นิวัฒน์ เหมหา : การทำขั้วตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวดจากวัสดุคาร์บอนนาโนคอมโพสิตโดยวิธีการพิมพ์สามมิติแบบนิวแมติก (FABRICATION OF CARBON-BASED NANOCOMPOSITE SUPERCAPACITOR ELECTRODES BY PNEUMATIC DISPENSING 3D PRINTING) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ นวลสิงห์, 161 หน้า

คำสำคัญ: การกักเก็บพลังงาน/ขั้วตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวด/การพิมพ์สามมิติ/การฉีดวัสดุโดยตรง/นาโนคอมโพสิต

ในปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากขึ้น เนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลและประชากรของโลกที่เพิ่มจำนวนขึ้น ส่งผลให้แหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ลดลงตามไปด้วย อีกทั้งแหล่งพลังงานจากฟอสซิลเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว แหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม จึงได้รับความสนใจมากขึ้น อย่างไรก็ตามพลังงานสะอาดเหล่านี้สามารถผลิตได้แค่บางช่วงเวลา ดังนั้นการกักเก็บพลังงานจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ ซึ่งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวดนั้นสามารถตอบโจทย์ความต้องการนี้ได้ เนื่องจากสมบัติการอัดและคายประจุที่รวดเร็ว แต่การผลิตตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวดให้มีประสิทธิภาพสูงยังมีข้อจำกัด เช่น ความหนาแน่นพลังงานที่ยังต่ำเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงเริ่มมีการพัฒนาขั้วตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวดให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นโดยการขึ้นรูปขั้วแบบสามมิติ เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของขั้วแบบเดิมที่มีลักษณะเป็นฟิล์มแบบสองมิติ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการพิมพ์สามมิติแบบนิวแมติกด้วยเทคนิคการฉีดวัสดุโดยตรง (direct ink writing, DIW) เพื่อใช้ในการขึ้นรูปขั้วตัวเก็บประจุแบบสามมิติ หมึกพิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตขึ้นโดยผสมวัสดุคาร์บอนนาโนคอมโพสิต เช่น รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (reduced graphene oxide, rGO) เข้ากับวัสดุประสานในกลุ่มเซลลูโลส (cellulose) จากการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่พิมพ์ได้มีขนาดและรูปทรงตามที่ออกแบบไว้ แต่เมื่อชิ้นงานแห้งตัวแล้วจะมีขนาดลดลงประมาณ 25% ดังนั้นการออกแบบชิ้นงานจะต้องคำนึงถึงค่าการหดตัวนี้ด้วย ทั้งนี้ยังได้ทดลองพิมพ์ชิ้นงานให้มีความหนาแตกต่างกันเพื่อศึกษาปัจจัยความหนาของขั้วไฟฟ้ากับค่าเก็บประจุจำเพาะเชิงผิว (areal capacitance) ทั้งนี้ขั้วไฟฟ้ายังผ่านกระบวนการชุบด้วยพอลิอะนิลีน (polyaniline, PANI) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้า เพื่อช่วยให้ขั้วไฟฟ้ามีสมบัติการเป็นวัสดุตัวเก็บประจุแฝง (pseudocapacitive material) วัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) และกล้องจุลทรรศ์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) นอกจากนี้ ตัวอย่างงานที่เตรียมขึ้นมาได้ถูกนำไปศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมีไฟฟ้า

โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (cyclic voltammetry, CV) การอัดและคายประจุด้วยกระแสคงที่ (galvano charge/discharge, GCD) และเทคนิคอิเล็กโทรเคมิคัลอิมพีแดนซ์สเปกโทรสโกปี (electrochemical impedance spectroscopy, EIS)

จากการทดลองพบว่าพอลิอะนิลินที่สังเคราะห์ขึ้นมีรูปร่างเป็นโครงข่ายเส้นใยนาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 46.66 ± 5.50 นาโนเมตร และผลวิเคราะห์จากเทคนิค XRD สามารถระบุโครงสร้างผลึกของความเป็นพอลิอะนิลิน นอกจากนี้ สมบัติเคมีเชิงไฟฟ้าของขั้วที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ผ่านการศึกษาโดยทดสอบในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ โดยใช้ระบบสามขั้วไฟฟ้าพบว่า ปัจจัยการเพิ่มความหนาของขั้วไฟฟ้าสามมิติที่ยังไม่ชุบพอลิอะนิลินมีผลโดยตรงต่อค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเชิงผิว โดยหากขั้วไฟฟ้ามีความหนามากขึ้นจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า แต่ในการทดลองที่ขั้วไฟฟ้าผ่านการชุบพอลิอะนิลินพบว่า ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเชิงผิวมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนครั้งของการชุบ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการมีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างผิวของขั้วไฟฟ้าที่เป็นวัสดุคาร์บอนกับชั้นแรกของพอลิอะนิลิน ส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงความต้านทานที่เพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเชิงผิวลดลง โดยค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเชิงผิวที่วัดได้สูงสุดในงานวิจัยนี้เท่ากับ 84.32 mF/cm^2 ที่ความหนาแน่นของกระแส 1 mA/cm^2 และมีความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) เท่ากับ 19.79 $\mu Wh/cm^2$ และความหนาแน่นของกำลัง (power density) เท่ากับ 672.81 $\mu W/cm^2$ ซึ่งถือว่ามีค่ามากกว่าขั้วไฟฟ้าแบบสองมิติ และใกล้เคียงกับแบบสามมิติของกลุ่มวิจัยอื่น

จากผลการวิจัยนี้ทำให้ค้นพบและเกิดองค์ความรู้ว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวดสามมิตินั้น มีผลโดยตรงกับค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเชิงผิว แต่หากมีการชุบด้วยพอลิอะนิลินจะส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเชิงผิวลดลง เนื่องจากมีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างชั้นรอยต่อของวัสดุคาร์บอนและชั้นพอลิอะนิลิน ซึ่งการค้นพบนี้ทำให้ได้แนวทางในการพัฒนางานวิจัยในลำดับถัดไป นอกจากนี้เครื่องพิมพ์สามมิติแบบนิวเมติกที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นยังสามารถประยุกต์ใช้กับการพิมพ์สามมิติในวัสดุกลุ่มอื่นได้ เช่น วัสดุชีวภาพ (3D Bioprinting) อาหาร (Food 3D printing) และวัสดุเซรามิค (Ceramic 3D printing) ซึ่งจะทำให้สามารถขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

NIWAT HEMHA: FABRICATION OF CARBON-BASED NANOCOMPOSITE SUPERCAPACITOR ELECTRODES BY PNEUMATIC DISPENSING 3D PRINTING
THESIS ADVISOR : WIWAT NUANSING, Ph.D. 161 PP.

Keyword: energy storage/supercapacitor electrode/3D printing/direct ink writing/ nanocomposite

Currently, there is an increasing demand for energy due to the advancements in digital technologies. Additionally, the global population continues to grow each year, leading to the depletion of finite energy sources such as coal, oil, and natural gas. Moreover, these fossil energy sources are the dominant cause of global warming. As a result, clean energy sources have garnered more attention as a solution to these challenges. However, clean energy sources such as solar and wind power are only available during specific periods, such as daylight for solar energy. Therefore, energy storage has become crucial to prevent energy wastage and enable availability at different times. Supercapacitors have emerged as a promising solution for energy storage. Unlike batteries that store energy chemically, supercapacitors store energy electrostatically, allowing for rapid charging and discharging, making them ideal for high-power applications. Therefore, developing the supercapacitor with a more intricate and highly porous structure, resulting in an increased surface area, is an approach that helps enhance the efficiency of the energy storage device.

In this research, a 3D printing system utilizing the direct ink writing (DIW) technique was developed to fabricate 3D supercapacitor electrodes. The ink was prepared by mixing of carbon-based material such as reduced graphene oxide (rGO) and cellulose-based materials under appropriate conditions. Printing results show that the 3D printed electrodes underwent a 25% shrinkage. Consequently, the design of the objects incorporated considerations for the shrinkage factor. The fabricated samples were characterized using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) to examine physical properties. In addition, their electrochemical properties were evaluated

through cyclic voltammetry (CV), galvanostatic charge-discharge (GCD), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS).

The results revealed that the synthesized polyaniline-coated on rGO had fibrous nanostructure with an average diameter of 46.66 ± 5.50 nm. The XRD measurement confirmed the crystalline structure of polyaniline. The electrochemical characterization of the printed electrodes in a potassium hydroxide (KOH) electrolyte with a concentration of 3 M, using a 3 electrodes system, demonstrated that the increasing thickness of the 3D electrodes without polyaniline coating directly influenced the specific areal capacitance. This increase was attributed to the expanded surface area of the electrodes. However, the polyaniline-coated electrodes exhibited a decrease in specific areal capacitance with an increasing number of coating layers. This phenomenon was attributed to the formation of gaps between the electrode surface and polyaniline in the initial coating layers, resulting in increased resistance and reduced the specific areal capacitance. The maximum specific areal capacitance measured in this study was 84.32 mF/cm^2 at a current density of 1 mA/cm^2, with an energy density of 19.79 $\mu Wh/cm^2$ and a power density of 672.81 $\mu W/cm^2$, which are found to be higher than that of 2D electrodes and comparable to the 3D electrodes reported by other research groups.

The study indicated that increasing the surface area of the 3D electrode directly impacted the specific areal capacitance. Although the polyaniline coating led to a decrease in specific areal capacitance, this study provided valuable insights into the causes and would serve as a topic for further research. Moreover, the pneumatic 3D printer developed in this study holds potential for broader applications in various research areas, including 3D bioprinting, food 3D printing, and ceramic 3D printing, thereby expanding its versatility and potential impact.

School of Physics
Academic Year 2022

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____