

INVESTIGATIONS OF THE MATERIALS FOR CARBON MONOXIDE OPTOELECTRONIC SENSORS

Orest Sushynskyy¹, Andriy Rudyy¹, Maryan Chapran¹

¹ Lviv Polytechnic National University, 12 Bandery str., Lviv 79013, Ukraine, tel. +380322582603, e-mail: zmykytyuk@polynet.lviv.ua

Abstract. In this paper, experimental investigations of carbon monoxide (CO) influence on organic materials, namely the plasma of human blood, natural proteins in egg white (albumin) and liquid crystal materials, are presented.

Keywords: carbon monoxide, liquid crystal, gas sensor, absorption spectrum

Badania materiałów do zastosowań w optoelektronicznych czujnikach tlenku węgla

Streszczenie. W artykule opisano eksperymentalne badania wpływu tlenku węgla (CO) na wybrane materiały organiczne: osocze ludzkiej krwi i naturalne białko jaj (albuminę), oraz materiały ciekłokrystaliczne.

Słowa kluczowe: tlenek węgla, ciekły kryształ, czujnik gazu, widmo absorpcyjne

Introduction

The one of the ways of gas media determination is the synthesis of new materials with high selective sensitivities to the separated gas molecules. It permits to design the new, more effective and cheaper gas sensors on their base. There is the problem of the environment monitoring, the quality of food products and the determination of micro concentration of toxic and explosive components in different types of industrial technology.

A very important task for gas sensor development is to design threshold sensors. This type of sensors must respond to the exceed of allowable level of explosive and harmful substances in the air. Typically gases are colorless and has no smell. Sensor installation in the place of potential gas leak can prevent dangerous situation and its consequences. Gas leakage sensors differ from each other by the type of gas they are sensitive to. Nowadays there exist many ways to determine the gas composition. The most significant among of them are designing gas sensors assigned in structures based on metal-insulator-semiconductor (MIS) or in most cases in structures based on metal-oxide-semiconductor (MOS). In these structures the metal electrode is made of conductive metals (such as palladium, platinum, nickel). These structures use the change of their volt-ampere characteristics (VAC) after the interaction with a gas they are sensitive to. There are chromatographic, thermo, electrolytic, electrochemical methods of determination of the chemical composition of gas [1]. Gas sensors with the shortest response time are optical type gas sensors. The principle of their action is based on gas absorption of optical radiation, since each material in gas phase has a unique absorption spectrum that can be used to distinguish different gases.

In this paper we review the results of experimental investigation of the influence of carbon monoxide (CO) on organic materials, namely the plasma of human blood, natural proteins in egg white (albumin) and liquid crystal materials.

1. Theory

Carbon monoxide is colourless, very poisonous and odourless gas. This gas is usually formed in result of incomplete combustion of fuel in automobile engines or heating appliances that use coal or other types of fossil fuels. Carbon monoxide is almost insoluble in water and chemically doesn't interact with water. The CO molecule has a triple the valence of chemical bond. By the method of valence bonds CO molecule is described as :C≡O:. A triple the valence of chemical bond of CO molecule is very sturdy. The dissociation energy is equal to 1069 kJ/mol or 256 kcal/mol. This value of dissociation energy is bigger than in diatomic molecules [1, 5].

In practice, design of carbon monoxide optoelectronic sensors is evident based, primarily because of gas toxic effect. Maximum permissible concentration of carbon monoxide in the air (MPC)

according to hygienic standards GN 2.2.5.1313-03 is about 0.0017 % or 20 mg/m³ (Ukraine). Petrol vehicle emissions are allowed to contain 1.5-3 vol % of carbon monoxide. Carbon monoxide has a toxic effect because its binding to hemoglobin in blood is stronger and occurs 200-300 times faster than the binding of oxygen. As result carboxyhemoglobin is formed, which obstruct the process of oxygen transport by the blood and cellular respiration. Concentration of carbon monoxide in the air more over 0.1 vol % leads to the death of human being within one hour. The peculiarity of the spectral characteristic of carbon monoxide is the presence of absorption bands in near-infrared [2, 3], ultraviolet as well as visible range of spectrum.

2. Experiment

This paper represents experimental absorption spectra of organic materials in the range of 300 nm to 900 nm that were under the influence of carbon monoxide. The choice of the experimental samples was determined by necessity to identify the spectral characteristics of these samples under carbon monoxide influence. Experimental specimens are plasma of human blood, natural proteins in egg white (albumin), pure liquid crystal material and low concentration suspension of Fe₂O₃ nanoscale particles in liquid crystal material. The carbon monoxide was obtained by means of the following chemical reaction:



The carbon monoxide concentration was calculated from the concentrations of initial reagents (H₂SO₄ and HCOOH). Experimental curves were measured under different carbon monoxide concentrations and exposition times.

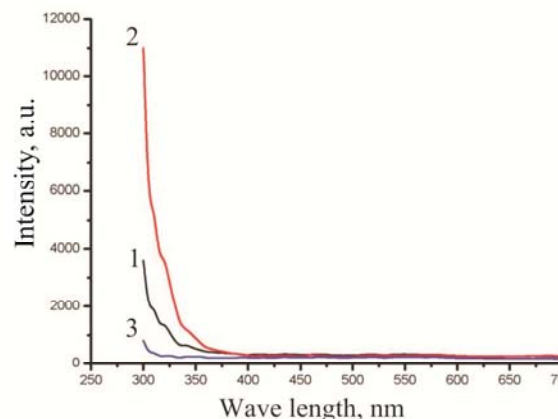


Fig. 1. Absorption intensity dependencies versus wave length for the plasma of human blood with different exposition time in carbon monoxide medium: 1-pure plasma of human blood; 2 - 2 min; 3- 10 min

Rys. 1. Absorpcja w funkcji długości fali dla ludzkiego osocza przy różnym czasie ekspozycji na tlenek węgla: 1-czyste ludzkie osocze; 2 - 2 min; 3- 10 min

As described above, at the carbon monoxide absorption process by the hemoglobin molecules the carboxyhemoglobin is formed. Formed in result of carbon monoxide absorption and binding with hemoglobin carboxyhemoglobin molecules block the ability of red blood cells to carry oxygen. The plasma of human blood provides the transport of red blood cells through the blood vessels and dissolves necessary for human body substances. We have conducted experimental studies of spectral dependences of the plasma of human blood under carbon monoxide influence (Fig. 1). after the interaction with carbon monoxide The shape of obtained spectral curves hasn't changed.

We used natural proteins in egg white namely albumin in our investigation because "artificial blood" is typically based on modified albumin [3]. These authors report that they have connected the heme iron with albumin and created hemealbumin. Curves of spectral characteristics of the plasma of human blood and natural proteins in egg white (albumin) have almost the same shapes (Fig. 2). Such shapes of spectral dependences of the plasma of human blood and the natural proteins in egg white can be explained by absence of iron atoms.

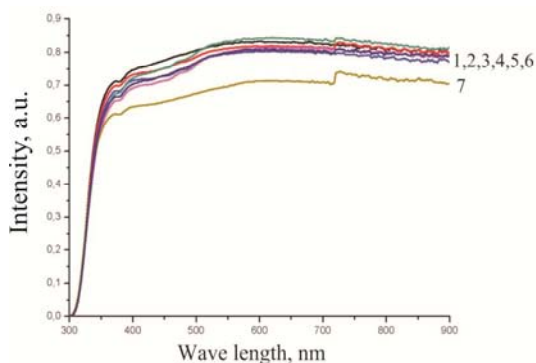


Fig. 2. Absorption intensity dependencies versus wave length for the natural proteins in egg white (albumin) with different concentration CO and exposition time: 1 – 0 mg/m³ CO and 0 min; 2 – 20mg/m³ CO and 2 min; 3 – 20mg/m³ CO and 5 min; 4 – 40mg/m³ CO and 2 min; 5 – 40mg/m³ CO and 5 min; 6 – 160mg/m³ CO and 2 min; 7 – 160mg/m³ CO and 5 min

Rys. 2. Absorpcja w funkcji długości fali dla protein białka kurzego (albumina) przy różnych koncentracjach tlenku węgla i różnym czasie ekspozycji.

Physical properties of liquid crystal materials depend on the external influences, such as temperature, pressure, humidity, electric and magnetic fields. However electro optical properties of such organic materials can depend on influences of the interaction with other materials that can be absorbed from the air.

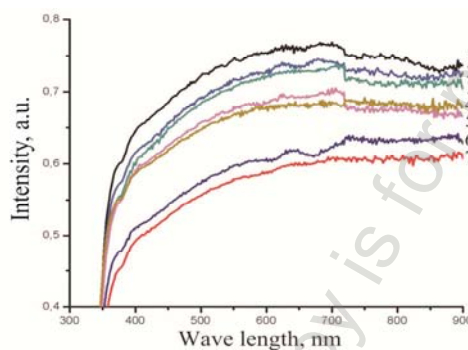


Fig. 3. Absorption intensity dependencies versus wave length for nematic liquid crystal RO-TN-615 with 0.25wt.% of Fe₂O₃ nanoscale dopant with different CO concentrations and times of absorption: 1 – 0 mg/m³ CO and 0 min; 2 – 20mg/m³ CO and 2 min; 3 – 20mg/m³ CO and 5 min; 4 – 40mg/m³ CO and 2 min; 5 – 40mg/m³ CO and 5 min; 6 – 160mg/m³ CO and 2 min; 7 – 160mg/m³ CO and 5 min

Rys. 3. Absorpcja w funkcji długości fali dla nematicznego ciekłego kryształu RO-TN-615 z nano domieszką 0.25% wagowo Fe₂O₃ przy różnych koncentracjach tlenku węgla i różnym czasie ekspozycji.

The RO-TN-615 liquid crystal with 0.25 % Fe₂O₃ nanoscale dopant is the object of our experimental investigation. The experimental dependencies of absorption intensity versus wave length of this material are shown in Fig. 3.

As shown in Fig. 3 the shapes of experimental spectral dependencies are the same, although there is the minor change of intensity of absorption .

Cholesteric liquid crystals has the maximum of absorption in visible range of spectrum. The mixtures of cholesteric liquid crystals namely CLC2101L, CLC2103L and 3DA are the objects of our investigations too. The experimental dependencies of absorption intensity versus wave length are shown in Fig. 4-6. The maximum of spectral dependencies this types of liquid crystals has changed after the interaction with absorbed carbon monoxide. In Fig. 4, 5 the maximums are shifted towards long wave lengths, and in Fig. 6 the maximums are shifted towards short wave lengths.

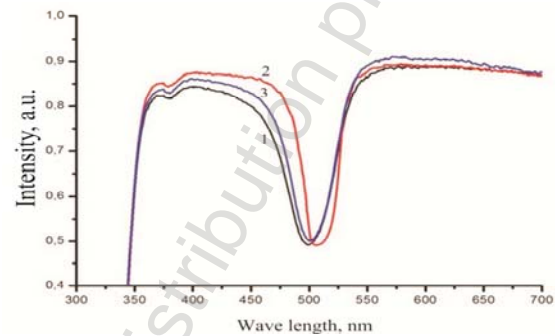


Fig. 4. Absorption intensity dependencies versus wave length for cholesteric liquid crystal mixture CLC2101L with different CO concentration: 1 – 0 mg/m³; 2 – 20 mg/m³; 3 – 40 mg/m³

Rys. 4. Absorpcja w funkcji długości fali dla cholesterycznej mieszaniny ciekłych kryształów CLC2101L przy różnych koncentracjach tlenku węgla

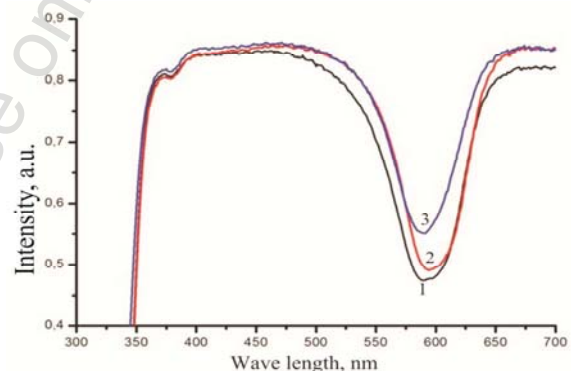


Fig. 5. Absorption intensity dependencies versus wave length for cholesteric liquid crystal mixture CLC2103L with different CO concentration: 1 – 0 mg/m³; 2 – 20 mg/m³; 3 – 40 mg/m³

Rys. 5. Absorpcja w funkcji długości fali dla cholesterycznej mieszaniny ciekłych kryształów CLC2103L przy różnych koncentracjach tlenku węgla

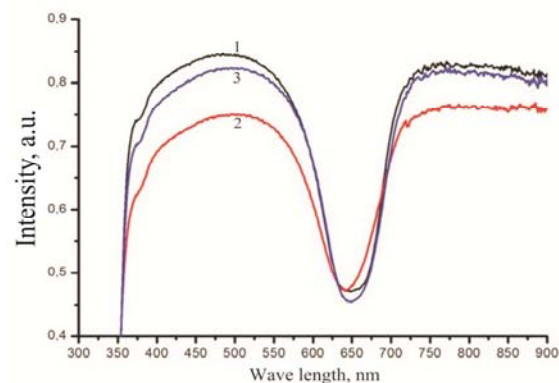


Fig. 6. Absorption intensity dependencies versus wave length for cholesteric liquid crystal mixture 3DA with different CO concentration: 1 – 0 mg/m³; 2 – 20 mg/m³; 3 – 40 mg/m³

Rys. 6. Absorpcja w funkcji długości fali dla cholesterycznej mieszaniny ciekłych kryształów 3DA przy różnych koncentracjach tlenku węgla

The analysis of the absorption dependencies for cholesteric liquid crystals mixtures shows that areas with carbon monoxide

concentration in the air equal or higher than maximum permissible concentration (namely 20 mg/m^3) can be detected by the changes in the intensity of absorption spectrum of cholesteric liquid crystal. That's why cholesteric liquid crystal mixture can be applied as an active element of optoelectronic carbon monoxide sensor.

3. Conclusions

The analysis of the experimental dependencies of the absorption spectra of the plasma of human blood and the natural proteins in egg white (albumin) has confirmed the invariability of the spectra and according to the absolute inertia of the plasma of human blood and the natural proteins in egg white to the influence of carbon monoxide.

Analysis of the spectral dependence of cholesteric liquid crystal materials have shown the changes in the absorption spectrum of the influence of carbon monoxide. Spectral studies were conducted to design the carbon monoxide optoelectronic sensors based on cholesteric liquid crystal materials.

References

- [1] Ageev O. A., Mamikonova V. M., Petrov V. V., Kotov V. N., Negodenco O. N.: The microelectronic sensor non-electric values. Taganrog 2000. p.155.
- [2] Vovna A. V., Zory A. A., Lykov A. G., Hlamov M. G.: The mathematical model of the optical path for measuring concentration of carbon monoxide. Naukovi Pratsi DonNTU. 169/2010, p. 23-25.
- [3] Korzhov V. I., Vidmachenko A.V., Korzhov M. V.: Carbone monoxide (literature review). Journal of AMS of Ukraine 1/16/2010, p. 23-37.
- [4] Ryter S. W., Choi A. M.: Cytoprotective and anti-inflammatory actions of carbon monoxide in organ injury and sepsis models. Novartis Found Symp. 280/2007, p. 165-175.
- [5] Ragsdale S. W.: Life with carbon monoxide. Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 39/2004, p. 165-195.

Ph.D. Orest Sushynskyy
e-mail: zmykytyuk@polynet.lviv.ua



Since 2007 an assistant professor of Electronic Devices Department of Lviv Polytechnic National University, Ukraine.

Research interests: development of optoelectronic devices based on liquid crystal materials. Investigation of propagation of laser radiation in the systems based on liquid crystal-fluorescent, liquid crystal-nanoscale impurities. Optimization of liquid crystal materials in distributed feedback lasers. Research findings published in more than 60 scientific papers and 15 patents are protected. Co-author of the monography "Liquid crystal electronics" (in Ukrainian).

Postgraduate student Andriy Rudyy
e-mail: zmykytyuk@polynet.lviv.ua



Research interests: development of optoelectronic sensors based on organic materials. Investigation of propagation of radiation in the system based on liquid crystal-nanoscale impurities. Electrical circuit solutions of optoelectronic sensors harmful gases.

INFORMACJE

WARSZTATY DOKTORANCKIE WYDZIAŁU ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI POLITECHNIKI LUBELSKIEJ

W dniach 6 – 8 lutego 2012 roku odbyły się Warsztaty Doktoranckie Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

W warsztatach uczestniczyli doktoranci WEiL PL oraz doktoranci Instytutu Elektrotechniki w Warszawie.

Zajęcia odbywały się pod patronatem Lubelskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej oraz pod patronatem medialnym kwartalnika elektro.info.

Wykład inauguracyjny wygłosił prof. dr hab. inż. Jack Starzyński, w którym zostały zaprezentowane osiągnięcia Instytutu Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych Politechniki Warszawskiej w dziedzinie modelowania numerycznego pól elektromagnetycznych.

Zajęcia zostały podzielone na sześć sesji plenarnych. Każdego dnia odbywały się dwie sesje plenarne, z których każda była prowadzona przez pracowników naukowych Politechniki Lubelskiej.

Do najciekawszych referatów wygłoszonych pierwszego dnia należy zaliczyć:

- Tomograficzne sterowanie separacją mieszaniny materiałów paramagnetycznych – Alicja Idziaszek-Gonzalez z IEL Warszawa.
- Metody lokalizacji uszkodzeń w liniach kablowych – Szczepan Robak z IEL Warszawa.
- Modelowanie emisji światła w diodach LED – Tomasz Cegielski z IEL Warszawa.
- Wpływ temperatury pożarowej na bezpieczeństwo funkcjonowania urządzeń ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru – Julian Wiatr red. naczelny elektro.info.

W godzinach wieczornych została zorganizowana uroczysta kolacja z udziałem Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej, prof. dr hab. inż. Waldemara Wójcika oraz prodziekana ds. nauki prof. dr hab. inż. Piotra Kacejki.

Drugi dzień zajęć rozpoczął się wycieczką do Kopalni Węgla Kamiennego w Bogdanie, gdzie uczestnicy warsztatów mieli okazję zwiedzić wyrobiska kopalni na głębokości 960 m, zapoznać się z codzienną pracą górników oraz śledzić proces wydobycia węgla kamiennego.

Po powrocie z kopalni, zostały wznowione zajęcia, gdzie nastąpiła prezentacja osiągnięć najmłodszych doktorantów WEiL PL. Do najciekawszych referatów należy zaliczyć:

- Metody cyfrowego przetwarzania danych w diagnostyce zatorowości płucnej – Marcin Maciejewski.
 - Kogeneracyjne źródła energii a optymalizacja jej zużycia na przykładzie wybranego obiektu użyteczności publicznej – Jan Gilewski.
 - Estymacja stanu w sieciach elektroenergetycznych najwyższych napięć – Adam Rzepecki.
- Trzeci dzień warsztatów zakończyły prezentacje starszych roczników studiów doktoranckich WEiL PL, między innymi:
- Metody oznaczania zawartości części palnych w stałych, ubocznych produktach spalania
 - Oddziaływanie niesubtelne w elektroceramice Biffo(1-x)-BaTiO(3x) – Karol Kowal
 - Wpływ środowiska obliczeniowego na wydajność algorytmu odwracania macierzy – Daniel Sawicki.

Warsztaty zakończyło wystąpienie prof. Jana Sikory, który podsumował zajęcia oraz poinformował o Ogólnopolskich Warsztatach Doktoranckich, które odbędą się w 9-11 lipca br. w Lublinie.