

## สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	สัดส่วนต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับโรงงาน 10 MW.....	2
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์และการสะท้อนแสงของฟิล์ม TCO....	4
2.2	โครงสร้างผลึก ZnO ยูนิิตเซลล์ a) Hexagonal wurtzite b) Rock salt.....	5
2.3	เฟสไดอะแกรมของ ZnO ในช่วงความดัน 9.8 ถึง 2 GPa. ที่อุณหภูมิ 300 K ถึง >1300 K.....	6
2.4	โครงสร้างผลึก ZnO แบบ hexagonal wurtzite และภาพวาดแสดงผิวหน้าของ ผลึกตามแกนซี (C-axis) .....	6
2.5	ระนาบโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal ที่ระนาบของดัชนีมิลเลอร์ .....	7
2.6	ทิศทางของระนาบโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal.....	8
2.7	ลักษณะโครงสร้างพลังงานอย่างง่าย .....	9
2.8	การเคลือบฟิล์มด้วยวิธี MBE .....	10
2.9	การเคลือบฟิล์มด้วยวิธี PLD.....	11
2.10	การเคลือบฟิล์มด้วยวิธี Spray pyrolysis .....	12
2.11	การเคลือบฟิล์มด้วยวิธี Magnetron sputtering .....	12
2.12	การเกิดปฏิกิริยาในการเคลือบด้วยวิธี ALD .....	13
2.13	ระบบ MOCVD ที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มโลหะ ZnO.....	14
2.14	ลำแสงตกลงบนวัสดุสารกึ่งตัวนำ .....	15
2.15	การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองระหว่างชั้นพลังงาน E1และE2	16
2.16	ความสัมพันธ์พลังงานโฟตอนและความยาวคลื่น.....	17
2.17	การกระจายของแสงเนื่องจากการชนกับอนุภาคของวัสดุและชั้นฟิล์ม .....	18
2.18	การวัดค่าการส่องผ่านแสงรวม (Total transmittance, $T_T$ ).....	18
2.19	การวัดค่าการส่องผ่านแสงกระจาย (Diffuse transmittance, $T_D$ ) .....	19
2.20	วิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า .....	20
2.21	การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	22
2.22	ส่วนประกอบของ Scanning Electron Microscop (SEM).....	23
2.23	การพัฒนาข้อโลหะโปร่งแสงเพื่อลดความต้านทานในช่วงเวลาต่างๆ.....	27

3.1	เครื่องจักรที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม ZnO และสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ .....	32
3.2	ภาพ PL3 Chamber ก่อนที่จะปรับปรุง.....	33
3.3	ส่วนประกอบของ chamber สูญญากาศ (ก)ฮีตเตอร์ (ข)วาล์วควบคุมความดัน	33
3.4	ปั๊มสุญญากาศของ MOCVD .....	34
3.5	ภาพถัง Bubbler สำหรับบรรจุ น้ำ และ DEZ.....	35
3.6	ภาพถ่ายอ่างทำน้ำร้อนสำหรับให้ความร้อนกับ Bubble ของ DEZ และ H <sub>2</sub> O.	35
3.7	ตัวกระจายก๊าซ Diffuser ภายใน chamber.....	36
3.8	การเคลือบฟิล์ม ด้านล่างของกระจกจากไอของ DEZ และ H <sub>2</sub> O ที่ออกจาก Diffuser	36
3.9	ภาพการตัดกระจกด้วยมีดตัดกระจก .....	37
3.10	ภาพการลบคมขอบกระจก .....	37
3.11	ภาพการกรัดล้างกระจกด้วยเครื่องล้างกระจก.....	38
3.12	ภาพการกรัดใส่กระจกลงในกรอบสแตนเลส .....	38
3.13	ภาพการนำกระจกเข้า Load lock .....	39
3.14	สรุปขั้นตอนการเตรียมกระจกฐานรอง .....	39
3.15	โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง MOCVD .....	40
3.16	ภาพถ่ายหน้ากาก (mask) และการวางกระจก TCO ขนาด 10x10 cm <sup>2</sup> สำหรับใช้เคลือบชั้น p-i-n-Ag ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์.....	42
3.17	ชั้นต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์และการตัดขอบเซลล์ด้วย Laser .....	44
3.18	ภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการทดลอง .....	44
3.19	เครื่อง UV/Visible Spectrometer with integrating sphere .....	47
3.20	เครื่องวัดแบบสี่จุด (Four point probe) .....	48
3.21	เครื่อง Step profile.....	49
3.22	เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) .....	49
3.23	เครื่อง X-ray Diffraction (XRD).....	50
3.24	เครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (Super Solar Simulator) .....	50
4.1	ภาพกระจก SnO <sub>2</sub> :F ที่นิยมใช้เป็น TCO ของบริษัท NSG.....	51
4.2	ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20000 เท่าของผลึก SnO <sub>2</sub> :F บนกระจกบริษัทNSG	52
4.3	กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงรวมและกระจาย ในช่วงความยาวคลื่น 380-980 นาโนเมตร ของกระจก SnO <sub>2</sub> :F.....	53

4.4	ภาพถ่ายฟิล์ม ZnO จากเครื่อง SEM กำลังขยาย 20000 เท่า ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0-20 sccm .....	55
4.5	ข้อมูลการวัด XRD ของฟิล์ม ZnO ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0-20 sccm.....	56
4.6	กราฟแสดงอัตราการเกิดฟิล์ม ZnO ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0 - 20 sccm....	58
4.7	กราฟแสดงค่าความขรุขระของฟิล์ม ZnO ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0 - 20 sccm	59
4.8	กราฟแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม ZnO ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0- 20 sccm.....	61
4.9	กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงรวม ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0 - 20 sccm ในช่วงความยาวคลื่น 380-980 nm .....	62
4.10	กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกระจาย ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0 - 20 sccm ในช่วงความยาวคลื่น 380-980 nm .....	63
4.11	กราฟแสดงค่าความขุ่นมัว ที่สารเจือ B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ปริมาณ 0 - 20 sccm ที่ความยาวคลื่น 550 nm. ....	65
4.12	ภาพถ่ายฟิล์ม ZnO:B จากเครื่อง SEM กำลังขยาย 20000 เท่า ที่อุณหภูมิ 100-200 °C .....	67
4.13	ข้อมูลการวัด XRD ของฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 100°C-200°C .....	69
4.14	กราฟแสดงอัตราการเกิดฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 100°C-200°C .....	71
4.15	กราฟแสดงค่าความขรุขระของฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 100°C - 200°C.....	72
4.16	กราฟแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 100°C – 200°C	74
4.17	กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงรวม ที่อุณหภูมิ 100°C - 200°C ในช่วงความยาวคลื่น 380-980 nm .....	75
4.18	กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกระจาย ที่อุณหภูมิ 100°C - 200° ในช่วงความยาวคลื่น 380-980 nm .....	76
4.19	กราฟแสดงค่าความขุ่นมัวของฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 100°C - 200°C ในช่วงความยาวคลื่น 550 nm .....	77
4.20	ตำแหน่งเซลล์แสงอาทิตย์บนกระจก จำนวน 12 เซลล์.....	79
4.21	ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้าง บนกระจกเคลือบ SnO <sub>2</sub> :F กับ บนกระจกเคลือบ ZnO:B จำนวน 12 เซลล์.....	80