

## ОРГАНІЧНА ЕЛЕКТРОНІКА: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Проведено аналіз перспектив розвитку елементів, пристроїв електроніки на основі органічних матеріалів. Висвітлені результати досліджень та розробок структур сонячної енергетики, інтегральної оптики та сенсорів. Розглянуті нові електрооптичні елементи на основі рідких кристалів.

**Ключові слова:** органічна електроніка, рідкий кристал, органічний світлодіод, сонячний елемент.

Проведен анализ перспектив развития элементов, устройств электроники на основе органических материалов. Освещены результаты исследований и разработок структур солнечной энергетики, интегральной оптики и сенсоров. Рассмотрены новые электрооптические элементы на основе жидких кристаллов.

**Ключевые слова:** органическая электроника, жидкий кристалл, органический светодиод, солнечный элемент.

Outlooks of elements and devices of electronics development were analyzed. The main results of investigation and development of the solar cell, integrated optics and sensors structures were demonstrated. The new electro optical elements based on liquid crystal were reviewed.

**Keywords:** organic electronic, liquid crystal, organic light-emitting diode, solar cell.

З кожним днем електроніка розвивається і вдосконалюється швидкими темпами. На сьогодні існує ряд базових напрямків електроніки, які викликають зацікавлення сучасної науки та техніки. Одним з напрямків є органічна електроніка, в якій виділяються: сонячна енергетика, інтегральна оптика, сенсори.

Якщо розглядати сонячну енергетику то основним методом перетворення енергії Сонця є фотоелектричний метод, який має ряд переваг: а) пряме перетворення енергії світлових квантів в електричну енергію; б) різноманітність елементної бази для створення сонячних фотоелементів; в) відпрацьовані технології та можливість створення модульних систем різної потужності; г) можливість використання концентрованого (до 1-2 тисяч разів) сонячного випромінювання тощо.

Використання всього лише 0,0125% кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоднішні потреби світової енергетики, використання 0,5% – повністю покрити потреби на перспективу.

Класичні кремнієві сонячні елементи, які базуються на фотоелектричному методі перетворення енергії мають ряд недоліків, зокрема, висока собівартість сонячних фотоелементів і енергетичних станцій на їх основі, висока токсичність виробництва матеріалів для фотоелементів ("сонячного" кремнію, напівпровідників, що містять кадмій, арсен, селен, телур тощо.)

Одним з шляхів подолання цих недоліків є використання нових напівпровідникових органічних матеріалів та структур сонячних фотоелементів на основі гетеропереходів. Інтенсивні дослідження сонячних елементів на основі органічних матеріалів показують можливість збільшення ефективності перетворення енергії. Коефіцієнт корисної дії (ККД) органічних сонячних елементів стрімко зростає, на сьогодні досягнуто 5-7%. Можна зробити прогноз, що до 2050 року ККД органічних сонячних фотоелементів буде знаходитись в межах 15-20%.

Для створення тонких плівок з органічних матеріалів використовують нові низькотем-

пературні методи осадження, що дозволяє зберегти молекулярний склад матеріалу. На основі органічних матеріалів можливо створювати пристрої великої площі і на гнучких підкладках, що робить їх стійкими до механічних ушкоджень та не порушує їх функціонування при згинанні. Органічні напівпровідники також дозволяють значно змінити конфігурацію сонячних фотоелементів і зробити їх більш економічними, завдяки виробництву їх у вигляді тонких листів заданої площі. Для створення органічних фоточувливих елементів може бути використаний лазерний друк, оскільки цей метод є досить простим, не потребує великих енергозатрат і дозволяє "друкувати" пристрої на великих площах.

У майбутньому вдасться запуснути друкарські машини для виготовлення гнучких сонячних фотоелементів і це буде схоже на друк звичайних газет. Такі сонячні фотоелементи можуть бути як штори, що висять в будинках, з них навіть можна буде зробити тканину і носити як енергетичний одяг.

Найпростіша структура органічного фотоелементу складається з двох електродів (аноду та катоду) між якими знаходиться органічний напівпровідник в якості активного шару (рис.1). При поглинанні фотону активним матеріалом фотоелементу утворюється пара електрон-дірка (екситон). Після цього екситон рухається до електроду і дисоціює на вільні носії заряду, при чому електрони рухаються до катоду, а дірки до аноду (рис.2).

Без впливу сонячного випромінювання на структуру напівпровідникового фотоелементу його вольт-амперна характеристика (ВАХ) буде мати вигляд типовий для діода (рис.3а). Якщо фотоелемент піддати впливу світла, то ВАХ пристрою набуде іншого вигляду (рис.3б).

Останніми роками нами досягнуто значного успіху у реалізації органічних фотовольтаїчних пристроїв, розроблені технології формування та використання нових анодних електродів для створення органічних світло-випромінювальних пристроїв, розробленні

технології пасивації [1] органічних напівпровідникових приладів оптично прозорими неорганічними напівпровідниками; проводяться дослідження оптичних, структурних

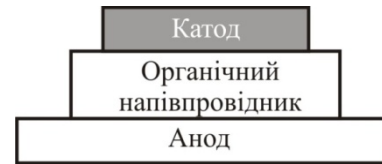


Рис. 1. Структура органічного фотоелементу.

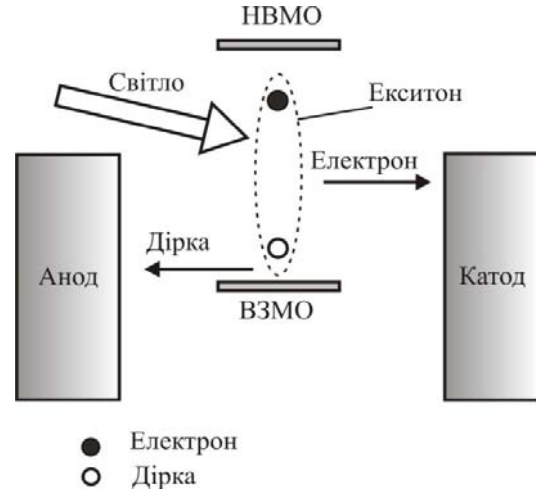


Рис. 2. Принцип роботи органічного сонячного елементу.

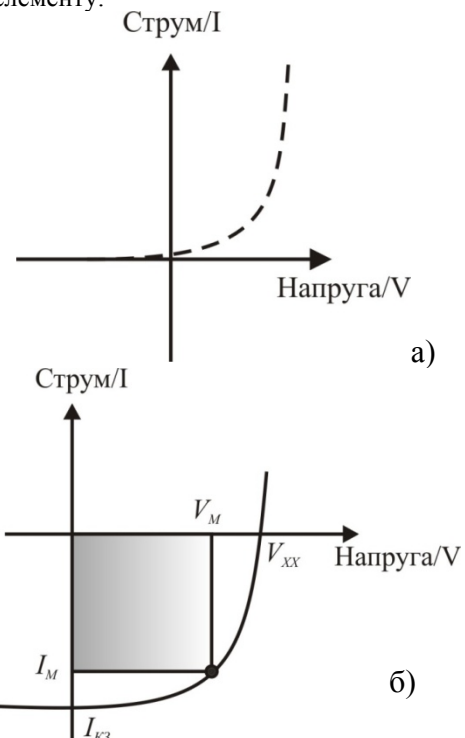


Рис. 3. Типова вольт-амперна характеристика фотоелементу в темноті (а) та під дією світла (б) (точка на рисунку (б) показує максимальну ефективність перетворення потужності  $P_M = I_M/V_M$ ).

та електрофізичних властивостей органічних плівок та структур, створені нові фоточутливі структури та дослідження нанорозмірні плівки органічних напівпровідникових матеріалів [2-4].

Так, нами вперше сформовано та досліджено органічні фоточутливі структури на основі органічного напівпровідника (фталоціаніну нікелю) на гнучких підкладках та проведено комплекс електрофізичних досліджень її параметрів [5]. Із вимірювань температурних залежностей вольт-амперних характеристик структури з'ясовано процеси, пов'язані з виникненням провідності в структурі в залежності від величини прикладеної напруги. Показано, що спектри поглинання та фоточутливості характеризуються двома чіткими піками 1.83 і 2.02 еВ. Також досліджені електрогенераційні характеристики бар'єрної структури ІТО/NiPc/Al під впливом аміаку. Показано, що зазначена структура здатна генерувати максимальну напругу і струму під дією аміачного середовища [6].

Поряд з альтернативними джерелами енергії йде пошук і розвиток органічної електроніки для інтегральної оптики - це світловипромінюючі пристрої, волоконно-оптичні системи, лазери, світловоди і різного роду системи обробки і передачі оптичної інформації.

Одним з найперспективніших напрямків інтегральної оптики, а саме джерел світла є органічні світловипромінюючі діоди (OLED) [7]. На відміну від неорганічного світлодіода, який представляє собою точкове джерело

світла, органічні світлодіоди - це плоскі панелі, які випромінюють світло рівномірно по всій поверхні. Спектр випромінювання органічних світлодіодів покриває практично всю видиму область спектру, забезпечуючи високий індекс передачі кольору і комфортне психофізичне сприйняття для людського ока.

Органічний світлодіод є напівпровідниковою, тонкоплівковою (~ 100 нм), багатшаровою структурою, яка складається з тонких шарів органічних матеріалів розташованих між двома електродами, випромінювання якої відбувається під дією електричного струму (рис.4б). Значними переваги органічних світлодіодів є можливість отримання світіння будь-якої форми та розміру, використання матеріалів, які не містять екологічно небезпечних складових та низьке енергоспоживання (1-3 В).

Вперше явище люмінесценції в органічному матеріалі було виявлено в 1963 році вченим Поупом, який продемонстрував органічну світлодіодну структуру на основі монокристалу антрацену. Проте справжній прорив в цій галузі відбувся в 1987 році, коли *C.W. Tang* и *S.A. VanSlyke* продемонстрували багатшарову органічну структуру на основі органічного низькомолекулярного напівпровідника тріхінолінат алюмінію ( $Alq_3$ ). Структура товщиною 100 нм досягла яскравості 1000 кд/м<sup>2</sup> при величині напруги ~10 В, а квантова ефективність становила ~ 1%.

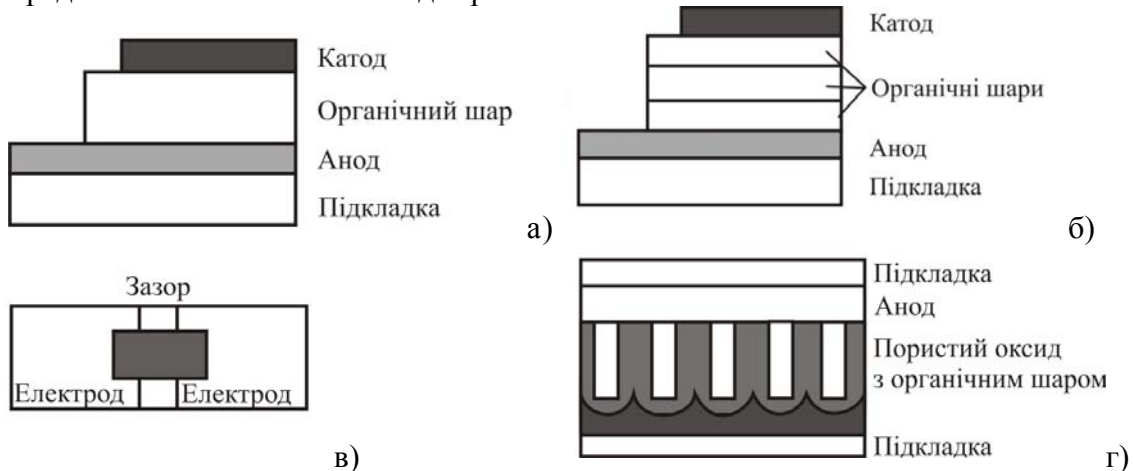


Рис. 4. Конструкції органічної електролюмінесцентної структури: одношарова (а), багатшарова (б), планарна (в), неоднорідна (г).

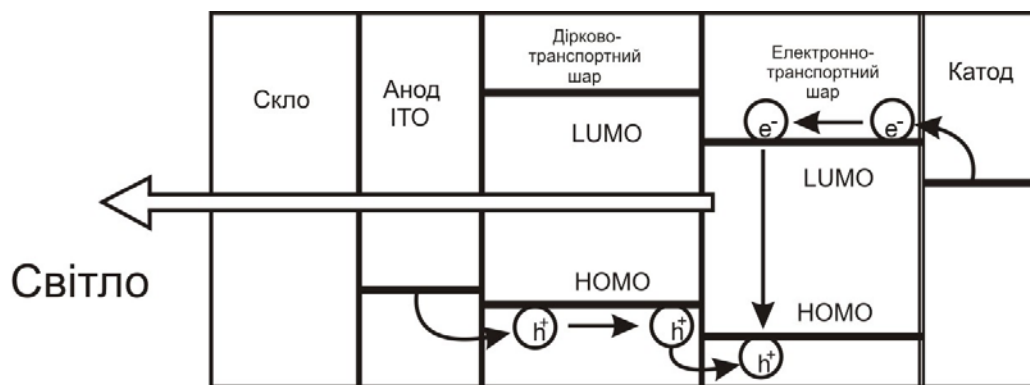


Рис. 5. Принцип дії органічного світлодіода.

На сьогоднішній день *OLED* реалізуються на основі одношарових, багатошарових, планарних і неоднорідних органічних структурах (рис.4).

При електричному живленні електрони і дірки інжектуються з катоду та аноду відповідно в органічну структуру, транспортуються до органічного світловипромінювального шару та рекомбінують, випромінюючи світло (рис.5). Для інжекції електронів використовуються метали з малою роботою виходу (Ca, Mg, Al). Для інжекції дірок – ІТО. В якості люмінесцентного шару використовують низькомолекулярні матеріали або спряжені полімери.

Яскравість свічення в імпульсному режимі досягає  $10^6$  Кд/м<sup>2</sup>. Умови функціонування органічних тонкоплівкових матеріалів в електролюмінесцентних діодах принципово відрізняється від звичайних умов дослідження цих матеріалів, що часто впливає на інтерпретацію результатів.

Як правило, існують альтернативні погляди на процеси що відбуваються в електролюмінесцентних комірках. Відомо, що для створення тонких плівок органічних матеріалів та формування на їх основі нових електролюмінесцентних структур використовуються хімічні та електрохімічні методи осадження, однак вони не завжди відповідають вимогам до електрофізичних параметрів, що обмежує їх застосування для створення електрооптичних елементів. Однією з основних причин є те, що в процесі виготовлення тонких шарів органічних матеріалів у них адсорбується значна кількість молекул розчинника і газів із повітря, що призводить до

створення в таких структурах значної концентрації неконтрольованих домішок, особливо біля межі розділу шарів. Наслідком цього є наявність значної концентрації центрів захоплення та рекомбінації носіїв заряду, а, отже, зниження ефективності електрооптичних перетворень. При цьому хімічні та електрохімічні технології часто несумісні з базовими технологічними процесами мікроелектроніки, тому виникла актуальна проблема розробки нових вакуумних технологій отримання нанорозмірних плівок органічних матеріалів, необхідних для електролюмінесцентних елементів. Крім того для ефективної електролюмінесценції та безперебійної роботи *OLED* необхідно запропонувати нові більш досконалі органічні матеріали, що б виконували функції інжекційних, транспортних плівок, метал-органічних інтерфейсних прошарків. Водночас існує доцільність створення нових структур на основі органічних нанорозмірних плівок та неорганічних матеріалів для електролюмінесцентних елементів мікроелектроніки.

Поряд з унікальними властивостями та перевагами, органічні світлодіоди мають і ряд істотних недоліків, а саме, малий час життя пов'язаний з деградацією органічних матеріалів під впливом зовнішнього середовища [7]. Серед трьох базових кольорів, сині світлодіоди характеризуються найнижчою струмовою та квантовою ефективністю. Ціна органічних матеріалів є досить високою (може становити більше 200 євро за 10 мг). Основні причини швидкої деградації світловипромінюючих пристроїв на основі низько-

молекулярних сполук є хімічні реакції з електродами, проникнення газів в структуру пристрою (кисню, вуглекислого газу тощо), невірноваження носіїв заряду в структурі, струмове перенасичення, та ін. На наш погляд, одним із перспективних способів запобігання швидкій деградації є використання нових функціональних шарів які, крім основної функції (транспорт, інжекція, випромінювання та ін.), будуть володіти окисаційними властивостями.

Також подальшому прогресу у цій галузі, в значній мірі, сприяє пошук і синтез нових матеріалів (органічних та неорганічних), що виконують функції інжекції електронів та дірок з електродів *OLED* в область рекомбінаційного шару. Використання таких шарів між електродами та світловипромінюючим шаром дає можливість отримати електролюмінісцентні прилади з покращеними світловими характеристиками. Зокрема, показано ефективність діркових інжекційних шарів на основі плівок флалоціанінів, політіофена, *PEDOT*, поліаніліну, металів з високою роботою виходу тощо.

Нами показано, що використання високотеплопровідних аморфних оптично прозорих напівпровідникових плівок йодиду міді приводить зменшення керуючої напруги світловипромінюючих пристроїв, на основі чого створені нові структури світло діодів [8, 9]. Покращення ефективності *OLED* при зростанні товщини плівки  $\text{CuI}$  від 0 до 12 нм, від  $3000 \text{ кд/м}^2$  до  $4000 \text{ кд/м}^2$  відповідно при густині струму  $20 \text{ мА/см}^2$  можна пояснити встановленням балансу між інжекттованими електронами з алюмінієвого катоду та дірками з аноду (ІТО) і віддалення зони рекомбінації носіїв заряду від інтерфейсу ІТО електроду, що приводить до зменшення безвипромінювальних переходів [8].

Відомо, що сполуки з просторово екранованим фенолом широко застосовуються у промисловості як антиоксиданти. Логічно припустити, що похідні піразоліну з включеннями екранованого фенолу в 5 позиції піразолінового циклу, при використанні в якості транспортних шарів в *OLED* дасть

зможу мінімізувати деградацію приладів під впливом кисню. Нами синтезовано новий 1,3-дифеніл-5-(4-гідрокси-3,5-ди-трет.-бутилфеніл)-2-піразолін (HPhP), в якому поєднано в одній структурі піразолін як люмінісцентний і транспортний шар та просторово екранований фенол як антиоксидант. З метою розробки методів підвищення ефективності світловипромінюючих елементів на основі органічних матеріалів для пристроїв мікроелектроніки, досліджувалися структурні, оптичні та електричні властивості плівок HPhP, сформованих методом термовакуумного напилення та порівнювалися електролюмінісцентні та деградаційні властивості *OLED* структури. Показано, що наявність екранованого фенолу в *HIL* сповільнює деградаційні процеси в *OLED* приладі, за рахунок утворення стабільного радикалу, що уповільнює процеси деградації ОЛЕДІв зумовлених окисленням  $\text{Alq}_3$  [10].

Останнім часом активно ведеться дослідження по можливості використання похідних карбазолів в якості електролюмінісцентних матеріалів в синій області спектру. Як відомо, в структурах на основі широкозонних органічних напівпровідників, зокрема, карбазолів проблема ефективної інжекції носіїв заряду (електронів та дірок) в активний шар приладу. Крім того, більшість таких матеріалів є недостатньо морфологічно і термостабільні. Нам вперше вдалось збудити синю електролюмінісценцію в плівці похідної карбазолів. Встановлено, що спектр електролюмінісценції лежить у ближній ультрафіолетовій та синій області спектру і характеризується наявністю двох чітко виражених вузьких, характерних для спектрів фотолімінісценції. Створені прилади на основі даного матеріалу характеризуються покращеними світло випромінюючими властивостями, зокрема, високою струмовою ефективністю  $11,5 \text{ кд/А}$ , яскравістю  $1800 \text{ кд/м}^2$ , зовнішнім квантовим виходом електролюмінісценції  $1,72 \%$  [11].

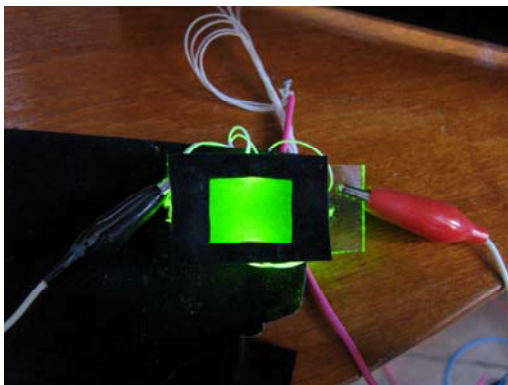
Одним з пріоритетних напрямків органічної електроніки є застосування рідкокристалічних матеріалів (РК), які вперше відкриті у 1961 році у Львівському університеті проф.

Ю. Планером. Вони широко застосовуються як оптично активні середовища сучасних пристроїв відображення та обробки інформації як дисплеї із великою діагоналлю, так дисплеї для портативних пристроїв відображення інформації та табло типу "біжучої стрічки".

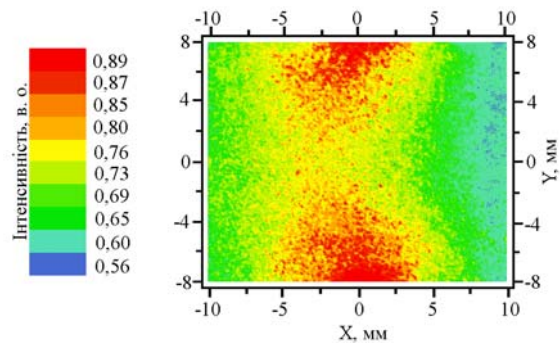
Аналізуючи сучасні тенденції розвитку ринку та науково-технічних досліджень найбільш перспективними серед РК матеріалів можна вважати матеріали з надмолеку-

лярної структурою, та системи рідкий кристал – нанорозмірні домішки.

Досліджено розподіл інтенсивності розсіювання світлового випромінювання в оптичному елементі з планарною системою введення безпосередньо в нижню скляну пластину (рис.6-8). Випромінювання вводиться за допомогою світлодіодів, розташованих по периметру. Встановлено закономірності між розташуванням джерел випромінювання та розподілом інтенсивності в

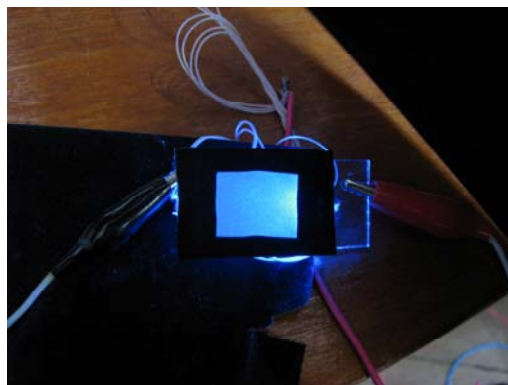


а)

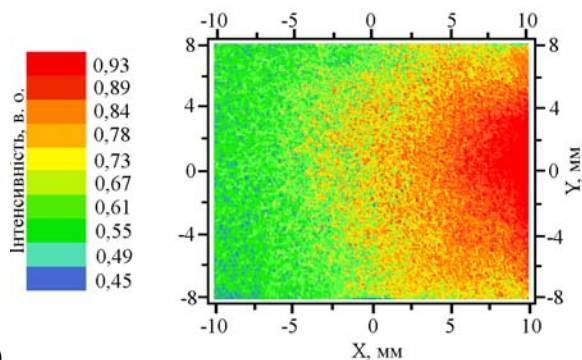


б)

Рис. 6. Зовнішній вигляд кольорового оптичного елемента (а) та розподіл інтенсивності (б) під час відтворення зеленого кольору.

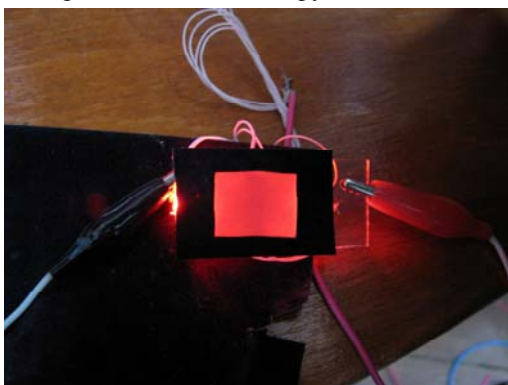


а)

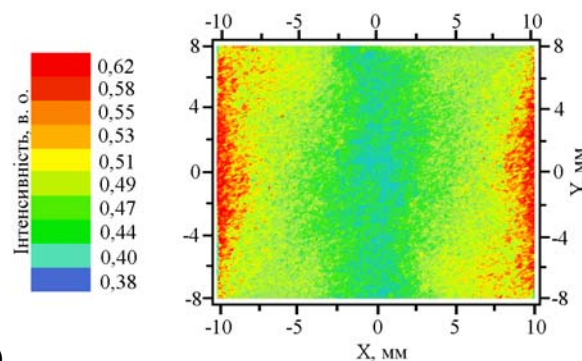


б)

Рис. 7. Зовнішній вигляд кольорового оптичного елемента (а) та розподіл інтенсивності (б) під час відтворення синього кольору.



а)



б)

Рис. 8. Зовнішній вигляд кольорового оптичного елемента (а) та розподіл інтенсивності (б) під час відтворення червоного кольору.

елементі. Показано, що застосування світлодіодів, розташованих по периметру нижньої світловодної пластини, для оптичного елемента розміром  $20 \times 16 \text{ мм}^2$  призводить до падіння інтенсивності від максимального до мінімального значення в межах 37...52%. Застосування ж світловодної системи "змішування" та введення випромінювання в оптичний елемент забезпечує однорідніший розподіл інтенсивності, падіння значення якої з одного кінця до іншого, для одностороннього введення в такий оптичний елемент, становить 13...20%.

Крім цього, висока чутливість цих матеріалів до різноманітних зовнішніх впливів та можливість керування їхніми оптичними властивостями за допомогою зовнішніх електричних і магнітних полів, дозволяє на їх основі створювати цілу гамму елементів пристроїв органічної електроніки.

Чутливість РК матеріалів до зовнішніх факторів покладена в основу створення сенсорів фізичних величин, що дозволяють визначати такі параметри як температура, тиск, вологість, величини зовнішніх електричних, магнітних та акустичних полів. РК матеріали є чутливими до дії отруйних газів, таких як  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  та ін. На рис.9,10 показані конструкції сенсорів шкідливих речовин.

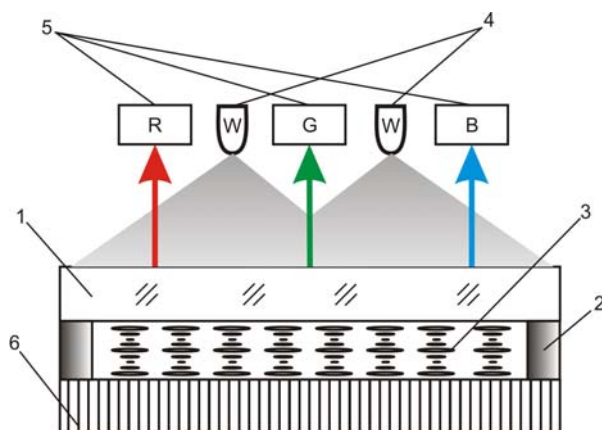


Рис. 9. Схематичне зображення сенсора шкідливих речовин на основі холестеричного рідкого кристала: 1 – скляні пластини, 2 – спейсер, 3 – холестеричний рідкий кристал, 4 – світлодіоди білого світла, 5 – фотодіоди базових кольорів (R – червоний, G – зелений, B – синій), 6 – пориста підкладка.

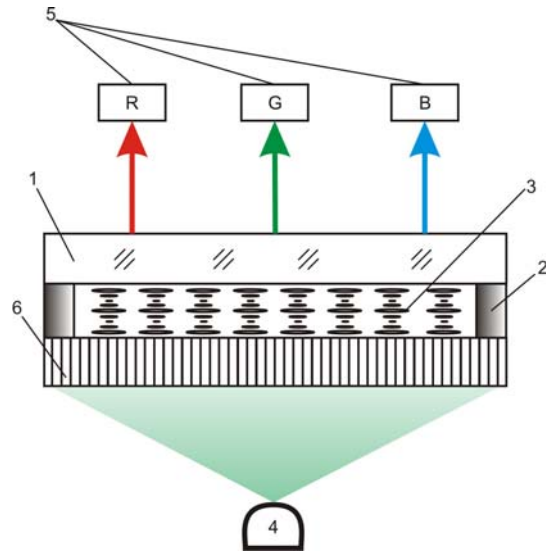


Рис. 10. Схематичне зображення сенсора шкідливих речовин на основі лазера на холестеричному рідкому кристалі: 1 – скляні пластини, 2 – спейсер, 3 – суміш холестеричного рідкого кристала з барвником, 4 – джерело накачки, 5 – фотодіоди базових кольорів (R – червоний, G – зелений, B – синій), 6 – пориста підкладка.

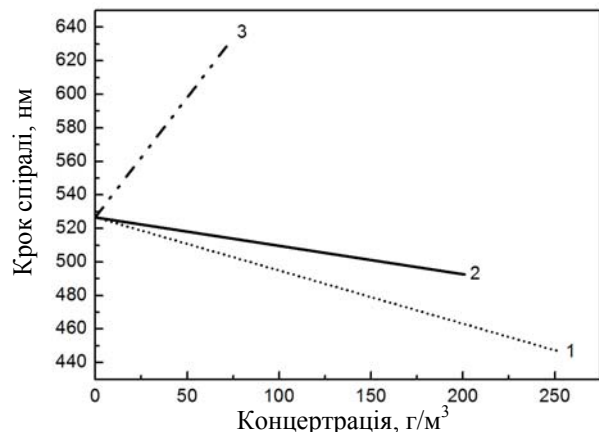


Рис. 11. Залежність кроку спіралі від концентрації пари шкідливих речовин, які контактують з холестериком: 1 – ацетон, 2 – етанол, 3 – аміак. Час контактування сенсора з парою шкідливих речовин 20 с при температурі  $37^\circ\text{C}$ .

На рис.11 показано залежність кроку спіралі від концентрації пари ацетону, етанолу та аміаку, які контактують з РК.

РК матеріали використовуються як активні середовища оптоелектронних пристроїв, таких як модулятори, дефлектори, розгалужувачі тощо [12]. Розглядаючи не лише галузь електроніки слід відмітити створення систем підвищення контрасту на основі РК матеріалів для біомедичних досліджень.

Висока чутливість РК матеріалів до зовнішніх чинників дозволила розробити на їх основі цілий ряд експрес систем моніторингу довкілля [13-15].

РК технології тісно переплітаються із сучасними мікроелектронними та оптоелектронними технологіями. Це дає можливість створювати нові пристрої передачі та обробки оптичної інформації, такі як оптичні світловоди із електрокерованими параметрами, оптичні процесори та розгалужувачі (рис.12,13) [16-19].

Перспективним на сьогодні є застосування РК технологій у поєднанні із іншими базовими технологіями мікроелектроніки та в поєднання із технологіями плазових екранів та електрохромних систем. Нами розроблені принципово нові системи відображення інформації (рис.14) [7,20,21].

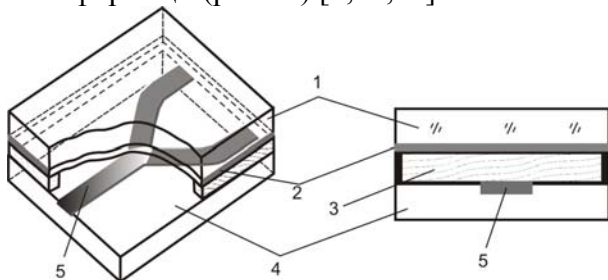


Рис. 12.Схема інтегрального мікроелектронного твердотілого розгалужувача: 1 – пластина, 2 – провідний шар, 3 – рідкокристалічна суміш, 4 – кремнієва пластина, 5 – тонкоплівкові транзистори з електродами.

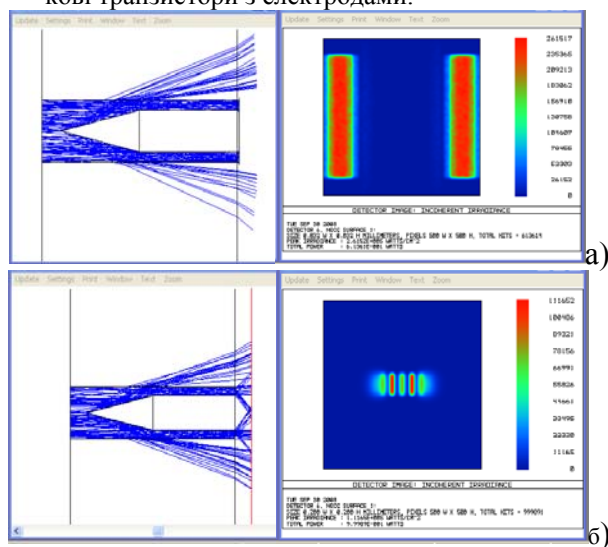


Рис. 13. Оптичний розгалужувач на базі планарної мікроелектронної структури з РК серцевиною з приймачем (а - відстань до приймача 0,001 мм, б - відстань до приймача 0,01 мм).

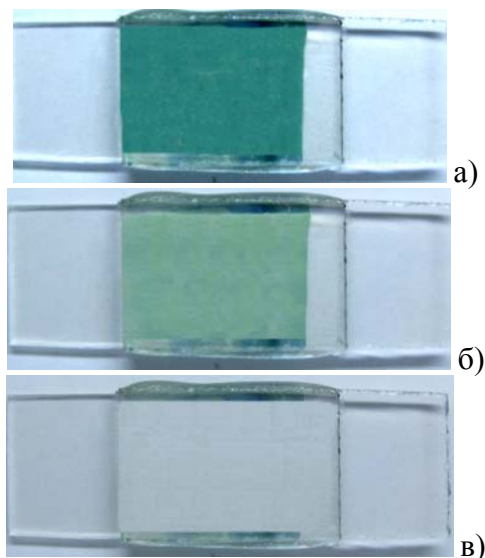


Рис. 14. Світлина електрохромного оптичного елемента під дією керуючої напруги: а)  $U=+6$  В, б) перехідний стан, в)  $U=-6$  В.

Інтерес до використання і дослідження РК матеріалів викликаний також і тим що РК стан речовини це фактично стан в якому знаходяться практично всі рідини біологічних організмів. Тому дослідження РК матеріалів з боку закономірностей формування мезофази у поєднанні їх впорядкуванням зовнішніми полями в перспективі може стати базою для розробки технологічних процесів елементів молекулярної електроніки. Тобто систем функціональне призначення яких визначатиметься взаємним розташуванням окремих органічних молекул, кластерів. Це є шлях не тільки створення нових систем відображення інформації але і нових методів дослідження стану людського організму і лікування.

РК матеріали в основному використовуються як моделююче світло середовище. Перспективне є створення на основі РК монохроматичних джерел випромінювання. Це дасть можливість створення принципово нових пристроїв органічних РК систем джерело світла – обробка оптичної інформації і представлення інформації.

Перспективним є створення на основі РК монохроматичних джерел випромінювання. Це дасть можливість створення принципово нових пристроїв відображення інформації із високою яскравістю та контрастом (рис.15,16).

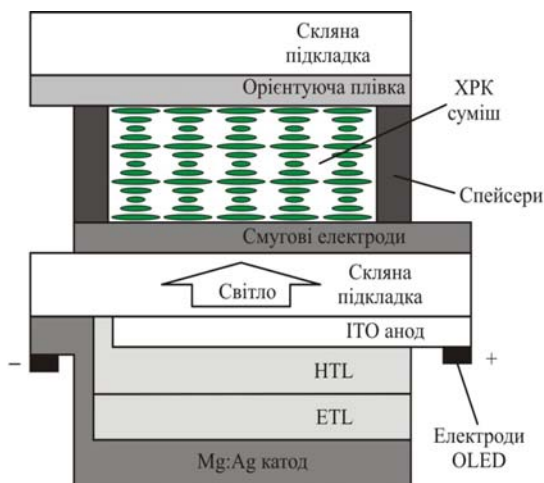


Рис. 15. Модель лазера на основі структури XPX та OLED.

Перспективними серед РК матеріалів є також матеріали з надмолекулярної структурою і системи рідкий кристал – нанорозмірні домішки. Тобто поєднання рідкокристалічних структур з нанотехнологіями для оптико-інформаційних структур дасть в майбутньому можливо перейти до керування на молекулярному рівні, що поряд із світлопромінюючими структурами, молекулярними носіями передачі, обробки оптичної інформації, дозволить наблизитись до унікальних можливостей створення штучного інтелекту людини, про що в 1982 році визначний польський письменник львів'янин Станіслав Лем написав "Будь-який матеріальний предмет – це всього лише накопичення атомів у просторі. Те, як ці атоми зібрані в структуру, визначає, що це буде за предмет. І ми тільки диригуємо оркестром із цих атомних структур. Цей оркестр існував із створенням світу і лише чекає, коли з'явиться диригент".

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hotra Z.Y., Stakhira P.Y., Grygorchak I.I. et al. Long time stability of ITO/NiPc/ZnO/Al devices with ZnO buffer layer formed by atomic layer deposition technique - impedance spectroscopy analysis // *Materials Science and Engineering B*. – 2010. – **172**. – P.272-275.
2. Hotra Z., Stakhira P., Cherpak V. et al. Growth properties of conducting polyaniline thin films obtained by means of ionic sputtering in crossed electrical and magnetic fields // *Rev. Adv. Mater. Sci.* – 2010. – **23**. – P.180-184.
3. Hotra Z., Cherpak V., Stakhira P. et al. Vacuum-deposited poly(o -methoxyaniline) thin films: Structure and electronic properties // *Journal of Non-*

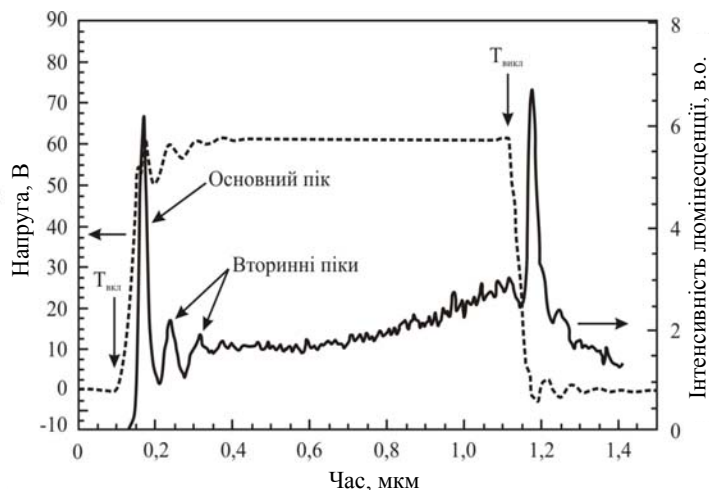


Рис. 16. Світловий відгук OLED на прямокутний імпульс напруги.

*Crystalline Solids*. – 2008. – **354**. – P.4282-4286.

4. Hotra Z., Stakhira P., Cherpak V. et al. Properties of flexible heterojunction based on ITO/poly (3,4- ethylenedioxythiophene): poly (styrenesulfonate)/ pentacene/Al // *Non-Crystalline Solids*. – 2008. – **354**. – P.4491-4493.
5. Готра З.Ю., Стахіра П.Й., Черпак В.В. та ін. Технологічні особливості формування фоточутливих органічних гетеропереходів методом вакуумного напылення // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2007. – **28**(3,4). – С.25-28.
6. Готра З.Ю., Черпак В.В., Стахіра П.Й. та ін. Вивчення бар'єрних структур на основі тонких плівок фталоціаніну нікелю при взаємодії з газовим середовищем аміаку // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Електроніка. – 2008. – **619**. – С.37-41.
7. Готра З., Зелінський Р., Микитюк З. та ін. Рідкокристалічна електроніка. – Львів: "Апріорі", 2010. – 532 с.
8. Hotra Z., Stakhira P., Cherpak V. et al. Characteristics of organic light emitting diodes with Copper iodide as injection layer // *Thin Solid Films*. – 2010. – **518**. – P.7016-7018.
9. Luka G., Stakhira P., Cherpak V. et al. The properties of tris "8-hydroxyquinoline aluminum organic light emitting diode with undoped zinc oxide anode layer // *Journal of Applied Physics*. – 2010. – **108**. – P.064518-1 064518-4.
10. Hotra Z., Cherpak V., Stakhira P. et al. Properties of 2,6-di-tert.-butyl-4-(2,5-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrazol-3-yl)-phenol as hole-transport material for life extension of organic light emitting diodes // *Optical Materials*. – 2011. – **33**. – P.1727-1731.
11. Grazulevicius J.V., Hotra Z.Yu., Cherpak V.V. et al. 3,6-di(9-carbazolyl)-9-(2-ethylhexyl)carbazole based single-layer blue organic light emitting diodes // *Synthetic Metals*. – 2011. – **161**. – P.1343-1346.
12. Фечан А.В. Елементи оптоелектроніки на основі рідкокристалічних матеріалів. – Львів: Видавниц-

- тво Львівської політехніки, 2010.
13. Пат. 50345 Україна. Спосіб виготовлення планарного оптичного підсилювача / Готра З.Ю., Микитюк З.М., Фечан А. В. та ін.; заявник Національний університет "Львівська політехніка". – №11829/1; заяв. 20.07.2009., опубл. 10.06.10, Бюл. № 11.
14. Пат. 51231 Україна. Спосіб виготовлення первинного перетворювача для сенсорів шкідливих речовин / Готра З.Ю., Микитюк З.М., Фечан А.В. та ін.; заявник Національний університет "Львівська політехніка". – № 7798/1; заяв. 28.12.2009., опубл. 12.07.10, Бюл. №13.
15. *Hotra Z., Mykytyuk Z., Fechan A. et all.* The field stabilization of optic-active medium of harmful substances sensors // *Elektronika*. – 2010. – No.6. - P.162-163.
16. Пат. 41105, Україна, МПК(2006) G02F 1/13. Спосіб виготовлення рідкокристалічного пристрою / Готра З.Ю., Микитюк З.М., Фечан А.В. та ін. заявник Національний університет "Львівська політехніка". - №133/1; заяв. 14.10.2008., оп. 12.01.09., Бюл. №9.
17. *Mykytyuk Z., Fechan A., Sushynsky O. et all.* The current phenomenon in the Indium-Tin Oxide-Alignment layer-liquid crystal structure // *Acta Physica Polonica*. – 2010. – **117**(1). – P.248-250.
18. *Mykytyuk Z., Fechan A., Shymchyshyn M. et all.* Study of elastic constants of Cholesteric-Nematic mixtures // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2008. – **493**. – P.3-16.
19. *Микитюк З.М., Фечан А.В., Сушинський О.Є. та ін.* Характеристики розсіювання індукованих холестериків з домішками наночастинок // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – 2010. – №2. – С.127-133.
20. *Hotra Z., Mykytyuk Z., Hotra O. et all.* The Cholesteric-Nematic Transition in thin layers of Nematic-Cholesteric mixtures // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. – **534**. – P.32-40.
21. *Hotra Z., Mykytyuk Z., Fechan A. et all.* Method for determining of threshold voltages of Cholesteric-Nematic transition. mixtures // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. – **535**. – P.225-232.