

# Полупроводниковые чувствительные элементы для датчиков газов и систем сигнализации

**Вадим Буслов, Владимир Кожевников, Дмитрий Куликов, Станислав Рембеза, Дмитрий Русских (г. Воронеж)**

**В статье представлен краткий обзор полупроводниковых газовых сенсоров. Приведён пример конструкции высокочувствительного сенсора и результаты его испытаний в виде зависимости адсорбционного отклика от концентрации паров этилового спирта и ацетона в воздухе.**

## ВВЕДЕНИЕ

Спрос на портативные газовые детекторы в настоящее время сильно возрос в связи с необходимостью их использования в различных отраслях техники (для предотвращения взрывов и пожаров, при работе с взрывоопасными и ядовитыми газами), а также для мониторинга экологической обстановки в крупных городах и на опасных производствах. Использование газов в качестве горючего в автомобилях и в автоматизированных мини-котельных также делает актуальной проблему контроля и сигнализации об утечках газа. Кроме того, необходимо иметь в достаточных количествах индивидуальные и коллективные средства защиты людей, работающих в зонах повышенной взрывоопасности и токсичности (в шахтах, газохранилищах, химических и металлургических производствах). Контроль утечек бытового газа позволяет предотвратить разрушительные взрывы. Всё это стимулирует развитие исследований в области полупроводниковых газовых сенсоров.

Известно, что обратимая хемосорбция активных газов на поверхности полупроводниковых окислов и халькогенидов сопровождается обратимыми изменениями проводимости. Это обстоятельство делает полупроводниковые материалы наиболее привлекательными для изготовления на их основе газочувствительных электронных преобразователей. Разработаны полупроводниковые сенсоры на основе широкозонных полупроводников, таких как  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,

$\text{TiO}_2$ , и  $\text{WO}_3$ , но  $\text{SnO}_2$  (диоксид олова) в качестве чувствительного материала наиболее популярен из-за технологичности и низкой стоимости, высокой химической стабильности, механической прочности, термостойкости, высокой адгезии к стеклу и другим подложкам [1, 2].

Полупроводниковые газовые детекторы характеризуются малыми размерами, высокой чувствительностью и надёжностью. Они имеют широкий динамический диапазон (около четырёх порядков), что даёт уникальную возможность одновременного измерения и регистрации как низких, так и высоких концентраций газов одним сенсором. Данные о концентрации газа преобразуются непосредственно в электрический сигнал, а для реализации измерительного прибора используются достаточно простые в настройке и эксплуатации электронные схемы.

Ведущими мировыми производителями полупроводниковых датчиков газов являются такие фирмы, как Rilken Keiki Fine Instr., Nippon Monitors, Figaro (все три – Япония), Sen-Tech (Южная Корея), MIC (Южная Корея), Capteur sensors (Великобритания), UST (Германия), Microsens (Швейцария) и др.

Имеется информация о выпуске полупроводниковых датчиков газов на российских предприятиях ФГУП НПП «Дельта» НПЦ-5 и ОАО «Авангард».

## ТИПЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

Газовые сенсоры на основе металлооксидных полупроводников, про-

изводимые в промышленных объёмах, подразделяются по своему типу на тонко- и толстоплёночные [3]. Критерием для такого разделения служит отношение общей толщины плёнки к размеру зерна в плёнке. Тонкими считаются плёнки, у которых это отношение составляет несколько десятков, для толстых оно может достигать нескольких сотен и более. Все плёнки-адсорбенты должны обладать большой удельной поверхностью (поверхностью, приходящейся на единицу объёма адсорбента); соответственно, изменение электропроводности чувствительных элементов при адсорбции на них газов тем больше, чем больше их удельная поверхность. Кроме того, полупроводниковые окислы должны иметь достаточную химическую устойчивость, не образовывать соединений с адсорбируемыми молекулами и обладать термической и механической прочностью.

В целом конструкция чувствительного элемента газового сенсора должна удовлетворять следующим основным критериям [4]:

- малое энергопотребление;
- небольшие габариты;
- высокая механическая прочность;
- низкая себестоимость в условиях серийного производства.

Энергопотребление является важным критерием, характеризующим качество проектирования и изготовления газочувствительного элемента. Снижение энергопотребления актуально потому, что при изготовлении портативного газового детектора стоит задача миниатюризации контролирующего прибора и уменьшения веса, большую часть которого составляют источники электропитания – батареи или аккумуляторы. Считается приемлемой потребляемая чувствительным элементом мощность до 1 Вт. Как правило, выполнение этого требования напрямую за-

висит от выбранного способа повышения теплового сопротивления между кристаллом газового сенсора и окружающими элементами конструкции. Чаще всего для теплоизоляции используют воздушную прослойку, так как воздух обладает как минимум на порядок меньшей теплопроводностью, чем самые лучшие из доступных теплоизоляторов.

Механическая прочность необходима для того, чтобы изготовленный чувствительный элемент выдержал нагрузки, возникающие в процессе последующей обработки, при монтаже кристалла газового сенсора в корпус и в процессе эксплуатации.

### Конструкция толстоплёночных сенсоров газов

Первая информация о конструкции толстоплёночных сенсоров газов появилась в 1960-х годах. Самая распространённая из них носит имя своего разработчика – Тагучи (Taguchi) и применяется до сих пор.

В настоящее время наибольшее распространение имеют толстоплёночные сенсоры, изготавливаемые с применением технологии трафаретной печати. В этом случае возможна автоматизация большинства процессов производства, что значительно улучшает воспроизводимость параметров. Пример такого сенсора представлен на рисунке 1.

Одной из трудностей создания толстоплёночных сенсоров является относительно большая масса структуры, так как чувствительный элемент имеет размеры 6...8 мм. Для укрепления контактов проволоочных соединений применяются специальные металлические зажимы [6].

Несмотря на простоту и дешевизну производства сенсоров указанного типа, имеется ряд недостатков, связанных с большой толщиной газочувствительного слоя. Создаваемый методом трафаретной печати газочув-

ствительный слой имеет малое отношение площади поверхности к объёму. Значительный пассивный внутренний объём уменьшает проводимость, долго стабилизируется и накапливает молекулы газов, что снижает скорость отклика сенсора.

### Конструкции тонкоплёночных сенсоров газов

Процессы, ответственные за изменение проводимости чувствительного элемента, происходят в основном на границе газовой фазы и газочувствительной плёнки, поэтому особое значение уделяется качеству поверхности окисла. Благодаря выгодному отношению поверхности к объёму тонкие плёнки окислов металлов наиболее пригодны для изготовления сенсоров.

При создании тонкоплёночных сенсоров в полной мере могут быть использованы основные технологические методы микроэлектроники: вакуумное напыление и фотолитография. Применение более совершенной технологии способствует повышению производительности при изготовлении газочувствительного элемента, уменьшению его размеров и потребляемой мощности, повышению воспроизводимости параметров и их стабильности, что создаёт предпосылки для массового производства микроэлектронных полупроводниковых детекторов [3].

### Основные типы структур тонкоплёночных газовых сенсоров

В настоящее время существует три основных типа структур серийных газовых сенсоров: со сплошной мембраной, с выводами паучкового типа и с кристаллом, висящим на проволоочных выводах:

- сенсоры со сплошной мембраной изготавливаются при помощи анизотропного травления обратной

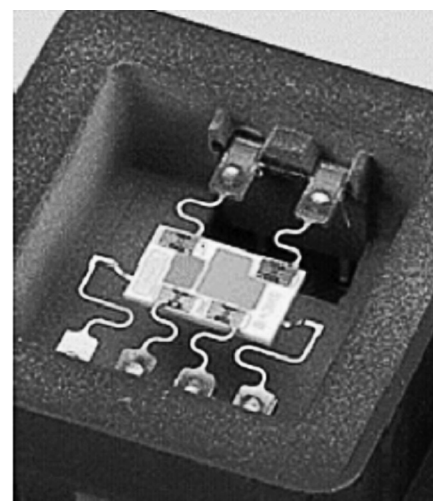


Рис. 1. Толстоплёночный сенсор, изготовленный при помощи технологии трафаретной печати [5]

стороны кремниевой подложки (см. рис. 2). Травление продолжается до тех пор, пока не будет остановлено мембранной – слоем  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , кремнием, сильно легированным бором и др. Технологические процессы создания такой структуры полностью совместимы с процессами создания интегральных схем, что является бесспорным преимуществом. Существенным недостатком данной конструкции является необходимость обработки пластины с обеих сторон. К тому же из-за наклонных стенок, образующихся в монокристаллах кремния плоскостями (111) при анизотропном травлении (см. рис. 3), площадь структуры увеличивается, по данным авторов работы [6], как минимум в 2½ раз. Чтобы избежать этого эффекта, предлагается использовать технологии плазменного травления, дающего строго вертикальные стенки, что позволит увеличить количество структур, получаемых на одной пластине;

- сенсоры с паучковыми выводами. В отличие от предыдущего типа, выравливание полости под газочувствительной структурой происхо-

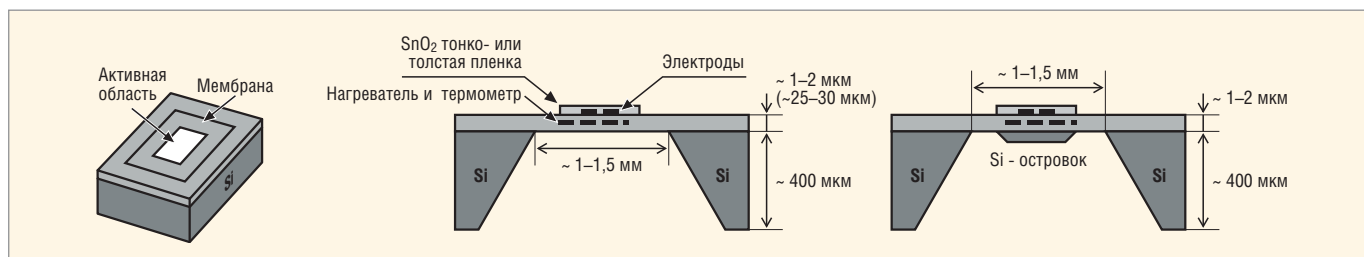


Рис. 2. Сенсор со сплошной мембраной, представленный в работе [6]; справа – конструкция с островком кремния для улучшения распределения тепла по площади чувствительного элемента

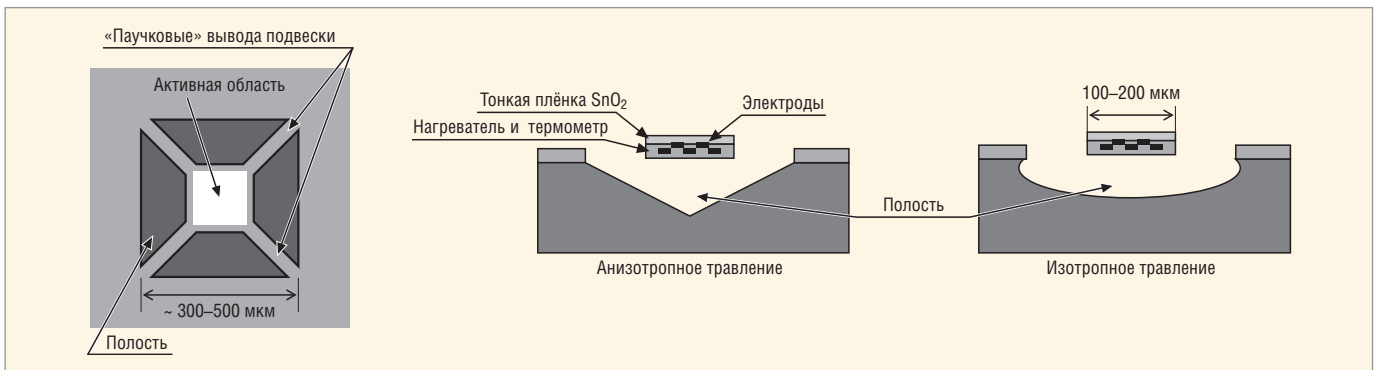


Рис. 3. Сенсор с паучковыми выводами, представленный в работе [6]; в центре – конструкция, изготовленная с использованием анизотропного, справа – изотропного травления

дит только с лицевой стороны кремниевой подложки (см. рис. 3) [6]. При изготовлении может быть использовано как анизотропное травление, и при этом образующаяся каверна имеет правильную пирамидальную форму, образованную плоскостями (111) (рис. 3, в центре), так и обычное изотропное травление, когда образующаяся полость имеет свободную форму (рис. 3, справа). Травление производится через вскрытые при помощи фотолитографии трапециевидные окна в окисле или нитриде [7]. Данная структура более технологична по сравнению с мембранной, так как обрабатывается только одна плоскость полупроводниковой пластины. Сам процесс вытравливания полости отличается незначительно. Этот вариант наиболее близок к производственному процессу создания полевых транзисторов [8], что является одним из достоинств данной конструкции. Поскольку утечка тепла от газочувствительной области возможна преимущественно по тонким (несколько мкм) и длинным (обычно около 100...200 мкм [6]) выводам,

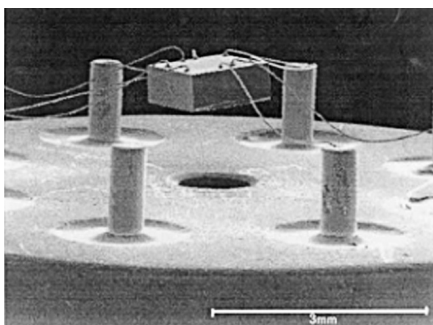


Рис. 4. Внешний вид сенсора с кристаллом, висящим на проволочных выводах [9]. Масса кристалла в данном случае составляет менее 2 мг, для межсоединений использована золотая проволока диаметром около 50 мкм

выполненным из материалов с малой теплопроводностью ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), теплоизоляция газочувствительной области в структуре второго типа будет даже лучше, чем в структуре первого типа, где мембрана является сплошной;

- сенсоры третьего типа, с кристаллом, висящим на проволочных выводах. Идея данной конструкции заключается в том, что если кристалл сенсора имеет малые размеры и вес порядка нескольких миллиграмм, то его можно разместить, подвесив на проволочных выводах вдали от элементов корпуса, как это предлагают авторами работы [9] (см. рис. 4). Условие реализуемости данного вида монтажа является малая масса кристалла. При этом утечка тепла происходит в основном по проволочным выводам и, в силу их малого сечения, относительно невелика. Преимуществом данного типа сенсора является простота технологического процесса изготовления, т.к. используются хорошо отработанные, простые операции. Кроме того, нет необходимости в вытравливании полостей. Однако у данной конструкции имеется ряд серьезных недостатков. Проволочные выводы изготавливаются из материалов, хорошо проводящих электрический ток и тепло (платина, золото, алюминий). Поэтому, чтобы снизить утечку тепла, необходимо уменьшать сечение проволоки и выбирать между уменьшением рассеиваемой мощности и механической прочностью монтажа. Вторая проблема заключается в надёжной фиксации кристалла в корпусе во время приварки выводов таким образом, чтобы впоследствии можно было легко освободить кристалл и

вывести его из теплового контакта с корпусом. В работе [9] авторы предлагают фиксировать кристалл при помощи вакуума через отверстие в днище корпуса (на рисунке 4 – отверстие под кристаллом). При реализации такого способа монтажа возникает проблема обеспечения устойчивости полученного прибора при ударах и вибрации, поскольку материалы проволочных выводов являются мягкими и пластичными.

### Конструкция разработанного газового сенсора

Авторами статьи была разработана конструкция сенсора с тонкоплёночным газочувствительным слоем, реализуемого по технологии, полностью совместимой с технологией производства изделий микроэлектроники. Это позволяет изготавливать групповым методом кристаллы малогабаритных, экономичных и малоинерционных газовых сенсоров. Преимуществом применяемой тонкоплёночной технологии является возможность создания всех элементов датчика в едином технологическом цикле.

### Конструкция чувствительного элемента

Конструкция чувствительного элемента датчика газов (см. рис. 5) имеет дифференциальную структуру. На одном кристалле расположены две идентичные области, одна из которых защищена от воздействия окружающей атмосферы газонепроницаемой плёнкой, поэтому её проводимость остаётся неизменной при изменении состава окружающей атмосферы. Проводимость защищённой области сравнивается с проводимостью незащищённой, газочувстви-

тельной области для определения влияния газа.

Конструкция чувствительного элемента представляет собой прямоугольный кристалл термически окисленного кремния со стороной 1 мм и толщиной 0,4 мм. На кристалле методом магнетронного распыления сформирован платиновый мандр (1), который является нагревателем или термосопротивлением для измерения температуры, и полосковые электроды (2), на которые нанесена газочувствительная плёнка  $\text{SnO}_2$  (3). К контактным площадкам (4) привариваются соединительные выводы из алюминиевой или золотой проволоки. Площадка с газочувствительной плёнкой открыта для доступа газов (вверху), вторая площадка закрыта напыленным газонепроницаемым материалом (5), например, диоксидом кремния  $\text{SiO}_2$ , и используется как опорный элемент [10].

Материал, из которого выполняется полосковая контактная группа, нагреватель и термодатчик, должен обладать долговечностью, стабильностью, не изменять своих свойств в течение срока эксплуатации газового сенсора, а также при контакте с агрессивными газовыми средами. В связи с этим в качестве конструкционного материала нагревателя и токоведущих дорожек сенсоров часто используют систему металлов титан-платина (Ti-Pt) [11]. Основным токоведущим слоем системы является платина, которая обладает стабильностью электрических характеристик при работе в диапазоне температур 200...700°C. Подслой титана используется с целью улучшения адгезии платины к окисленной подложке.

В результате исследований было установлено, что многослойные системы Ti-Pt и Ti-TiN-Pt имеют хорошую стабильность электрических параметров в процессе длительной эксплуатации при температуре 500°C, что позволяет использовать их в качестве конструкционного материала нагревателя и токоведущих дорожек газового сенсора. Применение промежуточного слоя нитрида титана предпочтительнее, т.к. при отжиге относительное изменение сопротивления (до момента стабилизации) минимально, что позволяет изготавливать элементы сенсора с хорошо контролируемыми и воспроизводимыми электрическими параметрами [12].

Формирование газочувствительного слоя – тонкой плёнки диоксида олова толщиной 0,25 мкм – производилось следующим образом. Плёнку диоксида олова наносили методом реактивного магнетронного распыления в атмосфере смеси газов аргона (75%) и кислорода (25%) на постоянном токе. С целью улучшения газочувствительных свойств слоя производилось легирование плёнки диоксида олова кремнием в количестве 1 ат. % в процессе распыления составной мишени. Топологию плёнки формировали методом «взрывной» (lift off) литографии. Для кристаллизации и стабилизации сопротивления плёнки диоксида олова проводился термический отжиг на воздухе при температуре 500°C в течение 5 ч [13].

#### Способ монтажа кристалла чувствительного элемента в корпус

При монтаже кристалла сенсора в корпус необходимо, с одной стороны, обеспечить надёжное соединение кристалла и дна корпуса в процессе ультразвуковой приварки проволочных выводов, а с другой стороны, создать надёжную тепловую изоляцию между кристаллом и корпусом в процессе функционирования. Для решения этой задачи было использовано два технологических метода.

В первом случае использовался специальный сублимирующий клей, который перед приваркой выводов закреплял кристалл к корпусу. После приварки выводов полученная конструкция нагревалась, клей улетучивался, оставляя между кристаллом и корпусом воздушную прослойку, достаточную для обеспечения тепловой изоляции.

Недостатком этого способа является низкая стойкость к механическим воздействиям, таким как удары, линейное ускорение и вибрация. При механическом ударе, после остановки внешнего корпуса кристалл газочувствительного элемента продолжает движение по инерции и может оторвать соединительные выводы.

Во втором случае крепление подложки в корпусе осуществляется с помощью вспенивающегося при термообработке компаунда с низкой теплопроводностью. Данный компаунд в первоначальном состоянии обеспечивает надёжное крепление подлож-

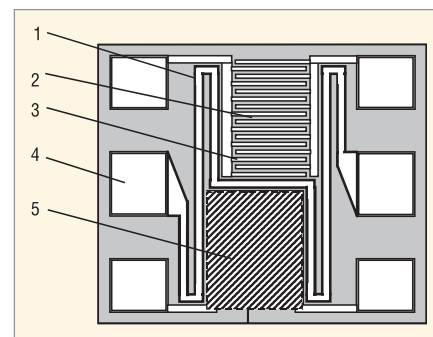


Рис. 5. Топология чувствительного элемента сенсора, разработанная для измерений по дифференциальной схеме

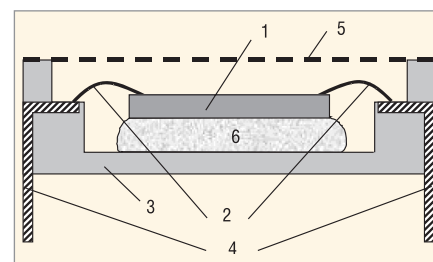
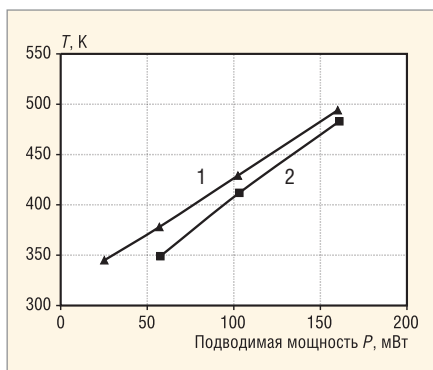


Рис. 6. Схема размещения кристалла сенсора в корпусе (разрез, масштаб не соблюден): 1 – кристалл датчика; 2 – алюминиевые проволочные выводы; 3 – керамическое дно корпуса; 4 – металлические выводы корпуса; 5 – защитная сетка; 6 – теплоизолирующий слой

ки к корпусу в процессе ультразвуковой приварки выводов. При последующей температурной обработке (свыше 100°C) компаунд вспенивается и приподнимает подложку над дном корпуса, выводя из непосредственного теплового контакта. После окончания термообработки компаунд увеличивается в объёме и представляет собой затвердевшую пену, обладающую высокой механической прочностью и низкой теплопроводностью [14].

Сущность конструкции поясняется на рисунке 6, где схематично показан сенсор после термообработки и вспенивания компаунда. Сенсор состоит из корпуса 3, внешних электрических выводов корпуса 4 и внутренних проволочных выводов 2, которые соединяют контактные площадки выводов корпуса и газочувствительного элемента 1. Последний установлен на подложке из кремния или другого материала, вспененного после термообработки компаунда 6. Для защиты внутренних элементов сенсора используется сетчатая крышка 5 из нержавеющей стали с размером ячейки 94 мкм.

Для сравнения эффективности двух способов монтажа было прове-



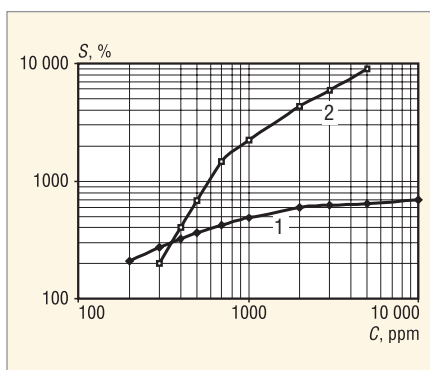
**Рис. 7. Зависимость температуры поверхности кристалла газовой сенсора от подводимой к нагревателю электрической мощности**

Варианты монтажа: 1 – свободно висящий кристалл на проволочных выводах диаметром 35 мкм; 2 – кристалл, прикреплённый с помощью вспененного компаунда, проволочные выводы диаметром 35 мкм

дено измерение зависимости температуры кристалла от потребляемой электрической мощности при помощи ИК-камеры ThermoCAM SC 3000 (см. рис. 7); видно, что оба способа монтажа имеют почти одинаковую и высокую энергетическую эффективность.

Испытания разработанных газовых сенсоров на устойчивость к механическим воздействиям проводились на вибрационной электродинамической установке УВЭ-1-004.

Фирма Figaro (Япония), один из ведущих производителей газовых сенсоров, гарантирует устойчивость сво-



**Рис. 8. Зависимость относительной газовой чувствительности сенсоров (S) от концентрации паров этилового спирта (график 1) и паров ацетона (график 2) в воздухе (C) при постоянной температуре**

ей продукции (сохранение всех элементов и параметров конструкции неизменными) к вибрационному воздействию с частотой 16 Гц, амплитудой перемещения 4 мм в течение 5 ч и воздействию пяти однократных ударов с ускорением 100 g [5]

Сенсоры, кристаллы которых были закреплены с помощью вспенивающегося компаунда, успешно выдержали указанное вибрационное воздействие. При продолжении испытаний они выдержали вибрационное воздействие по каждой оси координат 15-минутными циклами ускорений 20 g с частотой 50 Гц → 2000 Гц → 50 Гц в течение 3 ч, что соответствует 14 классу жёсткости по ГОСТ 20.57.406-81 «Изделия электронной

техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний» [15].

Испытания на воздействие одиночных ударов многократного действия проводились на ударном стенде 12МУ-50/1470-1. Выбор режимов проведения испытаний осуществлялся в соответствии с [15].

Сенсоры успешно выдержали воздействие одиночных ударов многократного действия с ускорением 150 g, по 2000 ударов в каждом направлении с частотой 10 ± 2 ударов в минуту, что значительно превышает требования к продукции фирмы Figaro.

Сенсоры успешно выдержали воздействие серий однократных ударов с ускорениями 500, 1000 и 1500 g, по 5 ударов в каждом направлении.

Таким образом, разработанная конструкция газовых сенсоров, использующая для монтажа газочувствительного элемента вспенивающийся компаунд, демонстрирует высокую стойкость к механическим воздействиям и может без ограничений применяться в составе микроэлектронной аппаратуры специального назначения.

**Чувствительность газовых сенсоров**

В результате технологических операций сборки и хранения сенсоров происходит изменение сопротивления чувствительного слоя. Поэтому после длительного простоя для стабилизации сопротивления необходимо проводить отжиг кристалла (нагрев слоя подачей напряжения на нагреватель сенсора) при температуре 400°C на воздухе в течение не менее 5 ч в первый раз и не менее 3 ч в дальнейшем.

На рисунке 8 представлена зависимость адсорбционного отклика от концентрации паров этилового спирта (1) и ацетона (2) при постоянной температуре чувствительного элемента 300°C. За адсорбционный отклик датчика S принималось отношение (R0/R1 - 1), где R0 – сопротивление датчика в чистом воздухе, R1 – сопротивление при воздействии контролируемого газа. Требуемая концентрация паров газа создавалась методом испарения определённого количества жидкости в замкнутом объёме [16].

Из полученных зависимостей можно сделать вывод, что датчики, изготовленные по предложенной техно-

**Основные технические характеристики разрабатываемого сенсора газов и сенсора TGS2600 фирмы Figaro**

Параметры	Разрабатываемый датчик	TGS2600 Figaro
Сопротивление чувствительного слоя, кОм	1...3 (при 300 ppm C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	1...5 (при 300 ppm C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)
Потребляемая мощность датчика, не более, мВт	170	210
Напряжение питания, В	3,0...6,0	5,0 ± 0,2
Время установления сопротивления при первом включении, с	300	450
Время установления выходного сигнала после подачи газа, с	25	30
Время установления выходного сигнала после отключения подачи газа, с	150	180
Температура хранения и эксплуатации, °C	-40...70	-40...70
Контролируемые газы-восстановители	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH и др.	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH и др.
Окислители	Cl <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> и др.	Cl <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> и др.
Пределы измерений концентраций H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, ацетона и др., ppm	50...10 000 (0,05...10) об. %	50...5000 (0,05...5) об. %
Стойкость к механическим воздействиям		
Вибрация	50...2000 Гц, 20 г, в течение 3 ч	17 Гц, 4,1 г, в течение 1 ч
Удары	150 г, 4000 раз, 1500 г, 5 раз, любое направление	100 г, 5 раз, вертикальное направление
Корпус датчика	Стандартный металлокерамический восьмивыводной типа 2101.8-7 или металлостеклянный Т0-5	Т0-5, металлостеклянный

логии, в исследованном диапазоне концентраций обладают чувствительностью к парам этилового спирта и ацетона, достаточной для разработки на их основе электронных приборов индикации и аварийной сигнализации.

## Выводы

Представленные в данной статье газовые сенсоры находятся на уровне лучших зарубежных образцов по техническим характеристикам, а по механической стойкости значительно их превосходят. Сравнительные характеристики разрабатываемого сенсора и широко распространённого сенсора TGS2600 фирмы Figaro приведены в таблице.

Из таблицы видно, что при прочих сходных параметрах разработанный сенсор газов имеет меньшую потребляемую мощность, а повышенное быстродействие обеспечивает более точный мониторинг параметров окружающей среды.

Отсутствие жёстких требований к величине питающего напряжения позволяет использовать схемы питания, не требующие стабилизации.

Высокая стойкость к механическим воздействиям, соответствующая требованиям ГОСТ РВ 20.57.416-98 по вибропрочности, ударной прочности и стойкости к ударам одиночного воздействия, сравнимая с уровнем требований, предъявляемым к мощ-

ным СВЧ-транзисторам, позволит применять разрабатываемые датчики без ограничений в устройствах специального назначения.

Анализ себестоимости производства разработанных газовых сенсоров показывает, что цена одного серийного сенсора будет ниже цены предлагаемых на рынке аналогов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьева Л.В., Скорняков Г.П. Установка для получения плёнки двуокиси олова. ПТЭ. 1980. № 5. С. 235–237.
2. Popova L.I., Mibailov M.G., Georgiev V.K. Structure and morpholo of thin SnO2 films. 1990. Vol. 186. PP. 107–112.
3. Бутурлин А.И., Табузян Т.А., Голованов Н.А. Газочувствительные датчики на основе металлоксидных полупроводников. Зарубежная электронная техника. 1983. № 10. С. 3–39.
4. Виглеб Г. Датчики. Мир, 1989.
5. Figaro Products Catalogue, Figaro gas sensors 1-series 8-series, Figaro Engineering Inc., European Office, Oststrasse 10, 40211, Dusseldorf, Germany.
6. Simon I., BaArsan N., Bauer M., Weimar U. Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performance. Sensors and Actuators. В 73 (2001). PP. 1–26.
7. Dusco C., Vazsonyi E., Adam M., Szabo I., Barsony I., Gardeniers J., Van den Berg A. Porons silicon hulk micromachining for thermally isolated membrane formation. Sensors and Actuators. А 60 (1997). PP. 235–239.

8. Sheng L, Tang Z, Wu J, Clian P, Sin J. A low-power CMOS compatible integrated gas sensor using maskless tin oxide sputtering. Sensors and Actuators. В 49 (1998). PP. 81–87.
9. Chung W., Shim C., Choi S., Lee D. Tin oxide micro sensor for LPG monitoring. Sensors and Actuators. В 20 (1994). PP. 139–143.
10. Пат. РФ № 2257567 С1 RU, МПК G 01 N 27/12. Твердотельный интегральный датчик газов. С.И. Рембеза, В.А. Буслов, Е.С. Рембеза, О.Г. Викин, Г.А. Викин.
11. Руднев В.В. Металлизация полупроводниковых приборов и интегральных схем. Зарубежная электронная техника. Электроника. 1982. № 19.
12. Пат. РФ на полезную модель № 71476, МПК G 01 N 27/12. Многослойная тонкопленочная металлизация. С.И. Рембеза, В.А. Буслов, В.А. Кожевников, Д.Ю. Куликов, С.В. Куликова.
13. Рембеза С.И., Просвириун Д.Б., Викин О.Г., Викин Г.А., Буслов В.А., Куликов Д.Ю. Особенности конструкции и технологии изготовления тонкопленочных металлоксидных интегральных сенсоров газов. Сенсор. 2004. № 1. С. 20–28.
14. Пат. РФ на полезную модель № 56634, МПК G 01 N 27/12. Твердотельный датчик газов. С.И. Рембеза, В.А. Буслов, О.Г. Викин.
15. ГОСТ 20.57.406-81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний.
16. Дорожкин Л.М., Розанов И.А. Химические газовые сенсоры в диагностике окружающей среды. Сенсор. 2001. № 2. С. 2–10. ©

## Новости мира News of the World Новости мира

### Регулятор процесса зарядки для USB-подключения и AC/DC-адаптера

Фирма Microchip представляет MCP73871, регулятор процесса зарядки с функцией управления зарядом литий-ионных/литий-полимерных батарей, который производит зарядку от AC/DC-адаптера или через USB-порт и обеспечивает питанием подключенный прибор. Одночипное заряд-

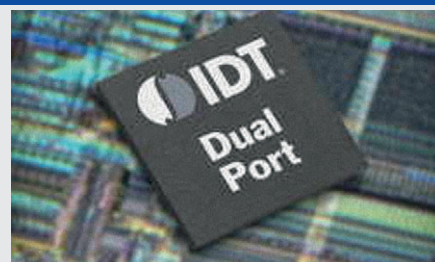


ное устройство имеет интегрированный последовательно включённый транзистор и, по утверждению производителя, спроектирован с расчётом на различные типы батарей и номиналы конечного напряжения. В программе Microchip имеется оценочная плата MCP73871, которая помогает разработчику освоить работу с регулятором. MCP73871 предлагается в 20-контактном корпусе QFN размером 4 × 4 мм.

[microchip.com](http://microchip.com)

### Элементы с двумя портами для промышленности, медицины и связи

Фирма IDT объявила о двух элементах с двумя портами для приложений, применяющихся во всех отраслях — от промышленной техники управления и обработки изображений в медицине до техники связи. Элементы работают с тактовой частотой 200 МГц. Элементы с двумя портами объединяют в



себе память с логикой управления, обеспечивая одновременный доступ к центральной памяти через их независимые порты. Элемент IDT 70P3519 (9 Мб) и элемент IDT 70P3599 (4 Мб) являются двухпортовыми ИС с организацией 256 К × 128 К × 36 бит. Оба элемента, 70P3519 и 70P3599, работают с напряжением 3,3; 2,5 или 1,8 В на одном или обоих портах, напряжение питания ядра составляет 1,8 В. Элементы предлагаются в 266-контактном корпусе BGA, 208-контактном корпусе PQFP и в 208-контактном корпусе fpBGA (find pitch BGA).

IDT