

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002433

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 03-07-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мельников Сергій Олександрович

2. Serhii O. Melnykov

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1093-9869

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 171

Назва наукової спеціальності: Електроніка

Галузь / галузі знань: електроніка та телекомунікації

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Електроніка

Дата захисту: 26-07-2024

Спеціальність за освітою: Телекомунікації та радіотехніка

Місце роботи здобувача: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ID 5699

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 47.09.29

Тема дисертації:

1. Використання ефекту сповільненої флуоресценції для підвищення ефективності органічних світлодіодів
2. Using the effect of delayed fluorescence to increase the efficiency of organic light-emitting diodes

Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності OLED-структур на основі термічно-активованої сповільненої флуоресценції, пошуку нових та перспективних органічних напівпровідникових матеріалів для формування ексиплексоутворювальних TADF-структур в OLED та органічних лазерах. У першому розділі проведено аналіз механізму утворення термічно-активованої сповільненої флуоресценції (TADF) в ексиплексоутворюючих системах. Підтверджено актуальність та практичну цінність органічних TADF-матеріалів з точки зору застосування їх в OLED-структурах. Розглянуто нові підходи у використанні органічних напівпровідникових матеріалів в якості активного середовища підсилення лазерів із розподіленим зворотнім зв'язком (PЗЗ). У другому розділі досліджено новосинтезований органічний напівпровідник 4-етил-3,5-біс[4-(N,N-дифеніламін)біфеніл-4-іл]-4H-1,2,4-тріазол (TPA-TZ). За допомогою термогравіметричного аналізу TPA-TZ встановлено температуру плавлення та температуру склування, що становили 173 °C та 68 °C відповідно. Значення температури кристалізації не було зафіксовано, що свідчить про перехід матеріалу з фази розплаву до твердого стану. Значення потенціалу іонізації (IP) та спорідненості

до електрона (EA) були оцінені за початком перших потенціалів окиснення та відновлення після та становили 5,49 та 3,14 eV відповідно. За спектрами фотолюмінесценції та фосфоресценції оцінено енергії першого синглетного $S_1 = 3,12$ eV і триплетного $T_1 = 2,63$ eV збуджених станів, що добре узгоджуються з результатами теоретичних розрахунків TD DFT. Встановлено, що міжмолекулярний ексиплекс на основі донорної новосинтезованої сполуки TPA-TZ з акцепторною складовою на основі PO-T2T характеризуються часами затухання фотолюмінесценції довготривалою ($\tau_{DF}=5,2$ мкс) складовою, що підтверджує наявність TADF-ефекту. На основі органічного напівпровідника TPA-TZ сформовано OLED-структуру з електролюмінесценцією блакитного кольору із залежними від прикладеної напруги колірними координатами CIE1931: (0.20, 0.17) при 8 В і (0.20, 0.23) при 14 В. Максимальна зовнішня квантова ефективність пристрою становила 3.5 %, а максимальну яскравість - 8400 кд/м² при 13 В. Також на основі міжмолекулярної ексиплексоутворювальної системи TPA-TZ:PO-T2T сформовано багат шарову світловипромінювальну гетероструктуру із колірними координатами (0.31, 0.48). OLED-пристрій продемонстрував яскравість 3995 кд/м² і зовнішню квантову ефективність 7% при 10 В. У третьому розділі наведено результати дослідження трьох новосинтезованих органічних карбазоловмісних напівпровідників 2tCzPy. У даних сполуках енергетичне положення першого триплетного (T_1) рівня енергії є близьким до значення 3 eV, тоді як положення синглетних рівнів енергії S_1 змінюються від 3,3 до 3,17 eV. У результаті синглет-триплетне розщеплення (ΔE_{ST}) сполук зменшилися з 0,25 eV для 2tCzPy до 0,14 eV для 4tCzPy. На основі даних матеріалів шляхом поєднання електролюмінесценції екситонного, ексиплексного та ексимерного типу створено повноколірні OLED-структури з близькими до природнього білого світла координатами (0.31, 0.35), (0.32, 0.34) та (0.38, 0.34), максимальною яскравістю 10000 кд/м² та зовнішньою квантовою ефективністю від 5% до 7%. У четвертому розділі досліджено та запропоновано нові активні середовища підсилення для лазерів із розподіленим зворотнім зв'язком на основі новосинтезованих органічних напівпровідників. Досліджено вплив концентраційної флуоресцентної домішки на параметри генерації. Отримано генерацію лазерного випромінювання з використанням новосинтезованого матеріалу DG-21 на довжині хвилі 545 нм при енергії накачки 686 нДж імпульсним лазером із довжиною хвилі випромінювання 447 нм та тривалістю імпульсів від 40 до 90 нс.

2. The thesis is devoted to increasing the efficiency of the OLED structure based on thermally activated delayed fluorescence, the search for new and promising organic semiconductors for the exciplex-forming TADF structures in OLEDs and organic lasers. In the first chapter, the mechanism of formation of thermally activated delayed fluorescence (TADF) in exciplex-forming systems is analyzed. The relevance and practical value of organic TADF materials from the point of view of their application in OLED structures have been confirmed. New approaches to the use of organic semiconductors as an active amplification element in distributed-feedback lasers are considered. In the second chapter, the newly synthesized organic semiconductor 4-ethyl-3,5-bis[40-(N,N-diphenylamine)biphenyl-4-yl]-4H-1,2,4-triazole (TPA-TZ) is investigated. By means of thermogravimetric analysis of TPA-TZ, the melting point and glass formation temperature were determined to be 173 °C and 68 °C, respectively. The value of the crystallization temperature was not recorded, which negatively affects the transition of the material from the melt phase to the solid state. The values of ionization potential (IP) and electron affinity (EA) were estimated from the onset of the first oxidation and reduction potentials after formation of 5.49 and 3.14 eV, respectively. The photoluminescence and phosphorescence spectra estimated the energy of the first singlet $S_1 = 3.12$ eV and triplet $T_1 = 2.63$ eV excited states, which are in good agreement with the results of theoretical TD DFT calculations. It was established that the intermolecular exciplex based on the newly synthesized donor compound TPA-TZ with the acceptor component based on PO-T2T is characterized by photoluminescence decay times with a long-term ($\tau_{DF}=5.2$ μ s) component, which confirms the presence of the TADF effect. Based on the organic semiconductor TPA-TZ, an OLED structure with blue electroluminescence was formed with CIE1931 color coordinates dependent on the applied voltage: (0.20, 0.17) at 8 V and (0.20, 0.23) at 14 V. The maximum external quantum efficiency of the device was 3, 5%, and the maximum brightness is 8400 cd/m² at 13 V. A multilayer light-emitting heterostructure with color coordinates (0.31, 0.48) was also formed on the basis of the TPA-TZ:PO-T2T intermolecular exciplex-forming system. The OLED device demonstrated a brightness of 3995 cd/m² and an

external quantum efficiency of 7% at 10 V. The third chapter presents the results of the research of three newly synthesized organic carbazole-containing semiconductors 2tCzPy, 3tCzPy and 4tCzPy. In these compounds, the energy position of the first triplet (T1) energy level is close to 3 eV, while the position of the singlet energy level S1 varies from 3.3 to 3.17 eV. As a result of singlet-triplet splitting (ΔEST) of the compounds decreased from 0.25 eV for 2tCzPy to 0.14 eV for 4tCzPy. On the basis of these materials formed full-color OLED structures with coordinates (0.31, 0.35), (0.32, 0.34) and (0.38, 0.34) close to natural white light with a maximum brightness of 10,000 cd/m² and external quantum efficiency from 5% to 7%. In the fourth chapter, new active amplification element in distributed-feedback lasers based on newly synthesized organic semiconductors are investigated and proposed. The influence of the fluorescent impurity concentration on the generation parameters was investigated. The generation of laser emission was obtained using the newly synthesized material DG-21 at a wavelength of 545 nm at a pump energy of 686 nJ by a pulsed laser with an emission wavelength of 447 nm and pulse duration from 40 to 90 ns.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- P. Stakhira H. Petrovska, I. Yaremchuk, S. Melnykov, D. Volyniuk. (2022) Study of liquid crystal cell doped with BODIPY for lasing application. Information and communication technologies, electronic engineering, 2 (1), 102–109. <https://doi.org/10.23939/ictee2022.01.102>.
- S. Melnykov, T. Bulavinets, P. Stakhira, I. Yaremchuk. (2023) Modeling the plasmonic properties of copper monosulfide particles in the near IR range. Infocommunication Technologies and Electronic Engineering, 3(2), 187–193. <https://doi.org/10.23939/ictee2023.02.187>.
- Minaev, B., Stakhira, P., Panchenko, O., Minaeva, V., Kutsiy, S., Melnykov, S., ... & Ågren, H. (2024). Theoretical and experimental investigation of exciplex-forming and electroluminescent properties of 4-ethyl-3, 5-bis [40-(N, N-diphenylamine) biphenyl-4-yl]-4H-1, 2, 4-triazole. Optical Materials, 147, 114606. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114606>.
- Melnykov, S., Helzhynskyy, I., Bulavinets, T., & Stakhira, P. (2024). Thermally Activated Delayed Fluorescence in Organic Semiconductors and Its Application in Light-Emitting Diodes. East European Journal of Physics, (1), 31–42. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-1-02>.
- Melnykov, S., Bilas, O. (2024). Development of white organic light emitting diodes based on carbazole-derived compounds. Technology Audit and Production Reserves, 2 (3 (76)). <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.301770>
- T. Dyhdalovych, A. Fechan, S. Kutsiy, S. Melnykov. (2022) Development of the automated system of analysis and quality assessment of visible light sources. IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 694–697.
- Ivaniuk K., Stakhira P., Yaremchuk I.; Kutsiy S., Melnykov S., Bulavinets T., Volyniuk D.; Klymenko I., Sych G., Karaush-Karmazin N.; Ali A. (2023) (Tetrafluorovinylphenyl) carbazole as a multifunctional Material for OLED applications. The International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials" (NANO-2023).

- Bulavinets T., Yaremchuk I., Melnykov S., Stakhira P. (2023) Plasmonic properties of non-spherical copper monosulfide nanoparticles. Actual problems of fundamental sciences: materials of the 5th international scientific conference (Lutsk, Svityaz, June 01–05, 2023).С. 44.

Наукова (науково-технічна) продукція: пристрої; технології

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; економія енергоресурсів

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0123U101690, 0121U109506, ID:823720, 0124U000823

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Стахіра Павло Йосипович
2. Pavlo Y. Stakhira

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ціж Богдан Романович
2. Bohdan R. Tsizh

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

Код за ЄДРПОУ: 00492990

Місцезнаходження: вул. Пекарська, буд. 50, Львів, 79010, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Вісьтак Марія Володимирівна

2. Maria V. Vistak

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.27.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

Код за ЄДРПОУ: 02010793

Місцезнаходження: вул. Пекарська, буд. 69, Львів, 79010, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство охорони здоров'я України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Малик Орест Петрович

2. Orest P. Malyk

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бурий Олег Анатолійович

2. Oleh A. Buryi

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Клим Галина Іванівна

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Клим Галина Іванівна

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Бешлей М.І.

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна