สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย ง

ABSTRACT ฉ

สารบัญตาราง ฎ

สารบัญภาพ ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 11

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized Solar Cells, DSSCs) 12

2.2 สมบัติของสารซิงก์ออกไซด์ (ZnO properties) 15

2.3 สมบัติของสีย้อมอีโอซินวาย (Eosine-Y) 16

2.4 ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง (transparent conducting oxide thin film,TCO) 18

2.5 ตัวรับแสง (photo sensitizer) 18

2.6 ค่ามวลอากาศ (air mass) 19

2.7 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม 21

2.8 อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี (electrochemical impedance spectroscopy, EIS) 22

2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) 26

2.10 รามานสเปกโทรสโคปี (Raman spectroscopy) 28

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

3.2 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 33

3.3 วิธีการทดลอง 39

3.3.1 การเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด 40

3.3.2 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 40

3.3.3 การเตรียมสีย้อมไวแสง (Eosin-Y) 41

3.3.4 การเตรียม ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด 41

3.3.5 การศึกษาชั้นความหนาที่เหมาะสมของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตระพอด เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ความหนา 1 – 4 ชั้นเทป เพื่อใช้อ้างอิง 42

3.3.6 การศึกษาอัตราส่วนความหนาที่เหมาะสม ของซิงก์ออกไซด์แต่ละชั้นฟิล์ม เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แบบฟิล์มสองชั้น ที่อัตราส่วนความหนา 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 โดยใช้ชั้นเทปเป็นตัวควบคุม 46

3.3.7 การศึกษาอัตราส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีอัตราส่วนผสมเป็น 1:3 , 1:1 และ 3:2 49

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตระพอด 51

4.2 ผลการศึกษาชั้นความหนาที่เหมาะสมของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตระพอด เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ความหนา 1 – 4 ชั้นเทป เพื่อใช้อ้างอิง 53

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนความหนาที่เหมาะสม ของซิงก์ออกไซด์แต่ละชั้นฟิล์ม เพื่อประยุกต์ใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แบบฟิล์มสองชั้น ที่อัตราส่วนความหนา 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 โดยใช้ชั้นเทปเป็นตัวควบคุม และใช้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฟิล์มชั้นล่าง 59

4.3.1 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ผงซิงก์ออกไซด์ 59

4.3.2 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ซิงออกไซด์เตตระพอด 64

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

4.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีอัตราส่วนผสมเป็น 1:3,1:1 และ 3:2 69

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 75

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตระพอด 75

5.1.2 ผลการศึกษาชั้นความหนาที่เหมาะสมของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตระพอด เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ความหนา 1 – 4 ชั้นเทป เพื่อใช้อ้างอิง 75

5.1.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนความหนาที่เหมาะสม ของซิงก์ออกไซด์ แต่ละชั้นฟิล์ม เพื่อประยุกต์ใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แบบฟิล์มสองชั้น ที่อัตราส่วนความหนา 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 โดยใช้ชั้นเทปเป็นตัวควบคุม และใช้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฟิล์มชั้นล่าง

5.1.3.1 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ผงซิงก์ออกไซด์ 76

5.1.3.2 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ซิงก์ออกไซด์ เตตระพอด 76

5.1.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีอัตราส่วนผสมเป็น 1:3 , 1:1 และ 3:2 77

5.2 ข้อเสนอแนะ 78

บรรณานุกรม 79

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 82

ภาคผนวก ข 91

ประวัติผู้เขียน 93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซิงก์ออกไซด์แต่ละโครงสร้าง 6

ตารางที่ 1.2 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงไททาเนียม ไดออกไซด์ แบบเป็นฟิล์มสองชั้น เปรียบเทียบกับที่เป็นฟิล์มชั้นเดียว 9

ตารางที่ 1.3 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงไททาเนียม ไดออกไซด์ แบบเป็นฟิล์มผสม เปรียบเทียบกับที่เป็นฟิล์มแบบไม่ผสม 11

ตารางที่ 2.1 สมบัติกายภาพบางประการของซิงก์ออกไซด์ 16

ตารางที่ 2.2 สมบัติของ Eosin-Y 17

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทั้งหมด ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโฟโตอิเล็กโทรด เป็นซิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ ที่ความหนา 1 – 4 ชั้นเทป a) มีผงซิงก์ออกไซด์เป็นฐาน b) มีซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฐาน และ c) มีซิงก์ออกไซด์เตตระพอดเป็นฐาน 56

ตารางที่ 4.2 สรุปประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ความหนา 1 - 4 ชั้น 57

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพ และค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสง ที่มีโฟโตอิเล็กโทรดเป็นซิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ ที่ความหนา 2 ชั้นเทป 58

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสงแบบฟิล์ม สองชั้น NP/P 61

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของฟิล์มสองชั้น NP/P เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ 63

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสงแบบฟิล์ม สองชั้น NP/T 66

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของฟิล์มสองชั้น NP/T เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ 68

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีซิงก์ออกไซด์ผสม (NP+P) เป็นโฟโตอิเล็กโทรด เทียบกับแบบไม่ผสม ที่ความหนา 1 - 4 ชั้นเทป 69

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของฟิล์มผสม NP+P เทียบกับแบบไม่ผสม 72

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกับงานวิจัยอื่นๆ 78

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โครงสร้างซิงก์ออกไซด์เผาที่อุณหภูมิ a) 300 ºC, b) 400 ºC, c) 500 ºC และ d) 600 ºC 3

ภาพที่ 1.2 ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J_{SC}) กับความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_{OC}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ได้ เมื่อเผาในอุณหภูมิต่างๆ 4

ภาพที่ 1.3 ค่า J-V characteristics curve ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ ที่มีความหนา 40 μm 4

ภาพที่ 1.4 โครงสร้างของซิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ a) ZnO-nanobelt, b) ZnO nano-tetrapod, c) ZnO-powder 5

ภาพที่ 1.5 ค่า J-V characteristics curves ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ แต่ละโครงสร้าง 6

ภาพที่ 1.6 โครงสร้างของ TiO_2 a) TiO_2 nanocrystal , b) TiO_2 nanotube c) TiO_2 ที่วิเคราะห์ด้วย X-Ray Diffractometer 7

ภาพที่ 1.7 ภาพ SEM a) ภาพแสดงภาคตัดขวางของฟิล์มสองชั้น , b) ผิวหน้าของ TiO_2 nanotube c) ผิวหน้าของ TiO_2 nanopaticle 8

ภาพที่ 1.8 J-V characteristics curves 9

ภาพที่ 1.9 โครงสร้างของฟิล์มผสม TiO_2 ที่ผสมกันระหว่างผลึกนาโน กับแบบผงปกติ ในอัตราส่วนต่างๆ a) อัตราส่วน 0.8:0.2 , b) อัตราส่วน 0.7:0.3 , c) อัตราส่วน 0.6:0.4, d) อัตราส่วน 0.5:0.5 10

ภาพที่ 1.10 J-V characteristics curves 10

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 12

ภาพที่ 2.2 ระดับพลังงาน และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม 14

ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง wurtzite hexagonal ของสารกึ่งตัวนำซิงก์ออกไซด์ 15

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ Eosin-Y 16

ภาพที่ 2.5 ช่วงการดูดกลืนพลังงานของ Eosin-Y 17

ภาพที่ 2.6 การเปรียบเทียบระดับพลังงานของสีย้อมไวแสงและแถบนำไฟฟ้าของซิงก์ออกไซด์ 18

ภาพที่ 2.7 ค่ามวลอากาศ 19

ภาพที่ 2.8 สเปกตรัมของแสงมาตรฐานที่ ASTM กำหนด 20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า กับความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 21
ภาพที่ 2.10 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิดและศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด 22
ภาพที่ 2.11 ศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าฟังก์ชันไซน์ในวงจรกระแสสลับที่มีความต่างเฟส ϕ 23
ภาพที่ 2.12 a) วงจรตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุ และ b) Nyquist plot ของวงจร a) 24
ภาพที่ 2.13 Nyquist plot ทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 25
ภาพที่ 2.14 วงจรวัดอิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี 25
ภาพที่ 2.15 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 27
ภาพที่ 2.16 แผนภาพระดับพลังงานของการกระเจิงแบบ เรลีย์ สโตกรามาน และแอนติสโตกรามาน 29
ภาพที่ 2.17 สเปกตรัมรามานของซิงก์ออกไซด์ 30
ภาพที่ 2.18 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องรามานสเปกโทรมิเตอร์ 31

ภาพที่ 3.1 ลักษณะของซิงก์ออกไซด์ แบบต่าง ๆ 32
ภาพที่ 3.2 ลักษณะผง Eosin-Y ที่ใช้เป็นสีย้อม 33
ภาพที่ 3.3 ลักษณะกระจก FTO 33
ภาพที่ 3.4 ลักษณะที่ตัดกระจก 34
ภาพที่ 3.5 ลักษณะครกบดสารพร้อมที่บด 34
ภาพที่ 3.6 ลักษณะเครื่องชั่งสาร 35
ภาพที่ 3.7 ลักษณะเครื่อง ultrasonic cleaner 35
ภาพที่ 3.8 ลักษณะเครื่อง hotplate stirrer 36
ภาพที่ 3.9 ลักษณะของเครื่องเป่าลมร้อน 36
ภาพที่ 3.10 ลักษณะของเตาเผาสาร 37
ภาพที่ 3.11 ลักษณะเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 38
ภาพที่ 3.12 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 39
ภาพที่ 3.13 แผนผังอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด 40
ภาพที่ 3.14 สีย้อมไวแสง Eosin-Y ที่เตรียมได้ 41
ภาพที่ 3.15 เตาเผาแบบท่อ สำหรับสังเคราะห์ ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด 42
ภาพที่ 3.16 กระจกนำไฟฟ้าที่ถูกสกรีนด้วยซิงก์ออกไซด์ทับลงไป 43

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

ภาพที่ 3.17 เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้ และพร้อมจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพต่อไป 44
ภาพที่ 3.18 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้ 44
ภาพที่ 3.19 แผนผังการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้ผงซิงก์ออกไซด์, ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน และ ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ที่ความหนา 1 - 4 ชั้นเทป 45
ภาพที่ 3.20 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้วอิเล็กโทรดเป็นฟิล์มสองชั้น 47
ภาพที่ 3.21 แผนผังการศึกษาอัตราส่วนความหนาที่เหมาะสม ของซิงก์ออกไซด์แต่ละชั้นฟิล์ม เพื่อใช้เป็นขั้วโฟโตอิเล็กโทรด ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมีอัตราส่วนความหนาของชั้นฟิล์มเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 48
ภาพที่ 3.22 การศึกษาอัตราส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนกับผงซิงก์ออกไซด์ เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมีอัตราส่วนผสมเป็น 1:3 , 1:1 และ 3:2 50

ภาพที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของ a) ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน b) ผงซิงก์ออกไซด์ และ c) ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด 51
ภาพที่ 4.2 รามานสเปกตรัมของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และ ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด 52
ภาพที่ 4.3 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มผงซิงก์ออกไซด์
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มผงซิงก์ออกไซด์ 53
ภาพที่ 4.4 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน 54
ภาพที่ 4.5 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์เตตระพอด
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์เตตระพอด 55
ภาพที่ 4.6 สรุปประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ช่วงความหนา 1- 4 ชั้นเทป 57
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีโฟโตอิเล็กโทรดเป็นซิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ 58
ภาพที่ 4.8 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มสองชั้นซิงก์ออกไซด์ NP/P
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/P 60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

ภาพที่ 4.9 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มสองชั้น NP/P เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/P เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ 62

ภาพที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพ ของภาคตัดขวางบริเวณรอยต่อของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/P 63

ภาพที่ 4.11 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มสองชั้น NP/T
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/T 65

ภาพที่ 4.12 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มสองชั้น NP/T เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/T เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ 67

ภาพที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพ ของภาคตัดขวางบริเวณรอยต่อของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/T 68

ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีซิงก์ออกไซด์ผสม (NP+P) เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ช่วงความหนา 1 - 4 ชั้นเทป 70

ภาพที่ 4.15 a) J-V Characteristic Curves ของฟิล์มผสม NP+P เทียบกับแบบไม่ผสม
b) อิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มผสม NP+P เทียบกับแบบไม่ผสม 71

ภาพที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมซิงออกไซด์อนุภาคนาโน กับผงซิงก์ออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ a) อัตราส่วน 1:3
b) อัตราส่วน 1:1 และ c) อัตราส่วน 3:2 73

ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกับงานวิจัยอื่นๆ 78

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved