

МЭМС-гироскопы и акселерометры Silicon Sensing: английские традиции, японские технологии

Александр БЕКМАЧЕВ,
к. т. н.
sensor@ranet.ru

Статья посвящена инерциальным датчикам и измерительным системам совместного предприятия Silicon Sensing Systems Ltd., которые применяются для задач стабилизации и управления подвижными объектами, а также в пилотажном и навигационном оборудовании.

История

Компания Silicon Sensing Systems Ltd. была образована в 1999 году в Плимуте, Великобритания, как совместное предпри-

ятие BAE Systems UK и Sumitomo Precision Products (SPP, Амагасаки, Япония).

К тому времени британский партнер имел весьма внушительное генеалогическое древо. История компании началась в 1913 году,

когда в лондонском районе Пимлико на мощностях фабрики Sperry Gyroscope Company Limited было налажено производство гироскопических приборов для нужд Британского королевского флота (рис. 1). Одной из первых

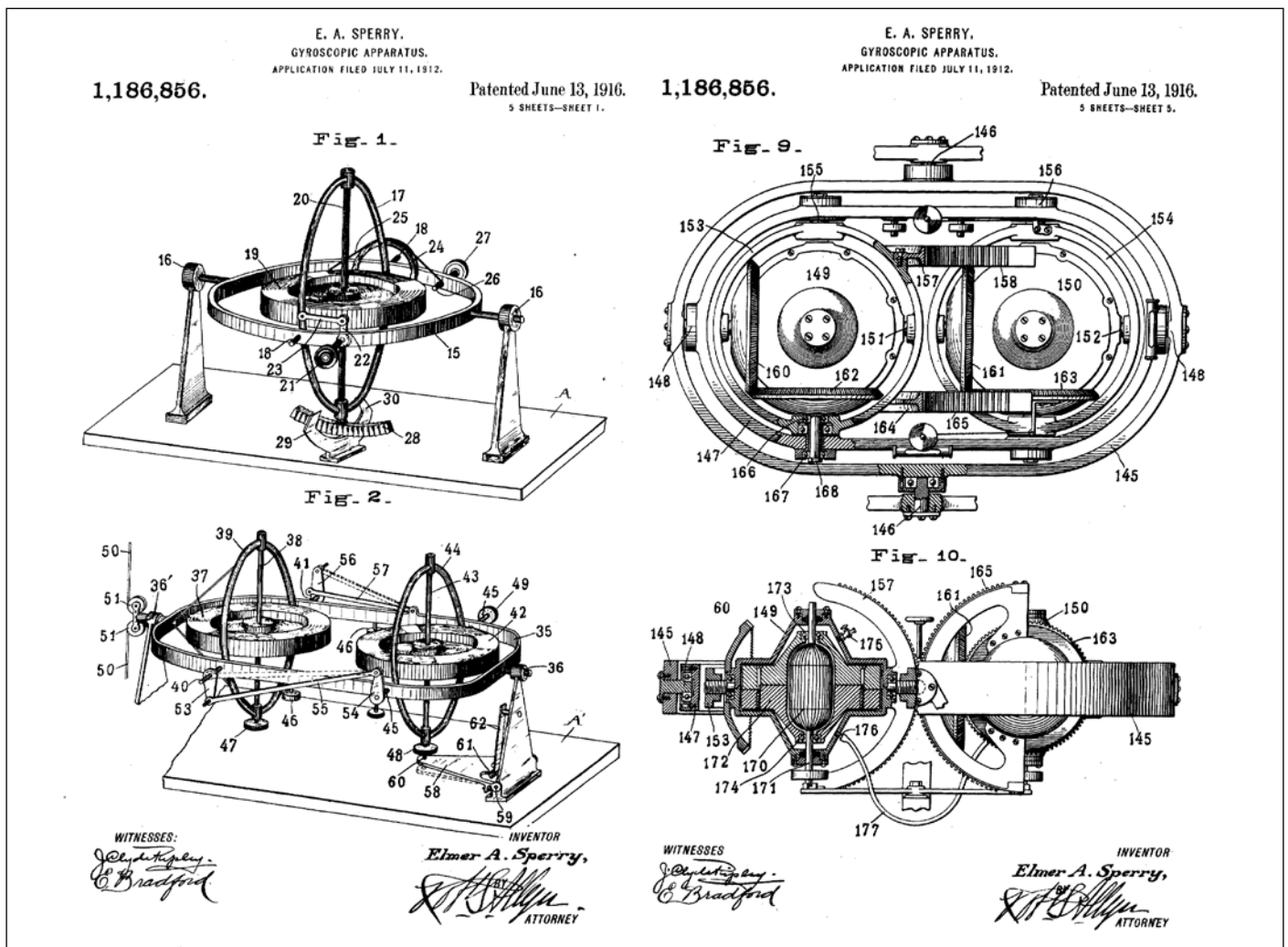


Рис. 1. Ранние модели гироскопов Sperry (источник: патент US1186856)

серийных моделей, поставленных на поток в преддверии Первой мировой войны, стал гирокомпас МК1 конструкции инженера и изобретателя Элмера Сперри. Гирокомпасы и «механические рулевые» — автопилоты Metal Mike фирмы Sperry в ощутимых количествах применялись и на кораблях Российского императорского флота.

Другие «прародители», обеспечившие компании значимое положение среди разработчиков и поставщиков оборудования для морских и авиационных систем навигации, — Kearfott, Singer, Plessey, GEC Marconi, British Aerospace. В настоящее время половиной активов совместного предприятия владеет UTC Aerospace Systems, в состав которой последовательно вошли Atlantic Inertial Systems и Goodrich.

Японский партнер SPP с начала 1960-х гг. также является одним из ключевых поставщиков национальной авиационной индустрии, владеет современными технологическими процессами и оборудованием для разработки и производства МЭМС-компонентов. Его собственные производственные мощности приближаются к 130 000 м², а штат сотрудников достигает почти 1500 человек.

Эволюция технологий

Silicon Sensing традиционно применяет для своих гироскопов кольцевые чувствительные элементы вибрационного типа. Первоначально это были сравнительно крупные и массивные цилиндрические керамические роторы с металлизацией на внешней поверхности — поколение VSG1, 1985 год. Тем не менее для своей эпохи микромеханическая конструкция была довольно прогрессивной. В 1995 году на смену керамике пришло металлическое кольцо поколения VSG2.

Настоящий прорыв случился после того, как в 1998-м появился первый достаточно стабильный чувствительный элемент индукционного типа, выполненный по технологии МЭМС, — VSG3. Диаметр кольца — 6 мм, толщина кремниевой структуры — 100 мкм, ширина каждого подвеса Z-образной ножки — 60 мкм, на подвесе уместается три токопроводящие дорожки (рис. 2).

У поколения VSG3 оказался значительный потенциал для модернизации. Несмотря на то, что с 2001 года на базе этой технологии выпущено более 20 млн высокостабильных гироскопов семейства CRS с чувствительными головками SGH01 и SGH02, новейшие модели, такие как SGH03, используют ту же базовую технологию, но обеспечивают в несколько раз более высокую стабильность и устойчивость к температурным воздействиям. Минимальный размер такого гироскопа в плане — 22×22 мм, герметичный металлический корпус, в котором кроме чувствительного элемента содержится контур возбуждения и формирования выходного



Рис. 2. Внешний вид чувствительного элемента поколения VSG3

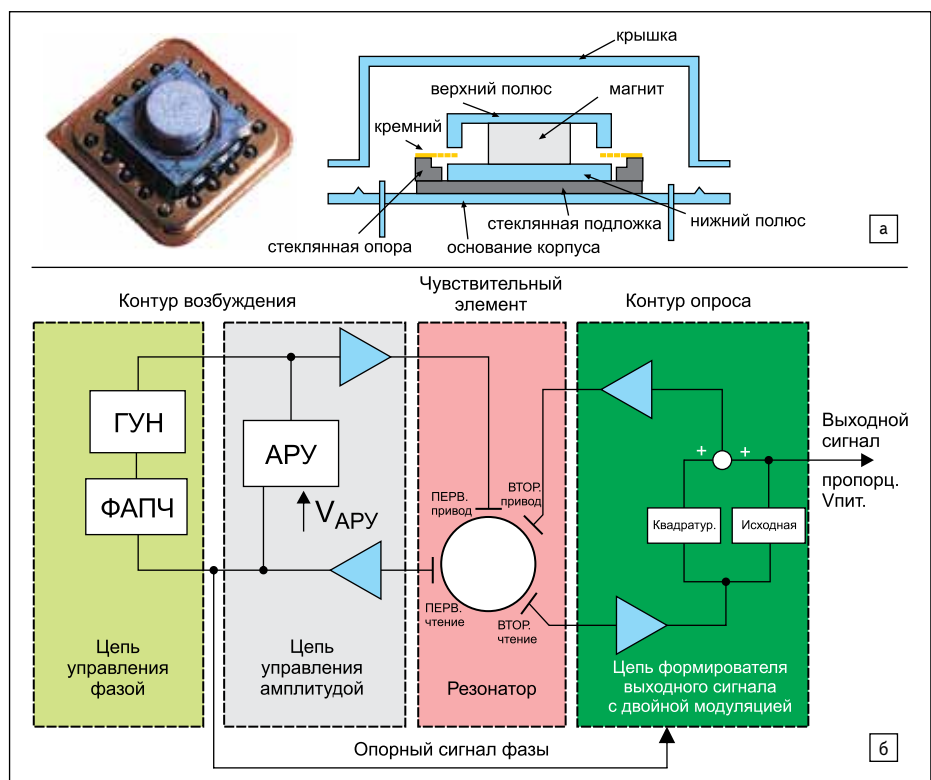


Рис. 3. Гироскоп семейств CRS, CRH, SiRRS: а) конструкция; б) блок-схема

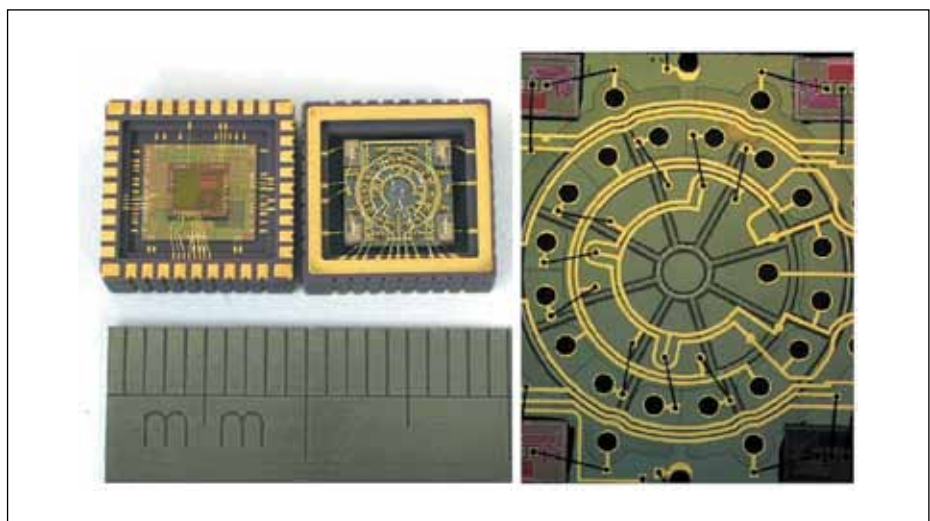


Рис. 4. Внешний вид гироскопа CRG20 без крышек

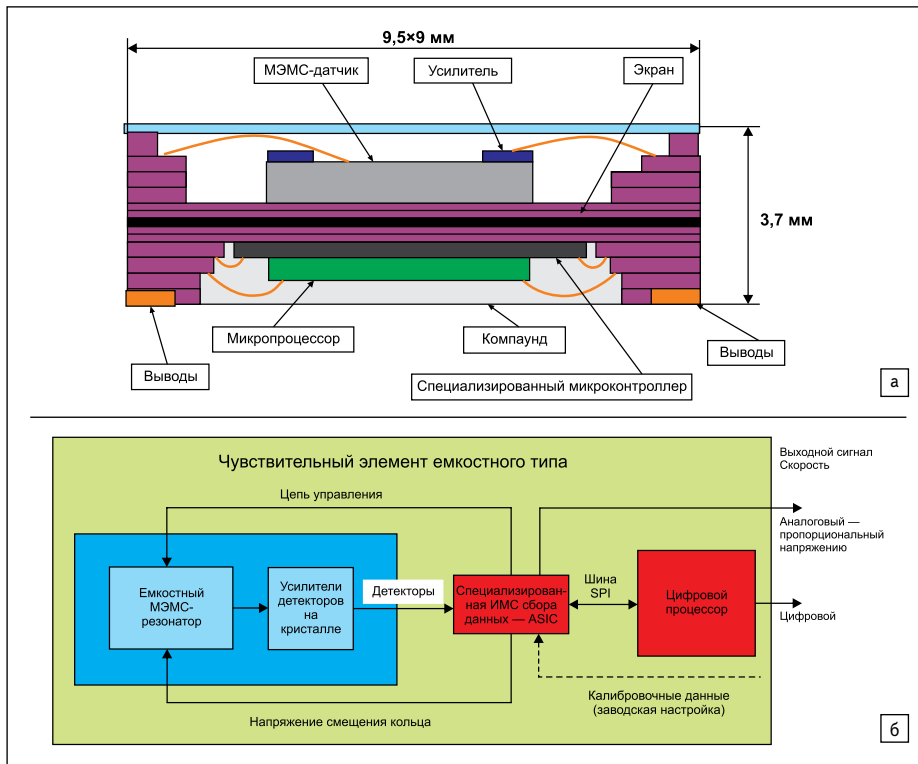


Рис. 5. Гироскоп семейства CRG20: а) конструкция; б) блок-схема

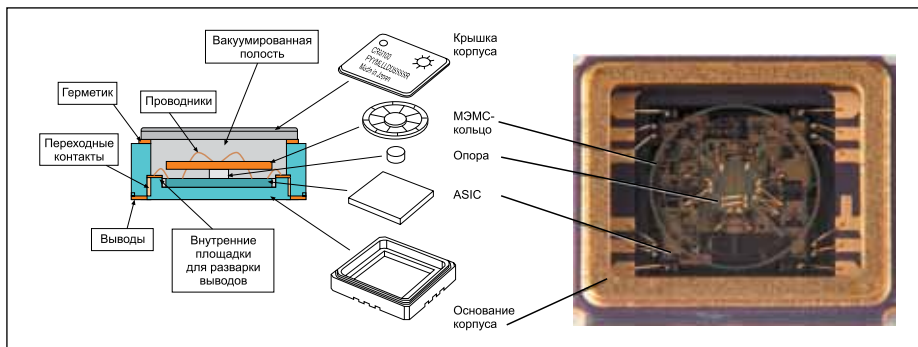


Рис. 6. Конструкция гироскопа семейства CRM

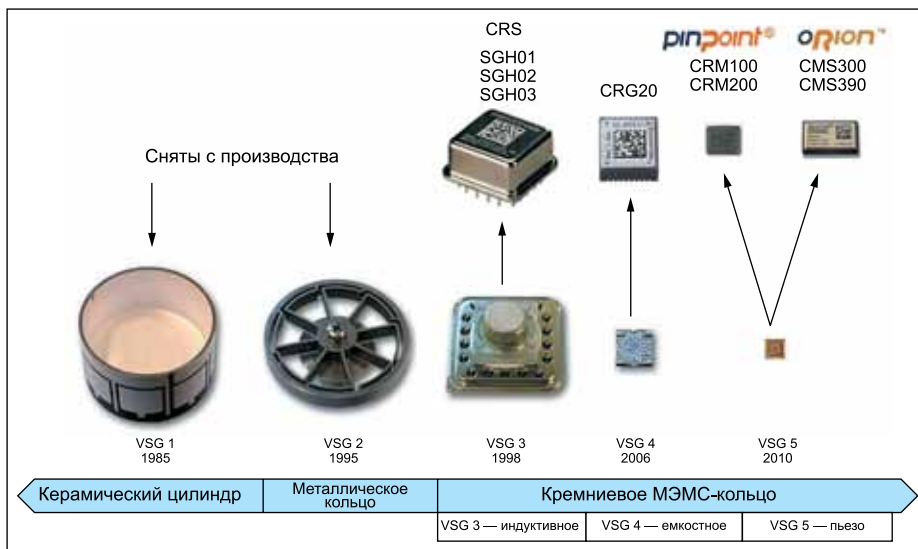


Рис. 7. Эволюция гироскопов Silicon Sensing

аналогового сигнала, позволяет применять прибор в условиях различных внешних воздействий в расширенном диапазоне температур (рис. 3).

В 2006 году потребители получили гироскопы очередного поколения — VSG4, на этот раз с вибрирующим кольцом емкостного типа. Элемент теперь помещался в 36-выводном металлокерамическом корпусе, предназначенном для автоматизированного поверхностного монтажа. Так, наиболее известный гироскоп данного семейства CRG20 (рис. 4) занимал уже в 20 раз меньший объем в приборном отсеке по сравнению с самыми компактными гироскопами CRS.

Повысилась вибрационная стойкость, расширился диапазон измеряемых угловых скоростей, благодаря встроенному специализированному микроконтроллеру (рис. 5а) и формирователю шины у пользователя появилась возможность получать не только аналоговый, но цифровой сигнал SPI.

Новейшее поколение VSG5 представлено в 2010 году. Пьезокерамический чувствительный элемент диаметром 3 мм и схему управления и формирования сигнала удалось уместить в более компактном металлокерамическом корпусе, в очередной раз увеличилась вибрационная и ударная стойкость, расширилась полоса пропускания, уменьшились собственные шумы, появилась возможность измерять угловые скорости до 1200–2700°/с. Существенным новшеством стало наличие в семействе PinPoint CRM (рис. 6) и Orion CMS нескольких типов корпусов с различным положением чувствительного элемента — с поворотом на 90° или 30°, что позволило потребителю легко формировать прямо на печатной плате многокомпонентные сборки без применения дополнительных адаптеров. Немаловажное преимущество новых моделей — снижение в несколько раз цены гироскопа по сравнению с предыдущим поколением. К настоящему времени потребителям отгружено около 1 млн штук гироскопов поколения VSG5.

На рис. 7 приведены сравнительные размеры чувствительных элементов поколений VSG1–VSG5 и гироскопов на их основе.

Производство и рынки

Гироскопы

Опыт показывает, что для решения конкретной технической задачи основными критериями при выборе гироскопа являются следующие параметры: диапазон измеряемых угловых скоростей, ширина полосы пропускания и уровень собственных шумов, тип интерфейса — аналоговый или цифровой, цена с учетом совокупных технических характеристик. Анализ линейки продукции и статистика продаж подтверждают, что Silicon Sensing успешно конкурирует на многих рынках благодаря грамотной технической и ценовой политике.

Недорогие массовые изделия

Это рынок, на который идеально «настроены» гироскопы PinPoint CRM100/CRM200, CRM120, их вибростойкие версии CRM102/CRM202, а также гибридные сборки Orion CMS300/CMS390. Внешний вид гироскопов CRM100, CRM102, CRM200, CRM202 показан на рис. 8.

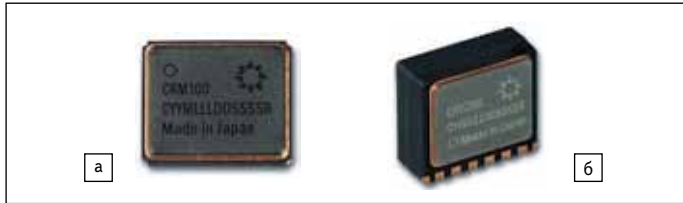


Рис. 8. Внешний вид гироскопов: а) CRM100, CRM102; б) CRM200, CRM202

Особенности гироскопов: миниатюрные, малопотребляющие, имеют невысокие собственные шумы, наличие двух типов корпусов для создания ортогональных трехосевых комплектов, устанавливаемые пользователем полосу пропускания и диапазон угловых скоростей, возможность конфигурации для работы с аналоговым или цифровым выходным сигналом, высокая устойчивость к ударам и вибрации.

Основные области применения:

- курсовертикали для малой авиации;
- автомобильные системы стабилизации и курсовой устойчивости;
- дистанционно управляемые модели вертолетов;
- автономные напольные транспортные тележки;
- измерительное оборудование;
- ручной и стационарный электроинструмент;
- системы распознавания жестов;
- персональные системы навигации и ориентирования в сочетании с глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС);
- системы стабилизации антенн, камер и подвесов.

Гироскопы PinPoint на протяжении многих лет применяются в системах управления знаменитых электросамокатов Segway, а также в некоторых серийных изделиях российских предприятий.

Для ускорения ОКР и интеграции гироскопов в новые изделия Silicon Sensing выпускает макетные платы 400046-0100, 400046-0200, 400046-0300 (рис. 9) с установленными гироскопами, электронными компонентами, переключателями для формирования различных режимов работы и готовыми контактными площадками для подключения к внешним интерфейсам. Очень часто потребители используют такие платы в качестве OEM-компонентов для встраивания в собственные изделия.

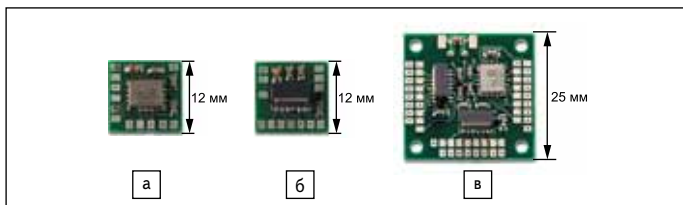


Рис. 9. Внешний вид макетных плат: а) 400046-0100; б) 400046-0200; в) 400046-0300



Рис. 10. Внешний вид гироскопа семейства CRG20

Средний ценовой диапазон, серийные изделия

Здесь безусловным лидером является семейство гироскопов CRG20 (рис. 10) и инерциальный измерительный модуль на их основе DMU02.

Основные параметры: миниатюрные, сравнительно недорогие, оснащенные аналоговыми и цифровыми интерфейсами, высокостабильные,

Таблица 1. Основные характеристики гироскопов PinPoint и макетных плат

Характеристики	PinPoint CRM100, CRM102	PinPoint CRM200, CRM202
Тип корпуса/Размер, мм	LCC17/5,7×4,8×1,2	LCC18/6,3×5,5×2,7
Способ подключения	пайка	
Дрейф нуля (систематическая ошибка), °/ч	24–40; 80	
Диапазон измерений, °/с	SPI	±75; ±150; ±300; ±900; ±1200; ±2700
	аналоговый	
Дрейф нуля на температурном диапазоне, °/с	SPI	±3
	аналоговый	
Случайный угловой уход, °/√ч	0,28	
Чувствительность (масштабный коэффициент)	SPI, LSB/°/с	96; 48; 24; 8
	аналоговый, мВ/°/с	[0,012; 0,006; 0,003; 0,001] × Vdd/3 В/°/с
Температурное смещение чувствительности, %	SPI	±1–3; 36
	аналоговый	
Нелинейность чувствительности, %	SPI	0,16–0,2
	аналоговый	0,06–0,2
Собственный шум (СКЗ), °/с	SPI	0,018–0,025
Полоса пропускания, Гц	5–160	
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+105; –20...+85	
Стойкость к ударам, g	500 (1 мс)/10 000 (0,1 мс)	
Стойкость к вибрации (СКЗ), g	12 (в полосе 10–5000 Гц)	
Время включения, с	0,25–1	
Напряжение питания, В	2,7–3,6	
Потребляемый ток, мА	5	
Вес, г	0,1	
Макетные платы	400046-0100 (CRM100), 400046-0200 (CRM200), 400046-0300 (CRM100 и 2×CRM200)	

прошедшие индивидуальную калибровку в заводских условиях для работы в расширенном диапазоне температур.

Области применения:

- недорогая авионика — курсовертикали и пр.;
- автомобильные регистраторы параметров движения и системы навигации;
- дистанционно управляемые модели вертолетов;
- беспилотные летательные и подводные аппараты;
- телеуправляемые наземные транспортные механизмы;
- измерительное и указательное оборудование;
- ручной и стационарный электроинструмент;
- системы распознавания жестов;
- персональные системы навигации и ориентирования в сочетании с ГНСС;
- системы стабилизации антенн, камер и подвесов;
- управление кранами, погрузчиками, сельскохозяйственной техникой и навесными приспособлениями для нее;
- полигонное оборудование для испытания транспортных средств;
- тракторные регистраторы, автопилоты;
- биомеханические исследования.

Для гироскопов семейства CRG20 доступны не только макетные платы CRG20-xx-0300 (рис. 11а), но и полноценные отладочные наборы USB01-00-0100 (рис. 11б) с преобразователем интерфейса и программным обеспечением для комфортной работы в среде Windows.

Различные модификации CRG20 (табл. 2), как и инерциальный модуль DMU02, имеют стабильный сбыт на территории России.



Рис. 11. а) Макетная плата CRG20-xx-0300; б) отладочный набор USB01-00-0100

Таблица 2. Основные характеристики гироскопов семейства CRG20 и отладочных средств для них

Характеристики		CRG20-01 CRG20-02 CRG20-22	CRG20-12
Тип корпуса/Размеры, мм		LCC36/9,5×9×3,4	
Способ подключения		пайка	
Дрейф нуля (систематическая ошибка), °/ч		5	
Диапазон измерений, °/с	SPI	±300	±800
	аналоговый	±75; ±300	
Дрейф нуля на температурном диапазоне, °/с	SPI	<±0,4	±2,5
	аналоговый	<±1	—
Случайный угловой уход, °/√ч		0,3	0,5–1
Чувствительность (масштабный коэффициент)	SPI, LSB/°/с	32	
	аналоговый, мВ/°/с	26,67; 6,67	2,5
Температурное смещение чувствительности, %	SPI	<±0,7	±2
	аналоговый	±0,9	—
Нелинейность чувствительности, %	SPI	<±0,06	±0,15
	аналоговый	<±0,1	
Собственный шум (СКЗ), °/с	SPI	0,2	0,2
	аналоговый	0,3	
Полоса пропускания, Гц		40; 75; 90	40
Диапазон рабочих температур, °С		–40...+105	–40...+130
Стойкость к ударам, g		95 (полусинусоидальный, 2/20 мс)	
Стойкость к вибрации (СКЗ), g		9 (в полосе 20–2000 Гц)	
Время включения, с		0,5	
Напряжение питания, В		+4,75...+5,25	
Потребляемый ток, мА		60	
Вес, г		0,8	
Средства поддержки разработчиков			
макетная плата		отладочный набор	
CRG20-xx-0300		USB01-00-0100	

Особо ответственные применения

Таким задачам в наибольшей степени соответствуют гироскопы с наивысшими среди продукции Silicon Sensing техническими характеристиками, максимально близкими к уровню волоконно-оптических гироскопов (ВОГ): CRS09, CRS39, CRH01, SiRRS01 (рис. 12).

Основные параметры: высокие эксплуатационные характеристики, высокая точность, высокая стабильность, только аналоговый выход, встроенные температурные датчики, дополнительные порты для коррекции извне.

Основные области применения:

- высокоточное навигационное оборудование — курсовертикали;



Рис. 12. Внешний вид гироскопов:

а) CRS09; б) SiRRS01; в) CRS39-01; г) CRS39-02; д) CRH01

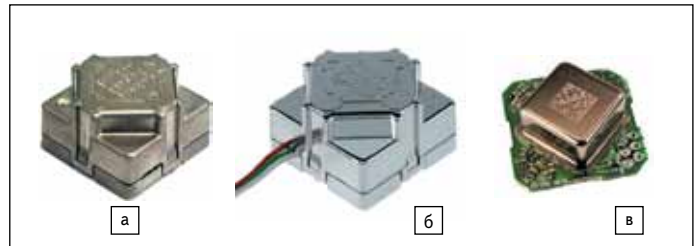


Рис. 13. Внешний вид гироскопов серии CRS03:

а) CRS03-01S и CRS03-05S; б) CRS03-02S и CRS03-04S; в) бескорпусного CRS03-11S

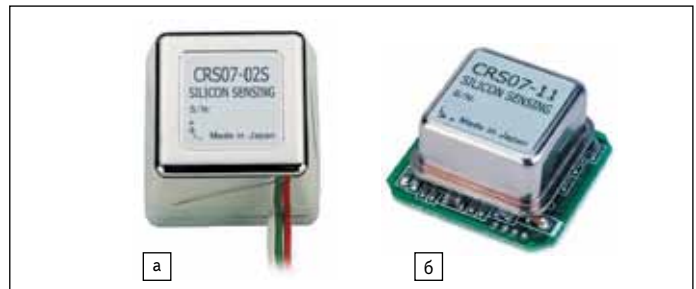


Рис. 14. Внешний вид гироскопов серии CRS07:

а) CRS07-02S; б) бескорпусных CRS07-11S и CRS07-13S

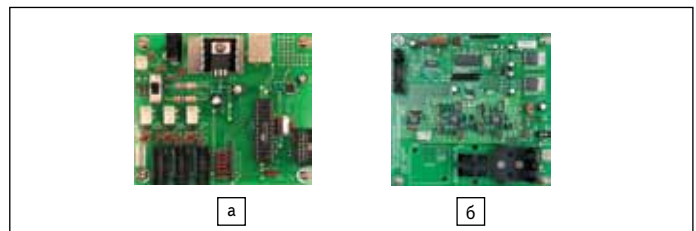


Рис. 15. Отладочные комплекты: а) CG9230; б) CB0026

- системы контроля и управления;
- прецизионные измерения;
- высокоточные системы стабилизации антенн, камер и подвесов;
- беспилотные летательные и подводные аппараты;
- геодезические системы;
- системы контроля состояния рельсовых путей и стабилизации положения рельсовых транспортных средств.

Специальные версии SiRRS01 успешно применяются в проектах Европейского космического агентства и имеют подтвержденный уровень радиационной стойкости, заявленный средний срок службы до отказа для этой модели составляет 300 000 часов по методике MIL-HDBK-217F.

Один из первых образцов новейшего гироскопа CRS39-01, созданного для геофизических работ, сразу после мировой премьеры был опробован отечественными специалистами и вскоре применен в измерительном оборудовании для нефтегазодобывающей отрасли.

Кольцевые вибрационные гироскопы индукционного типа прежних серий — CRS03 (рис. 13, табл. 3) и CRS07 (рис. 14, табл. 3) ощутимо дешевле своих новых собратьев, но, даже уступая им по эксплуатационным характеристикам, по-прежнему пользуются стабильным спросом и массово применяются в системах стабилизации спутниковых антенн и промышленном, технологическом оборудовании.

Для гироскопов семейств CRS03, CRS07, CRS09 (табл. 3) выпускаются отладочные комплекты CG9230 и CB0026 (рис. 15).

Акселерометры

Стремясь быть лидером на рынке инерциальных датчиков и систем, компания Silicon Sensing не могла оставить без внимания компоненты

Таблица 3. Основные характеристики гироскопов семейств CRS, CRH, SiRRS

Характеристики	CRS03-01S CRS03-05S		CRS03-02S CRS03-04S	CRS03-11S (бескорпус- ный)	CRS07-11S CRS07-13S (бескорпус- ный)	CRS07-02S	CRS09-01 CRS09-11	CRS09-02 CRS09-12	SiRRS01-01 SiRRS01-03 SiRRS01-05 SiRRS01-09	CRS39-01 (бескорпус- ный)	CRS39-02	CRH01	
	защищенный корпус/ 29×29×18,4		печатная плата/ 27×27×9	печатная плата/ 22×22×13,2	защищенный корпус/ 24,5×24,2×18,3	защищенный корпус/ 63×63×19	металлический корпус/ 31,8×31,8×17,3	печатная плата/ 75×24,5×21,5	металлический корпус/ 96×28(42,5)×23	пластиковый корпус/ 47(33)×33,5×25,4			
Тип корпуса/ Размер, мм	штиревые выводы		кабель с розеткой	распайка кабеля на плату		кабель с розеткой	розетка		штиревые выводы	распайка кабеля на плату	кабель	розетка	
Дрейф нуля (систематическая ошибка), °/ч	—		—	—	—	—	—		—	0,2	0,2–0,4; 0,4; 0,5; 1		
Точность установки нуля, °/с	<±3; <±4		<±3; <±6	<±30	<±30; <±3	<±3	<±1		<±0,3	—	—		
Диапазон измерений, °/с	±100; ±80		±100; ±200	±573	±573; ±100	±100	±200	±100	±110; ±300; ±50; ±200	±25	±25; ±100; ±200; ±400		
Дрейф нуля на температурном диапазоне, °/с	<±3; <±4		<±3; <±6	<±30	<±30; <±3	<±3	<±3; <±1	<±3; <±1	<±3	—	±0,2; ±0,2; ±0,25; ±0,5		
Случайный угловой уход, °/√ч	дрейф ±0,55°/с в любой период длительностью 30 с						0,1		<0,2	0,017	0,02...0,04		
Чувствительность, мВ/°/с	20; 25	20; 10	3,49	3,49; 20	20	10	20	18,18	80	—			
Температурное смещение чувствительности, %	±3		<±5			<±1		<±3	±0,035	<±1			
Нелинейность чувствительности, %	<±0,5						0,1	±1	0,006	—			
Собственный шум (СКЗ), °/с	<1 мВ в полосе 3–10 Гц						0,03	<0,35	0,006	0,2			
Полоса пропускания, Гц	10		55	30; 10	10	55	>50	25	90	—			
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+85			–30...+60 –40...+85	–40...+85	–40...+85	–40...+75	–10...+110	–40...+85	—			
Стойкость к ударам, g	200 (полусинус., 1 мс)						—	60 (полусинус. 30 мс)	250	95 (6 мс)			
Стойкость к вибрации (СКЗ), g	2 (в полосе 20–2000 Гц)						10 (в полосе 20–2000 Гц)						
Время включения, с	<0,2						<0,5	0,3	≤120	<0,5			
Напряжение питания, В	+4,75...+5,25						+4,75...+5,25		±5; 0	+4,90...+5,25	+4,75...+5,25		
Потребляемый ток, мА	<35						100		<50	60	50		
Вес, г	<18		10			60		<35	<50	—	40		

для измерения параметров линейного движения, тем более что до недавнего времени была вынуждена в собственном инерциальном измерительном модуле применять акселерометры стороннего производителя.

Итогом целенаправленной научной разработки и совершенствования собственной технологии МЭМС-компонентов стал выпуск семейства 2-компонентных сборок прецизионных акселерометров емкостного типа Gemini CAS200 в компактных металлокерамических корпусах.

Каждый чувствительный элемент представляет собой подпружиненную массу в виде гребенки, которая может совершать ограниченные перемещения внутри другой, неподвижной гребенки. Изменение емкости вследствие увеличения и уменьшения расстояния между «пальцами» гребенок пропорционально линейному ускорению (рис. 16).

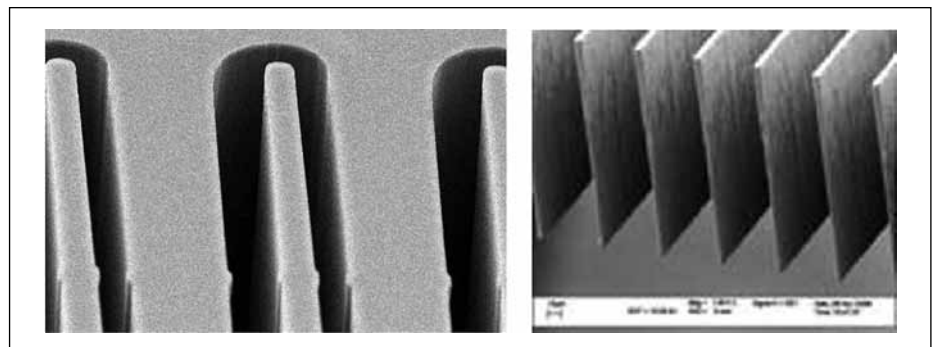


Рис. 16. Чувствительный элемент 2-осевого акселерометра семейства Gemini CAS200

Чувствительный элемент изготовлен по технологии «кремний-на-стекле», структура из кристаллического кремния расположена в полости между двух стеклянных пластин. Блок из двух ортогональных аксе-

лерометров вместе со специализированным управляющим контроллером помещен в наполненный азотом частично вакуумированный металлокерамический корпус размером 10,4×6×2,2 мм — такая конструкция лучше

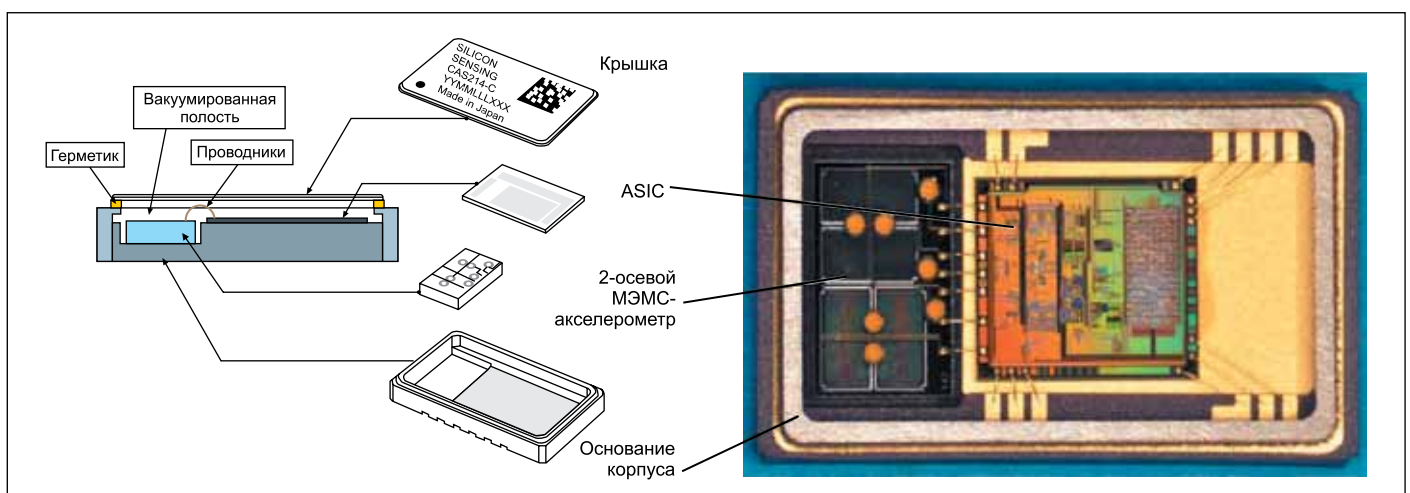


Рис. 17. Конструкция 2-осевого акселерометра семейства Gemini CAS200



Рис. 18. Внешний вид 2-осевых акселерометров семейства Gemini CAS200: а) CAS211–CAS215; б) CAS291–CAS295



Рис. 20. Внешний вид инерциального измерительного модуля DMU02

противостоит конденсации влаги в корпусе в сравнении с пластиковыми корпусами, применяемыми другими производителями (рис. 17).

Линейка акселерометров в настоящее время состоит из пяти моделей CAS211–CAS215 (рис. 18а), перекрывающих диапазон измерений от 0,85 до 96g. По аналогии с апробированным на миниатюрных гироскопах семейства CRM решением, для каждой из базовых моделей предусмотрена комплементарная пара с ортогональным расположением блока чувствительных элементов CAS291–CAS295 (рис. 18б). Этот набор компонентов позволяет не только создавать компактные измерительно-управляющие системы на плате, но и обеспечивать горячее резервирование или взаимную коррекцию показаний.

Основные показатели: наличие аналогового и цифрового выхода, высокие линейность и стабильность, незначительные собственные шумы, широкая полоса пропускания, встроенный температурный датчик, расширенный диапазон рабочих температур, малая потребляемая мощность, низкая удельная стоимость.

Основные области применения:

- навигационное оборудование — курсовертикали и пр.;
- системы курсоуказания;
- геофизическое и буровое оборудование;
- системы стабилизации камер, платформ и подвесов;
- транспортное оборудование, беспилотные системы.

Следуя концепции поддержки пользовательских разработок, для каждой из моделей семейства производитель предлагает макетную плату CAS2xx-02-0300 размером 24×36 мм с краевым многоконтактным разъемом для подключения к аппаратуре управ-

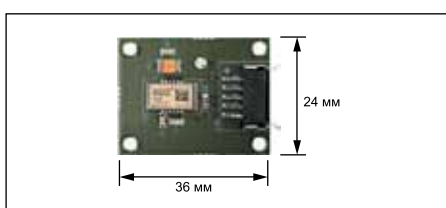


Рис. 19. Макетная плата CAS2xx-02-0300

Таблица 4. Основные характеристики 2-осевых акселерометров семейства Gemini CAS200 и отладочных средств

Характеристики	Gemini CAS200 (CAS211/291, 212/292, 213/293, 214/294, 215/295)	
Тип корпуса/Размер, мм	LCC14/10,4×6×2,2	
Способ подключения	пайка	
Интерфейс	аналоговый; SPI	
Диапазон измерений, g	±0,85; ±2,5; ±10; ±30; ±96	
Дрейф нуля на температурном диапазоне, mg	±50; ±50; ±50; ±150; ±500	
Чувствительность (масштабный коэффициент)	LSB/g	33 500; 11 000; 2800; 1050; 300
	mB/g	1150; 375; 96; 36; 10
Температурное смещение чувствительности, %	1,2	
Нелинейность чувствительности (от полной шкалы), %	0,5; 0,5; 2; 2; 2	
Собственный шум (СКЗ), мкг/Гц	50; 150; 150; 350; 1200	
Полоса пропускания, Гц	170/250	
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+125	
Стойкость к ударам, g	1000 (полусинусоидальный, 1 мс)	
Коэффициент сглаживания вибраций, мг/г²	0,15; 0,15; 0,15; 0,1; 0,1 (случайный в полосе 20–20 000 Гц)	
Время включения, с	0,15	
Напряжение питания, В	+2,7...+3,6	
Потребляемый ток, mA	3–5	
Вес, г	0,4	
Макетная плата	CAS2xx-02-0302	

ления и сбора данных (рис. 19, табл. 4). Цена платы с компонентами весьма незначительно превышает стоимость самого датчика, что оказывается приятным сюрпризом для разработчика.

Инерциальные измерительные модули

Успехи в развитии технологий МЭМС привели к миниатюризации и радикальному удешевлению инерциальных датчиков, что, в свою очередь, вызвало лавинообразный рост спроса на них во множестве отраслей — от промышленности, транспорта и военной техники до бытовых приборов и индустрии развлечений. Многие производители, следуя потребностям рынка, начали предлагать комплексные решения — инерциальные измерительные модули, содержащие три оси гироскопа, три оси акселерометра, а также имеющие возможность интеграции в этот же блок электронного компаса — магнитометра, барометра и даже приемника ГНСС. В подавляющем большинстве приложений заказчику достаточно информации о линейной и угловой скорости в трехмерном пространстве.

Решению таких задач в наибольшей степени соответствует концепция измерительного модуля с 6 степенями свободы, реализованная фирмой Silicon Sensing в модели DMU02 (рис. 20). Эта относительно недорогая сборка в защищенном корпусе размером 25×25×25 мм построена на трех гироскопах CRG20 и 3-осевом акселерометре, имеет цифровой интерфейс SPI и диапазон измерений ±300°/с для канала гироскопа и ±6g для канала акселерометра. Для обмена данными с модулем на этапе разработки системы производитель предлагает использовать отладочный набор USB01-00-0100.

Основная область применения DMU02 — системы со средними ценами и техническими показателями, например системы стабилизации камер на БПЛА, системы контроля курса в дистанционно управляемых или беспилотных транспортных средствах.

В 2012 году фирма представила комплектную пару комбинированных датчиков семейства Orion CMS300/CMS390 (рис. 21). Удачно сочетая собственные ранее отработанные технические решения, производитель разместил в металлокерамическом корпусе размером 10,4×6×2,2 мм гироскоп с осью чувствительности Z и два акселерометра с осями чувствительности X и Y. Таким образом получился функционально законченный гибридный блок, способный выполнять функции системы курсовой устойчивости для наземного транспорта. Логичным продолжением этой концепции стал парный модуль — с ортогональным расположением аналогичного блока датчиков. Применение этой пары сделало возможным создание весьма недорогих многоосевых систем управления движением с горячим резервированием внутри блока. Компоновка чувствительных элементов в корпусе CMS300 показана на рис. 22.

Основные показатели: только цифровой выход, высокая точность и стабильность, широкая полоса пропускания, высокая стойкость к влиянию ударов и вибраций, расширенный диапазон рабочих температур, возможность индивидуально конфигурировать диапазон измерений и полосу пропускания для каждого канала гироскопа и акселерометра.



Рис. 21. Внешний вид комбинированных датчиков семейства Orion: а) CMS300; б) CMS390



Рис. 24. Прототип гироскопа CRS 39-03

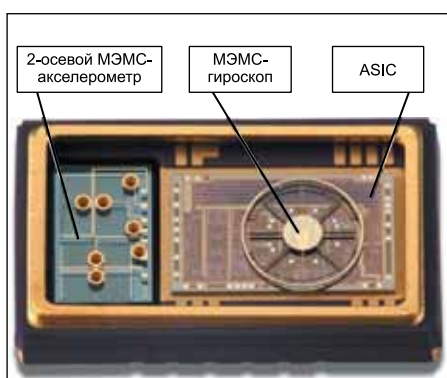


Рис. 22. Расположение датчиков в гибридной сборке CMS300

тра, малая потребляемая мощность, низкая удельная стоимость.

Основные области применения:

- экономичное навигационное оборудование;
- измерительные системы;
- роботизированное оборудование;
- инклинометры для тяжелых условий эксплуатации.

Макетные платы CMS300-02-0302 и CMS390-02-0302 (рис. 23, табл. 5) имеют уже привычный размер 24×36 мм и позволяют транслировать сигнал датчика сразу после извлечения платы из заводской упаковки.

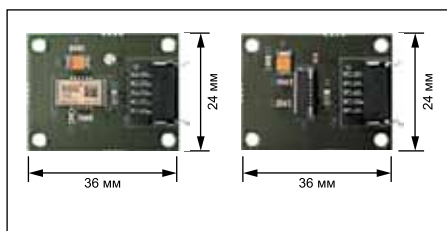


Рис. 23. Макетные платы: а) CMS300-02-0302; б) CMS390-02-0302

Новые изделия

Особенностью команды Silicon Sensing является поддержание обратной связи с клиентами, это позволяет оперативно разрешать возникающие у потребителей технические проблемы, а сама компания приобретает глубокое понимание потребностей рынка, что

помогает концентрировать усилия на прорывных направлениях.

В настоящий момент наиболее ожидаемое событие — анонс коммерческих изделий на основе самого современного чувствительного элемента индукционного типа SGH03 с увеличенной добротностью (поколение VSG3^{QMAX}). Предполагается, что гироскоп CRS39-03 с SGH03 «на борту» сможет обеспечить дрейф нуля не более 0,08–0,1°/ч, уже позволяющий реализовать функцию указания на Северный полюс; показатель случайного ухода не более 0,0083–0,015°/√ч (дисперсия Аллана) и собственный шум в состоянии покоя не более 0,01°/с, что вполне сопоставимо с характеристиками BOG (рис. 24).

Еще одно событие, запланированное на 2014 год, — начало серийного выпуска нового семейства 6-компонентных инерциальных измерительных модулей DMU10, которые призваны заместить «долгожителя» DMU02. В новом модуле применено три комбинированных датчика семейства Orion,

три оси гироскопа имеют диапазон измерения по ±300°/с, три оси акселерометра обеспечивают измерения в диапазоне ±10g. Заявленная точность гироскопов ±0,1–0,25°/с, акселерометров ±0,01g, полоса пропускания 117–190 Гц. Дополнительно в модуле установлено два независимых датчика температуры, отградуированных для измерений в диапазоне –55...+100 °С. Впервые в изделиях Silicon Sensing обмен данными организован по интерфейсу RS-422. Благодаря новой компонентной базе, DMU10 будет отличаться низким уровнем энергопотребления — до 60 мА при напряжении питания 3,3–5 В. Модуль доступен в двух вариантах: бескорпусный DMU10-01 — OEM-плата с габаритными размерами 22×37×11 мм и DMU10-02 — в прочном анодированном алюминиевом корпусе с габаритами 25×45×16 мм (рис. 25).

Кроме того, фирма сообщила о начале работ по созданию малогабаритного дешевого

Таблица 5. Основные характеристики инерциальных измерительных модулей, комбинированных датчиков и отладочных средств для них

Характеристики	Orion CMS300	Orion CMS390	DMU02
Состав	гироскоп + 2-осевой акселерометр		3-осевой гироскоп + 3-осевой акселерометр
Тип корпуса / Размер, мм	LCC12/10,4×6×2,2	LCC12/10,4×6,7×2,7	защищенный корпус / 25×25×25
Способ подключения	пайка		
Интерфейс	SPI		штырьевые выводы
Диапазон измерений	акселерометр, g	±2,5; ±10	±6
	гироскоп, °/с	±150; ±300	±300
Дрейф нуля на температурном диапазоне	акселерометр, мг	±30; ±75	±5,5
	гироскоп, °/с	±1,75; ±1	±2,5
Чувствительность (масштабный коэффициент)	акселерометр, LSB/g	12 800; 3200	273
	гироскоп, LSB/°/с	204,8; 102,4	32
Температурное смещение чувствительности, %	акселерометр	<±2,5; ±1	±2
	гироскоп	<±2; ±1	±2,5
Нелинейность чувствительности, %	акселерометр	<±0,5; <±0,12	0,5
	гироскоп	<±0,17; <±0,10	0,15
Собственный шум (СКЗ)	акселерометр, мг	2; 1	15
	гироскоп, °/с	0,1; 0,06	<0,5
Полоса пропускания, Гц	акселерометр	45; 62; 95; 190	400
	гироскоп	45; 55; 90; 117	>40
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+125		
Стойкость к ударам, g	95 (полусинусоид., 6 мс)		95 (полусинусоид., 6 мс)
Стойкость к вибрации (СКЗ), g	8,85 (в полосе 10–5000 Гц)		8,8 (в полосе 10–2000 Гц)
Время включения, с	0,15–0,3		<0,5
Напряжение питания, В	+3,15...+3,45		+4,75...+5,25
Потребляемый ток, мА	8		≤200
Вес, г	0,4; 0,6		17
Средства поддержки разработчиков	макетная плата		отладочный набор
	CMS300-02-0302	CMS390-02-0302	USB01-00-0100

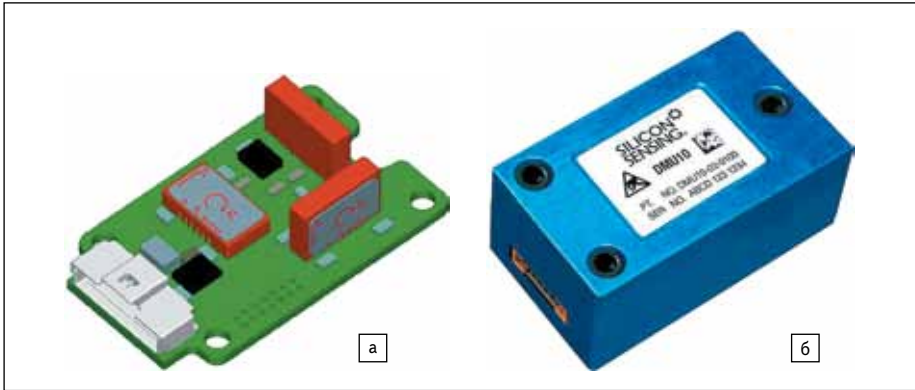


Рис. 25. Внешний вид инерциальных измерительных модулей: а) DMU10-01; б) DMU10-02

11-компонентного модуля для измерения параметров движения, в котором планируется использовать компоненты семейств PinPoint, Orion и Gemini. Этот модуль также будет содержать электронный магнитный компас и барометрический датчик.

Производство заказных полупроводниковых кристаллов — foundry

В 2013 году компания Silicon Sensing впервые объявила об открытии доступа к своим мощностям для желающих разместить в производство МЭМС-компоненты собственной разработки, такие как акселероме-

тры, головки струйных принтеров, микрофоны, микронасосы, гироскопы, зеркала, ультразвуковые датчики, радиочастотные компоненты, а также «сборщики энергии» — узлы преобразования различных видов энергии в электрическую.

Разработчикам предоставляется набор для проектирования с технологическими нормами и библиотеками стандартных элементов. Размещение в производство производится как на мультипроектных полупроводниковых пластинах диаметром 4", 5", 6" (кремний, КНИ), так и в составе малосерийного «инженерного» запуска. В одной из будущих публикаций мы постараемся осветить эту тему подробнее. ■