บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการดัดแปลงโฟโตอิเล็กโทรด ด้วยการใช้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด และผงซิงก์ออกไซด์ เป็นฐาน โดยการทำเป็นฟิล์มสองชั้น และฟิล์มแบบผสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งทั้งสองวิธีอาจส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพแก่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ ในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาในหลายๆด้าน เช่น อัตราส่วนความหนาที่เหมาะสมของแต่ละชั้นฟิล์ม และอัตราส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำ รวมถึงเงื่อนไขอื่นๆที่จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงดีขึ้น ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตระพอด

การวิเคราะห์ทางภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) พบว่า ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 *nm* เมื่อเทียบกับขนาดอนุภาคของผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดโตกว่า 100 *nm* และขนาดอนุภาคของซิงก์ออกไซด์เตตระพอดที่มีขนาดโตมากถึงระดับ 1 μm การวิเคราะห์ทางรามานสเปกโทรสโคปีของสาร พบว่าเป็นซิงก์ออกไซด์ทั้งสามแบบ ซึ่งให้พีคของกราฟในลักษณะเดียวกัน

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

จากการศึกษาช่วงความหนาที่เหมาะสมของฟิล์มโฟโตอิเล็กโทรด โดยใช้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ซิงก์อกไซด์เตตระพอด และผงซิงก์ออกไซด์ เป็นฐาน พบว่า ซิงก์ออกไซด์ทั้งสามแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่ความหนา 2 ชั้นเทป เหมือนกันโดยที่ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ให้ประสิทธิภาพ (*Eff.*) เป็น 0.96 %, 0.89 % และ 0.033 % ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนจะให้ค่า J_{SC} ที่สูงกว่า ผงซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากขนาดพื้นที่ผิวของสารในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้แตกต่างกัน ส่วนผงซิงก์ออกไซด์ให้ค่า FF ที่ดีกว่า ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ตามลำดับ

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

จากการดัดแปลงโฟโตอิเล็กโทรด โดยการทำเป็นฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน/ ผงซิงก์ออกไซด์ ที่มีอัตราส่วนความหนาของชั้นฟิล์มเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 ซึ่งกำหนดให้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฟิล์มชั้นล่าง พบว่าอัตราส่วนความหนาของชั้นฟิล์มที่ 1:3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดถึง 1.1 % โดยให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าเซลล์อ้างอิง การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพ สามารถอธิบายได้จากกราฟอิมพีแดนซ์ ซึ่งให้ค่า R_{CT} ของเซลล์ลดลง โดยเป็นผลมาจากความหนาแน่นกระแสที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้มากกว่านั่นเอง อีกทั้งผลของการกระเจิงของแสงที่เพิ่มขึ้น และลดการสะท้อนแสงภายในชั้นสารกึ่งตัวนำซิงก์ออกไซด์ ซึ่งเป็นฟิล์มสองชั้น ที่มีความแตกต่างกันของอนุภาค ทำให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถรับพลังงานแสงได้มากขึ้นกว่าที่เป็นแบบชั้นเดียวปกติ [24, 25]

5.1.3.2 ฟิล์มสองชั้นของ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด

จากการทำโฟโตอิเล็กโทรด โดยการทำเป็นฟิล์มสองชั้นของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน / ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด ที่มีอัตราส่วนความหนาของชั้นฟิล์มเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 2:2 และ 3:1 และกำหนดให้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นฟิล์มชั้นล่าง พบว่าอัตราส่วนความหนาของชั้นฟิล์มที่ 2:1 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 0.74 % ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพที่ไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับฟิล์มซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนอย่างเดียว ซึ่งอาจเป็นมาจากประสิทธิภาพในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้ไม่ดีของซิงก์ออกไซด์เตตระพอดที่เป็นชั้นร่วม อีกทั้งจากภาพถ่าย SEM พบว่าผิวรอยต่อระหว่างชั้นฟิล์มทั้งสองยึดเกาะกันได้ไม่ดี อาจส่งผลทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

การศึกษาอัตราส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโนกับผงซิงก์ออกไซด์ (NP+P) โดยมีอัตราส่วนผสมเป็น 1:3, 1:1 และ 3:2 ตามลำดับ โดยเปลี่ยนความหนาของชั้นฟิล์มที่ 1-4 ชั้นเทปพบว่าทุกอัตราส่วนผสมให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1.07% ที่ความหนา 3 ชั้นเทป ทั้งนี้ที่ความหนาของชั้นฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์อ้างอิงที่หนาเพียง 2 ชั้นเทป อาจเนื่องมาจากการที่เป็นฟิล์มผสม อนุภาคของซิงก์ออกไซด์ที่มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่กว่า 100 *nm* ผสมปนกัน ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณพื้นที่ในการดูดซับสีย้อมมากกว่าเดิม เพื่อให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามากขึ้นด้วย แต่ทั้งนี้ หากความหนาเพิ่มขึ้น อาจส่งผลทำให้มีความต้านทานการไหลของประจุอิเล็กตรอนมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของเซลล์ที่มีการดัดแปลงโฟโตอิเล็กโทรด ด้วยเงื่อนไขต่างๆที่เหมาะสมข้างต้นแล้ว พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ดีขึ้นกว่าเดิม

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ มาเปรียบเทียบค่ากับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากงานงานวิจัยอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 5.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกับงานวิจัยอื่นๆ

Photoelectrode	Substrate	Dye-sensitizer	Efficiency (%)	Researcher
Single Film	ZnO	Eosin Y	2.4	W.J. Lee et all 2006 [2]
Single Film	ZnO	Eosin Y	0.68	S. Choopun et all 2009 [3]
Double-layered Film (NC/NT)	TiO_2	N719	6.15	Hui Xu et all 2010 [4]
Double-layered Film (ZN/ZNP)	ZnO	Eosin Y	1.14	K. Hongsith et all 2013 [24]
Mixed Film (N+A)	TiO_2	N719	7.59	Junting Xi et all 2011 [5]
Double-layered Film (NP/P)	ZnO	Eosin Y	1.10	In this work
Double-layered Film (NP/T)	ZnO	Eosin Y	0.74	In this work
Mixed Film (NP+P)	ZnO	Eosin Y	1.07	In this work

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยการดัดแปลงโฟโตอิเล็กโทรด ด้วยการใช้อนุภาคนาโน, เตตระพอด และผงซิงก์ออกไซด์ มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์ซิงก์อกไซด์เตตระพอด ควรมีการควบคุมปริมาณสาร และเวลาในการเผาเพื่อให้เกิดเป็นซิงก์ออกไซด์เตตระพอดที่สมบูรณ์ในปริมาณมากๆ ซึ่งจากการนำไปส่องด้วยกล้อง SEM จะสังเกตได้ว่า ส่วนใหญ่ลักษณะ morphology ของสารจะเป็นแบบไม่สมบูรณ์

2. อาจเพิ่มเติมลักษณะของสารซิงก์ออกไซด์ที่แตกต่างทางโครงสร้างมากกว่านี้ หรืออาจเปลี่ยนชนิดของสารกึ่งตัวนำสำหรับการทำเป็นฟิล์มสองชั้น หรือฟิล์มผสม เช่น ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม

3. สิ่งที่ควรจะมองในอนาคตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงคือ การที่นำออกมาประยุกต์ใช้ได้จริงซึ่งสิ่งสำคัญคืออายุการใช้งานของเซลล์ที่ต้องนาน ซึ่งควรมีการศึกษาด้านอื่นๆไปด้วย เช่น สารอิเล็กโทรไลต์ ชนิดของสีย้อมไวแสง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved