บทที่ 5
สรุปวิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในการประดิษฐ์เตาเผาชนิดท่อ ทำการปลูก ZnOnanowires บนกระจกนำไฟฟ้าที่มีชั้นของฟิล์มซิงก์เคลือบอยู่ในไอของอะซีโตน ด้วยกระบวนการ chemical vapor deposition(CVD) ที่เงื่อนไขความหนาของชั้นฟิล์มซิงก์ และอัตราการไหลของอะซีโตนต่างๆ โดยที่มีการศึกษาความหนาของชั้นฟิล์มซิงก์และปริมาณของซิงก์ที่ใช้ในกระบวนการ evaporation เพื่อเคลือบฟิล์มบางบนกระจกนำไฟฟ้า จากนั้นทำการศึกษา ZnO nanowires ที่ปลูกได้ โดยการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ และสมบัติทางแสง จากนั้นทำการประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และทำการวัดประสิทธิภาพและศึกษาอิมพีแดนซ์สเปกโทรเชิงเคมีไฟฟ้า สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิของเตาเผาชนิดท่อที่ทำการประดิษฐ์ขึ้น

เตาเผาชนิดท่อที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทำการทดลองได้ โดยที่อุณหภูมิของเตาที่ควบคุมนั้นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของท่อเตาเผา และอุณหภูมิจะลดลงตามระยะทางที่ห่างออกจากกึ่งกลางท่อ เช่นในการทดลอง ใช้อุณหภูมิสูงสุดที่ 850 ˚C และที่ระยะ 18 เซนติเมตรจากกึ่งกลางท่อเผา วัดได้อุณหภูมิ 530˚C

5.1.2 ผลการศึกษาเคลือบชั้นฟิล์มซิงก์บนกระจกนำไฟฟ้า

การเคลือบชั้นฟิล์มซิงก์บนกระจกนำไฟฟ้า สามารถใช้เทคนิค evaporation ในการเคลือบได้ โดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มที่เคลือบสามารถควบคุมได้ด้วยปริมาณของสารซิงก์ที่ใช้ในการระเหย ในการทดลองใช้ปริมาณสารซิงก์ที่ 0.125, 0.25 และ 0.5g ได้ความหนาของชั้นฟิล์มที่ 180, 300 และ 550 nm.ตามลำดับ โดยที่มีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นฟิล์มและปริมาณสารซิงก์เป็นไปในลักษณะเส้นตรง $y = 988.57x + 55$

5.1.3 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของZnO nanowires

การเพิ่มอัตราการไหลของอะซีโตนมากขึ้น ทำให้มีปริมาณของ O_2 เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของZnO nanowires ที่มีขนาดเพิ่มมากขึ้นในทุกเงื่อนไขความหนาของชั้นฟิล์มซิงก์ ซึ่งเป็นไปตาม super-saturation ratio ในการเกิดZnO nanowires โดยที่ขนาดของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เส้นผ่านศูนย์กลางของZnO nanowires ที่ได้อยู่ในช่วง 45-320 nm. และมีลักษณะโครงสร้างแบบ hexagonal structure การเกิดZnO nanowires มีการเกิดในทิศทาง $(1\bar{1}01)$

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาด ZnO nanowires เทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

Researcher	Diameter of ZnO nanowires
D.- I. Suh et al.	50-100
O. Lupan et al.	160-220
N. Karst et al.	70-300
In this work	45-319

ผลการศึกษาโครงสร้างทางผลึกของZnO powder ที่เป็นตัวอ้างอิง และZnO nanowires ที่ปลูกบนกระจกนำไฟฟ้าที่เงื่อนไขความหนาของชั้นฟิล์มซิงก์ 0.5g ที่ได้นั้น มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ hexagonalเมื่อเทียบกับ ZnO no. 89-1397 JCPDS ค่า lattice parameter a = 3.253 Å และ c = 5.213 Å โดยที่จากการวิเคราะห์พีคสามารถหาค่า lattice parameter ได้ดังตารางที่ 5.1.4

ตารางที่ 5.2 ค่า lattice parameter ที่วิเคราะห์ได้

Condition	ค่า lattice parameter			
	ผลการวิเคราะห์		ความคลาดเคลื่อน	
	a	c	a	c
ZnO powder	3.248	5.190	0.153%	0.441%
sample g	3.243	5.209	0.310%	0.076%
sample h	3.248	5.220	0.169%	0.134%
sample i	3.244	5.240	0.284%	0.518%

5.1.4ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ ZnO nanowires

ผลการศึกษาด้วยแส้นสเปกตรัมที่ปรากฏ 333 cm^{-1}เป็นโหมดที่เกิดจาก E_2 (high)-E_2 (low), 380 cm^{-1}เป็นโหมด A_1 (TO), 443 cm^{-1}เป็นโหมด E_2 (high) และที่ 585 cm^{-1} เป็นโหมด E_1 (LO) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าเกิดการ shift ของตำแหน่งเส้นเปกตรัมไปในความถี่ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มากกว่า ซึ่งเรียกว่า “blue shift” และ intensity ของชิ้นงานที่ปรากฏสามารถอธิบายได้ถึงความหนาของชิ้นงานมากขึ้นมีผลต่อ intensity ที่เพิ่มมากขึ้นจากจากนี้ที่ 585 cm^{-1} เป็นโหมด E_1 (LO) สามารถอธิบายได้ถึง Oxygen vacancy ของชิ้นงาน

ผลการศึกษาการเรืองแสงพบว่า ชิ้นงานที่เงื่อนไขต่างๆพบพีคหลักที่เป็นลักษณะของ ZnO nanowires ที่ตำแหน่ง 386 nm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นที่ 384 nm [42] และ 385 nm [43] นอกจากนี้ยังพบพีคในช่วง 450-550 nm ซึ่งเกิดจาก Oxygen vacancy

ผลการศึกษาการวัดการดูดกลืนสเปกตรัมของแสง (absorbance)พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ZnO nanowires มีผลต่อการ shift ของ absorption edge โดยที่เมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการ shift ของ absorption edge ไปในทิศทางความยาวคลื่นที่เพิ่มมากขึ้น และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ ZnO nanowires ยังส่งผลต่อค่าช่องว่างแถบพลังงานอีกด้วย ซึ่งค่าช่องว่างแถบพลังงานที่ได้นั้นจาก ZnO nanowires นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 3.12-3.20 eV โดยที่เมื่อขนาดของ ZnO nanowires มีขนาดเล็ก จะทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่ามากขึ้น

5.1.5การศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของZnO nanowires

จากการศึกษาการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์จาก ZnO nanowires นั้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์จาก ZnO powder ที่เป็นเซลล์มาตรฐานมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ ZnO nanowires electrode นั้นมีความบางมาก ทำให้การที่สีย้อมมาเกาะนั้นมีน้อย จึงส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพที่ต่ำ โดยที่เงื่อนไขของ ZnO nanwires ที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ sample i คือ ชั้นฟิล์มหนา 0.5 g และให้อัตราการไหลอะซีโตนที่ 5 sscm ให้ค่า J_{sc},V_{oc},FF และEff ที่ 0.5326mA/cm^2,0.5495**V**, 0.3722 และ 0.1089 % ตามลำดับ

5.1.6 การศึกษาลักษณะเซลล์เคมีไฟฟ้าของ ZnOnanowires

จากการศึกษาค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์จาก ZnO nanowires นั้นมีค่าความต้านทานทั้งในส่วนของความต้านทานของกระจกนำไฟฟ้า และส่วนสารกึ่งตัวนำที่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบจากเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐาน โดยที่ความต้านทานของกระจกนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพราะมีชั้นของZnO เคลือบอยู่ในบริเวณที่นอกเหนือการควบคุม จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานของกระจกนำไฟฟ้านั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น และในส่วนของสารกึ่งตัวนำนั้น ZnO nanowires ที่ปลูกได้มีค่าความต้านทานที่มากกว่า ZnO powder ที่ใช้ในเซลล์มาตรฐานมาก จึงมีผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5.3แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์กับนักวิจัยคนอื่นๆ

Year	Researcher	Semicon - ductor	Dye	Electrolyte	Efficiency (%)
2006	Jason B. Baxter.	ZnO nanowires	N 719	Liquid	0.50%
2007	D. I. Suhet al.	ZnO nanowires	N 719	Liquid	0.46%
2010	O. Lupanet al.	ZnO nanowires	D 149	Liquid	0.66%
2011	N. Karst et al.	ZnO nanowires	N 719	Liquid	1.03%
2012	In this work	ZnO nanowires	EosinY	Liquid	0.10%

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การเคลือบชั้นฟิล์มบางบนกระจกนำไฟฟ้าควรใช้วิธีการสปัตเตอร์ริง ซึ่งจะให้ลักษณะของฟิล์มบางที่ได้มีความเรียบมากกว่าวิธีการ evaporation โดยที่ลักษณะของพื้นผิวฟิล์มบางที่เรียบนั้นจะส่งผลให้การลักษณะการเกิดZnO nanowires ที่ปลูกได้นั้นไปในทิศทางเดียวกัน

- ในการปลูกZnO nanowires บนกระจกนำไฟฟ้านั้นควรหาวิธีการเพื่อที่จะป้องกันไม่ให้ไอของZnOไปเกาะกระจกนำไฟฟ้าในบริเวณที่ไม่ต้องการ เพื่อจะทำให้ค่าความต้านทานของกระจกนำไฟฟ้านั้นไม่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved