

Masoud Foroutan Koudahi
Politechnika Poznańska
Wydział Technologii Chemicznej

Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Badanie granicy faz elektroda/elektrolit nowych, warstwowych materiałów dwuwymiarowych (2D)”

Promotor rozprawy doktorskiej:
Prof. dr hab. Elżbieta Frąckowiak

Rozprawa doktorska dotyczy warstwowych materiałów 2D, takich jak: dichalkogenki metali przejściowych (TMDs) i węgliki (MXenes). Zostały one spreparowane i zbadane pod względem fizykochemicznym i elektrochemicznym. Głównym celem było wyjaśnienie mechanizmu magazynowania ładunku na granicy faz elektroda/elektrolit oraz poprawa parametrów energii i mocy kondensatora elektrochemicznego zbudowanego na bazie tych 2D materiałów. Obydwa materiały wykazują katalityczną aktywność w kierunku rozkładu wody, co z kolei ogranicza napięcie pracy kondensatora elektrochemicznego. W celu rozwiązania tego problemu zastosowano dwa podejścia: wybór odpowiedniego nośnika (grafenu 3D) dla TMD, jak również hybrydyzację układu kondensatora poprzez zastosowanie odmiennych materiałów na elektrodę dodatnią i ujemną.

Materiał kompozytowy 3D grafen (3DG)-FeS₂, o optymalnej zawartości FeS₂ w stosunku do węgla, został zsyntezowany w reaktorze hydrotermalnym. Badania te przedstawiono w artykule [1]. Magazynowanie ładunku ulegało wzrostowi tylko do 15% zawartości FeS₂ w kompozycie. Powyżej tej ilości, mikroporowatość kompozytu a w konsekwencji transport jonów był bardzo ograniczony, pojemność elektrody malała. Kondensator elektrochemiczny na bazie 3DG-15 wt% FeS₂ wykazywał wysoką pojemność w szerokim zakresie napięcia (1.5V) w wodnym roztworze elektrolitu (1M Na₂SO₄).

W następnym artykule [2] udowodniono, że materiał o optymalnym składzie 3DG-VS₂, spreparowany metodą hydrotermalną, wykazuje niższą aktywność katalityczną wydzielania wodoru aniżeli 3DG-FeS₂. Stąd, elektroda ujemna 3DG-20%VS₂ mogła pracować w szerszym zakresie potencjału. Dodatnia elektroda na bazie 3DG-20%VS₂ także wykazywała szerszy zakres potencjału dzięki korzystnej morfologii nanocząstek VS₂ o mniejszej szorstkości, co skutkowało zmniejszeniem katalitycznego wydzielania tlenu. Co ciekawe, niska zawartość defektów brzegowych oraz tlenu w kompozycie 3DG/VS₂ odgrywała kluczową rolę w stabilności elektrody względem wydzielania O₂ oraz korozji przy wysokich dodatnich potencjałach. Kondensator elektrochemiczny na bazie 3DG/VS₂ cechował się dobrymi charakterystykami w trakcie 8 000 cykli przy napięciu 1.8 V w wodnym roztworze elektrolitu 1M LiNO₃.

W artykule [3], węgiel tytanu ($Ti_3C_2T_x$) przygotowano poprzez wytrawianie kwasowe fazy MAX (Ti_3AlC_2). Otrzymany w ten sposób MXene o różnych grupach funkcyjnych T_x (-Cl, -F, -O) scharakteryzowano fizykochemicznie (SEM, XRD, XPS, sorpcja N_2 w 77K). Elektrochemiczne właściwości $Ti_3C_2T_x$, a szczególnie mechanizm sorpcji wodoru z udziałem różnych wiązań, zbadano w wodnych roztworach elektrolitu o różnych pH (6M KOH, 1M H_2SO_4 , 1M Li_2SO_4 , 1M $BeSO_4$). Biorąc pod uwagę, że magazynowanie ładunku w $Ti_3C_2T_x$ zachodzi głównie na ujemnej elektrodzie, skonstruowano hybrydowy układ dla zbalansowania ładunku. Zaproponowano węgiel aktywny BP2000 jako materiał elektrody dodatniej. Hybrydowy układ kondensatorowy (-)MXene/BP2000(+) wykazywał dobre parametry przy napięciu 2V, doskonałą cykliczność (22 000 cykli, 1A/g) w neutralnym medium.

Badania, które zostały zawarte w manuskrypcie wysłanym do publikacji, pokazują, że MXenes są bardziej stabilne w cieczach jonowych aniżeli w wodnym medium. Fizyczne i chemiczne właściwości można modyfikować w celu zwiększenia magazynowanego ładunku w kondensatorze elektrochemicznym. Optymalny wzrost międzywarstwowych odległości, spowodowany różnymi rozmiarami jonów, poprawia pojemność elektrody. Nowoczesna technika elektrochemicznej dylatometrii w trybie *operando* została wykorzystana do badań $Ti_3C_2T_x$ oraz $Mo_2Ti_2C_3T_x$ w cieczach jonowych. MXenes o różnych odstępach międzywarstwowych spreparowano poprzez wytrawianie (HF lub HCl/LiF) fazy MAX. Ciecze jonowe o różnych rozmiarach jonów [EMIm][TFSI], [BMP][TFSI], [C3mpyr][FSI] służyły do monitorowania ekspansji elektrod podczas polaryzacji. Elektroda $Ti_3C_2T_x$ wykazywała pojemność z udziałem sorbowanego wodoru i wzrost grubości w obszarze ujemnych potencjałów. Przeciwnie, ekspansję i magazynowanie ładunku w $Mo_2Ti_2C_3T_x$ obserwowano tylko w zakresie dodatnich potencjałów.

Optymalna ilość i rodzaj grup funkcyjnych na powierzchni MXenes ma wpływ na pojemność elektrody poprzez wiązania wodorowe.

 09.04.2024
.....
data i podpis autora