



## MEMS-технология на страже безопасности Новые микросхемы датчиков STMicroelectronics

**Александр Бородулин**, инженер по применению микроконтроллеров компании «ПетроИнТрейд»  
alexander.borodulin@msk.petrointrade.ru

**Сохранность человека и его имущества — одна из главных задач, решением которых занимается современная электронная техника, устанавливая новые требования к системам безопасности. Данный обзор посвящен использованию в таких системах цифровых датчиков, выполненных по технологии MEMS. Они, будучи сверхкомпактными, высокоинтегрированными устройствами, предоставляют разработчикам целый ряд уникальных возможностей. А бесспорным лидером в производстве таких компонентов является швейцарская компания STMicroelectronics.**

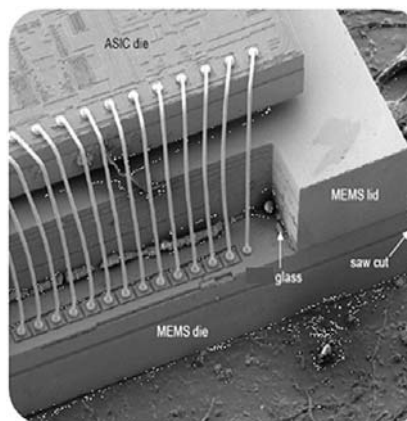
Как сделать так, чтобы владельцу имущества стало известно обо всех физических перемещениях объекта? Как обеспечить контроль положения и вибраций дверей, люков, перекрытий, стен, окон и т. д.? Как реализовать кодовую наборную панель на сплошном листе стали? Как определить, что вы уже не спускаетесь в лифте, а летите вниз? Юмор юмором, а момент определения подобного события должен происходить как можно раньше. Хорошую работу систем безопасности можно выразить одной фразой: «Вы даже не почувствуете».

### Миниатюрность и самотестирование

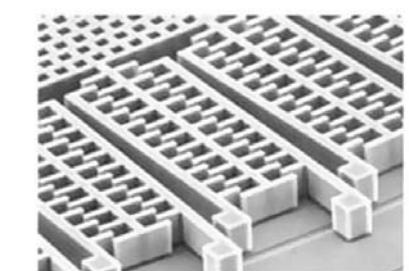
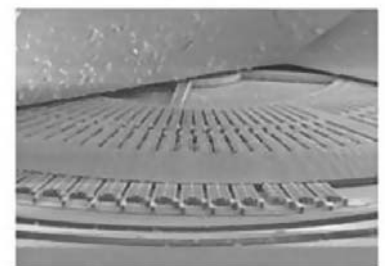
Вышеперечисленные функции можно с успехом реализовать с применением интегральных датчиков линейных ускорений и угловых скоростей — MEMS (микроэлектромеханических систем). Мировым лидером в производстве подобных устройств является STMicroelectronics. Продукцию этой компании выделяет широта ассортимента выпускаемых MEMS-микросхем, низкая цена и набор технических параметров датчиков, идеальный для приложений безопасности. На данный момент портфель MEMS-решений STMicroelectronics содержит: 20 аксе-

лерометров, 18 гироскопов, инерциальный модуль типа «система в корпусе», цифровой компас и несколько функциональных сенсоров. MEMS-микросхемы содержат миниатюрные объемные (3D) кремниевые структуры, которые могут перемещаться за счет гибкого подвеса в нескольких точках. Эти структуры при своем движении меняют параметры электрических цепей. Движения в свою очередь зависят от перемещений самой микросхемы. Это позволяет количественно измерять линейные ускорения и угловые перемещения корпуса микросхем благодаря существованию

законов Ньютона и силы Кориолиса. Попросту говоря, в системах MEMS двигаются не только электроны, но и сами части интегральной микросхемы. Благодаря тому, что сенсорные структуры формируются в процессе микроэлектронного производства кристалла, достигаются высокая чувствительность, низкий шум и стабильность параметров во времени и по температуре. Как это выглядит под микроскопом, демонстрируют рис. 1 и 2. Внутри компонент состоит из трех слоев: сама MEMS-структура, защитная крышка и кристалл управляющей схемы на ней. Существует возможность выработки внутренних эталонных воздействий на сенсорные структуры. Это обеспечивает возможность самотестирования MEMS без физических перемещений самой микросхемы датчика, то есть уже после установки на плату или в при-



● Рис. 1. Внутреннее строение MEMS-датчика. Фото с большим увеличением



● Рис. 2. Внешний вид MEMS-структуры. Фото с большим увеличением

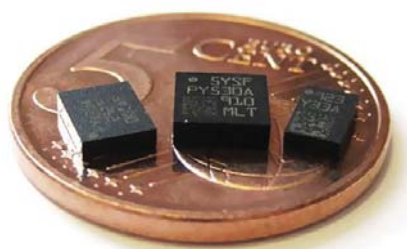


Рис. 3. Габариты MEMS-датчиков движения STMicroelectronics

ложения. Благодаря современным нанотехнологиям корпус датчиков MEMS миниатюрен настолько, что это позволяет говорить о применении их в приложениях, требующих скрытности и незаметности. Оценить габариты MEMS-акселерометров можно, взглянув на рис. 3.

MEMS-датчики разделяются по наличию цифровой части. Часть из них имеет аналоговый сигнал на выходе, а часть — цифровой. Таким образом, доступно применение этих компонентов и в чисто аналоговых схемах (например, в простых извещателях) и в схемах с цифровой обработкой сигнала (например, в умных беспроводных датчиках, объединяемых в систему).

Итак, что же отличает современные MEMS-решения от традиционных датчиков вибрации или положения в пространстве? Выделим самое основное:

- наличие шкалы (оценка воздействия);
- миниатюрность и малый вес (скрытность и незаметность);
- наличие самопроверки, высокая стрессоустойчивость (жизнеспособность);
- цифровая технология (помехоустойчивость, универсальность);
- низкое энергопотребление (автономность);
- высокая стабильность параметров (не требуют обслуживания);
- низкая стоимость.

### Возможности применения

Преимущества MEMS-датчиков над традиционными в свете использования их в системах безопасности очевидны. А возможные их применения можно перечислять долго.

В автомобильных приложениях эти компоненты используют в противоугонных системах, навигационных приборах, системах курсовой устойчивости и помо-

щи водителю, корректорах фар, датчиках вибрации, системах адаптации подвески, регистраторах событий и «черных ящиках», подушках безопасности, приборах безопасности для грузоподъемной техники и многих других.

В приложениях безопасности для зданий и сооружений MEMS-микросхемы находят применение в датчиках опасных вибраций и пространственных положений, грузоподъемных и лифтовых системах, изолирующих панелях доступа, детекторах присутствия, датчиках скоростей вращения и поворота, инклинометрах, барометрических датчиках, звуковых датчиках и других.

В приложениях безопасности предметов, имущества и людей MEMS используют для определения событий ударов и свободных падений, неправильного складирования, перемещения и движения охраняемых объектов, уравнивания грузовых и транспортных платформ, шагомерах и пульсомерах и других.

### Обзор новинок

Номенклатура акселерометров STMicroelectronics с разбивкой по типам представлена на рис. 4, линейка

AEC-Q100	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">AIS226DS (2 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> <td rowspan="10" style="background-color: #ffffcc; text-align: center; vertical-align: middle;">Двухосные</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI, Sleep 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">SO16W</td> </tr> </table>	AIS226DS (2 оси)		Цифровой выход	Двухосные	SPI, Sleep 2/6g	SO16W	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS244ALH (2 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 4×4×1,6 мм</td> </tr> </table>	LIS244ALH (2 оси)		Аналоговый выход	Analog 2/6g	LGA-16 4×4×1,6 мм					
	AIS226DS (2 оси)		Цифровой выход			Двухосные												
	SPI, Sleep 2/6g	SO16W																
	LIS244ALH (2 оси)		Аналоговый выход															
	Analog 2/6g	LGA-16 4×4×1,6 мм																
		<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS344ALH (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog, Sleep 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 4×4×1,5 мм *</td> </tr> </table>	LIS344ALH (3 оси)				Аналоговый выход	Analog, Sleep 2/6g	LGA-16 4×4×1,5 мм *	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS344AL (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog 3.5g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 4×4×1,5 мм *</td> </tr> </table>	LIS344AL (3 оси)		Аналоговый выход	Analog 3.5g	LGA-16 4×4×1,5 мм *			
	LIS344ALH (3 оси)		Аналоговый выход															
	Analog, Sleep 2/6g	LGA-16 4×4×1,5 мм *																
	LIS344AL (3 оси)		Аналоговый выход															
	Analog 3.5g	LGA-16 4×4×1,5 мм *																
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS3025G (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog, Sleep 2g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-14 3×5×1 мм</td> </tr> </table>	LIS3025G (3 оси)		Аналоговый выход	Analog, Sleep 2g		LGA-14 3×5×1 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS341AL (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog, Sleep 2g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм</td> </tr> </table>	LIS341AL (3 оси)		Аналоговый выход	Analog, Sleep 2g	LGA-16 3×3×1 мм					
LIS3025G (3 оси)		Аналоговый выход																
Analog, Sleep 2g	LGA-14 3×5×1 мм																	
LIS341AL (3 оси)		Аналоговый выход																
Analog, Sleep 2g	LGA-16 3×3×1 мм																	
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS352AR/AX (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog, Sleep 2g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-14 3×5×1 мм</td> </tr> </table>	LIS352AR/AX (3 оси)		Аналоговый выход	Analog, Sleep 2g	LGA-14 3×5×1 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS332AR/AX (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Аналоговый выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">Analog, Sleep 2g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм</td> </tr> </table>	LIS332AR/AX (3 оси)		Аналоговый выход	Analog, Sleep 2g	LGA-16 3×3×1 мм						
LIS352AR/AX (3 оси)		Аналоговый выход																
Analog, Sleep 2g	LGA-14 3×5×1 мм																	
LIS332AR/AX (3 оси)		Аналоговый выход																
Analog, Sleep 2g	LGA-16 3×3×1 мм																	
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS3LV02DL (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 7,5×4,4×1 мм</td> </tr> </table>	LIS3LV02DL (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	LGA-16 7,5×4,4×1 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS3DH (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, LP, Sleep 2/4/8/16g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм</td> </tr> </table>	LIS3DH (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, LP, Sleep 2/4/8/16g	LGA-16 3×3×1 мм	Трехосные					
LIS3LV02DL (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	LGA-16 7,5×4,4×1 мм																	
LIS3DH (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, LP, Sleep 2/4/8/16g	LGA-16 3×3×1 мм																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">AIS326DQ (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">QFPN-28 7×7×1,8 мм</td> </tr> </table>	AIS326DQ (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	QFPN-28 7×7×1,8 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS3LV02DQ (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">QFPN-28 7×7×1,9 мм</td> </tr> </table>	LIS3LV02DQ (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	QFPN-28 7×7×1,9 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS35DE (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/8g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-14 3×5×0,9 мм</td> </tr> </table>		LIS35DE (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-14 3×5×0,9 мм
AIS326DQ (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	QFPN-28 7×7×1,8 мм																	
LIS3LV02DQ (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	QFPN-28 7×7×1,9 мм																	
LIS35DE (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-14 3×5×0,9 мм																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">AIS328DQ (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/6g</td> <td style="background-color: #cccccc;">QFPN-24 4×4×1,8 мм</td> </tr> </table>	AIS328DQ (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	QFPN-24 4×4×1,8 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS302DL (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/8g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-14 3×5×0,9 мм *</td> </tr> </table>	LIS302DL (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-14 3×5×0,9 мм *	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS33DE (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/8g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм</td> </tr> </table>	LIS33DE (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-16 3×3×1 мм	
AIS328DQ (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/6g	QFPN-24 4×4×1,8 мм																	
LIS302DL (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-14 3×5×0,9 мм *																	
LIS33DE (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-16 3×3×1 мм																	
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS302DLH (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/4/8g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-14 3×5×0,9 мм *</td> </tr> </table>	LIS302DLH (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/4/8g	LGA-14 3×5×0,9 мм *	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS331DLF/M/H (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, LP, Sleep 2/4/8g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм *</td> </tr> </table>	LIS331DLF/M/H (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, LP, Sleep 2/4/8g	LGA-16 3×3×1 мм *						
LIS302DLH (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/4/8g	LGA-14 3×5×0,9 мм *																	
LIS331DLF/M/H (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, LP, Sleep 2/4/8g	LGA-16 3×3×1 мм *																	
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS331DL (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, Sleep 2/8g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм</td> </tr> </table>	LIS331DL (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-16 3×3×1 мм	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LIS331HH (3 оси)</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Цифровой выход</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffcc99;">SPI/I<sup>2</sup>C, LP, Sleep 6/12/24g</td> <td style="background-color: #cccccc;">LGA-16 3×3×1 мм</td> </tr> </table>	LIS331HH (3 оси)		Цифровой выход	SPI/I <sup>2</sup> C, LP, Sleep 6/12/24g	LGA-16 3×3×1 мм						
LIS331DL (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, Sleep 2/8g	LGA-16 3×3×1 мм																	
LIS331HH (3 оси)		Цифровой выход																
SPI/I <sup>2</sup> C, LP, Sleep 6/12/24g	LGA-16 3×3×1 мм																	

Рис. 4. Номенклатура акселерометров STMicroelectronics

\* Рекомендуемые продукты

гироскопов — на рис. 5. Номенклатура постоянно обновляется, появляются новые MEMS-датчики, расширяя ареал их возможного применения. К примеру, цифровой трехосный гироскоп L3G4200D(H) обладает весьма высокой чувствительностью  $8,75 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ/\text{с}/\text{значение}$  при выбранном диапазоне  $250 \text{ }^\circ/\text{с}$  и низким собственным шумом порядка  $0,03 \text{ }^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$ . Это позволяет использовать его в сложных охранных системах, как в автомобиле, так и в зданиях или ответственных приборах.

В портативных навигационных системах используют MEMS-датчик LSM303DLH, содержащий трехосный акселерометр и трехосный магнетометр. Первый необходим для увеличения точности определения геокоординат, так как позволяет совместить спутниковую и инерциальную навигацию, а второй —

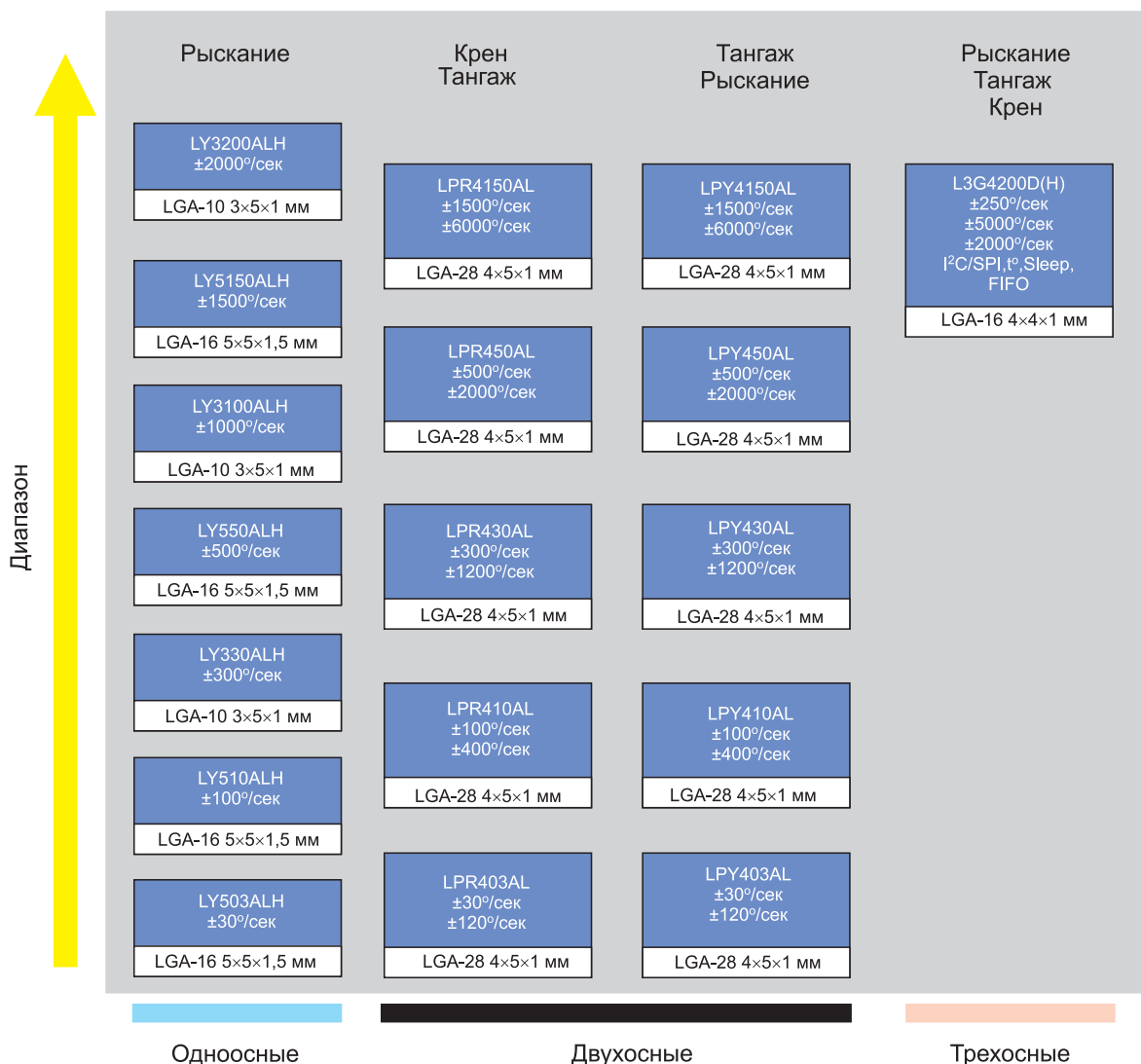
для ориентирования по магнитному полю Земли. LSM303DLH также может быть использован в приборах безопасности для детектирования силы и направленности магнитных полей. Диапазон измеряемой индукции магнитного поля достигает  $\pm 8$  гаусс. Выпускается также комбинированный датчик трехосного акселерометра и двухосного гироскопа LSM320HAY30, который в основном предназначен для систем отслеживания пространственного движения в робототехнике, промышленности и пользовательских интерфейсах. Такие микросхемы также используются для интеллектуального управления энергопотреблением портативных ручных устройств.

Микроминиатюрные датчики звука разбитого стекла, звукового присутствия, превышения звукового давле-

ния можно легко реализовать на новой микросхеме MP45DT01. Это интегральный всенаправленный цифровой микрофон в корпусе HLGA 6LD габаритами  $5 \times 4 \times 1$  мм. Размеры этого корпуса можно оценить на рис. 6.

В приборах, для которых необходимо отслеживать положение по отношению к поверхности земли (например, контроль опрокидывания), применяется простой MEMS-датчик FC30 в корпусе LGA-14 размером  $3 \times 5 \times 0,9$  мм. Это устройство способно определять 6 различных положений по отношению к полю гравитации и выдавать соответствующие логические сигналы. Кроме того, оно может детектировать одиночный или двойной стук, заменяя кнопку в некоторых приложениях.

Готовится к выпуску новый цифровой абсолютный барометрический MEMS-



● Рис. 5. Номенклатура гироскопов STMicroelectronics



● Рис. 6. Габариты MEMS-микрофонов STMicroelectronics

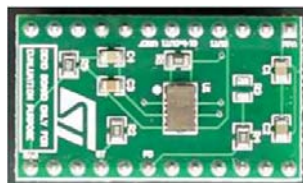
датчик LPS001x, который будет обладать низким энергопотреблением (190 мкА в рабочем режиме). Диапазон измеряемого давления — 300–1100 мбар с разрешающей способностью до 0,1 мбар. Использование такого устройства позволит разрабатывать миниатюрные и недорогие сенсоры для приборов контроля герметичности помещений, систем предупреждения о непогоде и так далее.

### Все для разработки

STMicroelectronics предлагает средства для ознакомления с MEMS-датчиками. Из них хочется выделить особо плату STEVAL-MKI109V1. Плата, представленная на рис. 7, имеет на борту 32-разрядный ARM Cortex-M3 микроконтроллер STM32, подключается к персональному компьютеру через USB-порт. Допускает перепро-

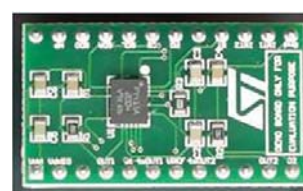


● Рис. 7. Универсальная плата STEVAL-MKI109V1

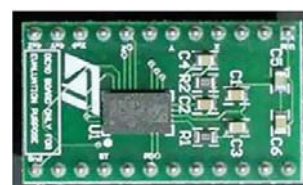


● Рис. 8. Плата расширения STEVAL-MKI074V1

шивку МК через USB и совместима со всеми платами расширения для различных акселерометров и гироскопов, имеющими и стандартный DIL24 socket. Полный список таких плат приведен на странице в Интернете: <http://www.st.com/internet/evalboard/subclass/1116.jsp>, а их внешний вид отражен на рис. 8–10. STMicroelectronics предоставляет бесплатно драйверы, прошивку и графический интерфейс пользователя для быстрого старта разработки.



● Рис. 9. Плата расширения STEVAL-MKI082V1



● Рис. 10. Плата расширения STEVAL-MKI093V1

Передовые технологии производства датчиков движения позволяют решить старые вопросы обеспечения безопасности на новом уровне. Охранные системы, построенные на современной технологической базе, обеспечивают хорошую оценку воздействий, скрытность и незаметность, высокую живучесть и помехоустойчивость. Такие системы универсальны в применении, могут долгое время работать от химических источников питания и не нуждаются в периодическом обслуживании. ■