ISSN 2078-5615. Вісник Львівського університету. Серія хімічна. 2026. Випуск 68. С. 121–129
Visnyk of the Lviv University. Series Chemistry. 2026. Issue 68. P. 121–129

Органічна хімія

УДК 547.292 + 535.37

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АНГІДРИДІВ 2- ТА 4-(ДИФЕНІЛАМІНО)БЕНЗОЙНИХ КИСЛОТ

М. Аксьонова*, Т. Малий, Р. Литвин, А. Волошиновський, М. Обушак

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6/8, 79005 Львів, Україна
**e-mail: Myroslava.Aksonova@lnu.edu.ua*

Розроблено зручний метод синтезу ангідридів 2- та 4-(дифеніламіно)бензойних кислот. Для отриманих барвників проведено необхідні теоретичні розрахунки на рівні теорії функціоналу густини. Для розчинів цих сполук в толуені, дихлорометані та ацетоні записано спектри поглинання. З'ясовано, що перший збуджений стан синтезованих барвників має локально екситований характер. Виміряно спектри люмінесценції ангідриду 2-(дифеніламіно)бензойної кислоти у твердому стані та кінетику згасання люмінесценції. Максимум емісії спостерігали при 494 нм з часами життя збуджених станів 6,8 нс. Довготривалої складової люмінесценції в мікросекундному діапазоні не виявили.

Ключові слова: ангідриди карбонових кислот, (дифеніламіно)бензойні кислоти, реакція Ульмана, люмінесценція.

DOI: https://doi.org/10.30970/vch.6801.121

1. Вступ

Органічні світлодіоди (OLED) широко застосовують у створенні приладів освітлення та дисплеїв. Серед їх основних переваг є легкість пристроїв, малий розмір (робоча товщина пристроїв здебільшого не перевищує 100 нм), чистота кольору та висока ефективність [1]. Протягом десятиліть розвитку OLED-технологій вдалося не лише значно покращити ефективність та термін експлуатації пристроїв, а й дослідити нові механізми люмінесценції, що призвело до зміни поколінь самих пристроїв [2]. Окрім флуоресцентних матеріалів, що є основою для першого покоління OLED-ів, досліджують та описують інноваційні метал-органічні комплекси, що ефективно працюють на основі ефекту фосфоресценції за кімнатної температури (друге покоління) [3]. Нове, третє покоління OLED пристроїв ґрунтується на механізмі термоактивованої сповільненої флуоресценції (TADF) і більшість сучасних успіхів пов'язані з дослідженнями нових матеріалів, які виявляють цей ефект [4]. Одним з критеріїв досягнення TADF ефекту в органічній молекулі є невелика різниця енергій синглетних (S_1) та триплетних (T_1) рівнів, що може забезпечити термоактивований перехід електрона з "темнового" триплетного на синглетний рівень і так підвищити ефективність роботи OLED пристрою [5]. Незважаючи на значну кількість уже відомих і досліджених матеріалів, пошук нових ефективніших, дешевих і водночас електро- та фотостабільних сполук є затребуваним і актуальним напрямом досліджень.

© Аксьонова М., Малий Т., Литвин Р. та ін., 2026

Проводячи молекулярне моделювання перспективних для таких досліджень сполук, ми зауважили, що ангідриди донорзаміщених бензойних кислот, порівняно з відповідними кислотами, мають меншу різницю енергій синглетних та триплетних рівнів і, ймовірно, можуть бути TADF емітерами. Для перевірки цієї ідеї ми обрали пару ангідридів трифеніламінокарбонових кислот, синтезували та дослідили їхні фотофізичні властивості.

2. Результати досліджень та їх обговорення

Монозаміщені бензойні кислоти з донорним замісником є порівняно доступними та часто вживаними будівельними блоками для зазвичай багатостадійних синтезів молекул з різними фотофізичними властивостями, зокрема з TADF ефектом [6, 7]. З іншого боку, такі кислоти самі по собі не спричиняють цього ефекту, що є важливою умовою для створення високоефективних OLED пристроїв, оскільки фрагмент бензойної кислоти у такій молекулі є слабким акцептором. Крім того, ці сполуки мають кристалічну будову, невеликі розміри молекул і рухливий атом водню у своїй структурі, що небажано з технологічної точки зору. Ми запропонували простий шлях вирішення окресленої проблеми – відщепити від таких кислот молекулу води і отримати відповідні ангідриди.

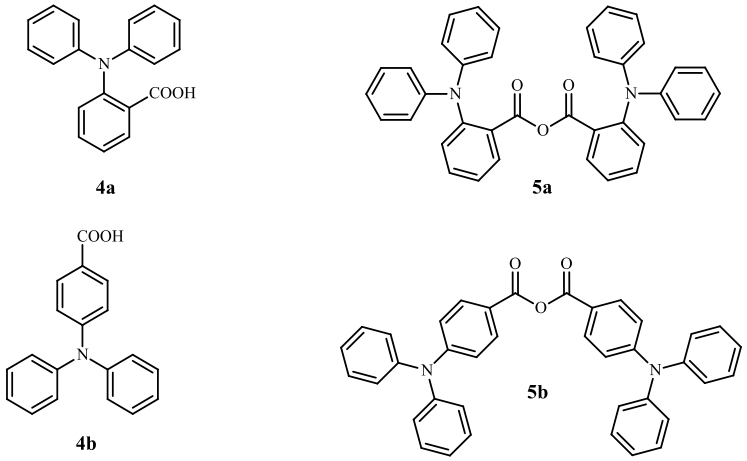


Рис. 1. Формули кислот **4a,b** та відповідних їм ангідридів **5a,b**
Fig. 1. Formulas of acids **4a,b** and their corresponding anhydrides **5a,b**

Спочатку ми виконали пресинтетичні теоретичні TD–DFT розрахунки для молекул трифеніламінових кислот **4a,b** та відповідних їм ангідридів **5a,b** і порівняли їх (табл. 1). Квантово-хімічні розрахунки рівноважної геометрії молекул в основному стані отримано методом DFT/B3LYP/6.31G*. Отримані рівноважні геометрії молекул використали для розрахунку енергій вищих зайнятих (ВЗМО) та нижчих вакантних молекулярних орбіталей (НВМО) і значень енергій синглетних та триплетних рівнів, використовуючи метод TD DFT/B3LYP/6.31+G* із застосування апроксимації Тамма–Данцоффа [8].

Таблиця 1

Дані TD–DFT розрахунків для молекул кислот **4a,b** та відповідних їм ангідридів **5a,b**

Table 1

TD–DFT calculations data for acid molecules **4a,b** and their corresponding anhydrides **5a,b**

Сполука	S_1, eV	T_1, eV	ΔE_{ST}, eV	ВЗМО, eV	НВМО, eV
4a	2.99	2.68	0.31	–5.3	–1.7
5a	2.87	2.64	0.23	–5.4	–1.9
4b	3.67	2.83	0.79	–5.6	–1.6
5b	3.43	2.73	0.70	–5.6	–1.9

Як бачимо з розрахунків, для ангідридів **5**, порівняно з кислотами **4**, знижується енергія НВМО і це означає, що ангідридний фрагмент є кращим акцептором. З іншого боку, в ангідридах **5** зменшується теоретично передбачувана різниця енергій перших синглетних і триплетних рівнів. Варто зауважити, що ВЗМО локалізується на обох трифеніламінових фрагментах молекул, а НВМО – на фрагменті бензойного ангідриду. Зважаючи на обнадійливі дані теоретичних розрахунків, ми синтезували сполуки **5a,b**.

Запропонована схема синтезу ангідридів не надто складна, а вихідні речовини є комерційно доступними. На першій стадії реакцією Ульмана між дифеніламіном **1** та естерами йодобензойних кислот **2a,b** синтезували відповідні естери **3a,b**, які перевели у кислоти **4a,b** реакцією омилення під час кип'ятіння естерів у спиртовому розчині лугу. Як показали експерименти, ангідриди **5a,b** найкраще отримувати кип'ятінням кислоти **4** у невеликій кількості оцтового ангідриду протягом 5–6 год. Отримані ангідриди очищали за допомогою колонкової хроматографії, використовуючи як елюент суміш розчинників дихлорометан/гексан у співвідношенні 1:1, та додатково перекристалізовували з гексану, у результаті чого отримали яскраво-жовті кристали 2-(дифеніламіно)бензойного ангідриду **5a** та жовто-зелені кристали 4-(дифеніламіно)бензойного ангідриду **5b**. У твердому стані ангідрид **5a** інтенсивно люмінесціює зеленим, а ангідрид **5b** – жовто-зеленим кольорами.

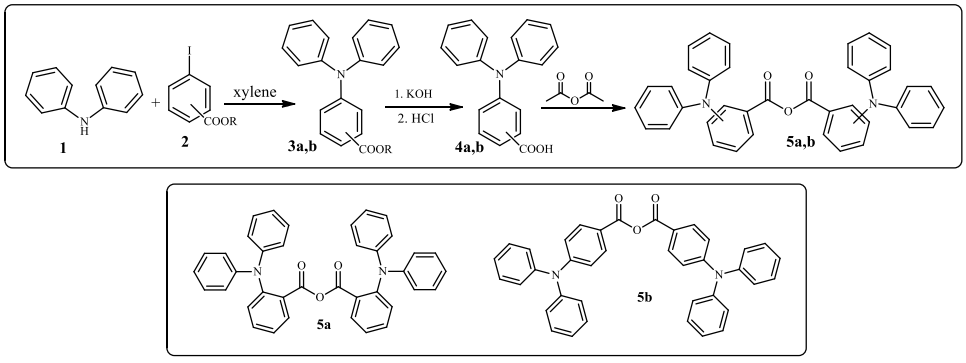
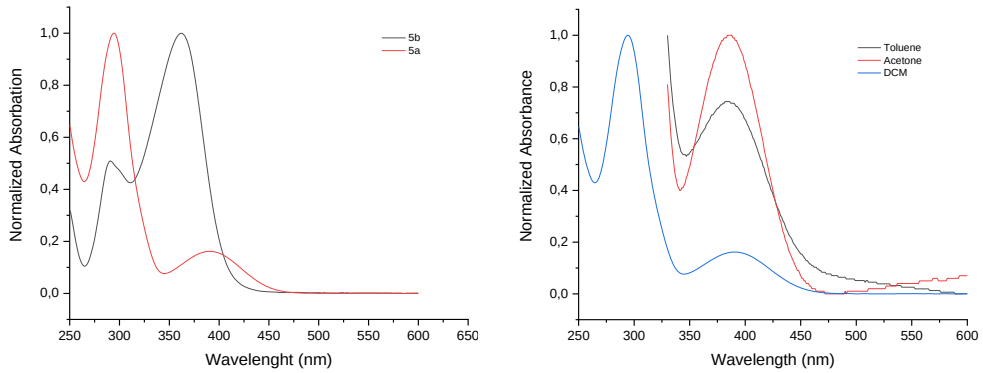


Рис. 2. Загальна схема синтезу барвників **5a,b**

Fig. 2. General synthetic scheme for dyes **5a,b**

Для розуміння процесів, які відбуваються у збуджених станах синтезованих барвників **5a,b**, ми записали спектри поглинання розведених розчинів цих сполук у дихлорометані (DCM) (рис. 3, *а*, табл. 2). Загалом спектри поглинання є схожими для обох барвників і характеризуються двома основними смугами поглинання з максимумами близько 290 нм (для обох барвників) та 391 нм (для **5a**) і 363 нм (для **5b**). Найбільш довгохвильові смуги поглинання й водночас найменш енергетичні, очевидно, відповідають переходам ВЗМО→НВМО у цих сполуках, а значно вища інтенсивність поглинання смуги з максимумом при 363 нм для сполуки **5b**, порівнюючи з аналогічною смугою при 391 нм для барвника **5a**, пояснюється значно більшою силою осцилятора, передбаченою теоретично для переходу ВЗМО→НВМО у сполуці **5b** (f = 0,7166), порівняно зі сполукою **5a** (f = 0,0682). З іншого боку, менші значення оптичної ширини забороненої зони (обчисленої від енергетичного порога смуги поглинання) для **5a** проти **5b** теж добре корелюють з результатами теоретичних обрахунків (табл. 1, 2).



а *б*

Рис. 3. Нормалізовані спектри поглинання розчинів барвників **5a,b** у дихлорометані (*а*); нормалізовані спектри поглинання розчинів барвника **5a** у дихлорометані, толуені та ацетоні (*б*)

Fig. 3. Normalized UV–Vis spectra of solutions of dyes **5a,b** in DCM (*a*); Normalized UV–Vis spectra of solutions of dye **5a** in DCM, toluene and acetone (*b*)

Оскільки з теоретичних розрахунків зрозуміло, що сполука **5a** є значно перспективнішою, ніж **5b** (низьке передбачене значення ΔE_{ST}), далі ми зосередилися на її дослідженні. Для з'ясування впливу полярності середовища на збуджені стани записали спектри поглинання барвника **5a** у толуені (ε = 2,38), дихлорометані (ε = 8,93) та ацетоні (ε = 20,70) (рис. 3, *б*, табл. 2). Як бачимо з отриманих даних, положення максимумів поглинання практично не змінюється зі зміною полярності середовища, що свідчить про локально-екситовану природу першого збудженого стану. Ці спостереження добре узгоджуються з теоретичними розрахунками, оскільки ВЗМО та НВМО локалізуються на майже тих самих фрагментах молекули.

Таблиця 2

Дані фотофізичних вимірювань для барвників **5a,b**

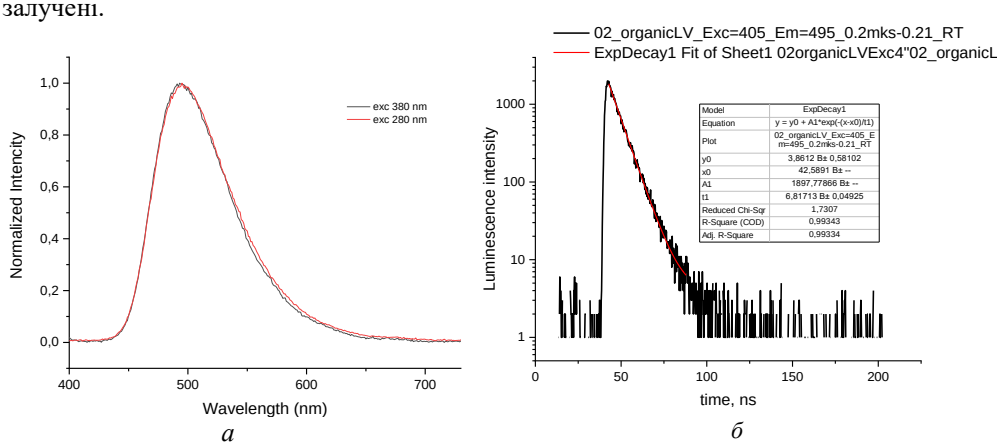
Table 2

Photophysical data of the dyes **5a,b**

Сполука	Toluene	Acetone	DCM	Eg_{opt}, eV in DCM	λ_{em}, nm (solid)	τ, ns
	λ_{Abs}, nm	λ_{Abs}, nm	λ_{Abs}, nm			
5a	387	387	295/391	2,60	494	6,8
5b	–	–	292/363	2,91	–	–

Для твердих зразків сполуки **5a** отримали спектри фотолюмінесценції за постійного збудження: довжини хвиль збудження становили 280 та 380 нм, а експерименти проводили за кімнатної температури (рис. 4, *a*). Незважаючи на різні довжини хвиль екситації, спектри люмінесценції є практично ідентичними – безструктурними широкими смугами (FWHM = 73 нм) з максимумами при 494 нм, а це свідчить про те, що вищі S_x збуджені стани не залучені до люмінесцентних процесів.

Далі ми досліджували кінетику загасання люмінесценції (рис.4b) і з'ясували, що в наносекундному діапазоні вона описується моноекспоненційною залежністю з середнім часом життя збуджених станів 6,8 нс. Довгої складової люмінесценції в мікросекундному діапазоні (на шкалі до 200 мкс) не спостерігали. Отримані результати свідчать про те, що фотолюмінесценція, виміряна для сполуки **5a**, має флуоресцентну природу, а до емісійних процесів триплетні збуджені стани не залучені.



а *б*

Рис. 4. Нормалізовані спектри люмінесценції, зняті у твердому стані для барвника **5a** за довжини хвилі збудження 280 та 380 нм (*а*); Крива кінетики загасання люмінесценції (за збудження лазером з довжиною хвилі 405 нм) (*б*)

Fig. 4. Normalized solid-state luminescence spectra of dye **5a** recorded at excitation wavelengths of 280 and 380 nm (*a*); Luminescence decay curve (excited with a 405 nm laser) (*b*)

3. Висновки

Ми розробили зручний метод синтезу ангідридів 2- та 4-(дифеніламіно)бензойних кислот. Для отриманих барвників виміряли та визначили низку оптико-фізичних параметрів. З отриманих даних з'ясували, що перший збуджений стан має локально-екситований характер.

Незважаючи на те, що теоретичні розрахунки добре корелюють з отриманими експериментальними даними, передбачене теоретично мале значення ΔE_{ST} для ангідриду 2-(дифеніламіно)бензойної кислоти виявилось недостатнім фактором для залучення триплетних екситонів до процесів фотолюмінесценції. Отримані результати схиляли до думки, що заміна донорного фрагмента дифеніламіну в молекулах ангідридів на такі, які сприятимуть утворенню збуджених станів з переносом заряду, а не локально екситованих, все ж дасть змогу отримувати матеріали з TADF-ефектом. На реалізацію такої ідеї будуть спрямовані наші наступні дослідження.

4. Експериментальна частина

Спектри ^{1}H, ^{13}C ЯМР та DEPT-135 експерименти отримано на приладі Varian з робочою частотою 400 МГц, розчинник – $CDCl_3$, внутрішній стандарт – тетраметилсилан. Тонкошарову хроматографію (ТШХ) проводили на алюмінієвих пластинках, покритих силікагелем 60 (0,02 мм) Alugram®XtraSILG/UV254, візуалізацію – УФ-лампою з робочими довжинами хвиль 254 та 365 нм. ІЧ-спектри синтезованих сполук отримано на приладі Shimadzu IRSpirit-T в діапазоні частот від 400 до 4 000 $см^{-1}$. УФ-спектри синтезованих сполук записано на приладі Shimadzu UV-2600 в діапазоні довжин хвиль від 250 до 600 нм. Реакції проводили в атмосфері повітря, якщо іншого не зазначено. Для вимірювання спектрів люмінесценції як джерело збудження використовували водневу лампу з неперервним спектром у діапазоні 200–400 нм, а потрібні довжини хвиль виділяли монохроматором МДР-2. Світло, випромінене зразком, спрямовувалось на монохроматор МДР-12. Реєстрацію люмінесцентного випромінювання виконували за допомогою фотопомножувача ФЕП-100. Кінетику загасання люмінесценції вимірювали при збудженні зразка випромінюванням з довжиною хвилі 405 нм від напівпровідникового лазерного світлодіода, що працював в імпульсному режимі з частотою 100 кГц. Реєстрацію сигналу виконували методом статистично корельованого ліку одиничних фотонів.

Загальна методика синтезу естерів 3a,b

У посудину Шленка (25 мл), оснащену зворотним холодильником, поміщали 5,9 ммоль відповідного естеру 2- або 4-йодобензойної кислоти **2a,b**, 1,00 г (5,9 ммоль) дифеніламіну **1**, 0,82 г (5,9 ммоль) карбонату калію, 38 мг (0,59 ммоль) порошкоподібної міді, 60 мг (0,59 ммоль) купрум(I) хлориду, 106 мг (0,59 ммоль) фенантроліну та 15 мл ксилолу. Систему продували аргоном протягом 15 хв. Отриману суспензію кип'ятили за інтенсивного перемішування (температура бані ≈ 150 °C) в атмосфері аргону протягом 48 год (контроль за ТШХ). Реакційну суміш фільтрували на скляному фільтрі через сантиметровий шар очищеного піску. Фільтр промивали чотирма порціями по 10 мл метиленхлориду, розчинники відганяли. Отриманий залишок очищали за допомогою препаративної колонкової хроматографії на силікагелі, використовуючи як елюент суміш гексан/дихлорометан (1:1). Метил 2-(дифеніламіно)бензоат **3a** (1,05 г, вихід 59 %) та етил 4-(дифеніламіно)бензоат **3b** (0,69 г, вихід 37 %) отримали у вигляді жовтих олив, які без додаткової очистки вводили в наступну реакцію.

Загальна методика синтезу кислот 4a,b

У круглодонну колбу об'ємом 100 мл поміщали 2 ммоль відповідного естеру **3a,b**, розчиняли у 35 мл етанолу і додавали 0,34 г (6 ммоль) KOH, розчиненого

у 10 мл етанолу. Отриману суміш інтенсивно кип'ятили за перемішування протягом 2 год (контроль за ТШХ), після чого спирт відганяли та додавали до залишку 30 мл теплої води (40–50 °C). Отриманий жовтий розчин охолоджували до кімнатної температури та підкислювали концентрованою хлоридною кислотою (pH = 1–2). Після повної коагуляції (1–2 год) отримані осади кислот **4a,b** відфільтровували та перекристалізовували з етанолу. 2-(Дифеніламіно)бензойну кислоту **4a** отримали у вигляді жовтої дрібнокристалічної маси (0,52 г, вихід 90 %), 4-(дифеніламіно)бензойна кислота **4b** – білий порошок (0,48 г, вихід 83 %). Характеристики кислот **4a,b** збігаються з літературними даними [9].

Загальна методика синтезу ангідридів 5a,b

1 Ммоль кислоти **4a,b** розчиняли у 5 мл оцтового ангідриду та перемішували за слабкого кип'ятіння протягом 4–6 год (контроль за ТШХ), після чого оцтовий ангідрид відганяли, а отримані ангідриди **5a,b** очищали за допомогою препаративної колонкової хроматографії на силікагелі, використовуючи як елюент суміш розчинників гексан/метиленхлорид (1:1). Розчинник відганяли, а отримані барвники **5a,b** додатково перекристалізовували з гексану.

2-(Дифеніламіно)бензойний ангідрид 5a, жовті кристали, вихід 89 %, (0,25 г). ^{1}H NMR (400 MHz, Chloroform-*d*), δ: 7.49–7.39 (м, 4H), 7.22–7.13 (м, 10H), 7.09 (т, *J* = 8.0 Hz, 2H), 7.02–6.87 (м, 12H). ^{13}C NMR (101 MHz, $CDCl_3$), δ: 161.01 (2C), 148.08 (2C), 147.82 (4C), 134.13 (2C), 132.57 (2C), 129.57 (2C), 129.26 (8C), 126.87 (2C), 124.41 (2C), 123.13 (8C), 122.71 (4C). ІЧ-спектр (ATR), υ, см$^{-1}$: 3064; 1783; 1729; 1586; 1572; 1482; 1443; 1318; 1302; 1274; 1245; 1205; 1161; 1115; 1078; 1070; 1021; 970; 747; 692; 677; 649; 626; 620; 615; 535.

4-(Дифеніламіно)бензойний ангідрид 5b, жовто-зелені кристали, вихід 52 %, (0,15 г). ^{1}H NMR (400 MHz, Chloroform-d) δ: 7.91 (д, J = 8.8 Hz, 4H), 7.34 (т, J = 7.8 Hz, 8H), 7.21 – 7.11 (м, 12H), 6.98 (д, J = 8.8 Hz, 4H). ІЧ-спектр (ATR), υ, см$^{-1}$: 3059; 3036; 1767; 1710; 1654; 1647; 1636; 1607; 1583; 1505; 1486; 1458; 1452; 1425; 1332; 1318; 1282; 1268; 1221; 1187; 1157; 1074; 1017; 917; 901; 829; 794; 716; 692; 636; 618; 513; 498; 442; 409. Знайдено, %: C, 81.67; H, 5.22; N, 4.75. $C_{38}H_{28}N_2O_3$. Обчислено, C, 81.41; H, 5.03; N, 5.00.

5. Подяка

Роботу підтримано фінансово Міністерством освіти і науки України та фондом Simons Foundation (SFI-PD-Ukraine-00014574).

Автори висловлюють подяку Андрію Дмухайлу, аспіранту кафедри аналітичної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка, за допомогу у проведенні досліджень.

---

1. *Hong G., Gan X., Leonhardt C., Zhang Z., Seibert J., Busch J. M., Bräse S.* A brief history of OLEDs – emitter development and industry milestones // Adv. Mater. 2021. Vol. 33 (9). 2005630. DOI: https://doi.org/10.1002/adma.202005630
2. *Zou S.-J., Shen Y., Xie F.-M., Chen J.-D., Li Y.-Q., Tang J.-X.* Recent advances in organic light-emitting diodes: toward smart lighting and displays // Mater. Chem. Front. 2020. Vol. 4 (3). P. 788–820. DOI: https://doi.org/10.1039/c9qm00716d

3. *Wei Q., Fei N., Islam A., Lei T., Hong L., Peng R., Fan X., Chen L., Gao P., Ge Z.* Small-molecule emitters with high quantum efficiency: mechanisms, structures, and applications in OLED devices // Adv. Opt. Mater. 2018. Vol. 6 (20). 1800512. DOI: https://doi.org/10.1002/adom.201800512
4. *Dos Santos J. M., Hall D., Basumatary B., Bryden M., Chen D., Choudhary P., Comerford T., Crovini E., Danos A.* et al. The golden age of thermally activated delayed fluorescence materials: design and exploitation // Chem. Rev. 2024. Vol. 124 (24). P. 13736–14110. DOI: https://doi.org/0.1021/acs.chemrev.3c00755
5. *Debnath S., Ramkissoon P., Salzner U., Hall C. R., Panjwani N. A., Kim W., Smith T. A., Patil S.* Modulation of delayed fluorescence pathways via rational molecular engineering // Nat. Commun. 2025. Vol. 16. 2982. DOI: 10.1038/s41467-025-56987-4
6. *Kutsiy S., Bezvikonnyi O., Hotynchan A., Volyniuk D., Luboradzki R., Zinchenko A., Wisniewska H. M., Stakhira P., Grazulevicius J. V., Potopnyk M. A.* Donor–acceptor boron difluoride complexes for bipolar exciplex emitters in organic light-emitting diodes // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2025. Vol. 17 (44). P. 60956–60968. DOI: https://doi.org/10.1021/acsami.5c17456
7. *Kutsiy S., Volyniuk D., Sahoo S. R., Ceborska M., Wisniewska A., Stakhira P., Grazulevicius J. V., Baryshnikov G. V., Potopnyk M. A.* Sterically tuned ortho-phenylene-linked donor – acceptor benzothiazole-based boron difluoride complexes as thermally-activated delayed fluorescence emitters for organic light-emitting diodes // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2024. Vol. 16 (44). P. 60633–60647. DOI: https://doi.org/10.1021/acsami.4c12662
8. *Hirata S., Head-Gordon M.* Time-dependent density functional theory within the Tamm–Dancoff approximation // Chem. Phys. Lett. 1999. Vol. 314 (3–4). P. 291–299. DOI: https://doi.org/10.1016/s0009-2614(99)01149-5
9. *Veronese L., Quartapelle Procopio E., De Rossi F., Brown T. M., Mercandelli P., Mussini P., D'Alfonso G., Panigati M.* New dinuclear hydrido-carbonyl rhenium complexes designed as photosensitizers in dye-sensitized solar cells // New J. Chem. 2016. Vol. 40 (3). P. 2910–2919. DOI: https://doi.org/10.1039/c5nj03000e

SYNTHESIS AND STUDY OF 2- AND 4-(DIPHENYLAMINO)BENZOIC ACID ANHYDRIDES

M. Aksionova*, T. Malyi, R. Lytvyn, A. Voloshinovskii, M. Obushak

Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla i Mefodiya Str., 6/8, 79005 Lviv, Ukraine
**e-mail: Myroslava.Aksonova@lnu.edu.ua*

Organic light-emitting diodes (OLEDs) are widely used in the manufacture of lighting devices and displays. Over decades of development, OLED technology has not only significantly improved the efficiency and service life of devices, but also explored new mechanisms of luminescence, leading to a change in generations of devices themselves.

The new, third generation of OLED devices is based on the mechanism of thermally activated delayed phosphorescence (TADF), and the main modern advances are related to the study of new materials that possess this effect. According to the trend, we developed the convenient method for synthesizing 2- and 4-(diphenylamino)benzoic acid anhydrides. The synthesis scheme for anhydrides is quite simple, and the starting materials are inexpensive and commercially available. In the first stage, the Ullmann reaction between diphenylamine and ortho- or para-iodobenzoic acid esters was used to synthesize diphenylaminobenzoic acid esters, which were converted into the corresponding acids by saponification. Our experiments showed that the desired anhydrides are best obtained by boiling the starting acids in a small amount of acetic anhydride for 5–6 hours. Synthesized anhydrides were characterized by nuclear magnetic resonance (^{1}H and ^{13}C NMR) and infrared spectroscopies. For obtained dyes the necessary theoretical calculations at the density functional theory level have been performed. Absorption spectra have been recorded for solutions of the obtained dyes in toluene, dichloromethane, and acetone. Due to the obtained data it was found that the first excited state of the synthesized dyes has locally excited character. The luminescence spectra of 2-(diphenylamino)benzoic acid anhydride in the solid state and the kinetics of luminescence decay were measured. The emission maximum was observed at 494 nm with excited state lifetimes of 6.8 ns. No long-term component of luminescence in the microsecond range was observed.

Keywords: carboxylic acid anhydrides, (diphenylamino)benzoic acids, Ullmann reaction, luminescence.

Отримано 10.11.2025;
в остаточному вигляді – 22.01.2026;
прийнято до друку – 12.02.2026;
оприлюднено онлайн − 06.11.2026.