สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	7
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized Solar Cells, DSSCs)	8
2.2 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSCs)	10
2.3 การทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด	14
2.4 อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)	16
2.5 สมบัติของสารซิงก์ออกไซด์ (ZnO properties)	19
2.6 เทคนิคการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีการสปาร์ค	20
2.7 อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy)	21
2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)	26
2.9 เอกซเรย์ดิฟแฟรกโทรมิเตอร์ (X-ray diffractometer, XRD)	28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์ 31

3.1.1 สารเคมี 31

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ 35

3.2 วิธีการทดลอง 41

3.2.1 การเตรียมสารละลายสีย้อมไวแสง Eosin Y 42

3.2.2 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 42

3.2.3 การเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด 42

3.2.4 การเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากวิธีการสปาร์คลวดซิงก์ 43

3.2.5 การเตรียมโฟโตอิเล็กโทรดและหาลักษณะเฉพาะ 45

3.2.6 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและการวัดประสิทธิภาพ 47

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ 49

4.1.1 ฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์ค 49

4.1.2 ผงซิงก์ออกไซด์ (ZnO powder) และ ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO nanopowder) 52

4.2 การศึกษาผลของความหนาของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์คต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 55

4.3 การศึกษาผลของความหนาของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์คในการทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรดต่อประสิทธิภาพของเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 56

4.4 ผลของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในการทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด โดยใช้การศึกษาสมบัติทางแสง (Optical Properties) 61

4.5 ผลของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในการทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด โดยใช้การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties) 64

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 วิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม
ไวแสง ที่ทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 69

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 74

5.1.1 ลักษณะเฉพาะของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ 74

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนของขั้วโฟโต
อิเล็กโทรดด้วย UV-visible spectroscopy 75

5.1.3 สรุปผลการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม
ไวแสง 75

5.2 ข้อเสนอแนะ 76

บรรณานุกรม 78

ภาคผนวก 81

ประวัติผู้เขียน 85

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางประการของสารซิงก์ออกไซด์	20
4.1 แสดงค่าความหนาของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์คในแต่ละเงื่อนไข	51
4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ได้จากการสปาร์ค	56
4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด	58
4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี (EIS) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด	66
4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่ากันระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) กับ ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP)	73
4.6 แสดงผลของพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อความหนาของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์คมีค่าเพิ่มขึ้น	73
5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกับงานวิจัยอื่นๆ	76

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป | หน้า

1.1 แสดงตัวอย่างรูปเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน 1

1.2 แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 3

1.3 แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ทดลองทั้งสี่แบบ ของ J. Yu และคณะ 4

1.4 แสดงลักษณะการทำงานและโครงสร้างทำเป็นสองชั้นของเซลล์แสงอาทิตย์ ของ J. Yu และคณะ 4

1.5 แสดงกราฟประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงทั้งสามแบบของ H. Xu 5

1.6 แสดงกราฟประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงทั้งสามแบบ ของ L.Yin Lin 6

1.7 แสดงโครงสร้างการทำงานของเครื่องสปาร์ค 6

1.8 แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์ค 7

2.1 แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 8

2.2 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 10

2.3 แสดงกราฟตัวอย่างการวัดค่า J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 11

2.4 แสดงวงจรการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 12

2.5 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 12

2.6 แสดงผลของ R_S และ R_{Sh} ต่อ กราฟประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 13

2.7 แสดงการหาค่าของ R_Sและ R_{Sh} จากกราฟประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 13

2.8 แสดงโฟโตอิเล็กโทรด (a) เซลล์อ้างอิง และ (b) เซลล์ที่ทำเป็นสองชั้น 14

2.9 แสดงรูป (a) การกระเจิงของอิเล็กตรอนในอนุภาคทรงกลม (b) การกระเจิงของอิเล็กตรอนในสารที่มีอนุภาคทรงกลมแบบเส้นผสมกันอยู่ และ (c) การกระเจิงของอิเล็กตรอนในโครงสร้างแบบเส้น 15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10 แสดงศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าฟังก์ชันไซน์ในวงจรกระแสสลับที่มีความต่างเฟส 16

2.11 แสดง Nyquist plot ของวงจร 17

2.12 แสดง (a) แบบวงจรจำลอง และ (b) การหาค่า Rct จากกราฟ Nyquist plot ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 18

2.13 แสดงโครงสร้าง Wurtzite hexagonal ของสารกึ่งตัวนำซิงก์ออกไซด์ 19

2.14 แสดงโครงสร้างการทำงานของเครื่องสปาร์ค 21

2.15 แสดงความเข้มแสงเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดผ่านสารละลายหรือฟิล์มบาง 22

2.16 แสดงส่วนประกอบของการวัดร้อยละการสะท้อนของฟิล์ม 24

2.17 แสดงส่วนประกอบของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ แบบลำรังสีเดี่ยว 25

2.18 แสดงส่วนประกอบของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ แบบลำรังสีคู่ 25

2.19 แสดงส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 27

2.20 แสดงทิศการกระเจิงของรังสีเอกซ์จากระนาบของอะตอมซึ่งให้ความเข้มไม่เป็นศูนย์เนื่องจากเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน 29

3.1 แสดง Zinc oxide powder 31

3.2 แสดง Poly (ethylene Glycol) 20000 (PEG20000) 32

3.3 แสดง (a) Lithium iodide anhydrous (b) Iodine 32

3.4 แสดง Propylene carbonate 33

3.5 แสดงสีย้อม Eosin Y 33

3.6 แสดงเอทานอลความบริสุทธิ์มากกว่าหรือเท่ากับ 99.9% 34

3.7 แสดง Acetone ชนิด Analytical Reagent grade ผลิตโดยบริษัท Merck & Co., Inc. 34

3.8 แสดง Hydrogen hexachloplatinate (IV) Hydrate (Cl_6H_2Pt) 35

3.9 แสดง กระจกที่เคลือบด้วยสารนำไฟฟ้า (Fluorine-doped tin oxide, FTO) 35

3.10 แสดง Zinc wire มีความบริสุทธิ์ 99.97 % เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.38 mm (Advent Research Materials Ltd.) 36

3.11 แสดงเตาเผาสาร (Lenton Furnaces) 36

3.12 แสดงเครื่องชั่งสารรุ่น Fx 4OCJ ผลิตโดยบริษัท A&D Company Limited 37

3.13 แสดงเครื่องปั่นสาร Hot plate stirrers HS7 37

3.14 แสดงไมโครปิเปตรุ่น Rainin ขนาด 20 μl 38

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.15 แสดงเครื่องเป่าลมร้อน 38

3.16 แสดงเครื่องอัลตราโซนิกรุ่น S 30H Elmasonic 39

3.17 แสดงเครื่องสปาร์ค 39

3.18 แสดงชุดทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า 40

3.19 แสดงภาพรวมการทดลอง 41

3.20 แสดงสารละลายสีย้อมไวแสง Eosin Y 42

3.21 แสดงตัวอย่าง (a) สารละลายแพลทินัม และ (b) กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยแพลทินัม 43

3.22 แสดงกระจกนำไฟฟ้า (FTO) มาหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟรอยด์ให้เหลือพื้นที่ที่ใช้ในการสปาร์คที่ต้องการคือ 0.5 x 2 cm^2 44

3.23 แสดงแผนผังการเตรียมฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์โดยวิธีการสปาร์ค 45

3.24 แสดงอัตราการขึ้นและลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลา 46

3.25 แสดงฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่สกรีนลงบนกระจกนำไฟฟ้า (FTO) 46

3.26 แสดงแผนผังการเตรียมโฟโตอิเล็กโทรด 47

3.27 แสดงโครงสร้าง (a) เซลล์อ้างอิง (b) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำเป็นสองชั้น 48

4.1 แสดงฟิล์มที่ได้จากการสปาร์คที่เงื่อนไข 10, 25, 50 และ 100 รอบ 49

4.2 แสดง (a) ลักษณะพื้นผิว และ (b) การกระจายของอนุภาค ของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ได้จากการสปาร์คจำนวน 100 รอบ เผาที่ 400 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง 50

4.3 แสดง (a) ความหนาของฟิล์มบางที่ได้จากการสปาร์คจำนวน 100 รอบ (b) กราฟความหนาของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค 51

4.4 แสดงสเปกตรัมของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์คที่จำนวน 100 รอบ 52

4.5 แสดง (a) ลักษณะพื้นผิว และ (b) การกระจายของอนุภาค ของผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) 53

4.6 แสดง (a) ลักษณะพื้นผิว และ (b) การกระจายของอนุภาค ของผงนาโนซิงก์ออกไซด์(ZNP) 53

4.7 แสดงลักษณะการดูดซึมสีย้อม Eosin Y ของ (a) ฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์ค (ZN) (b) ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) และ (c) ผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) 54

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.8 แสดงส่วนประกอบของเซลล์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (a) โฟโตอิเล็กโทรด (b) เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด และ (c) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบเสร็จแล้ว 54
4.9 แสดงลักษณะเฉพาะทางความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่อความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการสปาร์ค 10, 25, 50 และ 100 รอบ 55
4.10 แสดงลักษณะเฉพาะทางความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่อความต่างศักย์ของ (a) ผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และ (b) ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) เมื่อทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 57
4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค ระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) 59
4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกระแส (J_{SC}) ต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค ระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) 59
4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) ของค่า (a) V_{OC} และ (b) *FF* ต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค 60
4.14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) ของค่า (a) Series resistance, R_S และ (b) Shunt resistance, R_{Sh} ต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค 61
4.15 แสดงสเปกตรัมการสะท้อนแสงของ (a) ผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และ (b) ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) เมื่อใช้สกรีนทับฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์จากการสปาร์คทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 62
4.16 แสดงค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ต่อจำนวนรอบในการสปาร์คของผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) ในการทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 63
4.17 แสดงกราฟ Nyquist plots ของ (a) ผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และ (b) ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) เมื่อใช้สกรีนทับฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์จากการสปาร์คทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 65
4.18 แสดงกราฟ Bode plots ของ (a) ผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และ (b) ผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) เมื่อใช้สกรีนทับฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์จากการสปาร์คทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 66
4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานของการนำประจุต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค ระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) 67

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่วงเวลาของอิเล็กตรอน (Electron life time) ต่อจำนวนรอบในการสปาร์ค ระหว่างผงซิงก์ออกไซด์ (ZP) และผงนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZNP) 68
4.21 แสดงการกระเจิงของแสงภายในขั้วโฟโตอิเล็กโทรดของ (a) เซลล์อ้างอิง (b) เซลล์ที่ทำเป็นสองชั้นในโฟโตอิเล็กโทรด 69
4.22 แสดงการเดินทางของอิเล็กตรอนภายในขั้วโฟโตอิเล็กโทรดเมื่อฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการสปาร์คมีความหนา (a) น้อย (b) มาก 70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved