



# Перспективные отечественные МЭМС-датчики давления жидкости и газа

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru)

В статье приведены оценки рынка и описаны перспективные МЭМС-датчики давления для жидкостей и газов, полный цикл разработки и производства которых освоен на ЗАО «Группа Кремний Эл» с целью импортозамещения.

События последних лет, связанные с обеспечением отечественных изделий радиоэлектроники современной электронной компонентной базой, остро обозначили насущную необходимость реализации мер по обеспечению технологической независимости страны – основы импортозамещения. Одним из примеров реализации этой прикладной задачи является освоение производства МЭМС-датчиков давления на ЗАО «Группа Кремний Эл».

В текущем десятилетии интенсивно развивается рынок инерциальных, оптических, магнитных и газовых датчиков, во многом – за счёт освоения новых полупроводниковых технологий и, конечно, благодаря созданию новых областей для их применения, таких как «интеллектуальная» персональная и бытовая электроника, часто объединяемые понятием «Интернет вещей». Другими быстрорастущими рынками являются: приборы категории mHealth (mobile health) для персонального медицинского мониторинга, беспилотные средства передвижения, безлюдное промышленное и сельскохозяйственное производство, биохимические комплексы, системы безопасности и т.п.

На фоне этого бума по освоению рыночных ниш новыми продуктами дат-

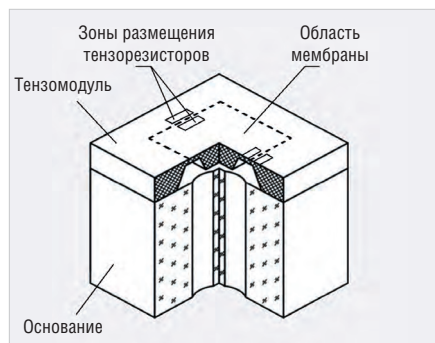


Рис. 1. Конструкция чувствительного элемента датчика давления

чикам давления различного назначения удаётся стабильно удерживать суммарную долю около 20% в мировом объёме продаж регистраторов и преобразователей физических величин. Достигнутый мировой уровень продаж датчиков давления всех типов превысил к настоящему моменту эквивалент \$7 млрд в год, а оценки на 2024 г. составляют приблизительно \$11 млрд. При этом, судя по тенденциям развития технологий, до половины объёма продаж должно приходиться на датчики с чувствительными элементами, выполненными на различных типах МЭМС [1, 2].

Такая востребованность объясняется широким кругом задач, решаемых различными датчиками давления и устройствами на их основе – измерение давления жидкостей и газов в промышленности (от перерабатывающей и пищевой до горнодобывающей и тяжёлой), в энергетике, в коммунальном хозяйстве и на магистральных коммуникациях, на транспорте, в индустриализованных агрокомплексах, в авиационно-космической и военной технике. В этот перечень также входит медицинское оборудование, приборы персональной навигации и различные

электронные гаджеты, которые стали неотъемлемой частью образа жизни современного человека.

Очевидно, что в большинстве применений известная из школьного курса физики конструкция датчика давления прямого измерения с металлической мембраной может быть заменена на компактный, дешёвый, малогабаритный МЭМС-элемент со встроенной системой компенсации и обработки, оснащённый стандартным цифровым интерфейсом.

Наиболее технологически отработанными и имеющими положительную историю применения к настоящему времени являются МЭМС-датчики давления ёмкостного, пьезорезистивного и тензорезистивного типов. Последний из них обеспечивает потенциально более высокую стабильность, точность измерений, надёжность, функциональную гибкость и в силу этих причин был выбран ЗАО «Группа Кремний Эл» в качестве базовой технологии для разработки и создания чувствительного элемента и соответствующей линейки датчиков давления жидкости и газа.

Оригинальный чувствительный элемент (ЧЭ) датчика давления ЭДС производства ЗАО «Группа Кремний Эл» существует в двух исполнениях: для измерения абсолютного давления, для измерения избыточного и дифференциального давления. Конструктивно он представляет собой сборку, состоящую из интегрального преобразователя дав-

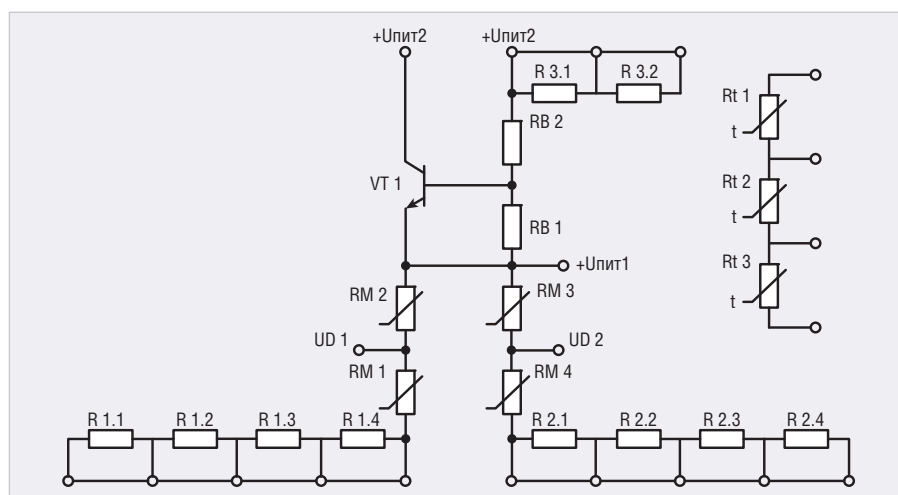


Рис. 2. Схема измерительного каскада и встроенного блока температурной компенсации датчика

ления – тензочувствительного кристалла кремния (тензомодуля) и стеклянно-го основания. Соединение элементов в конструкции чувствительного элемента давления выполнено электростатической анодной сваркой.

Тензомодуль представляет собой кристалл размером 4×4 мм и толщиной 430 мкм с мембраной размером 2×2 мм, толщиной 10...180 мкм и концентратором в центре, способной выдерживать 5-кратную перегрузку по давлению (см. рис. 1). Два тензорезистора расположены на границе кристалл/мембрана, а два других – на границе концентратор/мембрана. Все тензорезисторы идентичны по геометрии и расположены параллельно границе мембраны. Резисторы объединены в мостовую схему Уитстона алюминиевыми дорожками с одной разорванной диагональю, предназначенной для настройки начального разбаланса моста. На кристалле имеются терморезистор и транзисторный каскад термостабилизации (см. рис. 2). Общая высота сборки составляет 1430 мкм.

В производстве освоены варианты чувствительного элемента с толщиной мембраны 10, 20, 95 и 180 мкм, что

Таблица 1. Метрологические характеристики чувствительных элементов при питании постоянным напряжением 5 В

Наименование параметра	Значение параметра			
	Минимум	Типично	Максимум	Единицы измерения
Диапазон выходного сигнала $U_d$	100	200	300	мВ
Нелинейность, ±	0,0001	0,04	0,1	% $U_d$
Повторяемость, ±	0,001	0,1	0,25	% $U_d$
Гистерезис (вариация), ±	0,00003	0,03	0,12	% $U_d$
Нулевой вых. сигнал (при P=0), ±	0	5	10	мВ
Термическая ошибка нуля	0,005	0,08	0,014	% $U_d/°C$
Термическая ошибка диапазона	0,18	0,19	0,20	% $U_d/°C$
Временная стабильность	–	0,5	–	% $U_d/год$

позволяет с заданной точностью измерять абсолютное и избыточное давление в диапазонах 0...100 кПа (1 бар) и 0...20 МПа (200 бар). Питание осуществляется стабилизированным постоянным током или напряжением.

Метрологические характеристики чувствительных элементов приведены в таблице 1.

Функционально завершённые датчики с описанными чувствительными элементами для измерения давления газа или жидкости предлагаются в

бескорпусном исполнении или в одном из корпусов индустриального стандарта. Корпус датчика (см. рис. 3) для измерения давления жидкости имеет герметичный затвор для разделения наружного и внутреннего объёмов.

Общие технические характеристики датчиков давления газа и жидкости приведены в таблице 2.

Ведутся работы по созданию на базе ЧЭ линейки датчиков давления, которые помимо базового интерфейса 0–5 В могут быть оснащены одним из

**МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ**

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru

Logos include: STÄUBLI, NICOMATIC, ИНТЕГРАЛ, МИКРО ЭЛЕКТРОНИКИ, МИПАНД, АУСМЕТ, Multi-Contact, АМТРОН ЭЛЕКТРОНИКС, АЕДОН, КВСистемы, TESLA ELECTRIC, Great River Technology, ChipStar, RD ALFA, APSECON, NESSCAP, Microsemi, UMS, WAGO, micross, CYPRESS, CRANE INTERPOINT, IOR HiRel, XPTEMCO, TDK-Lambda, CyLux Group, bulgin, CREE, Switchcraft, Grayhill, KYOCERA, SHARP, ana digm, RDC, Wolf speed, CRANE AEROSPACE & ELECTRONICS, amn, ДАТЧИКИ, HUMMEL, MENTOR.

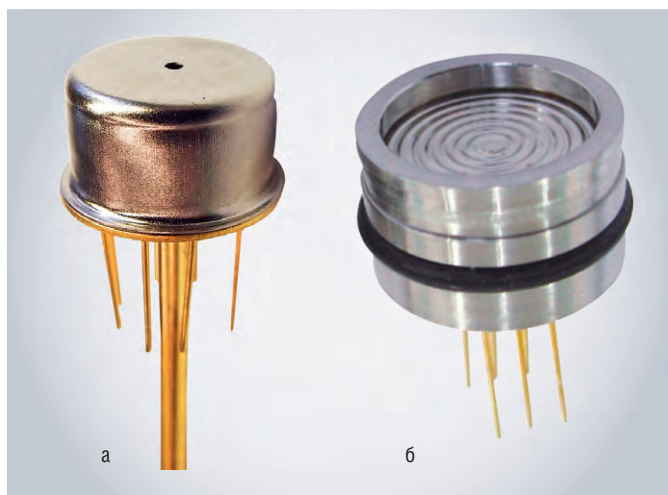


Рис. 3. Варианты корпусов датчика давления: а) для газов; б) для жидкостей

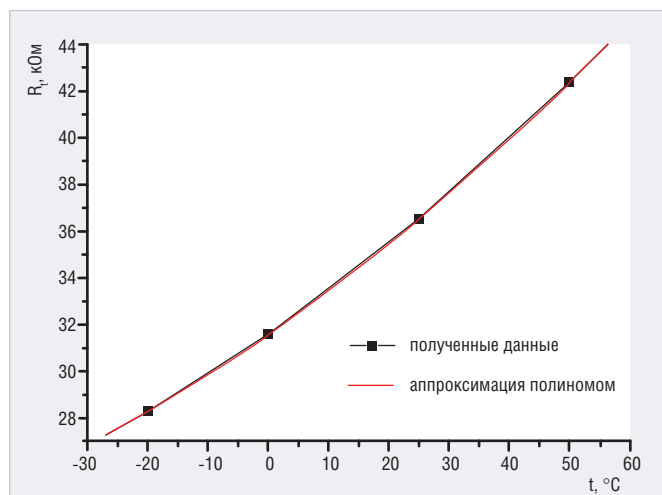


Рис. 4. Температурная характеристика встроенного терморезистора

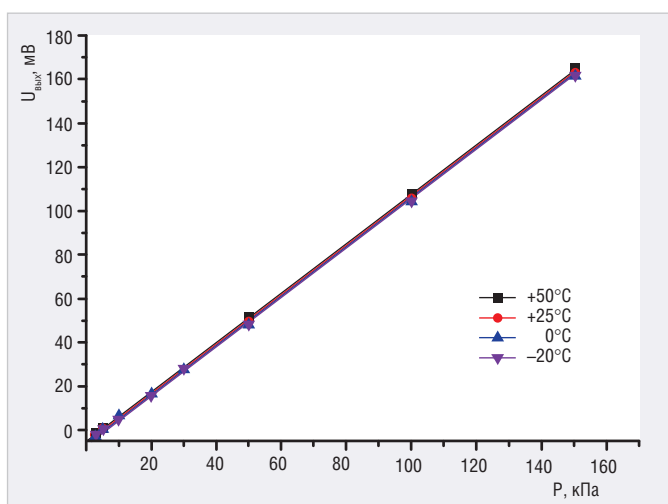


Рис. 5. Температурная зависимость выходного сигнала датчика в диапазоне приложенных давлений 0,1...100 кПа

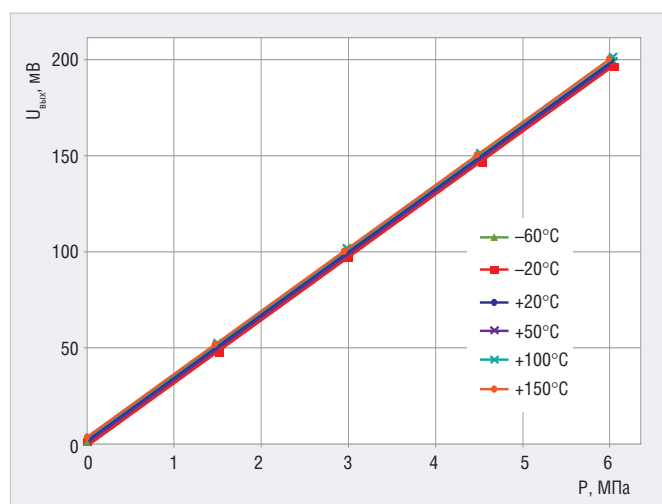


Рис. 6. Выходной сигнал датчика с чувствительным элементом ЭДС-1 в диапазоне температур среды -60...+150°C

стандартных: 4–20 мА; I<sup>2</sup>C; SPI; HARP; ШИМ и др.

С целью подтверждения метрологических и эксплуатационных характеристик, заявляемых производителем, в независимой лаборатории была произведена проверка датчиков абсолютного давления газа на основе чувствительного элемента ЭДС-2 с верхним пределом измерений 100 кПа. Контролировались следующие параметры:

Таблица 2. Общие технические характеристики датчиков давления газа и жидкости

Характеристика	Диапазон значений
Пределы измеряемых давлений P <sub>ном</sub> , МПа	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5–20,0
Перегрузочное давление, МПа	5 P <sub>ном</sub>
Напряжение питания, В	5,0
Диапазон рабочих температур, °C	-60...+150
Начальный разбаланс моста, мВ	±10
Основная погрешность, %	0,5; 1,0

- рабочий диапазон давлений при заданной точности измерений;
  - возможности компенсации температурной погрешности;
  - временная нестабильность и повторяемость результатов.
- В результате подтверждены:
- возможность измерения давления в диапазоне до 3 декад, в частности от 0,1 до 100 кПа;
  - высокая линейность характеристик в диапазоне 0,1 до 100 кПа;
  - термостабильность на уровне 0,3...0,5% в диапазоне рабочих температур -20...+50°C.

Графические материалы отчёта приведены на рисунках 4 и 5.

На датчиках с чувствительными элементами ЭДС-1 была дополнительно проверена линейность и повторяемость выходного сигнала в полном диапазоне рабочих температур при давлении 0...6 МПа, экспериментально полученные характеристики для

одного из образцов приведены на рисунке 6.

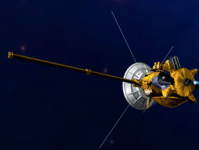
Как можно видеть, освоенный в производстве отечественный продукт создан и развивается в полном соответствии с перспективными направлениями мировой электроники и демонстрирует высокий уровень техники.

Описанные датчики давления ЗАО «Группа Кремний Эл» имеют высокий потенциал применения в промышленности, нефтегазовой отрасли, коммунальном хозяйстве, на транспорте, в специальной технике и в контрольно-поверочной аппаратуре.

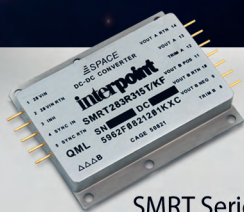
**ЛИТЕРАТУРА**

1. Pressure Sensor Market. Grand View Research, August 2016, <http://www.grandviewresearch.com/press-release/global-pressure-sensors-market>
2. Status of the MEMS Industry 2017 report. Yole Développement, June 2017, [http://www.yole.fr/MEMS\\_Market.aspx#.WeTqwqXY6Zdg](http://www.yole.fr/MEMS_Market.aspx#.WeTqwqXY6Zdg)

# Надёжные ИСТОЧНИКИ – успех МИССИИ В КОСМОСЕ



БЕЗЛИЦЕНЗИОННАЯ ПОСТАВКА\*



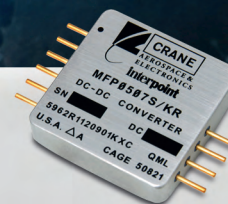
SMRT Series™



SLH Series™



SMTR Series™



MFP Series™

## Продукция Interpoint® уровня качества Space

- Высоконадёжные DC/DC-преобразователи и помехоподавляющие фильтры
- Восемь серий DC/DC-преобразователей с диапазоном мощностей от 1,5 до 100 Вт
- Диапазоны входных напряжений: 16–40 В (SMTR-серия, SLH-серия), 19–56 В (SMRT-серия) и 3–6 В (MFP-серия)
- Одно-, двух- и трёхканальные модели с различными комбинациями напряжений: 3,3; 5; 5,2; 12; 15 В
- Обширный набор сервисных функций и защит
- Высокая удельная мощность
- Уровень дозовой стойкости 30, 50 и 100 крад
- Стойкость к воздействию заряженных частиц с ЛПЭ до 86 МэВ·см<sup>2</sup>/мг
- Технические и эксплуатационные параметры соответствуют Standard Microcircuit Drawings (SMD), утверждённым Агентством материально-технического снабжения МО США (Defense Logistics Agency – DLA)



Interpoint®

\* Модели DC/DC-преобразователей с суммарной накопленной дозой 30 и 50 крад поставляются без оформления лицензии на поставку

