

Załącznik nr 1

do wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Autoreferat

wersja polskojęzyczna

1. Imię i nazwisko

Przemysław Data

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

09.1998-06.2003 – Śląskie Techniczne Zakłady Naukowe

Specjalność: Analiza Chemiczna

Uzyskany tytuł zawodowy: technik analityk

Tytuł: *Alkohole monohydroksylowe – metodyka analizy ilościowej w przemyśle spożywczym*

Promotor: mgr Krzysztof Stachurka

09.2003 – 07.2008 – Politechnika Śląska w Gliwicach

Kierunek: Makrokierunek Industrial and Engineering Chemistry.

Specjalność: Speciality Materials and Fine Chemicals

Uzyskany tytuł zawodowy: magister inżynier

Tytuł: *Spectroscopic and electrochemical properties of polythiophenes with photochromic substituents*

Promotor: prof. dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski

10.2008 – 01.2013 – Politechnika Śląska w Gliwicach

Dziedzina: Nauki chemiczne

Specjalność: Speciality Materials and Fine Chemicals

Uzyskany tytuł: doktor (praca doktorska obroniona z wyróżnieniem)

Tytuł: *Electrochemical and spectroelectrochemical investigation of phenylenevinylene derivatives with furan, thiophene, selenophene and tellurophene substituents*

Promotor: prof. dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jan Weszka, prof. Pierre Audebert

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.

09.2007 - do chwili obecnej

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych, PAN

Stanowisko: Chemik

10.2012 – 09.2014

Politechnika Śląska w Gliwicach

Stanowisko: Asystent naukowy

10.2014 – do chwili obecnej

Politechnika Śląska w Gliwicach

Stanowisko: Adiunkt naukowy

05.2015 – do chwili obecnej

Durham University

Stanowisko: Marie Skłodowska-Curie Experienced Researcher

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.):

I. Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki.

A) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Wykorzystanie elektrochemii do analizy warstw aktywnych w urządzeniach optoelektronicznych.

B) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

- H1. **Przemysław Data**[✉], Piotr Pander, Mieczysław Lapkowski, Agnieszka Swist, Jadwiga Soloduch, Renji Reghu, Juozas Grazulevicius.

“Unusual properties of electropolymerized 2,7- and 3,6- carbazole derivatives”

Electrochimica Acta 128, **2014**, 430-438. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR badanych związków. Wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz analizę stabilności syntezowanych polimerów. 70% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 57%.

- H2. **Przemysław Data**[✉], Paweł Zassowski, Mieczysław Lapkowski, Wojciech Domagała, Stanisław Krompiec, Tomasz Flak, Mateusz Penkala, Agnieszka Swist, Jadwiga Soloduch, Witold Danikiewicz.

“Electrochemical and spectroelectrochemical comparison of alternated monomers and their copolymers based on carbazole and thiophene derivatives.”

Electrochimica Acta 122, **2014**, 118-129. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR i części badań EPR badanych związków. Następnie na wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz analizę stabilności syntezowanych polimerów. W końcowym etapie na wytworzeniu i analizie okien elektrochromowych na bazie syntezowanych polimerów przewodzących. 80% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto byłem głównym wykonawcą w projekcie naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 61%.

- H3. Vyngintas Jankus[✉], **Przemysław Data**, David Graves, Callum McGuinness, Jose Santos, Martin R. Bryce, Fernando B. Dias, Andrew P. Monkman.

“Highly efficient TADF OLEDs; how the emitter-host interaction controls both the excited state species and electrical properties of the devices to achieve near 100% triplet harvesting and high efficiency.”

Advanced Functional Materials 24, **2014**, 6178-6186. IF₂₀₁₆ = 11,38.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie diod elektroluminescencyjnych bazujących na emiterze excypleksowym. Jest to pierwszy przypadek, gdzie emiter excypleksowy wykazuje wysoką wydajność urządzenia dzięki wspomaganie poprzez termicznie aktywowaną opóźnioną fluorescencję. Moim zadaniem była także analiza elektrochemiczna i wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO związków. 30% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 41%.

- H4. Katarzyna Laba, **Przemysław Data**[✉], Paweł Zassowski, Krzysztof Karon, Mieczysław Lapkowski, Paweł Wagner, David L. Officer, Gordon G. Wallace.

“Electrochemically induced synthesis of poly(2,6-carbazole)”

Macromolecular Rapid Communication 36, **2015**, 1749-1755. IF₂₀₁₆ = 4,638.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego i koordynacji badań elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR i EPR badanych związków, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz analizę stabilności syntezowanych polimerów, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces. 70% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto byłem głównym wykonawcą w projekcie naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 57%.

- H5. **Przemysław Data**[✉], Agnieszka Swist, Mieczysław Lapkowski, Jadwiga Soloduch, Kazimierz Darowicki, Andrew Monkman.

“Evidence for Solid State Electrochemical Degradation Within a Small Molecule OLED”

Electrochimica Acta 184, **2015**, 86-93. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR i EPR badanych związków, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz analizę stabilności syntezowanych polimerów, wykonaniu i analizie diod elektroluminescencyjnych, 80% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 67%.

- H6. **Przemysław Data**[✉], Radosław Motyka, Mieczysław Lapkowski, Jerzy Suwinski, Andrew Monkman.

“Spectroelectrochemical Analysis of Charge Carriers as a Way of Improving Poly(p-phenylene) Based Electrochromic Windows”

Journal of Physical Chemistry C 119, **2015**, 20188-20200. IF₂₀₁₆ = 4,509.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR badanych związków, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz analizę stabilności syntezowanych polimerów, wykonaniu i analizie okien elektrochromych, 80% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 82%.

- H7. **Przemysław Data**[✉], Radosław Motyka, Mieczysław Lapkowski, Jerzy Suwinski, Saulius Jursenas, Gediminas Kreiza, Arunas Miasojedovas, Andrew Monkman.

“Efficient p-phenylene based OLEDs with mixed interfacial exciplex emission”

Electrochimica Acta 182, **2015**, 524-528. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz wykonaniu i analizie diod elektroluminescencyjnych, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces, 75% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 67%.

- H8. Katarzyna Laba, **Przemysław Data**[✉], Paweł Zassowski, Piotr Pander, Mieczysław Lapkowski, Krystian Pluta, Andrew Monkman.

“Diquinoline derivatives as materials for potential optoelectronic applications”

Journal of Physical Chemistry C 119, **2015**, 13129-13137. IF₂₀₁₆ = 4,509.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego i koordynacji badań elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR i EPR i TCSPC badanych związków, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz wykonaniu i analizie diod elektroluminescencyjnych, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces. 70% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 48%.

- H9. **Przemysław Data**[✉], Paweł Zassowski, Mieczysław Lapkowski, Juozas Grazulevicius, Nadzejda Kukhta, Renji Reghu.

“Electrochromic behaviour of triazine based ambipolar compounds”

Electrochimica Acta 192, **2016**, 283-295. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR i EPR badanych związków, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz analizę stabilności syntezowanych polimerów, wykonaniu i analizie okien elektrochromowych, 80% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 72%.

H10. **Przemysław Data**[✉], Aleksandra Kurowska, Sandra Pluczyk, Paweł Zassowski, Piotr Pander, Rafał Jedrysiak, Michał Czwartosz, Łukasz Otulakowski, Jerzy Suwinski, Mieczysław Lapkowski, Andrew Monkman.

“Exciplex Enhanced OLED Devices as a Method to Increase the Efficiency of Poor Emitting Materials”

Journal of Physical Chemistry C 120, **2016**, 2070-2078. IF₂₀₁₆ = 4,509.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego i koordynacji badań elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR i EPR badanych związków oraz wykonaniu i analizie diod elektroluminescencyjnych, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces. 50% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 46.5%.

H11. **Przemysław Data**[✉], Piotr Pander, Masato Okazaki, Youhei Takeda[✉], Satoshi Minakata, Andrew Monkman.

“Dibenzo[a,j]phenazine-Cored Donor-Acceptor-Donor (D-A-D) Compounds as New Efficient Green to Red/NIR Thermally Activated Delayed Fluorescence (TADF) OLED Emitters”

Angewandte Chemie International Edition 55, **2016**, 5739-5744. IF₂₀₁₆ = 11,709.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego i wykonaniu badań elektrochemicznych, koordynacji i analizie badania spektroskopowych badanych związków oraz wykonaniu i analizie diod elektroluminescencyjnych, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces. 40% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto kierowałem projektem naukowym obejmującym część badań opisanych w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 45%

H12. **Przemysław Data**[✉], Maciej Białogłowski, Krzysztof Lyzwa, Rajmund Bacewicz, Piotr Dłuzewski, Mieczysław Lapkowski, Tom Gregorkiewicz, Sławomir Podsiadło, Andrew Monkman.

“Kesterite Inorganic-Organic Heterojunction for Solution Processable Solar Cells”

Electrochimica Acta 201, **2016**, 78-85. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego, zaplanowaniu, wykonaniu i analizie doświadczeń elektrochemicznych i impedancji, wyznaczeniu poziomów energii HOMO-LUMO oraz wykonaniu i analizie ogniw fotowoltaicznych, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces, 60% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto byłem głównym wykonawcą w projekcie naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 59%.

H13. Piotr Pander, **Przemysław Data**[✉], Roman Turczyn, Mieczysław Lapkowski, Agnieszka Swist, Jadwiga Soloduch, Andrew Monkman.

Synthesis and characterization of chalcogenophene-based monomers with pyridine acceptor unit”

Electrochimica Acta 210, **2016**, 773-782. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego i koordynacji badań elektrochemicznych i spektroelektrochemii UV-Vis-NIR badanych związków, koordynacji wykonania i analizy okien elektrochromowych, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces. 30% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto byłem głównym wykonawcą w projekcie naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 33%.

H14. **Przemysław Data**[✉], Piotr Pander, Paweł Zassowski, Viktorija Mimaite, Krzysztof Karon, Mieczysław Lapkowski, Juozas Grazulevicius, Paweł Słepski, Krzysztof Darowicki.

“Electrochemically Induced Synthesis of Triphenyl-based Polyhydrazones”

Electrochimica Acta 230, **2017**, 10-21. IF₂₀₁₆ = 4,803.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w sformułowaniu problem naukowego i wykonaniu badań elektrochemicznych i impedancji, koordynacji badań spektroelektrochemii UV-Vis-NIR, IR i EPR badanych związków, postawieniu hipotezy wyjaśniającej zaistniały proces. 50% napisanie manuskryptu, udziale w korekcie manuskryptu i korespondencji z redakcją czasopisma. Ponadto byłem głównym wykonawcą w projekcie naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy. Mój udział procentowy szacuje na 52%.

C) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wprowadzenie

W obecnych czasach obserwuje się bardzo szybkie tempo rozwoju w wielu dziedzinach, którego siłą napędową są coraz to nowsze odkrycia w dziedzinie fizyki i chemii. W dziedzinach tych zawiera się współczesna elektronika, która poprzez rozwój na polu nauki o półprzewodnikach oraz dzięki odkryciom i zrozumieniu wielu zjawisk zachodzących na poziomie kwantowym, opracowywanym coraz to nowszym i doskonalszym materiałom,

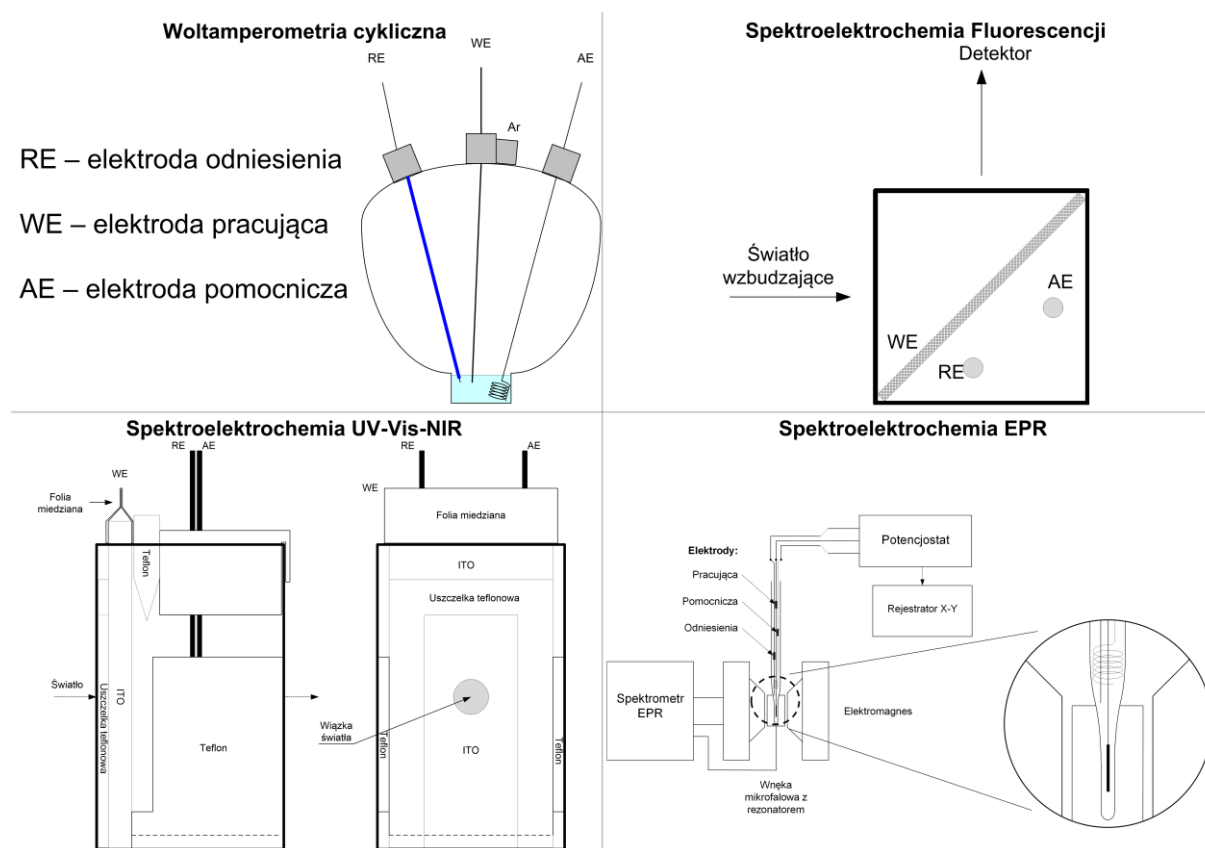
wprowadzona została na drogę niezwykle dynamicznego rozwoju. Obok klasycznych materiałów przewodzących prąd, takich jak metale oraz ich stopy, mieszane tlenki metali przejściowych a także krzem oraz polimery przewodzące, które wykazują wiele ciekawych i nietypowych dla innych materiałów efektów czyniąc je niezastąpionymi składnikami elementów elektronicznych. Coraz to większą rolę zaczynają odgrywać materiały organiczne o specyficznej budowie chemicznej, a mianowicie posiadające układy sprzężonych wiązań π , nazywane “organicznymi albo syntetycznymi metalami” [1] za sprawą wielu ciekawych właściwości wykazywanych przez nie. Jedną z nich, mającą kolosalne znaczenie praktyczne, jest możliwość nadawania im w określonych warunkach przewodnictwa elektrycznego, którego wielkość na obecnym etapie rozwoju może osiągać wartości wykazywane przez niektóre słabiej przewodzące metale [1]. Od kilku lat sprzężone związki organiczne znalazły szerokie zastosowanie w elektronice, tworząc nową gałąź przemysłu nazywaną elektroniką organiczną, a w niektórych przypadkach nawet wypiera typowe półprzewodniki nieorganiczne. Z historycznego punktu widzenia, polimery przewodzące odkryto ponad 40 lat temu przez przypadek. Na początku 1970 roku, jeden ze studentów Hideki Shirakawy, w wyniku popełnionego błędu, dodał „tysięckrotny” nadmiar katalizatora do reaktora, co skutkowało otrzymaniem *trans*-poliacetylen w formie filmu o metalicznym połysku [2]. W tym samym czasie inny chemik Alan G. MacDiarmid i fizyk Alan Heeger eksperymentowali z folią metalopodobną na bazie nieorganicznego polimeru zbudowanego z azotku siarki. Połączenie sił obu grup badawczych skutkowało przyznaniem im Nagrody Nobla w roku 2000 [2]. Po odkryciu polimerów przewodzących rozpoczęły się wielostronne badania mające doprowadzić do ich zastosowania w wielu dziedzinach techniki, z których jedną z najważniejszych, mogącą powstać tylko w wyniku tego odkrycia, stała się elektronika organiczna. Tak jak w latach 50 ludzie wyobrażali sobie komputery w każdym domu, tak i w tym przypadku naukowcy snuli już możliwe zastosowania tych materiałów od plastikowych kabli do elastycznych układów scalonych. Z tego powodu elektronika organiczna często nazywana giętką elektroniką jest obecnie bardzo szybko rozwijającą się dziedziną nauki i przemysłu.

Założenia i cel pracy

Głównym problemem w elektronice organicznej jest zrozumienie procesów zachodzących w poszczególnych warstwach aktywnych urządzenia. W moim przypadku celem było wykorzystanie technik elektrochemicznych i spektroelektrochemicznych w optymalizacji urządzeń i analizie procesów zachodzących w urządzeniach. Niniejsze osiągnięcie naukowe,

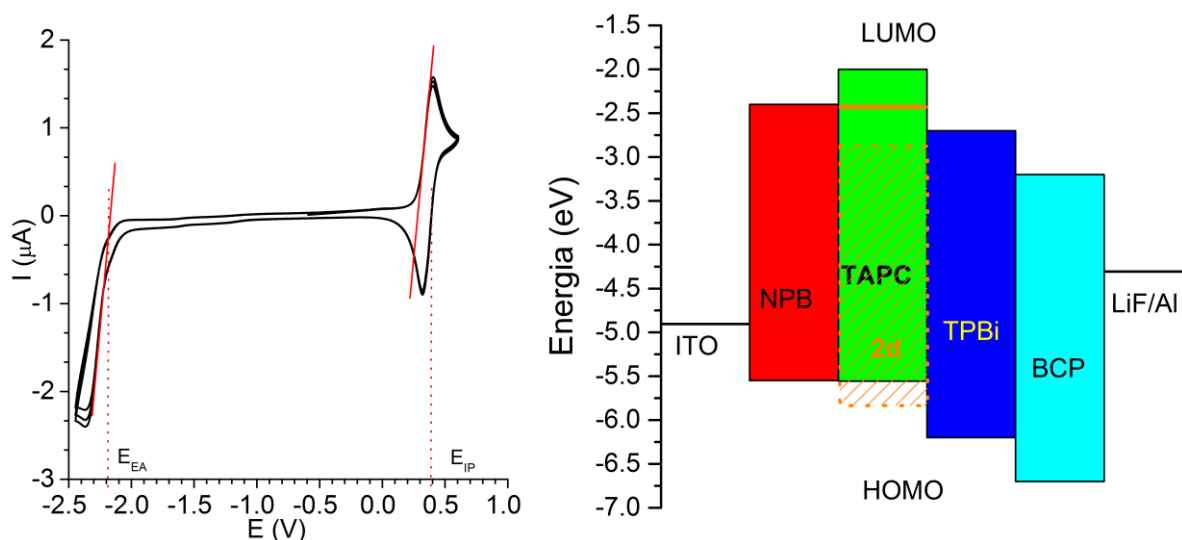
jest odpowiedzią na powyższe problemy oraz próbą poszerzenia zakresu zastosowania otrzymanych wyników badań.

Żeby zrozumieć cel analizy i wyciągnięte wnioski, trzeba przejść do samego źródła działania urządzeń i potem do efektów, które dane urządzenie ma wykonywać. W przypadku źródła działania to we wszystkich wypadkach chodzi o efekty zachodzące w materiale pod wpływem przepływu ładunków wygenerowanych przez przyłożone napięcie i właśnie z tego powodu badania elektrochemiczne mają takie znaczenie. Badania elektrochemiczne pozwalają na charakteryzowanie materiału w podobnych warunkach jak działające urządzenie, a połączenie technik elektrochemicznych ze spektroskopowymi pozwala jednoznacznie zidentyfikować procesy zachodzące w badanych materiałach. Na rys. 1 pokazano typowe układy pomiarowe, stosowane w publikacjach H1 – H14, w pomiarach elektrochemicznych i spektroelektrochemicznych.



Rysunek 1 – Układy pomiarowe do elektrochemii i spektroelektrochemii.

Co jest też ważne w przypadku większości urządzeń, badania elektrochemiczne pozwalają na wyznaczenie energii jonizacji i powinowactwa elektronowego, które można skorelować z energią poziomów HOMO (najwyższy obsadzony orbital molekularny, ang. *Highest Occupied Molecular Orbital*) i LUMO (najniższy nieobsadzony orbital molekularny, ang. *Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) związków, a co jest bardzo istotne do zaprojektowania stabilnego urządzenia elektronicznego (Rys. 2).

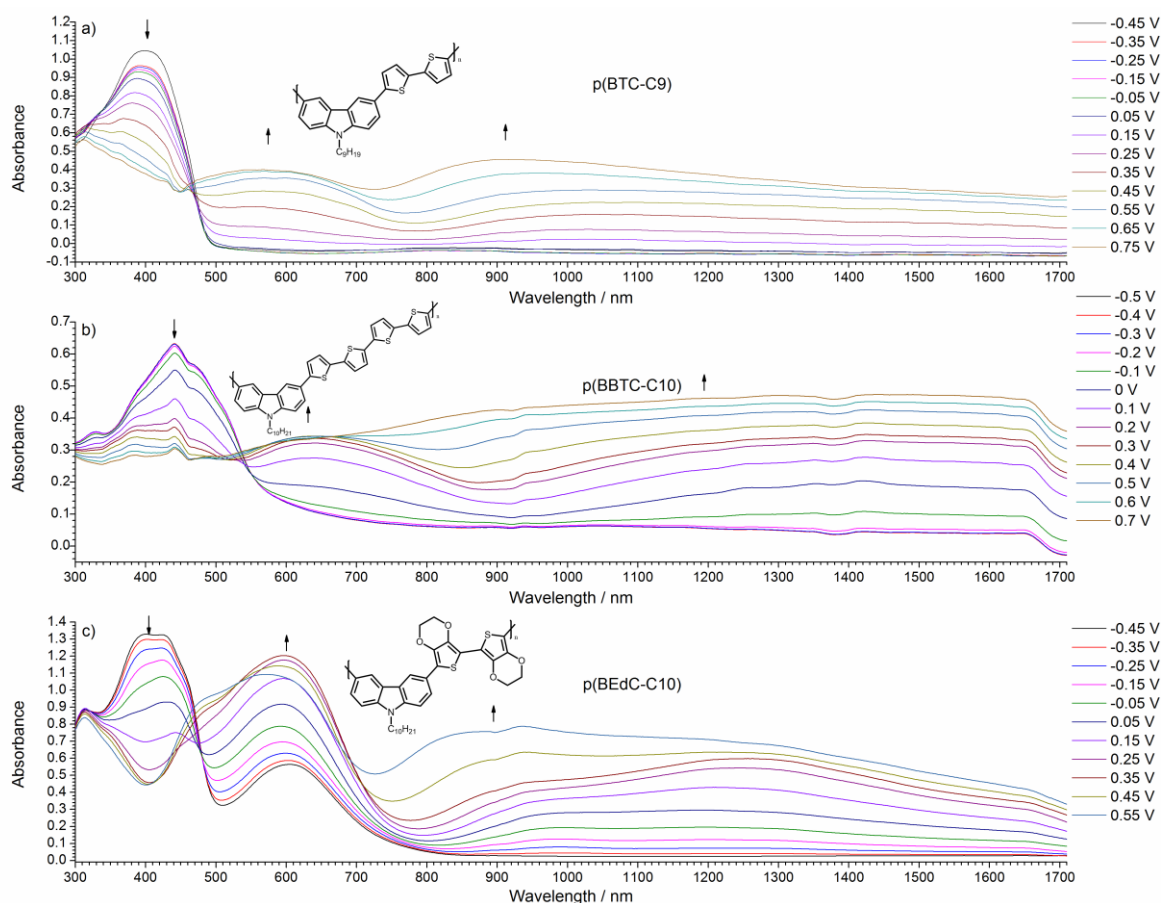


Rysunek 2 – Wyznaczanie energii potencjału jonizacji (IP, ang. *Ionization Potential*) i powinowactwa elektronowego (EA, ang. *Electron Affinity*) z pomiarów elektrochemicznych w celu zaprojektowania działającego urządzenia optoelektronicznego.

Z drugiej strony (zastosowania) optymalizacja procesów zachodzących w urządzeniach optoelektronicznych zależy od sposobu wykorzystania materiału. Obecnie elektronika organiczna dzieli się na wiele grup w zależności od zastosowania:

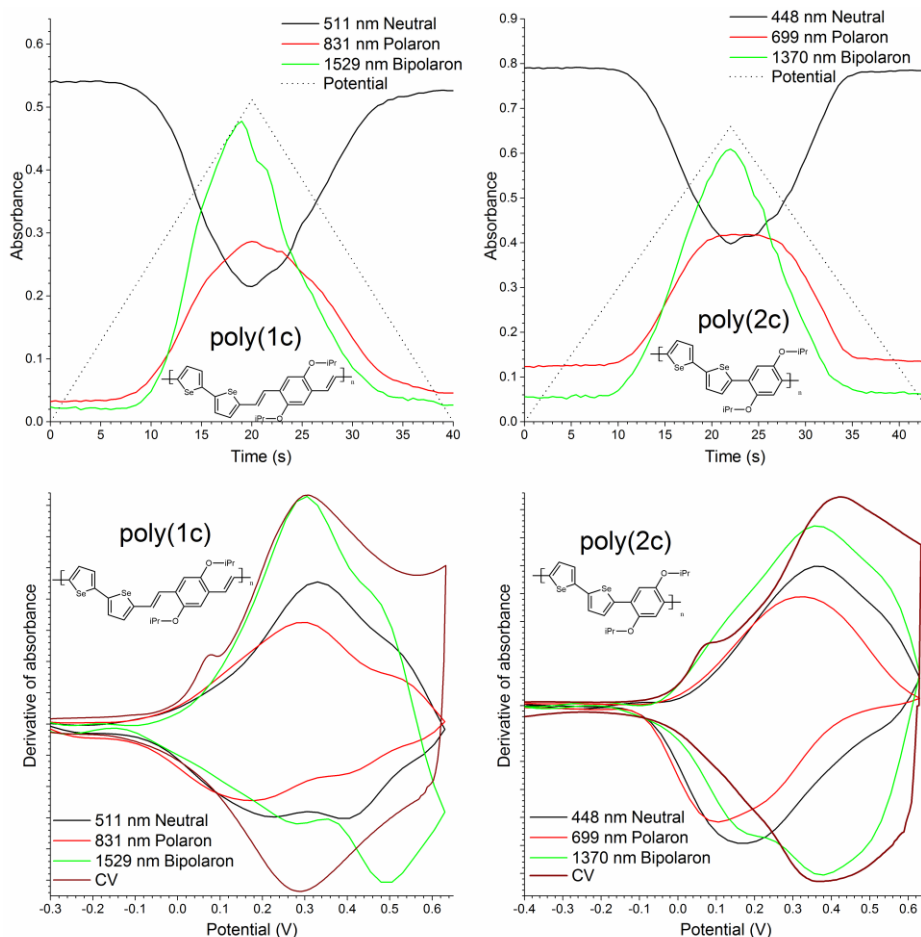
- Materiały przewodzące
- Materiały elektroaktywne
- Organiczne diody elektroluminescencyjne
- Organiczne ogniwa fotowoltaiczne
- Organiczne tranzystory polowe

W przypadku materiałów przewodzących są to zazwyczaj materiały polimerowej, które po domieszkowaniu wykazują przewodnictwo na poziomie metalu i głównym zastosowaniem tego typu związków jest zastąpienie kruchych przewodników w miejscach narażonych na częste zginanie. Materiały elektroaktywne to materiały, które pod wpływem napięcia zmieniają swoje właściwości, od zmiany objętości w przypadku sztucznych mięśni po zmianę barwy w przypadku okien elektrochromowych. Związki takie mają już szerokie zastosowanie właśnie w inteligentnych oknach (ang. *smart windows*), jako warstwy przyciemniające czy też kompletnie blokujące światło. Jednym z ciekawszych zastosowań tych materiałów to okna w Boeing 787 Dreamliner, gdzie poprzez naciśnięcie guzika, zmniejsza się lub zwiększa przezroczystość okna. Warstwy elektrochromowe związków organicznych mają szanse na szerokie zastosowanie w przemyśle, niestety stabilnych materiałów organicznych wykazujących elektrochromizm nie jest wiele. Z tego powodu badania nad otrzymywaniem nowych związków chemicznych wykazujących elektrochromizm i stabilność procesu domieszkowania warstwy organicznej mają duże znaczenie. W przypadku moich badań udało mi się po pierwsze zoptymalizować szereg materiałów polimerowych, aby uzyskać szybki czas zmiany barwy okna elektrochromowego (**Rys. 3**).



Rysunek 3 – Pomiar spektroelektrochemii UV-Vis-NIR okna elektrochromowego w celu wyznaczenia parametrów pracy urządzenia [H2].

Badania tego typu pozwalają na wyznaczenie parametrów zmiany absorpcji dla szeregu długości fali i wyznaczenie zakresu pasma absorpcji o największe zmianie. W pracach [H2, H6, H9, H13] pokazałem otrzymane metodą elektrochemiczną stabilne polimery przewodzące in-situ na elektrodzie przezroczystej pokrytej warstwą tlenku indu i cyny (ITO, ang. *Indium Tin Oxide*), które wykazują o wiele wyższe wartości wydajności barwienia, aniżeli można było znaleźć w literaturze. Wykazałem również, że pochodne selenofenowe mają znacząco lepsze parametry pracy okien elektrochromowych aniżeli standardowe odpowiedniki tiofenowe [H6]. W wyniku szerszej analizy procesów zachodzących podczas polimeryzacji a później podczas analizy stabilności elektrochemicznej udało mi się po raz pierwszy w dokładny sposób określić metodą spektroelektrochemii UV-Vis moment generacji nośników ładunku (polaronów i bipolaronów) bez wykorzystania drogich technik jak np. spektroskopia elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR, ang. *Electron Paramagnetic Resonance*) (Rys. 4).

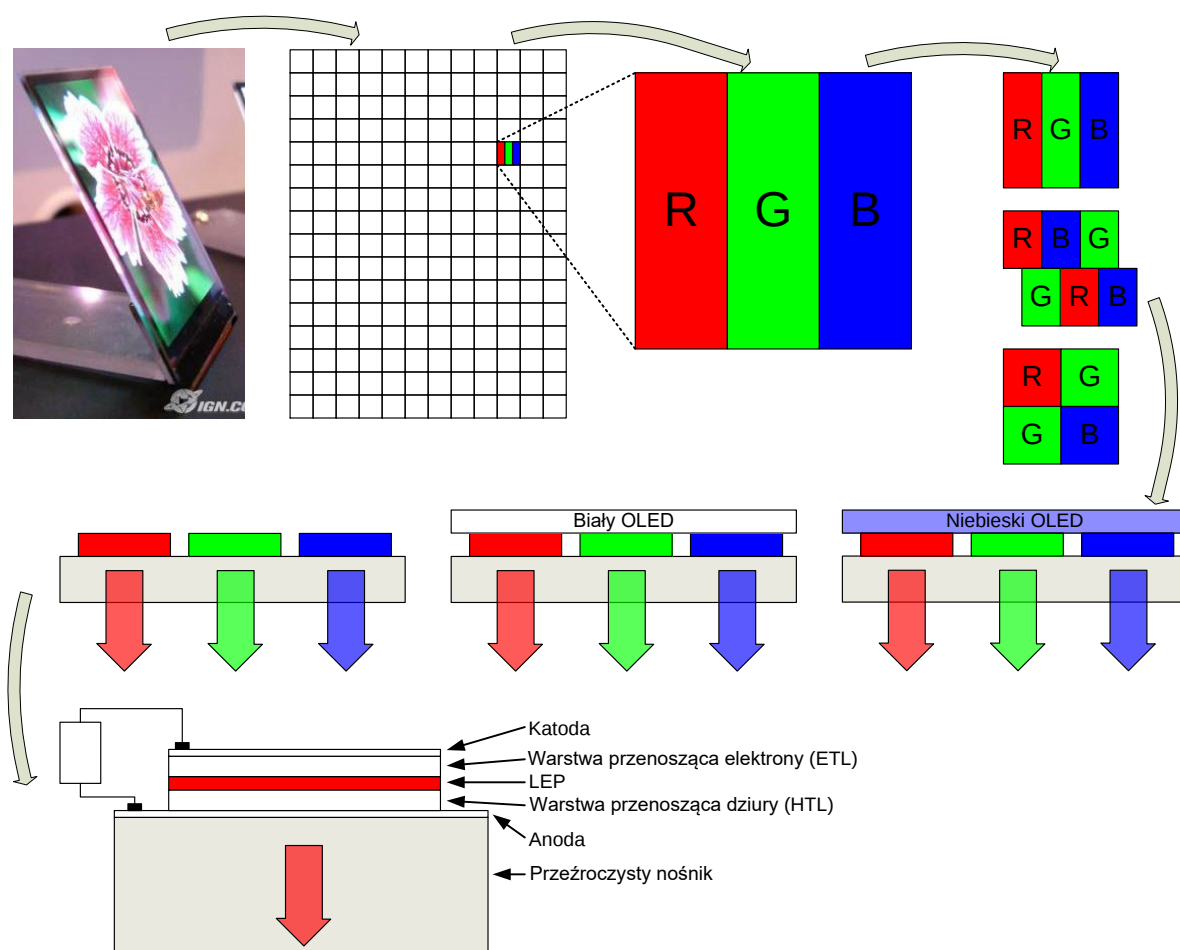


Rysunek 4 – pomiar spektroelektrochemii UV-Vis-NIR pozwalający na wyznaczenie generowanych nośników ładunku w polimerze przewodzącym [H6].

Ostatecznie, w przypadku rozgałęzionej grupy związków bazujących na triazynie otrzymałem niezwykle cenny materiał wykazujący stabilny czarny elektrochromizm [H9]. Zastosowane przeze mnie metody elektro- i spektroelektrochemiczne pozwoliły mi w tej dziedzinie na syntezę nowych pochodnych polimerów przewodzących o szerokim zakresie spektralnym i wysokiej wydajności zmiany barwy oraz co ważniejsze na wykorzystanie stosunkowo taniej techniki spektroelektrochemii UV-Vis-NIR do wyznaczenia generowanych nośników ładunku w wytworzonej warstwie półprzewodnikowej.

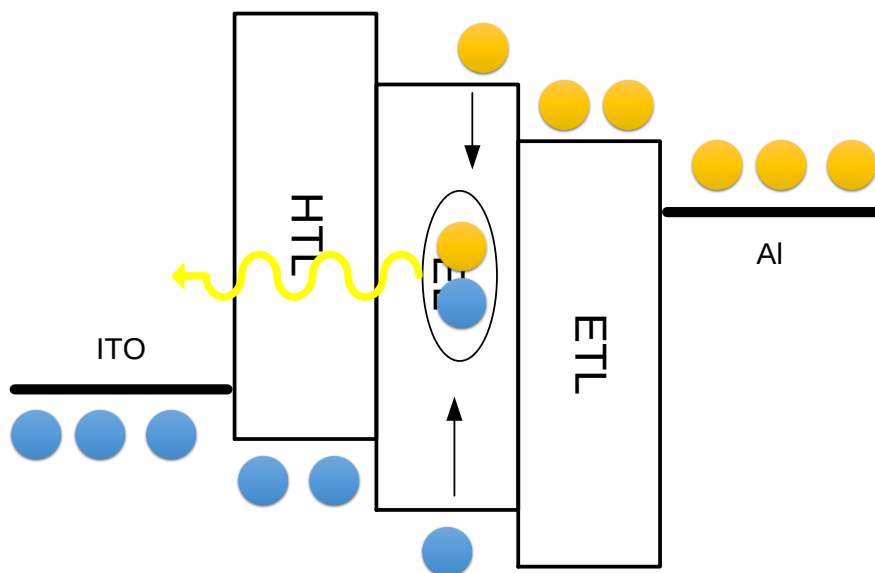
W ostatnim okresie największe zastosowanie w przemyśle mają organiczne diody elektroluminescencyjne OLED (ang. *Organic Light-Emitting Diode*) rys. 5. W tym przypadku większe znaczenie mają właściwości półprzewodnikowe materiałów organicznych, a nie ich przewodnictwo. Zbudowanie diody OLED polega na połączeniu półprzewodnika typu *p* i typu *n*. W tym wypadku związki organiczne znalazły duże zastosowanie, tym bardziej że możliwe

jest wykorzystanie tego samego związku organicznego, pod warunkiem, że składa się z części elektrodonorowej i elektroakceptorowej tak dobranych, aby wykazywał właściwości ambipolarne. W przypadku diod OLED organiczne związki sprzężone mają za zadanie emitować światło w trakcie przepływającego prądu elektrycznego, gdzie duże znaczenie ma ułożenie cząsteczek w mieszaninie i równomierne rozdystrybuowanie emitera, co jest trudne do uzyskania dla polimerów natomiast prostsze dla małych cząsteczek. Aktualnie konstruowane urządzenia elektroniczne są bardzo skomplikowane, wobec czego ich analiza, w ujęciu makroskopowym, jest złożona (**Rys. 5**). Typowa matryca w telewizorze OLED składa się z szeregu pikseli o różnej barwie, które składają się z wielu różnych związków organicznych a każdy z nich ma inną stabilność i wpływ na pracę i finalną stabilność urządzenia (**Rys. 5**).



Rysunek 5 – Wizualizacja przedstawiające wygląd pikseli w matrycach OLED oraz struktura organicznej diody elektroluminescencyjnej. RGB (ang. *Red, Green, Blue*).

Podczas pracy urządzenia tj. w momencie wstrzyknięcia dziur poprzez poziom HOMO cząsteczki i elektronów poprzez poziom LUMO, następuje rekombinacja promienista i obserwujemy światło emitowane ze związku (Rys 6).



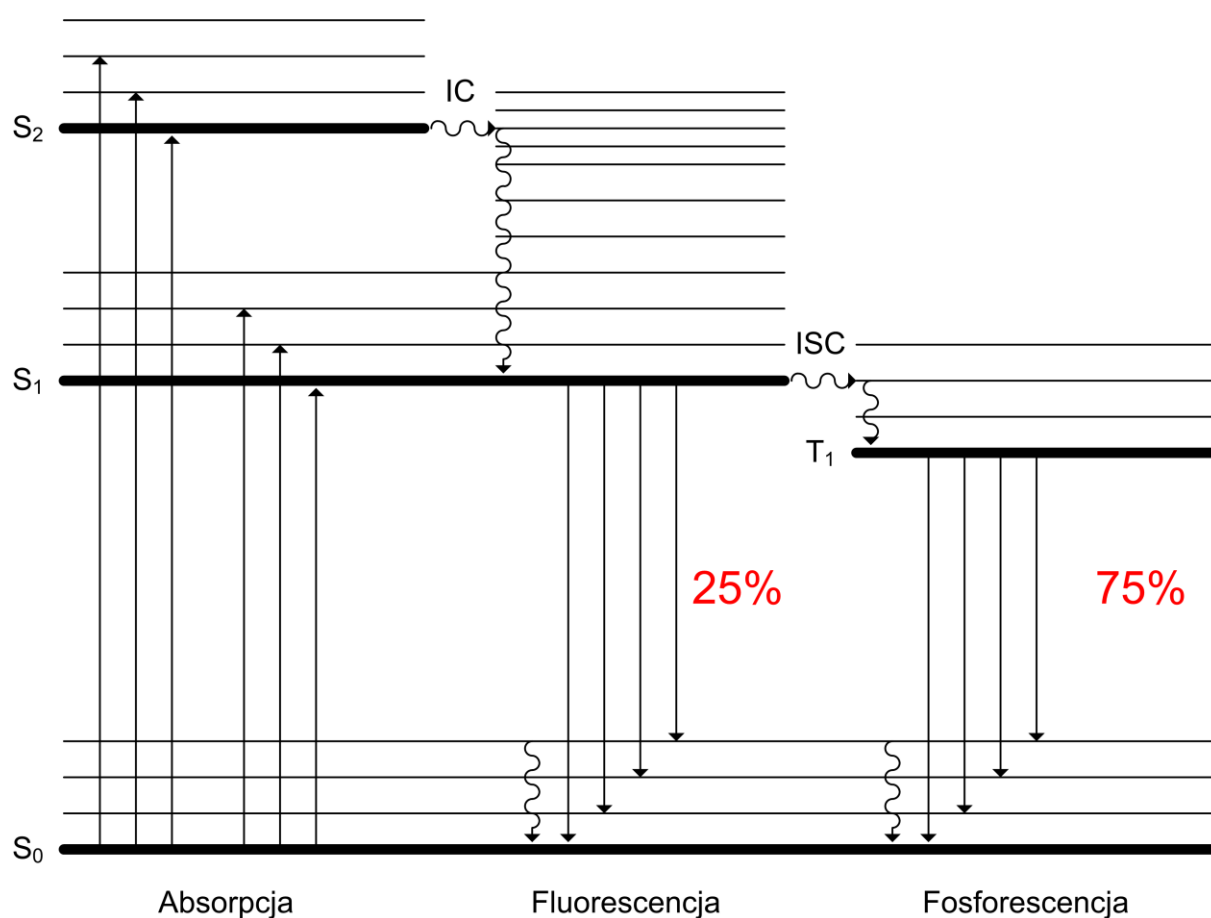
Rysunek 6 – Proces transferu ładunku i rekombinacji w organicznych diodach elektroluminescencyjnych. HTL – warstwa transportująca dziura (ang. *Hole Transporting Layer*), EL – warstwa elektroluminescencyjna (ang. *Electroluminescence Layer*), ETL – warstwa transportująca elektrony (ang. *Electron Transporting Layer*).

Z poziomu warstwy emisyjnej proces jest o wiele bardziej skomplikowany. W cząsteczce zachodzi wiele ważnych procesów, które trzeba zrozumieć, aby w powiązaniu z badaniami elektrochemicznymi być w stanie wyciągnąć daleko idące wnioski. Trzeba wiedzieć, że w przypadku związków organicznych znaczące zmiany w strukturze związków sprzężonych pozwalają na uzyskanie materiału o specyficznych właściwościach elektronicznych i fotofizycznych, a także na zmianę mobilności nośników ładunku [3, 4].

Gwałtowny rozwój elektroniki molekularnej wpływa na obniżanie kosztów produkcyjnych układów optoelektronicznych, jakimi są matryce OLED. Poza kosztami produkcyjnymi dwa inne ważne parametry wpływają na cenę sprzedawanych matryc OLED. Pierwszym z tych parametrów jest koszt działania układu OLED, który jest proporcjonalny do energii potrzebnej do wyświetlania obrazu i wydajności procesu. Drugim ważnym parametrem jest praktyczny czas pracy (działania) matrycy OLED określony jako czas bezawaryjnej pracy. Jednym ze

sposobów poprawienia wydajności procesu świecenia jest wykorzystanie procesu fosforescencji i wytworzenia układów PHOLEDs (ang. *Phosphorescence Organic Light-Emitting Diodes*) [5, 6]. Wydajność kwantowa rzeczywistych urządzeń jest poniżej 90% a napięcie pracy powyżej 4 V, co powoduje duże straty energii i krótszą żywotność.

Proces luminescencji można podzielić na fluorescencję i fosforescencję. Fluorescencja (**Rys. 7**) jest szybkim procesem, gdzie cząsteczka wzbudzona do stanu singletowego wraca do stanu podstawowego przez emisję energii w postaci fotonów.

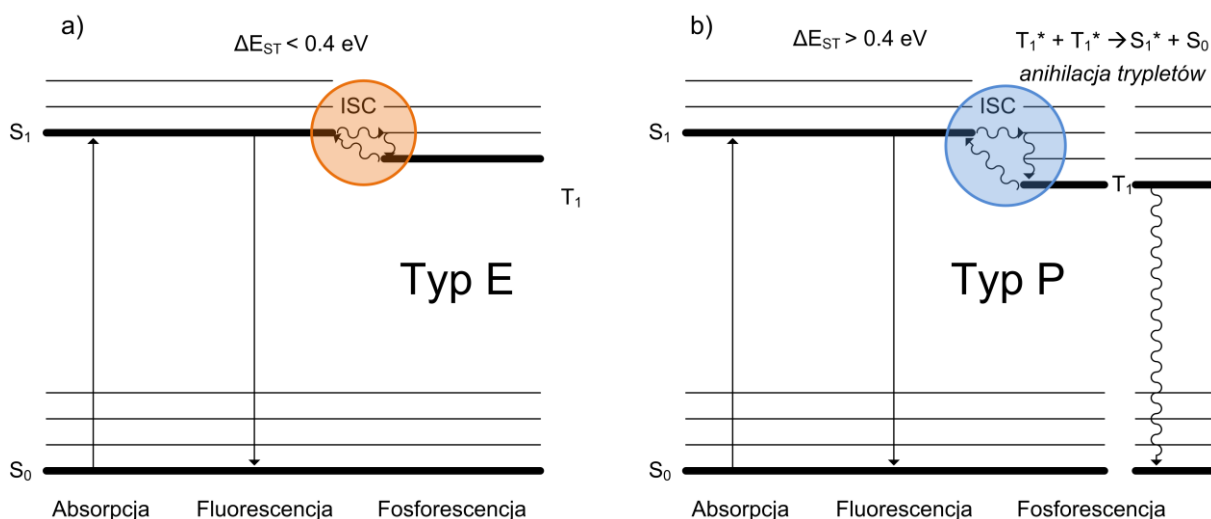


Rysunek 7 – Diagram Jabłońskiego procesu absorpcji, fluorescencji i fosforescencji. Gdzie S_0 to stan podstawowy, S_1 i S_2 są to stany wzbudzone singletowe, T_1 jest stanem wzbudzonym trypletowym. Możliwe są także przejścia IC (ang. *Internal Conversion*) przejście pomiędzy stanami singletowymi, ISC (ang. *Intersystem Crossing*) przejście pomiędzy stanem singletowym a trypletowym.

Fosforescencja jest procesem długotrwałym, związanym z przejściem cząsteczki wzbudzonej ze stanu singletowego do stanu trypletowego. Przejście to jest kwantowo zabronione, przez co sam proces przejścia (ISC) trwa dłużej. Następnie wzbudzona cząsteczka ze stanu trypletowego relaksuje do stanu podstawowego.

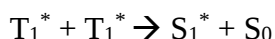
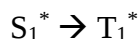
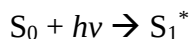
W urządzeniach organicznych emitujących światło (OLED) po nadaniu potencjału (ładunku), elektrony i dziury w substancji aktywnej mogą się łączyć tworząc różne stany wzbudzone, takie jak stan singletowy ekscytonów i stan trypletowy ekscytonów. Podczas nadania ładunku formowane są ekscytony singletowe i trypletowe, które teoretycznie powinny być produkowane w proporcji jeden do trzech. W przypadku urządzeń bazujących na procesie fluorescencji emisja jest wywołana tylko przez rozpad ekscytonów singletowych, stan trypletowy ekscytonu jest zabroniony. Wydajność kwantowa dla ekscytonów singletowych jest ograniczona do 25%, co oznacza, że dla ekscytonów trypletowych wynosi 75%.

W celu zwiększenia sprawności urządzeń możliwe jest powiązanie procesu fluorescencji i fosforescencji i uzyskania 100% wydajności. Do tego celu można wykorzystać proces opóźnionej fluorescencji (**Rys. 8**). W ogólnym ujęciu polega to na tym, że cząsteczka wzbudzona do stanu trypletowego wraca do stanu wzbudzonego singletowego, a następnie relaksuje do stanu podstawowego emitując fotony.

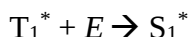
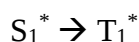
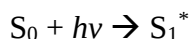


Rysunek 8 – Diagram Jabłońskiego dla procesu opóźnionej fluorescencji. a) opóźniona fluorescencja typu E, b) opóźniona fluorescencja typu P z anihilacją stanów trypletowych.

Znane są dwa typy procesu opóźnionej fluorescencji. Pierwszy rodzaj to opóźniona fluorescencja typu P (P-DF, ang. *P Type Delayed Fluorescence*). W procesie tym dwie cząsteczki w stanie trypletowym anihilują do jednej cząsteczki w stanie podstawowym i jednej w stanie singletowym wzbudzonym. Główną wadą tego procesu jest niska 20-50% wydajność kwantowa procesu. Mechanizm procesu opóźnionej fluorescencji typu P:

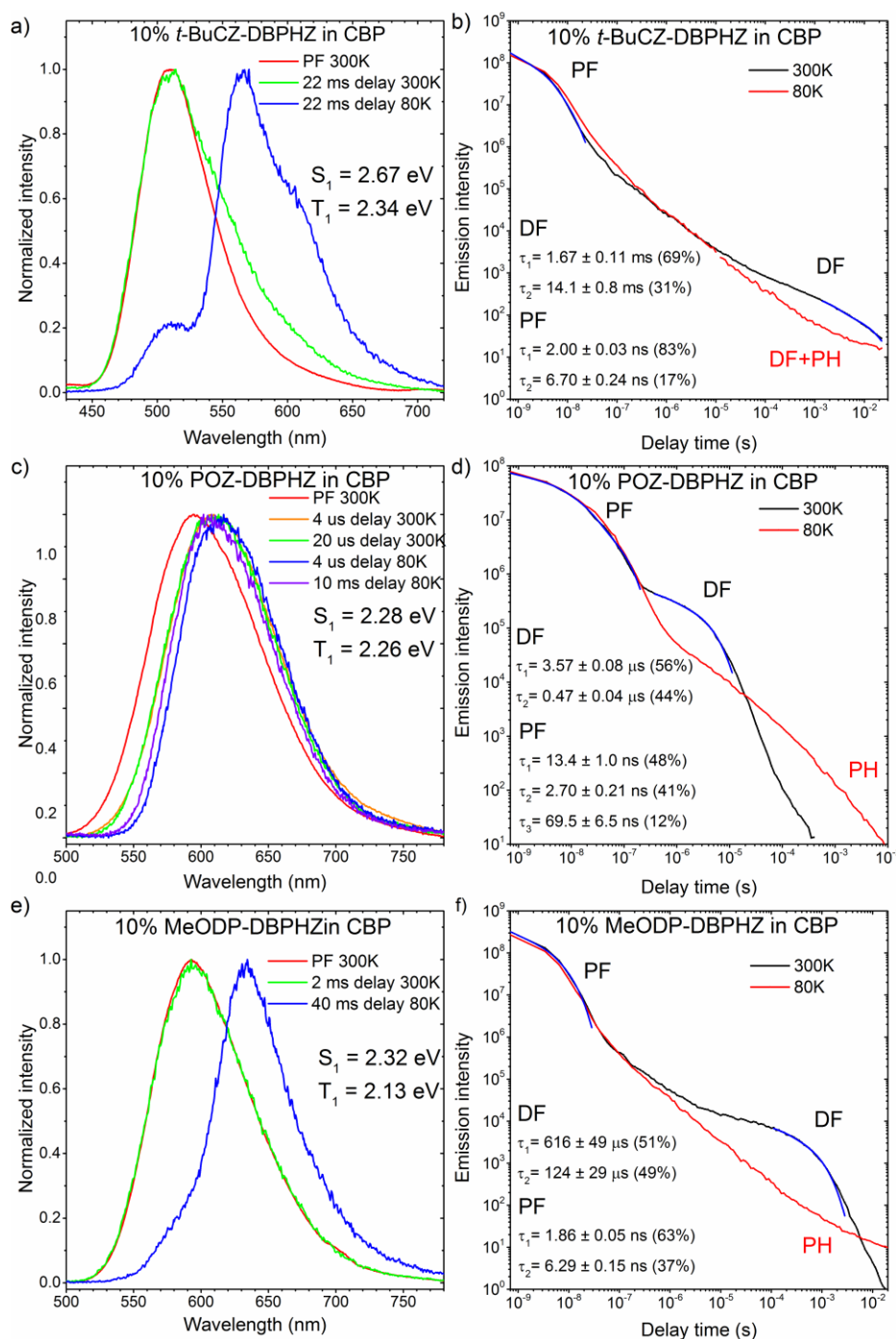


Drugim rodzajem jest opóźniona fluorescencja typu E (E-DF, ang. *E Type Delayed Fluorescence*). W procesie tym wzbudzony stan singletowy i trypletowy muszą mieć bardzo zbliżone energie. Dzięki temu cząsteczka przy małym wydatku energetycznym (termicznym) jest w stanie przejść ze stanu wzbudzonego trypletowego z powrotem do stanu wzbudzonego singletowego i zrelaksować emitując fale świetlną. Z tego powodu opóźniona fluorescencja typu E nazywana jest także termicznie aktywowaną opóźnioną fluorescencją (TADF, ang. *Thermally Activated Delayed Fluorescence*). Maksymalna wydajność tego procesu wynosi 100%. Mechanizm procesu opóźnionej fluorescencji typu E:



W związku z tym typowe układy OLED bazujące na procesie fluorescencji nie mogą mieć większej wydajności procesu niż 25%. Proces opóźnionej fluorescencji typu E pozwala uzyskać 100% sprawność układu optoelektronicznego. Opóźniona fluorescencja jest procesem nie kolizyjnego przesyłania energii. Proces ten ma charakterystyczne widmo emisji fluorescencji, lecz żywotność tylko niewiele krótszą niż fosforescencja. Główną ideą było połączenie tych dwóch typów urządzeń (fosforescencyjnych i fluorescencyjnych) poprzez wykorzystanie procesu opóźnionej fluorescencji typu E (**Rys. 9**). W przypadku moich badań byłem w stanie

wykazać opóźnioną fluorescencję dla szeregu związków [P3, P7, P10, P11], a w niektórych w powiązaniu z badaniami elektrochemicznymi udało mi się wytworzyć wysokowydajne organiczne diody elektroluminescencyjne (Rys. 10) [P3, P10, P11].

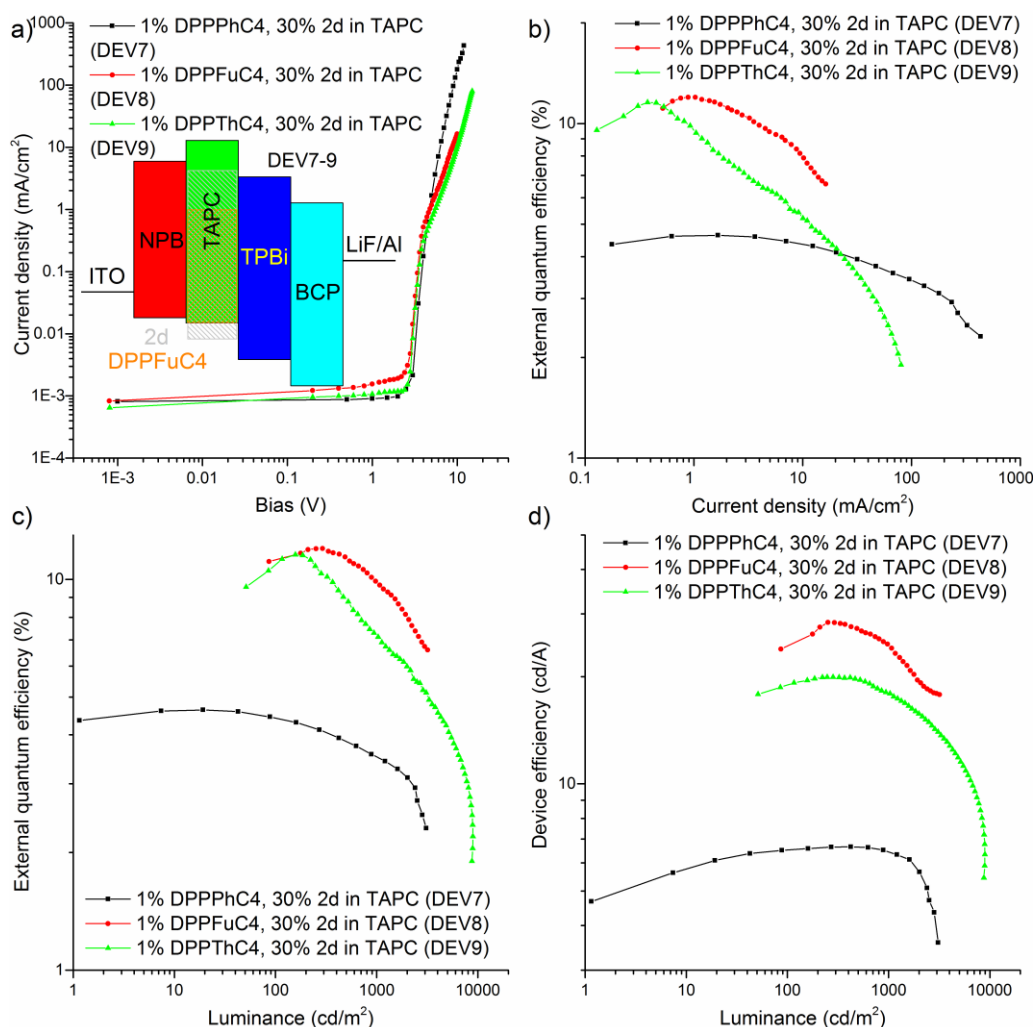


Rysunek 9 – Analiza emisji światła przy różnych opóźnieniach detektora pozwalająca na zaobserwowanie procesu termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji (TADF) [H11].

W matrycach OLED wytwarzane są różne rodzaje stanów emisyjnych [7, 8, 9]:

- stany wzbudzone układów molekularnych (zlokalizowane ekscytony, czyli kwazicząstki powstałe z połączenia pary elektron-dziura (EH) z odseparowanymi ładunkami),
- stany wzbudzone układów bimolekularnych (B-M):
 - ◆ ekscymery, tj. wzbudzony stan elektronowy π -dimeru o niższej energii wzbudzenia niż jednej dla pojedynczej cząsteczki.
 - ◆ elektromery, tj. rodzaj ekscymerowego stanu wzbudzonego z pośrednim etapem kulombowo-skorelowanych par elektron-dziura (przejście krzyżowe).
 - ◆ ekscypleks, tj. wzbudzony stan elektronowy pomiędzy parą donora i akceptora z przeniesieniem elektronu od cząsteczki donora do akceptora.
 - ◆ elektropleks, tj. wzbudzony stan elektronowy jak dla elektromeru, ale między różnymi cząsteczkami (donor i akceptor).

Ekscymerowy stan wzbudzony jest możliwy ze względu na interakcję rezonansową ekscytonu jednej cząsteczki z sąsiednimi, nie wzbudzonymi cząsteczkami. Efekt ten występuje tylko w układach organicznych, składających się z chemicznie identycznych cząsteczek, które nie agregują w stanie podstawowym. W dwuskładnikowych systemach cząsteczek donora elektronów (D) i akceptora elektronów (A) w stanie wzbudzonym obserwuje się wytworzenie ekscypleksu przez przeniesienie elektronu od donora do akceptora. Efekt ten występuje na styku warstwa. Molekularny stan ekscytonowy jest postrzegany jako połączenie w parę elektronu i dziury (EH) z rozdzieleniem ładunku mniejszym niż odstęp międzycząsteczkowy. W przypadku układów B-M odległość stanów wzbudzonych wynosi zazwyczaj do jednego lub dwóch odstępów międzycząsteczkowych. Molekularne i bimolekularne stany wzbudzone mogą być generowane zarówno optycznie przez światła, jak i elektrycznie przez rekombinację elektron-dziura, które występują zarówno w fotoluminescencji (PL) i elektroluminescencji (EL) [10].

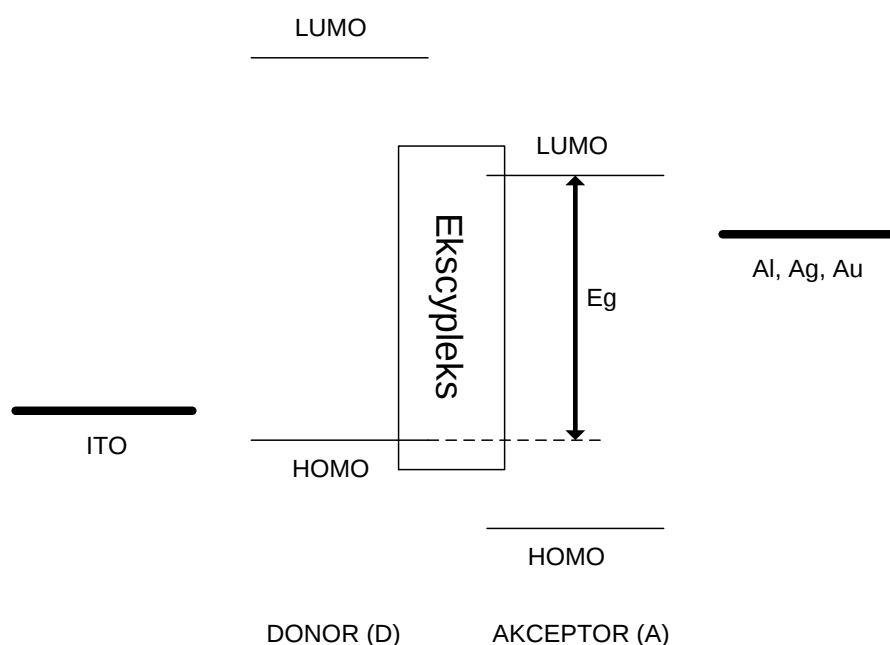


Rysunek 10 – Struktura diody elektroluminescencyjnej zoptymalizowanej dzięki przeprowadzonej analizie elektrochemicznej i charakterystyka wysokowydajnych organicznych diod elektroluminescencyjnych bazujących na emiterach ekscypleksowych wykazujących termicznie aktywowaną opóźnioną fluorescencję (TADF) [H10].

W diodach OLED długość fali emitowanej jest zależna od wartości przerwy energetycznej warstwy aktywnej. Natomiast wartość przerwy energetycznej jest zależna od stopnia sprzężenia cząsteczki. Duże znaczenie mają w tym obszarze makrocząsteczki, w których można łatwo zwiększać ilość π -koniugowanych wiązań i regulować wartość przerwy energetycznej. Ważne są także grupy boczne w makrocząsteczce lub polimerze, które poprawiają rozpuszczalność, a zarazem przetwarzalność. Wprowadzane podstawniki mają jednak niekorzystny wpływ na wartości przerwy energetycznej. Dla związków chemicznych, mających znaleźć zastosowanie w organicznych diodach elektroluminescencyjnych, wartość przerwy energetycznej powinna mieścić się w zakresie od 1,7 eV do 3,1 eV. Dużym problemem jest przetwarzalność tego typu

materiałów, gdyż związki o dużym stopniu koniugacji są trudno rozpuszczalne, a właściwość ta ma decydujący wpływ na łatwość przetwarzania. W dobie szerokiego rozpowszechnienia wyświetlaczy elektroluminescencyjnych dąży się do redukcji kosztów ich wytwarzania i optymalizacji parametrów pracy. Jednym z pomysłów jest zastosowanie związków rozpuszczalnych, dzięki czemu wyświetlacze OLED będzie można produkować w sposób ciągły w formie nadruku na prawie każdym materiale [11, 12, 13, 14].

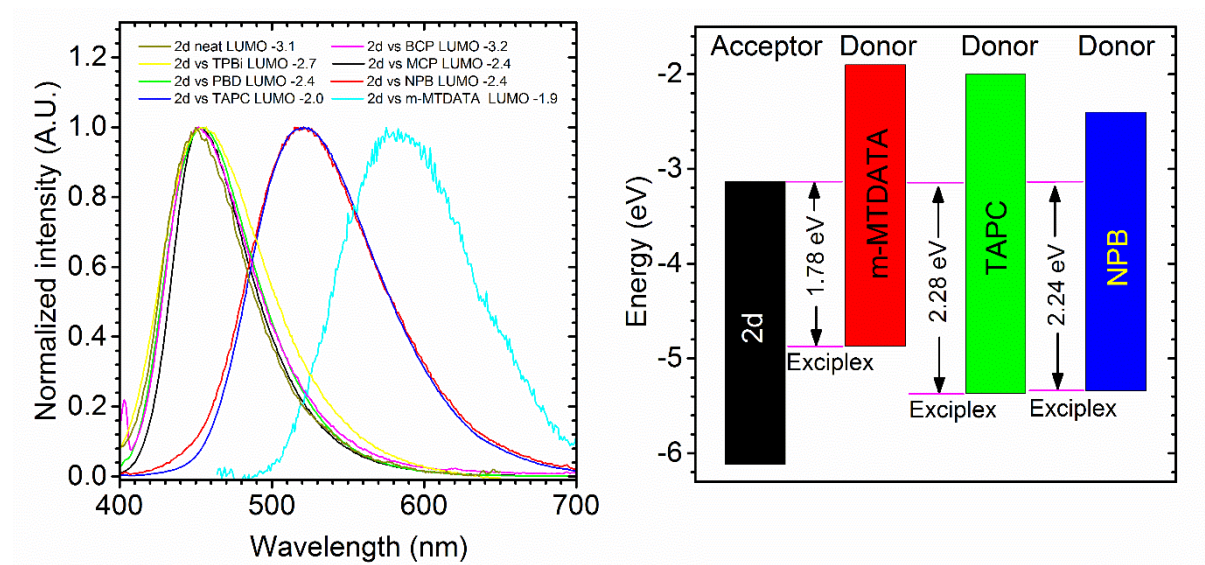
Innowacyjnym pomysłem na generowanie fotonów w diodach elektroluminescencyjnych jest wykorzystanie ekscypleksów (**Rys. 10, 11**) jako formy wzbudzonej dwóch różnych małocząsteczkowych związków, z których jeden jest elektronodonorem (D) a drugi elektronoakceptorem (A). Zastosowanie warstwy bimolekularnej w układach optoelektronicznych pozwala na większą swobodę w doborze związków aktywnych. Długość emitowanej fali w takim układzie nie jest zależna od wartości przerwy energetycznej w pojedynczym związku, lecz od wartości przerwy energetycznej dla ekscypleksu, gdzie poziom energetyczny HOMO wynosi tyle samo co dla związku elektronodonorowego a wartość poziomu energetycznego LUMO tyle samo co dla związku elektronoakceptorowego. Ekscypleksy charakteryzują się bardzo małą przerwą energetyczną pomiędzy stanem wzbudzonym singletowym i trypletowym. Ta zależność wskazuje na to, że tego typu stany wzbudzone doskonale nadają się do zastosowania w opóźnionej fluorescencji typu E.



Rysunek 11 – Diagram energetyczny, urządzenia bazującego na ekscypleksach.

Długość emitowanej fali jest regulowana przez odpowiedni dobór związków D i A co pozwala na użycie rozpuszczalnych związków małowymagających.

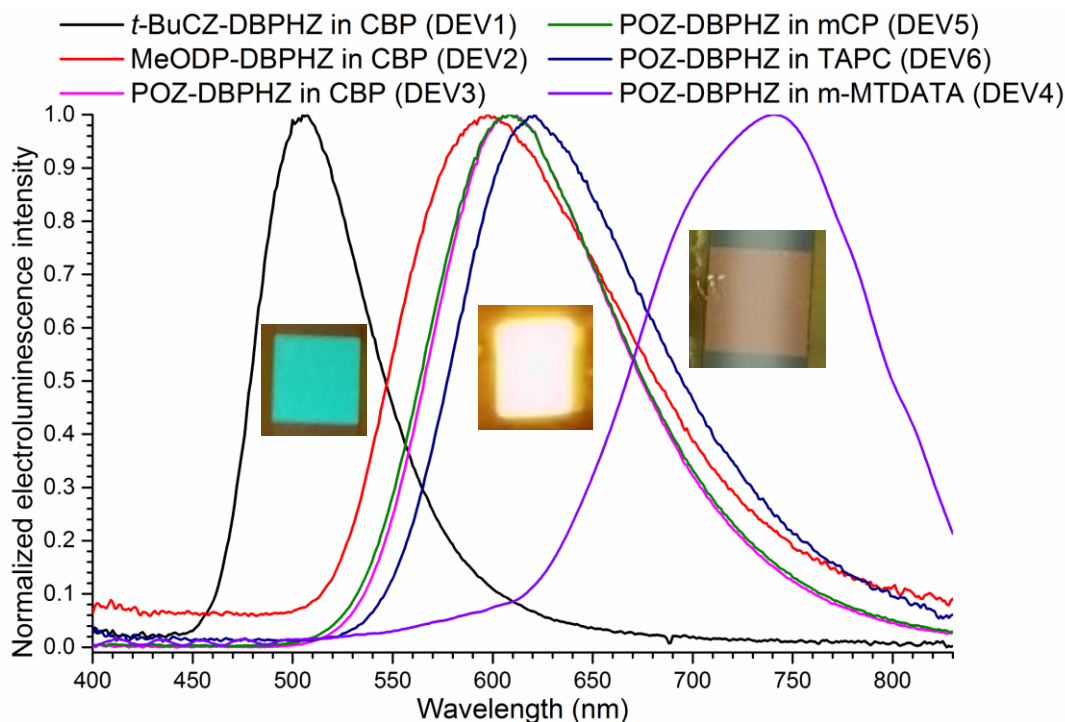
O ile jak na razie nie pozwalają na bezpośrednie przewidzenie czy ekscymery, elektromery i elektroleksy powstaną w emiterze, o tyle dobrze się sprawdzają w przewidzeniu oraz udowodnieniu powstawania emiterów ekscypleksowych poprzez wyznaczenie poziomów HOMO – LUMO związku emisyjnego oraz warstw wstrzykujących ładunki (**Rys. 12**).



Rysunek 12 – Poziomy HOMO-LUMO wyznaczone z pomiarów elektrochemicznych i porównanie energii ekscypleksu powstałego w warstwie emisyjnej [H3].

Kolejnym ważnym parametrem dla diod OLED, po wydajności procesu, jest czas pracy układu [15, 16]. W przypadku moich badań udało mi się jako pierwszemu wytworzyć wysokowydajne organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED) bazujące na emiterach bimolekularnych (ekscypleksowych) [H3] oraz w późniejszym czasie na po raz pierwszy wykorzystanie takich emiterów w procesie przeniesienia stanu wzbudzonego pomiędzy cząsteczkami i zwiększenie emisji związku małowymagającego [H10] co przy wykorzystaniu pomiarów elektrochemicznych pozwoliło na zoptymalizowanie warstwy emisyjnych, aby zwiększyć wydajność rekombinacji ładunku (**Rys. 10, 12, 13**).

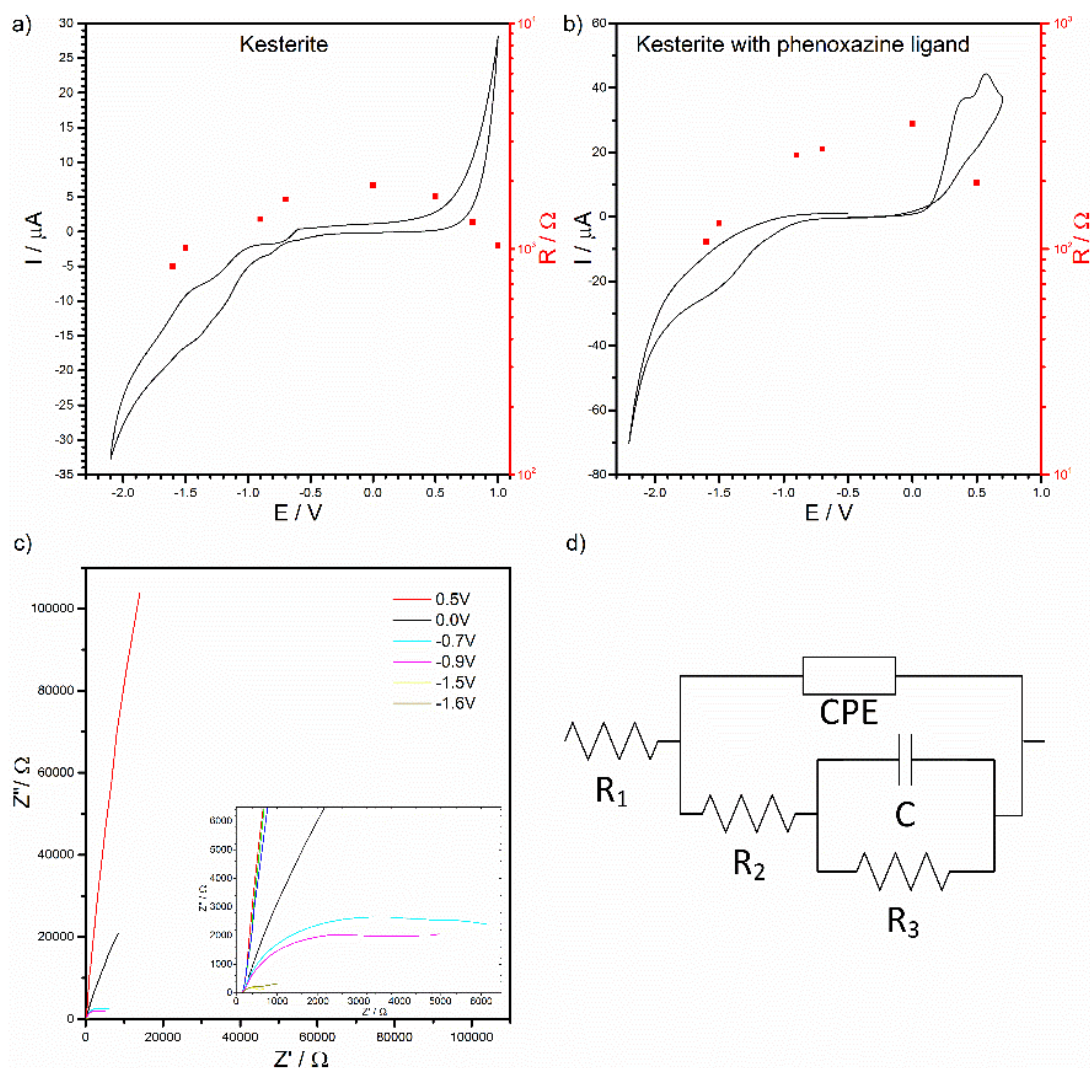
Ostatecznie z doświadczenia uzyskanego w poprzednich badaniach udało mi się zaprojektować cząsteczki syntezowane we współpracy z partnerem z Uniwersytetu w Osace, wykazujące wysoką wydajność diod elektroluminescencyjnych (**Rys 13**) [H11].



Rysunek 13 – Porównanie emisji zoptymalizowanych diod elektroluminescencyjnych bazujących na emiterach TADF i emiterze ekscypleksowym [H11].

Odwrotny proces można obserwować w czwartej grupie związków, czyli organicznych ogniwach fotowoltaicznych OSC (ang. *Organic Solar Cells*), gdzie to światło jest absorbowane w warstwie związku organicznego, a powstałe ekscytyny dysocjują na elektron i dziurę, które są odprowadzane poprzez poziomy HOMO – LUMO związku do odpowiednich elektrod. W ostatnich latach urządzenia fotowoltaiczne organiczne przyciągają naukowców, którzy chcą wykorzystać energię słoneczną w ekologiczny i ekonomiczny sposób. Organiczne ogniwa słoneczne (OSCs) mają wiele zalet w porównaniu z ogniw krzemowych. Na przykład koszty wytwarzania są niższe, ponieważ obróbka jest znacznie prostsza. Organiczne struktury ogniw słonecznych oraz materiały pozwalają tworzyć elastyczne, półprzezroczyste urządzeń. Typowa światłoczuła warstwa ogniwie fotowoltaicznym OSC składa się z polimeru przewodzącego będącego donorem i cząsteczki akceptora. Polimer służy jako absorber światła słonecznego, jak i fazy transportującej dziury, natomiast mała cząsteczka transportuje

elektrony. Niestety fotoogniwa wykonane z pojedynczego polimeru i dwóch elektrod bywają nieefektywne. Wydajność można zwiększyć przez rozdzielanie ekscytonów na granicy dwóch półprzewodników z przesunięciem poziomu energii. Sprawności konwersji energii znacznie wzrasta poprzez zmieszanie polimerów z materiałami akceptującymi takie jak pochodne fulerenów, selenku kadmu i dwutlenku tytanu [17]. Fulereny są najczęściej wykorzystywane jako akceptory w ogniwach fotowoltaicznych OSCs ze względu na ich poziom energii LUMO 3,8 – 4,2 eV, odwracalnej redukcji elektrochemicznej, doskonałych właściwości transportu elektronów i anizotropowego transportu ładunku. Niestety fulereny są trudne do optymalizacji struktury i mają niską absorpcję w zakresie widzialnym. Akceptory fulerenowe mają słabą stabilność fotochemiczną na powietrzu, a ich geometria sferyczna i ograniczona masa cząsteczkowa zwiększają morfologiczną niestabilność warstwy. W związku, z czym naukowcy szukają nowych materiałów do zastąpienia związków fulerenowych lub zwiększenia wydajności i stabilności wytworzonych urządzeń fotowoltaicznych. Decydujące znaczenie dla wydajności nośniki ładunku rozdzielającego ogólnej wydajności ogniwa fotowoltaicznego wyrównanie poziomów energetycznych materiałów składowych, jak również z elektrod. Z tego powodu duże znaczenie ma poprawne wyznaczenie wartości poziomów energetycznych HOMO i LUMO badanego materiału [H1-H14]. W przypadku moich badań wykorzystałem pomiary elektrochemiczne do wyznaczenia poziomów HOMO – LUMO nanoproszków kesterytu naniesionych na elektrodę platynową oraz pomiary impedancyjne pozwalające na zaobserwowanie momentu domieszkowania warstw fotoaktywnych kesterytu, oraz wyznaczenie parametrów użytkowych materiału, co nie było wcześniej prezentowane w literaturze (Rys. 14) [H12].

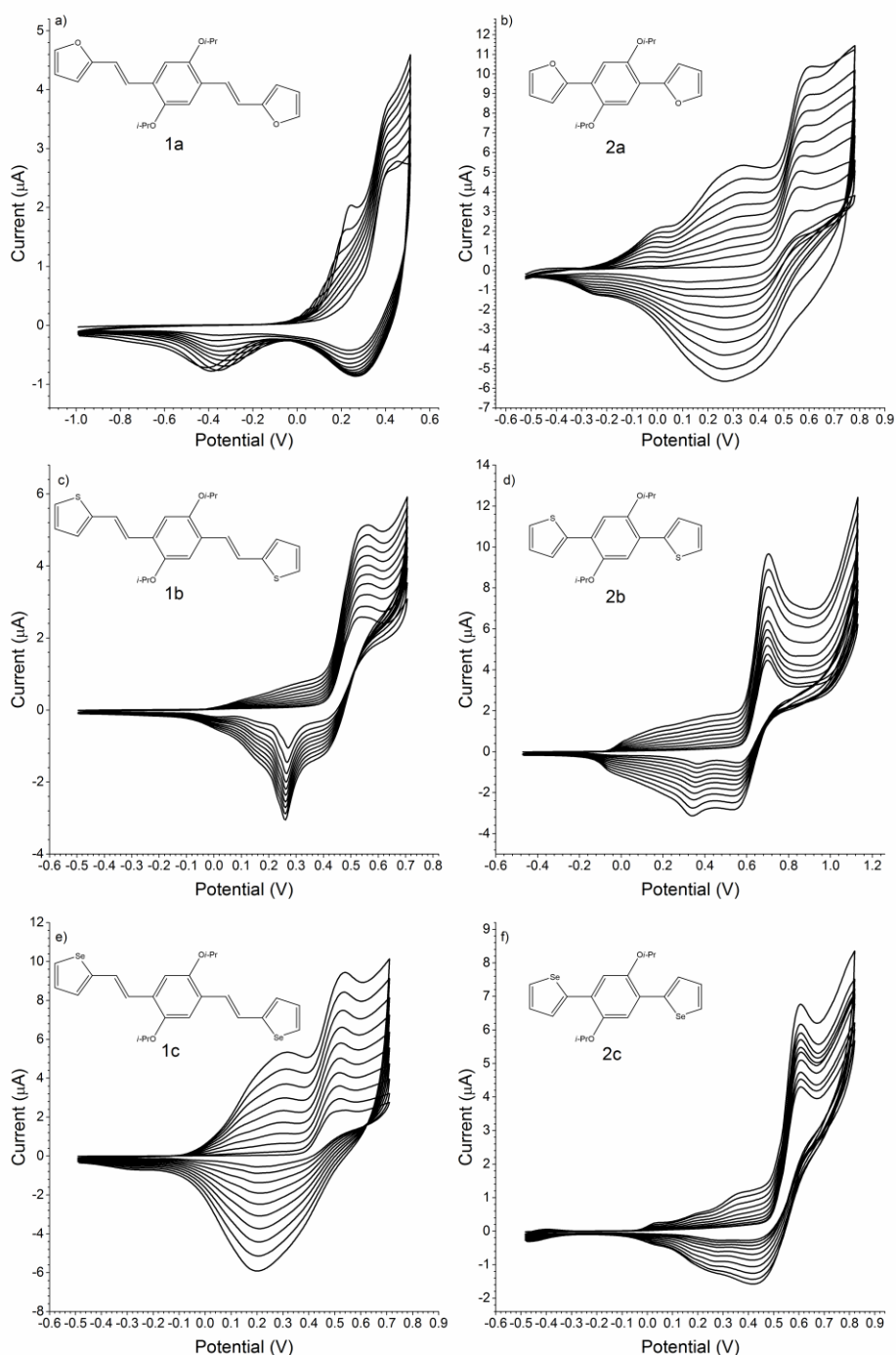


Rysunek 14 – Pomiary woltametрии cyklicznej i spektroskopii impedancji [H12].

W pierwszym etapie rozwoju elektroniki organicznej duży nacisk kładziono na wykorzystanie polimerów sprzężonych do wytwarzania urządzeń elektronicznych, jednak ze względu na trudną kontrolę średniej masy cząsteczkowej polimeru i stabilności warstwy aktywnej, większe znaczenie uzyskały małe sprzężone cząsteczki. Jeżeli chodzi o samo porównanie możliwości zastosowania polimerów i związków małowcząsteczkowych widać różnice w przypadku aktywnych warstw mieszanych. W przypadku organicznych ogniw fotowoltaicznych większe znaczenie ma formowanie się większych aktywnych domen, co jest o wiele łatwiejsze do uzyskania przez zastosowanie polimerów i z tego powodu główne ich zastosowanie obserwuje się w warstwach BHJ (ang. *Bulk Hetero-Junction*) ogniw fotowoltaicznych [18].

W przypadku większości materiałów, które docelowo mają mieć zastosowanie w przemyśle, stabilność układu jest kluczowa. Z tego powodu, za każdym razem trzeba przeanalizować co

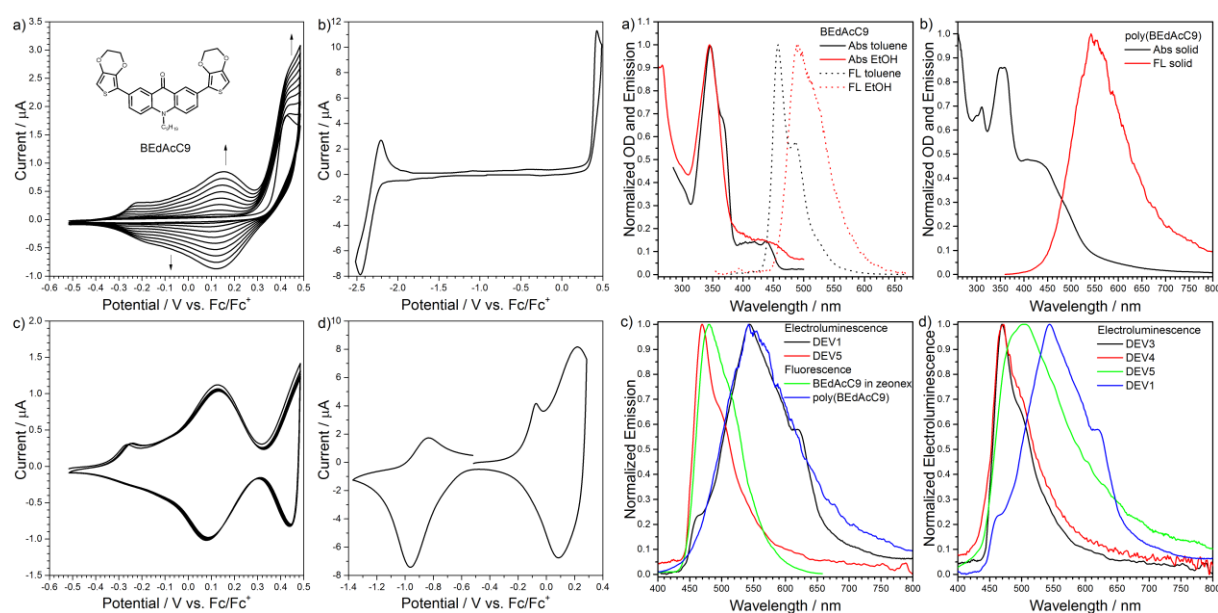
się dzieje z danym materiałem w ujęciu cząsteczkowym, w trakcie eksploatacji urządzenia. Procesy degradacyjne z reguły zachodzą w samej cząsteczce, co powoduje konieczność ich wyeliminowania, jeżeli chcemy uzyskać wydajny układ elektroniczny. Z tego powodu samo zastosowanie związków to jest jedna sprawa, ale skąd możemy wiedzieć, czy materiał będzie miał możliwość zastosowania w elektronice organicznej? Jest wiele metod stosowanych do sprawdzania właściwości materiału, jednak najtańszą i najbardziej efektywną jest elektrochemia pozwalająca na realną analizę procesów degradacyjnych. Ogólnie pojęta elektrochemia jest bardzo niedowartościowaną techniką badawczą, wszystkim kojarzoną z nieorganicznymi procesami korozji itp. Elektrochemia sama w sobie i wspomagana pomiarami spektroskopowymi daje bardzo duże możliwości w badaniu sprzężonych związków organicznych. Dlaczego sprzężonych? Typowe związki alifatyczne małowartościowe czy też polimerowe są izolatorami. Oczywiście można wykorzystać metody elektrochemiczne jak np. Elektrochemiczna Spektroskopia Impedancyjna, do analizy oporności takich warstw i właściwości izolujących przewodniki. Sprawa ma się inaczej dla związków sprzężonych. Związki małowartościowe i polimerowe wykazują zazwyczaj właściwości półprzewodnikowe, a w przypadku polimerów sprzężonych po zdomieszkowaniu wykazują właściwości przewodzące na poziomie metali. Z aplikacyjnego punktu widzenia, powstające układy optoelektroniczne mają łączyć w sobie zalety związków organicznych przewodzących i typowych układów półprzewodnikowych, pozwalając na uzyskanie materiału o określonych właściwościach. Struktura elektronowa, jaka i geometryczna otrzymywanych materiałów w znaczący sposób wpływa na właściwości użytkowe materiału, stąd też niezwykle istotnym okazuje się ich ściśle zdefiniowanie. Z tego powodu ważne jest, aby sprawdzić co się dzieje ze związkiem pod wpływem przepływu prądu dla określonego potencjału tzn. pod wpływem utlenienia lub redukcji. Jako przykład takiej analizy niech posłuży **Rys. 15**, na którym pokazano proces polimeryzacji elektrochemicznej kilku związków sprzężonych [**H1**, **H4**, **H5**, **H14**].



Rysunek 15 – Pomiar woltametrii cyklicznej procesu utlenienia związków [H6].

Dodatkowo metody elektrochemiczne umożliwiają określenie szeregu parametrów związanych z elektroaktywnością materiału, do których zaliczyć można szerokość przerwy energetycznej między pasmem walencyjnym i przewodnictwa, stabilność podczas wielokrotnych cykli domieszkowania i oddomieszkowania, potencjał przejścia w formę nieprzewodzącą, co zostało szczegółowo pokazane w pracach [H1, H4, H5]. Sposobem dokładnego określenia tych

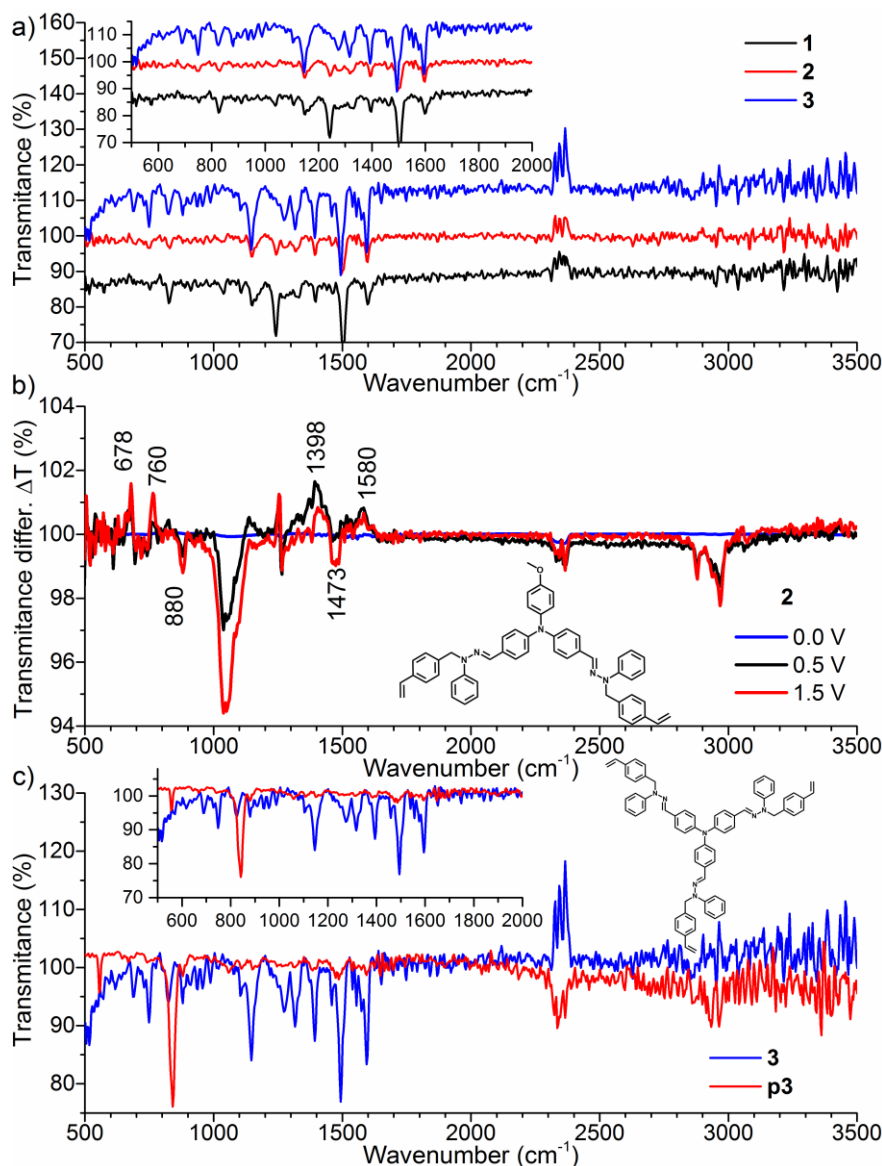
właściwości są badania prowadzone zaawansowanymi technikami spektroelektrochemicznymi. Techniki elektrochemiczne połączone in situ z pomiarami spektroskopowymi, takimi jak Elektronowy Rezonans Paramagnetyczny (EPR), spektroskopia UV-Vis czy spektroskopia podczerwieni (IR, ang. *InfraRed*) i Ramana, pozwalają na szersze zrozumienie procesów zachodzących w cząsteczce. W wielu przypadkach w układach optoelektronicznych pod wpływem napięcia powstają zjawiska, które ciężko jest zdefiniować. Jednym z ciekawszych procesów zaobserwowanych w diodach OLED było wytworzenie struktur oligomerowych i połączeń σ -dimerowych zmniejszających przewodnictwo warstwy aktywnej i wykazujące inne pasmo emisji diody (**Rys. 16**) [H5]. Tego typu analizy nie dało by się wykonać innymi technikami, a badania diody OLED nie dały by jednoznacznej odpowiedzi. W przypadku tych nowatorskich badań udało się w jednoznaczny sposób odpowiedzieć na pytanie związane z procesami degradacji w diodach elektroluminescencyjnych [H5].



Rysunek 16 – Pomiary voltametrii cyklicznej pozwalające na przeanalizowanie procesu utlenienia związku oraz pasma emisyjne produktu procesu utleniania elektrochemicznego [H5].

Dzięki takim badaniom można zawnoczu przeanalizować procesy uboczne, co umożliwia poprawną analizę wytworzonych urządzeń elektronicznych [H1, H4, H5]. Poza procesem degradacji badania elektrochemiczne pozwoliły mi także na określenie mechanizmu powstawania nowego typu polimeru przewodzącego do wykorzystania w optoelektronice

[H14]. W toku analizy okazało się, że jest możliwe wytworzenie przez elektrochemiczne utlenienie pochodnej polihydrazonu. Z jednej strony samo wytworzenie było ciekawostką, natomiast samo wyjaśnienie mechanizmu powstawania polimeru było wyzwaniem. Polimer nie powstawał w „typowy” sposób, ale poprzez łączenie się jednostek fenylowych [H14]. Taki opis mechanizmu reakcji udało się udowodnić dzięki szeregowi pomiarów spektroelektrochemicznych. Najważniejsze wyniki spektroelektrochemiczne pokazano na Rys. 17, a szczegóły można znaleźć w pracy [H14].



Rysunek 17 – Pomiar spektroelektrochemii IR w celu wyznaczenia miejsca inicjacji procesu elektropolimeryzacji [H14].

Podsumowując, udowodniłem, że poprawnie wykonany pomiar elektrochemiczny pozwala na wyznaczenie parametrów użytkowych materiału, które można wykorzystać do skonstruowania sprawnie działającego urządzenia optoelektronicznego. W przypadku zestawienia spektroskopii EPR i UV-Vis-NIR mamy możliwość wyznaczenia charakterystyki nośników ładunku wygenerowanych w badanym układzie, co jest niezbędne do określenia parametrów funkcjonalności każdego materiału stosowanego w elektronice molekularnej. Przykłady takich pomiarów pokazano w pracach [H2, H4, H5, H8, H9, H12, H13]. W przypadku pomiarów spektroskopowych (UV-Vis-NIR, Fluorescencji) bada się właściwości optyczne wytworzonych materiałów oraz ich zmianę pod wpływem przyłożonego napięcia, co także pozwala na stwierdzenie czy tylko nośniki ładunku (polarony, bipolarony) zostały wytworzone czy też reakcje uboczne również zostały zaobserwowane [H2, H4, H5, H8, H9, H12, H13]. W przypadku badań FT-IR, Ramana poprzez selektywną obserwację niektórych elementów struktury związku sprzężonego ulegających przemianom w procesie domieszkowania, można wyznaczyć, w którym miejscu cząsteczki przebiega proces chemiczny, co pozwala na stwierdzenie, jakie możliwe produkty powstają w układzie badawczym [H14]. Z kolei dzięki pomiarom impedancyjnym (EIS, ang. *Electrochemical Impedance Spectroscopy*) a w szczególności DEIS (ang. *Dynamic Electrochemical Impedance Spectroscopy*) można stwierdzić jak się zmienia przewodnictwo warstwy aktywnej, gdy badany jest jeden ze związków [H5, H12, H14], a także przewodnictwo całej diody. Gdy badamy całą diodę, poprzez dobór odpowiedniego układu zastępczego można między innymi określić, w którym miejscu następuje degradacja związku organicznego. Wracając do podstaw pomiaru elektrochemicznego, w momencie gry wszystkie związki są badane przy tych samych parametrach i w takich samych warunkach, wyznaczone poziomy powinowactwa elektronowego i potencjału jonizacji można skorelować z poziomami LUMO i HOMO związku organicznego. Tak wyznaczone energie poziomów mogą być porównane ze sobą, co pozwala na zaprojektowanie układu półprzewodnikowego [H3, H5, H7, H8, H10, H11, H12] a w niektórych przypadkach nawet na wyznaczenie emitery ekscypleksowego [H3, H7, H10].

Dzięki takiemu podejściu i schematycznej analizie elektrochemicznej, za każdym razem jest możliwość dobrania materiałów charakteryzujących się odpowiednimi wartościami położenia pasma przewodnictwa i pasma walencyjnego dla otrzymania lepszej jakości złącza niż w przypadku klasycznych ogniw półprzewodnikowych. Z tego powodu pomiary elektrochemiczne i spektroeletrochemiczne mają bardzo ważne znaczenie w elektronice

organicznej i nie ma innych technik pozwalających na tak szerokie badania materiałów w prawdziwych warunkach badawczych tzn. pod wpływem napięcia elektrycznego.

Dalsze plany badawcze

Moim planem na przyszłość jest utworzenie grupy badawczej zajmującej się badaniami elektrochemicznymi i elektrycznymi materiałów do elektroniki organicznej w szczególności badanie procesów zachodzących w warstwie aktywnej urządzeń, ponieważ są duże zaniebdania w tej tematyce oraz wytwarzanie i analiza organicznych diod elektroluminescencyjnych bazujących na związkach niezawierających metali ziem rzadkich a wykazujących fosforescencję w temperaturze pokojowej. Znaczące kroki w tym zakresie już zostały wykonane, a dodatkowo uzyskałem finansowanie znaczących projektów unijnych w Horyzoncie 2020 pozwalających mi na podążanie w tym kierunku wraz z partnerami zagranicznymi. W pierwszym przypadku, który jest projekt indywidualny prowadzony wraz z Uniwersytetem w Durham (Wielka Brytania) w zakresie badań nad diodami OLED, wykorzystującymi efekt termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji udało mi się pozyskać współpracę badawczą z ważnymi firmami niemieckimi Merck KGaA i Cynora GmbH. Dwa pozostałe projekty: H2020/MSCA-ITN „EXCILIGHT” oraz H2020/TWINN „ORZEL”, które obecnie koordynuje z ramienia Politechniki Śląskiej, pozwoliły mi na stworzenie międzynarodowej grupy badawczej. Oba te projekty są wybitne, zarówno pod względem naukowym, a także dlatego, że są to projekty prestiżowe. Nasza jednostka jako dotychczas jedyna w Polsce otrzymała do koordynacji tak znaczący dla rozwoju Unii Europejskiej projekt, jakim jest utworzenie sieci naukowej z zakresu elektroniki organicznej. W ramach programu Marie Skłodowska-Curie Actions - Innovative Training Networks - European Training Network stworzyłem sieć EXCILIGHT „Ekscypleksy donorowo-akceptorowe jako materiały do łatwo modyfikowanego, wysokosprawnego oświetlenia OLED”. W projekcie tym wykorzystywane jest nowatorskie rozwiązanie zastosowania emiterów ekscypleksowych (wzbudzona forma kompleksu kilku związków organicznych) jako wysokowydajnych emiterów fluorescencyjnych, wykorzystujących dodatkowy efekt wzmacniający TADF (Termicznie Aktywowana Opóźniona Fluorescencja). W wykorzystaniu tego efektu dla form ekscypleksowych w Organicznych Diodach Elektroluminescencyjnych nasza sieć badawcza jest światowym pionierem. Na sieć badawczo-treningową składa się dziewięciu partnerów głównych (Politechnika Śląska, Politechnika Łódzka, Uniwersytet w Durham, Uniwersytet w Strathclyde, Uniwersytet Techniczny w Kownie, École Normale Supérieure w Cachan,

Centre for Nano-technology and Smart Materials z Portugalii, Ossila Ltd., Aixtron SE) oraz pięciu partnerów pomocniczych (Cynora GmbH, Merck KGaA, QWERTY Sp. Z o.o., Uniwersytet w Aveiro, Uniwersytet RWTH w Aachen). W ramach projektu kładziemy nacisk na element aplikacyjny rezultatów i staramy się ukierunkować pracę doktorantów tak, aby docelowo wytworzyć serię paneli świetlnych o szerokim zakresie barw mających charakter nie tylko oświetleniowy, ale także dekoracyjny. Trzecim projektem europejskim uzyskanym i koordynowanym przeze mnie jest projekt ORZEL „Zwiększenie doskonałości naukowej i innowacyjnej Politechniki Śląskiej w elektronice organicznej” realizowany w ramach programu H2020-TWINN Upowszechnianie Doskonałości i Zapewnienie Szerszego Uczestnictwa. Projekt ten obejmuje nie tylko rozwój Politechniki Śląskiej w zakresie elektroniki organicznej, ale także jej partnerów projektowych: Uniwersytetu w Durham, Uniwersytetu Technicznego w Eindhoven oraz Francuskiego Komisariatu ds. Energii Atomowej i Alternatywnych Źródeł Energii w Grenoble. Projekt ten pozwolił mi na utworzenie sieci badawczej, w której staramy się rozwijać nasze rozumienie efektów występujących w organicznych urządzeniach elektronicznych takich, jak organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED), organiczne ogniwa słoneczne (OSC) oraz organiczne tranzystory polowe (OFET). Rozwój w tych dziedzinach jest bardzo potrzebny. Efekty naszej pracy będzie można wykorzystać w szeroko popularyzowanej giętkiej elektronice oraz ubieralnej elektronice, którą można zastosować w typowych ubraniach i poprzez zaimplementowane czujniki umożliwić monitorowanie naszego stanu zdrowia.

II. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionych w pkt I) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych.

A) Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)

Publikacje po doktoracie

1. Jadwiga Soloducho[✉], Joanna Cabaj, Kamila Olech, **Przemysław Data**, Mieczysław Lapkowski.

”Advanced heterocyclic branched semiconducting units – highly efficient synthesis and physicochemical characteristic”

Current Organic Chemistry 17, **2013**, 283-295

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów elektrochemicznych i spektroelektrochemicznych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 10%.

2. Tomasz Jarosz, **Przemysław Data**, Wojciech Domagala, Wojciech Kuznik, Kamil Kotwica, Mieczysław Lapkowski[✉].

“Solubility controlled electropolymerisation and study of the impact of regioregularity on the spectroelectrochemical properties of thin films of poly(3-octylthiophenes)”

Electrochimica Acta 122, **2014**, 66-71.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na koordynacji pomiarów elektrochemicznych i spektroelektrochemicznych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 10%.

3. Kamila Olech, Jadwiga Sołoducho✉, Katarzyna Łaba, **Przemysław Data**, Mieczysław Łapkowski, Szczepan Roszak.

“The Synthesis and Characterization of 3,4- Ethylenedioxythiophene Derivatives with Electroactive Features”

Electrochimica Acta 141, **2014**, 349-356.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na koordynacji pomiarów elektrochemicznych i spektroelektrochemicznych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 10%.

4. Alina Brzeczek, Przemysław Ledwon✉, **Przemysław Data**, Paweł Zassowski, Sylwia Golba, Krzysztof Walczak, Mieczysław Lapkowski.

“Synthesis and properties of 1,3,5-tricarbazolylbenzenes with star-shaped architecture”

Dyes and Pigments 113, **2015**, 640 – 648.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na interpretacji wyników elektrochemicznych i pomoc w przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

5. Sławomir Podsiadło✉, Maciej Białogłowski, Mohammad Fadaghi, Grzegorz Matyszczyk, Kornelia Kardas, Piotr Dłuzewski, **Przemysław Data**, Mieczysław Lapkowski.

“Synthesis of kesterite nanopowders with bandgap tuning ligands”

Crystal Research and Technology 50, **2015**, 743-746.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów elektrochemicznych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

6. Jonathan Ward, Roberto Nobuyasu, Andrei Batsanov, **Przemysław Data**, Andrew Monkman, Fernando Dias, Martin Bryce[✉].

“The interplay of thermally activated delayed fluorescence (TADF) and room temperature organic phosphorescence in sterically-constrained donor-acceptor charge-transfer molecules”

Chemical Communications 52, **2016**, 2612-2615.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów elektrochemicznych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 5%.

7. Paloma Santos[✉], Jonathan Ward, **Przemysław Data**, Andrei Batsanov, Martin Bryce, Fernando Dias, Andrew Monkman.

“Engineering the singlet-triplet energy splitting in a TADF molecule”

Journal of Materials Chemistry C 4, **2016**, 3815-3824.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów elektrochemicznych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 5%.

8. Roberto Nobuyasu, Zhongjie Ren, Gareth Gryffiths, Andrei Batsanov, **Przemysław Data**, Andrew Monkman, Martin Bryce, Shouke Yan, Fernando Dias[✉].

“Photophysics of Thermally Activated Delayed Fluorescence in Asymmetrical D-A Monomer for the Rational Design of Solution Processed TADF Polymers”

Advanced Optical Materials 4, **2016**, 597-607.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów elektrochemicznych i diod elektroluminescencyjnych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 10%.

9. Fernando Dias[✉], Jose Santos, David Graves, **Przemysław Data**, Roberto Noboyasu, Mark Fox, Andrei Batsanov, Tiago Palmeira, Mario Berberan-Santos, Martin Bryce, Andrew Monkman.

“The Role of Local Triplet Excited States and D-A Relative Orientation in Thermally Activated Delayed Fluorescence: Photophysics and Devices”

Advanced Science 3, **2016**, 1600080.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów elektrochemicznych i diod elektroluminescencyjnych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 10%.

10. Kamil Kotwica, Piotr Bujak[✉], **Przemysław Data**, Wojciech Krzywiec, Damian Wamil, Piotr Gunka, Lukasz Skorka, Tomasz Jarocho, Robert Nowakowski, Adam Pron, Andrew Monkman[✉].

“Soluble Flavanthrone Derivatives: Synthesis, Characterization, and Application to Organic Light-Emitting Diodes”

Chemistry – A European Journal 22, **2016**, 7978-7986.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na koordynacji wykonania i analizy diod elektroluminescencyjnych oraz pomocy w opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

11. Kamil Kotwica, Anastasia Kostyuchenko, **Przemysław Data**, Tomasz Marszałek, Lukasz Skorka, Tomasz Jarocho, Sylwia Kacka, Malgorzata Zagorska, Robert Nowakowski, Andrew Monkman, Alexander Fisyuk[✉], Wojciech Pisula[✉], Adam Pron[✉].

“Star-Shaped Conjugated Molecules with Oxa- or Thiadiazole Bithiophene Side Arms”

Chemistry – A European Journal 22, **2016**, 11795-11806.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na koordynacji wykonania i analizy diod elektroluminescencyjnych oraz pomocy w opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

Publikacje sprzed doktoratu

1. Krzysztof Idzik, Jadwiga Soloducho, Mieczysław Lapkowski, **Przemysław Data**.

“A New Route to Light Emitting Organic Materials Based on Triazine Derivatives”
Journal of Fluorescence, 20 (5), **2010**, 1069 – 1075.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu badań fluorescencyjnych oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

2. Dalius Gudeika, Ramunas Lygaitis, Viktorija Mimaitė, Juozas Vidas Grazulevicius[✉], Vyginas Jankauskas, Mieczysław Lapkowski, **Przemysław Data**.

“Hydrazones containing electron-accepting and electron-donating moieties”
Dyes and Pigments, 91 (1), **2011**, 13 – 19.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej oraz pomocy w opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

3. Mieczysław Lapkowski, **Przemysław Data**, Sylwia Golba, Jadwiga Soloducho[✉], Anna Nowakowska-Oleksi.

“Unusual band-gap migration of N-alkylcarbazole-thiophene derivative”
Optical Materials, 33, **2011**, 1445 – 1448.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i spektroelektrochemicznej, syntezie polimerów, rozdział i oczyszczanie oraz analizie NMR powstałych frakcji, w opisie wyników oraz napisanie publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 50%.

4. Agnieszka Swist, Jadwiga Soloducho[✉], **Przemysław Data**, Mieczysław Lapkowski.

“Thiantrene-based oligomers as Hole Transporting Materials”

ARKIVOC, III, **2012**, 193 – 209.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 10%.

5. Mieczysław Lapkowski, **Przemysław Data**, Sylwia Golba, Jadwiga Soloducho[✉], Anna Nowakowska-Oleksy, Szczepan Roszak.

“Electrochemical Characterization of Alternate Conducting Carbazole-Bisthiophene Units”

Materials Chemistry and Physics, 131, **2012**, 757 – 763.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej, spektroelektrochemicznej i spektroskopowej, syntezie polimerów, w opisie wyników oraz napisanie części publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 35%.

6. **Przemysław Data**, Mieczysław Lapkowski[✉], Radosław Motyka, Jerzy Suwinski.

“Electrochemistry and spectroelectrochemistry of a novel selenophene-based monomer”

Electrochimica Acta, 59, **2012**, 567 – 572.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i spektroelektrochemicznej i spektroskopowej, syntezie polimerów, w opisie wyników oraz napisanie części publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 50%.

7. **Przemysław Data**[✉], Mieczysław Lapkowski, Radosław Motyka, Jerzy Suwinski.

“Photoluminescent polytellurophene derivatives of conjugated polymers as a new perspective for molecular electronics”

Macromolecular Chemistry and Physics, 213, **2012**, 29 – 35.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i spektroelektrochemicznej i spektroskopowej, syntezie polimerów, w opisie wyników oraz napisaniu publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 65%.

8. Renji Reghu, Juozas Vidas Grazulevicius[✉], Jurate Simokaitiene, Arunas Miasojedovas, Karolis Kazlauskas, Saulius Juršenas, **Przemysław Data**, Krzysztof Karon, Mieczysław Lapkowski, Gaidelis Valentas, Vyintas Jankauskas.

“Glass-Forming Carbazolyl- and Phenothiazinyl- Tetra Substituted Pyrene Derivatives: Photophysical, Electrochemical and Photoelectrical Properties”

Journal of Physical Chemistry C, 116, **2012**, 15878 – 15887.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 5%.

9. **Przemysław Data**[✉], Mieczysław Lapkowski, Radosław Motyka, Jerzy Suwinski.

“Influence of heteroaryl group on electrochemical and spectroscopic properties of conjugated polymers”

Electrochimica Acta 83, **2012**, 271-282.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i spektroelektrochemicznej i spektroskopowej, syntezie polimerów, wytworzeniu i analizie okien elektrochromowych opisie wyników oraz napisaniu publikacji. Mój udział procentowy szacuje na 65%.

10. **Przemysław Data**[✉], Mieczysław Lapkowski, Radosław Motyka, Jerzy Suwinski.

“Influence of alkyl chain on electrochemical and spectroscopic properties of polyselenophenes”

Electrochimica Acta 87, **2013**, 438-449.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i spektroelektrochemicznej i spektroskopowej, syntezie polimerów, wytworzeniu i analizie okien elektrochromowych, opisie wyników oraz napisaniu publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

11. Renji Reghu, Juozas Vidas Grazulevicius[✉], K. Kazlauskas, S. Jursenas, Mieczysław Lapkowski, **Przemysław Data**, Paweł Zassowski.

“Glass forming donors-substituted star-shaped s-triazines: photophysical and electrochemical properties”

Dyes and Pigments 97, **2013**, 412-442.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 5%.

12. Agnieszka Świst, Joanna Cabaj, Jadwiga Sołoducho[✉], **Przemysław Data**, Mieczysław Lapkowski.

“Novel acridone-based branched blocks as highly fluorescent materials”

Synthetic Metals 180, **2013**, 1-8

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu analizy elektrochemicznej i spektroelektrochemicznej oraz opisie wyników do publikacji. Mój udział procentowy szacuję na 15%.

B) Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach, lub targach.

Brak

C) Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt. II A:

Brak

D) Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych

Brak

E) Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports, zgodnie z rokiem opublikowania:

174,466

F) Liczba cytowani według bazy Web of Science (WoS) (Dostęp 29.03.2017)

Całkowita liczba cytowań = 339

Całkowita liczba cytowań bez auto cytowania = 249

G) Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS) (dostęp 29.03.2017)

12

H) Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach:

1. Projekt badawczy nr N N205 106935, MNiSW, 2008 – 2011

„Nowe organiczne materiały polimerowe dla optoelektroniki i ogniw fotowoltaicznych zawierające pierścienie furanowe tiofenowi, selenofenowe lub tellurofenowe”

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, 41-819 Zabrze, M. Curie-Skłodowskiej 34

320 000,00 PLN

Wykonawca Projektu (kierownik projektu – prof. dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski).

2. Projekt badawczy nr N N507 326936, MNiSW, 2009 – 2012

„Kompleksowa charakterystyka własności spektroelektrochemicznych nowych materiałów polimerowych, opartych na heterocyklicznych układach skondensowanych, na potrzeby molekularnej optoelektroniki organicznej”

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

349 000,00 PLN

Wykonawca Projektu (kierownik projektu – dr inż. Wojciech Domagała).

3. Projekt badawczy PIRSES-GA-2009-247544 „BIOMOLEC”, 7 program ramowy, 2011 – 2015

„Funkcjonalizowane biopolimery do zastosowania w elektronice molekularnej i fotonice”

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

68 400,00 EUR

Wykonawca grupy badawczej w międzynarodowym konsorcjum (kierownik projektu – dr Chantal Andruade).

4. Projekt badawczy nr 2011/03/B/ST5/01475, NCN, **2012 – 2015**

„Nowe pochodne metalopolimerowe do zastosowania w molekularnej elektronice jako materiały aktywne”

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, 41-819 Zabrze, M. Curie-Skłodowskiej 34

612 959,00 PLN

Główny wykonawca (kierownik projektu – prof. dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski).

5. Projekt badawczy nr 2011/03/B/ST5/02721, NCN, **2012 – 2015**

„Półprzewodniki o strukturze kesterytu - nowe materiały fotowoltaiczne”

Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, 00-662 Warszawa, Koszykowa 75;

660 000,00 PLN

Wykonawca Projektu (kierownik projektu – prof. dr hab. Rajmund Bacewicz).

6. Projekt badawczy nr 2011/03/N/ST5/04362, NCN, **2012 – 2014**

„Badanie foto- i elektroaktywności polimerowych pochodnych selenofenu i tellurofenu do zastosowania w optoelektronice”

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

195 850,00 PLN

Kierownik projektu.

7. Projekt badawczy nr 2012/05/B/ST5/00745, NCN, **2013 – 2017**

„Kompleksowa charakterystyka elektrochemiczna i spektroelektrochemiczna pochodnych karbazolu i ich elektropolimerów jako materiałów o potencjalnym zastosowaniu w elektronice molekularnej”

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

951 800,00 PLN

Główny wykonawca (kierownik projektu – prof. dr hab. inż. Mieczysław Łapkowski).

8. Projekt badawczy nr IP2012 039572, MNiSW, **2013 – 2016**

„Badanie właściwości fizykochemicznych cienkich warstw organicznych związków skoniugowanych oraz kompozytów przewodzących na różnych nośnikach“

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

420 000,00 PLN

Kierownik projektu.

9. Projekt badawczy nr 932/1/MOB/12/2013/0, MNiSW, **2013 – 2015**

„Niskonapięciowe organiczne urządzenia optoelektroniczne wykorzystujące nośniki ekscypleksowe. Nowoczesne zastosowanie opóźnionej fluorescencji typu E“

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

441 600,00 PLN

Kierownik projektu.

10. Projekt badawczy nr H2020-MSCA-IF-2014/659288 TADFORCE, EC, **2015 – 2017**

„Strengthening and survey beyond the knowledge of the TADF emitters as materials for superefficient OLED devices“

Uniwersytet w Durham, Wydział Fizyki, South Road, DH1 3LE, Durham, UK

195 455,00 EUR

Kierownik projektu.

11. Projekt badawczy nr H2020-MSCA-ITN-2015/674990, EXCILIGHT, EC, **2015 – 2019**

„Donor-Acceptor light emitting exciplexes as materials for easily to tailor ultra-efficient OLED lighting“

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

3 717 198,72 EUR

Kierownik projektu i kierownik konsorcjum.

12. Projekt badawczy nr H2020-TWINN-2015/691684, ORZEL, EC, **2016 – 2019**

„Boosting the scientific excellence and innovation capacity in organic electronics of the Silesian University of Technology “

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, M. Strzody 9

999 787,50 EUR

Kierownik projektu i kierownik konsorcjum.

I) Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową lub artystyczną:

1. Laureat konkursu „Innowacyjny Młody Naukowiec” – Centrum Innowacji i Transferu Technologii Politechniki Śląskiej za „Wykorzystanie technologii „Ink-jet printing” i polimerów przewodzących w tworzeniu złożonych struktur diod i fotodiod na materiałach giętkich”. **2010**
2. Laureat stypendium im. Jana Binkiewicza za osiągnięcia naukowe. **2013**
3. Indywidualna Nagroda Rektora Politechniki Śląskiej za osiągnięcia naukowe. **2013**
4. Nagroda Prezesa Rady Ministrów za wyróżnioną pracę doktorską. **2014**
5. Nagroda im. Jana Binkiewicza za wyróżnioną pracę doktorską. **2014**
6. Indywidualne stypendium badawcze Marie Skłodowska-Curie Action. **2015**
7. Laureat stypendium dla młodych naukowców MNiSW. **2016**
8. Indywidualna Nagroda Rektora Politechniki Śląskiej za osiągnięcia naukowe. **2016**

J) Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych:

1. *„Electrochemical and spectroscopic study of terthiophene and thiophene with large photochromic substituent copolymers”*

P. Data, M. Lapkowski, W. Domagała, W. Czerwiński.

VII International Polymer Seminar,

Gliwice (Polska), **26.06.2008** (Poster)

2. *„Electrochemical and spectroscopic study of terthiophene and thiophene with anthracene substituent copolymers”*

P. Data, M. Lapkowski, W. Domagała, W. Czerwiński.

51 Zjazd Polskiego Towarzystwa Chemicznego oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego (PTChem),

Opole (Polska), **07 - 11.09.2008** (Poster)

3. *„Fluorescence spectroelectrochemistry as an unconventional method for analysis of conjugated polymers and their electrochemical processes, exemplified by selected polyterthiophene derivative”*

P. Data, M. Lapkowski.

The 9th International Symposium on Advanced Organic Photonics ISAOP-9, Bunratty (Irlandia), **03 - 04.09.2009**, (Poster)

4. *“Fluorescence Spectroelectrochemistry as Unconventional Method for Analysis Conjugated Polymers and Electrochemical Process”*

P. Data, M. Lapkowski,

International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals,

Kyoto (Japonia), **05 - 09.07.2010** (Poster)

5. *“Unusual electrochemical and spectroscopic behaviour of some carbazole compounds during electropolymerization.*

P. Data, K. Karon, M. Lapkowski

61st Annual Meeting of The International Society of Electrochemistry,

Nicea (Francja), **26.09 - 01.10.2010** (Wystąpienie)

6. *“Characterization of bipolarone to biradical cation conversion process in polycarbazole derivatives”*

P. Data, M. Lapkowski

54. Zjazd PTChem I SITPChem,

Lublin (Polska), **18 - 22.09.2011** (Poster)

7. *“Fluorescence spectroelectrochemical investigation of polycarbazole derivative”*

P. Data, M. Lapkowski

International Workshop on Nano and Bio-photonics,

St. Germain au Mont (Francja), **23 - 28.10.2011** (Wystąpienie)

8. *“Electrochemical and spectroelectrochemical properties of thianthrene based conjugated compounds as semiconductive materials for organic electronics”*

P. Data

International Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials

WEEM - 2012,

Szeged (Węgry), **03 - 08.06.2012** (Wystąpienie)

9. *“ σ -Dimer formation in EDOT containing copolymers”*

P. Data, M. Lapkowski, W. Domagała

55. Zjazd PTChem i SITPChem,

Białystok (Polska), **16 - 20.09.2012** (Poster)

10. *“Influence of thiophene derivative on N-alkylcarbazole derivative and their polymers”*

P. Data, M. Lapkowski, W. Domagała

55. Zjazd PTChem i SITPChem,

Białystok (Polska), **16 - 20.09.2012** (Poster)

11. *“Influence of alkyl chain on electrochemical and spectroelectroscopic properties of polyselenophenes”*

P. Data

Baltic Polymer Symposium BPS 2012,

Liepāja (Łotwa), **19 - 21.09.2012** (Wystąpienie)

12. *“Electrochemical characteristic of triazine derivatives as materials for optoelectronics”*

P. Data

Workshop on Organic Electronics and Nanophotonics, WOREN 2013,

Złockie (Polska), **17 - 21.02.2013** (Wystąpienie)

13. *“Electrodeposited polycarbazole derivatives as materials for optoelectronic applications”*

P. Data, P. Pander, A. Swist, M. Lapkowski

13th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry,

Pretoria (RPA), **7 - 10.04.2013** (Wystąpienie)

14. *“Investigation of electrodeposited polymer by optical and EPR measurements during doping process”*

P. Data, P. Zassowski, W. Domagala, M. Lapkowski

13th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry,
Pretoria (RPA), 7 - 10.04.2013 (Poster)

15. *“Spectroelectrochemical investigation of novel polyselenophene and polytellurophene derivatives”*

P. Data, A. Swist, P. Pander, M. Lapkowski

11th International Symposium on Functional π -Electron Systems,
Arcachon (Francja), 2 - 7.06.2013 (Poster)

16. *“Spectroelectrochemical investigation of novel polytellurophene derivatives”*

P. Data, P. Pander, A. Swist

Baltic Polymer Symposium
BPS 2013, Troki (Litwa), 18 - 21.09.2013 (Wystąpienie)

17. *“Novel selenophene and tellurophene derivatives from electrochemistry to working devices”*

P. Data, P. Pander, R. Motyka

15th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry,
Niagara Falls (Kanada), 27 - 30.04.2014 (Wystąpienie)

18. *“Carbazole based star-shaped oligomers for optoelectronics applications”*

P. Data, P. Ledwon, P. Zassowski, M. Lapkowski, A. Brzeczek, K. Walczak.

15th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry,
Niagara Falls (Kanada), 27 - 30.04.2014 (Poster)

19. *“Highly efficient exciplex based TADF OLED’s – from electrochemistry to working devices”*

P. Data, V. Jankus, A. Monkman

XVth International Krutyn Summer School,

Krutyn (Polska), **8 - 14.06.2014** (Poster)

20. *“Influence of the heteroatom in 3,6-bis(heteroaryl)-N-alkylcarbazole on working parameters of OLED device”*

P. Data, P. Pander.

International Conference of Synthetic Metals – ICSM 2014,

Turku (Finlandia), **30.06 - 5.07.2014** (Poster)

21. *“Electrochemistry and spectroelectrochemistry as a tool for investigation of OLED emitters”*

P. Data, M. Lapkowski

Workshop on Electrochemistry of Electroactive Materials 2015

Bad Herrenalb (Germany), **31.05 - 05.06.2015** (Poster)

22. *“Exciplex Way From Blue to Red, Novel TADF Emitters”*

P. Data,

Optical Probes 2015

Hong Kong, **14.06 - 19.06.2015** (Wystąpienie)

23. *“Novel exciplex emitters for OLED application”*,

P. Data, R. Motyka, P. Pander,

4th Workshop on Organic Electronics and Nanophotonics,

Aussois (Francja), **20-25.03.2016** (Wystąpienie)

24. Delayed Fluorescence as a Tool to Obtain Highly Efficient OLED Devices,

P. Data,

XIXth International Krutyn Summer School

Krutyn (Polska), **15-21.05.2016** (Wystąpienie)

25. “Electrochemical and spectroelectrochemical analysis of novel TADF emitters”

P. Data, A. Kurowska,

Baltic Polymer Symposium, BPS 2016,

Klaipeda (Litwa), **21-23.09.2016** (Wystąpienie na zaproszenie)

26. “Exciplex phenomena, an easy way to tailor OLED emitters”,

P. Data

SPIE Security+ Defence,

Edinburg (Anglia), **26-19.09.2016** (Wystąpienie na zaproszenie)

27. “Delayed Fluorescence as a Tool to Obtain Highly Efficient OLED Devices”,

P. Data,

14th International Conference on Frontiers of Polymers and Advanced Materials,

Daejeon (Korea Południowa), **31.10-4.11.2016** (Wystąpienie na zaproszenie)

28. „Wykorzystanie opóźnionej fluorescencji do zwiększenia wydajności OLED”,

P. Data

IV Warsztaty Organicznej Drukowanej i Elastycznej Elektroniki,

Łódź (Polska), 25.11.2016 (Wystąpienie na zaproszenie)

29. “Analysis of TADF process in ambipolar OLED emitters”,

P. Data,

8th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology,

Queenstown (Nowa Zelandia), **12-16.02.2017** (Wystąpienie)

III. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacje o współpracy międzynarodowej habilitanta.

A) Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych

1. Marie Curie Actions - PIRSES-GA-2009-247544 „BIOMOLEC”, 7 program ramowy, 2011 – 2015,

„Funkcjonalizowane biopolimery do zastosowania w elektronice molekularnej i fotonice”.

2. Projekt mobilności naukowej MNiSW 932/1/MOB/12/2013/0, 2013 – 2015

„Niskonapięciowe organiczne urządzenia optoelektroniczne wykorzystujące nośniki ekscypleksowe. Nowoczesne zastosowanie opóźnionej fluorescencji typu E”

3. Marie Skłodowska-Curie Actions, nr H2020-MSCA-IF-2014/659288 TADFORCE, EC, 2015 – 2017

„Strengthening and survey beyond the knowledge of the TADF emitters as materials for superefficient OLED devices “

4. Sieć badawcza w ramach Marie Skłodowska-Curie Actions, nr H2020-MSCA-ITN-2015/674990, EXCILIGHT, EC, 2015 – 2019

„Donor-Acceptor light emitting exciplexes as materials for easily to tailor ultra-efficient OLED lighting“

5. Sieć badawcza w ramach akcji Teaming, H2020-TWINN-2015/691684, ORZEL, EC, 2016 – 2019

“Boosting the scientific excellence and innovation capacity in organic electronics of the Silesian University of Technology”.

B) Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych

1. 1st RISC Workshop <https://risc-tadf.net/>
2. 1st Orzel Winter School <http://ows.organicelectronics.co.uk/>
3. XXIInd Krutyn Summer School <http://tadfoled.ikss.eu/>

C) Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

1. 1st RISC Workshop <https://risc-tadf.net/>
2. 1st Orzel Winter School <http://ows.organicelectronics.co.uk/>
3. XXIInd Krutyn Summer School <http://tadfoled.ikss.eu/>

D) Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione w pkt

Brak

E) Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

1. Sieć BIOMOLEC - Marie Curie Actions - PIRSES-GA-2009-247544, 7 program ramowy, 2011 – 2015, *„Funkcjonalizowane biopolimery do zastosowania w elektronice molekularnej i fotonice”.*

2. Sieć badawcza EXCILIGHT w ramach Marie Skłodowska-Curie Actions, nr H2020-MSCA-ITN-2015/674990, 2015 – 2019, „*Donor-Acceptor light emitting exciplexes as materials for easily to tailor ultra-efficient OLED lighting*“
3. Sieć badawczo-treningowa ORZEL w ramach akcji Teaming, H2020-TWINN-2015/691684, 2016 – 2019, „*Donor-Acceptor light emitting exciplexes as materials for easily to tailor ultra-efficient OLED lighting*“

F) Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w pkt H

Brak

G) Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

1. Edytor gościnny Display and Imaging.

H) Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych:

1. Członek International Society of Electrochemistry

I) Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki:

Brak

J) Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji

Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów

2013 – 2016

Promotorstwo prac magisterskich - 2

Kierowanie projektami inżynierskich - 2

2008 – 2013

Opieka nad magistrantami - 6

K) Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego.

Mgr inż. Katarzyna Łaba 2012, trwa; Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych, PAN, promotor pomocniczy.

Mgr Pavel Chulkin 2016, trwa; Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej, promotor pomocniczy.

Mgr Marharyta Vasilieva 2016, trwa; Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej, promotor pomocniczy.

L) Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich:

1. Durham University (Wielka Brytania), **10.2013 – 04.2017r.**, Politechnika Śląska
2. University of Sao Paulo w Sao Carlos (Brazylia), **07.2013 – 09.2013r.**, Politechnika Śląska.
3. Kaunas University of Technology w Kownie (Litwa), **11.2012 – 12.2012r.**, Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych, PAN.

M) Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

1. 01 – 03.2010 – ORSA-MOTO Sp. z o.o., Ozorków

Konsultant w zakresie analiz wykładzin polimerowych i składników produkcyjnych oraz modyfikacji procesu produkcyjnego w celu otrzymania produktu o określonych parametrach.

2. 01 – 04.2012 – Vello Nordic AS, Skodje (Norwegia)

Konsultant w zakresie badań mikroskopowych ramanowskich oraz analizy mikropęknięć podmorskich kabli teleinformatycznych w matrycy poliwęglanowych.

N) Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Brak

O) Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych

Brak

P) Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Lp.	Czasopismo	Wydawnictwo	Okres	Liczba Prac
1	Electrochimica Acta	Elsevier	2014-2017	8
2	Journal of Materials Chemistry C	Royal Society of Chemistry	2014-2017	3
3	Chemical Engineering Journal	Elsevier	2015	1
4	Pure and Applied Chemistry	De Gruyter	2015	1
5	Journal of Fluorescence	Springer	2015	2
6	Advanced Materials	Wiley	2016	2
7	Dyes and Pigments	Elsevier	2016	1
8	Journal of Industrial and Engineering Chemistry	Elsevier	2016	1
9	Organic Electronics	Elsevier	2016	1
10	ACS Applied Materials and Interfaces	ACS	2017	1
11	Measurement	Elsevier	2017	1
			Suma	22

Q) Inne osiągnięcia, nie wymienione w pkt III A-P

Zajęcia dydaktyczne w latach 2008 – 2016.

Politechnika Śląska w Gliwicach

Chemia Fizyczna

Laboratorium (75), ćwiczenia tablicowe (30)

Durham University

Foundation of Physics

Ćwiczenia tablicowe (30)



Recenzje projektów inżynierskich - 2

Literatura.

- ¹ L. Groenendaal, F. Jonas, D. Freitag, H. Pierartzik, J.R. Reynolds, Adv. Mater 12, **2000**, 481.
- ² <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/2000/public.html>
- ³ M. Haussler, J. Liu, R. Zheng, J.W. Yip Lam, A. Qin, B.Z. Tang, Macroparticles 40, **2007**, 1914.
- ⁴ P. Taraneker, T. Fulghum, D. Patton, R. Ponnappati, G. Clyde, R. Advincula, J. Am. Chem. Soc. 129, **2007**, 12537.
- ⁵ Y.J. Doh, J.S. Park, W.S. Jeon, R. Pode, J.H. Kwon, Org. Electron. 13, **2012**, 586.
- ⁶ M. Carmen, G. Hernández, M.G. Zolotukhin, J.L. Maldonado, N. Rehmman, K. Meerholz, S. King, A. P. Monkman, N. Fröhlich, C.J. Kudla, U. Scherf, Macroparticles 42, **2009**, 9225.
- ⁷ J.B. Birks, Rep. Prog. Phys. 38, **1975**, 903.
- ⁸ J. Kalinowski, G. Giro, M. Cocchi, V. Fattori, R. Zamboni, Chem. Phys. 277, **2002**, 387.
- ⁹ J. Kalinowski “Organic Light Emitting Diodes: Principles, Characteristics and Processes”, Marcel Dekker, New York, **2005**.
- ¹⁰ J. Kalinowski, M. Cocchi, D. Virgili, V. Fattori, J.A.G. Williams, Chem. Phys. Lett., 447, **2007**, 279.
- ¹¹ M. Song, J.S. Park, Y.-S. Gal, S. Kang, J.Y. Lee, J.W. Lee, S.-H. Jin, J. Phys. Chem. C, 116, **2012**, 7526.
- ¹² B. Park, Y.H. Huh, H.G. Jeon, C.H. Park, T.K. Kang, B.H. Kim, J. Park, J. Appl. Phys. 108, **2010**, 094506.
- ¹³ T. Earmme, S.A. Jenekhe, J. Mater. Chem 22, **2012**, 4660.
- ¹⁴ A.K. Havarea, M. Can, S. Demic, S. Okura, M. Kusc, H. Aydına, N. Yagmurcukardesa, S. Tari, Synth. Met. 161, **2011**, 2397.
- ¹⁵ A. Heckmann, C. Lamber, Angew. Chem. Int. Ed. 51, **2012**, 326.
- ¹⁶ A. Chaskar, H.-F. Chen, K.-T Wong, Adv. Mater. 23, **2011**, 3876.
- ¹⁷ K. M. Coakley, M. D. McGehee, Chem. Mater. 16, **2004**, 4533.
- ¹⁸ C. Du, Y. Ji, J. Xue, T. Xue, T. Hou, J. Tang, S.-T. Lee, Y. Li, Sci. Rep. 5, **2015**, 16854.