

Abstrakt

Niniejsza rozprawa doktorska bada właściwości transportu elektrycznego i cieplnego przewodzących cienkich warstw poli(3,4-etylenodioksytiofenu):poli(styrenosulfonianu) (PEDOT:PSS). Ze względu na wysoką przewodność elektryczną, przezroczystość optyczną, elastyczność mechaniczną oraz możliwość przetwarzania z roztworu, materiały PEDOT:PSS wzbudziły znaczne zainteresowanie w zastosowaniach obejmujących elastyczną elektronikę, przezroczyste elektrody, czujniki, urządzenia fotowoltaiczne oraz materiały termoelektryczne. Jednak mechanizm transportu ciepła w przewodzących polimerach oraz ich związek z transportem elektrycznym pozostają nadal nie w pełni zrozumiane. W celu rozwiązania tego problemu wytworzono cienkie warstwy PEDOT:PSS (F HC Solar) o zróżnicowanej morfologii, grubości, przewodności i strukturze anizotropowej. Wpływ grubości warstwy, rodzaju podłoża i temperatury na transport ładunku oraz ciepła badano z wykorzystaniem podłoży szklanych, arsenku galu domieszkowanego krzemem (GaAs:Si) oraz szkła pokrytego tlenkiem indu i cyny (ITO). Właściwości transportu elektrycznego analizowano za pomocą pomiarów efektu Halla w konfiguracji Van der Pauwa oraz przewodzącej mikroskopii sił atomowych (C-AFM), natomiast właściwości transportu cieplnego badano metodami fototermicznej radiometrii podczerwonej (PTR) i termoreflektancji (TR), co umożliwiło wyznaczenie przewodności cieplnej zarówno w płaszczyźnie warstwy, jak i w kierunku prostopadłym do niej. Uzyskane wyniki wykazały, że transport ładunku w badanych cienkich warstwach PEDOT:PSS (F HC Solar) zachodzi poprzez mechanizmy tunelowe, a nie poprzez konwencjonalny transport skokowy, niezależnie od grubości warstwy i rodzaju podłoża. Cienkie warstwy PEDOT:PSS osadzone na podłożach szklanych pokrytych ITO wykazywały bardzo wysoką przewodność elektryczną, co ma kluczowe znaczenie dla zastosowań przezroczystych elektrod w technologiach fotowoltaicznych i ogniwach słonecznych. Istotnym osiągnięciem tej pracy jest opracowanie autorskiego systemu spin-coatingu wspomaganego polem elektrycznym, który umożliwił jednoczesne przyłożenie bocznego pola elektrycznego podczas osadzania cienkiej warstwy oraz monitorowanie prądu w czasie rzeczywistym w trakcie formowania i utwardzania filmu. Zastosowane pole elektryczne wywołało kierunkową reorientację dipolowych struktur PEDOT:PSS, prowadząc do anizotropowej przewodności elektrycznej oraz kierunkowego transportu ładunku w cienkich warstwach.

Kolejnym ważnym wkładem tej rozprawy jest kompleksowe badanie właściwości transportu cieplnego w cienkich warstwach PEDOT:PSS, które pozostaje stosunkowo słabo zbadanym zagadnieniem w literaturze. Przeprowadzono zarówno teoretyczne, jak i eksperymentalne analizy przewodności cieplnej i elektrycznej w płaszczyźnie warstwy oraz w kierunku prostopadłym do niej, a korelację pomiędzy transportem cieplnym i elektrycznym systematycznie analizowano z wykorzystaniem prawa Wiedemann–Franz. Wyniki wykazały, że wzrostowi przewodności elektrycznej towarzyszył wzrost przewodności cieplnej, co wskazuje na elektroniczny udział w propagacji ciepła i podkreśla znaczenie sprzężonych procesów transportowych dla zastosowań termoelektrycznych. Ponadto, przy użyciu C-AFM badano lokalne koncentracje ładunku oraz przewodzące obszary na powierzchni cienkich warstw PEDOT:PSS. Zgodnie z modelem transportu tunelowego zaobserwowane lokalne zmiany natężenia prądu wskazują na transport ładunku pomiędzy przewodzącymi segmentami polimeru związanymi ze strukturami polaronowymi i bipolaronowymi w sieci polimerowej. Niniejsza rozprawa przedstawia kompleksowe badanie sprzężonych zjawisk transportu elektrycznego i cieplnego w cienkich warstwach PEDOT:PSS (F HC Solar) oraz wnosi istotny wkład w zrozumienie i optymalizację przewodzących materiałów polimerowych przeznaczonych do zastosowań w elastycznej elektronice, urządzeniach termoelektrycznych i technologiach konwersji energii.