

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002434

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 03-07-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Качурак Юрій Михайлович

2. Yurii Kachurak

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 171

Назва наукової спеціальності: Електроніка

Галузь / галузі знань: електроніка та телекомунікації

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Електроніка

Дата захисту: 26-07-2024

Спеціальність за освітою: Телекомунікації та радіотехніка

Місце роботи здобувача: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ID 5710

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.17.25, 29.31.30

Тема дисертації:

1. РОЗРОБКА РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТИЧНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПАРІВ АЦЕТОНУ ТА СПИРТІВ
2. DEVELOPMENT OF LIQUID CRYSTAL SENSITIVE ELEMENTS OF OPTICAL SENSORS FOR DETECTING THE CONCENTRATION OF ACETONE AND ALCOHOL VAPORS

Реферат:

1. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка» – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2024. Дисертаційна робота присвячено розробці рідкокристалічних чутливих елементів оптичних сенсорів на основі, нематика E7 та холестерика CB15, для виявлення ацетону і спиртів, дослідженню холестерико-нематичних рідкокристалічних сумішей на предмет взаємодії з парами шкідливих органічних речовин, та проявів блакитної фази під час такої взаємодії. Перший розділ роботи присвячено дослідженню останніх тенденцій у галузі розробки оптичних сенсорів де активним середовищем виступають рідкі кристали. Також розглянуто дослідження по тематиці блакитної фази (BP) рідких кристалів, методів її стабілізації та використання цього явища в оптичних сенсорах. Розглянуто сучасні підходи до розробки рідкокристалічних оптичних сенсорів з застосуванням ефекту блакитної фази. В другому розділі роботи досліджено синтезовані

рідкокристалічні сполуки, на основі нематичного рідкого кристалу E7 та холестеричної домішки CB15. Ці суміші демонструють взаємодію з парами ацетону та спиртів, та внаслідок такої взаємодії змінюють власні характеристики. Основними критеріями вибору виступають температурні та спектральні характеристики сумішей. Нематик E7 представляє собою суміш чотирьох схожих за структурою ціанобіфенілів(терфенілів). Її складові 4-суано-4-*p*-*n*-pentyl-biphenyl (5CB), 4-суано-4-*p*-nheptylbiphenyl (7CB), 4-суано-4-*p*-*n*-octyloxy-biphenyl (8OCB), and 4-суано-4-*p*-*n*-pentyl-*p*-terphenyl (5CT). В даній нематичній суміші специфічна взаємодія між її компонентами відсутня, тому розглядаємо її як практично однорідну нематичну матрицю. Крім того E7 характеризується високим променезаломленням (Δn) = 0,2 (для видимої області спектру) та має широкий інтервал нематичної фази, - 48оС. Послідовність фазових переходів для нематика E7, - Cr(кристал) - 20пС N (нематик) 70пС Iso (ізотропна рідина). Послідовність фаз для оптичноактивної холестеричної домішки CB15 - Cr(кристал) - 4пС N*(хіральний нематик) 54пС - Iso (ізотропна рідина). Для обох складових розроблених сумішей характерні власні максимуми поглинання в ультрафіолетовому діапазоні. Загалом синтезовано чотири суміші з різними ваговими концентраціями складових. Зокрема 56% E7 + 44% CB15, 62% E7 + 38% CB15, 80% E7 + 20% CB15, 50% E7 + 50% CB15. Серед синтезованих сумішей усім вимогам для використання в якості чутливого елемента оптичного сенсора найкраще відповідаються дві суміші, а саме 62% E7 + 38% CB15 та 56% E7 + 44%. Температури початку перехідного процесу для сумішей 62% E7 + 38% CB15 - 27 оС, та 56% E7 + 44% - 24 оС. Спектральні характеристики сумішей характеризуються максимумами поглинання в видимій області спектру. Максимуми поглинання для суміші 56% E7 + 44% CB15 - 510-540 нм, для 62% E7 + 38% CB15 - 590-640 нм, а для суміші 50% E7 + 50% CB15 - 430-480 нм. Зазначено можливості для подальшої модифікації суміші, для покращення їх параметрів та можливості виявлення інших речовин. Третій розділ роботи присвячено дослідженню взаємодії розроблених рідкокристалічних чутливих елементів з ацетоном ((СН₃)₂СО) та спиртами (СН₃ОН, С₂Н₅ОН, СН₃СН(ОН)СН₃). Взаємодія з ацетоном досліджена при трьох концентраціях, 60, 120 та 240 ppm. Для суміші з концентрацією холестеричної домішки CB15 в 38% при взаємодії з ацетоном час переходу в ізотропний стан склав 230 секунд, при цьому отримуємо фазовий перехід блакитної фази через 130 секунд від початку вимірювань. Тривалість існування блакитної фази в даному випадку склала 16,4 секунд. Швидкість фазового переходу при взаємодії з 120 ppm ацетону збільшується на 25%, а при 240 ppm на 60% відносно першого вимірювання. Існування блакитної фази під час фазового переходу зменшується лінійно, відповідно до збільшення концентрації ацетону. Спирти проявляють слабку взаємодію з чутливим елементом, тривалості фазових переходів збільшуються на 200-300% при аналогічних концентраціях речовини в об'ємі сенсора. Досліджено основний механізм впливу ацетону та спиртів на рідкокристалічну комірку, який полягає в зменшенні порогової температури початку переходу в ізотропний стан. Так, при введенні спиртів в об'єм сенсора, температури фазових переходів знижуються на 2.5оС. У четвертому розділі досліджено та запропоновано варіант коценції оптичного сенсора на основі розробленого рідкокристалічного чутливого елемента. Досліджено варіант спектрального перетворювача для використання в парі з рідкокристалічним чутливим елементом. На основі фотоприймального модуля TCS34903 запропоновано варіант реалізації оптичного сенсора ацетону та спиртів.

2. The thesis is devoted to the development of liquid crystal sensitive elements of optical sensors based on nematic LC E7 and cholesteric LC CB15 as a detector of acetone and alcohols, to the study of cholesteric-nematic liquid crystal mixtures for interaction with vapors of harmful organic substances, and manifestations of the blue phase during such interaction. The first chapter is devoted to the study of the latest trends in the field of optical sensors development where liquid crystals are the active medium. Research on the topic of the blue phase (BP) of liquid crystals, methods of its stabilization, and the use of this phenomenon in optical sensors is also considered. Modern approaches to the development of liquid crystal optical sensors using the blue phase effect are considered. In the second chapter of the work, synthesized liquid crystal compounds based on nematic liquid crystal E7 and cholesteric impurity CB15 were investigated. These mixtures demonstrate interaction with vapors of acetone and alcohols, and as a result of such interaction, a change in their own characteristics. The main selection criteria are the temperature and spectral characteristics of the mixtures. Nematic E7 is a mixture of four structurally similar cyanobiphenyls (terphenyls). Its components are 4-cyano-4-*p*-*n*-pentyl-biphenyl (5CB), 4-cyano-4-*p*-nheptylbiphenyl

(7CB), 4-cyano-4'-n-octyloxy-biphenyl (8OCB), and 4-cyano-4'-n-pentyl-p-terphenyl (5CT). In this nematic mixture, there is no specific interaction between its components, so we consider it as an almost homogeneous nematic matrix. In addition, E7 is characterized by high refraction (Δn) = 0.2 (for the visible region of the spectrum) and has a wide interval of the nematic phase, - 48°C. The sequence of phase transitions for nematic E7, - Cr (crystal) - 20°C N (nematic) 70°C Iso (isotropic liquid). Phase sequence for the optically active cholesteric impurity CB15 - Cr (crystal) - 4°C N* (chiral nematic) 54°C - Iso (isotropic liquid). Both components of the developed mixtures are characterized by their own absorption maximum in the ultraviolet range. In total, four mixtures with different weight concentrations of components were synthesized. Specifically, 56% E7 + 44% CB15, 62% E7 + 38% CB15, 80% E7 + 20% CB15, 50% E7 + 50% CB15. Among the synthesized mixtures, two mixtures, namely 62% E7 + 38% CB15 and 56% E7 + 44%, best meet all requirements for use as a sensitive element of an optical sensor. The temperatures of the beginning of the transition process for mixtures of 62% E7 + 38% CB15 are 27 °C, and 56% E7 + 44% - 24 °C. Spectral characteristics of mixtures are characterized by absorption maxima in the visible region of the spectrum. Absorption maxima for the mixture 56% E7 + 44% CB15 - 510-540 nm, for 62% E7 + 38% CB15 - 590-640 nm, and for the mixture 50% E7 + 50% CB15 - 430-480 nm. Possibilities for further modification of the mixture, for improving their parameters and the possibility of detecting other substances are indicated. The third chapter is devoted to the study of the interaction of developed liquid crystal sensitive elements with acetone ((CH₃)₂CO) and alcohols (CH₃OH, C₂H₅OH, CH₃CH(OH)CH₃). The interaction with acetone was studied at three concentrations, 60, 120, and 240 ppm. For a mixture with a concentration of the cholesteric impurity CB15 of 38% when interacting with acetone, the transition time to the isotropic state was 230 seconds, while we get a phase transition of the blue phase after 130 seconds from the beginning of the measurements. The duration of the existence of the blue phase in this case was 16.4 seconds. The rate of phase transition when interacting with 120 ppm acetone increases by 25%, and at 240 ppm by 60% relative to the first measurement. The existence of the blue phase during the phase transition decreases linearly, corresponding to an increase in the concentration of acetone. Alcohols show a weaker interaction with the sensitive element, the duration of phase transitions increases by 200-300% at similar concentrations of the substance in the sensor volume. The main mechanism of the effect of acetone and alcohols on the liquid crystal cell was investigated, which consists in reducing the threshold temperature of the transition to the isotropic state. Thus, when alcohols are introduced into the volume of the sensor, the temperatures of the phase transitions decrease by 2.5°C. In the fourth chapter, a version of the concept of an optical sensor based on the developed liquid crystal sensitive element is investigated and proposed. A variant of the spectral converter for use in a pair with a liquid crystal sensitive element was investigated. Based on the photo-receiving module TCS34903, a version of the optical sensor of acetone and alcohols is proposed.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Барило, Г., Микитюк, З., Кремер, І., Качурак, Ю., & Барило, Н. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ СУМІШІ РІДКИХ КРИСТАЛІВ З ВИПАРАМИ ЛЕТКИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, Електроніка, Випуск 1 / 2022 (132), с.212-217 <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.28>

- H. Barylo, M. Ivakh, I. Kremer, T. Prystay, H. Kuchmiy and Y. Kachurak, "Optical Sensor Based on Data Fusion Concept," 2021 IEEE XVIIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana (Zakarpattya), Ukraine, 2021, pp. 130-133, <https://doi.org/10.1109/memstech53091.2021.9467980>
- Mykytiuk, Z., Barylo, H., Kremer, I., Ivakh, M., Kachurak, Y., & Kogut, I. (2022). Features of the transition to the isotropic state of the liquid crystal sensitive element of the gas sensor under the action of acetone vapor. *Physics and Chemistry of Solid State*, 23(3), 473-477. <https://doi.org/10.15330/pcss.22.1.473-477>
- Mykytyuk, Z., Barylo, H., Kremer, I., Kachurak, Y., Samoilov, O., & Kogut, I. (2023). Nonlinear features of the transition of a liquid crystalline mixture into an isotropic state under the action of alcohol vapors. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(1), 64-69. <https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.64-69>
- Z. M. Mykytyuk, H. I. Barylo, I. P. Kremer, Y. M. Kachurak & O. Y. Shymchyshyn (2024) Sensitive liquid crystal composites for optical sensors, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 768:2, 1-8, <https://doi.org/10.1080/15421406.2023.2235865>
- Barylo, H., Holyaka, R., Kremer, I., Marusenkova, T., Kachurak, Y., & Adamiak, O. (2022, September). Models and Development of a Spectral Express Analyzer for MEMS Optical Systems. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 53-56). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002923>
- I.A.Gvozdovsky, Y.M.Kachurak, P.V.Vashchenko, I.A.Kravchenko, Z.M.Mykytyuk, Liquid crystal sensors for detection of volatile organic compounds: comparative effects of vapor absorption and temperature on the phase state of the sensor material, *Funct. Mater.* 2023; 30 (2): 303-308. <https://doi.org/10.15407/fm30.02.303>
- Z.M. Mykytyuk; Y.M. Kachurak; M.V. Vistak; I.T. Kogut; R.L. Politanskyi; O.Y. Shymchyshyn; I.S. Diskovskyi; P.V. Vashchenko. Induced blue phase of cholesteric-nematic mixtures under the action of acetone vapors. *Physics and Chemistry of Solid State*, V. 25, No. 1 (2024) pp. 109-113 <https://doi.org/10.15330/pcss.25.1.109-113>
- Politanskyi, R. L., Vistak, M. V., Mykytyuk, Z. M., Katerynychuk, I. S., Kachurak, Y. M., Shymchyshyn, O. Y., & Diskovskyi, I. S. (2024, January). An infrared optical sensor concept for determining the concentration of CO₂ in the BLIP regime. In *Sixteenth International Conference on Correlation Optics (Vol. 12938, pp. 30-34)*. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3009024>

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; матеріали

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; підвищення автоматизації виробничих процесів

Охоронні документи на ОПВ:

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

u202107486 «Г. І. Барило, І. П. Кремер, М. С. Івах, З. М. Микитюк, Ю. М. Качурак, Г. Л. Кучмій, Н. Г. Барило* «Селективний аналізатор газового складу видиху людини»»

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0121U109504

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Микитюк Зіновій Матвійович
2. Zinoviyy Mykytyuk

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.15

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ціж Богдан Романович

2. Bohdan R. Tsizh

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

Код за ЄДРПОУ: 00492990

Місцезнаходження: вул. Пекарська, буд. 50, Львів, 79010, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лисецький Лонгін Миколайович

2. Longin Lisetski

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.15

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Дружинін Анатолій Олександрович

2. Anatoly Druzhinin

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.27.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Фечан Андрій Васильович

2. Andriy Fechan

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.04.15, 05.12.20

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація: <https://orcid.org/0000-0001-9970-5497>

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Стахіра Павло Йосипович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Стахіра Павло Йосипович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Бешлей М.І.

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна