

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» доктор фізико-
математичних наук

Малика Ореста Петровича

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

Інтерес до широкої спектральної ексиплексної емісії, природа якої ґрунтується на залученні триплетних станів шляхом зворотної інтеркомбінаційної конверсії (RISC) тобто ефекту термоактивованої уповільненої флуоресценції (TADF) в донорно–акцепторних органічних сполуках, насамперед зумовлений перспективою практичного використання у виробництві OLED. В цьому контексті слід зважити на технологічну простоту отримання таких ексиплексних систем, що формуються простим змішуванням електронодонорних з електроноакцепторними молекулами методом одночасного нанесення в вакуумі або рідинним способом. Отримані таким чином OLED структури характеризується високою квантовою ефективністю, сумірною з типовими фосфоресцентними OLED. Беручи до уваги, що на даному етапі розвитку світлотехніки важливою прикладною проблемою при розробленні повноколірних світлодіодів залишається забезпечення підвищення індексу передавання кольору, актуальним є створення органічних світлодіодів з

вдосконаленими каналами передавання енергії між ексіплексами та надтонкими екситон-блокувальними шарами. Комерціалізація OLED технології вимагає також вдосконалення конструктивних та технологічних методів отримання існуючих типів OLED структур для досягнення стабільної емісії в широкому діапазоні напруги. Для цього необхідно забезпечити відповідну комбінацію емісійних складових у OLED та передбачити в їхній конструкції ефективні буферні шари. Відомо також, що за рахунок фотолюмінісцентного гасіння TADF матеріали є чутливі до кисню. Таким чином слід очікувати, що ексіплекси в яких RISC випромінювання в загальній фотолюмінесценції становить більш ніж 90%, можуть бути використанні як базові матеріали для оптичних сенсорів кисню. Наскільки нам відомо, системи, що демонструють TADF на основі ексіплексу, для цієї мети не використовувалися. Узагальнюючи, можна з впевненістю стверджувати, що спрямування дисертаційної роботи Куція С.А., на розроблення білих світловипромінюючих структур на основі ексіплексоутворюючих органічних емітерів та приладів флуоресцентної візуалізації кисню, як елементів сенсорної техніки є актуальною задачею сучасної електроніки.

Ступінь обґрунтованості та достовірності основних наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується обґрунтуванням базових положень отриманими експериментальними результатами на сучасному технологічному та вимірювальному обладнанні, доброю відтворюваністю параметрів органічних плівкових ексіплексних структур та OLED на основі опрацьованих технологічних режимів їх формування, а також результатами в цій галузі інших дослідників. Достовірність одержаних результатів відображається у наведених висновках дисертаційної роботи. Апробація роботи проходила на авторитетних наукових конференціях і відображена в 5 статтях по матеріалах конференцій, що індексовані у наукометричних базах Scopus та Web of Science, та в 3 матеріалах тез, публікацій автора у в 2 статтях, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 3 статтях у фахових виданнях з технічних наук із переліку МОН України.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що встановлені повноколірні спектри електролюмінесценції структур OLED зумовлені широким спектром

випромінювання досліджених ексиплексів (bFPC: PO-T2T або bTfPC: PO-T2T), синім випромінюванням TFB та червоною фосфоресценцією іридієвого комплексу (Ir (pic)₂ (acac)). Висока якість білого кольору електролюмінесценції, високі значення квантової ефективності електролюмінесценції спостерігалися в структурах за рахунок ефективного залучення триплетів двох TADF випромінювачів на основі ексиплексу (bFPC: PO-T2T або bTfPC: PO-T2T) та фосфоресцентного випромінювача іридієвого комплексу.

-Встановлено, що два нових дифенілбікарбазоли (bFPC та bTfPC), які синтезовані як донорно складові фрагменти міжмолекулярних TADF ексиплексних випромінювачів, характеризуються високим енергетичним положенням триплетних рівнів (2,99eV). 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.

-Встановлено, що новосинтезовані матеріали на основі чотирьох 3,6-ді-трет-бутилкарбазольних фрагментів, як донорів, і 5 метилакцепторних фрагментів піримідину характеризуються вузькими синглетно-триплетними енергетичними щілинами 0,3-0,05 eV та сильно закрученою структурою донорно-акцепторних похідних 3,6-ді-трет-бутилкарбазолу та трифлуотолуолу, що призводить до високих квантових виходів синьої фотолюмінесценції (до 76% у твердому стані) та до додаткових каналів RISC.

Практичне значення одержаних результатів роботи є сильною стороною дисертації оскільки в ній наявна значна кількість експериментальних досліджень. Результати дисертаційного дослідження використані при виконанні науково-дослідних робіт та можуть знайти подальше практичне застосування. Встановлені закономірності надають можливості аргументованого вибору технічних рішень відповідно до практичних вимог, зокрема:

- У розробленні високоефективних гібридних OLED теплого білого кольору випромінювання з індексом кольору 92, колірною температурою 3655 K

і координатами CIE1931 (0,384, 0,399), технологія виготовлення яких ґрунтується на поєднанні термовакуумного нанесення та «мокрих технологій».

- У розроблені вискоєфективного OLED синього кольору випромінювання на основі амбіполярних емітерів, які характеризуються відсутністю впливу твердотільної сольватації на емісійні TADF властивості.

- У запропонованій конструкції та технології виготовлення приймального елемента оптичного сенсора кисню на основі ексиплексноутворюючої bFPC:PO-T2T структури з можливістю визначення концентрації кисню до 4% у діапазоні 0 - 20 % O₂.

Відповідність теми дисертації профілю спеціальності, відсутність порушень академічної доброчесності. Науковий та практичний напрямок досліджень автора вказує на відповідність його дисертаційної роботи паспорту спеціальності 171 «Електроніка». У тексті анотації лаконічно викладено основні положення дисертаційної роботи, які повністю відображає її зміст. Жодних підстав для сумнівів у науковій доброчесності дисертанта по результатах детального ознайомлення з дисертацією не виявлено. Посилання на публікації за участю здобувача в повній мірі відображають тематику дисертації.

Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи. Оцінюючи дисертаційну роботу критично можна відмітити декілька недоліків:

- Розроблений OLED темно синього кольору випромінювання на основі TADF емітера 4-CzPyCl₄ характеризується зовнішньою квантовою ефективністю на рівні 2,8%, така ефективність більш притаманна флуоресцентним OLED. Зазвичай TADF OLED характеризується ефективністю вищою за 5%.

- В четвертому розділі наводяться комплексні дослідження електрофізичних та оптичних властивостей ново синтезованих в амбіполярних TADF синіх емітерів (CN1-CN5), проте, не наведенні результати експериментальних досліджень рухливості носіїв заряду в тонких плівках даних органічних напівпровідників, що утруднює інтерпретацію механізму перенесення заряду внутрішньомолекулярних ексиплексних емітерах CN1-CN5

- Якість оформлення графічного матеріалу в розділах 2-4 не дуже висока.

- Відмічені зауваження жодним чином не визначають загальний високий рівень виконаної роботи та на загальну оцінку матеріалу дисертації.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня наукового ступеня доктора філософії. Дисертація Куція С. А. «Розроблення білих світловипромінювальних структур на основі синіх флуоресцентних та ексиплексоутворюючих органічних емітерів» є завершеною науково-дослідною роботою. За своєю актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, обґрунтованістю основних положень та висновків повністю відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.17 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постанови Кабінету Міністрів 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, за умови розгляду разової спеціалізованої вченої ради Національного університету «Львівська політехніка» йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка».

Рецензент
професор кафедри
напівпровідникової електроніки
Національного університету
«Львівська політехніка»
Д. ф-м. н., професор

 **Малик О. П.**

Підпис д.ф-м.н., проф. Малика О. П. засвідчую



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

Брилинський Р.Б.