

---

---

## ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

---

---

УДК 532.783

З. М. МИКИТЮК, А. В. ФЕЧАН, О. Є. СУШИНСЬКИЙ, В. І. КОЦУН, А. В. ВАРЕНИЦЯ

### РІДКОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ З НАНОЧАСТИНКАМИ ЯК АКТИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ДИСПЛЕЇВ

*Національний університет "Львівська політехніка",  
79013, м. Львів, вул. С. Бандери 12,  
E-mail: zmykytyuk@polinet.lviv.ua*

**Анотація.** Експериментально досліджено вплив напівпровідникових наночастинок AlN на електрофізичні характеристики індукованих холестериків на основі нематичної матриці 5CB з додавкою закручуючої домішки. Виявлено вплив наночастинок на діелектричні властивості рідкокристалічних матеріалів

**Аннотация.** Экспериментально исследовано влияние полупроводниковых наночастиц AlN на электрофизические характеристики индуцированных холестериков на основе нематической матрицы 5CB с добавкой закручивающих примесей. Установлено влияние наночастиц на диэлектрические свойства жидкокристаллических материалов

**Abstract.** The experimental investigation of influence of semiconductor nanoparticles AlN on the electro-physical characteristics of induced cholesterics, based on nematic matrix 5CB with addition of twisted dopands are carry out. The influence of nanoparticles on the dielectric properties of liquid-crystal materials are shown.

**Ключові слова:** холестеричний рідкий кристал, крок спіралі, діелектрична анізотропія, наночастинки, холестерико-нематичний перехід, константи пружності.

#### ВСТУП

Холестерико-нематичні суміші є одним з найпоширеніших активних середовищ сучасних пристроїв відображення та обробки інформації. За рахунок селективного відбивання планарних шарів рідкого кристала вони широко застосовуються у відбиваючих кольорових дисплеях, а також у лазерах з розподіленим зворотним зв'язком. Однак одним з вирішальних чинників, який відповідає за робочі характеристики пристроїв, є фізичні параметри матеріалів активних середовищ.

Ефективність застосування холестерико-нематичного переходу (ХНП) в оптичних елементах визначається двома чинниками, а саме, властивостями рідкокристалічного матеріалу та конструктивними особливостями оптичних елементів. Вибір об'єктів дослідження здійснюється за сумою властивостей, найвідповідніших конкретному призначенню пристрою.

Додавання наночастинок до рідкокристалічного матеріалу призводить до модифікації майже всіх фізичних властивостей рідкого кристала, викликаючи зменшення як робочої напруги, так і часу відгуку пристроїв на їх основі [1]. В РКД використовується декілька видів наночастинок розміром декілька нанометрів, як, наприклад, метали, неорганічні матеріали, напівпровідники, полімерні наноструктури, наприклад, MgO, SiO<sub>2</sub>, BaTiO<sub>2</sub>, Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub>, феромагнітні матеріали, полімерні матеріали, вуглець 60 [2] тощо.

Багато робіт, присвячено впливу різного роду наночастинок на властивості нематичного рідкого кристала [2]. Нами проведені дослідження впливу напівпровідникових наночастинок на властивості холестеричних рідких кристалів.

## ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Базовою речовиною для отримання немато-холестеричних сумішей було обрано нематичний рідкий кристал типу 5 СВ.

Для отримання спіральної структури у нематичний рідкий кристал додавали хіральну домішку (ХД) у відповідних вагових концентраціях. В результаті після змішування було отримано такі суміші: 5 СВ + 1,97% ХД, 5 СВ + 3,64% ХД, 5 СВ + 5% ХД, 5 СВ + 6,04% ХД.

Для оцінювання впливу нанорозмірних частинок на параметри рідкокристалічного матеріалу у створені суміші вводилось 0,25 % наночастинки AlN (широкозонного напівпровідника).

Основною проблемою під час приготування зразків рідкокристалічних матеріалів з наночастинками є досягнення однорідності суміші.

Нами було випробувано метод механічного перемішування наночастинок з рідким кристалом, який виявився неефективним. В результаті було отримано неоднорідні суміші з високим ступенем коагуляції наночастинок AlN. Фотографія зразка наведена на рис.1.

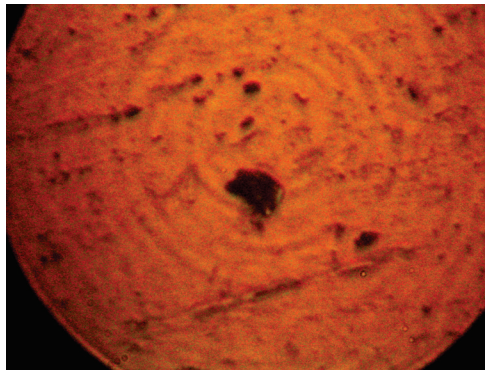


Рис. 1. Фотографія зразка, отриманого методом механічного перемішування

Інший метод, який був використаний нами, полягає в приготуванні композитних матеріалів за допомогою перемішування вихідних матеріалів в ультразвуковій ванні протягом 15 хв за потужності 50 Вт. В такий спосіб отримані однорідні суміші 5 СВ + 1,97% ХД + нано, 5 СВ + 3,64 % ХД + нано, 5 СВ + 5% ХД + нано, 5 СВ + 6,04% ХД + нано з низьким ступенем коагуляції в шарі рідкого кристала. Фотографія такого зразка наведена на рис.2.

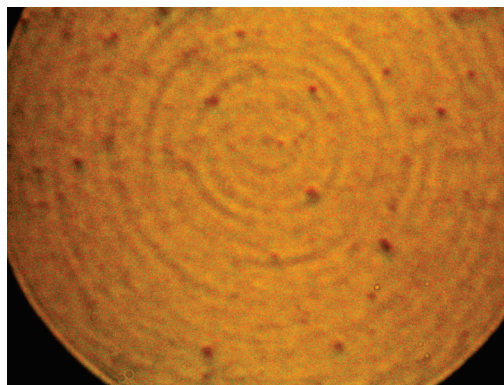


Рис. 2. Фотографія зразка, отриманого методом ультразвукового перемішування

Задачею досліджень було визначення впливу наночастинок на фізичні параметри матеріалів і як наслідок, дослідити їх вплив на робочі характеристики пристрою.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Дослідження властивостей НХС проводились на стандартних комірках типу „сандвіч” з товщиною шару рідкого кристала  $d=50$  мкм при кімнатній температурі. Типові комірки склалися з двох скляних підкладок розміром 2 x 2 см, вкритих напівпрозорим електродом ІТО. Досліджувані суміші вносили всередину виготовленої комірки під дією капілярних сил.

Вимірювання залежності інтенсивності пропускання лазерного випромінювання, яке пройшло

через комірку, від прикладеної змінної напруги, а також дослідження величини діелектричної анізотропії проводилося за методикою, описаною в [3,4].

Із отриманих залежностей оптичного пропускання визначаємо такі напруги  $U$ , а відносно них і напруженість поля  $E$ :

- 1)  $U_{kd}$  – напругу фокально-конічної деформації;  $E_{kd} = U_{kd}/d$
- 2)  $U_{cn}$  – напругу прямого холестерико-нематичного переходу;  $E_{cn} = U_{cn}/d$
- 3)  $U_{nc}$  – напругу зворотного нематико – холестеричного переходу;  $E_{nc} = U_{nc}/d$ .

На рис.3 – рис.4 зображено залежність інтенсивності пропускання лазерного випромінювання від прикладеної напруги для дослідних холестерико-нематичних сумішей (товщина шару рідкого кристалу 50 мкм). Виявлено залежність напруги прямого холестерико-нематичного переходу  $U_{cn}$  від концентрації внесеної наночастинок.

Аналіз отриманих графіків дозволяє стверджувати, що відбувається спад напруги прямого холестерико-нематичного переходу з додаванням в РК матеріал наночастинок AlN. Спад напруги приблизно 1,5-2 В спричинений тим, що внесені наночастинок послаблюють міжмолекулярні взаємодії молекул нематичної матриці, які призводять до падіння величини пружних констант, що безпосередньо впливає на значення напруги переходу.

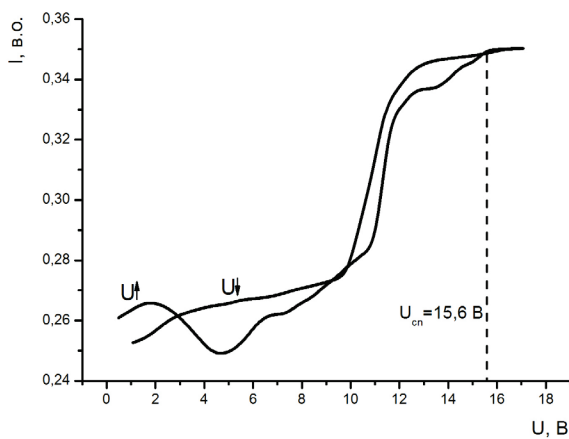


Рис. 3. Залежність інтенсивності лазерного випромінювання, що пройшло через комірку, від прикладеної напруги для холестерико-нематичної суміші 5СВ+3,64% хіральної домішки

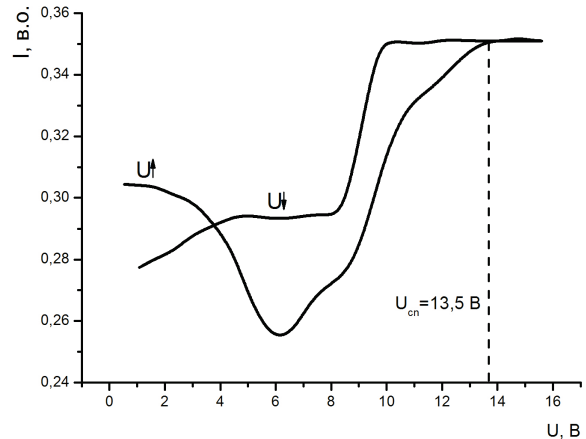


Рис. 4. Залежність інтенсивності лазерного випромінювання, що пройшло через комірку, від прикладеної напруги для холестерико-нематичної суміші 5СВ+3,64% хіральної домішки + AlN

Визначивши значення напруги прямого холестерико-нематичного переходу отримуємо наступну залежність (рис.5).

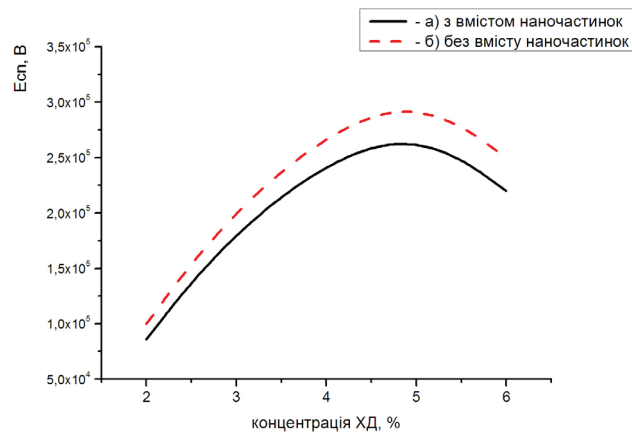


Рис. 5. Залежність напруженості поля холестерико-нематичного переходу від концентрації хіральної домішки для сумішей:  
а) з вмістом наночастинок; б) без вмісту наночастинок

Визначення діелектричної анізотропії проводилось за допомогою установки (рис.6) [5]. Робоча установка має два робочих положення для вимірювання  $\epsilon_{\perp}$  і  $\epsilon_{\parallel}$ . Вимірювання діелектричної проникності проводилось за допомогою моста ємностей Е8-2 на частоті 1 кГц.

Однорідна орієнтація РК відносно електродів комірки досягалась дією магнітного поля індукцією  $B=1$  Тл.

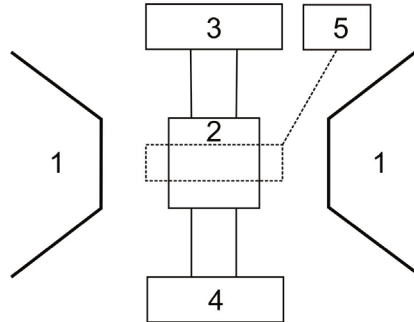


Рис. 6. Блок-схема установки для визначення діелектричних параметрів РК:  
1) електромагніт; 2) комірка з РК матеріалом; 3) блок контролю температури;  
4) міст ємностей; 5) блок контролю магнітного поля

В результаті дослідів та обрахунків отримано графічну залежність величини діелектричної анізотропії (рис.7).

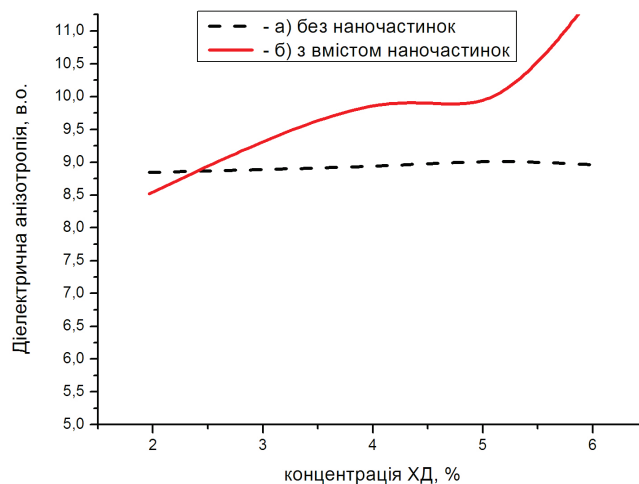


Рис. 7. Залежність величини діелектричної анізотропії від концентрації хіральної домішки для сумішей:  
а) без вмісту наночастинок; б) з постійною концентрацією наночастинок

Після додавання наночастинок спостерігається зростання величини діелектричної анізотропії, що є позитивним з точки зору практичного використання. Величина діелектричної анізотропії прямо пов'язана зі значенням напруг холестерико-нематичного переходу. Згідно з теорією зростання величини діелектричної анізотропії призводить до падіння напруги прямого ХНП, що і було підтверджено проведеними дослідженнями.

Визначення величини кроку надмолекулярної спіральної структури проводилось спектроскопічним методом. Вимірювання проводилось на спектрофотометрі UR-20. У результаті дослідів отримано залежність кроку надмолекулярної спіральної структури для дослідних зразків від концентрації ХД. Ця залежність зображена на рис.8.

В обраному діапазоні концентрацій ХД від 0 – 3 % спостерігаємо лінійну залежність  $1/P$  від концентрації ХД, причому незалежно від того присутні чи ні наночастинок в суміші. При малих величинах  $1/P$  (велике значення кроку) наночастинок, впроваджені в РК-речовину, не впливають на крок спіралі, практично не порушуючи значення величини міжмолекулярної взаємодії. Зі збільшенням концентрації домішки в інтервалі від 3 - 6,04%, коли крок індукованої спіралі малий, наночастинок, впроваджуючись між нематичними шарами РК-речовини, приводять до збільшення кроку, і чим менший крок, тим більше впливають наночастинок на крок спіральної структури. Виходячи з отриманих

результатів можна стверджувати що вплив наночастинок на крок надмолекулярної спіральної структури зростає з його зменшенням.

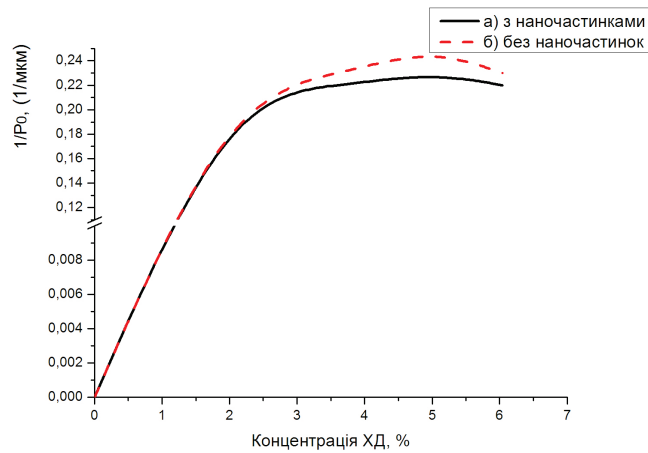


Рис. 8. Залежність величини кроку надмолекулярної спіральної структури від концентрації ХД для сумішей: а) з вмістом наночастинок; б) без вмісту наночастинок

Визначення пружних констант проводилось згідно з методиками описаними в роботах [6-8].

За результатами проведених досліджень згідно з методиками було обраховано константи пружності. Залежності величини константи  $K_{22}$  і  $K_{33}$  від концентрації ХД наведені на рис.9.

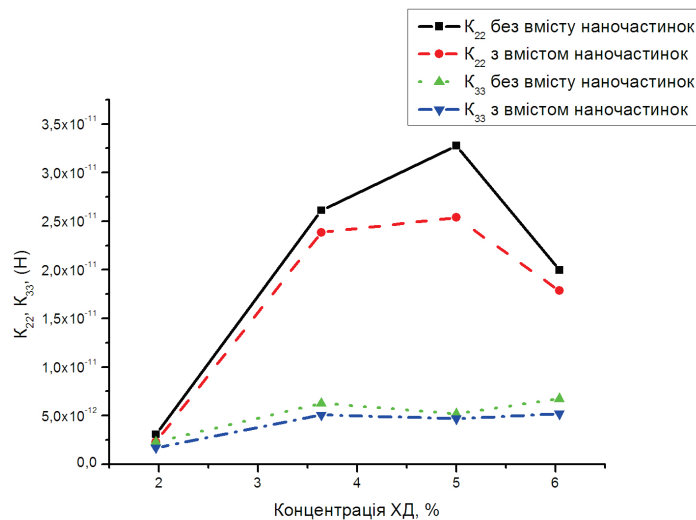


Рис. 9. Залежність констант пружності Франка ( $K_{22}$ ,  $K_{33}$ ) від концентрації ХД

Характерна поведінка кроку в сумішах при фіксованій концентрації наночастинок, а саме, спостереження двох характерних ділянок, причому на першій ділянці ми не спостерігаємо впливу наночастинок, а на другій ділянці спостерігаємо збільшення кроку холестеричної спіралі. Такі самі дві ділянки спостерігаються і на концентраційній залежності константи  $K_{22}$ . Константа поздовжнього згину  $K_{33}$  практично не залежить як від концентрації ХД, так і від наявності наночастинок, це ще раз свідчить, що наночастинок впроваджуються між нематичними псевдо шарами, не змінюючи характеру пакування молекул всередині шарів.

## ВИСНОВКИ

Проаналізувавши отримані результати можна зробити такі висновки:

1. Внесення в НХС наночастинок приводить до зменшення порогової напруги ХНП. Це спричинене тим, що присутність наночастинок в нематико-холестеричній суміші приводить до послаблення міжмолекулярної взаємодії молекул нематичної матриці, яке в свою чергу викликає падіння величини пружних констант ( $K_{22}$ ) та збільшення величини анізотропії діелектричної проникності, що

безпосередньо впливає на значення напруги переходу.

2. В обраному діапазоні концентрацій ХД від 0 – 3 % спостерігаємо лінійну залежність  $1/P$  від концентрації ХД, причому незалежно від того присутні чи ні наночастинки в суміші. При малих величинах  $1/P$  (велике значення кроку) наночастинки, впроваджені в РК-речовину, не впливають на крок спіралі, практично не порушуючи значення величини міжмолекулярної взаємодії. Зі збільшенням концентрації домішки в інтервалі від 3 - 6,04%, коли крок індукованої спіралі малий, наночастинки, впроваджуючись між нематичними шарами РК-речовини, приводять до збільшення кроку. Константа поздовжнього згину  $K_{33}$  практично не залежить як від концентрації ХД, так і від наявності наночастинок, що свідчить, що наночастинки впроваджуються між нематичними псевдо шарами, не змінюючи характеру пакування молекул всередині шарів.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Frequency modulation response of a liquid-crystal electro-optic device doped with nanoparticles / Shiraishi Y., Maeda K., Yoshikawa H., Xu J., Toshima N. and Kobayashi S. // *Appl. Phys. Lett.* -2002. - 81(15). - 2845-2847.
2. Nanoparticles and LCDs: It's a Surprising Word / Kobayashi S., Toshima N. // *Information Display.* – 2007. – Vol.23, Number 9. – p. 26 – 32.
3. Study of Elastic Constants of Cholesteric-Nematic Mixtures / Mykytyuk Z., Fechan A., Shymchyshyn M. [та ін.] // *Molecular Crystals and Liquid Crystals.* – 2008. - Vol 493. - P. 3-16.
4. Liquid crystal modulator of laser radiation for high power lasers of infrared range of spectrum / Mikityk Z., Semenova O., Sushinsky O., Nutskovsky M. // *Molecular Crystal Liquid Crystal.* – 1998. - Vol. - 1123. – P.1 – 5.
5. Determination of Elastic Constants of Nematic - Cholesteric Mixtures / Kurik M., Mikityk Z., Fechan A., Nevmerzhitska O. // *Mol.Cryst. Liq.Cryst.* - 1997. - Vol.293. - P.1 – 6.
6. The peculiarities of temperature dependence of nematic-cholesteric mixtures constants / Mikityuk Z., Nevmerzhitska O. // *European Conference on Liquid Crystals (ECLC-93).* - Flims (Switzerland). - 1993.
7. On an ultrasonic method for liquid crystal elastic constants determination / Tintaru M., Moldovan R., Iuga A., Beica T., Enache I. // *Romanian Reports in Physics.* – 2003. - Volume 55, Number 1. - P. 124 – 129.
8. Study of Elastic Constants of Cholesteric-Nematic Mixtures / Mykytyuk Z., Fechan A., Gural V., Shymchyshyn M., Yasynovska O. // *Molecular Crystals and Liquid Crystals.* – 2008. - Vol 493. - p. 3 -16.

Надійшла до редакції 12.05.2009р.

**МИКИТЮК ЗІНОВІЙ МАТВІЙОВИЧ** – д.ф.-м.н., професор кафедри електронних приладів, національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

**ФЕЧАН АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ** – к.ф.-м.н., докторант кафедри електронних приладів, національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

**СУШИНСЬКИЙ ОРЕСТ ЄВГЕНОВИЧ** – к.ф.-м.н., доцент кафедри електронних приладів, національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

**КОЦУН ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ** – аспірант кафедри електронних приладів, національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

**ВАРАНИЦЯ АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ** – студент кафедри електронних приладів, національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.