

посредством динамического управления приоритетом выполнения каждой подпрограммы. Важно отметить удобство использования ОС Linux, так в версии 2.8.28 пользователь может выбрать период диспетчеризации 1 мс, использовать аппаратный таймер высокого разрешения (до 1 мкс), прямой доступ к драйверам и портам, что в итоге позволяет достичь большей производительности по сравнению с ОС Windows.

Пользователь может непосредственно подавать команды с помощью графического интерфейса. Результаты выполнения команд сразу доступны для наблюдения. Кроме того, у пользователя есть возможность создать файл сценария. Использование файла сценария позволит выполнять последовательности команд, необходимые для постановки любого эксперимента. Выполнение сценария каждый раз приводит к подаче абсолютно идентичного набора команд с точно запрограммированными временными интервалами между ними, что позволяет создавать серию подобных экспериментов при одинаковых условиях, исходных сигналах и т.д.

УДК 628.74

## ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ СРЕДЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ДЫМОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Дробыш Д.В.<sup>1</sup>, Антошин А.А.<sup>2</sup>, Олефир Г.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Оптические свойства любой среды, в том числе воздушной, содержащей дым, оценивают посредством различных параметров. Например, оптическая плотность, удельная оптическая плотность, коэффициенты поглощения, пропускания, экстинкции, показатели экстинкции и поглощения и т.д.

При создании устройств для определения указанных параметров необходимо учитывать тот факт, что на погрешность результатов измерения может существенно влиять рассеянное вперед излучение [1-6]. Для минимизации погрешности рекомендуется использовать монохроматический источник света, а ширина пучка света должна быть мала по сравнению с длиной его пути в среде.

В работах [2,3] дан метод численной оценки этой погрешности. Отношение истинных интенсивностей прошедшего через задымленную среду излучения  $I$  и падающего на нее излучения  $I_0$  связано с отношением измеренных интенсивностей следующим соотношением [6]

$$\frac{I}{I_0} = \left( \frac{I_m}{I_0} \right)^{\frac{1}{R}}, \quad (1)$$

Наличие трёх высокопроизводительных ПЛИС позволяют формировать сложный сигнал, а так же менять параметры формируемого сигнала в реальном времени. Параметры формируемых сигналов могут как программироваться в стенд перед работой, так и определяться входной информацией, поступающей в стенд от испытываемого устройства. Широкая функциональность стенда в области формирования сигналов позволяет проводить исследование поведения устройства при изменяющихся сигналах.

Форма имитируемого сигнала может задаваться как математически, так и в виде цифровых отсчётов сигнала, таким образом, возможна подача на вход испытываемого устройства сигнала, записанного ранее при работе радиотехнической системы.

Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки РФ в рамках договора № 02.G25.31.0061 от «12» февраля 2013 года (в соответствии с постановлением правительства РФ от 9 апреля 2010 года №218).

где  $I_m$  – измеренная интенсивность излучения, прошедшего через задымленную среду,  $R$  – поправочный коэффициент.

Коэффициент  $R$  является функцией безразмерного параметра  $y$ , определяемого по формуле

$$y = \frac{\pi d}{\lambda} \Theta_1, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр частицы дыма,  $\lambda$  – длина волны света,  $\theta_1$  – угол, под которым виден диаметр диафрагмы из оптического центра линзы (рис. 1).



Рисунок 1 – Устройство для измерения коэффициента экстинкции с использованием источника неколлимированного излучения

Так как рассматриваемая погрешность увеличивается с увеличением размера частиц, то

должен быть определен максимально допустимый размер частиц дыма.

В работе [6] показано, что приемлемым верхним пределом размера частиц в полномасштабных испытаниях в огневой камере является диаметр частиц 5 мкм. Для длины волны 550 нм, диаметра частиц 5 мкм и угла  $2^\circ$ , величина поправочного коэффициента  $R$  составит примерно 0,9. Эти критерии являются приблизительными, так как частицы дыма при горении не являются сферическими, однако на практике приемлемые результаты получены при ограничении угла  $\theta_1$  до  $2^\circ$ .

При использовании в аппаратуре для измерения коэффициента экстинкции источника когерентного излучения для исключения вклада рассеянного вперед излучения можно применять устройство, показанное на рис. 2. В работе [6] приведены результаты, указывающие на то, что угол  $\theta_2$  (рис. 2) должен быть меньше  $2^\circ$ , чтобы минимизировать рассеянное вперед излучение частицами дыма. В работе [7] отмечается, что погрешности, связанные с рассеянием вперед, для черных дымов примерно на пол порядка меньше, чем такие же погрешности для белых дымов. Авторы связывают это с большой долей поглощенного света в черном дыме.

При испытаниях дымовых пожарных извещателей рассеянного или проходящего света определяют значение порога срабатывания, которое связано с концентрацией частиц дыма и характеризуется удельной оптической плотностью среды  $m$ , измеренной вблизи извещателя в момент выдачи им сигнала о пожаре.

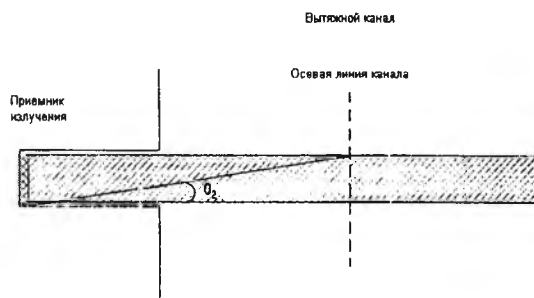


Рисунок 2 – Устройство измерения коэффициента экстинкции с использованием источника коллимированного излучения

Удельную оптическую плотность  $m$  (дБ/м) рассчитывают по формуле

$$m = \frac{10}{d} \log \frac{I_0}{I} \quad (3)$$

где  $d$  – длина пути света в среде,  $I_0$  – интенсивность излучения, измеренная без дыма,  $I$  – интенсивность излучения, полученная при наличии дыма.

Поскольку результаты измерений должны воспроизводиться независимо от места и вре-

мени их проведения, необходимо с высокой точностью обеспечить контроль условий испытаний. По отношению к дымовым пожарным извещателям обеспечить такой контроль особенно трудно, что связано с нестабильностью свойств дыма и тепловых потоков во времени, сильной зависимостью их от типа источника возгорания (тестового пожара).

Согласно [8], к оптическому измерительному оборудованию, используемому для определения удельной оптической плотности среды при испытаниях дымовых пожарных извещателей, предъявляют следующие требования:

- при всех значениях  $m$  до 2 дБ/м погрешность измерения должна быть не более  $0,02 \text{ дБ/м} \pm 5 \%$  от измеренного значения;
- оптическая система должна быть такова, чтобы приемник не регистрировал свет, рассеянный аэрозолем или дымом более чем на  $3^\circ$ ;
- источник света оптического измерителя должен формировать коллимированный луч монохроматического света;
- длина зоны измерения  $(1 \pm 0,01) \text{ м}$ ;
- эффективная мощность излучения светового луча должна иметь следующие характеристики:
  - не менее чем 50 % эффективной мощности излучения должно находиться в диапазоне длин волн от 800 до 950 нм;
  - не более чем 1 % эффективной мощности излучения должно находиться в диапазоне длин волн до 800 нм;
  - не более чем 10 % эффективной мощности излучения должен находиться в диапазоне длин волн выше 1050 нм.

Указанные требования могут быть обеспечены устройством оптическим измерительным УОИ-1, предназначенным для измерения светопропускания среды (патент на полезную модель № 7799).

Для оценки неопределенностей в значениях концентрации дыма (воспроизводимости результатов измерения), получаемой при измерении оптической плотности, необходимо проведение дополнительных исследований [6]: по оценке влияния температуры на дрейф выходного сигнала УОИ-1, оценке линейности измерительной системы и др.

1. Cashdollar K.L., Lee C.K. Singer J.M., Three-wavelength light transmission technique to measure smoke particle size and concentration, Applied Optics, Vol. 18, No. 11, 1979, pp. 1763-1769.
2. Deepak A., Box M.A. Forward scattering Corrections for Optical Extinction Measurements in Aerosol Media. 1: Monodispersions, Applied Optics, Vol. 17, No. 18, 1978, pp. 2900-2908.
3. Deepak A., Box M.A. Forward scattering Corrections for Optical Extinction Measurements

- in Aerosol Media. 2: Polydispersions, Applied Optics, Vol. 17, No. 19, 1978, pp. 3169-3176.
4. Hodkinson J.R. The Optical Measurement of Aerosols, Aerosol Science, Davies ed., Academic Press, New York, 1966.
  5. Mulholland G. How Well are We Measuring Smoke? Fire and Materials, Vol. 6, No. 2, 1982, pp. 65-67.
  6. Putorti, A. D., Jr. Design Parameters for Stack-Mounted Light Extinction Measurement Devices. NISTIR 6215; 1999, p. 34.
  7. Jin T. Effects of Scattered Light on the Measurement of Smoke Density, Report of Fire Research Institute of Japan (34), 1971, pp. 33-37.
  8. СТБ 11.16.03-2009 Система стандартов пожарной безопасности. Системы пожарной сигнализации. Извещатели пожарные дымовые точечные. Общие технические условия.

УДК 666.76:54.057; 621.315.5

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ С ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ КЕРАМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, Хорт А.А.<sup>1</sup>, Таратын И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Минский НИИ радиоматериалов, Минск, Республика Беларусь

Для определения концентрации углекислого газа широко используют как оптические методы, в основе которых лежит применение света инфракрасного диапазона, так и электрохимические способы детектирования [1].

Принцип работы полупроводниковых сенсоров основан на изменении сопротивления материала чувствительного элемента при взаимодействии с окружающей средой. В качестве материалов для чувствительных элементов полупроводниковых сенсоров используются соединения на основе SnO<sub>2</sub>, углеродных нанотрубок, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnO и ряда других. Широкое распространение в сфере газовой сенсорики получили материалы на основе титаната бария, модифицированного добавками оксида меди и некоторых других металлов [2–5].

В данной работе были синтезированы керамические материалы на основе системы BaO–CuO–La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiO<sub>2</sub> и исследованы газовые сенсоры CO<sub>2</sub> с чувствительными элементами, изготовленными из разработанных материалов. Керамика была получена путем высокотемпературного обжига смеси, подвергнутой совместному тонкому помолу исходных компонентов, в качестве которых использовались карбонат бария (BaCO<sub>3</sub>), диоксид титана (TiO<sub>2</sub>) и оксид меди (CuO) в соотношении 1:1 в пересчете на титанат бария.

Также в исходную смесь вводился оксид лантана в количестве от 1 до 5 мас. %. После обжига при температуре 1250 °С с выдержкой при максимальной температуре в течении 2 часов, полученные спеки подвергались повторному тонкому помолу в микрошаровой мельнице Retsch PM 100.

Из полученных керамических порошков приготавливалась водно-спиртовая суспензия, которая капельным методом наносилась на кристалл анодированного алюминия с платиновыми

электродами, после чего кристалл с нанесенным на него чувствительным слоем отжигался в электрической печи при температуре 850 °С в течении 5 часов. После отжига проводился монтаж кристалла в корпус сенсора.

Для изучения основных эксплуатационных характеристик сенсоров подключался к измерителю иммитанса Е7–25 и помещался в специальную камеру, в которую подавались газовые смеси известных концентраций.

Исследования проводились с концентрациями CO<sub>2</sub>, равными 10, 100, 1000 и 10000 ppm, а также при подаче в измерительную камеру газовых смесей CO, CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>.

Из результатов данных рентгенофазового анализа синтезированных керамических материалов следует, что введение оксида меди ведет к увеличению степени тетрагонального искажения перовскитовой кристаллической решетки [6, 7]. Введение же оксида лантана в состав керамического материала при сохранении прежних пропорций других компонентов, приводит к образованию новой кристаллической фазы BaO<sub>0,95</sub>CuO<sub>0,05</sub>La<sub>0,05</sub>TiO<sub>3</sub>, которая характеризуется меньшей степенью тетрагонального искажения перовскитовой структуры.

Как известно [8], внедрение ионов Cu<sup>2+</sup> ведет к увеличению соотношения параметров *c/a* перовскитовой решетки за счет замещения регулярных ионов Ti<sup>4+</sup>, при этом на каждый замещенный ион титана образуется два некомпенсированных электрона. Для сохранения электронной нейтральности решетки в целом, вероятно происходит изменение валентности ионов Ti<sup>3+</sup>, присутствующих в материале в небольшом количестве, согласно уравнению Ti<sup>3+</sup> ↔ Ti<sup>4+</sup>, и заполнение его свободного 3d-электронного уровня. Введение оксида лантана способствует обратному эффекту. Ионы лантана замещают в регулярной решетке титаната бария ионы Ba<sup>2+</sup>, при