

З.Ю. Готра, А.В. Фечан, О.Є. Сушинський, О.Й. Ясиновська, В.В. Левенець
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних приладів

РІДКОКРИСТАЛІЧНІ ОПТИЧНІ СЕНСОРИ ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

© Готра З.Ю., Фечан А.В., Сушинський О.Є., Ясиновська О.Й., Левенець В.В., 2010

На основі досліджених електрооптичних характеристик холестерико-нематичного переходу в нематико-холестеричних сумішах запропоновано метод реєстрації зміни температури, що ґрунтується на температурному дрейфі порогової напруги ефекту холестерико-нематичного переходу. Розроблено конструкцію порогового температурного сенсора. Показано методи його інтеграції в серійні сенсори диму.

The new method of temperature changes registration, which based on temperature shifting of threshold voltages of cholesteric-nematic transition. The new method based on investigation of electrooptical characteristics. The designing of threshold temperature sensor are elaborated. The method of integration in serial smoke sensors are shown.

Вступ. Поряд з класичним застосуванням рідких кристалів (РК) як активного середовища пристроїв відображення інформації все більше досліджень спрямовано на можливість їхнього використання як чутливих елементів для розробки сенсорів температури, тиску та шкідливих речовин, яким відводиться не остання роль у моніторингу навколишнього середовища [1]. Такий інтерес викликаний їхніми унікальними властивостями, такими як висока чутливість до зовнішніх електричних та магнітних полів, температури й анізотропії показника заломлення. Останнім часом багато досліджень скеровано на створення сенсорів, джерелом інформації в яких є оптичне випромінювання, а не електричний сигнал [2–4]. Їх перевагою є можливість стабільної роботи в умовах високого рівня електромагнітних завад. Оптичні сенсори ґрунтуються на оптоелектронних приладах, що складаються з джерела світла, фотоприймача і оптично активного середовища. Зміна оптичних властивостей цього середовища під дією зовнішнього чинника впливає на вихідний сигнал фотоприймача, що використовується для детектування температури.

Дослідження температурних залежностей порогових полів холестерико-нематичного переходу. Ми запропонували для створення порогового оптичного сенсора температури використовувати ефект холестерико-нематичного переходу (ХНП) в індукованих холестериках. Ефект ХНП супроводжується зміною оптичних властивостей РК середовища, а саме: ріст напруженості приводить до руйнування розсіювальної конфокальної текстури холестерика та утворення оптично прозорої гомеотропної текстури нематика [5]. Напруга, за якої відбувається руйнування надмолекулярної спіральної структури та утворення гомеотропно орієнтованої текстури нематика, називається пороговою напругою ХНП (U_{cn}).

Як зазначалось вище, температура має значний вплив на електрооптичні характеристики нематико-холестеричних сумішей (НХС). Для дослідження температурних залежностей критичних напруг ХНП ми використовували нематичні матриці СЖК-1 з домішкою сильнополярного високотемпературного нематичного РК бороксану. Для створення надмолекулярної спіральної структури використовувалась немезогенна оптично активна домішка (ОАД) ВІХН-3.

На рис. 1 зображено залежності критичних напруг U_{cn} ХНП від температури [6].

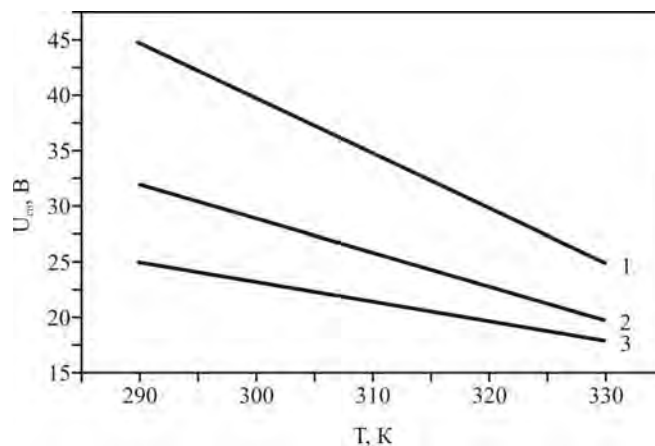


Рис. 1. Температурні залежності величини U_{cn} для холестерико-нематичних сумішей:
 1 – СЖК-1+5 % бороксан+1,2 % ВІХН-3; 2 – СЖК-1 +10 % бороксан +1,9 % ВІХН-3;
 3 – СЖК-1+17 % бороксан + 3 % ВІХН-3

Як бачимо з цього рисунка, залежності мають лінійний характер, причому ріст температури викликає зменшення критичної напруги ХНП. Температурна поведінка критичних полів визначається переважно характером зміни таких фізичних параметрів НХС, як константи пружності Франка та крок індукованої спіралі [7]. Зростання температури приводить до істотного зменшення величини U_{cn} . Найбільший перепад напруг (20 В) у діапазоні температур 290–330 К отримано для суміші з концентрацією ОАД ВІХН-3 1,2 ваг. % та 5 % бороксан.

Принцип дії порогового сенсора температури. Отримані результати дають змогу запропонувати конструкцію порогового оптичного сенсора температури. Принцип дії такого сенсора ґрунтується на зміні прозорості РК комірки під дією температури за сталої напруги. Так, якщо напруга на комірці дорівнює 35 В (залежність 1 рис. 1), поріг спрацьовування такого сенсора припадає на температуру 310 К. Величина порога спрацьовування задається значенням керуючої напруги. Фактично такий сенсор може реєструвати температури в діапазоні 270–340 К, а сама ширина діапазону визначається діапазоном існування мезофази оптично активного середовища.

На рис. 2 показано принципову схему порогового оптичного сенсора температури. Принцип його дії такий [8]. Випромінювання з джерела 1, проходячи крізь рідкокристалічну комірку 2, потрапляє на приймач 3. Рівень сигналу приймача порівнюється з контрольним значенням у системі порівняння 5. Якщо відхилення рівнів сигналу перевищує задану величину, відбувається розмикання шлейфу сигналізації 6 і видається повідомлення на контрольному пункті. Значення напруги, яке прикладається (4) до РК комірки, задає температуру спрацьовування сенсора.

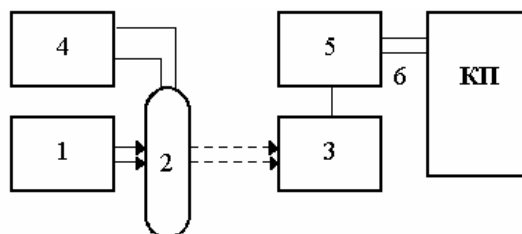


Рис. 2. Блок-схема порогового оптичного сенсора температури

На рис. 3 показано градувальну залежність температури спрацьовування сенсора від напруги на РК комірці для товщини шару РК 25 мкм для немато-холестеричної суміші на основі нематичного матеріалу СЖК-1+10 % бороксан + ОАД-1,2 % ВІХН-3.

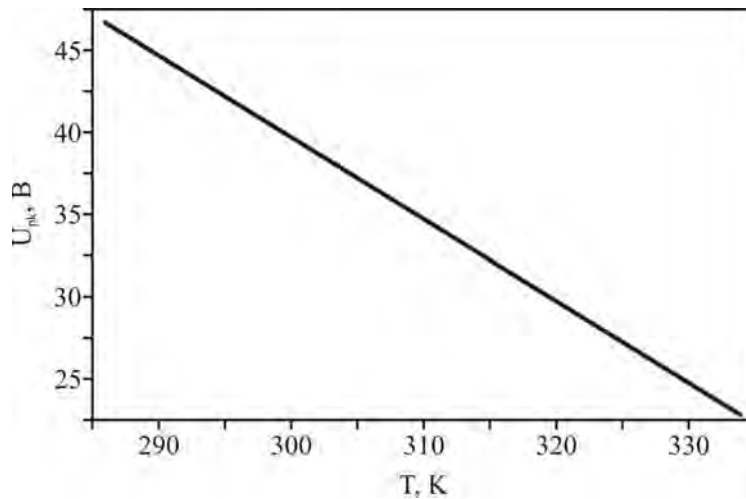


Рис. 3. Залежність величини порогової температури спрацьовування сенсора від напруги на РК комірку

Наведений принцип дії порогового оптичного сенсора температури добре узгоджується з системами пожежної безпеки, зокрема датчиками наявності диму, що дає змогу поєднати обидва пристрої в одному корпусі.

Методи інтеграції сенсора температури у серійні сенсори диму. Існують дві схеми реєстрації наявності диму, реалізовані в серійних сенсорах систем пожежної безпеки [9]. Перша схема ґрунтується на реєстрації зменшення інтенсивності внаслідок наявності диму між світло-випромінювальним елементом і приймачем випромінювання, а інша – на реєстрації випромінювання внаслідок розсіювання світлового потоку на частинках диму.

Залежно від способу введення світлового променя в РК-комірку (рис. 4) можна реалізувати два варіанти зміни інтенсивності випромінювання у разі спрацьовування РК-сенсора температури.

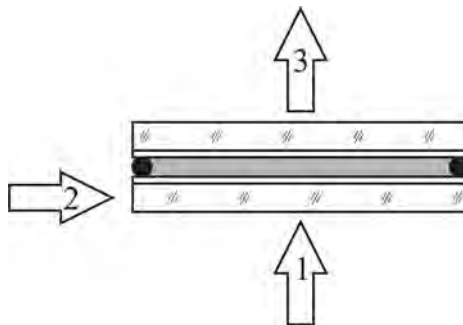


Рис. 4. Способи введення світлового потоку в РК-комірку

За нормального падіння випромінювання 1 зростання температури приведе до збільшення інтенсивності випромінювання в напрямку 3. Якщо вводити випромінювання 2 безпосередньо в скляну підкладку, зростання температури приведе до зменшення інтенсивності світла 3. На рис. 5 зображено індикатрису розсіювання випромінювання на виході РК-комірки у разі введення випромінювання безпосередньо в скляну підкладку.

На рис. 6 зображено типові залежності інтенсивності випромінювання від температури, яке пройшло крізь комірку під час ефекту ХНП, для різних методів введення випромінювання. Штриховою лінією показано поріг спрацювання запропонованого сенсора.

Відповідно до вищесказаного ми запропонували два методи інтеграції запропонованого сенсора температури в серійні сенсори диму (рис. 7).

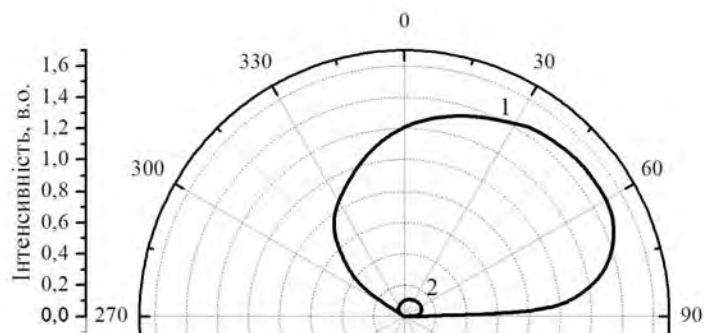


Рис. 5. Індикатриса розсіювання випромінювання на виході РК-комірки у разі введення випромінювання безпосередньо в скляну підкладку: 1 – конфокальна розсіювальна текстура ($T < T_{\text{пор}}$); 2 – гомеотропна текстура нематика ($T > T_{\text{пор}}$)

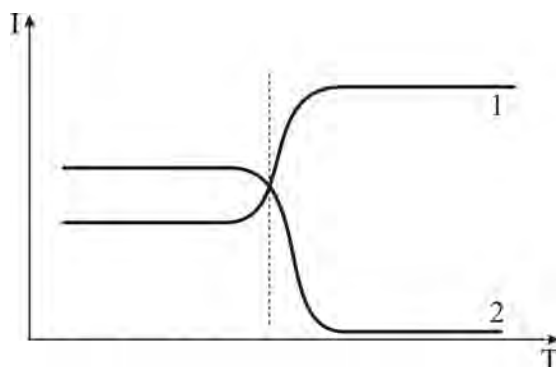


Рис. 6. Типова залежність інтенсивності світла від прикладеної напруги: 1 – нормальне падіння світла; 2 – метод планарного світловода

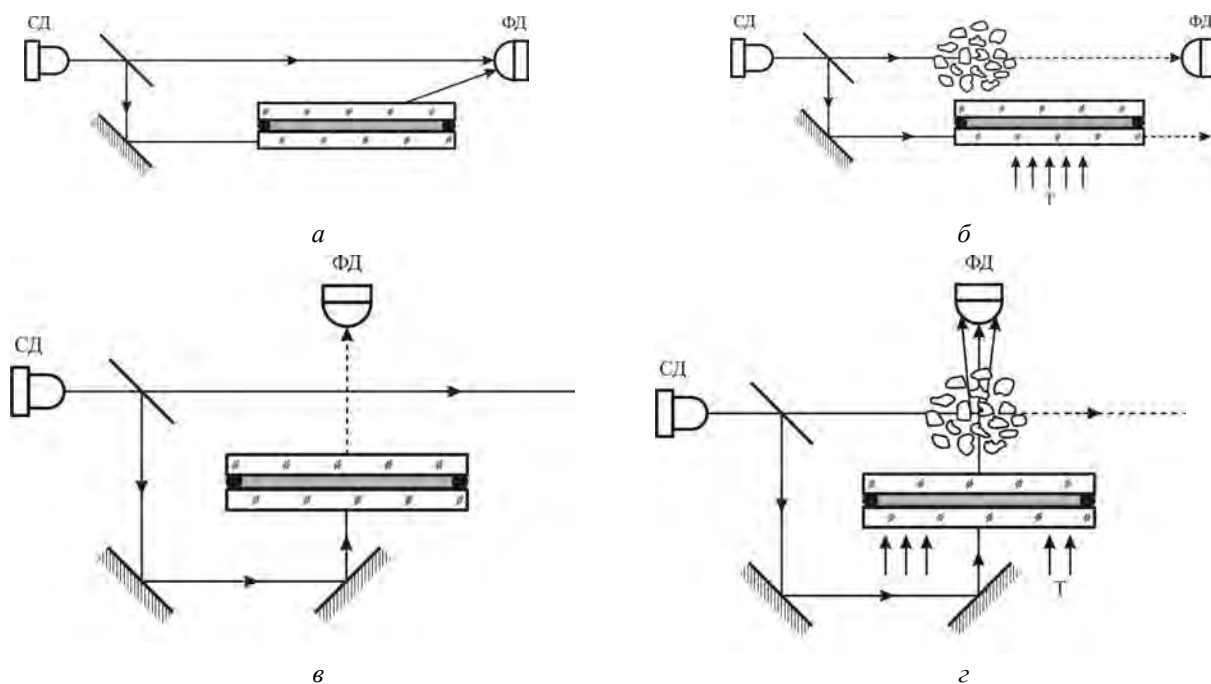


Рис. 7. Способи інтеграції РК сенсора температури в серійні сенсори диму: а, б – схема спрацювання на зменшення інтенсивності випромінювання; в, г – схема спрацювання на збільшення інтенсивності випромінювання

У разі використання системи, яка спрацьовує за зменшення інтенсивності випромінювання у режимі очікування (рис. 7, а), фотодіод ФД реєструє світлове випромінювання, яке надходить безпосередньо зі світлодіода СД, та випромінювання, яке виходить з РК-комірки. За наявності диму між світлодіодом і фотодіодом (рис. 7, б) відбувається зменшення інтенсивності випромінювання, що призводить до спрацювання сенсора наявності диму. Якщо температура зростає до порогового значення, в РК-комірці відбувається ефект ХНП, а це, своєю чергою, приведе до того, що світловий потік поширюватиметься РК-шаром, що викличе падіння інтенсивності на фотодіоді та спрацювання сенсора.

У разі використання схеми, що спрацьовує за збільшення інтенсивності випромінювання у початковому стані (рис. 7, в), фотодіод реєструє лише слабке випромінювання, що проходить крізь РК-сенсор температури, рідкокристалічний шар якого перебуває в розсіювальній конфокальній текстурі холестерика. За наявності диму (рис. 7, г) відбувається розсіювання світлового потоку на мікродисперсних частинках диму, що призводить до зростання інтенсивності випромінювання та спрацювання сенсора. Внаслідок зростання температури до порогового значення рідкокристалічний шар температурного сенсора перейде у прозору гомеотропну текстуру нематика, що викличе зростання інтенсивності випромінювання, яке проходить через РК-комірку і спрацювання системи пожежної безпеки.

Висновки:

1. Експериментальні дослідження критичних полів холестерико-нематичного переходу показали, що збільшення температури приводить до зменшення критичної напруги холестерико-нематичного переходу, яке викликане збільшенням кроку надмолекулярної спіральної структури та зменшенням констант пружності НХС. Лінійний характер температурної залежності критичних полів дає змогу використовувати ефект ХНП для створення порогових сенсорів температури.

2. Запропоновано конструкцію рідкокристалічного порогового сенсора температури.

3. Розроблено методи інтеграції порогового сенсора температури в серійні сенсори диму систем пожежної сигналізації. Запропоновані рішення не вимагають зміни схеми керування сенсорів диму, що сприяє швидкому впровадженню у виробництво.

1. Готра З.Ю., Микитюк З.М., Фечан А.В., Ясиновська О.Й., Вараниця А.В. Лазери з розподіленим зворотним зв'язком на основі холестеричних рідких кристалів як первинні перетворювачі сенсорів пари органічних речовин // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – 2009. – №2(18). – С. 174–179. 2. Hotra Z., Mykytyuk Z., Yasynovska O. Temperature sensor on the base of light selective reflection // *Elektronika, Poland*, 2008. – N. 6. – P. 182–183. 3. Лопин А.В., Семёнов А.В., Пузиков В.М. Оптический датчик температуры на основе нанокристаллической пленки SiC // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2007. – №4. – С. 19–22. 4. Габа В.М. Измерение температуры с использованием оптических датчиков на основе двулучепреломляющих кристаллов // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2009. – №1. – С. 45–52. 5. П. Ж. Де Жен. Физические свойства жидкокристаллических веществ / Пьер Жиль де Жен; пер. с англ. А.А. Веденова. – М.: Мир, 1982. – 152 с. 6. Готра О. З., Микитюк З.М., Фечан А.В., Черпак В.В. Рідкокристалічний матеріал для порогового сенсора температури // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. – 2003. – №491. – С.64–69. 7. 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. 8. Готра О.З., Микитюк З.М., Фечан А.В., Черпак В.В. Пороговий сенсор температури на базі ефекту холестерико-нематичного переходу // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2003. – №63. – С.67–70. 9. Неплохов И. Г. Линейные дымовые пожарные извещатели // *Грани безопасности*. – 2005. – № 4 (34).