

Epitaxial Growth of High Purity $In_{1-x}Ga_xAs$ and InP on (100) and (111)B Faces // Journal of Crystal Growth. – 1982. – Vol. 59. – P. 572–582. 4. *Viland L. J. Phase equilibria of III-V compounds // Acta Metal. – 1963. – Vol. 11. – P. 137.* 5. *Jordan A.S. Calculation of phase equilibria in the Ga – Bi and Ga – P – Bi systems based on a theory of regular associated solutions // Metal Trans. B. – 1976. – Vol. 7, № 6. – P. 191–202.* 6. *Vurgaftman I., Meyer J. R. and Ram-Mohan L.R. Band parameters for III-V compound semiconductors and their alloys // Journal of Applied Physics. – 2001. – Vol. 89, № 11. – P. 5815–5875.* 7. *Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. – М.: Мир, 1981.*

УДК 532.783

З.Ю. Готра, А.В. Фечан, В.В. Левенець, В.І. Коцун, А.В. Вараниця
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних приладів

АНАЛОГОВІ СЕНСОРИ НАПРУГИ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ХОЛЕСТЕРИКО-НЕМАТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ

© Готра З.Ю., Фечан А.В., Левенець В.В., Коцун В.І., Вараниця А.В., 2010

Z.Yu. Hotra, A.V. Fechan, V.V. Levenets, V.I. Kotsun, A.V. Varanytsia

VOLTAGE ANALOG SENSORS BASED ON EFFECT OF CHOLESTERIC-NEMATIC TRANSITION

© Hotra Z.Yu., Fechan A.V., Levenets V.V., Kotsun V.I., Varanytsia A.V., 2010

На основі досліджених електрооптичних характеристик холестерико-нематичного переходу запропоновано використовувати як аналогового сенсора напруги рідкокристалічну комірку зі змінною товщиною. Проведено математичне моделювання поширення світла в шарі рідкого кристала та скляній пластині. Експериментально отримано розподіл інтенсивності випромінювання та діаграму напрямленості запропонованого сенсора.

Ключові слова: рідкий кристал, аналоговий сенсор, холестерико-нематичний перехід.

The liquid crystal cell with changed thickness proposed to use as voltage analog sensor. The cholesteric-nematic transition as the electrooptical effect in liquid crystal material is investigated. The mathematical modelling of light propagation in liquid crystal layer and in glass plate is proposed. The angle distribution of light radiation of such sensor is experimentally investigated.

Keywords: liquid crystal, analog sensor, cholesteric-nematic transition.

Вступ

Рідкокристалічні (РК) матеріали широко застосовують як оптично активні середовища індикаторів та сенсорів фізичних величин. Це пов'язано з високою чутливістю цих матеріалів до різноманітних зовнішніх впливів та можливістю керування їхніми оптичними властивостями за допомогою зовнішніх електричних і магнітних полів. Найчастіше в пристроях реєстрації величини електричного поля використовують твіст- та супертвіст-ефекти [1–3]. Ці ефекти характеризуються низькими пороговими напругами, які дорівнюють одиниці вольт. Однак у таких пристроях, як

стабілізатори напруги, відсікачі, блоки безперервного живлення тощо, які призначені для роботи в електричних мережах загального призначення, часто використовують системи індикації поточного значення напруги. Для створення сенсорів напруги на твіст- та супертвіст-ефектах для реєстрації напруги понад 10 В необхідною умовою є використання додаткової електричної схеми керування, що призводить до істотного подорожчання пристрою. У таких системах РК комірки виконують функцію лише індикації величини напруги, значення якої визначає схема керування. У роботі показана можливість створення аналогового індикатора з діапазоном вимірюваних напруг 100–400 В без додаткової електричної схеми.

Дослідження електрооптичних характеристик холестерико-нематичного переходу

Запропоновано для створення аналогових сенсорів напруги використовувати ефект холестерико-нематичного переходу (ХНП) в індукованих холестериках. Зміна фізичних параметрів РК матеріалів у поєднанні зі зміною товщини шару РК матеріалу дає змогу змінювати значення критичної напруги ХНП в діапазоні від одиниць до сотень вольт, що в поєднанні з високим значенням опору РК матеріалу уможливорює створення сенсорів напруги, які не вимагають використання додаткової схеми керування. Ефект ХНП супроводжується зміною оптичних властивостей РК середовища, а саме: зростання напруженості приводить до руйнування розсіювальної конфокальної текстури холестерика та утворення оптично прозорої гомеотропної текстури нематика [4]. Як об'єкти дослідження використовувались нематичні матриці 5 ЦБ та ЖК 1289. Вимірювання діелектричної проникності проводилось за допомогою моста ємностей Е8-2 на частоті 1 кГц. Точність вимірювання становила 2 %. Калібрування вимірювальної схеми здійснювали за допомогою еталонної рідини – нітробензолу. Однорідна орієнтація РК щодо електродів комірки досягалась дією магнітного поля індукцією $B = 0,5$ Тл в проміжку 20 мм. Температура задавалась величиною напруги живлення нагрівача і контролювалась за допомогою диференційної термопари хромель-алюмель. Описана вище дослідна установка використовувалась також для визначення температури просвітління, при якій значення $\Delta\epsilon = 0$ [4]. Фізичні параметри матриць наведені в таблиці.

Параметри рідкокристалічних матеріалів

РК матеріал	$t_{\text{плавлення}}, \text{K}$	$t_{\text{просвітління}}, \text{K}$	Анізотропія $\Delta\epsilon$
5 ЦБ	295	308,3	+13,1
ЖК 1289	253	355	+9,8

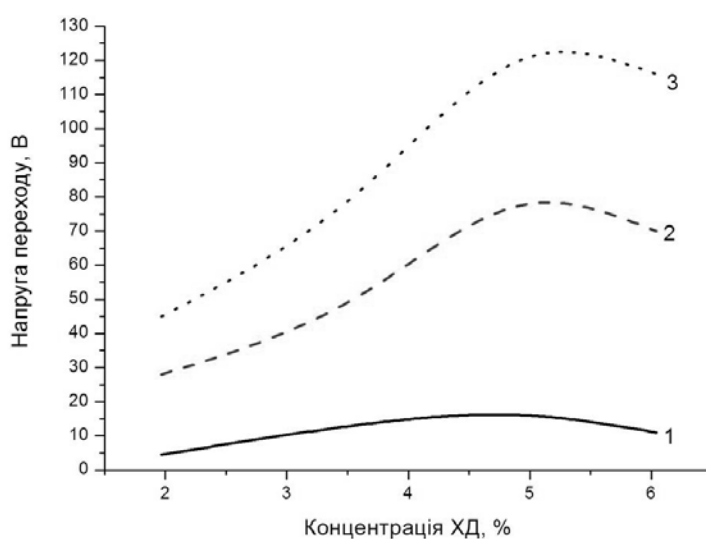


Рис. 1. Залежність напруги переходу від концентрації ХД для різних дослідних зразків: 1 – 5 ЦБ+ХДН-1 $d=50$ мкм; 2 – 5 ЦБ+ХДН-1 $d=75$ мкм; 3 – ЖК 1289+ХДН-1 $d=100$ мкм

Для створення надмолекулярної спіральної структури використовувалась немезогенна оптична домішка ХДН-1. Дослідження проводились у комірці типу "сандвіч" з товщинами шару РК 10–100 мкм. На рис. 1 наведено залежність порогової напруги ефекту ХНП від концентрації оптично активної домішки (ОАД) для різних дослідних зразків. Як видно із залежності, ріст концентрації ОАД приводить до зростання критичних напруг ХНП внаслідок зменшення величини кроку надмолекулярної спіральної структури. Однак монотонне зростання критичних напруг спостерігається в діапазоні концентрацій 2–5 % [5]. Подальше збільшення концентрації приводить до незначного зменшення критичних напруг ХНП внаслідок зменшення констант пружності Франка. Таку поведінку пружних властивостей можна пояснити впливом високої концентрації немезогенної домішки ХДН-1 у нематико-холестеричних сумішах (НХС) [6]. Це підтверджується істотним звуженням діапазону існування мезофази у разі збільшення концентрації ОАД.

Принципова конструкція та принцип дії сенсора

Для створення аналогового сенсора напруги нами пропонується використовувати РК комірку зі змінною товщиною шару. Принципова конструкція сенсора показана на рис. 2.



Рис. 2. Схематичне зображення аналогового сенсора напруги на основі ефекту ХНП

Принцип дії пристрою такий: у початковому стані шар РК у сенсорі перебуває в розсіювальній конфокальній текстурі холестерика. Після прикладення певної напруги на сенсор частина РК шару з меншою товщиною переходить у гомеотропну текстуру нематика, а частина з більшою товщиною залишається в розсіювальній конфокальній текстурі холестерика. Межа розділу різних текстур міститься в області, де напруженість електричного поля дорівнює критичному значенню напруженості ХНП. Зміна напруги, прикладеної до сенсора, приводить до дрейфу межі розділення текстур, що дає можливість реєструвати величину прикладеної напруги.

Однак недоліком ефекту ХНП є низьке значення контрасту, зумовлене розсіювальним характером цього ефекту. Для подолання цього недоліку було запропоновано введення випромінювання безпосередньо в шар РК матеріалу, а саму РК комірку використовувати як планарний оптичний світловод [7]. У цьому разі, при гомеотропній текстурі нематика, РК матеріал виконує функцію серцевини планарного світловода, що унеможливує потрапляння випромінювання до спостерігача, який перебуває під прямим кутом до напрямку поширення випромінювання. Зміна текстури РК матеріалу на розсіювальну конфокальну текстуру приводить до зміни характеру розсіювання світла в напрямку спостерігача. Такий принцип дає змогу підвищити контраст завдяки значному зменшенню інтенсивності випромінювання гомеотропної текстури нематика. Подальші дослідження показали, що цей метод має недолік, зумовлений складністю введення випромінювання безпосередньо в шар РК.

Моделювання процесу поширення світла

Запропоновано вводити випромінювання безпосередньо в скляну підкладку. У цьому разі РК комірка також виконуватиме функцію планарного світловода, оскільки показник заломлення навколишнього середовища значно менший від показника заломлення скляної підкладки. На рис. 3 зображено типові залежності інтенсивності випромінювання, яке пройшло крізь комірку під час ефекту ХНП, для різних методів введення випромінювання.

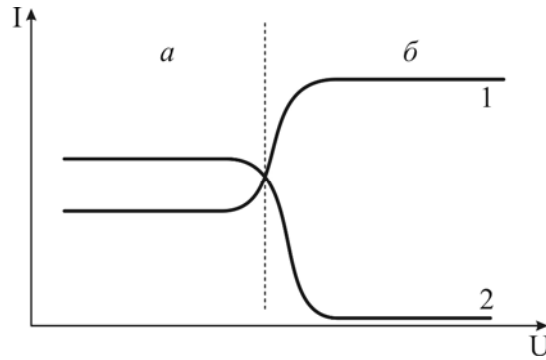


Рис. 3. Типова залежність інтенсивності світла від прикладеної напруги:
 1 – нормальне падіння світла; 2 – метод планарного світловоду

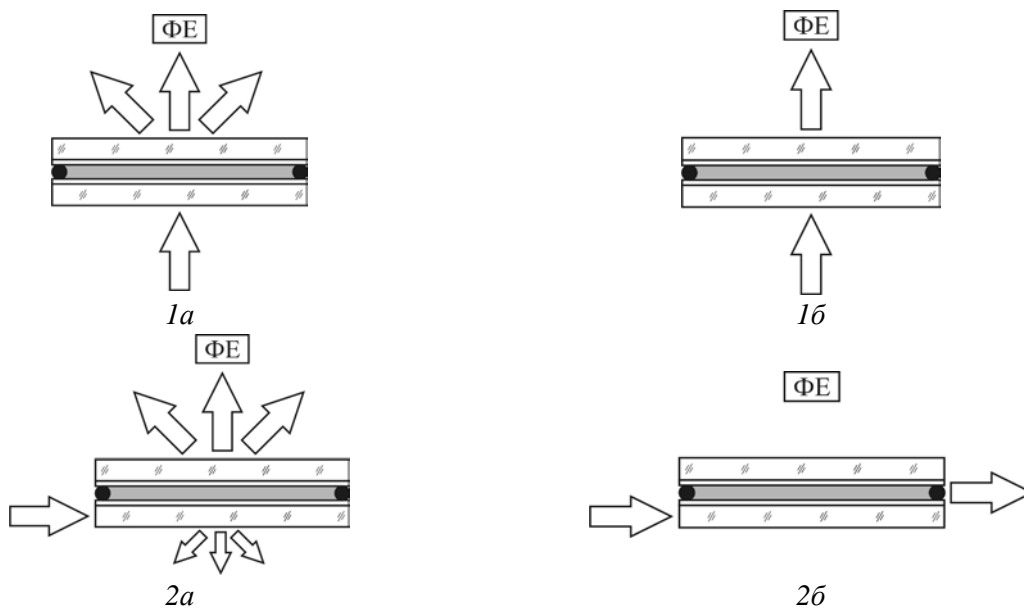


Рис. 4. Схема введення та розповсюдження випромінювання в РК комірці:

1 – нормальне падіння світла; 2 – метод планарного світловоду;

а – розсіювальна конфокальна текстура холестерика; б – прозора гомеотропна текстура нематика

Комп’ютерне моделювання процесу поширення світла в шарах РК і скляних пластинах проводилось за допомогою спеціалізованого програмного продукту Zemax.

Моделювання проводилось для таких параметрів системи: значення показника заломлення скла – 1,5, РК – 1,6; товщина шару РК – 50 мкм. Під час моделювання використовувалось монохромне джерело випромінювання з довжиною хвилі 0,63 мкм. Розподіл інтенсивності джерела в напрямку, перпендикулярному до поширення світла, зображений на рис. 5. Такий розподіл характерний для джерел підсвічування РК дисплеїв.

Результати моделювання наведені на рис. 6. На рисунках зображені траєкторії променів для випадку введення випромінювання безпосередньо в шар РК 2 (рис. 6, а) та в скляний шар 1 (рис. 6, б). Проведене моделювання показало, що у випадку введення випромінювання в скляну підкладку із застосуванням торцевого дзеркала 3 в шар РК потрапляє до 90 % випромінювання, що надійшло в структуру. Під час моделювання не враховувались розсіювальні властивості РК матеріалів, що відповідає гомеотропному стану шару РК матеріалу. У цьому стані випромінювання не виходить за межі структури і розповсюджується в перпендикулярному до спостерігача напрямку.

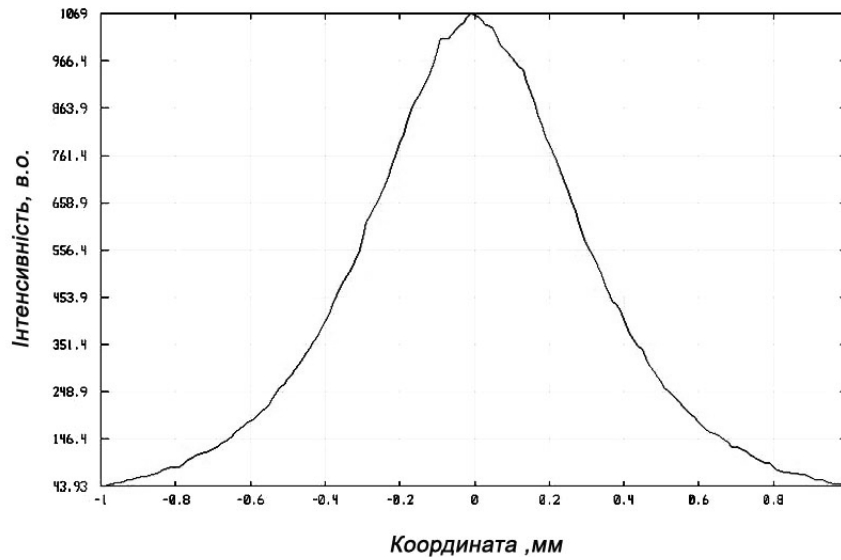


Рис. 5. Розподіл інтенсивності модельного джерела випромінювання

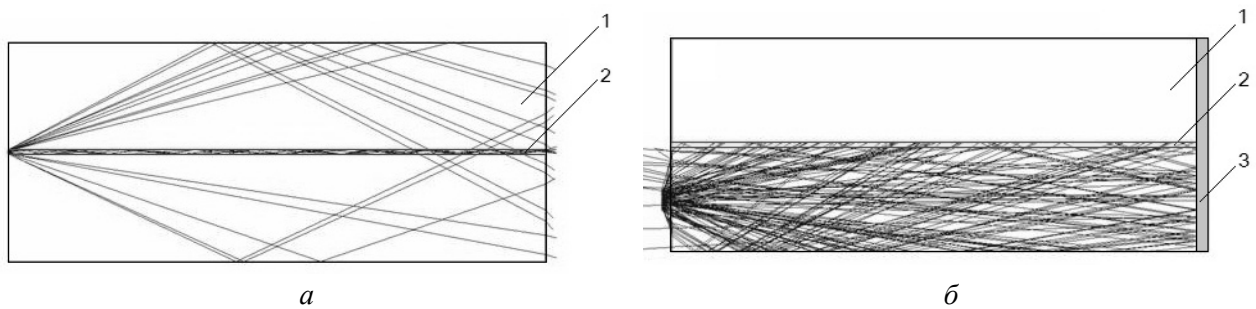


Рис. 6. Результати моделювання поширення світла в структурі скло-РК-скло

Результати та їх обговорення

На основі результатів моделювання проходження світла та попередніх досліджень розсіювальних властивостей РК матеріалів [7, 8] були проведені експериментальні дослідження оптичних властивостей зразків запропонованих сенсорів. На рис. 7 зображено розподіл інтенсивності випромінювання для комірки з товщиною шару РК 20 – 75 мкм для різних значень керуючих напруг.

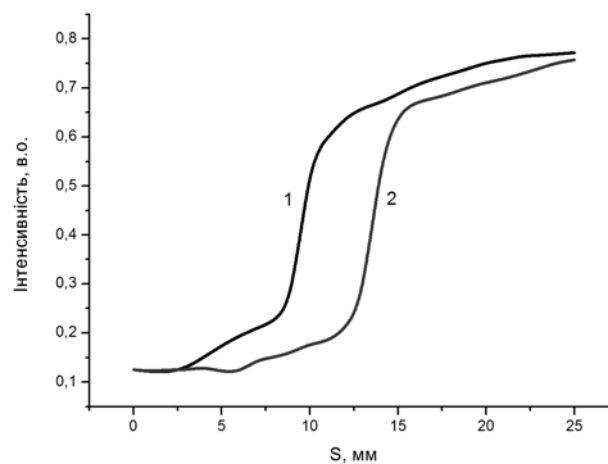


Рис. 7. Розподіл інтенсивності випромінювання вздовж клиноподібної комірки для суміші 5 ЦБ+5 % ХДН-1 для різних значень керуючих напруг:
1 – $U = 40$ В; 2 – $U = 50$ В

Проведені експерименти показали, що збільшення керуючої напруги, яка прикладається до клиноподібної комірки, приводить до зміщення лінії розділу конфокальної та гомеотропної текстур в бік більшої товщини комірки. Перехід між прозорою гомеотропною текстурою та розсіювальною конфокальною супроводжується різким збільшенням інтенсивності випромінювання, що дає змогу досягнути значення контрасту 0,75. Також досліджували залежність інтенсивності випромінювання від кута огляду [9]. На рис. 8. наведено діаграму напрямленості в напрямку, перпендикулярному до градієнта товщини клиноподібної структури.

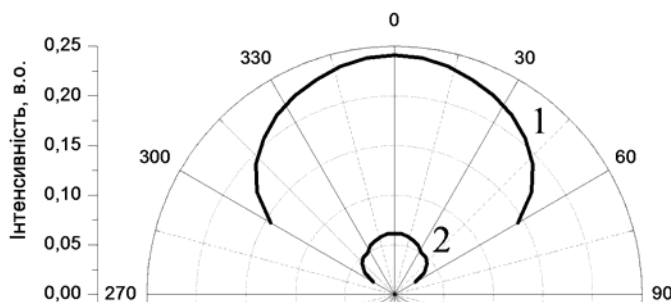


Рис. 8. Залежність інтенсивності випромінювання від кута огляду:

1 – конфокальна розсіювальна текстура холестерика; 2 – гомеотропна текстура нематика

Проведені дослідження показали, що на запропонованих структурах можна отримати кути огляду понад 120° при зміні величини контрасту в діапазоні 0,6–0,7.

Висновки

1. Проведені дослідження показують можливості створення аналогових сенсорів напруги без застосування додаткового живлення та системи керування, що зумовлено широким діапазоном значень критичних напруг переходу ХНП, які можна змінювати зміною процентного вмісту окремих компонент НХС.

2. Застосування бічного підсвічування клиноподібного аналогового сенсора напруги дає змогу одержати високі значення контрасту та широкий кут огляду, що викликано, з одного боку, низьким значенням інтенсивності випромінювання, яке поширюється в бік спостерігача в гомеотропному стані РК матеріалу, а з іншого, широкою діаграмою напрямленості, яку забезпечує розсіювальна конфокальна текстура холестерика.

1. А. с. G02F1/13. Аналоговый жидкокристаллический индикатор / З.Ю. Готра, В.В. Пархоменко, Б.Н. Яворский. СССР. – № 987564; Заявл. 07.07.1981; Зарегистрировано 07.02.1982. 2. А. с. G02F1/13 Аналоговый жидкокристаллический индикатор / З.Ю. Готра, Б.Н. Яворский. СССР. – № 1503555; Заявл. 08.12.1986; Зарегистр. 22.04.1989. 3. United States Patent № 4786858 «Liquid Crystal Electrostatic Voltmeter», Werner E. Haas, John R. Andrews. – Nov. 22, 1988. 4. П. Ж. Де Жен. Физические свойства жидкокристаллических веществ / Пьер Жиль де Жен; пер. с англ. А.А. Веденова. – М.: Мир, 1982. – 152 с. 5. Чилая Г. С., Аронишидзе С.Н., Винокур К.Д. и др. Исследование нематико-холестерических смесей // Кристаллография. – 1977. – 22. – С. 1280–1284. 6. Study of Elastic Constants of Cholesteric-Nematic Mixtures / Z. Mykytyuk, A. Fechan, V. Gural, M. Shymchyshyn, O. Yasynovska // Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2008. – Vol. 493. – P. 3–16. 7. Mykytyuk Z. The Optical Element Based on a Planar Waveguide with Liquid Crystal Core / Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, V. Gural // Molecular crystals and liquid crystals. – 2007. – Vol. 467. – P. 203–209. 8. Mykytyuk Z., Fechan A., Sushynskyy O., Shymchyshyn M., Bashtyk J. The scattering characteristics of active substance of liquid crystal displays // Functional Materials. – 2008. – 15, No.3. – P. 459–462. 9. Mykytyuk Z., Fechan A., Sushynskyy O., Shymchyshyn M., Levenets V., Light scattering in confocal domains in induced-cholesteric liquid crystals // Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2008. – Vol. 496. – P. 230–238.