

Recenzja Rozprawy Doktorskiej – Ł. Janasz

Przedstawiona mi do recenzji praca p. Łukasza Janasza powstała w Katedrze Fizyki Molekularnej wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej, pod kierunkiem dr hab. Wojciecha Pisuli oraz Prof. dr hab. Jacka Ulańskiego. Znaczna część badań została wykonana w Instytucie Maxa Plancka w Moguncji.

Rozprawa doktorska p. Janasza przedstawia badania organicznych cienkowarstwowych półprzewodników, mianowicie polimer typu p P3HT jak i również kompozyty P3HT z materiałem typu n - PCBM. Materiały te są powszechnie uważane za archetypowe w branży półprzewodników organicznych i ilość publikowanych badań na ich temat jest niezwykle obszerny. Można by sądzić że niewiele zostało do odkrycia względem tych dokładnie opisanych związków, niemniej rozprawa P. Janasza dowodzi że jednak pozornie dobrze znane materiały mogą kryć ciekawe zjawiska, i że na podstawie badań takich układów można wywnioskować zasady które można przełożyć bardziej ogólnie na technologie półprzewodników organicznych.

Z rozprawy wynika że w trakcie doktoratu, autor nabył całkiem spory warsztat naukowy jeśli chodzi o metody technologii i metodologie pomiarową półprzewodników organicznych i nanotechnologii. Przede wszystkim staranność jakim zostały przebadane kwestie nanoszenie ultracienkich półprzewodzących warstw z roztworów jest bardzo imponująca. Pozornie subtelne różnice związane z rozpuszczalnością P3HT w serii rozpuszczalników chloroform, toluen, i dichlorobenzen się przełożyły na dramatyczne różnice w wynikach. Tylko poprzez dokładny i systematyczny sposób z jakim zostały poszczególne warunki i zmienne (np. czas przechowywania roztworu) sprawdzone przez autora mogły te wyniki powstać w tej formie. Pomiaru mikroskopem sił atomowych (AFM) nanometrycznych warstw P3HT są wykonane w bardzo fachowy sposób (np. Figure 15 oraz 18), zwłaszcza zdjęcia dobrze zdefiniowanych nanodrutów P3HT robią wrażenie. Wyobrażam sobie że autor poświęcił sporo czasu żeby nabrać wprawy i uzyskać te ujęcia, i ze swobodą może być uważany za zaawansowanego użytkownika metody AFM.

Wyniki przedstawione w pierwszej publikacji w elegancki sposób potwierdzają długotrwałe przepuszczenie w branży (oparte głównie na badaniach małych molekuł takich jak pentacen) że pierwsze monowarstwy w organicznych tranzystorach polowych dominują transport nośników. Dokazanie istnienia dwóch wyraźnych trybów – dwu i trzy wymiarowych, jest wartościowym osiągnięciem dla podstawowego zrozumienia takich materiałów który może się też przełożyć na praktyczne technologie.

Kluczowe osiągnięcie rozprawy się znajduje natomiast w drugiej i trzeciej publikacji – dokładna charakterystyka zjawiska powstawania nanodrutów P3HT jak i również

ich właściwości transportowe. Moją pozytywną ocenę tych wyników i metodologii badawczej przedłożyłem już powyżej. Mam nadzieję że wkrótce się okażą artykuły o dalszych badaniach gdzie nanodrutu P3HT znajdą ciekawe zastosowania.

Dla recenzenta, pochwalenie autora jest przywilejem. Jednak najczęściej uczymy się nie na podstawie pochwał, ale krytyki. Dlatego też obecnie pozwolę sobie na zgłoszenie tych krytycznych uwag, które nasunęły mi się w trakcie czytania. Pominę błędy ortograficzne i usterki stylistyczne, chociaż takich jest zdecydowanie więcej niż być powinno. Niestety, zasadnicze niedociągnięcie które jednak wpływa na odbiór rozprawy to niskiej jakości i miejscami niestarannie przygotowane rysunki. Rozprawy doktorskie są często używane jako źródło dla młodszych studentów, dla których rozprawa służy jako wdrożenie do nowego tematu. Dla tego szczególnie trzeba dbać nie tylko o treść ale o dobrą formę i jasność przekazu. Rysunki przygotowane za pomocą programów tj Origin domyślnie eksportują rysunki w formatach bezstratnej grafiki wektorowej. Coraz więcej czasopism naukowych przyjmuje rysunki wyłącznie w takich formatach. Niestety, w rozprawie jak i również w artykułach się pojawiają rysunki z bardzo niską rozdzielczością, i błędami tj obcięty tekst. Uważam że autor powinien w przyszłości dołożyć więcej starań o wyższą jakość wykresów jak i również rysunków schematycznych (np. Figure 8). Przełoży się to na lepszy odbiór wśród fachowców pracy oraz wartości dydaktycznej.

W wprowadzeniu występuje stwierdzenie że pierwsze zastosowanie organicznych materiałów elektronicznych jest z 1986 r. Przypomniał bym że już od końca lat sześćdziesiątych półprzewodniki organiczne znajdowały się we większości urządzeń kserograficznych jako główny element aktywny (od 1969 w produkcji masowej). W latach osiemdziesiątych pojawiły się na rynku tzw kondensatory polimerowe stosujące polimery przewodzące jako główne element. To zastosowanie pozostaje najważniejszym rynkiem zbytu polimerów tj PEDOT.

Jedyne krytyczne uwagi związane z doświadczeniami wiążą się z pomiarami tranzystorów polowych. Charakterystyki przejściowe przedstawione w rozprawie jak i również w załączonych artykułach pokazują krzywe mierzone tylko w jedną stronę. Nie ma żadnej wzmianki o histerezie. Histereza jest znanym zjawiskiem w urządzeniach organicznych, zwłaszcza tam gdzie występują nanostruktury i wiele granic faz. Podejrzewam że w przypadku nanodrutów histereza może być problemem. Z doświadczenia osobistego wiem że stany pułapkowe i inne defekty w P3HT często powodują histerezę podczas pomiarów tranzystorów. W sytuacji gdzie się owe pomiary wykonuje celem obliczenia ruchliwości nośników bardzo różne wartości mogą zostać obliczone na podstawie skanów w jedną stronę lub drugą. Nie jest w pracy omówione czy występowała histereza podczas pomiarów, i w jaki sposób były krzywe wybierane do obliczeń. Przynajmniej szybkość skanowania powinna być wskazana.

Podsumowując, za największe zalety tej rozprawy uważam jej poszczególne wyniki i wysokiej jakości warsztat naukowy jakim się autor wykazał. Usterki pracy i zawartej w niej wyników uznałbym za niewielkie, i ogólna ocena powinna być moim zdaniem bardzo pozytywna. Do metodologii w której autor wykazuje tę pracą dojrzałość naukową trzeba dodać że w każdej z publikacji autor współpracował z międzynarodowym zespołem. Współprace np. z naukowcami z dziedziny badań strukturalnych/rentgenowskich są istotną częścią artykułów zawartych w rozprawie. To dowodzi że p. Janasz podczas doktoratu nabył nadzwyczajnie szerokie doświadczenie i rozeznanie interdyscyplinarne.

Proponuję iż praca doktorska p. Janasza powinna zostać wyróżniona ze względu na nowatorstwo wyników i fakt że wyniki zostały opublikowane w wysokiej jakości artykułach. Do trzech artykułów stanowiących materiał ogarnięty rozprawą należy zaliczyć czwarty artykuł obejmujący tematykę doktoratu co pomyślnie przeszedł przez recenzję w *Journal of Materials Chemistry C* i się wkrótce okaże w druku.



Dr. Eric Daniel Głowacki, *universitetslektor*
Linköpings Universitet, Norrköping, Szwecja