สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ดวงอาทิตย์และพลังงานจากแสงอาทิตย์	8
2.1.1 รังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation)	10
2.1.2 ชนิดรังสีอัลตราไวโอเลต	11
2.2 แสง	11
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม (Dye-Sensitized Solar Cells, DSSCs)	12
2.4 สมบัติของซิงก์ออกไซด์ (ZnO)	15
2.5 ตัวรับแสง (photo sensitizer)	16
2.5.1 อีโอซินวาย (Eosin Y)	17
2.5.2 Xanthone สารสกัดจากเปลือกมังคุด	19
2.5.3 ผักปรัง	20
2.5.4 กระดูกอึ่ง	21
2.5.5 หม่อน	22
2.6 อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (Ultraviolet-Visible Spectroscopy, UV-vis spectroscopy)	23
2.6.1 ส่วนประกอบของ UV-vis spectrophotometer	27

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.1.1 แหล่งกำเนิดรังสี (source) 28
2.6.1.2 โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) 28
2.6.1.3 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ (recorder) 28
2.6.1.4 เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง 29
6.6.2 ประเภทของ UV-vis spectrophotometer 29
6.2.2.1 Single-Beam Spectrophotometer 29
2.6.2.2 Double-Beam Spectrophotometer 30
2.7 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 31
2.8 เทคนิคอิมพีแดนซ์สเปกโทรเชิงเคมีไฟฟ้า 34
Electrochemical Impedance Spectroscopy : EIS
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง 38
3.1.1 สารเคมี 38
3.1.2 อุปกรณ์ 45
3.2 วิธีการทดลอง 51
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมโฟโตอิเล็กโทรด 52
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด 55
3.2.3 ขั้นตอนการประกอบเซลล์ 56
บทที่ 4 ผลการทดลอง
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางแสง 58
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของสีย้อมไวแสง 58
4.1.2 ผลการวัดค่าการสะท้อนของขั้วโฟโตอิเล็กโทรดด้วย UV-vis spectroscopy 60
4.2 ผลการศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า 63
4.2.1 ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 63
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วย EIS 66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการทดลอง 72
5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมด้วย 72
UV-visible spectroscopy

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนของขั้วโฟโตอิเล็กโทรดด้วย UV-visible spectroscopy 72
5.1.3 สรุปผลการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 73
5.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วย EIS 73
5.2 ข้อเสนอแนะ 74
บรรณานุกรม 76
ภาคผนวก 78
ประวัติผู้เขียน 85

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงจาก Black rice, 4 Erythrina variegate, Rosa xanthina, Kelp, และ Capsicum	4
1.2 แสดงผลการวัด J-V characteristics ของ ZnO ที่มีความหนาต่างกัน	5
1.3 แสดงผลการวัด J-V characteristics ของ ZnO ที่เกิดจากการเติม 4-tertbutylpyridine	5
1.4 แสดงผลการวัด J-V characteristics ของเซลล์แสงอาทิตย์จาก TiO_2 และ ZnO กับสีย้อมไวแสงจาก bixin, norbixin, และ annatto	6
1.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สกัดได้จากเปลือกแห้งของต้นงิ้ว ดอกพวงแสด ดอกเฟื่องฟ้า ลูกผักปรัง เปลือกสมอ	7
2.1 สมบัติของ Eosin-Y	18
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	39
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
4.1 แสดงความยาวคลื่นที่สีย้อมแต่ละชนิดดูดกลืนแสงได้ดี	60
4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า J_{SC}, FF, V_{OC} และ efficiency เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติที่มี ZnO powder เป็นฐาน	65
4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า J_{SC}, FF, V_{OC} และ efficiency เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติที่มี ZnO nano เป็นฐาน	65
4.4 ความต้านทานภายในเซลล์ของสีย้อมแต่ละชนิดที่มี ZnO power เป็นฐาน	68
4.5 ความต้านทานภายในเซลล์ของสีย้อมแต่ละชนิดที่มี ZnO nano เป็นฐาน	69
4.6 แสดงค่า R_{sh} และ R_s ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติที่ใช้ ZnO powder เป็นฐาน	71
4.7 แสดงค่า R_{sh} และ R_s ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติที่ใช้ ZnO powder เป็นฐาน	71
5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติกับงานวิจัยอื่น ๆ	74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป	**หน้า**
1.1 แสดงค่าการดูดกลืนของสีย้อมจากพืชธรรมชาติที่สกัดได้จาก Black rice, Erythrina variegate xanthina, Kelp, และ Capsicum	3
1.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ anthocyaninและการยึดเกาะกับอนุภาค TiO_2	3
1.3 แสดงโครงสร้างของ ZnOที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	4
1.4 แสดงค่าการดูดกลืนของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด bixin, norbixin, และannatto	6
2.1แสดงทางเดินของแสงเมื่อผ่านเข้ามายังชั้นบรรยากาศของโลก	9
2.2 แสดงสเปกตรัมของแสงมาตรฐานที่ ASTMกำหนด	10
2.3 สเปคตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2.4 สเปคตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต	11
2.5 โครงสร้างของDSSCs	12
2.6 กลไกการเปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของDSSCs	14
2.7 แสดงโครงสร้าง Wurtzite Hexagonalของ ZnO	15
2.8 แสดงการเปรียบเทียบระดับพลังงานของ Dyeและแถบนำไฟฟ้าของ ZnO	16
2.9 การยึดเกาะกันระหว่างสารกึ่งตัวนำและสีย้อมไวแสง	17
2.10 โครงสร้างของ Eosin - Y	18
2.11 สเปกตรัมดูดกลืนของสารละลาย Eosin - Y	19
2.12 มังคุด	19
2.13โครงสร้างหลักของสาร xanthone	20
2.14 โครงสร้างของ anthocyanin	21
2.15 ผักปรัง	21
2.16 กระดูกอึ่ง	22
2.17 หม่อน	**22**
2.18 ทิศทางของแสงที่ทะลุผ่านสาร	**24**
2.19 แสดงเส้นทางเดินของแสง เมื่อวัดฟิล์มแบบร้อยละการสะท้อน	**25**
2.20 แสดงelectromagnetic spectrum	**27**
2.21 แสดงโครงสร้างของเครื่องCary 50UV-vis spectrophotometer	**27**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.22 แสดง block diagram of a spectrophotometer **29**
2.23 แสดงแผนภาพแสดงทางเดินของรังสีใน spectrophotometerแบบลำแสงเดี่ยว **30**
2.24 แสดงแผนภาพแสดงทางเดินของรังสีใน spectrophotometer แบบลำแสงคู่ **30**
2.25 กราฟ J-Vของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้แสง **31**
2.26 วงจรการวัดการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์-ชนิดสีย้อมไวแสง 32
2.27 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ **33**
2.28 แสดงผลของ R_s และ R_{sh}ต่อ J-V characteristic **33**
2.29 แสดงศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าฟังก์ชันไซน์ในวงจรกระแสสลับที่มีความต่างเฟส ϕ 34
2.30 a) วงจรตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุ และ b) Nyquist plotของวงจร a) 35
2.31 แสดง Nyquist plotทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 36
2.32 แสดงวงจรวัดอิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี 37
3.1 ZnO powder 39
3.2ZnOnano 40
3.3Xanthone> 30ชนิด 40
3.4Xanthoneบริสุทธิ์ 41
3.5ลูกผักปรัง 41
3.6ลูกกระดูกอึ่ง 41
3.7ลูกหม่อน 42
3.8Eosin-Y 99.99%จากบริษัท Aldrich 42
3.9Ethanolชนิด analytical reagent grade (a)และ standard laboratory grade, (b)จากบริษัทMerck 43
3.10 Acetoneชนิด Analytical reagent gradeจากบริษัทLabscan 43
3.11 แผ่นพาราฟิล์ม จากบริษัท Pechiney plastic packaging 44
3.12 PEG 20000จากบริษัท Bio basic inc. 44
3.13 I_2ผลิตโดยบริษัท asia pacific specialty chemicals limited (APS) 45
3.14 เครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 46
3.15 เครื่อง EISจากบริษัท Hioki 46

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.16 เครื่อง UV-visible spectrophotometercary50จากบริษัทVarian 47
3.17 เครื่อง Ultrasonic cleanerรุ่นS 30H Elmasonic 47
3.18 เครื่องชั่งสารจารบริษัทป.เคมีอุปกรณ์จำกัด 48
3.19 เตาเผาสาร รุ่น UAF 16/10 จากบริษัทLenton 48
3.20ครกบดสารจากบริษัท International crystal laboratories 49
3.21 กระจกนำไฟฟ้า 8 Ω /squareจารบริษัท Solaronix 49
3.22 เครื่องกวนสารรุ่น HTS-1003 จากบริษัท Laboratory & medical supplies 50
3.23 เครื่องเป่าลมร้อนรุ่น KX 2000K จากบริษัท Black & Decker 50
3.24 แสดงโครงสร้างของเซลล์ที่ศึกษา 51
3.25 แผนผังลำดับการทดลอง 52
3.26 แผนผังการเผาZnO 53
3.27 สีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติที่สกัดได้ 54
3.28 การแช่สีย้อม 54
3.29 แสดงแผนผังอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด 55
3.30 กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วย Pt 55
3.31แสดงการวางพาราฟิล์มลงบนขั้วโฟโตอิเล็กโทรด 56
3.32 แสดงการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 56
3.33 เซลล์ที่ประกอบเสร็จแล้ว 57
3.34 แสดงการหยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 57
4.1 แสดงการดูดกลืนของสีย้อมที่สกัดได้จากพืช 5 ชนิด ดังนี้ 59
(1) SS-DW01, (2) SS-DW04, (3) Basellarubra Linn.,
(4) Dicermabiarticulatum(L.) DC.,(5) Morusalba L., (6) Eosin-Y
4.2 แสดงค่าการสะท้อนของโฟโตอิเล็กโทรดที่มีZnO powderเป็นฐาน 61
(1) ZnO P/SS-DW01, (2) ZnO P/SS-DW04, (3) ZnO P/ Basellarubra Linn,
(4) ZnO P/ Dicermabiarticulatum (L.)DC, (5) ZnO P/ Morusalba L,
(6) ZnO P/Eosin-Y
4.3 แสดงค่าการสะท้อนของโฟโตอิเล็กโทรดที่มีZnOnanoเป็นฐาน 62
(1) ZnO NP/SS-DW01, (2) ZnO P/SS-DW04, (3) ZnO NP/ Basellarubra Linn,
(4) ZnO NP/ Dicermabiarticulatum (L.) DC, (5) ZnO NP/ Morusalba L.,
(6) ZnO NP/Eosin-Y
4.4 กราฟJ-Vของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มี ZnO powderเป็นฐาน 63
(1) SS-DW01 , (2)SS-DW04(3) Basellarubra Linn.,
(4) Dicermabiarticulatum (L.) DC., (5) Morusalba L., (6) Eosin – Y

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 กราฟJ-Vของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มี ZnO nano เป็นฐาน (1) SS-DW01, (2.) SS- DW04, (3) Basellarubra Linn., (4) Dicermabiarticulatum (L.) DC., (5) Morusalba L., (6.)Eosin-Y 64

4.6 การต่อวงจรเพื่อวัดEISของ reverse bias (a) forward bias (b) (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขั้วบวก คือโฟโตอิเล็กโทรดส่วนขั้วลบ คือเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด) 67

4.7 แสดงNyquist plotของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะมีแสง ของเซลล์ที่มีZnO powder เป็นฐานและใช้สีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติ (1) SS-DW01 (2) SS-DW04, (3) Basellarubra Linn. (4) Dicermabiarticulatum (L) DC.(5) Morusalba L. (6) Eosin-Y 67

4.8 แสดง Nyquist plot ของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะมีแสง ของเซลล์ที่มี ZnO nano เป็นฐานและใช้สีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติ 69

4.9แสดงวงจรสมมูลกระแสตรงของเซลล์แสงอาทิตย์ 70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved