สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 ผลการศึกษาผลของชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	3
1.3 วัตถุประสงค์	6
1.4 ขอบเขตการศึกษา	6
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye Sensitized Solar Cells)	7
2.1.1 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม (DSSC)	10
2.1.2 การวัดค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.2 ชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง (Anti-reflection layer)	16
2.3 เทคนิคการเตรียมฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์	24
2.3.1 การระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (Thermal evaporation in vacuum)	24
2.3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยวิธีการสปาร์ค (Synthesis of Nanoparticle by Sparking process)	25
2.4 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	26
2.5 อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-vis spectroscopy)	27
2.5.1 ส่วนประกอบของ Spectrophotometer	29

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

2.5.1.1 แหล่งกำเนิดรังสี (Source) 29
2.5.1.2 โมโนโครมิเตอร์ (Monochrometer) 30
2.5.1.3 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ (Recorder) 30
2.5.1.4 เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง 30
2.5.2 ประเภทของ UV-visible spectrophotometer 31
2.5.2.1 Single-beam spectrophotometer 31
2.5.2.2 Double-beam spectrophotometer 32
2.6 อิลิปโซเมทรี (Ellipsometry) 33
2.6.1 หลักการหาค่าดัชนีหักเหของแสงและความหนาของฟิล์มบาง 34
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 38
2.7.1 โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 38
2.7.2 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 39
2.8 ค่ามวลอากาศ (Air mass) 40
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง 44
3.1.1 สารเคมี 44
3.1.2 อุปกรณ์ 50
3.2 การทดลอง 57
3.2.1 การเตรียมฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ 57
3.2.1.1 การเตรียมฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ด้วยกระบวนการระเหยสารด้วยความร้อน (thermal evaporation) 57
3.2.1.2 การเตรียมฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ด้วยกระบวนการ sparking process 59
3.2.2 การหาสมบัติของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ 60
3.2.2.1 ความหนาของฟิล์มและดัชนีหักเหของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ 60
3.2.2.2 สมบัติทางแสงของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ 61
3.2.2.3 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ 62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

	หน้า
3.2.3 การวัดประสิทธิภาพและความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	63
3.2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมโฟโตอิเล็กโทรด	63
3.2.3.2 ขั้นตอนการเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด	65
3.2.3.3 ขั้นตอนการประกอบเซลล์	66
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ (ZnO)	68
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย FE-SEM	68
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วย UV-visible spectroscopy	69
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วย เครื่อง อิลิปโซเมทรี	75
4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพและความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม	89
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลงานทางวิชาการ	92
ประวัติผู้เขียน	100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางประการของ ZnO 26

4.1 ค่าแถบช่องว่างพลังงานสำหรับฟิล์ม ZnO ที่เตรียมได้ 71

4.2 ผลการวัดความหนาของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ด้วยเครื่องอิลิปโซเมททรี ที่ความยาวคลื่น 632.8 nm 78

4.3 เงื่อนไขในการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในการทดลองครั้งนี้ที่ความเข้มของการส่องสว่าง 100 mW/cm^2 78

4.4 แสดงค่าวัดทางไฟฟ้าต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่เป็นชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ไม่มีชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง 80

5.1 ตารางการเปรียบเทียบการทดลองและผลการทดลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมในการศึกษาค้นคว้าอิสระกับงานวิจัยอื่นๆ 86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป | หน้า

1.1 (a) แสดงปริมาณการบริโภคพลังงานที่สูงขึ้น (b) แสดงปริมาณแหล่งพลังงานที่ลดลง 1

2.1 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) 7

2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม 9

2.3 กราฟ I-V (current-voltage curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้แสง 10

2.4 วงจรการวัดค่าทางไฟฟ้า (I-V Tester) 11

2.5 แสดงวงจรสมมูลกระแสตรงของเซลล์แสงอาทิตย์ 12

2.6 แสดงวิธีการประมาณค่า R_{sh} และ R_s จากกราฟ IV 13

2.7 แสดงวิธีการประมาณค่า R_s จากกราฟ IV ที่ถูกต้อง 14

2.8 แสดงลักษณะทั่วไปของกราฟ IV ของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การวัดแบบ reverse bias 15

2.9 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง 16

2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{sc} , V_{oc} กับ radiation flux 17

2.11 แสดงการสะท้อนกลับของแสง ณ ผิวรอยต่อของฟิล์มกับแผ่นรองรับ 18

2.12 แสดงการสะท้อนและการหักเหของแสง ณ ผิวรอยต่อของฟิล์มกับแผ่นรองรับ 19

2.13 ตัวอย่าง Multi-layer coating 20

2.14 แสดง Moth Eye ในธรรมชาติ 21

2.15 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่ผิวรอยต่อของตัวกลาง 2 ตัวกลาง 21

2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนกับมุมตกกระทบที่ผิว 23

2.17 แสดงโครงสร้างของ ZnO 27

2.18 แสดงความเข้มของแสงก่อนและหลังการทะลุผ่านสาร 28

2.19 แสดงเส้นทางเดินของแสงเมื่อวัดฟิล์มแบบร้อยละการสะท้อน 29

2.20 แสดงส่วนประกอบของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีเดี่ยว 31

2.21 แสดงส่วนประกอบของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่ 32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า

รูป		หน้า
2.22	แสดงส่วนประกอบของอิลิปโซเมททรี (ellipsometry)	33
2.23	รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาโดยแหล่งกำเนิดแสง	34
2.24	แสดงส่วนประกอบของวงรีและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง	35
2.25	แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ชิ้นงานของ อิลิปโซเมททรี (ellipsometry)	36
2.26	แสดงการสะท้อนและการหักเหของแสงผ่านอากาศ/ฟิล์ม/แผ่นรองรับ	37
2.27	แสดงส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	39
2.28	แสดงระยะทางที่แสงเดินผ่านบรรยากาศ	41
2.29	แสดงมุมตกกระทบ	41
2.30	แสดงการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ AM0 และ AM1.5	42
3.1	แสดงภาพรวมการทดลอง	43
3.2	แสดงลวดสังกะสี (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.38 mm, ความบริสุทธิ์ 99.97%, Advent Research Materials Ltd)	44
3.3	แสดง Zinc oxide powder มีความบริสุทธิ์ 99.9 %	45
3.4	แสดง Poly ethylene Glycol 20000 (PEG20000)	45
3.5	แสดง Iodine ความบริสุทธิ์ 99.8%	46
3.6	แสดง Lithium iodide anhydrous น้ำหนัก 50 g ประกอบด้วยสัดส่วน purum มากกว่า 98%	46
3.7	แสดง Propylene carbonates	47
3.8	แสดง Eosin -Y ($C_{20}H_6Br_4Na_2O_5$) น้ำหนัก 25 g มีความบริสุทธิ์ 99.99%	47
3.9	แสดง Ethanol ชนิด analytical reagent grade (a) และ standard laboratory grade (b)	48
3.10	แสดง Acetone ชนิด Analytical Reagent grade	48
3.11	แสดง Hydrogen hexachloplatinate (IV) Hydrate (Cl_6H_2Pt)	49
3.12	แสดงแผ่นพาราฟิล์ม (Paraflilm)	49
3.13	แสดงกระจกที่เคลือบด้วยสารนำไฟฟ้า (fluorine-doped tin oxide, FTO)	51
3.14	แสดงเตาเผาสาร (Lenton Furnaces)	51
3.15	แสดงชั่งสารรุ่น Fx 4OCJ	52
3.16	แสดงเครื่องปั่น Hotplate Stirrer รุ่น HTS-100	52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
3.17	แสดงไมโครปิเปต รุ่น Rainin	53
3.18	แสดงเครื่องเป่าลมร้อน	53
3.19	แสดงเครื่องอัลตราโซนิก รุ่น Elmasonic	54
3.20	แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องระเหยสารด้วยความร้อน (thermal evaporator)	54
3.21	แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่อง sparking process	55
3.22	แสดงเครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น Carry 50	55
3.23	แสดงเครื่อง อิลิปโซเมททรี (ellipsometry) รุ่น alpha-SE	56
3.24	แสดงส่วนประกอบหลักของชุดทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า (J-V tester)	56
3.25	แสดงการระเหยด้วยความร้อนของซิงก์ออกไซด์บนกระจก	58
3.26	แสดงการ sparking ลวดสังกะสีทำให้เกิดอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์บนกระจก	59
3.27	ตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอิลิปโซเมททรี	60
3.28	ตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer	61
3.29	แสดงตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FE-SEM	62
3.30	แผนผังการเผาฟิล์ม ZnO	64
3.31	แผนภาพขั้นตอนการเตรียมโฟโตอิเล็กโทรด	65
3.32	แผนภาพขั้นตอนการเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด	66
3.30	แผนภาพแสดงขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม	67
4.1	ภาพถ่ายจาก FE-SEM ของฟิล์มบาง ZnO	69
4.2	แสดงสเปคตรัมของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง ZnO ที่เตรียมโดยกระบวนการระเหยด้วยความร้อน และกระบวนการ sparking ที่ 0.5 รอบ 1.5 รอบ และ 2.5 รอบ ของการ sparking	71
4.3	แสดงการประมาณค่าของแถบช่องพลังงานของฟิล์มบาง ZnO	72
4.4	สเปกตรัมของค่าการสะท้อนแสงของ (a) ฟิล์มบาง ZnO ที่เตรียมโดยวิธีการระเหยด้วยความร้อนและวิธีการ sparking ที่ 0.5, 1.5, 2.5 รอบ (b) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เคลือบด้วยชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงฟิล์มบาง ZnO	74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป		หน้า
4.5	แสดงแผนภาพการสะท้อนและการหักเหของแสงเมื่อมีฟิล์มชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง	76
4.6	แสดงค่าดัชนีหักเหของแสงของฟิล์มบาง ZnO บนแผ่นรองรับที่เป็นกระจกนำไฟฟ้าด้วยเครื่องอิลิปโซมเมททรี	76
4.7	แสดงกราฟระหว่างความหนาแน่นกระแสและความศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ไม่มีชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงและมีชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงฟิล์มบาง ZnO	80
4.8	แสดงตัวอย่างวิธีการประมาณค่าหาความต้านทาน R_{sh} และ R_s จากความชันของกราฟ IV ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved