

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук, професору Яремчук І.Я.

РЕЦЕНЗІЯ

професора кафедри напівпровідникової електроніки Навчально-наукового
інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки

Національного університету «Львівська політехніка»

доктора технічних наук, професора

Бурого Олега Анатолійовича

на дисертаційну роботу **Куція Степана Андрійовича:**

**«Розроблення білих світловипромінюючих структур на основі синіх
флуоресцентних та ексиплексоутворюючих органічних емітерів»**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань

17 «Електроніка та телекомунікації» зі спеціальності 171 «Електроніка»

Актуальність теми дисертації. Поява на світовому ринку світлотехніки, систем освітлення на основі білих органічних світлодіодів (WOLED) насамперед зумовлена низьким енергоспоживанням. Так робоча густина струму через органічний прилад зазвичай становить десятки мА/см², і тим унеможлиблює істотний розігрів структури та усуває необхідність встановлення охолоджувальних радіаторних систем, це створює передумови комерційного виготовлення дизайну поверхні стель та стін, які випромінюють світло. Зазначимо також, що WOLED панелі можна формувати на гнучкій підкладці, а їхня висока світловіддача не поступається галогенним лампам. Існують також потенційні можливості інтегрування WOLED-структури в інтелектуальні системи. Необхідно також зазначити про відсутність шкідливих матеріалів у конструкції WOLED-освітлювальних систем, їхню екологічність і простоту утилізації. Для WOLED можна задіяти багато різноманітних функціональних матеріалів виготовлення, серед яких надзвичайно

перспективними є одномолекулярні та міжмолекулярні (ексиплексні) високоефективні світловипромінюючі матеріали. Їм властивий механізм довготривалої термічно активованої флуоресценції (TADF). На відміну від звичайної, швидкої флуоресценції, характерною особливістю сповільненої флюоресценції є те, що перед випромінюванням кванта світла, молекула деякий час перебуває в триплетному стані. Такі молекули характеризуються малою величиною енергетичної щільності між нижчими збудженими синглетним і триплетним станами (S_1 і T_1). Отже, в TADF матеріалах енергія триплетних екситонів може проявлятися у вигляді емісії через термічно активований синглетний стан (S_1). Використання в технології WOLED випромінювачів з внутрішнім та міжмолекулярним ексиплексом створює передумови до спрощення структури органічного світловипромінюючого приладу, що, в свою чергу, забезпечує високу експлуатаційну стійкість та високу енергетичну ефективність (понад 100 лм/Вт). Однак, налаштування спектру такого типу WOLED (в якому об'єднані червоні, зелені і сині емітери) до природного світла є непростим завданням. Концептуально створення WOLED з мінімальною кількістю функціональних шарів базується на ідеї, що допоміжні транспортні шари крім транспортних властивостей повинні бути здатними до випромінювання видимого світла та разом з тим повинні мати функціональну можливість утворювати ексиплекси на інтерфейсі. У цьому контексті дисертація спрямована на розроблення білих світловипромінювальних структур на основі синіх та ексиплексоутворюючих органічних емітерів за рахунок архітектури пристрою і є актуальною науково-практичною роботою.

Ступінь обґрунтованості та достовірності основних наукових положень, висновків і рекомендацій. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів роботи забезпечені коректністю постановки задач, співставленням одержаних результатів із результатами, опублікованими в наукових працях інших дослідників, коректною організацією експериментальних досліджень із застосуванням сучасних методів, методик та обладнання. Здобувачем за темою дисертації опубліковано 14 наукових праць,

де повністю відображені основні результати дисертації, з них 3 статті у фахових виданнях України; 1 – у виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 1 статтю у наукових періодичних виданнях інших держав, які включені до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Web of Science); 5 в матеріалах конференцій, індексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science, 3 матеріалах та тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Наукова новизна одержаних результатів обумовлена комплексним характером дослідження новосинтезованих органічних напівпровідників і ексиплексних сполук на їх основі, як високоефективних емітерів для WOLED, а також з'ясування чутливості таких систем до кисню з метою створення газових сенсорів. Зокрема, автором роботи:

- ✓ встановлено, що високі значення квантової ефективності електролюмінесценції, які притаманні розробленим WOLED структурам, зумовлені ефективним залученням в процес електролюмінесценції триплетів двох TADF випромінювачів на основі ексиплексу (bFPC: PO-T2T або bTfPC: PO-T2T) та фосфоресцентного випромінювача Ir (pic)₂ (acac).
- ✓ встановлено, що функціональна залежність часів загасання TADF ексиплексної емісії bFPC:PO-T2T характеризується біекспоненційною залежністю, що виникає в результаті процесу RISC. Участь триплетних збуджених станів у TADF процесі робить цей випромінювач сприйнятливим до гасіння флуоресценції від триплетного кисню. Дослідна плівка bFPC:PO-T2T:Zeonex демонструє емісію люмінесценції в діапазоні від 470 до 650 нм (з максимумом на 550 нм).
- ✓ встановлено, що два нових дифенілбікарбазоли (bFPC та bTfPC), які синтезовані як донорно складові фрагменти міжмолекулярних TADF ексиплексних випромінювачів, характеризуються високим енергетичним положенням триплетних рівнів (2.99 eV) . Спектр фотолюмінесценції сполук міститься у фіолетовій області. Квантовий вихід фотолюмінесценції в тетрагідрофурановому розчині досягає 19% і 15% відповідно для bFPC і

bTfPC. Сполуки характеризувалися п'ятивідсотковою втратою маси при температурах до 374°C. Потенціали іонізації твердих плівок оцінювалися в межах 5.78 eV і 6.04 eV відповідно для bFPC і bTfPC, а їхня спорідненість до електрона становить 2.42eV та 2.83eV.

- ✓ встановлено, що міжмолекулярні ексиплекси, в яких у якості донорних складових структур використано сполуки bFPC і bTfPC, а акцепторною складовою є PO-2T2, характеризуються максимумом в околі 520 нм. Понад 90% загальної інтенсивності випромінювання ексиплексів пов'язано з TADF механізмом. Значення величини синглетно-триплетних енергетичних щілин (ΔE_{S1T1}) для bFPC:PO-2T2 і bTfPC:PO-2T2 відповідно становить 0.02 eV і 0.04eV, що уможливило RISC-процес.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні високоефективних органічних світлодіодів та чутливих елементів сенсорів кисню, що працюють на TADF ефекті для виробництва сучасних систем освітлення та приладів сенсорики.

В роботі, зокрема:

- ✓ розроблено високоефективні гібридні WOLED, технологія виготовлення яких ґрунтується на поєднанні термовакuumного нанесення та «мокрих технологій». Максимальна яскравість світловипромінювальних структур становила 9000 кд/м². Пристрої продемонстрували високу зовнішню квантову ефективність 6.3%, а також високу якість електролюмінесценції теплого білого кольору з індексом кольору 92, колірною температурою 3655 К і координатами CIE1931 (0.384, 0.399).
- ✓ розроблено технологічний підхід до формування OLED темно-синього кольору випромінювання, в конструкції яких використовується пошарове формування функціональних нанорозмірних органічних плівок. Зовнішня квантова ефективність розробленого OLED становить 2.8%. Максимальна яскравість 3 000 кд/м² досягається за напруги 15 В . Координати колірності CIE(x,y) 1931 становлять (0.15, 0.13).

якістю, повнотою висвітлення результатів та розкриттям змісту дисертації Куція С.А. «Розроблення білих світловипромінювальних структур на основі синіх флуоресцентних та експлексоутворюючих органічних емітерів» є завершеною науково-дослідною роботою, що повністю відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.17р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постанови КМ від 12 січня 2022 р. №44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії» з останніми змінами, внесеними постановою КМ №341 від 21.03.2022 р., а її автор Куцій Степан Андрійович може бути рекомендований для присудження йому, за умови розгляду разової спеціалізованої вченої ради Національного університету «Львівська політехніка», наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка».

Рецензент
професор кафедри
напівпровідникової електроніки
Національного університету
«Львівська політехніка»
д. т. н., професор

Підпис д.т.н., проф. Бурого О. А. засвідчую

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»
к.т.н., доцент



Брилинський Р.Б.