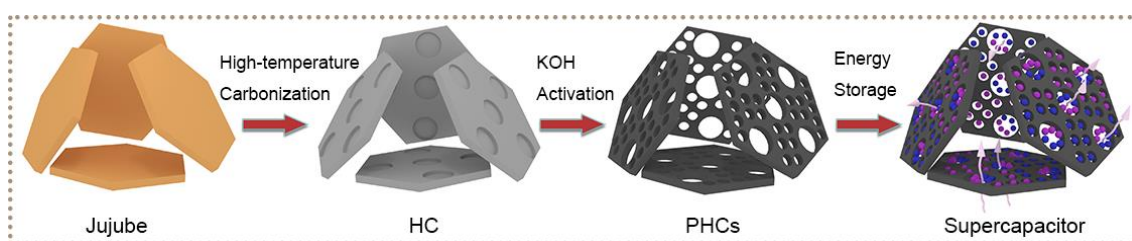


Streszczenie pracy doktorskiej mgra Xiaoguang Liu pt.: „Biomasa jako źródło porowatych materiałów węglowych do elektrochemicznego magazynowania energii”

Promotor pracy: dr hab. Xuecheng Chen, prof. ZUT

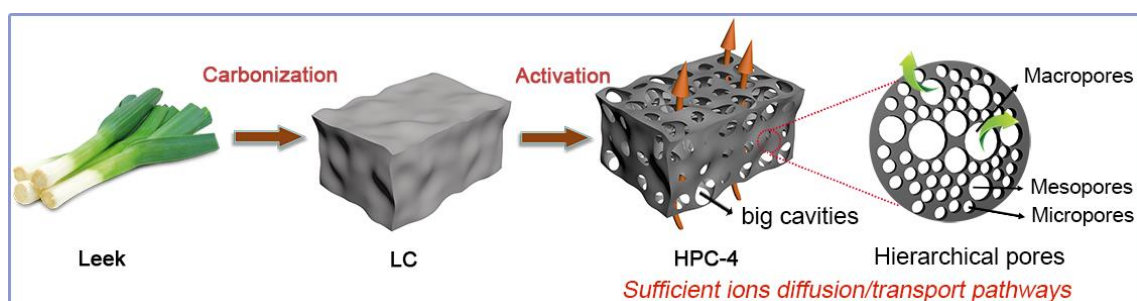
Jako istotne urządzenia do magazynowania energii, superkondensatory węglowe znajdują zastosowanie w zasilaczach bezprzerwowych, pojazdach hybrydowych i samym magazynowaniu energii, ze względu na ich ponadprzeciętną gęstość mocy, zdolność do szybkiego gromadzenia i oddawania ładunku oraz bardzo długą żywotność. Materiał elektrodowy stosowany w superkondensatorach oparty na bazie węgla to głównie porowate węgle, ze względu na ich niski koszt produkcji, wysoką przewodność elektryczną i stabilność elektrochemiczną. Jednak dostępne komercyjnie porowate węgle, zwykle węgle aktywowane, wykazują niższą wydajność elektrochemiczną przy małej pojemności magazynowania ładunku i słabej szybkości ładowania przy różnych gęstościach prądu elektrycznego. Wydajność elektrochemiczna superkondensatorów determinowana jest przez właściwości fizykochemiczne porowatych węgli, w tym morfologię, gęstość cząstek, powierzchnię właściwą (SSA) dostępną dla jonów, konstrukcję porów i powierzchniowe grupy funkcyjne. Tworząc nowe porowate węgle o zoptymalizowanej fizykochemicznej właściwości, istotne jest, aby spełnić wymagania superkondensatorów nowej generacji. W niniejszej pracy otrzymano różne porowate węgle pochodzące z różnych prekursorów węgla (biomasa, małowczątkowe związki organiczne i polimery) oraz określono ich właściwości fizykochemiczne/właściwości elektrochemiczne. Graficzne streszczenia procesów otrzymywania i krótki opis każdego porowatego węgla zostały przedstawione poniżej:



Streszczenie graficzne 1). Proces przygotowania wytrzymałych trójwymiarowych, porowatych węgli wysokotemperaturowych (PHC) z głożyny (jujube) i ich zastosowanie w superkondensatorach. Kolorowe sfery wizualizują jony elektrolitu, a strzałki drogę ich transportu.

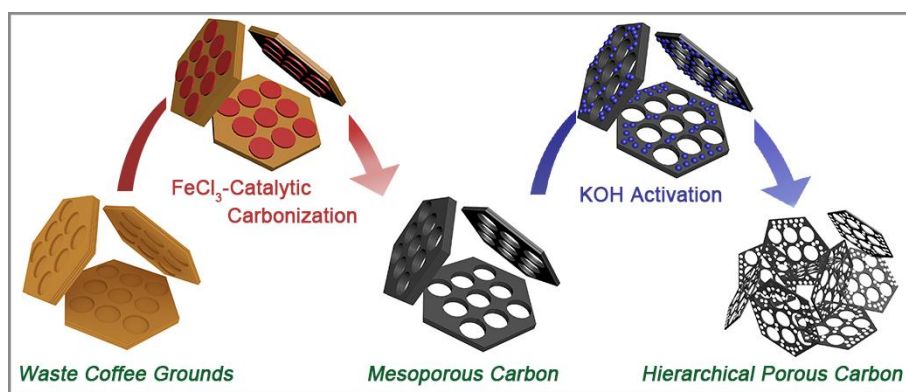
1) Wykorzystując głożynę jako prekursor węgla, przeprowadzono karbonizację w wysokiej temperaturze (800°C), a następnie aktywację za pomocą KOH, aby otrzymać

wytrzymałe trójwymiarowe porowate węgle wysokotemperaturowe (PHC). Uzyskane PHC posiadały dużą gęstość cząstek ($1,06 \text{ g cm}^{-3}$), liczne mikropory i niewielką ilość mezo-/makroporów. Szczegółowo zbadano wpływ różnych temperatur karbonizacji na gęstość cząstek aktywowanych materiałów. W układzie dwuelektrodowym, elektroda oparta na PHC wykazała niezwykle wysoką wydajność ładowania przy różnych gęstościach prądu elektrycznego (75% retencji pojemności przy 20 A g^{-1}) i znakomitą żywotność cykliczną w wodnym elektrolicie $1\text{M H}_2\text{SO}_4$. Symetryczny superkondensator oparty na PHC wykazał wysoką objętościową gęstość energii 13 Wh L^{-1} przy objętościowej gęstości mocy 477 W L^{-1} w $1\text{M Li}_2\text{SO}_4$. Niniejsze badania mogą posłużyć do opracowania najlepszej metody do syntezy porowatego węgla do zastosowania w superkondensatorach o dużej gęstości cząstek i o wysokiej wydajności objętościowej.



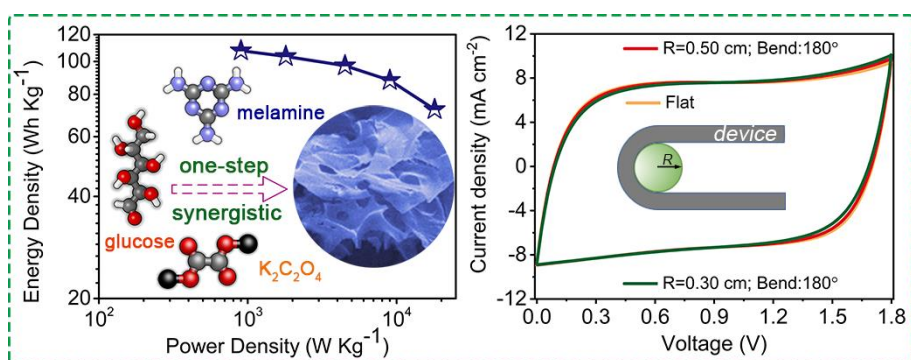
Streszczenie graficzne 2). Synteza węgla o hierarchicznej strukturze porów otrzymywanych z pora.

2) Hierarchicznie porowate węgle (HPC) pochodzące z pora, otrzymano poprzez niskotemperaturową karbonizację i aktywację KOH. HPC wykazują trójwymiarową (3D) wysoce porowatą strukturę z dużymi szczelinami, wysokim SSA ($2512 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) i zdefiniowanymi hierarchicznymi porami. W układzie trójelektrodowym, elektroda oparta na HPC wykazała wysoką pojemność 349 F g^{-1} przy $0,5 \text{ A g}^{-1}$ w elektrolicie 6 M KOH . Zmontowany symetryczny superkondensator wykazał pojemność 191 F g^{-1} przy $0,5 \text{ A g}^{-1}$ z doskonałą wydajnością (77% retencji pojemności przy 10 A g^{-1}) w elektrolicie tetrafluoroboranie 1-etylo-3-metyloimidazolu (EMIMBF_4) w postaci cieczy jonowej. Otrzymany materiał wykazuje znacznie lepsze właściwości niż porowate węgle otrzymywane z biomasy. W powyższych badaniach opracowano prostą metodę syntezy porowatego węgla do wysokowydajnych superkondensatorów.



Streszczenie graficzne 3). Graficzna koncepcja syntezy hierarchicznie porowatego węgla z fusów kawowych.

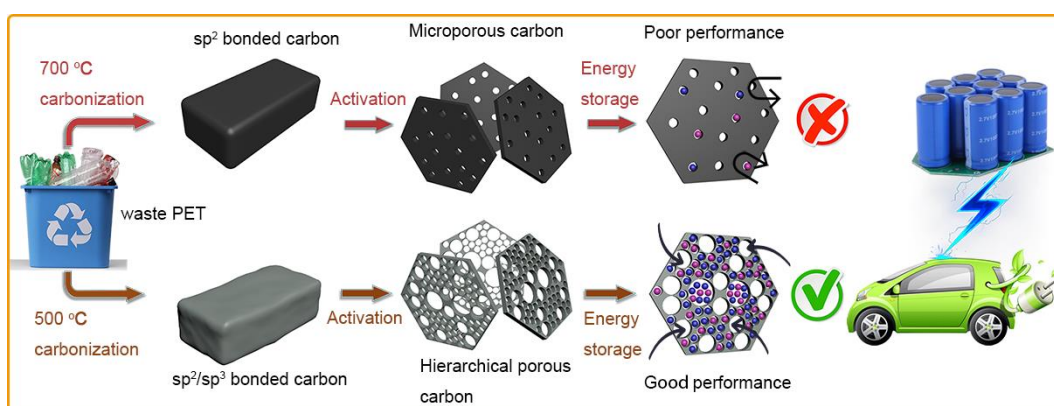
3) Hierarchiczne porowate węgle (HPC) zostały otrzymane przez katalityczną karbonizację połączoną z aktywacją związkami alkaicznymi. Węgiel o dobrze zdefiniowanych mezoporoach otrzymany został w wyniku katalitycznej karbonizacji fusów kawy (CG). Następnie został aktywowany związkami alkaicznymi w celu wytworzenia HPC o wysokiej SSA ($3549 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) i dużej objętości mezo-/makroporów ($1,64 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$). Elektroda oparta na HPC wykazała maksymalną pojemność 440 F g^{-1} w układzie trójelektrodowym z elektrolitem 6M KOH . W systemie dwuelektrodowym elektroda oparta na HPC wykazała pojemność 319 F g^{-1} przy $0,5 \text{ A g}^{-1}$. Symetryczny superkondensator wykazywał gęstość energii 101 Wh kg^{-1} przy gęstości mocy 900 W kg^{-1} w EMIMBF_4 . Prezentowane badania wskazały znakomitą strategię przygotowania porowatego węgla do pojemnościowego magazynowania energii.



Streszczenie graficzne 4). Synteza dwuwymiarowego, porowatego węgla wzbogaconego azotem, otrzymanego z glukozy i jego właściwości elektrochemiczne.

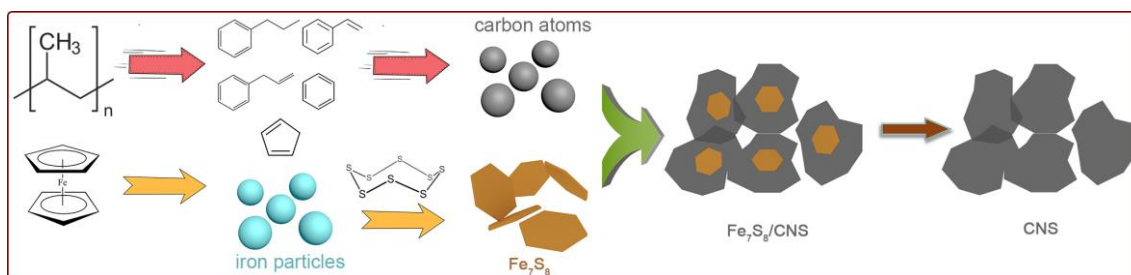
4) Otrzymane z glukozy dwuwymiarowe, hierarchicznie porowate nanopłatki węglowe wzbogacone azotem (2D-NPC) zsyntetyzowano w jednoetapowym procesie pirolizy-aktywacji. Melamina/szczawian potasu zastosowano w celu uzyskania synergistycznego efektu wydmuchiwan / aktywacji, nadając otrzymanemu 2D-NPC dwuwymiarową (2D)

morfolożię, wysoką SSA, dobrze zdefiniowane hierarchiczne pory i dużą zawartość N (6,1%). Elektroda oparta na 2D-NPC wykazała maksymalną pojemność właściwą 523 F g⁻¹ w elektrolicie 6M KOH w układzie trójelektrodowym. Symetryczny superkondensator wykazywał wysoką gęstość energii 108 Wh kg⁻¹ przy 900 W kg⁻¹ w ciekłym elektrolicie jonowym EMIMBF₄. Wytworzony elastyczny superkondensator wykazywał gęstość energii powierzchniowej 83 μWh cm⁻² w elektrolicie żelowym PVA/LiCl. Niniejsze badania przyczyniły się do opracowania doskonałej metody otrzymywania materiałów węglowych do wysokowydajnych superkondensatorów o znakomitych właściwościach fizykochemicznych.



Streszczenie graficzne 5). Przygotowanie mikroporowatego węgla/hierarchicznie porowatego węgla z odpadowego politereftalanu etylenu (PET). Czarne strzałki ilustrują różne kanały przenoszenia jonów elektrolitu (czerwone / niebieskie kulki) w węglach.

5) Węgiel hierarchicznie porowaty (HPC) i węgiel mikroporowaty otrzymano z odpadowego PET poprzez modyfikację temperatur karbonizacji. HPC wykazał wysoką SSA 2238 m² g⁻¹ i dużą ilość mezo-/makroporów. Mikroporowaty węgiel składał się głównie z mikroporów. Zbadano mechanizm powstawania HPC, który wykazał, że efekt współtrawienia węgla zhybrydowanego sp² i węgla zhybrydowanego sp³ był przyczyną powstawania ,odpowiednio mikropory oraz mezo- / makroporów. W układzie trójelektrodowym elektroda oparta na HPC wykazywała wysoką pojemność 413 F g⁻¹ przy 0,5 A g⁻¹, podczas gdy mikroporowaty węgiel wykazywał zdecydowanie niższą pojemność (142 F g⁻¹). W systemie dwuelektrodowym HPC wykazał maksymalną pojemność 301 F g⁻¹. Symetryczny superkondensator dostarczył gęstość energii aż 25 Wh kg⁻¹ przy gęstości mocy 450 W kg⁻¹ w 1M elektrolicie Li₂SO₄. W pracy zaprezentowano sposób otrzymywania hierarchicznie porowatego węgla z odpadowych tworzyw sztucznych.



Streszczenie graficzne 6). Schemat procesu powstawania nanopłatków węglowych (CNS) z odpadowego PP.

6) W celu przekształcenia odpadowego polipropylenu (PP) w dwuwymiarowe nanopłatki węglowe zastosowano połączony katalizator składający się z ferrocenu i siarki. Wysoce wydajny proces karbonizacji w szczelnej przestrzeni zapewnił bardzo wysoką wydajność (62,8 %) i niewielką grubość (4-4,5 nm) nanopłatków węglowych (CNS), pomimo zastosowania niewielkiej ilości katalizatora. Po aktywacji nanopłatki węgla aktywnego (ACNS) wykazały dobrze określoną hierarchiczną strukturę porowatą o dużej powierzchni właściwej ($3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) i dużej objętości porów ($3,71 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$). Elektroda oparta na ACNS wykazała wysoką pojemność właściwą 349 F g^{-1} przy $0,5 \text{ A g}^{-1}$ z doskonałą wydajnością cykliczną (99% retencji pojemności w ciągu 10000 cykli przy 5 A g^{-1}). Wytworzony symetryczny superkondensator wykazywał wysoką gęstość energii 23 Wh kg^{-1} przy 225 W kg^{-1} w 1M elektrolicie Li_2SO_4 . Badania dostarczyły skuteczną metodę do wydajnej katalitycznej konwersji odpadów tworzyw sztucznych w materiał elektrodowy o wysokiej wydajności.

Słowa kluczowe: węgle porowate; biomasa; małowcząsteczkowe związki organiczne; odpadowe polimery; karbonizacja; aktywacja; katalizator; karbonizacja katalityczna; pojemnościowe magazynowanie energii

07.10.2020 Xiaoguang Liu