



Politechnika
Wrocławska

XXIV Ogólnopolska

Konferencja



2026

KRYSZTAŁY
MOLEKULARNE

Książka abstraktów



PAŁAC WOJANÓW

Wrocław - Pałac Wojanów 14-18 września 2026



Niniejsze materiały konferencyjne opracowano na podstawie streszczeń wystąpień ustnych oraz prezentacji posterowych nadesłanych przez uczestników. Organizatorzy konferencji „Kryształy Molekularne 2026” nie ponoszą odpowiedzialności za ich treść.



SPIS TREŚCI

Przedmowa	3
Organizator	4
Miejsce konferencji	4
Dotychczasowe edycje konferencji i ich organizatorzy	5
Komitety organizacyjny	6
Komitety naukowe	6
Honorowy komitet naukowy	7
Program konferencji	8
Poniedziałek, 14 września 2026	8
Wtorek, 15 września 2026	8
Środa, 16 września 2026	9
Czwartek, 17 września 2026	10
Piątek, 18 września 2026	11
Streszczenia wystąpień ustnych	12
Sesja posterowa – lista plakatów	43
Streszczenia wystąpień posterowych	44



PRZEDMOWA

Szanowni Państwo, Drodzy Uczestnicy XXIV Ogólnopolskiej Konferencji „Kryształy Molekularne 2026”,

Jest nam niezmiernie miło powitać Państwa w przepięknym Pałacu Wojanów, położonym w malowniczej Kotlinie Jeleniogórskiej, tuż u podnóża Karkonoszy - korony gór Dolnego Śląska.

Konferencja „Kryształy Molekularne” ma długą, niemal 50-letnią tradycję, zapoczątkowaną we Wrocławiu w 1977 r. na Politechnice Wrocławskiej. Przez kolejne dekady konferencja gościła w najważniejszych ośrodkach akademickich w Polsce – m.in. w Poznaniu, Gdańsku, Krakowie, Warszawie, Częstochowie, Łodzi i Rzeszowie, a także wielokrotnie powracała na Dolny Śląsk. W tym roku, po raz czwarty w swojej historii, ponownie zawitała w nasz region. Mamy nadzieję, że najbliższe dni będą dla nas okazją nie tylko do zgłębiania tajników fizykochemii i dyskusji o sprawach nauki, lecz także do wymiany doświadczeń oraz nawiązania nowych relacji - zarówno tych naukowych, jak i osobistych. Wyjątkową wartością tegorocznego spotkania jest możliwość dialogu między różnymi pokoleniami badaczy – tymi, którzy niemal pół wieku temu tworzyli pierwsze karty historii „Kryształów Molekularnych”, oraz młodymi naukowcami, którzy dziś i w przyszłości będą tę historię współtworzyć. Wierzimy, że spotkanie doświadczenia z młodością, ugruntowanej wiedzy z nowymi pomysłami i różnych spojrzeń na naukę stanie się źródłem twórczej wymiany myśli oraz nowych idei.

Państwa obecność na naszej wspólnej konferencji to jednak nie tylko możliwość poszerzenia naukowych horyzontów, ale również szansa na odkrycie tego pięknego, a zarazem tajemniczego zakątka Polski. Sudety to miejsce, w którym urokliwe szlaki turystyczne i widokowe spletają się z fascynującymi, a niekiedy trudnymi kartami historii. To właśnie tutaj, na Dolnym Śląsku, obok niezwykłych krajobrazów, pomników przyrody, gorących źródeł, czy też świetnie zorganizowanej bazy turystycznej, odnaleźć można ślady przeszłości sięgającej od czasów paleolitu, przez epokę Celtów i średniowiecze, aż po czasy współczesne. Bogata i pełna zawiloci historia regionu stała się źródłem licznych legend i inspiracją dla artystów i twórców, przyciągając miłośników przyrody i entuzjastów historii, tworząc zarazem wyjątkową scenerię dla wielu wydarzeń kulturalnych. Być może właśnie ta różnorodność i złożoność regionu stanowi doskonałą metaforę dla tematyki naukowej, która zgromadziła nas w ramach tegorocznej edycji „Kryształów Molekularnych”.

Mamy nadzieję, że Państwa pobyt w „naszych okolicach” zaowocuje licznymi współpracami badawczymi, pełnymi pasji dyskusjami naukowymi, inspirującymi pomysłami do dalszych badań. Życzymy Państwu, aby towarzyszyły im równie szerokie horyzonty, jakie otwierają się przed nami z perspektywy Karkonoszy.

Składamy również serdeczne podziękowania Jego Magnificencji Rektorowi Politechniki Wrocławskiej, prof. dr. hab. inż. Arkadiuszowi Wójsowi, za objęcie konferencji patronatem oraz wsparcie finansowe, którego udzielił nam przy jej organizacji.

Komitety Organizacyjny



ORGANIZATOR



POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
pwr.edu.pl
tel.: +48 71 320 2905
NIP: 896-000-58-51

MIEJSCE KONFERENCJI



PAŁAC WOJANÓW

Wojanów 8
58-508 Jelenia Góra
palac-wojanow.pl



DOTYCHCZASOWE EDYCJE KONFERENCJI I ICH ORGANIZATORZY

1977	Wrocław	K. Pigoń, T. Luty, J. Sworakowski
1979	Poznań-Błażejewko	A. Graja
1981	Gdańsk-Wdzydze	J. Kalinowski
1983	Kraków	J. Janik, T. Wasiutyński
1985	Warszawa-Goławice	J. Prochorow
1987	Rzeszów	A. Szymański
1989	Częstochowa-Kokotek	J. Świątek
1991	Łódź-Spała	A. Lipiński
1993	Wrocław-Świeradów	L. Komorowski
1995	Poznań-Kiekrz	R. Świetlik, N. Piślewski
1998	Gdańsk-Jelitkowo	J. Kalinowski
2000	Kraków	S. Nizioł, T. Wasiutyński
2002	Warszawa-Konstancin	B. Kozankiewicz
2004	Częstochowa-Złoty Potok	J. Świątek
2006	Łódź-Smardzewice	J. Jeszka
2008	Poznań-Błażejewko	D. Wróbel, A. Graja
2010	Wrocław-Polanica Zdrój	A. Chyla, A. Miniewicz
2012	Gdańsk-Sobieszewo	J. Godlewski
2014	Kraków-Sromowce Niżne	P. Zieliński, A. Budziak
2016	Warszawa-Kazimierz Dolny	B. Kozankiewicz, M. Zagórska
2018	Łódź-Kolumna	J. Ulański
2022	Częstochowa-Kroczyce	M. Makowska-Janusik
2024	Poznań-Dymaczewo Nowe	A. Łapiński



KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący:	Marcin Nyk
Główny Koordynator:	Lech Sznitko
Koordynatorzy Pomocniczy:	Katarzyna Kempa
	Kamila Łupińska
	Agnieszka Siomra

KOMITET NAUKOWY

Michał Banaszak	Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Stanisław Bartkiewicz	Politechnika Wrocławska
Andrzej Budziak	Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Piotr Bujak	Politechnika Warszawska
Przemysław Data	Politechnika Łódzka
Alina Dudkowiak	Politechnika Poznańska
Andrzej Eilmes	Uniwersytet Jagielloński
Ewa Gondek	Politechnika Krakowska
Jarosław Jung	Politechnika Łódzka
Ewa Juszyńska-Gałazka	Instytut Fizyki Jądrowej PAN
Piotr Kaszyński	Uniwersytet Łódzki
Irena Kulszewicz-Bajer	Politechnika Warszawska
Andrzej Łapiński	Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Beata Łuszczynska	Politechnika Łódzka
Małgorzata Makowska-Janusik	Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie
Katarzyna Matczyszyn	Politechnika Wrocławska
Olaf Morawski	Instytut Fizyki PAN
Jacek Nizioł	Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Marcin Nyk	Politechnika Wrocławska
Waldemar Stampor	Politechnika Gdańska
Lech Sznitko	Politechnika Wrocławska



HONOROWY KOMITET NAUKOWY

Grzegorz Bąk	Politechnika Łódzka
Jan Godlewski	Politechnika Gdańska
Jeremiasz K. Jeszka	Politechnika Łódzka
Bolesław Kozankiewicz	Instytut Fizyki PAN
Bogdan Kuchta	Politechnika Wrocławska
Tadeusz Luty	Politechnika Wrocławska
Mieczysław Łapkowski	Politechnika Śląska
Andrzej Miniewicz	Politechnika Wrocławska
Wojciech Nawrocik	Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Piotr Petelenz	Uniwersytet Jagielloński
Adam Proń	Politechnika Warszawska
Marek Samoć	Politechnika Wrocławska
Lucjan Sobczyk	Uniwersytet Wrocłowski
Andrzej Sobolewski	Instytut Fizyki PAN
Juliusz Sworakowski	Politechnika Wrocławska
Roman Świetlik	Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Jacek Ulański	Politechnika Łódzka
Jacek Waluk	Instytut Chemii Fizycznej PAN
Tadeusz Wasiutyński	Instytut Fizyki Jądrowej PAN
Danuta Wróbel	Politechnika Poznańska
Małgorzata Zagórska	Politechnika Warszawska
Piotr Zieliński	Instytut Fizyki Jądrowej PAN

**PROGRAM KONFERENCJI****PONIEDZIAŁEK, 14 września 2026**

13.00 - 17.00 Rejestracja uczestników

Sesja I: 17.00 - 19.00**Przewodniczący sesji: Marcin Nyk, Lech Sznitko**

17.00 - 17.15 Otwarcie konferencji

17.15 - 18.00 Panel dyskusyjny – „Kryształy Molekularne” 1977–2026: pół wieku nauki, ludzi i idei
(Bolesław Kozankiewicz, Adam Proń, Julisz Sworakowski, Jacek Ulański)

18.00 - 19.00 **Illia Serdiuk**

wykład *Organic Scintillators, Light-Emitters and Light-Absorbers Showing Thermally Activated Delayed Fluorescence*
inauguracyjny

19.00 Kolacja powitalna

WTOREK, 15 września 2026

7.30 - 9.00 Śniadanie

Sesja II: 9.00 - 10.30**Przewodniczący sesji: Małgorzata Makowska-Janusik**9.00 - 9.35 **Tomasz Runka**

wykład *Badania warstw krystalicznych perowskitów i granatów domieszkowanych jonami ziem rzadkich metodami spektroskopowymi*

9.35 - 10.10 **Jacek Ulański**

wykład *Zastosowania spektroskopii ramanowskiej w badaniach materiałów molekularnych*

10.10 - 10.30 **Marta Krencjasz**

Wytwarzanie diody elektroluminescencyjnej QLED o zdefiniowanym obszarze świecącym

10.30 - 11.00 Przerwa kawowa

Sesja III: 11.00 - 12.30**Przewodniczący sesji: Andrzej Eilmes**11.00 - 11.35 **Andrzej Łapiński**

wykład *Teoria kwantowa „Atomów w Molekulach” w analizie dynamicznej sieci wiązań wodorowych w przewodnikach protonowych*

11.35 - 12.10 **Jacek Waluk**

wykład *Fluorescencja porfircenów*



12.10 - 12.30	Monika Wysocka-Żolopa <i>Wpływ nanocząstek magnetytu i pola magnetycznego na proces elektrochemicznego tworzenia stożkowych struktur polipirolowych</i>
13.00 - 14.30	Obiad
Sesja IV: 14.30 - 16.00 Przewodniczący sesji: Joanna Breczko	
14.30 - 15.05 wykład	Adam Proń <i>Szalbierstwo vs rzetelność w nauce (lament dwojga naukowców w wieku emerytalnym)</i>
15.05 - 15.40 wykład	Katarzyna Matczyszyn <i>Nanomateriały dla biofotoniki</i>
15.40 - 16.00	Natalia Bielejewska <i>Projektowanie, przygotowanie i charakterystyka hybrydowych układów LC/CNC w ultracienkich warstwach na granicy faz gaz – ciecz</i>
16.00 - 16.30	Przerwa kawowa
16.30 - 18.30	Sesja posterowa
18.30	Kolacja grillowa

ŚRODA, 16 września 2026

7.30 - 9.00	Śniadanie
Sesja V: 9.00 - 10.30 Przewodniczący sesji: Katarzyna Matczyszyn	
9.00 - 9.35 wykład	Piotr Kaszyński <i>Chiralne rodniki i dirodniki Blattera dla współczesnych technologii</i>
9.35 - 10.10 wykład	Olaf Morawski <i>Tri-chloro-heptazyna jako modelowa cząsteczka z inwersją stanów S-T</i>
10.10 - 10.30	Alina Szukalska <i>Two-Component Perylene Systems for White Random Lasing</i>
10.30 - 11.00	Przerwa kawowa
Sesja VI: 11.00 - 12.30 Przewodniczący sesji: Paweł Karpiński	
11.00 - 11.35 wykład	Andrzej Miniewicz <i>Zjawisko Marangoniego i jego znaczenie w inżynierii materiałowej i optofluidyce</i>



11.35 - 12.10 wykład	Joanna Breczko <i>Hybrydowy układ grafenowych kropek kwantowych i nanocząstek magnetytu – synteza i właściwości</i>
12.10 - 12.30	Diana Bobrowska <i>Projektowanie funkcjonalnych układów PPV–surfaktant o regulowanych właściwościach fizykochemicznych do zastosowań sensorycznych</i>
12.30 - 13.30	Obiad
13.30 - 19.00	Wycieczka
19.00	Kolacja

CZWARTEK, 17 września 2026

7.30 - 9.00 Śniadanie

Sesja VII: 9.00 - 10.30**Przewodniczący sesji: Piotr Kaszyński**

9.00 - 9.35 wykład	Małgorzata Makowska-Janusik <i>Atomowa inżynieria heterostruktur $\text{TiO}_2\text{--ZnO--ZrO}_2$ poprzez kontrolę lokalnego rozmieszczenia domieszek i współdomieszkowanie jonami ziem rzadkich – symulacje komputerowe</i>
9.35 - 10.10 wykład	Jerzy Karpiuk <i>Ultraszybkie przeniesienie ładunku i dynamika spinowa w mechanizmie generacji potrójnej fosforescencji</i>
10.10 - 10.30	Michał Gil <i>Spektroskopia i fotofizyka nowych pochodnych porfircenu</i>
10.30 - 11.00	Przerwa kawowa

Sesja VIII: 11.00 - 12.30**Przewodniczący sesji: Illia Serdiuk**

11.00 - 11.35 wykład	Bolesław Kozankiewicz <i>Cząsteczka barwnika organicznego w strukturze kryształu molekularnego i na jego powierzchni</i>
11.35 - 12.10 wykład	Grażyna Jarosz <i>Modelowanie charakterystyki widmowej ekscytowanych fotodiod i fotorezystorów</i>
12.10 - 12.30	Sandra Binek <i>Anomalny wpływ kwantowania rozmiarowego na strukturę elektronową materiałów perowskitowych</i>
13.00 - 14.30	Obiad



Sesja IX: 14.30 - 16.20	
Przewodniczący sesji: Olaf Morawski	
14.30 - 15.05 wykład	Andrzej Eilmes <i>Pulapkowanie układów małych cząsteczek wewnątrz klatek superfanowych</i>
15.05 - 15.40 wykład	Paweł Karpiński <i>Modyfikacje kryształów ferroelektrycznych za pomocą femtosekundowych impulsów laserowych</i>
15.40 - 16.00	Adam Szukalski <i>Fotoindukowana anizotropia optyczna w molekularnych materiałach funkcjonalnych – od nanowłókien do struktur drukowanych 3D</i>
16.00	Przerwa kawowa
18.00 – 19.00	Koncert
19.00	Bankiet

PIĄTEK, 18 września 2026

7.30 - 9.00 Śniadanie

Sesja X: 9.00 - 10.30	
Przewodniczący sesji: Andrzej Lapiński	
9.30 - 10.05 wykład	Bolesław Barszcz <i>Widma rozpraszania Ramana soli BEDT-TTF z anionami zawierającymi wiązanie metal-metal</i>
10.05 - 10.25	Katarzyna Kempa <i>Biopolimerowe materiały elektroprzędzone do zastosowań w sensoryce i fotonice</i>
10.25 - 10.45	Agnieszka Siomra <i>Koloidalne nanomateriały o wielofotonowej aktywności optycznej do potencjalnych zastosowań czujnikowych</i>
10.45 – 11.05	Kamila Łupińska <i>Generacja liczb losowych z wykorzystaniem ośrodka silnie rozpraszającego światło</i>
11.05 - 11.20	Zamknięcie konferencji
11.20 - 12.00	Przerwa kawowa
12.00 - 13.00	Obiad
13.00	Wyjazd uczestników



Streszczenia wystąpień ustnych

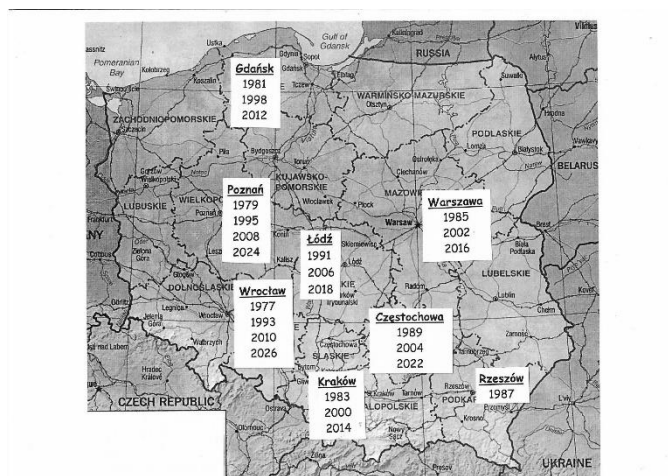
Cykl konferencji „Kryształy Molekularne” od prehistorii (1977) do teraz (2026)

Juliusz Sworakowski

Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny

juliusz.sworakowski@gmail.com

Materiał przedstawia genezę cyklu ogólnopolskich konferencji „Kryształy Molekularne” i prezentuje organizatorów i lokalizacje wszystkich spotkań. Pierwsze z nich zostało zorganizowane przez grupę fizykochemików z Politechniki Wrocławskiej. Konferencje następne, odbywające się zazwyczaj co dwa lata, były organizowane przez grupy zajmujące się badaniem materiałów molekularnych z Poznania, Gdańska, Krakowa, Warszawy, Częstochowy, Łodzi i Rzeszowa.



Obecna konferencja, odbywająca się niemal pół wieku po pierwszej, jest drugą w czwartym już cyklu spotkań, co wskazuje na żywotność tej tematyki i potencjał grup naukowych zajmujących się nią w Polsce. Można mieć nadzieję, że podobne zestawienie zostanie przedstawione na podobnym spotkaniu, po kolejnym półwieczu.



Organic Scintillators, Light-Emitters and Light-Absorbers Showing Thermally Activated Delayed Fluorescence

Illia E. Serdiuk,¹ Michał Mońka,¹ Adrian Hadrzyński,¹ Nikola Żaromińska,¹ Artur Sikorski,² Jarosław Chojnacki,³ Konrad J. Drozdowski,⁴ Mohanad S. Eid,⁴ Krzysztof Wiśniewski,⁴ Marcin E. Witkowski,⁴ Winicjusz Drozdowski⁴

¹ Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, University of Gdańsk, Wita Stwosza 57, 80-308 Gdańsk, Poland

² Faculty of Chemistry, University of Gdańsk, Wita Stwosza 62, 80-308 Gdańsk, Poland

³ Faculty of Chemistry, Gdańsk University of Technology, Gabriela Narutowicza Street 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland

⁴ Institute of Physics, Faculty of Physics, Astronomy and Informatics, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, Poland

illia.serdiuk@ug.edu.pl

Organic materials offer unique opportunities to control excited-state dynamics through molecular design, enabling their use both in light-emitting and light-harvesting applications. In many of these systems, the efficient generation, utilization and conversion of triplet states plays a key role. Thermally activated delayed fluorescence (TADF), which enables the conversion of triplet states into emissive singlets through reverse intersystem crossing, provides a particularly useful platform for controlling these processes.

This presentation will discuss different molecular design strategies for manipulating triplet-state dynamics depending on the intended application. Particular attention is given to the role of molecular vibrations, conformational dynamics and rotational degrees of freedom affecting TADF, including examples of rotation-activated delayed fluorescence. We further demonstrate how modification of singlet-triplet energy gaps and spin-orbit coupling can substantially accelerate triplet harvesting in organic scintillators, leading to intense and fast radioluminescence under ionizing radiation. Finally, we extend these concepts to light harvesting and photocatalysis in imide-based systems, where long-lived excited states of TADF-based nanoparticle photosensitizers and Pt complexes formed on the nanoparticle surface facilitate charge transfer and photocatalytic H₂ evolution.

The work was partially supported by the National Science Centre, Poland, under the OPUS 30 project (grant no. 2025/59/B/ST4/02547).

Bibliografia:

[1] Hadrzyński, A.; Żaromińska, N.; Drozdowski, K. J.; Wiśniewski, K.; Witkowski, M. E.; Chojnacki, J.; Mońka, M.; Drozdowski, W.; Serdiuk, I. E. Effect of Phenylsulfanyl Substitution on Thermally Activated Delayed Fluorescence: Mild Heavy-Atom Sulfur Enhances Triplet Harvesting in Photo- and Radioluminescence. *Advanced Optical Materials* **2026**.

[2] Serdiuk, I. E.; Mońka, M.; Sikorski, A.; Drozdowski, K. J.; Eid, M. S.; Wiśniewski, K.; Trzybiński, D.; Witkowski, M.; Drozdowski, W. Specific Position of Halogen in Crystalline TADF Scintillators Enables Efficient Triplet Harvesting Through Vibrational Modulation of Spin–Orbit Coupling. *Adv. Mater.* **2026**, e74520.

Badania warstw krystalicznych perowskitów i granatów domieszkowanych jonami ziem rzadkich metodami spektroskopowymi

T. Runka¹, M. Rzeczkowski¹, P. Radomski¹, V. Gorbenko², Y. Zorenko²

¹Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

²Wydział Fizyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Powstańców Wielkopolskich 2, 85-090 Bydgoszcz
tomasz.runka@put.poznan.pl

Ekrany scyntylacyjne wykorzystujące warstwy krystaliczne (SCF – *single crystalline film*) otrzymywane metodą epitaksji z fazy ciekłej (LPE – *liquid-phase epitaxy*) odgrywają ważną rolę w detektorach używanych do obrazowania 2D/3D w synchrotronach rentgenowskich z rozdzielczością przestrzenną w zakresie mikronowym i submikronowym [1].

Opracowanie materiałów scyntylacyjnych wykazujących emisję w zakresie widzialnym, takich jak warstwy SCF perowskitu $Gd_{1-x}Lu_xAlO_3$ domieszkowanego jonami Eu^{3+} , Tb^{3+} and Ce^{3+} , wraz ze staranną optymalizacją składu (wartości x) w celu zminimalizowania niedopasowania sieciowego i uzyskania materiałów wysokiej jakości optycznej wymaganej do obrazowania rentgenowskiego, zostało już wdrożone w Europejskim Centrum Promieniowania Synchrotronowego (ESRF) w ramach projektu rozwoju nowych ekranów scyntylacyjnych dla detektorów obrazowania rentgenowskiego [2,3]. Jednakże warstwy SCF granatu $Y_3Al_5O_{12}$ domieszkowanego jonami Ce^{3+} (YAG:Ce) na niedomieszkowanych podłożach krystalicznych $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) i $Lu_3Al_5O_{12}$ (LuAG) są również materiałami o szerokich i obiecujących zastosowaniach, np. jako ekrany katodoluminescencyjne, ekrany do wizualizacji obrazów rentgenowskich, scyntylatory oraz konwertery luminescencyjne [4].

W niniejszej pracy przedstawiono badania spektroskopii Ramana oraz wysokorozdzielczej spektroskopii luminescencyjnej w celu scharakteryzowania przekroju poprzecznego warstw $Gd_{0.6}Lu_{0.4}AlO_3$, $GdAlO_3$ i $LuAlO_3$ domieszkowanych jonami Eu^{3+} osadzonych na podłożu monokrystalicznym $YAlO_3$ (YAP) oraz warstw krystalicznych $Y_3Al_5O_{12}$ domieszkowanych jonami Ce^{3+} na podłożach monokrystalicznych YAG i LuAG, a w szczególności obszaru znanego jako warstwa przejściowa, tj. w zakresie bliskim granicy między warstwą krystaliczną a podłożem monokrystalicznym.

Bibliografia:

- [1] Martin T., Koch A., Recent Developments in X-ray imaging with micrometer spatial resolution, J. Synchrotron Radiat., 13 (2006) 180-194.
- [2] Riva F., Douissard P.A., Martin T., Carlá F., Zorenko Yu., Dujardin C., Epitaxial growth of gadolinium and lutetium-based aluminum perovskite thin films for X-ray micro-imaging applications, Cryst. Eng. Comm. 18 (2016) 608-615.
- [3] Zorenko Yu., Gorbenko V., Zorenko T., Voznyak T., Riva F., Douissard P.A., Martin T., Fedorov A., Suchocki A., Zhydashchevski Ya., Growth and luminescent properties of single crystalline films of Ce^{3+} doped $Pr_{1-x}Lu_xAlO_3$ and $Gd_{1-x}Lu_xAlO_3$ perovskites, J. Cryst. Growth. 457 (2017) 220-226.
- [4] Markovskiy A., Radomski P., Dewo W., Gorbenko V., Fedorov A., Runka T., Zorenko Yu., Photoluminescence and Raman spectroscopy of Ce^{3+} doped $Y_3Al_5O_{12}$ single crystalline films grown onto $Y_3Al_5O_{12}$ and $Lu_3Al_5O_{12}$ substrates, Mat. Res. Bull. 182 (2025) 113141.

Podziękowania: Badania zostały sfinansowane w ramach projektu 0511/SBAD/2551.



Zastosowania spektroskopii ramanowskiej w badaniach materiałów molekularnych

Marcin Kozanecki, Aleksandra Wypych-Puszkarcz, Paulina Filipczak-Hardzei,
Jacek Ulański

Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 114
jacek.ulancki@p.lodz.pl

W niniejszej prezentacji przedstawione będą wybrane problemy badawcze, w których rozwiązaniu istotną rolę odegrały techniki spektroskopii ramanowskiej, zilustrowane wynikami uzyskanymi w Katedrze Fizyki Molekularnej PŁ (KFM). Prowadzone w KFM prace miały zasadniczo charakter badań podstawowych; wyróżnić należy m.in. charakteryzowanie niejednorodności nanostruktury polimerów amorficznych przez analizę tzw. pasma bozonowego w zakresie $10\text{--}30\text{ cm}^{-1}$ w widmach ramanowskich [1]. Ważnym osiągnięciem było odkrycie efektu rezonansu Ramana w ciekłej wodzie [2], co ma także duże znaczenie praktyczne, gdyż spektroskopia ramanowska jest techniką preferowaną w badaniach struktury wody oraz oddziaływań w układach wodnych, także biologicznych [3]. Pionierski charakter miało również wykazanie wzmocnionego powierzchniowo efektu rozpraszania Ramana (SERS) dla cząsteczek wody w obecności nanocząstek srebra, zaobserwowane bez zewnętrznego pola elektrycznego [4].

Spektroskopia ramanowska okazała się również cennym narzędziem w badaniach z zakresu elektroniki molekularnej. Spektakularnym osiągnięciem było m.in. użycie mikroskopii Ramana do śledzenia i optymalizacji procesu termicznej przemiany kryształów polijodków bis(etylenoditio)tetratiafulwalenu (ET_2I_3) z fazy $\alpha\text{-ET}_2\text{I}_3$ do nadprzewodzącej fazy $\beta\text{-ET}_2\text{I}_3$ w polikrystalicznej warstwie ET_2I_3 w poliwęglanie, co umożliwiło wytworzenie kompozytu polimerowego wykazującego przejście do stanu nadprzewodnictwa [5]. Polaryzacyjną mikroskopię ramanowską zastosowano również do określenia orientacji molekuł półprzewodników organicznych w tranzystorach z efektem polowym wytworzonych metodą wylewania strefowego [6].

W ostatnich latach, w ramach projektów krajowych i międzynarodowych, podjęto badania mające na celu wykorzystanie spektroskopii ramanowskiej do oceny stopnia zmian zwyrodnieniowych chrząstki stawu kolanowego. Uzyskane pozytywne wyniki mogą stanowić podstawę do opracowania nowatorskiej procedury diagnostyki zmian chorobowych chrząstek z wykorzystaniem endoskopowej sondy ramanowskiej.

Bibliografia:

- [1] Wypych A., Duval E., Mermet A., Boiteux G., David L., Ulancki J., Etienne S., "Kovacs effect in PMMA observed by low-frequency Raman scattering (boson peak)", *J. Non-Crystal. Sol.*, 352, 4562–4567 (2006).
- [2] Pastorcak M., Kozanecki M., Ulancki J., "Raman Resonance Effect in Liquid Water", *J. Phys. Chem. A, Lett.*, 112, 10705–10707 (2008).
- [3] Pastorcak M., Kozanecki M., Ulancki J., "Water–Polymer interactions in PVME hydrogels – Raman spectroscopy studies", *Polymer*, 50, 4535–4542 (2009).
- [4] Filipczak P., Hałagan K., Ulański J., Kozanecki M., "Surface-enhanced Raman scattering of water in aqueous dispersions of silver nanoparticles", *Beilstein J. Nanotechnol.* 12, 497–506 (2021).
- [5] Wojciechowski R., Ulancki J., Lefrant S., Faulques E., "In situ Raman spectroscopy of thermal phase transformation of ET_2I_3 polycrystalline network in polymer film", *Synth.Met.*, 109, 301–304 (2000).
- [6] Kotarba S., Jung J., Kowalska A., Marszałek T., Kozanecki M., Miskiewicz P., Mas-Torrent M., Rovira C., Veciana J., Puigmarti-Luis J., Ulancki J., "Anisotropy in structural and physical properties in tetrathiafulvalene derivatives-based zone-cast layers as seen by Raman spectroscopy, UV-visible spectroscopy, and field effect measurements", *J. Appl. Phys.*, 108, 014504 (2010)



Wytwarzanie diody elektroluminescencyjnej QLED o zdefiniowanym obszarze świecącym

Marta Krencjasz¹, Beata Łuszczyńska¹, Adam Łuczak¹, Jacek Ulański¹, Jarosław Jung¹,
Gabriela Wiosna-Sałyga¹, Adrian Adamski¹, Ruslana Udovytka¹

*1. Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, Katedra Fizyki Molekularnej, ul. Żeromskiego 114, 90-543 Łódź
marta.krencjasz@dokt.p.lodz.pl*

Kropki kwantowe (QD) stanowią obiecującą grupę nowoczesnych, luminescencyjnych nanomateriałów, których właściwości optyczne, zarówno absorpcyjne jak i emisyjne, można precyzyjnie regulować poprzez kontrolę rozmiaru cząstek. Ukierunkowana synteza umożliwia otrzymywanie wydajnych materiałów emitujących światło w szerokim zakresie barw. Kropki kwantowe znajdują zastosowanie jako materiały emisyjne w diodach elektroluminescencyjnych QLED, szczególnie w technologii wyświetlaczy [1].

W ramach prezentowanych badań opracowano metodę kształtowania struktury diody QLED poprzez kontrolowane formowanie warstwy transportującej elektrony (ETL) wykonanej z tlenku cynku domieszkowanego glinem (AZO). W badaniach zastosowano trzy strategie definiowania wzoru warstwy ETL. Pierwszą strategią było selektywne nanoszenie materiału metodą druku atramentowego. Technika ta umożliwia precyzyjne, bezkontaktowe nanoszenie cienkich warstw materiałów funkcjonalnych w procesach niskotemperaturowych. Możliwość cyfrowego projektowania wzoru pozwala na bezpośrednie definiowanie geometrii nanoszonej warstwy. Dzięki temu możliwe jest wytwarzanie struktur o różnorodnych kształtach i rozmiarach bez konieczności stosowania dodatkowych masek technologicznych. Drugą strategią było kształtowanie wzoru poprzez selektywne usuwanie warstwy AZO, wcześniej naniesionej na podłoże, z wykorzystaniem ablacji laserowej. Proces ten umożliwiał precyzyjne definiowanie obszarów aktywnych diody QLED, gdzie pozostawiona warstwa ETL odpowiadała za transport elektronów do warstwy emisyjnej, natomiast obszary pozbawione warstwy AZO pozostawały nieaktywne. Istotną zaletą tej metody jest możliwość bezkontaktowego formowania dowolnych wzorów geometrycznych za pomocą skupionej wiązki laserowej, bez uszkodzenia znajdującej się poniżej elektrody ITO. Natomiast trzecia strategia obejmowała manualne formowanie wzoru poprzez miejscowe nanoszenie lub usuwanie materiału, umożliwiające tworzenie spersonalizowanych struktur o dowolnej geometrii, takich jak odręczne pismo, symbole oraz elementy dekoracyjne. Prace badawcze obejmowały aspekty materiałowe i technologiczne. Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość wykorzystania metod addytywnych i subtraktywnych do definiowania obszarów warstw funkcjonalnych diod QLED, umożliwiając projektowanie struktur o zróżnicowanej geometrii. Wykonane urządzenie świeciło światłem niebieskim o luminancji sięgającej 10 000 cd/m².

Badania zostały wykonane w ramach projektu: NCBR
POLBER/5/63/PrintedQDD/2022.

Bibliografia: [1] Kim Jaehoon, Roh Jeongkyun, Park Myoungjin, Lee Changhee, Recent Advances and Challenges of Colloidal Quantum Dot Light-Emitting Diodes for Display Applications, Advanced Materials, 36, 2212220, 2024.



Teoria kwantowa „Atomów w Molekułach” w analizie dynamicznej sieci wiązań wodorowych w przewodnikach protonowych

A. Łapiński, A. Mizera, S. Zięba, K. Stachowiak, M. Widelicka

Instytut Fizyki Molekularnej PAN, ul. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań

e-mail: lapinski@ifmpan.poznan.pl

Duże zainteresowanie grup badawczych na całym świecie skierowane jest na poszukiwanie nowych, alternatywnych źródeł energii wykorzystywanych w środkach transportu. Ogniwa paliwowe, w których jedynymi produktami ubocznymi są woda oraz ciepło, mogą być alternatywą do powszechnie używanych paliw kopalnych. W naszych badaniach poszukujemy stałych elektrolitów o wysokim przewodnictwie elektrycznym, które charakteryzowałyby się mniejszą lotnością oraz znacznie wyższą temperaturą topnienia niż elektrolity ciekłe [1-5].

Kluczem do tworzenia nowych, efektywnych stałych elektrolitów, które mogłyby zastąpić ciekłe lub stałe przewodniki jonowe w urządzeniach elektrochemicznych, jest występowanie w tych materiałach dynamicznej sieci wiązań wodorowych. Taka sieć charakteryzuje się ciągłym zrywaniem i ponownym tworzeniem się wiązań wodorowych między cząsteczkami, co pozwala protonom na efektywny transport w sieci krystalicznej.

W analizie dynamicznej sieci wiązań wodorowych wykorzystujemy teorię kwantową „Atomów w Molekułach” (ang. *Quantum Theory of Atoms in Molecules*). Pozwala ona na zdefiniowanie atomów i wiązań chemicznych bezpośrednio na podstawie rozkładu gęstości elektronowej w cząsteczce [6]. Opiera się ona na wyznaczeniu i analizie funkcji gęstości elektronowej, jej parametrów w punktach krytycznych oraz topologicznej analizie pola gradientu. W wyniku tej analizy dostajemy informacje o energii wiązań wodorowych, które mogą uczestniczyć w procesie dyfuzji protonu. Dane te są istotne również z punktu widzenia analizy ścieżek przewodzenia protonu oraz potencjalnych mechanizmów przewodzenia w przewodnikach protonowych.

Bibliografia:

- [1] Zięba Sylwia, Mizera Adam, Pogorzelec-Glaser Katarzyna, Łapiński Andrzej, *Proton conducting system (ImH₂)₂SeO₄·2H₂O investigated with vibrational spectroscopy*, Spectrochimica Acta: Part A - Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 180 (2017) 224–233.
- [2] Widelicka Małgorzata, Pogorzelec-Glaser Katarzyna, Pietraszko Adam, Ławniczak Paweł, Pankiewicz Radosław, Łapiński Andrzej, *Order-disorder phase transition in an anhydrous pyrazole-based proton conductor: The enhancement of electrical transport properties*, Physical Chemistry Chemical Physics, 19(37) (2017) 25653–25661.
- [3] Widelicka Małgorzata, Pogorzelec-Glaser Katarzyna, Pankiewicz Radosław, Łapiński Andrzej, *Spectroscopic investigations of the new anhydrous proton-conducting compound of pyrazole with oxalate acid*, Journal of Raman Spectroscopy 50(12) (2019) 1914–1925.
- [4] Zięba Sylwia, Dubis Alina T., Ławniczak Paweł, Gzella Andrzej, Pogorzelec-Glaser Katarzyna, Łapiński Andrzej, *Effect of counter ions on physical properties of imidazole-based proton conductors*, Electrochimica Acta 306 (2019) 575–589.
- [5] Zięba Sylwia, Gzella Andrzej, Dubis Alina T., Łapiński Andrzej, *Combination of negative, positive, and near-zero thermal expansion in Bis(imidazolium) terephthalate with a helical hydrogen-bonded network*, Crystal Growth and Design, 21(7) (2021) 3838–3849.
- [6] Bader Richard F.W., *Atoms in Molecules. A Quantum Theory*, Clarendon Press, Oxford, 1990.

Fluorescencja porficenów

M. Kijak,¹ A. Listkowski,^{1,2} A. Gajewska,¹ M. Gil,¹ A. Gorski,¹ J. Waluk¹

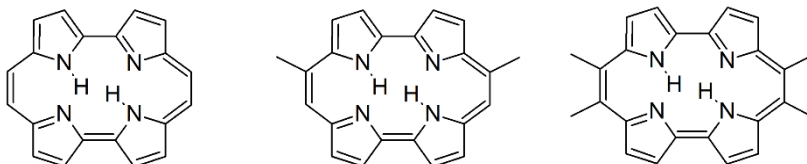
¹ Institute of Physical Chemistry, Polish Academy of Sciences, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warsaw, Poland;

² Faculty of Mathematics and Science, Cardinal Stefan Wyszyński University, Dewajtis 5, 01-815 Warsaw, jwaluk@ichf.edu.pl

Niepodstawiony porficen jest najbardziej wydajnym emiterym spośród wszystkich strukturalnych izomerów porfiryry [1]. Natomiast niektóre jego pochodne emitują bardzo słabo [2], a spadek wydajności kwantowej o 2-3 rzędy wielkości uzyskać można poprzez „niewinnie” wyglądające podstawienie, np. grupami alkilowymi (Rys. 1), niewielką modyfikacją podstawnika, np. zastąpienie grupy izopropylowej *tert*-butylową [3], czy też przez zmianę pozycji podstawnika [4].

Co ciekawe, umieszczenie słabo emitującego porficenu w sztywnym środowisku skutkuje odzyskaniem silnej fluorescencji. Wynik ten sugeruje, że za aktywację wydajnego kanału bezpromienistej depopulacji stanu S_1 odpowiada duża zmiana geometrii po wzbudzeniu. Badania absorpcji przejściowej wykazały, że szybka dezaktywacja związana jest z wydajną konwersją wewnętrzną $S_0 \leftarrow S_1$.

W komunikacie przedstawię model, który pozwala na przewidywanie względnych wydajności fluorescencji porficenów w oparciu o obliczenia zmian energii przy skręcaniu cząsteczki w stanie S_1 wokół jednego z wiązań. Model bardzo dobrze zgadza się z eksperymentami wykonanymi dla porficenów różniących się rodzajem podstawników, ich liczbą oraz pozycją w pierścieniu makrocyklicznym.



Rysunek 1. Porficen (lewa strona) emituje silną fluorescencję, natomiast pochodna tetrametylowa (prawa strona) praktycznie nie świeci w roztworze. Dimetylowa pochodna (środek) emituje podobnie do niepodstawionego porficenu [5].

Bibliografia:

- [1] Waluk, J. Spectroscopy and tautomerization studies of porphyrines. *Chem. Rev.* 117, 2447–2480, **2017**.
- [2] Gil, M.; Dobkowski, J.; Wiosna-Sałyga, G.; Urbańska, N.; Fita, P.; Radzewicz, C.; Pietraszkiewicz, M.; Borowicz, P.; Marks, D.; Glasbeek, M.; Waluk, J. Unusual, solvent viscosity-controlled tautomerism and photophysics: *meso*-alkylated porphyrines. *J. Am. Chem. Soc.* 132, 13472–13485, **2010**.
- [3] Listkowski, A.; Luboradzki, R.; Gil, M.; Gorski, A.; Waluk, J. A minor substituent modification leads to a large change in photophysics: 9,20-dialkyl-substituted porphyrines. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, DOI: 10.1039/d6cp01735e, **2026**.
- [4] Duk, K.; Kharchenko-Sviderskaya, A.; Kijak, M.; Listkowski, A.; Waluk, J. Substituent position-dependent photophysics in fluorinated porphyrines. *Methods Appl. Fluoresc.*, DOI 10.1088/2050-6120/ae7ae0, **2026**.
- [5] Kijak, M.; Nawara, K.; Listkowski, A.; Masiera, N.; Buczyńska, J.; Urbańska, N.; Orzanowska, G.; Pietraszkiewicz, M.; Waluk, J. 2 + 2 can make nearly a thousand! Comparison of di- and tetra-*meso*-alkyl-substituted porphyrines. *J. Phys. Chem. A*, 124, 4594–4604, **2020**.



Wpływ nanocząstek magnetytu i pola magnetycznego na proces elektrochemicznego tworzenia stożkowych struktur polipirolowych

Monika Wysocka-Żołopa, Gabriela Karbowska, Krzysztof Winkler

¹ Uniwersytet w Białymstoku, Wydział Chemii, ul. Ciołkowskiego 1K, 15-245 Białystok
monia@uwb.edu.pl

Polimery przewodzące to nowoczesne materiały, które potrafią przewodzić prąd elektryczny podobnie jak metale, a jednocześnie zachowują właściwości charakterystyczne dla tworzyw sztucznych. Dzięki temu znajdują zastosowanie m.in. w elektronice, magazynowaniu energii, sensorach chemicznych oraz biomedycynie [1-3]. Jednym z najbardziej interesujących polimerów przewodzących jest polipirol (PPy), który można otrzymywać metodami elektrochemicznymi w postaci uporządkowanych mikro- i nanostruktur.

W prezentowanej pracy badano wpływ nanocząstek magnetytu (Fe_3O_4) oraz zewnętrznego pola magnetycznego na proces elektrochemicznej syntezy kompozytu PPy/ Fe_3O_4 i kształtowanie jego właściwości. Nanocząstki magnetytu otrzymano metodą współstrącania [4], a następnie wykorzystano do przygotowania kompozytów osadzanych chronoamperometrycznie na powierzchni złotej elektrody magnetycznej. Morfologię oraz skład otrzymanych materiałów analizowano z wykorzystaniem skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej (SEM, TEM), spektroskopii w podczerwieni (FTIR) oraz analizy EDX. Właściwości elektrochemiczne badano techniką woltamperometrii cyklicznej.

Uzyskane wyniki wykazały, że obecność nanocząstek Fe_3O_4 znacząco wpływa na kinetykę elektropolimeryzacji pirolu, pełniąc funkcję centrów nukleacji odpowiedzialnych za wzrost charakterystycznych stożkowych struktur polimerowych. Jednocześnie zastosowanie pola magnetycznego sprzyja zwiększonemu osadzaniu nanocząstek magnetytu na powierzchni elektrody, co prowadzi do wzrostu liczby miejsc nukleacji oraz bardziej efektywnego formowania uporządkowanej struktury kompozytu. W efekcie otrzymano wysoce rozwinięte trójwymiarowe struktury stożkowe o zwiększonej powierzchni właściwej i korzystniejszych właściwościach elektrochemicznych. Otrzymane rezultaty wskazują, że synergiczne oddziaływanie pola magnetycznego i nanocząstek magnetytu stanowi skuteczne narzędzie do kontrolowania morfologii oraz właściwości funkcjonalnych kompozytów polipirolowych, co może mieć znaczenie w projektowaniu nowoczesnych materiałów dla elektrochemicznych magazynów energii i sensorów.

Bibliografia:

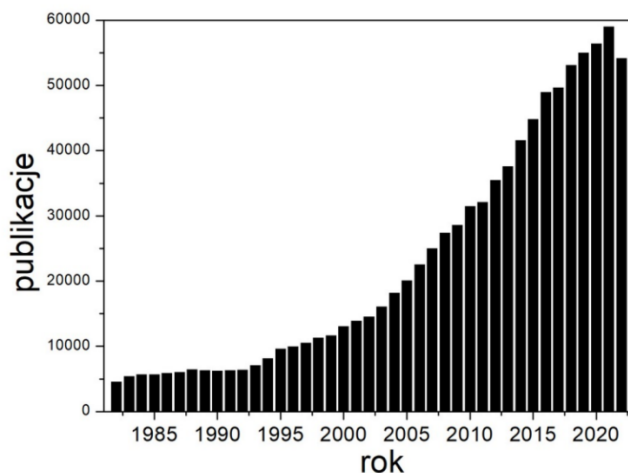
- [1] Das T. K., Prusty S., Review on conducting polymers and their applications, *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 51 (14) (2012) 1487-1500.
- [2] Mattam L. B., Bijoy A., Thadathil D. A., George L., Varghese A., Conducting polymers: A versatile material for biomedical applications, *ChemistrySelect* 7 (2022) e202201765.
- [3] Madhushani K. A. U., Gupta R.K., Conducting polymers for electrochemical energy Storage applications, In: Gupta, R.K. (eds) *Recent Advancements in Polymeric Materials for Electrochemical Energy Storage*. Green Energy and Technology. Springer, Singapore (2023) 49–70.
- [4] Yazdani, F., Seddigh, M.. Magnetite nanoparticles synthesized by co-precipitation method: The effects of various iron anions on specifications, *Materials chemistry and physics* 184 (2016) 318-323.



Szalbierstwo vs rzetelność w nauce (lament dwojga naukowców w wieku emerytalnym)

Adam Proń i Halina Szatyłowicz
Wydział Chemiczny Politechniki Warszawskiej
adam.pron@pw.edu.pl

Autorzy omówią rozwój piśmiennictwa naukowego w ciągu ostatnich 150 lat. Przedstawią również współczesne zasady atrybucji autorstwa oraz ich ewolucję na przestrzeni XX i XXI wieku. W ostatniej części wykładu skoncentrują się na analizie przyczyn i skutków niekorzystnych zmian zachodzących we współczesnym piśmiennictwie naukowym, ze szczególnym uwzględnieniem lawinowego wzrostu liczby polskich publikacji naukowych w XXI wieku (Rys. 1). Omawiane zagadnienia zostaną zilustrowane licznymi szczegółowymi przykładami, przy zachowaniu anonimowości osób, których dotyczą.



Rys. 1 Liczba artykułów naukowych z polską afiliacją publikowanych rocznie.
Statystyka dotyczy lat 1982-2022 (źródło *Web of Science*)



Nanomateriały dla biofotoniki

Sebastian G. Mucha, Marek Czystocz, Franciszek Zaleski, Jakub Będkowski,
Nina Tarnowicz-Staniak, Maria Skrodzka, Mikołaj Polaszek, Aleksandra Pasek,
Dominika Benkowska-Biernacka, Taiyebun Fabiha, Priya Sagar, Karolina Saczuk,
Paweł Cwynar, Aleksandra Matusiak, Olga Kaczmarczyk, Edward Otieno,
Leszek M. Mazur, Katarzyna Matczyszyn

Instytut Materiałów Zaawansowanych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska
katarzyna.matczyszyn@pwr.edu.pl

Biofotonika to interdyscyplinarna dziedzina nauki łącząca optykę, chemię, fizykę, nanotechnologię, biologię i medycynę [1]. Jej celem jest wykorzystanie oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z materią biologiczną do obserwacji procesów zachodzących w komórkach i tkankach, wykrywania chorób oraz prowadzenia precyzyjnych terapii np. metodą fotodynamiczną. Światło może więc pełnić podwójną funkcję: być nieinwazyjną „sondą”, pozwalającą zajrzeć w głąb materiału biologicznego, oraz narzędziem do nieinwazyjnego obrazowania, diagnostyki i terapii. Szczególne znaczenie ma mikroskopia wielofotonowa, w której impulsy światła z zakresu podczerwieni wzbudzają fluorescencję jedynie w małej objętości ogniska lasera. Umożliwia to trójwymiarowe obrazowanie głębiej położonych struktur biologicznych przy mniejszym fotouszkodzeniu próbki. Metody czułe na polaryzację pozwalają dodatkowo śledzić uporządkowanie molekularne, między innymi DNA oraz struktur ciekłokrystalicznych tworzonych przez DNA. Efektywnym znacznikiem dla układów biologicznych są kropki węglowe [2]. Dzięki odpowiednio dobranemu składowi i chemii powierzchni mogą one selektywnie lokalizować się w hydrofilowych lub hydrofobowych obszarach błon lipidowych. Pozwoliło to na obrazowanie struktur mielinowych, które stanowią biomimetyczne struktury naśladujące wielowarstwową organizację osłonki mielinowej oraz wyznakowanie ich domen wodnych i lipidowych.

Innym znacznikiem dla biofotoniki są nanocząstki złota, których właściwości plazmoniczne można regulować przez kontrolę ich wielkości, kształtu i składu powierzchni. Syntezy chemiczne oraz bardziej przyjazne biologicznie metody wykorzystujące ekstrakty roślinne, grzyby i mikroorganizmy mają kluczowe znaczenie do efektywnych zastosowań. Zjawisko rezonansu plazmonowego umożliwia wzmacnianie sygnałów spektroskopowych, lokalne ogrzewanie oraz zastosowania w wykrywaniu biomolekuł, terapii fototermicznej i fotodynamicznym zwalczaniu drobnoustrojów. Połączenie światła z nanomateriałami otwiera drogę do teranostyki, czyli jednoczesnej diagnostyki, terapii i kontroli efektów leczenia. W przyszłości takie rozwiązania mogą wspierać wczesne wykrywanie chorób, bardziej selektywne leczenie oraz rozwój bezpieczniejszych metod obrazowania układu nerwowego czy struktur kwasów nukleinowych.

Bibliografia:

- [1] Tarnowicz-Staniak, N., Mucha, S. G., Benkowska-Biernacka, D., Mazur, L.M., Matczyszyn, K., Engineering Multiphoton-Active Gold and Carbon Nanoparticles for Precision Biophotonics, Chemical Communications, 2026
[2] Benkowska-Biernacka, D., Mucha, S.G., Matczyszyn, K. Three-Dimensional Imaging of Bioinspired Lipidic Mesophases Using Multicolored Light-Emitting Carbon Nanodots, J. Phys. Chem. Lett, 2024



Projektowanie, przygotowanie i charakterystyka hybrydowych układów LC/CNC w ultracienkich warstwach na granicy faz gaz – ciecz

Natalia Bielejewska

*Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, ul. Mariana Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań
natalia.bielejewska@ifmpan.edu.pl*

Rosnące potrzeby technologiczne wywierają nacisk na poszukiwanie nowych mechanizmów i efektów prowadzących do uzyskania układów o szczególnych cechach i właściwościach. Obecnie poszukiwania nowych materiałów często rozpoczynają się w skali nanometrycznej, w dziedzinie cienkich warstw, samoorganizacji warstw molekularnych czy inteligentnych powłok. Wyjątkowe właściwości zarówno celulozy (CNC), jak i ciekłych kryształów (LC) sprawiają, że materiały te są szeroko stosowane w różnych dziedzinach życia, a postęp w nanotechnologii pozwala na tworzenie materiałów hybrydowych. Połączenie LC i CNC skutkuje ulepszonymi właściwościami, takimi jak rozszerzony zakres temperaturowy mezofazy czy wyższa stabilność i wytrzymałość mechaniczna cienkich warstw ciekłokrystalicznych. Nanokrystaliczna celuloza uzyskiwana w procesie utleniania katalizowanym metalami przejściowymi pozwala na uzyskanie grup hydroksylowych aktywnych w interakcjach z cząsteczkami ciekłego kryształu. Dzięki synergicznemu połączeniu i wzajemnym oddziaływaniu składników, ustabilizowano cząsteczki ciekłych kryształów na granicy faz gaz – ciecz poprzez efekt kotwiczenia, tworząc stabilne i ściśliwe ultracienkie monowarstwy molekularne. Wykazano, że tworzenie hybrydowej warstwy Langmuira LC/CNC jest procesem dwuetapowym i silnie zależy zarówno od struktury badanego ciekłego kryształu jak i warunków podczas tworzenia warstw na granicy faz gaz – ciecz.

Bibliografia:

- [1] N. Bielejewska, R. Hertmanowski, Functionalization of LC molecular films with nanocrystalline cellulose: A study of the self-assembly processes and molecular stability, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 187, 110634 (2020).
- [2] N. Bielejewska, R. Hertmanowski, Surface characterization of nanocomposite Langmuir films based on liquid crystals and cellulose nanocrystals, *Journal of Molecular Liquids*, 323, 115065 (2021).
- [3] N. Bielejewska, R. Hertmanowski, The anchoring effect and cooperative interactions in 5CB/CNC molecular films. *Liquid Crystals*, 51(12), 2046–2058 (2024).

Chiralne rodniki i dirodniki Blattera dla współczesnych technologii

Piotr Kaszyński

Centrum Badan Molekularnych i Makromolekularnych PAN, 90-363 Łódź, Poland

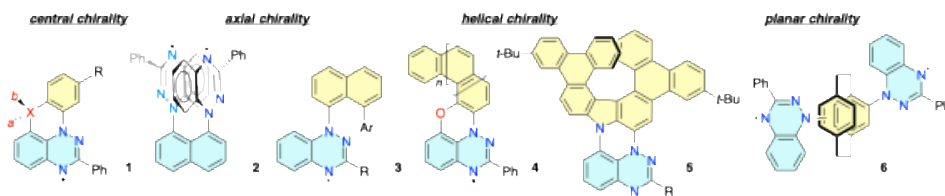
Wydział Chemii, Uniwersytet Łódzki, Tamka 12, 91403 Łódź, Poland

piotr.kaszyński@cbmm.lodz.pl

Chiralne rodniki organiczne mają fundamentalne znaczenie naukowe i rosnącą wagę dla rozwoju nowych materiałów funkcjonalnych do zastosowań w takich dziedzinach jak optoelektronika i przetwarzanie informacji. Połączenie higrotycznych i paramagnetycznych właściwości π -zdelokalizowanego spinu daje materiały wykazujące zjawiska synergiczne, takie jak dichroizm magnetochoiralny i efekt Faradaya.

Pochodne rodnika Blattera (BT) należą do klasy wyjątkowo stabilnych i relatywnie łatwo dostępnych rodników organicznych posiadających pi zdelokalizowany spin, atrakcyjne właściwości redox i absorpcję w paśmie widzialnym. Ze względu na swoje właściwości, rodniki BT stają się ważnymi elementami strukturalnymi zaawansowanych materiałów, które są badane pod kątem zastosowań w nowoczesnych technologiach. Jednym z kierunków naszych badań jest otrzymanie i pełne charakteryzowanie chiralnych pochodnych rodników BT. W tym kontekście w ostatnich latach otrzymaliśmy rodniki **1–6**, reprezentujące wszystkie cztery formy chiralności: punktową, osiową, helikalną i planarną [1-5].

Zaprezentowane będą metody otrzymywania tych rodników, rozdziału chiralnego oraz właściwości.



Ryc. Struktury chiralnych rodników i dirodników badanych w Zespole

Bibliografia:

- [1] A. Bodzioch, A. Pietrzak and P. Kaszyński, *Org. Lett.*, 2021, **23**, 7508–7512.
- [2] P. Bartos, D. Pomikło, K. B. Sorenson, O. Hietsoi, A. C. Friedli and P. Kaszyński, *J. Am. Chem. Soc.*, 2025, **147**, 125–129.
- [3] H. K. Singh, A. Bodzioch, A. Pietrzak and P. Kaszyński, *Chem. Commun.*, 2025, **61**, 496–499.
- [4] H. K. Singh, V. Punjani, J. Rybáček, A. Pietrzak, L. Bednárová and P. Kaszyński, *Chem. Commun.*, 2026, **62**, 5046–5050.
- [5] V. K. Vishwakarma, A. Pietrzak and P. Kaszyński, *J. Mater. Chem. C*, 2026, **14**, 000.

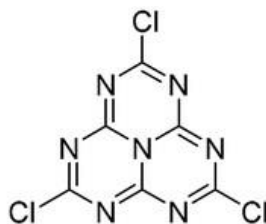
Tri-chloro-heptazyna jako modelowa cząsteczka z inwersją stanów S-T

Olaf Morawski, Andrzej Sobolewski

*Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
morawo@ifpan.edu.pl*

Tri-chloro-heptazyna (2,5,8-trichloro-1,3,4,6,7,9,9b-heptaazafenalen lub tri-s-triazyna), rysunek 1, posiada wysoką temperaturę topnienia i jest szeroko stosowana w syntezach polimerów oraz do budowy struktur metalo-organicznych (MOF) [1]. Cząsteczka charakteryzuje się symetrią D_{3h} a obliczenia metodami *ab-initio* i także wyniki doświadczalne wskazują, że w takiej strukturze najniższy wzbudzony stan singletowy S_1 ma energię niższą niż najniższy stan trypletowy T_1 [2, 3]. Zastosowanie takiego układu molekularnego w organicznej diodzie luminescencyjnej (OLED) może, teoretycznie, prowadzić do osiągnięcia 100 % wydajności konwersji prądu elektrycznego na światło, gdyż rekombinacja par elektron – dziura do stanu trypletowego (statystycznie 75 % przypadków) położonego nad stanem singletowym S_1 otwiera możliwość obsadzenia tego ostatniego poprzez odwrotne przejście międzysystemowe (RISC) $T_1 \leadsto S_1$. Stąd oczekiwanie, że wydajność świecenia diody OLED będzie ograniczona tylko przez wewnętrzną konwersję $S_1 \leadsto S_0$ – jedynego wewnątrzcząsteczkowego procesu konkurencyjnego do pożądanego przejścia optycznego $S_1 \rightarrow S_0$.

Badania doświadczalne tri-chloro-heptazyny potwierdziły występowanie inwersji S-T w tej cząsteczce. Wykazały też niską wartość stałej promienistej k_r przejścia optycznego $S_1 \rightarrow S_0$ sugerowaną także przez wyniki obliczeń teoretycznych. Ponadto sprawdzono czy zachodzi transfer energii z heptazyny do cząsteczki barwnika laserowego z wysokim momentem przejścia $S_1 \rightarrow S_0$, co zwiększyłoby emisyjność układu. Wyniki tych prac pokazują czy jest możliwe zrealizowanie koncepcji hiper fluorescencyjnej diody OLED (HF OLED) poprzez zastosowanie mieszaniny cząsteczek z inwersją S-T (pełniących rolę gospodarza) z cząsteczkami wysoce emisyjnych barwników (z rolą gościa).



Rysunek 1. Struktura molekularna tri-chloro-heptazyny.

Bibliografia:

- [1] Kumar, Sunil, Sharma, Neha, Kailasam, Kamalakannan, Emergence of s-heptazines: from trichloro-s-heptazine building blocks to functional materials, *J. Mater. Chem. A*, **2018**, 6, 21719–2172.
[2] de Silva, Piotr, Inverted Singlet–Triplet Gaps and Their Relevance to Thermally Activated Delayed Fluorescence, *J. Phys. Chem. Lett.*, **2019**, 10, 5674–5679.
[3] Ehrmaier, Johannes, Rabe, Emily J., Pristash, Sarah R., Corp, Kathryn L., Schlenker, Cody W., Sobolewski, Andrzej L. and Domcke, Wolfgang, Singlet–Triplet Inversion in Heptazine and in Polymeric Carbon Nitrides, *J. Phys. Chem. A*, **2019**, 123, 8099–8108.



Two-Component Perylene Systems for White Random Lasing

Alina Szukalska

*Soft Matter Optics Group, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology,
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
alina.szukalska@pwr.edu.pl*

White random lasing (WRL) is an emerging approach for generating stimulated emission from disordered photonic systems, with emission perceived by the human eye as white due to the combination of spectral components covering the visible range. Despite significant progress in recent years, the development of white-emitting gain media remains limited by the complexity of multicomponent dye mixtures, where maintaining spectral balance and efficient energy transfer between emitters requires material optimization [1–4]. Reducing the number of active components while preserving white emission is therefore one of the key challenges toward simpler WRL architectures.

In this study, a simplified WRL concept based on perylene-derived organic dyes is demonstrated. Perylenes and their derivatives are widely known in the literature due to their applications in photocatalysis, organic solar cells, and lighting systems. These materials exhibit high fluorescence efficiency, photostability, and aggregation-dependent optical properties. The presented results demonstrate that perylene-based dyes can also serve as efficient gain media for WRL. By utilizing the coexistence of monomeric and aggregated emissive states, broadband white emission was achieved using a two-dye gain system instead of the commonly applied three-component approach. Additionally, another perylene derivative, characterized by limited aggregation, was shown to be suitable for efficient yellow laser emission, complemented by the blue-lasing, basic perylene for white output. The optical performance of the developed systems was evaluated under optical excitation, demonstrating spectral coverage across the visible range and the feasibility of reduced-complexity WRL designs. This indicated that perylene-based materials can be successfully applied for the development of simplified and tunable WRL systems, providing new possibilities for future photonic applications [5].

Bibliografia:

- [1] Zhan X., Xu F.F., Zhou Z., Yan Y., Yao J., Zhao Y.S., 3D Laser Displays Based on Circularly Polarized Lasing from Cholesteric Liquid Crystal Arrays, *Adv. Mater.*, 33, 37, e2104418, 2021.
- [2] Haas H., LiFi is a paradigm-shifting 5G technology, *Rev. Phys.*, 3, 26-31, 2018.
- [3] Szukalska A., Myśliwiec J., White lasing - materials, design and applications, *J. Mater. Chem. C*, 11, 26, 8724-8757, 2023.
- [4] Szukalska A.B., Karcz J., Herman J., Pocięcha D., Górecka E., Kula P., Myśliwiec J., Temperature Tunable Heliconical and Ferroelectric Nematics for White Lasing, *Adv. Mater.*, 38, 1, e11648, 2026. [5] Szukalska A., Szukalski A., Adaszynski M., Myśliwiec J., White Lasing and White Fluorescence from the Simplified Two-Dyes Organic System, *Adv. Opt. Mater.*, 11, 16, 2300266, 2023.

Acknowledgements:

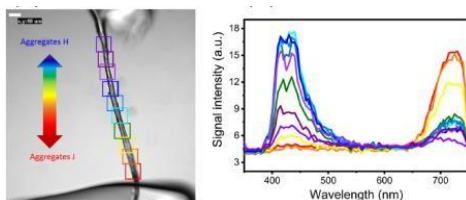
Research funded by the National Science Center, Poland, SONATA project (2023/51/D/ST5/01415).

Zjawisko Marangoniego i jego znaczenie w inżynierii materiałowej i optofluidyce

Andrzej Miniewicz

*Instytut Materiałów Zaawansowanych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska
andrzejminiewicz1@gmail.com*

Tworzenie precyzyjnie zaprojektowanych nanostruktur w roztworach wodnych jest istotne dla wszystkich żywych organizmów. Nanostrukturalne materiały zbudowane z organicznych i hybrydowych: organiczno-nieorganicznych cząsteczek i jonów mogą wykazywać różne optyczne właściwości w zależności od ich molekularnych struktur bądź agregatów. Jedną z ciekawszych metod tworzenia nanostruktur w roztworach jest metoda wykorzystująca soluto-kapilarne zjawisko Marangoniego zachodzące w jedno-, dwu- bądź trójskładnikowych układach cieczy. W niniejszej pracy przedstawimy powstawanie struktur nanoskopowych dobrze znanego nieliniowego optycznie chromoforu z rodziny pirazoli: DCNP. Cząsteczki DCNP są rozpuszczalne w izopropanolu (IPA) a nierozpuszczalne w wodzie. Tworząc binarną mieszaninę: wody z IPA o niewielkiej zawartości DCNP i wylewając ją na warstwę oleju można w odpowiednich warunkach zaobserwować zjawisko tzw. „Marangoni bursting” [1], czyli szybkiego rozpyływania się kropli alkoholu/wody po powierzchni oleju wykazującego niestabilność palczastą. Dla pewnych stężeń ten proces prowadzi do spektakularnego powstawania tysięcy małych kropelek na powierzchni oleju. Po odparowaniu alkoholu a później wody na powierzchni oleju powstają nanocząstki DCNP: nanokryształy bądź agregaty. Celem niniejszej pracy było wykazanie, że w tym procesie obok nanokryształów DCNP powstają długie nitkowate struktury agregatów DCNP o odmiennych właściwościach luminescencyjnych. Analiza widm agregatów cząsteczkowych [2] poparta obliczeniami kwantowochemicznymi pozwoliła na zaobserwowanie dwufotonowo wzbudzonej niebieskiej luminescencji, która nie była obserwowana w makroskopowych kryształach DCNP, wykazujących luminescencję w zakresie czerwonym widma.



Rys. 1. Sygnały emisji wzbudzonej światłem 780 nm lasera femotsekundowego w różnych miejscach włókna DCNP. Widoczne przebudowanie widma wzdłuż włókna.

W wystąpieniu przedstawimy również inne ciekawe aspekty zjawiska Marangoniego, np. pułapkowanie laserem pęcherzyków gazu, sterowanie ruchem niewielkich pływaków za pomocą wiązki laserowej czy uginanie powierzchni cieczy [3].

Bibliografia:

- [1] Ślomp Michalina, Miniewicz Andrzej, Marangoni Bursting: Insight into the Role of the Thermocapillary Effect in an Oil Bath, *Fluids*, 255, 8(9), 2023.
- [2] Ślomp Michalina, Miniewicz Andrzej, Sobolewska Anna, Zaleśny Robert, Sobolewski Andrzej L., Brevet Pierre-Francois, Tale of a Growth: Marangoni Bursting Phenomenon as a Viable Route for Obtaining Fibers of Organic chromophores, *J. Phys. Chem. C*, 3307-3317, 128, 2024.
- [3] Belej Monika, Grześkiewicz Katarzyna, Miniewicz Andrzej, Laser light-induced deformation of free surface of oil due to thermocapillary Marangoni phenomenon: Experiment and computational fluid dynamics simulations, *Phys. Fluids* 082104, 34, (2022).

Hybrydowy układ grafenowych kropek kwantowych i nanocząstek magnetytu – synteza i właściwości

Joanna Breczko¹, Kinga Ciecuch-Tymoniuk^{1,2}, Diana M. Bobrowska¹, Monika Wysocka-Żołopa¹, Krzysztof Winkler¹

¹ Uniwersytet w Białymstoku, Wydział Chemii, ul. Ciołkowskiego 1K, 15-245 Białystok

² Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, Wydział Lekarski z Oddziałem Stomatologii i Oddziałem Nauczania w Języku Angielskim, ul. Mickiewicza 2A, 15-222 Białystok
j.luszczyn@uwb.edu.pl

Grafenowe kropki kwantowe (GQDs) stanowią zerowymiarowe struktury grafenopochodne, które dzięki zachowaniu doskonale rozwiniętej powierzchni właściwej, bardzo dobrym właściwościom elektrooptycznym oraz znakomitej rozpuszczalności w ośrodkach wodnych stają się atrakcyjnymi kandydatami do tworzenia kompozytów [1]. Nanocząstki magnetytu (MNPs) wykazują z kolei obiecujące właściwości fotokatalityczne i przeciwdrobnoustrojowe, a także zapewniają biokompatybilność, wysokie przewodnictwo elektryczne oraz odporność mechaniczną [2].

W niniejszej pracy zsyntetyzowano i scharakteryzowano układy hybrydowe oparte na kowalencyjnym połączeniu GQDs z MNPs. MNPs otrzymano metodą współstrącania z alkalicznych roztworów soli Fe(II) i Fe(III), a następnie sfunkcjonalizowano krzemionkami APTMS lub APTES zawierającymi w swojej budowie grupy aminowe. Otrzymane na drodze pirolizy GQDs z licznymi grupami karboksylowymi połączono następnie ze sfunkcjonalizowanymi nanocząstkami Fe₃O₄ (MNPs@APTES lub MNPs@APTMS) poprzez amidację z wykorzystaniem aktywatorów EDC/NHS. Otrzymane kompozyty MNPs@APTES-GQDs i MNPs@APTMS-GQDs poddano analizom fizykochemicznym pod kątem składu, struktury, rozmiaru, morfologii oraz właściwości elektrochemicznych. Widma FTIR potwierdziły obecność poszczególnych komponentów oraz powstanie wiązania amidowego. Badania mikroskopowe TEM i SEM umożliwiły określenie wielkości, kształtu, porowatości, morfologii oraz stopnia agregacji otrzymanych nanocząstek. Potwierdziły one sferyczny kształt nanocząstek hybrydy, ich mniejszą tendencję do agregacji, homogeniczność, wysoką porowatość oraz drobnociarność. Pomiary DLS wykazały monodispersyjność oraz niewielki rozmiar nanocząstek hybrydowych zawieszonych w cieczy. Pomiary voltamperometryczne z kolei wskazały na synergiczne oddziaływanie obu komponentów skutkujące poprawą właściwości elektrochemicznych materiału hybrydowego, potwierdzając ich potencjał aplikacyjny w układach do magazynowania energii. Badania potwierdziły zatem otrzymanie układu kowalencyjnego o obiecujących właściwościach elektrochemicznych.

Bibliografia:

- [1] Serdaroğlu G., Graphene Quantum Dots: Basics, Properties, and Fundamentals, in: E. Berdimurodov, D.K. Verma, L. Guo (Eds.), ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington (2024) 103–125.
[2] Rezaei B., Yari P., Sanders S.M., Wang H., Chugh V.K., Liang S., Mostufa S., Xu K., Wang J., Gómez-Pastora J., Wu K., Magnetic Nanoparticles: A Review on Synthesis, Characterization, Functionalization, and Biomedical Applications, *Small* 20 (2024) 2304848.

Projektowanie funkcjonalnych układów PPV– surfaktant o regulowanych właściwościach fizykochemicznych do zastosowań sensorycznych

Patrycja Wilczewska^a, Katarzyna Gdula^a, Joanna Breczko^b, Diana M. Bobrowska^{b*}

^aDoctoral School, University of Białystok, Ciołkowskiego 1K, 15-245 Białystok, Poland.

^bDepartment of Material Science, Faculty of Chemistry, University of Białystok, Ciołkowskiego 1K, 15-245 Białystok, Poland.

d.bobrowska@uwb.edu.pl

Poli(*p*-fenylenowinylen) (PPV) jest sprzężonym polimerem o interesujących właściwościach optycznych i elektrochemicznych, dzięki którym znajduje zastosowanie m.in. w układach sensorycznych [1]. Właściwości te mogą być modyfikowane poprzez kontrolę organizacji strukturalnej polimeru. Jednym z czynników wpływających na morfologię i stopień agregacji PPV jest obecność środków powierzchniowo czynnych. Celem pracy było zbadanie wpływu surfaktantów o różnym charakterze jonowym na właściwości strukturalne, morfologiczne, fotofizyczne i elektrochemiczne układów PPV–surfaktant oraz ocena ich potencjału w detekcji jonów Cu²⁺. Jony miedzi wybrano jako modelowy analit ze względu na ich znaczenie środowiskowe oraz zdolność do oddziaływania ze sprzężonymi układami π , prowadzącego do zmian odpowiedzi optycznej i elektrochemicznej materiału.

Układy PPV–surfaktant otrzymano metodą polimeryzacji Wittiga w obecności wybranych surfaktantów. W celu określenia wpływu rodzaju środka powierzchniowo czynnego na organizację polimeru zastosowano spektroskopię FTIR, dynamiczne rozpraszanie światła (DLS), mikroskopię elektronową (SEM i TEM), mikroskopię sił atomowych (AFM), porozymetrię oraz woltamperometrię cykliczną (CV). Właściwości fotofizyczne analizowano metodami spektroskopii absorpcyjnej i fluorescencyjnej.

Przeprowadzone badania wykazały, że rodzaj zastosowanego surfaktantu istotnie wpływa na stopień agregacji oraz morfologię otrzymanych materiałów. Zmiany organizacji strukturalnej znajdowały odzwierciedlenie zarówno we właściwościach fotofizycznych, jak i elektrochemicznych układów. Zaobserwowano różnice w położeniu maksimum emisji oraz intensywności fluorescencji, co wskazuje na modyfikację oddziaływań międzyłańcuchowych i lokalnego otoczenia makrocząsteczek PPV. Jednocześnie stwierdzono zmiany odpowiedzi elektrochemicznej materiałów, potwierdzające wpływ surfaktantów na organizację strukturalną polimeru i proces transportu ładunku.

Uzyskane wyniki wskazują, że odpowiedni dobór surfaktantu stanowi skuteczne narzędzie kształtowania właściwości układów PPV–surfaktant. Kontrolowanie morfologii i stopnia agregacji polimeru pozwala na modyfikację jego odpowiedzi optycznej i elektrochemicznej, co otwiera możliwości projektowania materiałów przeznaczonych do fluorescencyjnej i elektrochemicznej detekcji jonów Cu²⁺.

Bibliografia:

[1] I. D. M. Bobrowska et al., „Poly(*p*-phenylene vinylene) incorporated into carbon nanostructures”, J Nanopart Res, 24, 2022, 222.

Atomowa inżynieria heterostruktur $\text{TiO}_2\text{--ZnO--ZrO}_2$ poprzez kontrolę lokalnego rozmieszczenia domieszek i współdomieszkowanie jonami ziem rzadkich – symulacje komputerowe

Małgorzata Makowska-Janusik, Sangeeta

*Instytut Fizyki, Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych, Uniwersytet Jana Długosza, Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa, Polska
m.makowska@ujd.edu.pl*

Jednym z najważniejszych wyzwań współczesnej fizyki materiałów jest opracowanie półprzewodników tlenkowych o kontrolowanej strukturze elektronowej, zapewniającej wysoką efektywność procesów fotokatalitycznych i fotowoltaicznych [1,2]. W prezentowanej pracy przedstawiono kompleksowe badania oparte na teorii funkcjonału gęstości (DFT), których celem było określenie wpływu lokalnej organizacji domieszek na właściwości strukturalne i elektronowe heterogenicznych układów $\text{TiO}_2\text{--ZnO--ZrO}_2$. Zastosowane podejście obejmuje nie tylko zmianę koncentracji domieszek, lecz przede wszystkim świadome projektowanie ich przestrzennego rozmieszczenia (konfiguracje rozproszone, klastrowe i warstwowe), co stanowi nowy element inżynierii materiałowej badanych układów.

Dla układów TiO_2 wykazano, że dopiero klastrowa organizacja atomów Zn prowadzi do silnej hybrydyzacji stanów Zn–O, skutkującej wyraźnym zawężeniem przerwy energetycznej oraz powstawaniem dodatkowych stanów elektronowych w pobliżu poziomu Fermiego. Z kolei w układach ZnO zarówno konfiguracje warstwowe, jak i klastrowe powodują pojawienie się stanów Ti-3d w pobliżu poziomu Fermiego, znacząco przebudowując strukturę pasmową materiału. Współdomieszkowanie jonami Ce prowadzi do powstania stanów 4f oddziałujących ze stanami Ti-3d, tworząc zhybrydowane poziomy energetyczne sprzyjające efektywniejszemu transportowi ładunku oraz rozszerzeniu absorpcji promieniowania do zakresu światła widzialnego. Analiza energetyczna wykazała ponadto, że podstawienie Ce w pozycjach Zn jest korzystniejsze energetycznie niż substytucja w pozycjach Ti.

Uzyskane wyniki prowadzą do ogólnego wniosku, że lokalna topologia rozmieszczenia domieszek stanowi parametr o znaczeniu porównywalnym z ich stężeniem i może być skutecznie wykorzystywana jako narzędzie atomowej inżynierii struktury elektronowej tlenkowych heterostruktur półprzewodnikowych. Zaproponowana koncepcja otwiera nowe możliwości projektowania materiałów fotoindukowanych nowej generacji o zwiększonej efektywności wykorzystania promieniowania widzialnego.

Bibliografia:

- [1] Chen W.-J., Hsu K.-C., Fang T.-H., Chen T.-H., Li M.-H., Characteristics and heterostructure of metal-doped TiO_2/ZnO nanocatalysts, *Current Applied Physics* 38 (2022) 1-6
- [2] Diallo Saliou Bailo, Khelifi N., Fall M., Guermazi H, Tunable structure–property engineering and visible-light photocatalytic performance of $\text{ZnO}:\text{TiO}_2$ nanocomposites synthesized via a solid state route, *RSC Adv.* 16 (2026) 4090

Badania zostały częściowo sfinansowane ze środków Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu nr 2024/53/B/ST5/01357.

Ultraszybkie przeniesienie ładunku i dynamika spinowa w mechanizmie generacji potrójnej fosforescencji

Jerzy Karpiuk¹, Elena Karpiuk¹

¹Instytut Fizyki PAN, 02-668 Warszawa, Al. Lotników 32/46

jkarpiuk@ifpan.edu.pl

Stany trypletowe cząsteczek organicznych mają zasadnicze znaczenie m.in. w długotrwałej separacji ładunku (CS), termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji (TADF), fotokatalizie, terapii fotodynamicznej czy magnetorecepcji. Kontrolowanie przejść międzysystemowych (ISC) jest jednak słabo poznane, głównie ze względu na niedostateczne zrozumienie wpływu struktury cząsteczki i oddziaływania z otoczeniem na procesy ISC. Stany trypletowe można efektywnie wytwarzać w wewnątrzcząsteczkowej rekombinacji ładunków (CR) w cząsteczkach donorowo-akceptorowych (D–A), a strukturalną kontrolę szybkości zmiany multipletowości towarzyszącej temu procesowi umożliwiają układy D–A o zaniedbywalnym nakrywaniu orbitali molekularnych. [1] Ciekawą perspektywę poznawczą w tym obszarze oferują cząsteczki D–A, w których pełniący rolę łącznika atom węgla sp^3 zapewnia ortogonalne ułożenie grup D i A pozwala na kompensację wywołanej przez rekombinację zmiany orbitalnego momentu pędu przez zmianę spinu elektronu, dzięki czemu całkowity moment pędu układu jest zachowany.

W układach D–A złożonych z ftalidu (PD) i dimetyloaniliny (DMA, Fig. 1), ultraszybkie (~ 100 fs) fotoindukowane przeniesienie elektronu (ET) prowadzi do podwójnej fluorescencji i potrójnej fosforescencji. [2–4] Emisje te odzwierciedlają złożoną fotofizykę tych układów, a potrójna fosforescencja pochodzi z trzech różnych stanów trypletowych, tworzących się w procesach opartych na trzech różnych mechanizmach. Istotną rolę w

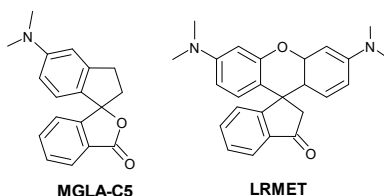


Fig.1. Spirocykliczne układy D–A i D–A–D.

tych przejściach ISC odgrywa, zachodzący po przeniesieniu elektronu, ultraszybki podział na ścieżki dezaktywacji, sprzężenie wibronowe, powrotny proces ET oraz otoczenie cząsteczki.

Potrójna fosforescencja cząsteczek DMA–PD w szklach niskotemperaturowych jest wynikiem połączenia ultraszybkiej wewnątrzcząsteczkowej CS, zdolności ftalidu do tworzenia dwóch różnych anionów molekularnych i ortogonalnej geometrii układów D–A. Silna zależność CS i ISC od polarności szkliva potwierdza, że tworzenie się stanów trypletowych jest kontrolowane przez oddziaływanie cząsteczki z otoczeniem, a istotną rolę w tym oddziaływaniu odgrywają właściwości elektryczne i heterogeniczna struktura ośrodka.

Bibliografia:

- [1] Gibbons, D. J.; Farawar, A.; Mazzella, P.; Leroy-Lhez, S.; Williams, R. M. Making triplets from photo-generated charges: observations, mechanisms and theory. *Photochem. Photobiol. Sci.* **19**, 136-158 (2020).
- [2] Karpiuk, J.; Karpiuk, E., Dual phosphorescence of rhodamine B lactone. *Acta Phys. Pol. A*, **148**, 284-294 (2025).
- [3] Karpiuk, J.; Majka, A.; Karolak, E.; Nowacki, J. Intramolecular electron transfer in frozen solvents: charge transfer and local triplet states population dynamics revealed by dual phosphorescence. *J. Phys. Chem. Lett.* **8**, 4659–4667 (2017).
- [4] Karpiuk, J.; Karpiuk, E., Triple phosphorescence and rapid spin flip mediated by ultrafast electron transfer in spirocyclic molecule. (w recenzji)

Spektroskopia i fotofizyka nowych pochodnych porfircenu

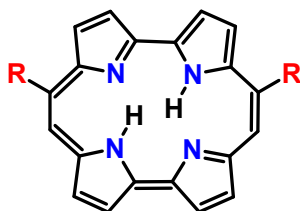
Michał Gil,¹ Arkadiusz Listkowski,^{1,2} Roman Luboradzki,¹ Aleksander Gorski,¹ Jacek Waluk¹

¹*Instytut Chemii Fizycznej PAN, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa, Polska.*

²*Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, ul. Dewajtis 5, 01-815 Warszawa, Polska.*

Porfircen, syntetyczny izomer porfiryny i jego pochodne wykazują wiele unikalnych cech, które czynią je obiektem zainteresowania w tak różnych dziedzinach jak: terapia fotodynamiczna, fotodezaktywacja bakterii, spektroskopia pojedynczych cząsteczek, tautomeryzacja i kinetyka reakcji przeniesienia protonu, i wielu innych. Pomimo czterech dekad jakie upłynęły od pierwszej syntezy, nowe pochodne potrafią wciąż zaskakiwać badaczy.

W tej pracy przedstawiamy wyniki badań spektroskopowych trzech pochodnych podstawionych w pozycjach 9,20- grupami: cykloheksylową, izopropylową i *tert*-butylową (Rys. 1). Pokazujemy jak te niezbyt wydawałoby się, drastyczne różnice w naturze podstawnika wpływają na wydajność kwantową fluorescencji i jej zależność od lepkości otoczenia, czas życia stanu wzbudzonego, populację trypletu i zdolność cząsteczki do generacji tlenu singletowego. Zaobserwowane różnice mogą zasadniczo wpływać na przydatność badanych pochodnych we wspomnianych na wstępie zastosowaniach.



R = H;
R = cykloheksyl;
R = izopropyl;
R = *tert*-butyl.



Cząsteczka barwnika organicznego w strukturze kryształu molekularnego i na jego powierzchni

Bolesław Kozankiewicz

*Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa
kozank@ifpan.edu.pl*

Domieszkując kryształy molekularne powinniśmy wiedzieć jak cząsteczki gościa wbudowują się w strukturę kryształu gospodarza. Gdy domieszką jest cząsteczka barwnika organicznego informację o jej najbliższym otoczeniu dostarczyć może analiza energii, polaryzacji oraz struktury wibronowej przejścia elektronowego pomiędzy stanami, podstawowym i najniższym wzbudzonym, $S_0 \rightarrow S_1$. W spektroskopii pojedynczych cząsteczek (SMS) zagadnienie to jest szeroko badane już od ponad 30 lat [1], wciąż jednak jest w centrum zainteresowania w powiązaniu z rozwojem nowych technik nanotechnologii [2].

W prezentacji dokonam przeglądu dotychczasowych badań, rozpoczynając od sytuacji najprostszej, podstawienia substytucyjnego, gdy jedna cząsteczka gościa zastępuje jedną cząsteczkę gospodarza. Przykładem mogą być cząsteczki terylenu (Tr) wbudowujące się w strukturę kryształu *p*-terfenylu. Następnie przedstawię przykłady na najczęściej spotykaną sytuację, gdy jedna cząsteczka gościa w strukturze kryształu gospodarza zastępuje dwie lub trzy cząsteczki. Tak jest na przykład gdy cząsteczki Tr (lub dibenzoterylenu, DBT) wbudowują się w strukturę kryształów antracenu, naftalenu oraz ich pochodnych. Najważniejszą część prezentacji poświęcę świeżo opublikowanym, nowatorskim, wynikom badań adsorpcji cząsteczek DBT na powierzchni kryształu antracenu [3]. Najważniejszym wynikiem tych badań jest pokazanie, że pojedyncze cząsteczki DBT, które w fazie gazowej mogą występować w 3 formach izomerycznych, „przyklejają” się do powierzchni kryształu gospodarza zachowując, w dużym stopniu, swoją strukturę izomerową.

Bibliografia:

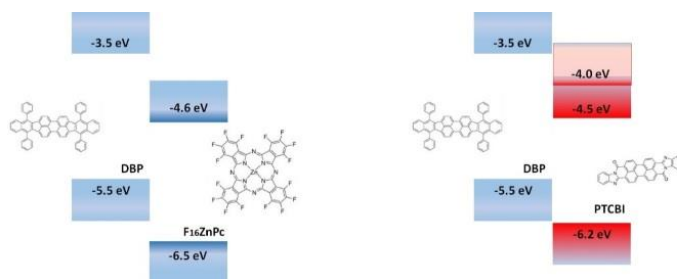
- [1] Kozankiewicz B., Orrit M., *Single-molecule photophysics, from cryogenic to ambient conditions*, Chemical Society Reviews 2014, **43**, 1029-1043.
- [2] Toninelli C., Gerhardt I., Clark A.S., Reserbat-Plantey A., Götzinger S., Ristanovic Z., Colautti M., Lombardi P., Major K.D., Deperasińska I., Pernice W.H., Koppens F.H.L., Kozankiewicz B., Gourdon A., Sandoghdar V., Orrit M., *Single organic molecules for photonic quantum technologies*, Nature Materials 2021, **20**, 1615-1628.
- [3] Mirzaei M., Shkarin A., Gurlek B., Zilkelbach J., Shin A., Deperasińska I., Kozankiewicz B., Utikal T., Götzinger S., Sandoghdar V., *Nano-electron volt Fourier-limited transition of a single surface-adsorbed molecule*, Science 2026, doi.org/10.48550/arXiv.2510.14999.

Modelowanie charakterystyki widmowej ekscynowych fotodiod i fotorezystorów

Grażyna Jarosz, Ryszard Signerski

Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk,
grajaros@pg.edu.pl, ryssigne@pg.edu.pl

Główną motywacją badań nad elementami opartymi na organicznych materiałach jest a) wykorzystanie materiałów, które nie stanowią zagrożenia dla środowiska, b) dużo niższa temperatura wytwarzania układów w porównaniu do układów opartych na półprzewodnikach nieorganicznych. Jednym z kierunków badań w zakresie elektroniki organicznej są fotoelementy takie jak ogniwa fotowoltaiczne [1], fotodiody [2,3] oraz fotorezystory [4]. Ich cechą wspólną jest ekscytonowy charakter absorpcji promieniowania elektromagnetycznego. Dużą zaletą warstw organicznych jest silna absorpcja fotonów w zakresie pasm ekscytonowych z liniowym współczynnikiem absorpcji rzędu 10^5 cm^{-1} . Ograniczeniem natomiast jest fakt, że ekscytyny Frenkla mają energię wiązania na tyle dużą, że zwykle nie dysocjują samoistnie w objętości materiału organicznego. Generacja swobodnych ładunków może zajść na międzypowierzchni dwóch materiałów organicznych o odpowiedniej strukturze energetycznej, patrz rys.1.



Rys. 1. Przykładowa struktura energetyczna zapewniająca dysocjację ekscytonów na złączu DE/AE [1].

Struktury dwuwarstwowe, stanowiące złącze donor elektronów-akceptor elektronów (DE/AE) mogą być wykorzystywane do detekcji światła zarówno w układzie z elektrodami planarnymi, jak i w układzie z elektrodami koplanarnymi. W obu przypadkach fotoczułość tych elementów jest uwarunkowana pasmem absorpcji ekscytonowej i może być modyfikowana grubością warstw. W prezentacji przedstawione zostaną a) możliwości modulacji widma fotoczułości układów organicznych, b) porównanie fotoelementów organicznych z układami nieorganicznymi, oraz, c) potencjalne możliwości zastosowania fotoelementów organicznych.

Bibliografia:

- [1] Jarosz G., Marczyński R., Signerski R., Efficiency of exciton splitting in organic photovoltaic cells within EQE spectrum. *Applied Surface Science* 580 (2022) 152167.
- [2] Sandberg O. J., Kaiser C., Zeiske S., Zarrabi N., Gielen S., Maes W., Vandewal K., Meredith P., Armin A., Mid-gap trap state-mediated dark current in organic photodiodes. *Nature Photonics* 17 (2023) 368.
- [3] Wang Y., Kublitski J., Xing S., Dollinger F., Spoltore D., Benduhu J., Leo K., Narrowband organic photodetectors – towards miniaturized, spectroscopic sensing. *Materials Horizons* 9 (2022) 220.
- [4] Ren H., Chen J.-D., Li Y.-Q., Tang J.-X., Recent Progress in Organic Photodetectors and their Applications, *Adv. Sci.* 8 (2021) 2002418.



Anomalny wpływ kwantowania rozmiarowego na strukturę elektronową materiałów perowskitowych

Sandra Binek, Małgorzata Makowska – Janusik, Anna Jezuita

*Instytut Fizyki, Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych,
Uniwersytet Jana Długosza, 42-200 Częstochowa, al. Armii Krajowej 13/15
sandra.binek@doktorant.ujd.edu.pl*

W ostatnich latach badania nad materiałami półprzewodnikowymi stosowanymi w fotowoltaice koncentrują się w dużej mierze na perowskitach. Materiały te są uznawane za bardzo obiecujące w budowie wysokowydajnych ogniw słonecznych. Najwięcej badań dotyczy perowskitów zawierających ołów, ponieważ charakteryzują się one wysoką sprawnością konwersji energii słonecznej na energię elektryczną oraz dobrą stabilnością strukturalną. Jednocześnie prowadzone są badania nad mniej toksycznymi perowskitami bezołowiowymi, zawierającymi np. cynę (Sn) lub bizmut (Bi). Materiały te mają jednak swoje ograniczenia. Perowskity cynowe są podatne na niestabilność chemiczną [1], natomiast perowskity bizmutowe wykazują mniej korzystne właściwości elektronowe [2]. Dlatego nadal trwają poszukiwania nietoksycznych, stabilnych i wydajnych perowskitów, które mogłyby znaleźć zastosowanie w nowoczesnych ogniwach fotowoltaicznych.

Prezentowana praca przedstawia analizę wpływu efektu kwantowania rozmiarowego na strukturę elektronową cienkowarstwowych perowskitów: chlorku ceszowo-ołowiowego (CsPbCl_3) oraz chlorku ceszowo-germanowego (CsGeCl_3), w płaszczyznach krystalograficznych (100) i (110). Badania przeprowadzono w ramach teorii funkcjonału gęstości (DFT), rozszerzonej o niestandardową poprawkę Hubbarda. Materiałem wzorcowym w analizie jest CsPbCl_3 . Wykazano, że warstwy zakończone w kierunku niepolarnym (100) zachowują charakter półprzewodnikowy, natomiast warstwy o orientacji polarnej (110) stają się metaliczne wraz ze wzrostem ich grubości. Zjawisko to wynika z narastania wewnętrznego potencjału elektrostatycznego wzdłuż kierunku polarnego, który jest kompensowany przez transfer ładunku na powierzchnię, prowadzący do powstania dwuwymiarowego gazu elektronowego (2DEG). Powstawanie metalicznych stanów powierzchniowych oraz 2DEG jest wyraźniej zaznaczone w przypadku CsPbCl_3 niż CsGeCl_3 , co odzwierciedla silniejsze efekty relatywistyczne i większą renormalizację krawędzi pasma związaną z obecnością ołowiu.

Uzyskane wyniki wskazują na istotny wpływ rozmiaru oraz anizotropii strukturalnej na właściwości elektronowe badanych materiałów. Może to mieć duże znaczenie dla ich zastosowania w projektowaniu wydajnych komponentów optoelektronicznych nowej generacji.

Bibliografia:

- [1] Ullah M., Neffati R., Murtaza G., Khan S., Haneef M., Ashraf M. W., Pressure induced variations in the optoelectronic response of ASnX_3 ($\text{A}=\text{K}, \text{Rb}$; $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) perovskites: A first principles study, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 150 (2022) 106977
- [2] Yao Z., Zhao W., Liu, S. F., Stability of the CsPbI_3 perovskite: from fundamentals to improvement, *J. Mater. Chem. A*, 9 (2021) 11124-11144

Pułapkowanie układów małych cząsteczek wewnątrz klatek superfanowych

Andrzej Eilmes,¹ Mirosław Jabłoński²

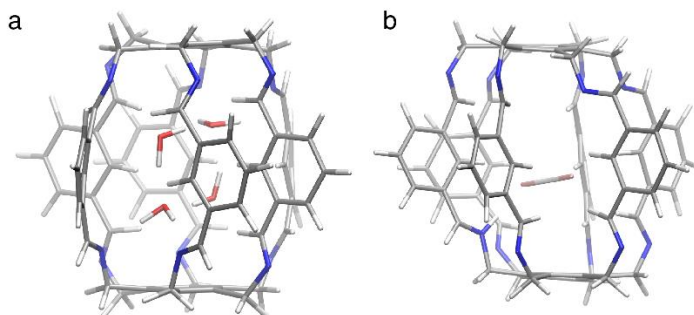
¹Wydział Chemii UJ, 30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 2

²Wydział Chemii UMK, 87-100 Toruń, ul. Gagarina 7

andrzej.eilmes@uj.edu.pl

Superfany są grupą cząsteczek organicznych zawierających dwa równolegle ustawione pierścienie benzenowe połączone sześcioma mostkami. Przy dostatecznie dużych rozmiarach klatki superfanu może ona pomieścić wewnątrz niewielkie cząsteczki lub jony. Przykładowo, otrzymany został układ z przedstawionym na Rys. 1 superfanem z dimerem wody [1]. Ostatnio, metodami dynamiki molekularnej zbadaliśmy zachowanie pojedynczych cząsteczek w trzech różnych klatkach [2]. W prezentowanej aktualnie pracy badania poszerzyliśmy na przypadek równoczesnego pułapkowania kilku cząsteczek w jednej klatce.

Badane układy zawierały do czterech cząsteczek HF, H₂O lub NH₃ wewnątrz klatki superfanu. Do opisu ich zachowania użyliśmy symulacji dynamiki molekularnej *ab initio* o długości do 200 ps, wykorzystującą metodologię teorii funkcjonału gęstości z funkcjonałem ωB97X.



Rys. 1. Cząsteczka superfanu ze spułapkowanym tetramerem H₂O (a) lub anionem [FHF]⁻ (b).

Stwierdziliśmy, iż zachowanie symulowanych układów zależy od siły oddziaływania pułapkowanych cząsteczek z klatką oraz interakcji pomiędzy nimi. W kilku przypadkach zaobserwowaliśmy powstawanie interesujących konfiguracji cząsteczek, np. trwałego tetrameru H₂O stabilizowanego przez wiązania wodorowe (Rys. 1a) lub utworzenia anionu [FHF]⁻ z równoczesną protonacją atomu azotu cząsteczki klatki (Rys. 1b). Przeanalizowaliśmy stabilność powstających układów a także możliwość ich potencjalnej detekcji z użyciem spektroskopii oscylacyjnej.

Bibliografia:

- [1] Li, A.; Xiong, S.; Zhou, W.; Zhai, H.; Liu, Y.; He, Q. Superphane: A new lantern-like receptor for encapsulation of a water dimer. *Chem. Commun.* **2021**, 57, 4496-4499.
[2] Eilmes, A.; Jabłoński, M.; Behavior of Trapped Molecules in Lantern-Like Carcerand Superphanes. *J. Chem. Inf. Model.* **2024**, 64, 7925-7937.

Modyfikacje kryształów ferroelektrycznych za pomocą femtosekundowych impulsów laserowych

Paweł Karpinski

Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland
pawel.karpinski@pwr.edu.pl

Kryształy ferroelektryczne są powszechnie stosowane w optyce nieliniowej do parametrycznej konwersji częstotliwości światła. W materiałach tych możliwe jest wytworzenie struktur umożliwiających kwazidopasowanie fazowe poprzez przestrzenne uporządkowanie domen ferroelektrycznych w silnym zewnętrznym polu elektrycznym. Jednak metoda ta pozawala jedynie na wytwarzanie struktur dwuwymiarowych.

Wielofotonowa absorpcja femtosekundowych impulsów laserowych pozwala na uzyskanie lokalnych modyfikacji wewnątrz objętości materiału, ograniczonych do obszaru ogniska wiązki (woksela). Takie lokalne zmiany właściwości optycznych ferroelektryków – w tym współczynnika załamania światła [1,2] oraz podatności nieliniowej drugiego rzędu $\chi^{(2)}$ [3,4] – umożliwiają fabrykację trójwymiarowych struktur fotonicznych do światłowodzenia oraz realizacji kwazidopasowania fazowego.

Jednym z najważniejszych kryształów ferroelektrycznych jest niobian litu (LiNbO_3). Charakter modyfikacji LiNbO_3 indukowanych za pomocą impulsów laserowych zależy od czasu trwania impulsu oraz częstotliwości repetycji. Można je podzielić na dwa główne mechanizmy: termiczne i nietermiczne. W przypadku efektów termicznych wykorzystuje się lokalny wzrost temperatury oraz efekt piroelektryczny do wygenerowania silnego pola elektrycznego. Jeśli wytworzone pole przekroczy wartość pola koercji materiału, dochodzi do lokalnego odwrócenia domeny ferroelektrycznej [3,4]. Z kolei w mechanizmie nietermicznym materiał modyfikowany jest przez plazmę wzbudzoną wewnątrz kryształu. Plazma ta może ulegać samoorganizacji, tworząc periodyczne struktury w postaci cienkich warstw zmodyfikowanego materiału — tzw. samoorganizujących się nanosiatek, których orientacja zależy od polaryzacji światła laserowego. Nanosiatki te wywołują lokalną zmianę współczynnika załamania oraz dodatkową indukcję dwójłomność [1,2].

W niniejszym referacie zaprezentowane zostaną podstawy obu mechanizmów modyfikacji LiNbO_3 oraz ich potencjał w wytwarzaniu trójwymiarowych układów zintegrowanej optyki nieliniowej.

Bibliografia:

- [1] P. Karpinski, V.G. Shvedov, W.Z. Królikowski, C.A. Hnatovsky, Laser-writing inside uniaxially birefringent crystals: Fine morphology of ultrashort pulseinduced changes in lithium niobate, *Opt. Express* 24 (2016). <https://doi.org/10.1364/OE.24.007456>.
- [2] P. Karpinski, V.G. Shvedov, W.Z. Królikowski, C.A. Hnatovsky, Engineering optical anisotropy in nonlinear crystals with ultrafast light, *J. Appl. Phys.* 127 (2020). <https://doi.org/10.1063/5.0003589>.
- [3] X. Chen, P. Karpinski, V. Shvedov, K. Koynov, B. Wang, J. Trull, C. Cojocaru, W. Krolikowski, Y. Sheng, Ferroelectric domain engineering by focused infrared femtosecond pulses, *Appl. Phys. Lett.* 107 (2015) 141102. <https://doi.org/10.1063/1.4932199>.
- [4] X. Chen, P. Karpinski, V. Shvedov, A. Boes, A. Mitchell, W. Krolikowski, Y. Sheng, Quasi-phase matching via femtosecond laser-induced domain inversion in lithium niobate waveguides, *Opt. Lett.* 41 (2016) 2410. <https://doi.org/10.1364/OL.41.002410>.

Fotoindukowana anizotropia optyczna w molekularnych materiałach funkcjonalnych – od nanowłókien do struktur drukowanych 3D

Adam Szukalski^{1,2}, Dario Pisignano^{2,3} and Andrea Camposeo²

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska

² NEST, Istituto Nanoscienze-CNR and Scuola Normale Superiore, Piazza S. Silvestro 12, 56-127 Pisa, Włochy

³ Dipartimento di Fisica, Università di Pisa, Largo B. Pontecorvo 3, 56-127 Pisa, Włochy
adam.szukalski@pwr.edu.pl

Materiały organiczne zdolne do odwracalnej zmiany właściwości optycznych pod wpływem światła stanowią obiecującą klasę układów dla nowoczesnej fotoniki molekularnej. Szczególne zainteresowanie budzą systemy zawierające fotoaktywne chromofory, w których procesy fotoorientacji prowadzą do kontrolowanej modulacji anizotropii optycznej oraz właściwości optycznie nieliniowych (NLO). Tematem wystąpienia będą dwa komplementarne podejścia do materiałów fotorespońsywnych obejmujące zarówno architektury włókniste, jak i trójwymiarowe struktury fotoniczne.

Pierwsza grupa badanych materiałów obejmowała elektroprzędzone nanowłókna na bazie kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA) domieszkowane pochodnymi pirazoliny. Morfologię otrzymanych włókien analizowano metodą skaningowej mikroskopii elektronowej, natomiast ich odpowiedź optyczną przy pomocy spektroskopii laserowej w układzie typu pompa-sonda [1]. Drugą grupę stanowiły materiały fotoutwardzalne zawierające pochodne azobenzenu, przeznaczone do wytwarzania aktywnych komponentów optycznych metodami stereolitografii (SLA) oraz cyfrowego przetwarzania światła (DLP). Właściwości optyczne analizowano z wykorzystaniem spektroskopii laserowej oraz spektroskopii Ramana [2].

W przypadku nanowłókien DNA wykazano efektywną i całkowicie odwracalną fotoindukowaną dwójłomność optyczną. Osiągnięta anizotropia współczynnika załamania była rzędu 10^{-3} , przy czasie przełączania około 350 ms. Z kolei otrzymane metodą druku 3D komponenty fotoniczne wykazywały fotoindukowaną dwójłomność dochodzącą do $2,5 \times 10^{-4}$ oraz umożliwiały dynamiczną modulację intensywności i polaryzacji światła. Potwierdzono również wysoką stabilność działania układów przekraczającą 60 000 cykli przełączania.

Uzyskane wyniki pokazują, że odpowiednio zaprojektowane materiały molekularne mogą zachowywać swoje właściwości fotofunkcjonalne niezależnie od skali i geometrii struktury, od nanowłókien po złożone trójwymiarowe komponenty fotoniczne. Przedstawione układy otwierają perspektywy zastosowań w zaawansowanej i miniaturowej fotonice, optycznym przetwarzaniu informacji, inteligentnych sensorach oraz rozwijających się technologiach fotonicznych 4D.

Bibliografia:

[1] Szukalski Adam, Moffa Maria, Camposeo Andrea, Pisignano Dario, Myśliwiec Jarosław, All-optical switching in dye-doped DNA nanofibers, *Journal of Materials Chemistry C*, 7(1), 170-176, 2019.

[2] Szukalski Adam, D'Elia Francesca, Sercia Laura, Lavista Lorenzo, Fabbri Filippo, Pisignano Dario, Camposeo Andrea, 3D printed active optical components: harnessing photo-responsive molecules for dynamic light modulation, *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 9(281), 1-11, 2026.



Widma rozpraszania Ramana soli BEDT-TTF z anionami zawierającymi wiązanie metal-metal

Bolesław Barszcz

*Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, ul. M. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań, Polska
barszcz@ifmpan.poznan.pl*

Molekuły ET (BEDT-TTF) w kombinacji z różnymi anionami tworzą ogromną rodzinę soli z przeniesieniem ładunku. Sole te często krystalizują tworząc quasi-dwuwymiarowe warstwy przewodzące utworzone z molekuł ET oddzielone anionami. Pośród bogactwa anionów tworzących takie sole aniony zawierające wiązanie metal-metal należą do rzadkości. Jednak ich zastosowanie prowadzi do powstania soli o nietypowej strukturze warstwy molekuł ET, lub nietworzących warstw [1]. Badania spektroskopowe takich soli były dość rzadkie w literaturze co skłoniło nas do bliższego przyjrzenia się tego rodzaju materiałom. Omawiane dwie sole molekuły ET z anionami zawierającymi wiązanie ren-ren krystalizują tworząc dimery molekuł ET odizolowane od siebie anionami (nie tworzą struktury warstwowej)[2,3]. Spektroskopia rozpraszania Ramana pozwoliła określić ładunek zgromadzony na molekule ET będąc metodą bardziej precyzyjną niż szacowanie na podstawie długości wiązań. Wykorzystane aniony wykazują też efekt rezonansowego rozpraszania Ramana doskonale widoczny przy wzbudzeniu laserem 633 nm a położenie modu rozciągającego wiązanie metal-metal pozwala określić jego krotność. Bardziej szczegółowa analiza drgań rozciągających wiązania podwójne C=C w molekule ET musi również uwzględniać występowanie sprzężenia elektron-drganie wewnątrzmolekularne oraz możliwość obserwacji modów dimerowych. Niniejsza praca skupiała się głównie na interpretacji widm rozpraszania Ramana pod kątem ładunku zgromadzonego na molekule ET oraz widm rezonansowych anionów. Dostarcza ona jednak pewnych przesłanek pozwalających na bardziej szczegółową interpretację widm związków zawierających izolowane lub słabo oddziałujące dimery molekuł ET.

Bibliografia:

- [1] Kepert Cameron J., Kurmoo Mohamedally, and Day Peter, Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene (BEDT-TTF) Charge Transfer Salts of $\text{Re}_2(\text{NCS})_{10}^{n-}$ ($n=2, 3$), *Inorganic Chemistry* 36 (1997) 1128-1135.
- [2] Golichenko Alexander A., Kravchenko Andrey V., Omelchenko Irina V., Chudak Denis M., Starodub Vladimir A., Barszcz Bolesław and Shtemenko Alexander V., Crystal structure of bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalenium μ_2 -acetato-bis[tribromidorhenate(III)]1,1,2-trichloroethane hemisolvate, *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications* 72 (2016) 712–715.
- [3] Barszcz Bolesław, Bednarski Waldemar, Starodub Vladimir A., Golichenko Alexander A., Kravchenko Andrey V., Shtemenko Alexander V., Resonant Raman scattering and ESR study of ET salts with rhenium-containing anions, *Journal of Raman Spectroscopy* 49 (2018) 238–244.

Biopolimerowe materiały elektroprowadzone do zastosowań w sensoryce i fotonice

K. Kempa¹, S. Baluta¹, N. Solin², A. Szukalska¹, A. Cernescu³, L. Sznitko¹

¹*Soft Matter Optics Group, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, 50-370, Poland*

²*Electronic and Photonic Materials, Linköping University, Linköping, LE-58183, Sweden*

³*Neaspec—Attocube Systems AG, Haar 85540 Munich, Germany.*

katarzyna.kolodzinska@pwr.edu.pl

Kluczową zaletą elektroprowadzonych włókien jest łatwość ich funkcjonalizacji, co znacząco poszerza zakres zastosowań tego typu struktur. Modyfikację tę można przeprowadzić zarówno na powierzchni włókna, jak i poprzez wprowadzanie różnych dodatków (nanocząstek, biomolekuł, kropek kwantowych) bezpośrednio do roztworu polimeru wykorzystywanego w procesie formowania włókien.[1] Szeroki wachlarz dostępnych metod funkcjonalizacji umożliwia dobór procedury najbardziej odpowiedniej dla danego materiału i specyfiki zastosowania.

Obecnie nasze badania koncentrują się na funkcjonalizacji materiałów białkowych ukierunkowanej na zastosowania sensoryczne i foniczne. Pierwszy aspekt obejmuje opracowanie elektroprowadzonych matryc przeznaczonych do immobilizacji enzymów i przeciwciał, stanowiących warstwę bioreceptorową elektrochemicznych układów sensorycznych. Drugi skupia się na otrzymywaniu włókien luminescencyjnych o potencjalnym zastosowaniu w czujnikach optycznych i systemach fonicznych. W tym przypadku zastosowano dwie strategie: domieszkowanie biopolimerów barwnikami rozpuszczalnymi w wodzie oraz mechanochemiczną funkcjonalizację białek przed procesem elektroprowadzenia. Dzięki amfifilowemu charakterowi białek podejście mechanochemiczne sprzyja tworzeniu kompleksów z hydrofobowymi barwnikami organicznymi, co przewyższa ograniczenia związane z wzajemną rozpuszczalnością. [2]

Jako modelowe białka wybrano albuminę surowicy wołowej (BSA) oraz lizozym. Otrzymane struktury umożliwiły opracowanie elektrochemicznych czujników do oznaczania dopaminy [3] oraz kortyzolu [4], a także uzyskanie luminescencyjnych włókien o potencjalnym znaczeniu dla układów oświetleniowych. Przeprowadzone badania wskazują na szerokie możliwości funkcjonalizacji elektroprowadzonych materiałów białkowych oraz ich zastosowanie jako platform do tworzenia wielofunkcyjnych układów sensorycznych i fonicznych.

Podziękowania: Praca została sfinansowana przez Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2021/41/B/ST5/01797) oraz z projektu Minigranty dla doktorantów Politechniki Wrocławskiej (50SD/00045/25).

Bibliografia:

- [1] Xue, J., Wu, T., Dai, Y. & Xia, Y. Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications. *Chemical Reviews* vol. 119 5298–5415 (2019).
- [2] Wang, L. & Solin, N. Preparation of functionalized protein materials assisted by mechanochemistry. *J. Mater. Sci.* 53, 13719–13732 (2018).
- [3] Kołodzińska K., Baluta S., Cernescu A., Wojtas M., Lipok M., Olesiak-Bańska J., Cabaj J., Sznitko L. Electrospun protein nanofibers with nanoscale morphological control for dopamine biosensing. *Journal of Materials Chemistry. B* 2026 vol. 14, nr 3, s. 1027-1038.
- [4]. Marterior A., Kołodzińska K., Wojtas M., Sznitko L., Cabaj J., Baluta S. Hybrid BSA-PEO nanofibers as a stable biointerface for electrochemical cortisol immunosensing. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces* 2026 vol. 267, art. 115908, s. 1-9.



Koloidalne nanomateriały o wielofotonowej aktywności optycznej do potencjalnych zastosowań czujnikowych

Agnieszka Siomra, Marcin Nyk

*Instytut Materiałów Zaawansowanych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
agnieszka.siomra@pwr.edu.pl*

Nanomateriały, a w szczególności półprzewodnikowe kropki kwantowe, stanowią szczególną klasę funkcjonalnych materiałów do zastosowań jako fluorescencyjne czujniki, umożliwiając detekcję szerokiej gamy analitów oraz monitorowanie zmian parametrów fizykochemicznych, takich jak pH, temperatura czy ciśnienie. Pomimo intensywnego rozwoju fluorescencyjnych „nanosensorów”, ich właściwości detekcyjne stosunkowo rzadko badane są w warunkach wzbudzenia wielofotonowego. Technika wzbudzania wielofotonowego oferuje istotne korzyści, w tym możliwość wykorzystania promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni, zwiększoną selektywność przestrzenną oraz możliwość czulej detekcji w złożonych i silnie rozpraszających próbkach, w których klasyczne wzbudzenie jednofotonowe może wiązać się z ograniczeniem wydajności odpowiedzi optycznej.

W przedstawionych badaniach skoncentrowano się na niskotoksycznych, bezkadmowych nanomateriałach wykazujących aktywność optyczną pod wpływem wzbudzenia z udziałem lasera femtosekundowego oraz posiadających zdolność do zachowania właściwości czujnikowych w reżimie dwufotonowym. Analizie poddano między innymi siarkowe kropki kwantowe, nanokropki węglowe, oraz nanomateriały oparte na disiarczku molibdenu, siarczku cynku i fosforu indu [1-3]. Badane układy wykazywały mierzalną i zależną od rodzaju nanomateriału odpowiedź optyczną na obecność określonych analitów, co umożliwiło ocenę ich potencjału do optycznej detekcji opartej na wygaszaniu emisji. Dodatkowo, przeprowadzone w warunkach wzbudzenia dwufotonowego badania wygaszania emisji w funkcji temperatury pozwoliły określić potencjalne mechanizmy mające wpływ na obserwowane wygaszanie fluorescencji badanych nanomateriałów.

Uzyskane wyniki wskazują, że bioprzyjazne nanomateriały fluorescencyjne mogą stanowić wszechstronną platformę do projektowania układów detekcyjnych, a zachowanie wielofotonowej aktywności optycznej przy wzbudzeniu w zakresie bliskiej podczerwieni dodatkowo zwiększa ich potencjał aplikacyjny, szczególnie w kontekście zastosowań biomedycznych.

Bibliografia:

- [1] Agnieszka Siomra, Dominika M. Wawrzyńczyk, Marek Samoć, Marcin W. Nyk; *Two-photon excited luminescence of sulfur quantum dots for heavy metal ion detection*, RSC Advances, 14 (4), 2024, 2439–2446.
- [2] Agnieszka Siomra, Dominika Wawrzyńczyk, Bartłomiej Cichy, Magdalena Wądrzyk, Paulina Kasperkiewicz, Marek Samoć, Marcin Nyk; *Efficient Quenching of Two-Photon Absorption Induced Photoluminescence in Carbon Nanodots for Fe³⁺ Ion Detection*. ACS Omega, 10 (26), 2025, 28020–28031.
- [3] Agnieszka Siomra, Dominika Wawrzynczyk, Marcin Nyk; *Nonlinear Optical Properties of Molybdenum Disulfide Nanocrystals for Luminescence-Based Sensor Applications*, ACS Physical Chemistry Au, 6 (4), 2026, 754–762.

Generacja liczb losowych z wykorzystaniem ośrodka silnie rozpraszającego światło

Kamila Łupńska¹, Konrad Cyprych¹, Lech Sznitko¹

¹Katedra Optyki Materii Miękkiej, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska
kamila.lupinska@pwr.edu.pl

W ostatnich latach Agencja Unii Europejskiej ds. Cyberbezpieczeństwa (ENISA) odnotowała znaczący wzrost liczby cyberprzestępstw, określając je jako „siłę, z którą należy się liczyć” [1]. Przeciwdziałanie wspomnianym atakom polega chociażby na utworzeniu specjalistycznych kluczy szyfrujących, nierzadko wykorzystujących generatory liczb losowych (*j. ang.* Random Number Generators, RNGs). Wśród dostępnych źródeł entropii używanych przez RNGs wyróżnia się procesy fotoniczne, gdyż często charakteryzują się brakiem powtarzalnych wzorców w otrzymanych sekwencjach [2]. Jednym ze szczególnie interesujących kandydatów do tego typu zastosowań wydają się być lasery randomiczne. Niemniej jednak, ich statystykę dość często opisuje się za pomocą tzw. „lotów Lévy’ego” w których występuje rozkład o ciężkim ogonie [3]. Uniemożliwia to uzyskanie jednakowego prawdopodobieństwa występowania poszczególnych zdarzeń losowych, ograniczając możliwość ich bezpośredniego zastosowania w RNGs.

W niniejszej prezentacji zostanie przedstawiony potencjalny sposób na zniesienie powyższego ograniczenia za pomocą zjawiska znanego jako emisja wzmocniona poprzez agregację (*j. ang.* Aggregation-Induced Emission, AIE), uzyskanego w związku 2,4,6-OMe-TCF. W tym przypadku AIE prowadzi nie tylko do pojawienia się drugiego pasma emisji, lecz także do normalizacji rozkładu statystycznego badanego układu. Umożliwia to generowanie liczb losowych, w których prawdopodobieństwo wystąpienia „0” i „1” jest niemal jednakowe. Wygenerowany ciąg liczbowy został następnie wydłużony z wykorzystaniem algorytmu SHAKE-256 oraz pozytywnie przetestowany przez testy statystyczne NIST. Uzyskane wyniki potwierdzają duży potencjał tego podejścia w przyszłych zastosowaniach w dziedzinie cyberbezpieczeństwa.

Projekt jest współfinansowany z grantu PRELUDIUM Narodowego Centrum Nauki (numer: 2024/53/N/ST4/03782).

Bibliografia:

- [1] ENISA. ENISA Threat Landscape 2023. (2023)
- [2] Thamrin NM et al. 9th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (2008)
- [3] Wiersma D, et. al., Tutorials in Complex Photonic Media, 2009, 10



SESJA POSTEROWA – LISTA PLAKATÓW

- | | | |
|------------|---------------------------|---|
| P1 | Sonia Kotowicz | <i>Wpływ struktury molekularnej na właściwości fotofizyczne i elektrochemiczne pochodnych TPE</i> |
| P2 | Jastin Popławski | <i>Efekty magnetoptyczne w pojedynczych kropkach kwantowych i ich kwazimolekułach</i> |
| P3 | Dorota Kowalska | <i>Surface relief gratings in fluorine-substituted azopolyimides: Role of backbone architecture</i> |
| P4 | Olga Książkiewicz-Kołučka | <i>Analiza oddziaływań supramolekularnych w kokryształach tyminy z kwasami karboksylowymi</i> |
| P5 | Veranika Kuzmina | <i>Integracja fotoprzełączników molekularnych z hiperpolaryzacją SABRE: badania pochodnych fenyloazopirydyny</i> |
| P6 | Marcin Właźlak | <i>Synteza oraz analiza strukturalna kryształów wieloskładnikowych kwasu tritiocyjanurowego w różnych warunkach oświetlenia</i> |
| P7 | Paweł Baran | <i>Światło pod kontrolą – polimerowe kompozyty z perowskitowymi kropkami kwantowymi</i> |
| P8 | Marta Kalińska | <i>Wpływ organizacji krystalicznej na właściwości fotofizyczne i fotokatalityczne donorowo-akceptorowego 1,8-naftalimidu skondensowanego z pierścieniem indolowym</i> |
| P9 | Piotr Polanowski | <i>Organiczne fotodiody i ogniwa fotowoltaiczne: symulacje i eksperymenty</i> |
| P10 | Lech Sznitko | <i>Elektroprzędzone włókniny luminescencyjne jako warstwy konwertujące dla technologii LED</i> |



Streszczenia wystąpień posterowych



Wpływ struktury molekularnej na właściwości fotofizyczne i elektrochemiczne pochodnych TPE

Sonia Kotowicz¹, Krzysztof Z. Łączkowski², Angelika Baranowska-Łączkowska³,
Ewa Schab-Balcerzak^{1,4}

¹ Instytut Chemii, Uniwersytet Śląski, ul. Szkolna 9, 40-006 Katowice

² Katedra Technologii Chemicznej Środków Leczniczych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
ul. Dr. A. Jurasza 2, 85-089 Bydgoszcz

³ Wydział Fizyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Powstańców Wielkopolskich 2, 85-090 Bydgoszcz

⁴ Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze, ul. M. Curie-Skłodowskiej 43, 41-819 Zabrze

Związki na bazie 1,1,2,2-tetrafenyloetyleny (TPE) stanowią ważną klasę materiałów, które są szeroko badane pod kątem potencjalnych zastosowań w bioobrazowaniu, terapii fotodynamicznej, dostarczaniu leków, organicznych diodach elektroluminescencyjnych, ogniwach słonecznych oraz czujnikach optycznych [1]. W związku z powyższym istotne jest projektowanie i badanie nowych pochodnych TPE o kontrolowanych właściwościach fizykochemicznych.

Celem badań było określenie wpływu struktury molekularnej na właściwości optyczne oraz transport ładunku otrzymanych związków. W pracy [2] przedstawiono syntezę oraz kompleksową charakterystykę fotofizyczną i elektrochemiczną sześciu nowych pochodnych TPE zawierających łącznik –NH–1,3-tiazolowy oraz podstawniki o różnym charakterze elektronowym. Właściwości związków badano z wykorzystaniem spektroskopii absorpcyjnej i emisyjnej (w roztworach o różnej polarności oraz w niskiej temperaturze) oraz metod elektrochemicznych. Dodatkowo przeprowadzono badania optyczne w stanie stałym oraz w matrycach polimerowych.

Badania elektrochemiczne wykazały stosunkowo zbliżone poziomy energetyczne HOMO w całej serii, natomiast obserwowano istotne różnice w poziomach LUMO oraz szerokości przerwy optycznych w zależności od charakteru podstawników. Badania fotofizyczne, obejmujące spektroskopię absorpcyjną i emisyjną wykazały silny wpływ rozpuszczalnika, temperatury oraz wewnątrzcząsteczkowej rotacji na właściwości emisyjne. Wszystkie związki wykazywały słabą fluorescencję w roztworze, co wynikało z efektywnych bezpromienistych dróg relaksacji związanych z ruchami wewnątrzcząsteczkowymi. Obserwowano natomiast znaczące wzmocnienie emisji w stanie stałym oraz w matrycach polimerowych, takich jak PMMA, PVP i PS, dzięki ograniczeniu ruchów wewnątrzcząsteczkowych. Ponadto, badania agregacyjne pokazały, że zwiększenie zawartości wody w mieszaninach THF:woda prowadziło do wygaszania emisji, co sugeruje współistnienie konkurencyjnych mechanizmów emisji.

Uzyskane wyniki potwierdziły, że modyfikacje strukturalne znacząco wpływają na właściwości fotofizyczne i elektrochemiczne badanych pochodnych TPE.

Bibliografia:

[1] Hariprasad Vanam, Keremane S. Kavya, Naik Praveen, Babu D. Dickson, Shivashankar M. Sunitha, Tetraphenylethylene (TPE)-Based AIE Luminogens: Recent Advances in Bioimaging Applications, Photochem, 2025, 5(3),23.

[2] Kotowicz Sonia, Małecki G. Jan, Blonkowska Weronika, Baranowska-Łączkowska Angelika, Łączkowski Z. Krzysztof, Godzierz Marcin, Schab-Balcerzak Ewa, Tetraphenylethylene–Thiazole Derivatives: A Combined Experimental and DFT Study for the Rational Design of Novel Materials, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, In press.

Efekty magnetoptyczne w pojedynczych kropkach kwantowych i ich kwazimolekułach

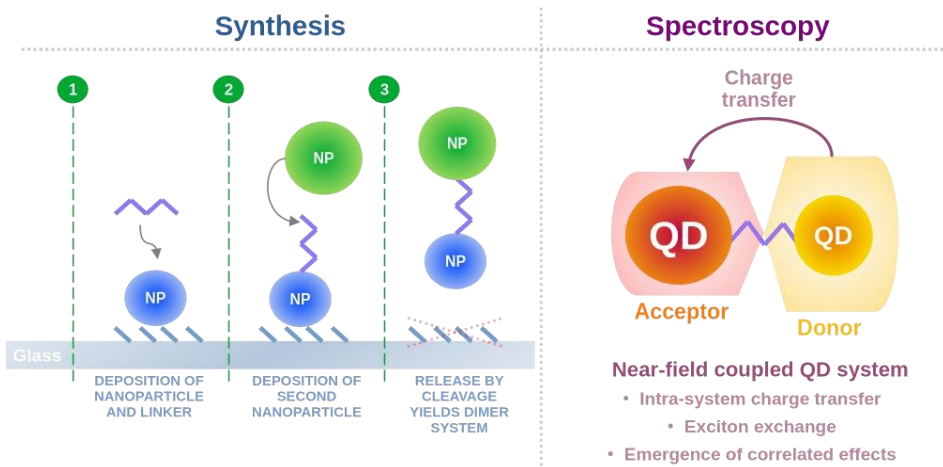
Jastin Popławski^a, Dominika Wawrzyńczyk^a, Bartłomiej Cichy^b

^aInstytut Materiałów Zaawansowanych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska,

^bOddział Spektroskopii Optycznej, Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN

jastin.poplawski@pwr.edu.pl

Obecne platformy obliczeniowe zmagają się z coraz bardziej ograniczonymi możliwościami skalowalności, efektywności i stabilności, co jest związane ze zbliżaniem się do fizycznego limitu obecnego paradygmatu materiałowego. Stąd istotne parcie na rozwijanie nowych, alternatywnych platform obliczeniowych, opartych o materiały przyszłości, zdolnych do znacznie efektywniejszych osiągnięć, jak i pozwalających na nowe możliwości, jakie nie są możliwe do uzyskania w konwencjonalnych materiałach. W niniejszej prezentacji chcielibyśmy przedstawić w jaki sposób zewnętrzne pole magnetyczne pozwala na generację kołowo spolaryzowanej luminescencji w achiralnych materiałach [1], jak i indukuje kontrolowany i selektywny transfer energii pomiędzy dimerami złożonymi z (koloidalnych) kropek kwantowych. Zaprezentowana zostanie zarówno metodyka preparacji takich materiałów, jak i ich spektroskopowa charakteryzacja przy pomocy optycznej polaryzacyjnej spektroskopii pojedynczych nanocząstek.[2]



Bibliografia:

[1] Imai, Y.; Fukuchi, K.; Yanagihashi, Y.; Suzuki, S. "Magnetically Induced Switching of Circularly Polarized Luminescence Using Electromagnets", *Molecules* 2025, 30, 2426.

[2] Li, B.; Zhang, G.; Gao, Y. et al. "Single quantum dot spectroscopy for exciton dynamics", *Nano Res.* 17, 10332–10345, 2024.



Surface relief gratings in fluorine-substituted azopolyimides: Role of backbone architecture

Dorota Kowalska¹, Dariusz Chomiczki¹, Jolanta Konieczkowska², Robert Czaplicki¹, Ewa Schab-Balcerzak², Sonia Kotowicz³, Beata Derkowska-Zielinska¹

¹ Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

² Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych, Polska Akademia Nauk, ul. M. Curie-Skłodowskiej 34, 41-819 Zabrze

³ Instytut Chemii, Uniwersytet Śląski, ul. Szkolna 9, 40-006 Katowice, dorota@umk.pl

Poliimidy to odporne na ciepło polimery charakteryzujące się obecnością pierścieni fenyłowych i heterocyklicznych pierścieni imidowych, które nadają się do różnych nowoczesnych zastosowań. Jeśli jednak myśli się o zastosowaniu tych materiałów w fotonice i optoelektronice, związek musi reagować na bodźce świetlne. Wymóg ten spełnia grupa polimerów zawierających grupę azową, które występują w dwóch formach: trans i cis, łatwo przechodzących jedna w drugą pod wpływem naświetlania. Połączenie poliimidów z polimerami fotochromowymi pozwala uzyskać materiały światłoczułe o doskonałych właściwościach mechanicznych i termicznych.

W niniejszej pracy pokazano, że właściwości fotoreaktywne takich materiałów silnie zależą od architektury łańcucha głównego polimeru, która determinuje położenie azochromoforu. Polimery te tworzą strukturę typu „T”, w której jeden z pierścieni fenyłowych chromoforu stanowi integralną część łańcucha głównego polimeru. Wszystkie sześć polimerów zbadano w postaci próbek cienkowarstwowych przygotowanych metodą drop casting. Próbki te wykazują dwa wyraźne pasma absorpcji: pik o wysokiej intensywności z maksimum przy około 350 nm oraz pik o niskiej intensywności przy około 430 nm. Obecność fotoizomeryzacji trans-cis-trans potwierdzono występowaniem punktów izobestycznych w widmach UV-VIS, gdy próbki mierzono bez wcześniejszego naświetlania oraz po wzbudzeniu światłem o długości fali 405 nm z diody LED. Dynamikę formowania powierzchniowych siatek reliefowych (SRG) badano w układzie dwuwiązkowym. Próbkę naświetlano dwiema nakładającymi się na powierzchnię wiązkami o jednakowej intensywności z lasera pracy ciągłej (CW) o długości fali 405 nm, a siatkę (powstałą w wyniku interferencji wiązek) sondowano światłem lasera CW o długości fali 632,8 nm. Ekspozycja trwająca 60 minut pozwoliła uzyskać wydajność dyfrakcyjną na poziomie od 0,6% do ok. 18%, co odpowiada głębokości SRG od 40 nm do 300 nm, przy okresie siatki wynoszącym około 1,4 μm . Wydajność dyfrakcyjna na poziomie 18% to jedna z najwyższych wartości uzyskanych dla poliimidów. Niezależnie od wydajności dyfrakcyjnej, wszystkie siatki pozostają stabilne po zaprzestaniu naświetlania użytego do ich wytworzenia. Podsumowując, parametry te czynią wspomniane materiały świetnymi kandydatami do zastosowań fotonicznych [1].

Bibliografia:

[1] Beata Derkowska-Zielinska, Dariusz Chomiczki, Jolanta Konieczkowska, Dorota Kowalska, Robert Czaplicki, Ewa Schab-Balcerzak, Sonia Kotowicz, „Surface relief gratings in fluorine-substituted azopolyimides: Role of backbone architecture” 255 (2026) 113994



Analiza oddziaływań supramolekularnych w kokryształach tyminy z kwasami karboksylowymi

Olga Książkiewicz-Kołučka^{1,2}, Kinga Wzgarda-Raj¹, Marcin Palusiak¹

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, Katedra Chemii Fizycznej,
ul. Pomorska 163/165, 91-236 Łódź

² Szkoła Doktorska BioMedChem UŁ i Instytutów PAN w Łodzi, ul.
Matejki 21/23, 90-237 Łódź
olga.ksiazkiewicz.kolucka@edu.uni.lodz.pl

Celem pracy było otrzymanie kokryształów tyminy z wybranymi kwasami karboksylowymi, tj. kwasem 3-hydroksybenzoesowym oraz kwasem

3,5- dinitrosalicylowym. Tymina, znana również jako 5-metylouracyl, jest pochodną pirymidyny oraz jedną z czterech zasad azotowych występujących w DNA, gdzie odgrywa istotną rolę w przechowywaniu i przekazywaniu informacji genetycznej. Ze względu na znaczenie biologiczne pochodne tyminy znajdują zastosowanie w projektowaniu związków o potencjalnym działaniu przeciwwirusowym i przeciwnowotworowym.

Tymina jest również przykładem związku wykazującego polimorfizm, czyli zdolność do występowania w więcej niż jednej formie krystalicznej [1–3]. W ramach przeprowadzonych eksperymentów krystalizacyjnych otrzymano dwie odmienne formy krystaliczne tyminy, różniące się kształtem i pokrojem kryształów. Ponadto uzyskano dwa solваты kokryształów tyminy z wybranymi kwasami karboksylowymi. Otrzymane struktury przeanalizowano pod kątem oddziaływań międzycząsteczkowych, ze szczególnym uwzględnieniem wiązań wodorowych, które odgrywają kluczową rolę w stabilizacji sieci krystalicznej oraz w uporządkowaniu cząsteczek w układzie supramolekularnym.

Bibliografia:

- [1] Braun Doris E., Gelbrich Thomas, Wurst Klaus, Griesser Ulrich J. "Computational and Experimental Characterization of Five Crystal Forms of Thymine: Packing Polymorphism, Polytypism/Disorder and Stoichiometric 0.8-Hydrate" *Cryst Growth Des.*, 16, 3480–3496, 2016.
- [2] Chennuru Ramanaiah, Muthudoss Prakash, Ramakrishnan Srividya, Basha Mohammad Amjad, Ravi Chandra Babu R., Mahapatra S., Nayak Susanta K. "Preliminary studies on unusual polymorphs of thymine: Structural comparison with other nucleobases." *J. Mol. Struct.* 1120, 86-99, 2016.
- [3] Skiba Joanna, Karpowicz Rafał, Szabó Ildikó, Therrien Bruno, Kowalski Konrad, "Synthesis and anticancer activity studies of ferrocenyl-thymine-3,6-dihydro-2H-thiopyranes – A new class of metallocenenucleobase derivatives." *J. Organomet. Chem.*, 794, 216-222, 2015.



Integracja fotoprzełączników molekularnych z hiperpolaryzacją SABRE: badania pochodnych fenyloazopirydyny

V. Kuzmina, M. Rutkowska, T. Ratajczyk, A. Mames, M. Pietrzak, M. Urbańczyk
Instytut Chemii Fizycznej, Polskiej Akademii Nauk, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa, Polska
vkuzmina@ichf.edu.pl

Fotoczułe układy molekularne stanowią interesującą klasę materiałów funkcjonalnych, umożliwiających precyzyjną kontrolę struktury, dynamiki oraz właściwości fizykochemicznych na poziomie molekularnym. Szczególne miejsce wśród nich zajmują cząsteczki fotochromowe zawierające wiązanie azowe, które należą do jednych z najlepiej zbadanych chromoforów ze względu na zdolność do odwracalnej fotoizomerizacji między izomerami *trans* i *cis*.

Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) jest jedną z technik wykorzystywanych do badania układów fotochromowych. Jej zastosowanie jest jednak często ograniczone stosunkowo niską czułością. Wzmocnienie sygnału metodą odwracalnej wymiany (SABRE) jest techniką hiperpolaryzacji opartą na parawodorze, która zwiększa intensywność sygnałów NMR o kilka rzędów wielkości bez trwałej modyfikacji badanego związku. [1] Związki zawierające ugrupowania pirydynowe stanowią atrakcyjną grupę do tego typu eksperymentów ze względu na wysoką aktywność w SABRE. [2]

W niniejszej pracy zbadano serię fotoprzełączalnych pochodnych fenyloazopirydyny w celu określenia wpływu temperatury, stężenia oraz obecności katalizatora na kinetykę indukowanej światłem izomerizacji *trans*–*cis*. Szczególną uwagę poświęcono identyfikacji wpływu przemiany *trans*–*cis* na wydajność hiperpolaryzacji. Uzyskane wyniki potwierdzają potencjał połączenia fotoprzełączników z metodologią SABRE, otwierając nowe możliwości prowadzenia wysoce czułych badań NMR procesów indukowanych światłem oraz rozwoju światłoczułych materiałów funkcjonalnych.

Bibliografia:

- [1] Cowley M. J., Adams R. W., Atkinson K. D., Cockett M. C. R., Duckett S. B., Green G. G. R., Lohman J. A. B., Kerssebaum R., Kilgour D., Mewis R. E., Iridium N-Heterocyclic Carbene Complexes as Efficient Catalysts for Magnetization Transfer from para-Hydrogen, *Journal American Chemical Society*, 133, 6134–6137, 2011.
- [2] Ratajczyk, T., Gutmann, T., Bernatowicz, P., Buntkowsky, G., Frydel, J. and Fedorczyk, B., NMR Signal Enhancement by Effective SABRE Labeling of Oligopeptides. *Chemistry – A European Journal*, 21, 12616–12619, 2015.

Synteza oraz analiza strukturalna kryształów wieloskładnikowych kwasu tritiocyjanurowego w różnych warunkach oświetlenia

Marcin Właźlak^{1,2}, Kinga Wzgarda-Raj¹, Marcin Palusiak¹

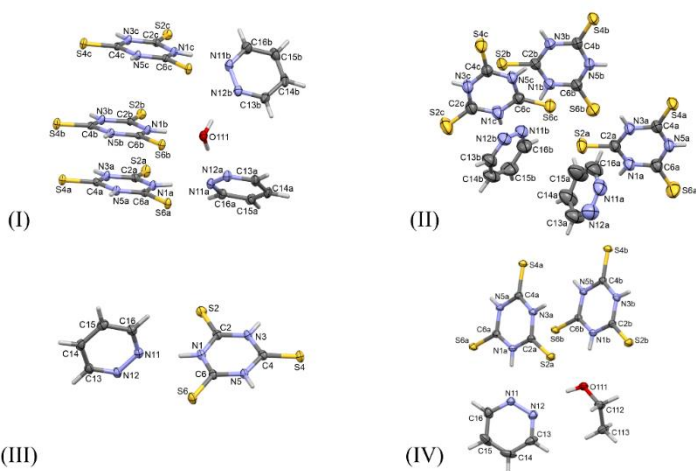
¹Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, Katedra Chemii Fizycznej, ul. Pomorska 163/165, 90-236 Łódź

²Szkoła Doktorska BioMedChem UŁ i Instytutów PAN w Łodzi, ul. Matejki 21/23, 90-237 Łódź

marcin.wlazlak@edu.uni.lodz.pl

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie badaniami nad wpływem promieniowania elektromagnetycznego na procesy krystalizacji. Dotychczas wykazano, że promieniowanie ultrafioletowe (UV) może wpływać zarówno na morfologię powstających kryształów, jak i na ich strukturę krystaliczną [1,2].

Celem niniejszych badań było wykonanie współkrystalizacji kwasu tritiocyjanurowego (TTCA) z pirydazyną oraz zbadanie wpływu promieniowania elektromagnetycznego na badany układ. Podczas krystalizacji udało się otrzymać cztery nowe kryształy wieloskładnikowe, które dotychczas nie zostały zdeponowane w Krystalograficznej Bazie Danych Cambridge (CSD) [3] (rys. 1).



Rysunek 1. Schemat uzyskanych kryształów wieloskładnikowych kwasu tritiocyjanurowego z pirydazyną, uzyskanych w warunkach ciemni (I,II), pod wpływem światła widzialnego (III) oraz promieniowania UV (IV).

Bibliografia:

- [1] Trujillo L.E., Chavez Urbiola E.A., Legorreta F., Chavez Urbiola I.R., Willars-Rodriguez F.J., Ramirez-Bon R., Ramirez-Cardona M., „Di-thiourea cadmium chloride crystals synthesis under UV radiation influence.”, *Journal of Crystal Growth*, **478**, 140-145, 2017
- [2] Trujillo Villanueva L.E., Legorreta García F., Pérez Moreno F., Ramírez Cardona M., Chávez Urbiola E.A., „Ultraviolet Light Effects on Cobalt–Thiourea Complexes Crystallization.”, *Crystals*, **11**, 473, 2021
- [3] Groom C.R., Bruno I. J., Lightfoot M. P., Ward S. C., „The Cambridge Structural Database.”, *Acta Crystallographica*, **B72**, 171-179, 2016



Światło pod kontrolą – polimerowe kompozyty z perowskitowymi kropkami kwantowymi

Paweł Baran*, Katarzyna Matras-Postołek**

* Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Szkoła Doktorska PK, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej

** Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej
pawel.baran@doktorant.pk.edu.pl

Halogenkowe perowskitowe kropki kwantowe należą do intensywnie badanych materiałów luminescencyjnych przeznaczonych do zastosowań optoelektronicznych. Wykazują wysoką wydajność kwantową fotoluminescencji oraz wąskie pasma emisji, a położenie maksimum emisji może być kontrolowane poprzez zmianę składu chemicznego nanokryształów. Możliwość otrzymywania ich w postaci stabilnych dyspersji umożliwia ponadto formowanie warstw z wykorzystaniem technik roztworowych. [1, 2]

Ograniczeniem w praktycznym wykorzystaniu tych materiałów pozostaje ich podatność na działanie wilgoci, tlenu i podwyższonej temperatury. Szczególne znaczenie ma zachowanie kropek kwantowych podczas przechodzenia z dyspersji do materiału stałego. Odparowanie rozpuszczalnika oraz wzrost oddziaływań pomiędzy nanokryształami mogą prowadzić do reorganizacji warstwy ligandowej, czy agregacji cząstek. Zjawiskom tym często towarzyszy zmniejszenie intensywności fotoluminescencji. [1, 2]

Przedmiotem pracy była ocena możliwości zastosowania wybranych polimerów jako osnów stabilizujących perowskitowe kropki kwantowe. Analizowano wpływ rodzaju polimeru, zastosowanego układu rozpuszczalnikowego oraz podłoża na formowanie kompozytu i zachowanie właściwości emisyjnych po wysuszeniu. Uwzględniono również zgodność chemiczną matrycy z ligandami obecnymi na powierzchni nanokryształów, która wpływa na stopień ich rozproszenia oraz oddziaływania zachodzące w materiale stałym.

Stabilizacji nie rozpatrywano wyłącznie jako mechanicznego odizolowania nanokryształów od otoczenia. Celem było określenie warunków, w których osnowa polimerowa ogranicza degradację materiału, a jednocześnie nie powoduje wygaszania fotoluminescencji i umożliwia otrzymywanie ciągłych warstw o odpowiedniej jednorodności.

Wytworzone kompozyty oceniano również pod kątem ich zastosowania jako warstw konwersji barwy współpracujących z diodami LED. Badania koncentrowały się na możliwości modyfikowania widma promieniowania diody za pomocą otrzymanych warstw oraz na zachowaniu właściwości luminescencyjnych materiału po jego przetworzeniu do postaci stałej.

Uzyskane obserwacje stanowią podstawę do dalszego projektowania kompozytów perowskitowo-polimerowych do zastosowań w układach optoelektronicznych.

Bibliografia:

[1] Berg Gerald (red.), Transmission of Viruses by the Water Route: Based on a Symposium Sponsored by the Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio, December 6–8, 1965, New York, Interscience Publishers, 25–70, 1967.

[2] Warnecke Hans-Joachim, Prüss Jan Wilhelm, Leber Ludger, Langemann Horst, On a Mathematical Model for Loop Reactors—II. Estimation of Parameters, Chemical Engineering Science, 40(12), 2327–2331, 1985.



Wpływ organizacji krystalicznej na właściwości fotofizyczne i fotokatalityczne donorowo-akceptorowego 1,8-naftalimidu skondensowanego z pierścieniem indolowym

Marta Kalińska¹, Sukhvinder Dhiman², Jarosław Chojnacki³, Marcin Lindner², Illia Serdiuk⁴

¹ Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Gdańsk, Polska

² Polska Akademia Nauk, Instytut Chemii Organicznej, Warszawa, Polska

³ Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Gdańsk, Polska

⁴ Uniwersytet Gdański, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, Gdańsk, Polska

Adres e-mail: marta.kalinska@ug.edu.pl

Produkcja wodoru z wykorzystaniem energii słonecznej stanowi jedną z najbardziej perspektywicznych metod magazynowania energii, jednak opracowanie wydajnych fotokatalizatorów przy ograniczonym zużyciu platyny pozostaje istotnym wyzwaniem.

W niniejszej pracy przedstawiono badania nowego związku donor–akceptor opartego na rdzeniu 1,8-naftalimidu skondensowanego z pierścieniem indolowym (NMI-Ind), zaprojektowanego z myślą o efektywnym rozdziale ładunku oraz wykorzystaniu jako organiczny fotosensybilizator w reakcji fotokatalitycznego wydzielania wodoru. W środowisku wodnym związek ten tworzy polikrystaliczne nanocząstki o rozmiarze 100–400 nm i zróżnicowanej morfologii. Po osadzeniu platyny na powierzchni nanocząstek NMI-Ind otrzymano układ fotokatalityczny, który dzięki fotosensybilizującym i półprzewodnikowym właściwościom NMI-Ind oraz wysokiej aktywności powierzchniowych kompleksów z Pt generował wodór, wykazywał wysoką trwałość podczas reakcji fotokatalitycznej oraz osiągał maksymalną wartość częstotliwości obrotu katalitycznego (TOF) wynoszącą 88 h⁻¹.

Analiza zależności pomiędzy strukturą krystaliczną, właściwościami fotofizycznymi i aktywnością fotokatalityczną wskazuje, że sposób organizacji cząsteczek w kryształach, wynikający z donorowo-akceptorowej budowy związku oraz obecności oddziaływań π – π , sprzyja efektywnej separacji fotowzbudzonych nośników ładunku i przekazywaniu elektronów do centrów katalitycznych – kompleksów z Pt – odpowiedzialnych za reakcję wydzielania wodoru. Uzyskane wyniki potwierdzają, że organizacja cząsteczek w fazie krystalicznej odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu właściwości fotofizycznych i aktywności fotokatalitycznej badanego materiału. Przedstawione badania łączą wyniki rentgenowskiej analizy strukturalnej monokryształu (SCXRD), analizę HRMS powstających kompleksów z Pt oraz korelację pomiędzy strukturą a właściwościami absorpcyjnymi, fotoluminescencyjnymi i fotokatalitycznymi, rozszerzając wiedzę na temat nowej grupy heterogenicznych układów hybrydowych przeznaczonych do produkcji zielonego wodoru.

Badania częściowo finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu OPUS 30 (nr grantu 2025/59/B/ST4/02547).



Organiczne fotodiody i ogniwa fotowoltaiczne: symulacje i eksperymenty

Beata Łuszczynska, Krzysztof Hałagan, Bartosz Orwat, Krzysztof Czołczyński, Piotr Polanowski

*Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, Żeromskiego 116, Łódź
beata.luszczynska@p.lodz.pl*

W badaniach organicznych urządzeń fotowoltaicznych (OPV) z warstwą typu bulk heterojunction (BHJ) stosuje się szereg metod eksperymentalnych obejmujących dobór materiałów donorowych i akceptorowych, wybór odpowiednich rozpuszczalników oraz dodatków regulujących krystalizację (CR) [1,2], optymalizację warunków wytwarzania warstw BHJ, analizę ich morfologii za pomocą metod mikroskopowych i spektroskopowych, a także badanie właściwości elektrooptycznych gotowych urządzeń. Głównym problemem jest jednak eksperymentalne śledzenie procesów zachodzących podczas formowania cienkich warstw, takich jak odparowywanie rozpuszczalnika, kinetyka krystalizacji czy dyfuzja ekscytonów w materiale stałym. Na przebieg tych zjawisk wpływa wiele czynników, między innymi stężenie składników, proporcje donora do akceptora, rodzaj rozpuszczalnika, typ i ilość dodatku CR oraz warunki temperaturowe procesu i obróbki końcowej. W związku z tym modelowanie komputerowe stanowi cenne narzędzie do weryfikacji hipotez dotyczących oddziaływań między donorami, akceptorami i dodatkami regulującymi krystalizację, w tym tworzenia wiązań wodorowych oraz zachowania faz eutektycznych w mieszaninach trójskładnikowych. Głównym celem projektu jest symulacja procesu tworzenia struktury BHJ w obecności różnych dodatków CR oraz analiza zjawisk zachodzących po oświetleniu takiego układu. Oczekiwanym rezultatem jest lepsze zrozumienie procesu powstawania wzajemnie przenikającej się sieci donor-akceptor oraz mechanizmów odpowiedzialnych za efektywność zjawiska fotowoltaicznego w OPV.

Badania finansowane z projektu: 2024/53/B/ST5/03923

Bibliografia:

- [1] Dingqin Hu, Hua Tang, Chen Chen, Duu-Jong Lee, Shirong Lu, Gang Li, Hsien-Yi Hsu, Frédéric Laquai, Solid Additive Engineering for Next-generation Organic Photovoltaics, Adv. Mater. 36, 2406949, 2024.
- [2] Manjun Xiao, Yongdie Meng, Luting Tang, Ping Li, Lingxiao Tang, Wenqing Zhang, Bin Hu, Fan Yi, Tao Jia, Jiamin Cao, Chao Xu, Guanghao Lu, Xiaotao Hao, Wei Ma, Qunping Fan, Solid Additive-Assisted Selective Optimization Strategy for Sequential Deposited Active Layers to Construct 19.16% Efficiency Binary Organic Solar Cells, Adv. Funct. Mater. 34, 2311216, 2024.

Elektroprzędzone włókniny luminescencyjne jako warstwy konwertujące dla technologii LED

Marharyta Hancharova, Konrad Cyprych, Alina Szukalska, Lech Sznitko
Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
lech.sznitko@pwr.edu.pl

Rynek systemów oświetleniowych, według danych *U.S. Department of Energy*, jest w ponad 75% zdominowany przez technologię diod elektroluminescencyjnych (LED) [1]. Przy czym część tego rynku w znacznym stopniu (ok. 95%) stanowią rozwiązania technologiczne wykorzystujące diody z tzw. warstwą fosforescencyjną (PC-LED – phosphor-coated LED). W tego typu podejściu światło z diody ulega częściowej reabsorpcji, a warstwa fosforescencyjna pełni zarówno rolę luminoforu, jak i elementu rozpraszającego. Pozwala to na uzyskiwanie emisji światła w szerokim zakresie barw (w tym barwy białej) poprzez syntezę koloru emitowanego światła z warstwy fosforescencyjnej oraz samej diody LED. Technologia ta jest jednak uzależniona od wydobycia i przetwarzania metali ziem rzadkich. W dzisiejszych czasach za ich rafinację w 91% odpowiadają Chiny [2]. W dobie napięć geopolitycznych i potencjalnej wojny handlowej rodzi to ogromne zagrożenie dla całego rynku oświetleniowego i wymusza poszukiwanie odpowiednich alternatyw.

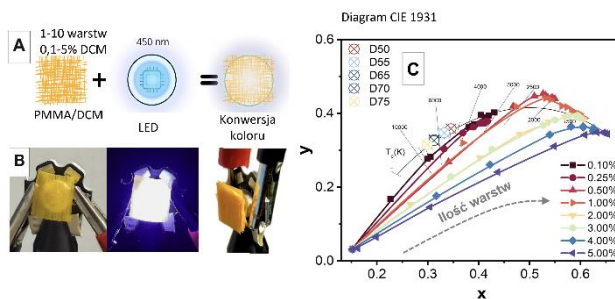
Niniejsze badania przeprowadzono dla elektroprzędzonych pokryć polimerowych z domieszką barwnika laserowego DCM o pomarańczowej barwie emisji, współpracującego z diodą InGaN emitującą światło o długości fali 450 nm. Badania objęły wpływ zarówno grubości pokrycia, jak i ilości domieszki barwnika we włóknach na uzyskiwany kolor emisji całego urządzenia. Otrzymane wyniki wykazały, że zastosowanie tego typu pokryć pozwala na syntezę barwy emisji w zakresie aż 20% powierzchni całego diagramu CIE 1931, od niebieskiego, przez kolor biało-różowy, ciepły biały, aż po bursztynowy, pomarańczowy i ciemnopomarańczowy. Przykładowe wyniki badań oraz koncepcję wykorzystania włókien zaprezentowano na rys. 1.

Uzyskane rezultaty wskazują na znaczny potencjał wykorzystania techniki elektroprzędzenia w tworzeniu rozwiązań technologicznych dla systemów oświetleniowych.

Podziękowania: Badania zostały sfinansowane w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr 2021/41/B/ST5/01797.

Bibliografia:

- [1] <https://www.energy.gov/cmei/ssl/solid-state-lighting>
[2] <https://www.gtreview.com/news/global/rare-earths-need-financing-overhaul-as-china-threat-looms-ica/>



Rys. 1. Koncepcja diody LED z warstwą konwertującą (A). Fotografia przedstawiająca sposób mocowania warstwy (B). Pokrycie diagramu CIE 1931 uzyskane dla badanych układów dioda-włókna (C).