

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.5.08

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ

Л.В. ИЛЯСОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22; e-mail: lvi450714@mail.ru

© Илясов Л.В., 2023

Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на выявление принципа действия полупроводниковых керамических преобразователей концентрации газов. В инструкциях на преобразователи, выпускаемые под марками ПП-1 и ДМП-1, утверждается, что принцип их действия основан на увеличении электропроводности полупроводниковой керамики, находящейся при температуре 400–500 °С в присутствии восстанавливающих газов, в частности метана или пропана. Описаны экспериментальная установка, включающая в себя термохимический пеллисторный детектор, и методика исследования, основанная на использовании импульсного метода ввода проб таких газов, как водород, метан и пропан. Методика позволила установить, что в полупроводниковом керамическом преобразователе происходит каталитическое сгорание названных газов, вызывающее увеличение температуры и электропроводности керамики. Получены зависимости степени каталитического сгорания газа от напряжения электропитания, подводимого к чувствительному элементу полупроводникового преобразователя. Доказано, что этот чувствительный элемент может изменять свою электропроводность в зависимости от теплопроводности негорючих газов, таких как азот, гелий, диоксид углерода. Установлено, что чувствительность полупроводникового преобразователя концентрации горючих газов превосходит чувствительность широко применяемых в настоящее время пеллисторных детекторов горючих газов.

Ключевые слова: полупроводниковый керамический преобразователь, газ, электропроводность, каталитическое сгорание.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-2-44-49

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в развитых странах мира проводятся интенсивные исследования и разработки, направленные на создание новых и совершенствование известных средств контроля концентрации газообразных и жидких сред [1–7]. Относительно новым средством измерения концентрации газов являются полупроводниковые преобразователи типа ПП-1 и полупроводниковые датчики метана типа ДМП-1, предназначенные для обнаружения взрывоопасных концентраций газов на газопроводах, в системах газоснабжения, различных помещениях, а также подземных строениях и шахтах. В инструкциях на эти средства измерения (и в работе [8]) данные преобразователи относят к термосорбционным, принцип действия которых

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 2 (18), 2023*

заключается в изменении (увеличении) электропроводности полупроводниковой керамики при сорбции в ней различных газов. Анализ условий работы преобразователей концентрации (а именно подача к преобразователю смеси горючего газа с воздухом, наличие керамики и ее нагревание до температуры 400–450 °С) позволяет предположить, что принцип действия этих устройств более сложен, а формирование сигнала преобразователя связано с поверхностным сгоранием газа [9], возникающим в непосредственной близости от поверхности нагретой керамики, и повышением температуры последней за счет выделяющейся при сгорании теплоты, что приводит к увеличению электропроводности керамики, являющейся полупроводником. Процесс поверхностного сгорания углеводородных газов широко используется в промышленности в беспламенных горелках [10] и, по-видимому, является процессом каталитического окисления горючих газов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С учетом приведенных выше факторов были проведены экспериментальные исследования, направленные на выявление принципа действия полупроводниковых преобразователей концентрации газов.

Первоначально для проверки предположения о том, что на чувствительном элементе полупроводникового преобразователя концентрации имеет место процесс каталитического сгорания анализируемых газов, была создана экспериментальная установка (рис. 1).

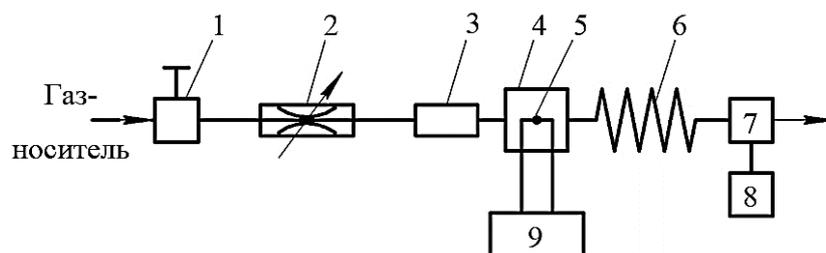


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования сгорания газов на чувствительном элементе полупроводникового преобразователя концентрации газов:
 1 – стабилизатор давления и расхода воздуха-носителя; 2 – переменный дроссель;
 3 – устройство ввода проб газов; 4 – проточная камера; 5 – чувствительный элемент полупроводникового преобразователя концентрации; 6 – колонка;
 7 – пеллисторный термохимический детектор газов; 8 – электронный потенциометр;
 9 – стабилизированный источник электропитания

При исследованиях использовался импульсный метод ввода пробы газов в детектор [11], обеспечивающий простоту экспериментов и не требующий большого количества чистых газов. Экспериментальная установка состояла из стабилизатора давления и расхода газа-носителя (воздуха); переменного дросселя для настройки расхода последнего; проточной камеры, в которой размещался чувствительный элемент полупроводникового преобразователя концентрации; устройства для ввода проб анализируемых газов, размещенного по потоку газа-носителя перед проточной камерой; колонки, представляющей собой трубку из нержавеющей стали внутренним диаметром 3 мм и длиной 1 000 мм; термохимического пеллисторного детектора и электронного потенциометра. Колонка, используемая в установке, необходима для создания интервала времени между моментом ввода пробы анализируемого газа и ее поступлением в детектор, так как в момент ввода пробы за счет изменения расхода

газа-носителя возможны колебания начального уровня сигнала детектора. Нагревание платиновых спиралей чувствительного элемента полупроводникового преобразователя осуществлялось током стабилизированного источника электропитания.

При проведении опытов постоянные по объему пробы водорода и пропана вводились в поток газа-носителя при различных значениях напряжения, подаваемого к чувствительному элементу от стабилизированного источника электропитания. После регистрации сигналов, вызванных введенными пробами газов, измерялась амплитуда U импульсного сигнала. Объем проб газов составлял 1 мкл. После этого источник электропитания отключался от чувствительного элемента и осуществлялись измерения амплитуд U_0 возникающих импульсных сигналов. По полученным импульсным сигналам U и U_0 рассчитывалась доля (степень) сгорания анализируемого газа на чувствительном элементе полупроводникового преобразователя по формуле

$$\varphi = \frac{U_0 - U}{U_0} \cdot 100.$$

Результаты опытов представлены на рис. 2.

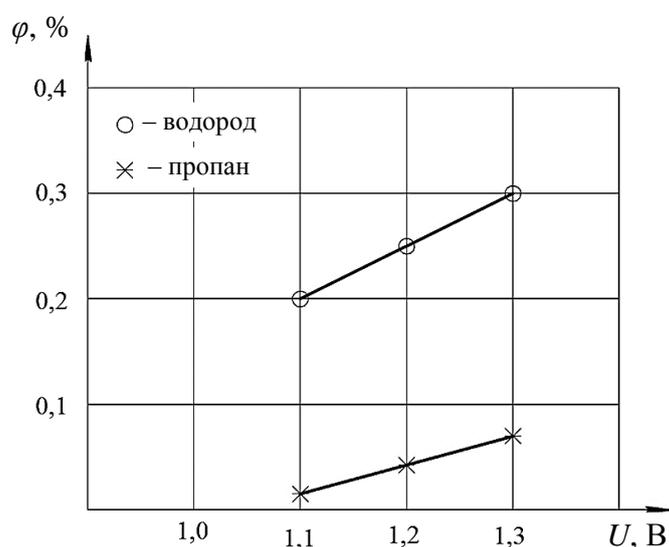


Рис. 2. Зависимости доли сгорания газов от напряжения питания нити накала

Как видно из рис. 2, максимальная степень сгорания для всех газов наблюдается при напряжении электропитания чувствительного элемента 1,3 В (максимально допустимом) и составляет для водорода 30 %, а для пропана – 7 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при работе полупроводниковых преобразователей концентрации газов происходит каталитическое сгорание горючих веществ. Это подтверждается также двумя эффектами: увеличением инфракрасного излучения нагреваемых элементов преобразователя при обтекании их горючими газами и появлением положительных заряженных частиц при контакте названных элементов с углеводородами (метаном, пропаном, парами гексана и бензола).

Для определения формы сигналов полупроводниковых преобразователей, возникающих при измерении концентраций горючих и негорючих газов, была разработана экспериментальная установка (рис. 3).

Полупроводниковый преобразователь размещался в проточной камере и включался в схему неуравновешенного электрического моста. При работе установки через проточную камеру непрерывно прокачивался поток воздуха-носителя из последовательно включенных стабилизатора давления и расхода, переменного дросселя и колонки. В поток вводились пробы горючих (водорода, метана и пропана) и негорючих газов (азота, диоксида углерода и гелия). При этом объем проб горючих газов составлял 1 мкл, а негорючих – 0,1 мл.

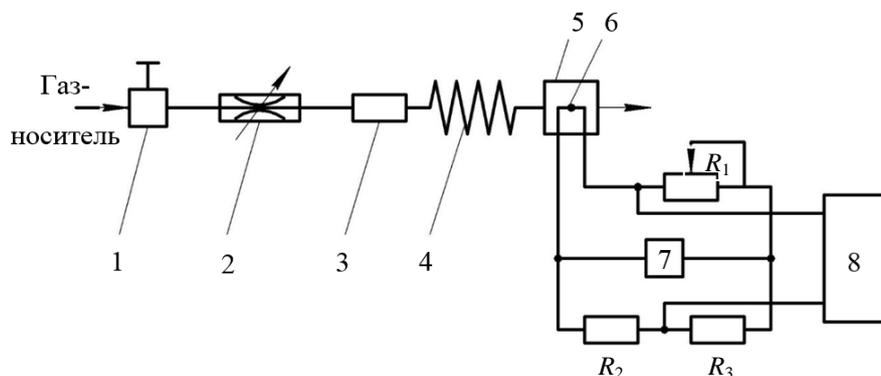


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования сигналов полупроводникового преобразователя концентрации газов: 1 – стабилизатор давления и расхода воздуха-носителя; 2 – переменный дроссель; 3 – устройство ввода проб газов; 4 – колонка; 5 – проточная камера; 6 – чувствительный элемент полупроводникового преобразователя концентрации газов; 7 – стабилизированный источник электропитания; 8 – электронный потенциометр

На рис. 4 приведены импульсные сигналы полупроводникового преобразователя концентрации газов, полученные при расходе воздуха-носителя 2 л/ч, напряжении питания неуравновешенного моста 2,6 В и при температуре 20 °С.

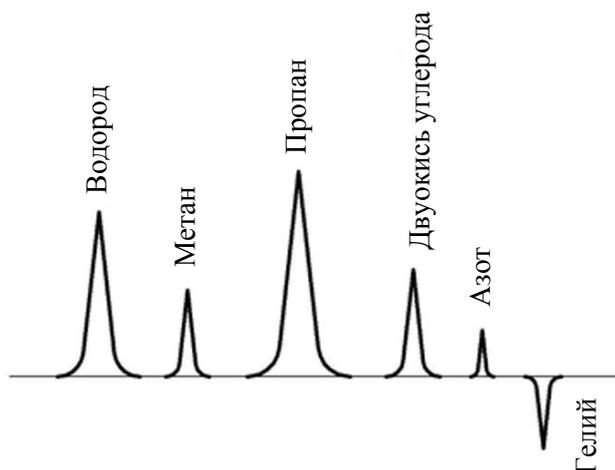


Рис. 4. Сигналы полупроводникового преобразователя концентрации для различных газов

Как видно из рис. 4, сигналы полупроводникового преобразователя концентрации для горючих газов имеют положительную полярность, для диоксида углерода и азота – также положительную полярность, а для гелия – отрицательную. Положительные сигналы горючих газов при малых объемах проб значительно

превосходят сигналы негорючих газов при больших объемах. При этом диоксид углерода и азот вызывают положительные сигналы, а гелий – отрицательный. Данный факт можно объяснить тем, что по сравнению с воздухом диоксид углерода и азот имеют меньшую теплопроводность, а гелий – большую. Вследствие этого при поступлении в проточную камеру диоксида углерода и азота уменьшается теплоотвод от чувствительного элемента полупроводникового преобразователя, что вызывает сигнал, соответствующий повышению температуры чувствительного элемента полупроводникового преобразователя. При протекании через камеру гелия теплоотвод от чувствительного элемента увеличивается, что вызывает отрицательный сигнал неуравновешенного моста. Последнее происходит из-за того, что при детектировании негорючих газов полупроводниковый преобразователь работает как термокондуктометрический детектор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в статье результаты экспериментальных исследований полупроводникового преобразователя типа ПП-1 позволили установить, что принцип его действия идентичен принципу действия термохимического детектора газов и заключается в каталитическом сгорании горючих веществ на поверхности полупроводниковой керамики, при котором увеличиваются ее температура и электропроводность. Установлено, что чувствительность этих преобразователей превосходит чувствительность термохимического пеллисторного детектора. Такой вывод говорит о целесообразности проведения исследований, направленных на определение возможностей использования полупроводниковых преобразователей в газовой хроматографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера. 2005. 592 с.
2. Эггинс Б. Химические и биологические сенсоры. М.: Техносфера. 2005. 366 с.
3. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. М.: Техносфера. 2007. 384 с.
4. Волоконно-оптические датчики / под ред. Э. Удд. М.: Техносфера. 2008. 520 с.
5. Сажин С.Г. Приборы контроля состава и качества технологических сред: учебное пособие. СПб.: Лань. 2012. 431 с.
6. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях / И.А. Мясников [и др.]. М.: Наука. 1991. 327 с.
7. Керамические материалы на основе диоксида циркония / под общ. ред. Ю.И. Головина. М.: Техносфера. 2018. 358 с.
8. Тарасевич В.И. Металлические терморезисторные преобразователи горючих газов. Киев: Наук. думка. 1988. 284 с.
9. Бахсян Ц.А. Трубчатые печи с излучающими стенками топки. М.: ГосИНТИ. 1960. 192 с.
10. Горелочные устройства промышленных печей и топок (конструкции и технические характеристики): справочник / А.А. Винтовкин [и др.]. М.: Интермет Инжиниринг. 1999. 580 с.
11. Фарзане Н.Г., Илясов Л.В. Импульсный ввод анализируемого газа в автоматических газоанализаторах // *Измерительная техника*. 1971. № 4. С. 34–38.

Для цитирования: Илясов Л.В. Исследования полупроводникового керамического преобразователя концентрации газов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2023. № 2 (18). С. 44–49.

INVESTIGATION OF A SEMICONDUCTOR CERAMIC GAS CONCENTRATION CONVERTER

L.V. ILYASOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation; e-mail: lvi450714@mail.ru

The results of experimental studies aimed at revealing the operating principle of semiconductor ceramic gas concentration transducers are presented. The instructions for these converters (PP-1 and DMP-1) state that their principle of operation is based on an increase of the electrical conductivity of semiconductor ceramics at a temperature of 400–500 °C in the presence of reducing gases, in particular methane or propane. An experimental setup with a thermochemical pellistor detector and a research technique based on the use of a pulse method for entering samples of gases such as hydrogen, methane and propane, which made it possible to establish that catalytic combustion of these gases occurs in a semiconductor ceramic converter, and this causes an increase in the temperature of ceramics and its electrical conductivity are described. The dependences of the degree of catalytic combustion of gas on the sensing element of the semiconductor converter power supply voltage are obtained. It is proved that this sensitive element can change its electrical conductivity depending on the thermal conductivity of non-combustible gases such as nitrogen, helium, carbon dioxide. It is established that the sensitivity of the semiconductor converter of the concentration of combustible gases exceeds the sensitivity of the currently widely used pellistor detectors of combustible gases.

Keywords: semiconductor, ceramic, converter, gas, electrical conductivity, catalytic combustion.

Поступила в редакцию/received: 12.01.2023; после рецензирования/revised: 26.01.2023;
принята/accepted: 02.02.2023

УДК 65.012.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ФИРМЫ

С.А. БАРКАЛОВ¹, д-р техн. наук, И.В. БУРКОВА², д-р техн. наук,
П.Н. КУРОЧКА¹, д-р техн. наук, Е.А. СЕРЕБРЯКОВА¹, канд. экон. наук

¹ Воронежский государственный технический университет
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: kpn55@rambler.ru

² Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65

© Баркалов С.А., Буркова И.В.,
Курочка П.Н., Серебрякова Е.А., 2023

В статье рассматриваются вопросы, связанные с инновационным развитием фирмы. Подчеркивается, что период существования любого новшества определяется его жизненным циклом, на протяжении которого от предприятия требуются различные действия: на стадии инициации и разработки – вложение средств, на остальных стадиях