

---

---

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

---

---

УДК 535.394

З.Ю. ГОТРА<sup>1</sup>, Л.Ю. ВОЗНЯК<sup>1</sup>, М.В. ВІСЬТАК<sup>2</sup>

### СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧІ ДІОДИ СИНЬОГО КОЛЬОРУ НА ОСНОВІ НАНОРОЗМІРНИХ ШАРІВ ФТАЛОЦІАНИНУ НІКЕЛЮ

<sup>1</sup>Львівська політехніка

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна,

E-mail: hotra@polynet.lviv.ua, tel: +38-032-2582162

<sup>2</sup>Львівський національний медичний університет ім. Д.Галицького,

79010, вул. Пекарська, 69, Львів, Україна

**Анотація:** В роботі досліджувався вплив дірково-транспортного шару фталоціаніну нікеля (NiPc) на покращення світловипромінюючих параметрів органічного світлодіода (OLED) на основі похідного піразоліну HPhP. З цією метою було проведено порівняння вольт-амперних та яскравісних характеристик структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al. Показано, що введення дірково-транспортного шару NiPc приводить до збільшення яскравості світіння. Розроблені структури OLED може бути використана в біомедицині як ергономічні джерел світла синього кольору.

**Анотация:** В работе исследовалось влияние дырочной-транспортного слоя фталоцианина никеля (NiPc) на улучшение светоизлучающих параметров органического светодиода (OLED) на основе производного пиразолина HPhP. С этой целью было проведено сравнение ВАХ и яркостных характеристик структур ITO/HPhP/Ca/Al и ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al. Показано, что введение дырочной-транспортного слоя NiPc приводит к увеличению яркости свечения. Разработанные структуры OLED могут быть использованы в биомедицине как эргономичные источники света синего цвета.

**Abstract:** The influence of the hole transport layer nickel phthalocyanine (NiPc) on the organic light-emitting diodes (OLEDs) performance was shown. Current density – voltage and luminance – voltage characteristics of fabricated structures were compared. Fabricated OLED structures with blue emission can be used for biomedicine application as ergonomic blue light sources.

**Keywords:** OLED, фталоціанін нікелю, піразолін.

#### ВСТУП

Сучасний рівень розвитку технологій органічних світловипромінюючих діодів (OLED) уможливує їхнє ефективне застосування в біології та медицині. Використання синіх OLED і люмінесцентних молекул - "маркерів" в системах медичної діагностики є надзвичайно актуально з точки зору їхньої екологічної привабливості [1]. Слід зауважити, що в порівнянні із неорганічними світловипромінюючими діодами та люмінесцентними лампами вони мають ряд переваг, зокрема, можливість отримувати однорідне світіння будь-якої форми на великій площі, а також відсутністю екологічно небезпечних складових (таких як пара ртуті в люмінесцентних лампах та важких металів у неорганічних світлодіодах). Крім того, розвиток високоефективних органічних світлодіодів синього кольору привертає особливу увагу, оскільки їхні характеристики на сьогодні поступаються аналогам зеленого та червоного кольорів [2]. Тому розроблення та підвищення ефективності органічних світлодіодів зі спектром випромінювання в синій області є актуальною задачею.

В цьому контексті, використання похідних піразоліну (HPhP) (рис.1) у технології створення OLED є перспективним, оскільки вони мають хороші люмінесцентні та електрофізичні властивості, а також високу стабільність.

В даній роботі розглядається можливість покращення світловипромінюючих параметрів шляхом введення в конструкцію OLED дірково-транспортного шару [3] фталоціаніну нікеля (NiPc) (рис.1), оскільки серед різноманітності органічних напівпровідникових сполук NiPc характеризується найвищою дірковою рухливістю ( $\sim 1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{c}$ ) в порівнянні з іншими фталоціанінами металів, а також є хімічно інертний та термостійкий [4], що робить його привабливим для формування плівок з застосуванням термічного нанесення.

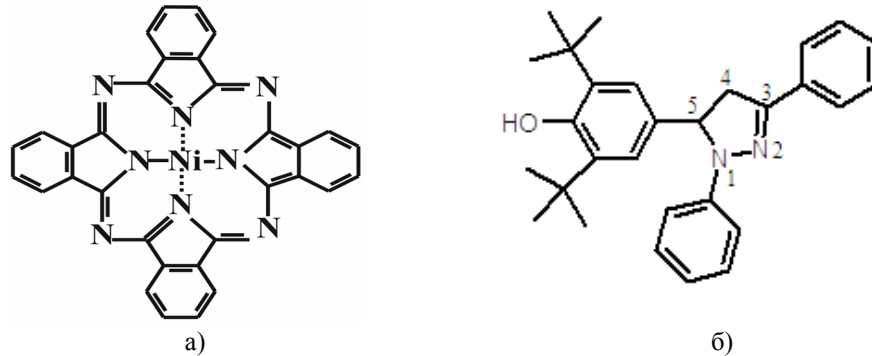


Рис. 1. Хімічні формули фталоціаніну нікелю (а) і похідної піразоліну HPhP (б)

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Світловипромінювальні структури ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al (рис.2) виготовлялася методом вакуумного нанесення в одному технологічному циклі в наступній послідовності: на скляній підкладці з електропровідним оптично прозорим покриттям ITO у вакуумі  $< 10^{-3}$  Па пошарово створювали плівки NiPc (7 нм), HPhP (30 нм), та кальцієво-алюмінієвий електрод (200 нм).

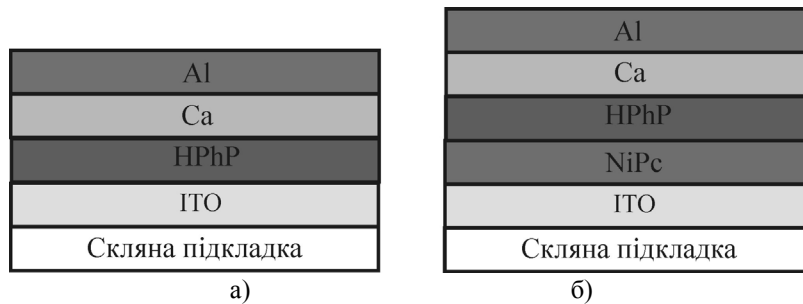


Рис. 2. Схематичне зображення OLED систем ITO/HPhP/Ca/Al (а) та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al (б)

Вольт-амперні та яскравісні характеристики розроблених структур досліджувались за допомогою Programmable Test Power LED300E. В процесі вимірювання яскравості структур знімали інтенсивність випромінювання структури за допомогою каліброваного фотодіода в інтегрованій сфері (діаметром 25 см), після чого порівнювали отриману інтенсивність з інтенсивністю близькою за параметрами зразкового джерела світла.

Спектри електролюмінесценції розроблених структур досліджувались за допомогою спектрометра HAAS-2000 та інтегруючої сфери ( $d=0,3$  м). Для структур на основі HPhP як світловипромінювального шару характерним є електролюмінесценція синього кольору з максимумом спектра випромінювання 445 нм.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Вплив дірково-інжекційного шару NiPc на світловипромінювальні параметри був досліджений на основі порівнянь вольт-амперних та яскравісних характеристик структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al.

Згідно аналізу енергетичної діаграми світловипромінювальної структури ITO/HPhP/Ca/Al (рис. 3), енергетичний бар'єр між ITO та HPhP становить 1 еВ, який утруднює інжекцію дірок в світловипромінювальний шар. Введення транспортного шару NiPc понижує енергетичний потенціальний бар'єр для дірок [5], що і забезпечує збільшення концентрації інжекттованих дірок у світловипромінювальний шар HPhP. Крім того, діркова рухливість NiPc сприятиме балансуванню діркового та електронного струмів в структурі.

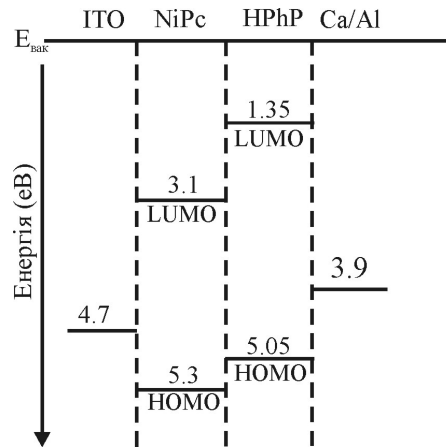
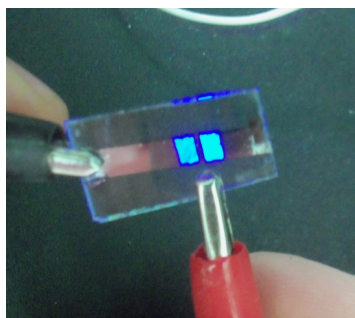
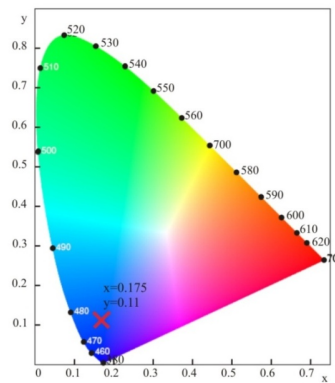


Рис. 3. Енергетична діаграма світловипромінювальної структури ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al



а)



б)

Рис. 4. Світлина світловипромінювальної структури ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al (а) та її колірна діаграма CIE (б)

Для розробленої світловипромінювальної структури отримані значення кольорових координат  $x=0,175$ ,  $y=0,11$  та кольорова температура  $T_c > 10000\text{K}$ , які відповідають синьому кольору свічення (рис. 4).

Вольт-амперні характеристики світловипромінювальних структур ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al та ITO/HPhP/Ca/Al наведено на рис.5. Введення транспортного шару NiPc у органічну світловипромінювальну структуру приводить до зменшення порогової напруги свічення з 7,5 до 6,2 В (рис.5) за рахунок пониження потенціального бар'єру для дірок [5, 6].

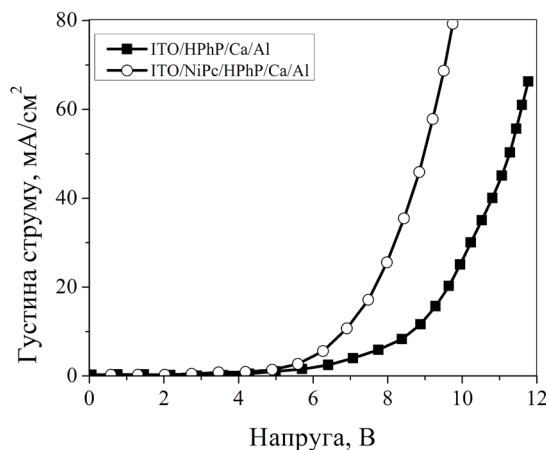


Рис.5. Вольт-амперна характеристика світловипромінювальних структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al

Порівняльний аналіз вольт-амперних характеристик структур ITO/HPhP/PEGDE/Al та ITO/NiPc/HPhP/PEGDE/Al (рис.5) показав, що наявність транспортного шару NiPc призводить до зменшення степеневого показника залежності струму від напруги при вищих значеннях напруги від 5.3 до 4.9. Це, згідно з [7], ймовірно відбувається за рахунок перерозподілу просторового заряду в структурі,

та пониження потенціального бар'єра для дірок, які інжектуються в шар HPhP. До того ж концентрація пасткових центрів на межі розділу NiPc/HPhP є меншою від концентрації на межі ITO/HPhP.

Яскравісні характеристики досліджуваних структур наведені на рис.6. Наявність транспортного шару NiPc підвищує яскравість від 380 кд/м<sup>2</sup> до 850 кд/м<sup>2</sup>, при напрузі 10 В, що частково можна пояснити покращенням збалансованості концентрацій інжекттованих носіїв заряду (дірок та електронів) в світловипромінювальному шарі HPhP [5].

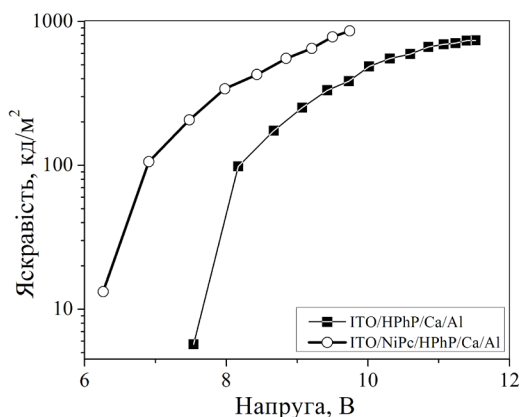


Рис. 6. Яскравісна характеристика структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al

### ВИСНОВКИ

Отже на основі проведених експериментальних досліджень можна зробити висновок що модифікування світловипромінювальної структури ITO/HPhP/Ca/Al нанорозмірною плівкою NiPc сприяє балансуванню носіїв заряду (дірок та електронів) у світловипромінювальному шарі, HPhP що покращує його максимальну люмінесцентну яскравість з 380 кд/м<sup>2</sup> до 850 кд/м<sup>2</sup> при напрузі 10 В. Отримані значення яскравості розробленого OLED є конкурентноздатними з точки зору їхнього використання в біомедицині, як ергономічних джерел світла синього кольору.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Biomaterials-based electronics: polymers and interfaces for biology and medicine /M. Muskovich, C.J. Bettinger //Advanced healthcare materials.-2012- vol.1. – P. 248–266.
2. Organic small molecule materials for organic light-emitting diodes / N. Herron // Organic Light-Emitting Materials and Devices. – CRC Press. – 2007.
3. Improved performance of organic light-emitting diodes using advanced hole-transporting materials / S.-H. Hwang // Synthetic Metals. – 2009. – vol. 159. – P. 2578–2583.
4. Improved performance of organic light-emitting diodes using a metal-phthalocyanine hole-injection layer / P.-C. Kao // Journal of The Electrochemical Society. – 2006. - vol 153. – P. H122-H126.
5. Органічні напівпровідникові структури OLED на основі Alq<sub>3</sub> з транспортним шаром NiPc / З.Ю. Готра, Д. Ю. Волинюк, Л.Ю. Возняк, Костів Н.В. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Електроніка. – 2010. – № 681. – С.108-112.
6. Пат. на корисну модель № 58198 МПК (2011) H01L 33/26. Спосіб виготовлення світлодіоду на основі органічного напівпровідникового матеріалу // Автори: Готра З.Ю., Стахіра П.Й., Черпак В.В., Волинюк Д.Ю., Возняк Л.Ю., Костів Н.В. Номер заявки u 2010 09621, заяв. 02.08.2010, опубл. 11.04.2011, Бюл.№7
7. Koch N. Organic electronic devices and their functional interfaces / N. Koch // A European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry. – 2007. – vol. 8. – P. 1438 – 1455.

Надійшла до редакції 10.11.2013р.

**ГОТРА ЗЕНОН ЮРІЙОВИЧ** – д.т.н., професор, завідувач кафедри електронних пристроїв Національного університету "Львівська політехніка", Львів, Україна.

**ВІСЬТАК МАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА** – к.ф.-м.н., доцент кафедри біофізики Львівського національного медичного університету ім. Д.Галицького, Львів, Україна.

**ВОЗНЯК ЛЕСЯ ЮРІЇВНА** – к.т.н., асистент кафедри електронних приладів Національного університету "Львівська політехніка", Львів, Україна.