

Jarosław BAREŁA, Krzysztof FIRMANTY, Mariusz KASTEK, Henryk POLAKOWSKI
 WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, ul. Generała S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Pomiary widm promieniowania substancji łatwopalnych z użyciem spektrometrii podczerwieni

Dr inż. Jarosław BAREŁA

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej (1997). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2004 w zakresie elektroniki - specjalność optoelektronika. Głównym obszarem jego pracy jest programowanie systemów mikroprocesorowych, projektowanie odbiorników promieniowania w zakresie podczerwieni, prowadzenie badań przyrządów noktowizyjnych i termowizyjnych. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 20 publikacji, w tym artykuły, referaty i wdrożenia.

e-mail: jbarela@wat.edu.pl



Dr inż. Krzysztof FIRMANTY

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2003 w zakresie elektroniki - specjalność optoelektronika. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na metrologii urządzeń podczerwieni. Adiunkt w Zakładzie Techniki Podczerwieni i Termowizji Instytutu Optoelektroniki WAT. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 30 publikacji, w tym artykuły, referaty, patenty i wdrożenia.

e-mail: kfirmanty@wat.edu.pl



Dr inż. Mariusz KASTEK

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1997 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2002. Zajmuje się pomiarami termowizyjnymi oraz problematyką detekcji obiektów w systemach czujników podczerwieni do systemów ochrony. Autor i współautor ponad 30 publikacji. Pracuje na stanowisku adiunkta-kierownika Zakładu Techniki Podczerwieni i Termowizji w Instytucie Optoelektroniki WAT.

e-mail: mkastek@wat.edu.pl



Dr inż. Henryk POLAKOWSKI

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej (1976). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1987 w zakresie elektroniki - specjalność optoelektronika. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na metrologii urządzeń podczerwieni. Adiunkt w Zakładzie Techniki Podczerwieni i Termowizji Instytutu Optoelektroniki WAT. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 100 publikacji, w tym artykuły, referaty, patenty i wdrożenia.

e-mail: hpolakowski@wat.edu.pl



Streszczenie

Spektrometria podczerwieni powstała wraz z rozwojem spektroskopowych technik analitycznych. Umożliwia ona określenie składu chemicznego substancji na podstawie widm emisyjnych. W artykule omówiono podstawy teoretyczne spektroskopii podczerwieni oraz przedstawiono wyniki badań widm promieniowania substancji łatwopalnych. Badania miały na celu wyznaczenie widma oraz opis ilościowy pasm emisyjnych w zakresie podczerwieni w celu opracowania algorytmów identyfikacji promieniowania płomieni najczęściej spotykanych substancji łatwopalnych w celu opracowania nowych inteligentnych czujników przeciwpożarowych.

Słowa kluczowe: spektrometria podczerwieni, wielowidmowa detekcja, czujniki przeciwpożarowe.

The emission spectrum determination of flammable substance with infrared spectroradiometer use

Abstract

Infrared spectroradiometry emerged as spectroscopic techniques were developed. It makes it possible to determine the chemical composition of a given material on the basis of its emission bands. The paper presents the measurements of such emissive properties of combustible substances, which were carried out at Combustion Laboratory of Polon-Alfa company. The aim of the experiment was to determine the optimal detection bands of intelligent fire detectors. Such detectors are mainly used in inflammable material depots. The fundamentals of IR spectroradiometry are presented in chapter one. Chapter two contains the description of the measurement setup, SPR 314 spectroradiometer and data acquisition, and data processing software. The measurement methodology and sample data are presented in chapter three. The data analysis methods are discussed in chapter four, and a brief summary is given in chapter five.

Keywords: infrared spectroradiometer, multispectral detection, safety curtain.

1. Wstęp

Jedną z metod analizy składu chemicznego związków chemicznych jest spektroskopia płomieniowa w podczerwieni. Atomy

i cząsteczki spalanej substancji emitują charakterystyczne widmo w zakresie promieniowania podczerwonego.

Wzbudzenie próbek następuje za pomocą płomienia palnika gazowego. Badaną substancję wprowadza się w postaci rozpylonego roztworu. W obszarze płomienia następuje odparowanie rozpuszczalnika, dysocjacja termiczna związku na atomy i wzbudzenie elektronów walencyjnych. Podczas powrotu ze stanu wzbudzonego do podstawowego atom emituje promieniowanie o ściśle określonej długości fali. Pozwala to analizować strukturę cząsteczek związku, jak i oddziaływanie jego z otoczeniem, na podstawie interpretacji widm powstających w wyniku oddziaływania promieniowania na materię rozumianą jako zbiorowisko atomów i cząsteczek [1].

Absorpcji promieniowania podczerwonego towarzyszą zmiany składowej energii wewnętrznej związanej z oscylacjami cząsteczek materii. Ponieważ energia ta jest skwantowana, absorbowane jest tylko promieniowanie o pewnych określonych energiach, charakterystycznych dla grup funkcyjnych wykonujących drgania. Promieniowanie ciepłe ma ciągły rozkład widmowy opisany widmową gęstością energii:

$$\rho(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \quad (1)$$

Widmo dyskretne, dla którego strumień promieniowania ma wyraźne maksimum dla pewnych częstotliwości ν_{ik} powstaje w wyniku przejścia atomów lub cząsteczek pomiędzy dwoma stanami energetycznymi, stanem o wyższej energii E_k i stanem o niższej energii E_i przy czym zachodzi związek:

$$h\nu_{ik} = E_k - E_i \quad (2)$$

Promieniowanie to można rozszcześcić za pomocą spektrometrii i zarejestrować jako widmo liniowe danego związku, czyli zbiór linii spektralnych o określonych długościach fal, charakterystycznych dla danego pierwiastka i jego stanu energetycznego. Widmo liniowe danego związku, będące funkcją struktury i obsadzenia powłok elektronowych jego atomów, pozwala na

jednoznaczne odróżnienie go od pozostałych i dlatego stanowi podstawę jakościowej analizy spektralnej, natomiast ilościowa analiza spektralna opiera się na zależności, jaka istnieje między natężeniem linii emisyjnej a zawartością danego pierwiastka w badanej próbce [2, 3].

2. Stanowisko pomiarowe

Pomiary widm spalania substancji łatwopalnych wykonano za pomocą spektrometri podczerwieni SPR314 w Laboratorium Spalania firmy Polon-Alfa. Pomiary przeprowadzono w pomieszczeniu spełniającym wymogi bezpieczeństwa i ochrony środowiska dotyczące spalania substancji łatwopalnych. Proces spalania wykonywano w znormalizowanych warunkach pomiarowych. Powtarzalność podstawowych warunków spalania zapewniono poprzez spalanie cieczy w kuwecie o znormalizowanych wymiarach. Do spalania odmierzano identyczne objętości cieczy palnych. Pomiary przeprowadzono z odległości 10 m. Wykonano pomiary widm spalania 11 substancji łatwopalnych. Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Spektrometri podczerwieni SPR314 firmy GHG
Fig. 1. Infrared spectrometer SPR 314 GHG

Spektrometri podczerwieni SPR314 umożliwia pomiar widm emisyjnych związków chemicznych w zakresie od $2.5 \mu\text{m}$ – $14.3 \mu\text{m}$ z rozdzielczością 36 nm . Maksymalna częstotliwość zapisu danych wynosi 30 Hz , a czas akwizycji danych jest nielimitowany. Spektrometri wyposażony jest w obiektyw o kącie pola widzenia 5 mrad . Akwizycja danych pomiarowych odbywa się za pomocą 12 bitowej karty kontrolno-pomiarowej umożliwiającej synchronizację procesu pomiaru [5].

Akwizycja danych odbywa się za pomocą oprogramowania ACQSPR. Oprogramowanie to oprócz akwizycji danych umożliwia sterowanie procesem pomiaru oraz ustawienie wszystkich parametrów pomiaru (temperatury, odległości pomiarowej, czasu akwizycji itp.). Dane pomiarowe uwzględniają charakterystykę transmisyjną atmosfery, tzn. w danych zarejestrowanych nie znajdują się linie emisji związków występujących w atmosferze.

Do przetworzenia danych pomiarowych służy oprogramowanie SPTRAIT. Za pomocą jego możemy analizować zarejestrowane dane widma emisyjnych spalanych substancji:

- w całym zakresie widmowym,
 - dla danej długości fali,
 - dla danej długości fali oraz danego czasu akwizycji danych,
- Oprogramowanie umożliwia również dokonywanie:
- operacji matematycznych (dodawanie, odejmowanie, dzielenie, uśrednianie) na kilku zarejestrowanych plikach danych,
 - zmian parametrów obiektu oraz zakresów pomiarowych analizowanych danych,
 - konwersji formatów danych pomiarowych do postaci plików akceptowanych przez program Microsoft Excel.



Rys. 2. Zdjęcie stanowiska pomiarowego
Fig. 2. Photo of the measurement system

3. Wyniki badań

Zapis widm badanych substancji wykonywano po czasie, w którym substancja osiągała stabilną temperaturę oraz stacjonarne warunki spalania. Czas ten był zależny od rodzaju substancji palnej.

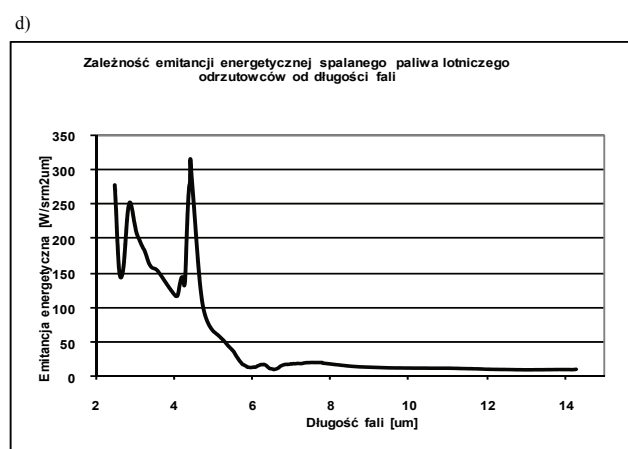
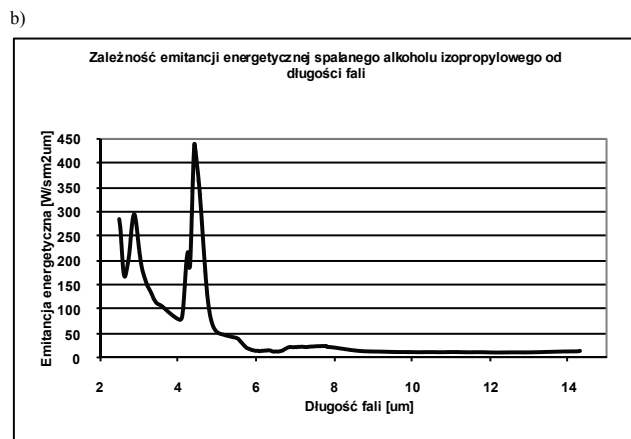
Dokonywano rejestracji spalania wybranych materiałów w czasie 15 s z częstotliwością 30 Hz co daje 450 próbek pomiarowych. W czasie rejestracji danych wyłączano urządzenia wentylujące pomieszczenie w celu ograniczenia ruchów powietrza w czasie pomiaru.

Oprócz widm emisyjnych płomienia spalanych substancji rejestrowano również emitancję energetyczną produktów spalania. Do takich pomiarów przemieszczano obszar pomiarowy ponad przestrzeń wypchniętą przez płomień.

Na podstawie wyników pomiaru wykreślono zależność średniej wartości emitancji energetycznej $[\text{W}/\text{srd}\cdot\text{m}^2\cdot\mu\text{m}]$ spalanej substancji od długości fali. Średnią wartość emitancji energetycznej obliczono na podstawie 250 próbek pomiarowych. Przykłady obserwowanego płomienia badanych, łatwopalnych cieczy pokazano na rys. 3.

a)





Rys. 3. Przykłady spalania cieczy w kuwecie o znormalizowanych wymiarach: (a) alkohol metylowy, (b) widmo zarejestrowane podczas procesu spalania, (c) paliwo lotnicze odrzutowców, (d) widmo zarejestrowane podczas procesu spalania

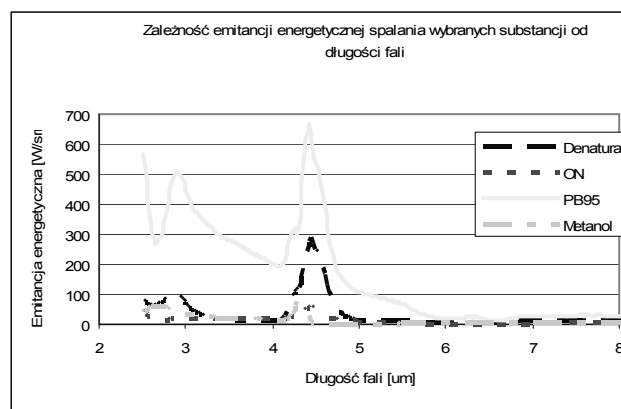
Fig. 3. Liquid burning tests: methyl alcohol (a) and its spectrum (b), jet fuel (c) and its spectrum (d)

4. Analiza widma

Określone grupy funkcyjne związków organicznych charakteryzują się ściśle określonym zakresem absorpcji i emisji promie-

niowania podczerwonego. Częstotliwość, przy której dana grupa funkcyjna absorbuje promieniowanie podczerwieni nazywa się częstotliwością grupową.

Widma podczerwieni są bardzo złożone i niezwykle rzadko zdarza się, aby dwa różne związki chemiczne miały w całym zakresie identyczne widma, co praktycznie umożliwia jednoznaczny ich identyfikację. Wykorzystanie bazy danych zawierającej informacje o pasmach emisyjnych związków chemicznych pozwala na identyfikację związków chemicznych w badanej próbce. Dostępne są także tablice ułatwiające analizę składu ilościowego badanych próbek [4].



Rys. 4. Rozkład widmowy emisji energetycznej płomienia spalnego wybranych substancji

Fig. 4. Spectral radiant intensity of different burning liquids

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że można wyznaczyć pasma detekcji promieniowania umożliwiające w sposób jednoznaczny określenie rodzaju spalanej substancji. Na podstawie uzyskanych wyników można skonstruować inteligentne czujniki przeciwpożarowe, które będą informowały zarówno o wystąpieniu pożaru jak i określające rodzaj palącej się substancji. Pomiary wykonane w komorze spalań pozwoliły na ustalenie charakterystycznych pasm widma dla badanych substancji chemicznych. Wyniki te umożliwią dobór pasma pomiarowego na potrzeby rozwoju wielowidmowych czujników ostrzegających o wybuchu pożaru, które dodatkowo będą mogły wyznaczyć grupy związków chemicznych biorących udział w pożarze.

6. Literatura

- [1] Huczynski A., Brzezinski B.: Zastosowanie spektroskopii w podczerwieni w badaniach oddziaływań międzycząsteczkowych. W pracy zbiorowej pod red. G. Schroedera pt.: "Syntetyczne receptory molekularne. Strategie syntezy. Metody badawcze", Betagraf P.U.H., Poznań, str. 281-322 (2007).
- [2] Zieliński W., Rajca A. (red.): Metody spektroskopowe i ich zastosowanie do identyfikacji związków organicznych, WNT, Warszawa, (2000).
- [3] Silverstein R.M., Webster F.X., Kimle D.I.: Spektroskopowe metody identyfikacji związków organicznych. PWN, Warszawa (2007).
- [4] Szafran M., Dega-Szafran Z.: Określanie struktury związków organicznych metodami spektroskopowymi. Tablice i ćwiczenia. PWN, Warszawa (1988).
- [5] Dokumentacja techniczna Spektroradiometru SPR314.

otrzymano / received: 06.11.2009

przyjęto do druku / accepted: 04.05.2010

artykuł recenzowany