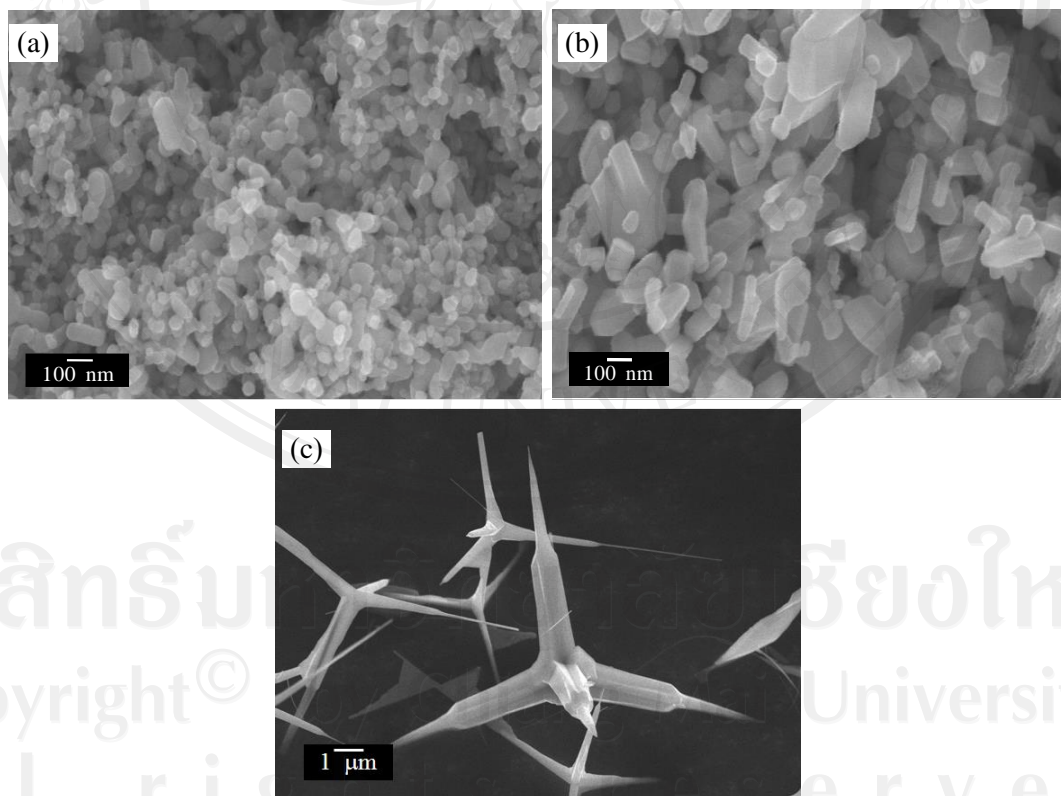


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

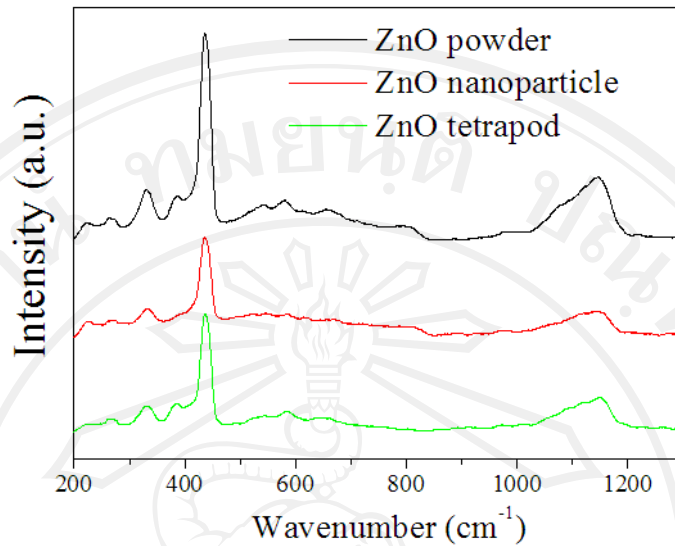
งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของสารด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อยืนยันขนาดอนุภาคของสาร และทดสอบลักษณะทางแสงด้วยเครื่องรามาน (Raman spectroscopy) ขนาดอนุภาค และสเปกตรัมรามานของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ได้ผลดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของ a) ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน

b) ผงซิงก์ออกไซด์ และ c) ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

จากภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะพื้นผิวและขนาดอนุภาคของสารซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กกว่า 100 nm , ผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคโตกว่า 100 nm และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ที่มีขนาดอนุภาคโตกว่า 100 nm จนถึง $1\ \mu\text{m}$

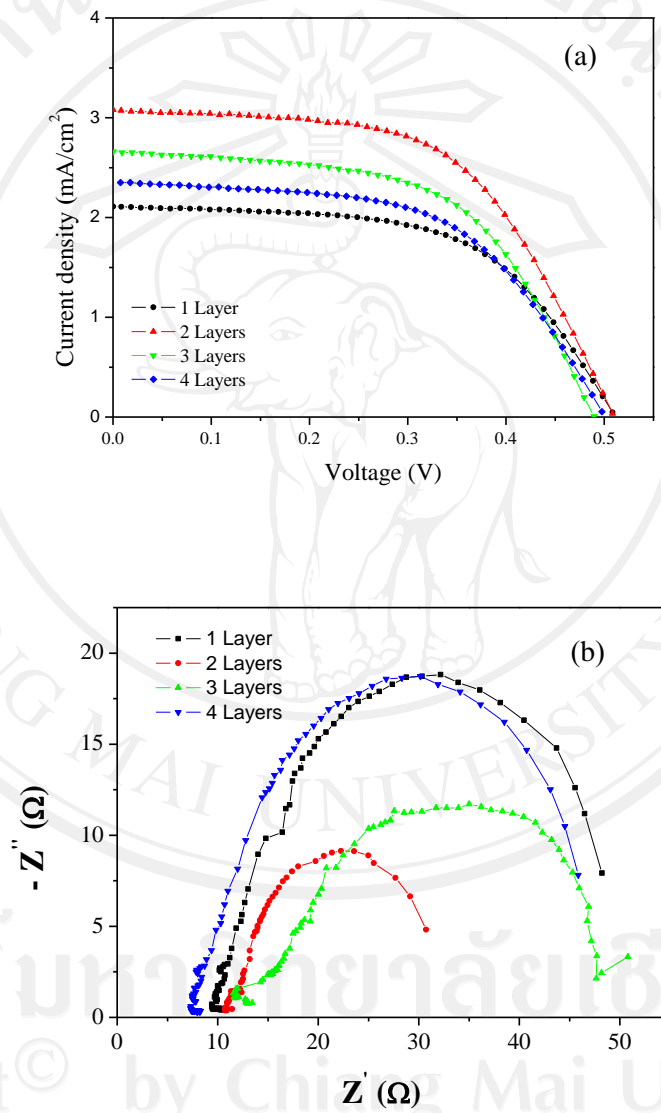


ภาพที่ 4.2 รามานสเปกตรัมของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

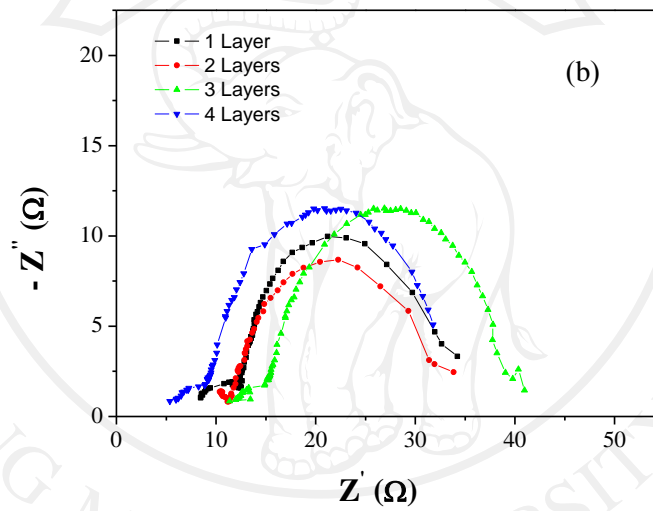
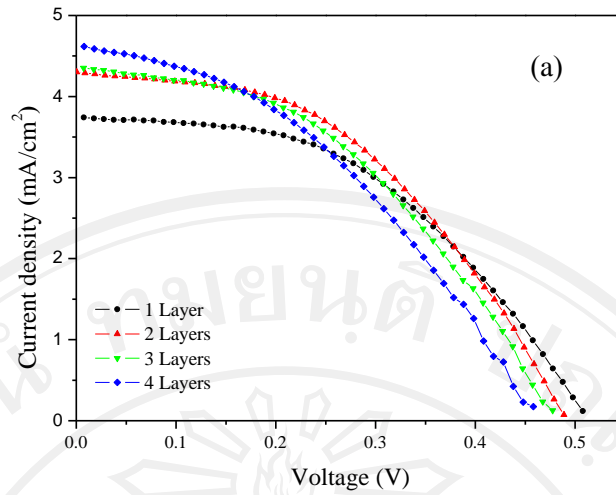
จากภาพที่ 4.2 แสดงรามานสเปกตรัมของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ซึ่งแสดงลักษณะของพีคที่เหมือนกัน ตำแหน่งที่เกิดพีคตรงกัน และเป็นรูปแบบรามานสเปกตรัมของสารซิงก์ออกไซด์เหมือนกัน

4.2 ผลการศึกษาชั้นความหนาที่เหมาะสมของ ชิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงชิงก์ออกไซด์ และ ชิงก์ออกไซด์ระพอด เพื่อใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง ที่ ความหนา 1 – 4 ชั้นเทป เพื่อใช้อ้างอิง

ผลการศึกษาชั้นความหนาของฟิล์มชิงก์ออกไซด์ แบบต่างๆ ซึ่งใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ได้ผลการทดสอบแสดงดังภาพ ที่ 4.3 - 4.5 และตารางที่ 4.1

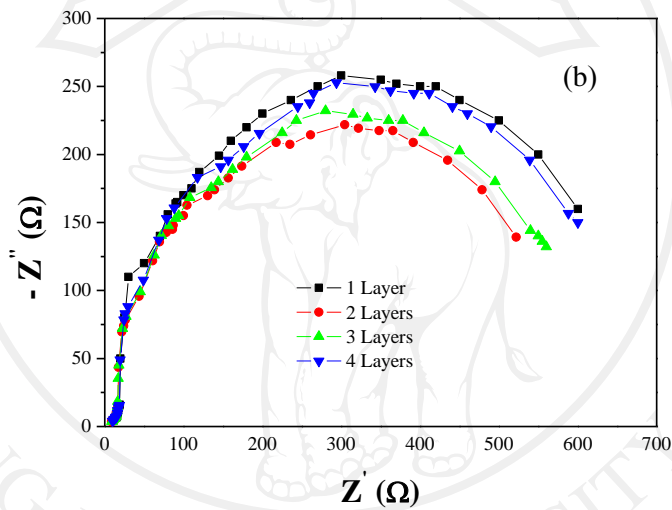
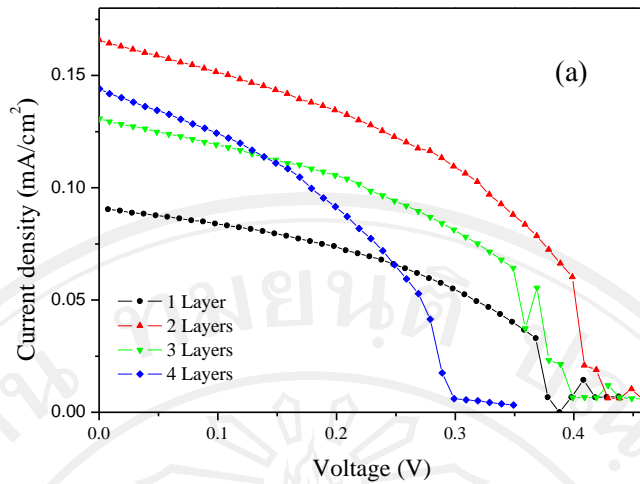


ภาพที่ 4.3 a) J-V characteristic curves ของฟิล์ม ผงชิงก์ออกไซด์
 b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์ม ผงชิงก์ออกไซด์



ภาพที่ 4.4 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน
 b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved



ภาพที่ 4.5 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์เตตระพอด
 b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทั้งหมด ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโฟโตอิเล็กโทรดเป็น
 ชิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ ที่ความหนา 1 – 4 ชั้นเทป a) มีผงชิงก์ออกไซด์เป็นฐาน
 b) มีชิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฐาน และ c) มีชิงก์ออกไซด์เตตระพอด เป็นฐาน

a)

ZnO-powder	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
1 ชั้นเทป	2.11	0.51	0.59	0.62	38.62
2 ชั้นเทป	3.07	0.51	0.57	0.89	22.74
3 ชั้นเทป	2.66	0.49	0.57	0.74	27.72
4 ชั้นเทป	2.35	0.50	0.56	0.66	36.98

b)

ZnO-nanoparticle	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
1 ชั้นเทป	3.74	0.51	0.47	0.90	24.08
2 ชั้นเทป	4.30	0.49	0.46	0.96	20.14
3 ชั้นเทป	4.35	0.48	0.44	0.91	23.26
4 ชั้นเทป	4.62	0.46	0.40	0.84	23.23

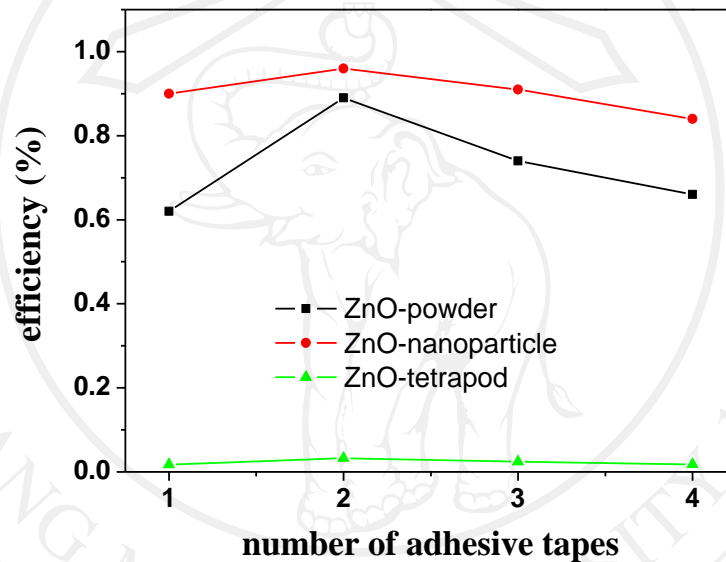
c)

ZnO-tetrapod	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
1 ชั้นเทป	0.09	0.44	0.42	0.017	650.8
2 ชั้นเทป	0.17	0.48	0.41	0.033	523.8
3 ชั้นเทป	0.13	0.48	0.39	0.024	603.5
4 ชั้นเทป	0.14	0.35	0.36	0.018	644.2

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ความหนาของฟิล์มชิงก์ออกไซด์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีความ
 หนาที่เหมาะสมอยู่ที่สองชั้นเทปเหมือนกันทั้งสามแบบ โดยที่ชิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน
 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด รองลงมาคือผงชิงก์ออกไซด์ ส่วนชิงก์ออกไซด์เตตระพอด
 ให้ประสิทธิภาพที่ต่ำมาก ซึ่งสามารถสรุปเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพของชิงก์ออกไซด์ทั้งสาม
 แบบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.6

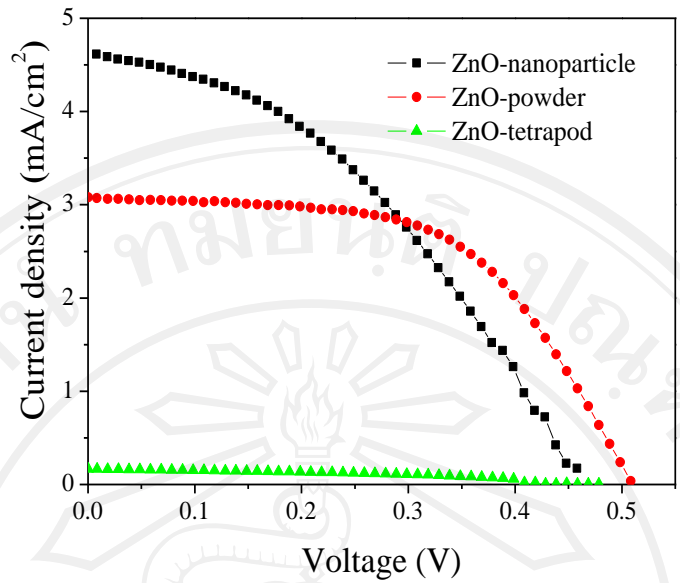
ตารางที่ 4.2 สรุปประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง
ที่ความหนา 1 - 4 ชั้นเทป

จำนวนชั้น เทป	ประสิทธิภาพ ; Eff.(%)		
	ZnO-powder	ZnO-nanoparticle	ZnO-tetrapod
1	0.62	0.90	0.017
2	0.89	0.96	0.033
3	0.74	0.91	0.024
4	0.66	0.84	0.018



ภาพที่ 4.6 สรุปประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง
ในช่วงความหนา 1- 4 ชั้นเทป

เพื่อการวิเคราะห์ความแตกต่างของซิงก์ออกไซด์ทั้ง 3 แบบอย่างชัดเจน จะพิจารณา
ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงเฉพาะที่ความหนา 2 ชั้นเทป
เปรียบเทียบกับกัน ดังแสดงใน ภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีโฟโตอิเล็กโทรดเป็นซิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพ และค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีโฟโตอิเล็กโทรดเป็นซิงก์ออกไซด์แบบต่างๆ ที่ความหนา 2 ชั้นเทพ

ชั้นโฟโตอิเล็กโทรด	J_{SC} (mA/cm ²)	V_{OC} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
ZnO-powder	3.07	0.51	0.57	0.89	22.74
ZnO-nanoparticle	4.30	0.49	0.46	0.96	20.14
ZnO-tetrapod	0.17	0.48	0.41	0.033	523.8

จากภาพที่ 4.7 วิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และแสดงดังในตารางที่ 4.3 พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่มีซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นโฟโตอิเล็กโทรด ให้ค่า J_{SC} ที่สูงกว่าถึง 4.30 mA/cm² ซึ่งเป็นผลมาจากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่มีค่ามากกว่า เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็ก จึงมีพื้นที่ในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้มากกว่า ส่วนวงซิงก์ออกไซด์นั้นซึ่งมีขนาดอนุภาคโตกว่า 100 nm ทำให้สมบัติเรื่องการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสง ดีกว่าแบบอนุภาคนาโน ซึ่งทำให้ค่า J_{SC} ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับอนุภาคนาโน แต่เมื่อดูในส่วนของค่า FF วงซิงก์ออกไซด์ ให้ค่าที่สูงกว่าถึง 0.57 และสำหรับซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

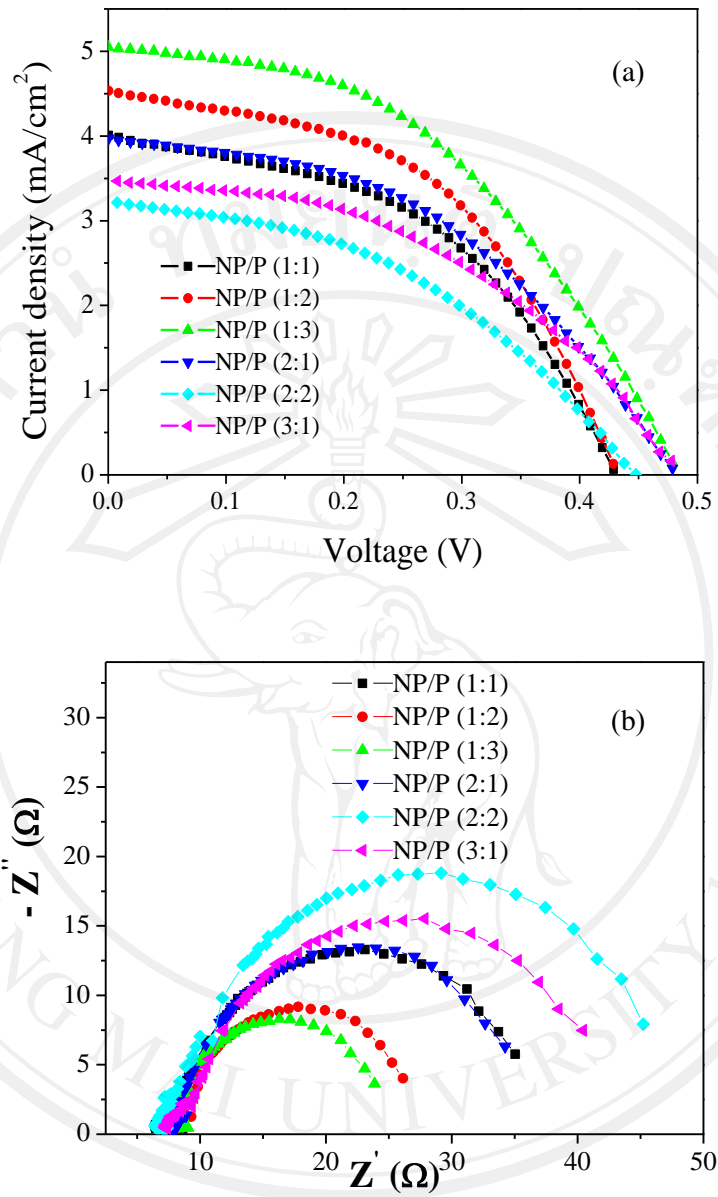
นั่น ให้ค่า J_{sc} ที่ต่ำมาก ประสิทธิภาพของเซลล์จึงมีค่าน้อยมาก ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคที่ใหญ่ และการ ยึดเกาะกับพื้นผิวของกระจก FTO ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนค่า V_{oc} นั้น ซิงก์ออกไซด์ทั้งสามแบบ ให้ค่าอยู่ที่ประมาณ 0.5 V ซึ่งไม่ต่างกันมากนัก

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนความหนาที่เหมาะสม ของ ZnO แต่ละชั้นฟิล์ม เพื่อประยุกต์ใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แบบฟิล์มสองชั้น ที่อัตราส่วนความหนา 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 โดยใช้ชั้นเทปเป็นตัวควบคุม และใช้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฟิล์มชั้นล่าง

4.3.1 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ผงซิงก์ออกไซด์

ผลการทดลอง ดังแสดงใน ภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



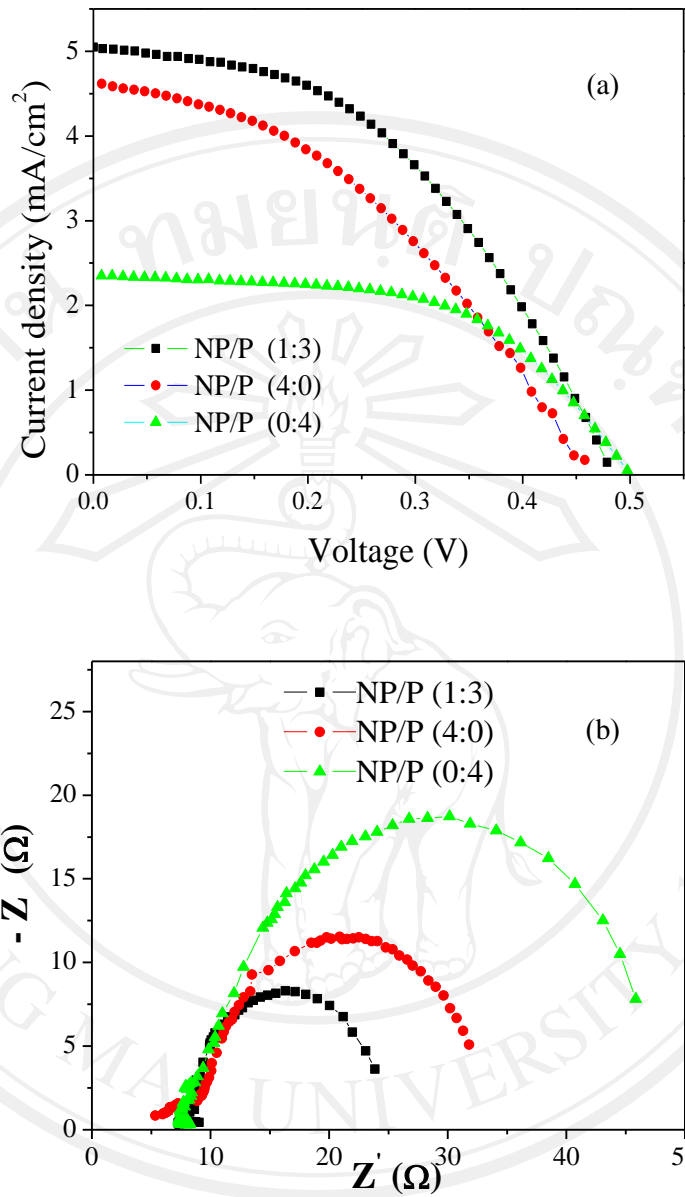
ภาพที่ 4.8 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มสองชั้น NP/P
 b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/P

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
 All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่ขั้วอมไวแสง
แบบฟิล์มสองชั้น NP/P

Thickness NP/P	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
NP/P (1:1)	4.01	0.43	0.47	0.81	26.43
NP/P (1:2)	4.53	0.43	0.49	0.96	18.13
NP/P (1:3)	5.05	0.48	0.45	1.10	16.44
NP/P (2:1)	3.97	0.48	0.45	0.85	26.51
NP/P (2:2)	3.23	0.45	0.42	0.61	37.17
NP/P (3:1)	3.48	0.48	0.45	0.75	30.84

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน/ผงซิงก์ออกไซด์ (NP/P) ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดถึง 1.10 % ที่อัตราส่วนความหนา 1:3 ชั้นเทป ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับ แบบฟิล์มชั้นเดียวซึ่งใช้อ้างอิง โดยใช้ข้อมูลที่ชั้นความหนา 4 ชั้นเทป วิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.5



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

b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/P เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ

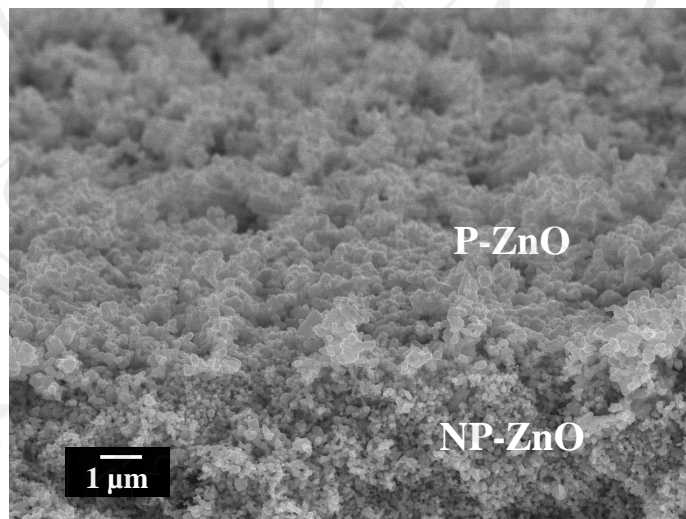
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของฟิล์มสองชั้น NP/P เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ

Thickness NP/P	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
NP/P (0:4)	2.35	0.50	0.56	0.66	36.98
NP/P (4:0)	4.62	0.46	0.40	0.84	23.23
NP/P (1:3)	5.05	0.48	0.45	1.10	16.44

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ค่า R_{CT} ซึ่งหมายถึงค่าความต้านทานบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นสารกึ่งตัวนำซิงก์ออกไซด์ สีย้อมไวแสง และอิเล็กโทรไลต์ พบว่าฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/P ที่อัตราส่วนความหนา 1:3 ชั้นเทพ มีค่าที่ลดลงจากเดิม เมื่อเทียบกับฟิล์มที่เป็นแบบชั้นเดียว ที่ใช้เป็นเซลล์อ้างอิง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการไหลของอิเล็กตรอนภายในเซลล์ดีขึ้น เนื่องจากมีความหนาแน่นกระแสสังวจร (J_{sc}) ที่มากถึง 5.05 mA/cm² ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นนั่นเอง

เพื่อการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/P ได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มสองชั้น รอยต่อของฟิล์มทั้งสอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลดังภาพที่ 4.10



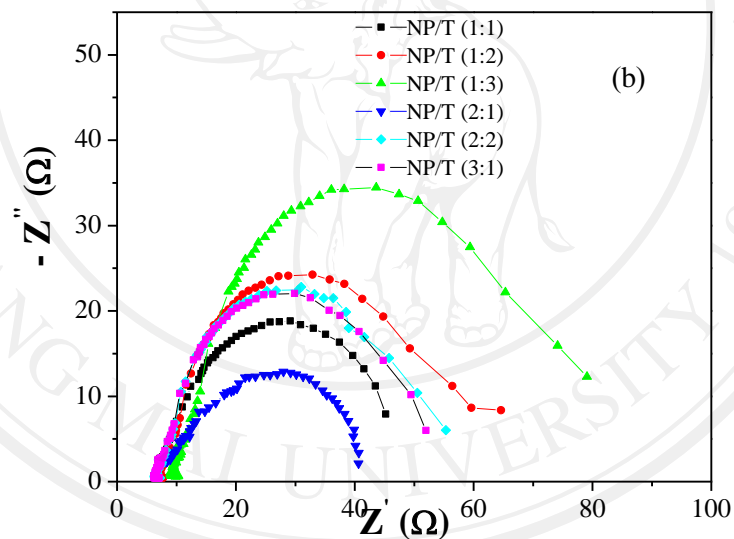
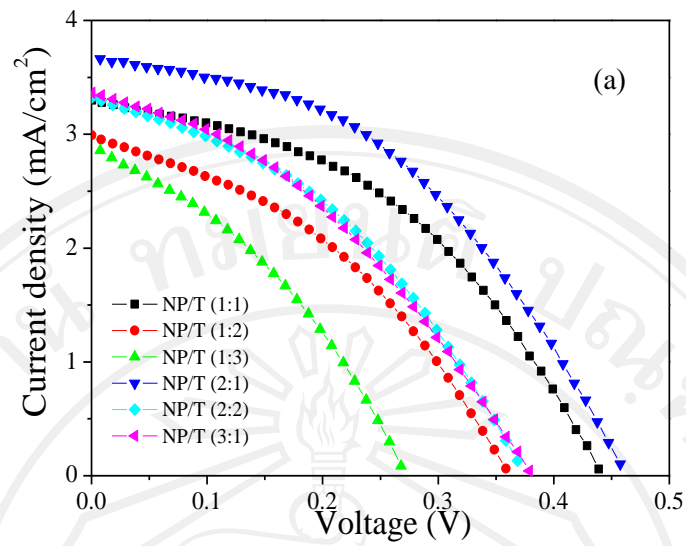
ภาพที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพ ของภาคตัดขวางบริเวณรอยต่อของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/P

จากภาพที่ 4.10 แสดงลักษณะของผิวรอยต่อฟิล์มสองชั้นซิงก์ออกไซด์ NP/P โดยมีชั้นล่างเป็นชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน ซึ่งเป็นชั้นที่ติดกับกระจก FTO และชั้นบนเป็นชั้นของผงซิงก์ออกไซด์ ซึ่งภาพนี้เป็นฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/P ที่มีอัตราส่วนความหนาของชั้นเป็น 1:3 สังเกตได้จากชั้นล่าง ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า เป็นชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน ส่วนชั้นบนมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า เป็นชั้นของผงซิงก์ออกไซด์ ลักษณะการยึดเกาะกันที่บริเวณรอยต่อของชั้นฟิล์มค่อนข้างยึดติดกันแน่นเหมือนเป็นชั้นเดียวกัน

4.3.2 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

ผลการทดลอง ดังแสดงใน ภาพที่ 4.11 และตารางที่ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



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

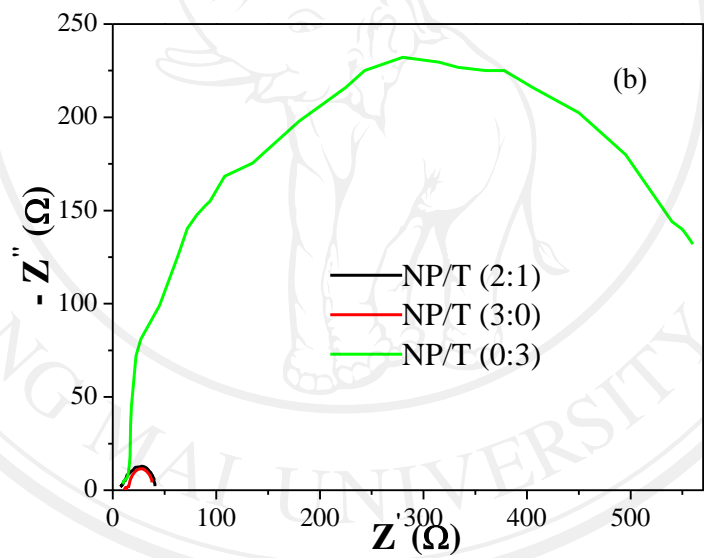
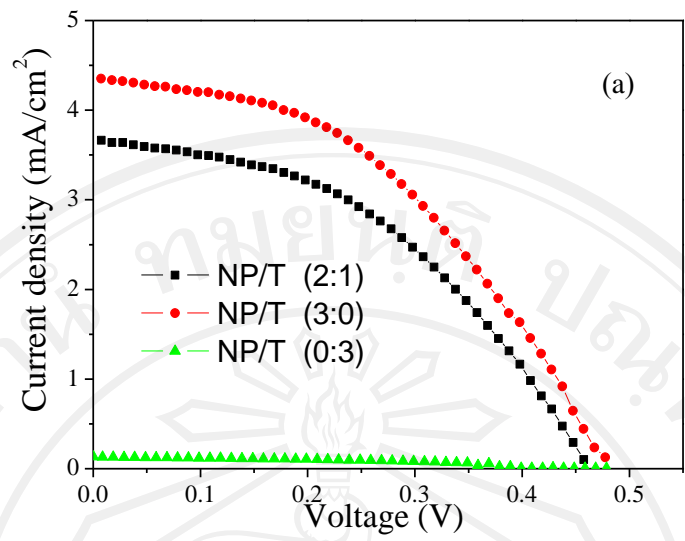
b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/T

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง
แบบฟิล์มสองชั้น NP/T

Thickness NP/T	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
NP/T (1:1)	3.30	0.44	0.44	0.63	38.17
NP/T (1:2)	2.99	0.36	0.39	0.42	52.53
NP/T (1:3)	2.90	0.27	0.36	0.28	78.27
NP/T (2:1)	3.68	0.46	0.44	0.74	26.10
NP/T (2:2)	3.32	0.37	0.40	0.49	50.67
NP/T (3:1)	3.36	0.38	0.37	0.48	48.36

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน/ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด (NP/T) ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 0.74 % ที่อัตราส่วนความหนา 2:1 ชั้นเทป ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับ แบบฟิล์มชั้นเดียวซึ่งใช้อ้างอิง โดยใช้ข้อมูลที่ชั้นความหนา 3 ชั้นเทป วิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.12 และตารางที่ 4.7



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

b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มสองชั้น NP/T เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ

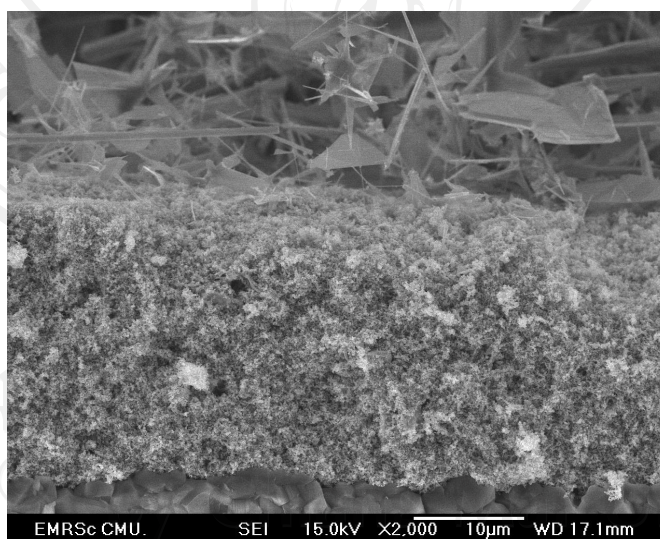
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ค่าค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของฟิล์มสองชั้น NP/T เทียบกับแบบชั้นเดียวปกติ

Thickness NP/P	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
NP/T (0:3)	0.13	0.48	0.39	0.024	603.5
NP/T (3:0)	4.35	0.48	0.44	0.91	23.26
NP/T (2:1)	3.68	0.46	0.44	0.74	26.10

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/T ให้ค่าได้ไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อเทียบกับ เซลล์อ้างอิงที่เป็นแบบซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนอย่างเดียว และเมื่อเทียบกับเซลล์อ้างอิงที่เป็นแบบซิงก์ออกไซด์เตตระพอดอย่างเดียว พบว่าประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสมบัติของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่เป็นฟิล์มสองชั้นร่วมกัน ที่มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลของสีเขียวได้ดีกว่า ทำให้ค่า J_{sc} เพิ่มขึ้นจาก 0.13 เป็น 3.68 mA/cm² อีกทั้งซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน ยังสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของกระจกนำไฟฟ้าได้ดีกว่าซิงก์ออกไซด์เตตระพอด อีกด้วย

เพื่อการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/T ได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มสองชั้น รอยต่อของฟิล์มทั้งสอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพ ของภาคตัดขวางบริเวณรอยต่อของฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/T

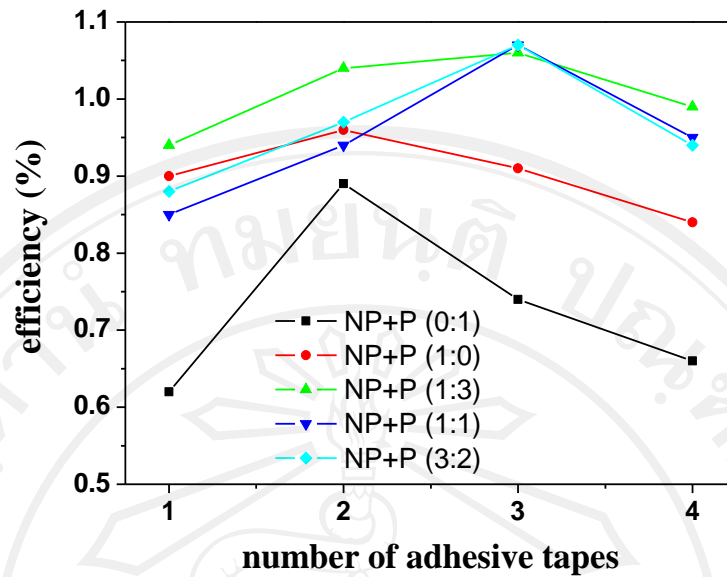
จากภาพที่ 4.13 แสดงลักษณะทางกายภาพของผิวรอยต่อฟิล์มสองชั้นซิงก์ออกไซด์ NP/T โดยมีชั้นล่างเป็นชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน ซึ่งเป็นชั้นที่ติดกับกระจก FTO และชั้นบนเป็นชั้นของซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ซึ่งภาพนี้เป็นฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์ NP/T ที่มีอัตราส่วนความหนาของชั้นเป็น 2:1 สังเกตได้จากชั้นล่าง ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า เป็นชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน ส่วนชั้นบนเป็นชั้นของซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ซึ่งมีลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างชั้นฟิล์มทั้งสองไม่ค่อยแน่นเท่าที่ควร ซึ่งเป็นแบบหลวมๆ

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

ผลการศึกษา การหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ ที่จะใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้ซิงออกไซด์อนุภาคนาโนผสมกับผงซิงก์ออกไซด์ (NP+P) ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ในช่วงความหนา 1 – 4 ชั้นเทป ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11

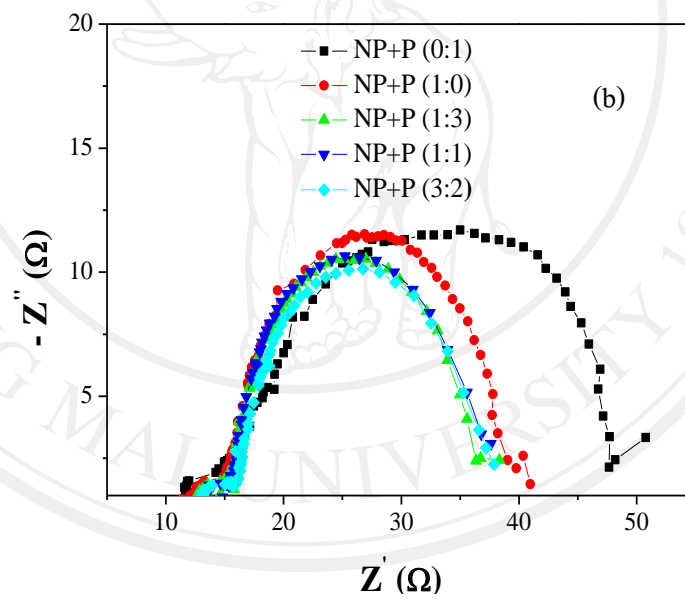
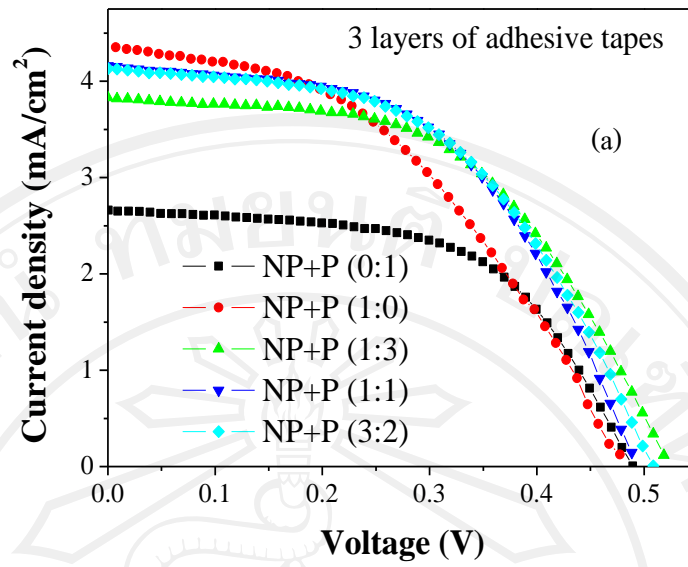
ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีซิงก์ออกไซด์ผสม (NP+P) เป็นโฟโตอิเล็กโทรด เทียบกับแบบไม่ผสม ในช่วงความหนา 1 - 4 ชั้นเทป

จำนวนชั้นเทป	ประสิทธิภาพ ; Eff.(%)				
	NP+P (0:1)	NP+P (1:0)	NP+P (1:3)	NP+P (1:1)	NP+P (3:2)
1	0.62	0.90	0.94	0.85	0.88
2	0.89	0.96	1.04	0.94	0.97
3	0.74	0.91	1.06	1.07	1.07
4	0.66	0.84	0.99	0.95	0.94



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

จากตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.14 จะเห็นว่า ฟิล์มซิงก์ออกไซด์ผสม NP+P ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ความหนา 3 ชั้นเทปเหมือนกัน และพบว่า ทุกอัตราส่วนผสมของ NP+P ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้นถึงกว่า 1.07 % ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับ แบบที่ไม่ได้ผสม โดยใช้ข้อมูลที่มีความหนา 3 ชั้นเทป วิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.15 และตารางที่ 4.9



ภาพที่ 4.15 a) J-V characteristic curves ของฟิล์มผสม NP+P เทียบกับแบบไม่ผสม

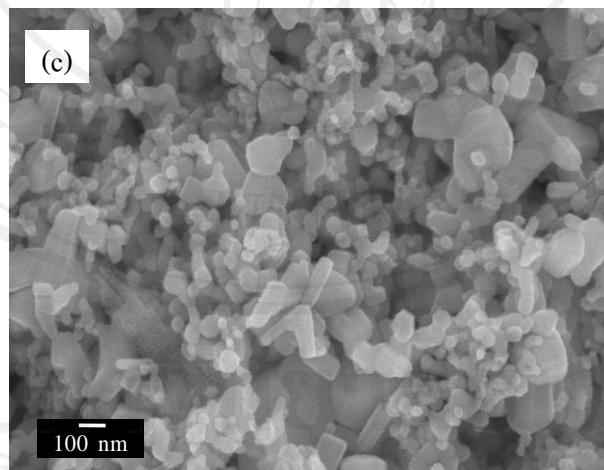
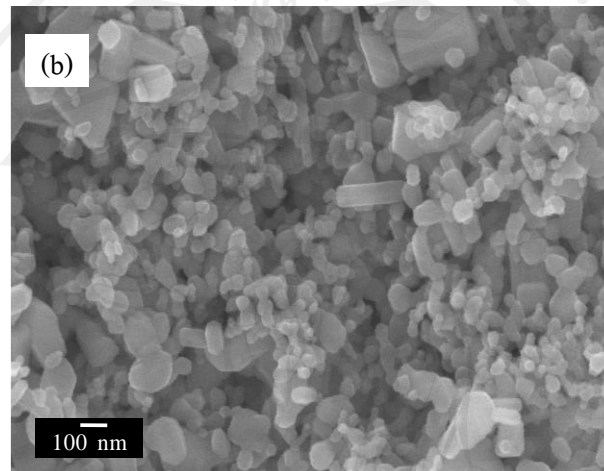
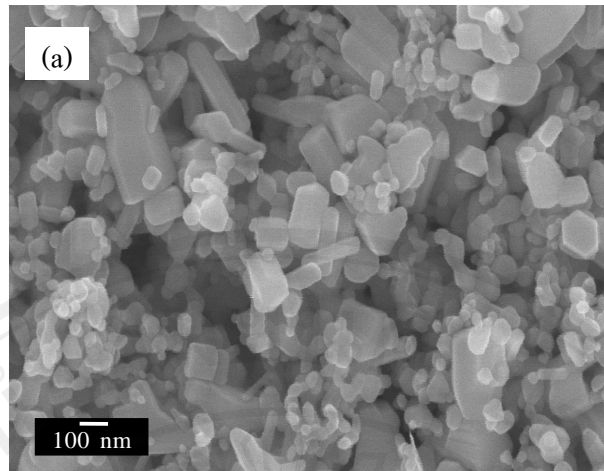
b) อิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้าสเปกโทรสโคปี ของฟิล์มผสม NP+P เทียบกับแบบไม่ผสม

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ของฟิล์มผสม NP+P เทียบกับแบบไม่ผสม

Mixed ZnO	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	R_{CT} (Ω /cm ²)
NP+P (0:1)	2.66	0.49	0.57	0.74	27.72
NP+P (1:0)	4.35	0.48	0.44	0.91	23.26
NP+P (1:3)	3.83	0.52	0.53	1.06	21.09
NP+P (1:1)	4.16	0.49	0.53	1.07	21.47
NP+P (3:2)	4.13	0.51	0.51	1.07	20.59

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ค่า R_{CT} ซึ่งหมายถึงค่าความต้านทานบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นสารกึ่งตัวนำซิงก์ออกไซด์ สีข้อมไวแสง และอิเล็กโทรไลต์ พบว่าฟิล์มแบบผสมให้ค่าที่ลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่เป็นแบบไม่ผสมซึ่งใช้เป็นเซลล์อ้างอิง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการไหลของอิเล็กตรอนภายในเซลล์ดีขึ้น และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นนั่นเอง

เพื่อการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ผสม ได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมทุกอัตราส่วน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อยืนยันขนาดอนุภาคของสาร ได้ผลดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมซิงออกไซด์อนุภาคนาโน กับ ผงซิงออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ a) อัตราส่วน 1:3 b) อัตราส่วน 1:1 และ c) อัตราส่วน 3:2

จากภาพที่ 4.16 แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ผสม NP+P พบว่า ภาพ a) ซึ่งมีอัตราส่วนผสม NP+P เป็น 1:3 จากภาพแสดงให้เห็นปริมาณอนุภาคของผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่เป็นส่วนมาก และอนุภาคขนาดเล็กของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นส่วนน้อย ภาพ b) ซึ่งมีอัตราส่วนผสม NP+P เป็น 1:1 จากภาพแสดงให้เห็นปริมาณอนุภาคของผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และอนุภาคขนาดเล็กของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน ที่มีในปริมาณเท่า ๆ กัน ส่วนภาพ c) ซึ่งมีอัตราส่วนผสม NP+P เป็น 3:2 แสดงให้เห็นปริมาณอนุภาคของผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่เป็นส่วนน้อย และอนุภาคขนาดเล็กของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นส่วนมาก ซึ่ง
เป็นไปตามอัตราส่วนผสมข้างต้น



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved