

การใช้ดีบุกออกไซค์ในกระบวนการผลิตเซลแสงอาทิตย์โดยวิธีจาบไอเคมี



นายสุรพล ศรีแก้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

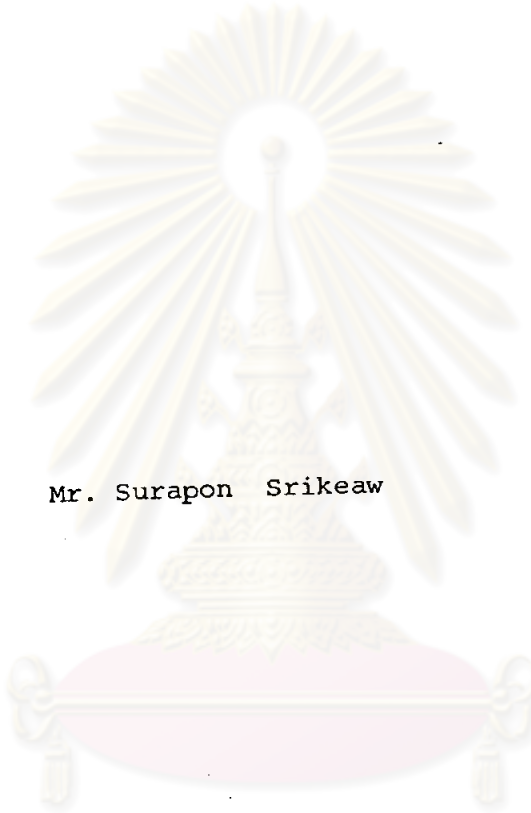
พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-276-1

013122

i 180 52381

AN APPLICATION OF SnO_2 IN SOLAR
CELL PROCESSING BY CHEMICAL VAPOUR
DEPOSITION



Mr. Surapon Srikeaw

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

ISBN 974-562-276-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้ดีบุกออกไซด์ในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีฉาบไอเคมี
 โดย นายสุรพล ศรีแก้ว
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ ปันยารชุน



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
 ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สุรพล ศรีแก้ว คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุณนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประจักษ์ วัฒน ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เล็งทะพันธ์)

สมพงษ์ นิตยารชุน กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ ฉัตรราภรณ์)

มนตร สวัสดิ์ศฤงคาร กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตร สวัสดิ์ศฤงคาร)

ภิญโญ ปันยารชุน กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ ปันยารชุน)

สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ขี้ตูปอกออกไซด์ในกรรมวิธีการผลิตเซลแสงอาทิตย์โดยวิธีฉาบไอเคมี
ชื่อนิสิต	นายสุรพล ศรีแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ ปันยารชุน
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2526



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยเนื้อหา 2 ส่วน ส่วนแรกได้แก่ การศึกษาการเตรียมชั้นขี้ตูปอกออกไซด์โดยวิธีฉาบไอเคมี และนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นขี้ตูปอกออกไซด์นั้น ส่วนหลัง เป็นการนำชั้นขี้ตูปอกออกไซด์มาประยุกต์ในกระบวนการผลิตเซลแสงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นชั้นกั้นการสะท้อนของแสง และขั้วโลหะโปร่งแสงของเซลแสงอาทิตย์

วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการเตรียมชั้นขี้ตูปอกออกไซด์โดยวิธีฉาบไอเคมีได้แก่ ออกซิเจน ติบุกคลอไรด์ซึ่งมีสถานะเป็นไอโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพา ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นภายในกรอบแก้วที่มีวัสดุฐานวางอยู่บนตัวให้ความร้อนซึ่งจะให้ความร้อนที่เหมาะสม อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน และไนโตรเจนที่ใช้ในการทดลองมีค่า 40 - 500 และ 15 - 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของวัสดุฐานมีค่าระหว่าง 300 - 500 °C ชั้นขี้ตูปอกออกไซด์เกิดขึ้นด้วยอัตรา 1.5 - 800 นาโนเมตรต่อนาที

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นขี้ตูปอกออกไซด์พบว่า โครงสร้างทางผลึกของสารเป็นอสัณฐานเมื่อเตรียมที่อุณหภูมิ 300 °C และเปลี่ยนเป็นผลึกพหุพันธ์เมื่อเตรียมที่อุณหภูมิ 400 - 500 °C แอมพลิจูดของสัญญาณต้องห้ามแบบตรงของสารมีค่า 3.90 อิเล็กตรอนโวลต์

เซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อพีเอ็นที่มีชั้นขี้ตูปอกออกไซด์เป็นชั้นกั้นการสะท้อนของแสงมีประสิทธิภาพสูงถึง 12 % โดยมีแรงดันวงจรเปิด 0.58 โวลต์ กระแสลัดวงจร 35 มิลลิแอมแปร์ ต่อตารางเซนติเมตร และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ 0.6 นอกจากนี้ยังมีลักษณะเด่นอื่นๆได้แก่ การมีผลตอบสนองต่อแสงในช่วงกว้างขึ้นโดยเฉพาะในย่านความถี่เหนือม่วง ชั้นขี้ตูปอกออกไซด์นี้ยังได้นำมาสร้างเซลแสงอาทิตย์แบบ ซ้อตทิกแบเรียว และ มิส (MIS) อีกด้วย

Thesis Title An Application of SnO₂ in Solar Cell Processing by
Chemical Vapour Deposition
Name Mr.Surapon Srikeaw
Thesis Advisor Associate Professor Somsak Panyakeow, Ph.D.
Co-Advisor Associate Professor Bhiyayo Panyarachun, Ph.D.
Department Physics
Academic Year 1983

ABSTRACT

This thesis is composed of two parts. The first part is the study on preparation techniques of tin oxide by means of Chemical Vapour Deposition and the investigation of its physical properties. The second is the application of tin oxide in solar cell processing for antireflection coating and transparent electrode of solar cells.

The starting materials for tin oxide preparation by Chemical Vapour Deposition method are oxygen and tin chloride vapour with nitrogen as a carrier gas. Chemical reaction is conducted in a glass chamber on the heated substrate at appropriate temperature. The flow rate of oxygen and nitrogen gas were 40 - 500 and 15 - 200 cubic centimetres per minute respectively. Substrate temperature was set at 300 - 500 °C. The growth rate of tin oxide at 1.5 - 800 nanometre per minute was obtained.

The results of investigation of physical properties of tin oxide show that the structure of thin film is an amorphous at the preparation temperature of 300 °C and become a polycrystalline at the preparation temperature between 400 °C and 500 °C with a direct bandgap of 3.90 electronvolts.

P-N junction solar cells with tin oxide film as an antireflection show an efficiency of 12 % with the open circuit of 0.58 volts, short circuit current of 35 milliampere per square centimetres and the fill factor of 0.6. Other improved characteristics like broader spectrum response at ultraviolet region are achieved. Tin oxide thin film was also experimented in the processing of Schottky barrier and metal-insulator-semiconductor (MIS) solar cells.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเสนอแนะให้แนวความคิด แก้ปัญหา กระตุ้นในการวิจัย ตลอดจนเป็นแบบอย่างในการวิจัยที่ดี นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร ที่ได้ช่วยแนะนำแก้ปัญหาบางอย่างให้ด้วย ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริ วัชรพิทย แห่งภาควิชาเคมีที่ได้ช่วยเหลือและแนะนำในการใช้เครื่อง double beam grating spectrometer ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ พงศาพิชญ์ แห่งภาควิชาธรณีวิทยา ที่ได้ช่วยเหลือแนะนำการใช้เครื่อง x-ray diffractometer และยังให้ความรู้เรื่องแร่ดีบุกออกไซด์ในธรรมชาติ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภียโย ปันยารชุน ที่ได้ช่วยเหลือในการรับรองการใช้เครื่องมือต่างๆ ขอขอบคุณ คุณคีน ศิริรัตนประสิทธิ์ และคุณเอกชัย หุ่นนิวัฒน์ ที่ได้แนะนำและช่วยเหลือในการถ่ายภาพผลึกผงรังสีเอ็กซ์และการวิเคราะห์ผล

ผู้เขียนขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกคนของห้องวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ข
รายการตารางประกอบ	ฅ
รายการรูปประกอบ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์	2
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน	2
2.1.1 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์	3
2.1.2 การเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น	4
2.1.3 การตอบสนองต่อแสง	17
2.1.4 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อไม่มีการสูญเสียที่ R_s และ R_{sh}	17
2.1.5 ค่าต่างๆ ที่ทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพสูงสุด	20
2.1.6 ค่าของความต้านทานอนุกรม	24
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Schottky MIS และ SIS	27
2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Schottky	27
2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ MIS	31
2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ SIS	33
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Heterojunction	34
2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น Heterojunction	35
2.3.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Heterojunction ของสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน	36
2.3.2.1 แบบปลดปล้อย	37
2.3.2.2 แบบไดโอดคู่	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การเตรียมและคุณสมบัติของดีบุกออกไซด์	40
3.1 การเตรียมดีบุกออกไซด์โดยวิธีฉาบไอเคมี	41
3.1.1 เงื่อนไขในการเตรียมดีบุกออกไซด์	41
3.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดีบุกออกไซด์	46
3.2.1 คุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าของดีบุกออกไซด์	46
3.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานและการดูดกลืนแสง	48
3.2.2.1 การคำนวณหาโครงสร้างแถบพลังงาน	49
3.2.2.2 การดูดกลืนแสง	51
3.2.3 คุณสมบัติในการกั้นการสะท้อนของแสงบนผิวซิลิกอนซัคมัน	54
3.2.4 สภาพทางผลึกของดีบุกออกไซด์	57
4. การประดิษฐ์และการทดสอบ เซลแสงอาทิตย์	66
4.1 การประดิษฐ์ เซลแสงอาทิตย์ $\text{SnO}_2/n^+ - p\text{Si}$	66
4.2 การประดิษฐ์ เซลแสงอาทิตย์แบบ Schottky และ MIS	66
4.3 ผลของการทดลองและทดสอบ เซลแสงอาทิตย์	67
5. สรุปและข้อเสนอนะ	72
5.1 สรุปผลการทดลอง	72
5.2 วิจารณ์ผลและข้อเสนอนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	84
ประวัติผู้เขียน	97

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

2.1	เป็นค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะ ของแว่นผลึกกับประสิทธิภาพ กระแสลัดวงจร แรงดันวงจรเปิด และฟิลล์แพคเตอร์ ของ เซลแสงอาทิตย์	24
3.1	แสดงความหนาของดีบุกออกไซด์ต่างๆ ที่ฉาบบนแว่นผลึกซิลิกอนชนิดมันวัตด้วย เครื่องวัดความหนา tylistep	42
3.2	เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของดีบุกออกไซด์ที่มีผู้ทดลองหามาก่อน	62
3.3	เป็นคุณสมบัติทางแสงของดีบุกออกไซด์ที่มีผู้ทดลองหามาก่อน	64
4.1	แสดงค่า แรงดันวงจรเปิด กระแสลัดวงจร ฟิลล์แพคเตอร์ และประสิทธิภาพ ของ เซลแสงอาทิตย์แบบต่างๆ เมื่อรับแสงจากหลอดทั้งสแตนท์ที่ความเข้ม 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	69
4.2	แสดงค่า แรงดันของวงจรเปิด กระแสลัดวงจร และฟิลล์แพคเตอร์ ของเซลล์แสง อาทิตย์แบบ เอ็นบนพี ซึ่งมีดีบุกออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นชั้นกั้นการ สะท้อนของแสงเมื่อรับแสงเหนือม่วง (ultra violet) จากหลอด Osram 200 วัตต์ ซึ่งบรรจุไอปรอทที่มีความดันสูงมาก	70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนต่างๆ ของ เซลแสงอาทิตย์แบบหิวต่อพี- เอ็น	2
2.2	เป็นวงจรมุมลย์ของ เซลแสงอาทิตย์แบบหิวต่อพี- เอ็น	3
2.3	แสดงการ เกิดบริ เวณปลอดพาหะในหิวต่อพี- เอ็น	4
2.4	แสดงแผนภาพของแถบพลังงานของ เซลแสงอาทิตย์ที่มีสนามไฟฟ้าด้านหลัง .	14
2.5	แสดงลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดัน ของเซลแสงอาทิตย์ขณะรับแสง ...	19
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการผ่าน เข้ามาของแสงและความ หนาที่เหมาะสมของออกไซด์ กับครรชนีหักเหของออกไซด์ที่อยู่บนผิวหน้า ซิลิกอน	21
2.7 a	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลแสงอาทิตย์กับความต้านทาน จำเพาะของแว่นผลึกฐาน	22
2.7 b	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับความต้านทานจำเพาะของแว่น ผลึกฐาน	22
2.7 c	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันวงจรเปิดกับความต้านทานจำเพาะของ แว่นผลึกฐาน	23
2.7 d	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟคเตอร์กับความต้านทานจำเพาะของแว่น ผลึกฐาน	23
2.8	เป็นรูปทรงเรขาคณิตของ เซลแสงอาทิตย์	25
2.9	เป็นวงจรมุมลย์ของความต้านทานของเซลแสงอาทิตย์	25
2.10 a	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นก่อนทำผิว สัมผัส	28
2.10 b	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นหลังจากทำผิว สัมผัส	28
2.10 c	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพีก่อนทำผิวสัมผัส .	28
2.10 d	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพีหลังทำผิวสัมผัส .	28

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนต่างๆ ของ เซลแสงอาทิตย์แบบหั่วต่อพี-เอ็น	2
2.2	เป็นวงจรมุมลย์ของ เซลแสงอาทิตย์แบบหั่วต่อพี-เอ็น	3
2.3	แสดงการ เกิดบริ เวณปลอดพาหะในหั่วต่อพี-เอ็น	4
2.4	แสดงแผนภาพของ แแถบพลังงานของ เซลแสงอาทิตย์ที่มีสนามไฟฟ้าด้านหลัง .	14
2.5	แสดงลักษณะสมบัติของ กระแส-แรงดัน ของ เซลแสงอาทิตย์ขณะ รับแสง ...	19
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการผ่านเข้ามาของแสงและความ หนาที่ เหมาะสมของออกไซด์ กับครรชนีหัก เทของออกไซด์ที่อยู่บนผิวหน้า ซิลิกอน	21
2.7 a	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของ เซลแสงอาทิตย์กับความต้านทาน จำเพาะของแว่นผลึกฐาน	22
2.7 b	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับความต้านทานจำเพาะของแว่น ผลึกฐาน	22
2.7 c	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันวงจรเปิดกับความต้านทานจำเพาะของ แว่นผลึกฐาน	23
2.7 d	เป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แพค เตอร์กับความต้านทานจำเพาะของแว่น ผลึกฐาน	23
2.8	เป็นรูปทรง เรขาคณิตของ เซลแสงอาทิตย์	25
2.9	เป็นวงจรมุมลย์ของความต้านทานของ เซลแสงอาทิตย์	25
2.10 a	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของ โลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นก่อนทำผิว สัมผัส	28
2.10 b	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของ โลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นหลังจากทำผิว สัมผัส	28
2.10 c	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของ โลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพีก่อนทำผิวสัมผัส .	28
2.10 d	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของ โลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพีหลังทำผิวสัมผัส .	28

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

2.11	เป็นแผนภาพแสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ MIS ของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	32
2.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันวงจเปิด กระแสลัดวงจรกับความหนาของชั้นกั้นกลาง	32
2.13	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SIS ที่สมดุลง่าย	33
2.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์กับความหนาของออกไซด์ชั้นกั้นกลางของเซลล์แสงอาทิตย์ ITO-SiO ₂ -pSi	34
2.15	แสดงแผนภาพแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิด ก่อนและหลังทำหัวต่อพี-เอ็น ที่สมดุลง่าย	35
2.16 a	เป็นแผนภาพแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Heterojunction หัวต่อเอ็น-เอ็น ที่สมดุลง่าย	36
2.16 b	เป็นแผนภาพแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Heterojunction หัวต่อพี-พี ที่สมดุลง่าย	36
2.17	เป็นแผนภาพรอยต่อแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Heterojunction หัวต่อเอ็น-เอ็น โดยใช้แบบไดโอด Schottky คู่	38
3.1	แสดงหนึ่งหน่วยเซลล์ของโครงผลึกของดีบุกออกไซด์	40
3.2	เครื่องมือที่ใช้เตรียมดีบุกออกไซด์โดยวิธี CVD ของดีบุกคลอไรด์	41
3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดดีบุกออกไซด์กับอุณหภูมิที่เตรียม	43
3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดดีบุกออกไซด์กับอัตราการไหลของไนโตรเจนที่อุณหภูมิต่างๆ โดยอัตราการไหลของออกซิเจน = 100 cm ³ /min.	44
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดดีบุกออกไซด์กับอัตราการไหลของออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ โดยอัตราการไหลของไนโตรเจน = 40 cm ³ /min.	45

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะของฟิล์มบางดีบุก ออกไซด์กับอุณหภูมิที่เตรียม	47
3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ annealing กับความต้านทานจำเพาะ ของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ อุณหภูมิ annealing เป็น 300°C	47
3.8 แสดงแผนภาพของระดับพลังงานต่างๆ ของดีบุกออกไซด์	48
3.9 เป็นรูปของ Brillouin zone และจุดสมมาตรต่างๆ ของโครงผลึก tetragonal	48
3.10 เป็นโครงสร้างแถบพลังงานของดีบุกออกไซด์	49-50
3.11 กราฟของ เพอร์เซนต์การดูดกลืนแสงของดีบุกออกไซด์กับความยาวคลื่นของ แสง	52
3.12 กราฟของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับพลังงานของแสง	53
3.13 กราฟของการหาพลังงานต้องห้ามของดีบุกออกไซด์	53
3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบกับ เพอร์เซนต์ของการสะท้อน ของแสงจากผิวซิลิกอนชนิดมัน โดยใช้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm จาก เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน	54
3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนกับค่า $n_1/\sqrt{n_0 n_s}$ ของชั้นกั้นการสะท้อน ของแสงที่หนา $\frac{\lambda}{4}$ ของความยาวคลื่นของแสง โดยถือว่าสารทั้งสองไม่ได้ดูด กลืนแสง	56
3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของแสงกับการสะท้อนของผิวซิลิกอน ชนิดมันที่มีดีบุกออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์เป็นชั้นกั้นการสะท้อนของแสง ...	56
3.17 เป็นแบบของการ เลี้ยวเบนรังสี เอ็กซ์ของดีบุกออกไซด์ที่เตรียมขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ .	57-61
4.1 รูปของแบบของชั่วคราวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์	68
4.2 ภาพถ่ายของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น	68
4.3 เป็นการตอบสนองต่อแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ $\text{SnO}_2/n^+ \text{-psl}$ และ $\text{SiO}_2/n^+ \text{-psl}$ ในช่วงคลื่น 400 - 1100 nm	70
4.4 เป็นสเปกตรัมของแสงจากหลอดทังสแตนที่ใช้เป็นตัวให้แสงในการทดสอบการ ตอบสนองต่อแสงของเซลล์แสงอาทิตย์	71