеграции, снижение цены, объединение кристаллов различного функционального назначения, выполнение нескольких, причем не только сенсорных, но и управляющих функций в одном устройстве.

ИС, модуль, плата могут одновременно выполнять и несколько сенсорных функций, то есть объединять несколько сенсорных устройств, и входить в несколько разных автомобильных систем (сетевая концепция).

В итоге, можно считать, что автомобильные сенсорные инновации осуществляются на двух основных уровнях интеграции: макроуровне с его мехатронным подходом к созданию встраиваемых систем и устройств, включающих печатные платы, автомобильные соединители, и микроуровне, к которому относятся ИС, МЭМС, устройства и системы

на кристаллах. Факт, что граница между макро- и микроуровнями стала условной, можно назвать одним из основных положительных результатов непрерывных технологических инноваций в области автомобильной сенсорной, так как его следствием являются функциональная оптимизация и достижение низкой цены производства.

Развитие нанотехнологий также привело к их проникновению в транспортную отрасль и автомобильную сенсорную. Ввиду возможности интеграции нанотехнологий и в МЭМС, и в макросистемы становится возможным производить и использовать «умные» материалы, устройства и системы следующего — наноуровня.

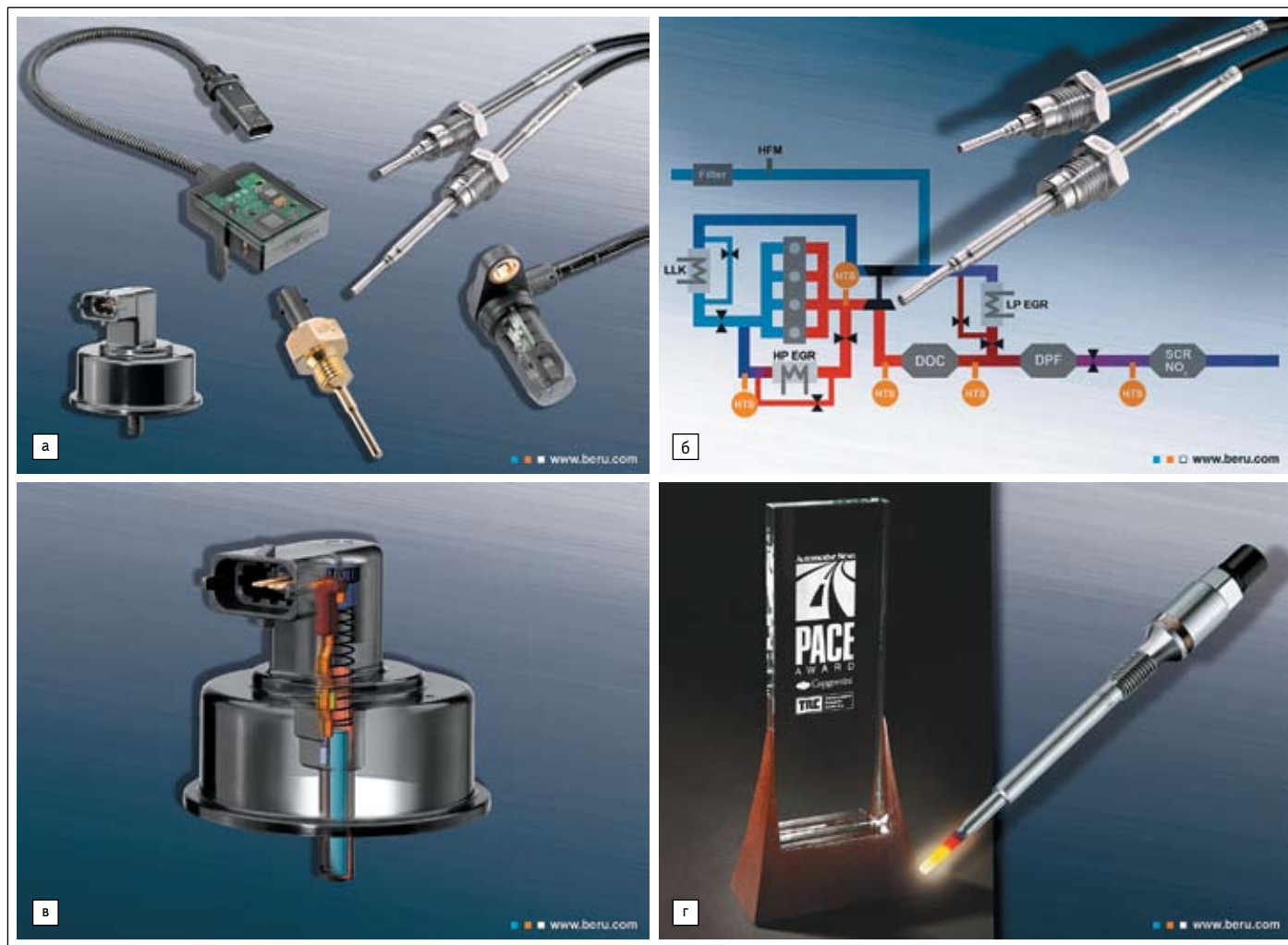
## Автомобильные сенсорные инновации макроуровня

Рынок автомобильных датчиков в количественном выражении является массовым. Новый автомобиль может включать не менее 100 датчиков как макроустройств с печатными платами и автомобильными соединителями, входящих в состав автомобильных систем. Качественные изменения, которые непрерывно претерпевает данный рыночный сегмент, проявляются как в виде общих закономерностей, так и в виде фрагментированных разработок.

Важнейшие закономерности, которые сегодня оказывают влияние на сенсорную структуру автомобиля, включают оптимизацию потребления топлива, более полное соответствие текущим и будущим нормам эмиссии, обязательное введение ESC (вслед за TPMS) и другие меры для повышения безопасности [1–5].

В связи с этими тенденциями возникают новые применения датчиков и разрабатываются новые сенсорные технологии [1–13]. Основная цель разработок — достижение более полного соответствия непрерывно

<sup>1</sup> Strategy Analytics прогнозирует, что мировой автомобильный рынок достигнет \$18 млрд к 2015 году.



**Рис. 1.** Примеры инновационных автомобильных сенсорных решений макроуровня для систем powertrain и контроля эмиссии: а) линейка датчиков BERU для систем powertrain и контроля эмиссии; б) высокотемпературные датчики BERU HTS в автомобильных системах; в) датчики BERU distance sensors для контроля турбоагнетателей; г) датчик давления PSG для применения в камерах сгорания дизелей

повышающимся автомобильным требованиям в отношении функциональности, точности и надежности.

Так, увеличение потребления топлива часто является следствием неисправностей в системе электрооборудования и особенно в системе зажигания. Например, износ электродов свечей зажигания может приводить к пропускам, и, как следствие, потребление топлива увеличивается. Для уменьшения потребления топлива важно, чтобы кабели и обмотки зажигания, распределительный вал и датчики концентрации кислорода правильно функционировали. Например, свечи и распределители в зимнее время подвержены коррозии, и, если свеча окислена, возникают проблемы старта и пропуски зажигания. Датчики концентрации кислорода также подвержены износу, и при их износе потребление топлива увеличивается на 15%. Поэтому датчик рекомендуется замещать каждые 50 000 км (ненагреваемые датчики) или каждые 100 000 км (нагреваемые датчики).

Компания BERU поставляет многие сенсорные решения для систем powertrain и вы-

хлопных систем, представляющие собой датчики движения, температуры, интеллектуальные датчики с интегрированной электроникой, помогающие сохранять топливо. Основное назначение подобных устройств — оптимизация функциональных характеристик двигателя, обеспечение требуемых уровней эмиссии [6–7].

Системы электронного контроля процессов сгорания требуют детектирования большого числа параметров, и BERU, как и другие поставщики автомобильных компонентов, разрабатывает свои датчики ввиду обусловленного новыми применениями спроса на устройства, адаптированные к функционированию в различных рабочих условиях.

Например, новый датчик BERU RIS (Radiator Identification Sensor) используется для детектирования и функциональных испытаний каталитического покрытия радиатора. Датчик характеризуется наличием встроенной электроники. Кроме того, он измеряет температуру охладителя.

BERU производит широкую линейку датчиков температуры, датчики скорости (ин-

дуктивного типа и датчики Холла с функцией направления), датчики расстояния и положения, функционирующие также на основе эффекта Холла, датчики сред (воды и дизельного топлива), датчик давления в камерах сгорания для дизельных двигателей, лямбда-зонд и системы контроля давления шин (рис. 1).

Датчики температуры используются для детектирования окружающих температур в различных средах двигателя и трансмиссии: топлива, охладителя, масла, воздуха ( $-40...+160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), выхлопных систем ( $-40...+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), во вспомогательных радиаторах/нагревателях ( $-40...+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Измерительный принцип основан на включении температурно-зависимого резистора — NTC или тонкопленочного платинового резистора. Варианты исполнения датчика включают RIS-датчик, высокотемпературный датчик (High Temperature Sensor, HTS) и миниатюрные датчики.

Высокотемпературные датчики BERU HTS предназначены для использования вместе с турбоагнетателями, дизельными фильтрами частиц, эмиссионными системами EGR,

каталитическими конвертерами SCR, DeNOx, обеспечивая детектирование их нагрузки и поставляя данные в ECU для расчета времени начала регенерации (рис. 1б). Управляющий алгоритм предполагает системную функциональность, в соответствии с которой, если датчик HTS определяет температуры выше 1700 °F (926 °C), ECU останавливает процесс регенерации для снижения температуры, чтобы защитить лопасти турбоагрегата от разрушения. С платиновым сенсорным элементом HTS-датчик измеряет диапазон 40...950 °C.

Сенсорный элемент RTD (Resistance Temperature Detector) HTS является платиновым — ввиду того, что этот тип устройств обеспечивает высокую измерительную точность и прочность.

Резистор NTC теоретически подходит для измерения высоких температур, но инженеры BERU выполнили дополнительные усовершенствования для защиты платинового слоя от окружающей при температурах порядка 800 °C. Структура является более защищенной и менее подвержена химическому старению.

Новые датчики положения BERU distance sensors (рис. 1в) в турбоагрегатах измеряют настройку пневматических актюаторов, регулирующих лопасти турбин. Благодаря модульной структуре они быстро и эффективно адаптируются к любой геометрии турбоагрегата. Датчики сред BERU Media sensors выполняют функции обнаружения и различения разных сред. Датчики воды, например, определяют уровень воды в топливных фильтрах, что помогает в борьбе против коррозии. Датчики дизеля измеряют дозы биодизельного и минерального дизельного топлива, их основное назначение — дифференциация топлива и, вместе с ECU, обеспечение соответствия уровням эмиссии.

Измерительный принцип датчиков воды основывается на измерении проводимости среды между двумя электродами и посылке соответствующего переключающего сигнала (выход — открытый коллектор) при достижении уровня воды электродов. Датчик биодизельного топлива использует различие в диэлектрических постоянных дизельного и биодизельного топлива, которое дает изменения в емкости переключающего конденсатора. Изменение емкости преобразуется в аналоговый выходной сигнал.

Датчик давления (Pressure Sensor Glow Plug, PSG) (рис. 1г) предназначен для дизельных автомобилей, к которым предъявляются требования значительного снижения эмиссии сажи и NOx. Один из путей решения проблемы — оптимизация сгорания, и датчик PSG, выполняя измерительные функции непосредственно в камере сгорания, предоставляет необходимые данные ECU. Сенсорный принцип — пьезорезистивный.

Датчик PSG был удостоен многих наград. Им оборудуется автомобиль 2009 года Opel Insignia.

В связи с повышением норм эмиссии, влиянием кризиса, клиентским спросом на более экономичные и чистые автомобили спрос на датчики систем powertrain, которые способствуют оптимизации работы двигателя и снижению эмиссии, повышается.

Одной из актуальных, например, является информация о том, что Nippon Ceramic разработала самый малый в мире датчик газа. А компания Sensata Technologies предлагает датчики давления для контроля прямого бензинового впрыска, дизельных и альтернативных топливных систем (LPG/CNG).

В автомобильной сенсорной структуре расширяется использование волоконной оптики [13]. Волоконно-оптический интерферометр Fabry-Perot может использоваться для измерения давления двигателя, зажигания, осуществлять контроль подшипников. Например, датчик BCS Advanced Technologies LLC применяется в автомобильных головках цилиндров для измерения давления.

Оптические волокна могут использоваться для других автомобильных сенсорных применений, одним из которых является мониторинг свинцово-кислотной батареи. Концепция и прототип разработаны специалистами Сандийской Национальной лаборатории (США) и JSA Photonics Inc.

Инновационный сенсорный метод, разработанный Inproх Technology Corp. в рамках соглашения с NASA, состоит в применении SiC-технологии для разработки датчиков линейного положения. Следующие разработки Inproх на основе данного метода состояли в осуществлении возможностей детектирования температуры, давления, скорости, угла, вибрации, крутящего момента и уровня. Разработки основываются на технологической платформе датчиков линейного положения InGen Direct и состоят в применении SiC-электроники вместе с индуктивным методом детектирования.

Линейные датчики Inproх под названием CFLD, или Captive Field Linear Direct, представляют собой комбинацию индуктивного метода с двухпроводным цифровым выходом и обладают способностью работать при температуре до +650 °C, с точностью 0,25%. Датчики CFLD предназначены для замещения LVDT-устройств. Компания Inproх работает и над созданием датчиков углового положения.

Датчики скорости на основе индуктивного и емкостного методов детектирования, с названиями LFID и LFCD соответственно, обладают способностью детектирования от нулевой скорости до скорости свыше 50 000 об/мин, работы при высоких температурах и в широком частотном диапазоне.

Индуктивные LFID-датчики работают при температуре до 450 °C, допуская частотный диапазон выше 1 МГц.

LFCD датчики скорости во многом сходны по своим характеристикам с индуктивными устройствами, но допускают более жесткое (с рабочими температурами до 1400 °C) и более динамическое окружение (частотная по-



Рис. 2. Технологическая платформа датчиков InGen Direct Inproх

лоса — 1–20 МГц), они также являются более быстродействующими.

Платформа Inproх, получившая название InGen Direct (рис. 2), создана на основе индуктивного метода детектирования в комбинации с цифровой интерфейсной архитектурой (Direct Digital Signal Transfer Methodology, DDSTM). Схемы InGen Direct и DDSTM дают высокое разрешение прямоугольного частотного выхода датчиков, преимущества в достижении высокой частотной полосы, высокой точности, исключении необходимости для схемы обработки сигнала.

Аналоговый сигнал, сформированный индуктивной сенсорной частью устройства, преобразуется в частоту в форме прямоугольной волны, подаваемой затем в микропроцессор. Скорость работы процессора определяет измерительную точность.

InGen Direct стало брендовым названием датчиков со способностями определения одним устройством скорости, нулевой скорости, угловых измерений, детектирования износа и даже профиля зуба или вала — с рабочими температурами в диапазоне от –110 до +650 °C и без магнитов, подходящая для любых металлических, а не только ферромагнитных устройств.

Квантификация износа в автомобильных зубчатых шестернях, которую можно выполнять при определении краев зубцов шестерен в реальном времени, является одним из самых интересных применений устройств. Разработчики акцентируют внимание на том, что одно устройство представляет собой, по сути, несколько датчиков, размещенных в одном корпусе, использующих одну и ту же электронику, подключенных к общей шине.

Потенциальные автомобильные применения включают детектирование скоростей двигателей, в АБС, определение пропусков зажигания двигателя, мониторинг и контроль эмиссии. Эти датчики могут использоваться в резольверах DC (постоянного тока) двигателей, системах турбоагрегатов, рулевых колес, powertrain, колесной (управляющей ходовой частью) электронике, системах безопасности, дизельных двигателей.

Данная информация может быть отнесена к достоинствам нового устройства, ввиду существования таких общих для автомобильной

промышленности и автомобильной сенсорике маркетинговых тенденций, как мультисенсорные и сетевые измерения, многофункциональность, актуальность цифровых интерфейсов, требование снижения веса кабелей, потребления топлива, достижение соответствия стандартам эмиссии, высокотемпературная работа датчиков, мониторинг и предсказание износа датчиков и систем.

Более безопасные во всех отношениях автомобили — не менее важная тенденция на автомобильном рынке, являющаяся предпосылкой в формировании автомобильной сенсорной структуры нового поколения.

Так, Autoliv с целью смягчения травм пешеходов разработала проект PIMS на основе инфракрасных микроболометров. Инновации компании включают FIR (Far InfraRed, чувствительную к длинным ИК-волнам [8]) систему ночного видения Night Vision 2 с функцией обнаружения пешеходов на основе улучшенной технологии камер, подушки безопасности для пешеходов на активном (поднимающемся) капоте, разработку системы детектирования алкоголя с соответствующим датчиком и многие другие. Метод Autoliv обнаружения алкоголя состоит в идентификации малых вариаций в составе воздуха в непосредственной близости от водителя. Сенсорный принцип основан на инфракрасной спектроскопии и применяется для детектирования и алкоголя, и CO<sub>2</sub>, а затем посредством анализа корреляции между измерениями выполняется детектирование алкоголя.

Но автомобильные сенсорные инновации — это не только ответная реакция системных поставщиков на тенденции автомобильного рынка, формирующие макроуровень спроса на системы и устройства. Многие из них стали возможны благодаря достижениям на уровне микроэлектронных и МЭМС-технологий, или достижениям микроуровня.

Поэтому, чтобы продолжить рассказ о датчиках, целесообразно «спуститься на ступеньку вниз», или перейти на микроуровень сенсорных инноваций. Именно здесь размещена основная ниша массового сбыта МЭМС-компонентов — акселерометров, гироскопов, датчиков давления подушек безопасности, ESC, TPMS [4–5, 8–10].

### Автомобильные сенсорные инновации на микроуровне

На микроуровне автомобильных сенсорных инноваций располагаются, прежде всего, МЭМС-компоненты, но не только они. Данный уровень включает:

- интегральные датчики — микромеханические, магнитоуправляемые и другие микросхемы, специализированные сигналообработчики в виде отдельных ИС,
- микроминиатюрные датчики и ASIC, размещенные на кристаллах.

На этом уровне можно сравнивать не только различные концепции интегрирования

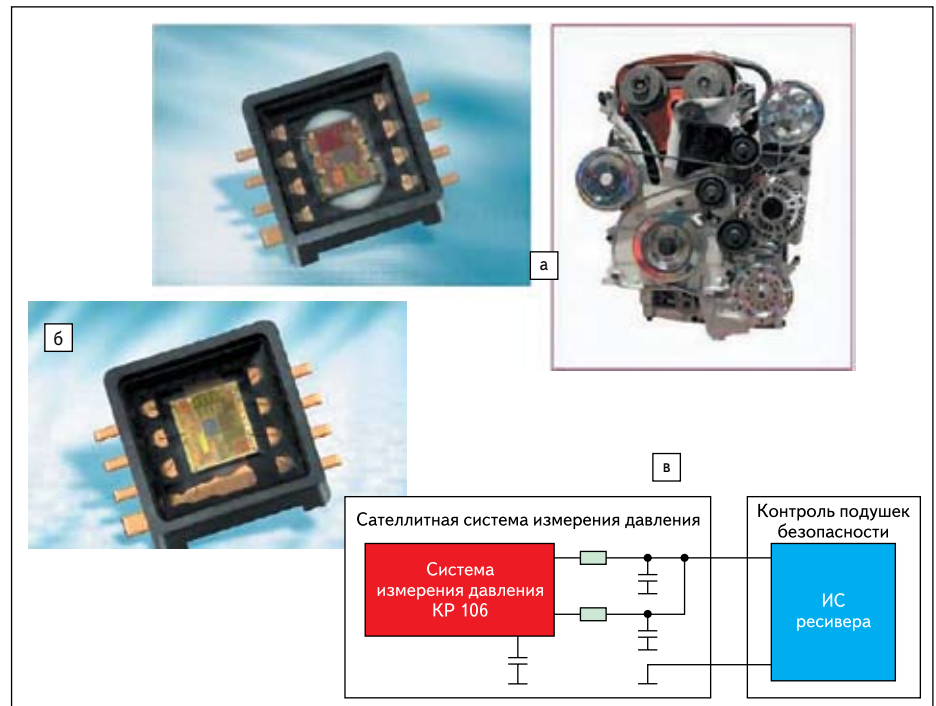


Рис. 3. Интегральные датчики давления Infineon: а) MAP датчики серии KP12x: внешний вид, устройство и применение; б, в) датчики давления в боковых дверях Side Crash Pressure Sensor (SAB) KP10x: внешний вид/устройство (б) и схема применения (в)

и корпусирования, но и микротехнологии, и материалы.

МЭМС — ключевая сенсорная технология в современной автомобильной промышленности [11]. Согласно исследованиям iSuppli, опубликованным в 2009 году, рынок автомобильных МЭМС-датчиков в период с 2009 по 2013 год будет неуклонно возрастать, достигнув \$2,1 млрд в 2012 году. Главные области применения автомобильных МЭМС-устройств основываются именно на датчиках, а не на актуаторах. Автомобильные МЭМС включают датчики инерции (акселерометры, гироскопы, блоки инерциальных измерений), датчики давления, расхода, инфракрасные датчики и другие устройства для вновь возникающих применений. Эти миниатюрные устройства производятся по большей части в виде закорпусированных ИС с выводами для монтажа на печатную плату. Малый размер в сочетании с высокой функциональностью, надежностью, низкой ценой и другими преимуществами, в зависимости от типа датчика, обусловили их широкое применение для выполнения многих автомобильных контрольных и управляющих функций — от систем разворачивания подушек безопасности при детектировании аварии и мониторинга давления шин до управления двигателем.

Многие процессы в производстве кремниевых МЭМС аналогичны процессам, которые применяются при производстве ИС. Это дало возможность в свое время осуществить их однокристалльную интеграцию. Основное отличие МЭМС от ИС состоит в наличии подвижных механических частей (конденса-

торные пластины в акселерометрах, диафрагмы в датчиках давления), которые выполняют различные сенсорные функции, как правило, измерение физических параметров.

Важнейшие факторы, которые оказывают влияние на автомобильный рыночный сектор в США и Европе, — это различные законодательные акты в отношении безопасности, например, требования обязательного оборудования новых автомобилей системами подушек безопасности, системами мониторинга давления шин TPMS, динамической стабилизации ESC в Европе [2–5]. Помимо того, на многие из современных электронных систем управления существует неослабевающий клиентский спрос, так как покупатели заинтересованы в приобретении более безопасных автомобилей, более экономичных (в связи с ростом цен на бензин) и экологических — в связи с привлекательными условиями их приобретения и эксплуатации.

Читатели, вероятно, уже привыкли к тому, что датчики инерции (акселерометры, гироскопы) и датчики давления MAP и TPMS составляют большинство автомобильных применений МЭМС, и именно автомобильные применения долгое время были для этого типа датчиков ключевыми [4–5, 9–12].

Первым высокообъемным применением МЭМС стали автомобильные применения датчиков давления. МЭМС-датчики долгое время использовались только для измерения давления воздуха во впускном патрубке (MAP), с целью определения количества воздуха, поступающего в двигатель, и коррекции топливно-воздушной смеси. В дальнейшем

требования более высокой эффективности и снижения эмиссии обусловили применение МЭМС датчиков давления ВАР (для принятия в расчет высоты при контроле ТВС), МЭМС датчиков массового расхода воздуха.

Infineon, например, поставляет интегральные датчики давления серии KP12x (рис. 3а), представляющие собой емкостные устройства, которые производят методом поверхностной микрообработки, монолитно интегрированные с ASIC. Основное назначение KP12x — применение его в качестве датчика барометрического абсолютного воздушного давления (ВАР) во впускном патрубке двигателя.

МЭМС-датчики стали применяться в топливном баке, топливных магистралях, для определения давления масла двигателя, в системах контроля эмиссии, TPMS, в боковых дверях и для обнаружения пассажиров.

Датчики давления в боковых дверях поставляют, например, компании Infineon и Freescale. Устройство Infineon Side Crash Pressure Sensor (SAB) KP10x (рис. 3б) представляет собой сенсорную систему для детектирования боковых аварий в пассажирских автомобилях. Датчик давления включается в модуль, размещаемый в пределах боковых дверей. Когда дверь сжимается вследствие бокового удара, KP10x формирует импульсный сигнал, пропорциональный изменению давления, которое он регистрирует. Поскольку датчик определяет относительное изменение давления, от окружающего давления он не зависит. Время срабатывания датчика — порядка 5–10 мс, то есть это быстродействующее устройство.

МЭМС датчики высокого давления сегодня поддерживают работу дизелей, топливных магистралей бензиновых и дизельных двигателей, турбонагнетателей, дизельных фильтров частиц. Но необходимость в измерении высоких давлений вновь ограничивает применение МЭМС-технологий.

Важно отметить, что непрерывно повышающиеся нормы эмиссии CO<sub>2</sub> и в настоящее время оказывают влияние на увеличение применений МЭМС датчиков давления и расхода в системах powertrain. Одним из примеров, характеризующим расширение применения МЭМС датчиков давления, является сотрудничество Kavlico Cogroation с Micalupe по производству MEMS-компонентов для систем контроля эмиссии газовых автомобилей Ford.

Кроме того, в автомобильной промышленности востребованы высокотемпературные (до 500 °С) датчики давления, функционирующие в работающих двигателях. Выполнение точного мониторинга и давления, и температуры в камерах сгорания предназначено повысить эффективность двигателя, а эмиссию и потребление топлива снизить.

Для жестких условий эксплуатации, требующих высокой механической и химической стабильности при высоких температурах, более интересна кремний-карбидная, а не кремниевая платформа [12–14].

Например, первые SiC-датчики для жестких условий эксплуатации разработаны компанией FLX Micro. Разрабатываются микромеханические датчики давления мембранного и пьезорезистивного типа на основе технологии SiC-on-SOI (SiCOI). О разработке многофункциональных SiC-датчиков Inproх уже рассказывалось выше. Датчики давления с SiC-электроникой для высокотемпературной работы (–100...+1400 °С) проектируются на основе технологической платформы датчиков линейного положения.

Таким образом, разнообразные МЭМС-компоненты и микротехнологии распространяются в системах powertrain, контроля эмиссии, безопасности, а эволюция технологий направлена на преодоление существующих ограничений в связи с жесткими условиями эксплуатации.

В сенсорной структуре систем автомобильной безопасности также происходят существенные изменения, которые осуществляются с одной главной целью — уменьшить число аварий, жертв и разрушений, но качественно различаются. Эволюция сопровождается разработкой и новых применений (макроуровень), и новых технологий (на микроуровне).

Стало привычным широкое применение МЭМС акселерометров и гироскопов для детектирования фронтальных аварий, в системах ESC или противобуксовочных сигнализациях, TPMS.

По сравнению с перечисленными выше основными применениями датчики расхода, ИК-датчики (микроболометры для систем ночного видения и термопили внутрикабинного мониторинга) составляют пока незначительную часть, как и звуковой датчик аварии, но они уже существуют. Влияние новых применений на автомобильный сенсорный рынок пока незаметно в количественном отношении, но имеет значение в качественном.

Важным примером является использование ультразвуковых МЭМС-датчиков для вспомогательных подушек безопасности с конца 2008 года.

Новое ультразвуковое сенсорное устройство нашло применение в системе Continental Crash Impact Sound Sensing System для автомобиля Golf VI (рис. 4). Данная система является более быстройдействующей, чем основанная на сигналах от датчика ускорения.

Siemens VDO Automotive разработала датчик аварии, которую он может «слышать», с оригинальным названием Crash Impact Sound Sensor (CISS) еще в 2005 году. Сначала данную разработку поддержала компания Audi AG, позднее — Volkswagen AG. Этот датчик закрепляется на колесах автомобиля или бампере для мониторинга шумовых вибраций. Если случается авария, то датчик регистрирует звуковую волну, которая создается вариациями в деформации стальных компонентов колес, и задействует пассивные компоненты безопасности (подушки и ремни). Разработка была завершена в 2008 году, широкого при-

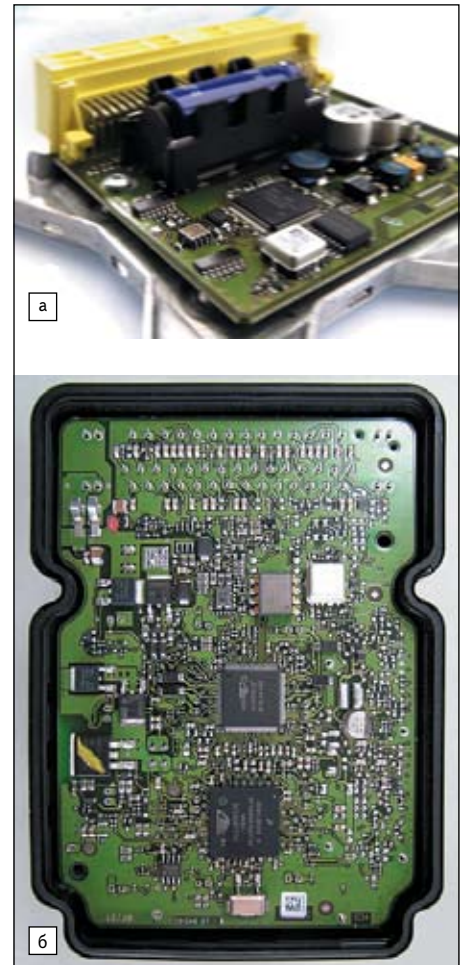


Рис. 4. Автомобильные сенсорные инновации, осуществленные в разработках Continental: а) звуковая система обнаружения аварии Crash Impact Sound Sensing System; б) датчик угловой скорости и ускорения Continental для ESC

менения данное устройство до настоящего времени еще не получило. По-прежнему ключевым методом детектирования аварий оставался инерциальный метод, основанный на обнаружении изменений в ускорении посредством акселерометров, поставки которых осуществляют Bosch, ADI и другие компании.

В настоящее время Analog Devices работает над замещением фронтальных акселерометров совместно с VW.

Важной технологической новостью является тот факт, что компания ADI, поставившая на различные рынки уже более 400 млн единиц монолитных или однокристалльных акселерометров и гироскопов, в настоящее время применила двухкристалльный метод. Наиболее массовый и быстрорастущий сегмент глобального рынка МЭМС акселерометров, гироскопов, IMU сейчас сформирован потребительской электроникой, а не автомобильными применениями.

Цена однокристалльной интеграции трехосевого акселерометра для потребительских применений потребовала ее снижения, а двухкристалльное исполнение является менее

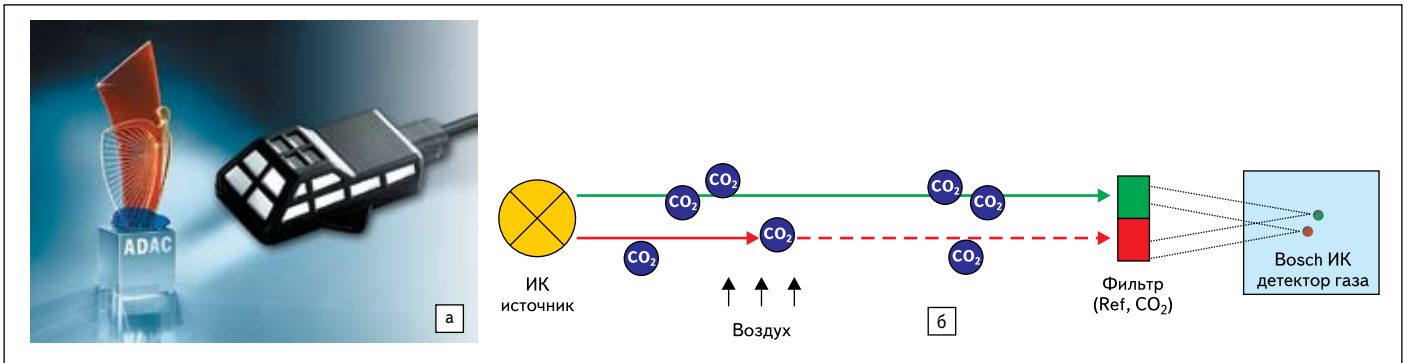


Рис. 5. ИК МЭМС датчик CO<sub>2</sub> Bosch Climate Control Sensor: а) внешний вид; б) сенсорная концепция

дорогим и более гибким в плане интеграции в клиентскую систему, при этом обеспечивает форм-фактор, подходящий для подобных устройств (сотовых телефонов).

Тем не менее важно подчеркнуть, что устройства ADI и Infineon, поставляемые на автомобильный рынок, являются однокристалльными. Монолитные устройства более чувствительны и электромагнитно совместимы. Bosch также применяет однокристалльный метод — в своих датчиках давления MAP, созданных на основе процесса под названием APSM (Advanced Porous Silicon Membrane).

Bosch и Panasonic — два лидирующих поставщика гироскопов на автомобильный рынок, между которыми возникла конкуренция. Компания Panasonic стартовала на автомобильном рынке как поставщик гироскопов для навигационных систем GPS и стабилизации камер, и в настоящее время становится поставщиком гироскопов для систем ESC Continental и TRW.

Все это — свидетельства эволюции группы МЭМС-датчиков в системах безопасности качественного уровня.

Заслуживает упоминания и факт возврата к непрямым (indirect) системам TPMS, версию которой ввела компания Audi, например, в модели А6 2009 года, продаваемой в США. Косвенный метод предполагает определение давления в шинах с использованием информации о скорости вращения колес посредством специального программного обеспечения, без датчиков давления. Данная система соответствует требованиям NHTSA, и специалисты компании работают над достижением соответствия спецификаций европейским требованиям.

Тем не менее говорить о сокращении автомобильных МЭМС-компонентов для массового рынка не приходится, напротив, в эту группу включаются новые недорогие устройства, одним из которых является микро-болометр.

Системы инфракрасного видения в диапазоне длинных ИК-волн (FIR) применяются уже достаточно давно в автомобилях верхнего ценового класса [8]. Хотя эти системы позволяют получить высококонтрастные изображения теплых, преимущественно жи-

вых объектов (людей, животных) на расстоянии порядка 150 м, их цена для массового автомобильного рынка долгое время была слишком высокой.

В рамках совместного европейского проекта ICU ([www.icu-eu.com](http://www.icu-eu.com)), над которым работают шесть лидирующих автомобильных компаний, разработаны новые инфракрасные фотонные компоненты. Разработки включают систему линз, массив болометра, вакуумный корпус на уровне пластины, модуль/сборку компонентов. Цена и характеристики инфракрасных компонентов согласованы с автомобильными применениями.

Инфракрасный болометрический массив ICU создан на основе нового монокристаллического материала SiGe/Si, дающего повышенный температурный коэффициент сопротивления (TCR) и обеспечивающего улучшенные шумовые характеристики (в отношении 1/шума) в сравнении с инфракрасными болометрами, имеющимися на рынке.

Новые болометры будут производиться с использованием гетерогенной 3D MEMS интеграции, которая совместима со стандартными МЭМС-процессами. Низкая цена вакуумного корпусирования на уровне пластины будет обеспечиваться вместе с достижением уровня давления в 0,001 мбар. Дифракционная оптика может быть интегрирована в корпус вместе с камерой на уровне МЭМС. Линзы также стоят недорого.

Над осуществлением проекта работают следующие компании: поставщик систем безопасности Autoliv Development AB, поставщик компонентов Infineon Technologies SensoNor AS, поставщик оптики Umicore NV. Со стороны исследовательских организаций в нем задействованы бельгийский университет VUB, шведские институты Acreo и KTH. Осуществление проекта было начато в 2008-м, его завершение планируется в 2010 году.

Sensorog как поставщик компонентов будет предлагать неохлаждаемые или охлаждаемые термоэлектрическим методом болометры (Thermo-Electric Cooler, TEC) с массивами в фокальной плоскости (Focal Plane Arrays, FPA) для прецизионных измерений. Решение основывается на монокристаллической структуре из Si/SiGe, используемой

как теплочувствительный элемент пикселей. Пиксельная технология и наработки компании в соединении пластин позволяют ожидать достижения высокого уровня SNR, надежности и низкой цены.

Параллельно Sensorog участвует в разработке проекта FNIR ([www.fnir.nu](http://www.fnir.nu)) как системно-ориентированной концепции, направленной на оценку возможности слияния систем видения на основе датчиков излучения, близкого к инфракрасному (Near Infrared, NIR) и в диапазоне длинных волн (Far Infrared, FIR) в системах автомобильного ночного видения. Цель данного проекта — более надежная защита пешеходов.

Инфракрасная технология перспективна для применения датчиков на ее основе и в потребительской, и в автомобильной электронике. Датчик Bosch Climate Control Sensor (CCS) (рис. 5а) выполняет, например, мониторинг уровней CO<sub>2</sub> в пассажирском оборудовании, повышая тем самым эффективность системы кондиционирования воздуха и помогая в осуществлении ее полного электронного контроля и оптимизации потребления топлива. Датчик CCS работает на основе принципа инфракрасной спектроскопии с инфракрасным MEMS-детектором (рис. 5б). Когда свежий воздух подается в пассажирский отсек, что обнаруживает датчик, система кондиционирования переключается в режим рециркуляции. Энергия сохраняется, поскольку сумма мощности, отводимой от двигателя на компрессор системы кондиционирования для охлаждения, снижается. Согласно оценкам Bosch, когда CCS работает в максимальном охлаждающем режиме, сбережение топлива достигает 10%.

Тот же самый метод (инфракрасной спектроскопии) прорабатывает Autoliv для детектирования алкоголя.

Линейка GE Sensing Telaire с двухлучевыми IR CO<sub>2</sub> датчиками разрабатывалась для потребительских применений, но, по заявлениям компании, эти датчики серии 7000 подходят и для автомобильных применений, поскольку отличаются простотой, надежностью и долговременной стабильностью. В разработке — автомобильные датчики NO<sub>x</sub> и NH<sub>3</sub>.

Автомобильные датчики магнитного поля (Холла, АМР, ГМР, ТМР) на кремнии работа-

ют при температуре до 150 °С или несколько выше [12].

Но исследователи Массачусетского технологического института (MIT) и университета Чикаго, при поддержке U.S.Department of Energy (DoE), продемонстрировали, что магнитные датчики могут работать при высоких температурах в несколько сотен °С, с индий-антимонидным материалом.

Таким образом, различные сенсорные материалы и технологии проникают в автомобиль, но инновации сегодня осуществляются не только на макро- и микроуровнях. Уже существует наноуровень автомобильных сенсорных технологий, который основан на применении нанотехнологий и наноматериалов.

### Проникновение нанотехнологий в транспортную отрасль

Нанотехнологии — это создание и использование материалов, устройств и систем в масштабе менее 100 нм, что более чем в тысячу раз меньше диаметра человеческого волоса и ненамного превышает размеры одного атома.

В последние годы развитие нанотехнологий уже позволило перейти от исследований к применениям, но в узких областях.

Наноматериалы включают нанотрубки, нанопровода, нанокомпозиты, наноструктурированные материалы, нанопленки, наночастицы, нанокатализаторы и нанокристаллы. Их классификация в рамках данной статьи не предусмотрена, поскольку автомобильные применения позволяют говорить только о некоторых из них. Но потенциал использования нанотехнологий и сенсорных свойств наноматериалов в автомобильной промышленности является высоким. Наноматериалы обладают некоторыми специальными свойствами, отличающими их от обычных материалов, сформированных на молекулярном или атомическом уровне.

Пластиковые нанокомпозиты используются для создания более сильных, легких и прочных автомобильных компонентов. Так, с 2001 года Toyota применяет нанокомпозиты в бамперах, что позволило уменьшить их вес на 60% и вдвое повысить их устойчивость к вмятинам и царапинам. Более легкие автомобили, как известно, потребляют меньше топлива, а устойчивость к разрушениям уменьшает износ, коррозию, повышает срок службы и уменьшает эксплуатационные расходы. General Motors применяет нанокомпозиты в составе деталей автомобилей Hummer H2 и Chevrolet Malibu. Медные наночастицы включаются в автомобильные лубриканты для снижения износа двигателя.

Явление, когда размер частицы уменьшается, а поверхность увеличивается, используется в автомобильных каталитических конвертерах. Нанокатализатор с большей поверхностной областью активнее, поэтому для автомобильных каталитических конвертеров производятся специальные нанопорошки.

Создание углеродных нанотрубок (CNT) — узких и полых цилиндров, состоящих из углеродных атомов в одностеночном и многостеночном варианте, позволило рассматривать вопросы об их применении и в автомобильной промышленности, в том числе и в качестве датчиков. Датчики, сконструированные в молекулярном масштабе, обещают быть более чувствительными, селективными, более быстрыми и надежными.

Хотя именно сенсорные варианты нанотехнологий в автомобильной отрасли еще не нашли коммерческого применения. Дело в том, что прикладное использование нанотехнологий в транспортной отрасли происходит с запаздыванием относительно других сегментов рынка, поскольку автомобильный сектор требует недорогих компонентов, что достижимо только при массовых объемах производства.

Тем не менее нанодатчики характеризуются уникальными признаками, которые могут обеспечить им преимущества над конкурирующими технологиями. В дальнейшем, по мере того, как развитие нанотехнологий будет приводить к снижению цены отдельных датчиков, результатом их применения в автомобильной отрасли станет более высокая сенсорная избыточность, более полный контроль потребления топлива, снижения эмиссии, безопасности и т. д.

Как и в случае с МЭМС, развитие нанодатчиков предполагает разработку обычных датчиков, которые используют наноматериал как сенсорные элементы, и нанодатчиков с электроникой. Второй тип устройств более перспективен с точки зрения снижения размера и цены, повышения функциональной интеграции (NEMS). Но NEMS и MEMS — не одно и то же, нельзя говорить, что NEMS — это уменьшенная копия MEMS. Технологии их производства различны, материалы и их сенсорные свойства также другие, поэтому и модели датчиков, и их применения тоже отличаются.

Рынок нанодатчиков в настоящее время повсеместно является фрагментированным. В связи с тем, что разрабатываются новые материалы и изучаются их свойства, все еще нет полной картины того, где именно можно использовать нанодатчики в автомобильной промышленности.

Но уже сейчас ясно, что автомобильные нанодатчики могут быть использованы для контроля газовой эмиссии, измерения давления, температуры, ускорения, детонации двигателя, возможны их применения в системах динамической стабилизации ESC, TPMS, краш-испытаниях. Сейчас потенциальные применения сфокусированы главным образом на управлении двигателем и выхлопной системой, к основным задачам нанодатчиков можно отнести оптимизацию использования топлива и уменьшение эмиссии. Высокие значения коэрцитивной силы ряда наноматериалов делают перспективным их использование в качестве постоянных магнитов и, следовательно,

в датчиках положения. Нанодатчики подойдут для климат-контроля, контроля качества воздуха в самолетах, автомобилях, мониторинга здоровья водителя. В будущем в связи с разработкой автомобилей на топливных ячейках нанодатчики могут использоваться для контроля утечек, анализа и измерения концентрации водорода и загрязняющих газов.

Низкая цена — определяющий фактор для распространения любого вида датчиков на массовых рынках: автомобильной, потребительской, бытовой электроники, что находит отражение при подборе технологий производства сенсорных структур. Нанотехнологии являются новыми, и пока не могут обеспечить ни приемлемых функциональных характеристик, ни низкой цены датчиков, но исследования и разработки продолжают.

Один из результатов разработки проектов нанодатчиков для автомобильной промышленности — датчик газа UTC America.

### Нанодатчики газа UTC America на основе углеродных нанотрубок для автомобильных систем

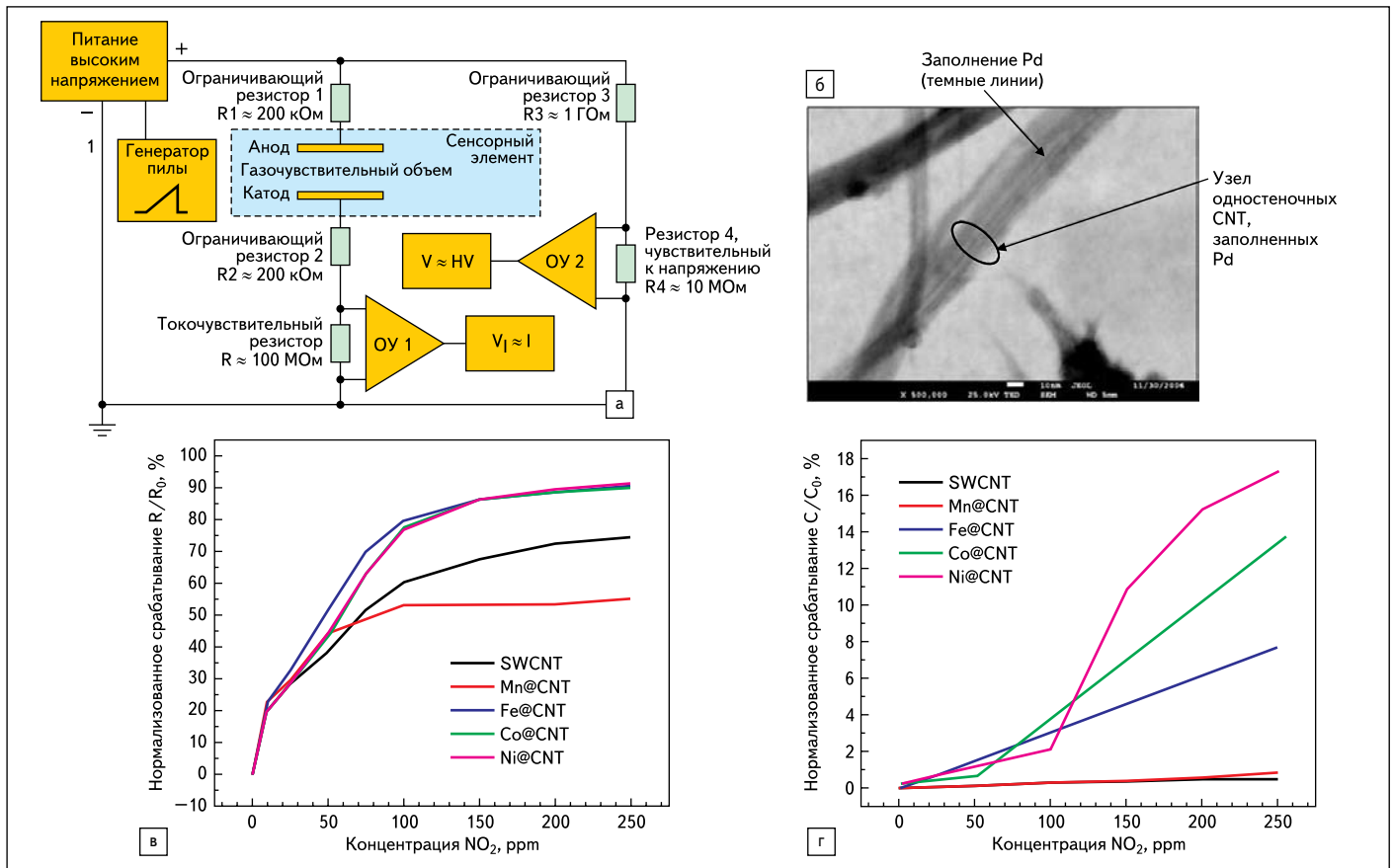
Автомобильные датчики газа предназначены обеспечить более чистую и эффективную работу двигателя.

Исследователи UTC America Inc., подразделения японской корпорации Yazaki Corp., разработали датчик газа на основе мультистеночных углеродных нанотрубок (Multiwalled Carbon Nanotubes, MWCNT) (рис. 6) [13, 16]. Их работа была представлена в 2008 году на мероприятии Sensors Expo & Conference.

Работа, длившаяся в течение 3 лет, включала сборку и испытания простого двухэлектродного ионизационного датчика газа с высокими рабочими характеристиками. Целью было создание датчика для применения в промышленности и для оборудования жилья, а также в автомобилях — для детектирования оксидов азота (NOx), например, диоксида азота, других бинарных соединений кислорода и азота.

Разработанный датчик газа ионизационного типа (рис. 6а) включает двухэлектродную структуру на основе сенсорных электродов, между которыми находятся газы, электроду для генерации высоких напряжений и тестовую камеру. Простая двухэлектродная структура в виде сэндвича представляет собой анод и катод, которые посредством высокого напряжения воздействуют на газы в пределах данной структуры. Один электрод состоит из проводящего субстрата, кремниевого или металлического, на котором напылены CNT. Другим электродом является покрывающая проводящая плата (алюминиевая), отделенная от субстрата посредством диэлектрического изолятора (из стекла).

Компания UTC America разработала прототип данного газового датчика с использованием собственных гибридных CNT-материалов, в которых в CNT-узлы включены различные



**Рис. 6.** Нанодатчики газа UTC America для автомобильных применений: а) ионизационный датчик газов NOx UTC America на основе мультистеночных углеродных нанотрубок; б) микроскопическое изображение гибридных CNT с примесями металла (заполненных Pd одностеночных нанотрубок), используемых для детектирования газа; в, г) нормализованные кривые срабатывания гибридных с металлом CNT, чувствительных к NO<sub>2</sub>, в резистивной модели (в) и емкостной модели (г) устройства

металлические примеси (рис. 6б). Некоторые из материалов характеризуются повышенной чувствительностью к газам типа NO<sub>2</sub>, что и позволяет использовать их в емкостной или резистивной модели датчика (рис. 6в–г).

Датчик газа определяет газы NOx в автомобильном пассажирском оборудовании и выхлопных системах. Цель, которую поставили перед собой разработчики, состояла в том, чтобы создать прочный сенсор, который характеризуется быстрым временем срабатывания, является высокочувствительным, может работать на относительно малых напряжениях. Исследователи выполнили свою задачу: при детектировании корродирующих газов типа NO<sub>2</sub> датчик характеризовался уровнем чувствительности в 1 ppm и временем срабатывания меньше чем в 50 мс.

Большой проблемой данного типа датчиков — ионизационного типа — является их селективность или избирательность, иными словами — частота срабатывания в зависимости от состава газов. Чувствительность может быть высокой, но уровни селективности недостаточны для многих применений. Исследователи UTC America изменяли плотность размещения CNT, наблюдая пробивное поведение различных газовых смесей для улучшения сенсорной селективности. К примеру, три пары электро-

дов могут срабатывать по отношению к различной газовой смеси, что находится в зависимости от разделения между CNT-элементами на данном субстрате.

Поскольку разработанный датчик является ионизационным, он требует высоких напряжений для ионизации и детектирования газов — более 1 кВ. Но исследователи надеются снизить эти высокие напряжения до 100 В, что потенциально допустит работу датчика от батареи. Это может быть достигнуто посредством сужения диэлектрического пространства между анодом и катодом, в пределах которых осуществляется ионизация газа. На Sensors Expo был показан график, согласно которому обеспечивались пробои ионизации на уровне около 500–600 В, с вакуумным уровнем около 200 Торр. Чем ниже уровень вакуума, тем ниже необходимость в высоком пробивном напряжении.

Разработанный метод имеет перспективы использования для детектирования NOx газов во многих применениях. Это простая и прочная структура, которая подходит для уровня высоких рабочих характеристик и производства по низкой цене. Одно из этих применений — контроль состояния пассажирского отсека, второе — контроль выхлопной системы автомобиля. Потенциальная цена датчика —

порядка \$25 вместе с электроникой, для грузовиков — около \$50, но есть и преимущества. К примеру, среднее время между сбоями будет существенно выше. Специалисты считают, что необходимо еще 3–5 лет для достижения более совершенных результатов исследования CNT с целью разработки коммерческих продуктов на основе данной работы.

**Об исследованиях автомобильных нанодатчиков**

Исследования свойств индивидуальных нанотрубок показывают высокую чувствительность к газам типа NO<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub>. Как датчики газа, CNT предлагают различные преимущества по сравнению, например, с металлоксидными датчиками — это возможность работы при комнатных температурах, низкое энергопотребление, малый размер, увеличенная чувствительность.

Поэтому над созданием автомобильных нанодатчиков газа работают исследователи различных институтов и фирм (например, Fiat). Использование сенсорных свойств CNT в автомобильных системах возможно не только для химического, но и физического контроля [17]. Некоторое ценовое давление на характеристики МЭМС датчиков инерции приводит к интеграции все большего числа функций

в миниатюрном устройстве. Но при более плотной интеграции в микросистемах наблюдается обратный эффект повышения цены кристалла. Поэтому одним из вариантов дальнейшего развития микро- и наносистем является функциональное объединение нанорезисторов на основе углеродных нанотрубок с МЭМС, которые, в свою очередь, стремятся к интеграции с ИС, памятью. В ближайшие 5–10 лет вряд ли можно говорить о реальном коммерческом интересе к наносистемам со стороны автомобильных производителей. В будущем многие специалисты не исключают, что наносистемы полностью заместят микросистемы. Хотя все же более правильным будет утверждение, что макро-, микро- и наномиры будут существовать параллельно.

Действительно ли автомобильные датчики стремятся к наноуровню? Существует закономерность, состоящая в том, что миниатюризация электронных систем приводит в соответствии с законом Мура к выигрышу и в характеристиках, и в цене. Но для датчиков механических величин картина иная. Ввиду малого энергопотребления в новых системах отдается предпочтение емкостным, а не резистивным устройствам.

Чувствительность емкостных акселерометров зависит от достижения изменения емкости при изменении расстояния между обкладками конденсатора. При этом собственная емкость сенсорной структуры выступает как паразитная. Уменьшение масштаба акселерометров приводит к ухудшению их характеристик, и только датчики, балансируемые силой, сравнительно инвариантны к масштабированию. Датчики давления менее чувствительны к масштабированию, и их свойства могут даже быть улучшены, если будет достигнуто уменьшение толщины мембраны. Разработка гироскопов более сложна, чем разработка акселерометров. Поэтому, в целом, миниатюризация датчиков физических величин скорее сопряжена со многими трудностями, чем дает существенные преимущества.

Но физические и электрические свойства углеродных нанотрубок привлекают многих исследователей, поэтому потенциальные применения CNT в автомобильных системах многочисленны.

Как механические элементы, CNT представляют собой прочные волокна, которые могут подвергаться значительным механическим деформациям или даже изгибу без необратимого разрушения атомической структуры, они отличаются также высокой теплопроводностью. Это допускает тепловое управление в наносистемах, большие нелинейные отклонения в поддерживающих структурах, резонансные датчики с чувствительностью к массам молекулярного уровня.

Как электрические элементы, мультистеночные углеродные нанотрубки могут проводить электроны и достигать высокой плотности тока — до  $10^7$  А·см<sup>-2</sup>. Электрические

свойства зависят от диаметра трубки, хиральности (степени закрученности), молекулярной структуры относительно оси трубки. И теоретические, и экспериментальные исследования показывают, что напряжение и изгиб могут вызывать искажения атомической структуры нанотрубки, что приводит к изменению сопротивления. Все это является базой для создания на основе CNT датчиков механического напряжения типа strain gauges.

Для исследования свойств углеродных нанотрубок применяется интеграция CNT в МЭМС, которые могут обеспечивать электрическое возбуждение и электрический интерфейс. Электростатические актюаторы могут использоваться для приложения сил и изгиба моментов этих наноструктур и для измерения сопротивления структуры. Датчики положения могут контролировать механическое возбуждение и также могут быть интегрированы.

Прямая интеграция CNT в МЭМС-устройства может дать следующее поколение нанопреобразователей для оценки механических нагрузок. Наноструктуры допускают самосборку, которая по сравнению с фотолитографическими средствами производства и этапами травления в будущем станет технологией, которая помогает значительно снизить сложность производства и цену.

Стандартная поверхностная микрообработка для производства подвешенного кремниевого моста включает порядка 14 этапов. В случае самособирающейся наноструктуры дополнительным техпроцессом является только производство участков катализатора как стартовых точек для роста нанотрубки.

Новые технологии производства по отношению к самосборке и использованию новых сенсорных принципов основываются на квантовых эффектах, что помогает преодолеть трудности в связи с миниатюризацией микросистем. Для того чтобы интегрировать наноструктуры в МЭМС на уровне пластины, охарактеризовать уровень исполнения, основываясь на статистических данных, обеспечить определенные электрические и механические интерфейсы наноструктур с микро- и макромирами, необходимы исследования. Эти исследования должны быть направлены на создание как датчиков, использующих преимущества малых размеров трубки для взаимодействия со структурами и поверхностями на молекулярном и атомическом уровне, так и датчиков для взаимодействия с макроскопическим окружением.

Возвратимся к обзору применений нанодатчиков в автомобильной промышленности. Углеродные нанотрубки могут использоваться, например, для создания датчиков давления шин [18]. Так считают, в частности, исследователи Рочестерского политехнического института (Rochester Polytechnic Institute, RPI), которые сравнительно недавно (в 2007 году) открыли, что при приложении нагрузки к блоку электрически заряженных нанотрубок

прослеживается линейное соотношение между нагрузочной массой и электрическим сопротивлением. Блок питается электрическим током, который передается через постоянное сопротивление, и, когда нагрузка прикладывается к блоку, электрическое сопротивление изменяется линейно в зависимости от механического напряжения, что оказывает эффект на выходное напряжение.

Блок CNT, который использовали для исследований ученые RPI, имел размеры  $2,9 \times 2,9 \times 3,4$  мм. Блок отличался высоким уровнем устойчивости к напряжениям (упругости). Он мог быть сжат до 45% от оригинального размера, при этом все еще поддерживалась линейность. Для каждой нагрузки размеры могут быть изменены.

CNT наращиваются в блок посредством обычных химических CVD-методов и являются чисто углеродной структурой, без добавления интегрированных полимеров или композитов. Их допустимый срок службы — большой, поэтому нет необходимости в их частом замещении. Это указывает на их пригодность для мониторинга давления в таких применениях, как контроль давления шин.

Но автомобильные применения измерения посредством CNT шире: это мониторинг состояния и функциональности двигателя, подушек безопасности, измерение ускорения.

Одно из применений CNT — мониторинг состояния масла двигателя, основанный на мультистеночных углеродных нанотрубках [19].

Изменение в проводимости масла двигателя согласно пробегу измеряется посредством датчика масла на CNT, в котором CNT печатаются между двумя параллельно выровненными электродами. Выход датчика сравнивается с числом Total Acid Number (TAN) для определения оставшегося полезного срока службы масла двигателя. Обнаружено, что выход датчика близок к TAN числу масла двигателя. Результатом исследований является факт, что датчик мониторинга масла в реальном времени может быть создан на основе использования CNT как чувствительных материалов.

Рекомендованные интервалы замены масла двигателя непрерывно повышаются, при этом эффективность двигателей повышается. Масло двигателя снижает трение, обеспечивает охлаждение, распределение давления, очистку. Но смазочные свойства и способность противостоять износу деградируют вследствие загрязнения во время использования, поэтому характеристики двигателя значительно снижаются.

Деградация состояния масла двигателя определяется различными физическими и химическими тестами параметров, такими как уровень вязкости, Total Acid Number (TAN), Total Base Number (TBN), включение топлива и воды, содержание металла, другими параметрами. TAN — важный параметр, который индицирует конец срока службы и степень окисления масла. TAN увеличивается по мере

использования, что оказывает влияние на электрохимическую активность и проводимость масла двигателя. Общий ток масла двигателя будет изменяться при фиксированном смещающем напряжении.

CNT датчик масла может оценивать окончание срока службы масла в реальном времени работы двигателя внутреннего сгорания. Чувствительные тонкие пленки могут выдержать максимальную температуру в 160 °С в течение нескольких часов.

В различных научных работах опубликованы данные об использовании CNT для измерения давления, расхода топлива, температуры, массы, положения, влажности, механического напряжения, концентрации, в качестве оптических, инфракрасно чувствительных, химических, биологических датчиков.

Следовательно, многие автомобильные датчики, например, расхода, массового расхода воздуха, давления, газа, температуры, химические датчики и микролометры могут быть реализованы и/или улучшены посредством CNT.

## Заключение

Обзор автомобильных сенсорных инноваций, представленный в данной статье, является свидетельством многоуровневого эволюционного развития данного рынка. Сотрудничество между производителями, работающими на разных уровнях, облегчает введение инноваций на автомобильный сенсорный рынок, благодаря которому разработчики технологий и устройств могут обеспечивать соответствие автомобильным спецификациям, а поставщики автомобильных систем могут использовать новые технические идеи и расширять круг сенсорных применений в новых автомобилях.

Хотя число сенсорных применений в автомобиле достигло сотни, на системном уровне достигнутые с их использованием преимущества только в малой степени осуществлены за счет увеличения в автомобиле количества устройств с печатными платами и автомобильными соединителями. Главными достижениями эволюции автомобильного сенсорного рынка являются меньшие, более чувствительные и более быстро срабатывающие, более функциональные, высокопроизводительные и точные, более надежные и менее подверженные жестким условиям эксплуатации устройства, цена которых (впрочем, как и потребляемая мощность, и количество проводов) с каждым годом снижается, а характеристики повышаются. ■

## Литература

1. Сысоева С. Топливная экономия/эффективность/экологичность — атрибуты новых автомобилей, двигателей и систем // Компоненты и технологии. 2009. № 12.
2. Сысоева С. Видеокамеры и слияние сенсорных данных в автомобильных системах безопасности/СПВ следующего поколения // Компоненты и технологии. 2009. № 5.
3. Сысоева С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. Часть 1. Новые технологии и применения датчиков автомобильных систем помощи водителю // Компоненты и технологии. 2006. № 8.
4. Сысоева С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. Часть 8. Батарейные датчики систем TPMS. Путь к высокоинтегрированным решениям // Компоненты и технологии. 2007. № 8.
5. Сысоева С. Автомобильные акселерометры. Часть 1. Автомобильные акселерометры — важнейший сегмент в конъюнктуре современного рынка автомобильных датчиков // Компоненты и технологии. 2005. № 8.
6. Сысоева С. Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. Часть 1. Состояние и перспективы рынка датчиков положения, скорости, датчиков концентрации кислорода (газа), массового расхода воздуха и давления // Компоненты и технологии. 2006. № 7.
7. Сысоева С. Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. Часть 2. О датчиках температуры и обо всех остальных // Компоненты и технологии. 2006. № 8.
8. Сысоева С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. Часть 4. Инфракрасные тепловые камеры // Компоненты и технологии. 2006. № 11.
9. Сысоева С. Автомобильные гироскопы // Компоненты и технологии. 2007. № 1.
10. Сысоева С. Автомобильные датчики давления. Эволюция технологий для массовых применений MAP/BAP // Компоненты и технологии. 2008. № 2.
11. Сысоева С. МЭМС-технологии. Простое и доступное решение сложных системных задач // Электроника. Наука, Технология, Бизнес. 2009. № 7.
12. Сысоева С. Магнитоуправляемые, MEMS и мультисенсорные датчики движения 2009 года — функциональнее, точнее, миниатюрнее предшественников // Компоненты и технологии. 2007. № 8.
13. Allan R. Automotive Sensors Tap Into Emerging Technologies. ED Online ID #20702. Feb 19, 2009. <http://electronicdesign.com/Articles/Index.cfm?AD=1&ArticleID=20702>
14. SiC MEMS Pressure Sensors: Technology, Applications and Markets. June 2008. <http://nasash.com/blog/sic-mems-pressure-sensors-technology-applications-and-markets>
15. Pressure Measurement in Combustion Engines. [http://www-mat.ee.tu-berlin.de/research/sic\\_sens/sic\\_sen3.htm](http://www-mat.ee.tu-berlin.de/research/sic_sens/sic_sen3.htm)
16. Allan R. Carbon nanotubes promise a simple approach to making gas sensors. [http://www.smalltimes.com/display\\_article/341048/109/ARCHI/none/none/1/Carbon-nanotubes-promise-a-simple-approach-to-making-gas-sensors](http://www.smalltimes.com/display_article/341048/109/ARCHI/none/none/1/Carbon-nanotubes-promise-a-simple-approach-to-making-gas-sensors)
17. Hierold Ch. J. From micro- to nanosystems: mechanical sensors go nano. Micromech. Microeng. 14 (2004) S1–S11. <http://www.micromavt.ethz.ch/publications/Hierold2004>
18. Snyder S. Carbon Nanotubes Used as Pressure Sensors. Design News, October 26, 2007. [http://www.designnews.com/article/4806-Carbon\\_Nanotubes\\_Used\\_as\\_Pressure\\_Sensors.php](http://www.designnews.com/article/4806-Carbon_Nanotubes_Used_as_Pressure_Sensors.php)
19. Seung-II Moon et. al. Multiwall Carbon Nanotube Sensor for Monitoring Engine Oil Degradation. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1795599>