

Детекторы газа нашли свое применение при контроле качества воздуха, в системах пожароохранной безопасности, вентиляции и кондиционирования помещений, в бытовых устройствах и автомобильной индустрии

Юрий Коваль,
yurikov@sea.com.ua

О необходимости применения некоторых приборов мы, теоретически, знаем. Но задумываясь об этом всерьез, лишь сталкиваясь с ситуациями, когда отсутствие таковых несет реальную угрозу жизни – нашей или чужой.

В хрониках несчастных случаев довольно таки часто сообщается об отравлениях, нередко со смертельным исходом, связанных с утечкой газа. Это как бытовые происшествия – высокая концентрация газа на кухне, так и производственные работы – в цистернах, из которых выкачан бензин, но все еще остается некоторое минимальное его количество. Много несчастных событий происходит, когда в такие цистерны для определенных видов работ спускаются люди. Они гибнут из-за высокой концентрации паров органического происхождения.

Зачастую данные факты непосредственно нас не затрагивают. Но невозможно закрывать глаза на загрязнение окружающей среды выхлопными газами от автомобилей, число которых с каждым годом растет. Хотя последствия плохой экологической обстановки не сразу ощутимы, но они не менее печальны.

Всего этого можно избежать, установив, где необходимо, датчики. Реагируя на высокую концентрацию газа, они будут сообщать об угрозе отравления, что поможет вовремя предпринять все меры предосторожности. Отсюда вывод: сенсоры газа – необходимая вещь в различных отраслях нашей жизни.

Из-за неудовлетворительного состояния отечественной отрасли по изготовлению детекторов газа, украин-



Датчик TGS3870 наименее чувствителен к интерференционным газам – водороду, алкогольным испарениям

ский рынок представлен изделиями зарубежных производителей. Среди них – японская фирма FIS (www.fis-inc.co.jp), выпускающая полупроводниковые датчики, немецкая Sensoric (www.sensoric.de), достигшая успехов в разнообразии электрохимических сенсоров. Следует также упомянуть английскую компанию City Technology (www.citytech.com), выпускающую большой ассортимент датчиков газа, в том числе и инфракрасные, что выгодно отличает их от конкурентов.

Цены на качественные изделия этих компаний не совсем устраивают украинских потребителей. Поэтому оптимальным поставщиком датчиков газа на наш рынок на сегодняшний день является японская фирма Figaro Engineering (www.figaro.co.jp) – один из мировых лидеров с 35-летним опытом производства недорогих датчиков детектирования и определения концентрации газов и газовых примесей в составе воздуха (табл. 1).

Весь производственный процесс в компании Figaro, включающий разработку новых типов датчиков, их изготовление и тестирование, имеет международный сертификат качества ISO 9001, который гарантирует по-

Табл. 1. Датчики Figaro

Основной измеряемый газ	Диапазон измеряемой концентрации	Модель	Тип	Применение
Датчики газа				
Алкоголь, пары растворителей	0...5000 ppm	TGS2620	П	Детекторы алкоголя и испарений растворителей
Алкоголь	0...1000 ppm	TGS3820	П	Персональные детекторы алкоголя
Аммиак	0...300 ppm	TGS826	П	Детекторы утечки холодильного агента, системы вентиляции для сельского хозяйства и птицеферм
	0...100 ppm	TGS2444*	П	
Углекислый газ	0...50000 ppm	TGS4160	Э(Т)	Контроль качества воздуха в жилых помещениях, в сельском хозяйстве
	0...10000 ppm	TGS4161	Э(Т)	
Угарный газ	0...1000 ppm	TGS2442	П	Сигнализатор утечки газа в жилых помещениях, в котельных, на транспорте, в местах автопарковки
	0...1000 ppm	TGS5042	Э(Ж)	
Выхлопы бензиновых и дизельных двигателей	0...1000 ppm CO + 0...10 ppm NO2	TGS2201	П	Система вентиляции в автомобиле
Примеси в воздухе	0...30 ppm	TGS2600	П	Контроль качества воздуха внутри помещения
	0...30 ppm	TGS2602	П	
Галогены	0...3000 ppm	TGS832	П	Детекторы утечки холодильного агента
	0...3000 ppm	TGS2630*	П	
Водород	0...1000 ppm	TGS821	П	Детекторы утечки водорода
Водород, метан и сжиженный нефтяной газ	0-100% НПВ	TGS6812*	К	Детекторы утечки водорода и взрывоопасных газов из топливных баков
Сульфид водорода	0...100 ppm	TGS825	П	Промышленные детекторы газа
Сжиженный нефтяной газ	0-20% НПВ	TGS2610	П	Сигнализатор утечки газа в жилых помещениях, в котельных, на транспорте
		TGS2611	П	
Метан	0-20% НПВ	TGS2612	П	Сигнализатор утечки газа в жилых помещениях, в котельных, на транспорте
		TGS6810	К	
Метан и угарный газ	0-100% НПВ	TGS6811	К	Промышленные детекторы газа
		TGS3870	П	
Кислород	0...25% НПВ CH4+	0...1000 ppm CO	П	Сигнализатор утечки газа в жилых помещениях и в котельных
	0-100%		KE-25	
Испарения воды	0-150 гр. / м3	TGS2180	Э(Ж)	Детекторы кислорода
			Э(Ж)	
Калибровочные сенсорные модули	Углекислый газ	0...40000 ppm	TGS2180	Микроволновки
			Э(Т)	
	Углекислый газ	0...8000 ppm	CDM4160	Контроль качества воздуха в жилых помещениях, в сельском хозяйстве
			Э(Т)	
Угарный газ	0...1000 ppm	COM2442	П	Отладочный модуль
Примеси в воздухе	0...30 ppm	AMS2600	П	Контроль качества воздуха внутри помещения
Сжиженный нефтяной газ	0...20% НПВ	LPM2610	П	Сигнализатор утечки газа в жилых помещениях
Метан	0...20% НПВ	NGM2611	П	Сигнализатор утечки газа в жилых помещениях

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

требителям отличные технические характеристики продуктов, а также их надежность и стабильность в эксплуатации. В отличие от традицион-

ных электрохимических датчиков других производителей, сенсоры Figaro, благодаря своей конструкции, исключают утечку вредных ве-

ществ из корпуса (в том числе свинца) и поэтому удовлетворяют всем требованиям по экологической безопасности.

Табл. 2. Полупроводниковые датчики газа Figaro

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

Для корректной работы датчика необходимо согласовать измерительную схему с внутренним сопротивлением датчика, которое зависит от конкретной модели (см. подробную техническую документацию)

На сегодня фирма Figaro производит три типа датчиков газа: полупроводниковые, электрохимические и каталитические. Рассмотрим их более подробно.

Полупроводниковые датчики газа на основе оксида металлов

Данный тип датчиков был разработан в 1962 году японским изобретателем Наойоши Тагучи. В его честь — первая буква в названии этих продуктов: TGS (Taguchi Gas Sensor).

Принцип работы полупроводниковых датчиков основан на том, что, когда концентрация газа увеличивается, резистивное сопротивление уменьшается. Большинство сенсоров TGS сделаны на основе оксида олова, резистивное сопротивление которого

в чистом воздухе достаточно высокое. Но при наличии в воздухе газов взрывоопасных веществ (метан, пропан, водород и т. д.), паров органического происхождения (алкоголь, кетон, эфирное масло, бензол и т. п.), а также многих других газов и примесей оно резко снижается. А это искажает показания датчиков.

Учитывая данный факт, в настоящее время фирма Figaro начала производство двух семейств полупроводниковых датчиков на основе оксидов благородных металлов, которые реагируют на содержание в воздухе выше перечисленных примесей минимально. Это серии 8 (TGS800, ... TGS883, TGS203) и 2000 (TGS2180, TGS2181, ... TGS2620). Серия 2000 отличается от предыдущей более современной толстопленочной технологией изготовления. При этой технологии используется техника трафаретной печати на подложке, что позволяет производить датчики газа определенной серии с исключительно схожими характеристиками.

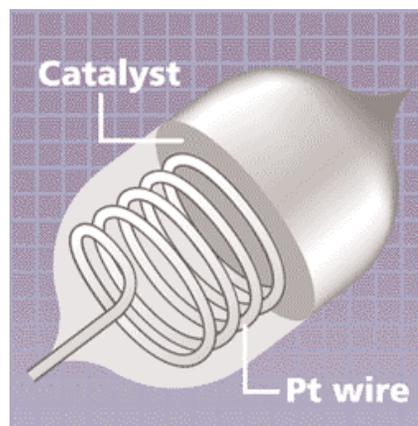
Поскольку чувствительное к газу химическое вещество, содержащееся в полупроводниковых датчиках, в процессе работы не расходуется, они характеризуются продолжительным сроком действия (при нормальных условиях окружающей среды

— около 10 лет). Основные электрические параметры серий 8 и 2000 приведены в табл. 2.

Помимо этих серий полупроводниковых датчиков следует отметить недавно появившуюся серию 3000, в которой компания Figaro кардинально изменила конструкцию нагревательного элемента, сократив его размеры и уменьшив потребляемую мощность.

Типичным представителем данной серии является комбинированный датчик TGS3870, способный детектировать одновременно два газа — метан и угарный газ (CO). При этом он имеет миниатюрные размеры и характеризуется низким энергопотреблением.

По сравнению с подобными датчиками от производителей-конкурентов, TGS3870 обладает лучшей чувствительностью даже в условиях высокой влажности, а также стабильностью и надежностью, что делает его оптимальным выбором для разработчиков детекторов утечки газа для жилых помещений и газовых котельных.



Каталитический датчик используется для определения наличия и концентрации взрывоопасных газов

Электрохимические датчики газа с твердым электролитом

Figaro была первой компанией, которая успешно внедрила в серийное производство датчики углекислого газа (CO₂) на основе твердо-

тельного электролита по запатентованной фирмой Figaro технологии. Эти датчики (TGS4160, TGS4161) характеризуются компактными размерами, низким электропотреблением, меньшей стоимостью и более продолжительным временем наработки на отказ, чем датчики, созданные по инфракрасной технологии.

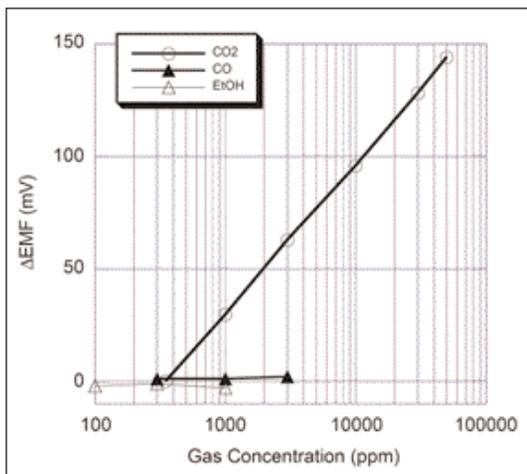


График чувствительности датчика TGS4160 к различным газам

▼ **Сферы применения газовых датчиков**

Детекторы газа на основе современных датчиков широко применяются в различных отраслях промышленности и экономики во всем мире. Наиболее широко они используются в домах, оборудованных газовыми плитами или газовыми системами отопления.

В Японии обязательное требование наличия подобных устройств закреплено законодательно в целях обеспечения безопасности населения. В Украине, согласно последним нормативным актам по пожарной безопасности, также предусматривается установка подобных детекторов утечки природного газа и СО на кухнях и в котельных. Тем не менее, у нас эти требования выполняются не всегда.

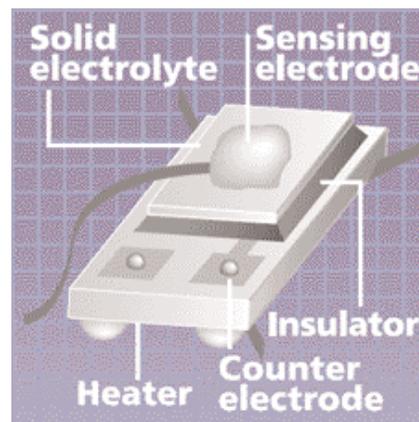
Также датчики газа нашли свое применение в производстве воздухоочистителей, кондиционеров и систем вентиляции помещений. К сожалению, в Украине пока не принято никаких законодательных актов, как это сделано в Европе и Японии, по внедрению воздухоочистительных систем, контролирующих содержание угарного газа (СО) от сигарет и углекислого газа (СО₂), хотя бы в многолюдных помещениях. Еще одна сфера применения

сенсоров – производство кухонных вытяжек, устанавливаемых над плитой для автоматического управления системой вентиляции в зависимости от концентрации кухонных испарений.

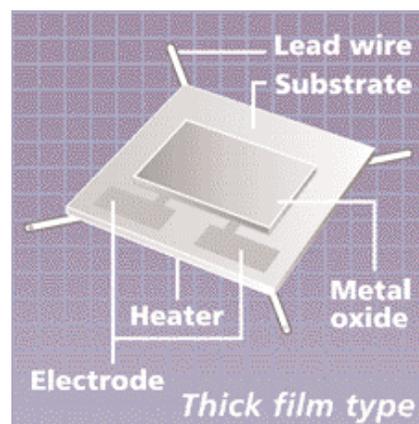
В транспортных средствах датчики используются как приложения автомобильной электроники: системы кондиционирования и климат-контроль салона. Это также детекторы взрывоопасных газов для газовых и водородных двигателей, детекторы токсичных газов на стоянках, в гаражах и др. Кроме того, ГАИ и патрульные службы широко используют детекторы на алкоголь.

Для нормального роста растений и грибов в теплицах сейчас используют сенсоры контроля СО₂ на датчиках TGS4160. Управляя системой вентиляции в теплице, эти приборы обеспечивают все условия для быстрого роста растений и грибов, например, шампиньонов.

В морозильной технике, в холодильниках и рефрижераторах с помощью соответствующих детекторов легко осуществлять контроль утечки фреона. В микроволновках с датчиком TGS2180 по испарениям различных газов можно контролировать процесс приготовления пищи.



Электрохимический датчик на основе твердотельного электролита характеризуется компактными размерами и низким электропотреблением



При изготовлении полупроводникового толстопленочного датчика используется техника трафаретной печати на подложке

Например, датчик TGS4160 имеет в своем составе гибридную структуру (сенсор) из твердого электролита, 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.

Носителями заряда в сенсоре являются катионы натрия (Na⁺). При помещении в среду с углекислым газом на электродах сенсора происходят следующие электрохимические реакции:

Катод: 2Li⁺ + CO₂ + 1/2O₂ + 2e⁻ = Li₂CO₃

Анод: 2Na⁺ + 1/2O₂ + 2e⁻ = Na₂O

В целом: Li₂CO₃ + 2Na⁺ = Na₂O + 2Li⁺ + CO₂

В результате электрохимической реакции элемент создает разность потенциалов (ЭДС), являющуюся откликом датчика и выражающуюся по закону Нернста следующим образом:

$$ЭДС = E_c - (RT/2F)\ln(P(CO_2)),$$

где **E_c** – константа;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура (K);

F – постоянная Фарадея;

P (CO₂) – парциальное давление углекислого газа.

Из графиков чувствительности датчика TGS4160 к различным газам, где регистрируемым параметром является разность между значением ЭДС при концентрации углекислого газа 350 ppm (ЭДС₁) и значением

ЭДС при текущем значении концентрации (ЭДС₂), следует:

$$ЭДС = ЭДС_1 - ЭДС_2.$$

Датчик TGS4160 дает хорошую линейную зависимость между ЭДС и концентрацией углекислого газа (в логарифмическом масштабе), тогда как для угарного газа (СО) и этанола (С₂Н₅ОН) значение ЭДС с ростом концентрации не изменяется. Чтобы обеспечить максимальную точность измерений, Figaro предлагает в таких случаях использовать специально разработанный измерительный модуль CDM4160, содержащий микро-

Табл. 3. Кислородные датчики Figaro

Параметры	KE-25	KE-50
Диапазон концентраций кислорода в воздухе	0 - 100 %	
Точность	-0,01	-0,02
Задержка отклика (90%)	12 с	60 с
Срок службы	5 лет	10 лет
Стандартн. температурный диапазон	+5°С...+40°С при относительной влажности 10..90%	
Давление воздуха	0.5 - 1.5 атм.	

процессор для цифровой обработки сигнала.

Технические параметры датчиков определения концентрации углекислого газа, изготавливаемых на основе твердого электролита, приведены в табл. 4.

Электрохимические датчики газа с жидким электролитом

На сегодняшний день компания Figaro выпускает 2 вида сенсоров данного типа: кислородные и сенсоры угарного газа. Они демонстрируют высокую точность, хорошую линейность и превосходную чувствительность при измерении концентрации газа. Датчики с жидким электролитом не содержат нагревательного элемента и, как следствие, не потребляют электроэнергию, поэтому могут с успехом использоваться в переносных устройствах с электропитанием от батареек или аккумуляторов.

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 CO₂),



Конструкция корпуса датчика TGS5042 исключает риск утечки вредных веществ

легко вступающих в реакцию окисления. Срок годности электролита кислотного типа в 10 раз превышает срок годности щелочных электролитов.

Величина выходного тока датчика линейно пропорциональна концентрации кислорода (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.

При измерении концентрации кислорода на электродах сенсора с электролитом кислотного типа происходят следующие химические реакции:

Катод: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

Анод: $2Pb + 2H_2O \rightarrow 2PbO + 4H^+ + 4e^-$

Табл. 4. Датчики Figaro на основе твердого электролита

Параметр	TGS4160	TGS4161
Диапазон концентраций	350 - 50 000 ppm	350 - 10 000 ppm
Напряжение, подаваемое на нагреват. элемент (VH)	5.0 + 0.2 В (DC)	5.0 + 0.2 В (DC)
Ток через нагревательный элемент	около 250 мА	около 50 мА
Сопротивление нагреват. элемента (комн. т-ра) (Кц)	11.5 +/- 1.1 Ом	70 +/- 7 Ом
Потребляемая мощность нагревательного элемента	около 1.25Вт	около 0.3Вт
Сопротивление встроенного термистора	100кОм + 5%	нет
Константа В встроенного термистора	3450 + 2%	нет
Рабочие условия окружающей среды	-10°C - +50°C, при отн. влажн. до 95%	-10°C - +50°C, при отн. влажн. до 95%

В целом: $O_2 + 2Pb \rightarrow 2PbO$

В результате реакции на аноде образуется оксид свинца, который хорошо растворяется как в кислотной, так и в щелочной среде. Тем не менее, способность электролита растворять этот оксид ограничена, и если он не растворяется полностью, а остается на электроде, потенциал анода постепенно снижается, что приводит к ухудшению чувствительности датчика и выходу его из строя. Другими словами, срок службы датчика зависит от степени растворимости оксида свинца в электролите конкретного типа.

Растворимость в кислотном электролите, который создан по оригинальной технологии и применяется в датчиках Figaro, в 20 раз превышает растворимость оксида свинца в щелочном электролите.

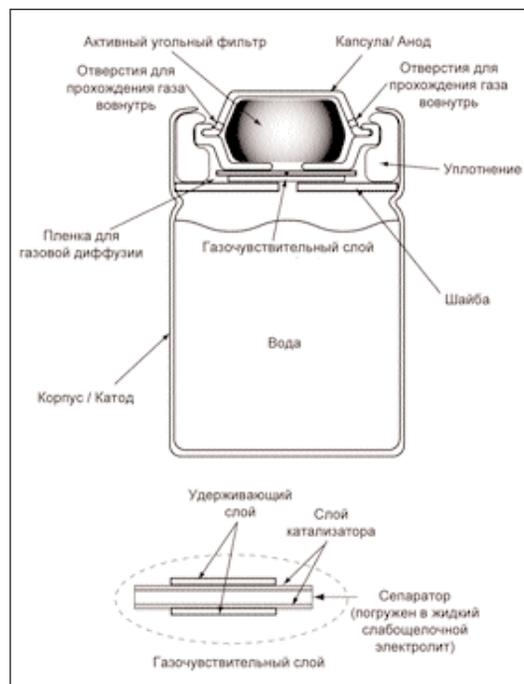
Если в измеряемой газовой смеси присутствует углекислый газ, через мембрану проникает угольная кислота, которая, в случае щелочного электролита, вступает в реакцию с материалом анода с образованием нерастворимого карбоната свинца (PbCO₃), что постепенно приводит к выходу сенсора из строя. В кислотном электролите эта реакция не происходит. Технические характеристики кислородных датчиков представлены в табл. 3.

Среди датчиков угарного газа рассмотрим более подробно новый электрохимический сенсор с жидким электролитом TGS5042, ко-

торый выполнен в корпусе от обычной пальчиковой батарейки AA и способен работать в диапазоне температур от -40 до +70 °C при концентрациях CO от 0 до 10 000 ppm.

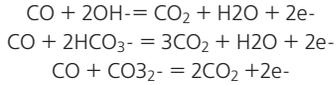
По сравнению с подобными сенсорами от других производителей, для TGS5042 характерны: отсутствие риска утечки электролита из корпуса датчика; отсутствие износа электродов и расхода химических материалов датчика в процессе работы; низкая чувствительность к интерференционным газам.

На электродах сенсора TGS5042 с электролитом слабощелочного типа происходят следующие химические реакции:

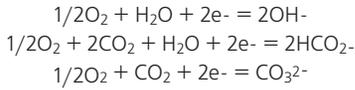


Конструкция электрохимического датчика TGS5042

Анод:



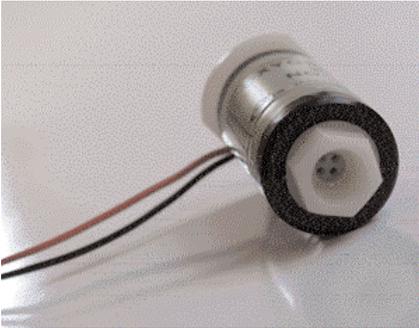
Катод:



В целом:



Благодаря длительному времени наработки на отказ, хорошей долговременной стабильности в работе, линейности и высокой точности измерений концентрации газа, этот сенсор является идеальным выбором



Наличие углекислого газа в измеряемой смеси кислородного датчика не влияет на его характеристики

для детекторов CO с цифровой индикацией. На корпусе каждого сенсора напечатан индивидуальный баркод – параметр чувствительности, по которому заказчику будет проще осуществлять калибровку своей электрической схемы.

Каталитические датчики газа

Данные сенсоры обычно используют для определения наличия и концентрации взрывоопасных газов – метана, пропана, водорода, ацетилена. В датчиках этого типа поверхность чувствительного элемента покрыта тонким слоем катализатора, в качестве которого может использоваться, например, платина, палладий или диоксид олова.

Попадающий на слой катализатора газ окисляется кислородом воздуха и вызывает дополнительный нагрев этого слоя. Изменение температуры приводит к появлению электрического сигнала, который усиливается электронной схемой.

Каталитические датчики Figaro отличаются компактными размерами, длительным сроком службы, стабильными и линейными выходными характеристиками, быстрым време-



TGS4161 – наиболее компактный датчик углекислого газа

нем отклика. Это делает их идеальными для детектирования многих взрывоопасных газов.

Как видно из статьи, перечисленные типы датчиков удовлетворяют всем требованиям по измерению уровня газа в различных областях. Поэтому хочется надеяться, что в Украине не за горами те времена, когда детекторы газа на основе современных сенсоров будут применяться более широко. **MA**

maxilogic®
programming the industry

Ми програмуємо промисловість

Середовище розробки застосовань для промислових контролерів

- Підтримка стандарту IEC 61131-3
- Вбудовані драйвери для PC-based засобів автоматизації від компаній Advantech, Fastwel, Octagon
- Вбудована підтримка протоколів ModBus/RS485 і ModBus/TCP
- Вбудований віртуальний контролер для симуляції вхідних і вихідних сигналів
- Вбудований багатоканальний віртуальний осцилограф для побудови трендів параметрів
- Вбудована підтримка табличного процесора Excel
- Можливість реалізації локального HMI сумісно з MaxiLogic
- Ліцензування середовища розробки



ЛОГІКОН
Засоби промислової автоматизації
www.logicon.ua

КИЇВ:
Тел./факс: (044) 622-6180
(044) 522-6019
E-mail: info@logicon.ua

ХАРКІВ:
Тел.: (067) 716-7839
Тел./факс: (057) 716-4299
E-mail: ch@logicon.ua

ЗАПОРІЖЖЯ:
Тел.: (0612) 33-4899
Тел./факс: (0612) 34-2771
E-mail: zp@logicon.ua

ДОНЕЦЬК:
Тел.: (062) 345-8049
Тел./факс: (062) 345-6850
E-mail: dn@logicon.ua