

medium-temperature tempering. High speed of cooling under getting of not big castings or the castings with wall thickness to 25-30 mm allow to get at once austenite-martensite structure. In other cases, the loading into furnace after hardening of casting at temperature 950°C, endurance 2–3 hours and cooling together with furnace or hardening in an open air is used. The probability of graphitization of castings under synthesis of alloy by aluminothermic way decreases considerably because of considerable gradient of temperatures and high speed of heat abstraction, i.e. getting of martensite structure under casting goes considerably simpler.

Thus we may make a conclusion that aluminothermic ways can be used for producing of special thermite alloyed cast irons expect for high-chromium cast irons during the synthesis of those the problems of technological character appear. Other types of special cast irons have in some cases even better properties than in cast irons produced by ordinary methods. Designed compositions of thermite mixtures are also suitable for technology of thermite casting additives of high-temperature gradient.

References

1. Zhiguts Yu., Lazar V. 2014. Special grey and white thermite cast irons .British Journal of Science, Education and Culture, “London University Press”. London. № 2 (6). V. 1. P. 201 - 207.
2. Zhiguts Yu.Yu., Opathko I.I. 2014. The highstrenght thermite cast irons. American Journal of Scientific and Educational Research, “Columbia Press”. New York. № 2 (5). V. 2. P. 635 - 641.
3. Zhiguts Yu.Yu., Homjak B.Ya., Bilak I.V. 2015. Synthesis of special thermite cast irons and their properties. Fundamental and applied science: 11 international research and practice konf., 30 October – 07 November 2015 r.: materials conf. Sheffield UK: “Science and Education” LTD. V. 18. P. 30 - 32.
4. Zhiguts Yu., Beiresh Ya. 2017. The alloyed cast irons synthesized by metallothermic processes. Conduct of modern science: 13 international research and practical konf.: 30 November - 07 December 2017 y.: materials conf. Technical science. Sheffield UK: “Science and Education” LTD. V. 13. P. 14 - 16.

УДК 662.767.1=161.1

СФЕРИЧЕСКИЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ВОЗДУХЕ

Кабаций В. Н., Хомяк Б.Я., Питьовка О.Ю.

SPHERICAL OPTOELECTRONIC SENSOR FOR MEASUREMENT OF METHANE CONCENTRATION IN AIR

Kabatsiy Vasyl, Khomyak Bogdan, Pityovka Oksana

Предложена конструкция оптоэлектронного сенсора газа на метан (CH₄) учитывающая особенности спектральных характеристик источников и приемников среднего ИК-диапазона спектра. Показана возможность использования оптоэлектронного сенсора для измерения концентрации CH₄ в диапазоне 0–3 об.%. Минимально измеренная концентрация газа в воздухе ограничивается только отношением сигнал/шум и составляет 200–250 ppm.

Ключевые слова: ИК-излучения, оптоэлектронные сенсоры, фотоприемники, оптоэлектронный сенсор, газ.

Proposed the design of an optoelectronic gas sensor for methane (CH₄) takes into account the features of the spectral characteristics of sources and receivers of the middle IR spectral range. The possibility of using an optoelectronic sensor for measuring the concentration of CH₄ in the range 0-3 vol.% has shown. The minimum measured gas concentration in air is limited only by the signal/noise ratio and is 200-250 ppm.

Keywords: IR radiation, optoelectronic sensors, photodetectors, gas, optoelectronic sensor.

Актуальною задачею в області контролю технологічних процесів в промисловому виробництві і теплоенергетиці, екологічного контролю вибросів забруднюючих газів в атмосферу являється вимірювання концентрації молекулярних компонентів газової суміші. Забруднюючі атмосферу газів утворюються також при вихлопах автомобіля і неповному згоранні палива в печі або каміні, виділяються з сучасних отделочних матеріалів і упаковок при їх тлієнні або горінні, а також на початковій стадії пожеги при піролізі або нестандартних режимах функціонування електрообладнання. Ефективно оцінити стан атмосфери і концентрації в ній шкідливих газів можливо тільки при умовних об'єктивного контролю інструментальними засобами.

В останні роки спостерігається перехід від традиційних засобів аналізу газу, в якому використовуються лампи накаливання, оптичні фільтри і механічні модулятори випромінювання, до використання нового покоління багатифункціональних приладів газового аналізу, розроблених і виготовлених на сучасній елементній оптоелектронній базі [1]. Ураховуючи, що основними елементами сучасного оптоелектронного сенсора є напівпровідникові джерела і фотодетектори ІК-випромінювання, то для досягнення високого ККД сенсора необхідно, щоб параметри його складових частин були узгоджені за спектральними характеристиками, швидкістю дії, температурними властивостями і габаритами. Крім цього, джерела ІК-випромінювання, застосовувані в оптоелектронних сенсорах, повинні мати достатньо вузьку направленість випромінювання і працювати при порівняно невеликих входних токах. Тому удосконаленню напівпровідникових джерел ІК-випромінювання приділяється велика увага [2–5]. Не менш важливим є вибір фотодетектора, який повинен мати не тільки високу ефективність перетворення падаючого на нього випромінювання в електричний струм, але і необхідним спектральним розподілом фоточувствительності і швидкістю дії [3].

Використання напівпровідникових джерел і фотодетекторів ІК-випромінювання суттєво підвищує чутливість, селективність, швидкість дії, економічність і надійність спектроскопічних приладів аналізу складових газових сумішей, значно зменшує габарити і матеріаломісткість, а також дозволяє автоматизувати процес вимірювання, застосовувати неперервний контроль стану навколишнього середовища і промислових процесів [1–4].

Настояча робота присвячена розробці оптоелектронних сенсорів газів на метан і двоокис вуглецю з використанням багатементних напівпровідникових джерел випромінювання і фотодетекторів, що працюють в спектральному діапазоні 2,5–5,0 мкм.

1. Багатементні напівпровідникові джерела ІК-випромінювання на область спектра 2,5-5,0 мкм.

Випромінюючі активні елементи (АЕ), з *p-n*-переходами і високими коефіцієнтами інжекції при електролюмінісценції, напівпровідникових джерел випромінювання, що працюють при кімнатній температурі, виготовлені на базі твердих розчинів (ТР) InGaAs/InAs і InAsSbP/InAs методом рідинної епітаксії, що дозволяють вирощувати на монокристалічній підложці високоякісні гетероструктури [2]. Для підвищення зовнішнього квантового виходу на випромінюючі АЕ наносилися оптичні покриття, одночасно виконуючі механічну захист, ефект просвітлення і

фокусирование излучения. В качестве материалов для оптического покрытия, использовались халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП) на базе многокомпонентных систем Ge(Pb)-Sb(Bi,Ga)-S(Se) [6].

Оптическое покрытие из ХСП в виде вытянутой полусферы сужает диаграмму направленности излучения вдоль оптической оси от 160° до 40° и повышает мощность излучения АЭ в 2,5–3,0 раза. При использовании оптического покрытия в виде цилиндрической поверхности с полусферическим куполом удалось сузить диаграмму направленности излучения до 15° и увеличить мощность излучения в 3,5–4 раза [5]. Разработанная нами технология нанесения оптического покрытия на излучающие АЭ обеспечивает удовлетворительную воспроизводимость геометрии стеклянного купола [7].

Конструкции полупроводниковых источников излучения [2, 6–9] разработаны таким образом, что позволяют разместить несколько АЭ на одной теплопроводной основе и могут излучать на одной или разных длинах волн, а их питание осуществляется отдельно в непрерывном или импульсном режиме. Комплексные исследования электрофизических и оптических параметров активных элементов позволили определить оптимальные составы ТР, обеспечивающие излучение АЭ на длинах волн, согласованных с длиной волны собственного поглощения соответствующего газа или компонентов в газовой смеси (рис. 1) (длины волн излучения 2,9 мкм, 3,32 мкм, 4,27 мкм, 4,67 мкм отвечают полосам поглощения паров воды, метана (CH_4), углекислого газа (CO_2), окиси углерода (CO)).

Вследствие изменения ширины запрещенной зоны материалов A^3B^5 с повышением температуры внешней среды спектральные характеристики излучающих АЭ, изготовленных на их основе, смещаются в длинноволновую область спектра. Изменение температуры АЭ происходит также вследствие разогрева p - n -перехода при увеличении прямого тока через него. Поэтому, при проектировании и изготовлении оптоэлектронных сенсоров газа необходимо знать и учитывать температурный коэффициент смещения максимума в спектре излучения АЭ. Спектральные характеристики АЭ измерялись в диапазоне температур 250–330 К. На основании этих измерений для АЭ, используемых нами в оптоэлектронном сенсоре на метан, представлены рис. 3 температурные зависимости спектрального положения максимума в спектре излучения и полуширины спектра ($I = 200$ мА, $\nu = 10^3$ Гц, $\tau = 500$ мкс).

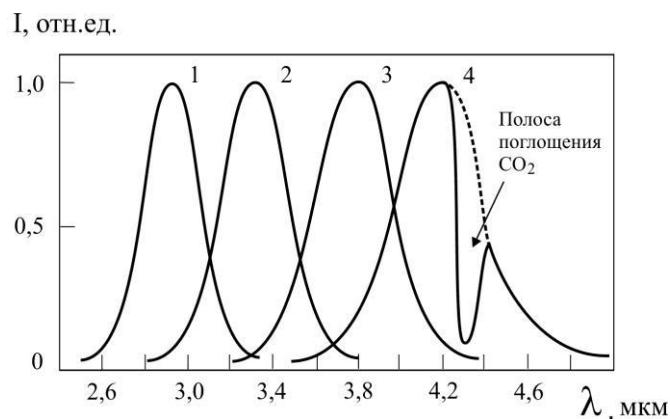


Рис. 1. Зависимости интенсивности излучения p - n -перехода АЭ от длины волны излучения при $T=300$ К, согласованные с максимумами длин волн собственного поглощения различных газов: 1– паров воды ($\lambda=2,9$ мкм); 2– метана (CH_4 , $\lambda=3,32$ мкм); 3– $\lambda=3,9$ мкм (используется для опорного канала в оптоэлектронном сенсоре); 4– двуокиси углерода ($\lambda=4,27$ мкм).

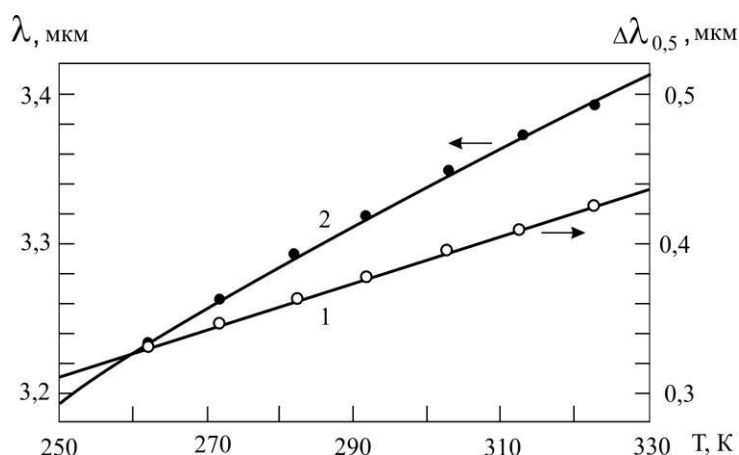


Рис. 2. Температурные зависимости спектрального положения максимума в спектре излучения (1) и полуширины спектра (2) излучения АЭ, используемого в оптоэлектронном сенсоре на метан.

Для измерения мощности излучения АЭ в области спектра 2,5–5,0 мкм использовалась интегрирующая сфера и калибровочный охлаждаемый PbSe фотоприемник. Внутренняя поверхность сферы диаметром 80 мм покрывалась мятой алюминиевой фольгой с коэффициентом диффузного отражения 0,9–0,92. Источник ИК-излучения и ФП расположены на противоположных сторонах сферы и разделены между собой диффузно рассеивающим экраном. Используя свойства интегрирующей сферы, мощность излучения рассчитывалась по формуле:

$$P = \frac{4D^2(1 - \beta)U}{d^2 S_p},$$

где D – внутренний диаметр сферы, м; β – коэффициент диффузного отражения поверхности сферы; U – электрический сигнал на выходе с ФП, В; d – диаметр чувствительной площадки ФП, м; S_p – интегральная чувствительной ФП по отношению к исследуемому источнику излучения, В/Вт.

До начала измерений интегрирующая сфера продувалась осушенным азотом в десятикратном объеме от объема сферы. Ошибка измерений мощности излучения АЭ не превышала 15 %. Мощность излучения АЭ измерялась в диапазоне температур 250–330 К и плотности (J) прямого тока (I), проходящего через АЭ от 1 А/см² до 10³ А/см². Длительность (τ) прямоугольных импульсов изменялась от 25 мкс до 500 мкс при частоте (ν) их следования от 10 до 10⁶ Гц. Для всех исследуемых АЭ мощность излучения уменьшается с повышением температуры рис. 4 ($I=200$ мА, $\nu=10^3$ Гц, $\tau=500$ мкс).

На рис. 4 приведены зависимости мощности излучения АЭ, излучающих на различных длинах волн, от величины прямого тока через p – n -переход ($T=293$ К, $\nu=10^3$ Гц, $\tau=500$ мкс). Из этого рисунка видно, что увеличение прямого тока через p – n -переход приводит к увеличению мощности излучения для всех исследуемых АЭ вплоть до тока 250 мА (25 А/см²), достигая насыщения, после чего мощность излучения АЭ начинает уменьшаться с увеличением тока больше 250 мА (25 А/см²), вследствие нагревания p – n -перехода. Изменение режима работы АЭ ($\nu = 10$ Гц, $\tau = 25$ –50 мкс) приводит к тому, что p – n -переход не успевает нагреться даже при токе 7 А (700 А/см²), а мощность излучения возрастает в несколько раз. Увеличение плотности тока через p – n -переход приводит к смещению максимума в спектрах излучения АЭ в длинноволновую область и увеличению полуширины спектров. Так для активных элементов, изготовленных на базе ТР InGaAs (область излучения 2,8–3,6 мкм), смещение максимума излучения и увеличение полуширины спектров излучения наблюдается при плотности тока 25 А/см². Для активных элементов,

изготовленных на базе TP InAsSbP (область излучения 3,8–5,0 мкм), такие изменения наблюдаются уже при плотности тока 10 А/см².

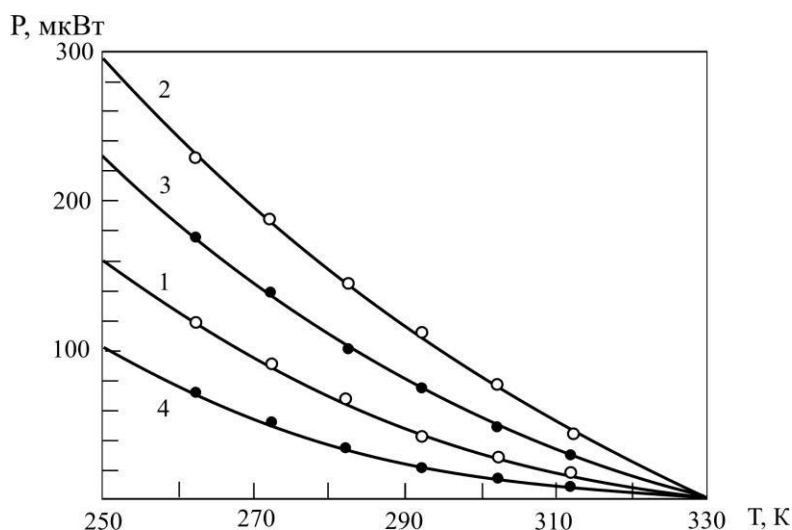


Рис. 3. Температурные зависимости мощности излучения различных АЭ, излучающих на длинах волн в максимуме излучения λ_{\max} : 1– 2,9 мкм; 2– 3,32 мкм; 3– 3,9 мкм; 4– 4,27 мкм.

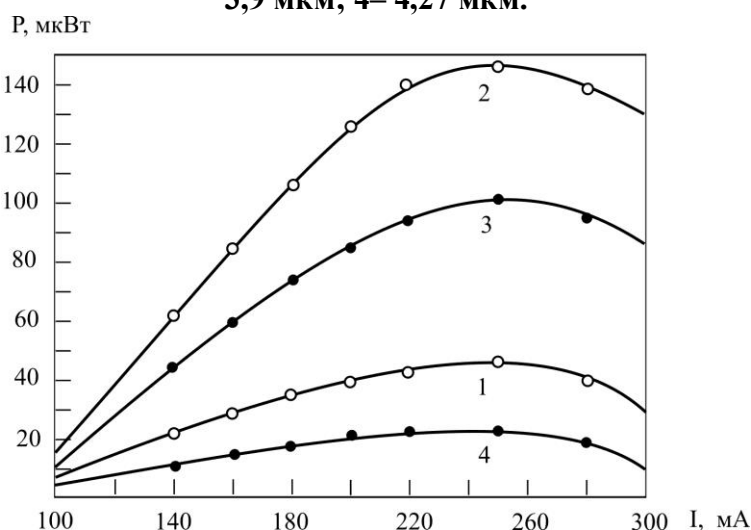


Рис. 4. Зависимости мощности излучения АЭ от прямого тока через $p-n$ -переход на различных длинах волн в максимуме излучения λ_{\max} : 1– 2,9 мкм; 2– 3,32 мкм; 3– 3,9 мкм; 4– 4,27 мкм.

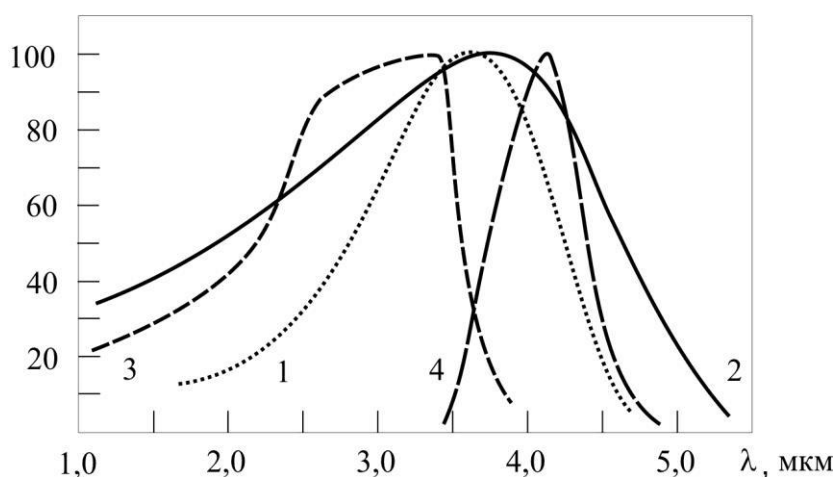
Таким образом, приведенные выше результаты указывают на необходимость температурной стабилизации активных элементов при использовании их в оптоэлектронных сенсорах газов. Использование различных типов полупроводниковых микрохолодильников, работающих на эффекте Пельтье, позволяет стабилизировать спектральное положение максимума в спектре излучения АЭ, а также увеличить на 20 % мощность излучения, за счет увеличения прямого тока через $p-n$ -переход. Вместе с тем следует отметить, что использование таких микрохолодильников существенно увеличивает потребляемую мощность источника излучения, усложняет его конструкцию и уменьшает надежность. В то же время, используя указанное поведение мощности излучения и спектральных характеристик АЭ, возникает возможность управление этими параметрами с помощью прямого тока через $p-n$ -переход [2].

2. Фотоприемники ИК-излучения на область спектра 2,5–5,0 мкм.

Приемники оптического излучения являются неотъемлемым элементом современной аппаратуры для оптической обработки информации. Основным условием использования параметров фотоприемников в составе сложных оптоэлектронных устройств есть правильный выбор типа приемника излучения. В нашем случае, учитывая электрические и оптические характеристики разработанных источников ИК-излучения, для обеспечения надежного приема и обработки электрического сигнала необходим ФП с интегральной вольтовой чувствительностью не менее 10^3 В/Вт и обнаружительной способностью не менее 10^9 см \cdot Гц $^{1/2}\cdot$ Вт $^{-1}$ по АЧТ при $T = 300$ К. Спектральные характеристики различных типов ФП, на область спектра 2,5–5,0 мкм, приведены на рис.5.

Важной характеристикой ФП является постоянная времени, определяющая верхнюю границу частоты модуляции излучения, превышение которой приводит к снижению интегральной чувствительности ФП. При выборе ФП необходимо также учитывать размер фоточувствительной площадки, поскольку граничная чувствительность однотипных ФП зависит от ее размеров и ухудшается с ее увеличением. В такой же зависимости от размеров чувствительной площадки находятся и шумы ФП. Однако этот шум уменьшается при использовании модулированного сигнала с усреднением.

S, отн.ед.



**Рис. 5. Спектральные характеристики различных ФП в средней ИК-области спектра:
1– PbSe фоторезистор; 2–охлаждаемый PbSe фоторезистор;
3– InAs фотодиод [3]; 4– фотодиод PD42Sr фирмы MIRD OG (РФ).**

Так как, использование модулированного излучения с частотой 500 Гц и усреднением больше 1 с, приводит к увеличению соотношения сигнал/шум до 20 раз, а при 10 с до 70 раз [3]. Такое время усреднения вполне приемлемо для большинства газоанализаторов, так как изменение величины концентрации газа происходит за время больше 1 с. PbSe фоторезисторы характеризуются достаточной чувствительностью в области спектра 2,5–5,0 мкм и их наиболее часто используют в приборах анализа концентрации газа.

С учетом конструктивных и технических особенностей, разработанных нами многоэлементных источников ИК-излучения [2, 7, 8] и характеристик ФП нами разработан оптоэлектронный сенсор для измерения концентрации CH_4 в газовой смеси.

3. Оптоэлектронный сенсор на метан (CH_4)

Для измерения концентрации CH_4 в диапазоне 0–3,0 об.% с коэффициентом поглощения $\alpha_{\text{max}} = 0,1$ и $\alpha_{\text{eff}} = 0,05$ в области 3,3 мкм [3], изготовлен оптоэлектронный сенсор в виде интегрирующей сферы рис. 7 [11].

Оптоэлектронный сенсор состоит из оптически связанных источника ИК-излучения 1, интегрирующей сферической кюветы 2, светорассеивающего экрана 3 и фотоприемника 4. Внутренняя поверхность кюветы и основание светорассеивающего экрана, покрыты сильно

деформированной алюминиевой фольгой, толщиной 0,02 мм, создающей диффузное отражение с коэффициентом отражения 0,90 – 0,92 в диапазоне длин волн 2,5–5,0 мкм. Светоотражающий экран выполнен в виде многогранной правильной пирамиды с площадью основания в два раза большей площади сечения светового потока, создаваемого источником излучения на входе кюветы. Грани пирамиды зеркальные и направлены в сторону источника излучения.

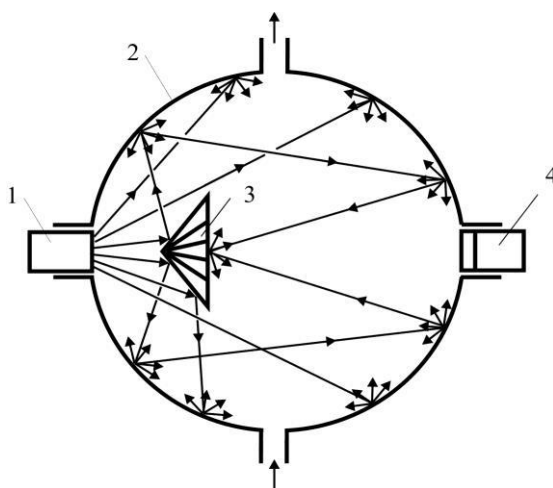


Рис. 6. Конструкция оптоэлектронного сенсора на метан:
1– многоэлементный источник ИК-излучения; 2– интегрирующая сферическая кювета; 3– светоотражающий экран; 4– фотоприемник.

Для обеспечения минимальных потерь на рассеивающей поверхности кюветы, входные и выходные отверстия подачи метана изготовлены в виде отдельных отверстий диаметром 1 мм. Многоэлементный источник ИК-излучения состоит из нескольких АЭ, излучающих на рабочей длине волны $\lambda_{\max 1} = 3,32$ мкм ($\Delta \lambda_{0,5} = 0,38$ мкм) и на длине волны в максимуме излучения $\lambda_{\max 2} = 3,9$ мкм ($\Delta \lambda_{0,5} = 0,42$ мкм), за полосой поглощения метана (опорный канал). Прямая модуляция световых потоков обеспечивается активацией источников ИК-излучения переменным током $I = 250$ мА, частотой $\nu = 10^3$ Гц и длительностью импульса $\tau = 500$ мкс. Регистрация ИК-излучения осуществляется PbSe фоторезистором. Световой поток от источника излучения 1, попадая внутрь кюветы 2, отражаясь экраном 3 и рассеиваясь внутренней поверхностью кюветы, создает некоторый уровень освещенности, который регистрируется ФП.

При подаче метана внутрь кюветы, световой поток ослабляется вследствие частичного поглощения. В результате внутри кюветы создается освещенность пропорциональная ослаблению излучения метаном, которая регистрируется ФП. Изменение освещенности внутри кюветы при наличии в ней метана, приводит к соответствующему изменению выходного сигнала ФП, который служит мерой концентрации метана. На рис. 8 приведены зависимости падения напряжения на выходе ФП от концентраций метана в сферической кювете (кривая 1) и цилиндрической кювете длиной 164 мм (кривая 2).

Учитывая относительно большой объем кюветы, оптимальная скорость подачи газовой смеси составляет 2–2,5 л/мин, при этом время установления показаний не превышает 20–30 с. Воспроизводимость показаний при проведении измерений не хуже ± 2 %, а стабильность измерений при 60-минутном пропускании газовой смеси с концентрацией 0,3 % составляет ± 4 %. Отношение сигнал-шум достигает не менее 100.

U, отн. ед.

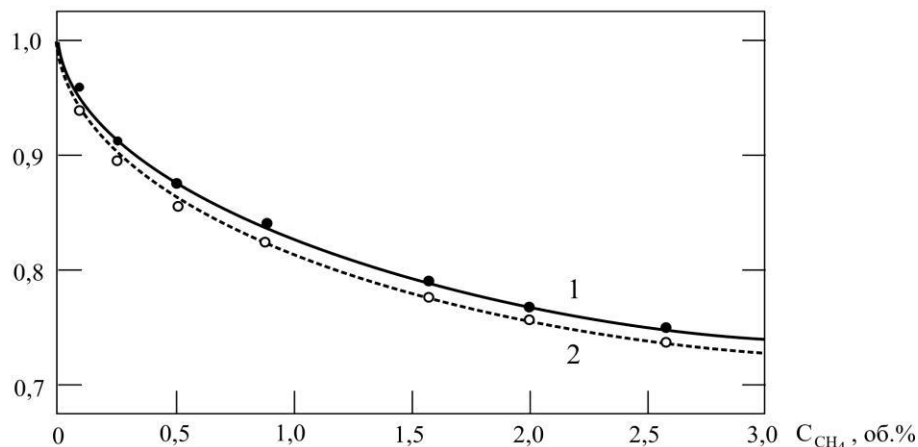


Рис. 7. Залежність падіння напруги на виході ФІР від концентрації метану (CH_4) для сферическої кювети (1) діаметром 80 мм і циліндрическої кювети (2) довжиною 164 мм.

Мінімально вимірювана концентрація CH_4 в повітрі становить 200–250 ppm. При використанні сферическої кювети приведена помилка вимірювань становила 5%. Порівняльні вимірювання концентрації CH_4 , з використанням сферических і циліндрических кювет оптического сенсора показали, що сферическі кювети є більш перспективними і дозволяють зменшувати габарити і масу сенсора.

Розроблений оптический сенсор газу дозволяє конструювати сучасні багатофункціональні прилади газового аналізу з високими експлуатаційними параметрами. Компактність, вібростійкість, малі габарити і маса, разом з великим терміном служби і швидкістю визначення визначають широкий спектр їх використання.

Использованные источники

1. Александров С.Е. Моделирование характеристик оптических газовых сенсоров на основе диодных оптопар среднего ИК-диапазона спектра / С.Е. Александров, Г.А. Гаврилов, А.А. Капралов, Б.А. Матвеев, Г.Ю. Сотникова, М.А. Ременный // Журнал технической физики. – 2009. – Т.79, № 6. – С. 112–118.

2. Aleksandrov S. Portable optoelectronic gas sensors operating in the mid-IR spectral range ($\lambda=3\text{--}5\mu\text{m}$) / S. Aleksandrov, G. Gavrilov, A. Kapralov, S. Karandashov, B. Matveev, G. Sotnikova, N. Stus // Lasers for Measurements and Information Transfer: Intern. Conf., 2002: Proc. SPIE. – Vol. 4680. – P.188–194.

3. Remennyi M.A. Low voltage epoxide down bonded mid-IR diode optopairs for gas sensing in the 3,3–4,3 μm spectral range/ M.A. Remennyi, N.V. Zotova, S.A. Karandashev, B.A. Matveev., N.M. Stus, G.N. Talalakin // Sensors & Actuators B: Chemical. – 2003. – Vol. 91. – № 1–3. – P. 256–261.

4. Зотова Н. В. Источники спонтанного излучения на основе арсенида индия / Н. В. Зотова, Н. Д. Ильинская, С. А. Карандашев, Б. А. Матвеев, М. А. Ременный, Н. М. Стус // Физика и техника полупроводников. – 2008. – Т.42. – № 4. – P. 641–657.

5. Кабацій В. Н. Объемные оптические покрытия из халькогенидных стекол для полупроводниковых источников ИК-излучения // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 4. – С. 38–44.

6. Пат. № 88565 Україна. Захисне, просвітлююче та фокууюче покриття на основі халькогенідного скла і спосіб його нанесення / Блецкан Д.І., Кабацій В.М. – 10.07.2009.

7. Пат. № 8564 Україна. Напівпровідникове джерело інфрачервоного випромінювання / Кабацій В.М. – 10.02.2009.

8. Пат. № 86900 Україна. Багатоканальне джерело випромінювання (варіанти) / Кабачій В.М., Блецкан Д.І. – 25.05.2009.

9. Пат. № 89707 Україна. Оптичний сенсор газів / Кабачій В.М., Блецкан Д.І., Гасинець В.О. – 25.02.2010.

References

1. Alexandrov S.E., Gavrilov G.A., Kapralov A.A., Matveev B.A., Sotnikova G.Yu., Remennyi M.A. 2009. Modelyrovanye kharakterystyk optycheskykh hazovukh sensorov na osnove dyodnykh optopar sredneho YK-dyapazona spektra [Modeling of the characteristics of optical gas sensors based on diode optocouplers of the middle IR spectral range]. *Journal of Technical Physics*. T.79. № 6:112–118.

2. Aleksandrov S., Gavrilov G., Kapralov A., Karandashov S., Matveev B., Sotnikova G., Stus N. 2002. Portable optoelectronic gas sensors operating in the mid-IR spectral range ($\lambda=3-5\mu\text{m}$) [Portable optoelectronic gas sensors operating in the mid-IR spectral range ($\lambda=3-5\mu\text{m}$)]. *Lasers for Measurements and Information Transfer: Intern. Conf.: Proc. SPIE*. Vol. 4680: 188–194.

3. Remennyi M.A., Zotova N.V., Karandashev S.A., Matveev B.A., Stus' N.M., Talalakin G.N. 2003. Low voltage episide down bonded mid-IR diode optopairs for gas sensing in the 3,3–4,3 μm spectral range. [Low voltage episide down bonded mid-IR diode optopairs for gas sensing in the 3,3–4,3 μm spectral range]. *Sensors & Actuatoators B: Chemical* Vol. 91. № 1–3: 256–261.

4. Zotova N.V., Ilyinskaya N.D., Karandashev S.A., Matveev B.A., Remennyi M.A., Stus' N.M. 2008. Ystochnyky spontannoho yzluchenyia na osnove arsenyda yndyia [Sources of spontaneous emission based on indium arsenide]. *Physics and technology of semiconductors*. T.42. № 4: 641–657.

5. Kabatsiy V. N. 2009. Объемные оптические покрытия из халькогенидных стекол для полупроводниковых источников YK-излучения [Volumetric optical coatings from chalcogenide glasses for semiconductor infrared sources]. *Technology and design in electronic equipment*. № 4: 38–44.

6. Bletskan DI, Kabatsiy V.M. 2009. Ukraina. Zakhysne, prosvitliuiuche ta fokusuiuche pokryttia na osnovi khalkohenidnoho skla i sposib yoho nanesennia [Ukraine. Protective, illuminating and focussing coating on the basis of chalcogenide glass and its method of application] Pat. № 88565. 10.07.2009.

7. Kabatsiy V.M. 2009. *Napivprovodnykove dzherelo infrachervonoho vyprominiuvannia* [Semiconductor source of infrared radiation]. Pat. № 8564 Україна. 10.02.2009.

8. Kabatsiy V.M., Bletskan D.I. 2009. *Bahatokanalne dzherelo vyprominiuvannia (varianty)* [Multichannel source of radiation (options)]. Pat. № 86900 Ukraine. 25.05.2009.

9. Kabatsiy V.M., Bletskan D.I., Gasinets V.O. 2010. *Optychnyi sensor haziv* [Optical gas sensor]. Pat. № 89707 Ukraine. 25.02.2010.