

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

І.М. МАТВІЙШИН, Б.В. ПАВЛИК, Д.П. СЛОБОДЗЯН

**РІДКІ КРИСТАЛИ
В СЕНСОРНІЙ ЕЛЕКТРОНІЦІ**

Навчальний посібник

ЛЬВІВ

2025

УДК [621.38:53:548.0](075.8)

М 31

Рецензенти:

д-р фіз.-мат. наук, проф. *О.Г. Сливка*
(Ужгородський національний університет);

д-р фіз.-мат. наук, проф. *З.М. Микитюк*
(Національний університет “Львівська політехніка”);

д-р фіз.-мат. наук, проф. *І.Д. Столярчук*
(Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка)

Рекомендовано до друку
Вченою радою Львівського національного університету
імені Івана Франка.
(Протокол № 65/4 від 30 квітня 2024 р.)

Матвіїшин І.М.

М 31 Рідкі кристали в сенсорній електроніці : навч. посібник /
І.М. Матвіїшин, Б.В. Павлик, Д.П. Слободзян. – Львів ЛНУ ім. Івана
Франка, 2025. – 248 с.

ISBN 978-617-10-0957-8.

Викладено основні відомості про природу рідких кристалів, їхні фізичні та електрооптичні властивості. Описано термодинамічні, реологічні, електричні, магнітні, пружні й оптичні характеристики. Подано детальний опис холестеричних, смектичних, ліотропних і полімерних рідких кристалів. Описуються особливості технічних застосувань рідких кристалів у сенсорній електроніці та енергетиці для побудови елементів мікросистемної техніки, біомедичні використання.

Для студентів та аспірантів фізико-технічних та інженерно-технічних спеціальностей університетів, які навчаються за напрямом у ЗВО III-IV рівня акредитації, фахівців у галузі електроніки, органічних матеріалів, сенсорики.

УДК [621.38:53:548.0](075.8)

© Матвіїшин І.М., Павлик Б.В.,
Слободзян Д.П., 2025

© Львівський національний університет
імені Івана Франка, 2025

ISBN 978-617-10-0957-8

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
Розділ 1. Загальні відомості про рідкі кристали	9
1.1. Фізика рідких кристалів як наука.....	9
1.2. Історія відкриття РК	11
1.3. Рідкокристалічний стан речовини.....	14
1.4. Класифікація рідких кристалів	16
1.5. Молекулярна структура рідких кристалів.....	23
1.6. Загальна характеристика нематичних рідких кристалів	27
1.7. Методи орієнтації рідких кристалів.....	32
Контрольні питання.....	38
Розділ 2. Фізичні властивості рідких кристалів	39
2.1. В'язкість і поверхневий натяг рідких кристалів ..	39
2.2. Густина рідких кристалів.....	40
2.3. Магнітні властивості рідких кристалів.....	41
2.4. Механічні властивості рідких кристалів	43
2.5. Теплові властивості рідких кристалів.....	46
2.6. Електричні властивості рідких кристалів.....	48
2.7. Кристалооптичні властивості рідких кристалів... ..	52
2.8. Електропровідність рідких кристалів	57
Контрольні питання.....	62
Розділ 3. Електрооптичні ефекти в нематиках	63
3.1. Особливості електрооптичних ефектів та електрооптичної комірки	63
3.2. Ефект Фредерікса в електричному полі	68
3.3. Флексоелектричний ефект	74
3.4. Оптичний перехід Фредерікса.....	77
3.5. Ефект динамічного розсіювання	80
3.6. Твіст-ефект	84
3.7. Ефект “тість – господар”	89
Контрольні питання.....	97

Розділ 4. Холестеричні рідкі кристали.....	98
4.1. Особливості холестеричних рідких кристалів	98
4.2. Текстури холестеричних рідких кристалів	104
4.3. Крок холестеричної спіралі	106
4.4. Оптичні властивості холестеричних рідких кристалів	111
4.5. Електрооптичні ефекти холестеричних рідких кристалів	114
4.6. Блакитна фаза.....	122
Контрольні питання.....	125
Розділ 5. Сметичні рідкі кристали	126
5.1. Особливості сметичних рідких кристалів	126
5.2. Класифікація сметичних рідких кристалів.....	133
5.3. Властивості сметиків.....	141
5.4. Сметичні сегнетоелектрики	153
Контрольні питання.....	159
Розділ 6. Ліотропні рідкі кристали	160
6.1. Особливості ліотропних рідких кристалів	160
6.2. Структура ліотропних рідких кристалів.....	162
6.3. Фізичні властивості ліотропних рідких кристалів	168
6.4. Електрооптичні ефекти в ліотропних рідких кристалах	170
6.5. Неводні ліотропні системи.....	171
Контрольні питання.....	173
Розділ 7. Полімерні рідкі кристали.....	174
7.1. Сутність та особливості полімерних рідких кристалів	174
7.2. Структура полімерних рідких кристалів	178
7.3. Принципи молекулярного конструювання полімерів	183
7.4. Фізичні властивості полімерних рідких кристалів	187
Контрольні питання.....	195

ЗМІСТ

Розділ 8. Застосування рідких кристалів	196
8.1. Застосування рідких кристалів у дисплейних технологіях.....	196
8.2. Роль рідких кристалів у оптичних системах	208
8.3. Рідкі кристали в сенсорних технологіях.....	211
8.4. Біомедичні застосування рідких кристалів	215
8.5. Роль рідких кристалів у медицині.....	217
8.6. Рідкі кристали в електроніці та енергетиці	232
8.7. Інші застосування рідких кристалів.....	236
Контрольні питання.....	242
Список використаних джерел	243
Предметний покажчик	245

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ББАБН – 4-бутоксibenзиліден-4 амінобензилонітрил;
БГАОБ – бензиліден-4-гідроксианілін-4-октадеканоат;
БМАОБ – бензиліден-4-метиланілін-4-октадеканоат;
БФ – Блакитна фаза;
ДНК – Дезоксирибонуклеїнова кислота;
ДОБАМБЦ – n-децилоксibenзиліден-n-аміно-2-метилбутилциннамат;
ДСК – Джерела Світла на Кристалах;
ДСК – диференційна скануюча калориметрія;
ЕБАБН – 4-етоксibenзиліден-4 амінобензилонітрил;
ЕББА – етилбутил-бензиламін;
ІР – Ізотропна рідина;
ЛРК – Ліотропні рідкі кристали;
МББА – метоксibenзиліден-n-бутіланілін;
МЕМС – мікроелектромеханічні системи;
НДА – Негативна діелектрична анізотропія;
НРК – Нематичні рідкі кристали;
ОЛРК – Оптичні лінзи на основі рідких кристалів;
ПАР – Поверхнево активна речовина;
ПДА – Позитивна діелектрична анізотропія;
РК – Рідкі кристали;
РКД – рідкокристалічний дисплей;
СРК – Сметичні рідкі кристали;
СРКА – Сметичний рідкий кристалу типу А;
СРКС* – Хіральный сметичний рідкий кристал типу С;
ТБАБ – тетрабутиламоній бромистий;
ТББА – терефтал-біс-4-n-бутіланілін;
ТВ – телевізор;
ТК – тигогенинкапринат;
ХНТІ – Холестерико-нематичний перехід;
ХРК – Холестеричні рідкі кристали;
E-ink – electronic ink (електронний чорнильний дисплей);
LC – Liquid crystal (рідкий кристал);
LCD – Liquid crystal display (рідкокристалічний дисплей);
OLED – Organic light-emitting diode (органічний світлодіодний діод).

ПЕРЕДМОВА

Рідкі кристали є важливими об'єктами в сучасній в науці і техніці. З часу відкриття кристалічного стану в 1888 році Ф. Рейнітцером минуло більше століття, але використання їхніх властивостей розпочалося тільки в 70-х роках ХХ століття. Заради історичної правди варто сказати, що в 1861 році Ю. Планер у Львівському університеті описав явище селективного відбивання холестерилхлоридом. Проте тоді термін “рідкий кристал” не використовували.

Уявлення про структуру та властивості рідкокристалічного стану формувались на підставі даних, які отримали різними фізичними методами. Тільки за останні десятиліття виявлено багато нових цікавих явищ, зібрано величезний матеріал. Кількість наукових публікацій по дослідженню рідких кристалів зростає в геометричній прогресії. На превеликий жаль, україномовних джерел, які стосуються рідкокристалічного стану, надзвичайно мало, що й спонукало написати цей навчальний посібник.

Цей навчальний посібник побудований на основі лекційного матеріалу, який викладають студентам спеціальності “Мікро- та наносистемна техніка” факультету електроніки та комп'ютерних технологій Львівського національного університету імені Івана Франка, а також на підставі ознайомлення з результатами досліджень рідкокристалічного стану, які проводять у багатьох лабораторіях світу.

Рідкі кристали розглядають у двох напрямках – як носій визначених властивостей і як природні джерела, приймачі, сенсори, перетворювачі фізичних характеристик. У рідких кристалах приховані ключі до розуміння твердого та рідкого стану, а

заразом закладені практично необмежені можливості щодо різноманітних застосувань.

Посібник не претендує на узагальнення експериментального і теоретичного матеріалу, накопиченого за останні роки в цій галузі. Мета написання посібника – зацікавити і передати зачарування рідкими кристали для все більшої кількості дослідників.

Кількість математичних викладів у ній мінімальна, і водночас достатня для опису закономірностей, що впливають з експерименту і теорії. Таблиці та ілюстрації допоможуть читачам у вирішенні практичних питань.

Навчальний посібник буде корисним для студентів, аспірантів, наукових працівників, що спеціалізуються в області досліджень рідкокристалічного стану, дисплейних технологій, оптичних елементів і пристроїв, систем телекомунікацій, візуалізацій і сенсорів фізичних полів різної природи.

Навчальне видання

**МАТВІЙШИН Ігор Михайлович,
ПАВЛИК Богдан Васильович,
СЛОБОДЗЯН Дмитро Петрович**

РІДКІ КРИСТАЛИ В СЕНСОРНІЙ ЕЛЕКТРОНІЦІ

Навчальний посібник

Редактор *Н. Й. Плиса*
Комп'ютерне верстання *Л. М. Семенович*
Обкладинка *М. С. Білобринь*

Формат 60×84 ¹/₁₆. Умовн. др. арк. 14,41.

Тираж _____ прим. Зам.

ВИДАВЕЦЬ І ВИГОТОВЛЮВАЧ
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Університетська, 1, Львів, 79000.

СВІДОЦТВО
про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції:
Серія ДК №3059 від 13.12.2007 р.

Матвіїшин І.М.

М 31 Рідкі кристали в сенсорній електроніці : навч. посібник / І.М. Матвіїшин, Б.В. Павлик, Д.П. Слободзян. – Львів ЛНУ ім. Івана Франка, 2025. – 248 с.

ISBN 978-617-10-0957-8.

Викладено основні відомості про природу рідких кристалів, їхні фізичні та електрооптичні властивості. Описано термодинамічні, реологічні, електричні, магнітні, пружні й оптичні характеристики. Подано детальний опис холестеричних, смектичних, ліотропних і полімерних рідких кристалів. Описуються особливості технічних застосувань рідких кристалів у сенсорній електроніці та енергетиці для побудови елементів мікросистемної техніки, біомедичні використання.

Для студентів та аспірантів фізико-технічних та інженерно-технічних спеціальностей університетів, які навчаються за напрямом у ЗВО III-IV рівня акредитації, фахівців у галузі електроніки, органічних матеріалів, сенсорики.

УДК [621.38:53:548.0](075.8)