บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของฟิล์มบาง ZnO เป็นชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ZnO ฟิล์มบาง ZnO เตรียมโดยวิธีการระเหยด้วยความร้อนและวิธีการสปาร์ค 0.5, 1.5, 2.5 รอบของการสปาร์ค บนแผ่นรองรับกระจก ในส่วนของสรุปผลการทดลองนี้แบ่งออกเป็นหัวข้อตามผลการทดลอง ที่ได้จากการนำไปวิเคราะห์พื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) ศึกษาสมบัติทางแสงโดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและสัมประสิทธิ์การสะท้อนด้วยยูวี วิสซิเบิล สเปคโทรสโคปี (UV-vis spectroscopy) วัดค่าดัชนีหักเหและความหนาของฟิล์มได้จากอิลิปโซเมททรี (ellipsometry) และผลจากการประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซิงก์ออกไซด์ ส่วนประกอบของเซลล์คือ ZnO thin films/glass/FTO/ZnO ใช้เป็นโฟโตอิเล็กโทรด Eosin Y ใช้เป็นสีย้อม ไอโอดีน/ไอโอไดน์ ใช้เป็นสารละลายอิเล็กโตรไลต์ และ Pt/FTO/glass ใช้เป็นเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด เซลล์แสงอาทิตย์ถูกทดสอบภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งจำลองสภาวะ AM1.5 มีความเข้มแสง 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จากเครื่องจำลองแสงอาทิตย์

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วย FE-SEM

ฟิล์มบาง ZnO ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงซึ่งเตรียมโดยวิธีการ sparking ได้ฟิล์มที่โครงสร้างเป็นอนุภาคนาโนและมีพื้นผิวที่ขรุขระ เป็นรูพรุนมากกว่าฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมโดยกระบวนการระเหยด้วยความร้อนมีพื้นผิวที่ขรุขระและมีขนาดใหญ่มากกว่า 100 nm และมีขนาดใหญ่กว่าฟิล์มที่เตรียมจากกระบวนการ sparking ที่มีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคนาโนคือประมาณ 20-30 nm นอกจากนี้ความหนาแน่นของอนุภาคนาโนมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการ spark

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วย UV-visible spectroscopy

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นของฟิล์มที่เตรียมโดยการระเหยด้วยความร้อนมีค่าน้อยลงและมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับฟิล์มที่เตรียมโดยวิธี sparking เมื่อเทียบกับตัวอ้างอิง โดยเฉพาะ ฟิล์ม sparking ที่เงื่อนไข 0.5 รอบ และ 1.5 รอบ แสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของการทะลุผ่านของแสงได้สูงกว่าตัวอ้างอิงและฟิล์มที่เตรียมโดยการระเหยด้วยความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฟิล์มบาง ZnO ที่เตรียมโดยกระบวนการระเหยด้วยความร้อนและวิธีการ sparking ที่ 0.5, 1.5, 2.5 รอบ เทียบกับตัวอ้างอิงที่เป็นกระจก ผลปรากฏว่าฟิล์มที่เตรียมโดยวิธีการ sparking สามารถที่จะช่วยลดการสะท้อนแสงและเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บแสงในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างเมื่อเทียบกับฟิล์มที่เตรียมด้วยกระบวนการระเหยด้วยความร้อนและตัวอ้างอิง ซึ่งฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธี sparking ที่ 1.5 รอบ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงน้อยที่สุด

5.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอิลิปโซเมททรี

ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มที่เตรียมโดยวิธีการ sparking มีค่าที่ต่ำกว่าค่าดัชนีหักเหของแผ่นรองรับและฟิล์มที่เตรียมโดยกระบวนการระเหยด้วยความร้อน โดยเฉพาะฟิล์มที่เตรียมโดยวิธีการ sparking ที่ 1.5, 2.5 รอบ มีค่าดัชนีหักเหที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแผ่นรองรับและอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้ว ชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงจะต้องมีค่าดัชนีหักเหอยู่ระหว่างอากาศ ($n \approx 1$) และตัวที่รับแสงหรือแผ่นรองรับ ส่วนความหนาที่วิเคราะห์ได้พิจารณาที่การ sparking 1.5 รอบ เพราะค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฟิล์มมีค่าน้อยที่สุด เมื่อคำนวณความหนาตามทฤษฎีและใช้ดัชนีหักเหแสงที่ความยาวคลื่น 632.8 nm มีค่า 1.52 ดังนั้นความหนาของฟิล์มบางที่เตรียมโดยวิธีการ sparking 1.5 รอบ จะต้องมีค่า 104.08 nm แต่ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอิลิปโซเมทรีได้ความหนาเพียง 59.17 nm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าตามทฤษฎี เพราะว่าตามทฤษฎีใช้สำหรับฟิล์มบางที่ลักษณะพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอตลอดทั้งพื้นผิวแต่ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีพื้นผิวที่มีความขรุขระไม่สม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1.4 สรุปผลการวัดประสิทธิภาพและความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การเคลือบชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง ZnO ด้วยวิธีการ sparking 1.5 รอบ ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด 0.8% เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่มีประสิทธิภาพ 0.43% พบว่ามีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 86.04% ซึ่งเป็นการแสดงว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยการเคลือบฟิล์มบาง ZnO เป็นชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง เนื่องจากสามารถลดค่าการสะท้อนแสงและเพิ่มการทะลุผ่านของแสงไปยังโมเลกุลของสีย้อมจึงทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้น เพราะว่าปริมาณของพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น จึงทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) มีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งผลการทดลองค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยวิธีการ sparking มีค่าสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยกระบวนการระเหยด้วยความร้อนและเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง โดยเฉพาะเงื่อนไขของการ sparking 1.5 รอบ ให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงถึง 4.34 mA/cm^2เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงซึ่งมีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร 3.00 mA/cm^2 ซึ่งมีค่าสูงขึ้นถึง 44.67% เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทาน R_{sh} และ R_s ปรากฏว่าค่าความต้านทาน R_{sh} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง ZnO ด้วยวิธีการ sparking ให้ค่าที่สูงกว่าที่เตรียมด้วยวิธีการระเหยด้วยความร้อน จึงทำให้ค่า FF และ E_{ff} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง ZnO ด้วยวิธีการ sparking มีค่าที่สูงด้วยเช่นกันเพราะเนื่องจากค่าความต้านทาน R_{sh} มีค่าที่จะช่วยต้านการคืนตัวของอิเล็กตรอนจึงต้องมีค่าที่สูง ซึ่งในทางตรงกันข้ามกับผลของความต้านทาน R_s ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง ZnO ด้วยวิธีการ sparking ให้ค่าที่ต่ำกว่า ที่เตรียมด้วยวิธีการระเหยด้วยความร้อน แต่ทำให้ค่า FF และ E_{ff} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยชั้นต่อต้านการสะท้อนแสง ZnO ด้วยวิธีการ sparking มีค่าที่สูงขึ้น เพราะค่าความต้านทาน R_s คือความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีค่าน้อยเพื่อจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สูงนั่นเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5.1 ตารางการเปรียบเทียบการทดลองและผลการทดลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมในการศึกษาค้นคว้าอิสระกับงานวิจัยอื่นๆ [10], [11], [12]

cell	**งานวิจัยครั้งนี้**					**K.W.Sun**
anti-reflection layer	without anti-reflection	ZnO thermal evaporation	sparking ZnO 0.5 cycles	sparking ZnO 1.5 cycles	sparking ZnO 2.5 cycles	ZnO nanorod
solar cell	DSSCs	DSSCs	DSSCs	DSSCs	DSSCs	Si solar cell
refractive index	1.65	1.68	1.64	1.46	1.50	-
Mean reflectance (%R) (%)	5.40	7.66	2.32	2.15	2.16	6.33
J_{sc} (mA/cm^2)	3.00	2.89	3.82	4.34	3.70	44.50
V_{oc} (Volts)	0.46	0.49	0.46	0.47	0.47	0.50
FF (%)	31.29	24.58	32.95	41.83	36.74	-
E_{ff} (%)	0.43	0.35	0.57	0.80	0.63	12.80
cell	**W.J.Aziz**			**B.K.Shin**		
anti-reflection layer	PS coating	ZnO/TiO2 coating	SiO2 coating	Bare CIGS	Flat ZnO NR	Conical ZnO NR
solar cell	Si solar cell	Si solar cell	Si solar cell	CIGS	CIGS	CIGS
refractive index	-	-	-	1.90	1.56	1.30
Mean reflectance (%R) (%)	0.15	0.22	0.23	6.14	2.58	1.46
J_{sc} (mA/cm^2)	12.40	6.00	5.10	30.10	33.70	35.00
V_{oc} (Volts)	0.44	0.37	0.34	0.56	0.56	0.56
FF (%)	82.00	79.00	77.00	59.00	58.00	58.00
E_{ff} (%)	11.23	4.41	3.34	10.00	10.90	11.50

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 ข้อเสนอแนะ

ภาพรวมของงานที่ต่อยอดทำได้ต่อไปทางด้านเทคนิคการทดลอง

1. จากวิธีการเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการsparking ให้พื้นผิวไม่เรียบและไม่สม่ำเสมอ กระจายไม่ทั่วถึง จึงทำให้วิเคราะห์ความหนาของฟิล์มได้ยาก ควรหาวิธีการใหม่ที่สามารถเคลือบฟิล์มได้ทั่วทั้งชั้นฟิล์ม ZnO
2. ในการเตรียมฟิล์มบาง ZnO เพื่อเป็นชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงจำเป็นต้องระมัดระวังไม่ให้ฟิล์มถูกสัมผัส และ ควรหาวิธีการแช่สีย้อมไม่ให้สัมผัสกับชั้นฟิล์มบาง ZnO เพราะอาจจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมไปเกาะกับชั้นต่อต้านการสะท้อนแสงได้
3. ในการวิเคราะห์ความหนาด้วยอิลิปโซเมททรีนั้นเป็นการวิเคราะห์หาความหนาที่ความยาวคลื่นเดียวจึงทำให้ค่าความหนาที่วัดซ้ำแต่ครั้งได้ไม่เท่ากัน จึงเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดด้วย ดังนั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มบางด้วยวิธีการอื่นเพื่อมาเปรียบด้วย เช่น การวิเคราะห์ด้วย RBS
4. ควรมีเครื่องมือที่ช่วยให้การสกรีนฟิล์ม ZnO การเตรียมฟิล์ม Pt และการประกอบเซลล์ เพื่อให้การเตรียมเซลล์ได้มาตรฐานและเป็นการลดความผิดพลาดจากการเตรียมเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved