

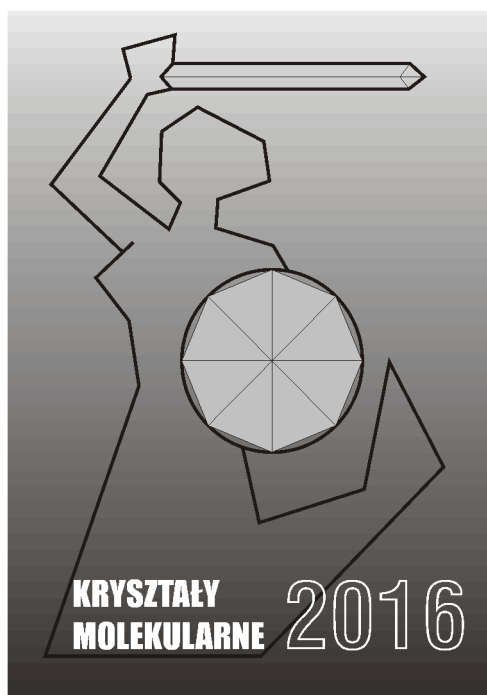
**KAZIMIERZ DOLNY 12-16 WRZEŚNIA 2016**



# **MATERIAŁY XX OGÓLNOPOLSKIEJ KONFERENCJI KRYSTAŁY MOLEKULARNE**



**MATERIAŁY**  
**XX OGÓLNOPOLSKIEJ KONFERENCJI**  
**KRYSZTAŁY MOLEKULARNE 2016**



**KAZIMIERZ DOLNY, 12-16 września 2016**

Redakcja:

**Kamil Kotwica, Renata Rybakiewicz, Małgorzata Zagórska**

Projekt okładki:

**Ewa Skoczowska**

Logo:

**Ewa Skoczowska**

Fotografia na okładce:

**Jarosław Banasiewicz**

Druk:

**Drukarnia Braci Grodzickich sp.j.**

## SPIS TREŚCI

Poprzednie Konferencje i ich Organizatorzy	4
Przedmowa	5
Organizatorzy i Sponsorzy	6
Komitety Naukowe i Organizacyjne	8
Program Konferencji	9
Streszczenia Komunikatów Ustnych	
Wtorek	15
Środa	37
Czwartek	59
Piątek	68
Indeks Prezentacji Posterowych	74
Streszczenia Prezentacji Posterowych	77
Indeks Uczestników Konferencji	112
Limeryki	116

---

**POPZREDNIE KONFERENCJE I ICH ORGANIZATORZY**

I	1977	Wrocław	<i>K. Pigoń, T. Luty, J. Sworakowski</i>
II	1979	Poznań – Błażejewko	<i>A. Graja</i>
III	1981	Gdańsk – Wdzydze	<i>J. Kalinowski</i>
IV	1983	Kraków	<i>J. Janik, T. Wasiutyński</i>
V	1985	Warszawa – Goławice	<i>J. Prochorow</i>
VI	1987	Rzeszów	<i>A. Szymański</i>
VII	1989	Częstochowa – Kokotek	<i>J. Świątek</i>
VIII	1991	Łódź – Spała	<i>A. Lipiński</i>
IX	1993	Wrocław – Świeradów	<i>L. Komorowski</i>
X	1995	Poznań – Kiekrz	<i>R. Świetlik, N. Piślewski</i>
XI	1998	Gdańsk – Jelitkowo	<i>J. Kalinowski</i>
XII	2000	Kraków	<i>S. Nizioł, T. Wasiutyński</i>
XIII	2002	Warszawa – Konstancin	<i>B. Kozankiewicz</i>
XIV	2004	Częstochowa – Złoty Potok	<i>J. Świątek</i>
XV	2006	Łódź – Smardzewice	<i>J. Jeszka</i>
XVI	2008	Poznań – Błażejewko	<i>D. Wróbel, A. Graja</i>
XVII	2010	Wrocław – Polanica Zdrój	<i>A. Chyla, A. Miniewicz</i>
XVIII	2012	Gdańsk – Sobieszewo	<i>J. Godlewski</i>
XIX	2014	Kraków – Sromowce Niżne	<i>P. Zieliński, A. Budziak</i>

## PRZEDMOWA

Serdecznie Państwa witamy na XX już konferencji z cyklu "Kryształy Molekularne".

Prof. Krzysztof Pigoń i jego współpracownicy z Politechniki Wrocławskiej organizując w roku 1977 pierwszą konferencję poświęconą badaniom kryształów molekularnych chyba nie przypuszczali, że inicjują cykl, który trwać będzie przez następne 40 lat. To pierwsze spotkanie, z udziałem nielicznych uczestników spoza Wrocławia, okazało się bardzo owocne i idea organizacji ogólnopolskich konferencji została podchwycona. Od tamtej pory, co dwa lata (z jedną przerwą trzyletnią), spotykamy się na kolejnych konferencjach.

Konferencje z cyklu "Kryształy Molekularne" pewnie by nie przetrwały gdyby tematyka prezentowanych prac ograniczyła się wyłącznie do kryształów molekularnych. Dlatego już od pierwszych spotkań zaczęła ona obejmować badania również innych materiałów molekularnych, takich jak ciekłe kryształy, polimery, szkła molekularne, a nawet izolowane cząsteczki. Kolejne Komitety Naukowe decydowały jednak by zachować coraz bardziej z biegiem lat historyczny tytuł konferencji: "Kryształy Molekularne".

Tradycją konferencji jest to, że czterodniowe spotkania organizowane są kolejno przez różne krajowe ośrodki naukowe, zmienia się więc każdorazowo miejsce spotkania. W tym roku organizatorem jest środowisko warszawskie, a spotykamy się w Kazimierzu Dolnym nad Wisłą w Domu Pracy Twórczej Stowarzyszenia Dziennikarzy Polskich. Mamy nadzieję, że urokliwość miejsca i stworzone warunki zapewnią Państwu owocną wymianę doświadczeń oraz zacieśnianie/nawiązywanie współpracy.

Podczas konferencji zaplanowaliśmy 9 czterdziestopięciominutowych wykładów zaproszonych, 25 dwudziestominutowych oraz 21 dziesięciominutowych prezentacji ustnych. Streszczenia wystąpień ustnych umieszczone są w niniejszych Materiałach w kolejności ich wygłaszania, z podaniem daty prezentacji. Streszczenia prezentacji plakatowych są ponumerowane i umieszczone w kolejności ich wywieszania na tablicach.

Dziesięciominutowe prezentacje ustne, przyznawane jedynie młodszym pracownikom naukowym - doktorantom i studentom, oraz wszystkie plakaty będą oceniane. Wyróżnione prezentacje zostaną nagrodzone przez Komitet Naukowy Konferencji podczas uroczystej kolacji w czwartek, 15 września. W czwartkowe popołudnie, przed uroczystą kolacją, zaplanowaliśmy zwiedzanie Kazimierz Dolnego połączone z wycieczką na drugą stronę Wisły, do Janowca.

Życząc owocnie spędzonego czasu,

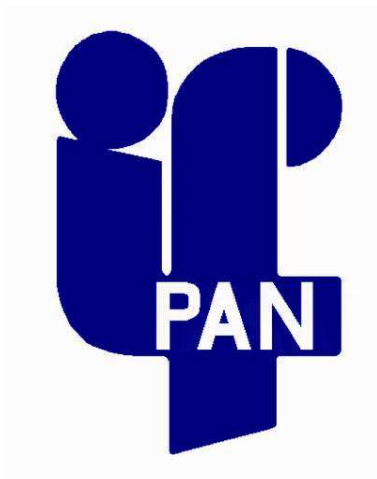
Komitet Organizacyjny Konferencji

Marzena Banasiewicz

Małgorzata Zagórska

Bolesław Kozankiewicz

## ORGANIZATORZY I SPONSORZY



**Instytut Fizyki PAN w Warszawie**



**Wydział Chemiczny**



**Krajowy Naukowy Ośrodek Wiodący**



**Eurotek**  
International



LASER SYSTEMS  
**INTEGRATORS**





## KOMITET NAUKOWY

<b>Grzegorz Bąk</b> (Łódź)	<b>Andrzej Sobolewski</b> (Warszawa)
<b>Alina Dudkowiak</b> (Poznań)	<b>Waldemar Stampor</b> (Gdańsk)
<b>Bolesław Kozankiewicz</b> (Warszawa)	<b>Roman Świetlik</b> (Poznań)
<b>Mieczysław Łapkowski</b> (Gliwice)	<b>Jacek Ulański</b> (Łódź)
<b>Andrzej Miniewicz</b> (Wrocław)	<b>Jacek Waluk</b> (Warszawa)
<b>Piotr Petelenz</b> (Kraków)	<b>Danuta Wróbel</b> (Poznań)
<b>Wojciech Pisula</b> (Łódź)	<b>Małgorzata Zagórska</b> (Warszawa)
<b>Adam Proń</b> (Warszawa)	<b>Piotr Zieliński</b> (Kraków)
<b>Marek Samoć</b> (Wrocław)	

## HONOROWY KOMITET NAUKOWY

**Jan Godlewski** (Gdańsk)  
**Tadeusz Luty** (Wrocław)  
**Wojciech Nawrocik** (Poznań)  
**Henryk Ratajczak** (Wrocław)  
**Lucjan Sobczyk** (Wrocław)  
**Juliusz Sworakowski** (Wrocław)  
**Tadeusz Wasiutyński** (Kraków)

## KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego  
**Bolesław Kozankiewicz**

Z-ca Przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego  
**Małgorzata Zagórska**

Sekretarz  
**Marzena Banasiewicz**

**Artur Makarewicz**  
**Renata Rybakiewicz**  
**Maciej Zajączkowski**

## PROGRAM KONFERENCJI

### *Poniedziałek, 12.09.2016*

15:00 – 19:00 **Rejestracja uczestników**

19:00 – 22:00 **Kolacja powitalna**

### *Wtorek, 13.09.2016*

08:00 – 08:45 **Śniadanie**

08:50 – 09:00 **Oficjalne otwarcie konferencji**

#### **SESJA I: 09:00 – 10:45**

*Przewodniczący Sesji: Jacek Waluk*

09:00 – 09:45 **Andrzej Sobolewski**  
**Wykład na zaproszenie** *Fotowoltaika bez złącza p-n? Badanie teoretyczne ferroelektrycznych układów organicznych*

09:45 – 10:05 **Andrzej Miniewicz**  
*Pułapkowanie optyczne a zjawisko Marangoniego*

10:05 – 10:25 **Stanisław Bartkiewicz**  
*Wiry fotoniczne*

10:25 – 10:35 **Magda Białkowska**  
*Terylen w kryształach 2,3-dichloro- i 2,3-dibromonaftalenu. Nowe układy do optycznych badań pojedynczych cząsteczek*

10:35 – 10:45 **Marcin Majka**  
*Modelowanie reakcji układu tętniczego na prawidłowe i pasożytnicze fale tętna z uwzględnieniem realistycznych parametrów reologicznych naczyń*

10:45 – 11:15 **Przerwa kawowa**

#### **SESJA II: 11:15 – 13:00**

*Przewodnicząca Sesji: Danuta Wróbel*

11:15 – 12:00 **Eryk Wolarz**  
**Wykład na zaproszenie** *Periodyczne struktury metamateriałowe wytwarzane z hybrydowych organiczno-nieorganicznych elementów strukturalnych*

12:00 – 12:20 **Ewa Chrzumnicka**  
*Wykorzystanie metod spektroskopii optycznej do badania porządku orientacyjnego ciekłych kryształów z atomami fluoru*

- 12:20 – 12:30 **Daria Szewczyk**  
*Transport ciepła w kryształach z elementami nieporządku*
- 12:30 – 12:40 **Karolina Ordon**  
*Półprzewodnikowe materiały hybrydowe na bazie wanadanu bizmutu sensybilizowanego barwnikami organicznymi do zastosowań fotokatalitycznych*
- 12:40 – 12:50 **Ruslan Nikonkov**  
*Właściwości transportowe nanokompozytów utworzonych na bazie kriokryształów molekularnych*
- 12:50 – 13:00 **Paweł Sobieszczyk**  
*Fale na wewnętrznych powierzchniach wypełnionych wodą porów w krzemionce MCM-41*
- 13:00 – 15:00 **Przerwa obiadowa**

**SESJA III: 15.00 – 16.45***Przewodniczący Sesji: Andrzej Sobolewski*

- 15:00 – 15:45 **Małgorzata Makowska-Janusik**  
**Wykład na zaproszenie**  
*Od molekuly do kryształu molekularnego - chemia kwantowa ciał stałych*
- 15:45 – 16:05 **Piotr Petelenz**  
*Rozszczepienie ekscytynu singletowego – rola symetrii lokalnej*
- 16:05 – 16:25 **Irena Majerz**  
*Aromatyczność pochodnych benzenowych*
- 16:25 – 16:35 **Małgorzata Widelicka**  
*Struktura krystaliczna i molekularna, przewodnictwo elektryczne oraz właściwości spektralne przewodnika protonowego – szczawianu pirazolowego*
- 16:35 – 16:45 **Wojciech Zajączkowski**  
*Samoorganizacja skoniugowanych układów na przykładzie oligoprolina – monoimid perylenu*
- 16:45 – 17:15 **Przerwa kawowa**

**SESJA IV: 17:15 – 18:35***Przewodnicząca Sesji: Alina Dutkowiak*

- 17:15 – 17:35 **Roman Świetlik**  
*Badania ramanowskie uporządkowania ładunkowego w solach (TMTTF)<sub>2</sub>X (X = PF<sub>6</sub>, AsF<sub>6</sub>, SbF<sub>6</sub>)*

- 17:35 – 17:55 **Iwona Olejniczak**  
*Spektroskopowe badania przejścia fazowego metal-izolator w racemicznej soli (rac-DM-EDT-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>*
- 17:55 – 18:15 **Arkadiusz Frąckowiak**  
*Przejście z fazy neutralnej do fazy jonowej w kompleksie (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF*
- 18:15 – 18:25 **Martyna Wojciechowska**  
*Kobaltowe(II) hybrydy organiczno-nieorganiczne z kationem pirolidyniowym*
- 18:25 – 18:35 **Marcin Moskwa**  
*Struktura i właściwości fizykochemiczne hybrydy organiczno-nieorganicznej na bazie kationu alliloamoniowego*
- 18:35 – 19:30 **Kolacja**
- 19.30 – 21.30 **Sesja plakatowa**

## Środa, 14.09.2016

08:00 – 08:45 **Śniadanie****SESJA V: 09.00 – 10.45***Przewodniczący Sesji: **Piotr Zieliński***

- 09:00 – 09:45 **Eric D. Głowacki**  
**Wykład na zaproszenie** *Nanokrystaliczne struktury półprzewodników bioorganicznych do zastosowań w bioelektronice i fotokatalizie*
- 09:45 – 10:05 **Jarosław Jung**  
*Analiza fotoprzewodnictwa w pochodnej fulereny C<sub>60</sub> z wykorzystaniem metody kserograficznej*
- 10:05 – 10:15 **Anna Stefaniuk-Grams**  
*Fotogeneracja nośników ładunku w fulerenie C<sub>60</sub> modyfikowanym estrem kwasu masłowego*
- 10:15 – 10:25 **Daniel Pelczarski**  
*Elektro- i magnetomodulacja fotoluminescencji i fotoprzewodnictwa w próżniowo naporowanych warstwach dwuskładnikowych typu donor elektronu – akceptor elektronu*
- 10:25 – 10:35 **Maciej Klein**  
*Efekty magnetyczne w barwnikowych i organicznych ogniach fotowoltaicznych*
- 10:35 – 10:45 **Wojciech Mróz**  
*Polimerowe warstwy wstrzykujące elektrony jako metoda zwiększenia wydajności organicznych diod elektroluminescencyjnych*

10:45 – 11:15 **Przerwa kawowa**

**SESJA VI: 11:15 – 13:00**

*Przewodniczący Sesji: Waldemar Stampur*

11:15 – 12:00

**Katarzyna Matczyszyn**

**Wykład na  
zaproszenie**

*Nanobiofotonika – DNA, nanocząstki i fotochromy*

12:00 – 12:20

**Grażyna Bator**

*Odpowiedź dielektryczna kompleksów molekularnych z wiązaniem wodorowym*

12:20 – 12:30

**Łukasz Janasz**

*Wpływ morfologii ultracienkich warstw aktywnych na transport ładunku w organicznych tranzystorach z efektem polowym*

12:30 – 12:40

**Adam Łuczak**

*Zastosowanie modelu UMEM do analizy charakterystyk prądowo-napięciowych organicznych tranzystorów z efektem polowym*

12:40 – 12:50

**Jolanta Konieczkowska**

*Azopoliestroimidy supramolekularne i domieszkowane. Wybrane właściwości fizykochemiczne oraz fotoindukowana dwójłomność*

12:50 – 13:00

**Sonia Kotowicz**

*Nowe azometiny z pierścieniami heterocyklicznymi*

13:00 – 15:00

**Przerwa obiadowa**

**SESJA VII: 15:00 – 16:45**

*Przewodniczący Sesji: Grzegorz Bąk*

15:00 – 15:45

**Ewa Juszyńska-Gałazka**

**Wykład na  
zaproszenie**

*Między cieczą a kryształem: rekrytalizacja oraz powstawanie szkieł faz o różnym stopniu uporządkowania*

15:45 – 16:05

**Sławomir Zalewski**

*Właściwości mezomorficzne i elektrooptyczne nowych chiralnych związków z grupą bifenylową*

16:05 – 16:25

**Arkadiusz Rudzki**

*Badanie polimorfizmu fazowego cholesterolu*

16:25 – 16:35

**Paulina Błaszkiwicz**

*Oddziaływanie nanocząstek metalicznych o różnym kształcie z barwnikami organicznymi*

16:35 – 16:45

**Karol Rytel**

*Modyfikacje powierzchni kolektora prądowego warstwami Langmuira wielościennych nanorurek węglowych w ogniwach litowo-jonowych*

16:45 – 17:15 **Przerwa kawowa**

**SESJA VIII: 17:15 – 18:25**

*Przewodniczący Sesji: Andrzej Miniewicz*

17:15 – 17:35 **Adam Rachocki**  
*Anomalna dyfuzja jonów na granicy faz w stałych elektrolitach polimer-ciecz jonowa*

17:35 – 17:55 **Wojciech Zając**  
*Wpływ pola magnetycznego i preparatyki elastomerów magnetoreologicznych na ich własności obserwowane w niskokątowym rozpraszaniu neutronów*

17:55 – 18:15 **Irena Kulszewicz-Bajer**  
*Ferromagnetyczne oddziaływanie spinowe w oligomerach i polimerach aryloaminowych*

18:15 – 18:25 **Dominika Kuźma**  
*Wzbudzenia magnonowe w niskowymiarowych nanostrukturach o niejednorodnych parametrach oddziaływań spinowych*

18:25 – 19:30 **Kolacja**

19:30 – 21:30 **Sesja plakatowa**

*Czwartek, 15.09.2016*

08:00 – 08:40 **Śniadanie**

**SESJA IX: 08:40 – 10:25**

*Przewodniczący: Adam Proń*

08:40 – 09:25 **Wojciech Pisula**  
**Wykład na zaproszenie** *Ultracienkie tranzystory polowe na bazie półprzewodników organicznych*

09:25 – 09:45 **Juliusz Sworakowski**  
*O wyznaczaniu energii poziomów energetycznych w półprzewodnikach organicznych z pomiarów elektrochemicznych*

09:45 – 10:05 **Jacek Ulański**  
*Wpływ pułapkowania nośników ładunku na działanie urządzeń elektroniki organicznej*

10:05 – 10:25 **Tomasz Marszałek**  
*Wpływ mikro- oraz makrostruktury na transport nośników ładunków w warstwach półprzewodnikowych*

10:25 – 10:45 **Przerwa kawowa**

**SESJA X: 10:50 – 12:35**Przewodniczący Sesji: **Roman Świątlik**

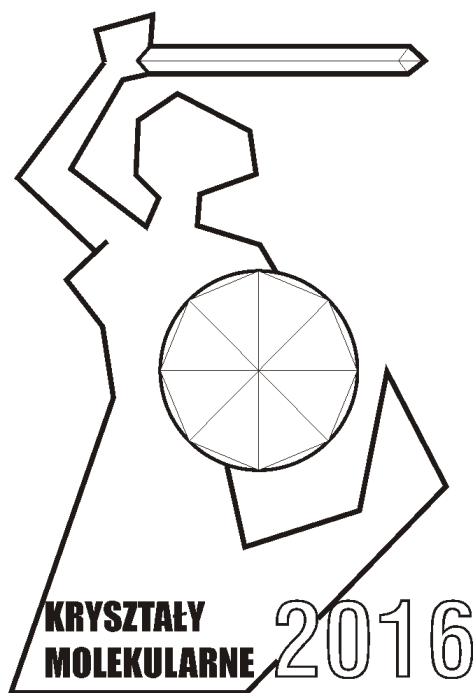
10:45 – 11:30	<b>Piotr Bujak</b> <i>Wykład na zaproszenie</i>	<i>Otrzymywanie i modyfikacja powierzchni koloidalnych nanokryształów półprzewodnikowych</i>
11:30 – 11:50	<b>Justyna Szostak</b>	<i>Zjawisko fotowoltaiczne w układach zawierających warstwę <math>F_{16}ZnPc</math></i>
11:50 – 12:10	<b>Olaf Morawski</b>	<i>Generowanie rodników hydroksylowych w fotokatalitycznym procesie częściowego rozszczepienia wody</i>
12:10 – 12:30	<b>Michał Bielejewski</b>	<i>Przewodnictwo elektryczne oraz własności termiczne supramolekularnych organicznych żeli jonowych</i>
12:30 – 13:30	<b>Przerwa obiadowa</b>	
13:30 – 19:30	Wycieczka (Kazimierz, Janowiec)	
20:00 – ...	<b>Uroczysta kolacja</b>	

**Piątek, 16.09.2016**08:00 – 09:00 **Śniadanie****SESJA XI: 09:00 – 10:45**Przewodniczący Sesji: **Wojciech Pisula**

09:00 – 09:45	<b>Olga Malinkiewicz</b> <i>Wykład na zaproszenie</i>	<i>Drukowane ogniwa perowskitowe – potencjał komercyjny oraz wyzwania technologiczne</i>
09:45 – 10:05	<b>Gabriela Lewińska</b>	<i>Heliceny jako składnik ogniw fotowoltaicznych</i>
10:05 – 10:25	<b>Monika Pokladko-Kowar</b>	<i>Dwuwarstwowe organiczne diody elektroluminescencyjne</i>
10:25 – 10:45	<b>Jerzy Karpiuk</b>	<i>Biała luminescencja cząsteczki organicznej jako funkcja jej struktury: fotofizyka trójwymiarowych układów donorowo-akceptorowych</i>
10:45 – 11:05	<b>Adam Proń</b>	<i>Pochodne zapomnianych barwników kadziowych jako nowe elektroluminofoory organiczne</i>
11:05 – 11:15	<b>Oficjalne zamknięcie konferencji</b>	
12:00 – 13:00	<b>Obiad</b>	
13.00 – ...	Wyjazd uczestników	

**STRESZCZENIA**  
**WYKŁADÓW I KOMUNIKATÓW USTNYCH**

**WTOREK**  
**13 września 2016**







## Fotowoltaika bez złącza p-n? Badania teoretyczne ferroelektrycznych układów organicznych

A. L. Sobolewski

*Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, PL-02668 Warszawa, Polska  
sobola@ifpan.edu.pl*

W obszarze fotowoltaiki gdzie koszty masowej produkcji ogniw słonecznych są bardzo istotne, fotowoltaika organiczna oparta na niskotemperaturowych technikach roztworowych stanowi atrakcyjną alternatywę w stosunku do jej odpowiedników nieorganicznych [1]. Z drugiej strony, organiczne urządzenia fotowoltaiczne nadal posiadają liczne słabości takie jak: (i) krótka droga dyfuzji ekscytonów, (ii) wydajna rekombinacja nośników ładunku oraz (iii) ich mała ruchliwość [2]. Ta ostatnia słabość wydaje się być pokonana w obiecującej klasie materiałów organicznych jaka stanowią dyskowe ciekłe kryształy (DLC). Ich główną cechą jest tworzenie fazy kolumnowej gdzie cząsteczki układają się w postaci stosu jedna na drugiej, a poszczególne kolumny są upakowane równolegle w postaci dwuwymiarowej regularnej siatki. Oddziaływanie  $\pi$ -orbitalne pomiędzy sąsiednimi aromatycznymi rdzeniami molekularnymi preferuje jednowymiarowy transport ładunku wzdłuż kolumn. Mobilność nośników ładunku sięgająca  $1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  była obserwowana w fazie DLC pochodnych heksabenzokoronenu [3] i tryindolu [4].

W wykładzie zostaną przedstawione wyniki teoretycznych eksploracji ab initio fotoelektrycznych właściwości stosów ferroelektrycznych utworzonych z cząsteczek posiadających moment dipolowy prostopadły do powierzchni. Zostanie wykazane, że w takich układach wygenerowane na skutek absorpcji światła ekscytony są rozrywane przez wewnętrzne pole elektryczne, a powstałe nośniki ładunku (elektrony i dziury) są kierowane w przeciwne strony - odpowiednio do anody i katody - dając bezpośredni wkład do sygnału fotowoltaicznego bez konieczności konstrukcji złącza p-n [5]. Zwrócona zostanie uwaga na niektóre problemy związane z praktycznym wykorzystaniem tego zjawiska.

[1] W. Cao and J. Xue, *Energy Environ. Sci.* **7**, 2123 (2014).

[2] J. Xue, *Polym. Rev.* **50**, 411 (2010).

[3] A. M. van de Craats, J. M. Warman, A. Fechtenkötter, J. D. Brand, M. A. Harbison, K. Müllen, *Adv. Mater.* **11**, 1469 (1999).

[4] A. Benito-Hernández, U. K. Pandey, E. Cavero, R. Termine, E. M. García-Frutos, J. L. Serrano, A. Golemme, B. Gómez-Lor, *Chem. Mater.* **25**, 117 (2013).

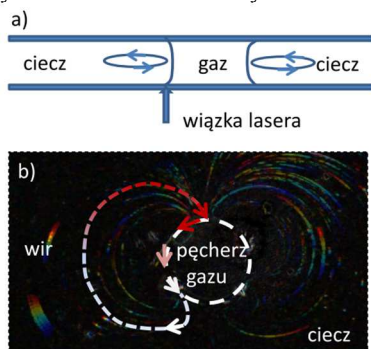
[5] A. L. Sobolewski, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **17**, 20580 (2015).

## Pałapkowanie optyczne a zjawisko Marangoniego

A. Miniewicz, S. Bartkiewicz, K. Dradrach, H. Orlikowska

*Katedra Inżynierii i Modelowania Materiałów Zaawansowanych, Wydział Chemiczny,  
Politechnika Wroclawska, Wroclaw, andrzej.miniewicz@pwr.edu.pl*

Zjawisko pałapkowania optycznego [1] polega na wytworzeniu za pomocą światła potencjału zdolnego do unieruchomienia w przestrzeni cząstek o rozmiarach od kilkuset nanometrów do kilkuset mikrometrów. Skupiona wiązka laserowa działa tzw. siłą gradientową skierowaną w stronę ogniska, która prowadzi do pałapkowania obiektów dielektrycznych, równocześnie umożliwiając ich przesuwanie w przestrzeni. W ostatnich latach, zauważono, że wykorzystując efekty optotermiczne (z włączeniem absorpcji światła) można manipulować obiektami makroskopowymi. W wykładzie omówione będą podstawy fizyczne prowadzące do pałapkowania i kondensacji materii w roztworze a także pałapkowanie pęcherzyków gazu w cieczy. Pierwsze ze zjawisk może prowadzić do hodowli mikrokryształów w wiązce laserowej, a drugie do kontrolowanego transportu gazu. Co ciekawe, oba zjawiska łączy efekt Marangoniego [2]. Zjawisko Marangoniego zachodzi na powierzchni ciecz-powietrze i dotyczy indukowania przepływu powierzchniowego cieczy poprzez wytworzenie gradientu napięcia powierzchniowego. W publikacjach [3,4] opisywaliśmy to zjawisko wywołane działaniem światła wiązki laserowej, na kroplę cieczy na powierzchni szkła. Dla układu p-nitroanilina-1,4-dioksan i fototropowego ciekłego kryształu obserwowaliśmy toroidalne zawirowania cieczy.



**Rys. 1. Pałapkowanie optyczne pęcherzyka gazu poprzez wywołany światłem wir cieczy. a) widok z boku, b) zdjęcie pod mikroskopem polaryzacyjnym obrazujące kierunek i kształt strumieni cieczy.**

Fizyka optycznego pałapkowania wynika z wytworzenia przepływów cieczy w formie stabilnych wirów wokół pęcherza gazu, które udało się zarejestrować. Przykład wiru pokazuje schematycznie rysunek 1. Występujące przy tym zjawiska fizyczne są dość złożone, bo obejmują absorpcję światła, transport ciepła, transport masy, efekty termokapilarne i hydrodynamikę wirów. Ich modelowanie jest sprawą przyszłości, natomiast zastosowanie odkrytego zjawiska niesie ze sobą wiele możliwości w dziedzinie optofluidyki, syntezy nanocząstek, ich samoorganizacji, mieszania, sortowania, itp.

Praca została sfinansowana z grantu Narodowego Centrum Nauki o nr 2014/15/B/ST8/00115.

- [1] Ashkin, A., Dziedzic, J. M., Bjorkholm, J. E., Chu, S., *Optics Letters* **11** (5), 288 (1986).
- [2] C. Marangoni, *Il Nuovo Cimento Series* **2**, 5/6, 239 (1872).
- [3] S. Bartkiewicz, A. Miniewicz, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **17**, 1077 (2015).
- [4] K. Dradrach, S. Bartkiewicz, A. Miniewicz, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **18**, 3832 (2016).

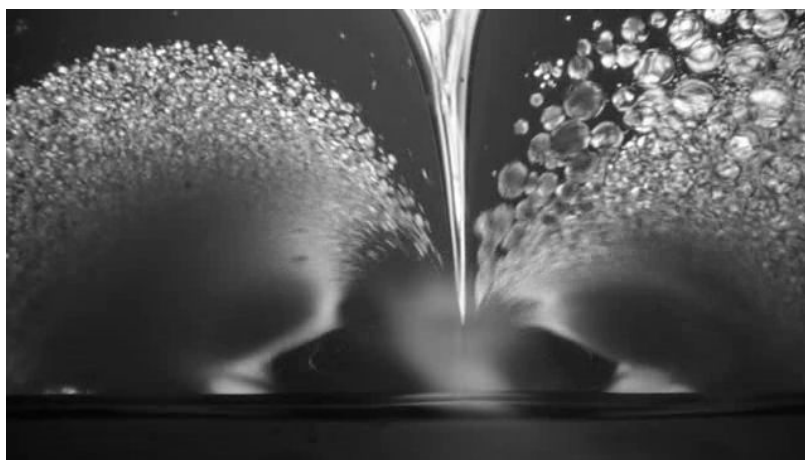
## Wiry fotoniczne

S. Bartkiewicz, H. Orlikowska, K. Dradrach, A. Miniewicz

Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska  
stanislaw.bartkiewicz@pwr.edu.pl

Wiry fotoniczne w cieczach mogą być wykorzystywane do porządkowania układów w skali mikrometrowej, np. jako szczytce optyczne, molekularne wirniki lub mikrotrubiny [1,2]. Ostatnio pokazano, że odpowiednio zaprojektowany układ eksperymentalny umożliwia kontrolowany transport materiału przy użyciu światła [3,4].

Obserwacja wirów fotonicznych w cieczach absorbujących światło może być prowadzona za pomocą mikroskopu optycznego, jednakże z uwagi na dynamikę zjawiska, określenie parametrów rotacji strumieni cieczy jest bardzo utrudnione. W naszym laboratorium opracowaliśmy nową metodę pozwalającą na obserwację przekroju wiru w rzutowaniu dwuwymiarowym. Prace nad stworzeniem hydrodynamicznego modelu zjawiska są w toku.



Rys. 1. Obraz dwuwymiarowego wiru fotonicznego w układzie ciecz – ciekły kryształ.

Badania zrealizowano w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr 2014/15/B/ST8/00115.

[1] S. Bartkiewicz, A. M. Sobolewska, K. Dradrach, *Sposób mieszania i przemieszczania cząstek w materiale ciekłokrystalicznym* P- 40 83 49 (2014) Wniosek patentowy.

[2] S. Bartkiewicz, A. Miniewicz, K. Dradrach, H. Orlikowska, *Sposób przemieszczania i dostarczania małych ilości gazów* P- 41 63 71 (2016) Wniosek patentowy.

[3] S. Bartkiewicz, A. Miniewicz, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **17**, 1077 (2015).

[4] K. Dradrach, S. Bartkiewicz, A. Miniewicz, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **18**, 3832 (2016).

## Terylen w kryształach 2,3-dichloro- i 2,3-dibromonaftalenu. Nowe układy do optycznych badań pojedynczych cząsteczek

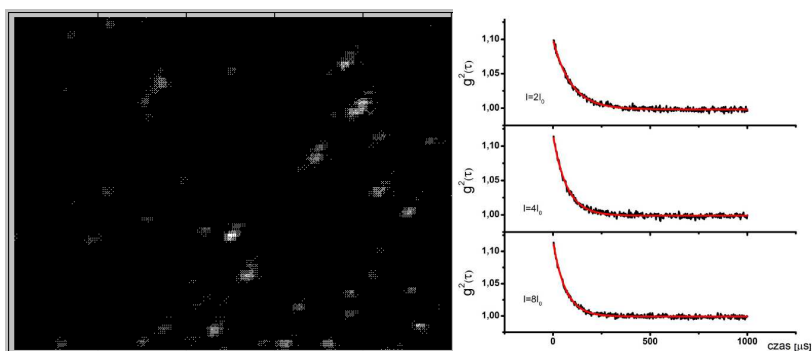
M. Białkowska<sup>1</sup>, W. Chaładaj<sup>2</sup>, A. Makarewicz<sup>1</sup>, B. Kozankiewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki PAN, Warszawa,  
bialkow@ifpan.edu.pl*

<sup>2</sup>*Instytut Chemii Organicznej PAN, Warszawa*

W niniejszej pracy prezentujemy optyczne badania dwóch nowych układów - pojedynczych cząsteczek terylenu (Tr) w kryształach 2,3-dimetylnaftalenu (2,3-DCN) i 2,3-dibromonaftalenu (2,3-DBN) [1]. 2,3-DCN i 2,3-DBN zostały zsyntetyzowane, oczyszczone metodą przetapiania strefowego, a wysokiej jakości monokryształy domieszkowane Tr wyhodowano w postaci cienkich płytek przez sublimację w atmosferze gazowego argonu.

Badania optyczne wykonane zostały korzystając ze zbudowanego w Instytucie mikroskopu konfokalnego na zakres temperatur od pokojowej do 5 K. Typowy obraz uzyskany, gdy wiązka światła laserowego, przy pomocy obiektywu mikroskopowego, skupiona do plamki o średnicy ok. 400 nm, przemiatała obszar 30×30 mikronów przedstawiony jest na rysunku. Skupiając światło na jasnych plamkach (pojedynczych cząsteczkach Tr) badaliśmy funkcję autokorelacji natężenia fluorescencji. Analiza tej funkcji dla różnych natężeń światła wzbudzającego pozwoliła wyznaczyć stałe szybkości obsadzania i opróżniania stanu trypletowego  $T_1$  badanych cząsteczek. Efekt ciężkiego atomu (chloru lub bromu) w matrycach, w porównaniu z sytuacją dla cząsteczek Tr w kryształach *p*-terfenylu [2], przejawia się wzrostem stałej szybkości przejścia  $S_1 \rightarrow T_1$ , podczas gdy stała szybkości przejścia  $T_1 \rightarrow S_0$  praktycznie się nie zmienia. Taką sytuację możemy wytłumaczyć w oparciu o odstęp energetyczny pomiędzy stanami elektronowymi w cząsteczce Tr [3].\*



Rys. 1. Dwuwymiarowy ( $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ ) obraz natężenia fluorescencji dla cząsteczek Tr w kryształach 2,3-DCN oraz przykładowa funkcja autokorelacji natężenia fluorescencji pojedynczej cząsteczki Tr.

\*Praca częściowo wykonana w ramach grantu NCN, nr 2015/17/B/ST2/01744.

- [1] M. Białkowska, W. Chaładaj, A. Makarewicz, B. Kozankiewicz, *Acta Phys. Pol. A* **128**, R.K.128.3.1. (2015).  
[2] M. Banasiewicz, O. Morawski, D. Więcek, B. Kozankiewicz, *Chem. Phys. Lett.* **414**, 374 (2005).  
[3] I. Deperasińska, E. Karpiuk, M. Banasiewicz, B. Kozankiewicz, *Chem. Phys. Lett.* **492**, 93 (2010).

## **Modelowanie reakcji układu tętniczego na prawidłowe i pasożytnicze fale tętna z uwzględnieniem realistycznych parametrów reologicznym naczyń**

M. Majka<sup>1,2</sup>, G. Gadda<sup>2</sup>, A. Taibi<sup>2</sup>, M. Gałązka<sup>1</sup>, P. Zieliński<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*The Henryk Niewodniczański Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences,  
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Cracow, Poland  
marcin.majka@ifj.edu.pl*

<sup>2</sup>*University of Ferrara, Department of Physics and Earth Sciences, Via Saragat 1,  
44122 Ferrara, Italy*

Elektryczne modelowanie układu krwionośnego polega na dopasowaniu do rzeczywistych (reologicznych) parametrów naczyń i krwi, parametrów elektrycznych linii transmisyjnych o określonej prędkości (fazowej) propagacji i impedancji charakterystycznej, zgodnych ze znanymi z fizjologii wartościami prędkości fal tętna oraz impedancji mechanicznej naczyń [1]. W ten sposób dla określonych odcinków naczyń, których parametry można przyjąć za stałe, otrzymuje się zestaw nowych wielkości elektrycznych. Ważną cechą geometrii takiego modelu, jest jego hierarchiczna struktura, którą odtwarza się poprzez odpowiednie łączenie ze sobą linii transmisyjnych. Fala tętna docierająca do rozgałęzienia (złącza) naczyń, częściowo przechodzi przezeń do niżej położonych tętnic w hierarchii, a częściowo odbija się wracając do naczyń o wyższej hierarchii. Model określa wartości współczynników odbicia i przejścia w każdym rozgałęzieniu, co pozwala wyznaczyć przebiegi ciśnienia (modelowanego napięciem) i przepływu (modelowanego prądem) w dowolnie wybranym punkcie układu. Pierwszym i najważniejszym źródłem fali tętna jest serce [2,3]. Jednak, mogą współistnieć też źródła pasożytnicze wynikające z ruchów lokomocyjnych.

W niniejszym referacie, zostanie przedstawiony model układu tętniczego człowieka zbudowany z 55 linii transmisyjnych, których parametry pochodzą z danych anatomicznych i fizjologicznych [4]. Otrzymane przebiegi ciśnienia w okolicy aorty wstępującej i tętnicy udowej uzyskane za pomocą tego modelu są zgodne z danymi literaturowymi, co wskazuje na przydatność modelu mimo wprowadzonych w nim uproszczeń. Zostaną przedstawione i przedyskutowane zaburzenia przebiegów ciśnienia w okolicach serca i innych wrażliwych narządów wywołane przez pasożytnicze fale, generowane m.in. skutek skurczów mięśni udowych w czasie ruchów lokomocyjnych: chodu i biegu, a także zmiany wywołane stanami patologicznymi: m.in. stenoza tętnicy szyjnej.

[1] T. J. R. Hughes, J. Lubliner. *Math. Biosci.* **18 (1-2)**, 161 (1973).

[2] W. Nichols, M. O'Rourke, C. Vlachopoulos. *Mc Donald's Blood Flow in Arteries, Theoretical, Experimental and Clinical Principles*, 6th Edition, CRC PRESS, (2011).

[3] K. Jagielska, D. Trzupiek, M. Lepers, A. Pelc, P. Zieliński, *Phys. Rev. E* **76**, 066304 (2007).

[4] J. Alastruey, K. H. Parker, S. J. Sherwin. *Arterial pulse wave haemodynamics, 11th International Conference on Pressure Surges*. ed. / S Anderson, Lisbon: Virtual PiE Led t/a BHR Group, p. 401-443. (2012).

## Periodyczne struktury metamateriałowe wytwarzane z hybrydowych organiczno-nieorganicznych elementów strukturalnych

E. Wolarz, B. Grześkiewicz

*Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej, Wydział Fizyki Technicznej,  
Politechnika Poznańska, eryk.wolarz@put.poznan.pl*

Termin „metamateriał” używany jest w stosunku do sztucznie wytworzonych kompozytowych materiałów charakteryzujących się nietypowymi, niespotykanymi w naturze właściwościami elektromagnetycznymi, takimi jak np. ujemny współczynnik załamania dla fal elektromagnetycznych z różnych zakresów częstotliwości. Po raz pierwszy użyli tego określenia Richard A. Shelby, David R. Smith i Sheldon Schultz w artykule opublikowanym w Science w 2001 r. [1]. Przedstawiony w tym artykule kompozytowy materiał tworzony był przez układ okresowo powtarzających się elementów w postaci podwójnych, rozciętych kwadratowych obwodów metalowych z dodatkowymi metalowymi paskami umieszczonymi równoległe do płaszczyzn pierścieni i oddzielonymi od nich płytką z materiału dielektrycznego. Materiał ten charakteryzował się ujemnym współczynnikiem załamania w zakresie mikrofalowym częstotliwości. Niezwykłe właściwości hipotetycznych materiałów o ujemnym współczynniku załamania rozważane były już w latach sześćdziesiątych dwudziestego wieku przez V.G Veselago [2]. Veselago nazwał te materiały materiałami „lewoskrętnymi” dla ich odróżnienia od „prawoskrętnych” materiałów naturalnych o dodatnim współczynniku załamania, a także przewidział dla nich występowanie zjawiska „ujemnego” załamania na granicy ośrodków oraz odwrotnych efektów Dopplera i Czerenkowa. Mimo usilnych poszukiwań naturalnych materiałów o ujemnym współczynniku załamania, zasadniczego sukcesu nie odniesiono. Przełom stanowił dopiero artykuł Johna B. Pendry’ego i współpracowników z 1999 r. [3], w którym autorzy podali przykłady możliwych do wytworzenia, sztucznych materiałów o ujemnej przenikalności magnetycznej z elementarnych obwodów rezonansowych tworzących sieć przestrzenną, analogicznie jak w przypadku naturalnych kryształów. Od momentu tego odkrycia, nastąpił gwałtowny rozwój badań metamateriałów, zarówno teoretycznych jak i eksperymentalnych. Wytworzono wiele materiałów o niezwykłych właściwościach elektromagnetycznych, m.in. metamateriałów umożliwiających budowę supersoczewek pozwalających ominąć ograniczenia dyfrakcyjne soczewek wykonanych z naturalnych materiałów, a także materiałów osłonowych zapewniających „niewidzialność” w określonym zakresie częstotliwości. Oprócz wymienionych, istnieje wiele innych różnych potencjalnych zastosowań metamateriałów, w szczególności do selektywnej detekcji promieniowania elektromagnetycznego wykorzystywanej w spektroskopii i systemach bezpieczeństwa, w technice obrazowania fazowego, w technice radarowej oraz w technologii układów elektronicznych. Do chwili obecnej wytworzono liczne modele metamateriałów o specyficznych właściwościach elektromagnetycznych w zakresie mikrofalowym, w zakresie fal milimetrowych, a także w zakresach terahercowym, średniej i bliskiej podczerwieni oraz widzialnym.

Finansowanie: MNiSW (Polska) przez Politechnikę Poznańską, grant nr 06/64/DSPB/0516.

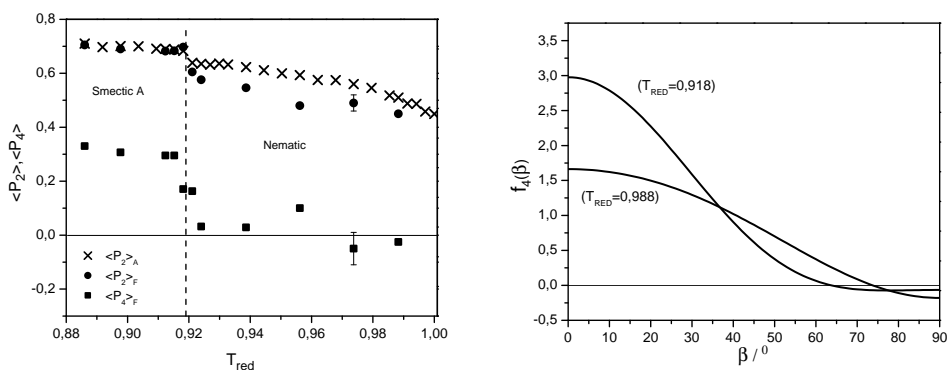
- [1] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. Schultz, Science **292**, 77 (2001).
- [2] V. G. Veselago, Sov. Phys. Usp. **10**, 509 (1968).
- [3] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robins, W. J Stewart, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. **47**, 2075 (1999).

## Wykorzystanie metod spektroskopii optycznej do badania porządku orientacyjnego ciekłych kryształów z atomami fluoru

E. Chrzumnicka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej, Wydział Fizyki Technicznej,  
Politechnika Poznańska  
ewa.chrzumnicka@put.poznan.pl

Dynamiczny rozwój technologii komunikacyjnych i obrazowania informacji wymaga urządzeń o większej szybkości przekazu, odporności na czynniki zewnętrzne i mniejsze zużycie energii. Obserwowany postęp w dziedzinie wyświetlaczy ciekłokrystalicznych powoduje nieustająco duże zainteresowanie nowymi związkami mezogennymi. Najbardziej popularne wyświetlacze ciekłokrystaliczne TN (*Twisted Nematic*) wykorzystują związki o dodatniej anizotropii dielektrycznej. Ciekłe kryształy o ujemnej anizotropii dielektrycznej wykorzystywane są do budowy wyświetlaczy pracujących w modzie VA (*Vertical Alignment mode*). Właściwości optyczne i elektryczne wyświetlaczy ciekłokrystalicznych silnie zależą od orientacji molekularnej ciekłego kryształu, stąd dokładne określenie uporządkowania jest niezwykle ważne z punktu widzenia zastosowań. Informacje o dalekozasięgowym parametrze uporządkowania uzyskano na podstawie anizotropii absorpcji i emisji światła przez molekuly domieszki rozpuszczonej w ciekłym kryształcie (efekt „gościa-gospodarza”). Uporządkowanie zorientowanych mieszanin typu barwnik - ciekły kryształ porównano z wynikami otrzymanymi dla ciekłych kryształów bez domieszki niemezomorficznego gościa przy wykorzystaniu metody ramanowskiego rozpraszania światła. Przedmiotem badań były nowo zsyntezowane ciekłe kryształy charakteryzujące się podstawnikami fluorowymi w pozycji bocznej względem długiej osi molekuly pochodzące z szeregów homologicznego 3,4-difluorofenyl-4-(5'-n-alkilo- 1',3',2'-dioksaboran-2-yl)3-fluorobenzoesanów (*nDBF3*) o ujemnej anizotropii dielektrycznej.



Rys. 1. a) Zmiana parametrów uporządkowania  $\langle P_2 \rangle$  i  $\langle P_4 \rangle$  w funkcji temperatury zredukowanej dla mieszaniny barwnik - 5DBF3 wyznaczona na podstawie pomiarów anizotropii absorpcji i emisji światła b) funkcja rozkładu molekularnego  $f_4(\beta)$  dla mieszaniny barwnik - 5DBF3.

- [1] E. Chrzumnicka, A. Kobielski, M. Szybowicz, D. Bauman, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **1**, 541 (2011).  
[2] E. Chrzumnicka, M. Szybowicz, D. Bauman, Z. Naturforsch. **59a**, 510 (2004).



## Transport ciepła w kryształach z elementami nieporządku

D. Szewczyk, A. Jeżowski

*Institut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN Wrocław,  
d.szewczyk@int.pan.wroc.pl*

Jeden z najprostszych a zarazem najpowszechniejszy typ nieporządku występuje w kryształach posiadających centrum symetrii, zaś tworzące go cząsteczki pozbawione są tego elementu. Przykładem takiego układu może być 1-chloro-4-nitrobenzen ( $C_6H_4ClNO_2$ ), w którym komórkę elementarną tworzą dwie cząsteczki nałożone na siebie w taki sposób, by ich suma posiadała centrum symetrii.

W celu zbadania mechanizmu transportu ciepłego w wymienionym materiale wyznaczono temperaturowe zależności przewodności cieplnej oraz ciepła właściwego w zakresie od 1.8 K do 250 K. W trakcie pomiaru zwrócono szczególną uwagę na obszar przejścia fazowego do stanu szkła, podawany w literaturze jako 245 K [1].

Pomiary przewodnictwa ciepłego wykonano metodą stacjonarnego, osiowego przepływu strumienia ciepła w kierunku od najniższych temperatur do 250 K. Uzyskane rezultaty dla 1Cl4NB wykazują zależność charakterystyczną dla materiałów amorficznych. Jedynie w okolicy 225 K ma miejsce skok wartości  $\kappa$ , po którym następuje niewielkie minimum, wynikające z przejścia fazowego do stanu szklistego. Na podstawie badań K. Saito et al. [2] zastosowano podobną procedurę termiczną, wygrzewając próbę powyżej temperatury przejścia, w 260 K, oraz ponownie zmierzono  $\kappa(T)$  w tym samym kierunku. Otrzymany rezultat reprezentuje odmienny charakter zależności temperaturowej przewodności cieplnej, wykazując zależności  $\kappa(T)$  typowe dla kryształów dielektrycznych z maksimum występującym w 15 K, o wartości  $2.2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Wyniki ciepła właściwego dla faz uporządkowanej i nieuporządkowanej 1Cl4NB uzyskano przy pomocy Physical Property Measurement System (PPMS). Podobnie jak dla przewodności cieplnej wykonano dwa niezależne eksperymenty – pierwszy po schłodzeniu próbki, drugi po jej wygrzewaniu. Stwierdzono, że w najniższych badanych temperaturach ciepło właściwe stanu nieuporządkowanego osiąga wartości prawie 5-krotnie wyższe niż dla stanu uporządkowanego, a także pozostaje nieznacznie wyższe na całym badanym obszarze temperaturowym. W okolicy 230 K obserwowana jest subtelną zmianą wartości  $C_p$  związana z przejściem fazowym do stanu szklistego. Interesującym jest, że nie występuje ona po wygrzewaniu próbki, co zdaje się potwierdzać otrzymanie stanu uporządkowanego.

Do wyjaśnienia badanych zjawisk przeprowadzono szczegółową analizę wpływu rodzaju nieporządku na transport ciepła w badanych kryształach molekularnych. Interpretację uzyskanych wyników oparto na analizie możliwych mechanizmów rozproszeń fononowych.

[1] Y. Tozuka, Y. Yamamura, K. Saito, M. Sorai, J. Chem. Phys. **112**, 2356 (2000).

[2] K. Saito, H. Kobayashi, Y. Miyazaki, M. Sorai, Sol. Sta. Comm. **118**, 611 (2001).

## **Półprzewodnikowe materiały hybrydowe na bazie wanadanu bizmutu sensybilizowanego barwnikami organicznymi do zastosowań fotokatalitycznych**

K. Ordon<sup>1,2</sup>, M. Makowska-Janusik<sup>1</sup>, A. Kassiba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Akademia im. Jana Długosza, 42-200 Częstochowa, Polska*

<sup>2</sup>*Institute of Molecules and Materials of Le Mans, Université du Maine, 72085 Le Mans, Francja  
karolina.ordon@ajd.czyst.pl*

Ostatnie 50 lat było czasem intensywnego rozwoju fotokatalizy. Od momentu odkrycia tego zjawiska do dnia dzisiejszego naukowcy zajmują się wykorzystaniem własności fotokatalitycznych materiałów półprzewodnikowych w różnych dziedzinach życia [1] oraz poszukują nowych wydajnych materiałów fotokatalitycznych. Jednym z najczęściej stosowanych fotokatalizatorów jest TiO<sub>2</sub>. Krystaliczny TiO<sub>2</sub> o strukturze anatazu posiada przerwę energetyczną równą 3,2 eV [2]. Oznacza to, iż absorbuje on promieniowanie w zakresie UV. Domieszkowanie TiO<sub>2</sub> jonami metali oraz sensybilizowanie cząsteczkami barwnika organicznego, powoduje przesunięcie maksimum absorpcji w kierunku światła widzialnego, ale wydajność fotokatalityczna pozostaje niewielka. W związku z tym poszukuje się materiałów, które w niedomieszkowanej postaci będą wykazywały absorpcję promieniowania elektromagnetycznego w zakresie światła widzialnego. Obiecującym materiałem do zastosowań fotokatalitycznych wydaje się być BiVO<sub>4</sub>, posiadający przerwę energetyczną około 2,4 eV [3] i absorbujący promieniowanie w zakresie widzialnym. Przewiduje się także, że sensybilizowanie ortowanadanu bizmutu barwnikami organicznymi polepszy jego zdolność fotokatalityczną, jak to ma miejsce w przypadku dwutlenku tytanu.

Prezentowane badania opierają się na połączeniu obliczeń kwantowo-chemicznych z badaniami eksperymentalnymi w celu opisu własności elektronowych i optycznych cienkich warstw mezoporowatego BiVO<sub>4</sub>. Przeprowadzono syntezę badanego materiału oraz sensybilizowano go wybranymi barwnikami organicznymi. Na drodze symulacji komputerowych obrazujących wpływ poszczególnych komponentów układu hybrydowego na jego własności elektronowe, których poprawność zweryfikowano badaniami eksperymentalnymi określającymi strukturę powstałych próbek oraz ich własności optyczne określono mechanizm fotoindukowanego transferu ładunku elektrycznego. Pokazano, że dzięki połączeniu eksperymentalnych i teoretycznych metod badawczych można otrzymać pełny obraz zjawisk fizycznych rządzących właściwościami fotokatalitycznymi BiVO<sub>4</sub>.

[1] M. A. Mills, R. H. Davies, D. Worsley, Chem. Soc. Rev. **22**, 417 (1993).

[2] D. Kaczmarek, J. Domaradzki, E. L. Prociow, D. Wojcieszak, B. Michalec, Materiały Elektroniczne **36**, 117 (2008).

[3] J. Yu, A. Kudo, Adv. Funct. Mater. **16**, 2163 (2006).

## **Właściwości transportowe nanokompozytów utworzonych na bazie kriokryształów molekularnych**

R. Nikonkov, P. Stachowiak, A. Jeżowski

*Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN,  
R.Nikonkov@int.pan.wroc.pl*

Właściwości fizyczne materiałów nanokompozytowych utworzonych z nanorozmiarowych cząstek wbudowanych w matrycę krystaliczną cieszy się ostatnio dużym zainteresowaniem badaczy. To zainteresowanie motywowane jest zarówno względami czysto poznawczymi jak i aplikacyjnymi. W niniejszej pracy przedstawiamy wyniki pomiarów zależności temperaturowych współczynnika przewodnictwa cieplnego próbek, w których jako matryca wykorzystane zostały kryształy metanu, azotu oraz tlenku węgla, a nanorozmiarowymi cząstkami były nanoproszki palladu oraz krzemionki o rozmiarach liniowych od 5 do 50 nm. Badania prowadzone były w przedziale temperatur 2 – 40 K. Analiza zależności temperaturowej współczynnika przewodnictwa cieplnego, uwzględniająca mikroskopowe parametry składników nanokompozytów, pozwoliła uzyskać wiele interesujących rezultatów dotyczących zarówno struktury krystalicznej badanych obiektów jak i zjawisk fononowych występujących w takich nanokompozytach.

## Fale na wewnętrznych powierzchniach wypełnionych wodą porów w krzemionce MCM-41

P. Sobieszczyk<sup>1</sup>, A. Pajzderska<sup>2</sup>, D. Kuźma<sup>1</sup>, M. Majka<sup>1,3</sup>, P. Zieliński<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego, PAN, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Pawel.Sobieszczyk@ifj.edu.pl*

<sup>2</sup>*Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Wydział Fizyki, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań*

<sup>3</sup>*Politechnika Krakowska, Instytut Fizyki, ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków*

Mezoporowate matryce krzemionkowe MCM-41 (Mobil Composition of Matter No. 41) są przedmiotem wielu badań ze względu na szerokie spektrum zastosowań w chemii, fizyce lub nanotechnologii np. w układach biomedycznych jako systemy dostarczania leków itp. [1,2]. Najnowsze badania układów mezoporowatych pokazały różnorodność przejść fazowych wody znajdującej się w matrycy, które zależą od stopnia wypełnienia, temperatury i ciśnienia [3,4,5]. Na powierzchniach porów, zarówno pustych, pokrytych warstwą adsorbentu, jak i całkowicie wypełnionych należy się spodziewać występowania fal powierzchniowych na powierzchniach rozdziału. W obecnym komunikacie przedyskutowane zostanie zastosowanie modelu ośrodka ciągłego. Przewiduje on występowanie fal powierzchniowych w zależności od stopnia wypełnienia porów oraz od temperatury [6]. Szczególnie spektakularne są zmiany parametrów fal powierzchniowych w przejściach fazowych wody wypełniającej pory. Przedstawione zostaną relacje dyspersji, wektory odcięcia oraz fazy Airy'ego dla niewypełnionych porów oraz częściowo pokrytych powierzchni ścian matrycy. Zbadane zostanie występowanie powierzchniowych fal Stoneleya oraz Scholte'a w przypadku całkowitego wypełnienia w zależności od temperatury dla możliwych występujących stanów skupienia wody.

[1] A. B. D. Nandiyanto, S. G. Kim, F. Iskandar, et al., *Microporous Mesoporous Mater.* **120**, 447 (2009).

[2] M. Vallet-Regi, A. Rámila, R. P. del Real, et al., *Chem. Mater.* **13**, 308 (2001).

[3] Z. Wang, K. - H. Liu, L. Harriger, et al., *J. Chem. Phys.* **141**, 014501 (2014).

[4] A. Pajzderska, P. Bilski, J. Wąsicki. *Phase, J Chem. Phys.* **142**, 084505 (2015).

[5] A. Pajzderska, M. A. Gonzalez, J. Mielcarek, et al., *J. Phys. Chem. C.* **118**, 23701 (2014).

[6] P. Sobieszczyk, A. Pajzderska, D. Kuźma, M. Majka, P. Zieliński, *Phase Transition* **89**, 425 (2016).

## Od molekuly do kryształu molekularnego - chemia kwantowa ciał stałych

M. Makowska-Janusik

*Institut Fizyki, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Akademia im. Jana Długosza w  
Częstochowie, Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa, m.makowska@ajd.czyst.pl*

Zainteresowanie nowoczesnymi materiałami organicznymi jest wciąż ogromne. Wynika to z nieustającej potrzeby znajdowania nowych struktur użytecznych w wielu dziedzinach nauki oraz w przemyśle, o ściśle określonych własnościach. Synteza materiałów kompozytowych, hybrydowych czy kryształów molekularnych o określonej charakterystyce wymaga znajomości własności fizykochemicznych poszczególnych komponentów układu, co niejednokrotnie jest niemożliwe do weryfikacji eksperymentalnej. Pomocnym w projektowaniu nowoczesnych materiałów jest modelowanie komputerowe. Pozwala ono na wnikliwą analizę własności poszczególnych molekuł oraz na określenie cech materiału objętościowego. Problemem symulacji komputerowych własności fizykochemicznych materiałów objętościowych jest ustalenie modelu obliczeniowego jaki należy użyć aby określić wzajemne oddziaływanie molekuł oraz wpływ tego oddziaływania na własności modelowanej struktury. Metody chemii kwantowej implementowane w komputerowych programach obliczeniowych opracowano dla izolowanych molekuł lub dla struktur periodycznych o niewielkiej liczbie atomów w komórce elementarnej. Materiały kompozytowe lub kryształy molekularne są stosunkowo dużymi strukturami ze względów obliczeniowych, a symulacja ich własności np. elektronowych jest bardzo trudna a niekiedy wręcz niemożliwa.

Proponowany wykład jest próbą przedstawienia metodologii postępowania w przypadku obliczania własności elektronowych i optycznych materiałów kompozytowych [1], kryształów molekularnych [2,3], ale również własności molekuł organicznych w roztworach [4]. Planowane jest zaprezentowanie przeglądu technik obliczeniowych struktury elektronowej materiałów objętościowych z uwzględnieniem periodycznej metody DFT oraz pola lokalnego. Metody dynamiki molekularnej uzupełnione obliczeniami kwantowo-chemicznymi pozwalają określić strukturę i własności dużych układów molekularnych. Użycie modelu dyskretnego pola lokalnego pozwala przewidzieć własności elektronowe organicznych materiałów objętościowego zarówno periodycznych jak i amorficznych typu „*guest-host*” na bazie matryc polimerowych.

[1] H. Reis, M. Makowska-Janusik, M. G. Papadopoulos, J. Phys. Chem. B **108**, 8931 (2004).

[2] A. Ayadi, L. Mydlova, N. Zouari, M. Makowska-Janusik, B. Sahraoui, A. El-Ghayoury, Opt. Mater. **56**, 27 (2016).

[3] M. Makowska-Janusik, Comput. Let. **3**, 285 (2007).

[4] M. Makowska-Janusik, F. Kajzar, A. Miniewicz, L. Mydlova, I. Rau, J. Phys. Chem. A **119**, 1347 (2015).

## Rozszczepienie ekscytonu singletowego – rola symetrii lokalnej

P. Petelenz, M. Snamina

*Zakład Chemii Teoretycznej im. K. Gumińskiego, Wydział Chemii  
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie,  
petelenz@chemia.uj.edu.pl*

W acenach, traktowanych jako modelowe układy organiczne, rozszczepienie ekscytonu singletowego na dwa ekscytony trypletowe zachodzi poprzez nadwymianę z udziałem wirtualnych stanów z przeniesieniem ładunku (CT) [1-3]. Wartość stałej sprzężenia nadwymiennego wynika z subtelnego kompromisu pomiędzy wkładami pochodzącymi od stanów CT o wzajemnie przeciwnym układzie ładunków [(+-) i (-+)], więc zależy od ich energetyki. Z uwagi na przeciwne znaki odpowiednich całek przeniesienia ładunku, interferencja tych dwóch kanałów nadwymiany jest destruktywna, co prowadzi do jej szczególnej wrażliwości na wielkość rozszczepienia pomiędzy konkurującymi stanami wirtualnymi. Duże rozszczepienie prowadzi do wyraźnej dominacji jednego z kanałów, wzmacniając sprzężenie nadwymienne.

Jak wskazują obliczenia mikroelektrostatyczne dla pentacenu [4,5], rozszczepienie pomiędzy omawianymi stanami CT silnie zależy od otoczenia zaangażowanej w proces pary cząsteczek: wynosi ok. 0.7 eV w izolowanym dimerze [3,4], lecz tylko 0.02 eV w kryształach [4,6]. Ta zmniejszona wartość jest konsekwencją (wynikającą z lokalnej symetrii kryształu) wzajemnej kompensacji różnych wkładów pochodzących od oddziaływań kwadrupolowych.

Sugeruje to możliwość wzmocnienia nadwymiany przez lokalne łamanie symetrii. Modelowe obliczenia dla kryształu pentacenu pozwalają oczekiwać kilkukrotnego wzrostu stałej nadwymiany w niektórych pozycjach sąsiadujących z wakancją lub domieszką, a na granicach pomiędzy krystalitami sugerują wzrost efektywności procesu rozszczepienia ekscytonu singletowego nawet o rząd wielkości.

Wydaje się, że powyższe obserwacje mogłyby znaleźć zastosowanie przy projektowaniu układów fotowoltaicznych opartych na elementach organicznych [7].

- [1] D. Beljonne, H. Yamagata, J. L. Brédas, F. C. Spano, Y. Olivier. *Phys. Rev. Lett.* **110**, 226402 (2013).
- [2] T. C. Berkelbach, M. S. Hybertsen, D. R. Reichman. *J. Chem. Phys.* **138**, 114103 (2013).
- [3] T. Zeng, R. Hoffmann, N. Ananth. *J. Am. Chem. Soc.* **136**, 5755 (2014).
- [4] P. Petelenz, M. Snamina, G. Mazur. *J. Phys. Chem. C* **119**, 14338 (2015).
- [5] M. Snamina, P. Petelenz, *Stany z przeniesieniem ładunku w kryształach pentacenu – rola oddziaływań kwadrupolowych*, plakat, *Kryształy Molekularne 2016*.
- [6] E. V. Tsiper, Z. G. Soos, *Phys. Rev. B* **68**, 085301 (2003).
- [7] P. Petelenz, M. Snamina. *J. Phys. Chem. Lett.* **7**, 1913 (2016).

## Aromatyczność pochodnych benzenowych

I. Majerz<sup>1</sup>, T. Dziembowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu, Borowska 211a,  
50-556 Wrocław, majerz@yahoo.com*

<sup>2</sup>*Instytut Chemii i Ochrony Środowiska, Politechnika Szczecińska*

Benzen jest najbardziej typowym przykładem związku aromatycznego. Pomimo, iż zastąpienie atomów wodoru pierścienia benzenowego podstawnikami o różnych właściwościach elektronodonorowych i elektronoakceptorowych nie ma wielkiego wpływu na aromatyczność pierścienia benzenowego [1], znane są pochodne benzenu o znacznie zmniejszonej aromatyczności lub nawet antyaromatyczne [2]. W celu zbadania aromatyczności pochodnych benzenowych w stanie stałym wykonano przegląd wszystkich pochodnych benzenowych zawartych w bazie krystalograficznej CSD [3] oraz obliczono ich parametr aromatyczności HOMA [4]. Histogramy przedstawiające parametr HOMA pokazują, iż pochodne benzenowe w stanie stałym w większości są związkami typowo aromatycznymi. Spośród wszystkich analizowanych związków wybrano te, dla których aromatyczność była znacznie obniżona i w celu wyjaśnienia, czy obniżenie aromatyczności może wynikać z upakowania cząsteczek w sieci krystalicznej, czy też związane jest ze specyficznym wpływem podstawników zoptymalizowano geometrię pojedynczych cząsteczek używając metody B3LYP/6-311++G\*\*.-DG3.

[1] T. Krygowski, M. A. Dobrowolski, K. Zborowski, M. K. Cyrański, *J. Phys. Org. Chem.* **19**, 889 (2006).

[2] I. Majerz, T. Dziembowska, *J. Phys. Chem. A* **116**, 5629 (2012).

[3] F. H. Allen, *Acta Cryst. B* **58**, 380 (2002).

[4] T. M. Krygowski, *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* **33**, 70 (1993).

## Struktura krystaliczna i molekularna, przewodnictwo elektryczne oraz właściwości spektralne przewodnika protonowego – szczawianu pirazolowego

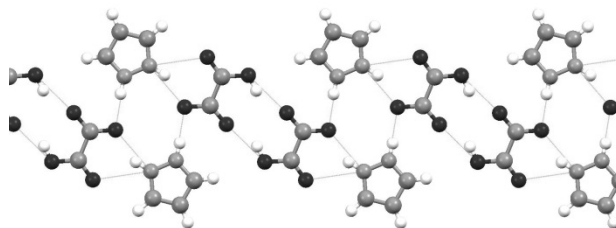
M. Widelicka<sup>1</sup>, K. Pogorzelec-Glaser<sup>1</sup>, A. Pietraszko<sup>2</sup>,  
P. Ławniczak<sup>1</sup>, A. Łapiński<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki Molekularnej PAN Poznań, widelicka@ifmpan.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN Wrocław*

Obiektem naszych badań jest przewodnik protonowy zsyntetyzowany na bazie cząsteczki pirazolu i kwasu szczawioowego. W pracy zostaną omówione wyniki analizy strukturalnej, przewodnictwa elektrycznego oraz badań spektroskopowych. Widma oscylacyjne zostały zarejestrowane z wykorzystaniem techniki absorpcyjnej, odbicia dyfuzyjnego oraz rozpraszania Ramana. W celu zinterpretowania otrzymanych wyników przeprowadzono stosowne obliczenia DFT. W pracy szczególną uwagę zwrócono na analizę strukturalną oraz dynamikę wiązań wodorowych.

Prezentowany związek – szczawian pirazolowy  $C_3H_5N_2^+$ ,  $C_2HO_4^-$  wykrył się w układzie trójskośnym z grupą przestrzenną  $P\bar{1}$ . Posiada on strukturę warstwową, w której wyróżnić można ścieżki przewodzenia protonu (Rys. 1). Na podstawie badań spektroskopowych oraz analizy strukturalnej stwierdzono, że w badanym związku występują średnie wiązania wodorowe  $N-H\cdots O$ .



Rys. 1. Ścieżka przewodzenia w szczawianie pirazolowym.

Własności elektryczne próbki polikrystalicznej zbadano techniką spektroskopii impedancyjnej. Zależność temperaturowa przewodnictwa jonowego spełnia prawo Arrheniusa, a uzyskana wartość energii aktywacji wynosi  $\sim 2$  eV.

Widma eksperymentalne IR i Ramana zostały zinterpretowane na podstawie obliczeń drgań normalnych dla neutralnych oraz zjonizowanych cząsteczek pirazolu i kwasu szczawioowego. Dodatkowo wykonano obliczenia dla układów dimerowych, co umożliwiło szczegółową interpretację wpływu wiązania wodorowego na widmo w podczerwieni. Analiza ewolucji temperaturowej parametrów spektralnych pasm ujawniła zmianę charakteru dynamiki wiązań wodorowych w niskich temperaturach, przy ok. 100 K. Za pomocą obliczeń DFT wyznaczono wysokość bariery energetycznej oraz rozkład gęstości ładunku w mostku wodorowym. Na podstawie badań anizotropii widm w podczerwieni stwierdzono występowanie kwazijednowymiarowego charakteru przewodnictwa, który można opisać za pomocą modelu solitonowego.



## Samoorganizacja skoniugowanych układów na przykładzie oligoprolina – monoimid perylenu

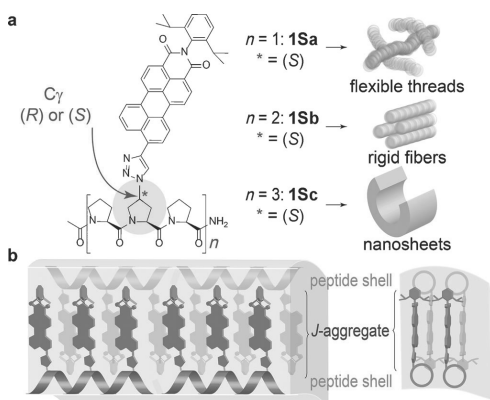
W. Zajaczkowski<sup>1</sup>, U. Lewandowska<sup>2</sup>, H. Wennemers<sup>2</sup>, K. Müllen<sup>1</sup>,  
W. Pisula<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10, D-55128, Mainz, Niemcy,  
zajaczkowski@mpip-mainz.mpg.de

<sup>2</sup>Laboratory of Organic Chemistry, ETH Zurich Vladimir-Prelog-Weg 3, 8093 Zurich,  
Szwajcaria

<sup>3</sup>Katedra Fizyki Molekularne, Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, ul. Żeromskiego  
116, 90-924 Łódź, Polska

Precyzyjna kontrola właściwości samoorganizacyjnych organicznych związków ma- jak i wielkocząsteczkowych jest istotnym elementem w procesie rozwoju nowoczesnej elektroniki organicznej. W pracy przedstawiono badania właściwości samoorganizacji układów skoniugowanych elementów, które nie wykazują samoorganizacji lecz poprzez dobrze zdefiniowany szkielet umożliwiają precyzyjną kontrolę przestrzennej orientacji bocznie dołączonych chromoforów. Oligoprolina jako wysoko symetryczny, helikalny peptyd, nie wykazujący właściwości samoorganizacyjnych został związany z monoimidem perylenu (PMI), pełniącym funkcję chromoforu wykazującego silne oddziaływania  $\pi$ - $\pi$ , tworząc układ supramolekularny. Badania pokazały, że subtelne zmiany w długości, czy stereochemii peptydu względem dołączonego chromoforu, pozwalają na precyzyjną kontrolę mikrostruktury uzyskując układy od mikrowłókien (flexible thread), poprzez nanożyłki (rigid fibers) do wysoko zdefiniowanych nano-arkuszy (nanosheets), co pozwala na ich potencjalne zastosowanie w szeroko rozumianej elektronice organicznej [1,2].



Rys. 1. a) Struktura chemiczna sprzężonych układów oligoprolina-PMI, b) model samoorganizacji.

Praca została wykonana w ramach grantu badawczego fundacji Volkswagen. Podziękowania składamy również grupie badawczej odpowiedzialnej za wiązkę BL09 na synchrotronie Delta w Dortmundzie za pomoc w pomiarach GIWAXS.

[1] U. Lewandowska, W. Zajaczkowski, W. Pisula, Y. Ma, C. Li, K. Müllen, H. Wennemers, Chem. Eur. J. **22**, 3804 (2016).

[2] U. Lewandowska, W. Zajaczkowski, L. Chen, F. Bouilliere, D. P. Wang, K. Koynov, W. Pisula, K. Müllen, H. Wennemers, Angew. Chem. Int. Edit. **53**, 12537 (2014).

## Badania ramanowskie uporządkowania ładunkowego w solach (TMTTF)<sub>2</sub>X (X = PF<sub>6</sub>, AsF<sub>6</sub>, SbF<sub>6</sub>)

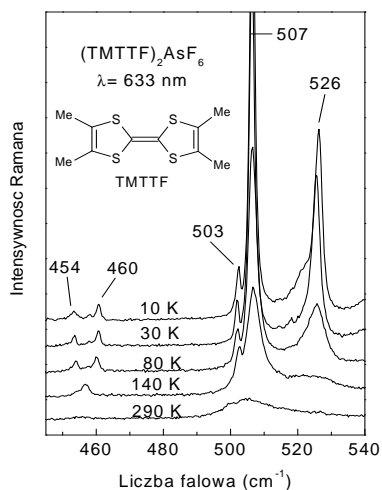
B. Barszcz<sup>1</sup>, R. Świetlik<sup>1</sup>, M. Fourmigué<sup>2</sup>, M. Dressel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Poznań  
swietlik@ifmpan.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Université Rennes 1 & CNRS UMR 6226, Rennes, France*

<sup>3</sup>*Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany*

W przewodzących solach z przeniesieniem ładunku (TMTTF)<sub>2</sub>X (X = PF<sub>6</sub>, AsF<sub>6</sub>, SbF<sub>6</sub>) płaskie donory TMTTF tworzą zdimeryzowane, jednowymiarowe stopy. W temperaturze pokojowej ładunek w stosach jest rozłożony z równomiernie, czyli na każdy donor TMTTF przypada +0.5e. W niskich temperaturach rozkład ładunku staje się nierównomierny, tzn. następuje przejście do stanu z uporządkowaniem ładunkowym (CO), który jest odpowiedzialny za pojawianie się stanu ferroelektryka elektronowego [1]. Przejście do stanu CO w solach (TMTTF)<sub>2</sub>X występuje w temperaturach T<sub>CO</sub> = 67 K (PF<sub>6</sub>), 102 K (AsF<sub>6</sub>), 157 K (SbF<sub>6</sub>). Zjawisko to było szeroko badane różnymi metodami, w tym przy użyciu spektroskopii IR i Ramana, przede wszystkim w zakresie drgań rozciągających wiązań C=C w rejonie 1400-1500 cm<sup>-1</sup>, które są szczególnie czułe na zmiany gęstości ładunku [2].



Rys. 1. Widma Ramana soli (TMTTF)<sub>2</sub>AsF<sub>6</sub>.

T < T<sub>CO</sub>. Bardzo podobne wyniki uzyskano dla soli z anionami PF<sub>6</sub> oraz SbF<sub>6</sub>. Nasze badania ramanowskie po raz pierwszy bezpośrednio pokazały powstawanie ścian domenowych w kryształach (TMTTF)<sub>2</sub>X przy przejściu do stanu ferroelektrycznego.

[1] F. Nad, P. Monceau, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 051005 (2006).

[2] M. Dressel et al., Crystals **2**, 528 (2012).

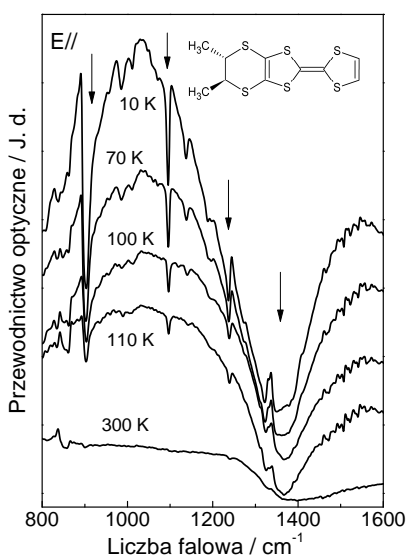
## Spektroskopowe badania przejścia fazowego metal-izolator w racemicznej soli $(rac\text{-DM-EDT-TTF})_2\text{PF}_6$

I. Olejniczak<sup>1</sup>, A. Frąckowiak<sup>1</sup>, K. Ptaszyński<sup>1</sup>, F. Pop<sup>2</sup>, N. Avarvari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań,  
olejniczak@ifmpan.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Laboratoire Moltech Anjou, Université d'Angers, Angers, Francja*

Racemiczna sól  $(rac\text{-DM-EDT-TTF})_2\text{PF}_6$  zawiera chiralne molekuly DM-EDT-TTF (dimetylo-etylenoditio-tetrafiafulwalen) w postaci enancjomerów  $(S,S)$  i  $(R,R)$  [1]. Molekuly donora tworzą równoległe kolumny, które oddziałują ze sobą tworząc warstwy przewodzące typu  $\beta$ . Atomy fluoru grup  $\text{PF}_6^-$  w warstwie anionowej oddziałują z warstwą przewodzącą poprzez krótkie kontakty  $\text{H}\cdots\text{F}$ .  $(rac\text{-DM-EDT-TTF})_2\text{PF}_6$  jest metalem w temperaturze pokojowej i wykazuje przejście metal-izolator w temperaturze 110 K.



Rys. 1. Widma przewodnictwa optycznego soli  $(rac\text{-DM-EDT-TTF})_2\text{PF}_6$  (we wstawce pokazano molekulę donora  $(S,S)$ -DM-EDT-TTF).

Badania widm odbiciowych w podczerwieni  $(rac\text{-DM-EDT-TTF})_2\text{PF}_6$  pokazują, że sól ta jest izolatorem Motta typu DM (dimer Mott) w niskiej temperaturze. Wzbudzenia elektronowe ok.  $1000\text{ cm}^{-1}$  w widmach przewodnictwa optycznego związane są z obecnością korelacji elektronowych w materiale. W widmach spolaryzowanych w kierunku kolumn DM-EDT-TTF poniżej 110 K zaobserwowano pasma oscylacyjne DM-EDT-TTF aktywowane w wyniku sprzężenia elektron-drganie wewnątrz-molekularne (Rys. 1). Poszerzony kształt pasm  $\nu_2$  molekul DM-EDT-TTF w widmach Ramana w niskich temperaturach sugeruje obecność fluktuacji ładunku. Długość wiązań PF w warstwie anionowej ulega znaczącej zmianie w przejściu fazowym, co świadczy o zmianie w oddziaływaniach  $\text{H}\cdots\text{F}$ .

[1] F. Pop, P. Auban-Senzier, A. Frąckowiak, K. Ptaszyński, I. Olejniczak, J. D. Wallis, E. Canadell, N. Avarvari, *J. Am. Chem. Soc.* **135**, 17176 (2013).

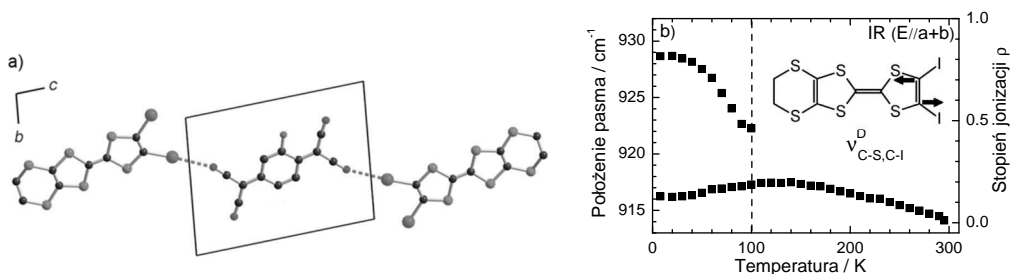
## Przejście z fazy neutralnej do fazy jonowej w kompleksie (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF

A. Frąckowiak<sup>1</sup>, I. Olejniczak<sup>1</sup>, R. Świetlik<sup>1</sup>, J. Lieffrig<sup>2</sup>, O. Jeannin<sup>2</sup>,  
M. Fourmigué<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Fizyki Molekularnej PAN, ul. M. Smoluchowskiego 17, Poznań,  
arkadiusz.frackowiak@ifmpan.poznan.pl

<sup>2</sup>Institut des Sciences Chimiques de Rennes, Université Rennes 1,  
CNRS UMR 6226, Rennes (France)

W kompleksie z przeniesieniem ładunku (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF, naprzemienne diady molekuł donora (D) oraz molekuły akceptora (A) tworzą stopy wzdłuż osi *a-b*. Mieszane stopy molekuł ...ADDADDA... tworzą warstwy; sąsiednie warstwy oddziałują ze sobą za pośrednictwem wiązań halogenowych donor-akceptor (Rys. 1a). Pomiary widm w podczerwieni (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF w zakresie drgań rozciągających wiązań CN molekuły TCNQF pokazały, że przy obniżaniu temperatury następuje przejście od fazy neutralnej do fazy jonowej, co sugerowano wcześniej w badaniach rentgenowskich długości wiązań molekuł TCNQF [1].



**Rys. 1. a)** Wiązania halogenowe donor-akceptor w soli (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF [1]; **b)** położenie składowych pasma  $\nu_{C-S,C-I}^D$  w widmie absorpcji soli (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF oraz stopień jonizacji molekuł EDT-TTF-I<sub>2</sub> w zależności od temperatury [2].

Niniejsza praca stanowi kontynuację badań spektroskopowych przejścia z fazy neutralnej do fazy jonowej (NIT) w kompleksie (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF, które uzupełnione zostały o analizę pozostałych modów donora i akceptora [2]. Rys. 1b pokazuje częstotliwości składowych drgania rozciągającego wiązań C-S, C-I molekuły EDT-TTF-I<sub>2</sub> w zależności od temperatury. Ładunek ( $\rho$ ) zlokalizowany na molekułach donora jest równy w przybliżeniu zero w temperaturze pokojowej. Przy obniżaniu temperatury,  $\rho$  wzrasta stoniowo, przy czym poniżej 100 K wzrost ten następuje szybciej. Aktywacja w pełni symetrycznych drgań molekuł donora i akceptora w widmach w podczerwieni pokazuje, że ze wzrostem stopnia jonizacji następuje dystorsja struktury krystalicznej. Analiza pasm oscylacyjnych, w tym modu  $\nu_{C-S,C-I}^D$  sugeruje, że przejście fazowe NIT w soli (EDT-TTF-I<sub>2</sub>)<sub>2</sub>TCNQF związane jest z obecnością silnych wiązań halogenowych.

[1] J. Lieffrig i inni, Chem. Eur. J. **19**, 14804 (2013).

[2] A. Frąckowiak i inni (w przygotowaniu).

## Kobaltowe(II) hybrydy organiczno-nieorganiczne z kationem pirolidyniowym

M. Wojciechowska<sup>1</sup>, V. Kinzhybalo<sup>2</sup>, A. Piecha-Bisiorek<sup>1</sup>, R. Jakubas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski, ul. F. Joliot-Curie 14, 50-137 Wrocław,  
martyna.wojciechowska@chem.uni.wroc.pl

<sup>2</sup> Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, ul. Okólna 2, 50-950 Wrocław

Multiferroiki to materiały charakteryzujące się jednocześnie więcej niż jedną cechą/stanem uporządkowania materiałów ferroicznych. Szczególne znaczenie, zwłaszcza z aplikacyjnego punktu widzenia stanowią te połączenia, które wykazują jednocześnie własności ferroelektryczne i ferromagnetyczne gdyż to właśnie one znajdują zastosowanie m.in. w urządzeniach elektronicznych, czy pamięciach cyfrowych. Poszukiwania w/w materiałów prowadzone są wśród wielu różnych grup związków, niemniej jednak hybrydy organiczno-nieorganiczne, o ogólnym wzorze  $R_2[MX_4]$ , gdzie R to amina, M – kation metalu przejściowego dwuwartościowego, zaś X to halogen (chlor, brom lub jod) stanowią tą jedną z bardziej obiecujących [1]. Przykładem substancji o właściwościach multiferroicznych o stechiometrii  $R_2[MX_4]$  jest chloromiedzian(II) etyloamoniowy  $(C_2H_5NH_3)_2[CuCl_4]$ , łączący ferroelektryczność i antyferromagnetyzm. Z drugiej strony bromomanganian(II) pirolidyniowy  $(C_4H_4NH_2)MnBr_3$  oraz chloromanganian(II) pirolidyniowy  $(C_4H_4NH_2)MnCl_3$  [4-5] także wykazują multiferroizm (ferroelektryczność i ferromagnetyzm) połączony z luminescencją.

Zsyntezowano dwie nowe pochodne pirolidyniowe oparte na Co(II). Podstawowe charakterystyki fizykochemiczne  $(C_4H_4NH_2)_2CoX_4$  (X=Cl,Br) zostały określone za pomocą metod rentgenograficznych, termicznych, optycznych oraz spektroskopii dielektrycznej. Otrzymane wyniki wskazują na obecność strukturalnych przemian fazowych typu „porządek-nieporządek” związanych głównie z dynamiką kationów pirolidyniowych.

- [1] A. Piecha-Bisiorek, A. Bieńko, R. Jakubas, R. Boca, M. Weselski, V. Kinzhybalo, A. Pietraszko, M. Wojciechowska, W. Medycki, D. Kruk, J. Phys. Chem. A **120** (12), 2014 (2016).
- [2] B. Kundys, A. Lappas, M. Viret, V. Kapustianyk, V. Rudyk, S. Semak, Ch. Simon, I. Bakaimi, Phys. Rev. B. **81**, 224434 (2010).
- [3] P. Beattig, T. Oguchi, Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 080206 (2010).
- [4] Y. Zhang, W.-Q. Liao, D.-W. Fu, H.-Y. Ye, C.-M. Liu, Z.-N. Chen, R.-G. Xiong, Adv. Mat. **27**, 3942 (2015).
- [5] Y. Zhang, W.-Q. Liao, D.-W. Fu, H.-Y. Ye, Z.-N. Chen, R.-G. Xiong, J. Am. Chem. Soc. **137**, 4928 (2015).

## Struktura i właściwości fizykochemiczne hybrydy organiczno-nieorganicznej na bazie kationu alliloamoniowego

M. Moskwa<sup>1</sup>, W. Medycki<sup>2</sup>, A. Piecha-Bisiorek<sup>1</sup>, R. Jakubas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Wydział Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego, ul. F. Joliot-Curie 14, 50-383 Wrocław  
marcin.moskwa@chem.uni.wroc.pl

<sup>2</sup>Instytut Fizyki Molekularnej PAN, ul. M. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań

Połączenia hybrydowe, organiczno-nieorganiczne, są, od wielu lat, obiektem zainteresowań czołowych laboratoriów syntezujących nowoczesne materiały funkcjonalne (ferroiki, multiferroiki). Związki te zyskują coraz większe znaczenie w nowoczesnych technologiach, znajdując zastosowanie jako materiały elektrooptyczne, układy do pamięci komputerów i przetwarzania informacji, polimery funkcjonalne, różnego typu sensory oraz przetworniki [1].

Halogenoantymoniany(III) i halogenobizmutany(III) o ogólnym wzorze  $R_xM_yX_z$  (gdzie: R – kation organiczny; M – Sb(III), Bi(III); X – Br, Cl, I) zawierające w strukturze różnego typu aminy (alifatyczne, aromatyczne lub acykliczne), tworzą grupę kryształów tzw. molekularno-jonowych. Materiały te charakteryzują się niezwykle różnorodnością form anionowych, od dyskretnych jednostek, poprzez jednowymiarowe polimery, aż do struktur warstwowych, a nawet trójwymiarowych [2]. W większości kryształów, podsieć anionowa, zapewniająca stabilność termiczną oraz elastyczność, jest sztywna, natomiast w lukach tej podsieci umiejscowione są kationy organiczne, wykazujące często dynamiczny nieporządek (podsieć kationowa decyduje o elektrycznych właściwościach). Szczególnym zainteresowaniem cieszą się połączenia, zawierające w strukturze kationy polarne, asymetryczne, o znacznych momentach dipolowych. Obniżanie temperatury kryształu prowadzi do uporządkowania jednostek dipolowych i w wielu przypadkach ma ono charakter dalekozasięgowy/ferroelektryczny lub antyferroelektryczny.

W trakcie wystąpienia przedstawiony zostanie opis struktury krystalicznej oraz związku charakterystyka właściwości fizykochemicznych (tj. termicznych, spektroskopii dielektrycznej oraz protonowego rezonansu magnetycznego (<sup>1</sup>H NMR)) nowego połączenia o stechiometrii  $R_3MX_6$  na bazie kationu alliloamoniowego. Związek ten wykazuje bogaty polimorfizm w fazie stałej. W niskich temperaturach przechodzi dwie strukturalne przemiany fazowe typu „porządek-nieporządek”. Zaproponowana zostanie korelacja pomiędzy budową mikroskopową badanej pochodnej a mechanizmem przemian fazowych.

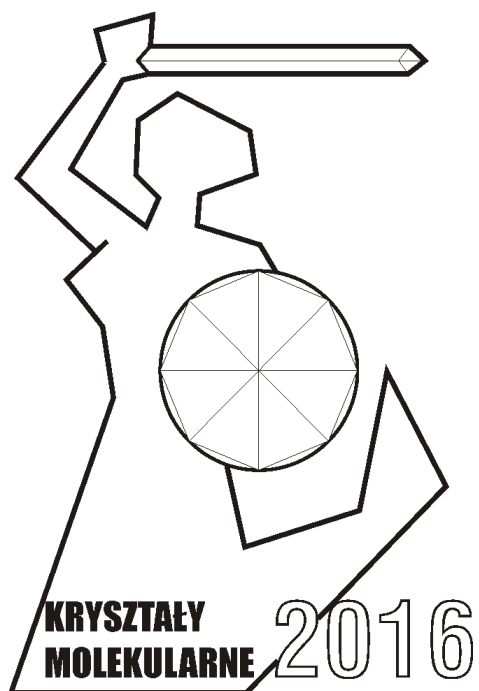
[1] M. Dawber, K. M. Rabe, J.F.Scott, Rev. Mod. Phys. **77**, 1083 (2005).

[2] L. Sobczyk, R. Jakubas, J. Zaleski, Pol. J. Chem. **71**, 265 (1997).

**STRESZCZENIA  
WYKŁADÓW I KOMUNIKATÓW USTNYCH**

**ŚRODA**

**14 września 2016**

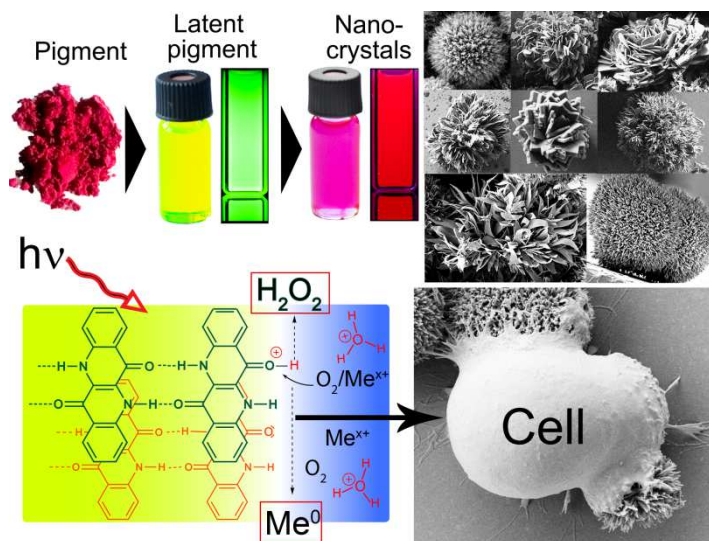


## Nanokrystaliczne struktury półprzewodników bioorganicznych do zastosowań w bioelektronice i fotokatalizie

E. D. Głowacki

*Institut für Physikalische Chemie  
Johannes Kepler Universität, Linz, Austria  
eric\_daniel.glowacki@jku.at*

Organiczne pigmenty są wszechobecną częścią naszego życia codziennego, znajdując zastosowanie jako barwniki do farb i tuszów, kosmetyków i leków. W ostatnich latach zostało udowodnione, że niektóre barwniki naturalne, np indygo i jego pochodne, dzięki silnym międzycząsteczkowym wiązaniom wodorowym, tworzą półprzewodzące struktury krystaliczne z obiecującymi właściwościami. Owe materiały wyróżniają się od innych organicznych półprzewodników nie tylko dobrymi parametrami takimi jak ambipolarna ruchliwość, ale także bezprecedensową stabilnością. Niektóre materiały z tej rodziny mają właściwości katalityczne, wykazując długotrwałą aktywność w wodnych roztworach w zakresie pH od 0 do 14+ np do reakcji utleniania wody, i redukcji tlenu lub metali. Stabilne charakterystyki przewodnictwa i (foto)elektrochemii połączone z przyrodzoną biokompatybilnością wskazują na zastosowania w biologii i medycynie. Badania interfejsów owych kryształów z komórkami (mastocyty, neurony) i tkankami, np. siatkówki, pokazały wysoki stopień kompatybilności i możliwości sterowania procesami biologicznymi fotostymulacją.



**Rys. 1.** Koloidalne metody przekształcania komercyjnych pigmentów w nanostrukturyzowane półprzewodniki, i ich przykłady zastosowań do fotoelektrokatalitycznej redukcji tlenu lub kationów metali. Rozmiar, kształt i chemiczne właściwości powierzchni mogą być kontrolowane tak aby zapewnić specyficzne złącze z żywymi komórkami.



## **Analiza fotoprzewodnictwa w pochodnej fulerenu C<sub>60</sub> z wykorzystaniem metody kserograficznej**

J. Jung, A. Stefaniuk-Grams, J. Ulański

*Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka  
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź  
jaroslaw.jung@p.lodz.pl*

Metoda kserograficzna polega na ładowaniu koronowym powierzchni fotoprzewodnika w ciemności, a następnie pomiarze fotoindukowanego potencjału powierzchniowego [1,2]. Dynamika zaniku tego potencjału niesie informacje o wydajności fotogeneracji, rekombinacji i transporcie nośników ładunku w badanym materiale.

Celem pracy była analiza fotoprzewodnictwa w cienkich warstwach mieszanin fulerenu C<sub>60</sub> modyfikowany estrem kwasu masłowego (PCBM) z niewielką domieszką polimerów. Badania wykonano dla próbek: PCBM z 5% (wag.) domieszkami izolatorów polimerowych (poli(metakrylan metylu)) (PMMA) i polistyreny (PS) oraz półprzewodnika polimerowego o przewodnictwie dziurowym poli(3-heksyloctiofenu-2,5-diył) (P3HT).

Pomiary fotoprzewodnictwa wykonano metodą kserograficzną. Na podstawie zmierzonych zaników fotoindukowanych potencjałów powierzchniowych dla różnych wartości: długości fali światła w zakresie od 200 nm do 700 nm, liczby absorbowanych kwantów od 10<sup>12</sup> fotonów/s do 10<sup>15</sup> fotonów/s oraz natężenia pola elektrycznego zmieniającego się od 10<sup>5</sup> V/m do 3·10<sup>7</sup> V/m wyznaczono wydajność kwantową fotogeneracji, a także parametry odpowiedzialne za transport nośników ładunku.

Fotoindukowane rozładowanie koronowe badano analizując zastępcze układy elektryczne składające się z kondensatora obciążonego fotoprzewodnikiem modelowanym za pomocą szeregowego połączenia źródła prądowego oraz nieliniowej rezystancji. Okładki kondensatora stanowiły warstwa powierzchniowa jonów i metalowe podłoże, źródłem prądowym była cienka, przypowierzchniowa oświetlana warstwa fotoprzewodnika, a nieliniową rezystancją była pozostała część objętości fotoprzewodnika. Analiza zjawisk zachodzących w źródle prądowym pozwoliła wyznaczyć kwantową wydajność fotogeneracji nośników ładunku, a badania odpowiedzi napięciowej na wymuszenie prądowe dla nieliniowej rezystancji pokazały, że w układach PCBM z niewielką domieszką polimeru występuje pułapkowanie nośników ładunku. Przy czym w układzie PCBM+5%PMMA pułapki energetyczne występowały dla elektronów, a w układach PCBM+5%PS i PCBM+5%P3HT dla dziur.

Projekt został sfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu „Diamentowy Grant” nr DI2012 02234 oraz dotacji 8862/E-370/S/2016.

[1] D. K. Davies, J. Sci. Instrum. **44**, 521 (1967).

[2] I. Glowacki, J. Jung, J. Ulański, A. Rybak, Conductivity Measurements w: Polymer Science: A Comprehensive Reference, Elsevier BV, Amsterdam **2**, 847 (2012).

## Fotogeneracja nośników ładunku w fulerenie C<sub>60</sub> modyfikowanym estrem kwasu masłowego

A. Stefaniuk-Grams, J. Jung, J. Ulański

*Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka  
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź  
anna.stefaniuk-grams@p.lodz.pl*

PCBM (fuleren C<sub>60</sub> modyfikowany estrem kwasu masłowego) należy do grupy półprzewodników organicznych o przewodnictwie elektronowym. Ze względu na właściwości elektro-optyczne związek ten, jako niskocząsteczkowa domieszka wprowadzana do półprzewodnikowej matrycy polimerowej o przewodnictwie dziurowym P3HT (poli(3-heksylotiofen-2,5-diyl), wykorzystywany jest do budowy organicznych ogniw fotowoltaicznych [1].

Cel pracy stanowiło zbadanie fotogeneracji nośników ładunku w cienkich warstwach wykonanych z mieszanin PCBM z niewielką domieszką polimeru. Metodą nanoszenia z roztworu na nieruchome podłoża stalowe wykonano trzy rodzaje próbek: PCBM z 5% (wag.) domieszkami izolatorów polimerowych: PMMA (poli(metakrylan metylu)) i PS (polistyren) oraz PCBM z 5% (wag.) domieszką P3HT.

Pomiary fotoprzewodnictwa wykonano metodą kserograficzną [2]. Zaniki fotoindukowanych potencjałów powierzchniowych zmierzono w funkcji: długości fali światła padającego ( $\lambda$ ), liczby absorbowanych kwantów ( $n_{ph}$ ) oraz natężenia pola elektrycznego ( $E$ ). Wydajność kwantową fotogeneracji nośników ładunku ( $\eta$ ) w badanych układach wyznaczono na podstawie szybkości zaników potencjałów powierzchniowych rejestrowanych w chwili oświetlenia powierzchni próbek.

Analiza wyników pokazała, że dla wszystkich badanych układów zależność  $\eta(\lambda)$  była skorelowana z widmem absorpcji PCBM [3]. Zaobserwowano też, że zależnie od rodzaju próbek, wyznaczone wartości  $\eta(\lambda)$  dla dodatniej i ujemnej polaryzacji polem elektrycznym, wyraźnie różniły się między sobą co do wartości. Różnice te wytłumaczono występowaniem pułapek energetycznych (dla elektronów w układzie PCBM + 5% PMMA i dla dziur w układach PCBM + 5% PS i PCBM + 5% P3HT) powstałych w wyniku elektryzacji cząsteczek PCBM w obecności PMMA i PS oraz efektem fotoindukowanego przeniesienia elektronów z cząsteczek P3HT na cząsteczki PCBM. Badania zależności kwantowej wydajności fotogeneracji w funkcji natężenia pola elektrycznego  $\eta(E)$  pokazały, że w PCBM  $\eta$  szybko rośnie wraz ze zwiększającym się polem elektrycznym. Największą wydajność  $\eta \approx 0,01$  uzyskano dla pola elektrycznego o natężeniu  $1,2 \cdot 10^7$  V/m.

Projekt został sfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu „Diamentowy Grant” nr DI2012 02234.

[1] D. Chi, S. Qu, Z. Wang, J. Wang, J. Mater. Chem. C **2** (22), 4383 (2014).

[2] I. Glowacki, J. Jung, J. Ulański, A. Rybak, Elsevier BV **2**, 847 (2012).

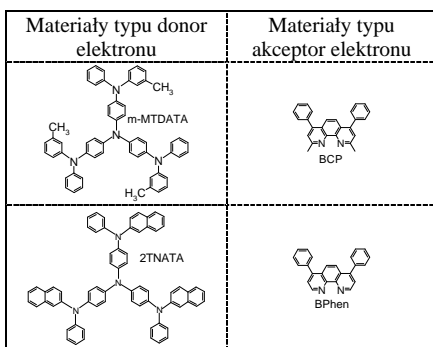
[3] C. Martinelli, G. M. Farinola, V. Pinto, A. Cardone, Materials **6**, 1205 (2013).

## Elektro- i magnetomodulacja fotoluminescencji i fotoprzewodnictwa w próżniowo naporowanych warstwach dwuskładnikowych typu donor elektronu – akceptor elektronu

D. Pelczarski, W. Stampor

*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska, dpelczarski@mif.pg.gda.pl*

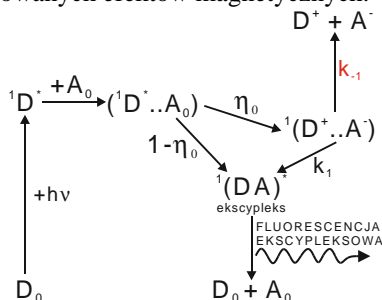
Podstawowymi procesami ograniczającymi wydajność elektroluminescencyjnych (EL) i fotowoltaicznych (OPV) urządzeń organicznych są dysocjacja ekscytonów i rekombinacja nośników ładunku. Oba te procesy, w materiałach charakteryzujących się niską ruchliwością nośników ładunku, przebiegają z uwzględnieniem tworzenia się par elektron – dziura (e-h) [1]. Odkrycie efektów magnetycznych w temperaturze pokojowej w organicznych diodach elektroluminescencyjnych wzmocniło zainteresowanie modelami opisującymi wpływ pola



magnetycznego na procesy rekombinacji par e-h oraz oddziaływań ekscytonów trypletowych z nośnikami ładunku (Tq) i pomiędzy sobą (TT) [1-4].

W pracy badano warstwy dwuskładnikowe o strukturze kanapkowej typu donor elektronu (D) – akceptor elektronu (A) (kwarc/Al<sub>1</sub>/D-A/Al<sub>2</sub>) wytworzone metodą próżniowego naporowania. Pochodne amin (m-MTDATA, 2TNATA) spełniają tutaj rolę donora elektronu, natomiast batofenantrolina (BPhen) oraz batokuproina (BCP) wykazują cechy akceptora elektronu. W układach

takich, stosowanych, jako emitery w organicznych diodach elektroluminescencyjnych, stany wzbudzenia elektronowego mają charakter ekscypleksów (DA)\*. W ramach tej pracy zostaną omówione wyniki pomiarów elektromodulowanej fotoluminescencji i fotoprzewodnictwa oraz zaprezentowane zostaną różne modele mechanizmów prowadzących do obserwowanych efektów magnetycznych.



Rys. 1 Diagram procesów fotofizycznych w modelu opisującym fotogenerację ładunku i powstawanie fluorescencji ekscypleksowej w układzie dwuskładnikowym typu D-A [4].

- [1] J. Kalinowski, Marcel Dekker, New York, (2005).
- [2] J. Kalinowski, M. Cocchi, D. Virgili, P. Di Marco, V. Fattori, Chem. Phys. Lett. **380**, 710 (2003).
- [3] B. Hu, L. Yan, M. Shao, Adv. Mater. **21**, 1500 (2009).
- [4] D. Pelczarski, P. Grygiel, K. Falkowski, M. Klein, W. Stampor, Org. Electron. **25**, 362 (2015).

## Efekty magnetyczne w barwnikowych i organicznych ogniwach fotowoltaicznych

M. Klein<sup>1,2</sup>, S. Majumdar<sup>3</sup>, W. Stampor<sup>1</sup>

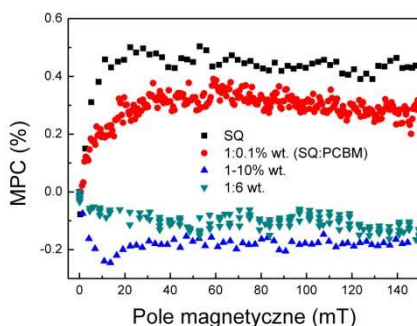
<sup>1</sup>Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Politechnika Gdańska, mklein@mif.pg.gda.pl

<sup>2</sup>Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, IMP PAN Gdańsk

<sup>3</sup>Aalto University School of Science, Finlandia

Wzrost zainteresowania zarówno organicznymi ogniwami fotowoltaicznymi (PV) jak i organicznymi diodami elektroluminescencyjnymi (OLED) związany z rozwojem technologicznym pociąga za sobą konieczność prowadzenia badań nad własnościami fizycznymi półprzewodników organicznych oraz nad procesami fizycznymi odpowiedzialnymi za działanie tego typu urządzeń. Podstawowymi procesami wpływającymi na wydajność ogniw PV oraz OLED są procesy dysocjacji stanów wzbudzenia elektronowego oraz rekombinacji nośników ładunku. Procesy te w organicznych układach molekularnych przebiegają zazwyczaj przez etap pośredni par elektron-dziura (e-h). Znajomość stanów elektronowych biorących udział w ww. procesach jest kluczowa dla dalszej poprawy wydajności współczesnych ogniw PV i OLED [1]. Przy użyciu zewnętrznego pola magnetycznego można modulować udział stanów obdarzonych trwałym momentem magnetycznym i w ten sposób wpływać na generowany w ogniwie fotoprąd [2].

W pracy przedstawione zostaną wyniki związane z pomiarem magnetofotoprądu (MPC) dla barwnikowych i organicznych ogniw fotowoltaicznych. W zależności od badanego układu efekty magnetyczne związane są z magnetomodulacją: oddziaływań nadsztylnych (na skali pól magnetycznych od kilku do kilkunastu mT), oddziaływań sztylnych (na skali rzędu setek mT) oraz związaną z różnicą czynników Landego dla elektronu i dziury tworzących parę (e-h) (mechanizm  $\Delta g$ ). Pomiary przeprowadzono w różnych warunkach oświetlenia i w różnym zakresie temperatur (od temp. pokojowej do 200 K) oraz dla różnych koncentracji materiałów aktywnych (Rys. 1.).



Rys. 1. Wpływ zewnętrznego pola magnetycznego na fotoprąd dla heterozłączonego organicznego ogniwa objętościowego barwnik skwarynowy (SQ): pochodna fullerenu (PCBM) dla różnych koncentracji PCBM.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2013-2016 jako projekt badawczy w ramach programu pod nazwą „Diamentowy Grant” 0228/DIA/2013/42.

[1] A. Koehler, H. Baessler, *Electronic Processes in Organic Semiconductors*, Wiley, Niemcy (2015).

[2] D. Pelczarski, P. Grygiel, K. Falkowski, M. Klein, W. Stampor, *Org. Electron.* **25**, 362 (2015).

## Polimerowe warstwy wstrzykujące elektrony jako metoda zwiększenia wydajności organicznych diod elektroluminescencyjnych

W. Mróz<sup>1,2</sup>, M. Pasini<sup>1</sup>, F. Galeotti<sup>1</sup>, C. Botta<sup>1</sup>, R. Ragni<sup>3</sup>, G. M. Farinola<sup>3</sup>,  
S. Kesarkar<sup>4</sup>, A. Bossi<sup>4</sup>, U. Giovanella<sup>1</sup>

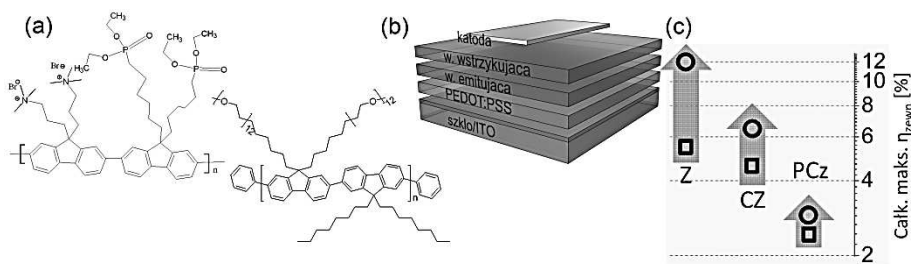
<sup>1</sup>Istituto per lo Studio delle Macromolecole (ISMAC) Consiglio Nazionale delle Ricerche  
(CNR) Mediolan (Włochy), w.mroz@ismac.cnr.it

<sup>2</sup>Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych FTiMS Politechnika Gdańska Gdańsk (Polska)

<sup>3</sup>Dipartimento di Chimica Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" Bari (Włochy)

<sup>4</sup>ISTM CNR oraz SmartMatLabCenter Mediolan (Włochy)

Źródła światła z emiterami organicznymi są już obecne na rynku, jednakże technologia ich wytwarzania oparta jest na drogim i czasochłonnym procesie napyłania próżniowego. W celu wykorzystania w pełni możliwości, jakie oferują materiały organiczne, konieczne jest przejście do technik wytwarzania opartych na roztworach. Zastosowanie warstw wstrzykujących elektrony (EIL, electron injection layer) wytworzonych z polielektrolitów znacząco poprawia wydajność organicznych diod elektroluminescencyjnych (OLED). W pracy przeprowadzono syntezę związków zawierających rdzeń polifluorenowy i polarne lub jonowe grupy boczne, zwiększające rozpuszczalność polimeru w alkoholu/wodzie. Następnie wytworzono wielowarstwowe diody OLED z wykorzystaniem EIL metodą wylewania roztworu na wirujące podłoże (spin coating) stosując rozpuszczalniki ortogonalne. Jako przykłady prezentujemy trzy diody oparte na kompleksach irydu, emitujące światło zielone [1], światło czerwone i z zakresu podczerwieni [2]. Dzięki zastosowaniu polimerów z odpowiednimi grupami funkcyjnymi całkowita zewnętrzna wydajność kwantowa diod wzrasta ponad dwukrotnie dla diody zielonej, o 40% dla czerwonej i o 20% dla diody podczerwonej. Diody OLED z zaprezentowanymi polimerami to krok w kierunku wydajnych źródeł światła wytwarzanych w całości z zastosowaniem roztworów.



Rys. 1. (a) Wzory strukturalne polimerów stosowanych w warstwach wstrzykujących elektrony (EIL); (b) schemat diody wielowarstwowej; (c) diagram obrazujący wzrost zewnętrznej wydajności kwantowej po zastosowaniu polimerowych EIL w diodach emitujących w zakresie zielonym (Z), czerwonym (CZ) i podczerwonym (PCZ).

[1] W. Mróz, R. Ragni, F. Galeotti, E. Mesto, C. Botta, L. De Cola, G. M. Farinola, U. Giovanella, J. Mater. Chem. C **3** (28), 7506 (2015).

[2] S. Kesarkar, W. Mróz, M. Penconi, M. Pasini, S. Destri, M. Cazzaniga, D. Ceresoli, P. R. Mussini, C. Baldoli, U. Giovanella, A. Bossi, Angew. Chem. Int. Ed. **55** (8), 2714 (2016).

## Nanobiofotonika – DNA, nanocząstki i fotochromy

K. Matczyszyn<sup>1</sup>, Z. Pokladek<sup>2</sup>, K. Brach<sup>1</sup>, M. Klekotko<sup>1</sup>, M. Deiana<sup>1</sup>,  
M. Ziemianek<sup>2</sup>, J. Olesiak-Banska<sup>1</sup>, P. Mlynarz<sup>2</sup>, M. Samoc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Inżynierii i Modelowania Materiałów Molekularnych, Wydział Chemiczny,  
Politechnika Wroclawska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
katarzyna.matczyszyn@pwr.edu.pl*

<sup>2</sup>*Zakład Chemii Bioorganicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska,  
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław*

DNA, ze względu na powszechność występowania, duże znacznie biologiczne a równocześnie ciekawe właściwości optyczne takie jak np. chiralność, jest jedną z najczęściej badanych biocząsteczek. Dodatkowo, zdolność DNA do tworzenia liotropowych faz ciekłokrystalicznych, czyni tę cząsteczkę ciekawym budulcem do otrzymywania nowych materiałów. Domieszkowanie DNA nanocząstkami i/lub związkami fotochromowymi daje możliwość uzyskania materiału o zupełnie nowych właściwościach, sterowanych światłem.

Zsyntezowano nowe, rozpuszczalne w wodzie pochodne azobenzenu wykazujące nie tylko fotochromizm, ale również fluorescencję. Dokonano pełnej charakteryzacji spektroskopowej nowych związków oraz przeprowadzono badania oddziaływania z DNA. Wykazano, że poliaminowe pochodne azobenzenu zmieniają w odwracalny sposób skręt helisy DNA z podstawowej formy B do A. Powrót do formy podstawowej DNA jest możliwy po naświetleniu układu a tym samym zmianie konformacji azobenzenu, który zależnie od formy, w inny sposób oddziałuje z DNA. Wydłużenie łańcuchów poliaminowych w podstawnikach azobenzenu powoduje odwracalną kondensację DNA, co ma znaczenie przy projektowaniu nowych czynników służących do dostarczania odpowiednich sekwencji DNA w terapii genowej.

Równolegle badano fazy ciekłokrystaliczne DNA domieszkowane anizotropowymi nanocząstkami złota [1]. Syntezy nanoprętów złota przeprowadzono metodą mokrej chemii a inne kształty (głównie trójkąty) uzyskano z użyciem ekstraktów roślinnych [2]. Sprawdzone, że dodatek nanostruktur w znaczący sposób podnosi stabilność zarówno fazy cholesterolowej jak i kolumnowej, a pozostaje w zasadzie bez wpływu na jakość powstających faz.

Nowo otrzymane materiały zostały scharakteryzowane zarówno z wykorzystaniem spektroskopii i mikroskopii polaryzacyjnej jak i technik nieliniowych takich jak z-scan czy dwufotonowa mikroskopia fluorescencyjna z kontrolą polaryzacji światła [3]. Pokazano, że naświetlanie nanostruktur w fazie ciekłokrystalicznej powoduje bardzo lokalne podgrzanie materiału, które wywołuje przemianę fazową ciekłego kryształu DNA wokół nanocząstki.

[1] K. Brach, K. Matczyszyn, J. Olesiak-Bańska, M. Gordel, M. Samoć, PCCP **18**, 7278 (2016).

[2] M. Klekotko, K. Matczyszyn, J. Siednienko, J. Olesiak-Bańska, K. Pawlik, M. Samoć, PCCP **17** (43), 29014-9 (2015).

[3] J. Olesiak-Bańska, M. Gordel, K. Matczyszyn, V. Shynkar, J. Zyss, M. Samoć, Nanoscale **5** (22), 10975 (2013).

## Odpowiedź dielektryczna kompleksów molekularnych z wiązaniem wodorowym

G. Bator, M. Rok, J. Prytys, M. Moskwa

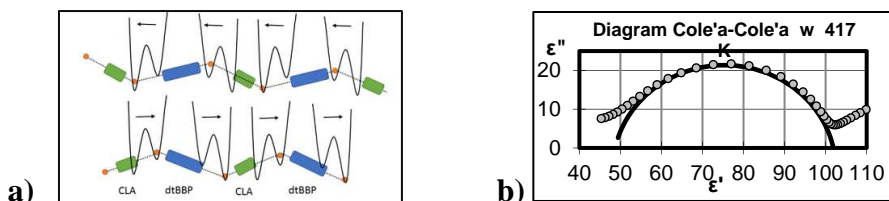
Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski, 50-383 Wrocław, ul. F. Joliot-Curie 14  
grazyna.bator@chem.uni.wroc.pl

Możliwości przełączania między dwoma stanami w kompleksach molekularnych, zawierających w swej strukturze z jednej strony cząsteczkę zasady, jako protono-akceptora, a z drugiej strony cząsteczkę kwasu, jako protono-donora, są bardzo obiecujące [1].

Do zastosowań w technice poszukuje się materiałów, które charakteryzują się łatwością syntezy (niskie koszty), stabilnością termiczną i mechaniczną, a zwłaszcza chemiczną oraz nie zawierają toksycznych metali (Pb, Bi). Kompleksy molekularne spełniają w dużym stopniu te wymagania.

Od kilku lat przeprowadzamy w Laboratorium Ferroelektryków Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego systematyczne badania eksperymentalne i teoretyczne połączeń kilku odpowiednich zasad i kwasów organicznych, takich jak kwas chloranilowy czy kwas kwadratowy [2,3,4]. Ważnym etapem badań jest znalezienie odpowiedniej zasady - jako prekursora kompleksu. Powinna ona w swej strukturze posiadać jeden lub więcej centrów protono-akceptorowych. Potencjał na rotację grup metylowych, który może być wyznaczony z badań neutronowych (nieelastyczne rozpraszanie neutronów (INS), Garching, Niemcy; Dubna, Rosja), może być miarą rozkładu ładunku w cząsteczce. Stąd poszukiwania ograniczają się do takich cząsteczek zasad, które są podstawione grupami metylowymi.

Pomiary dielektryczne są ważnym etapem w charakterystyce fizykochemicznej kompleksów molekularnych. Pomiary pozwalają określić, czy mamy do czynienia z odpowiedzią typową dla reorientujących się dipoli elektrycznych, czy z przewodnictwem zmiennoprądowym, aktywowanym termicznie. W tej prezentacji zostaną przedstawione różne typy odpowiedzi dielektrycznej w kompleksach molekularnych z łańcuchami wiązań wodorowych oraz próba wyjaśnienia mechanizmu zjawisk im towarzyszących opierając się na strukturze krystalicznej. Jednym z przykładów będzie 4,4'-di-t-butyl-2,2'-bipirydyl z kwasem chloranilowym (dtBBP-CLA) [5].



Rys. 1. a) Schemat energii potencjalnej wiązań wodorowych w kryształach z łańcuchami cząsteczek. Strzałki wskazują kierunek momentów dipolowych. b) Diagram Cole'a-Cole'a dla dtBBP-CLA.

- [1] S. Horiuchi, R. Kumai i Y. Tokura, *J. Am. Chem. Soc.* **135**, 449 (2013).  
[2] A. Piecha-Bisiorek, G. Bator, W. Sawka-Dobrowolska, L. Sobczyk, M. Rok, W. Medycki, G. Schneider, *J. Phys. Chem. A* **118**, 7159 (2014).  
[3] W. Sawka-Dobrowolska, G. Bator, L. Sobczyk, E. Grech, J. Nowicka-Scheibe, A. Pawlukojć J. Wuttke, *J. Mol. Struct.* **975**, 2982 (2010).  
[4] G. Bator, L. Sobczyk, *Trends in Organic Chemistry* **17**, 93 (2014).  
[5] M. Rok, A. Piecha-Bisiorek, P. Szklarz, G. Bator, L. Sobczyk, *Chem. Phys.* **452**, 53 (2015).

## Wpływ morfologii ultracienkich warstw aktywnych na transport ładunku w organicznych tranzystorach z efektem polowym

Ł. Janasz<sup>1</sup>, D. Chelbosz<sup>2</sup>, A. Kiersnowski<sup>2</sup>, W. Pisula<sup>3</sup>, K. Müllen<sup>3</sup>, J. Ulański<sup>3</sup>

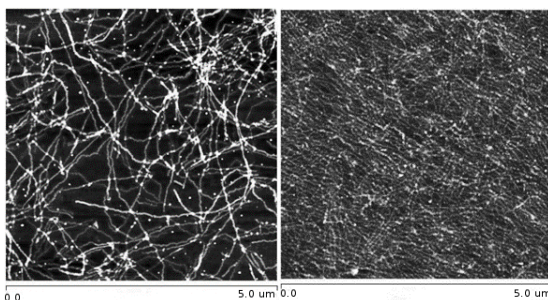
<sup>1</sup> Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka,  
Żeromskiego 116, 90-924, Łódź, Polska, 800641@edu.p.lodz.pl

<sup>2</sup> Zakład Inżynierii i Technologii Polimerów, Politechnika Wroclawska,  
Norwida 4/6, 50-373 Wrocław, Polska

<sup>3</sup> Max Planck Institute for Polymer Research,  
Ackermannweg 10, 55-128, Mainz, Germany

Elektronika organiczna jest obecnie dynamicznie rozwijającą się dziedziną nauki i przemysłu [1]. Wśród potencjalnych zastosowań półprzewodnikowych materiałów organicznych najczęściej wymienia się wielkoformatowe elastyczne wyświetlacze, ogniwa słoneczne oraz układy sensoryczne [2].

Morfologia warstw aktywnych pełni kluczową rolę dla uzyskania urządzeń o wysokiej wydajności [3]. Celem produkcji tranzystorów organicznych, charakteryzujących się efektywniejszym transportem ładunku, wytworzono warstwy półprzewodnikowe zawierające sieci fibrylarnych struktur. Pozwoliło to na zwiększenie ruchliwości ładunków w tranzystorach z ultracienkimi (grubość < 10 nm) warstwami aktywnymi wykonanymi z polimeru o przewodnictwie dziurowym. Wzrost wydajności transportu ładunków zaobserwowano także dla heterozłączowych tranzystorów o przewodnictwie ambipolarnym, w których warstwa półprzewodnikowa uzyskana została z mieszanin polimeru i materiału małowcząsteczkowego. Fibryle powstałe w wyniku preagregacji polimeru w roztworze pełnią rolę ścieżek perkolacji, co znacznie ułatwia transport nośników ładunku między elektrodami źródła i drenu w organicznym tranzystorze z efektem polowym.



Rys. 1. Przykładowe morfologie warstw aktywnych zawierających sieci nanofibryl.

Badania finansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki – grant NCN Harmonia 2013/08/M/ST5/00914 oraz Fundacji Nauki Polskiej – grant FNP Mistrz 9/2013.

- [1] S. Holliday et al., Chem. Mater. **26**, 647 (2014).  
[2] H Zhou et al., Macromolecules **45**, 607 (2012).  
[3] H. Tsao et al., Chem. Soc. Rev. **39**, 2372 (2010).



## Zastosowanie modelu UMEM do analizy charakterystyk prądowo-napięciowych organicznych tranzystorów z efektem polowym

A. Łuczak<sup>1</sup>, Ł. Janasz<sup>1</sup>, B. Iñiguez<sup>2</sup>, J. Jung<sup>1</sup>, J. Ulański<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka,  
adam.luczak@dokt.p.lodz.pl

<sup>2</sup>Departament d'Enginyeria Electronica Eléctrica i Automática, Universitat Rovira i Virgili,  
Tarragona, Spain

Organiczne tranzystory z efektem polowym (w j. ang. Organic Field Effect Transistors - OFET) są powszechnie wykorzystywane do budowy urządzeń tzw. elektroniki organicznej. Warunkiem koniecznym, aby tranzystory te znalazły powszechne zastosowanie, a urządzenia budowane z ich wykorzystaniem były wystarczająco trwałe jest dokładne poznanie mechanizmów odpowiedzialnych za działanie OFET.

W prezentacji przedstawiono model UMEM (w j. ang. Unified Model and Parameter Extraction Method) [1], za pomocą którego można dokonać analiz statycznych charakterystyk prądowo-napięciowych tranzystorów OFET. Zastosowanie tego modelu pozwala obliczać nie tylko takie parametry jak ruchliwość nośników ładunku  $\mu$ , napięcie progowe  $V_{TH}$  czy współczynnik *Włącz/Wyłącz*, ale także możliwe jest wyznaczenie szeregu dodatkowych wielkości odpowiedzialnych za działanie OFET. Najważniejszymi z nich są: parametr  $\gamma$  pozwalający określić względną liczbę pułapek energetycznych w półprzewodniku, parametr  $\lambda$  określający krystaliczność warstwy półprzewodnika, rezystancja  $R_K$  kontaktów elektrod źródła i drenu z półprzewodnikiem oraz rezystancja kanału tranzystora  $R$ . Zastosowanie tej metody umożliwi lepsze zrozumienie, w stosunku do znanych i powszechnie stosowanych metod analizy pracy tranzystorów OFET [2,3,4], zjawisk zachodzących podczas pracy tych urządzeń. Zastosowanie tej metody w połączeniu z technikami preparatyki ułatwia optymalizację procesu wytwarzania tranzystorów OFET w skali laboratoryjnej.

W toku badań wykonana została analiza charakterystyk prądowo-napięciowych dla serii tranzystorów OFET wykonanych z użyciem dwóch rodzajów półprzewodników: poli(3-heksylo tiofenu) oraz 6,13-bis(triizopropylsiloetynylo) pentacenu - TIPS pentacenu. Za pomocą analizy UMEM określono wpływ koncentracji transportowych pułapek energetycznych na ruchliwość nośników ładunku dla różnych trybów pracy tranzystorów.

Badania były częściowo finansowane przez projekt Fundacji na rzecz Nauki Polskiej MISTRZ 9/2013.

- [1] M. Estrada et al., Solid-State Electron. **49**, 1009 (2005).
- [2] T. Marszalek et al., Opt. Mater. **34**, 1660 (2012).
- [3] I. Tsydel et al., Adv. Funct. Mater. **22**, 3840 (2012).
- [4] G. Horowitz et al., J. Appl. Phys. **85** (6), 15 (1999).

## Azopoliestroimidy supramolekularne i domieszkowane. Wybrane właściwości fizykochemiczne oraz fotoindukowana dwójłomność

J. Konieczkowska<sup>1,2</sup>, A. Kozanecka-Szmigiel<sup>3</sup>, H. Janeczek<sup>1</sup>, E. Schab-Balcerzak<sup>1</sup>

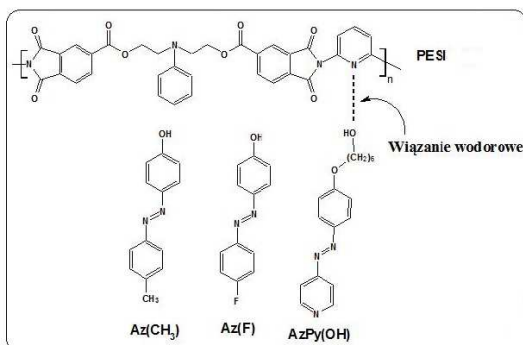
<sup>1</sup>Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze  
jolanta.konieczkowska@gmail.com

<sup>2</sup>Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach

<sup>3</sup>Instytut Fizyki Politechniki Warszawskiej

Azopolimery supramolekularne, to polimery w których chromofor będący pochodną azobenzenu został przyłączony do matrycy polimeru za pomocą oddziaływania niekowalencyjnego [1]. Takie połączenie azochromoforu z matrycą polimerową pozwala w łatwy sposób na (i) badanie zawartości barwnika na właściwości fizykochemiczne azopolimeru, zwiększa mobilność chromoforu w porównaniu z polimerami z kowalencyjnie przyłączonym barwnikiem oraz (ii) przeciwdziała niekorzystnym efektom w porównaniu z polimerami domieszkowanymi [1]. Możliwość zastosowania azopolimerów we wszelkiego rodzaju urządzeniach optycznych wynika z pojawienia się w materiale fotoindukowanej anizotropii optycznej (POA). Naświetlanie polimeru wiązką światła spolaryzowanego prowadzi do zmian współczynników absorpcji (dichroizm) i załamania światła (dwójłomność) [2].

Celem pracy było otrzymanie nowych azopolimerów supramolekularnych opartych na wiązaniach wodorowych pomiędzy azochromoforem a poliestroimidową matrycą (Rys. 1) oraz badanie wpływu zawartości i budowy azobarwnika na wybrane właściwości fizykochemiczne. Tworzenie wiązań wodorowych zostało potwierdzone eksperymentalnie poprzez badania widm <sup>1</sup>H NMR oraz FTIR. Po raz pierwszy wykorzystano obliczenia teoretyczne (równanie Foxa) do określenia temperatur zeszklenia w układach supramolekularnych i domieszkowanych, które porównano z wartościami otrzymanymi eksperymentalnie (DSC). Ponadto, określono rozpuszczalność w rozpuszczalnikach organicznych, budowę nadcząsteczkową (X-ray), stabilność termiczną (TGA) oraz masy molowe (GPC) matryc poliestroimidowych. Badania właściwości absorpcyjnych azopolimerów w zakresie UV-vis zostały przeprowadzone w warstwie polimerowej. Właściwości indukowane światłem spolaryzowanym były badane poprzez pomiar fotoindukowanej dwójłomności. Proces relaksacji dwójłomności monitorowano po wyłączeniu wiązki wzbudzającej ( $\lambda=405$  nm).



Rys. 1. Budowa chemiczna azopolimerów.

[1] J. Konieczkowska, E. Schab-Balcerzak, *Polimery* **60** (7-8), 425 (2015).

[2] A. Natansohn, P. Rochon, *Chem. Rev.* **102**, 4139 (2002).

## Nowe azometyny z pierścieniami heterocyklicznymi

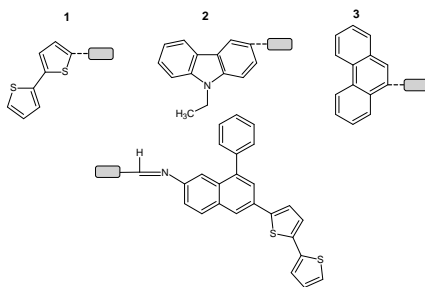
S. Kotowicz<sup>1</sup>, M. Siwy<sup>2</sup>, A. Słodek<sup>1</sup>, M. Filapek<sup>1</sup>, E. Schab-Balcerzak<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Chemii, Uniwersytet Śląski, ul. Szkolna 9, 40-006 Katowice  
kotowicz.sonia@gmail.com

<sup>2</sup> Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, ul. M. Curie-Skłodowskiej 34,  
41-819 Zabrze

Azometyny są związkami o bardzo różnorodnym zastosowaniu w wielu dziedzinach nauki takich jak farmacja, medycyna, synteza i analiza chemiczna a także w nowoczesnych technologiach wykorzystujących ich właściwości foto- i termochromowe, ciekłokrystaliczne, chelatujące i nieliniowość optyczną [1]. Badane są także jako półprzewodniki organiczne pod kątem wykorzystania ich w organicznych diodach elektroluminescencyjnych [2], ogniwach fotowoltaicznych [3] oraz tranzystorach polowych [4]. Zainteresowanie tymi związkami wynika głównie z obecności wiązania wielokrotnego (CH=N) będącego alternatywą dla układu winylowego.

Celem pracy było otrzymanie nowych azometin o budowie przedstawionej na rys. 1. oraz zbadanie ich wybranych właściwości (termicznych, optycznych i elektrochemicznych) istotnych dla zastosowań w optoelektronice.



Rys. 1. Budowa chemiczna syntezowanych azometin.

Otrzymane iminy wykazywały właściwości szkieł molekularnych o  $T_g$  w zakresie od 88 do 190°C. Przeprowadzone badania fotoluminescencyjne badanych związków w roztworze jak i w cieple stałym wykazały ich zdolność do emisji światła niebieskiego z różną wydajnością kwantową (2-26%). Na podstawie pomiarów elektrochemicznych metodą woltamperometrii cyklicznej oszacowano ich poziomy energetyczne HOMO (-5,40 – -5,73 eV) i LUMO (-3,02 – -3,15 eV).

Badania zostały przeprowadzone dzięki wsparciu finansowemu NCBiR Grant ORGANOMET PBS2/A5/40/2014.

[1] K. Brodowska, E. Łodyga- Chruścińska, *Chemik* **68** (2), 129 (2014).

[2] A. C. Grimdale, K. Leok Chan, R. E. Martin, P.G. Jokisz, A. B. Holmes, *Chem. Rev.* **109** (3), 897 (2009).

[3] M. L. Petrus, R. K. M. Bouwer, U. Lafont, S. Athanasopoulos, N.C. Greenham, T. J. Dingemans, *J. Mater. Chem. A* **2**, 9474 (2014).

[4] B. Vercelli, M. Pasini, A. Berlin, J. Casado, J. T. L. Navarrete, R. Ortiz, G. Zotti, *J. Phys. Chem. C*, **118** (8), 3984 (2014).

## Między ciecżą, a kryształem: rekrytalizacja oraz powstawanie szkieł faz o różnym stopniu uporządkowania

E. Juszyńska-Gałązka, M. Massalska-Arodź, W. Zając, A. Budziak,  
M. Jasiurkowska-Delapotre, P. M. Zieliński, E. Dryzek, N. Osiecka

*Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków  
Ewa.Juszyńska-Gałazka@ifj.edu.pl*

Zostanie przedstawiony przegląd uzyskanych w IFJ PAN wyników badań strukturalnych i spektroskopowych wybranych związków organicznych o cząsteczkach globularnych (alkohole) oraz – z drugiej strony – o cząsteczkach wydłużonych (ciekle kryształy), w których w pewnym zakresie temperatur obserwuje się charakterystyczne dla szkieł zamrożenie ruchów translacyjnych lub/i rotacyjnych. Przejawy przejścia do takich stanów ("sygnatury" przemian szklistych [1]) rejestrowane różnymi metodami: kalorymetria (adiabatyczna i DSC), mikroskopia polaryzacyjna [2], dyfrakcja rentgenowska [3], spektroskopia w podczerwieni [3], spektroskopia dielektryczna [2], rozpraszanie neutronów [3], anihilacja pozytonów [4-6], wykazują zgodność parametrów tych przemian, m.in. temperatury przejścia szklistego  $T_g$ . Zgodność ta jest warta dyskusji ze względu na kinematyczny charakter przejścia szklistego, w odróżnieniu od przemian fazowych, będących zjawiskami termodynamicznymi. Pośród tych ostatnich, jednym z najciekawszych jest tzw. „zimna krystalizacja” zachodząca przy ogrzewaniu faz przechłodzonych substancji, które w wyniku wcześniejszego ochładzania ulegają zeszkleniu. Zostaną przedstawione hipotezy dotyczące warunków wystąpienia takiego zjawiska.

[1] M. Jasiurkowska-Delaporte, E. Juszyńska, Ł. Kolek, J. Krawczyk, M. Massalska-Arodź, N. Osiecka, T. Rozwadowski, *Liq. Cryst.* **40**, 1436 (2013).

[2] E. Juszyńska-Gałązka, M. Gałązka, M. Massalska-Arodź, A. Bąk, K. Chłędowska, W. Tomczyk, *J. Phys. Chem. B* **118**, 14982 (2014).

[3] E. Juszyńska-Gałązka, W. Zając, *Phase Transitions*, DOI: 10.1080/01411594.2015.1114617.

[4] E. Dryzek, E. Juszyńska, R. Zaleski, B. Jasińska, M. Gorgol, M. Massalska-Arodź, *Phys. Rev. E* **88**, 022504 (2013).

[5] E. Dryzek, E. Juszyńska-Gałązka, *Nukleonika* **60**, 703 (2015).

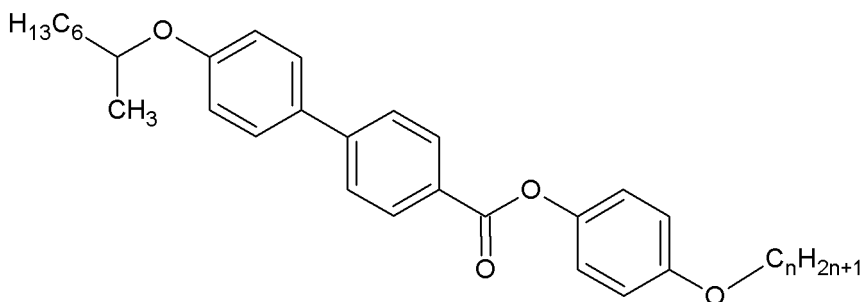
[6] E. Dryzek, E. Juszyńska-Gałązka, *Phys. Rev. E* **93**, 022705 (2016).

## Właściwości mezomorficzne i elektrooptyczne nowych chiralnych związków z grupą bifenylową

S. Zalewski, M.D. Ossowska-Chruściel

*Instytut Chemii, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach  
slawekz@uph.edu.pl*

Przedmiotem badań były cztery związki z szeregu homologicznego S[+]-4-(metyloheptyloksybifenylo)-karboksylanów-4'-alkoksyfenylo oznaczonych akronimem MHOBOPhOn gdzie n jest liczbą atomów węgla w terminalnym podstawniku alkoksyliowym.



Rys. 1. Struktura chemiczna związków z szeregu MHOBOPhOn.

Badania dotyczyły zarówno sytuacji mezomorficznej jak i podstawowych właściwości elektrooptycznych w/w związków.

Wszystkie związki z badanego szeregu posiadają enancjotropowe mezofazy nematyczną i smektyczną C\* oraz w wąskim zakresie temperaturowym fazy zdefektowane TGBC i BP. Sytuacja fazowa dla wszystkich przebadanych związków z szeregu MHOBOPhOn przedstawia się następująco:



Faza smektyczna C\* w cyklu ochładzania ulega znacznemu przechłodzeniu o 30[deg]. Ze względu na obecność fazy nematycznej próbki MHOBOPhOn w fazie SmC\* bardzo dobrze się porządkują za pomocą krótkotrwałego oddziaływania pola elektrycznego o stosunkowo niewielkiej wartości. Jest to istotne dla miarodajnego wyznaczenia właściwości elektrooptycznych. Faza SmC\* oddziałuje z polem elektrycznym w sposób ferroelektryczny z efektem pamięci widocznym w szerokim zakresie temperaturowym [1].

Wartość polaryzacji spontanicznej w fazie SmC\* jest zależna od długości łańcucha terminalnego i osiąga maksymalną wartość 130[nC/cm<sup>2</sup>] dla (MHOBOPhO6), natomiast charakterystyka zmian lepkości rotacyjnej i kąta pochylenia molekuł w funkcji temperatury dla poszczególnych homologów jest podobna.

[1] S. Zalewski, M. D. Ossowska-Chrusciel, Phase Transitions **89**, 383 (2016).

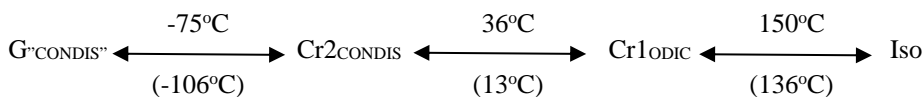
## Badanie polimorfizmu fazowego cholesterolu

A. Rudzki, M. Ordon

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, 3 Maja 54, 08-110 Siedlce,  
rudzki@uph.edu.pl

Cholesterol ((3 $\beta$ )-cholest-5-en-3-ol) jest główną lipidową częścią błony komórkowej i chroni jej wnętrze przed wnikaniem patogenów. Molekuła cholesterolu stała się wdzięcznym obiektem badań naukowców z dziedziny chemii, fizyki, biologii. Badaniami cholesterolu oraz pochodnych cholesterolu zajmujemy się także w naszym zakładzie [1]. Niniejsza praca dotyczy badań polimorfizmu fazowego w szczególności badań kalorymetrycznych.

Badania rentgenostrukturalne wskazują, że dla cholesterolu występują dwa typy faz stałych. Faza występująca w temperaturze 36,7°C jest fazą typu ODIC (ang. *Orientation Disorder In Crystals*) charakteryzująca się uporządkowaniem pozycyjnym z jednoczesną możliwością rotacji. Natomiast faza występująca w temperaturze pokojowej (25°C) jest fazą typu CONDIS (ang. *Conformationally Disordered Crystals*), w której występuje porządek pozycyjny i orientacyjny z jednoczesnym nieporządkiem konformacyjnym. Przeprowadzono pomiary kalorymetryczne w zakresie temperatur od -20°C do 180°C z różnymi tempami ogrzewania i ochładzania. Wynika z nich, że temperatura przejścia pomiędzy fazami Cr2 oraz Cr1 w cyklu ogrzewania praktycznie nie zależy od tempa zmiany temperatury. Natomiast przejście powrotne Cr1-Cr2 w cyklu ochładzania silnie zależy od szybkości zmian temperatury; temperatura przemiany zmienia się z 18,3°C dla szybkości 5deg·min<sup>-1</sup> do 13,2°C dla szybkości 30deg·min<sup>-1</sup> (dla większych szybkości ochładzania nie zaobserwowano przejścia Cr1-Cr2). Wyznaczona temperatura przemiany fazowej CONDIS/ODIC dla zerowego tempa zmiany szybkości ogrzewania (w stanie równowagi) wynosi 34,02°C. Wartość zmiany entropii topnienia cholesterolu wynosi ok 16cal·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> i jest mniejsza od 21cal·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> co według teorii Timmermans'a [2] potwierdzałoby fakt, że faza Cr1 jest fazą plastyczną typu ODIC. Wykonano także pomiary kalorymetryczne niskotemperaturowe (w zakresie od 30°C do -140°C), które wskazują, że w temperaturze -106°C następuje wityfikacja próbki. Według klasyfikacji fazowej Wunderlicha [3] uzyskanej z analizy termicznej wynika, że powstaje faza szklista (G<sup>CONDIS</sup>), która ulega dewityfikacji podczas ogrzewania w temperaturze ok -75°C. Z przeprowadzonych badań wynika, że sytuacja fazowa cholesterolu wygląda następująco\*:



\* w nawiasach podano temperaturę w cyklu ochładzania.

[1] M. Ordon, A. Rudzki, E. Juszyńska-Gałązka, M. D. Ossowska-Chruściel, W. Zając, J. Chruściel, S. Wojciechowska, *Liq. Cryst.* **42**, 1405 (2015).

[2] J. Timmermans, *J. Phys. Chem. Solids* **18**, 1 (1961).

[3] B. Wunderlich, *Thermochim. Acta* **37**, 340 (1999).

## Oddziaływanie nanocząstek metalicznych o różnym kształcie z barwnikami organicznymi

P. Błaszkiwicz, M. Kotkowiak

*Instytut Fizyki, Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska,  
paulina.r.blaszkiewicz@doctorate.put.poznan.pl*

Nanocząstki złota (Au-NPs) wzbudzają bardzo duże zainteresowanie, dzięki swoim szczególnym właściwościom optycznym, pozwalającym na ich zastosowanie m.in. w nanobiotechnologii i biomedycynie [1,2]. Dotychczas pokazano możliwość wykorzystania Au-NPs w terapii nowotworowej jako nośniki leków lub biomolekuł w terapii genowej oraz proleków w fototermicznej terapii. W zależności od warunków prowadzonej syntezy można otrzymać Au-NPs charakteryzujące się widmem ekstynkcji w szerokim zakresie spektralnym 500-1200 nm [3–5].

Na podstawie wcześniej opisanych metod [2,4,6,7,8] zsyntetyzowano NPs o kształcie sferycznym (Au-NSs) i prętopodobnym (Au-NRs) wykazujące pasma w obszarze widzialnym. W celu poprawienia stabilności NPs w rozpuszczalnikach organicznych, Au-NSs oraz Au-NRs sfunkcjonalizowano polimerami o różnej długości łańcuch i/lub wytworzono na ich powierzchni otoczkę krzemionką.

Do badań wyselekcjonowano barwniki organiczne, których widma fluorescencji pokrywały zakres absorpcji NPs, umożliwiając analizę indukowanych światłem procesów, w tym wygaszania fluorescencji i przekazywania energii pomiędzy donorem (barwnik) i akceptorem (Au-NPs). Dla mieszaniny barwnik-NPs określono parametry spektralne i fotofizyczne (m.in. kwantową wydajność fluorescencji, stałe dynamicznego wygaszania fluorescencji oraz wydajność transferu energii), co pozwoliło uzyskać informacje dotyczące oddziaływań pomiędzy Au-NPs i barwnikami.

Praca naukowa była finansowana ze środków na naukę w roku 2016, jako projekt badawczy nr 06/62/DSPB/0216.

- [1] C. Iancu, *Biotechnol. Mol. Biol. Nanomedicine* **1**, 53 (2013).
- [2] G.-F. Luo, W.-H. Chen, Q. Lei, W.-X. Qiu, Y.-X. Liu, Y.-J. Cheng, et al., *Adv. Funct. Mater.* DOI: 10.1002/adfm.201505175 (2016).
- [3] K. Rahme, L. Chen, R. G. Hobbs, M. A. Morris, C. O'Driscoll, J.D. Holmes, *RSC Adv.* **3**, 6085 (2013).
- [4] C. Fernández-López, C. Mateo-Mateo, R. A. Álvarez-Puebla, J. Pérez-Juste, I. Pastoriza-Santos, L. M. Liz-Marzán, *Langmuir* **25**, 13894 (2009).
- [5] B. Nik, A. El Sayed, *Chem. Mater.* **15**, 1957 (2003).
- [6] C. J. Murphy, T. K. Sau, A. M. Gole, C. J. Orendorff, J. Gao, L. Gou, et al., *J. Phys. Chem. B.* **109**, 13857 (2005).
- [7] A. Gole, C. J. Murphy, *Chem. Mater.* **16**, 3633 (2004).
- [8] A. Partanen, M. O. A. Erola, J. Mutanen, H. Lajunen, S. Suvanto, M. Kuittinen, et al., *J. Lumin.* **157**, 126 (2015).

## **Modyfikacje powierzchni kolektora prądowego warstwami Langmuira wielościennych nanorurek węglowych w ogniwach litowo-jonowych**

K. Rytel<sup>1</sup>, D. Waszak<sup>2</sup>, K. Kędziński<sup>1</sup>, D. Wróbel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska,  
karol.t.rytel@doctorate.put.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Institut Metali Nieżelaznych, Oddział w Poznaniu, Zakład Zaawansowanych Materiałów*

Akumulatory litowo-jonowe są obecnie najpopularniejszymi źródłami zasilania przenośnych urządzeń elektrycznych. Charakteryzują się większą zgromadzoną energią, lepszą żywotnością oraz brakiem tzw. efektu pamięci w porównaniu do akumulatorów nikielowo-metalowo-wodorowych (NiMH). Pomimo wielu korzyści akumulatory litowo-jonowe posiadają wady takie jak możliwość zapłonu i (lub) wysoka toksyczność. Jednym z czynników, które mogą powodować zapłon jest zbyt szybkie ładowanie lub rozładowywanie akumulatora. W wyniku nadmiernego oporu wewnętrznego akumulator może się nagrzewać i ostatecznie zapalić. Zminimalizowanie oporu wewnętrznego pomiędzy masą aktywną a kolektorem prądowym powoduje obniżenie ryzyka zapłonu oraz mniejszy ubytek pojemności właściwej masy aktywnej [1,2].

W niniejszej pracy zbadano ogniwa na bazie litowanego tlenku manganu o strukturze spinelu w odniesieniu do litu metalicznego. Aluminiowe kolektory prądowe zostały zmodyfikowane warstwami Langmuira-Schaefera wielościennych nanorurek węglowych. Rozpoczynając proces z podłożem umieszczonym w subfazie oraz metodą stemplową. Zbadano wpływ modyfikacji kolektora prądowego na parametry ogniwa za pomocą pomiarów galwanostatycznych cykliczności pracy oraz spektroskopii impedancyjnej. Wyznaczono pojemności właściwe oraz wartości oporów wewnętrznych zbudowanych ogniwa względem litu metalicznego. Zanotowano spadek oporu przeniesienia ładunku oraz wyższą pojemność właściwą przy dużych obciążeniach zmodyfikowanych elektrod.

[1] S.-K. Chen, *Thin Solid Films* **572**, 56 (2014).

[2] H. C. Wu, *Electrochem. Commun.* **12**, 488 (2010).



## Anomalna dyfuzja jonów na granicy faz w stałych elektrolitach polimer-ciecz jonowa

A. Rachocki<sup>1</sup>, E. Andrzejewska<sup>2</sup>, A. Dembna<sup>2</sup>, J. Tritt-Goc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Fizyki Molekularnej PAN Poznań, rachocki@ifmpan.poznan.pl

<sup>2</sup>Wydział Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej

W ostatnich latach trwają zintensyfikowane badania poświęcone niejednorodnym materiałom wypełnionym cieczami jonowymi. Zainteresowanie tego typu układami wynika z konieczności poszukiwania nowych elektrolitów, które mogą być wykorzystane w różnego typu urządzeniach elektrochemicznych służących do dystrybucji energii, której nadmiaru wciąż nie potrafimy efektywnie magazynować. Matryce polimerowe wypełnione cieczami jonowymi, to jeden z kierunków poszukiwania kompozytowych materiałów mających duże znaczenie dla przyszłości energetyki w zakresie projektowania wydajnych baterii ze stałym elektrolitem.

Podjęte badania dotyczyły wyjaśnienia zaobserwowanego efektu zwiększenia przewodnictwa jonowego w układzie matryca polimerowa + ciecz jonowa względem czystej cieczy jonowej. W układzie elektrolitu w formie żelu odnotowano dwukrotnie większą przewodność elektryczną niż w czystej cieczy jonowej typu *bulk*. Żel otrzymano w wyniku inicjowanej fotochemicznie polimeryzacji *in situ* mieszaniny monomer/ciecz jonowa (*dimetakrylanu etoksylowanego bisfenolu A + tetrafluoroboran 1-butylo-3-metyloimidazoliowy*) [1].

Jak dowiodły przeprowadzone badania, istotną rolę w zaobserwowanym efekcie odgrywa separacja faz, w wyniku której molekuly cieczy jonowej separują się od matrycy polimerowej. Szczegółowa analiza procesów dynamicznych jonów cieczy jonowej w takim dwufazowym układzie była możliwa dzięki zastosowaniu relaksometrii NMR. Technika ta jest niezwykle czuła na „detekcję” sygnału pochodzącego nawet od niewielkiej ilości molekuł rozpuszczalnika oddziaływujących ze sztywnej porowatą matrycą [2]. W ramach zaproponowanego modelu teoretycznego pokazano, że w zależności od temperatury wyznaczone z relaksometrii stałe dyfuzji kationów cieczy jonowej przemieszczających się wzdłuż nieregularnej powierzchni matrycy polimerowej mają 2-3-krotnie większe wartości od współczynników dyfuzji kationów cieczy jonowej w odseparowanych obszarach typu *bulk*. Wynik ten daje podstawę do sformułowania hipotezy o obecności tzw. „międzyfazy”, która może pełnić rolę „łącznika” pomiędzy fazą odseparowanej cieczy jonowej a fazą polimerową. Z uwagi na charakterystyczne oddziaływania występujące pomiędzy jonami cieczy jonowej a polarnymi grupami funkcyjnymi matrycy polimerowej, najprawdopodobniej to w tych obszarach kompozytowego materiału elektrolitycznego występują korzystne warunki do powstania dalekozasięgowych ścieżek przewodnictwa, wzdłuż których możliwy jest efektywny transport jonów, co z kolei pozwala tłumaczyć zwiększenie przewodnictwa elektrolitu polimer-ciecz jonowa względem czystej cieczy jonowej [3].

[1] E. Andrzejewska, A. Dembna, A. Rachocki, J. Tritt-Goc, 3rd European Symposium of Photopolymer Science, Vienna, September 9th–12th, Proceedings, p. IL-2 (2014).

[2] S. Stapf, R. Kimmich, R. -O. Seitter, Phys. Rev. Lett. **75**, 2855 (1995).

[3] A. Rachocki, E. Andrzejewska, A. Dembna, J. Tritt-Goc, Eur. Polym. J. **71**, 210 (2015).

## Wpływ pola magnetycznego i preparatyki elastomerów magnetoreologicznych na ich własności obserwowane w niskokątowym rozpraszaniu neutronów

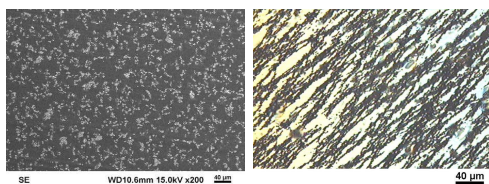
W. Zając<sup>1</sup>, A. Boczkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instytut Fizyki Jądrowej PAN Kraków, wojciech.zajac@ifj.edu.pl

<sup>2</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej

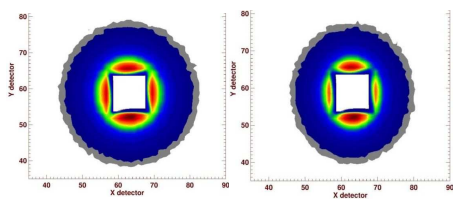
Elastomery magnetoreologiczne (MRE) należą do szerokiej klasy tzw. *materiałów inteligentnych*, tj. materiałów zdolnych do znacznej, kontrolowanej zmiany własności pod wpływem czynników zewnętrznych (naprężenie, temperatura, pH, pole elektryczne lub magnetyczne, itp.). Zbudowane są z matrycy elastomerowej zawierającej dodatkowo cząsteczki ferromagnetyczne mikrometrowych rozmiarów (w niniejszej pracy jest to żelazo karbonylkowe o średnicy ziaren 6 – 9 μm). Własności sprężyste takich MRE można zmieniać nawet o kilkaset procent przykładając pole magnetyczne o indukcji poniżej 1 T.

Użyte w niniejszej pracy dwa MRE były rezultatem polikondensacji dwóch polioli eterowych VORALUX HF 505 i VORALUX HF 14922 z izocyjanianem HB 6013 (Dow Chemical) w stosunkach HF 505 : HF14922 : HB 6013 (i) 30:70:23 oraz (ii) 70:30:23. Do eksperymentu wybrano powyższe MRE z zawartością żelaza karbonylkowego 11.5 vol% i 33 vol%. Nadto, badaniu poddano próbki, których sieciowanie było przeprowadzone w polu magnetycznym (ziarna żelaza częściowo uporządkowane) i bez pola. Dodatkowo, przygotowano próbki, które przed eksperymentem podlegały „trenowaniu” przez umieszczenie ich w polu magnetycznym włączanym i wyłączanym 1000-krotnie.

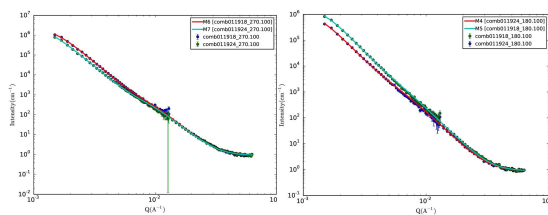


Rys. 1. Obraz SEM struktury MRE sieciowanego bez pola (z lewej) i w polu  $B = 500\text{mT}$  (z prawej).

Matryca elastomeru ma strukturę domenową (domeny sztywne i miękkie) o różnej gęstości długości rozpraszania  $b$  neutronów (rozpraszanie spójne), stąd pomiar rozpraszania niskokątowego (SANS) winien odpowiedzieć na pytanie o wpływ powyższych parametrów na zmiany struktury MRE wywołane przyłożeniem pola magnetycznego. Eksperyment SANS przeprowadzono na instrumencie D11 w ILL, Grenoble, w szerokim zakresie przekazu pędu  $0.0013\text{\AA}^{-1} < Q < 0.08\text{\AA}^{-1}$ . Rys.2 ilustruje przykładowy wpływ pola magnetycznego na intensywność SANS w kierunkach: prostopadłym i równoległym do kierunku zorientowania próbki sieciowanej w polu (por. Rys. 1). Widma SANS opracowano przy założeniu modeli z dwiema długościami korelacji  $\xi_1$  i  $\xi_2$ . Stwierdzono m.in, że zarówno zmęczenie próbki, jak i skład matrycy wpływają na wartości  $\xi_1$  i  $\xi_2$  raczej, niż na przestrzenne funkcje korelacji. Nadto matryca o większej zawartości segmentów sztywnych silniej odpowiada na pole magnetyczne.



Rys. 2. Wpływ pola  $B = 500\text{mT}$  na intensywność SANS dla badanych MRE.



Rys. 3. Wpływ anizotropii próbki na widma SANS.

## Ferromagnetyczne oddziaływanie spinowe w oligomerach i polimerach aryloaminowych

I. Kulszewicz-Bajer<sup>1</sup>, V. Maurel<sup>2</sup>, Ł. Skórka<sup>1</sup>, P. Kurzep<sup>1</sup>, J. M. Mouesca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa, [ikulsz@ch.pw.edu.pl](mailto:ikulsz@ch.pw.edu.pl)

<sup>2</sup>Komisariat ds. Energii Atomowej, SCIB, UMR-E 3 CEA, Grenoble, F-38054, Francja

Dużym wyzwaniem w obecnych czasach jest poszukiwanie materiałów organicznych wykazujących uporządkowanie spinowe. Wśród różnych klas związków organicznych badanych dotychczas na szczególną uwagę zasługują oligomery i polimery aryloaminowe, tworzące stabilne kationorodniki, będące źródłem spinów elektronowych. Spiny te mogą oddziaływać ferromagnetycznie poprzez jednostki sprzęgające takie jak 1,3-fenyl lub 3,4'-bifenyl. Modyfikacja struktury chemicznej aryloaminy poprzez intencjonalne wbudowanie jednostek sprzęgających wpływa na zmianę właściwości magnetycznych i spektroskopowych związku. Otrzymano szereg związków modelowych (oligomerów) i polimerów zawierających aryloaminy o różnej długości koniugacji oraz jednostki sprzęgające tj. 1,3-fenyl lub 3,4'-bifenyl. Związki te były utleniane chemicznie lub elektrochemicznie do kationorodników. Oddziaływanie spinowe było badane przy użyciu EPR-impulsowego, magnetyzacja była mierzona techniką SQUID. Wykazano, że w związkach o naprzemiennych wiązaniach *meta-para-* większość spinów, tworzonych w wyniku utleniania, nie ulega sprzężeniu ( $S=1/2$ ) i tylko nieznaczna frakcja tworzy stany tripletowe  $S=1$ . Wydłużenie długości koniugacji w sekwencji *meta-para-para-* powoduje większe oddziaływanie spinów, co prowadzi do tworzenia czystych stanów tripletowych  $S=1$ . W przypadku związków tego typu wyznaczono także stałe sprzężenia ferromagnetycznego  $J$  o wartościach 18 K dla polimeru, 35 K dla dimeru liniowego i 57 K dla cyklofanu. Wartości eksperymentalne były zgodne z wartościami  $J$  obliczonymi metodą DFT. Modyfikacja struktury chemicznej polimeru liniowego poprzez wbudowanie łańcuchów bocznych lub utworzenie rozgałęzionej sieci polimerowej wpływa na wzrost multipletowości układów. W polimerach rozgałęzionych stwierdzono obecność stanów spinowych  $S=3/2$ , natomiast w polimerze z grupami bocznymi  $S=2$ . Kwartetowe stany spinowe obserwowano także w przypadku polimerów liniowych zawierających 3,4'-bifenyl. Związki modelowe zawierające 3,4'-bifenyl charakteryzowały się dużą stałą sprzężenia  $J=135$  K. Nasze badania wykazały, że skoniugowane aryloaminy zawierające aromatyczne bloki budulcowe o różnej długości sprzężenia mogą być modyfikowane w celu uzyskania gęstości spinowej nakładającej się przestrzennie i stanowią obiecujące układy wysokospinowe.

## **Wzbudzenia magnonowe w niskowymiarowych nanostrukturach o niejednorodnych parametrach oddziaływań spinowych**

D. Kuźma<sup>1</sup>, A. Wal<sup>2</sup>, P. Sobieszczyk<sup>1</sup>, M. Majka<sup>1</sup>, P. Zieliński<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> *Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Dominika.Kuzma@ifj.edu.pl*

<sup>2</sup> *Uniwersytet Rzeszowski, ul. Pigoń 1, 35-310 Rzeszów*

<sup>3</sup> *Politechnika Krakowska, Instytut Fizyki, ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków*

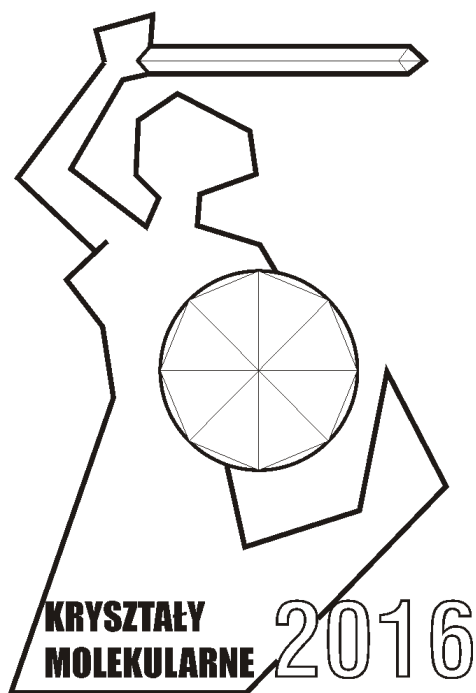
Wytwarzanie precyzyjnych układów spinowych w coraz mniejszej skali wielkości jest obecnie stymulowane dążeniem do uzyskiwania możliwie pojemnych magnetycznych nośników pamięci. Nowoczesna spintronika odwołuje się często do magnetycznych materiałów molekularnych, w których jony magnetyczne otoczone są precyzyjnie dobranymi ligandami. Tematem obecnego komunikatu będą wzbudzenia elementarne (magnony) w wybranych jednowymiarowych, lecz także rozgałęzionych, łańcuchach spinowych złożonych z segmentów o różnym stopniu sprzężenia magnetycznego. Metoda wyznaczania tych wzbudzeń jest oparta o technikę macierzy dynamicznej [1]. Aby uwzględnić zakończenia i złącza segmentów zostanie użyta metoda funkcji odpowiedzi (funkcji) Greena [2]. Bieguny takiej funkcji Greena odpowiadają zlokalizowanym magnonom powierzchniowym i międzywierzchniowym. Dodatkowo, otrzymana funkcja Greena pozwala wyznaczyć współczynniki przejścia i odbicia fal magnonowych na rozgałęzieniach i zakończeniach.

[1] A. Wal, *Physica B* **410**, 222 (2013).

[2] L. Dobrzynski, A. Akjouj, B. Djafari-Rouhani, J. O. Vasseur, M. Bouazaoui, J. P. Vilcot, H. Al. Wahsh, P. Zielinski, J. P. Vigneron, *Phys. Rev. E* **69**, 035601(R) (2004).

**STRESZCZENIA**  
**WYKŁADÓW I KOMUNIKATÓW USTNYCH**

**CZWARTEK**  
**15 września 2016**



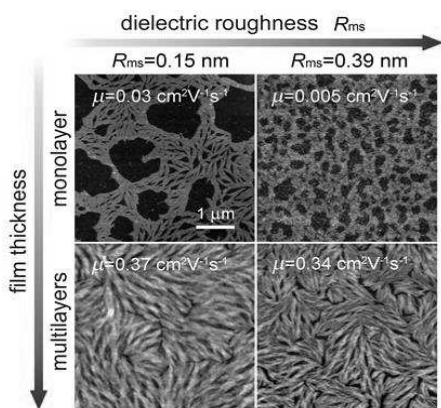
## Ultracienkie tranzystory polowe na bazie półprzewodników organicznych

W. Pisula<sup>1,2</sup>, M. Li<sup>2</sup>, Ł. Janasz<sup>1</sup>, J. Ulański<sup>1</sup>, K. Müllen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny,  
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Polska

<sup>2</sup>Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10, 55128 Mainz, Germany,  
pisula@mpip-mainz.mpg.de

Wzrost zainteresowania organicznymi tranzystorami z efektem polowym jest wynikiem ich potencjalnego zastosowania w niskokosztowej, elastycznej elektronice organicznej. Jednym z podstawowych czynników wpływających na parametry użytkowe tranzystorów jest mikrostruktura warstwy półprzewodnika na powierzchni dielektryka. Rola złącza dielektryk-półprzewodnik oraz transport nośników ładunków na granicy faz jest częściowo opisany w literaturze [1,2], jednakże opisane wyniki nie odnoszą się do ultracienkich warstw półprzewodnikowych.



Rys. 1. Zależność pomiędzy chropowatością podłoża, mikrostrukturą a ruchliwością nośników ładunku.

Niniejsza praca omawia wpływ uporządkowania cząsteczek w pierwszej warstwie półprzewodnika (znajdującej się przy powierzchni izolatora elektrody bramki) na mikrostrukturę a także morfologię grubszych warstw tworzących kanał przewodzenia, oraz ich znaczenie w transporcie nośników ładunków [1,2]. Dodatkowo wykazano, że precyzyjna kontrola chropowatości podłoża (dielektryka) umożliwia w sposób kontrolowany zmianę mikrostruktury warstwy półprzewodnika organicznego na granicy faz dielektryk-półprzewodnik, bez bezpośredniego wpływu na morfologię w górnych warstwach półprzewodnika [3].

Praca została wykonana w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki: 2013/08/M/ST5/00914 oraz grantu Fundacji na rzecz Nauki Polskiej: Master 9/2014. Podziękowania składamy również grupie badawczej odpowiedzialnej za wiązkę BL09 na synchrotronie Delta w Dortmundzie za pomoc w pomiarach GIWAXS.

- [1] a) S. Wang, A. Kiersnowski, W. Pisula, K. Müllen, *J. Am. Chem. Soc.* **134**, 4015 (2012); b) S. H. Wang, M. Kappl, I. Lieberwirth, M. Müller, K. Kirchoff, W. Pisula, K. Müllen, *Adv. Mater.* **24**, 417, (2012).
- [2] a) M. Li, C. An, W. Pisula, K. Müllen, *Small* **10**, 1926 (2014); b) X. Guo, S. R. Puniredd, M. Baumgarten, W. Pisula, K. Müllen, *Adv. Mater.* **25**, 5467 (2013).
- [3] a) M. Li, C. An, T. Marszalek, M. Baumgarten, K. Müllen, W. Pisula, *Adv. Mater.* **28**, 2245, (2016); b) M. Li, T. Marszalek, Y. Zheng, I. Lieberwirth, K. Müllen, W. Pisula, *ACS Nano* **10**, 4268 (2016); c) M. Li, F. Hinkel, K. Müllen, W. Pisula, *Nanoscale* **8**, 9211 (2016); d) L. Janasz, D. Chlebosz, M. Gradzka, W. Zajackowski, T. Marszalek, K. Müllen, J. Ulański, A. Kiersnowski, W. Pisula, submitted (2016).

## O wyznaczeniu energii poziomów energetycznych w półprzewodnikach organicznych z pomiarów elektrochemicznych

J. Sworakowski, K. Janus

*Katedra Inżynierii i Modelowania Materiałów Zaawansowanych,  
Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska  
juliusz.sworakowski@pwr.edu.pl*

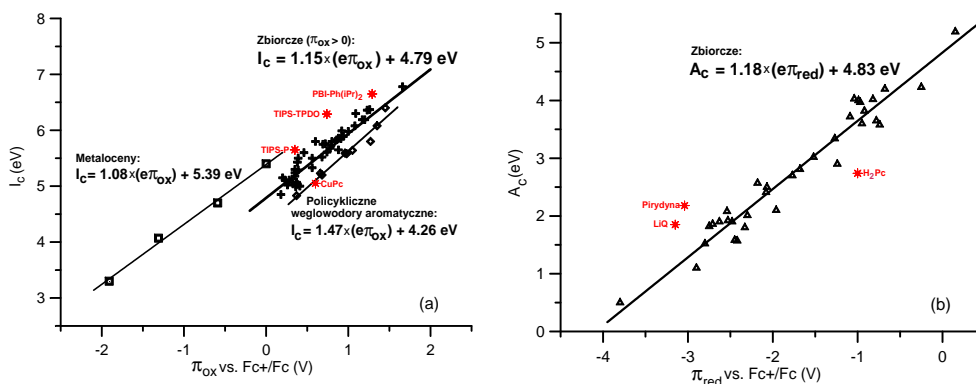
Poddano krytycznej analizie metodę wyznaczania energii poziomów zjonizowanych (poziomów HOMO i LUMO) w molekularnych ciałach stałych na podstawie pomiarów metodą voltametрии cyklicznej. Wykazano, że powszechnie stosowane równania nie mają uzasadnienia. W oparciu o dane literaturowe zebrane dla niemal 60 związków zaproponowano empiryczne korelacje opisujące zależności między energiami jonizacji (powinowactwami elektronowymi) molekularnych ciał stałych, a elektrochemicznymi potencjałami utleniania (potencjałami redukcji) cząsteczek w roztworach niewodnych:

$$I_c = (1.15 \pm 0.09) \times (e\pi_{ox}) + (4.79 \pm 0.07) \text{ eV}$$

$$A_c = (1.18 \pm 0.05) \times (e\pi_{red}) + (4.83 \pm 0.05) \text{ eV}$$

Wykazano również, że dokładniejsze korelacje można uzyskać dla grup chemicznie podobnych cząsteczek.

Opis modelu, tłumaczącego zaobserwowane korelacje, został zamieszczony w [1].



**Rys. 1.** (a) Zależności między energiami jonizacji stałych półprzewodników organicznych wyznaczonymi metodą spektroskopii fotoelektronowej (UPS), a elektrochemicznymi potencjałami utleniania cząsteczek półprzewodników w roztworach niewodnych; (b) Zależność między powinowactwami elektronowymi stałych półprzewodników organicznych wyznaczonymi metodą odwrotnej spektroskopii fotoelektronowej (IPES), a elektrochemicznymi potencjałami redukcji cząsteczek półprzewodników w roztworach niewodnych.

[1] J. Sworakowski, J. Lipiński, K. Janus, *Org. Electron.* **33** (1), 300 (2016).

## **Wpływ pułapkowania nośników ładunku na działanie urządzeń elektroniki organicznej**

I. Głowacki, J. Jung, B. Łuszczynska, G. Wiosna-Sałyga, J. Ulański

*Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź  
jacek.ulanski@p.lodz.pl*

Półprzewodniki organiczne charakteryzują się brakiem uporządkowania dalekiego zasięgu, co sprawia, że transport nośników ładunku w tych materiałach jest kontrolowany przez stany zlokalizowane i pułapki. Z tego względu pułapkowanie jest najczęściej rozpatrywane jako czynnik ograniczający ruchliwość nośników ładunku, a więc wpływający niekorzystnie na parametry pracy i ogólnie na działanie elementów elektroniki organicznej. W organicznych tranzystorach z efektem polowym pułapkowanie nośników ładunku na granicy półprzewodnik/izolator bramki obniża szybkość działania tranzystorów i jest odpowiedzialne za tworzenie się histerezy na charakterystykach prądowo-napięciowych, dlatego dąży się do wyeliminowania tego zjawiska. Z drugiej strony, w urządzeniach elektronicznych, których działanie kontrolowane jest przez zjawiska tworzenia stanów wzbudzonych i rekombinacji – np. w diodach elektroluminescencyjnych – sterowanie procesami pułapkowania pozwala na poprawienie parametrów pracy tych urządzeń. W pracy przedstawione zostaną wybrane przykłady ilustrujące powyżej wspomniane zjawiska i omówione będą metody ich badania.

*Podziękowania:* Przedstawione badania były częściowo finansowane przez projekty NCN 2012/07/B/ST8/03789 i 2013/11/B/ST5/01334 oraz projekt Mistrz 9/2014 Fundacji Nauki Polskiej.



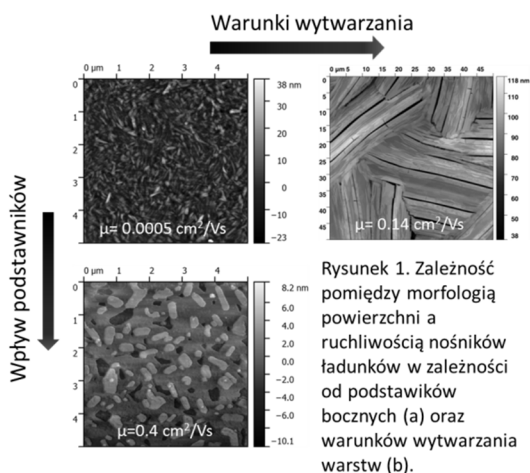
## Wpływ mikro- oraz makrostruktury na transport nośników ładunków w warstwach półprzewodnikowych

T. Marszałek,<sup>1</sup> K. Müllen,<sup>1</sup> W. Pisula<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10, 55128 Mainz, Germany, marszalek@mpip-mainz.mpg.de

<sup>2</sup>Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Polska,

Wysoki stopień uporządkowania, mikrostruktura oraz morfologia powierzchni związków mało- jak i wielkocząsteczkowych są czynnikami silnie zależnymi od struktury chemicznej, metod nakładania oraz dalszych procesów ich przetwarzania. To z kolei znacząco wpływa na transport nośników ładunków, który jest parametrem decydującym o potencjalnym zastosowaniu warstw półprzewodnikowych w elektronice organicznej.



Niniejsze badania pokazują, jak w określony sposób można kontrolować mikrostrukturę, stopień uporządkowania czy też morfologię powierzchni wykorzystując do tego inżynierię molekularną. Dodatkowo wykazano, że precyzyjna kontrola metod nakładania umożliwia w sposób kontrolowany zmianę stopnia uporządkowania oraz zmianę morfologii warstwy półprzewodnika organicznego, bez bezpośredniego wpływu na mikrostrukturę, jednocześnie znacząco poprawiając transport nośników ładunków [1-3].

Praca została wykonana w ramach projektu ERC Advanced Grant NANOGRAPH (AdG-2010-267160). Podziękowania składamy również grupie badawczej odpowiedzialnej za wiązkę BL09 na synchrotronie Delta w Dortmundzie za pomoc w pomiarach GIWAXS.

- [1] Y. Yamashita, F. Hinkel, T. Marszałek, W. Zajączkowski, W. Pisula, M. Baumgarten, H. Matsui, K. Müllen, J. Takeya, Chem. Mater. **28**, 420 (2016).
- [2] F. Hinkel, T. Marszałek, W. Zajączkowski, S. Reddy Puniredd, M. Baumgarten, W. Pisula, K. Müllen, Chem. Mater. **26** (16), 4844 (2014).
- [3] J. Lee, T. Marszałek, K. C. Lee, J. Kim, W. Pisula, C. Yang, Macromol. Chem. Phys. **216**, 1244 (2015).

## Otrzymywanie i modyfikacja powierzchni koloidalnych nanokryształów półprzewodnikowych

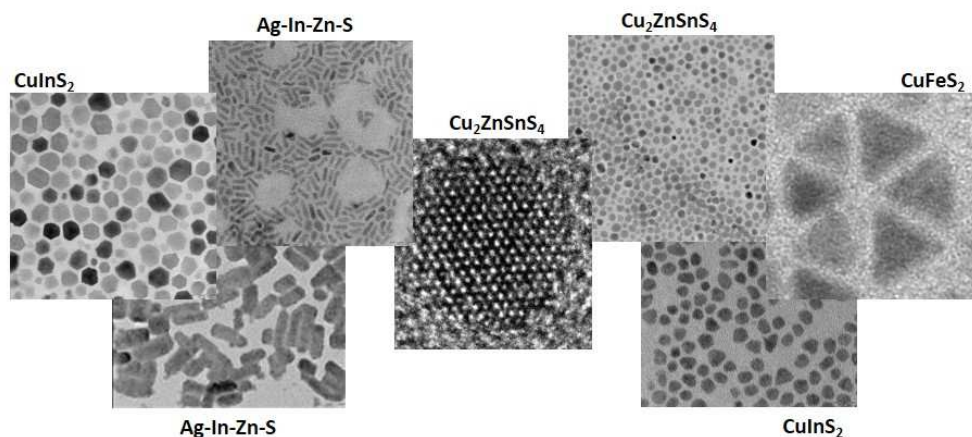
P. Bujak, G. Gąbka, A. Proń

*Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa,  
piotr**bujak**chem@poczta.onet.pl*

Koloidalne nanokryształy półprzewodnikowe stanowią połączenie nieorganicznego nanokrystalicznego rdzenia i organicznych ligandów. Właściwości tego typu materiałów zależą od rozmiaru, kształtu i składu nieorganicznego rdzenia oraz od typu ligandów związanych z powierzchnią nanokryształów. Projektowanie właściwości nanomateriałów półprzewodnikowych możemy prowadzić na etapie syntezy nanokryształów dobierając skład mieszaniny reakcyjnej lub prowadząc modyfikacje właściwości otrzymanych nanokryształów poprzez wymianę ligandów.

W ostatnich 20 latach większość prac prowadzona w tym zakresie dotyczyła dwuskładnikowych półprzewodników CdSe, CdS, PbSe, PbS zawierających toksyczne pierwiastki. Tego typu półprzewodniki z powodzeniem można zastąpić dwuskładnikowymi (InP) i trójskładnikowymi (CuInS<sub>2</sub>, CuInSe<sub>2</sub>) półprzewodnikami. Alternatywą dla tych półprzewodników są dwuskładnikowe (Cu<sub>2</sub>S, Cu<sub>2</sub>Se), trójskładnikowe (CuFeS<sub>2</sub>, CuFeSe<sub>2</sub>) i czteruskładnikowe (Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>, Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub>) półprzewodniki niezawierające indu jednego z najdroższych pierwiastków stosowanego we współczesnej elektronice.

W prezentowanym wystąpieniu zostaną porównane metody syntezy nanokryształów różnych półprzewodników ze szczególnym uwzględnieniem syntezowanych w naszej grupie materiałów (Rys. 1). Dodatkowo zaprezentowane zostaną stosowane metody modyfikacji powierzchni otrzymywanych nanokryształów.



Rys. 1. Zdjęcia TEM wykonane dla próbek syntezowanych nanokryształów półprzewodnikowych.

Praca częściowo finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2015/17/B/ST4/03837.

## Zjawisko fotowoltaiczne w układach zawierających warstwę $F_{16}ZnPc$

J. Szostak, R. Signerski, J. Godlewski

*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki  
Stosowanej, Politechnika Gdańska  
j.szostak@mif.pg.gda.pl*

Perfluoroftalocyjanina cynku ( $F_{16}ZnPc$ ) jest materiałem wykazującym silną absorpcję światła w szerokim zakresie widma. Na skutek podstawienia atomu wodoru atomem fluoru w cząsteczce  $ZnPc$  poziomy energetyczne molekuly obniżają się o ok 1,6 eV powodując zmianę charakteru tego związku z donorowego na akceptorowy oraz zwiększenie jego stabilności chemicznej w powietrzu [1,2]. Właściwości te sprawiają, że  $F_{16}ZnPc$  może być dobrym materiałem aktywnym dla zastosowań w organicznych ogniwach fotowoltaicznych. Przedmiotem wystąpienia będzie opis zjawiska fotowoltaicznego zachodzącego w organicznych planarnych ogniwach jedno i dwuwarstwowych zawierających warstwę perfluoroftalocyjaniny cynku [3]. Należy zauważyć, że mimo licznych badań nie stworzono jeszcze modelu teoretycznego w pełni wyjaśniającego przebieg zjawiska fotowoltaicznego w układach organicznych, pozwalającego na odpowiedni dobór materiałów i optymalizację struktury ogniwa. Celowe wydaje się więc dążenie do stworzenia takiego modelowego opisu. Podczas prezentacji omówione zostaną mechanizmy fotogeneracji i rekombinacji swobodnych nośników ładunku na interpowierzchni elektroda/materiał organiczny oraz na złączu donor/akceptor elektronów. Przedstawione zostaną modele teoretyczne opisujące charakterystyki prądowo-napięciowe planarnych układów oświetlonych i nieoświetlonych, pozwalające na określenie wpływu pracy wyjścia elektrod oraz grubości warstw aktywnych, ich stałych dielektrycznych czy ruchliwości nośników ładunku w warstwach, na działanie jedno i dwuwarstwowych organicznych ogniw fotowoltaicznych. Porównanie tych modeli z modelem Shockley'a umożliwiło powiązanie parametrów ogniwa z właściwościami materiałów użytych do jego budowy i interpretację wyników badań doświadczalnych.

[1] Z. Bao, A. J. Lovinger, J. Brown, J. Am. Chem. Soc. **120**, 207 (1998).

[2] J. L. Yang, S. Schumann, T. S. Jones, J. Phys. Chem. C **114** (2), 1057 (2010).

[3] J. Szostak, R. Signerski, J. Godlewski, Phys. Stat. Sol. A **210**, 2353 (2013).

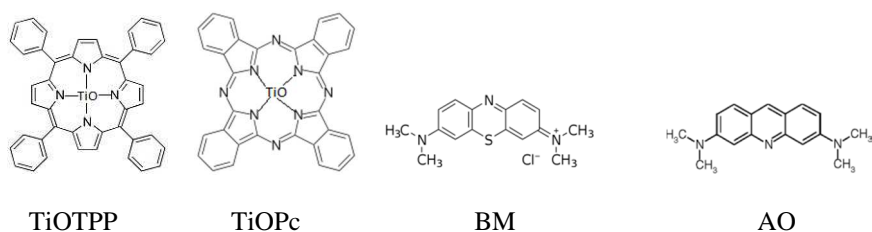
## Generowanie rodników hydroksylowych w fotokatalitycznym procesie częściowego rozszczepienia wody

O. Morawski, E. Karpiuk, A. L. Sobolewski

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

Przeprowadzenie przez A. Fujishimę i K. Hondę elektrochemicznej fotolizy wody [1] przy wzbudzeniu  $\text{TiO}_2$  w zakresie bliskiego UV spowodowało szerokie zainteresowanie tą metodą rozszczepiania wody. Zbudowanie przez B. O'Regana i M. Grätzela wydajnego ogniwa fotowoltaicznego w oparciu o cienką warstwę  $\text{TiO}_2$  domieszkowaną barwnikiem rutenu [2] wykazało, że uczulanie barwnikiem umożliwia wykorzystanie światła słonecznego do generowania prądu i elektrolizy wody. Idea uczulenia  $\text{TiO}_2$  barwnikiem została niedawno rozwinięta w koncepcji umieszczenia centrum reakcji (grupy tytanylowej) i barwnika w jednej cząsteczce [3]. W tym podejściu, cząsteczka wody rozszczepiana jest na rodniki  $\text{OH}\cdot$  i  $\text{H}\cdot$  przez oksotytanilową porfiryne (TiOP) [3]. W cząsteczce TiOP porfiryna jest absorbującym światło widzialne chromoforem a grupa  $\text{TiO}$  posiada potencjał redox wystarczający do utlenienia wody [3]. Mechanizm częściowego rozszczepienia wody na rodniki  $\text{OH}\cdot$  i  $\text{H}\cdot$  został doświadczalnie potwierdzony dla dwóch cząsteczek: tytanylowej tetrafenylporfiryne (TiOTPP) [4] i tytanylowej ftalocjaniny (TiOPc) [5].

W niniejszej prezentacji zostaną omówione wyniki badań nad zastosowaniem związków azaromatycznych – błękitu metylenowego (BM) i akrydyny orange (AO) – do procesu częściowego rozszczepiania wody. W obu cząsteczkach centrum reakcji stanowi atom azotu na którym znajduje się wolna para elektronowa. Utlenienie wody zachodzi przy wzbudzeniu cząsteczek światłem z zakresu widzialnego: MB – światłem czerwonym a AO – światłem niebieskim. Badania fotokatalizatorów tak różnych jak TiOTPP i TiOPc oraz MB i AO dają wgląd w mechanizm reakcji rozszczepienia wody i możliwości sterowania jej przebiegiem. W prezentacji przedstawione zostaną także możliwe zastosowania procesu generowania rodników hydroksylowych do celów praktycznych.



Rys. 1. Struktury badanych cząsteczek.

- [1] A. Fujishima, K. Honda, *Nature* **238**, 37 (1972).  
[2] B. O'Regan, M. Grätzel, *Nature* **353**, 737 (1991).  
[3] A. L. Sobolewski, W. Domcke, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **14**, 12807 (2012).  
[4] O. Morawski, K. Izdebska, E. Karpiuk, J. Nowacki, A. Suchocki, A. Sobolewski, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **16**, 15256 (2014).  
[5] O. Morawski, K. Izdebska, E. Karpiuk, A. Suchocki, Y. Zhydashchuk, A. Sobolewski, *J. Phys. Chem. C* **119**, 14085 (2015).

## Przewodnictwo elektryczne oraz własności termiczne supramolekularnych organicznych żeli jonowych

M. Bielejewski, J. Tritt-Goc

*Instytut Fizyki Molekularnej PAN Poznań, bielejewski@ifmpan.poznan.pl*

Organiczne żele jonowe tworzone w oparciu o żelatory o małych masach cząsteczkowych stanowią nową klasę materiałów przewodzących, charakteryzujących się wysokimi wartościami przewodnictwa oraz termiczną odwracalnością procesu żelowania. Możliwość sterowania stanem układu, poprzez przechodzenie z fazy żelu do zolu i odwrotnie w wyniku zmian temperatury, pozwala zaliczyć je do materiałów funkcyjnych i odnawialnych. Za unikalne własności organicznych żeli jonowych odpowiadają słabe oddziaływania niekowalencyjne, takie jak wiązania wodorowe, oddziaływania van der Waalsa, elektrostatyczne,  $\pi$ - $\pi$ , itp., pomiędzy molekułami żelatora a także matrycą żelową i elektrolitem. Oddziaływania te są odpowiedzialne m.in. za efekt zwiększenia wartości przewodnictwa (enhanced ionic conductivity effect) w porównaniu do wartości w czystym elektrolicie [1] oraz możliwość regeneracji układu, który uległ uszkodzeniom mechanicznym lub zużyciu. Te unikalne cechy wymagają jednak stosowania odpowiednich technik pomiarowych, zdolnych do rejestracji dynamicznie zmieniających się parametrów fizycznych. W celu dokładnego poznania ich własności elektrycznych, decydujących o możliwościach aplikacyjnych organicznych żeli jonowych, opracowano nową technikę pomiaru przewodnictwa elektrycznego zwaną termiczną konduktometrią skaningową (Thermal Scanning Conductometry – TSC). Umożliwia ona pomiar przewodnictwa elektrycznego w funkcji temperatury w czasie rzeczywistym dla różnych temperatur grzania i chłodzenia [2]. Takie podejście umożliwia badanie własności elektrycznych układu zarówno w fazie żelu jak i zolu, a przede wszystkim podczas przejścia fazowego żel-zol-żel. Po raz pierwszy zastosowanie techniki TSC umożliwiło obserwację anomalii w przewodnictwie elektrycznym, które można powiązać m.in. z przejściem fazowym żel-zol oraz zol-żel. Obserwowane zmiany nie były dotąd rejestrowane w klasycznej konduktometrii, ze względu na konieczność stabilizacji temperatury układu w której dokonywano pomiarów.

Badania finansowane ze środków przyznanych przez Narodowe Centrum Nauki, jako projekt grantowy nr. DEC-2013/11/D/ST3/02694.

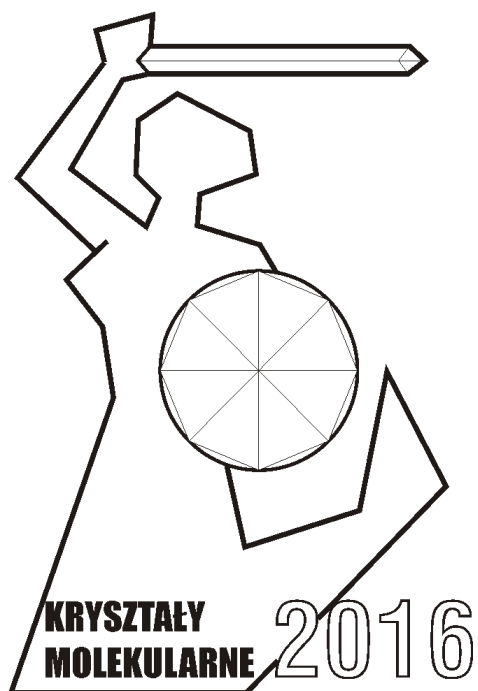
[1] M. Bielejewski, A. Puskarska, J. Tritt-Goc, *Electrochim. Acta* **165**, 122 (2015).

[2] M. Bielejewski, *Electrochim. Acta* **174**, 1141 (2015).

**STRESZCZENIA**  
**WYKŁADÓW I KOMUNIKATÓW USTNYCH**

**PIĄTEK**

**16 września 2016**

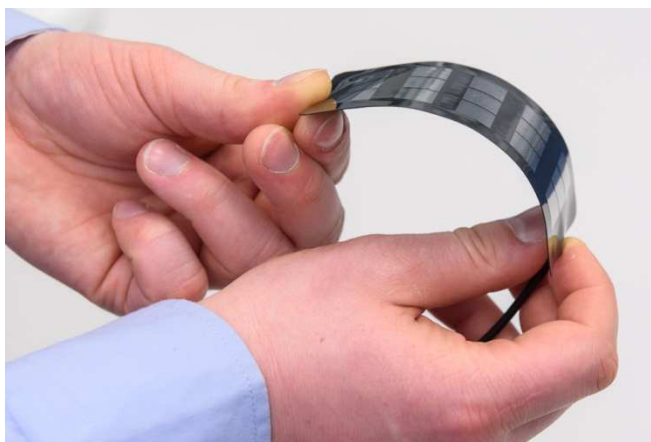


## Drukowane ogniwa perowskitowe – potencjał komercyjny oraz wyzwania technologiczne

K. Wojciechowski<sup>1</sup>, A. Maattanen<sup>1</sup>, J. P. Prieto Ruiz<sup>1</sup>, B. Wilk, A. Wojak,  
O. Malinkiewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Saule Technologies, olga@sauletech.com*

Kryształy perowskitów z rodziny metalo-halogenkowych stanowią bardzo atrakcyjną klasę materiałów optoelektronicznych, które znajdują zastosowania min. w ogniwach słonecznych, diodach świecących, laserach i fotodetektorach. Urządzenia fotowoltaiczne na bazie tych materiałów osiągnęły rekordową sprawność konwersji energii 22% zaledwie po upływie pięciu lat badań naukowych. Ze względu na wysoką sprawność oraz niski koszt wytwarzania perowskitowe ogniwa słoneczne mają ogromny potencjał komercyjny. Jednak aby udowodnić rentowność tej technologii wciąż pozostaje do pokonania kilka technologicznych wyzwań. Niektóre z tych dobrze znanych obejmują stabilność tych ogniw oraz obecność ołowiu w warstwie aktywnej. Te i inne problemy zostaną poruszone i omówione w trakcie wykładu. Opracowanie procesu produkcyjnego będącego w stanie zapewnić wydajne, wielkoformatowe moduły perowskitowe również znajduje się we wczesnej fazie badań. W ramach wykładu zostanie przedstawiony w pełni skalowalny proces druku atramentowego ogniwa na bazie perowskitu oraz zostanie zaprezentowany unikalny w skali światowej prototyp elastycznego modułu perowskitowego, będącego w stanie zasilic małe urządzenia elektroniczne.



Rys. 1. Elastyczny moduł perowskitowy.

[1] O. Malinkiewicz, A. Yella, Y. H. Lee, M. G. Espallargas, M. Graetzel, M. K. Nazeeruddin, H. J. Bolink, et al., *Nature Photon* **8**, 128 (2014).

[2] K. Wojciechowski, T. Leijtens, S. Siprova, S. Schlueter, M. T. Hörantner, J. Tse-Wei Wang, C-Z. Li, A. K-T. Jen, T-L. Lee, H. J. Snaith, *J. Phys. Chem. Lett.* **6** (12), 2399 (2015).

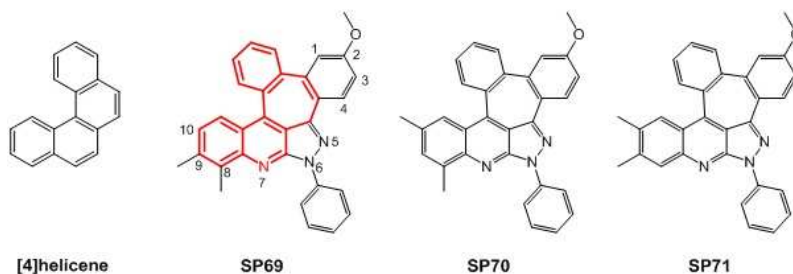
## Heliceny jako składnik ogniw fotowoltaicznych

G. Lewińska<sup>1</sup>, K. S. Danel<sup>2</sup>, J. Sanetra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki w Krakowie,  
glewinska@pk.edu.pl

<sup>2</sup>Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

Związki organiczne, od lat wykorzystywane do budowy ogniw fotowoltaicznych i diod elektroluminescencyjnych, cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem. Prezentujemy nowe związki [1] o helikalnej strukturze [2]: 2-metoksy-m,n-dimetylo-6-fenyl-6*H*-5,6,7-triazadibenzo[*f,h*]nafto[3,2,1-*cd*]azulenu (m,n: 8,9; 8,10; 9,10), będące podstawą układów fotowoltaicznych. Związki, oznaczane jako SP69, SP70, SP71, okazały się być dobrą bazą zarówno do budowy diod organicznych, jak ogniw typu heterozłącze objętościowe.



Rys. 1. Wzory chemiczne.

W referacie zostaną przedstawione wyniki dla kilku typów heterozłączy objętościowych. Warstwę aktywną stanowiły w nich mieszaniny dwu- i trójskładnikowe. Wydajności otrzymane dla heterozłączy objętościowych zawierają się w przedziale od 0,6% do 1% (dla ogniwa z warstwą aktywną będącą mieszaniną poli(3-heksylotiofenu), oraz około 2% dla układów trójskładnikowych (mieszanina z estrem metylowym kwasu fenyl-C61-masłowego).

[1] P. Szlachcic, K. S. Danel, M. Gryl, K. Stadnicka, Z. Usatenko, N. Nosidlak, G. Lewińska, J. Sanetra, W. Kuźnik, *Dyes and Pigments* **114**, 184 (2015).

[2] Gingras M., *Chem. Soc. Rev.* **42**, 1051 (2013).



## Dwuwarstwowe organiczne diody elektroluminescencyjne

M. Pokladko-Kowar<sup>1</sup>, A. Daneł<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki, Politechnika Krakowska, ul. Podchorążych 1, Kraków 30-084,  
mpokladko@if.pk.edu.pl*

<sup>2</sup>*Instytut Chemii, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 122,  
30-149 Kraków*

W 1987 Tang i VanSlyke otrzymali wielowarstwową organiczną diodę elektroluminescencyjną (OLED) [1]. Obecnie materiały organiczne znalazły zastosowanie do wytwarzania urządzeń elektronicznych takich jak, organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED), organiczne fotowoltaiczne urządzenia, jak również organiczne tranzystory polowe. Urządzenia świecące na bazie materiałów organicznych są powszechnie stosowane w telefonach komórkowych, odtwarzaczach MP3, czy też w aparatach cyfrowych. Modyfikacja związków organicznych pozwoli na dostosowanie ich właściwości do wymagań stawianych konkretnemu urządzeniu. Duże znaczenie ma niska cena produkcji i dość wysoka wydajność tych urządzeń [2-4]. W ramach pracy wykonane zostały metodą *spin-coatingu* dwuwarstwowe organiczne komórki elektroluminescencyjne o następującej konfiguracji ITO/PEDOT:PSS/luminofor w matrycy polimerowej (PVK)/ETM/Ca/Al. ETM jest materiałem transportującym elektrony. Jako luminoforów użyto układów azaheterocyklicznych z grupy pirazolo[3,4-*b*]chinolin, a jako ETM zastosowano pochodne chinolin.

[1] C.W.Tang, S.A.Van Slyke, Appl. Phys. Lett. **51**, 913 (1987).

[2] Y. Shirota, H. Kageyama, Chem. Rev. **107**, 953 (2007).

[3] A. C. Grimsdale, K. L. Chan, R. E. Martin, P. G. Jokisz, A. B. Holmes, Chem. Rev. **109**, 897 (2009).

[4] J. E. Coughlin, Z. B. Henson, G. C. Welch, G. C. Bazan, Acc. Chem. Res. **47** (1), 257 (2014).

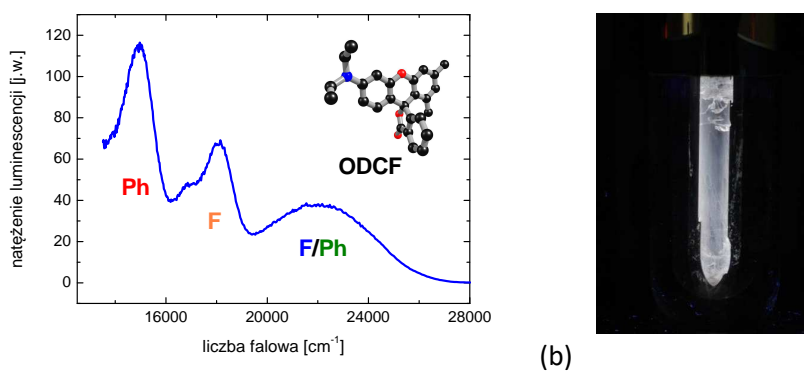
## Biała luminescencja cząsteczki organicznej jako funkcja jej struktury: fotofizyka trójwymiarowych układów donorowo-akceptorowych

J. Karpiuk<sup>1</sup>, A. Majka<sup>2</sup>, E. Karpiuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Fizyki PAN, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, jkarpiuk@ifpan.edu.pl

<sup>2</sup> Instytut Chemii Fizycznej PAN, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa

Wzbudzone cząsteczki organiczne emitują zazwyczaj jednopasmową fluorescencję lub fosforescencję ze zrelaksowanego oscylacyjnie najniższego wzbudzonego stanu singletowego lub trypletowego. Układy donorowo-akceptorowe (D–A), w których trójwymiarowa struktura  $\pi$ -elektronowa umożliwia komunikację donora z akceptorem za pośrednictwem oddziaływań niekowalencyjnych (np. laktony di- lub triarylometanowe albo cząsteczki spirocykliczne) nie mieszczą się w tym schemacie, a ich wielopasmowa (w tym także biała) emisja w szklkach niskotemperaturowych obejmuje podwójną fluorescencję i podwójną, a niekiedy nawet potrójną fosforescencję ze stanów wzbudzonych dostępnych i obsadzanych w wyniku indukowanych strukturą oddziaływań międzychromoforowych. Pomimo, iż badanie relacji struktura-właściwości towarzyszy od dawna badaniom fotoindukowanych procesów przeniesienia elektronu, czynniki strukturalne wpływające na mechanizmy korelacji i rozfazowania spinów pozostają w dużym stopniu niepoznane [1].



Rys. 1. Widmo luminescencji (a) i luminescencja (b) cząsteczki ODCF w zeszlonym 1-propanolu w temperaturze 77 K. F - fluorescencja, Ph - fosforescencja.

Zaprezentowany w referacie przegląd fotofizyki kilku klas trójwymiarowych układów D–A zbudowanych na węglu  $sp^3$  skupi się na ścieżkach relaksacji stanu  $^1[D^+-A^-]$  powstającego w pierwotnym, ultraszybkim ( $\sim 100$  fs) procesie wewnątrzcząsteczkowego przeniesienia elektronu, z uwzględnieniem adiabatycznej dysocjacji wiązania C–O w stanie singletowym, mechanizmu obsadzania polarnego ( $^3[D^+-A^-]$ ) i lokalnego ( $[^3D^*-A]$ ) stanu trypletowego, mechanizmie tworzenia się dwurodnika ( $^3[D-A^*]^*$ ) tworzącego się w wyniku otwarcia pierścienia laktonowego w stanie trypletowym  $^3[D^+-A^-]$ , a także mechanizmach generacji fluorescencji opóźnionej i wielokrotnej fosforescencji [2]. Poznanie wpływu struktury badanych układów D–A na dezaktywację do stanów trypletowych umożliwi projektowanie białych fluoroforów o wyższej wydajności kwantowej fluorescencji.

Badania zrealizowano w ramach projektu BIFLUORG finansowanego przez NCBR (PBS3/A1/17/2015).

[1] J. W. Verhoeven, J. Photochem. Photobiol. C 7, 40 (2006).

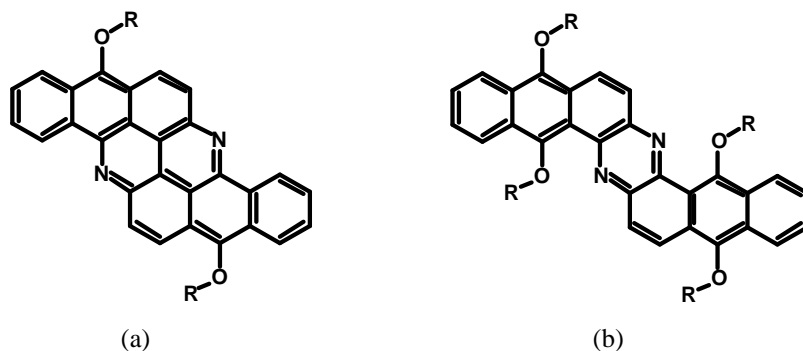
[2] J. Karpiuk, A. Majka, praca w przygotowaniu.

## Pochodne zapomnianych barwników kadziowych jako nowe elektroluminofony organiczne

K. Kotwica, P. Bujak, M. Zagórska, A. Proń

Wydział Chemiczny Politechniki Warszawskiej, Warszawa  
apron@ch.pw.edu.pl

Początek 20 wieku był okresem szybkiego rozwoju chemii barwników. Jednym z nowoodkrytych wówczas związków był 6,15-dihydrodinafto[2,3-*a*:2',3'-*h*]fenazyno-5,9,14,18-tetraon, popularnie nazywany indantronem. Ten niebieski barwnik kadziowy otrzymano poprzez kondensację aminoantrachinonu poniżej 270 °C. Powyżej 270 °C aminoantrachinon kondensował do benzo[*h*]benz[5,6]akrydino[2,1,9,8-*klmna*]akrydino-8,16-dionu (flawantronu). W naszych ostatnich badaniach wykazaliśmy, że zarówno indantron jak i flawantron mogą być stosunkowo łatwo przekształcone w przetwarzalne z roztworu elektroluminofony tzn. tetraalkoksydinafto[2,3-*a*:2',3'-*h*]fenazyny i 8,16-dialkoksy-benzo[*h*]benz[5,6]akrydino[2,1,9,8-*klmna*]akrydiny (Rys. 1). Reakcja funkcjonalizacji barwników polega na redukcji grupy karbonylowej połączonej z O-alkilowaniem.



Rys. 1. Struktura otrzymanych pochodnych flawantronu (a) i indantronu (b).

Jak wykazały badania metodą skaningowej mikroskopii tunelowej (STM), otrzymane związki wykazują silną tendencję do samoorganizacji, tworząc w monowarstwach osadzonych na graficie HOPG uporządkowane, dwuwymiarowe struktury nadcząsteczkowe, rozciągające się na obszar kilkuset nanometrów. Porównanie struktury 3D tych nowych pochodnych, wyznaczonej z badań rentgenowskich, ze strukturą 2D w monowarstwie wskazuje, że struktura 2D prawie dokładnie odzwierciedla jedną z płaszczyzn krystalograficznych struktury 3D.

Badane pochodne wykazują silną fotoluminescencję (wydajność kwantowa ok. 80%) i elektroluminescencję, zostały więc zastosowane jako luminofony w diodach elektroluminescencyjnych typu gość/gospodarz.

Praca częściowo finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2015/17/B/ST5/00179.

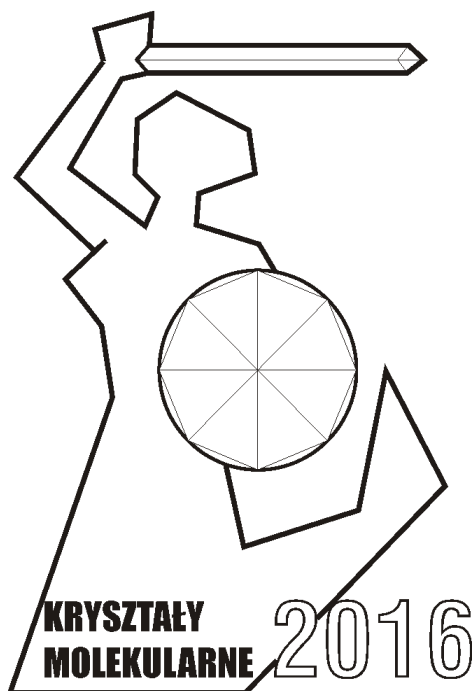
**INDEKS PREZENTACJI POSTEROWYCH**

- P1** M. Banasiewicz *Niezwykłe właściwości fotofizyczne nowej pochodnej imidazo[1,2-a]pirydyny*
- P2** B. Barszcz *Rezonansowe rozpraszanie Ramana w solach ET z anionami zawierającymi wiązanie ren-ren*
- P3** M. Borkowski *Wpływ podstawników bocznych na stopień uporządkowania półprzewodnikowych polimerów skoniugowanych*
- P4** A. Dłubacz *Badania dielektryczne cienkich warstw polimerowych*
- P5** K. Falkowski *Wyznaczanie szybkości rekombinacji końcowej nośników ładunku na podstawie analizy elektromodulowanej fotoluminescencji w organicznych układach molekularnych*
- P6** P. Gawryś *Wielopierścieniowe pochodne karbazolu i ich wykorzystanie w diodach elektroluminescencyjnych*
- P7** D. Głowienka *Badanie właściwości strukturalnych oraz elektrycznych związków o strukturze perowskitu  $CH_3NH_3PbI_3$  oraz  $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$*
- P8** E. Gondek *Optyczna charakteryzacja fotoogniw z perowskitową warstwą aktywną*
- P9** J. Jański *Kompleksy melaminy z kwasem kwadratowym o składzie 2:1 z udziałem wody*
- P10** K. Kędzierski *Warstwy Langmuira-Schaefera jednościennych nanorożków węglowych*
- P11** M. Klein *Magnetomodulacja elektroluminescencji organicznej diody ekscypleksowej z emiterem dendrymer aminowy: pochodna oksadiazolu (m-MTDATA:PBD)*
- P12** M. Knapkiewicz *Dynamika molekularna w wybranych fazach ciekłokrystalicznych (BP, TGBA, TGBC, SmC\*) badana metodami NMR*

- P13** A. Kozanecka-Szmigiel *Właściwości fizykochemiczne i fotochromowe funkcjonalizowanych poliamidoimidów azobenzenowych*
- P14** P. Kurzep *Synteza i charakterystyka pochodnych aryloaminowych zawierających sztywne segmenty strukturalne do zastosowań w elektronice organicznej i spintronice*
- P15** B. Leśniewska *2,3,6,7,11,12,17,18-oktaetylokorficen - tautomery trans*
- P16** G. Lewińska *Elipsometryczne badania cienkich warstw ciekłokrystalicznych*
- P17** A. Łapiński *Strukturalne i spektroskopowe badania przewodnika protonowego  $(ImH_2)_2SeO_4 \cdot 2H_2O$*
- P18** B. Łuszczynska *Nanocząstki Ag-In-Zn-S, jako potencjalny materiał do zastosowań w hybrydowych ogniwach fotowoltaicznych*
- P19** A. Majka *Ścieżki dezaktywacji wzbudzenia elektronowego w wielochromoforowych cząsteczkach donorowo-akceptorowych. Rola struktury i energii stanów lokalnie wzbudzonych*
- P20** A. Makarewicz *Barwniki dipirolonaftyrydynodiony*
- P21** H. Makowska *Kontrola morfologii powierzchni elastycznych folii do zastosowań w optoelektronice organicznej*
- P22** A. Nowicka *Spektroskopia Ramana w badaniach związków ciekłokrystalicznych*
- P23** M. Obarowska *Wpływ elektrody odbiorczej na wartość napięcia fotowoltaicznego w ogniwie jednowarstwowym*
- P24** H. Orlikowska *Dynamiczna, dwuwymiarowa analiza termooptyczna - nowa metoda identyfikacji mezofaz ciekłokrystalicznych*
- P25** M. Paczwa *Badania struktury i dynamiki natrolitu  $Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$*
- P26** D. Pelczarski *Wyznaczanie długości drogi dyfuzji ekscytonów w warstwach pochodnych amin metodą pomiaru fotoprądu i wygaszania fotoluminescencji*

- P27** D. Pelczarski *Elektromodulacja fotoluminescencji ekscypleksowej w układach mieszanych dendrymer aminowy – pochodne fenantroliny*
- P28** R. Rybakiewicz *Ditienopirołowe pochodne naftalenobisimidu i ich zastosowanie w elektronice organicznej*
- P29** K. Rytel *Badanie przewodnictwa elektrycznego w funkcji temperatury warstw Langmuira nanorurek węglowych na podłożach z polichlorku winylu*
- P30** M. Snamina *Stany z przeniesieniem ładunku w kryształach pentacenu – rola oddziaływań kwadrupolowych*
- P31** A. Sroka *Struktura kompleksów kwasu fenamowego i jego pochodnych z akrydyną*
- P32** J. Szostak *Zjawisko fotowoltaiczne w układzie F<sub>16</sub>ZnPc/DBP*
- P33** G. Wiosna-Sałyga *Nowe kompleksy irydu (III) jako emitery fosforescencyjne - badania fotofizyczne*
- P34** M. Zagórska *Donorowo-akceptorowe elektroluminofoory organiczne o strukturze trójramiennych gwiazd*

# STRESZCZENIA PREZENTACJI POSTEROWYCH



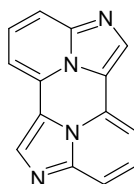
## Niezwykłe właściwości fotofizyczne nowej pochodnej imidazo[1,2-a]pirydyny

D. Firmansyah<sup>1</sup>, I. Deperasińska<sup>2</sup>, O. Vakuliuk<sup>1</sup>, M. Banasiewicz<sup>2</sup>, M. Tasior<sup>1</sup>,  
A. Makarewicz<sup>2</sup>, M. K. Cyrański<sup>1</sup>, B. Kozankiewicz<sup>2</sup>, D. T. Gryko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Chemii Organicznej PAN, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa),*

<sup>2</sup>*Instytut Fizyki PAN, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, mbanas@ifpan.edu.pl*

Węglowodory aromatyczne i ich heterocykliczne analogi odgrywają ważną funkcję w elektronice organicznej. Imidazo[1,2-a]pirydyna jest prototypem układu heterocyklicznego posiadającego użyteczne właściwości optyczne [1], a synteza jej pochodnych rozwijana jest intensywnie przez ostatnie lata [2]. W pracy [3], po raz pierwszy, poprzez bezpośrednią podwójną aryłację imidazo[1,2-a]pirydyny, otrzymano jej nową pochodną o strukturze przedstawionej na rysunku.



Rys. 1. Wzór strukturalny badanej pochodnej imidazo[1,2-a]pirydyny.

Pomimo usilnych starań dla badanego związku nie udało się zaobserwować fluorescencji, co potwierdziły obliczenia kwantowo-chemiczne. Pokazały one, że przejście elektronowe pomiędzy stanem podstawowym  $S_0$  a najniższym elektronowo wzbudzonym stanem singletowym  $S_1$  jest wzbronione ze względu na symetrię. W eksperymentalnie zmierzonym widmie absorpcji zaobserwowano zaś progresję drgań o niskiej intensywności, ok. dwa rzędy wielkości niższej od tej dla przejścia elektronowego  $S_0 \rightarrow S_2$ . Obserwacja ta przypomina sytuację opisaną wcześniej dla przejść wzbronionych w benzenie i kilku innych cząsteczkach [4].

[1] D. Firmansyah, A. I. Ciuciu, V. Hugues, M. Blanchard-Desce, L. Flaming, D. T. Gryko, Chem. - Asian J. **8**, 1279 (2013).

[2] H. Cao, X. Liu, L. Zhao, J. Cen, J. Lin, Q. Zhu, M. Fu, Org. Lett. **16**, 146 (2014).

[3] D. Firmansyah, I. Deperasińska, O. Vakuliuk, M. Banasiewicz, M. Tasior, A. Makarewicz, M. K. Cyrański, B. Kozankiewicz, D. T. Gryko, Chem. Comm. **52**, 1262 (2016).

[4] R. Srinivasan, J. S. Feenstra, S. T. Park, S. Xu, A. H. Zewail, Science **307**, 558 (2005).



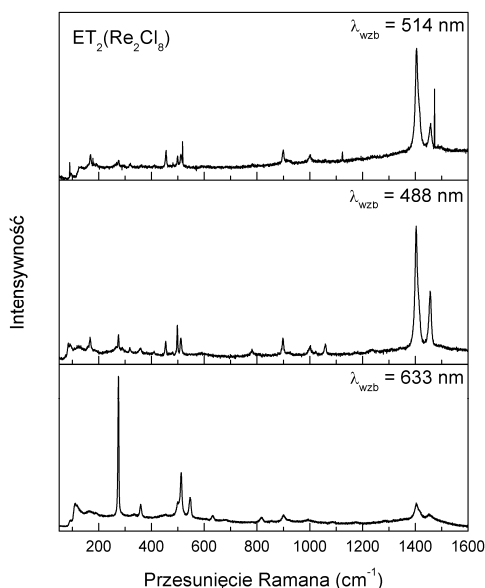
## Rezonansowe rozpraszanie Ramana w solach ET z anionami zawierającymi wiązanie ren-ren

B. Barszcz<sup>1</sup>, V. A. Starodub<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań, boleslaw.barszcz@ifmpan.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Institut Chemii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, ul. Świętokrzyska 15 G, 25-406 Kielce*

Molekuła ET (BEDT-TTF) jest znanym donorem elektronów tworzącym sole z przeniesieniem ładunku (CT) z najróżniejszymi anionami. Pośród ogromnej liczby anionów używanych do syntezy tych soli istnieje tylko kilka zawierających wiązanie metal-metal [1,2]. Ostatnio Reinheimer i współpracownicy zsyntezowali serię soli CT z anionami z wiązaniem metal-metal [3]. W niniejszej pracy prezentujemy badania spektroskopowe tego rodzaju związków. Dwie sole molekuly ET z anionami  $\text{Re}_2\text{Cl}_8^{2-}$  oraz  $\text{Re}_2\text{Br}_6\text{CH}_3\text{COO}^-$  [4] zostały zsyntezowane oraz przebadane przy wykorzystaniu spektroskopii rozpraszania ramanowskiego. Wykorzystano kilka długości fali lasera wzbudzającego by uzyskać zarówno widma Ramana jak i rezonansowe widma Ramana. W obydwu solach średni ładunek na molekule ET wynosi +1 e, co potwierdza położenie modów rozciągających wiązania C=C  $\nu_2(\text{A}_g)$  oraz  $\nu_3(\text{A}_g)$  przy 1452 and 1405  $\text{cm}^{-1}$ . Widma uzyskane przy użyciu lasera argonowego (linie 488 i 514 nm) są zdominowane przez drgania molekuly ET,



natomiast widma uzyskane przy użyciu lasera helowo-neonowego (633 nm) pokazują głównie drgania anionów. Intensywności pasm pochodzących od drgań anionu są w tym przypadku wzmocnione w wyniku efektu rezonansowego, a ponadto obserwujemy w widmie nadtony oraz tony kombinacyjne. Pozycja pasm związanych z rozciąganiem wiązania Re-Re przy 275  $\text{cm}^{-1}$  potwierdza poczwórną naturę wiązania metal-metal w anionach. Efekt rezonansowego rozproszenia jest obserwowany w obydwu solach, aczkolwiek rezonansowe widma soli  $\text{ET}_2\text{Re}_2\text{Br}_6\text{CH}_3\text{COO}$  zawierają mniej tonów kombinacyjnych i nadtonów co sugeruje, że w przypadku anionu  $\text{Re}_2\text{Br}_6\text{CH}_3\text{COO}^-$  linia 633 nm jest dalej od warunków rezonansu niż dla anionu  $\text{Re}_2\text{Cl}_8^{2-}$ .

Rys. 1. Widma Ramana soli  $\text{ET}_2\text{Re}_2\text{Cl}_8$ .

- [1] C. J. Kepert, M. Kurmoo, P. Day, *Inorg. Chem.* **36**, 1128 (1997).  
[2] M. Fettoui, L. Ouahab, A. Perrin, D. Grandjean, J. M. Fabre, *Acta Crystallogr.* **C47**, 2457 (1991).  
[3] E. W. Reinheimer, J. R. Galán-Mascarós, C. J. Gómez-García, H. Zhao, M. Fourmigué, K. R. Dunbar, *J. Mol. Struct.* **890**, 81 (2008).  
[4] A. A. Golichenko, A. V. Kravchenko, I. V. Omelchenko, D. M. Chudak, V. A. Starodub, B. Barszcz, A. V. Shtemenko, *Acta Crystallogr.* **E72**, 712 (2016).

## Wpływ podstawników bocznych na stopień uporządkowania półprzewodnikowych polimerów skoniugowanych

M. Borkowski<sup>1,3</sup>, E. Smarsly<sup>2</sup>, F. Hinkel<sup>2</sup>, U. Bunz<sup>2</sup>,  
T. Marszałek<sup>2,3</sup>, W. Pisula<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny,  
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Polska, borkowski@mpip-mainz.mpg.de

<sup>2</sup>Organisch-Chemisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg,  
69120, Heidelberg, Niemcy

<sup>3</sup>Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10, 55128 Mainz, Niemcy

Zdolność cząsteczek do samoorganizacji jest cechą determinującą właściwości elektryczne polimerów skoniugowanych. Wpływ na stopień i rodzaj uporządkowania makrocząsteczek mają nie tylko sposób i warunki depozycji danego materiału, ale przede wszystkim struktura chemiczna rdzenia głównego, a ostatnio także coraz częściej mówi się o roli bocznych grup funkcyjnych. Niewielkie zmiany długości, topologii lub funkcyjność podstawnika bocznego mogą zarówno zmienić rodzaj uporządkowania (z ang. edge-on na face-on i odwrotnie), poprawić stopień krystaliczności warstwy, lub całkowicie go pozbawić[1].

Ze względu na relatywnie wysoką foto- i termostabilność oraz powinowactwo do tworzenia uporządkowanych struktur fibrylarnych [2,3] systemy PPE – (z ang. *poly(phenylene ethynylene)*) – (Rys. 1) są z powodzeniem stosowane w organicznych tranzystorach polowych, fototranzystorach [2,4] o potencjalnych zastosowaniach sensorycznych, a ich pochodne w organicznych diodach elektroluminescencyjnych[5]. W niniejszej pracy

przeprowadzono analizę wpływu rodzaju grup funkcyjnych na uporządkowanie łańcucha polimerowego na przykładzie dziewięciu pochodnych PPE. Analizy dokonano na podstawie badań dyfrakcji promieni Roentgena techniką 2DWAXS oraz GIWAXS z uwzględnieniem właściwości termicznych badanych materiałów. Zdolność tworzenia wysoce uporządkowanych struktur fibrylarnych została potwierdzona poprzez badania morfologii powierzchni cienkich warstw wytworzonych techniką zanurzania.

**Rys. 1.** a) Wzór strukturalny polimeru PPE z poniżej przedstawionymi podstawnikami bocznymi, b) dyfraktogram 2D WAXS dla żyłki wytworzonej z PPE z bocznym łańcuchem dodecyloyowym - R<sub>4</sub>, c) dyfraktogram 2D WAXS dla żyłki wytworzonej z PPE z bocznym łańcuchem dodecyloxyloyowym - R<sub>3</sub>.

Praca została wykonana w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki: 2013/08/M/ST5/00914 oraz środków MNiSW 8862/E-370/S/2016.

- [1] T. Marszałek, et al., Chem. Commun. DOI: 10.1039/C6CC04523E (2016).  
[2] H. Dong, et al., J. Phys. Chem. C **112**, 19690 (2008).  
[3] D. Perahia, et al., Macromol. **34**, 151 (2001).  
[4] H. Dong, et al., J. Am. Chem. Soc. **131**, 17351 (2009).  
[5] O. Özdemir, et al., Org. Lig. Emitt. Mat. Dev. DOI: 10.1117/12.2022583 (2013).

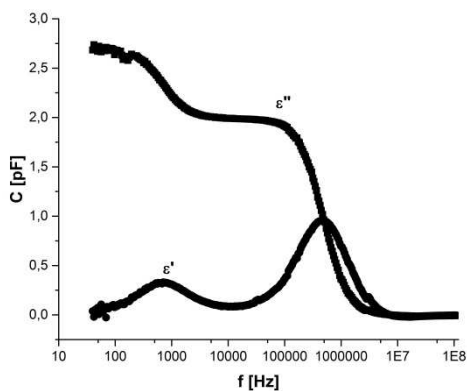
## Badania dielektryczne cienkich warstw polimerowych

A. Dłubacz, K. Awsiuk, J. Rysz, M. Marzec

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński, Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków,  
anna.dlubacz@doctoral.uj.edu.pl*

Ze względu na różnorodność właściwości, polimery z grupy polivinylopirydyny (PVP), włączając w to w szczególności poli(4-vinyl pirydinę) (P4VP), są odpowiednie do wielu zastosowań. Mikrozele polimerowe składające się z poli(N-isopropylakrylamidu) (PNIPAM) mają swoje zastosowanie m.in w biomedycynie [1], natomiast P4VP ma szerokie zastosowanie m.in w produkcji wyrobów powłok antybakteryjnych [2] czy pH-czułych układów reagujących na zmiany lokalne środowiska. Powłoki na bazie P4VP zostały zastosowane do hamowania korozji oraz w czujnikach wilgotności. Właściwości pH czułe P4VP zostały już dokładnie przebadane i opisane, natomiast właściwości termo-czułe wciąż nie są w pełni zbadane.

Celem przeprowadzonych badań było poznanie właściwości cienkich warstw termo-czułych polimerów: poli(N-isopropylakrylamidu) (PNIPAM) oraz poli(4-vinyl pirydyny) (P4VP) metodą spektroskopii dielektrycznej [3-5] w funkcji temperatury. Warunki do prowadzenia tego typu badań muszą być stabilne chemicznie i termicznie ponieważ badane materiały są bardzo czułe na zmiany warunków zewnętrznych takich jak pH, temperatura, pole



Rys. 1. Widmo dielektryczne zarejestrowane dla polimeru P4VP, pole mierzące 100mV.

elektryczne i magnetyczne, itp. Dolna krytyczna temperatura rozpuszczania LCST dla PNIPAM wynosi 32°C natomiast dla P4VP 13-14°C [6]. Proces przejścia temperaturowego obydwu polimerów jest uzależniony od wilgotności, ponieważ cząsteczki wody są wiązane przez łańcuchy polimerowe [6]. W ramach badań rejestrowano widma dielektryczne zarówno przed jak i po przejściu konformacyjnym z fazy hydrofilowej do hydrofobowej, które wykazywał dany polimer. Przykładowe widmo dielektryczne zaprezentowano na rysunku 1.

- [1] Y. Guan, Y. Zhang, *Soft Matter* **7**, 6375 (2011).
- [2] J. C. Tiller, S. B. Lee, et. al, *Biotechnol. Bioeng.* **79**, 465 (2002).
- [3] M. Kechadi, L. Chaal, et. al, *J. Electroanal. Chem.* **737**, 108 (2015).
- [4] S. Bistac, J. Schultz, *Int. J. Adhes. Adhes.* **17**, 197 (1997).
- [5] V. Raja, A. K. Sharma, et. al, *Mater. Lett.* **58**, 3242 (2004).
- [6] J. Raczowska, Y. Stetsyshyn, et al., w recenzji.

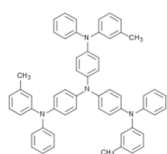
## Wyznaczanie szybkości rekombinacji końcowej nośników ładunku na podstawie analizy elektromodulowanej fotoluminescencji w organicznych układach molekularnych

K. Falkowski, W. Stampor, P. Grygiel

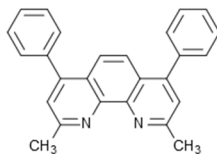
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechnika Gdańska  
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, kfalkowski@mif.pg.gda.pl

Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących przydatność organicznych układów molekularnych do budowy elementów optoelektronicznych jest szybkość rekombinacji końcowej nośników ładunku. W przedstawianej pracy szybkość tę wyznacza się analizując wyniki pomiarów wykonanych techniką elektromodulowanej fotoluminescencji. W metodzie tej pobudzona do świecenia próżniowo naporowana warstwa materiału organicznego o kanapkowej konfiguracji elektrod poddawana jest działaniu pola elektrycznego, którego amplituda modulowana jest przebiegiem sinusoidalnym. Mierzone jest natężenie luminescencji warstwy w funkcji wartości skutecznej natężenia pola.

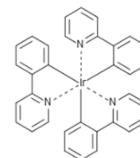
Badano szereg materiałów organicznych wykorzystywanych jako warstwy transportujące dziury (dendrymer aminowy - m-MTDATA, dwuamina - TAPC), warstwy transportujące elektrony (batokuproina - BCP, chinolinowy kompleks glinu - Alq<sub>3</sub>) oraz elektroluminescencyjne emitery światła (fenylopirydynowy kompleks irydu - Ir(ppy)<sub>3</sub>, kompleksy platyny i dipirydylobenzenu – FPtCl oraz materiał dwuskładnikowy m-MTDATA : BCP). Warto tutaj nadmienić, że badane materiały są dobrymi emiterami fluorescencyjnymi (m-MTDATA, TAPC, BCP, Alq<sub>3</sub>) oraz fosforescencyjnymi (Alq<sub>3</sub>, Ir(ppy)<sub>3</sub>, FPtCl). W wymienionych związkach w procesach generacji nośników ładunku biorą udział różne stany wzbudzenia elektronowego, to jest monomery singletowe (TAPC, m-MTDATA, BCP, Alq<sub>3</sub>) i trypletowe (Ir(ppy)<sub>3</sub>, FPtCl), ekscymery singletowe (TAPC) i trypletowe (FPtCl), dimery singletowe (BCP) oraz ekscypleksy singletowe (warstwy dwuskładnikowe m - MTDATA : BCP). Badane materiały pozwoliły określić stosowność modeli fotogeneracji nośników ładunku: z wykorzystaniem formalizmu teorii Onsagera [1] (ośrodek ciągły) oraz modelu separacji nośników w sieci dyskretnej z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo [2].



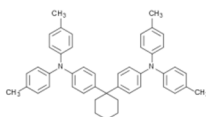
m-MTDATA



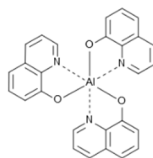
BCP



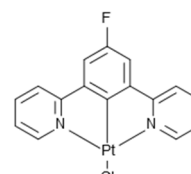
Ir(ppy)<sub>3</sub>



TAPC



Alq<sub>3</sub>



FPtCl

[1] K. Falkowski, W. Stampor, P. Grygiel, W. Tomaszewicz, Chem. Phys. **392**, 122 (2012).

[2] W. Tomaszewicz, K. Falkowski, W. Stampor, P. Grygiel, J. Non-Crys. Sol. **387**, 128 (2014).

## Wielopierścieniowe pochodne karbazolu i ich wykorzystanie w diodach elektroluminescencyjnych

K. Ivaniuk<sup>1</sup>, V. Cherpak<sup>1</sup>, P. Stakhira<sup>1</sup>, Z. Hotra<sup>1,2</sup>, B. Minaev<sup>3</sup>, G. Baryshnikov<sup>3,4</sup>,  
E. Stromylo<sup>3</sup>, D. Volyniuk<sup>5</sup>, J. V. Grazulevicius<sup>5</sup>, A. Lazauskas<sup>6</sup>, S. Tamulevicius<sup>6</sup>,  
B. Witulski<sup>7</sup>, M. E. Light<sup>8</sup>, P. Gawrys<sup>8</sup>, R. J. Whitby<sup>8</sup>, A. Al-Muhammad<sup>8</sup>,  
G. Wiosna-Sałyga<sup>9</sup>, Beata Łuszczynska<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera 12, 79013 Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Rzeszów University of Technology, Wincentego Pola 2, Rzeszów 35-959, Poland

<sup>3</sup> Bohdan Khmelnytsky National University, Shevchenko 81, 18031 Cherkassy, Ukraine

<sup>4</sup> Division of Theoretical Chemistry and Biology, School of Biotechnology, KTH Royal  
Institute of Technology, 10691 Stockholm, Sweden

<sup>5</sup> Department of Polymer Chemistry and Technology, Kaunas University of Technology,  
Radvilenu Plentas 19, LT-50254 Kaunas, Lithuania

<sup>6</sup> Institute of Materials Science, Kaunas University of Technology, Baršausko Street 59,  
LT-51423 Kaunas, Lithuania

<sup>7</sup> Laboratoire de Chimie Moléculaire et Thioorganique, UMR 6507 CNRS, ENSICAEN,  
University of Caen, 6 Boulevard du Marechal Juin, 14050 Caen, France

<sup>8</sup> Chemistry, University of Southampton, Southampton, Hampshire, SO17 1BJ, U.K.,  
pgawrys@ifpan.edu.pl

<sup>9</sup> Department of Molecular Physics, Lodz University of Technology, Zeromskiego Street 116,  
90-924 Lodz, Poland

Zsyntezowano poliaromatyczne pochodne karbazolu, które charakteryzują się dobrą rozpuszczalnością i stabilnością termiczną. Pomimo rozbudowanego systemu aromatycznego te półprzewodniki posiadają bardzo szeroką przerwę energetyczną oraz głęboki poziom HOMO [1-3].

Związki te charakteryzują się silną absorpcją w zakresie nadfioletu i znikomą w świetle widzialnym. W roztworze obserwuje się fluorescencję o niebieskim kolorze z wysokimi wydajnościami kwantowymi. W ciele stałym, natomiast, obserwujemy zmianę koloru fluorescencji w wyniku agregowania się cząsteczek. Wykazując obiecujące właściwości, badane pochodne zostały wykorzystane do skonstruowania diod elektroluminescencyjnych o kolorze błękitnym lub białym.

[1] K. Ivaniuk, V. Cherpak, P. Stakhira, Z. Hotra, B. F. Minaev, G. V. Baryshnikov, E. Stromylo, D. Volyniuk, J. V. Grazulevicius, A. Lazauskas, S. Tamulevicius, B. Witulski, M. E. Light, P. Gawrys, R. J. Whitby, G. Wiosna-Sałyga, B. Łuszczynska, *J. Phys. Chem. C* **120**, 6206 (2016).

[2] G. V. Baryshnikov, P. Gawrys, K. Ivaniuk, B. Witulski, R. J. Whitby, A. Al-Muhammad, B. Minaev, V. Cherpak, P. Stakhira, D. Volyniuk, G. Wiosna-Sałyga, B. Łuszczynska, A. Lazauskas, S. Tamulevicius, J. V. Grazulevicius, *J. Mater. Chem. C* **4**, 5795 (2016).

[3] H. Srour, T.-H. Doan, E. Silva, R. J. Whitby, B. Witulski, *J. Mater. Chem. C* **4**, 6270 (2016).

## **Badanie właściwości strukturalnych oraz elektrycznych związków o strukturze perowskitu $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ oraz $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$**

D. Głowienka<sup>1</sup>, T. Miruszewski<sup>2</sup>, B. Kusz<sup>2</sup>, J. Szmytkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych  
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
dglowienka@mif.pg.gda.pl*

<sup>2</sup>*Katedra Fizyki Ciała Stałego  
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk*

W ostatnich latach gwałtownie wzrosło zainteresowanie układami o strukturze perowskitu typu  $\text{MAPbX}_3$ , gdzie X jest jonem halogenkowym. Jest to podyktowane stosunkowo dużą wydajnością ogniw słonecznych, których składnikami są owe związki [1]. Niestety głównym problemem przy ich zastosowaniu w fotowoltaice jest ich niestabilność [2].

Przedmiotem badań są dwa związki o strukturze perowskitu:  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  oraz  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ . Przeprowadzono niskotemperaturową syntezę oraz zbadano właściwości strukturalne otrzymanych związków. Skład fazowy oraz strukturę krystalograficzną określono przy użyciu dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD). Morfologię powierzchni cienkich warstw otrzymanych materiałów zobrazowano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i mikroskopii sił atomowych (AFM). Celem tej części badań jest analiza stabilności strukturalnej obu perowskitów w atmosferze powietrza.

W niniejszym komunikacie zostaną również zaprezentowane zależności temperaturowe parcjalnych przewodności elektrycznych. Zaproponowany zostanie model wyjaśniający mechanizm transportu ładunku elektrycznego w materiałach o strukturze  $\text{MAPbX}_3$ .

[1] S. D. Stranks, H. J. Snaith, Nat. Nanotechnol. **10**, 391 (2015).

[2] G. Niu, X. Guo, L. Wang, J. Mater. Chem. A **3**, 8970 (2015).

## Optyczna charakteryzacja fotoogniów z perowskitową warstwą aktywną

E. Gondek

*Instytut Fizyki, Politechnika Krakowska, ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków,  
egondek@pk.edu.pl*

Chociaż powszechnie dostępne są już dojrzałe systemy fotowolaltyczne oparte na półprzewodnikach nieorganicznych, to nadal są intensywnie badane w licznych laboratoriach nowe rozwiązania oparte na półprzewodnikach organicznych [1,2]. Ważnymi zaletami fotoowltaiiki organicznej są potencjalnie niskie koszty wytwarzania fotoogniów organicznych oraz możliwość używania elastycznych podłoży. Niskie koszty wytwarzania są efektem stosowania niskotemperaturowych procesów technologicznych i bardzo wydajnych metod nanoszenia poszczególnych warstw struktury fotowoltaicznej. W technologiach fotowoltaiki organicznej większość warstw nanoszonych jest z roztworów. O atrakcyjności opracowanych rozwiązań struktur fotowoltaicznych decyduje stosunek właściwości użytkowych do ceny a najważniejszym parametrem mającym wpływ na ten stosunek jest niewątpliwie sprawność.

Sprawność komórki fotowoltaicznej jest pochodną zastosowanych materiałów, architektury komórki fotoowltaiicznej oraz optymalizacji jej struktury [2]. Do niedawna największa sprawność wśród organicznych komórek fotowoltaicznych przypisana była barwnikowym komórkom fotowoltaicznym [3]. Sytuacja ta uległa jednak zmianie z chwilą zastosowania w warstwie aktywnej perowskitów [4,5]. W bardzo krótkim czasie sprawność perowskitowych komórek fotowoltaicznych przekroczyła poziom 20 % [5]. Osiągnięcie wysokiej sprawności wymaga zastosowania właściwego materiału na warstwę aktywną oraz optymalizacji grubości poszczególnych warstw składowych komórki fotowoltaicznej [2,6-8]. W prezentowanej pracy przedstawione zostaną wyniki analizy optycznej fotokomórek fotowoltaicznych z perowskitową warstwą aktywną. Analiza przeprowadzona została z zastosowaniem w pełni zespolonego formalizmu macierzy  $2 \times 2$ . Zastosowany formalizm jest bardzo skutecznym narzędziem optycznej analizy układów wielowarstwowych [2,6-8]. W analizie uwzględniono zespolone współczynniki załamania poszczególnych warstw składowych. Przedstawione zostaną rozkłady pól elektromagnetycznych wewnątrz struktury oraz rozkłady gęstości wzbudzanych w strukturze ekscytonów przy prostopadłym i ukośnym oświetleniu struktury. Pokazane zostaną charakterystyki wpływu grubości warstwy aktywnej oraz pozostałych warstw na gęstości powierzchniowe wzbudzanych ekscytonów.

[1] F. H. Al Harbi, et al., *Renew. Sust. Energ. Rev.* **43**, 1073 (2015).

[2] G. Li, L. Liu, F. Wei, S. Xia, X. Qian, *IEEE J. Photovolt.* **2**(3), 320 (2012).

[3] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, E. D. Dunlop, *Prog. Photovolt: Res. Appl.* **24**, 3 (2016).

[4] T. C. Sum, S. Chen, G. Xing, X. Liu, B. Wu, *Nanotechnology* **26**, 342001 (2015).

[5] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Best\\_Research-Cell\\_Efficiencis.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Best_Research-Cell_Efficiencis.png).

[6] E. Gondek, *Opto-Electron. Rev.*, **22** (2), 77 (2014).

[7] E. Gondek, *Opt. Mater.* **36** (1), 98 (2014).

[8] E. Gondek *et al.*, *J Mater Sci: Mater Electron* **24**, 2934 (2013).

## Kompleksy melaminy z kwasem kwadratowym o składzie 2:1 z udziałem wody

J. Nowicka - Scheibe<sup>a</sup>, A. Pawlukojc<sup>b,c</sup>, L. Sobczyk<sup>d</sup>, J. Jański<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Al. Piastów 42, 71-065 Szczecin

<sup>b</sup> Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Dorodna 16 str., 03-195 Warszawa

<sup>c</sup> Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia

<sup>d</sup> Wydział Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego, F. Joliot-Curie 14, 50-383 Wrocław  
jerzy.janski@chem.uni.wroc.pl

Prezentujemy właściwości strukturalne i dynamiczne krystalicznego dihydratu kompleksu melaminy (2,4,6-triamino-1,3,5-triazyn-1-ium) z kwasem kwadratowym (3,4-dihydroxycyclobut 3-eno-1,2-dion) w skrócie MH · SQ. Analiza dyfrakcji rentgenowskiej wykazuje obecność jednostek deprotonowanych  $(C_4O_4)_2$  i pojedynczo protonowanych kationów melaminy z tetramerami wody  $(H_2O)_4$  są połączone ze sobą wzajemnie przez wiązania wodorowe: (i)  $NH + \cdots O - O$  i  $NH \cdots$  z udziałem grup aminowych i aniony  $(C_4O_4)_2$  (ii)  $N-H \cdots N$  i  $O-H \cdots O$  albo z udziałem cząsteczek wody, albo pomiędzy cząsteczkami melaminy. Występujące tetramery wody zasługują na szczególną uwagę. Widma absorpcji IR i Ramana odzwierciedlają bogactwo jednostek strukturalnych i licznych wiązań wodorowych. Obliczenia teorii funkcjonałów gęstości z periodycznych warunków brzegowych wykorzystano do precyzyjnej analizy danych eksperymentalnych.

Obecne w widmie w podczerwieni continua oraz o charakterystycznej obecności liczne trio Hadziego submaxima mogą być przypisane do jednostek strukturalnych i do różnych typów wiązań wodorowych.



## Warstwy Langmuira-Schaefera jednościennych nanorożków węglowych

K. Kędziński<sup>1</sup>, K. Rytel<sup>1</sup>, Ł. Majchrzycki<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institut Fizyki, Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska  
kamil.kedzierski@put.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Wielkopolskie Centrum Zaawansowanych technologii*

Jednościenne nanorożki węglowe (SWCNH) to nanostruktury węglowe w postaci rurek jednostronnie zakończonych stożkami. W zależności od sposobu syntezy ich średnice wahają się pomiędzy 2-3 nm a długości nie przekraczają 50 nm. SWCNH wykazują silną skłonność do agregacji a kształt agregatów jest zdeterminowany warunkami syntezy. Nanostruktury te cechują się bardzo dużą powierzchnią właściwą oraz stosunkowo dobrą stabilnością zawiesin w rozpuszczalnikach organicznych. Ze względu na dużą porowatość agregaty SWCNH mogą znaleźć zastosowanie jako absorbery i czujniki gazów [1] a w połączeniu z niską toksycznością [2] mogą być wykorzystane jako nośniki leków. Natomiast wysoka aktywność katalityczna pozwala na zastosowanie nanorożków węglowych w ogniwach paliwowych [3] czy barwnikowych ogniwach fotowoltaicznych [4].

W ramach niniejszej pracy wykonano warstwy Langmuira jednościennych nanorożków węglowych, które przeniesiono na podłoża stałe metodą Schaefera. Jednorodność pokrycia określono przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz laserowej skaningowej mikroskopii konfokalnej (LSM). Zbadano także właściwości elektryczne i elektrochemiczne uzyskanych warstw za pomocą spektroskopii impedancyjnej oraz rejestracji charakterystyk prądowo napięciowych.

[1] J. Suehiro, N. Sanob, G. Zhoua, H. Imakiire, K. Imasakaa, M. Hara, J. Electrostat. **64**, 408 (2006).

[2] J. Miyawaki, M. Yudasaka, T. Azami, Y. Kubo, S. Iijima, ACS Nano **2** (2), 213 (2008).

[3] D. M. Gattia, M. V. Antisari, L. Giorgi, R. Marazzi, E. Piscopiello, A. Montonea, S. Bellittoc, S. Licocciac, E. Traversa, J. Power Sources **194**, 243 (2009).

[4] F. Lodermeier, M. Prato, R. D. Costa, D. M. Guldi, Nanoscale **8**, 7556 (2016).

## Magnetomodulacja elektroluminescencji organicznej diody ekscypleksowej z emiterem dendrymer aminowy: pochodna oksadiazolu (m-MTDATA:PBD)

M. Klein<sup>1,2</sup>, S. Majumdar<sup>3</sup>, W. Stampor<sup>1</sup>

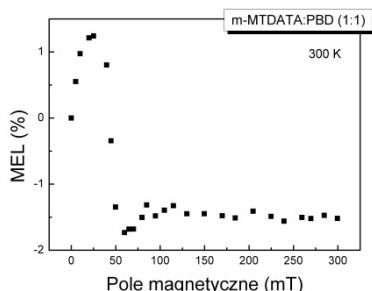
<sup>1</sup>Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Politechnika Gdańska, mklein@mif.pg.gda.pl

<sup>2</sup>Ośrodek Techniki Plazmowej i Laserowej, IMP PAN Gdańsk

<sup>3</sup>Aalto University School of Science, Finlandia

Jednym ze sposobów na otrzymanie barwy białej we współczesnych organicznych źródłach światła białego jest zastosowanie emiterów ekscypleksowych. Układ mieszany typu dendrymer aminowy : pochodna oksadiazolu (m-MTDATA:PBD) wykazuje silną emisję ekscypleksową w zakresie światła zielonego [1]. Układ ten charakteryzuje się stosunkowo niskim rozszczepieniem singlet-tryplet w stanie typu *charge transfer* (CT)  $\Delta E_{S-T}$  od 5 do 50 meV [2-3] ale jednocześnie dużym prawdopodobieństwem zaniku promienistego. W związku z tym już energia termiczna w temperaturze pokojowej jest wystarczająca do uaktywnienia procesu opóźnionej fluorescencji (TADF) pozwalając na uzyskanie 100% wewnętrznej wydajności kwantowej elektroluminescencji [3].

W pracy przedstawione zostaną wyniki magnetomodulacji elektroluminescencji [4] dla organicznej diody ekscypleksowej m-MTDATA:PBD. Diody elektroluminescencyjne zostały przygotowane w kontrolowanej atmosferze o zawartości tlenu i wilgoci poniżej 1 ppm. Badania zostały przeprowadzone w temperaturze 300 oraz 250 K. Dla magnetomodulacji elektroluminescencji efekt dodatni (w zakresie pola magnetycznego o indukcji do kilkunastu mT) związany jest z magnetomodulacją oddziaływań nadsubtelnych (mechanizm EHP) natomiast efekt ujemny, w wyższych polach magnetycznych (do 100 mT), związany jest z magnetomodulacją oddziaływań subtelnych: rozpraszaniem stanów trypletowych na nośnikach ładunku lub anihilacją tryplet-tryplet.



Rys. 1. Wpływ zewnętrznego pola magnetycznego na elektroluminescencję ekscypleksowej diody organicznej z emiterem: m-MTDATA:PBD w temperaturze 300 K.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2013-2016 jako projekt badawczy w ramach programu pod nazwą „Diamentowy Grant” 0228/DIA/2013/42.

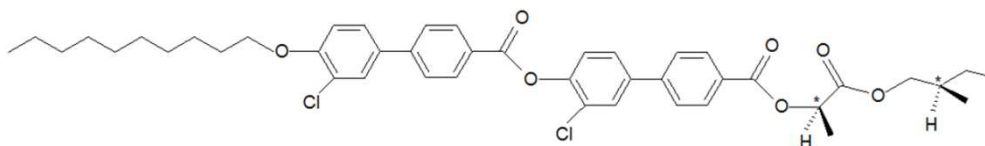
- [1] M. Cocchi, D. Virgili, G. Giro, V. Fattori, P. Di Marco, J. Kalinowski, Y. Shirota, Appl. Phys. Lett. **80**, 2401 (2002).
- [2] K. Goushi, K. Yoshida, K. Sato, C. Adachi, Nat. Photonics **6**, 253 (2012).
- [3] D. Graves, V. Jankus, F. B. Dias, A. Monkman, Adv. Func. Mat. **24** (16), 2343 (2013).
- [4] J. Kalinowski, M. Cocchi, D. Virgili, P. Di Marco, Chem. Phys. Lett. **380**, 710 (2003).

## Dynamika molekularna w wybranych fazach ciekłoekrystalicznych (BP, TGBA, TGBC, SmC\*) badana metodami NMR

M. Knapkiewicz, A. Rachocki, J. Tritt-Goc

*Instytut Fizyki Molekularnej PAN Poznań  
knapkiewicz@ifmpan.poznan.pl*

Jądrowy Rezonans Magnetyczny (NMR) nie jest pojedynczą techniką badawczą, a rodziną metod obejmujących spektroskopię, relaksometrię i dyfuzometrię NMR. Dzięki tak szerokiemu spektrum pomiarowemu możliwe jest badanie między innymi złożonych ruchów molekularnych w szerokim zakresie częstotliwości. Wykorzystując możliwości NMR przebadano termotropowy ciekły kryształ z dwoma centrami chiralności (Rys. 1) posiadający fazy sfrustrowane TGBA i TGBC w szerokim zakresie temperaturowym. Materiał ten został zsyntezowany w Instytucie Fizyki Czeskiej Akademii Nauk. Ciekłe kryształy nadal są intensywnie badane, głównie z uwagi na ich unikatowe właściwości fizyczne, dzięki którym układy te można wykorzystywać między innymi do wytwarzania sztucznych mięśni, hologramów, czy ogniw słonecznych.



Rys. 1. Struktura chemiczna badanego ciekłego kryształu (8BBL) [1].

Pomiary  $^1\text{H}$  NMR wykonano posługując się głównie techniką *fast field cycling* (FFC). Technika ta pozwala na obserwację zmiany kinetyki procesów relaksacji w układzie spinów jądrowych w funkcji pola magnetycznego. W efekcie możliwe staje się wyznaczenie w różnych temperaturach tzw. *profilu relaksacji spin-sieć*, które swym kształtem odzwierciedlają przebiegi *gęstości spektralnych*, a więc wielkości charakteryzujących stochastyczne ruchy molekularne w funkcji częstotliwości. Analiza uzyskanych wyników eksperymentalnych, w oparciu o dostępne modele teoretyczne, pozwoliła na wyznaczenie parametrów dynamicznych (czasów korelacji) molekuł ciekłoekrystalicznych w poszczególnych mezofazach.

[1] M. Kaspar, V. Novotna, M. Glogarova, R. Hamplova, D. Pociecha, *Liq. Cryst.* **37** (2), 129 (2010).

## Właściwości fizykochemiczne i fotochromowe funkcjonalizowanych poliamidoimidów azobenzenowych

A. Kozanecka-Szmigiel<sup>1</sup>, J. Konieczkowska<sup>2</sup>, D. Szmigiel<sup>3</sup>, J. Antonowicz<sup>1</sup>,  
E. Schab-Balcerzak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa  
annak@if.pw.edu.pl*

<sup>2</sup>*Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN ul. M. Curie-Skłodowskiej 34,  
41-819 Zabrze*

<sup>3</sup>*Instytut Technologii Elektronowej, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa*

W pracy przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości fizykochemicznych oraz fotochromowych serii funkcjonalizowanych pochodnymi azobenzenu poliamidoimidów, o dużym potencjale aplikacyjnym w fotonice [1,2]. Badania miały na celu znalezienie związków pomiędzy budową chemiczną polimerów, a ich istotnie różną odpowiedzią optyczną, wywołaną światłem spolaryzowanym, jako wynik procesów izomeryzacji *trans-cis-trans* ugrupowań azobenzenowych. Badane poliamidoimidy zawierały w swojej strukturze azochromofory bezpośrednio dołączone do łańcucha makrocząsteczki, występujące w ilości jeden lub dwa na mer, pomiędzy grupami imidowymi lub/i grupami amidowymi. Właściwości fotochromowe warstw polimerowych na podłożach szklanych charakteryzowano przeprowadzając pomiary fotoindukowanej dwójłomności dla światła o długości fali 405 nm. Duże wartości wygenerowanej dwójłomności, rzędu 0.02 i 0.05, zaobserwowano odpowiednio dla polimerów, posiadających chromofory położone wyłącznie między grupami amidowymi i dla polimerów z dwoma chromoforami w jednostce powtarzalnej. Zerową odpowiedź optyczną zarejestrowano dla polimerów z azochromoforami umieszczonymi pomiędzy grupami imidowymi. Różnice w wydajności procesów izomeryzacji ugrupowań azobenzenowych skorelowano z występowaniem międzyłańcuchowych wiązań wodorowych, co potwierdzono analizą FTIR [3].

[1] S. Hvilsted, C. Sanchez, R. Alcalá J. Mater. Chem. **19**, 6641 (2009).

[2] O. Yaroshchuk, Y. Reznikov J. Mater. Chem. **22**, 286 (2012).

[3] A. Kozanecka-Szmigiel, J. Konieczkowska, K. Switkowski, J. Antonowicz, B. Trzebicka, D. Szmigiel, E. Schab-Balcerzak, J. Photochem. Photobiol. A **318**, 114 (2016).

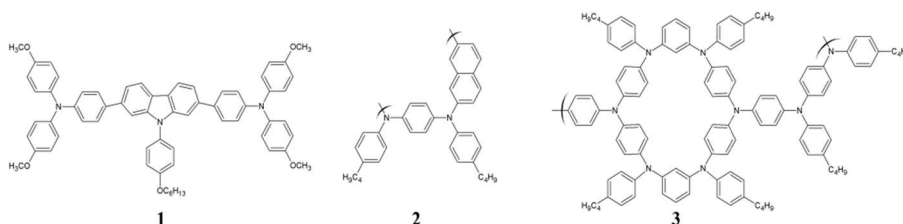
## Synteza i charakterystyka pochodnych aryloaminowych zawierających sztywne segmenty strukturalne do zastosowań w elektronice organicznej i spintronice

P. Kurzep, Ł. Skórka, I. Kulszewicz-Bajer

Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, Katedra Chemii i Technologii Polimerów,  
ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa  
p.kurzep@gmail.com

Obecnie znanych jest wiele półprzewodników organicznych wykorzystywanych w diodach elektroluminescencyjnych, ogniwach fotowoltaicznych lub tranzystorach polowych [1]. Natomiast stosunkowo nową dziedziną nauki, stwarzającą możliwość wykorzystania półprzewodników organicznych, jest spintronika [2]. Substancje stosowane w spintronice powinny tworzyć stabilne chemicznie oraz termicznie rodniki lub jonorodniki, które bezpośrednio wpływają na właściwości magnetyczne danej cząsteczki [3]. Obecnie dąży się do otrzymywania struktur o jak największej multipletowości – struktur wysokospinowych [4].

Prezentowana praca przedstawia syntezę oraz badania związków zawierających karbazol (**1**), naftalen (**2**) oraz heksaazacyklofan (**3**) jako sztywne elementy struktury.



Rys.1 Struktury związków zawierających karbazol – **1**, naftalen – **2**, oraz heksaazacyklofan – **3** jako sztywne elementy struktury.

Powyższe związki otrzymano dzięki wykorzystaniu reakcji sprzęgania typu Buchwalda-Hartwig, Ullmanna lub Suzuki, co umożliwiło otrzymanie pochodnych o ściśle zdefiniowanej strukturze. Wszystkie z przedstawionych związków zostały utlenione do kationorodników, których stabilność potwierdzono metodą spektroskopii UV-vis-NIR oraz woltamperometrii cyklicznej. W przypadku polimeru **2** oddziaływanie między powstałymi spinami badano przy użyciu spektroskopii EPR, uzyskując spin  $S=5/2$ . Związek **1** wykazywał ponadto interesujące właściwości optyczne. Przeprowadzono badania widm absorpcji oraz emisji, określono czas życia emisji oraz wydajność kwantową.

Praca finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2015/17/B/ST4/000179.

[1] P. Bujak, I. Kulszewicz-Bajer, M. Zagorska, V. Maurel, I. Wielgus, A. Proń, Chem. Soc. Rev. **42**, 8895 (2013).

[2] F. Pulizzi, Nat. Mater. **11**, 367 (2012).

[3] H. Fukutome, A. Takahashi, M. Ozaki, Chem. Phys. Lett. **133**, 34 (1987).

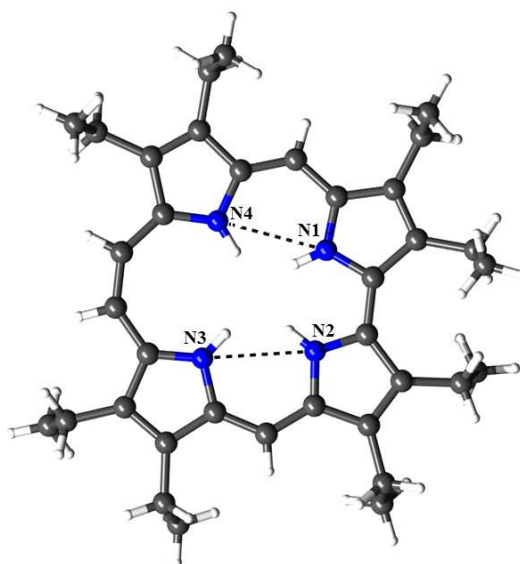
[4] J. B. Torrance, S. Oostra, A. Nazzal, Synth. Met. **19**, 709 (1986).

## 2,3,6,7,11,12,17,18-oktaetylokorficen – tautomery *trans*

B. Leśniewska, A. Gorski, G. Orzanowska, J. Waluk

*Instytut Chemii Fizycznej PAN Warszawa*  
*blesniewska@ichf.edu.pl*

Na podstawie obliczeń teoretycznych, pomiarów spektroskopowych w podczerwieni oraz wyznaczonych w temperaturach 100 i 293K struktur krystalicznych 2,3,6,7,11,12,17,18-oktaetylokorficenu stwierdzono, że zarówno w roztworze jaki i w ciele stałym wewnętrzne protony 2,3,6,7,11,12,17,18-oktaetylokorficenu znajdują się w dwóch uśrednionych pozycjach *trans* [1] (Rys.1). W ten sposób skorygowano poprzednią pracę [2], która sugerowała położenie wewnętrznych protonów w konfiguracji *cis* przy atomach N1 i N2.



Rys. 1. Struktura krystaliczna 2,3,6,7,11,12,17,18-oktaetylokorficenu.

[1] A. Gorski, B. Leśniewska, G. Orzanowska, J. Waluk, J. Porphyrins Phthalocyanines, w druku (2016).

[2] J. L. Sessler, E. A. Brucker, S. J. Weghorn, M. Kisters, M. Schafer, J. Lex, E. Vogel, Angew. Chem.-Int. Edit. Engl. **33**, 2308 (1994).

## Elipsometryczne badania cienkich warstw ciekłokrystalicznych

G. Lewińska, W. Otowski, J. Sanetra

*Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki w Krakowie*  
*glewinska@pk.edu.pl*

Ciekłe kryształy są substancjami o szczególnych właściwościach (między innymi optycznych) i szerokich zastosowaniach. Substancje ciekłokrystaliczne, które badaliśmy, wykazują unikalne sekwencje przejść fazowych. Głównym zadaniem było wyznaczenie parametrów optycznych cienkich warstw dwóch ciekłych kryształów 5CB -cyjano-4'-pentylobifenyłu oraz (4-(4'-oktylobifenylo) karboksylanu 4-(2-metylobutylo)fenolu) (8CE) metodą spektroskopii elipsometrycznej [1,2].

Pomiary parametrów optycznych zostały wykonane przy użyciu elipsometru Woollam Spectroscopic Ellipsometer (SE). Elipsometr jest wyposażony w przystawkę temperaturową, która umożliwiła analizowanie mezofaz substancji ciekłokrystalicznych. Dane były rejestrowane oraz opracowane przy użyciu oprogramowania kompatybilnego z elipsometrem.

Wyznaczone zostały zależności współczynnika załamania i ekstynkcji dla długości fal w zakresie od 300 do 1700 nm. Przeprowadzono również badania termooptyczne dla obu substancji. Uzyskane zostały również zależności dyspersyjne współczynnika załamania i współczynnika ekstynkcji w funkcji stałego pola elektrycznego.

[1] G. E. Jellison Jr., F. A. Modine Appl. Phys. Lett. **69**, 371 (1996).

[2] O. Arteaga, Thin Solid Films **579** (3), 584 (2013).

[3] V. Tkachenko, A. Marino, F. Vita, F. D'Amore, L. De Stefano, M. Malinconico, M. Rippa, G. Abbate, Eur. Phys. J. E **14** (2), 185 (2004).

[4] W. Otowski G. Lewińska, Acta Phys. Pol., A **124**, 5 (2014).

## Strukturalne i spektroskopowe badania przewodnika protonowego $(\text{ImH}_2)_2\text{SeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

S. Zięba<sup>1,2</sup>, A. Mizera<sup>1,2</sup>, K. Pogorzelec-Glaser<sup>1</sup>, A. Łapiński<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki Molekularnej PAN Poznań, lapinski@ifmpan.poznan.pl*

<sup>2</sup>*Wydział Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej Poznań*

Obiektem naszych badań jest uwodniony selenian imidazolu  $(\text{ImH}_2)_2\text{SeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , który należy do grupy przewodników protonowych. W powyższej pracy przedstawione zostaną wyniki badań strukturalnych oraz spektroskopowych. Zarejestrowane widma absorpcyjne i rozpraszania Ramana uzupełniono obliczeniami DFT drgań normalnych. Widma teoretyczne zostały uzyskane metodami chemii kwantowej dla neutralnych i zjonizowanych cząsteczek przy założeniu różnej symetrii badanych obiektów. Na przykład, aniony  $\text{SeO}_4^{2-}$  w strukturze wykazują dystorsję, co spowodowane jest oddziaływaniami z najbliższymi sąsiadami poprzez wiązania wodorowe. Obliczenia dla  $\text{SeO}_4^{2-}$  były wykonane dla wysokiej symetrii  $T_d$ , jak również po uwzględnieniu danych strukturalnych dla obniżonych symetrii np.  $C_{3v}$ ,  $C_1$ . W analizie spektroskopowej szczególną uwagę zwrócono na pasma związane z dynamiką wiązań wodorowych oraz na rozkład gęstości elektronowej w kryształach.

W strukturze krystalograficznej obserwuje się trójwymiarową sieć wiązań wodorowych, które utworzone są pomiędzy kationami imidazolu, cząsteczkami wody i anionami  $\text{SeO}_4^{2-}$ . Cząsteczki imidazolu w strukturze są płaskie, a długości wiązań w pierścieniu są typowe dla kationu. W celu potwierdzenia obecności jonów imidazolu w strukturze zestawiono widma eksperymentalne  $(\text{ImH}_2)_2\text{SeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  z teoretycznymi widmami dla neutralnej i zjonizowanej cząsteczki imidazolu. Stwierdzono brak charakterystycznych pasm dla formy neutralnej w widmie eksperymentalnym. Pomiędzy jonem imidazolu a cząsteczkami wody istnieją w strukturze silne wiązania wodorowe  $\text{N-H}\cdots\text{O}$ . Dla cząsteczek wody w strukturze krystalograficznej możemy stwierdzić, że kąt  $\text{H-O-H}$  wynosi  $111,9^\circ$ , co sugeruje możliwość występowania jonu hydroniowego; odpowiedni kąt dla  $\text{H}_3\text{O}^+$  wynosi  $113^\circ$ . Obecność w widmie pasm  $989, 607 \text{ cm}^{-1}$  dodatkowo potwierdza tezę, dotyczącą występowania jonu hydroniowego. Z danych strukturalnych wiemy, że w anionach  $\text{SeO}_4^{2-}$  występują dwa wiązania  $\text{Se-O}$  o długości  $1,629 \text{ \AA}$  oraz dwa o długości  $1,632 \text{ \AA}$ , z kolei kąty  $\text{O-Se-O}$  przyjmują wartości z przedziału od  $109,25^\circ$  do  $109,41^\circ$ . Obniżona symetria tetraedrów powoduje, że w widmie IR oraz Ramana obserwujemy odpowiednie rozszczepienie pasm:  $336$  i  $364 \text{ cm}^{-1}$  (mod  $\nu_2$ ),  $410$  i  $441 \text{ cm}^{-1}$  (mod  $\nu_4$ ),  $827$  i  $843 \text{ cm}^{-1}$  (mod  $\nu_1$ ) oraz  $899$  i  $914 \text{ cm}^{-1}$  (mod  $\nu_3$ ).

Na podstawie badań strukturalnych oraz spektroskopowych można było stwierdzić, że w układzie występują liniowe, silne wiązania wodorowe  $\text{N-H}\cdots\text{O}$  oraz  $\text{O-H}\cdots\text{O}$ . W widmie absorpcyjnym można zaobserwować trzy grupy pasm występujące w okolicy  $2800 \text{ cm}^{-1}$  (A),  $2600 \text{ cm}^{-1}$  (B) oraz  $1900 \text{ cm}^{-1}$  (C), których obecność wiąże się z występowaniem wiązań wodorowych  $\text{O-H}\cdots\text{O}$ . Pasma A związane jest z drganiem rozciągającym wiązania OH, pasmo B interpretuje się jako nadton drgania zginającego  $2\gamma(\text{OH})$  oraz pasmo C związane jest z drganiem kombinacyjnym drgania zginającego w płaszczyźnie  $\delta(\text{OH})$  oraz drgania zginającego poza płaszczyznę  $\gamma(\text{OH})$  wiązania wodorowego.



## Nanocząstki Ag-In-Zn-S, jako potencjalny materiał do zastosowań w hybrydowych ogniwach fotowoltaicznych

B. Łuszczynska<sup>1</sup>, P. Bujak<sup>2</sup>, G. Gąbka<sup>2</sup>, T. Kłęb<sup>1</sup>, B. G. R. Dupont<sup>1</sup>, J. Ulański<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, Katedra Fizyki Molekularnej,  
beata.luszczynska@p.lodz.pl*

<sup>2</sup>*Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, Katedra Chemii i Technologii Polimerów*

Nanocząstki są zazwyczaj syntezowane w formie koloidów i wykorzystywane do wytwarzania cienkich warstw metodami roztworowymi. To czyni je dobrymi kandydatami dla tanich technologii produkcji urządzeń optoelektronicznych opartych na druku strumieniowym lub sitodruku. Nanokryształy do zastosowań w optoelektronice są stabilizowane w roztworze poprzez pasywację powierzchni nanocząstek przy pomocy odpowiednio dobranych ligandów, które mogą wpływać na właściwości elektryczne nanokryształów [1,2]. Ponadto w czasie wymiany ligandów może dochodzić do adsorpcji tlenu na ich powierzchni prowadząc do zmiany charakteru przewodnictwa takich nanokryształów [3].

W naszych badaniach nad hybrydowymi ogniwami fotowoltaicznymi użyliśmy dwa rodzaje nanokryształów AgInZnS, które były stabilizowane pirydyną oraz butyloaminą. Rozmiar użytych nanokryształów był w zakresie 1,5-4 nm. Nanokryształy zostały zsyntezowane zgodnie z wcześniej opisaną procedurą syntezy [4].

Urządzenia zawierające nanokryształy stabilizowane pirydyną charakteryzowały się lepszymi parametrami pracy niż te stabilizowane butyloaminą. Ponadto badania fotoprzewodnictwa wykonane metodą kserograficzną pokazały, że charakter fotoprzewodnictwa w tych materiałach zależy od rodzaju ligandów stabilizujących nanokryształy.

### Podziękowania:

Autorzy dziękują Narodowemu Centrum Nauki za sfinansowanie badań w ramach projektu nr UMO-2013/09/B/ST5/03521.

[1] G. Sarasqueta, K. R. Choudhury, J. Subbiah, F. So, Chem. Mater. **22**, 3496 (2010).

[2] T. M. Inerbaev, A.E. Masunov, S.I. Khonodaker, A. Dobrinescu, A.-V. Plamada, Y. Kawazoe, J. Chem. Phys. **131** (1-6), 0044106 (2009).

[3] F. P. G. Arquer, T. Lasanta, M. Bernechea, G. Konstantatos, Small **11**, 2636 (2015).

[4] G. Gąbka, P. Bujak, K. Giedyk, A. Ostrowski, K. Malinowska, J. Herbich, B. Golec, I. Wielgus, A. Pron, Inorg. Chem. **53**, 5002 (2014).



## Barwniki dipirolonaftyrydynodiony

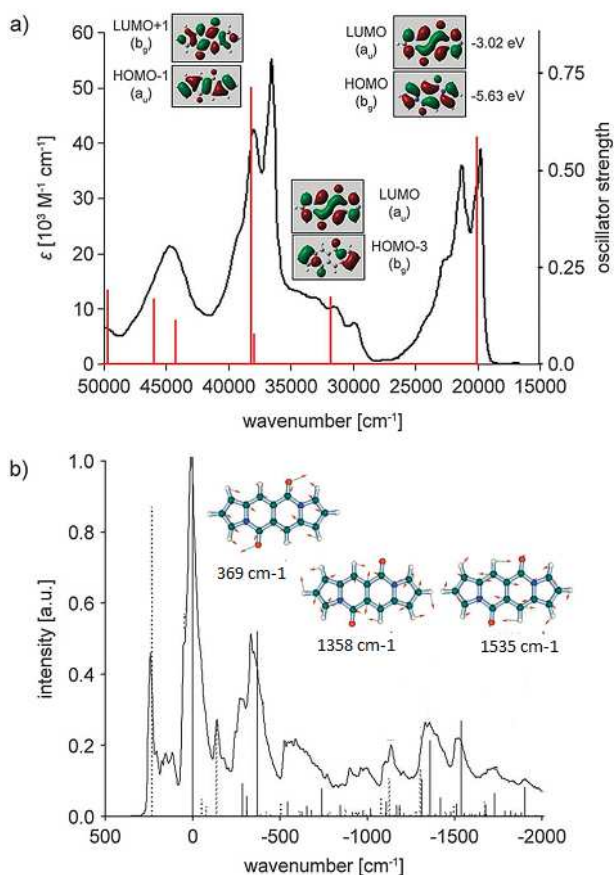
M. Grzybowski<sup>1</sup>, I. Deperasińska<sup>2</sup>, M. Chotkowski<sup>3</sup>, M. Banasiewicz<sup>2</sup>,  
A. Makarewicz<sup>2</sup>, B. Kozankiewicz<sup>2</sup>, D. Gryko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Chemii Organicznej PAN Warszawa,

<sup>2</sup> Instytut Fizyki PAN Warszawa,  
makarew@ifpan.edu.pl

<sup>3</sup> Wydział Chemii UW Warszawa

Czerwono-emisyjne barwniki oparte na nieznanym dotąd szkielecie dipirol[1,2-b:1',2'-g][2,6]naftyrydino-5,11-dionu (DPND) można łatwo zsyntetyzować z prostych i tanich reagentów. Staranny dobór podstawników daje dostęp do różnych pochodnych dipirolonaftyrydynodionu z intensywną fluorescencją w okolicach 520–740 nm.



Rys. 1. (a) Eksperymentalne widmo absorpcji DPND w n-heptanie w temperaturze pokojowej. Linie wertykalne wskazują obliczone energie przejścia oraz siły oscylatora. (b) Widmo fluorescencji DPND w n-nonanie w temperaturze 5 K. Długość fali wzbudzającej wynosi 455 nm.

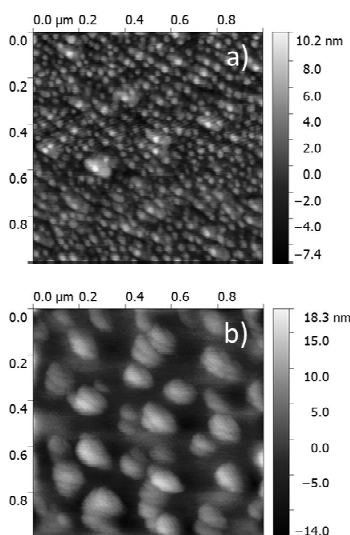
[1] M. Grzybowski, I. Deperasińska, M. Chotkowski, M. Banasiewicz, A. Makarewicz, B. Kozankiewicz, D. Gryko, Chem. Commun. **52**, 5108 (2016).

## Kontrola morfologii powierzchni elastycznych folii do zastosowań w optoelektronice organicznej

I. Krygier<sup>1,2</sup>, H. Makowska<sup>1,2</sup>, T. Marszałek<sup>2</sup>,  
W. Pisula<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny,  
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Polska, makowska@mpip-mainz.mpg.de

<sup>2</sup>Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10,  
55128 Mainz, Niemcy



Rys. 1. Obrazy z mikroskopu sił atomowych przedstawiające morfologię powierzchni folii polimerowych traktowanych plazmą tlenową a) 15s i b) 45s.

Elektronika organiczna, zwana często, choć niezbyt poprawnie „elektroniką plastikową”, jest coraz częściej rozpatrywana jako osobna gałąź nauki, a elementy elektroniki organicznej w wielu przypadkach mogą z powodzeniem zastąpić nieorganiczne układy. Bardzo ważnym z punktu widzenia zastosowań praktycznych, jest elastyczność tranzystorów polowych, co można zapewnić poprzez stosowanie folii polimerowych jako elastycznego podłoża pełniącego jednocześnie rolę izolatora bramki. Należy jednak zauważyć, iż chropowatość folii polimerowych jest znacznie większa niż dotychczas stosowanych podłoży krzemowych. Chropowatość jest jednym z podstawowych czynników, które znacząco wpływają na mikrostrukturę i morfologię warstw półprzewodnikowych odpowiedzialnych za transport nośników ładunków [1-3]. Niniejsze badania pokażą, jak w określony sposób (fizycznie i chemicznie) można kontrolować chropowatość folii polimerowych, co w późniejszych etapach wytwarzania urządzeń optoelektronicznych przekładać się będzie na ich właściwości elektryczne.

Praca została wykonana w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki: 2013/08/M/ST5/00914 oraz środków MNiSW 8862/E-370/S/2016.

- [1] M. Li, T. Marszałek, K. Müllen, W. Pisula, ACS Appl. Mater. Interfaces **8** (25), 16200 (2016).  
[2] M. Li, T. Marszałek, Y. Zheng, I. Lieberwirth, K. Müllen, W. Pisula, ACS Nano **10** (4), 4268 (2016).  
[3] M. Li, C. An, T. Marszałek, M. Baumgarten, K. Müllen, W. Pisula, Adv. Mater. **28**, 2245 (2016).

## Spektroskopia Ramana w badaniach związków ciekłokrystalicznych

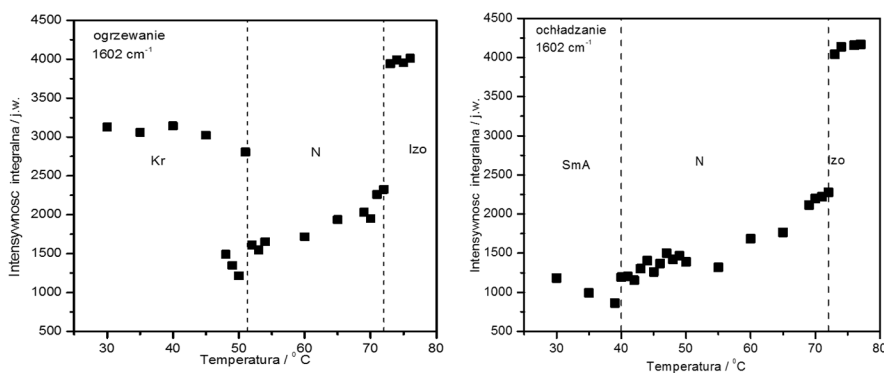
A. B. Nowicka, E. Chrzumnicka, M. Szybowicz

*Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej, Wydział Fizyki Technicznej,  
Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, ariadna.nowicka@put.poznan.pl*

Spektroskopia Ramana jest szeroko stosowaną metodą pomiarową do badań widm oscylacyjnych i rotacyjnych substancji we wszystkich stanach skupienia. Widma ramanowskiego rozpraszania światła dostarczają informacji o budowie cząsteczek. Natomiast zmiana intensywności integralnej, szerokości połówkowej oraz przesunięcia pasm występujących w widmie opisują oddziaływania występujące pomiędzy cząsteczkami. Ponadto spolaryzowane widma ramanowskiego rozpraszania światła pozwalają na określenie uporządkowania molekularnego.

Od lat związki ciekłokrystaliczne cieszą się nielubianym zainteresowaniem ze względu na ich zastosowanie w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych. Właściwości wyświetlaczy w dużym stopniu zależą od orientacji molekuł ciekłego kryształu dlatego też bardzo ważne jest określenie ich uporządkowania.

Przedmiotem badań były nowo zsyntezowane ciekłe kryształy charakteryzujące się podstawnikami fluorowymi w pozycji bocznej względem długiej osi molekuly pochodzące z szeregów homologicznego 3,4-difluorofenylo-4-(5'-n-alkilo-1',3',2'-dioksaboran-2-yl)3-fluorobenzoesanów (*nDBF3*). W celu określenia temperatury przejść fazowych ciekłych kryształów wykorzystano spektroskopię mikro-Ramana. Parametry uporządkowania  $\langle P_2 \rangle$  i  $\langle P_4 \rangle$ , wyznaczone na podstawie spolaryzowanych widm ramanowskiego rozpraszania światła dla różnych temperatur, pozwoliły określić porządek orientacyjny badanej matrycy ciekłokrystalicznej.



**Rys. 1.** Przejścia fazowe występujące w ciekłym kryształ 5BDF3 wyznaczone przy pomocy ramanowskiego rozpraszania światła.

Praca naukowa była finansowana ze środków na naukę w roku 2016 jako projekt badawczy nr 06/65/DSPB/0516.

- [1] E. Chrzumnicka, A. Kobielski, M. Szybowicz, D. Bauman, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **541**, 1 (2011).  
[2] E. Chrzumnicka, M. Szybowicz, D. Bauman, *Z. Naturforsch.* **59a**, 510 (2004).

## Wpływ elektrody odbiorczej na wartość napięcia fotowoltaicznego w ogniwie jednowarstwowym

M. Obarowska, J. Godlewski

*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki  
Stosowanej, Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk,  
mabo@mif.pg.gda.pl*

Organiczne ogniwa fotowoltaiczne stanowią alternatywę dla ogniw zbudowanych na konwencjonalnych półprzewodnikach, aczkolwiek ich kluczowe parametry elektryczne wciąż są zdecydowanie gorsze od tych jakie uzyskują ogniwa nieorganiczne.

Istotą zjawiska fotowoltaicznego jest generacja napięcia pod wpływem padającego promieniowania, a jego wartość ma decydujący wpływ na parametry pracy ogniw fotowoltaicznych. Pomimo dynamicznego rozwoju fotowoltaiki organicznej i dużej liczby danych literaturowych na temat architektury urządzeń, nowych materiałów bazowych i fizyki zjawisk zachodzących w ogniwach, wciąż nie są w pełni znane mechanizmy procesów odpowiedzialnych za generację napięcia fotowoltaicznego, których poznanie pozwoliłoby min. na zwiększenie kwantowej wydajności generacji nośników ładunku. Ponadto, w konstrukcji ogniw fotowoltaicznych poza wyborem warstw aktywnych o odpowiednich parametrach optycznych oraz opracowaniem właściwej konfiguracji złącza, bardzo istotne zagadnienie stanowi właściwy dobór kontaktów, które również wpływają istotnie na parametry elektryczne urządzeń fotowoltaicznych.

W dostępnych w literaturze teoretycznych opracowaniach problemu można znaleźć analityczny model fotonapięcia rozwarcia w planarnym układzie heterozłącza [1] oraz wyjaśnienie roli rekombinacji nośników ładunku w procesie generacji napięcia [2] i wpływu na jego wartość natężenia światła [3] oraz temperatury bezwzględnej [4]. Wpływ elektrod, a w szczególności elektrody odbiorczej, jest najczęściej pomijany. Przedstawiony w pracy opis teoretyczny dotyczy powstawania napięcia fotowoltaicznego w ogniwie jednowarstwowym. W modelu wykorzystano rezultaty analizy teoretycznej rozkładu nośników ładunku, w warunkach równowagi termodynamicznej, w warstwie dielektryka układu metal/dielektryk/półprzewodnik opisane w pracy Tangena [5]. Wyprowadzone równanie analityczne przedstawia zależność napięcia fotowoltaicznego od własności elektrody odbiorczej. Na podstawie uzyskanej zależności dokonano obliczeń numerycznych wpływu warunków fizycznych panujących przy elektrodzie odbiorczej na wartość napięcia fotowoltaicznego. Rezultaty przeprowadzonej analizy teoretycznej będą dyskutowane w kontekście wyników badań doświadczalnych.

[1] D. Cheyins, J. Poortmans, P. Heremans, C. Deibel, S. Verlaak, B. P. Rand, J. Genoe, Phys. Rev. B **77**, 165332 (2008).

[2] S. R. Cowan, A. Roz, A. J. Heeger, Phys. Rev. B **82**, 245207 (2010).

[3] G. Garcia-Belmonte, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **94**, 2166 (2010).

[4] A. Manor, E. A. Katz, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **97**, 132 (2012).

[5] A. G. Tangena, J. Middelhoek, N. F. de Rooij, J. Appl. Phys. **49**, 2876 (1978).

## Dynamiczna, dwuwymiarowa analiza termooptyczna - nowa metoda identyfikacji mezofaz ciekłokrystalicznych

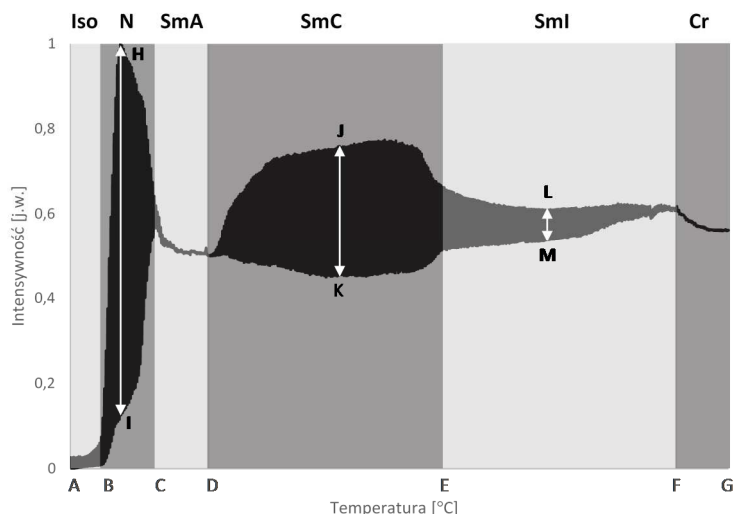
H. Orlikowska<sup>1</sup>, S. Bartkiewicz<sup>2</sup>, A. Sobolewska<sup>2</sup>, A. Miniewicz<sup>2</sup>, Z. Galewski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska  
221130@student.pwr.edu.pl

<sup>2</sup>Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska

<sup>3</sup>Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski

Powszechnie stosowane są trzy podstawowe metody identyfikacji faz ciekłokrystalicznych: obserwacja tekstur za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego, dyfrakcja promieni rentgenowskich oraz termodynamiczna metoda współmieszalności Sackmanna-Demusa. Wszystkie wymienione techniki posiadają istotne ograniczenia, wobec czego podjęto próbę opracowania nowej metody identyfikacji rodzaju mezofazy, nazwanej dynamiczną dwuwymiarową analizą termooptyczną. Istota przedstawionej metody polega na rejestracji kamerą CCD obrazu tekstur w funkcji temperatury i w warunkach sinusoidalnie zmiennego pola elektrycznego o niskiej częstotliwości w optyce mikroskopu polaryzacyjnego. Badaniu poddano wybrane ciekłe kryształy, należące do grupy pochodnych azobenzenu [1]. Przygotowany poster przedstawiać będzie wyniki dynamicznej dwuwymiarowej analizy termooptycznej na przykładzie związku 4-heksylo-4'-nonyloksyazobenzenu o akronimie 6-B-O9, który wykazuje szereg mezofaz ciekłokrystalicznych (Rys. 1).



Rys. 1. Temperaturowa zależność amplitudy zmian intensywności światła przechodzącego przy stałej amplitudzie pola elektrycznego wyznaczona metodami numerycznej obróbki obrazów tekstur dla 6-AB-O9;  $f = 1\text{Hz}$ ,  $U = 50\text{V}$ ; Temperatury przemian fazowych: B 78,6 °C, C 72,6 °C, D 66,5 °C, E 47,7 °C, F 35 °C.

Praca została częściowo finansowana ze środków Wydziału Podstawowych Problemów Techniki PW. Badania zrealizowano w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr 2014/15/B/ST8/00115.

[1] J. Zienkiewicz, Z. Galewski, Proc. SPIE **45**, 3319 (1998).

## Badania struktury i dynamiki natrolitu $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

M. Paczwa, N.A. Sergeev, M. Olszewski

*Instytut Fizyki, Wydział Matematyczno-Fizyczny, Uniwersytet Szczeciński  
maxwell1989@o2.pl*

Natrolit ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) to minerał z grupy zeolitów, który charakteryzuje się zróżnicowaną i luźną strukturą poprzecinaną nanokanałami. Istotną cechą wyróżniającą natrolit spośród wszystkich zeolitów naturalnych są najmniejsze pod względem rozmiarów kanały. Dzięki tym kanałom posiadają one unikalne właściwości fizyczne i chemiczne o szerokim spektrum zastosowań [1].

Z analizy temperaturowych zależności widm NMR oraz czasów relaksacji  $T_1$ ,  $T_{1\rho}$  i  $T_{1D}$  jąder  $^1\text{H}$  stwierdzono, że w przedziale temperatur 330 K ÷ 450 K rejestruje się tylko ruch reorientacyjny molekuł wody wokół jej osi symetrii (obrót o  $180^\circ$ ), a w przedziale temperatur 450 K ÷ 540 K oprócz reorientacji molekuł wody rejestruje się dodatkowy dyfuzyjny ruch molekuł wody w nanokanałach natrolitu [2-6]. Teoretyczna interpretacja otrzymanych wyników temperaturowych zmian widm NMR i relaksacji spin - sieć jąder  $^1\text{H}$  wymagała opracowania metody obliczenia czasów relaksacji spin - sieć i drugiego momentu widma NMR polikryształów w przypadku istnienia w kryształach dwóch rodzajów ruchów cieplnych jąder  $^1\text{H}$  [7].

Z analizy temperaturowych zależności widm NMR i MAS NMR oraz czasów relaksacji spin - sieć  $T_1$  kwadrupolowych jąder  $^{23}\text{Na}$  i  $^{27}\text{Al}$  wynika, że w temperaturach powyżej 270K główny wkład do relaksacji spin - sieć jąder  $^{23}\text{Na}$  i  $^{27}\text{Al}$  pochodzi od oddziaływania kwadrupolowych momentów jąder  $^{23}\text{Na}$  i  $^{27}\text{Al}$  z gradientem pola elektrycznego wytwarzanego przez elektryczne dipolowe momenty ruchliwych molekuł wody. Ustalono, że ten ruch molekuł wody jest ruchem dyfuzyjnym, tj. ruchem związanym z translacyjnymi skokami molekuł wody zlokalizowanych w nanokanałach natrolitu [8,9]. W niskich temperaturach (< 270K) oddziaływania dipolowe z momentami magnetycznymi domieszek paramagnetycznych jonów mają znaczący wkład na relaksację spin - sieć jąder  $^{23}\text{Na}$  i  $^{27}\text{Al}$  [8,9].

- [1] G. Engelhardt and D. Michel, *High-Resolution Solid-State NMR of Silicates and Zeolites*, John Wiley&Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore (1987).
- [2] A.V. Sapiga, *The shape of NMR spectra and study of structure and molecular mobility in natrolite*. Thesis, Tavrida National University, Simferopol (2003).
- [3] A. V. Sapiga, N. A. Sergeev, *Cryst. Res. Technol.* **36**, 8 (2001).
- [4] A. V. Sapiga, N. A. Sergeev, V. N. Shcherbakov, S. P. Gabuda, I. A. Belicky, *J. Struct. Chem.* **27**, 183 (1986).
- [5] M. Paczwa, A. A. Sapiga, M. Olszewski, N. A. Sergeev, A. V. Sapiga, *J. Struct. Chem.* **57** (2), 335 (2016).
- [6] M. Paczwa, A. A. Sapiga, M. Olszewski, N. A. Sergeev, A. V. Sapiga, *Appl. Magn. Reson.* (2016) – w druku.
- [7] P. Bilski, M. Olszewski, N. A. Sergeev, J. Wąsicki, *Solid State NMR*, **25**, 15 (2004).
- [8] M. Paczwa, A.A. Sapiga, M. Olszewski, N.A. Sergeev, A.V. Sapiga, *Appl. Magn. Reson.* **46**, 583 (2015).
- [9] M. Paczwa, A. A. Sapiga, M. Olszewski, N. A. Sergeev, A. V. Sapiga, *Zeitschrift für Naturforschung A.* **70**, 295 (2015).



## Wyznaczanie długości drogi dyfuzji ekscytonów w warstwach pochodnych amin metodą pomiaru fotoprądu i wygaszania fotoluminescencji

D. Pelczarski, P. Grygiel, W. Stampor

*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska,  
dpelczarski@mif.pg.gda.pl*

W wyniku oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z układem molekularnym, w badanym materiale powstaje stan mobilny zwany ekscytonem. Tak wygenerowany stan wzbudzenia elektronowego ruchem dyfuzyjnym może dotrzeć do elektrody metalicznej, a jego wygaszenie na elektrodzie, prowadzące do wstrzyknięcia nośnika ładunku do materiału molekularnego (iniekcja ekscytonowa), może być obserwowane przez pomiar widm fotoprądu [1]. Wygaszenie ekscytonu na granicy faz może być alternatywnie rejestrowane przez pomiar widm wzbudzeniowych fluorescencji próbki badanego materiału, pokrytej cienką warstwą wygaszacza w postaci materiału molekularnego o małej przerwie energetycznej (na przykład C<sub>60</sub>) [2].

W pracy porównano długości drogi dyfuzji ekscytonów w próżniowo naparowanych warstwach pochodnych amin (m-MTDATA, TPD, 2TNATA), wyznaczone metodami pomiaru fotoprądu oraz pomiaru wygaszania fotoluminescencji [3]. Uzyskane długości drogi dyfuzji przypisano ekscytonom singletowym. Wielkość wyznaczonego parametru ma istotne znaczenie przy projektowaniu wydajnych urządzeń optoelektronicznych wykorzystujących badane materiały.

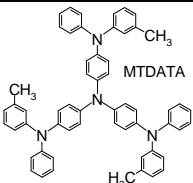
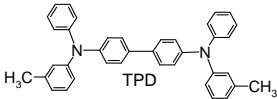
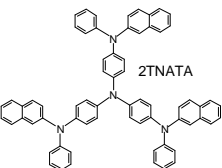
Metody wyznaczenia długości drogi dyfuzji ekscytonów	m-MTDATA	TPD	2TNATA
			
Metoda fotoprądowa	$(30 \pm 10) \text{ nm}^3$	$(40 \pm 10) \text{ nm}$ $(32 \pm 5) \text{ nm}^4$	$(42 \pm 10) \text{ nm}$
Metoda optyczna	$32 \text{ nm}^3$	$(30 \pm 10) \text{ nm}^5$	

Tabela 1. Długości drogi dyfuzji ekscytonów w warstwach pochodnych amin wyznaczone metodami: fotoprądową i optyczną.

[1] B. J. Mulder, Philips Res. Reports Suppl. **4** (1968).

[2] R. R. Lunt, N. C. Giebink, J. B. Benziger, S. R. Forrest, J. Appl. Phys. Lett. **105**, 053711 (2009).

[3] D. Pelczarski, P. Grygiel, M. Miśnik, W. Stampor, Org. Electron. **21**, 54 (2015).

[4] J. Kalinowski, K. Szybowska, Org. Electron. **9**, 1032 (2008).

[5] J. Kalinowski, G. Giro, P. Di Marco, N. Camaioni, V. Fattori, Chem. Phys. Lett. **265**, 607 (1997).

## Elektromodulacja fotoluminescencji ekscypleksowej w układach mieszanych dendrymer aminowy – pochodne fenantroliny

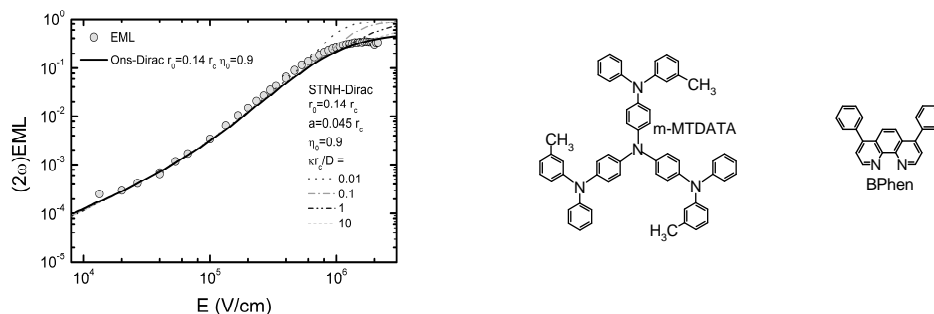
D. Pelczarski, K. Falkowski, P. Grygiel, W. Stampor

Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki  
Stosowanej, Politechnika Gdańska,  
dpelczarski@mif.pg.gda.pl

Wydatność urządzeń optoelektroniki organicznej, takich jak ogniwa fotowoltaiczne i diody elektroluminescencyjne, jest uwarunkowana procesami dysocjacji ekscytonów i rekombinacji nośników ładunku. Powyższe procesy elektronowe można badać metodami pomiaru fotoprądu lub alternatywnie elektromodulowanej fotoluminescencji (EML) [1].

Celem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu zewnętrznego pola elektrycznego na stany wzbudzenia elektronowego w próżniowo naporowanych warstwach dwuskładnikowych typu donor elektronu – akceptor elektronu (m-MTDATA:BCP, 2TNATA:BCP, m-MTDATA:BPhen) zaopatrzonych w półprzezroczyste elektrody aluminiowe. W metodzie EML obserwowana jest zmiana fotoluminescencji (jej wzmocnienie lub wygaszenie) wywołana przyłożeniem pola elektrycznego do badanego materiału. Zazwyczaj przyjmuje się, że wewnętrzna fotogeneracja nośników ładunku w układach mieszanych związana jest z przeniesieniem ładunku z cząsteczki donora na cząsteczkę akceptora (stan pary związanej e-h). Stan ten może w procesie dysocjacji rozpaść się na swobodne nośniki ładunku lub w wyniku rekombinacji utworzyć świecący stan wzbudzony (ekscypleks). Proces dysocjacji ekscypleksu silnie zależy od pola elektrycznego, co w znaczący sposób wpływa na wydajność fluorescencji ekscypleksowej [2].

W pracy zinterpretowano wyniki elektromodulowanej fotoluminescencji, uzyskane dla dwuskładnikowych warstw mieszanych, stosując formalizm teorii Onsagera i jej rozszerzeń zaproponowanych przez Sano-Tachiya-Noolandi'ego-Honga (model STNH).



Rys. 1. Charakterystyki polowe sygnału elektromodulowanej fotoluminescencji  $(2\omega)EML$ . Dane doświadczalne uzyskano dla warstwy m-MTDATA – BPhen (kółka). Linia ciągłą naniesiono krzywą teoretyczną otrzymaną na gruncie modelu Onsagera, natomiast liniami przerywanymi krzywe uzyskane na gruncie modelu STNH, dla różnych szybkości rekombinacji końcowej ( $\kappa r_c / D$ ). W obliczeniach przyjęto, że początkowa odległość między nośnikami ładunku wynosiła  $r_0=0.14r_c$  a wydajność generacji nośników ładunku  $\eta_0=0.9$ . W modelu STNH przyjęto, że promień sfery rekombinacji wynosi  $a=0.045r_c$ .

[1] J. Kalinowski, W. Stampor, P. G. DiMarco, Chem. Phys. **96**, 4136 (1992).

[2] D. Pelczarski, P. Grygiel, K. Falkowski, M. Klein, W. Stampor, Org. Electron. **25**, 362 (2015).

## Ditienopirołowe pochodne naftalenobisimidu i ich zastosowanie w elektronice organicznej

R. Rybakiewicz<sup>1</sup>, Ł. Skórka<sup>2</sup>, E. D. Głowacki<sup>3</sup>, M. Zagórska<sup>2</sup>, A. Proń<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie  
r.rybakiewicz@uksw.edu.pl*

<sup>2</sup>*Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, Warszawa*

<sup>3</sup>*Uniwersytet Johannesesa Keplera w Linzu, Linz, Austria*

Mało- i wielkocząsteczkowe półprzewodniki organiczne, o charakterze donorowo-akceptorowym (DA), zawierające elektronodonorowe jednostki ditienopirołowe (DTP) charakteryzują się interesującymi właściwościami elektronowymi i optycznymi [1]. Odpowiednia funkcjonalizacja DTP pozwala na kontrolowanie położenia poziomów HOMO i LUMO oraz otrzymanie półprzewodników organicznych o małej szerokości przerwy energii wzbronionych [2]. Materiały takie można wykorzystać w organicznych urządzeniach elektronicznych, takich jak tranzystory, ogniwa fotowoltaiczne, diody czy różnego typu sensory [3].

W niniejszej pracy zaprezentowano syntezę nowych, przetwarzalnych z roztworu pochodnych naftalenobisimidu, podstawionych w rdzeniu asymetrycznie i symetrycznie alkiłoditienopirołem [4,5]. Zbadano właściwości otrzymanych półprzewodników organicznych metodami spektroskopowymi i elektrochemicznymi. Wyniki eksperymentalne porównano z wynikami teoretycznymi, otrzymanymi na podstawie obliczeń przeprowadzonych metodą DFT. Ponadto wykazano, że niektóre z omawianych związków ulegają elektropolimeryzacji. Osadzone na powierzchni elektrody kopolimery naprzemienne typu -(DA)- ulegają dwóm odwracalnym procesom redokсовym zarówno w zakresie potencjałów dodatnich, jak i ujemnych. Zaobserwowano, że z każdym stopniem utlenienia oraz redukcji cienkiej warstwy związana jest odrębna, stabilna na powietrzu barwa, co stwarza potencjalną możliwość zastosowania poli(ditienopiroło-co-naftalenobisimidu) w urządzeniach elektrochromowych. Przeprowadzono również pierwsze próby wykorzystania tego kopolimeru w fotodiodach i superkondensatorach.

Niniejsza praca jest współfinansowana ze środków funduszy norweskich, w ramach programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza realizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Pol-Nor/210704/43/2013). Obliczenia DFT zostały wykonane we Wrocławskim Centrum Sieciowo-Superkomputerowym (WCSS) Wrocław, Polska.

[1] W. Zhang, J. Li, B. Zhang, J. Qin, *Macromol. Rapid Commun.* **29**, 1603 (2008).

[2] S. J. Evenson, T. M. Pappenfus, M. C. R. Delgado, K. R. Radke-Wohlers, J. T. L. Navarretec, S. C. Rasmussen, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **14**, 6101 (2012).

[3] S. C. Rasmussen, S. J. Evenson, *Prog. Polym. Sci.* **38**, 1773 (2013).

[4] R. Rybakiewicz, K. Łępicka, P. Pięta, M. Majewska, M. Zagórska, W. Kutner, Zgłoszenie patentowe nr **P-418333** (2016).

[5] R. Rybakiewicz, Ł. Skórka, S. Pluczyk, P. Zassowski, D. H. Apaydin, E. D. Głowacki, M. Łapkowski, M. Zagórska, A. Proń - publikacja w przygotowaniu.

## **Badanie przewodnictwa elektrycznego w funkcji temperatury warstw Langmuira nanorurek węglowych na podłożach z polichlorku winylu**

K. Rytel<sup>1</sup>, B. Barszcz<sup>2</sup>, K. Kędziński<sup>1</sup>, A. Gronostaj<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska,  
karol.t.rytel@doctorate.put.poznan.pl,*

<sup>2</sup>*Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk*

Nanorurki węglowe są istotne dla przemysłu ze względu na wysokie przewodnictwo elektryczne oraz znaczną wytrzymałość chemiczną jak i mechaniczną. Warstwy nanorurek węglowych mogą być użyte do budowy sensorów chemicznych, tranzystorów polowych, ogniw fotowoltaicznych lub diod LED. Warunkiem koniecznym zastosowania warstw nanorurek węglowych w przemyśle elektronicznym jest możliwość uzyskania jednorodnych i tanich warstw. Warstwy nanorurek węglowych wytworzone za pomocą metod Langmuira pozwalają na uzyskanie stosunkowo dużych powierzchni. Pomimo dobrego przewodnictwa indywidualnych nanorurek węglowych przewodnictwo warstw przez nie utworzonych jest nadal niższe od przewodnictwa warstw tlenku cyny indu (ITO). Związane jest to zależnością przewodnictwa warstwy m. in. od liczby kontaktów pomiędzy nanorurkami węglowymi, która z kolei zależy od ich wzajemnego ułożenia. W ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój badań nad transparentnymi elektrodami horyzontalnie uporządkowanych sieci nanorurek węglowych, które potencjalnie mogą zastąpić warstwy ITO. Elektrody zbudowane z nanorurek węglowych umożliwiają wytwarzanie elastycznych urządzeń optoelektronicznych. Ponadto szacuje się, że ich zastosowanie obniży koszty produkcji.

Warstwy Langmuira nanorurek węglowych zostały przeniesione na podłoża z polichlorku winylu metodą Langmuira-Schaefera [1]. W celu lepszego zrozumienia mechanizmu przewodzenia ładunku elektrycznego w warstwie wykonano pomiary przewodnictwa elektrycznego w funkcji temperatury dla warstw Langmuira jednościennych i wielościennych nanorurek węglowych. Dane eksperymentalne przeanalizowano stosując modele przeskoku ładunku o zmiennym zasięgu (z ang. *variable range hopping* - VRH). Najlepsze dopasowanie uzyskano używając modelu zaproponowanego przez Foglera, Tebera, Shklovskiego stanowiącego rozwinięcie modelu VRH Motta [2]. Zaobserwowano różne mechanizmy przewodzenia elektrycznego przy grzaniu i chłodzeniu oraz w zależności od rodzaju naniesionych nanorurek węglowych.

[1] K. Kędziński *Thin Solid Films* **589**, 701 (2015).

[2] M. M. Fogler, *Phys. Rev. B* **69**, 035413 (2004).

## Stany z przeniesieniem ładunku w kryształach pentacenu – rola oddziaływań kwadrupolowych

M. Snamina, P. Petelenz

*Zakład Chemii Teoretycznej im. K. Gumińskiego, Wydział Chemii  
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie,  
mateusz.snamina@doctoral.uj.edu.pl*

Kryształ pentacenu budzi obecnie szerokie zainteresowanie ze względu na podatność jego najniższego singletowego stanu wzbudzonego na rozszczepienie w dwa ekscytyony trypletowe. Przejście to zachodzi w wyniku nadwymiany angażującej wirtualne stany wzbudzone typu CT, utworzone przez przeniesienie elektronu pomiędzy cząsteczkami, na których ostatecznie lokalizują się powstające ekscytyony trypletowe.

Specyficzna energetyka wspomnianych stanów z przeniesieniem ładunku ma zasadnicze znaczenie dla przebiegu procesu. Jeśli para cząsteczek pentacenu będących najbliższymi sąsiadami w sieci jego kryształu i stanowiących komórkę elementarną traktowana jest jako izolowany dimer, to odległość energetyczna stanów CT o wzajemnie przeciwnym układzie ładunków [(+-) i (-+)] obliczona w oparciu o wyniki prostej metody półempirycznej (ZINDO) wynosi ok. 0.25 eV. Jednakże obliczenie tej samej energii w sposób znacznie bardziej dokładny prowadzi do wyniku w granicach pomiędzy 0.65 eV (SCCF, B3LYP/6-311++G\*\* [1]) a 0.80 eV (XMCQDPT, [2]). Odnotowana tu ogromna rozbieżność wydaje się niezrozumiałą anomalią. Wrażenie to jest spotęgowane faktem, iż uwzględnienie otoczenia modelowanego dimeru w kryształach pentacenu w obu przypadkach redukuje rozszczepienie do kilku setnych elektronowolta. Jest to sytuacja wyjątkowa, w typowych bowiem przypadkach to właśnie otoczenie krystaliczne prowadzi do rozszczepienia poziomów.

Przyczyną okazuje się być wkład od oddziaływań ładunek-kwadrupol, na poziomie obliczeń półempirycznych drastycznie zaniżony. Jak się okazuje (co zostanie uwypuklone w plakacie), dzięki lokalnej (przybliżonej) symetrii sieci, w kryształach jest on kompensowany przez wkłady od otaczających cząsteczek obojętnych, co wyjaśnia spójność wyników metod o różnej dokładności dla dimeru zanurzonego w matrycy krystalicznej.

Wzmiankowana kompensacja prowadząca do przybliżonego zrównania energii zaangażowanych stanów CT powoduje znaczne obniżenie efektywnej stałej nadwymiany, która warunkuje proces rozszczepienia ekscytonu singletowego. Wynika więc stąd, że (w sposób nieoczekiwany intuicyjnie) proces ten jest raczej tłumiony niż wspomagany przez otoczenie krystaliczne [3].

[1] P. Petelenz, M. Snamina, G. Mazur, *J. Phys. Chem. C* **119**, 14338 (2015).

[2] T. Zeng, R. Hoffmann, N. Ananth, *J. Am. Chem. Soc.* **136**, 5755 (2014).

[3] P. Petelenz, M. Snamina, G. Mazur, *J. Phys. Chem. Lett.* **7**, 1913 (2016).

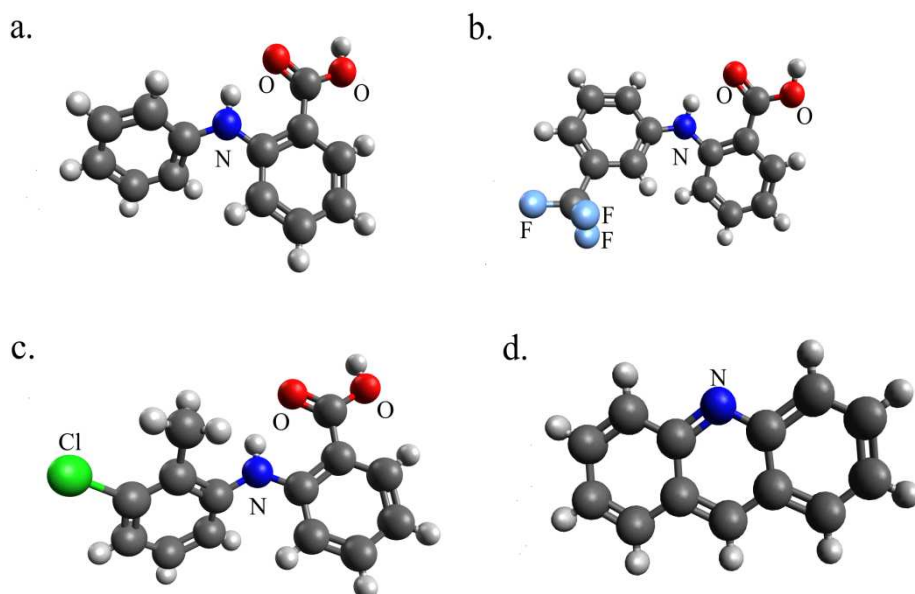
## Struktura kompleksów kwasu fenamowego i jego pochodnych z akrydyną

M.S. Krawczyk<sup>1</sup>, A. Sroka<sup>1</sup>, L. Jerzykiewicz<sup>2</sup>, I. Majerz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu, Borowska 211a, 50-556 Wrocław, adam.sroka@umed.wroc.pl

<sup>2</sup> Wydział Chemii, Uniwersytetu Wrocławskiego, Joliot-Curie 14, 50-383 Wrocław

Kwas fenamowy i jego pochodne wykazują aktywność biologiczną, a niektóre jego pochodne, np. kwas flufenamowy, mefenamowy i tolfenamowy znalazły zastosowanie farmakologiczne jako leki z grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) o relatywnie słabym działaniu przeciwbólowym.



Rys. 1. Wzory strukturalne: a – kwas fenamowy, b – kwas flufenamowy, c – kwas tolfenamowy, d - akrydyna.

Akrydyna i jej pochodne należą do grupy policyklicznych amin trzeciorzędowych. Charakteryzują się dużą aktywnością biologiczną i stosowane są jako leki przeciwprzeciwnowotworowe, przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe oraz przeciwnowotworowe.

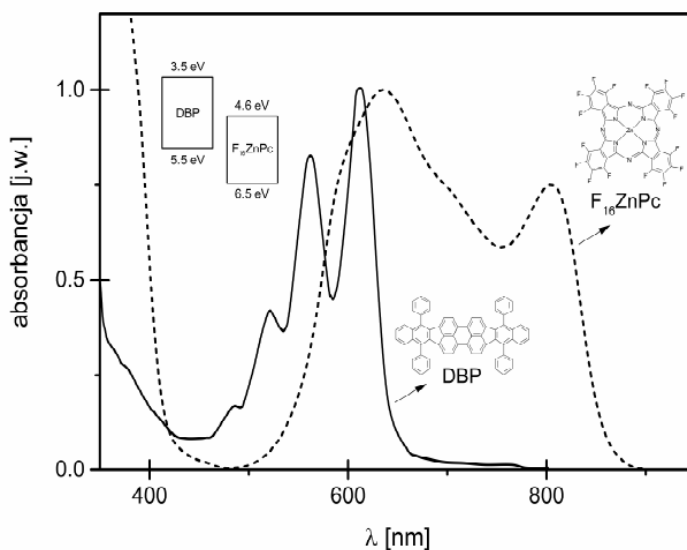
Celem niniejszej pracy jest utworzenie kompleksów kwasu fenamowego, flufenamowego i tolfenamowego z akrydyną jako potencjalnych leków o wielorakim działaniu oraz zbadanie ich struktur krystalicznych. Powstanie kokryształu związane jest z utworzeniem kompleksów z międzycząsteczkowym wiązaniem wodorowym, w którym proton z grupy karboksylowej jest związany z akceptorem protonu z grupy aminowej w akrydynie. Utworzone wiązania wodorowe należą do silnych międzycząsteczkowych wiązań wodorowych NHO.

## Zjawisko fotowoltaiczne w układzie F<sub>16</sub>ZnPc/DBP

J. Szostak, G. Jarosz, R. Signerski

*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki  
Stosowanej, Politechnika Gdańska  
j.szostak@mif.pg.gda.pl*

Praca przedstawia opis zjawiska fotowoltaicznego zachodzącego w układzie ITO/MoO<sub>3</sub>/DBP/F<sub>16</sub>ZnPc/BCP/Ag wytworzonego metodą próżniowego naporowania warstw. Obydwa materiały aktywne, tj. barwnik perylenowy (DBP) oraz perfluoroftalocyjanina cynku (F<sub>16</sub>ZnPc) wykazują silną absorpcję w zakresie widzialnym, a względne przesunięcie poziomów energetycznych tych materiałów [1,2,3] wydaje się być korzystne dla wydajnej dysocjacji ekscytonów na ich złączu i zapewnienia dużej wartości napięcia obwodu otwartego (Rys.1). Warstwy MoO<sub>3</sub> i batokuproiny (BCP) eliminują dysocjację ekscytonów na elektrodach i zwiększają selektywność elektrod ze względu na rodzaj nośników ładunku [3,4]. Mechanizm i miejsce generacji swobodnych nośników ładunku określono na podstawie charakterystyk spektralnych prądu zwarcia i napięcia obwodu otwartego, natomiast analiza zależności tych parametrów od natężenia oświetlenia pozwoliła na wskazanie mechanizmów rekombinacji nośników ładunku. Parametry charakteryzujące pracę ogniwa określono na podstawie charakterystyk prądowo-napięciowych oświetlonych i nieoświetlonych struktur.



Rys. 1. Absorbancja, budowa chemiczna i położenie poziomów energetycznych [1,2,3] materiałów aktywnych.

- [1] D. Fujishima, H. Kanno, T. Kinoshita, E. Maruyama, M. Tanaka, M. Shirakawa, Kenichi Shibata, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells* **93**, 1029 (2009).
- [2] M. Pfeiffer, K. Leo, N. Karl, *J. Appl. Phys.* **80**, 6880 (1996).
- [3] J. Szostak, R. Signerski, J. Godlewski, *Phys. Stat. Sol. A* **210**, 2353 (2013).
- [4] R. Signerski, G. Jarosz, *Opto-Electronics Rev.* **19**, 474 (2011).

## Nowe kompleksy irydu (III) jako emiterzy fosforescencyjne - badania fotofizyczne

G. Wiosna-Sałyga<sup>1</sup>, E. Witkowska<sup>1</sup>, B. Łuszczynska<sup>1</sup>, I. Głowacki<sup>1</sup>, J. Ulański<sup>1</sup>,  
I. Kownacki<sup>2</sup>, B. Marciniec<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Fizyki Molekularnej, Politechnika Łódzka, Łódź,  
gabriela.wiosna-salyga@p.lodz.pl*

<sup>2</sup>*Zakład Chemii Metaloorganicznej, Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytet  
im. Adama Mickiewicza, Poznań*

Poszukiwanie nowych wydajnych emiterów fosforescencyjnych dla organicznych diod elektroluminescencyjnych jest nadal jednym z ważniejszych wyzwań obecnej elektroniki organicznej. Ze względu na liczne obecne jak również przyszłe potencjalne zastosowania tego typu urządzeń coraz większe zainteresowanie budzą materiały fosforescencyjne takie jak kompleksy metaloorganiczne. Wśród tego typu emiterów poczytne miejsce zajmują kompleksy irydu (III) ze względu na takie zalety jak: wysoka wydajność oraz stosunkowo krótkie czasy życia fosforescencji, czy możliwość zmiany barwy emitowanego przez kompleks światła poprzez modyfikację struktury czy przestrzennego rozmieszczenia ligandów [1,2]. Ze względu na efekt wygaszania stężeniowego emisji związku tego typu są często umieszczane w matrycach i stosowane w OLEDach w postaci warstwy aktywnej typu gospodarz-gość.

Przedmiotem prezentowanych badań jest seria koordynacyjnych związków irydu(III) stabilizowanych nowymi *N*-heterocyklicznymi ligandami aromatycznymi. W celu zweryfikowania możliwości zastosowania badanych kompleksów jako emiterów w OLEDach, zbadano właściwości fotofizyczne zarówno roztworów jak i cienkich warstw układów matryca polimerowa/emiter. W celu wyjaśnienia natury stanów emisyjnych badanych kompleksów przeprowadzono badania w środowisku o różnej polarności i lepkości. Wyznaczono wydajności kwantowe emisji w roztworze i ciele stałym. Na podstawie uzyskanych wyników zaproponowano odpowiedni skład warstwy aktywnej typu gospodarz-gość, którą zastosowano w jednowarstwowych polimerowych OLEDach o geometrii : ITO/PEDOT:PSS/PVK:PBD+ kompleks irydu (III)/Ca:Ag.

Badania finansowane z grantu Narodowego Centrum Nauki UMO–2013/11/B/ST5/01334.

[1] H. Xu, R. Chen, Q. Sun, W. Lai, Q. Su, W. Huang, X. Liu, Chem. Soc. Rev. **43**, 3259 (2014).

[2] Ł. Skórka, M. Filapek, L. Zur, J. G. Małecki, W. Pisarski, M. Olejnik, W. Danikiewicz, S. Krompiec, J. Phys. Chem. C **120**, 7284 (2016).



## Donorowo-akceptorowe elektroluminofory organiczne o strukturze trójramiennych gwiazd

K. Kotwica<sup>1</sup>, Ł. Skórka<sup>1</sup>, S. Kącka<sup>1</sup>, T. Jaroń<sup>2</sup>, R. Nowakowski<sup>2</sup>, P. Data<sup>3</sup>,  
A. Monkman<sup>3</sup>, A. Kostyuchenko<sup>4</sup>, A. Fisyuk<sup>4</sup>, T. Marszałek<sup>5</sup>, W. Pisula<sup>5</sup>,  
M. Zagórska<sup>1</sup>, A. Proń<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, Warszawa, zagorska@ch.pw.edu.pl

<sup>2</sup>Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

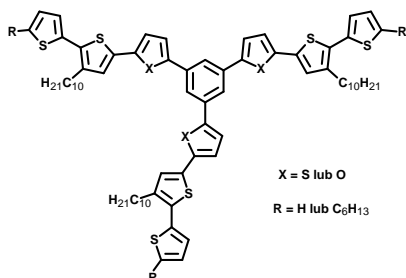
<sup>3</sup>Wydział Fizyki, Uniwersytet Durham, Durham, Wielka Brytania

<sup>4</sup>Wydział Chemiczny, Stanowy Uniwersytet F. M. Dostoevskiego, Omsk, Rosja

<sup>5</sup>Instytut Maxa Plancka, Moguncja, Niemcy

Opracowano syntezę nowych elektroluminoforów o strukturze gwiazdy, których rdzeń stanowi tripodstawiony benzen, a ramiona 3-decylo-5'-heksylo-2,2'-bitien-5-yl)-1,3,4-tiadiazol lub 3-decylo-5'-heksylo-2,2'-bitien-5-yl)-1,3,4-oksadiazol (Rys. 1). Pochodne tiadiazolowe charakteryzują się mniejszą przerwą energii wzbronionych ( $E_g$ ), co wynika z większej aromatyczności tiadiazolu w porównaniu z oksadiazolem. Wprowadzenie solubilizujących podstawników alkilowych do ramion gwiazdy dodatkowo obniża  $E_g$  poprzez słaby efekt indukcyjny. Badania elektrochemiczne oraz obliczenia metodą DFT wykazują wyższe położenie poziomu HOMO i niższe położenie poziomu LUMO dla pochodnych tiadiazolowych w porównaniu z pochodnymi oksadiazolowymi. Otrzymane nowe związki wykazują silną elektroluminescencję i mogą być stosowane jako luminofory w diodach elektroluminescencyjnych typu gość/gospodarz. Wytworzone diody emitują niebieskie (pochodne oksadiazolowe) lub zielone (pochodne tiadiazolowe) światło o luminancji 1800 cd/m<sup>2</sup>, wydajności luminescencji 3,5 cd/A i wydajności kwantowej 1,35%.

Badano również strukturę monowarstw tych nowych związków, osadzonych na podłożu grafitowym (HOPG), stosując mikroskopię tunelową (STM). Symetria cząsteczki, zgodna z symetrią podłoża pozwala na uzyskanie, w przypadku pochodnych tiadiazolowych, uporządkowanych agregacji 2D, rozciągających się na obszar kilkuset nanometrów. Elektropolimeryzacja trójramiennych pochodnych prowadzi do utworzenia sieci polimerowych. Sieci te mają charakter ambipolarny i mogą podlegać zarówno domieszkowaniu utleniającemu (typu p) jak i redukcyjnemu (typu n).



Rys. 1. Struktura badanych związków.

Praca częściowo finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2015/17/B/ST5/000179.

**INDEKS UCZESTNIKÓW KONFERENCJI**

<b>Banasiewicz M.</b>	<b>78, 97</b>
<b>Barszcz B.</b>	<b>32, 79, 106</b>
<b>Bartkiewicz S.</b>	<b>17, 18, 101</b>
<b>Bator G.</b>	<b>45</b>
<b>Bąk G.</b>	
<b>Białkowska M.</b>	<b>19</b>
<b>Bielejewski M.</b>	<b>67</b>
<b>Błaszkiwicz P.</b>	<b>53</b>
<b>Borkowski M.</b>	<b>80</b>
<b>Bujak P.</b>	<b>64, 73, 95</b>
<b>Chruściel J.</b>	
<b>Chrzumnicka E.</b>	<b>22, 99</b>
<b>Demarczyk D.</b>	
<b>Dłubacz A.</b>	<b>81</b>
<b>Dudkowiak A.</b>	
<b>Eilmes A.</b>	
<b>Falkowski K.</b>	<b>82, 104</b>
<b>Frąckowiak A.</b>	<b>33, 34</b>
<b>Gawryś P.</b>	<b>83</b>
<b>Głowacki E. D.</b>	<b>38, 105</b>
<b>Głowienka D.</b>	<b>84</b>
<b>Gondek E.</b>	<b>85</b>
<b>Janasz Ł.</b>	<b>46, 47, 60</b>
<b>Jański J.</b>	<b>86</b>
<b>Jung J.</b>	<b>39, 40, 47, 62</b>

<b>Juszyńska-Gałązka E.</b>	<b>50</b>
<b>Karpiuk J.</b>	<b>72, 96</b>
<b>Kędzierski K.</b>	<b>54, 87, 106</b>
<b>Klein M.</b>	<b>42, 88</b>
<b>Knapkiewicz M.</b>	<b>89</b>
<b>Konieczkowska J.</b>	<b>48, 90</b>
<b>Kotowicz S.</b>	<b>49</b>
<b>Kozanecka-Szmigiel A.</b>	<b>48, 90</b>
<b>Kozankiewicz B.</b>	<b>19, 78, 97</b>
<b>Kulawiak P.</b>	
<b>Kulszewicz-Bajer I.</b>	<b>57, 91</b>
<b>Kurzep P.</b>	<b>57, 91</b>
<b>Kuźma D.</b>	<b>26, 58</b>
<b>Leśniewska B.</b>	<b>92</b>
<b>Lewińska G.</b>	<b>70, 93</b>
<b>Łapiński A.</b>	<b>30, 94</b>
<b>Łuczak A.</b>	<b>47</b>
<b>Łuszczynska B.</b>	<b>62, 83, 95, 110</b>
<b>Majerz I.</b>	<b>29, 108</b>
<b>Majka A.</b>	<b>72, 96</b>
<b>Majka M.</b>	<b>20, 26, 58</b>
<b>Makarewicz A.</b>	<b>19, 78, 97</b>
<b>Makowska H.</b>	<b>98</b>
<b>Makowska-Janusik M.</b>	<b>24, 27</b>
<b>Malinkiewicz O.</b>	<b>69</b>
<b>Marszałek T.</b>	<b>63, 80, 98, 111</b>

<b>Matczyszyn K.</b>	<b>44</b>
<b>Miniewicz A.</b>	<b>17, 18, 101</b>
<b>Morawski O.</b>	<b>66</b>
<b>Moskwa M.</b>	<b>36, 45</b>
<b>Mróz W.</b>	<b>43</b>
<b>Nikonkov R.</b>	<b>25</b>
<b>Nowicka A.</b>	<b>99</b>
<b>Obarowska M.</b>	<b>100</b>
<b>Olejniczak I.</b>	<b>33, 34</b>
<b>Ordon K.</b>	<b>24</b>
<b>Orlikowska H.</b>	<b>17, 18, 101</b>
<b>Ossowska-Chruściel M.</b>	<b>51</b>
<b>Paczwa M.</b>	<b>102</b>
<b>Pelczarski D.</b>	<b>41, 103, 104</b>
<b>Petelenz P.</b>	<b>28, 107</b>
<b>Pisula W.</b>	<b>31, 46, 60, 63, 80, 98, 111</b>
<b>Pokladko-Kowar M.</b>	<b>71</b>
<b>Proń A.</b>	<b>64, 73, 105, 111</b>
<b>Rachocki A.</b>	<b>55, 89</b>
<b>Rudzki A.</b>	<b>52</b>
<b>Rybakiewicz R.</b>	<b>105</b>
<b>Rytel K.</b>	<b>54, 87, 106</b>
<b>Schab-Balcerzak E.</b>	<b>48, 49, 90</b>
<b>Signerski R.</b>	<b>65, 109</b>
<b>Snamina M.</b>	<b>28, 107</b>
<b>Sobieszczyk P.</b>	<b>26, 58</b>

<b>Sobolewski A.</b>	<b>16, 66</b>
<b>Sroka A.</b>	<b>108</b>
<b>Stampor W.</b>	<b>41, 42, 82, 88, 103, 104</b>
<b>Stefaniuk-Grams A.</b>	<b>39, 40</b>
<b>Sworakowski J.</b>	<b>61</b>
<b>Szewczyk D.</b>	<b>23</b>
<b>Szostak J.</b>	<b>65, 109</b>
<b>Świetlik R.</b>	<b>32, 34</b>
<b>Ulański J.</b>	<b>39, 40, 46, 47, 60, 62, 95, 110</b>
<b>Waliszewski W.</b>	
<b>Waluk J.</b>	<b>92</b>
<b>Widelicka M.</b>	<b>30</b>
<b>Wiosna-Sałyga G.</b>	<b>62, 83, 110</b>
<b>Włodarska M.</b>	
<b>Wojciechowska M.</b>	<b>35</b>
<b>Wolarz E.</b>	<b>21</b>
<b>Wróbel D.</b>	<b>54</b>
<b>Zagórska M.</b>	<b>73, 105, 111</b>
<b>Zajac W.</b>	<b>50, 56</b>
<b>Zajączkowski W.</b>	<b>31</b>
<b>Zalewski S.</b>	<b>51</b>
<b>Zieliński P.</b>	<b>20, 26, 58</b>

## LIMERYKI

Konkursy pisania limeryków stały się już tradycją konferencji Kryształy Molekularne. Mamy nadzieję, że i tym razem uczestnikom dopisze literacka wena.

Przypominamy pokrótce, jakie zasady obowiązują przy tworzeniu limeryków. Limeryk jest to wiersz składający się z pięciu wersów o sekwencji rymów: *aabba*. Wers trzeci i czwarty powinny być krótsze. W klasycznym limeryku w pierwszym wersie powinna znaleźć się nazwa geograficzna oraz informacja typu „*pevien pan*”, „*pewna pani*”. Ostatni wers powinien być, w jakimś stopniu zaskakujący, a nawet absurdalny. Poniżej kilka przykładowych limeryków napisanych przez anonimowego autora. Nie spełniają one zbyt rygorystycznie powyższych zasad, ale nawiązują tematycznie do zbliżającej się konferencji.

Zachęcamy do twórczości literackiej. Dla autora najlepszego dzieła przewidziana jest nagroda specjalna.

Komitet Organizacyjny KM2016

### *Limeryk 1*

*Na zjeździe w Kazimierzu pevien Jacek z Łodzi  
o wyższości fizyki nad chemią wywodził.  
Odparła mu chemiczka z Warszawy: „Ja znam to”  
i nie czekając dłużej spuściła mu manto.  
Więc nadmiernym gadulstwem sam sobie zaszkodził.*

### *Limeryk 2*

*Pewna Gosia, dobra Polka  
przyczepiła się do Bolka:  
„Boleczku, mój dobry chłopie  
objaśnij mi spektroskopię”.  
Jego z nerwów brata kolka.*

### *Limeryk 3*

*Pewien Juliusz z Wrocławia, głowa tęga, dusza prawa,  
zmierzyć chciał kiedyś blask prezesa Jarostawa.  
Szybko go ugaszono – nie ma na tej ziemi  
spektrometru co zmierzy jasność tych promieni.  
I tak biednego Julka ominęła stawa.*

*Notatki*

*Notatki*



*Notatki*

*Notatki*

Poniedziałek		Wtorek		Środa		Czwartek		Piątek	
		08:00	Śniadanie	08:00	Śniadanie	08:00	Śniadanie	08:00	Śniadanie
		08:50	Otwarcie			08:40	W. Pisula		
		09:00	A. Sobolewski	09:00	E. Głowacki	09:25	J. Sworakowski	09:00	O. Malinkiewicz
		09:45	A. Miniewicz	09:45	J. Jung	09:45	J. Ulański	09:45	G. Lewińska
		10:05	S. Bartkiewicz	10:05	A. Stefaniuk-Grams	10:05	T. Marszałek	10:05	M. Pokladko-Kowar
				10:15	D. Pelczarski				
		10:25	M. Białkowska	10:25	M. Klein	10:25	Przerwa kawowa	10:25	J. Karpiuk
		10:35	M. Majka	10:35	W. Mróz				
		10:45	Przerwa kawowa	10:45	Przerwa kawowa	10:45	P. Bujak	10:45	A. Proń
		11:15	E. Wolarz	11:15	K. Matczyszyn	11:30	J. Szostak	11:05	Zamknięcie konferencji
						11:50	O. Morawski		
		12:00	E. Chrzumnicka	12:00	G. Bator	12:10	M. Bielejewski	12:00	Przerwa obiadowa
		12:20	D. Szewczyk	12:20	Ł. Janasz				
		12:30	K. Ordon	12:30	A. Łuczak	12:30	Przerwa obiadowa	12:30	Przerwa obiadowa
		12:40	R. Nikonkov	12:40	J. Konieczkowska				
12:50	P. Sobieszczyk	12:50	S. Kotowicz						
		13:00	Przerwa obiadowa	13:00	Przerwa obiadowa	13:30	Wycieczka	13:00	Wyjazd
15:00	Rejestracja	15:00	M. Makowska-Janusik	15:00	E. Juszyńska-Gałązka				
		15:45	P. Petelenz	15:45	S. Zalewski				
		16:05	I. Majerz	16:05	A. Rudzki				
		16:25	M. Widelicka	16:25	P. Błaszkiwicz				
		16:35	W. Zajączkowski	16:35	K. Rytel				
		16:45	Przerwa kawowa	16:45	Przerwa kawowa				
		17:15	R. Świetlik	17:15	A. Rachocki				
		17:35	I. Olejniczak	17:35	W. Zając				
		17:55	A. Frąckowiak	17:55	I. Kulszewicz-Bajer				
		18:15	M. Wojciechowska	18:15	D. Kuźma				
		18:25	M. Moskwa	18:25	Kolacja				
19:00	Kolacja powitalna	18:35	Kolacja						
		19:30	Sesja plakatowa	19:30	Sesja plakatowa	20:00	Uroczysta kolacja		