

**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)-FeS<sub>2</sub>, o optymalnej zawartości FeS<sub>2</sub> w stosunku do węgla, został zsyntezowany w reaktorze hydrotermalnym. Badania te przedstawiono w artykule [1]. Magazynowanie ładunku ulegało wzrostowi tylko do 15% zawartości FeS<sub>2</sub> 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% FeS<sub>2</sub> wykazywał wysoką pojemność w szerokim zakresie napięcia (1.5V) w wodnym roztworze elektrolitu (1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

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

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.

Artykuł [4] dotyczy badania  $Ti_3C_2T_x$  oraz  $Mo_2Ti_2C_3T_x$  w cieczach jonowych techniką elektrochemicznej dylatometrii w trybie *operando*. 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.

.....  
data i podpis autora