

УДК 537.312

АДСОРБЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЫМА НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО СЕНСОРА ИЗ МЕТАЛЛООКСИДНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА

А.З. АДАМЯН, З.Н. АДАМЯН, В.М. АРУТЮНЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 9 октября 2000 г.)

Основываясь на результатах исследований тонкопленочных сенсоров дыма на основе Bi_2O_3 , не реагирующих на изменения относительной влажности среды, предложена электронная схема адсорбционного детектора дыма, чувствительным элементом которого является исследуемый сенсор. Показано, что такой детектор дыма может стабильно функционировать в условиях высокой относительной влажности среды (до 100%), а по пороговой чувствительности к дыму значительно превосходит известные детекторы дыма.

Результаты исследований полупроводниковых сенсоров дыма на основе тонких пленок двуокиси висмута представлены в работе [1], где изучено влияние относительной влажности среды (RH) на сопротивление пленок. С целью преодоления негативного влияния влажности на работу сенсоров и детекторов дыма, нами была разработана новая конструкция сенсора с нагревателем. В результате измерений температурных характеристик были выявлены оптимальные рабочие режимы эксплуатации сенсоров дыма, при которых действие влажности на сопротивление пленок практически исключается, а пороговая чувствительность к дыму существенно возрастает. В [1] исследованы также временные характеристики сенсоров. Полученные экспериментальные результаты вполне объясняются в рамках предложенного механизма физико-химических процессов, происходящих при адсорбции и десорбции молекул воды и газовых компонент дыма. В настоящей статье приводятся результаты исследований электронной схемы преобразования сигнала сенсора дыма, разработанной с использованием данных, полученных в [1].

Разработанные нами ранее схемы преобразования сигнала сенсоров дыма [2-4] для рассматриваемой модификации сенсоров непригодны, т.к. нагрев сенсора приводит к стабилизации его сопротивления в отсутствие дыма за счет практической ликвидации зависимости

сопротивления от R_H окружающей среды. Благодаря этому стала возможной регистрация очень малых концентраций дыма и, соответственно, улучшение порога срабатывания детекторов дыма по изменению сопротивления. Для реализации этого требуется электронная схема, удовлетворяющая следующим основным условиям:

а) для регистрации изменения сопротивления сенсоров в диапазоне от 10^{14} до 10^{12} Ом необходимо обеспечить соответствующее входное сопротивление схемы;

б) для уменьшения RC цепи необходимо обеспечение малой входной емкости;

в) при регистрации малых изменений сопротивления сенсоров необходимо обеспечить более высокую помехоустойчивость и стабильность работы схемы;

г) для наладки схемы, введения ее в рабочий режим, устранения возможности ложного срабатывания, необходимо обеспечить соответствующую регулировку чувствительности.

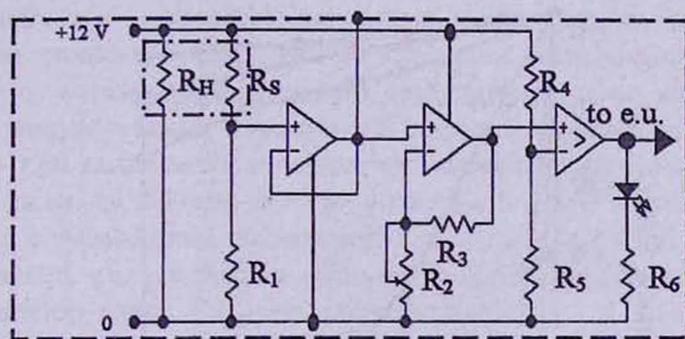


Рис.1. Принципиальная схема детектора дыма.

С учетом этих особенностей нами была разработана схема преобразования сигнала, представленная на рис.1 и используемая в детекторе дыма. Постоянное напряжение питания (U_{PS}) $0 + +12В$ подается на делитель напряжения, в одно плечо которого включен сенсор дыма R_S . Два каскада усиления собраны на базе малошумящего двухканального операционного усилителя TLC-2262 с входным током 1 нА. Возможно также реализовать схему усиления на основе полевых транзисторов типа КП-305Б (Е) с соответствующим входным сопротивлением. Включение первого операционного усилителя в режиме повторителя обеспечивает высокое входное сопротивление и минимальную входную емкость. Второй каскад предоставляет возможность изменения коэффициента усиления по напряжению и, тем самым, чувствительности детектора дыма, что необходимо при наладке схемы. Далее сигнал подается на прямой вход компаратора К554СА3, инверсный вход которого подклю-

чен к делителю R_4/R_5 , делящего напряжение питания пополам. При превышении напряжения сигнала величины $U_{PS}/2$ на выходе компаратора формируется логическая единица, что обеспечивает срабатывание исполнительных устройств (реле, светодиод, пульт управления и т.д.), обозначенных на рис.1 как е.у. Регулировка чувствительности осуществляется как потенциометром R_2 , так и подбором сопротивления R_1 делителя напряжения в широких пределах (до трех порядков величины). Вся монтажная схема экранируется металлической сеткой, находящейся под потенциалом выхода первого каскада-повторителя.

С подключением схемы к источнику питания загорается светодиод, что сигнализирует о том, что в цепи нет обрыва и питание схемы осуществлено. После того, как сенсор с нагревом переходит в рабочий режим (примерно в течение 10 – 15 мин.), светодиод затухает. Это свидетельствует о том, что детектор дыма находится в дежурном режиме и готов к выдаче сигнала.

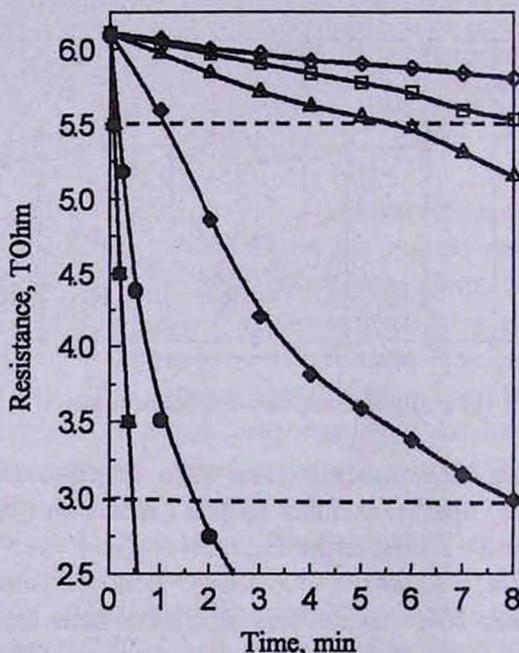


Рис.2. Временные зависимости сопротивления сенсора дыма при воздействии смесью воздух-дым с концентрациями, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$: \diamond , $6.25 \cdot 10^{-9}$; \square , $9.4 \cdot 10^{-9}$; \triangle , $1.6 \cdot 10^{-8}$; \blacklozenge , $3.8 \cdot 10^{-8}$; \bullet , $6 \cdot 10^{-8}$; \blacksquare , $2.5 \cdot 10^{-7}$; \blacktriangle , $5 \cdot 10^{-7}$.

На рис.2 представлены временные зависимости $R(t)$ в линейном масштабе в области тех значений сопротивлений, при которых реализуется срабатывание схемы. Наши долговременные испытания детек-

торов дыма, собранных по схеме, представленной на рис.1, и помещенных в стандартный корпус от заводского фотоэлектрического детектора дыма ДИП-1, показали, что надежная и стабильная работа адсорбционного детектора дыма для широкого использования достигается уже при установке порога срабатывания по изменению сопротивления сенсора на уровне ~ 0.5 от номинального значения сопротивления сенсора в воздухе. Причем нормальная работа сенсора обеспечивалась при испытаниях в условиях относительной влажности до 100% и при температурах от -10° до $+70^{\circ}\text{C}$. Для специальных применений в чистых, не загазованных помещениях возможна стабильная и надежная работа детектора и с установлением порога срабатывания на уровне до $0.9R$. На рис.2 эти уровни, между которыми обычно устанавливается порог срабатывания исследуемого детектора дыма, отмечены пунктирной линией.

В качестве веществ, предназначенных для сгорания, нами использовались хлопок, бумага, дерево и табак. Результаты измерений, как и следовало ожидать [2,5], мало чем отличались друг от друга. Для определенности приводятся результаты измерений, полученные при сгорании хлопка. Из рис.2 видно, что время срабатывания детектора зависит от установленного порога срабатывания и от концентрации дыма в воздухе и может изменяться в широких пределах: от нескольких минут – при наличии в атмосфере минимальной (пороговой) концентрации дыма, до 2–3 сек уже при сгорании 10^{-6} г·см $^{-3}$ вещества. Таким образом, с увеличением концентрации дыма время срабатывания резко уменьшается, т.е. чем больше разгорается пожар, тем быстрее срабатывает детектор дыма. Скорость восстановления величины сопротивления сенсора после окончания воздействия дымом зависит от его концентрации, а также от времени пребывания сенсора в дымовой среде (времени экспозиции). Чем больше это время, тем медленнее восстанавливается R . В зависимости от этих факторов время восстановления может изменяться в широких пределах – от нескольких секунд до 10 и более минут. Столь широкий диапазон времен восстановления объясняется изменением энергетического спектра поверхностных состояний в результате адсорбционно-десорбционных процессов, происходящих на поверхности сенсора дыма [1].

Потребляемая мощность детектора дыма определяется током, используемым нагревателем (R_H), и равна ~ 0.5 Вт.

На диаграмме, представленной на рис.3, приводится сравнение чувствительности серийно изготовленных детекторов дыма различного типа (радиационный детектор дыма – “Dicon” mod. 370LB, детектор дыма фотоэлектрического типа ДИП-1), а также ранее разработанного нами адсорбционного детектора (Adsorption previous), работающего при комнатной температуре, с предлагаемым нами новым улучшенным де-

тектором. Диаграмма построена по обратной величине порога срабатывания детекторов, выявленного по количеству необходимого для их срабатывания минимального количества сожженного вещества. Такое тестирование всех указанных на диаграмме детекторов проводилось в идентичных условиях (в измерительной камере). Видно, что по порогу чувствительности (уже на уровне $0.5R$) новый адсорбционный детектор рассмотренный выше, существенно превосходит все остальные. Порог срабатывания данного детектора по концентрации дыма в воздухе (количество сожженного вещества [1,6]), согласно данным наших измерений, $\leq 10^{-8}$ г·см⁻³. Проводились также испытания детекторов, установленных рядом друг с другом, в реальных условиях, на достаточно далеком расстоянии от источника дыма. С повышением концентрации дыма в воздухе разные детекторы дыма включались в соответствующей диаграмме последовательности. Следует заметить, что при воздействии непосредственно пламени (с малой концентрацией дыма) картина несколько другая: исследуемый детектор может немного уступать по чувствительности к огню, но только радиационному детектору дыма.

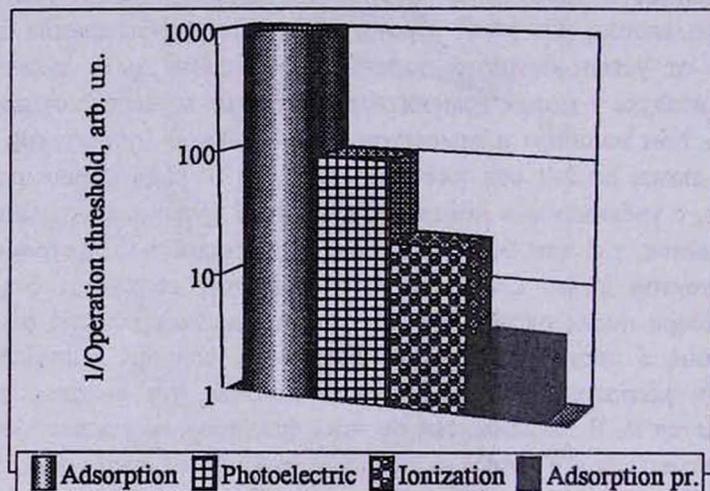


Рис.3. Диаграмма сравнения детекторов дыма различных типов по пороговой чувствительности.

Таким образом, нами предложен и исследован новый вариант высокочувствительного адсорбционного детектора дыма на основе тонкопленочного сенсора из двуокиси висмута, работающего в широком диапазоне температур и в условиях относительной влажности среды вплоть до 100%, с повышенной помехоустойчивостью и стабильностью. По чувствительности к дыму и некоторым другим параметрам предлагаемые нами детекторы по крайней мере не уступают известным детекторам дыма других типов, а в ряде случаев превосходят их. По сравне-

нию с ранее разработанным нами детектором дыма [2-4] практически все параметры существенно улучшены, кроме потребляемой мощности. Однако, отсутствие влияния влажности и изменения температуры на функционирование детектора дыма позволит в дальнейшем уменьшить в несколько раз габариты сенсора и шаг гребенки электродов и, соответственно, нагреватель. Все это должно привести к уменьшению потребляемой мощности и одновременно к миниатюризации детектора дыма в целом, уже сегодня имеющем гораздо меньшие размеры по сравнению с известными детекторами.

Работа выполнена в рамках гранта МНТЦ А-322.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.З.Адамян, З.Н.Адамян, В.М.Арутюнян. Известия НАН Армении, Физика, 36, 32 (2001).
2. V.M.Aroutiounian, Z.N.Adamian, H.V.Abovian, K.R.Movsessian, A.A.Barseghyan, M.S.Panossian. US Patent №5,382,341 (1995).
3. Z.N.Adamian, V.M.Aroutiounian, A.A.Barseghyan, M.S.Panossian. Chemical Sensors, 9, 126 (1993).
4. V.M.Aroutiounian, Z.N.Adamian, M.S.Panossian, A.A.Barseghyan. Sensors and Actuators, B 35-36, 60 (1996).
5. Z.N.Adamian, H.V.Abovian, V.M.Aroutiounian. Sensors and Actuators, B 35-36, 241 (1996).
6. G.Korotchenkov, V.Brynzari, S.Dmitriev. Sensors and Actuators, B 54, 191 (1999).

ԲԱՐԱԿԹԱՂԱՆԹԱՅԻՆ ՍԵՏԱՂ-ՕՋՄԻՂ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉԱՅԻՆ
ՍԵՆՍՈՐԻ ՀԻՍԱՆ ՎՐԱ ՍՏԵՂԾՎԱԾ ԾԵԽ ԱԴՍՈՐԲՑԻՈՆ ԴԵՏԵԿՏՈՐ

Ա.Զ. ԱԴԱՄՅԱՆ, Զ.Ն. ԱԴԱՄՅԱՆ, Վ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Հիմնվելով միջավայրի հարաբերական խոնավության փոփոխությունների չարձագանքող Bi_2O_3 հիման վրա ստեղծված բարակբաղաձային ծխի սենսորների հետազոտությունների արդյունքների վրա, առաջարկված է ծխի ադսորբցիոն դետեկտորի էլեկտրոնային սխեմա, որտեղ հետազոտվող ծխի սենսորը օգտագործվում է որպես զգայուն էլեմենտ: Ցույց է տված, որ այդպիսի ծխի դետեկտորը կարող է կայուն գործել միջավայրի բարձր խոնավության պայմաններում (մինչև 100%), իսկ ծխի նկատմամբ շեմային զգայունությամբ էապես գերազանցում է հայտնի ծխի դետեկտորներին:

ADSORPTION SMOKE DETECTOR MADE OF THIN-FILM METAL-OXIDE SEMICONDUCTOR SENSOR

A.Z. ADAMIAN, Z.N. ADAMIAN, V.M. AROUTIOUNIAN

Based on results of investigations of the thin-film smoke sensors made of Bi_2O_3 , irresponsive to a change in relative humidity of the environment, an adsorption smoke detector processing circuit, where investigated sensor is used as a sensitive element, is proposed. It is shown that such smoke detector is able to function reliably under conditions of high relative humidity of the environment (up to 100%) and it considerably exceeds the known smoke detectors by the sensitivity threshold.