

# РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЖАРА

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ

Существующие пожарные извещатели (световые, тепловые, дымовые) способны только на сообщение: "Горим! Пора тушить очаг возгорания!" Но другого и быть не может, поскольку работа их датчиков основана на таких физических принципах, как детектирование света, тепловыделения или задымленности. Получить сообщение "Внимание! Здесь возможно возгорание!" можно только установив постоянный контроль над газодинамическим составом воздушной среды помещений. Такой контроль позволит принять адекватные меры по предупреждению пожара и его ликвидации в зародыше. Этим и интересен разработанный специалистами НПП "Гамма" способ раннего обнаружения пожара с использованием полупроводниковых химических сенсоров, который был отмечен дипломами и золотыми медалями на международных выставках "Брюссель-Эврика 2000" и "Женева 2001".

Итак, достоверный способ предупреждения пожара на ранней стадии, предшествующей возгоранию, — это контроль химического состава воздуха, который резко изменяется из-за термического разложения перегретых или начинающих тлеть горючих материалов. На этой стадии еще эффективны превентивные меры. Например, в случае перегрева электроприборов (утюга или электрокамина) они могут быть вовремя автоматически отключены по сигналу с газового датчика.

### СОСТАВ ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ПРИ ГОРЕНИИ ГАЗОВ

Ряд газов, выделяющихся на начальной стадии горения (тления), определяются составом именно тех материалов, которые участвуют в этом процессе. Однако в большинстве случаев можно уверенно выделить и основные характерные газовые компоненты. Подобные исследования проводились в Институте пожарной безопасности

В.Антоненко, А.Васильев,  
И.Олихов

(г.Балашиха Московской обл.) с использованием стандартной камеры объемом 60 м<sup>3</sup> для имитации пожара. Состав выделяющихся при горении газов определялся при помощи хроматографии. Эксперименты дали следующие результаты.

Водород (H<sub>2</sub>) — основной компонент выделяемых газов на стадии тления в результате пиролиза материалов, используемых в строительстве, таких как древесина, текстиль, синтетические материалы. На начальной стадии пожара, в процессе тления, концентрация водорода составляет 0,001–0,002%. В дальнейшем происходит рост содержания ароматических углеводородов на фоне присутствия недоокисленного углерода — оксида углерода (CO) — 0,002–0,008%. При появлении пламени растет концентрация диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) до уровня 0,1%, что соответствует сгоранию 40–50 г древесины или бумаги в закрытом помещении объемом 60 м<sup>3</sup> и эквивалентно 10 выкуранным сигаретам. Такой уровень CO<sub>2</sub> достигается также в результате присутствия в помещении двух человек в течение 1 ч.

### Представляем авторов статьи

**АНТОНЕНКО Владимир Иванович.** Кандидат физико-математических наук. Ведущий научный сотрудник НПО "Измерительная техника" (г. Королев). Окончил МФТИ. Автор свыше 35 научных работ и изобретений. Сфера профессиональных интересов — физика МДП-приборов, газочувствительные полупроводниковые структуры, датчики.

**ВАСИЛЬЕВ Алексей Андреевич.** Кандидат физико-математических наук. Старший научный сотрудник РНЦ "Курчатовский институт". Окончил МФТИ. Автор свыше 100 научных работ и изобретений. Область профессиональных интересов — физико-химические процессы на поверхности, катализ.

**ОЛИХОВ Игорь Михайлович.** Кандидат технических наук. Начальник лаборатории радиоэлектронных устройств ФГУП НИИ "Платан" (г. Фрязино). Окончил Таганрогский радиотехнический институт. Автор свыше 100 научных работ и изобретений. Область профессиональных интересов — СВЧ- и лазерные полупроводниковые приборы и устройства.

Контактные телефоны: (095) 196-7095, 702-9642,  
(096) 524-5226.



Эксперименты показали, что порог обнаружения системы раннего предупреждения пожара в атмосферном воздухе при нормальных условиях должен находиться для большинства газов, в том числе водорода и оксида углерода, на уровне 0,002%. Желательно, чтобы быстрое действие системы было не хуже 10 с. Такой вывод можно рассматривать как основополагающий для разработок целого ряда предупреждающих пожарных газовых сигнализаторов.

Существующие средства газоанализа экологической направленности (в том числе на электрохимических, термокаталитических и других сенсорах) слишком дороги для такого использования. Внедрение в производство пожарных извещателей на основе полупроводниковых химических сенсоров, изготавливаемых по групповой технологии, позволит резко снизить стоимость газовых сенсоров.

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГАЗОВЫЕ ДАТЧИКИ

Принцип действия полупроводниковых газовых сенсоров основан на изменении электропроводности полупроводникового газочувствительного слоя при химической адсорбции газов на его поверхности. Это обстоятельство позволяет эффективно использовать их в приборах пожарной сигнализации как альтернативные устройства традиционным оптическим, тепловым и дымовым сигнализаторам, в том числе содержащим радиоактивный плутоний. А высокую чувствительность (для водорода – от 0,000001%!), селективность, быстрое действие и дешевизну полупроводниковых газовых датчиков следует рассматривать как основные их преимущества перед другими типами пожарных извещателей. Используемые в них физико-химические принципы детектирования сигналов сочетаются с современными микроэлектронными технологиями, что обуславливает низкую стоимость изделий при массовом производстве и высокие технические и энергосберегающие характеристики.

Для того чтобы физико-химические процессы протекали на поверхности чувствительного слоя достаточно быстро, обеспечивая быстрое действие на уровне нескольких секунд, сенсор периодически разогревается до температуры 450–500°C, что активизирует его поверхность. В качестве чувствительных полупроводниковых слоев обычно используют мелкодисперсные оксиды металлов ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$  и др.) с легирующими добавками  $\text{Pt}$ ,  $\text{Pd}$  и др. Благодаря структурной пористости формируемых материалов, достигаемой с помощью некоторых технологических приемов, их удельная поверхность – около 30 м<sup>2</sup>/г. Нагревателем служит резистивный слой, выполненный из инертных материалов ( $\text{Pt}$ ,  $\text{RuO}_2$ ,  $\text{Au}$  и др.) и электрически изолированный от полупроводникового слоя.

При кажущейся простоте такие методы формирования сконцентрировали в себе все последние достижения материаловедения и микроэлектронной технологии. Это обусловило высокую конкурентоспособность сенсора, который может работать несколько лет, периодически находясь в “стрессовом” состоянии при разогреве до 500°C, сохраняет при этом высокие эксплуатационные характеристики, чувствительность, стабильность, селективность и потребляет низкую мощность (в среднем несколько десятков милливатт).

Промышленное производство полупроводниковых сенсоров широко развито во всем мире, но основная доля мирового рынка приходится на японские компании. Признанный лидер в этой области – фирма Figago с годовым объемом производства сенсоров около 5 млн.шт. и масштабным производством приборов на их основе, включая элементную базу и схемотехнические решения с программируемыми устройствами.

Однако ряд особенностей производства полупроводниковых сенсоров затрудняют его совместимость с традиционной кремниевой технологией в рамках замкнутого цикла. Объясняется это тем,

что сенсоры – не столь массовое изделие, как микросхемы, и имеют большой разброс параметров из-за специфики условий работы (зачастую в агрессивной среде). Их производство требует очень специфичного ноу-хау в области физической химии, материаловедения и т.д. Поэтому успех здесь сопутствует крупным специализированным фирмам (например, Microchemical Instrument – европейский филиал Motorola), которые не спешат делиться своими разработками в области высоких технологий. К сожалению, в России и СНГ эта отрасль никогда не была хорошо развита, несмотря на достаточное число исследовательских групп – РНЦ “Курчатовский институт”, МГУ, ЛГУ, Воронежский государственный университет, ИОНХ РАН, НИФХИ им. Карпова, Саратовский университет, Новгородский университет и т. д.

### ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

Наиболее развитая технология производства полупроводниковых сенсоров предложена в РНЦ “Курчатовский институт”. Здесь разра-



**Рис. 1. Устройство металлооксидного сенсора**

ботаны малогабаритные полупроводниковые сенсоры для анализа химического состава газов и жидкостей. Они изготавливаются по микроэлектронной технологии и сочетают в себе достоинства микроэлектронных устройств – низкую стоимость при массовом производстве, миниатюрность, низкую потребляемую мощность – с возможностью измерения концентрации газов и жидкостей в широких пределах и с достаточно высокой точностью. Разработанные приборы делятся на две группы: металлооксидные и структурные полупроводниковые сенсоры.

**Металлооксидные сенсоры.** Изготавливаются по толстопленочной технологии. В качестве подложки в них использован поликристаллический оксид алюминия, на который с двух сторон нанесены нагреватель и металлооксидный газочувствительный слой (рис.1). Чувствительный элемент помещен в газопроницаемый корпус, удовлетворяющий требованиям взрывопожаробезопасности.

Сенсоры способны определять концентрацию горючих газов (метана, пропана, бутана, водорода и т.д.) в воздухе в интервале от 0,001% до единиц процентов, а также токсичных газов (угарно-

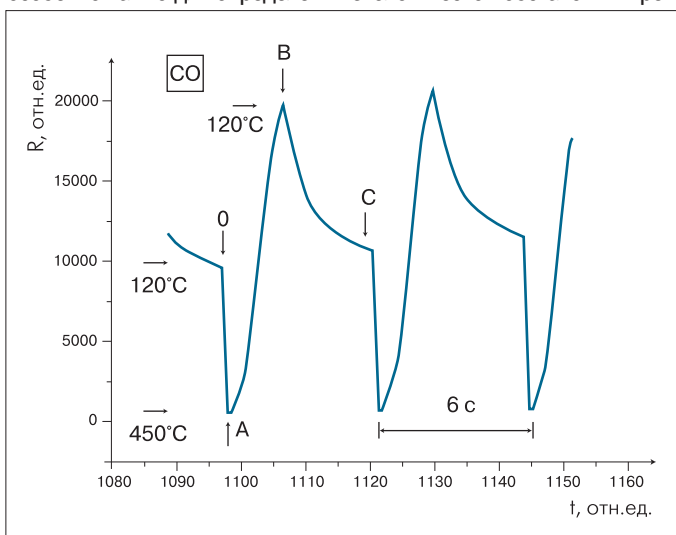
го газа, арсина, фосфина, сероводорода и т.д.) на уровне предельно допустимой концентрации (ПДК). Они могут быть также использованы для одновременного и селективного определения концентрации кислорода и водорода в инертных газах, например для ракетной техники. Для нагрева эти приборы требуют рекордно низкую для своего класса электрическую мощность – менее 150 мВт.

Металлооксидные сенсоры предназначены для применения в сигнализаторах утечки газов и системах пожарной сигнализации (как стационарных, так и карманных).

**Структурные полупроводниковые сенсоры.** Это сенсоры на основе кремниевых структур металл–диэлектрик–полупроводник (МДП), металл–твердый электролит–полупроводник и диоды Шоттки.

МДП-структуры с затвором из палладия или платины используются для определения концентрации водорода в воздухе или инертных газах. Порог обнаружения водорода – порядка 0,00001%. Сенсоры успешно применялись для определения концентрации водорода в теплоносителе ядерных реакторов с целью поддержания их безопасности.

Структуры с твердым электролитом (трифторид лантана, проводящий по ионам фтора) предназначены для определения концентрации фтора и фторидов (прежде всего фтористого водорода) в воздухе. Работают при комнатной температуре, позволяют определять концентрацию фтора и фтористого водорода на уровне 0,000003%, что составляет примерно 0,1 ПДК. Измерение утечек фтористого водорода особенно важно для определения экологической обстановки в ре-



**Рис.3. Цикл изменения сопротивления газочувствительного полупроводникового слоя (R) во времени при наличии примеси угарного газа (порядка 0,001%)**

гионах с крупным производством алюминия, полимеров, ядерного топлива.

Подобные структуры, выполненные на основе карбида кремния и работающие при температуре около 500°C, могут использоваться для измерения концентрации фреонов.

### ИНДИКАТОР ОКСИДА УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА CO-12

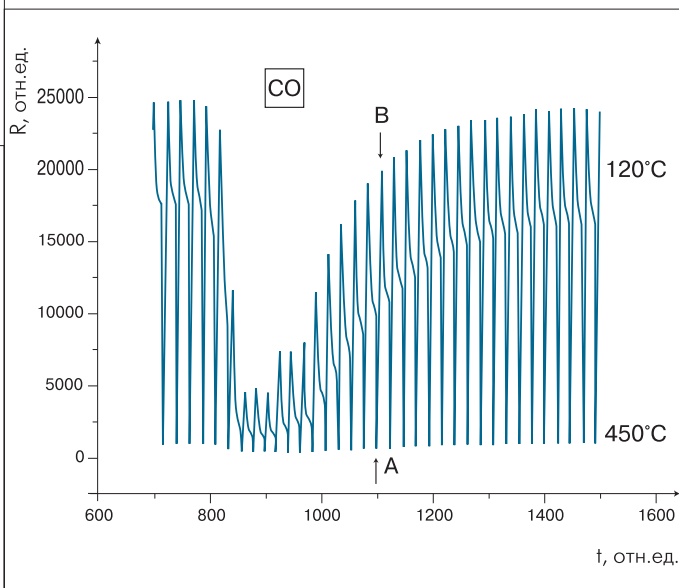
Отмеченный на международных выставках способ раннего обнаружения пожара\* обеспечивает одновременный контроль относительных концентраций в воздухе двух или более газов, таких как ароматические углеводороды, водород, оксид и диоксид углерода. Полученные значения сравниваются с заданными, и в случае их совпадения формируется сигнал тревоги. Контроль и сравнение относительных концентраций газовых компонент проводятся с заданной периодичностью. Возможность ложных срабатываний измерительного устройства при повышении концентрации одного из газов исключена, если нет возгорания.

В качестве измерительного устройства предложен индикатор CO-12, предназначенный для обнаружения в воздушной атмосфере газообразного оксида углерода и водорода в диапазоне их концентраций от 0,001 до 0,01%. Прибор представляет собой девятиуровневый пропорциональный индикатор в виде линейки светодиодов трех цветов – зеленого (диапазон малых концентраций), желтого (средний уровень) и красного (высокий уровень) (рис.2). Каждому диапазону соответствуют три светодиода. При загорании красных светодиодов включается звуковой сигнал, предупреждающий людей об опасности отравления.

Принцип работы индикатора основан на регистрации изменения сопротивления (R) полупроводникового газочувствительного сенсора, температура которого стабилизируется на уровне 120°C в процессе измерений (рис.3, участок B–C). При этом нагревательный элемент включен в обратную связь операционного усилителя – терморегулятора – и периодически, каждые 6 с, отжигается в течение 0,5 с при температуре 450°C (рис.3, участок O–A). Далее следует изотермическая релаксация сопротивления R при вза-

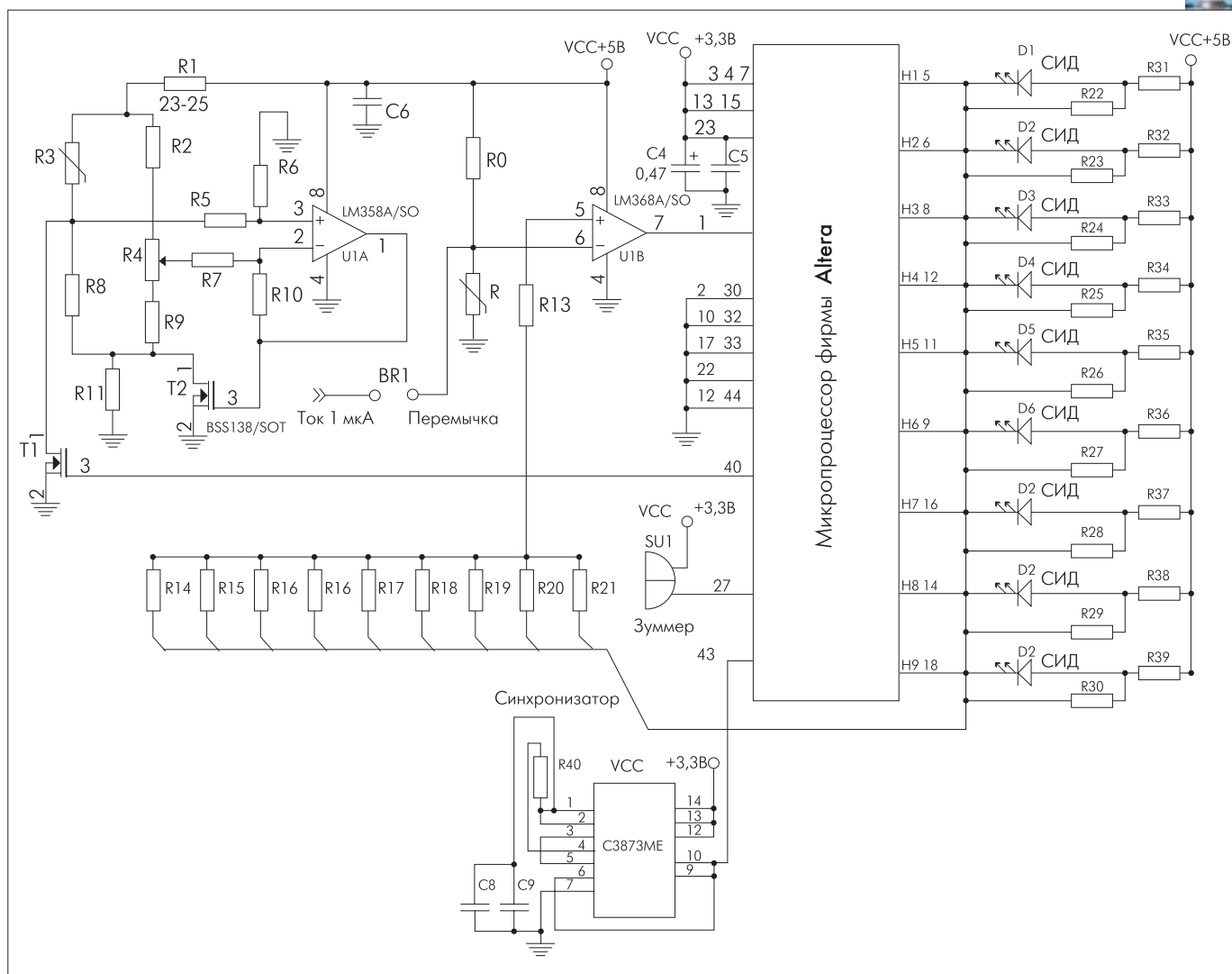


**Рис.2. Индикатор оксида углерода и водорода CO-12**



**Рис.4. Изменение сопротивления (R) газочувствительного полупроводникового слоя от времени (t) при кратковременном контакте (5 с) с угарным газом: стрелки A и B соответствуют положениям на рис.3 в цикле нагрева до 450°C (A) и охлаждения до 120°C (B)**

\* Заявка на изобретение 99115047 РФ. Приоритет от 14.07.99.



**Рис.5. Принципиальная схема индикатора СО-12:**  
**R3 – нагревательный слой сенсора; R – полупроводниковый газочувствительный слой сенсора**

имодействии с угарным газом. Измерение R осуществляется перед следующим отжигом (рис.3, точка С, далее следует отжиг – О). Процессом измерения и выводом на индикатор данных управляет программируемое устройство. Полный график зависимости сопротивления полупроводникового слоя сенсора на основе SnO<sub>2</sub> от времени при кратковременном взаимодействии (5 с) с дымом тлеющей древесины представлен на рис.4. Принципиальная схема индикатора приведена на рис.5. Его основные технические характеристики:

Диапазон сигнализируемых концентраций СО и Н <sub>2</sub> .....	0,001–0,01%
Периодичность измерений .....	6 с
Время установления показаний .....	не более 1 мин
Условия окружающей среды:	
температура .....	от 0 до +50°С
влажность .....	от 10 до 100%
Напряжение питания: внешний нестабилизированный источник питания постоянного тока .....	от 6 до 9 В
Потребляемая мощность .....	не более 2,5 Вт
Габаритные размеры .....	140x70x25 мм

Индикатор можно эффективно использовать в качестве пожарного сигнального устройства как в жилых помещениях, так и на промышленных объектах. Дачные домики, коттеджи, бани, сауны,

гаражи и котельни, предприятия с производством, основанном на использовании открытого огня и термообработки, предприятия горнодобывающей, металлургической и нефтегазоперерабатывающей промышленности и, наконец, автомобильный транспорт – вот далеко не полный список объектов, где индикатор СО-12 может быть полезен.

Подобные пожарные извещатели раннего обнаружения, объединенные в единую сеть и контролируемые газовойделением при тлении материалов перед их возгоранием, при размещении на промышленных объектах позволяют предупредить аварийные ситуации не только на наземных объектах пожарной охраны, но и в подземных сооружениях, угольных разрезах, где в результате перегрева оборудования, транспортирующего уголь, может произойти возгорание угольной пыли. Каждый датчик, имеющий световой и звуковой сигналы оповещения, способен не только информировать о степени загазованности территории, но и предупредить об опасности персонал, находящийся в непосредственной близости к экстремальному месту. Стационарные пожарные датчики, установленные в жилых помещениях, могут предотвратить взрыв бытового газа, отравление угарным газом и возникновение пожара из-за неисправности бытовой техники или грубого нарушения условий ее эксплуатации путем автоматического отключения от сети.