

Huexue Pan
Politechnika Poznańska
Wydział Technologii Chemicznej

Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Strategies for designing high performance sodium-ion capacitors”

Promotor rozprawy doktorskiej: Prof. Franpis Beguin

Promotor pomocniczy: Dr. Agnieszka Chojnacka

Szybki rozwój elektroniki postawił wyższe wymagania dla urządzeń do magazynowania energii, zwłaszcza pod względem wysokiej energii i mocy, a także długiej żywotności i obniżonych kosztów. Z tego względu, kondensator sodowo-jonowy (NIC) oparty na mechanizmie magazynowania energii –łączącym akumulatory Na-Ion (NIBs) i kondensatory elektrycznej warstwy podwójnej (EDLCs) jest obiecującym urządzeniem. Ponieważ NIC może dostarczać wyższą energię niż EDLC i wyższą moc niż NIB, jest to jeden z optymalnych rozwiązań dla pojazdów hybrydowych i elektrycznych. W kontekście przyszłej industrializacji NIC, węgle aktywne (AC) wydają się być najlepszą opcją dla elektrody dodatniej ze względu na ich dostosowaną porowatość, wysoką dostępność i niski koszt. Jednak zgodnie z wnioskami płynącymi z przeglądu literaturowego (rozdział I) kilka kwestii związanych z optymalizacją NIC jest koniecznych do zrealizowania, np. i) opracowanie odpowiednich materiałów anodowych o zoptymalizowanym potencjale insercji sodu; ii) uproszczenie technologii NIC poprzez zastosowanie kompozytowych elektrod dodatnich zawierających źródło jonów sodu; iii) zrównoważenie współczynnika pojemności między elektrodami ujemnymi i dodatnimi tworzącymi system hybrydowy, w celu zmaksymalizowania jego wydajności energetycznej i żywotności.

Komercyjnie dostępne anody wykonane z twardego węgla nie są przystosowane do pracy w NIC przy wysokich obciążeniach prądowych, ze względu na osadzanie się metalicznego sodu powierzchni anody (*ang. plating*). Dlatego też w niniejszej rozprawie doktorskiej zaproponowano dostosowanie parametrów syntezy materiału anodowego □ dużej pojemności i zoptymalizowanie potencjału insercji sodu, tak aby materiał ten mógł być z powodzeniem zastosowany w NIC. Niemniej jednak wykonanie NIC wymaga najpierw dodatkowego procesu insercji/interkalacji sodu w materiale anodowym, a następnie zastosowanie tak przygotowanej anody do budowy NIC; innymi słowy, konieczne jest zbudowanie dwóch oddzielnych ogniw, co sprawią że proces wytworzenia NIC jest skomplikowany i kosztowny. W związku z tym, że materiały zawierające źródło jonów metalu (*ang. sacrificial materials*) zostały już zaproponowane w literaturze w celu rozwiązania problemów związanych z tworzeniem się S.E.I. w NIBs, w niniejszej pracy materiały te zastosowano w celu uproszczenia konstrukcji NIC, a mianowicie są one dodawane do dodatniej elektrody EDL i stosowane w celu insercji sodu do elektrody ujemnej, co prowadzi do wytworzenia NIC, który może być następnie cyklowany. Ponieważ insercja i insercja sodu w stopach skutkuje znacznymi zmianami objętości, które są przyczyną uszkodzeń mechanicznych, w niniejszej rozprawie doktorskiej zaproponowano maksymalizację energii i żywotności NIC poprzez i) zmieszanie stopu z hydrotermalnym węglem twardym w postaci kulistych cząstek, które częściowo adsorbują zmiany objętości podczas cyklowania ogniwa oraz ii) dostosowanie wskaźnika pojemności między elektrodą dodatnią i ujemną.

Pierwszy rozdział rozprawy stanowi przegląd literatury, w którym przedstawiono EDLCs, NIBs i NICs oraz omówiono podstawowe zasady magazynowania energii wraz z najczęściej stosowanymi materiałami elektrodowymi i elektrolitami. W ostatniej części tego rozdziału przedstawiono dwie główne technologie wprowadzenia metalu w elektrodę ujemną (*ang. premetalation*), w tym przy użyciu metalicznej elektrody pomocniczej w kondensatorach metalowo-jonowych oraz poprzez wprowadzenie soli będącej źródłem jonów metalu jako dodatkowego komponentu w elektrodzie dodatniej.

Rozdział II koncentruje się na zaaplikowaniu Sn4P3 jako obiecującego materiału anodowego dla NIC, co zostało zaproponowane po raz pierwszy w literaturze. Zoptymalizowane warunki syntezy metodą mielenia kulowego, tj. skrócenie czasu mieszania do 4 h oraz dostosowanie stosunku masy kul do proszku do 24, pozwoliły na uzyskanie przez elektrodę ujemną Sn4P3 najniższej pojemności nieodwracalnej (83 mAh g⁻¹ przy potencjale insercji sodu równym 0,1 V względem Na/Na⁺) jaka do tej pory była przedstawiana w literaturze dotyczącej systemów sodowo-jonowych. Wykazano, że jeśli potencjał insercji sodu jest równy lub wyższy niż 0,1 V względem Na/Na⁺, odwracalna pojemność