

Załącznik nr 2

Autoreferat w języku polskim

1. Imię i Nazwisko

Jędrzej Szmytkowski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

1998 – magister inżynier fizyki technicznej

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska

„Badanie morfologii powierzchni kryształów i stabilności strukturalnej układu $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-\delta}$ ”

Promotor: prof. dr hab. inż. Wojciech Sadowski

2005 – doktor nauk fizycznych w zakresie fizyki

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska

„Fotoprzewodnictwo elektrolumineszujących związków organicznych”

Promotor: prof. dr hab. Jan Kalinowski

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Andrzej Miniewicz (*Politechnika Wrocławska*)

prof. dr hab. Jacek Ulański (*Politechnika Łódzka*)

Praca wyróżniona przez Radę Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej PG

Praca nagrodzona przez Gdańskie Towarzystwo Naukowe

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Asystent 1998 – 2005

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska

- Adiunkt od 2005

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska

(w tym czasie urlopy naukowe na staże podoktorskie)

Szmytkowski

- Staż podoktorski (BAT IIa / TV-L 13) 09.2006 – 06.2009

Institute of Applied Physics, University of Karlsruhe (TH),

obecna nazwa uczelni - Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Niemcy

- Staż podoktorski (Postdoctoral Fellow) 10.2009 – 12.2011

Department of Chemistry, University of Saskatchewan, Saskatoon, Kanada

- Staż podoktorski (Postdoctoral Associate) 01.2012 – 11.2012

Department of Chemistry, University of Florida, Gainesville, USA

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Badanie układów molekularnych w aspekcie zwiększenia wydajności organicznych ogniw fotowoltaicznych

b) spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Oświadczenia własne i współautorów artykułów o indywidualnym wkładzie w powstanie prac oraz spis współczynników impact factor podane są w oddzielnych załącznikach.

H1. J. Szmytkowski

The influence of the thickness, recombination and space charge on the loss of photocurrent in organic semiconductors: an analytical model.

Journal of Physics D: Applied Physics **40** (2007) 3352-3357

H2. A. Huijser, P. Marek, T.J. Savenije, L.D.A. Siebbeles, T. Scherer, R. Hauschild,

J. Szmytkowski, H. Kalt, H. Hahn, T.S. Balaban

Photosensitization of TiO₂ and SnO₂ by artificial self-assembling mimics of the natural chlorosomal bacteriochlorophylls.

Journal of Physical Chemistry C **111** (2007) 11726-11733

H3. J. Szmytkowski

The photocurrent quantum efficiency dependence on the applied voltage in organic

Szmytkowski

- solar cells.*
Semiconductor Science and Technology **22** (2007) 1329-1331
- H4. M.C. Balaban, A. Eichhöfer, G. Buth, R. Hauschild, **J. Szmytkowski**, H. Kalt, T.S. Balaban
Programmed metalloporphyrins for self-assembly within light-harvesting stacks: 5,15-dicyano-10,20-bis(3,5-di-tert-butylphenyl)-porphyrinato zinc(II) and its push-pull 15-N,N-dialkylamino-5-cyano congeners obtained by a facile direct amination.
Journal of Physical Chemistry B **112** (2008) 5512-5521
- H5. T. Jochum, C.M. Reddy, A. Eichhöfer, G. Buth, **J. Szmytkowski**, H. Kalt, D. Moss, T.S. Balaban
The supramolecular organization of self-assembling chlorosomal bacteriochlorophyll c, d or e mimics.
Proceedings of National Academy of Sciences USA (PNAS) **105** (2008) 12736-12741
Artykuł wyselekcjonowano do:
1. Virtual Journal of Biological Physics Research 16 (2008) issue 6
2. Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology 18 (2008) issue 12
- H6. **J. Szmytkowski**
Analysis of the image force effects on the recombination at the donor-acceptor interface in organic bulk heterojunction solar cells.
Chemical Physics Letters **470** (2009) 123-125
- H7. **J. Szmytkowski**
Modeling the electrical characteristics of P3HT:PCBM bulk heterojunction solar cells: Influence of the interface recombination.
Semiconductor Science and Technology **25** (2010) 015009 (1-4)
- H8. **J. Szmytkowski**, T. Bond, M.F. Paige, R.W.J. Scott, R.P. Steer
Spectroscopic and Photophysical Properties of ZnTPP in a Room Temperature Ionic Liquid.
Journal of Physical Chemistry A **114** (2010) 11471-11476
- H9. **J. Szmytkowski**, S.M.K. Brunet, U. Tripathy, J.A. O'Brien, M.F. Paige, R.P. Steer
Photophysics and Halide Quenching of Soret-excited ZnTPPS⁺ in Aqueous Media.
Chemical Physics Letters **501** (2011) 278-282
- H10. **J. Szmytkowski**, J. Conradt, H. Kuhn, C.M. Reddy, M.C. Balaban, T.S. Balaban, H. Kalt
Self-assemblies of novel magnesium porphyrins mimicking natural chlorosomal

bacteriochlorophylls studied by time-resolved spectroscopy.

Journal of Physical Chemistry C **115** (2011) 8832–8839

- H11. M. Koepf, J. Conradt, **J. Szmytkowski**, J.A. Wytko, L. Allouche, H. Kalt, T.S. Balaban, J. Weiss

Highly linear self-assembled porphyrin wires.

Inorganic Chemistry **50** (2011) 6073–6082

- H12. **J. Szmytkowski**

On the tendency of temperature and electric field dependences of interface recombination in P3HT:PCBM organic bulk heterojunction solar cells.

Semiconductor Science and Technology **26** (2011) 105012 (1–6)

- H13. S.K. Sugunan, B. Robotham, R.P. Sloan, **J. Szmytkowski**, K.P. Ghiggino, M.F. Paige, R.P. Steer

Photophysics of untethered ZnTPP-fullerene complexes in solution.

Journal of Physical Chemistry A **115** (2011) 12217–12227

- H14. **J. Szmytkowski**

Nongeminate recombination in organic bulk heterojunction solar cells: Contribution of exciton-charge carrier interaction.

Physica Status Solidi (Rapid Research Letters) **6** (2012) 300–302

- H15. P.D. Harvey, F. Bregier, S.M. Aly, **J. Szmytkowski**, M.F. Paige, R.P. Steer

Dendron to Central Core S_1 - S_1 and S_2 - S_n ($n > 1$) Energy Transfers in Artificial Special Pairs Containing Dendrimers with Limited Numbers of Conformations.

Chemistry A European Journal **19** (2013) 4352–4368

- H16. **J. Szmytkowski**

Four-body recombination in organic bulk heterojunction solar cells: An alternative interpretation.

Semiconductor Science and Technology **28** (2013) 052002 (1–5)

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

A. Wprowadzenie

W ostatnich latach nastąpił gwałtowny wzrost zainteresowania organicznymi ogniwami fotowoltaicznymi [1–4]. Podyktowane jest to poszukiwaniem nowych źródeł

Szmytkowski

energii odnawialnej z uwagi na rosnący wzrost zużycia energii elektrycznej przy jednoczesnym wyczerpywaniu się dotychczas używanych paliw energetycznych. Dostrzeżono również liczne korzyści z zastosowania materiałów organicznych w urządzeniach elektronicznych, co zaowocowało powstaniem nowej gałęzi nauki jaką jest elektronika molekularna, zaś odkrywców organicznych przewodników (Heeger, MacDiarmid, Shirikawa) uhonorowano Nagrodą Nobla z chemii w 2000 roku. Otrzymanie przez Tanga [5] oraz Grätzela [6] ogniw fotowoltaicznych na bazie materiałów organicznych spowodowało, że coraz więcej instytucji naukowych, a zwłaszcza przemysłowych, zaangażowało się w rozwój organicznej fotowoltaiki. Generalnie wyróżnia się dziś dwa typy fotoogniw molekularnych: ogniwa polimerowe, przeważnie typu donor-akceptor, oraz fotoogniwa uczulone barwnikiem (typu Grätzela), gdzie barwnik organiczny jest naniesiony na mezoskopową powierzchnię półprzewodnika nieorganicznego (którymi najczęściej są nanostruktury TiO_2). Atrakcyjną cechą ogniw organicznych jest ich tańsza produkcja w porównaniu z ogniwami na bazie materiałów nieorganicznych. Inną zaletą fotoogniw organicznych jest możliwość wytwarzania ogniw elastycznych, które mogą być wielokrotnie zginane bez ich uszkodzenia, co otwiera drzwi do ich nowatorskich zastosowań. Tanie, cienkie, lekkie, elastyczne, działające przy słabym czy nawet sztucznym oświetleniu komórki fotowoltaiczne rozpalają dziś wyobraźnię projektantów, na przykład planuje się w przyszłości pokrycie ścian i szyb domów cienką warstwą fotowoltaiczną zbudowaną ze związków organicznych. Niestety, wciąż główną przeszkodą okazuje się niższa wydajność ogniw organicznych w porównaniu z powszechnie stosowanymi fotokomórkami nieorganicznymi. Najwyższe uzyskane wydajności dla organicznych ogniw sięgają 12%, zarówno dla ogniw typu Grätzela [7], jak i polimerowych [8]. Co więcej, wyniki z laboratoriów naukowych trudno jest dziś powtórzyć w trakcie masowej produkcji. Dlatego jednym z priorytetów w tej tematyce badawczej są wysiłki skierowane w celu osiągnięcia lepszej wydajności organicznych komórek fotowoltaicznych.

B. Cel naukowy pracy (osiągnięcia naukowego)

Celem pracy badawczej, której wyniki opisano w cyklu 16 artykułów naukowych, było

1. wyjaśnienie procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego w układach organicznych, czyli głównego zjawiska prowadzącego do zmniejszenia wydajności komórek fotowoltaicznych,
2. poszukiwanie nowych materiałów organicznych, dzięki którym można zwiększyć wydajność organicznych ogniw słonecznych,

Siemakowski

3. zbadanie układów molekularnych z widoczną emisją światła ze stanu singletowego S_2 , z uwagi na możliwość wykorzystania tego stanu w wydajniejszym procesie transferu elektronu z materiału donora do materiału akceptora w organicznych fotoogniwach.

C. Krótkie omówienie osiągniętych wyników

Prace naukowe [H1,H3,H6,H7,H12,H14,H16] o charakterze rozważań teoretycznych dotyczących rekombinacji nośników ładunku są jednoautorskie. Mój wkład do pozostałych prac [H2,H4,H5,H8,H9,H10,H11,H13,H15] sprowadza się przede wszystkim do badań fotofizycznych z wykorzystaniem ultraszybkiej spektroskopii laserowej (patrz załącznik 4). Deklaracje o wkładzie innych współautorów przedstawione są w załączniku 6. Pełne teksty omawianych artykułów znajdują się w załączniku 7.

W punktach C2 i C3 przedstawiono badania związków porfiryńowych, z uwagi na ich coraz powszechniejsze zastosowanie w organicznych komórkach fotowoltaicznych, zwłaszcza w fotoogniwach uczulonych barwnikiem. To właśnie porfiryna została użyta jako barwnik organiczny przy osiągnięciu rekordowej 12% wydajności ogniw typu Grätzela [7].

Z uwagi na długie nazwy chemiczne badanych związków, w dalszej części autoreferatu będą używane tylko nazwy skrótowe.

C1. Badanie mechanizmu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego w organicznych ogniwach słonecznych [H1,H3,H6,H7,H12,H14,H16]

Rekombinacja nośników ładunku jest głównym zjawiskiem zmniejszającym wartość fotoprądu, a zatem należy ją również traktować jako podstawowy proces obniżający wydajność ogniw fotowoltaicznych. Stan zrozumienia rekombinacji zachodzącej w organicznych komórkach słonecznych typu donor-akceptor jest wciąż wysoce niezadowolający [9]. W materiałach organicznych wytwarzanie nośników ładunku zachodzi głównie w wyniku dysocjacji wygenerowanych światłem ekscytonów na dwa swobodne nośniki: elektron i dziurę. Generalnie rozróżnia się dwa typy rekombinacji: gdy rekombinujące z sobą elektron i dziura są związane tym samym aktem fotogeneracji (dysocjacja jednego ekscytonu), mamy do czynienia z tzw. rekombinacją bliźniaczą (geminate recombination); gdy zaś dochodzi do rekombinacji innej niż powyższa mówimy o rekombinacji typu „nongeminate”. Dotychczas zakładano dla układów organicznych, że za proces rekombinacji typu nongeminate odpowiedzialna jest rekombinacja bimolekularna

Szumowski

między elektronem i dziurą, które nie powstały w wyniku dysocjacji tego samego ekscytynu. Proces ten opisuje powszechnie stosowany dla układów molekularnych model Langevina. Okazuje się, że model ten nie znajduje zastosowania dla dwuskładnikowych układów organicznych typu donor-akceptor. Aby wyjaśnić obserwowane eksperymentalnie odstępstwa od modelu Langevina, stosuje się dziś dwa podejścia teoretyczne. Pierwsze z nich polega na całkowitym odrzuceniu tego modelu dla układów donor-akceptor i poszukiwaniu innego mechanizmu rekombinacji typu nongeminate. W drugiej metodzie zakłada się współistnienie przynajmniej dwóch rodzajów rekombinacji typu nongeminate: bimolekularnej opisywanej równaniem Langevina oraz dodatkowej, która z nią konkuruje. W ostatnich latach pojawiło się kilka obiecujących modeli teoretycznych opisujących rekombinację typu nongeminate w organicznych układach dwuskładnikowych [10-17], jednak żaden z nich nie wyjaśnia w pełni tego zjawiska.

[H1] *Journal of Physics D: Applied Physics* **40** (2007) 3352-3357

W pracy zaproponowałem analityczny model wyjaśniający zależność wydajności kwantowej fotoprądu (QE) od natężenia światła w układach organicznych. Uwzględniłem zaniedbywany przez innych autorów wpływ rekombinacji monomolekularnej. Otrzymałem wyrażenie na wydajność kwantową w postaci

$$QE = \frac{-1 + \sqrt{1 + \frac{9}{2} AP \left(\frac{1}{J_{SCL}^{(n)}} + \frac{1}{J_{SCL}^{(p)}} \right) \frac{L_n L_p}{d^2}}}{\frac{9}{4} AP \left(\frac{1}{J_{SCL}^{(n)}} + \frac{1}{J_{SCL}^{(p)}} \right) \left(\frac{d}{L_n} + \frac{d}{L_p} \right)^{-1}},$$

gdzie A – parametr zależny od pola elektrycznego, P – natężenie światła, $J_{SCL}^{(n)}$, $J_{SCL}^{(p)}$ – wartości prądów ograniczonych ładunkiem przestrzennym, odpowiednio dla elektronów i dziur, L_n – średni dystans dryfu elektronu przed rekombinacją, L_p – średni dystans dryfu dziury przed rekombinacją, d – grubość próbki. Wykazałem, że wyprowadzone wyrażenie jest rozszerzeniem modelu Tesslera i współpracowników, który z powodzeniem opisuje eksperymentalne zależności obserwowane w dwuskładnikowych organicznych ogniwach słonecznych [18]. W pracy przedyskutowano również wpływ ładunku przestrzennego oraz grubości warstwy na wydajność kwantową QE .

[H3] *Semiconductor Science and Technology* **22** (2007) 1329-1331

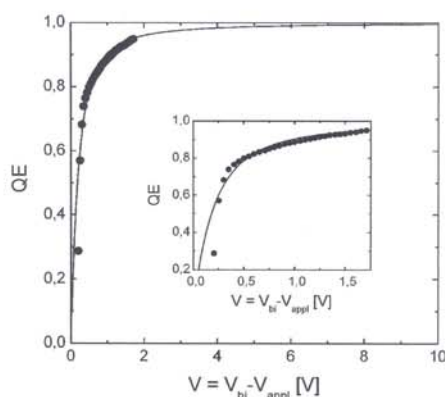
Praca jest uzupełnieniem artykułu [H1]. Pokazałem w niej, że model uwzględniający rekombinację monomolekularną dobrze opisuje wzrost wydajności kwantowej w funkcji

Sung-Ho Lee

przyłożonego napięcia (pola elektrycznego). Zaprezentowano zgodność obliczeń teoretycznych z dotychczas niewyjaśnionymi wynikami eksperymentalnymi dla układu P3HT: CdSe [19] (rysunek 1), co pokazuje przydatność prezentowanego modelu do opisu molekularnych układów fotowoltaicznych.

Artykuł opisany na stronie internetowej:

http://www.verticalnews.com/premium_newsletters/Electronics-Newsweekly/2008-03-03/62667ELE.html (Electronics Newsweekly via VerticalNews.com)



Rysunek 1. Wydajność kwantowa fotoprądu w funkcji przyłożonego napięcia dla układu P3HT: CdSe. Porównanie moich wyników teoretycznych (linia ciągła) i eksperymentalnych z pracy [19] (symbole). Rysunek skopiowany z pracy [H3].

[H6] Chemical Physics Letters **470** (2009) 123-125

W pracy zaproponowałem nowy model wyjaśniający zredukowaną rekombinację typu Langevina obserwowaną w organicznych ogniwach słonecznych typu donor-akceptor. Z badań eksperymentalnych wynika, że zmierzony współczynnik rekombinacji jest od 2 do 4 rzędów wielkości mniejszy niż współczynnik wyliczony z modelu Langevina. Pokazano, że efekt ten może wynikać z różnych wartości stałych dielektrycznych donora i akceptora. Nośniki jednego znaku znajdujące się w materiale o mniejszej stałej dielektrycznej są wtedy przyciągane do materiału o większej stałej dielektrycznej i ulegają rekombinacji na granicy faz, która jako defekt strukturalny może spełniać rolę centrum rekombinacji. W wyniku tego

Szymon

procesu koncentracji elektronów i dziur nie są takie same i rekombinacja bimolekularna przestaje być dominująca. Wyprowadzony współczynnik rekombinacji jest postaci

$$\gamma_I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \frac{e\mu_1}{\varepsilon_0\varepsilon_1},$$

gdzie e – ładunek elektronu, ε_1 – stała dielektryczna jednego materiału, ε_2 – stała dielektryczna drugiego materiału ($\varepsilon_1 < \varepsilon_2$), ε_0 – przenikalność dielektryczna próżni, μ_1 – ruchliwość nośników ładunku elektrycznego w materiale opisanym stałą ε_1 . Otrzymano zgodność z eksperymentalnymi współczynnikami rekombinacji dla typowej fotokomórki organicznej P3HT:PCBM.

Artykuł został zauważony i zacytowany w pracy laureata Nagrody Nobla Alana Heegera, jednego z odkrywców organicznych przewodników:

S.R. Cowan, A. Roy, A.J. Heeger, „Recombination in polymer–fullerene bulk heterojunction solar cells”, *Phys. Rev. B* 82 (2010) 245207-1-10

[H7] *Semiconductor Science and Technology* 25 (2010) 015009 (1-4)

Praca prezentuje implementację modelu rekombinacji nośników ładunku prezentowanego we wcześniejszej pracy [H6] do modelowania fotoprądu w funkcji przyłożonego napięcia elektrycznego dla organicznych fotokomórek P3HT:PCBM. W obliczeniach numerycznych wykorzystałem równania wyprowadzone przeze mnie w artykule [H1]. Otrzymano bardzo dobrą zgodność pomiędzy krzywymi teoretycznymi i wynikami eksperymentalnymi, w tym również dla zależności temperaturowych fotoprądu [20] (rysunek 2). W obliczeniach zastosowano inny model rekombinacji bliźniaczej niż powszechnie stosowany dla układów donor-akceptor model Brauna-Onsagera [21], który nie uwzględnia efektów wynikających z różnych stałych dielektrycznych donora i akceptora.

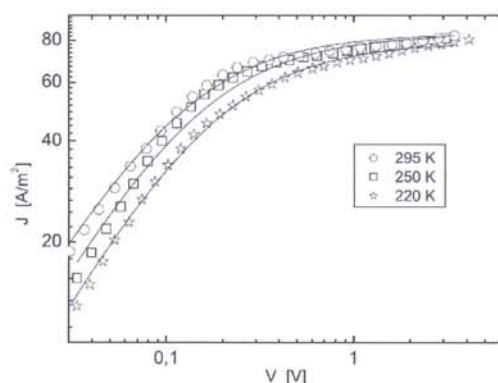
Artykuł został zauważony i zacytowany w innej pracy laureata Nagrody Nobla Alana Heegera, jednego z odkrywców organicznych przewodników:

R.A. Street, S.R. Cowan, A.J. Heeger, “Experimental test for geminate recombination applied to organic solar cells”, *Phys. Rev. B* 82 (2010) 121301(R)

Artykuł został wybrany do:

Semiconductor Science and Technology “Highlights of 2010”

Semiconductor Science and Technology collection: “Solar Cells and Photovoltaics” w 2012 roku



Rysunek 2. Temperaturowa zależność fotoprądu w funkcji napięcia dla układu P3HT:PCBM otrzymana dla różnych temperatur. Porównanie moich wyników teoretycznych (krzywe ciągłe) oraz danych doświadczalnych z pracy [20] (symbole). Rysunek skopiowany z pracy [H7].

[H12] *Semiconductor Science and Technology* **26** (2011) 105012 (1-6)

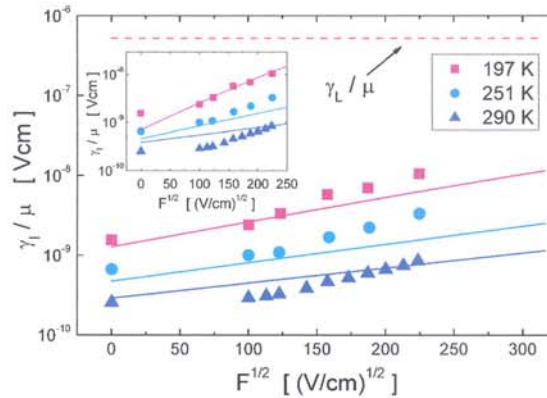
W pracy objaśniłem obserwowany eksperymentalnie efekt temperaturowej i elektryczno-polowej zależności współczynnika rekombinacji w układzie organicznym P3HT:PCBM. Należy tu podkreślić, że zależność współczynnika rekombinacji w funkcji pola elektrycznego nie była dotąd wyjaśniana. W oparciu o model rekombinacji przedstawiony w artykule [H6] oraz biorąc pod uwagę powszechnie stosowane modele (PF, GDM, CDM) opisujące ruchliwość nośników ładunku μ w organicznych ciałach stałych, wyprowadziłem równania opisujące stosunek γ_I/γ_L w funkcji pola elektrycznego oraz temperatury, gdzie γ_L jest współczynnikiem rekombinacji Langevina, zaś γ_I opisuje współczynnik rekombinacji na granicy donor-akceptor wyprowadzony w pracy [H6]. Otrzymana zgodność z danymi eksperymentalnymi pokazuje przydatność tego modelu do opisu organicznych ogniw słonecznych. Dodatkowo po raz pierwszy wyjaśniono eksperymentalne zależności γ_I/μ w funkcji pola elektrycznego obserwowane w różnych temperaturach (rysunek 3).

Artykuł został wybrany do:

Semiconductor Science and Technology "LabTalk"

Semiconductor Science and Technology collection: "Solar Cells and Photovoltaics" w 2012 roku

Semiconductor Science and Technology collection: "Organic Semiconductors" w 2012 roku



Rysunek 3. Zależności temperaturowe stosunków γ_L/μ oraz γ_L/μ w funkcji pola elektrycznego dla układu P3HT:PCBM. Linie ciągłe obliczono teoretycznie. Symbole przedstawiają wyniki eksperymentalne z pracy [9]. Wyraźnie widać, że γ_L/μ (krzywa przerywana w górnej części rysunku) nie zależy od pola elektrycznego. Rysunek skopiowany z pracy [H12].

[H14] *Physica Status Solidi (Rapid Research Letters)* **6** (2012) 300-302

W pracy zaproponowałem nowy model rekombinacji nośników ładunku w organicznych komórkach fotowoltaicznych typu donor-akceptor. Zaletą zastosowanego modelu jest uwzględnienie wpływu koncentracji nośników ładunku zarówno na wartość współczynnika rekombinacji, jak i na rząd rekombinacji. Pokazano, że wygenerowany światłem ekscyton dyfundujący do granicy faz pomiędzy donorem i akceptorem może oddziaływać z nośnikiem ładunku, który, będąc składnikiem pary Langevina elektron-dziura, oczekuje na granicy faz na nośnik przeciwnego znaku. Oddziaływanie ekscyton-nośnik ładunku prowadzi do anihilacji elektrycznie obojętnego ekscytonu, w wyniku której również para Langevina przestaje istnieć. Proces ten prowadzi do zmniejszenia roli rekombinacji bimolekularnej w układach dwuskładnikowych. Pokazano dobrą zgodność z wynikami eksperymentalnymi dla układu PCPDTBT:PC[71]BM [22]. Wyprowadzona wartość czynnika redukującego rekombinację Langevina jest dana wyrażeniem:

$$\xi = \frac{np}{\left[p + \sum_i \left(\gamma_L^{(n)} \tau_i^{(E,n)} \right)^{-1} \right] \cdot \left[n + \sum_i \left(\gamma_L^{(p)} \tau_i^{(E,p)} \right)^{-1} \right]},$$

Stacy + k.c.i.l

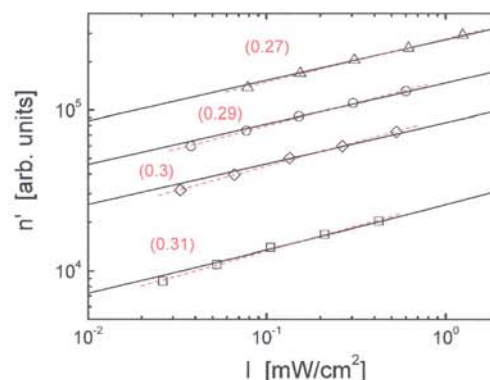
gdzie $\gamma_L^{(n)}$ – współczynnik Langevina dla elektronów, $\gamma_L^{(p)}$ – współczynnik Langevina dla dziur, $\tau_i^{(E,n)}$ – czas oddziaływania ekscyton-elektron, $\tau_i^{(E,p)}$ – czas oddziaływania ekscyton-dziura, n – koncentracja elektronów, p – koncentracja dziur.

Artykuł opisany na stronie internetowej:

<http://www.verticalnews.com/article.php?articleID=7399849> (Research News on Physics Research przez VerticalNews.com)

[H16] *Semiconductor Science and Technology* **28** (2013) 052002 (1-5)

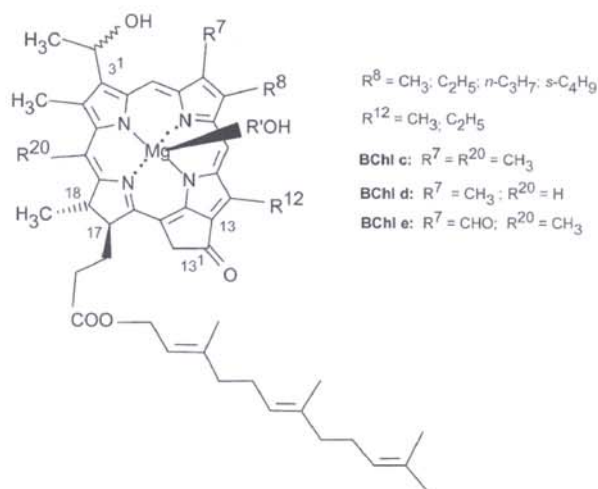
W oparciu o model z pracy [H14] przedstawiono nową interpretację zjawiska rekombinacji quadrimolekularnej obserwowanego eksperymentalnie w organicznych układach fotowoltaicznych typu donor-akceptor. Model stosowany dotychczas [23] zakładał oddziaływanie czterech niezależnych nośników ładunku (dwóch elektronów i dwóch dziur). Pokazałem, że oddziaływanie pomiędzy ekscytonem i nośnikiem ładunku będącym składnikiem pary Langevina elektron-dziura na granicy faz donor-akceptor jest czterociałowym procesem rekombinacji. Wyprowadziłem zależności opisujące zarówno koncentrację nośników ładunku, jak i fotoprąd w funkcji natężenia światła. Objaśniłem rzadko występujący efekt, gdy fotoprąd (j) zależy od natężenia światła (I) jak $j \sim I^{0.25}$ i pokazałem dobrą zgodność modelu z wynikami eksperymentalnymi (rysunek 4).



Rysunek 4. Zależność przeskalowanej wartości koncentracji nośników ładunku w funkcji natężenia światła dla układu P3HT:PCBM. Porównanie wyników doświadczalnych z pracy [23] (symbole) i moich obliczeń teoretycznych (krzywe ciągłe). Krzywe przerywane przedstawiają dopasowanie prostych do danych eksperymentalnych (współczynniki nachylenia podano w nawiasach). Rysunek skopiowany z pracy [H16].

C2. Spektroskopia laserowa nowych porfiryn samoorganizujących się w agregaty molekularne [H2,H4,H5,H10,H11]

Autor przebadiał grupę nowych syntetycznych porfiryn o strukturach molekularnych zbliżonych do naturalnych związków występujących w bakteriochlorofilach *c*, *d*, *e*, które wyłapują światło nawet w warunkach bardzo słabego oświetlenia [24,25] i z tego powodu są uważane za najbardziej obiecujące układy do budowy biomimetycznych ogniw słonecznych (naśladujących naturalne układy biologiczne). W odróżnieniu od większości organizmów żywych, w których zachodzi zjawisko fotosyntezy, bakteriochlorofile *c*, *d*, *e* (skrótowo BChl *c*, *d*, *e*) tworzą pigmenty bez udziału protein. Zwiększenie przekroju czynnego na wyłapanie fotonów jest spowodowane samoorganizacją molekuł pigmentów będących porfirynami magnezowymi (rysunek 5), których współczesna chemia nie jest w stanie zsyntetyzować. Niestabilność naturalnych pigmentów po ich wyizolowaniu z fotosyntetycznych bakterii oraz trudności w otrzymaniu dokładnie takich samych materiałów w laboratorium powodują, że obecnie szuka się stabilnych związków o zbliżonej strukturze molekularnej, które poprzez samoorganizację cząsteczek będą tworzyć agregaty molekularne [26-31]. Zjawisko agregacji cząsteczek jest generalnie pożądane w układach elektronicznych, gdyż korzystnym staje się wykorzystanie dłuższych struktur molekularnych przekazujących energię wzbudzenia [32-34].



Rysunek 5. Struktura molekularna naturalnego pigmentu (porfiryny magnezowej) w bakteriochlorofilach *c*, *d*, *e*. Rysunek skopiowany z [H10].

W omawianych w tym punkcie pracach autor wykonał doświadczenia w laboratorium ultraszybkiej spektroskopii laserowej profesora Heinza Kalta na Uniwersytecie w Karlsruhe (dziś Karlsruhe Institute of Technology) w Niemczech. Do wzbudzania badanych próbek użyto światła wygenerowanego przez femtosekundowy laser tytanowo-szafirowy. Widma fluorescencji rozdzielonej w czasie rejestrowano za pomocą kamery smugowej (streak camera). Analizę wyników przeprowadzono w oparciu o metodę DAES (Decay Associated Emission Spectra). Porfiryny z prac [H2,H4,H5,H10] zostały zsyntetyzowane w laboratoriach profesora Teodora Silviu Balabana z Forschungszentrum Karlsruhe (dziś Karlsruhe Institute of Technology Campus Nord) oraz z Aix-Marseille Universite, zaś porfiryny z pracy [H11] otrzymano po raz pierwszy w laboratorium doktora Jeana Weissa z CNRS w Strasburgu. W omawianym punkcie skupiono się przede wszystkim na znalezieniu syntetycznych porfiryn tworzących uporządkowane agregaty molekularne.

[H2] Journal of Physical Chemistry C **111** (2007) 11726-11733

Nowa porfiryra cynkowa (Zn-3,13-ketol) została zbadana przy użyciu kilku różnych technik eksperymentalnych. Pokazano, że badany związek umieszczony na podłożach TiO_2 i SnO_2 , które są przeważnie wykorzystywane w komórkach fotowoltaicznych typu Grätzela [3,4], wykazuje dobre właściwości fotoelektryczne, co potwierdza jego przydatność w wytwarzaniu biomimetycznych ogniw słonecznych. Pomiary z użyciem ultraszybkiej spektroskopii laserowej wykazały współistnienie monomerów oraz agregatów molekularnych. Krótki czas życia fluorescencji w agregatach (40 ps) sugeruje, że do powstania nośników ładunku elektrycznego prowadzi absorpcja fotonów przez monomery scharakteryzowane czasem życia fluorescencji 2-2.5 ns. Fakt samoorganizowania się molekuł w uporządkowane agregaty molekularne potwierdziły również badania wykonane przy użyciu mikroskopii elektronowej (SEM).

Artykuł cytowany 31 razy, bez autocytowań (według bazy Web of Science)

[H4] Journal of Physical Chemistry B **112** (2008) 5512-5521

W pracy przedstawiono wyniki badań dla grupy nowych porfiryn cynkowych. Dla porfiryny Zn-5,15-dicyano (oznaczanej w pracy jako 3) oraz porfiryn typu push-pull (oznaczanych jako 8a-e) przebadano zjawisko samoorganizowania się molekuł w uporządkowane agregaty molekularne. W niektórych badanych związkach wykazano formowanie się agregatów o stosunkowo długim czasie zaniku fluorescencji rzędu 1 ns, co stwarza możliwość wydajnego pułapkowania energii wzbudzenia w ogniwach słonecznych. Przedyskutowano strukturę

Szymon Kowalewski

agregatów molekularnych tworzących się w roztworach, jak również przebadano strukturę krystaliczną badanych porfiryn w cieple stałym. Wyniki dla porfiryn typu „push-pull” opisywane w tej pracy autor prezentował w postaci graficznej na konferencji Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter 2008 w Berlinie [K8].

[H5] Proceedings of National Academy of Sciences USA (PNAS) 105 (2008) 12736-12741

Praca poświęcona jest badaniom kolejnej grupy nowych układów molekularnych naśladujących strukturę oraz zachowanie się naturalnych pigmentów spotykanych w BChl *c*, *d*, *e*. Analiza pomiarów fluorescencji rozdzielonej w czasie dla porfiryn Zn-3,13-diacetyl (oznaczanej w pracy jako 4-Zn) oraz Zn-3,17-diacetyl (oznaczanej jako 5-Zn) wykazała istnienie uporządkowanych agregatów molekularnych o czasach życia fluorescencji (40-100 ps). W pracy zaproponowano nowy model formowania się supramolekularnych struktur w fotosyntetycznych bakteriach, które to zjawisko jest wciąż nie do końca wyjaśnione i powoduje liczne dyskusje [26]. Pokazano tu rolę oddziaływania elektrostatycznego pomiędzy grupą acetylową oraz centralnym atomem metaloporfiryny w tworzeniu się uporządkowanych struktur molekularnych. Przedstawiona praca ma znaczenie zarówno dla fotowoltaiki organicznej, jak i dla biologii.

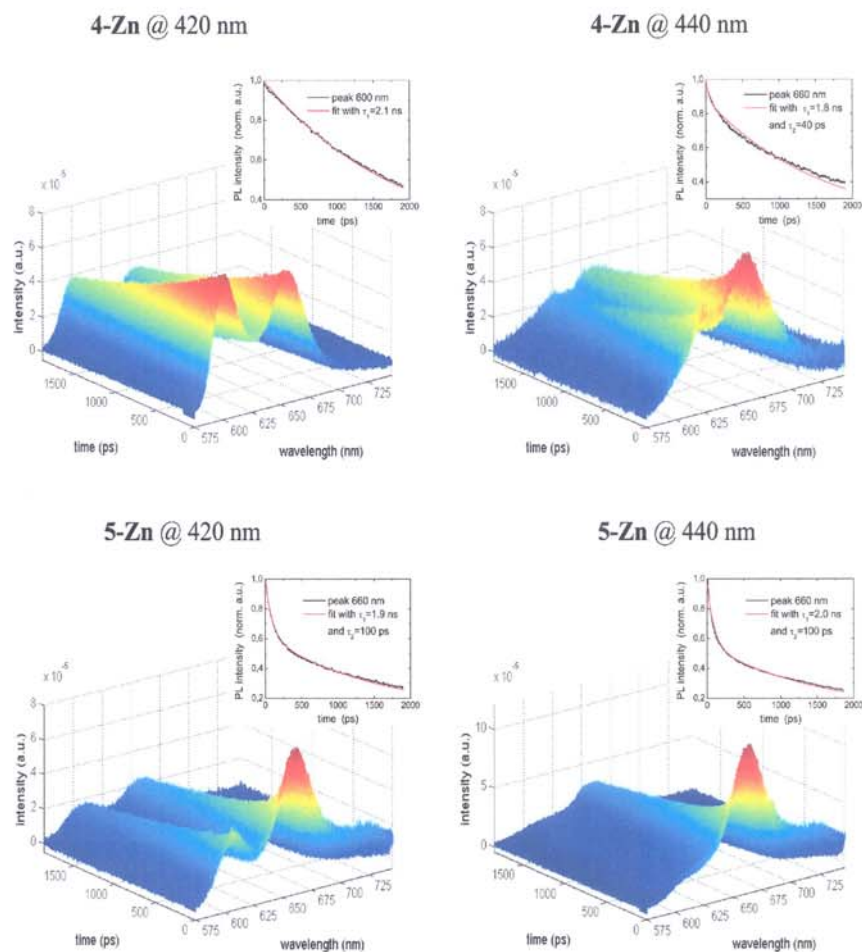
Artykuł został wybrany do:

Virtual Journal of Biological Physics Research 16 (2008) issue 6

Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology 18 (2008) issue 12

Artykuł cytowany 32 razy, bez autocytowań (według bazy Web of Science)

Sztybel



Rysunek 6. Trójwymiarowe widma zaniku fluorescencji dla badanych porfiryn Zn-3,13-diacetyl i Zn-3,17-diacetyl. Rysunek skopiowany z pracy [H5].

[H10] Journal of Physical Chemistry C **115** (2011) 8832–8839

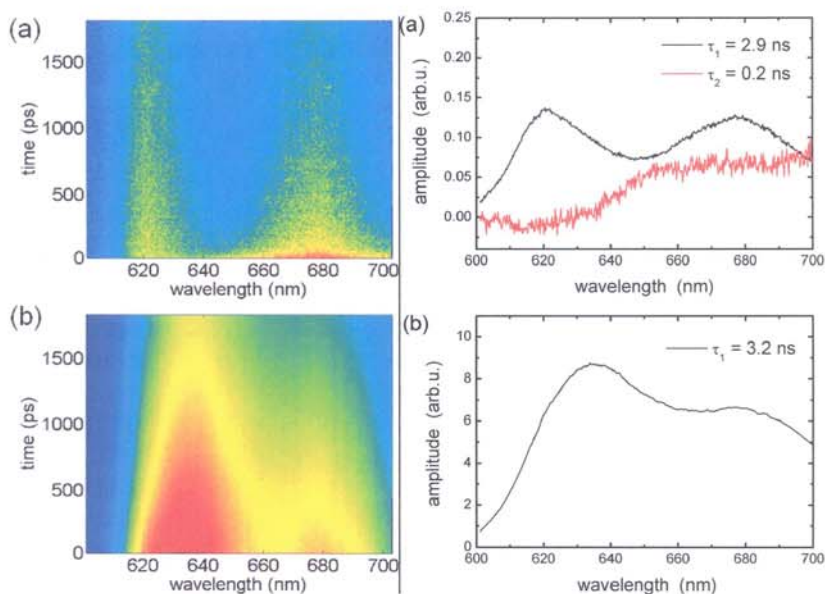
W pracy przedstawiono wyniki badań fotofizycznych dla czterech nowych metaloporfiryn (Mg-3,13-ketol, Mg-3,17-ketol, Mg-3,13-diacetyl, Mg-3,17-diacetyl). Są to porfiryny magnezowe, a zatem ich struktura jest bliższa naturalnym molekułom pigmentów spotykanym w fotosyntetycznych bakteriach niż stosowane powszechnie syntetyczne porfiryny cynkowe. Udowodniono, że wszystkie cztery związki tworzą uporządkowane agregaty molekularne w niepolarnym rozpuszczalniku (n-heptan), w związku z czym są

Summary

atrakcyjnymi materiałami do zastosowania ich w biomimetycznych ogniwach słonecznych. W pracy pokazano i przedyskutowano również wpływ metanolu w roztworze na rozpad agregatów molekularnych na krótsze jednostki, w tym między innymi na tworzenie się nowych monomerów porfiryna-metanol (rysunek 7).

Artykuł opisany na stronie internetowej:

<http://www.newsrx.com/health-articles/2631112.html> (Medical News Article, NewsRx)



Rysunek 7. (Lewy panel) Eksperymentalne widma zaniku fluorescencji dla porfiryny Mg-3,13-ketol w niepolarnym rozpuszczalniku n-heptan (a) bez metanolu, (b) z metanolem. (Prawy panel) Analiza DAES uzyskanych widm: (a) widać zarówno składową monomerową (2.9 ns) jak i krótkożyłową pochodzącą od agregatów (0.2 ns), (b) występuje tylko składowa monomerowa (3.2 ns). Rysunek skopiowany z pracy [H10].

[H11] *Inorganic Chemistry* **50** (2011) 6073-6082

W pracy zbadano trzy nowe porfiryny cynkowe w celu znalezienia materiałów, w których molekuly samoorganizują się w liniowe struktury molekularne (tzw. „druty molekularne”). Pomiar widm absorpcji dla dwóch porfiryn (nazywanych w pracy 3Zn i 4Zn) dowodzą formowania się zarówno dimerów $(3Zn)_2$ oraz $(4Zn)_2$, jak i dłuższych oligomerów. Zostało to potwierdzone w badaniach spektroskopii laserowej, gdzie znaleziono dwie składowe

Smith et al.

opisujące zanik fluorescencji w dimerach (250-300 ps dla 4Zn i 150-200 ps dla 3Zn) oraz w oligomerach (900-1100 ps dla 4Zn i 700 ps dla 3Zn). Zaobserwowano formowanie się dłuższych jednostek molekularnych typu $4Zn(7Zn)_n4Zn$ w mieszaninie dwóch porfiryn: 4Zn oraz bis-porfiryny 7Zn. Efekt ten wyraźnie widać w pomiarach z użyciem metody spektroskopii laserowej, gdzie dla układu $4Zn(7Zn)_44Zn$ znaleziono krótkożyciową składową (400 ps) odpowiedzialną za formowanie się takich struktur. Obecność liniowych struktur molekularnych potwierdzono również przy użyciu mikroskopii sił atomowych AFM.

C3. Badanie promienistego zaniku stanu S_2 w układach porfiryńowych metodą ultraszybkiej spektroskopii laserowej [H8,H9,H13,H15]

Autor zbadał fluorescencję ze stanu singletowego S_2 w układach porfiryńowych. Efekt ten spotykany jest niezwykle rzadko w układach molekularnych [35,36] i już z tego powodu zasługuje na wzmogłą uwagę. Dla zdecydowanej większości molekuł słuszną jest reguła Kashy, według której emisja fluorescencji zachodzi z najniższego wzbudzonego stanu singletowego S_1 . Wynika to z faktu, że molekula wzbudzona do wyższych stanów S_n ($n>1$) szybko relaksuje bezpromieniście do stanu S_1 , w związku z czym fluorescencja prawie zawsze zachodzi tylko z najniższego wzbudzonego stanu singletowego. Mierzalną emisję światła ze stanu S_2 wykazuje bardzo nieliczna grupa materiałów, do których zaliczają się niektóre porfiryny [37]. Prognozuje się, że wykorzystanie w ogniwach słonecznych materiałów o relatywnie długich czasach życia stanu S_2 zwiększy ich wydajność, gdyż transfer elektronu z wyższego stanu energetycznego do innego materiału (akceptora) powinien być bardziej wydajny niż ze stanu usytuowanego niżej na skali energetycznej. Niedawno pokazano, że zjawisko anihilacji tryplet-tryplet, w wyniku którego powstają stany singletowe S_2 w materiale donora, jest procesem prowadzącym do zwiększenia wydajności transferu elektronu do materiału akceptora [38,39]. Można to przedstawić za pomocą schematu:



gdzie D jest donorem, zaś A akceptorem. Warto zauważyć, że większość badaczy rozważa zjawisko anihilacji tryplet-tryplet, zakładając powstanie tylko stanu singletowego S_1 [40,41].

Z uwagi na to, że zanik fluorescencji ze wzbudzonego stanu S_2 zachodzi dla czasów rzędu 10^{-12} - 10^{-15} s, w badaniach użyto metody ultraszybkiej spektroskopii laserowej wykorzystującej zjawisko nadkonwersji (up-conversion) polegającej na mieszanii dwóch częstości światła (światła laserowego i badanej fluorescencji) w kryształach nieliniowych.

$$S_2 + h\nu, \nu$$

Metoda ta pozwala rejestrować sygnał fluorescencji nawet z femtosekundową zdolnością rozdzielczą. W pracach omawianych w tym punkcie mierzyłem zarówno czasowe zaniki fluorescencji ze stanu S_2 , jak i zachodzące w tym samym przedziale czasowym wzrosty fluorescencji ze stanu S_1 . Badania wykonałem w laboratoriach spektroskopii laserowej profesora RONALDA STEERA i profesora MATTHEW PAIGE'a na University of Saskatchewan w Kanadzie.

[H8] *Journal of Physical Chemistry A* **114** (2010) 11471-11476

Zbadano własności fotofizyczne metaloporfiryny ZnTPP w środowisku cieczy jonowej [bmim][PF₆]. Ciecze jonowe są obecnie przedmiotem zwiększonego zainteresowania z uwagi na ich atrakcyjne właściwości i liczne zastosowania [42], również w ogniwach słonecznych typu Grätzela [43]. Z uwagi na to, że w komercyjnie dostępnych cieczach jonowych występują zanieczyszczenia, których obecność może ograniczyć emisję ze stanu S_2 , użyto tu nowo zsintetyzowanej i specjalnie oczyszczonej cieczy jonowej [bmim][PF₆] otrzymanej w laboratorium profesora Roberta Scotta z University of Saskatchewan. Otrzymany czas życia stanu S_2 jest zbliżony do czasów zmierzonych dla ZnTPP w typowych rozpuszczalnikach molekularnych. Pokazano, że jonowy charakter rozpuszczalnika [bmim][PF₆] nie wpływa w widoczny sposób na relaksację bezpromienistą ze stanu S_2 do stanu S_1 . Wykazano również dobrą korelację pomiędzy szerokością przerwy energetycznej $\Delta E(S_2-S_1)$ a funkcją Lorentza-Lorenza. Wykonałem również badania zaniku fluorescencji ze stanu S_1 (rzędu nanosekund) metodą TCSPC (Time-Correlated-Single-Photon-Counting), gdzie oprócz składowej 1.6-2.1 ns typowej dla ZnTPP widać krótkożyciową składową rzędu 0.5 ns odpowiedzialną za czas relaksacji w cieczy jonowej.

Artykuł opisany na stronie internetowej:

[http://www.newsrx.com/newsletters/Life-Science-Weekly/2011-01-](http://www.newsrx.com/newsletters/Life-Science-Weekly/2011-01-18/25011820112474LS.html)

[18/25011820112474LS.html](http://www.newsrx.com/newsletters/Life-Science-Weekly/2011-01-18/25011820112474LS.html) (*Life Science Weekly, NewsRx, w dziale "Solvents"*)

[H9] *Chemical Physics Letters* **501** (2011) 278-282

Zbadano wpływ środowiska jonów na wygaszanie emisji światła pochodzącego ze wzbudzonej w paśmie Soreta porfiryny ZnTPPS₄⁻. Zjawisko to jest niezwykle istotne w ogniwach typu Grätzela z uwagi na obecność jonów jodu w elektrolicie (para redox I⁻/I₃⁻) [3,4], które mogą wywierać wpływ na barwnik organiczny. Badania przeprowadzono dla roztworów wodnych porfiryny, w których zmieniano koncentrację NaI (czyli de facto jonów jodu z uwagi na dysocjację) oraz NaCl (czyli odpowiednio jonów chloru), przy czym suma

S₂ i S₁

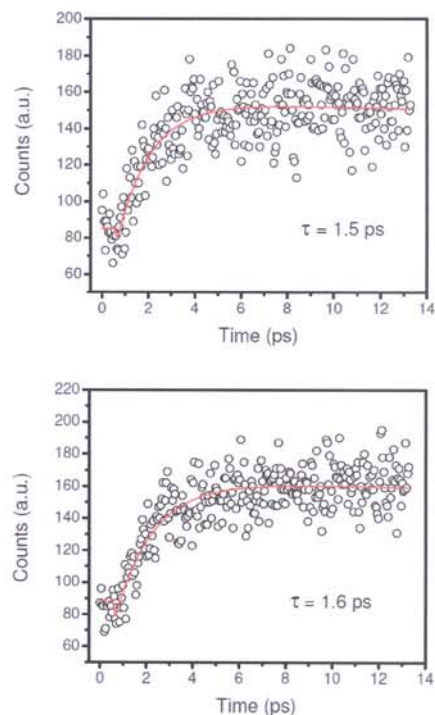
koncentracji molowej układu NaI+NaCl była zawsze stała (2 M). Pokazano, że wygaszanie fluorescencji ze stanu S_1 jest dobrze opisane prawem Sterna-Volmera. Wykazano, że stopniowe zwiększenie koncentracji jonów jodu w roztworze powoduje zmniejszanie czasu zaniku fluorescencji ze stanu S_2 dla badanej porfiryry. Wyjaśniono, że obserwowane wygaszanie fluorescencji zachodzi w wyniku statycznego procesu transferu elektronu z jonu jodu do wzbudzonej porfiryry.

Conc. NaI [M]	Conc. NaCl [M]	S_2 decay time [ps] ^a ± 0.02 ps	S_1 rise time [ps] ^a ± 0.25 ps
0	0	1.44	1.50
0.0	2.0	1.35	1.35
0.5	1.5	1.22	1.25
1.0	1.0	1.18	1.20
1.5	0.5	1.13	1.15
2.0	0.0	1.08	1.10

Tabela 1. Wyniki otrzymane w roztworze wodnym porfiryry $ZnTPPS_4^-$ przy stałej koncentracji molowej (2M) NaI+NaCl. Wyraźnie widać zjawisko wygaszania fluorescencji ze stanu S_2 pod wpływem stopniowo zwiększanej koncentracji NaI. Tabela skopiowana z pracy [H9].

[H13] *Journal of Physical Chemistry A* **115** (2011) 12217-12227

Praca przedstawia pierwsze eksperymentalne dane dla wzbudzonego w paśmie Soreta niekowalencyjnie samoorganizującego się układu $ZnTPP-C_{60}$. Badanie układów molekularnych w obecności fullereny jest ważne z perspektywy organicznych ogniw słonecznych, gdzie często wykorzystuje się fullereny oraz ich pochodne jako akceptory elektronu [1,2]. Z pomiarów stacjonarnej emisji wynika, że wzrost koncentracji fullereny prowadzi do wygaszania fluorescencji we wzbudzonych kompleksach porfiryryna-fulleren. Wyniki badań pikosekundowych zaników fluorescencji ze stanu S_2 oraz wzrostów fluorescencji ze stanu S_1 wykazały istnienie tylko jednej składowej (1.4-1.6 ps) o czasie życia niezależnym od koncentracji C_{60} w roztworze. Pokazuje to, że obserwowana emisja pochodzi tylko z tych molekuł porfiryry $ZnTPP$, które nie tworzą kompleksów z C_{60} , zaś wzbudzone kompleksy porfiryryna-fulleren nie wyświecają.



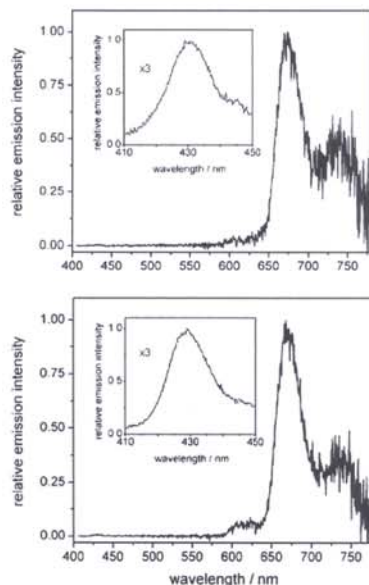
Rysunek 8. Wzrost fluorescencji ze stanu S_1 dla wzbudzonego w paśmie Soreta kompleksu ZnTPP-C60 w toluenie. Wyniki porównawcze dla stałej koncentracji ZnTPP ($200 \mu\text{M}$) przy zmieniającej się koncentracji fullereniu ($300 \mu\text{M}$, górny rysunek) i ($1000 \mu\text{M}$, dolny rysunek). Rysunek skopiowany z pracy [H13, Supporting Information].

[H15] Chemistry A European Journal **19** (2013) 4352-4368

Przeprowadzono badania kilku nowych układów porfiryńowych typu dendrymer, zsyntetyzowanych po raz pierwszy w laboratorium profesora Pierre'a Harvey (Sherbrooke University oraz University Dijon). Takie układy molekularne o rozgałęzionej budowie są atrakcyjne z perspektywy sztucznej fotosyntezy (czyli również ogniw słonecznych), gdzie mogą służyć jako anteny wylapujące fotony i przekazujące energię wzbudzenia [44-46]. Autor wykrył emisję światła ze stanu S_2 w dwóch porfiryinach (oznaczanych w pracy jako 1 i 2) zachodzącą po wzbudzeniu ich w paśmie Soreta oraz przeprowadził dla nich dokładne pomiary fluorescencji rozdzielonej w czasie. W pracy przedyskutowano proces transferu

S₂ + h₂o

energii wzbudzenia (S_1-S_1 oraz S_2-S_n , gdzie $n>1$) pomiędzy końcową grupą funkcyjną dendrymeru (metaloporfiryna cynkowa) oraz jego rdzeniem (bis-porfiryna).



Rysunek 9. Nowo wykryta emisja światła ze stanu S_2 z maksimum w okolicach 430 nm dla badanych układów dendrymerowych (pomiaru stacjonarnej emisji). Rysunek skopiowany z pracy [H15].

D. Podsumowanie

W prezentowanych pracach

- przedstawiłem nowy model wydajności kwantowej dla organicznych ogniw słonecznych uwzględniający rekombinację monomolekularną [H1,H3];
- zaproponowałem nowy model rekombinacji nośników ładunku w dwuskładnikowych układach molekularnych typu donor-akceptor uwzględniający różnicę stałych dielektrycznych obu materiałów i z powodzeniem zastosowałem go do opisu obserwowanej doświadczalnie zredukowanej wartości współczynnika rekombinacji Langevina [H6,H7,H12];
- zaproponowałem nowy model rekombinacji w organicznych układach dwuskładnikowych, w którym po raz pierwszy uwzględniono oddziaływanie

między ekscytonami i parami Langevina elektron-dziura zachodzące na granicy faz donor-akceptor, co pozwoliło wyjaśnić rzadko obserwowaną zależność gęstości fotoprądu od natężenia światła w postaci $j \sim I^{0.25}$ oraz zależność rzędu rekombinacji od koncentracji nośników ładunku [H14,H16];

- za pomocą ultraszybkiej spektroskopii laserowej zbadałem grupę nowych syntetycznych porfiryn, których struktura molekularna jest zbliżona do naturalnych pigmentów spotykanych w fotosyntetycznych bakteriach; wykazałem zjawisko samoorganizowania się molekuł badanych porfiryn w agregaty molekularne, co potwierdza możliwość ich zastosowania w biomimetycznych ogniwach słonecznych [H2,H4,H5,H10,H11];
- w środowiskach spotykanych w różnych typach organicznych fotokomórek (jony jodu, ciecz jonowa, fulleren C₆₀) zbadałem porfiryny charakteryzujące się mierzalną emisją światła ze stanu singletowego S₂ [H8,H9,H13];
- wykryłem emisję ze stanu S₂ w nowych układach porfiryńowych typu dendrymer, które mogą służyć jako anteny wylapujące fotony i przekazujące energię wzbudzenia w układach fotowoltaicznych [H15].

Literatura (nie cytuję tu omawianych prac własnych H1-H16)

- [1] C.J. Brabec, S. Gowrisanker, J.J.M. Halls, D. Laird, S. Jia, S.P. Williams, *Adv. Mater.* **22** (2010) 3839
- [2] S. Gunes, H. Neugebauer, N.S. Sariciftci, *Chem. Rev.* **107** (2007) 1324
- [3] M. Grätzel, *Acc. Chem. Res.* **42** (2009) 1788
- [4] A. Hagfeldt, G. Boschloo, L. Sun, L. Klöö, H. Pettersson, *Chem. Rev.* **110** (2010) 6595
- [5] C.W. Tang, *Appl. Phys. Lett.* **48** (1986) 183
- [6] B. O'Regan, M. Grätzel, *Nature* **353** (1991) 737
- [7] A. Yella, H.-W. Lee, H. N. Tsao, C. Yi, A. K. Chandiran, M.K. Nazeeruddin, E.W.-G. Diau, C.-Y. Yeh, S.M. Zakeeruddin, M. Grätzel, *Science* **334** (2011) 629
- [8] „Heliatek achieves 12% organic solar cell efficiency”, <http://optics.org/news/4/1/36>
- [9] A. Pivrikas, N.S. Sariciftci, G. Juška, R. Österbacka, *Prog. Photovolt: Res. Appl.* **15** (2007) 677
- [10] L.J.A. Koster, V.D. Mihailescu, P.W.M. Blom, *Appl. Phys. Lett.* **88** (2006) 052104
- [11] G. Juška, K. Genevičius, N. Nekrašas, G. Sliauzys, G. Dennler, *Appl. Phys. Lett.* **93** (2008) 143303
- [12] G. Juška, K. Genevičius, N. Nekrašas, G. Sliauzys, R. Österbacka, *Appl. Phys. Lett.* **95** (2009) 013303
- [13] C. Groves, N.C. Greenham, *Phys. Rev. B* **78** (2008) 155205
- [14] Y. Preezant, N. Tessler, *J. Appl. Phys.* **109** (2011) 013701
- [15] M. Hilczner, M. Tachiya, *J. Phys. Chem. C* **114** (2010) 6808
- [16] R.A. Street, M. Schoendorf, A. Roy, J.H. Lee, *Phys. Rev. B* **81** (2010) 205307
- [17] T. Kirchartz, J. Nelson, *Phys. Rev. B* **86** (2012) 165201

Synthesis

- [18] N. Rappaport, O. Solomesch, N. Tessler, *J. Appl. Phys.* **98** (2005) 033714
- [19] W.U. Huynh, J.J. Dittmer, N. Teclemarian, D.J. Milliron, A.P. Alivisatos, K.W.J. Barnham, *Phys. Rev. B* **67** (2003) 115326
- [20] V.D. Mihailetschi, H. Xie, B. de Boer, L.J.A. Koster, P.W.M. Blom, *Adv. Funct. Mater.* **16** (2006) 699
- [21] C.R. Braun, *J. Chem. Phys.* **80** (1984) 4157
- [22] A. Maurano, R. Hamilton, C.G. Shuttle, A.M. Ballantyne, J. Nelson, B. O'Regan, W. Zhang, I. McCulloch, H. Azimi, M. Morana, C.J. Brabec and J. Durrant, *Adv. Funct. Mater.* **22** (2010) 4987
- [23] K. Marumoto, Y. Muramatsu, S. Kuroda, *Appl. Phys. Lett.* **84** (2004) 1317
- [24] C. Stern, R. Guillard, "Bio-inspired Molecular Devices in Photosynthetic Bacteria", w 3rd Handbook on Porphyrins and Phthalocyanines, ed. K. Kadish, R. Guillard, K.M. Smith, World Scientific, Singapore 2011, vol. 11, 1-179
- [25] J. Overmann, H. Cypionka, N. Pfennig, *Limnol. Oceanogr.* **37** (1992) 150
- [26] T. Miyatake, H. Tamiaki, *Coord. Chem. Rev.* **254** (2010) 2593
- [27] A.R. Holzwarth, K. Schaffner, *Photosynth. Res.* **41** (1994) 225
- [28] T.S. Balaban, *Acc. Chem. Res.* **38** (2005) 612
- [29] C.M. Drain, A. Varotto, I. Radivojevic, *Chem. Rev.* **109** (2009) 1630
- [30] J.L. McHale, *J. Phys. Chem. Lett.* **3** (2012) 587
- [31] M.K. Panda, K. Ladomenou, A.G. Coutsolelos, *Coord. Chem. Rev.* **256** (2012) 2601
- [32] C. Maeda, T. Kamada, N. Aratani, A. Osuka, *Coord. Chem. Rev.* **251** (2007) 2743
- [33] P.D. Harvey, In "The Porphyrin Handbook II"; ed. K.M. Kadish, K.M. Smith, R. Guillard, Academic Press: San Diego, CA, 2003; Vol. 18, Chapter 113.
- [34] M. Wolffs, F.J.M. Hoebe, E.H.A. Beckers, A.P.H.J. Schenning, E.W. Meijer, *J. Am. Chem. Soc.* **127** (2005) 13484
- [35] R.P. Steer, V. Ramamurthy, *Acc. Chem. Res.* **21** (1988) 380
- [36] A. Maciejewski, R.P. Steer, *Chem. Rev.* **93** (1993) 67
- [37] T. Itoh, *Chem. Rev.* **112** (2012) 4541
- [38] R.P. Steer, *J. Appl. Phys.* **102** (2007) 076102
- [39] S.K. Sugunan, U. Tripathy, S.M.K. Brunet, M.F. Paige, R.P. Steer, *J. Phys. Chem. A* **113** (2009) 8548
- [40] S. Balushev, V. Yakutkin, T. Miteva, G. Wegner, T. Roberts, G. Nelles, A. Yasuda, S. Chernov, S. Aleshchenkov, A. Chelprakov, *New J. Phys.* **10** (2008) 013007
- [41] A. Monguzzi, R. Tubino, F. Meinardi, *Phys. Rev. B* **77** (2008) 155122
- [42] N.V. Plechkova, K.R. Seddon, *Chem. Soc. Rev.* **37** (2008) 123
- [43] M. Gorlov, L. Kloo, *Dalton Trans.* **20** (2008) 2655
- [44] A. Nantalaksakul, D.R. Reddy, C.J. Bardeen, S. Thayumanavan, *Photosynth. Res.* **87** (2006) 133
- [45] W.-D. Jang, C.-H. Lee, M.-S. Choi, M. Osada, *J. Porphyrins Phthalocyanines* **13** (2009) 787
- [46] Y.H. Kim, D.H. Jeong, D. Kim, S.C. Jeoung, H.S. Cho, S.K. Kim, N. Aratani, A. Osuka, *J. Am. Chem. Soc.* **123** (2001) 76

Synthesis

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

(zawiera przebieg pracy zawodowej)

Pracę naukową rozpocząłem w 1997 roku na piątym roku studiów na kierunku Fizyka Techniczna w zespole naukowym profesora Wojciecha Sadowskiego na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej. Celem mojej pracy magisterskiej było zbadanie nadprzewodnika wysokotemperaturowego $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-y}$, charakteryzującego się unikalnym, elektronowym charakterem przewodnictwa elektrycznego. Przeprowadziłem badania wpływu wysokotemperaturowej redukcji na stabilność strukturalną i własności elektryczne tego nadprzewodnika. Zapoznałem się w tamtym okresie z kilkoma nowoczesnymi technikami eksperymentalnymi, m.in. z mikroskopią sił atomowych i ze skaningową mikroskopią tunelową. Owocem moich badań, oprócz obronionej w 1998 roku pracy magisterskiej, był artykuł w czasopiśmie z „listy filadelfijskiej” [P1] oraz dwa komunikaty konferencyjne [K1,K2].

Po zakończeniu studiów w 1998 roku rozpocząłem pracę na moim macierzystym wydziale na etacie asystenta w zespole naukowym, nieżyjącego już dziś, profesora Jana Kalinowskiego. Zetknąłem się tam z tematyką wykorzystania materiałów molekularnych w organicznych diodach elektroluminescencyjnych (OLED). Ta problematyka badawcza, zaliczana do burzliwie rozwijającej się dziś elektroniki molekularnej, wymaga dogłębnego zrozumienia procesów fotofizycznych zachodzących w materiałach używanych przy wytwarzaniu takich urządzeń. Celem mojej pracy doktorskiej była analiza procesów zaniku singletowych i trypletowych stanów wzbudzenia elektronowego w dwóch modelowych elektroluminescujących związkach organicznych: Alq_3 i PtOEP. Pierwszy z nich (Alq_3) to typowy emiter fluorescencyjny, w którym emisja światła pochodzi z promienistego zaniku stanu singletowego S_1 , zaś drugi (PtOEP) jest materiałem fosforescencyjnym, gdzie wyświeca stan trypletowy T_1 . Skonstruowałem układ pomiarowy i zbadłem fotoprzewodnictwo obu związków, również w zewnętrznym polu magnetycznym. Otrzymane wyniki przeanalizowałem w oparciu o istniejące modele teoretyczne, co pozwoliło zrozumieć mechanizmy wspomaganej polem elektrycznym fotodysocjacji emisyjnych stanów singletowych i trypletowych w badanych związkach. Wyniki badań opublikowano w postaci czterech artykułów w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR) [P2-P5] i zaprezentowano na konferencjach z cyklu „Kryształy Molekularne” [K3,K4]. Praca doktorska, obroniona w 2005 roku, została wyróżniona przez Radę Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej oraz nagrodzona przez

Szymon + Kamil

Gdańskie Towarzystwo Naukowe za rok 2005 w zakresie nauk matematyczno-fizyczno-chemicznych. Warto dodać, że prace [P3], [P4] i [P5] były cytowane według bazy Web of Science ponad 100 razy - odpowiednio 38, 54, 24 razy (bez autocytowań). Bezpośrednio po uzyskaniu stopnia naukowego doktora kontynuowałem przez rok tę samą tematykę badawczą, czego owocem jest artykuł opublikowany w Physical Review B [P6] (cytowany 34 razy bez autocytowań według bazy Web of Science) zawierający, m.in. wyniki pomiarów fotoprzewodnictwa w innym fosforyzującym materiale organicznym Ir(ppy)₃, który jest również wykorzystywany w wytwarzaniu OLED. Przez cały okres pracy na Politechnice Gdańskiej (asystent, adiunkt) prowadziłem liczne zajęcia dydaktyczne ze studentami. Ich pełna lista znajduje się w załączniku 4.

W 2006 roku zainteresowałem się ogniwami słonecznymi zbudowanymi z materiałów organicznych. Ta gałąź fotowoltaiki (jak również elektroniki molekularnej) jest dziś dynamicznie rozwijającą się tematyką badawczą na świecie, głównie z uwagi na prognozowany w przyszłości kryzys energetyczny i związane z tym poszukiwania nowych, odnawialnych źródeł energii. Zapoczątkowałem wtedy trwające do dnia dzisiejszego rozważania teoretyczne dotyczące rekombinacji nośników ładunku w dwuskładnikowych organicznych ogniwach słonecznych, gdyż zjawisko to nie jest w pełni zrozumiałe. Prace poświęcone rekombinacji [H1,H3,H6,H7,H12,H14,H16] włączone są do osiągnięcia naukowego.

We wrześniu 2006 roku wyjechałem na staż podoktorski do Niemiec na Uniwersytet w Karlsruhe (obecna nazwa uczelni: Karlsruhe Institute of Technology), gdzie w laboratorium profesora Heinza Kalta rozwinąłem swoje zainteresowania w kierunku ultraszybkiej spektroskopii laserowej i jej wykorzystania do badań materiałów organicznych z perspektywy ich zastosowania w ogniwach słonecznych. Realizując projekt *"Energy Transfer Studies in Artificial Mimics of Natural Light-Harvesting Systems"* finansowany przez DFG Center for Functional Nanostructures, poszukiwałem nowych układów molekularnych, dzięki którym można budować biomimetyczne ogniwa słoneczne. Badania te były możliwe dzięki owocnej współpracy z grupami chemików syntetyków – profesora Teodora Silviu Balabana (wówczas Instytut Nanotechnologii w Forschungszentrum Karlsruhe, obecnie profesor na Aix-Marseille Universite) oraz doktora Jeana Weissa (CNRS w Strasbourgu), z którym osobiście nawiązałem współpracę. Większość wyników otrzymanych w laboratorium w Karlsruhe została wyodrębniona jako osiągnięcie naukowe [H2,H4,H5,H10,H11] i opisana we wcześniejszej części. Oprócz samoorganizujących się układów porfiryńowych badałem również transfer energii wzbudzenia w układach molekularnych o strukturze „butterfly” [K5],

Szymon Ł.

dynamikę fluorescencji pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego w układach hybrydowych związek organiczny – półprzewodnik nieorganiczny (nanostruktury ZnO i TiO₂) [K9] oraz uczestniczyłem w konstrukcji ogniw fotowoltaicznych typu Grätzela [K10]. W trakcie pobytu w Niemczech prowadziłem zajęcia dydaktyczne ze studentami: Physikalisches Fortgeschrittenpraktikum (odpowiednik polskiej Pracowni Fizycznej II) dla kursowych studentów tamtejszego Wydziału Fizyki oraz specjalistyczne laboratorium „Optics and Photonics Laboratory” dla międzynarodowych studentów KSOP (Karlsruhe School of Optics & Photonics). Opiekowałem się również jednym dyplomantem.

W 2009 wyjechałem na staż podoktorski do Kanady na University of Saskatchewan, gdzie w grupach profesora Ronalda Steera oraz profesora Matthew Paige’a realizowałem projekt *“Photoluminescence upconversion in solution and solid state via triplet-triplet annihilation”* finansowany przez American Chemical Society Petroleum Research Fund. Jego celem było wykorzystanie ultraszybkiej spektroskopii laserowej do badania materiałów, w których łamana jest reguła Kashy, gdyż takie związki są atrakcyjne z perspektywy ich zastosowania w organicznych ogniwach słonecznych. Wyniki dla układów porfiryńowych zostały wyodrębnione jako osiągnięcie naukowe [H8,H9,H13,H15] i opisane we wcześniejszej części. Oprócz porfiryn, badałem również możliwość istnienia emisji światła ze stanu S₂ w innych związkach molekularnych, na przykład w korrolach. Dodatkowo zaangażowałem się w badania supramolekularnych związków inkluzyjnych typu „gospodarz-gość” z uwagi na ich interesujące własności fizykochemiczne. W tym celu rozwinąłem zainteresowania w kierunku spektroskopii pojedynczej molekuly, techniki badawczej pozwalającej śledzić luminescencję badanych związków na poziomie molekularnym. Skupiłem się tam na badaniu zjawiska zwiększenia emisji światła w molekułach „gościa” poprzez umieszczenie jej w molekułach „gospodarza”, takich jak β-cykloodekstryna czy też cucurbit[7]-uril. Z metody spektroskopii pojedynczej molekuly korzystałem również przy badaniu związków używanych powszechnie w elektronice molekularnej, takich jak rubren, czy pochodna fullereny PC[71]BM. Wyniki badań prezentowałem na konferencji Kanadyjskiego Towarzystwa Chemicznego w Montrealu [K17]. W zakresie obowiązków dydaktycznych, pełniłem rolę opiekuna jednego studenta (tzw. Term Student). Wspólnie prowadziliśmy badania cieczy jonowej [bmim][PF₆], między innymi przy wykorzystaniu spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR).

Kolejnym etapem mojej pracy był pobyt w 2012 roku na University of Florida (USA), gdzie realizowałem projekt finansowany przez Departament Energii USA. Tam, za pomocą ultraszybkiej spektroskopii laserowej z wykorzystaniem metody „pump-probe” (wiązki

Szymon

pompującej i wiązki sondującej), prowadziłem badania absorpcji rozdzielonej w czasie dla nowo zsyntetyzowanych układów molekularnych typu donor-akceptor-donor. Wstępne wyniki tych badań były już prezentowane na konferencjach [K20-K22].

Jestem członkiem komitetu redakcyjnego (Editorial Board) w międzynarodowym czasopiśmie naukowym *Journal of Solar Energy*.

Recenzowałem artykuły naukowe zgłoszone do druku w 14 międzynarodowych czasopismach:

1. Physical Review Letters (*American Physical Society*) (2 razy, w tym raz jako adjudicator)
2. Physical Review B (*American Physical Society*) (4 razy)
3. Journal of Physical Chemistry Letters (*American Chemical Society*) (1 raz)
4. Journal of Physical Chemistry C (*American Chemical Society*) (1 raz)
5. Journal of Physics D: Applied Physics (*Institute of Physics*) (6 razy)
6. Semiconductor Science and Technology (*Institute of Physics*) (2 razy)
7. Nanotechnology (*Institute of Physics*) (1 raz)
8. Physica Scripta (*Institute of Physics*) (2 razy)
9. Journal of Renewable and Sustainable Energy (*American Institute of Physics*) (1 raz)
10. Materials Science and Engineering B (*Elsevier*) (1 raz)
11. Surface Science (*Elsevier*) (1 raz)
12. Solid State Electronics (*Elsevier*) (1 raz)
13. Physica Status Solidi Rapid Research Letters (*Wiley*) (1 raz)
14. International Journal of Computational Materials Science and Engineering (*World Scientific*) (1 raz)

Recenzowałem łącznie 25 artykułów.

Pozostałe publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

P1. T. Klimczuk, W. Sadowski, J. Szmytkowski

Influence of the temperature treatment on the $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-y}$ crystal surface.

Vacuum **54** (1999) 63-65

Szmytkowski

- P2. J. Kalinowski, W. Stampor, **J. Szmytkowski**
Photoconduction in the metal chelate tris-(8-hydroxyquinolino) aluminum (Alq₃).
 Polish Journal of Chemistry **76** (2002) 249-262
 (specjalny numer poświęcony pamięci profesora Krzysztofa Pigonia)
- P3. **J. Szmytkowski**, W. Stampor, J. Kalinowski, Z.H. Kafafi
Electric field-assisted dissociation of singlet excitons in tris-(8-hydroxyquinolino) aluminum (III).
 Applied Physics Letters **80** (2002) 1465-1467
- P4. J. Kalinowski, **J. Szmytkowski**, W. Stampor
Magnetic hyperfine modulation of charge photogeneration in solid films of Alq₃.
 Chemical Physics Letters **378** (2003) 380-387
- P5. J. Kalinowski, W. Stampor, **J. Szmytkowski**, M. Cocchi, D. Virgili, V. Fattori, P. Di Marco
Photophysics of an electrophosphorescent platinum (II) porphyrin in solid films.
 Journal of Chemical Physics **122** (2005) 154710 (1-16)
- P6. J. Kalinowski, W. Stampor, **J. Szmytkowski**, D. Virgili, M. Cocchi, V. Fattori, C. Sabatini
Coexistence of dissociation and annihilation of excitons on charge carriers in organic phosphorescent emitters.
 Physical Review B **74** (2006) 085316 (1-11)

Aktywność konferencyjna: komunikat, poster lub ustny referat

- K1. T. Klimczuk, W. Sadowski, **J. Szmytkowski** (komunikat)
Study of thermodynamical stability of the Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4-y} single crystals.
 V Polish Conference on Crystal Growth, 10-13 May 1998, Nałęczów, Poland,
 Programme Abstracts, P.I.04
- K2. T. Klimczuk, W. Sadowski, **J. Szmytkowski** (komunikat)
Influence of the temperature treatment on the Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4-y} crystal surface.
 19-th International Seminar on Surface Physics, 15-19 June 1998, Polanica-Zdrój,
 Poland, Programme and Abstracts, C-27
- K3. **J. Szmytkowski**, W. Stampor, J. Kalinowski (komunikat i poster)
Fotoprzewodnictwo elektrolumineszującego kompleksu 8-hydroksychinoliny Al (III).
 XII Ogólnopolska Konferencja "Kryształy Molekularne 2000", 20-23 września 2000,

Szmytkowski

Kraków, Polska, Program str. 286

- K4. **J. Szmytkowski**, W. Stampor, J. Kalinowski (komunikat i poster)

Fotogeneracja ładunku w organicznym kompleksie Alq_3 z domieszką rubrenu jako sensybilizatorem.

Ogólnopolska Konferencja "Kryształy Molekularne 2002", 17-21 września 2002, Konstancin-Jeziorna, Polska, Program str. 186

- K5. **J. Szmytkowski**, R. Hauschild, M. Scholdt, T.S. Balaban, H. Kalt (komunikat i poster)

Energy transfer processes in a bisporphyrinic switch.

71 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 26–30 March 2007, Regensburg
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Regensburg (2007) BP 16.8

- K6. **J. Szmytkowski** (ustny referat)

Energy Transfer in Artificial Mimics of Natural Light-Harvesting Complexes. The Time Resolved Photoluminescence Studies in Porphyrins.

Summer Workshop of Institute of Applied Physics, July 2007, Freudenstadt (Schwarzwald), Germany

- K7. C.M. Reddy, **J. Szmytkowski**, A. Eichhöfer, G. Buth, H. Kalt, T.S. Balaban (komunikat i poster)

Self-assembling diacetyl porphyrins: crystal structures and photophysics.

International Karlsruhe Nanoscience Workshop "Metal-rich Compounds", 8-10 October 2007, Karlsruhe, Germany, Poster nr 34, CD Poster Abstracts

- K8. **J. Szmytkowski**, C.M. Reddy, M.C. Balaban, T.S. Balaban, H. Kalt (komunikat i poster)

Time resolved fluorescence studies of self-assembling porphyrins.

72 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 25–29 February 2008, Berlin
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Berlin (2008) CPP 21.2

- K9. **J. Szmytkowski**, J. Conradt, P. Marek, T.S. Balaban, H. Kalt (komunikat i poster)

The influence of electric fields on the time-resolved luminescence of hybrid organic-inorganic structures.

72 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 25–29 February 2008, Berlin
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Berlin (2008) DS 17.32

Szmytkowski

- K10. J. Conradt, **J. Szmytkowski**, F. Maier-Flaig, J. Sartor, J. Fallert, M. Reinhard, A. Colsmann, U. Lemmer, T.S. Balaban, H. Kalt (komunikat i poster)
Dye-sensitized solar cells based on nanostructured zinc oxide.
 73 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 22-27 March 2009, Dresden
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Dresden (2009) SYOP 4.9
- K11. **J. Szmytkowski** (komunikat i poster)
Influence of image force effects on the recombination in organic bulk heterojunction solar cells.
 73 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 22-27 March 2009, Dresden
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Dresden (2009) SYOP 4.6
- K12. **J. Szmytkowski**, J. Conradt, W. Löffler, T.S. Balaban, M. Koepf, J. Wytko, J. Weiss, H. Kalt (komunikat i poster)
Photophysical studies of zinc porphyrin oligomers.
 73 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 22-27 March 2009, Dresden
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Dresden (2009) CPP 14.3
- K13. **J. Szmytkowski**, J. Conradt, C.M. Reddy, T.S. Balaban, H. Kalt (komunikat i poster)
Time resolved luminescence spectroscopy of self-assembling magnesium porphyrins.
 73 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 22-27 March 2009, Dresden
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Dresden (2009) CPP 14.4
- K14. **J. Szmytkowski** (komunikat)
Interface recombination effect in modelling the photoelectrical characteristics of P3HT:PCBM bulk heterojunction solar cells.
 74 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 21-26 March 2010, Regensburg
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Regensburg (2010) DS 29.35
- K15. **J. Szmytkowski** (komunikat)
Investigation of recombination process in organic bulk heterojunction solar cells.
 75 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 13-18 March 2011, Dresden
Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Dresden (2011) CPP 8.5

Szmytkowski

- K16. **J. Szmytkowski**, T. Bond, M.F. Paige, R.W.J. Scott, R.P. Steer (referat ustny i komunikat)
Photophysical and spectroscopic studies of ZnTPP in a room temperature ionic liquid.
94th Canadian Chemistry Conference and Exhibition, 5-9 June 2011, Montreal, Canada, PT11, 02352
- K17. **J. Szmytkowski**, M.F. Paige, R.P. Steer (komunikat i poster)
Single molecule fluorescence studies of organic electronic materials.
94th Canadian Chemistry Conference and Exhibition, 5-9 June 2011, Montreal, Canada, PTpos, 02072
- K18. **J. Szmytkowski**, S.M.K. Brunet, U. Tripathy, J.A. O'Brien, M.F. Paige, R.P. Steer (komunikat i poster)
Influence of halides on the fluorescence quenching in ZnTPPS⁺ aqueous solution.
94th Canadian Chemistry Conference and Exhibition, 5-9 June 2011, Montreal, Canada, PTpos, 02073
- K19. R.P. Steer, S.K. Sugunan, J.A. O'Brien, B.R. Danger, **J. Szmytkowski**, I.J. Burgess, M.F. Paige, R.W.J. Scott (komunikat)
Progress in the use of non-coherent photon upconversion via S₂ states to improve the energy utilization efficiencies of organic solar cells.
94th Canadian Chemistry Conference and Exhibition, 5-9 June 2011, Montreal, Canada, EG3, 00735
- K20. S. Kömürlü, **J. Szmytkowski**, F. Feng, S.-H. Lee, S. Ellinger, J. R. Reynolds, K. S. Schanze, V. D. Kleiman (komunikat i poster)
Energy transfer in conjugated polyelectrolyte dendrimers.
34th DOE Solar Photochemistry Research Conference, June 3-6, 2012, Annapolis, USA, p. 149
- K21. **J. Szmytkowski** (referat ustny)
Ultrafast transient absorption studies of molecular systems.
Hybrid Photovoltaic Group Meeting, 1 August 2012, University of Georgia, Tifton Campus Conference Center, Tifton, GA, USA
- K22. L.A. Estrada, E. Puodziukynaite, C.A. Richard, T. Pho, D.G. Patel, L. Wang, **J. Szmytkowski**, F. Feng, Y. Ohnishi, S. Hirata, V.D. Kleiman, K.S. Schanze, J.M. Papanikolas, J.R. Reynolds (komunikat)
 π -Conjugated Donor-Acceptor Polyelectrolytes: Toward Artificial Photosynthesis.
2013 MRS Spring Meeting & Exhibit, April 1-5, 2013, Moscone West, San

Szmytkowski

Francisco, USA, Symposium B: Organic and Hybrid Photovoltaic Materials and Devices, B11.68

K23. **J. Szmytkowski** (komunikat)

Recombination in organic donor-acceptor bulk heterojunction solar cells.

77 Annual Meeting of the German Physical Society and DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 10–15 March 2013, Regensburg

Verhandlungen der Deutsch. Phys. Ges., Regensburg (2013) DS 32.28

Krótkie podsumowanie

Jestem autorem 22 artykułów w czasopismach wyróżnionych w bazie JCR (tzw. lista filadelfijska), w tym

- 17 po uzyskaniu stopnia doktora
- 7 samodzielnych, wszystkie po uzyskaniu stopnia doktora

Dane bibliometryczne:

- Sumaryczny Impact Factor = 67.327
- Sumaryczny Impact Factor dla prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego = 53.399
- Ilość cytowań (*według bazy Web of Science*): 300
w tym bez moich autocytowań: 274
- Ilość cytowań (*według bazy Scopus*): 310
w tym bez moich autocytowań: 277
- Ilość cytowań (*według bazy Google Scholar*): 374
w tym bez moich autocytowań: 341
- Index Hirsha H = 9 (*według bazy Web of Science*)
- Index Hirsha H = 10 (*według baz Scopus i Google Scholar*)

Pelen wykaz publikacji naukowych, aktywności konferencyjnej, danych bibliometrycznych, realizowanych projektów badawczych, osiągnięć dydaktycznych oraz innych jest szczegółowo wymieniony w załączniku 4.

Szmytkowski