

# ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ГАЗА НОВИНКИ ОТ FIGARO ENGINEERING

И.Романова

Фирма Figaro Engineering – один из мировых лидеров производства недорогих датчиков детектирования концентрации горючих, токсичных газов и газовых примесей в составе воздуха. Их используют в системах пожарно-охранной безопасности, вентиляции и кондиционирования помещений, для контроля качества воздуха, в бытовых устройствах и автомобильной индустрии. Среди потребителей датчиков Figaro – известные мировые компании BMW, Mitsubishi Heavy Industries, General Motors, Daikin и другие. Сегодня в мире работают более 200 млн. газовых сенсоров производства Figaro.

**П**ервое место в мире по потреблению датчиков Figaro среди сегментов мирового рынка (более 40% от объема продаж) занимают бытовые детекторы утечки природного газа в домах, оборудованных газовыми плитами или газовыми системами отопления. На втором месте (около 20%) – воздухоочистители, кондиционеры и системы вентиляции помещений, а на третьем (15%) – приложения автомобильной электроники (системы кондиционирования и климат-контроль салона, детекторы взрывоопасных газов для газовых двигателей и другие).

Весь производственный процесс, в том числе разработка новых типов датчиков, их изготовление и тестирование, имеет международный сертификат качества ISO 9001, который гарантирует потребителям отличные технические параметры изделий, а также их надежность и стабильность в эксплуатации. Все датчики газа изготавливаются по бессвинцовой технологии и соответствуют нормам экологической безопасности ISO14001.

Компания Figaro предлагает широкий ассортимент не только датчиков для определения концентрации различных газов (метана, пропана, кислорода, углекислого газа, паров бензина, алкоголя и др.), но и устройств калибровки датчиков

и модулей измерения концентрации газов с микропроцессором для обработки данных (табл.1). Сегодня фирма Figaro производит три типа датчиков газа: полупроводниковые, электрохимические и каталитические. Рассмотрим их более подробно.

## Полупроводниковые газовые датчики

Первооткрывателем полупроводниковых датчиков в 1962 году стал японский изобретатель Наойоши Тагучи, в честь которого прибор и был назван TGS – Taguchi Gas Sensor). Промышленное производство полупроводниковых сенсоров широко



Рис.1. Полупроводниковые датчики

развито во всем мире, но основная доля мирового рынка приходится на японские компании. Фирма Figaro – признанный лидер в этой области, годовой объем производства сенсоров составляет около 5 млн. шт. Также компания изготавливает приборы на основе сенсоров, включая элементную базу и схемотехнические решения с программируемыми устройствами. Полупроводниковые датчики выполнены на основе пленок оксида олова, сопротивление которых в чистом (свежем) воздухе очень высоко. Однако оно резко снижается при попадании на пленки взрывоопасных веществ (метана,

пропана, СО, водорода и т.д.), паров органического происхождения (алкоголя, кетона, эфирного масла, бензола и т.д.) и многих других газов и примесей.

Например, в сенсорах на основе оксида олова определение концентрации СО определяется по изменению сопротивления чувствительного элемента. На поверхности окиси олова при соприкосновении молекулой СО происходит химическая реакция доокисления углерода:  $\text{SnO}_2 + 2\text{CO} = \text{Sn} + 2\text{CO}_2$ . Соответственно, если концентрация СО в воздухе увеличивается, число молекул Sn возрас-

Таблица 1. Датчики и измерительные модули газа компании Figaro

Основной измеряемый газ	Диапазон измеряемой концентрации	Модель	Тип	Потребляемая мощность, мВт	Применение
Углекислый газ	0–50000 ppm 0–1000 ppm	TGS 4160 TGS 4161	Э(Т) Э(Т)	1,3 Вт 300	Контроль качества воздуха в помещениях
Угарный газ	0–1000 ppm 0–1000 ppm	TGS 2442 TGS 5042	П Э(Ж)	14 Не потребляется	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях, в котельных и на транспорте
Аммиак	0–300 ppm 0–100 ppm	TGS 826 TGS 2444	П П	833 56	Детекторы утечки холодильного агента, системы вентиляции
Алкоголь	0–1000 ppm	TGS 3820	П		Детекторы алкоголя
Алкоголь, пары сольвентов	0–5000 ppm	TGS 2620	П	210	Детекторы алкоголя и растворителей
Примеси в воздухе	0–30 ppm 0–30 ppm	TGS 2600 TGS 2602	П П	210 280	Контроль качества воздуха в помещении
Галогены	0–3000 ppm 0–3000 ppm	TGS 832 TGS 2630*	П П	835	Детекторы утечки холодильного агента
Водород	0–1000 ppm	TGS 821	П	660	Детекторы утечки
Водород, метан и сжиженный нефтяной газ	0–100% НПВ	TGS 6812*	К	525	Детекторы утечки водорода и взрывоопасных газов
Сульфид водорода	0–100 ppm	TGS 825	П	660	Промышленные детекторы газа
Сжиженный нефтяной газ	0–20% НПВ	TGS 2610	П	280	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях, в котельных и на транспорте
Метан	0–20% НПВ	TGS 2611	П	280	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях, в котельных и на транспорте
Метан и сжиженный нефтяной газ	0–20% НПВ 0–100% НПВ 0–100% НПВ	TGS 2612 TGS 6810 TGS 6811	П К К	280 525	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях, в котельных и на транспорте, промышленные детекторы газа
Метан и угарный газ	0–25% НПВ CH <sub>4</sub> +0–1000ppm CO	TGS 3870	П	38	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях и в котельных
Выхлопы бензиновых и дизельных двигателей	0–1000 ppm CO+ 0–10 ppm NO <sub>2</sub>	TGS 2201	П		Системы вентиляции в автомобиле
Кислород	0–100% 0–100%	KE-25 KE-50	Э(Ж) Э(Ж)	Не потребляется Не потребляется	Детекторы кислорода
Испарения воды	0–150 гр./м <sup>3</sup>	TGS 2180	П	830	Микроволновые печи
Калибровочные сенсорные модули					
Углекислый газ	0–40000 ppm 0–8000 ppm	CDM4160 CDM4161	Э(Т) Э(Т)	1,3 Вт 300	Контроль качества воздуха в помещениях
Угарный газ	0–1000 ppm	CDM2442	П		Отладочный модуль
Примеси в воздухе	0–30 ppm	AMS2600	П	210	Контроль качества воздуха в помещениях
Сжиженный нефтяной газ	0–20% НПВ	LPM2610	П	280	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях
Метан	0–20% НПВ	NGM2611	П	280	Сигнализатор утечки газов в жилых помещениях

\* – в разработке, П – полупроводниковый, Э(Ж) – с жидким электролитом, Э(Т) – с твердым электролитом, К – каталитический, НПВ – нижний предел взрываемости.

тает, что приводит к понижению сопротивления чувствительного элемента. Чтобы обеспечить непрерывный процесс измерения СО поверхность сенсора периодически восстанавливают путем доокисления ранее восстановленного олова нагреванием.

Реальная зависимость сопротивления от концентрации СО нелинейная, так как на скорость химической реакции существенно влияет температура, несколько меньше – влажность и точность поддержания температуры нагревателя при проведении восстановительной реакции.

Полупроводниковые датчики (рис.1) изготавливают с привлечением современных микроэлектронных технологий, что обуславливает их низкую стоимость при массовом производстве, а также высокие технические и энергосберегающие характеристики.

Для того чтобы физико-химические процессы протекали на поверхности чувствительного слоя достаточно быстро, обеспечивая быстроедействие на уровне нескольких секунд, сенсор периодически разогревается до температуры 450–500°C, что активизирует его поверхность. Нагревателем служит резистивный слой, выполненный из инертных материалов (Pt, RuO<sub>2</sub>, Au и др.) и электрически изолированный от полупроводникового слоя.

При кажущейся простоте такие методы сконцентрировали в себе все последние достижения материаловедения и микроэлектронной технологии. Это повышает конкурентоспособность сенсора, поскольку он может работать несколько лет, периодически находясь в “стрессовом” состоянии при разогреве до 500°C и сохраняя при этом высокие эксплуатационные характеристики, чувствительность, стабильность, селективность при малой потребляемой мощности (в среднем несколько десятков милливольт).

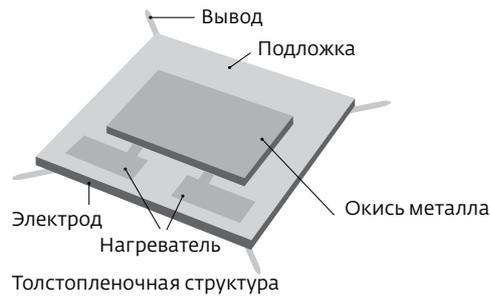


Рис.2. Полупроводниковый датчик

В настоящее время фирма Figaro выпускает два семейства полупроводниковых датчиков на основе оксида металла: серия 8 (TGS800..TGS883, TGS203) и серия 2000 (TGS2180...TGS2620). Последняя отличается от предыдущей версии более современной толстопленочной технологией изготовления (рис.2), в которой используется техника трафаретной печати на подложке, что позволяет производить датчики газа определенной серии с одинаковыми характеристиками. Срок службы полупроводниковых датчиков около 10 лет (при нормальных условиях окружающей среды), так как чувствительное к газу химическое вещество, содержащийся в них в процессе работы не расходуется. Основные модели полупроводниковых датчиков серий 8 и 2000 и их электрические параметры приведены в табл.2 и 3.

Если сравнить два типа полупроводниковых датчиков аммиака на основе оксида металла: TGS826 и TGS2444 (см. табл.1), то датчик серии 2000 – TGS2444 имеет большую чувствительность к аммиаку, начиная с 1 ppm, меньшую кросс-чувствительность к спирту, лучшую надежность, более компактный корпус и меньшее энергопотребление. К недостаткам можно отнести большее, чем у TGS826, время отклика на изменение концентрации аммиака, но это не мешает эффективно применять их использо-

Таблица 2. Модели полупроводниковых датчиков серий 8 и 2000

Основной измеряемый газ	Серия 2000	Серия 8
Бутан, сжиженный нефтяной газ	TGS2610	
Метан	TGS2611	TGS842
Метан и угарный газ	TGS2670*	
Алкоголь, пары растворителей	TGS2620	TGS822
Угарный газ	TGS2442	TGS203
Пары воды	TGS2180	TGS883
Примеси в воздухе	TGS2100, TGS2400, TGS2600, TGS2602*	TGS800
Выхлопы бензиновых и дизельных двигателей	TGS2104, TGS2200, TGS2106*	TGS822

\* В разработке.

Таблица 3. Электрические параметры полупроводниковых датчиков газа серий 8 и 2000

Характеристика	Серия 8	Серия 2000
Напряжение на нагревательном элементе (НЭ), $U_H$ , В	$5 \pm 0,2$ (AC/DC). Датчик TGS203 имеет существенные отличия: малое сопротивление НЭ (1,9 Ом) и два альтернативных режима работы: с временем срабатывания 60 с $U_H = 0,8 \text{ В} \pm 3\%$ (AC/DC) с временем срабатывания 90 с $U_H = 0,25 \text{ В} \pm 3\%$ (AC/DC)	$5 \pm 0,2$ (AC/DC) TGS2442: $U_H = 5 \text{ В} \pm 0,2 \text{ В}$ (DC, импульсный режим) TGS2104, TGS2105, TGS2201 $U_H = 7 \text{ В} \pm 0,35 \text{ В}$ (DC)
Ток через нагревательный элемент, мА	132–200, зависит от модели датчика	42–203, зависит от модели датчика
Напряжение питания датчика, $U_n$ , В	$\leq 24 \text{ В}$ (AC/DC), TGS203: $\leq 12 \text{ В}$ (AC/DC)	$5 \pm 0,2$ (DC) TGS2442: $U_n = 5 \text{ В} \pm 0,2 \text{ В}$ (DC, импульсный режим) TGS2104, TGS2105, TGS2201: $U_n \leq 15 \text{ В}$ (DC)
Нагрузка	Подстроечный резистор	Подстроечный резистор
Потребляемая мощность, Вт	$\leq 15$	$\leq 15$

ванию в детекторах аммиака для рефрижераторов и в системах управления вентиляцией на птицефермах и в других аграрных комплексах.

Помимо полупроводниковых датчиков серий 8 и 2000 следует отметить недавно появившуюся серию 3000. В датчиках этой серии кардинально изменена конструкция нагревательного элемента, уменьшены его размеры и следовательно значительно снижена потребляемая им мощность. Типичным представителем этой серии является комбинированный датчик TGS3870 (см. табл.1), способный детектировать одновременно два газа – метан и СО. При этом он имеет миниатюрные размеры и малое энергопотребление. В сравнении с подобными датчиками от конкурентных производителей TGS3870 менее чувствителен к интерференционным газам (водород, алкогольные испарения), обладает лучшей чувствительностью даже в условиях высокой влажности и имеет лучшую долговременную стабильность и надежность. TGS3870 рекомендуется в первую очередь разработчикам детекторов утечки газа для жилых помещений и газовых котельных.

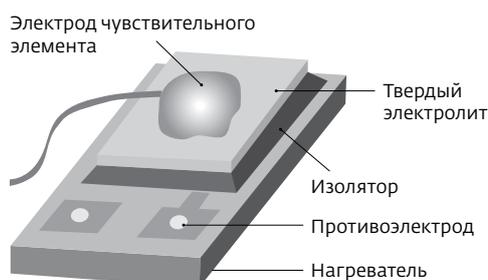


Рис.3. Электрохимический датчик на основе твердого электролита

### Электрохимические датчики газа с твердотельным электролитом

Figaro была первой компанией, которая успешно внедрила в серийное производство датчики углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) на основе твердотельного электролита по запатентованной фирмой Figaro технологии. Эти датчики (TGS4160, TGS4161) характеризуются компактными размерами, низкими энергопотреблением и стоимостью и большим временем наработки на отказ.

Датчик TGS4160 имеет в своем составе гибридную структуру (сенсор) из твердого электролита (рис.3), чувствительную к углекислому газу, и термистор, который служит для компенсации температурной зависимости сенсора. Гибридная структура, расположенная между двумя электродами, содержит нагревательный элемент, выполненный в виде платиновой подложки.

Датчик TGS4160 отличается хорошей линейной зависимостью между ЭДС и концентрацией углекислого газа (в логарифмическом масштабе), тогда как для угарного газа (СО) и этанола ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )

Таблица 4. Датчики Figaro на основе твердого электролита

Параметр	TGS4160	TGS4161
Диапазон концентраций, ppm	350–50000	350–10000
Напряжение, подаваемое на нагревательный элемент, U <sub>н</sub> , В	5,0+0,2 (DC)	5,0+0,2 (DC)
Ток через нагревательный элемент, мА	Около 250	Около 50
Сопротивление нагревательного элемента (комнатная температура, K <sub>н</sub> ), Ом	11,5±1,1	70±7
Потребляемая мощность нагревательного элемента, Вт	Около 1,25	Около 0,3
Сопротивление встроенного термистора, кОм	100±5%	Нет
Константа встроенного термистора	3450+2%	Нет
Рабочие условия окружающей среды, °С	-10–50, при относительной влажности до 95%	-10–50, при относительной влажности до 95%

значение ЭДС с ростом концентрации не изменяется. Чтобы обеспечить максимальную точность измерений, Figaro предлагает в таких случаях использовать специально разработанный измерительный модуль CDM4160 (см. табл.1), содержащий микропроцессор для цифровой обработки сигнала. Технические параметры датчиков концентрации углекислого газа, изготавливаемых на основе твердого электролита, приведены в табл.4.

### Электрохимические датчики газа с жидким электролитом

Датчики с жидким электролитом (рис.4) не содержат нагревательного элемента, а значит – не потребляют электроэнергию, поэтому идеально подходят для переносных устройствах с электропитанием от батареек или аккумуляторов. Сегодня компания Figaro выпускает два вида сенсоров данного типа: кислородные и угарного газа. Они демонстрируют высокую точность, хорошую линейность и превосходную чувствительность при измерении концентрации газа.

В отличие от кислородных датчиков других производителей, чувствительным элементом которых является гальваническая ячейка с водным раствором щелочи калия (KOH), в кислородных датчиках Figaro применяется многокомпонентный электролитический раствор кислоты, созданный по оригинальной технологии стойкий к воздействию газов (таких, как CO<sub>2</sub>), легко вступающих в реакцию окисления. Срок годности электролита кислотного типа в десять раз превышает срок годности щелочных электролитов.

Величина выходного тока датчика линейно пропорциональна концентрации кислорода

Таблица 5. Кислородные датчики Figaro

Параметры	KE-25	KE-50
Диапазон концентраций кислорода в воздухе, %	0–100	
Точность, %	0,01	0,02
Задержка отклика (90%), с	12	60
Срок службы, лет	5	10
Стандартный температурный диапазон, °С	5–40 при относительной влажности 10–90%	
Давление воздуха, атм.	0,5–1,5	

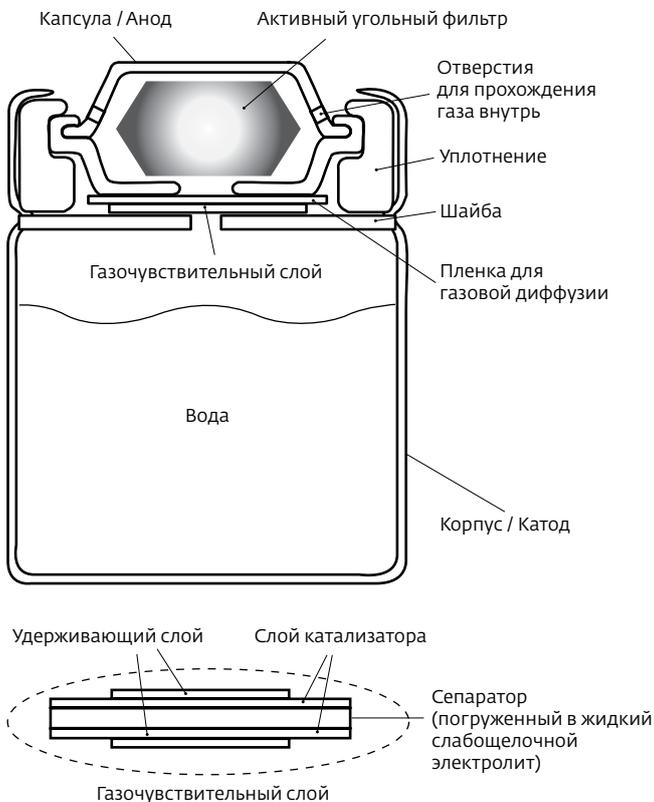


Рис.4. Электрохимический датчик на основе жидкого электролита

(строго говоря, его парциальному давлению) в измеряемой газовой смеси, контактирующей с мембраной. При этом снимаемое напряжение однозначно характеризует эту концентрацию и является выходным параметром датчика. Технические характеристики кислородных датчиков представлены в табл.5.

В сравнении со своими ближайшими конкурентами датчики SK-25 и SK-50 имеют исключительно низкую чувствительность к интерференционным газам, в частности к CO<sub>2</sub>, также они демонстрируют высокую долговременную стабильность основных параметров, таких как время отклика и выходное напряжение, а также более линейную зависимость выходного сигнала от концентрации кислорода. К недостаткам SK-25 можно отнести более значительную зависимость выходного сигнала от давления атмосферы.

Датчики SK-25 применимы в медицине (инструменты для анестезии, респираторы, обогаители кислорода), в биотехнологии (кислородные инкубаторы); в пищевой индустрии (рефрижера-

торы, теплицы); в системах контроля качества воздуха (кондиционеры); в охранно-безопасных устройствах (детекторы кислорода, детекторы пожара); в системах контроля процесса эффективного сгорания топлива (теплоэнергетика).

Среди датчиков угарного газа можно выделить новый электрохимический сенсор с жидким



Рис.5. Электрохимический датчик TGS5042

электролитом TGS5042 (рис.5), который заключен корпус от обычной пальчиковой батарейки AA и работает в диапазоне температур от -40 до 70°C при концентрациях CO от 0 до 10000 ppm. При сравне-

нии с подобными сенсорами от других производителей датчик TGS5042 имеет преимущества: в нем используется слабощелочной раствор электролита, который удовлетворяет всем требованиям по экологической безопасности; отсутствуют утечки электролита из корпуса датчика, износ электродов и расход химических материалов датчика в процессе работы; прибор демонстрирует низкую чувствительность к интерференционным газам; имеет невысокую стоимость; длительный срок эксплуатации и отличается простотой калибровки.

Датчик разработан в соответствии с требованиями европейских (EN50291) и американских (UL2034) стандартов по точности измерения, экономичности и другим параметрам для СО-детекторов. Отмечается линейная зависимость выходного напряжения от концентрации СО в диапазоне от 0 до 10000 ppm. Среди основных сфер применения этих датчиков можно отметить бытовые детекторы газа и СО-мониторы для промышленных применений, управление системой вентиляции в местах парковки автотранспорта внутри гаражей и зданий, СО-детекторы для речного и морского транспорта, детекторы пожара, управление заслонкой подачи наружного воздуха в салон автомобиля.

### Термокаталитические датчики

Датчик метана серии TGS6810 – один из перспективных продуктов компании. Figaro Engineering в течение более 37 лет выпускала в основном полупроводниковые датчики. Теперь она освоила производство очень качественных термокаталитических датчиков. Они принципиально отличаются от полупроводниковых. Термокаталитические датчики имеют более широкий диапазон измеряемых концентраций, чем полупроводниковые, и работают с большей точностью при высоких концентрациях газа – от 1000 ppm и выше. Поэтому они неприменимы в качестве детекторов малой концентрации газа (при малых концентрациях газа – 15-100 ppm – применяются полупроводниковые датчики), но очень удобны для создания систем безопасности.

Каталитические датчики используют обычно для определения наличия и концентрации взрывоопасных газов, таких как метан, пропан, водород, ацетилен. В таких устройствах поверхность чувствительного элемента покрыта тонким слоем катализатора, например, платины, палладия или диоксида олова. Попадающий на слой катализатора газ окисляется кислородом воздуха и вызывает допол-

нительный нагрев этого слоя. Изменение температуры вызывает электрический сигнал, который усиливается электронной схемой. Figaro уже имеет большой опыт работы в области производства каталитических датчиков. Датчики имеют большой срок службы, стабильные и линейные выходные характеристики, быстрое время отклика. Данные характеристики делают эти датчики для детектирования многих взрывоопасных газов.

В отличие от каталитических датчиков газа других производителей (например, модель NAP-50A компании Nemoto), датчик метана TGS6810 содержит внутри адсорбент, поглощающий пары алкоголя, благодаря чему его кросс-чувствительность к спирту, диоксиду серы (SO<sub>2</sub>) и водороду будет намного меньше. Долговременная надежность и срок эксплуатации TGS6810 также заметно выше (около десяти лет при нормальных условиях эксплуатации), чем у NAP-50A. Кроме того, TGS6810 более стойкий к воздействию силиконовым компаундом, чем традиционные каталитические датчики. Датчики TGS6810 соответствуют европейским нормам EN50194 для детекторов взрывоопасных газов и могут с успехом применяться в устройствах, которые сигнализируют о превышении допустимого уровня концентрации метана. Цена их колеблется в диапазоне 5-20 долл., а продолжительность работы составляет до трех лет. Однако у каталитических сенсоров есть один минус – со временем под воздействием «каталитических ядов» (силиконовые масла, пары кислот, сероводород) катализатор портится, что ухудшает свойства прибора. Но мы редко встречаемся с этими веществами в быту, поэтому за продолжительность работы сенсоров можно особо не беспокоиться.

Каталитические датчики Figaro отличаются компактными размерами, длительным сроком службы, стабильными и линейными выходными характеристиками, быстрым временем отклика. Это делает их идеальными для детектирования многих взрывоопасных газов.

### ЛИТЕРАТУРА

Васильев А., Олихов И., Соколов А. Газовые сенсоры для пожарных извещателей – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №2, с.24-27.

Игнатьева Н. Датчики газа фирмы Figaro. – Электроника: НТБ, 2005, №2, с.34-37.

Коваль Ю. Детекторы газа нашли свое применение при контроле качества воздуха. – Мир автоматизации, 2006, №6, с.18-23.

www.figarosensor.com