

## ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДЕТЕКТОРА 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 инфракрасного полупроводникового детектора газов, созданного на базе серийно выпускаемого полупроводникового преобразователя типа ПП-1, принцип действия которого основан на измерении электропроводности нагретого до температуры 400...450 °С полупроводникового чувствительного элемента при его контакте с горючими газами. Установлено, что изменение электропроводности данного элемента сопровождается инфракрасным излучением, что позволяет использовать для получения измерительной информации о концентрации анализируемого газа измерение интенсивности излучения инфракрасным фотодиодом. Описаны конструкции детектора и лабораторной установки для его исследований. Приведены зависимости сигнала детектора от его основных режимных параметров: концентрации анализируемых газов (водород, пропан) в потоке газа-носителя (воздуха); напряжения питания полупроводникового чувствительного элемента; расстояния между чувствительным элементом и инфракрасным фотодиодом; расхода газа-носителя. С использованием стандартной методики найдены значения основных метрологических характеристик детектора.

*Ключевые слова:* инфракрасный полупроводниковый детектор, газ, эксперимент, концентрация, излучение, метрология.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2023-3-84-89**

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных технологий постоянно требует совершенствования известных и разработки новых средств контроля газовых сред. Среди разрабатываемых в настоящее время важное место занимают полупроводниковые детекторы и датчики, работы по созданию которых были начаты еще во второй половине XX века [1–7]. Сейчас полупроводниковые детекторы и датчики широко применяются в промышленности, на транспорте, в системах контроля окружающей среды, а последнее время – в устройствах типа «электронный нос» [6, 7]. Они обладают компактностью, высокой чувствительностью, простотой конструкции и низкой стоимостью. В нашей стране широко применяются полупроводниковые преобразователи концентрации газов типа ПП-1 и ДМП-1, которые обеспечивают контроль концентраций таких газов, как метан и пропан, на уровне 10 ppm. Информация, приводимая в паспортах на эти устройства, свидетельствует о том, что их сигналы формируются за счет изменения электропроводности полупроводниковых чувствительных элементов при адсорбции на их поверхности названных газов. Предварительные исследования данных устройств, выполненные на кафедре «Автоматизация технологических процессов» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), позволили установить [8, 9], что сигнал устройств не только формируется за счет изменения электропроводности, но и зависит от каталитического сгорания горючих газов, которое сопровождается

появлением интенсивного инфракрасного излучения. Такое явление определяет возможность использования дополнительного канала возникновения инфракрасного излучения для получения измерительной информации, что, в свою очередь, определяет целесообразность проведения исследований работы полупроводниковых детекторов газов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время полупроводниковые детекторы и датчики выпускаются многими зарубежными и отечественными фирмами. Сигнал данных устройств формируется за счет изменения электропроводности чувствительного элемента при адсорбции на нем молекул детектируемого вещества. На кафедре «Автоматизация технологических процессов» ТвГТУ при исследовании одного из типов полупроводниковых преобразователей, а именно преобразователей типа ПП-1, было установлено, что взаимодействие горючих газов с чувствительными элементами преобразователя сопровождается возникновением инфракрасного излучения. Таким образом, имеется еще один канал получения измерительной информации при эксплуатации полупроводниковых преобразователей концентрации газов. На основе этого был создан и запатентован [9] инфракрасный полупроводниковый детектор газов (ИКППД). Для его экспериментальных исследований была сконструирована лабораторная установка (рис. 1).

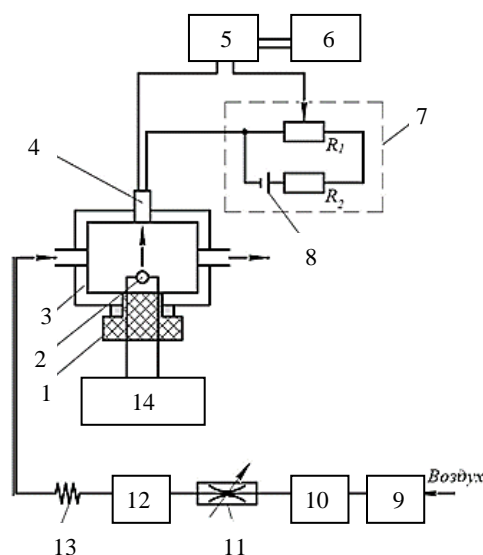


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследований ИКППД:

- 1 – полупроводниковый преобразователь концентрации газов;
- 2 – полупроводниковый чувствительный элемент преобразователя;
- 3 – проточная камера; 4 – инфракрасный фотодиод;
- 5 – электрометрический усилитель типа ИМТ-05;
- 6 – электронный потенциометр типа КСП-4;
- 7 – блок коррекции начального уровня сигнала детектора; 8 – батарейка;
- 9 – стабилизатор давления газа-носителя;
- 10 – осушитель газа-носителя; 11 – переменный дроссель;
- 12 – устройство ввода проб газов;
- 13 – колонка (пластмассовая трубка с внутренним диаметром 3 мм и длиной 1,5 м);
- 14 – стабилизированный источник электропитания типа Б5-47;
- $R_1$  – переменный резистор (1,6 кОм);  $R_2$  – постоянный резистор (6,8 кОм)

Все исследования проводились с использованием полупроводникового преобразователя типа ПП-1 и инфракрасного фотодиода типа ФД-265А. Для упрощения и ускорения работ применялся импульсный метод ввода проб анализируемых газов [10] в поток газа-носителя, позволяющий минимизировать расход чистых анализируемых газов.

Исследования выполнялись следующим образом. С помощью стабилизированного источника электропитания устанавливалось напряжение, которое подавалось к чувствительному элементу детектора. В соответствии с паспортом ПП-1 максимальное значение этого напряжения не превышало 1,3 В. С помощью переменного дросселя устанавливался расход газа-носителя (воздуха) в детектор на значениях 1...3 л/ч. Пробы анализируемых газов объемом 0,1...1,0 мкл при использовании специального шприца вносились в поток газа-носителя через устройство ввода. Пробы транспортировались потоком газа-носителя в ИКППД. Перед вводом осуществлялась корректировка начального уровня сигнала детектора. Использование колонки в составе установки определяется необходимостью исключения ситуации, при которой может произойти наложение изменений начального уровня сигнала детектора, возникающих в момент ввода пробы газа, на полезный импульсный сигнал.

При поступлении пробы анализируемого газа в детектор происходит ее частичное каталитическое сгорание, так как температура чувствительного элемента составляет 400...450 °С. При этом возникает инфракрасное излучение, которое улавливается инфракрасным диодом. Сигнал данного фотодиода поступает на электрометрический усилитель, выходной сигнал которого измеряется и регистрируется электронным потенциометром. Этот сигнал имеет форму импульса, а его параметры (амплитуда  $h$ , мм, или площадь  $S$ , мм<sup>2</sup>) используются для получения измерительной информации о концентрации анализируемого вещества в потоке газа-носителя.

Определение зависимости сигнала ИКППД от объема проб анализируемых газов осуществлялось при следующих условиях: расход газа-носителя 2 л/ч; расстояние между чувствительным элементом и окном фотодиода 3 мм; объем проб анализируемых газов 0,2; 0,5; 0,8 и 1,0 мкл. Перед вводом проб объемом 0,2; 0,5 и 0,8 мкл они разбавлялись воздухом до объема 1,0 мкл. Температура детектора составляла 20 °С (при этой температуре выполнялись все описанные ниже исследования). В опытах использовались водород и пропан.

На рис. 2 показаны зависимости амплитуды  $h$  и площади  $S$  сигнала детектора от объема проб  $V_d$  анализируемых газов. На графиках, приведенных на рис. 2, как и на всех последующих, значение для каждой точки определялось по результатам трех измерений и последующего усреднения. Полученные зависимости являются практически линейными.

Для оценки влияния напряжения питания на сигнал ИКППД были выполнены измерения этого сигнала при различных значениях напряжения питания, которые задавались с помощью стабилизированного источника электропитания. На рис. 3а показана зависимость амплитуды сигнала ИКППД от напряжения питания  $U$  чувствительного элемента. Было также установлено, что при напряжении питания меньше 1,1 В детектор теряет работоспособность.

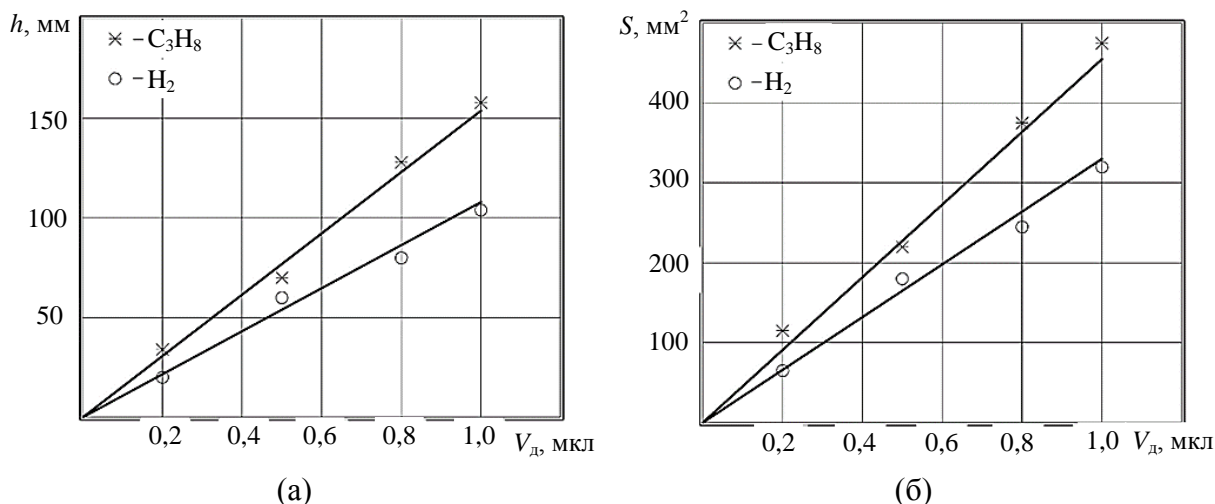


Рис. 2. Зависимость амплитуды (а) и площади (б) сигнала детектора от объема проб анализируемого газа

Поскольку сигнал ИКППД формируется за счет инфракрасного излучения, представлялось естественным определение зависимости его сигнала от расстояния  $\delta$  между чувствительным элементом и окном инфракрасного фотодиода. Эти исследования проводились при следующих условиях: расход газа-носителя 2 л/ч; напряжение питания 1,3 В; объем пробы анализируемого газа (водород) 1 мкл; расстояние 3...13 мм; минимальное значение расстояния определялось конструктивными возможностями преобразователя ПП-1. Результаты измерений приведены на рис. 3б. Видно, что амплитуда сигнала ИКППД несущественно уменьшается с увеличением расстояния.

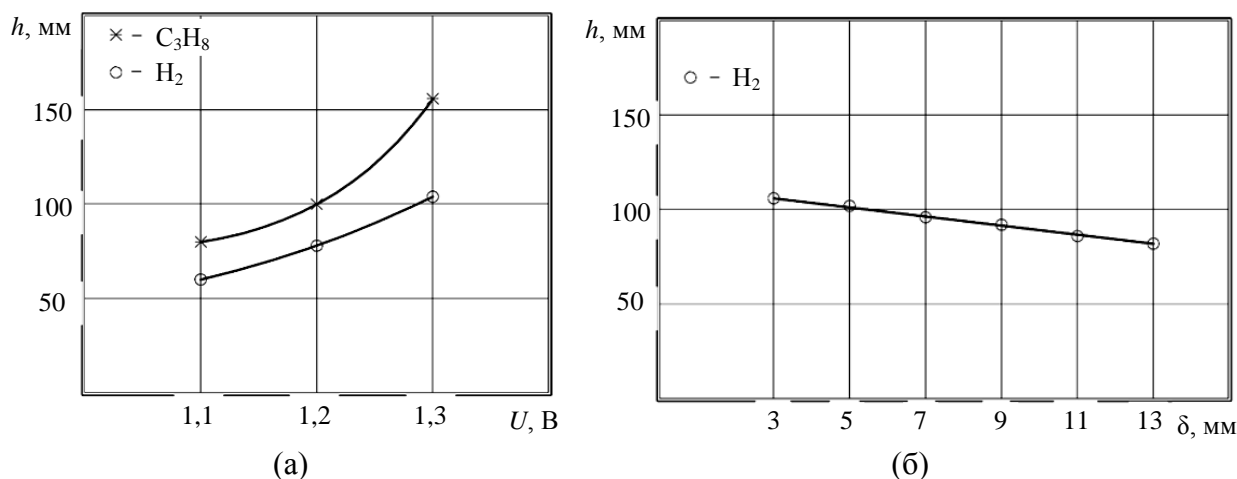


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала детектора от напряжения питания полупроводникового чувствительного элемента (а); расстояния между чувствительным элементом и окном инфракрасного фотодиода (б)

С учетом того, что ИКППД может быть использован в составе газоанализаторов и газосигнализаторов различных горючих газов и паров при различных расходах газоздушных смесей, а также в составе газовых хроматографов, в которых расход газа-носителя определяется условиями разделения компонентов, необходимо определение зависимости сигнала ИКППД от объемного расхода газа-носителя.

Установление этой зависимости осуществлялось при следующих условиях: объем проб анализируемых газов 1 мкл; напряжение питания 1,3 В; расход газа-носителя 1, 2 и 3 л/ч. На рис. 4 приведены зависимости амплитуды  $h$  и площади  $S$  сигнала детектора от расхода газа-носителя. Как видно, амплитуда и площадь сигнала детектора, вызванные прохождением через него пробы анализируемого газа, с увеличением расхода газа-носителя уменьшаются, что определяется сокращением концентрации анализируемых газов в потоке газа-носителя.

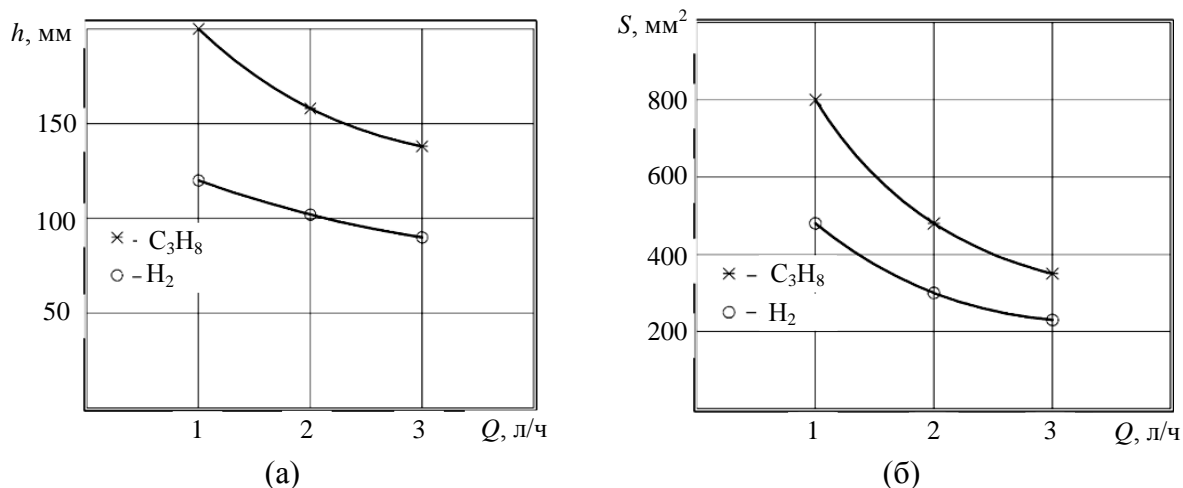


Рис. 4. Зависимость амплитуды (а) и площади (б) сигнала детектора от расхода газа-носителя

Специальными исследованиями, результаты которых не вошли в данную статью, было установлено, что ИКППД обладает чувствительностью к парам жидких углеводородов различных классов.

С использованием стандартной методики были найдены значения основных метрологических характеристик детектора: порога чувствительности –  $4 \cdot 10^{-6}$  % об.; максимальной концентрации в пределах линейности статической характеристики – 0,1 % об.; уровня шума –  $0,4 \cdot 10^{-12}$  А; постоянной времени – 0,3...1,0 с.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что описанный в статье детектор газов является новым техническим средством получения измерительной информации о микроконцентрации горючих газов в воздухе. Его разработка и исследование подтвердили возможность использования дополнительного канала получения измерительной информации, основанного на измерении инфракрасного излучения, возникающего при каталитическом сгорании горючих газов на полупроводниковом чувствительном элементе. Для выявления всех информационных возможностей ИКППД необходимы разработка математической модели сигнала детектора; проведение исследования зависимости его сигнала от температуры; изучение возможности использования в составе детектора более чувствительных приемников инфракрасного излучения; исследования работы детектора на газе-носителе гелии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасевич В.Н. Металлические терморезисторные преобразователи горючих газов. Киев: Наукова думка. 1988. 284 с.

2. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Автоматические детекторы газов и жидкостей. М.: Энергоатомиздат. 1963. 96 с.
3. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник. М.: Техносфера. 2005. 592 с.
4. Оводок Е.Л., Ивановская М.И., Котиков Д.А. Оценка влияния Au (III) на газочувствительные свойства сенсоров на основе оксида индия // *Вестник БГУ. Сер. 2: Химия, биология, география*. 2009. № 3. С. 3–6.
5. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях / И.А. Мясников [и др.]. М.: Наука. 1991. 327 с.
6. Долгополов Н.В., Яблоков М.Ю. Электронный нос – новое направление индустрии безопасности // *Мир и безопасность*. 2007. № 3. С. 54–59.
7. Оценка возможности применения металлооксидных сенсоров в устройствах «Электронный нос» / В.П. Кулагин [и др.] // *Датчики и системы*. 2016. № 11. С. 39–48.
8. Илясов Л.В. Исследование полупроводникового керамического преобразователя концентрации газов // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 2 (18). С. 44–49.
9. Патент РФ 213294 Полупроводниковый преобразователь концентрации газов / Илясов Л.В., Иванова Н.И.; Заявл. 08.06.2022. Опубл. 05.09.2022. Бюл. № 2.
10. Фарзани 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 инфракрасного полупроводникового детектора газов // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 3 (19). С. 84–89.

## INFRARED SEMICONDUCTOR GAS DETECTOR RESEARCH

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 of an infrared semiconductor gas detector, created on the basis of a commercially available semiconductor converter of the PP-1 type, whose principle of operation is based on measuring the electrical conductivity of a semiconductor sensing element heated to a temperature of 400...450 °C when it comes into contact with flammable gases, are presented. It has been established that the change in the electrical conductivity of this element is accompanied by infrared radiation, which makes it possible to use the measurement of the intensity of this radiation by an infrared photodiode to obtain measuring information about the concentration of the analyzed gas. The designs of the detector and the laboratory installation for its research are described. The dependences of the detector signal on its main operating parameters are given, namely: on the concentration of the analyzed gases (hydrogen, propane) in the carrier gas (air) flow, on the supply voltage of the semiconductor sensing element, on the distance between the sensitive.

*Keywords:* infrared, semiconductor, detector, gas, experiment, concentration, radiation, metrology.

Поступила в редакцию/received: 04.03.2023; после рецензирования/ revised: 24.03.2023;  
принята/accepted: 03.04.2023