

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ СУМІШІ РІДКИХ КРИСТАЛІВ З ВИПАРАМИ ЛЕТКИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Григорій Барило

доктор технічних наук,

професор кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, hryhorii.i.barylo@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-5749-9242

Зиновій Микитюк

доктор фізико-математичних наук,

професор кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, zynovii.m.mykytiuk@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-7476-6031

Ірина Кремер

кандидат технічних наук,

доцент кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, iryna.p.kremer@lpnu.ua;

ORCID:0000-0003-2362-1195

Юрій Качурак

аспірант кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, yurii.m.kachurak@lpnu.ua;

Назар Барило

студент кафедри електронної інженерії

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, nazar.barylo.el.2019@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0002-9101-3768

Робота присвячена дослідженню впливу перехідних процесів на спектральну характеристику холестеричних рідких кристалів (ХРК) в процесі взаємодії з випарами летких сполук. Тривалість перехідних процесів є важливим параметром в процесі побудови оптичних сенсорів з чутливим елементом на основі ХРК. Точність вимірювання такого сенсора визначається параметрами спектральної характеристики в момент закінчення перехідних процесів. В результаті проведених досліджень встановлено залежності часу реакції ХРК від зміни оточуючого газового середовища. Отримано значення тривалості перехідних процесів ХРК для різних рівнів концентрації оточуючого газового середовища. Для проведення досліджень спектральних характеристик та визначення тривалості перехідних процесів розроблено апаратно-програмну систему на основі сучасного інтегрального багатоканального фотоперетворювача TCS3490 (AMS) і поширеної інформаційно-обчислювальної платформи Arduino.

Ключові слова: оптичний сенсор, спектральна характеристика, рідкі кристали, холестерико-нематична суміш.

На сьогодні існує багато різноманітних за принципом дії та призначенням сенсорів фізичних величин, які дозволяють аналізувати, фіксувати та обробляти інформацію про стан певних фізичних систем. З розвитком науки та техніки сенсори всебічно удосконалюються, виникають

нові типи. Враховуючи переваги оптичних методів вимірювання фізичних величин, за останні роки все більшого розповсюдження в дослідженнях та розробках отримали оптичні сенсори [1]. Принцип їх дії базується на зміні оптичних характеристик чутливого елемента сенсора від

впливу досліджуваного середовища (аналіта) [2]. В залежності від типу оптичних сенсорів їх дія заснована на принципах: поглинання світла (абсорбція) [3], відбиття первинного (падаючого) світлового потоку [4], різних видів люмінесценції (фото- та електрохемілюмінесценція) [5] та деяких інших. При цьому використовуються залежності оптичних властивостей середовищ від концентрації аналіту. Пошук нових чутливих матеріалів для первинного перетворювача оптичного сенсора має важливе значення для промисловості, медицини та екології з метою детектування високотоксичних органічних сполук [6; 7]. Складність розробки таких приладів пов'язана з необхідністю поєднання наступних найважливіших параметрів в одному пристрої:

- можливість одночасного вимірювання та ідентифікації декількох молекул;
- висока чутливість і висока точність визначення концентрацій;
- селективність;
- швидкодія;
- простота використання;
- ціна «одного вимірювання» і вартість приладу.

Розвиток сучасних технологій, що ґрунтуються на якісно нових принципах (оптоволоконні сенсори, наноструктури, органічні напівпровідники та перетворювачі енергії) вимагає пошуку нетрадиційних матеріалів, які не тільки задовольняли б вимоги сучасної техніки, але були б доступними за собівартістю. Цим вимогам повністю відповідають рідкокристалічні композити [8], які можна одержати на основі холестеричних та нематичних рідких кристалів. Рідкі кристали (РК) використовуються для створення сенсорів хімічних речовин [9], температури [10], вологості [11], парів шкідливих речовин [12] тощо. Зміна їхніх фізичних параметрів (орієнтація молекул, крок спіралі) під впливом зовнішніх чинників приводить до зміни оптичних параметрів (поглинання світла, відбивання первинного світлового потоку). Структура рідкокристалічних матеріалів містить відповідну функціональну групу, орієнтація якої змінюється під впливом органічних речовин, тому вони можуть з успіхом використовуватися в оптичних сенсорах для аналізу органічних речовин, газів, тощо.

Завдяки тому, що молекули РК розташовуються впорядковано такі сполуки мають як оптичну анізотропну властивість, так і пропускну здатність. ХРК має спіральну структуру, з молекулами паралельного розташування в шарі

та поступовим скручуванням між сусідніми шарами. Завдяки такій особливій структурі для ХРК характерне селективне відбиття світла [13]. Довжина хвилі селективного відбиття має тенденцію змінюватись зовнішнім середовищем, таким як електричні, магнітні, температурні та органічні випари. Тому ХРК використовуються не тільки в пристроях відображення, але і в області сенсорики [14].

ХРК характеризуються наявністю орієнтаційного та відсутністю трансляційного порядку. Присутність оптично активних молекул приводить до того, що рідкокристалічні молекули в кожному квазінематичному шарі відхиляються на певний кут, утворюючи спіральну структуру. У тонких шарах холестеричних рідких кристалів спостерігається ефект обертання площини поляризації світла, зумовлений спіральною структурою. Якщо знак обертання вектора поляризації в ХРК збігається зі знаком спіралі, а довжина хвилі становить половину кроку холестеричної спіралі, спостерігається повне відбивання циркулярно поляризованого світла, яке поширюється в ХРК.

Для побудови базової рідкокристалічної матриці вибрано промислово суміш ХРК фірми MERK© – E7. Вибір зумовлено головною перевагою цієї рідкокристалічної суміші, а саме, хімічною інертністю та стабільністю існування мезофази в температурному інтервалі 10...70 °С. Хімічний склад цієї суміші поєднує в собі нематичні рідкі кристали з холестеричними рідкими кристалами. Для отримання холестерико-нематичних сумішей (ХНС) було вибрано сильнополярний нематичний рідкий кристал (НРК) типу 15СВ. Цей РК характеризується мінімумом пропускання на довжині хвилі 350 нм, який відповідає власному піку поглинання.

На рис. 1 наведено спектральну характеристику ХНС із концентрацією НРК 38 %. На спектральній залежності суміші спостерігаємо два максимуми довжини хвилі поглинання, перший з яких (I) міститься в короткохвильовій, а другий (II) – у довгохвильовій області спектра. Короткохвильовий мінімум обумовлений власним піком поглинання нематичного рідкого кристала, який спостерігається на довжині хвилі 322 нм (чистий 15СВ характеризується власним піком поглинання на довжині хвилі 350 нм), довгохвильовий мінімум залежить від концентрації нематичного рідкого кристала в суміші.

Дослідження спектральних характеристик ХНС в середовищах органічних речовин, харак-

теризується швидким переходом суміші в ізотропний стан. Причиною того є взаємодія двох дипольних молекул нематичного рідкого кристалу і органічної речовини чи газу з утворенням конгломерату, який сприяє розкрутці холестеричної спіралі суміші. Виявлені фізичні закономірності переходу рідкокристалічної суміші в ізотропний стан, дозволяють використовувати її як чутливий елемент оптичного сенсора ацетону, але виникає необхідність контролю саме часу реакції суміші на аналіт.

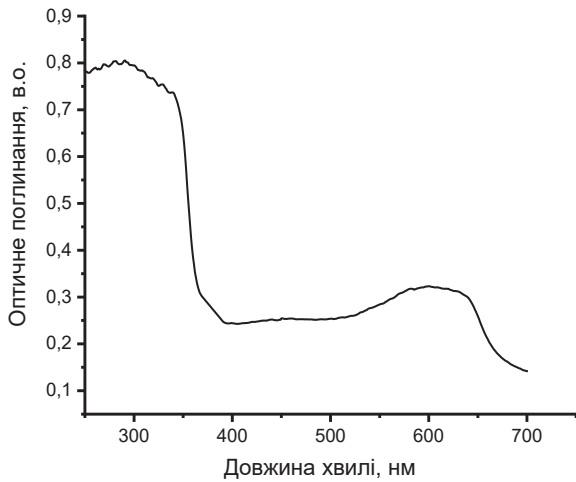


Рисунок 1 – ХНС із концентрацією НРК 38 %

Нами запропоновано використання апаратно-програмного комплексу (рис. 2), який забезпечує вимірювання значень інтенсивності трьох спектральних складових світла, яке проходить крізь рідкокристалічний чутливий елемент.

Загальний принцип роботи полягає в пропусканні світла з випромінювального елемента крізь рідкокристалічний чутливий елемент, який під дією речовини-маркера поступово переходить в ізотропний стан. Відповідну зміну інтенсивності пропускання чутливого елемента реєструє приймальний модуль з фотодіодами (рис. 2). Використаний фотодіодний модуль дає змогу визначати інтенсивності пропускання окремо для трьох спектральних складових. Для аналізу та оброблення вхідних сигналів використовується вбудований мікроконтролер, який в процесі вимірювання аналізує загальний рівень освітлення і на основі чого вимірює дійсні значення інтенсивності по кожному каналу. Інформація з приймального модуля відправляється на мікроконтролер, а далі, через інтерфейс USB, на персональний комп'ютер, де дані відображаються графічно за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Загальний вигляд апаратної частини комплексу та його основні елементи представлено на рис. 3.

На основі розробленого апаратно-програмного комплексу для аналізу характеру переходу рідкокристалічної речовини під впливом пари ацетону ми дослідили характер зміни кроку холестеричної спіралі під час перехідного процесу в ізотропний стан.

Так, отримані графіки чітко відображають перехідні процеси розтягнуті в часі. На рис. 4, 5 можна спостерігати зміну інтенсивності пропускання для трьох спектральних складових під дією незначної концентрації парів ацетону.

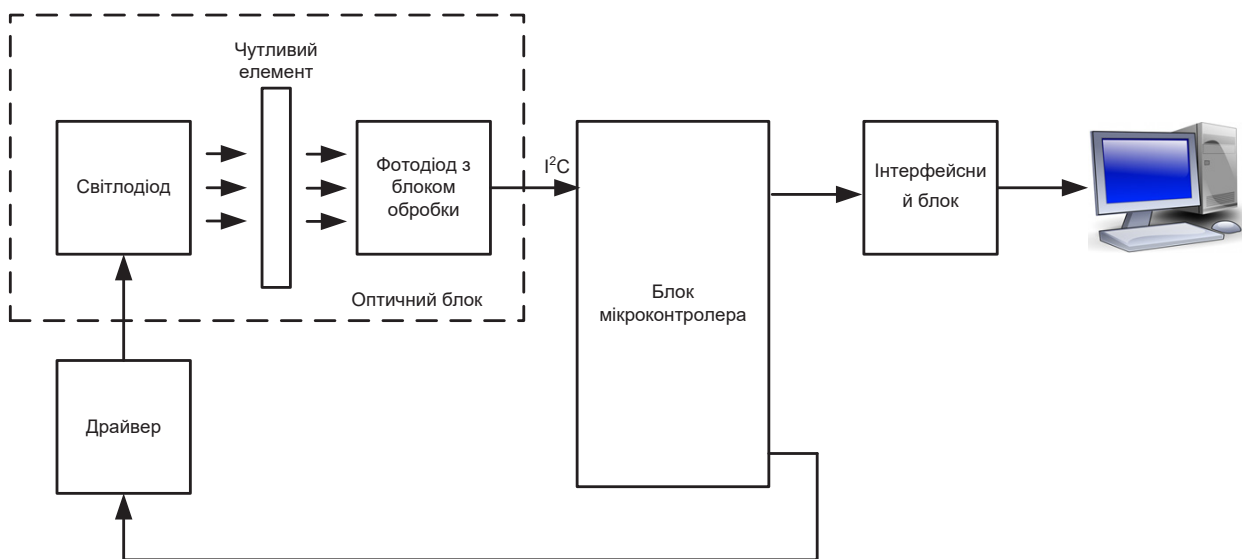


Рисунок 2 – Структура апаратно-програмного комплексу для дослідження характеристик рідкокристалічних чутливих елементів

Максимальні значення інтенсивності пропускання досягаються через 3–5 хвилин проведення вимірювання, коли рідкокристалічна суміш повністю переходить в ізотропний стан.

Такі характеристики інтенсивності пропускання ХРК можна отримати і під впливом інших органічних речовин та встановити залежність переходу рідкокристалічного чутливого елемента в ізотропний стан від концентрації аналіта.

Відповідно до візуальних спостережень зміни стану рідкого кристала в ході проведення експерименту можна говорити про повну прозорість рідкокристалічної суміші під час кожного вимірювання, що свідчить про перехід в ізотропний стан. Основна відмінність для різних концентрацій аналіта полягає в часі, необхідному для досягнення рідкокристалічною сумішшю ізотропного стану.

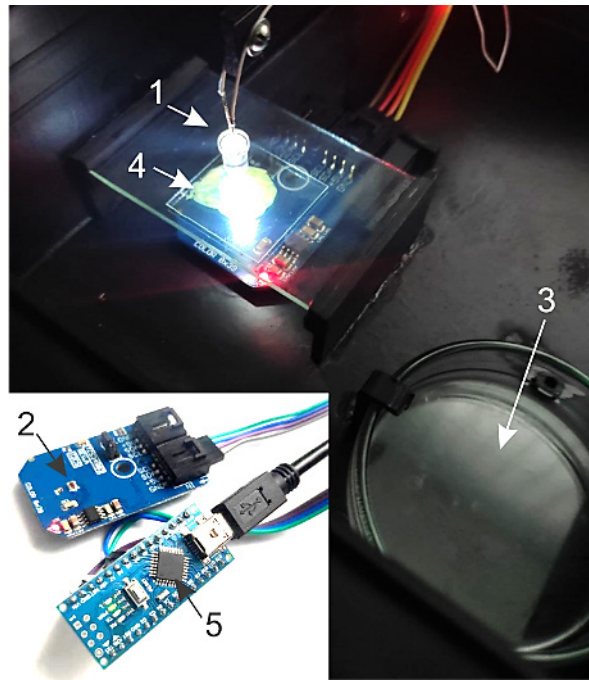


Рисунок 3 – Будова та основні елементи апаратної частини комплексу:
 1 – оптичні випромінювачі; 2 – приймальний модуль з фотодіодами (TCS34903);
 3 – резервуар для речовин-маркерів; 4 – чутливий рідкокристалічний елемент;
 5 – система на кристалі; 6 – персональний комп'ютер

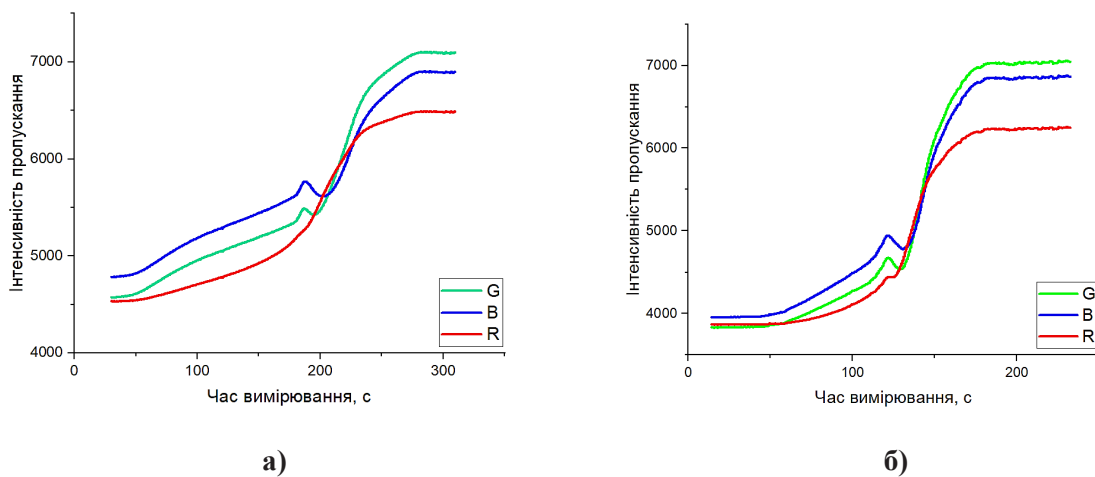


Рисунок 4, 5 – Залежність інтенсивності пропускання від часу (а – концентрація ацетону 0,1 мл (60 ppm), б – концентрація ацетону 0,2 мл (120 ppm))

ЛІТЕРАТУРА

1. Paterson D.A., Du X., Bao P., Jones J.C., Gleeson H.F. Chiral nematic liquid crystal droplets as a basis for sensor systems. *Molecular Systems Design and Engineering* 2022.
2. Ailincă Daniela, Pamfil Daniela, Marin Luminita Multiple bio-responsive polymer dispersed liquid crystal composites for sensing applications. *Journal of Molecular Liquids*. Volume 272, Pages 572–582. 15 December 2018.
3. Mykytyuk Z., Barylo G., Virt V., Diskovskiy I., Rudyak Y. Optoelectronic Sensor Based on Liquid Crystal Substances for the Monitoring of Amino Acids. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 2019, pp. 177–180, 8632115.
4. Khanikar T., De M., Singh V. K. A review on infiltrated or liquid core fiber optic SPR sensors. 2021. *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications* 46, 100945.
5. Huang Z., Yi M., Xu Y., Song A., Hao J. Fluorescent magnetic ionic liquids with multiple responses to temperature, humidity and organic vapors. 2021 *Journal of Materials Chemistry C* 9(38), pp. 13276–13285.
6. Prystay T., Petryshak V., Vistak M., Sushynskiy O., Mikityuk Z. Dynamic characteristics of a nanocomposite on the basis of porous Al₂O₃ doped by liquid crystal with magnetite under carbon monoxide influence. *Photonics Letters of Poland*. – 2016 – 8 (4), pp. 119–121.
7. Barylo G. I., Ivakh M. S., Mykytiuk Z. M., Kremer I. P. Optical-electronic monitoring system of biomedical indicators. *Physics and Chemistry of Solid State*, 2020, 21 (4), pp. 779–784.
8. Xue H., Liu D., Chi D., Han Z., Ren L. Toward the Burgeoning Optical Sensors with Ultra-Precision Hierarchical Structures Inspired by Butterflies Advanced Materials Interfaces 2021, 8 (15), 2100142.
9. Khan Mashooqa, Liu Shuyac, Lubinc Chunxiaa, Munir Sundasd, Yu Li, Hu, Qiongzhen Liquid crystal-based sensors for the detection of biomarkers at the aqueous/LC interface. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry* Volume 144 November 2021 Article number 116434.
10. He C., Korposh S., Correia R., Hayes-Gill B. R., Morgan S. P. Optical fibre sensor for simultaneous temperature and relative humidity measurement: Towards absolute humidity evaluation. 2021 *Sensors and Actuators B: Chemical* 344, 130154.
11. Myung D.-B., Hussain S., Park S.-Y. Photonic calcium and humidity array sensor prepared with reactive cholesteric liquid crystal mesogens. *Sensors and Actuators* 2019, B: Chemical 298, 126894.
12. Kemiklioglu Eminea, Gurboga, Berfina, Tuncgovde Ebru Busra Development an optical sensor using lyotropic cholesteric liquid crystals for the detection of toxic gases. *Optik* Volume 248, December 2021. Article number 168110.
13. Xie H., Wang L., Wang H., Yang Z., Yang H. Electrically tunable properties of wideband-absorptive and reflection-selective films based on multi-dichroic dye-doped cholesteric liquid crystals. *Liquid Crystals* 2015 42 (12), pp. 1698–1705.
14. Shibaev P. V., Wenzlick M., Murray J., Tantillo A., Howard-Jennings J. Liquid Crystalline Compositions as Gas Sensors. *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 2015 611 (1), pp. 94–99.

STUDY OF THE DURATION OF TRANSIENT PROCESSES DURING THE INTERACTION OF A MIXTURE OF LIQUID CRYSTALS WITH VAPORS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

Hryhorii Barylo

Doctor of Engineering,

Professor at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, hryhorii.i.barylo@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-5749-9242

Zynovii Mykytiuk

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Professor at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, zynovii.m.mykytiuk@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0001-7476-6031

Iryna Kremer

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, iryna.p.kremer@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0003-2362-1195

Yurii Kachurak

Postgraduate Student at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, yurii.m.kachurak@lpnu.ua

Nazar Barylo

Student at the Department of Electronic Engineering

Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79000, nazar.barylo.el.2019@lpnu.ua;

ORCID: 0000-0002-9101-3768

The work is devoted to the study of the influence of transients on the spectral characteristics of cholesteric liquid crystals (CLC) in the process of interaction with volatile compounds. The duration of transients is an important parameter in the process of building optical sensors with a sensitive element based on CLC. The measurement accuracy of such a sensor is determined by the parameters of the spectral response at the end of the transients. As a result of the conducted researches dependences of time of reaction of CLC on change of surrounding gas environment are established. The values of the duration of transient processes of SRC for different levels of concentration of the surrounding gas environment are obtained. To conduct research on spectral characteristics and determine the duration of transients, a hardware-software system based on the modern integrated multi-channel photoconverter TCS3490 (AMS) and the widespread information and computing platform Arduino was developed.

Key words: optical sensor, spectral characteristic, liquid crystals, cholesterol-nematic mixture.

Стаття надійшла 11.03.2022