



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเติมโลหะในเลเยอร์ไอรอนแวนเนเดท: การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์

Metal-doped layered iron vanadate: Synthesis and characterization

ชื่อนิสิต นายนนทวัชร์ กิมาอะหา เลขประจำตัว 6033047723

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเติมโลหะในเลเยอร์ไอออนแวนเดท: การสังเคราะห์ และการพิสูจน์
เอกลักษณ์

Metal-doped layered iron vanadate: Synthesis and
characterization

โดย

นายนนทวัชร์ กิมาวะหา

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

โครงการ การเติมโลหะในเลเซอร์ไอออนเวเนเดท: การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์

โดย นาย นนทวัชร กิมาวะหา

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|-------------------------------------------|------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร. สุรัชย์ พรภคกุล | ประธานกรรมการ |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ กักผล | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิปกา สุขภิรมย์ | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ได้รับการเห็นชอบโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

Nipaka S.

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิปกา สุขภิรมย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ โฮเว่น)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 25 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

ชื่อโครงการ การเติมโลหะในलेयอร์ไอรอนเวเนเดท: การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์

ชื่อนิสิตในโครงการ นายนนทวัชร์ กิมาวะหา เลขประจำตัว 6033047723

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิปกา สุขภิรมย์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันวัสดุ Pseudocapacitive เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มที่จะสามารถพัฒนาการจัดเก็บประจุให้มีประสิทธิภาพสูงได้ ทั้งด้านการจัดเก็บพลังงานและความจำเพาะ ซึ่งสามารถเห็นได้จากวัสดุแอโนด pseudocapacitive บางชนิดที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าไอรอนวานาเดทเป็นสิ่งที่อยู่ในธรรมชาติมากที่สุด (เทียบกับAg, Cu, Ca) และมีอยู่มากมาย เช่น Fervanite ($\text{Fe}_4\text{V}_4\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Navajosite ($\text{FeV}_9\text{O}_{24} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), Kazakhstanite ($\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น $\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ความหนาของชั้นเพียง 10 nm ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการจัดเก็บ Li^+ [4] และพบว่าไอรอนวานาเดทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อผ่านการเติมโลหะ [2]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์เลเยอร์ไอรอนวานาเดทที่มีการเติมโลหะแมงกานีส สังกะสี และอะลูมิเนียมด้วยวิธี wet-chemical ตกตะกอนร่วม ที่ซึ่งทำได้ง่ายและได้ผลผลิตสูง โดยปรับสัดส่วนในการเติมโลหะเป็น 2, 5 และ 7% โดยโมลของเลเยอร์ไอรอนวานาเดท จากการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) พบว่าโครงสร้างของเลเยอร์ไอรอนวานาเดทยังไม่ถูกทำลายแม้จะมีการเติมโลหะในปริมาณสูงถึง 7% แต่ความเป็นผลึกลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมโลหะ

Project Title Metal-doped layered iron vanadate: Synthesis and characterization

Student Name Mr Nontawat Kimawaha Student ID 6033047723

Advisor Name Assistant Professor Dr. Nipaka Sukpirom

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

Abstract

Current material Pseudocapacitive is a material that tends to be able to develop highly efficient capacitors. Both in terms of energy storage and specificity, this can be seen from the anode material. pseudocapacitive Some of the types that showed good performance. It is known that iron vanadate is the most abundant in nature (compared to Ag, Cu, Ca) and there are many such as Fervanite ($\text{Fe}_4\text{V}_4\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Navajoite ($\text{FeV}_9\text{O}_{24} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), Kazakhstanite ($\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), etc. $\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, the layer thickness of only 10 nm, which is very useful for Li^+ storage [4], and layered iron vanadate was found to be a photocatalyst. It is more efficient to pass metal additions [2].

This research was synthesized layered iron vanadates doped with manganese, zinc and aluminum by coprecipitation method. The method is simple and results to high yield. The doping amounts were varied to 2, 5 and 7% by mol of layered iron vanadates. X-ray diffraction (XRD) found that the structure of layered iron vanadates was still intact even at the high doping of 7%, but the crystallinity decreases as the number of doping increases.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ นิปกา สุขภิรมย์ ผู้ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย เพื่อปรับปรุงต่อยอดความรู้ และให้ความช่วยเหลือในช่วงที่ยากลำบาก ขอขอบคุณพี่แลปจากห้องปฏิบัติการชั้น 13 อาคารมหามกุฏ ที่คอยให้การช่วยเหลือ แนะนำหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องมือ XRD ให้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง และขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนในการทดสอบนิสิตก่อนจบการศึกษา ช่วยเพิ่มความรู้, ความสามารถ, ความมั่นใจและประสบการณ์ในการนำไปประยุกต์ใช้กับผู้วิจัยในอนาคต

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง	2
1.5.1 แบตเตอรี่ลิเทียม.....	2
1.5.2 Pseudocapacitive	2
1.5.3 เลขอร์ไอรอนเวเนเดท.....	3
1.5.4 การวิเคราะห์เลขอร์ไอรอนเวเนเดทด้วยเทคนิค XRD.....	5
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 2.....	7
2.1 อุปกรณ์.....	7
2.2 สารเคมี	7
2.3 การเตรียมสารตัวอย่าง	7
2.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างไอรอน (III) ไนเตรดโนนาไฮเดต	7
2.3.2 สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต ความเข้มข้น 0.3 M.....	7

2.3.3 การเตรียมโลหะ 2% โดยโมลของไอรอน(III) ไนเตรตโนนาไฮเดด	8
2.4 การสังเคราะห์เลเยอร์ไอรอนเวเนเดท.....	8
บทที่ 3.....	9
3.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเลเยอร์ไอรอนเวเนเดทที่ผ่านการเติมโลหะ	9
3.1.1 เทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD).....	9
บทที่ 4.....	12
4.1 สรุปผลการทดลอง	12
4.2 ข้อเสนอแนะ	12
บรรณานุกรม	13
ภาคผนวก	15
ประวัติผู้วิจัย	19

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 2: โครงสร้างชั้นอิเล็กโทรด.....	3
ภาพที่ 3: โครงสร้างทรงแปดหน้าบิดเบี้ยวของโมเมกุลไอรอนเวเนเดท	4
ภาพที่ 4: โครงสร้างพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมบิดเบี้ยวของโมเมกุลไอรอนวานาเดท	4
ภาพที่ 5: เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันแพทเทิร์นในช่วงมุมของการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10-60 องศาของ (a) FeVO_4 (b) 2% Mn^{2+} (C) 5% Mn^{2+} (D) 7% Mn^{2+}	10
ภาพที่ 6: เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันแพทเทิร์นในช่วงมุมของการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10-60 องศาของ (a) FeVO_4 (b) 2% Zn^{2+} (C) 5% Zn^{2+} (D) 7% Zn^{2+}	10
ภาพที่ 7: เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันแพทเทิร์นในช่วงมุมของการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10-60 องศาของ (a) FeVO_4 (b) 2% Al^{3+} (C) 5% Al^{3+} (D) 7% Al^{3+}	11

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

लेयอร์ไอรอนวานาเดทเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งถูกใช้เพื่อพัฒนาลิเทียมแบตเตอรี่อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีขนาดของเลเยอร์บางเพียง 10 nm จึงเป็นวัสดุที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ดีเยี่ยม มีการศึกษาอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับคุณสมบัติทางโครงสร้างสัณฐานวิทยา และแม่เหล็กของวัสดุไอรอนวานาเดท ค่าคงที่ของแลตทิซของโครงสร้างไคคลินิก FeVO_4 ซึ่งคำนวณจากเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 35 nm ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา การสันสเทือนแบบยึดกับแบบหุดของ Fe-O [1] และค้นพบว่าการเติมโลหะทรานซิชันลงในเลเยอร์ไอรอนวานาเดทมีผลต่อค่าคงที่แลตทิซ

เมื่อไม่นานมานี้มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการเติมโลหะทรานซิชันลงในเลเยอร์ไอรอนวานาเดท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของไอรอนวานาเดท [2] และยังมีการพัฒนาคุณสมบัติการขนส่งประจุของเลเยอร์ไอรอนวานาเดทโดยการเติมโลหะที่เหมาะสม [3]

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์เลเยอร์ไอรอนวานาเดทที่เจือด้วยโลหะต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้คือ Mn^{2+} , Zn^{2+} และ Al^{3+} หลังจากนั้นนำมาตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อสังเคราะห์เลเยอร์ไอรอนวานาเดทที่เจือด้วยโลหะชนิดต่าง ๆ
2. เพื่อหาขอบเขตของปริมาณโลหะที่สามารถเจือลงในไอรอนวานาเดทโดยไม่ทำลายโครงสร้างดั้งเดิม

1.3 ขอบเขตโครงการ

1. สังเคราะห์เลเยอร์ไอรอนวานาเดทที่เจือด้วยโลหะ 3 ชนิด คือ แมงกานีส สังกะสี และอะลูมิเนียม
2. ปรับปริมาณโลหะที่นำมาเจือในช่วง 2-7%
3. ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เลเยอร์ไอรอนวานาเดท ที่เจือด้วยโลหะแมงกานีส สังกะสี และอะลูมิเนียม ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นสารสำหรับตัวเก็บประจุไฟฟ้า

1.5 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

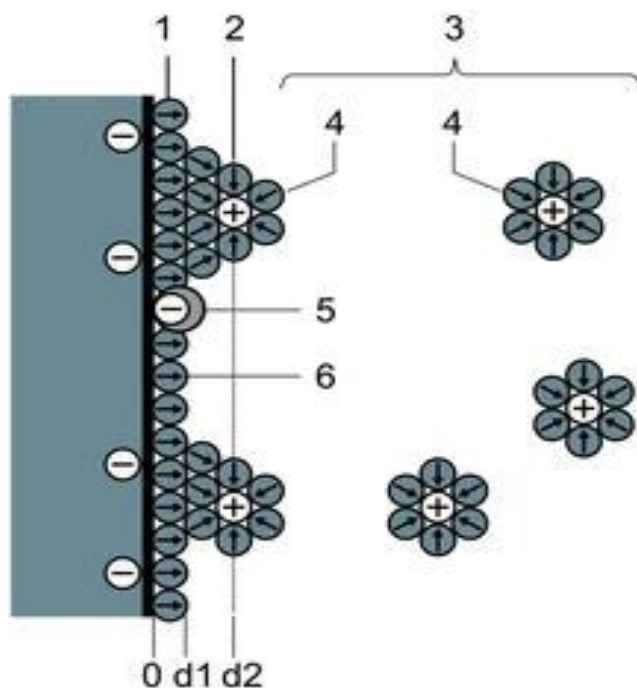
1.5.1 แบตเตอรี่ลิเธียม

แบตเตอรี่ลิเธียมประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ แคโทด, แอโนด, อิเล็กโทรไลต์ และเซปারেเตอร์ ซึ่งกลไกการชาร์จและการคายประจุของแบตเตอรี่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลิเธียมไอออนระหว่างแคโทดและแอโนด เมื่อชาร์จแบตเตอรี่แล้ว ลิเธียมไอออนและอิเล็กตรอนจะเคลื่อนออกจากแคโทด ในทางตรงกันข้าม. เมื่อคายประจุ ลิเธียมไอออนและอิเล็กตรอนจะเคลื่อนออกจากแอโนด ดังนั้นประเภทของแคโทดและแอโนดจึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งกระบวนการแพร่กระจายที่เกิดขึ้นซ้ำๆ นั้น ทำให้ใช้เวลาในการชาร์จนานและจำกัดอัตราความสามารถ

เมื่อเร็ว ๆ นี้แนวคิดเรื่องความสามารถในการแลกเปลี่ยนระหว่างกัน (intercalation pseudocapacitance) แสดงให้เห็นข้อดีที่ว่าไม่เพียงแต่พื้นผิวเท่านั้น แต่ยังมี การนำทั้งวัสดุไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ทำให้มีความหนาแน่นของพลังงานและกำลังงานสูงขึ้น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนระหว่างกัน (intercalation pseudocapacitance) นี้ พบส่วนใหญ่ในวัสดุที่เป็นเลเยอร์ ซึ่งช่วยให้ Li^+ แพร่กระจายระหว่างชั้นอย่างรวดเร็ว และในหลายๆงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าสัณฐานวิทยา (morphology) ขนาดนาโนที่มีระยะการแพร่กระจายที่สั้นลงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางเคมีไฟฟ้า [4]

1.5.2 Pseudocapacitive

Pseudocapacitive หรือ ความจุเทียม คือ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการไอออนประจุอิเล็กตรอนระหว่าง อิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์ ผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้อย่างรวดเร็วโดยมีการไอออนอิเล็กตรอนโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสของโมเลกุลอิเล็กโทรดไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือทำลายพันธะเคมี อะตอมหรือไอออน de-solvated ที่ก่อให้เกิดความจุเทียมเพียงแคยึดติดกับโครงสร้างอะตอมของอิเล็กโทรดและประจุจะกระจายบนพื้นผิวโดยกระบวนการดูดซับ ทางกายภาพ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่กระบวนการ supercapacitor faradaic นั้นเร็วกว่าและเสถียรมากกว่า โดยมีชั้นอิเล็กโทรดดังภาพที่ 1 กำหนดให้หมายเลข 1 คือ Inner Helmholtz, หมายเลข 2 คือ Outer Helmholtz, หมายเลข 3 คือ Diffuse layer, หมายเลข 4 คือไอออนบวก, หมายเลข 5 คือไอออนดูดซับ และหมายเลข 6 คือโมเลกุลของตัวทำละลาย



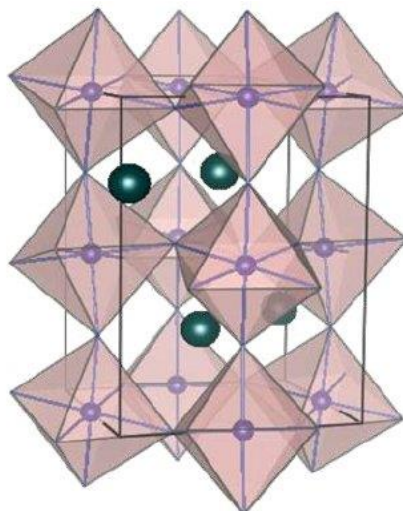
ภาพที่ 1: โครงสร้างชั้นอิเล็กโทรด

1.5.3 เลเยอร์ไอออนเวเนเดท

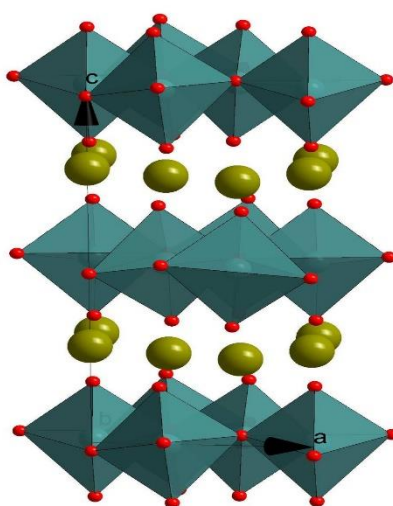
เลเยอร์ไอออนเวเนเดท ($\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ หรือเรียกว่า kazakhstanite) มีขนาดของชั้นบางน้อยกว่า 10 นาโนเมตร ทำให้สามารถเพิ่มพื้นที่จัดเก็บลิเทียมไอออน สามารถสังเคราะห์ด้วยวิธี wet-chemical ที่ทำได้ง่ายและได้ผลผลิตสูง เป็นวัสดุ pseudocapacitive ที่สามารถชาร์จได้อย่างรวดเร็ว มีความหนาแน่นของกำลังงานและพลังงานสูง มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลายพันรอบ [5]

1.5.3.1 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเลเยอร์ไอออนเวเนเดท

โครงสร้างของ เลเยอร์ไอออนเวเนเดทจะประกอบไปด้วยช่องว่างแลตทิซของ Fe^{3+} จะมีความไม่สมมาตรของโครงสร้างผลึกสูงเนื่องจากเป็นช่องว่างที่เกิดจากโครงสร้างทรงแปดหน้าบิดเบี้ยวของโมเมกุล FeO_6 และโครงสร้างพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมบิดเบี้ยวของโมเมกุล FeO_5 โดยช่องว่างนี้แคตไอออนของ V^{3+} จาก $\text{VO}_5 (\text{V}^{5+})$ โครงสร้างทรงสี่หน้า จะเข้ามาอยู่ภายในช่องว่าง ดังภาพที่ 2 ส่วนโครงสร้างพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมบิดเบี้ยว แคตไอออนของ V^{3+} จะเข้ามาในช่องว่างดังภาพที่ 3 [6]



ภาพที่ 2: โครงสร้างทรงแปดหน้าบิดเบี้ยวของโมเมกุลไอรอนเวนเดท



ภาพที่ 3: โครงสร้างพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมบิดเบี้ยวของโมเมกุลไอรอนวานาเดท

1.5.3.2 การสังเคราะห์เลเซอร์ไอรอนเวนเดท

หลายงานวิจัย [20-22] มุ่งเน้นไปที่การสังเคราะห์วานาเดทโดยใช้แนวทางต่างๆตั้งแต่กระบวนการ ceramic แบบดั้งเดิมไปจนถึงกระบวนการของ chimie douce processes ต่อมาทีมงานวิจัยที่ได้ตรวจสอบอิทธิพลของปริมาณน้ำในวานาเดทการแสดงทางเคมีไฟฟ้า จึงได้มีการเตรียมออร์โธวานาเดทที่ตกผลึกและไฮเดรตไอออน ($\text{FeVO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) โดยการตกตะกอนร่วมกัน [23] วิธีนี้นำไปสู่การสังเคราะห์แบบตกผลึกร่วมที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งเลเซอร์ไอรอนเวนเดท ($\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) สามารถสังเคราะห์ได้ง่ายด้วยเทคนิค wet-chemical ที่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง

1.5.4 การวิเคราะห์เลเยอร์ไอรอนเวเนตด้วยเทคนิค XRD

1.5.4.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิค XRD

เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ เป็นเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกจากวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของมุมตกกระทบที่ออกจากสาร ทำให้ทราบโครงสร้างจริงของสารว่ามีการเบี่ยงเบนไปจากวัสดุอุดมคติอย่างไร แต่มีข้อจำกัดคือโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีลักษณะสารเป็นผลึก โดยเมื่อรังสีเอ็กซ์เข้าไปตกกระทบบนสารจะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุดหลุดออกมา ทำให้เกิดช่องว่างของอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนวงนอกเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนอิเล็กตรอนวงใน ซึ่งระหว่างการเปลี่ยนระดับพลังงานจะเกิดการคายรังสีเอ็กซ์ออกมา จำสามารถตรวจวัดโครงสร้างผลึกจากรังสีเอ็กซ์ที่ถูกเบี่ยงเบนได้ [7] ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนจะเป็นไปตามกฎของแบรกก์คือ $2d\sin\theta = n\lambda$

กำหนดให้ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก

n คือ เลขจำนวนเต็ม

θ คือ มุมที่รังสีตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบของผลึก

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

1.5.4.2 การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง

ลักษณะสารตัวอย่างก่อนเข้าเครื่องมือเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ต้องมีลักษณะเป็นผงหรือของแข็งที่เรียบเป็นระนาบเดียวกัน สามารถเตรียมได้โดยผ่านการอัดแรงกระทำที่สม่ำเสมอทุกทิศทางเพื่อผิวหน้าของตัวอย่างมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ ในกรณีที่สารอยู่ในรูปของของแข็งสามารถเตรียมได้ด้วยการทำสารมีลักษณะที่มีพื้นผิวหน้าเรียบเท่ากัน หรือผ่านการทำให้สารในรูปแบบผง โดยไม่ควรให้สารบดละเอียดมากเกินไปหรือใช้แรงอัดสารตัวอย่างมากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการทำลายโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้ [9]

1.5.4.3 ประโยชน์ของเทคนิค XRD

เทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์ (X-RAY) มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ สามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างได้ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์ ขนาดของผลึก ปริมาณความเป็นผลึกได้อีกด้วย [8]

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โลหะทรานซิชันกับวานาเดียมเป็นกลุ่มวัสดุที่มีความทนทานและมีศักยภาพในการใช้งานในสาขาต่าง ๆ จนถึงขณะนี้ โลหะวานาเดียมที่แตกต่างกัน เช่น BiVO_4 , CeVO_4 , LaVO_4 , PrVO_4 , GdVO_4 และ NdVO_4 [9-14] ได้ถูกสังเคราะห์และตรวจสอบลักษณะเฉพาะ สารเหล่านี้ถูกใช้เป็นวัสดุแคโทดในแบตเตอรี่รีลิเทียมไอออน ในบรรดาโลหะวานาเดียม FeVO_4 เป็นวัสดุแคโทดที่มีความเสถียรสูง และมีความจำเพาะสูง ซึ่งพบว่ามีการใช้งานมากมาย FeVO_4 มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ FeVO_4 -I, FeVO_4 -II, FeVO_4 -III และ FeVO_4 -IV ซึ่ง FeVO_4 -I เป็นเฟสที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้องได้ ในขณะที่เฟสอื่น ๆ จะเกิดขึ้นที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง [15]

การสลายตัวด้วยแสงของสีย้อมอินทรีย์ทั่วไป เช่น เมทิลีนบลู (MB) และมาลาโคท์ กรีน (MG) ได้ก่อมลพิษ ซึ่งเป็นข้อเท็จจริงว่าสารเหล่านี้ใช้เป็นสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอและอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งเป็นพิษต่อระบบประสาท และเป็นสารก่อมะเร็ง ต่อมาได้ค้นพบว่าผลของการเติมไอออน Ti^{4+} , Mn^{2+} และ Zn^{2+} มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของไอออนวานาเดียม [2]

FeVO_4 สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี เมื่อไม่นานมานี้ เพื่อที่จะระบุอิทธิพลของเวเนเดตต่อน้ำ ในการศึกษาการนำไฟฟ้าจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้มีการเตรียมผลึกเฉพาะและ hydrated iron orthovanadate ($\text{FeVO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$) ด้วยวิธีการตกตะกอน [16] อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการเตรียม ผลึกนั้นยังมีสารปนเปื้อนอยู่มาก จึงได้ค้นหาวิธีการเตรียมที่ดียิ่งขึ้น ต่อมาพบว่าเลเยอร์ไอออนเวเนเดต ($\text{Fe}_5\text{V}_{15}\text{O}_{39}(\text{OH})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) สามารถสังเคราะห์ได้ง่ายด้วยเทคนิค wet-chemical ซึ่งให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง โดยเลเยอร์ไอออนเวเนเดตแคโทดเป็น pseudocapacitive ด้วยกระบวนการที่ไม่เปลี่ยนเฟส และให้ความจุสูง มีประสิทธิภาพสูง และมีความเสถียรสำหรับการเก็บลิเทียม [17] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการเติมโลหะในปริมาณที่ต่างกันในเลเยอร์ไอออนเวเนเดต เพื่อติดตามว่าเอกลักษณ์จะเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญอย่างไร และหาปริมาณโลหะที่เหมาะสมในการเติม

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. Magnetic Stirred/ Hot Plate
3. เครื่องอบสุญญากาศ (Vacuum filtration)
4. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer/ XRD) รุ่น Rigaku RINT2200
5. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

2.2 สารเคมี

1. ไอรอน(III) ไนเตรดโนนาไฮเดรต/ Iron(III) nitrate nonahydrate หรือ $\text{FeNO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
2. แอมโมเนียมเมตาวานาเดต/ Ammonium meta-vanadate หรือ NH_4VO_3
3. แมงกานีส(II) ไนเตรดเตตราไฮเดรต/ Manganese(II) nitrate tetrahydrate หรือ $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
4. โครเมียม(III) ไนเตรดโนนาไฮเดรต/ Chromium(III) nitrate nonahydrate หรือ $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
5. ซิงค์(II) ไนเตรดเฮกซะไฮเดรต/ Zine(II) nitrate hexahydrate หรือ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
6. อะลูมิเนียม(III) ไนเตรดโนนาไฮเดรต/ Aluminium(III) nitrate nonahydrate หรือ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
7. Deionized water หรือ น้ำ DI

2.3 การเตรียมสารตัวอย่าง

2.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างไอรอน (III) ไนเตรดโนนาไฮเดรต

1. ชั่งไอรอน(III) ไนเตรดโนนาไฮเดรต 4.0400 g ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. แล้วละลายด้วยน้ำ DI ปริมาตร 10 ml ในปิ๊กเกอร์
3. กวนที่อุณหภูมิ 80 °C จนสารตัวอย่างละลายหมด

2.3.2 สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต ความเข้มข้น 0.3 M

1. ชั่ง แอมโมเนียมเมตาวานาเดต 3.5090 g ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. แล้วละลายด้วยน้ำ DI ปริมาตร 100 ml ในปิ๊กเกอร์
3. กวนที่อุณหภูมิ 80 °C จนสารตัวอย่างละลายหมด

2.3.3 การเตรียมโลหะ 2% โดยโมลของไอรอน(III) ไนเตรดโนนาไฮเดด

1. ชั่ง แมงกานีส(II) ไนเตรดเตตระไฮเดรต 0.0502 g ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. ชั่ง ซิงค์(II) ไนเตรดเฮกซะไฮเดรต 0.0595 g ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. ชั่ง อะลูมิเนียม(III) ไนเตรดโนนาไฮเดรต 0.0750 g ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.4 การสังเคราะห์เลเยอร์ไอรอนเวเนเดท

1. นำสารละลายไอรอน(III) ไนเตรดโนนาไฮเดดเทลงในสารละลาย Ammonium vanadate ที่กำลังถูกให้ความร้อน 90 °C
2. เมื่อสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้มจึงเติมโลหะตัวอย่าง แล้วกวนต่อที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำไปล้างผลึกด้วย น้ำ DI 3 ครั้ง และ ethanol 3 ครั้ง โดยแยกตัวทำละลายกับของแข็งด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง
4. อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

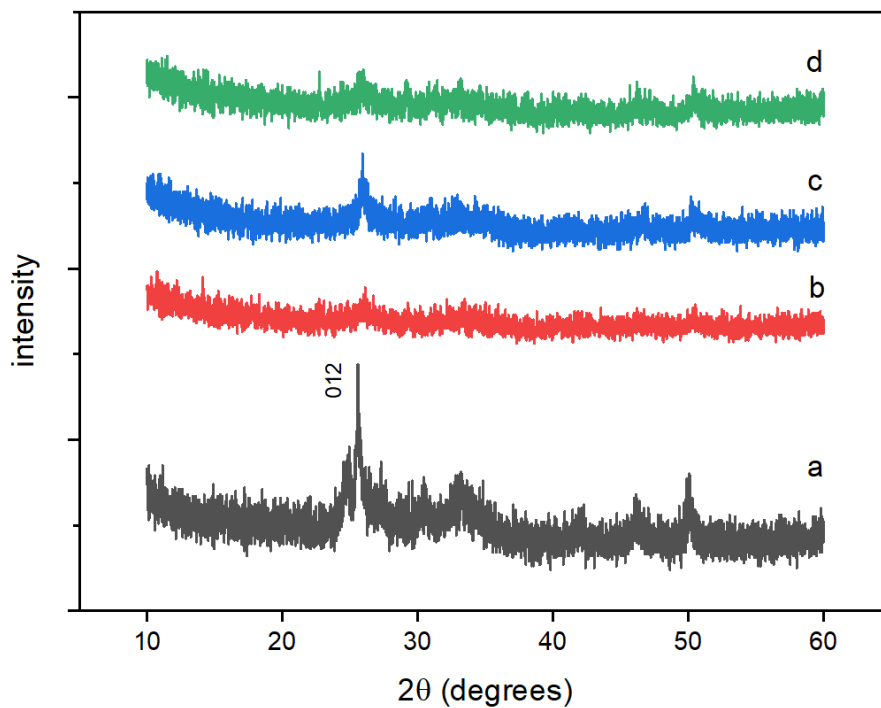
บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

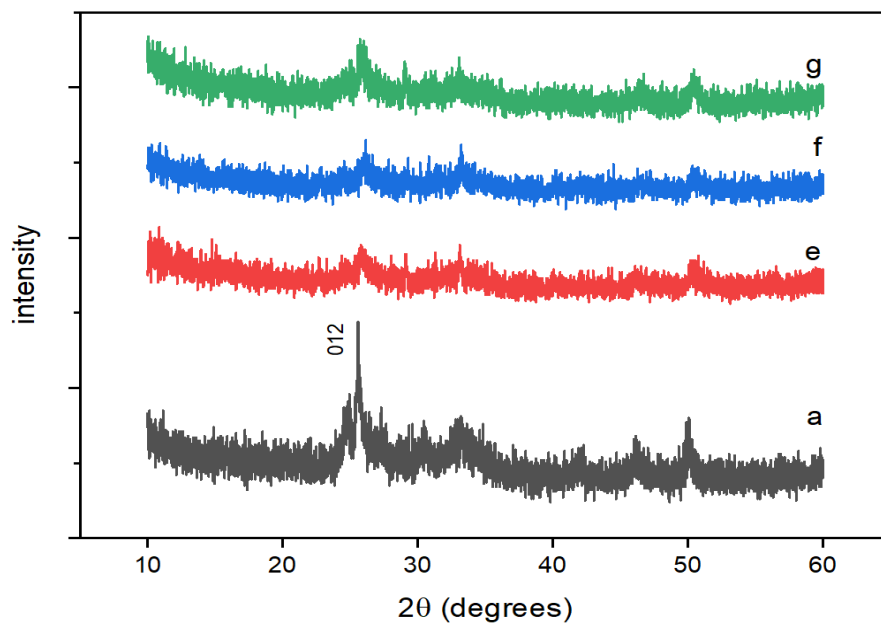
3.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเลเยอร์ไอรอนเวเนเดทที่ผ่านการเติมโลหะ

3.1.1 เทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD)

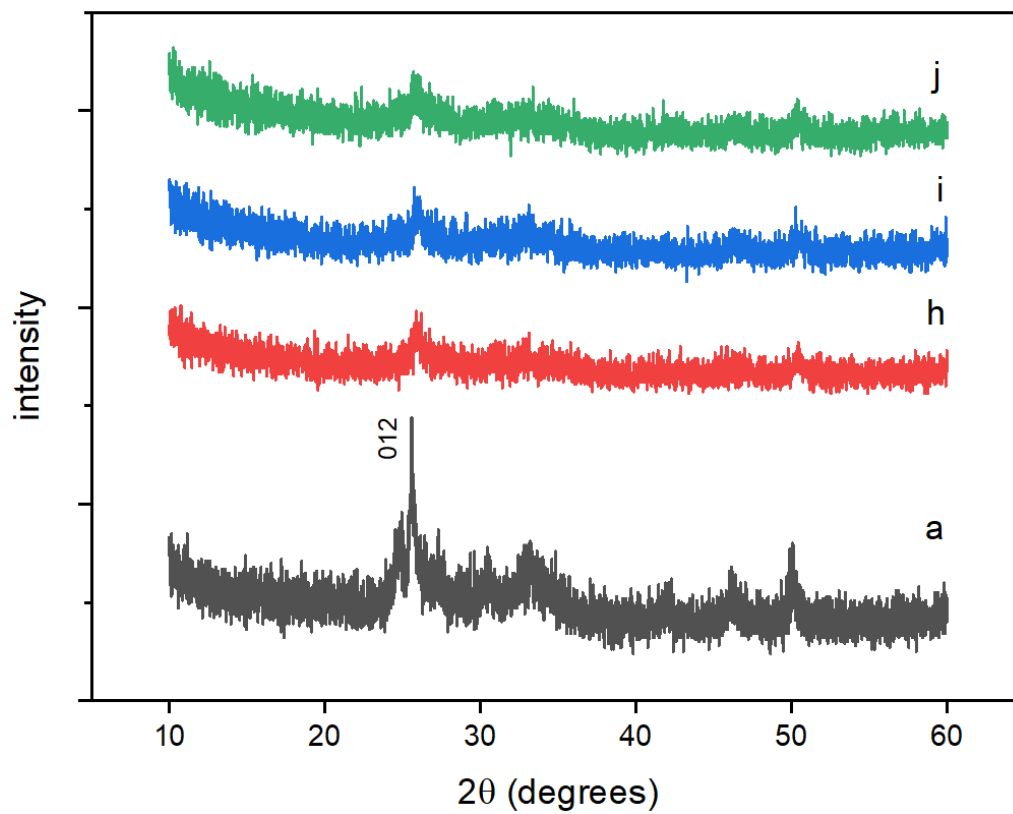
การปรับปรุงคุณภาพของ FeVO_4 ด้วยการเติมโลหะ 2, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ถูกปรับปรุงตามวิธีของ Dutta และคณะ [18] เมื่อพิจารณาเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์นของ FeVO_4 , $\text{FeVO}_4\text{-Mn}$, $\text{FeVO}_4\text{-Zn}$ และ $\text{FeVO}_4\text{-Al}$ ในช่วงมุมการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10.0-60.0 องศา พบว่าเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์นของ $\text{FeVO}_4\text{-Mn}$ (รูปที่ 5 (b, c, d)), $\text{FeVO}_4\text{-Zn}$ (รูปที่ 6 (e, f, g)) และ $\text{FeVO}_4\text{-Al}$ (รูปที่ 7 (h, i, j)) มีความคล้ายกับเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์นของ FeVO_4 (รูปที่ 5-7 (a)) หมายความว่า การปรับปรุงคุณภาพของ FeVO_4 ด้วยการเติมโลหะ 2, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ไม่ได้ทำให้โครงสร้างของ FeVO_4 ถูกทำลาย แต่จะเห็นว่าเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์นของ $\text{FeVO}_4\text{-Mn}$, $\text{FeVO}_4\text{-Zn}$ และ $\text{FeVO}_4\text{-Al}$ มีค่าสัญญาณที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเติม (2, 5, 7 %) ซึ่งคาดว่าโลหะ Mn^{2+} , Zn^{2+} และ Al^{3+} จะเข้าไปอยู่ในโพรงของ FeVO_4 จึงทำให้ความเป็นผลึกน้อยลง โดยที่ FeVO_4 จะให้ดิฟแฟรกชันพีคที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.57 $\text{FeVO}_4\text{-Mn}$ 2, 5 และ 7% จะให้ดิฟแฟรกชันพีคที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.97, 25.95 และ 25.98 ตามลำดับ $\text{FeVO}_4\text{-Zn}$ 2, 5 และ 7% จะให้ดิฟแฟรกชันพีคที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.78, 26.16 และ 26.00 ตามลำดับ และ $\text{FeVO}_4\text{-Al}$ 2, 5 และ 7% จะให้ดิฟแฟรกชันพีคที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.84, 25.93 และ 25.92 ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างผลึกของ FeVO_4 มีความสมมาตรต่ำและมีตำแหน่งของ Fe^{3+} ที่แตกต่างกันสามแห่งในแลคทิส [10] โดยมี FeO_6 ทรงแปดเหลี่ยมบิดเบี้ยวสองโครงสร้างและมี FeO_5 พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมบิดเบี้ยวอีกหนึ่งโครงสร้าง ในขณะที่ V ใน VO_4 โครงสร้างทรงสี่หน้า [19] จะเข้าไปแทนที่ไอออน Fe^{3+} ในช่องแลคทิส และเนื่องจากรัศมีไอออนของ Mn^{2+} (83 pm) และ Zn^{2+} (73 pm) มีขนาดใหญ่กว่า Fe^{3+} (65 pm) เล็กน้อย พีคของเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันจะเปลี่ยนไปเป็นมุมที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่า Al^{3+} จะมีรัศมีน้อยกว่า (53 pm) Fe^{3+} แต่พีคของเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันจะเปลี่ยนไปเป็นมุมที่มากขึ้นในกรณีที่ใช้ Al ในการเติมลงในสารตัวอย่าง



ภาพที่ 4: เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันแพทเทิร์นในช่วงมุมของการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10-60 องศาของ (a) FeVO_4
(b) 2% Mn^{2+} (C) 5% Mn^{2+} (D) 7% Mn^{2+}



ภาพที่ 5: เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันแพทเทิร์นในช่วงมุมของการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10-60 องศาของ (a) FeVO_4
(b) 2% Zn^{2+} (C) 5% Zn^{2+} (D) 7% Zn^{2+}



ภาพที่ 6: เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชันแพทเทิร์นในช่วงมุมของการเลี้ยวเบน (2θ) เท่ากับ 10-60 องศาของ (a) FeVO_4
(b) 2% Al^{3+} (C) 5% Al^{3+} (D) 7% Al^{3+}

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเติมโลหะ ได้แก่ Mn^{2+} , Zn^{2+} และ Al^{3+} ลงในเลเซอร์ไอรอนเวเนเดท เมื่อนำ $FeVO_4$, $FeVO_4-Mn$, $FeVO_4-Zn$ และ $FeVO_4-Al$ มาพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD) พบว่าเลเซอร์ไอรอนเวเนเดทที่เติมโลหะทั้งสามชนิด มีความคล้ายกับเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์นของ $FeVO_4$ ก่อนเติมโลหะ ซึ่งหมายความว่า การปรับปรุงคุณภาพของ $FeVO_4$ ด้วยการเติมโลหะ 2, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ไม่ได้ทำให้โครงสร้างของ $FeVO_4$ ถูกทำลาย แต่จะเห็นว่าเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์นของ $FeVO_4-Mn$, $FeVO_4-Zn$ และ $FeVO_4-Al$ มีค่าสัญญาณที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเติม (2, 5, 7 %) ซึ่งคาดว่าโลหะ Mn^{2+} , Zn^{2+} และ Al^{3+} จะเข้าไปแทนที่ตำแหน่งของ Fe^{3+} บางส่วน ทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการบิดเบี้ยว ส่งผลให้ความเป็นผลึกของ $FeVO_4$ มีค่าลดลง

4.2 ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มเทคนิคในการหาเอกลักษณ์ของสาร เช่น เทคนิควิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี (SEM-EDS) เพื่อยืนยันว่าเลเซอร์ไอรอนเวเนเดทมีโลหะเจืออยู่จริง และควรทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าและทางเคมีไฟฟ้าของไอรอนเวเนเดทที่มีการเติมโลหะทั้งสามชนิด

บรรณานุกรม

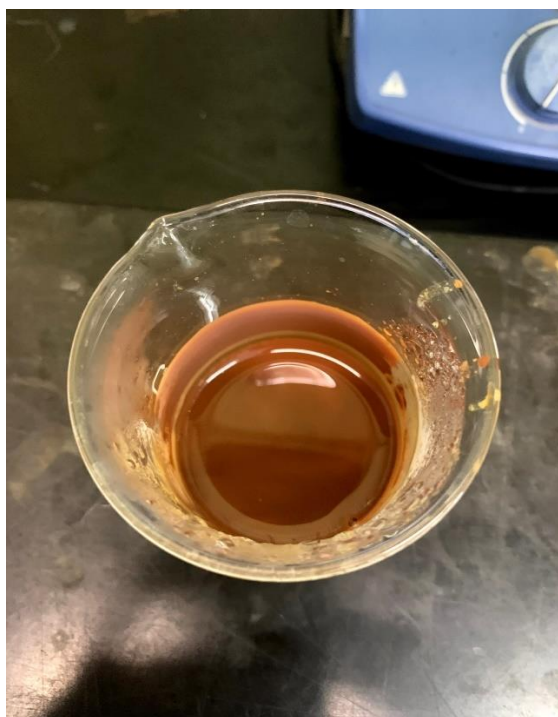
- [1] V.D. Nithy, R.Kalai Selvan, Sanjeeviraja, D. Mohan Radheep, S. Arumugam, Synthesis and characterization of FeVO₄nanoparticles, Materials Research Bulletin, 2011, 46(4), 1654-1658
- [2] Dimple P. Dutta, Maithreyi Ramakrishnan, Mainak Roy, Asheesh Kumar, Effect of transition metal doping on the photocatalytic properties of FeVO₄nanoparticles, Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry, 2017, 335(4), 102-111
- [3] Nguyen, Thi Hiep Zhang, Mengyuan Septina, Wilman Ahmed, Mahmoud Gamal Tay, Ying Fan Abdi, Fatwa F. Wong, Lydia Helena, High throughput discovery of effective metal doping in FeVO₄ for photoelectrochemical water splitting, Solar RRL, 2020, 4(12), 12-31
- [4] Qiulong Wei, Qinqin Wang, Qidong Li, Qinyou An, Yunlong Zhao, Zhuo Peng, Yalong Jiang, Shuangshuang Tan, Mengyu Yan, Liqiang Mai., Pseudocapacitive layered iron vanadate nanosheets cathode for ultrahighrate lithium ion storage, Nano Energy, 2018, 47, 294-300
- [5] Qi Liu, Zhe-Fei Li, Yadong Liu, Hangyu Zhang, Yang Ren, Cheng-Jun Sun, Wenquan Lu, Yun Zhou, Lia Stanciu, Eric A. Stach & Jian Xie, Graphene-modified nanostructured vanadium pentoxide hybrids with extraordinary electrochemical performance for Li-ion batteries, nature communications, 2015, 3(1), 1-10
- [6] นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ สำนักเทคโนโลยีปฏิบัติการ สำนักเทคโนโลยีชุมชน, ประโยชน์จากเอกซเรย์ดิฟเฟรคชัน (XRD) ในงานทดสอบวัสดุคืบและผลิตภัณฑ์, กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2558, 63(197), 1-3
- [7] ต้นกล้า อินสว่าง, ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์, จดหมายข่าวศูนย์เครื่องมือวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2558, 2(4), 1-4
- [8] Dimple P. Dutta, Effect of transition metal doping on the photocatalytic properties of FeVO₄ nanoparticles, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2017, 335(2017), 102-111
- [9] H.M. Zhang, J.B. Liu, H. Wang, W.X. Zhang, H. Yan, J. Nanopart. Res. 10 (2008) 767–774
- [10] F. Luo, C.J. Jia, W. Song, L.P. You, C.H. Yan, Cryst. Growth Des. 5 (2005) 137–142

- [11] Y. Sun, C. Li, W. Zheng, *Cryst. Growth Des.* 10 (2010) 262–267
- [12] S. Mahapatra, G. Madras, T.N. Gururao, *Ind. Eng. Chem. Res.* 46 (2007) 1013–1017.
- [13] X. Wu, Y. Tao, L. Dong, J. Zhu, Z. Hu, *J. Phys. Chem. B* 109 (2005) 11544–11547
- [14] R.K. Selvan, A. Gedanken, P.A. Kumar, G. Manikandan, C. Karunakaran, *J. Clust. Sci.* 20 (2009) 291–305.
- [15] J. Muller, J.C. Joubert, *J. Solid State Chem.* 14 (1975) 8
- [16] P. Poizot, E. Baudrin, S. Laruelle, L. Dupont, M. Touboul, J.M. Tarascon. *Solid State Ionics*, 138 (2000), p. 31-40
- [17] Q. Wei, Q. Wang, Q. Li, Q. An, Y. Zhao, Z. Peng, Y. Jiang, S. Tan, M. Yan, L. Mai. *Nano Energy*, 47 (2018), 294-300
- [18] A. Daoud-Aladine, B. Kundys, C. Martin, P. G. Radaelli, P. J. Brown, C. Simon, and L. C. Chapon *Phys. Rev.*, Multiferroicity and spiral magnetism in FeVO₄ with quenched Fe orbital moments, 2009, 80(22), 1-8
- [19] Zhang An-Min, Liu Kai, Ji Jian-Ting, He Chang-Zhen, Tian Yong, Jin Feng, Zhang Qing-Ming, Raman phonons in multiferroic FeVO₄ crystals, *RAPID COMMUNICATION*, 2015, 24(12)
- [20] S. Denis, E. Baudrin, M. Touboul, J.-M. Tarascon, *J. Electro-chem. Soc.* 144 (1997) 119.
- [21] F. Orsini, E. Baudrin, S. Denis, L. Dupont, M. Touboul, D. Guyomard, Y. Piffard, J.-M. Tarascon, *Solid State Ionics* 107 (1998) 123. [10] E. Baudrin, S. Laruelle, S. Denis, M. Touboul, J.-M. Tarascon, *Solid State Ionics* 123 (1999) 139.
- [22] S. Denis, E. Baudrin, F. Orsini, G. Ouvrard, M. Touboul, J.-M. Tarascon, *J. Power Sources* 81–82 (1999) 79.
- [23] P. Poizot, E. Baudrin, S. Laruelle, L. Dupont, M. Touboul, J.-M. Tarascon, *Solid State Ionics* 138 (2000) 31.

ภาคผนวก ก
การสังเคราะห์ไอรอนวานาเดท



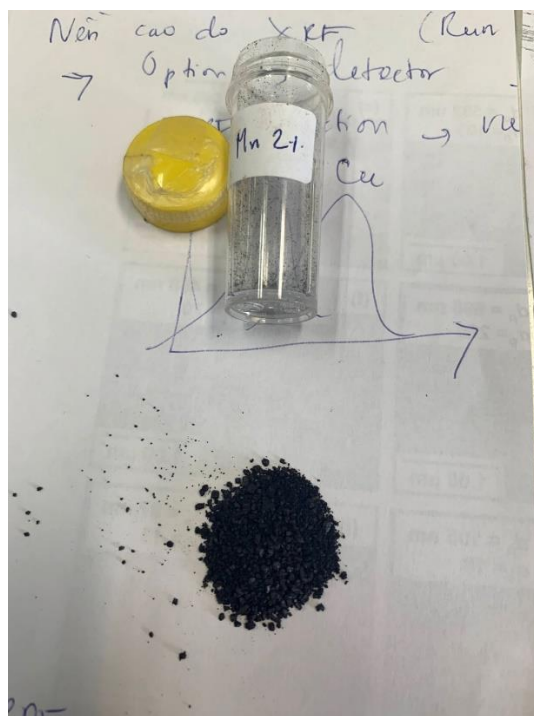
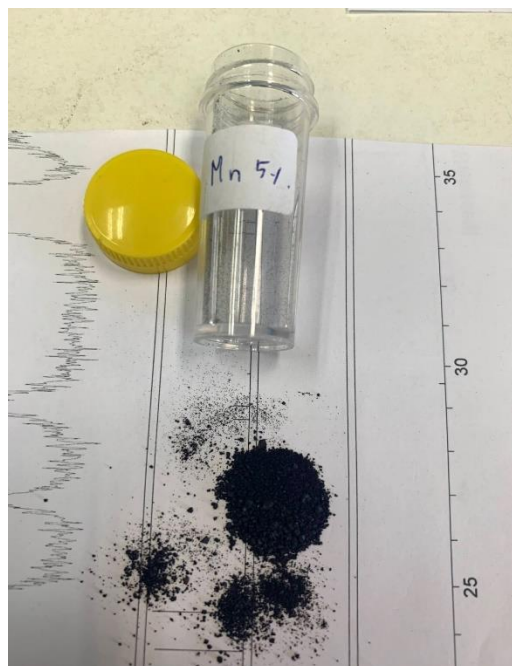
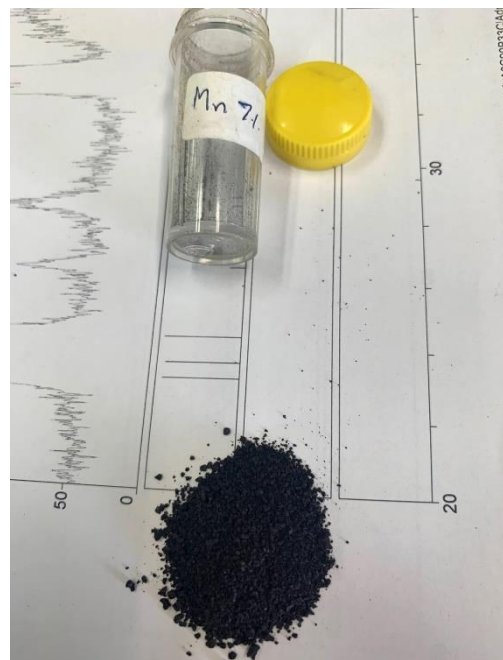
ภาพ ก-1: การสังเคราะห์ไอรอนวานาเดทก่อนให้อุณหภูมิ

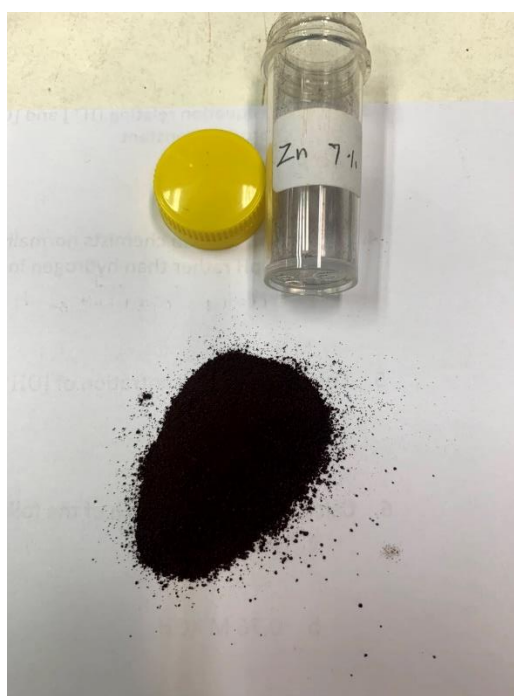


ภาพ ก-2: การสังเคราะห์ไอรอนวานาเดทหลังให้อุณหภูมิที่ 80 °C

ภาคผนวก ข

ลักษณะสารตัวอย่างที่ผ่านการเติมโลหะ

ภาพ ข-1 เติม Mn^{2+} 2%ภาพ ข-2 เติม Mn^{2+} 5%ภาพ ข-3 เติม Mn^{2+} 7%

ภาพ ข-4 เต็ม Zn^{2+} 2%ภาพ ข-5 เต็ม Zn^{2+} 5%ภาพ ข-6 เต็ม Zn^{2+} 7%

ภาพ ข-7 เต็ม Al^{3+} 2%ภาพ ข-8 เต็ม Al^{3+} 5%ภาพ ข-9 เต็ม Al^{3+} 7%

ประวัติผู้วิจัย

นายนนทวัชร์ กิมาวะหา เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2541 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน... จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 132 หมู่ 14 ถนน สุรินทร์-ท่าสว่าง ตำบล นอกเมือง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัด สุรินทร์ รหัสไปรษณีย์ 32000 อีเมล godslayer159@gmail.com