

รายงานการวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดระหว่างเพชรชนิดพีเพชรชนิดอินทรีนซิค
และซิลิกอนชนิดเอ็น

P-Diamond/i-Diamond/n-Silicon Heterojunction Solar Cell



RC4
TK
1089
ย8๕๒ ๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **116843**
วัน,เดือน,ปี..... **16** ส.ย. 2554

b. **12328042**
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2552

โยธิน วงศ์ประเสริฐ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดระหว่างเพชรชนิดพีเพชร
ชนิดอินทรีนซิกและซิลิกอนชนิดเอ็น

P-Diamond/i-Diamond/n-Silicon Heterojunction Solar Cell

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2552 จำนวนเงิน 495,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2551 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2552

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัย

นายโยธิน วงศ์ประเสริฐ

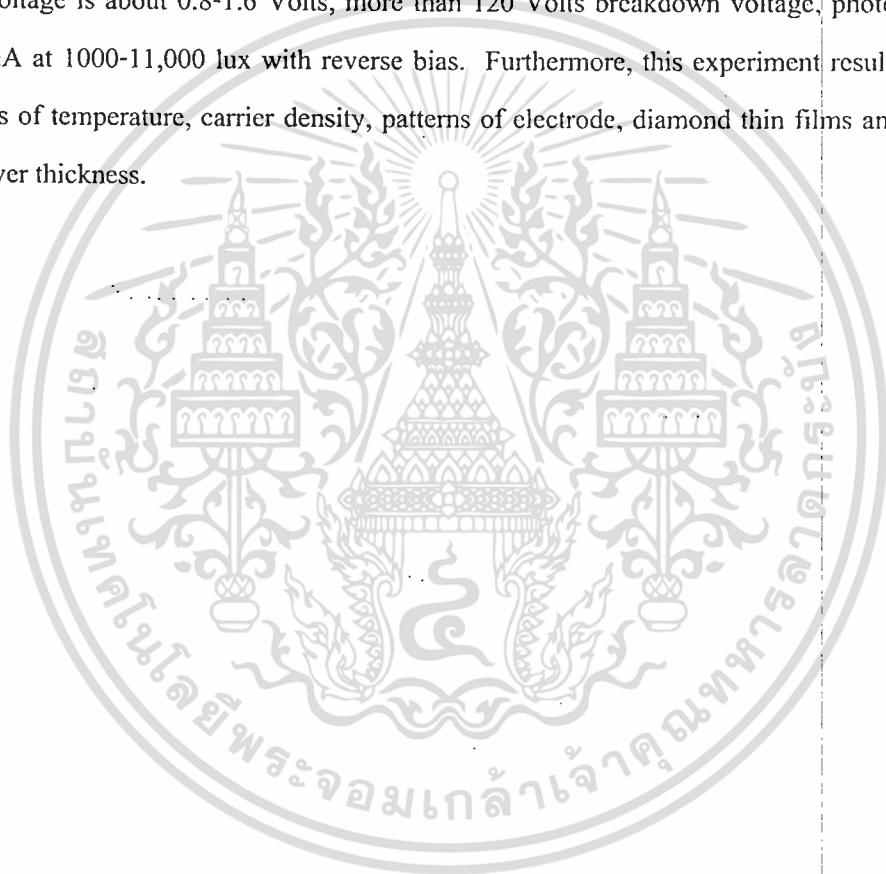
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-
ลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02326-0643

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มเพชร การประยุกต์ใช้งานฟิล์มเพชรเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดระหว่างเพชรชนิดพีเพชรชนิดอินทรีนซิกและซิลิกอนชนิดเอ็น (P-Diamond/i-Diamond/n-Silicon) คุณสมบัติพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ โดยฟิล์มเพชรชนิดอินทรีนซิกมีความหนาตั้งแต่ 1-2 μm ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธี CACVD ที่ความดันบรรยากาศ บนแผ่นผลึกฐานรองซึ่งเป็นซิลิกอนชนิดเอ็น (n-type) ระบาย(100) ที่มีสภาพต้านทานสูง 200 $\Omega\cdot\text{cm}$ หนาประมาณ 400 μm และสร้างฟิล์มเพชรชนิดพีด้วยวิธี HFCVD โดยใช้สารตั้งต้นเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีโบรอน ไตรออกไซด์ผสมอยู่ให้มีความหนาตั้งแต่ 2-5 μm จากการทดลองพบว่าโครงสร้างดังกล่าวสามารถทำงานเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดี โดยมีกระแสมีดประมาณ 9.11 mA, ศักย์ภายในมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-1.6 Volts, แรงดันพ่วงหลายมีค่าสูงมากกว่า 120 Volts, และให้กระแสแสงประมาณ 1.8-4.4 mA เมื่อถูกฉายด้วยแสงฮาโลเจนที่มีความเข้มแสง 1000-11,000 lux ที่แรงดัน 0-10 Volts นอกจากนี้การทดลองยังได้แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิ ผลของความหนาแน่นอะตอมสารเจือในฟิล์มเพชร ผลของความหนาของฟิล์มเพชร ผลของความหนาของชั้นอินทรีนซิก และผลของลวดลายขั้วโลหะด้านรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This research project presents the study on diamond films properties, application and basic properties of diamond thin films for the new structure of P-Diamond/i-Diamond/n-Silicon Solar Cell and study on parameters to impact on these photodiode. 1-2 μm of i-diamond thin films thickness was synthesized on high resistivity of 200 $\Omega\cdot\text{cm}$ n-type silicon substrate (100), 400 μm . thickness by combustion activation CVD technique at atmosphere pressure and 2-5 μm of p-diamond thin films thickness was synthesized by hot filament CVD technique at atmosphere pressure in borontrioxide mixed with ethyl-alcohol. From the experimental results, it was found that this structure shows good basic properties of photodiode, which 9.11 mA of dark current, built-in voltage is about 0.8-1.6 Volts, more than 120 Volts breakdown voltage, photocurrent is 1.8-4.4 mA at 1000-11,000 lux with reverse bias. Furthermore, this experiment results perform the effects of temperature, carrier density, patterns of electrode, diamond thin films and intrinsic silicon layer thickness.



สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญเรื่อง.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร.....	7
2.3 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.4 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.5 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.6 สรุป.....	21
บทที่ 3 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรบนฐานรอง.....	22
3.1 บทนำ.....	22
3.2 กระบวนการเตรียมฐานรอง.....	24
3.2.1 การทำความสะอาดเบื้องต้นผิวหน้าฐานรองซิลิกอน.....	24
3.2.2 การเตรียมผิวหน้าฐานรอง.....	24
3.3 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางเพชร.....	26
3.3.1 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Hot Filament CVD.....	26
3.3.2 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD.....	26
3.4 การสร้างรอยต่อโลหะกับฟิล์มเพชร.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

	หน้า
3.5 กระบวนการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เงื่อนไขต่างๆ.....	28
3.5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร.....	28
3.5.2 การศึกษาระยะห่างลวดลายโลหะที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร	28
3.6 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	29
3.6.1 ผลของความเข้มข้นของ B:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	29
3.6.2 ผลของความความหนาของฟิล์มเพชรที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	29
3.6.3 ผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	29
3.6.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	30
3.7 สรุป.....	31
บทที่ 4 การศึกษาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์.....	32
4.1 บทนำ.....	32
4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเพชร.....	33
4.3 ลวดลายโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	35
4.4 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	37
4.4.1 ผลของความเข้มข้นของ B:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	37
4.4.2 ผลของความความหนาของฟิล์มเพชรที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	40
4.4.3 ผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	42
4.4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	45
4.5 สรุป.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	สรุปเงื่อนไขการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร	27
4.1	ความสัมพันธ์ระยะระหว่างขั้วโลหะกระแสมืดและกระแสด่าง	36
4.2	ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1ppm	38
4.3	ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 10ppm	39
4.4	ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 100ppm	39
4.5	ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1000ppm	40
4.6	ค่าการเปลี่ยนแปลง ISC และ VOC เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของฟิล์มเพชร	41
4.7	ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม	45



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 พลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับ.....	3
1.2 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1 แผนภาพของระบบ Hot filament activated CVD	8
2.2 แผนภาพระบบ Combustion activation method.....	9
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว.....	10
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป.....	11
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน.....	13
2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น.....	14
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง.....	16
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีต่อกระแส แรงดันและพลังงานของแสงอาทิตย์.....	20
3.1 แผนภาพกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
3.2 ครีมเพชรที่ใช้ในการขัดผิวหน้าฐานรองซิลิคอนขนาดเม็ดผลึก 0.25 ไมครอน.....	25
3.3 ภาพถ่ายพื้นผิวของฐานรองซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการเตรียมฐานรอง.....	25
3.4 วงจรการวัดคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
4.1 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ขณะไม่ต่อกัน.....	32
4.2 แถบพลังงานของรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกันที่สภาวะสมดุล.....	33
4.3 ลักษณะของ Raman spectrum ของฟิล์มเพชรจากการสังเคราะห์.....	34
4.4 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรระนาบ (111) ที่สังเคราะห์ได้.....	34
4.5 ลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์.....	35
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1ppm	37
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 10ppm	38
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 100ppm.....	39
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1000ppm ...	40
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความหนาของฟิล์ม เพชรชนิดพีต่างๆ.....	41
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1ppm	41
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 10ppm	42
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 100ppm.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อB:C เป็น 1000ppm....	43
4.15	ความเข้มแสงต่อแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์.....	44
4.16	ความเข้มแสงต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์.....	44
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a-C	คาร์บอนอสัณฐาน	-
a-Si	ซิลิกอนอสัณฐาน	-
C _d	อะตอมคาร์บอนบริเวณผิวหน้าของเพชร	-
C _d [*]	อะตอมคาร์บอนบริเวณผิวหน้าที่ถูกกระตุ้น	-
d	ระยะห่างระหว่างชั้นของอะตอม	Å
DLC	Diamond-Like Carbon	-
h	ค่าคงที่ของพลังค์	J•s
N _d	ความหนาแน่นของการนิวคลีเอชันที่บริเวณพื้นผิว	cm ⁻²
N _r	อัตราการนิวคลีเอชันที่บริเวณพื้นผิว	cm ⁻² •h ⁻¹
P	ความดัน	Pa
ppm	ความเข้มข้น	ต่อล้านส่วน
sccm	ปริมาณการไหลของก๊าซ	cm ⁻³
t	อุณหภูมิ	°C
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์	K
V	แรงดันไฟฟ้า	Volt
W	กำลัง	Watt
λ	ความยาวคลื่น	Å
θ	มุม	Degree
ε	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	F/cm
μ	ค่าความคล่องตัว	cm ² /V•s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของปัญหาซึ่งเป็นเหตุผลในการทำวิจัยและได้กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัยและส่วนประกอบวิทยานิพนธ์ไว้ดังนี้

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เพชรธรรมชาติจึงเกิดขึ้นที่ชั้นใต้ดินซึ่งลึกมากและใช้เวลานาน ทำให้เป็นวัสดุที่หายาก ประกอบกับเพชรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายอย่างที่เด่นเป็นพิเศษเหนือกว่าวัสดุอื่นๆ เช่น แข็งแรงที่สุด ทนต่อการกัดกร่อนมากที่สุด ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถนำความร้อนได้ดีและมีคุณสมบัติเป็นวัสดุโปร่งแสง โดยเฉพาะเมื่อนำไปเจียรนัยจะเป็นเครื่องประดับที่มีความงดงามมากที่สุด ดังนั้นเพชรธรรมชาติจึงมีราคาแพงเหมาะที่จะเป็นเครื่องประดับมากกว่า อย่างไรก็ตามก็ได้มีความพยายามของนักวิจัยจำนวนมาก ที่จะสังเคราะห์เพชรขึ้นมาเพื่อการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ รวมทั้งการนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในที่สุดประมาณกลางปี ค.ศ. 1950 ก็มีรายงานถึงความสำเร็จในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการ High Pressure High Temperature หรือ HPHT และกระบวนการ Chemical Vapor Deposition หรือ CVD [1-3] แต่ในระยะแรกๆ การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรมีข้อจำกัด และสามารถสังเคราะห์ขึ้นบนวัสดุฐานรองที่เป็นเพชรเท่านั้น กระทั่งต่อมาในปี ค.ศ. 1970 จึงประสบความสำเร็จสามารถสังเคราะห์ฟิล์มเพชรขึ้นบนแผ่นฐานรองที่ไม่ใช่วัสดุเพชรได้ [4-11] ซึ่งความสำเร็จนี้นับเป็นก้าวสำคัญเพราะเป็นการเปิดประตูกว้างสู่ตลาดเทคโนโลยีของเพชรอย่างแท้จริง ฟิล์มเพชรถูกนำไปประยุกต์ใช้ด้านต่างๆ อย่างกว้างขวางและจริงจังมากยิ่งขึ้น สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากฟิล์มเพชร มีคุณสมบัติทางแสงที่เด่นหลายประการ จึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปประยุกต์ใช้สร้างเป็นอุปกรณ์ทางแสง (Photonic Devices or Opto-Devices) โดยทำหน้าที่เป็นตัวอุปกรณ์ตรวจวัดแสง (Photo detector)

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด แต่ที่สำคัญและน่าสนใจได้แก่โฟโตไดโอดชนิด พี-ไอ-เอ็น (p-i-n photodiode) เนื่องจากมีข้อดีเหนือตัวตรวจวัดแสงแบบอื่นๆ หลายประการ เช่น มีกระแสมีดต่ำ, แรงดันพังทลายสูง, ค่าความจุไฟฟ้าต่ำ, การตอบสนองทางแสงที่ดี, ทำงานด้วยความเร็วสูง และมีสัญญาณรบกวนต่ำ ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการวิจัยศึกษาและทดลองการนำเอาฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ขึ้นได้ มาประยุกต์ใช้เป็นโฟโตไดโอดโครงสร้างใหม่คือ p-diamond/i-Si/n⁺-Si โดยชั้นฟิล์มเพชรชนิดพี จะสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่างคือเป็นทั้งชั้นรับแสง (Optical window) ชั้นป้องกันผิวหน้า และลดการสะท้อนแสงที่ดีของโฟโตไดโอด ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มเพชร มีคุณสมบัติ โปร่งแสงและให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ มีความแข็งแรง ทนทาน และสภาพผิวที่ขรุขระตามลำดับ โดยมีการนำฟิล์มเพชรมาประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ตั้งประดิษฐ์ทางวิศวกรรมซึ่งประยุกต์ใช้คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำเมื่อมีแสงตกกระทบในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า บุคคลแรกที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปของ p-n junction ของผลึกซิลิคอน คือนักวิจัยชื่อ Gerald Pearson แห่ง Bell Laboratories ในปีค.ศ.1954 ซึ่งเป็นช่วงหลังจากการค้นพบทรานซิสเตอร์โดย William Shockley แห่ง Bell Laboratory ในปีค.ศ.1949 ไม่นานนัก โดยในครั้งแรกนี้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพียง 6% เท่านั้น

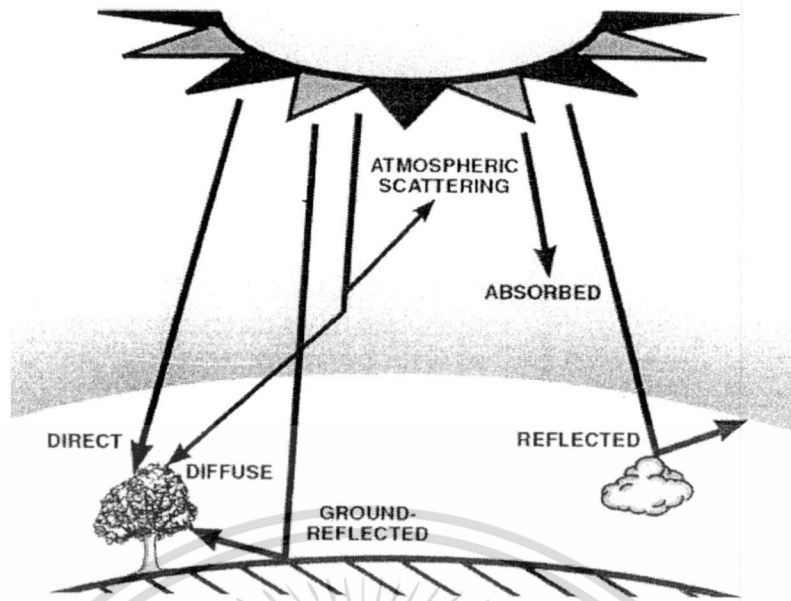
เมื่อย้อนหลังกลับไปศึกษาถึงประวัติศาสตร์การค้นคว้าเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างแสง และวัตถุในแง่ของไฟฟ้าจะทราบว่า ในปี ค.ศ.1839 E.Bequerel นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส เป็นคนแรกที่ค้นพบว่า เมื่อแสงตกกระทบวัตถุจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยเอาขั้วโลหะสองขั้วจุ่มในสารละลายไอออนแล้วให้แสงกระทบได้เพียงขั้วเดียว ปรากฏว่า มีกระแสไหลในสายไฟที่ต่อระหว่างขั้วทั้งสอง แสดงให้เห็นถึงการเกิดกระแสไฟฟ้าในวัตถุเมื่อมีแสงตกกระทบและเขายังได้พบด้วยว่า เมื่อเปลี่ยนสี (ความยาวคลื่น, พลังงาน) ของแสง ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงตามด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเป็นพลังงานร้อยละ 99.98 ของพลังงานที่โลกได้รับ ล้วนมาจากแสงอาทิตย์ ส่วนร้อยละ 0.02 ได้มาจากพลังงานใต้พิภพ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่โลกมีมากถึง 1.77×10^{14} KW ซึ่งมากกว่าพลังงานที่มนุษย์ต้องการ 8×10^7 KW ถึงล้านเท่า ดังนั้นถ้าใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะประหยัดพลังงานได้มาก รวมทั้งสามารถรักษาสสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นถ้าเราพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะได้รับประโยชน์จากแสงอาทิตย์มากขึ้นด้วย

สำหรับประเทศไทย บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 1000 W หรือเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m²/day) ซึ่งหมายความว่า ในวันหนึ่งๆบนพื้นที่เฉลี่ย 1 ตารางเมตรนั้น เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 kW เป็นเวลานานถึง 4-5 ชั่วโมงนั่นเอง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับ 15 % ก็แสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 150 W หรือเฉลี่ย 600-750 Wh/m²/day

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกผ่านชั้นบรรยากาศเอทโมสเฟียร์ (Atmosphere) จะมีพลังงานลดน้อยลง และมีผลตอบสนองทางความถี่แสงแตกต่างไปจากแสงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศเอทโมสเฟียร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในชั้นบรรยากาศเอทโมสเฟียร์ประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด รวมทั้งไอน้ำและฝุ่นละอองต่างๆที่เป็นตัวดูดกลืนพลังงานแสงบางส่วนเอาไว้และทำให้แสงบางส่วนเปลี่ยนทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 พลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับ

เพื่อความสะดวกในการพิจารณาความเข้มและผลตอบสนองทางความถี่ของแสงอาทิตย์จึงได้มีการกำหนดค่า แอร์แมสซีโร (Air Mass m) ขึ้น โดยที่แอร์แมสซีโร คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางเดินของแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ ต่อระยะทางเดินของแสงเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ

แสงอาทิตย์ที่อยู่บนชั้นบรรยากาศเอทโมสเฟียร์จะเรียกว่า ชั้นแอร์แมสซีโร (Air Mass Zero, AM0) พลังงานจากการแผ่รังสีต่อพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางของดวงอาทิตย์ นอกบรรยากาศของโลกจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ความเข้มของการแผ่รังสีนี้ เราเรียกว่า solar constant หรือที่นิยมเรียกกันว่า แบบ air mass zero เขียนย่อๆได้เป็น AM0 ซึ่งในงานโฟโตโวลตาอิก การแผ่รังสีแบบ AM0 กำหนดว่ามีค่าเท่ากับ 135.3 mW/cm^2

สำหรับบนพื้นผิวโลก พลังงานจากแสงอาทิตย์จะสูญเสียไปในชั้นบรรยากาศของโลกเนื่องจากชั้นของก๊าซต่างๆ เช่น O_2 , O_3 , ไอน้ำ, CO_2 เป็นต้น ดังนั้นความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะลดลง และองค์การนาซ่า (NASA) แห่งสหรัฐอเมริกาได้เป็นผู้กำหนดมาตรฐานของพลังงานที่ได้รับในระดับน้ำทะเล เมื่อแสงอาทิตย์มีทิศทางตั้งฉากกับผิวโลกมีค่า 100 mW/cm^2 และกำหนดว่าเป็นการแผ่รังสีแบบ air mass 1 หรือเขียนย่อๆได้เป็น AM1 ค่าของพลังงานนี้ถูกนำมาใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความสามารถ หรือประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ในการเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น ถ้าดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับโลกเป็นมุม 60° ลักษณะของการแผ่รังสีนี้จะเรียกว่าเป็นแบบ AM2

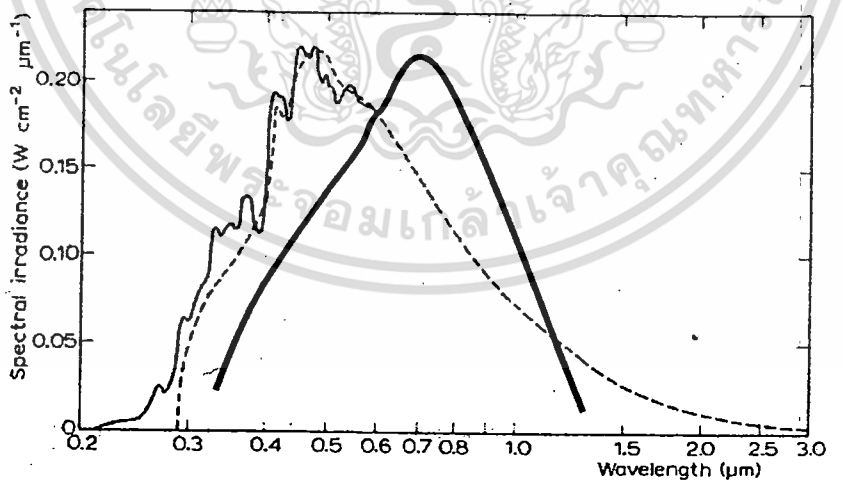
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งค่าของ air mass มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เงื่อนไขอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลง พลังงานแสงอาทิตย์ที่มายังผิวโลกก็จะยิ่งมีค่าลดลง ค่าพลังงานมาตรฐานบนพื้นโลกที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางอีกค่าหนึ่งคือ ลักษณะการแผ่รังสีแบบ AM1.5 ที่มุม $\theta = 48.19^\circ$ มีค่าพลังงานรวมทั้งหมด 83.2 mW/cm^2 ถ้าแสงหรือรังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลก จะประกอบด้วยรังสี 2 ส่วน คือ

1. ถ้าแสงโดยตรง (direct sunlight)
2. ถ้าแสงอาทิตย์ที่แพร่กระจาย (indirect or diffused sunlight)

ถ้าแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นส่วนหนึ่งของแสงอาทิตย์ที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง และถ้าแสงอาทิตย์ที่แพร่กระจายเป็นส่วนหนึ่งของแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง แต่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนกับชั้นบรรยากาศของโลก ประมาณกันว่า แม้แต่ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสปราศจากเมฆหมอก ถ้าแสงแพร่กระจายจะมีค่าเป็น 10 - 20% ของรังสีทั้งหมดที่ได้รับ ยิ่งในวันที่มีเมฆหมอกปกคลุมมากๆ ปริมาณของแสงอาทิตย์แบบแพร่กระจายนี้จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ

เนื่องจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความถี่ต่างๆ มากมายรวมกันอยู่ตั้งแต่แสงที่มองเห็นไม่เห็นและมองเห็นด้วยตาเปล่า เส้นปะในรูปที่ 1.2 เป็นผลตอบสนองความถี่ของแสงอาทิตย์ในชั้น AM1 เมื่อได้พิจารณาผลตอบสนองความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนที่มีความถี่ต่างๆ ดังแสดงเป็นเส้นทึบในรูปจะเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของกราฟทั้งสองมีความถี่ไม่ตรงกัน ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียพลังงานแสงในกรณีนี้ไปส่วนหนึ่ง โดยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 5000 อังสตรอม ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลตอบสนองความถี่แสงมากที่สุดที่ประมาณ 8000 อังสตรอม



รูปที่ 1.2 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาใช้งานสูง พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ปานกลางแผ่เป็นบริเวณกว้างโดยเฉลี่ย
ทั้งปีประมาณ 1,300-1,600 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งถือได้ว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพ
พลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

- ศึกษาและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดระหว่างเพชรชนิดพี เพชรชนิดอินทรินซิกและซิลิกอนชนิดเอ็น
- ศึกษาตัวแปรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมนำไปใช้งานจริงและหาขีดจำกัดของการนำไปใช้งานจริง
- ศึกษาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดระหว่างเพชรชนิดพี เพชรชนิดอินทรินซิกและซิลิกอนชนิดเอ็นที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกันระหว่างซิลิกอนและฟิล์มเพชรในโครงสร้างต่างๆ ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาในการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์จากตัวแปรต่างๆ เช่น ความเข้มแสง ความเข้มข้นสารเจือปนโบรอน อุณหภูมิสูงที่ใช้งาน ผลของความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีที่มีผลต่อเซลล์ พื้นที่รับแสง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 บทนำ

การสังเคราะห์เพชรเริ่มขึ้นเมื่อเป็นที่รู้กันว่าเพชรเป็นรูปหนึ่งของคาร์บอน จนกระทั่งในปี 1955 ห้องปฏิบัติการค้นคว้าวิจัยทางอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป (General Electronic Research Laboratories; GE) ได้นำเสนอกระบวนการสังเคราะห์ที่สามารถทำซ้ำได้และเป็นมาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยใช้เทคนิคความดันสูง[12-24] ซึ่งมีการพัฒนามาตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาให้ได้เพชรที่มีคุณภาพดีขึ้น

การพัฒนานี้เกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับเริ่มตั้งแต่ในปี 1797 Smith Tennant ได้เผาเพชรในบรรยากาศของออกซิเจนได้ผลเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และซีลีอัม แสดงให้เห็นว่าเพชรคือรูปหนึ่งของคาร์บอนซึ่งมีความหนาแน่น 3.52 g/cm^3 มากกว่าคาร์บอนในรูปอื่น เช่นแกรไฟต์ซึ่งมีความหนาแน่น 2.25 g/cm^3 [25] ดังนั้นถ้าให้ความดันอย่างทันทีทันใดเพื่อลดปริมาตรและเพิ่มความหนาแน่นอาจเปลี่ยนคาร์บอนรูปอื่นเป็นเพชรได้ จึงมีผู้ทดลองสังเคราะห์เพชรจากคาร์บอนรูปอื่น ๆ เช่น J.B.Hannay ได้รายงานความสำเร็จในปี 1880 ว่าสามารถใช้สารอินทรีย์ที่มีลิเทียมผสมอยู่ในท่อเหล็กและให้ความร้อนจนร้อนแดงโดยใช้หลักการระเบิด แต่พบว่ายังคงมีบางส่วนไม่เป็นเพชร H.Moissan ใช้สารละลายของคาร์บอนในเหล็กแข็งอาศัยการทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว (Quenching) สารละลายจากที่อยู่ในสภาวะ White heat ลงสู่น้ำ ทำให้เกิดแรงดันจากการหดตัวของส่วนที่อยู่ด้านนอกของท่อเหล็กเกิดเป็นเพชรขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ดี C.Parsons พยายามทำการทดลองซ้ำวิธีเหล่านี้และทำการทดลองสร้างในแนวทางอื่นพบว่าการทดลองในช่วงแรก ๆ นั้นผิดและไม่มีรายละเอียดพอที่จะศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ทำให้เขาสรุปว่าไม่มีใครที่ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์จริงเนื่องจากไม่มีกระบวนการใดที่สามารถทำซ้ำได้ เป็นเพียงการสรุปอย่างเดี๋ยวจึง และจากความรู้ที่ผ่านมามีทำให้ทราบว่า เงื่อนไขในการสร้างเพชรในการทดลองช่วงแรก ๆ ไม่ใช่เงื่อนไขที่ถูกต้อง และสุดท้ายคือเทคนิคของรายละเอียดในการตรวจสอบอ้างว่าเพชรสามารถสังเคราะห์ได้จากสารที่มีความแข็งเช่น MgAl_2O_4 ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีองค์ประกอบของคาร์บอนซึ่งเป็นอนุภาคมูลฐานประกอบอยู่

การไม่ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์เพชรเนื่องจากปัญหาหลัก ๆ 3 ปัญหา คือ

1. โครงสร้างของเพชรมีการจับพันธะกันอย่างแข็งแรง การสังเคราะห์ต้องใช้ความดันสูงมาก
2. เมื่อความดันสูง อุณหภูมิในการสังเคราะห์จะต้องสูงด้วยเพื่อให้มีการเปลี่ยนรูปคาร์บอนเป็นเพชรในอัตราที่รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพชรที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็ก ต้องควบคุมเงื่อนไขอื่น ๆ เช่น เวลาในการสังเคราะห์ เป็นต้น

2.2 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

การสังเคราะห์เพชรที่ความดันต่ำเป็นทางเลือกใหม่ของกลุ่มผู้สนใจ เนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์สามารถหาได้ง่ายราคาไม่แพง โดยมีผู้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์แตกต่างกันออกไปแต่มีจุดประสงค์เดียวกันคือเพื่อนำไปใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และใช้การเคลือบอุปกรณ์เพื่อเพิ่มความคงทนและแข็งแรง หรือบางวิธีทำเพื่อเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงและคุ้มค่า อย่างไรก็ตามคุณสมบัติและคุณภาพของฟิล์มเพชรเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการสังเคราะห์ เทคนิคสำคัญที่ความดันต่ำคือเทคนิค CVD ทั้งสิ้น ซึ่งจะแตกต่างกันที่อุปกรณ์เท่านั้น มีหลักการคือการทำให้อะตอมคาร์บอนแล้วควบคุมอุณหภูมิของฐานรองให้เหมาะสม [26-27] ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ที่ความดันต่ำที่นิยมกันแพร่หลายดังนี้

1. Hot filament CVD method
2. DC plasma CVD method
3. DC plasma jet CVD method
4. RF plasma CVD method
5. Microwave plasma CVD method
6. Electron cyclotron resonance microwave plasma CVD method
7. Combustion activation method

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรดังนี้

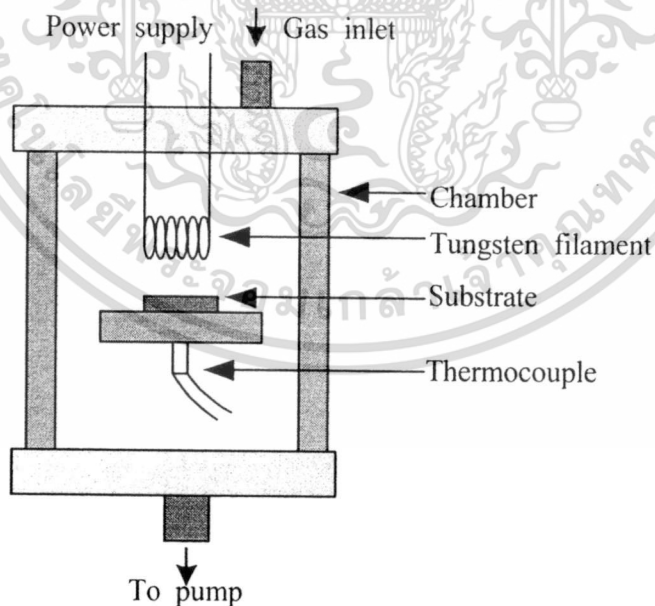
- Hot filament activation หรือ ระบบ CVD แบบความร้อนเป็นระบบที่ใช้ในการแตกตัวทางความร้อนทำให้เกิดอะตอมของไฮโดรเจนและอนุพลีสระอื่น ๆ ซึ่งเป็นไอเคมีในการเกิดเพชร โดยการใช้พลังงานความร้อนจากไส้หลอดที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 1,900-2,500 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของไฮโดรเจนมากกว่า 10% เมื่อไส้หลอดมีอุณหภูมิ 2,400 องศาเซลเซียส [28-31]

การแตกตัวทางความร้อนนี้ทำให้อุปกรณ์สำหรับสร้างฟิล์มเพชรระบบนี้ง่ายกว่าระบบ CVD อื่น ๆ โดยจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายแก๊สซึ่งจะไหลผ่านไส้หลอดทั้งสแตน เรเนียม หรือ แทนทาลัม ไปยังฐานรองที่ระยะห่างจากไส้หลอด 5-15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.1 ระบบนี้สามารถสร้างฟิล์มเพชรได้ในบริเวณกว้างโดยใช้การหมุนไส้หลอดและฐานรองหรือใช้แหล่งจ่ายแบบกริดหรือแบบเส้น (ขึ้นอยู่กับรูปแบบของไส้หลอด) ทำให้ได้พื้นที่มากกว่าการใช้แหล่งจ่ายแก๊สแบบจุด

(ระบบพลาสมาและ Combustion) ค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ถูก ได้อัตราการโตที่พอเหมาะในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เสนอแนะให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ $1 \mu\text{m/h}$ เมื่อกระตุ้นแก๊สเฟสของระบบให้ไฮโดรเจนแตกตัวเป็นอะตอมและใช้อัตราส่วนมีเทนในไฮโดรเจน $\leq 1\%$ ความดัน < 100 ทอร์ อุณหภูมิฐานรองประมาณ 800 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไส้หลอด 2,000-2,200 องศาเซลเซียส และเลือกใช้ฐานรองเป็นซิลิกอนหรือโมลิบดีนัม นอกจากนี้ระบบนี้ยังให้ฟิล์มเพชรที่มีคุณภาพของสเปกตรัมของ Raman ดี

การปนเปื้อนของฟิล์มจากสิ่งเจือปนจากไส้หลอด แต่ก็ยังมีคุณภาพเพียงพอสำหรับใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ แต่เนื่องจากไส้หลอดจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์สัมพันธ์กับเวลา จึงพัฒนาระบบโดยใช้ Mass spectroscopy และ Tracking exhaust gas composition เข้ามาช่วยทำให้คุณสมบัติของฟิล์มขึ้นกับเวลาน้อยลง และฉีดมีเทนเข้าไประหว่างไส้หลอดกับฐานรอง และใช้ไฮโดรเจนที่ถูกกระตุ้นทำปฏิกิริยากับมีเทนบริเวณใกล้ฐานรองทำให้เกิดอนุโมลติสระของเมทิลและสารสำคัญอื่น ๆ โดยไม่มีการ Carburizing ที่ไส้หลอด แต่เนื่องจากไส้หลอดมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างระหว่างการเกิดเพชรหรือเกิดการย่อยเนื่องจากแรงดึงดูดโลกและการกระจายความร้อน โดยเฉพาะเมื่อใช้ไส้หลอดทั้งสแตน การเปลี่ยนแปลงนี้จะกระทบต่อระยะระหว่างไส้หลอดและฐานรองและกระทบต่ออุณหภูมิของฐานรอง เคมิของแก๊สที่ฐานรอง และความสม่ำเสมอของฟิล์ม จึงต้องระมัดระวังในการออกแบบช่วยให้ไส้หลอดเกิดการผิครูปร่างไปน้อยที่สุด เช่น ใช้ไส้หลอดตรงที่มีการรักษาความตึงอยู่ตลอดแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้น นอกจากนี้ยังอาจใช้เทคนิคเพิ่มจำนวนไส้หลอด [32-34]

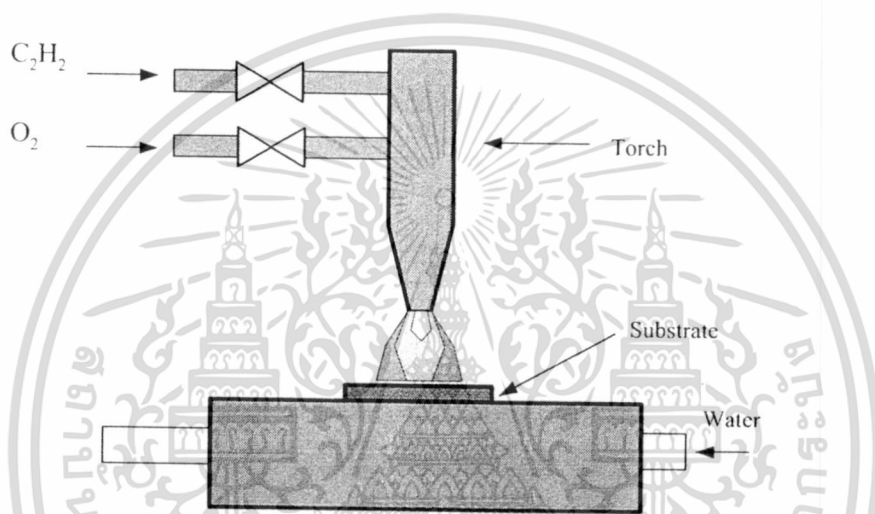


รูปที่ 2.1 แผนภาพของระบบ Hot filament activated CVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Combustion activation CVD method** วิธีการสังเคราะห์นี้มีอุปกรณ์พื้นฐานดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วย หัวเชื่อม แหล่งจ่ายก๊าซออกซิเจนและไฮโดรคาร์บอนเป็นอุปกรณ์หลัก หลักการสังเคราะห์คือ ทำการเผาก๊าซออกซิเจนกับ ไฮโดรคาร์บอนในอัตราส่วน ประมาณ 0.70-0.95 จะปรากฏเปลวไฟเป็นสามเปลว ทำการปรับให้เปลวไฟชั้นกลางสัมผัสกับฐานรองซิลิกอน ควบคุมอุณหภูมิของฐานรองในช่วง $800-1,000^{\circ}\text{C}$ อะตอมของคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้จะตกลงบนฐานรองเกิดเป็นฟิล์มเพชร [35-40]

ฟิล์มเพชรที่เกิดมีคุณภาพที่ดี อัตราการเกิดของฟิล์มเพชรสูงสุดประมาณ $100\ \mu\text{m/h}$ และอัตราเฉลี่ย $30-50\ \mu\text{m/h}$



รูปที่ 2.2 แผนภาพระบบ Combustion activation method

2.3 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

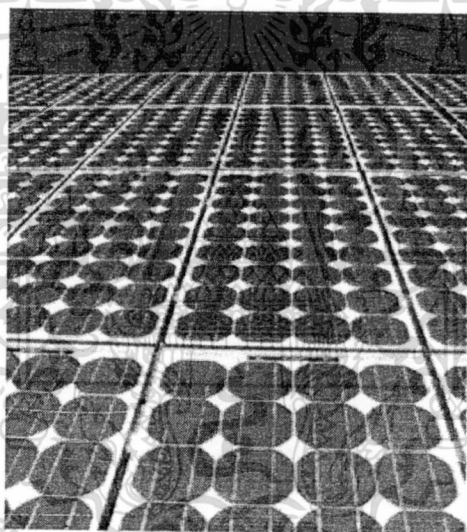
โดยการทำงานอธิบายได้ด้วยอุปกรณ์โฟโตไดโอด โฟโตไดโอดเป็นสิ่งประดิษฐ์ตรวจรับแสงชนิดโฟโตอิเล็กทริกแบบภายใน(internal photoelectric) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอนต่อพี-เอ็น เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่รอยต่อพี-เอ็น จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันขึ้น โดยความหมายกว้างๆ อาจจะรวมถึงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วถ้ากล่าวถึงโฟโตไดโอดจะหมายถึงเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและใช้ตรวจจับความเข้มของแสง [41-43]

ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมากกว่า 95% ทำมาจากซิลิกอน อันประกอบไปด้วยผลึกรูปเดี่ยวของซิลิกอน (single crystalline Si) ผลึกหลายรูปของซิลิกอน (multi crystalline Si) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous Si) ในที่นี้มากกว่า 90% อยู่ในรูปของผลึกซิลิคอนเพียงอย่างเดียว ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากผลึกของซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

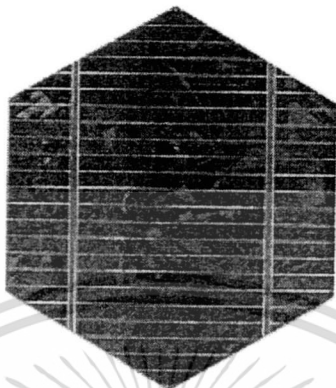
1. แบบผลึกรูปเดี่ยว (single crystal or monocrystalline wafers) เป็นการนำเอาแผ่นผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) ซึ่งได้จากกระบวนการโซคราลสกี (Czochralski process) มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์ประเภทนี้มีราคาค่อนข้างแพง แต่ก็มีประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูง ในทางการค้าเซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 16-17% และสูงถึง 20% ในบางบริษัท (บริษัท Sunpower) เนื่องจากเซลล์ชนิดนี้จะมีราคาสูงอีกทั้ง เมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์ หรือ โมดูล (modules) จะทำให้สูญเสียพื้นที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านของเซลล์ และในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ยังไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นผลึกที่มีคุณภาพสูงเช่นนี้ จึงได้มีการนำเอาผลึกแบบหลายรูป (polycrystal) มาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แทน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว

2. แบบผลึกหลายรูป (poly or multi crystalline) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน ผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอนคือ แท่งซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของผลึกเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตรถึงระดับมิลลิเมตร) ของซิลิคอนแบบผลึกรูปเดี่ยว โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมเหลวลงในเบ้าหลอม (crucible) แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ ซึ่งก็จะได้แท่งของโพลีซิลิคอนที่มีรูปร่างตามเบ้าหลอมที่ใช้ หลังจากนั้น การนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกรูปเดี่ยว คือ นำไปตัดเป็นเวเฟอร์ (wafer) หนาขนาด 300 - 400 ไมโครเมตร แล้วนำไปสร้างรอยต่อพี-เอ็นต่อไป เซลล์ชนิดนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าแบบผลึกรูปเดี่ยวแต่ก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าด้วย (ประมาณ 15 - 16%) อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของเซลล์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบผลึกโพลี คือ รูปร่างของแผ่นเซลล์ซึ่งสามารถทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้ ทำให้มีช่องว่างบนแผงเซลล์น้อยกว่าแบบแผ่นกลม ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่าแบบแผ่นกลมถึง 25% เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูปแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป

3. แบบริบบอน (ribbon silicon) เทคโนโลยีของการสร้างแผ่นผลึกทั้งแบบผลึกรูปเดี่ยวที่เป็นแผ่นกลม และแบบผลึกหลายรูปที่เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมนั้น ยังคงเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองวัสดุอยู่ เนื่องจากต้องมีการตัดแผ่นผลึกทำให้ต้องเสียเนื้อของซิลิคอนไปส่วนหนึ่ง จึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผ่นซิลิคอนให้เป็นแผ่นบาง และยาว ที่เรียกว่า ริบบอน (ribbon) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบผลึกหลายรูป ทำให้ไม่ต้องเสียเนื้อซิลิคอนในการตัดให้เป็นแผ่นบางๆ เทคนิคในการสร้างแผ่นผลึกแบบริบบอนมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีอีเอฟจี และเดนดริติก (dendritic)

อีเอฟจี (EFG) ย่อมาจาก Edge-defined film-fed growth เป็นวิธีการสร้างแผ่นผลึกที่คล้ายกับวิธีของโซคราลสกี ที่ต้องใช้เมล็ดผลึกไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องเล็กๆ บางๆ ที่ทำด้วยแกรไฟต์ เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมยาวตามที่ต้องการ แผ่นผลึกที่ผลิตด้วยวิธีนี้ จะมีความหนาราว 150-300 ไมครอน มีความกว้างตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร ข้อเสียของริบบอนแบบอีเอฟจีนี้ คือ มีโครงสร้างของผลึกที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับวิธีของโซคราลสกีและการที่ซิลิคอนต้องถูกหลอมเหลวอยู่ในเบ้าหลอมแล้ว ยังต้องมีการดึงผ่านช่องแคบๆ ของแกรไฟต์อีก วิธีการเช่นนี้ทำให้แผ่นผลึกที่ได้มีความไม่สมบูรณ์สูง เนื่องจากสิ่งแปลกปลอม และสารเจือปนต่างๆ จากเบ้าหลอมและแผ่นแกรไฟต์สามารถเข้าไปในเนื้อซิลิคอนได้ง่าย วิธีการที่สามารถจะลดความไม่บริสุทธิ์ของแผ่นผลึกแบบริบบอนได้ก็คือ วิธีการแบบเดนดริติก

การดึงแผ่นผลึกริบบอนแบบเดนดริติก จะใช้เมล็ดผลึกไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องที่มีอยู่เฉพาะตรงขอบทั้ง 2 ด้าน เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมในแบบริบบอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นผลึกที่สร้างด้วยวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับวิธีของโซคราลสกี เมื่อนำไปสร้างเซลล์ จะได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอีเอฟจี

ต้นทุนของเซลล์แบบรีบอนนั้นถือว่าถูกกว่าแบบชนิดอื่นเพราะมีการสูญเสียซิลิคอนน้อยกว่าทุกวิธี แต่เซลล์ที่ได้ก็มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าแบบอื่นคือประมาณ 13.5 - 15% และมีราคาจำหน่ายที่สูงเนื่องจากการผลิตที่ต่ำ

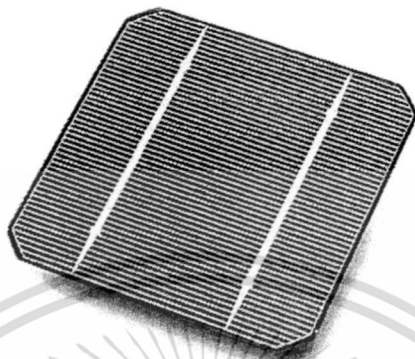
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกของซิลิคอนทั้ง 3 แบบดังกล่าว ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากแผ่นเวเฟอร์ (wafer-based manufacturing) เนื่องจากเป็นการนำแผ่นซิลิคอน หรือเวเฟอร์ (wafer) ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 180-240 ไมโครเมตร มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่อเชื่อมกันให้เป็นโมดูล (module) ก่อนนำไปใช้ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์จากฟิล์มบาง (thin film) ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากโมดูล หรือ แผงเซลล์ (module-based manufacturing) เพราะแผงเซลล์ที่เป็นฐานรองนั้นจะถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการ และทำการตัดออกเป็นแต่ละเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ (laser scribe) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากฟิล์มบางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon films) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เวเฟอร์ โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองด้วยเทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไซเรน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีกระแสความร้อน เช่น โดยใช้พลาสมา เพื่อส่งพลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซ เข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง โดยส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำให้การเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่น เกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้ หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน (boron) เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย เราจะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดพี (p-type Si) และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสฟอรัส (phosphorus) เช่น PH_3 เราจะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type Si) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างให้เกิดชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการได้

จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส ก็คือ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมาก และอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีช่องว่างพลังงาน (energy bandgap) 1.7 eV มากกว่าแบบผลึกซิลิคอน (1.1 eV) ทำให้อัตราการดูดแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอนสูงกว่าแบบผลึกมาก จึงสามารถลดความหนาของฟิล์มเป็นระดับ 1 ไมโครเมตรได้ ในขณะที่แบบผลึกต้องทำอย่างน้อยหนาประมาณ 300 ไมโครเมตรซึ่งทั้งนี้ก็เพื่อความแข็งแรงทางกลของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย นั่นก็คือ อะมอร์ฟัสซิลิคอนสามารถประหยัดปริมาณของซิลิคอนได้มากกว่า และยังมีนิยมนำมาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างเป็นไดโอด (diode) 2 ตัวเรียงต่อกันเป็นชั้น (tandem cell) ให้เซลล์ด้านบนเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนแสงย่านที่ตามองเห็น (visible light) และปล่อยให้แสงย่านอินฟราเรด (infrared) ถูกดูดกลืนโดยเซลล์ด้านล่างซึ่งเป็นผลึกระดับนาโนเมตรของซิลิคอน (nanocrystalline Si) ที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากับผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน

จุดด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส คือ ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ต่ำประมาณ 8% และเซลล์แบบนี้ยังมีอายุการใช้งานที่สั้น เมื่อนำไปใช้กับแสงแดด ปัญหาการเสื่อมลงของเซลล์แบบอะมอร์ฟัสนี้ยังเป็นปัญหาหลักที่ยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขกันต่อไปอีก

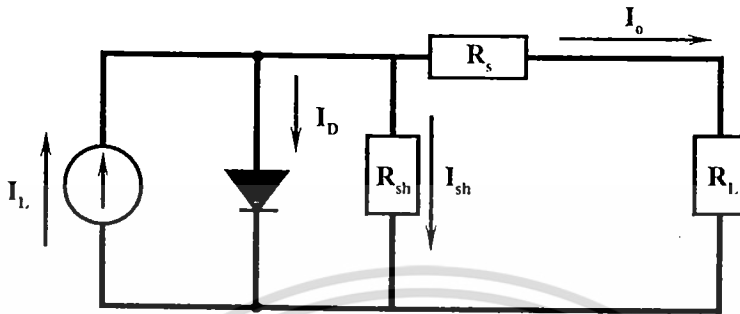
2. แบบซีไอเอส (CIS) เซลล์แสงอาทิตย์แบบซีไอเอสถูกสร้างขึ้นด้วยฟิล์มบางของธาตุที่ประกอบไปด้วย ทองแดง (copper) อินเดียม (indium) และ ซีลีเนียม (selenium) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ $CuInSe_2$ หรือ $Cu(In_x Ga_{1-x})(Se_x S_{1-x})_2$ ฟิล์มบางของเซลล์แบบซีไอเอสจะมีความหนาน้อยกว่าเซลล์แบบโพลีอยู่ประมาณ 10 เท่า ประสิทธิภาพของเซลล์แบบซีไอเอสนี้สูงถึง 11% แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนก็ยังมีราคาที่สูงอยู่มาก

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Dye-sensitized (Dye-sensitized solar cells) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อีกแบบหนึ่งที่ใช้ปฏิกิริยาทางแสง-ไฟฟ้า-เคมี (photoelectrochemical cells) ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดย Michael Graetzel และคณะ เซลล์ชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Gractzer cells แนวความคิดของเซลล์แบบไดซ์-เซ็นซิไทซ์นั้นมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (process of photosynthesis) และกำลังอยู่ในขั้นตอนของการศึกษา วิจัย พัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดนี้สามารถขึ้นไปได้ถึง 33% ในทางทฤษฎี และมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2010 จะเริ่มมีเซลล์ชนิดนี้ออกวางจำหน่ายในทางการพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นแบบง่าย ๆ จะมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant current source : I_L) ต่อขนานอยู่กับรอยต่อพีเอ็นแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่นั่นก็คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) ความต้านทานขั้ว (R_{sh}) และ รอยต่อพี-เอ็นของไดโอด กระแส I_L ที่เกิดเนื่องจากแสงนี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอด และ R_s แล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) กระแสที่ไหลผ่าน R_s และ R_L ให้มีค่าเป็น I_o จะได้ว่า

$$I_L = I_D + I_o \quad (2.1)$$

$$I_o = I_L - I_D \quad (2.2)$$

เมื่อ $R_s = 0$ กระแส I_D มีค่าดังนี้

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

ค่า n (Ideality factor) เป็นค่าที่แสดงให้รู้ว่ารอยต่อมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด ในทางอุดมคติถือว่า $n = 1$ ดังนั้น

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

ในกรณีที่ลัดวงจรทางโหลด เพื่อที่จะดูค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ จะได้ว่า $V = 0$ ดังนั้น

$$I_o = I_L \quad (2.6)$$

ในกรณีนี้ I_o ก็คือ I_{sc} ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสที่เกิดมาจากแสง

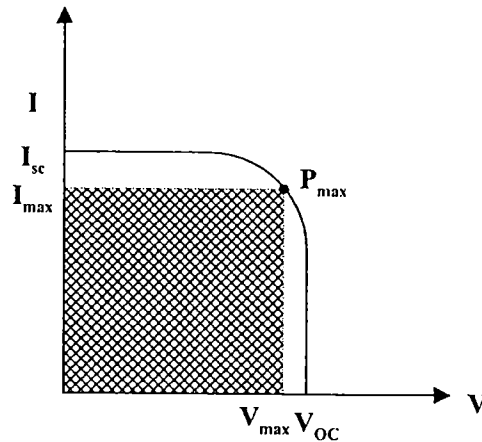
ในกรณีที่เปิดวงจรทางโหลดเพื่อที่จะดูค่าแรงดันแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) จะได้ว่า $I_o = 0$ ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$I_L = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

$$\ln \frac{I_L}{I_s} = \frac{qV}{kT} - 1 \quad (2.8)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \left(\ln \frac{I_L}{I_s} + 1 \right) \quad (2.9)$$

กรณีที่โหลดมีค่า $0 < R_L < \infty$ จะได้ว่าเซลล์จะจ่ายกระแส I และแรงดัน V ให้แก่โหลดค่าหนึ่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 < I < I_{sc}$ และ $0 < V < V_{oc}$ ตามลำดับ กำลังงาน (Power) ที่เซลล์จ่ายให้แก่โหลด R_L สามารถหาได้จากผลคูณของกระแสและแรงดันที่โหลดได้รับ ค่าของกระแสและแรงดันที่ทำให้ผลคูณของปริมาณทั้งสองมีค่าสูงสุด เรียกว่า กระแสสูงสุด (I_{max}) และ แรงดันสูงสุด (V_{max}) ตามลำดับ ซึ่งที่จุดนี้จะให้ กำลังงานสูงสุด (Maximum Power : P_{max}) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง

ดังนั้นกำลังงานสูงสุดจึงถูกนิยามว่าค่ากำลังงานสูงสุดที่เซลล์สามารถจ่ายให้แก่โหลด โดย $P_{\max} < I_{sc} \cdot V_{oc}$ ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟรูปที่ 2.7 คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าๆหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า “ฟิลแฟกเตอร์” (F.F. : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F. = \frac{P_m}{P_0} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.10)$$

จะเห็นว่าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่า เซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับทางอุดมคติมาก พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน (Energy conversion efficiency) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Cells Efficiency) ซึ่งถูกนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่เซลล์สามารถจ่ายได้กับกำลังงานที่เซลล์ได้รับจากแสง ดังนั้นถ้าพิจารณาว่าเซลล์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดได้เป็นค่าสูงสุดจะได้ว่า

$$\text{ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\eta = \frac{I_{\max} V_{\max}}{P_{in}} = \frac{F.F. \times I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.12)$$

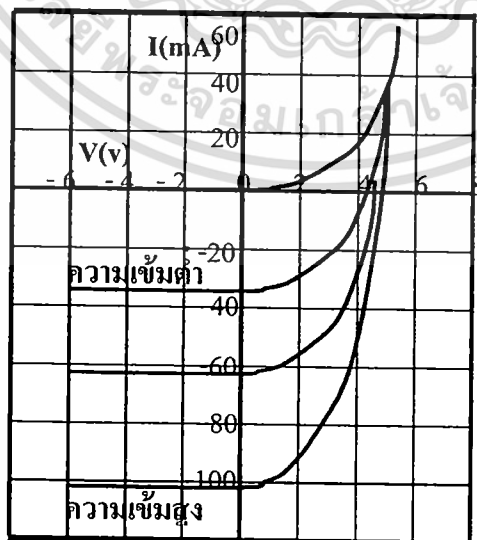
หรือ

$$\eta = \frac{P_{\max} (W)}{Area (m^2) \times P_m (W)} \times 100\% \quad (2.13)$$

2.5 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยเมื่อมีแสงตกกระทบบนที่เซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์จะเหมือนกับไดโอดทั่วไปทุกประการ แตกต่างกันเพียงแต่ ชั้นของสารกึ่งตัวนำทางด้านที่รับแสง ต้องมีความบางมากๆ จนแสงส่องทะลุไปถึงรอยต่อและสารกึ่งตัวนำด้านที่เป็นฐานรองได้ เพราะฉะนั้น กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ถูกแสง จะมีลักษณะเหมือนกันกับไดโอดทั่วไป แต่ถ้ามีแสงมาตกกระทบบแล้ว คุณลักษณะกระแสและแรงดันจะเปลี่ยนไป

- ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นต้องใช้แสงมากระตุ้นให้อิเล็กตรอนมีอิสระหลุดจากการยึดเหนี่ยวกับ โสไลภายในอะตอม ถ้าแสงที่ส่องมากระทบบเซลล์มีความเข้มสูงมากขึ้นก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลให้กระแสที่ได้จากเซลล์มีค่าสูงขึ้น กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกันได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลของอุณหภูมิตที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ การนำเซลล์ไปใช้งานจริง ๆ นั้น เซลล์จะต้องได้รับความร้อนอันเนื่องมาจากแสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ก็มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเมื่อได้พิจารณาสมการของกระแส I_0 ที่ไหลผ่านมายังโหลด R_L จะพบว่ากระแส I_0 นี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรจะขึ้นอยู่กับกระแสเนื่องมาจากแสง I_L และกระแส I_D ที่ไหลผ่านรอยต่อ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมาพิจารณาผลของอุณหภูมิตที่มีต่อ I_L และ I_D

- ผลของอุณหภูมิตที่มีต่อ I_L กระแส I_L ที่เกิดขึ้นจากแสงนั้นมีสมการดังต่อไปนี้

$$I_L = qg(x)A(L_e + L_h) \quad (2.14)$$

เนื่องจาก I_L แปรผันตาม $g(x)$ และ L จึงควรพิจารณาผลของอุณหภูมิตที่มีต่อ $g(x)$ และ L จากสมการ

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (2.15)$$

เมื่อ D คือสัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมของสาร (Diffusion coefficient) สำหรับอุณหภูมิต่ำ ๆ นั้น จะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึม น้อยมาก จากสมการของ L จึงเหลืออยู่แค่อายุของพาหะ τ (Carrier lifetime) ที่ต้องพิจารณา ซึ่งก็พบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำ ๆ นั้น จะมีผลต่ออายุของประจุพาหะ น้อยมากเช่นกัน (สำหรับอายุของนี้ จะขึ้นอยู่กับระดับการแพร่ซึมและระดับแพร่เป็นส่วนใหญ่)

องค์ประกอบอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อ I_L ก็คือ $g(x)$ โดยพบว่า $g(x)$ จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องจากช่องว่างแถบพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิตเพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานโฟตอนจากแสงสามารถไปกระตุ้นให้เกิดพาหะได้มากขึ้นกว่าเดิม แต่ผลที่เกิดขึ้นนี้เมื่อพิจารณาการนำไปใช้งานจริง ๆ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตเพียงเล็กน้อย (ในช่วง 20-70 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิตจะมีผลต่อค่า $g(x)$ น้อยมาก จึงสรุปได้ว่า I_L จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากกับอุณหภูมิต

- ผลของอุณหภูมิตที่มีต่อ I_D เมื่อพิจารณาค่าของ I_D ในสมการข้างล่าง

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะเห็นได้ว่า I_s จะมีผลต่อกระแส I_D มากที่สุด จึงควรพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อ I_s โดยพิจารณาจากสมการของ I_s ดังนี้

$$I_s = Aqn_i^2 \left[\frac{1}{N_a} \left(\frac{D_e}{\tau_e} \right)^{1/2} + \frac{1}{N_d} \left(\frac{D_h}{\tau_h} \right)^{1/2} \right] \quad (2.17)$$

จากสมการของ I_s ในกรณีของซิลิกอน พบว่า n_i^2 จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ตามสมการดังนี้คือ

$$n_i^2 = 15 \times 10^{32} \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{kT}\right) \quad (2.18)$$

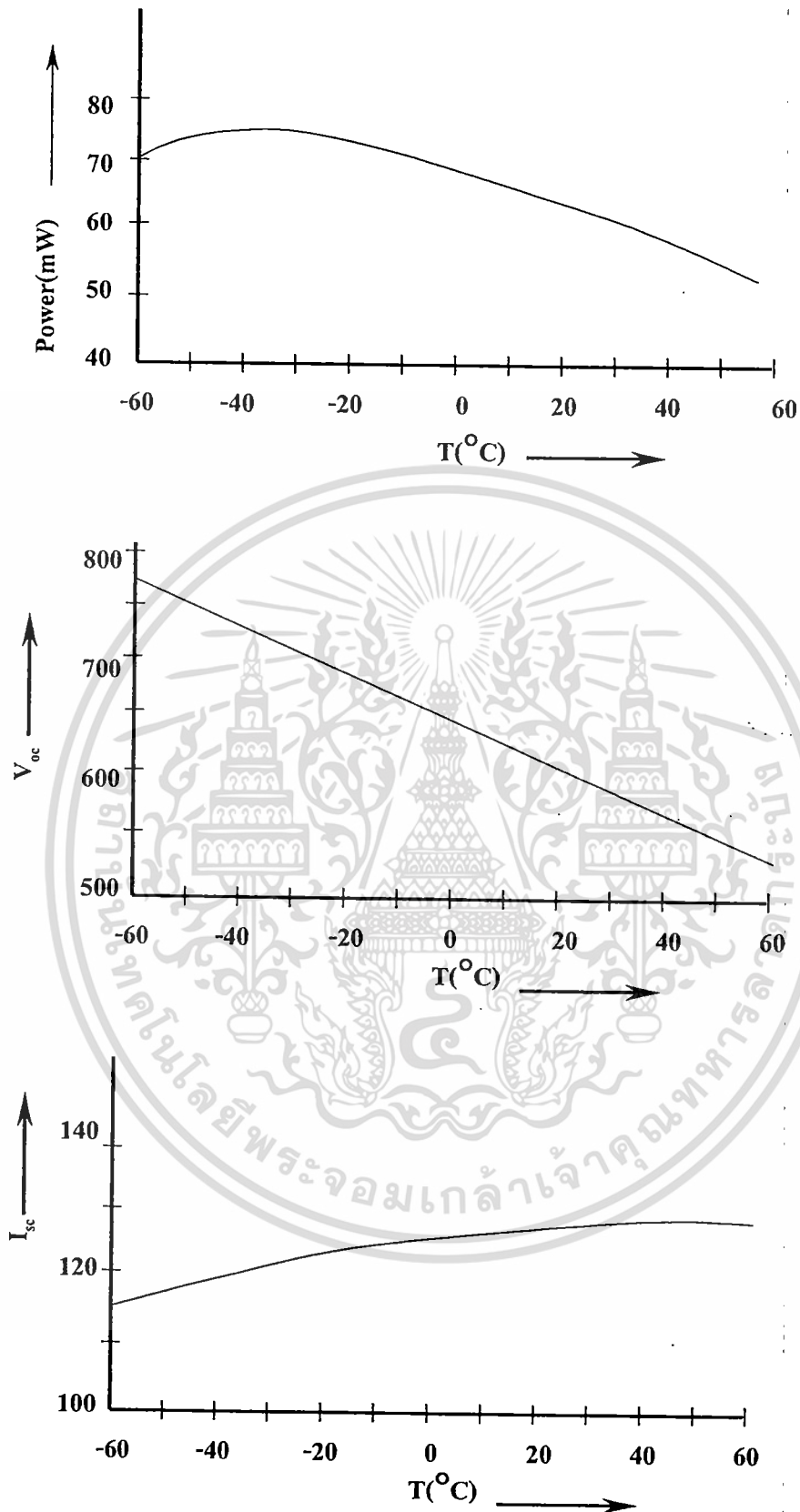
จากสมการจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น n_i^2 จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นแบบเอกโพเนนเชียล เป็นผลให้ I_s มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จากผลอันนี้ แสดงว่า

- ผลของอุณหภูมิต่อ V_{oc} สำหรับผลของอุณหภูมิต่อแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อความสะดวกจะพิจารณาค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (V_{oc}) ตามสมการดังนี้

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_s} + 1\right) \quad (2.19)$$

จากสมการนี้ค่าของ $\frac{kT}{q}$ จะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของ V_{oc}

เนื่องจากค่าของ $\frac{kT}{q}$ มีค่าต่ำมาก ค่าที่มีผลต่อ V_{oc} คือค่าของ I_s ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเป็นผลให้ค่าของ V_{oc} ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งผลของอุณหภูมิต่อ I_s , V_{oc} และ P_o แสดงไว้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีต่อกระแส แรงดันและพลังงานของแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สรุป

การสังเคราะห์ฟิล์มทำด้วยสองเทคนิคพร้อมกันเนื่องจากทั้งสองวิธีข้างต้นมีความเร็วในการสังเคราะห์ต่างกัน และฟิล์มเพชรที่ได้มีสมบัติทางไฟฟ้าต่างกันคือฟิล์มที่ได้จาก HFCVD สามารถสังเคราะห์ได้ฟิล์มชนิดพีและชนิดอินทรินสิกแต่มีอัตราการเกิดช้าเมื่อเทียบกับวิธี CACVD โดยผลที่ได้นี้น่ามาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM สำหรับวิเคราะห์ขนาดของผลึกและความหนาฟิล์มได้ เทคนิค Raman วิเคราะห์พันธะระหว่างคาร์บอนโดยพิจารณาที่ค่า Raman spectrum ที่ 520, 1,333 และ 1,580 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของซิลิคอน เพชร และแกรไฟต์ ตามลำดับ และยังสามารถวิเคราะห์คุณภาพของฟิล์มได้จากการหาค่า Full Width at Half Maximum (FWHM) และเทคนิค Seebeck effect วัดชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอการสร้างและการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างฟิล์มเพชรชนิดพี ฟิล์มเพชรชนิดอินทรีนซิกและซิลิกอนชนิดเอ็น ซึ่งจะต้องผ่านการเตรียมการอยู่หลายขั้นตอน เช่น การทำความสะอาดแผ่นซิลิกอนเบื้องต้น การกัดแผ่นซิลิกอน การสร้างฟิล์มเพชร การทำขั้วโลหะ รวมไปถึงการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ที่สร้างได้ [44-49]

3.1 บทนำ

กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์มีขั้นตอนดังนี้

- นำแผ่นซิลิกอนไปทำการสังเคราะห์
- ทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดอินทรีนซิก
- ทำการสร้างฟิล์มเพชรชนิดพี โดยใช้แหล่งจ่ายเป็นสารละลายผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับ

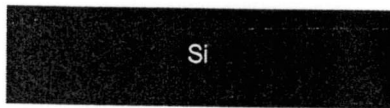
โบรอนไตรออกไซด์ แล้วทำความสะอาดฟิล์ม

- ทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีโดยใช้กระจกต้นแบบ

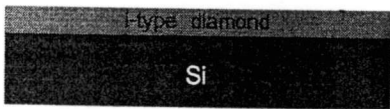
- ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $HCl+HNO_3$

- ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

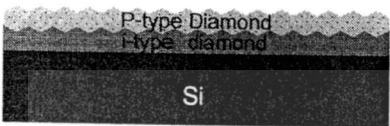
โดยแผนภาพกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3.1



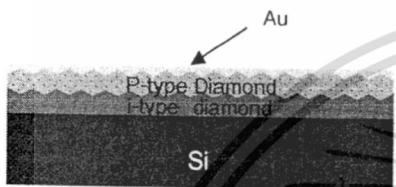
แผ่นซิลิกอนระนาบ 100 ที่ทำความสะอาดเบื้องต้น



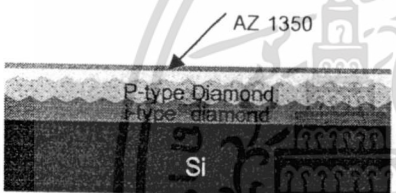
ทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิกอน



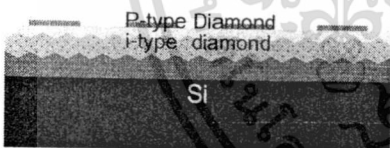
สังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดพี โดยใช้แหล่งจ่ายเป็น สารละลาย $C_2H_5OH + B_2O_3$



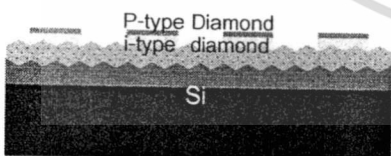
เคลือบโลหะทองคำด้วยเครื่อง Vacuum Evaporate



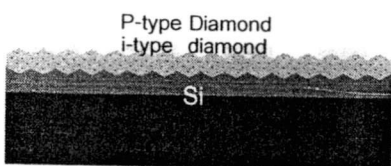
เคลือบน้ำยาไวแสง AZ1350 ด้วยเครื่อง Spinner



ใช้กระบวนการ โฟโตลิโธกราฟีเพื่อสร้างลวดลายโลหะ ที่ต้องการ



ลอกทองคำส่วนที่ไม่ต้องการด้วย $HCl + HNO_3$



ลอก AZ1350 ส่วนที่เหลือด้วย Acetone

รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการเตรียมฐานรอง

การทดลองนี้ เลือกใช้ซิลิกอนเป็นฐานรองในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร โดยใช้ซิลิกอนชนิดพีระนาบ (100) มีความหนาประมาณ 400 ไมครอน ก่อนที่จะนำฐานรองซิลิกอนนี้ไปสังเคราะห์ฟิล์มเพชร จำเป็นต้องทำความสะอาดเบื้องต้น และเตรียมผิวหน้าฐานรองซิลิกอนดังนี้

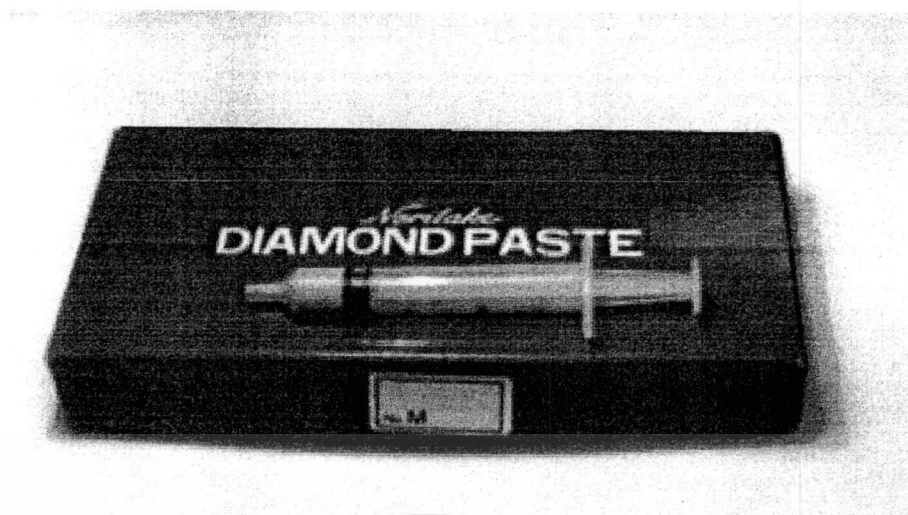
3.2.1 การทำความสะอาดผิวหน้าฐานรองซิลิกอน

- กำจัดเศษฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกบนผิวหน้าซิลิกอนในน้ำ DI (Deionized water) ด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaning) แล้วล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้ง
- ลอกชั้นออกไซด์ที่ผิวหน้าฐานรองด้วยสารละลายกรด HF 5% แล้วล้างออกด้วยน้ำ DI
- กำจัดสิ่งสกปรกจำพวกโลหะบริเวณผิวหน้าโดยการต้มด้วยกรดไนตริก (HNO_3 acid)
- ล้างกรด HNO_3 ด้วยการต้มในน้ำ DI และล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้ง เป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2
- กำจัดสิ่งสกปรกจำพวกไขมันบริเวณผิวหน้า โดยการต้มด้วยสารละลายไตรคลอโรเอธิลีน (Trichloroethylene)
- ล้างสารละลายไตรคลอโรเอธิลีนออกด้วยอะซีโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง และล้างด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ลอกชั้นออกไซด์ออกด้วยสารละลายกรด HF 5% และล้างออกด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้ง

3.2.2 การเตรียมผิวหน้าฐานรอง

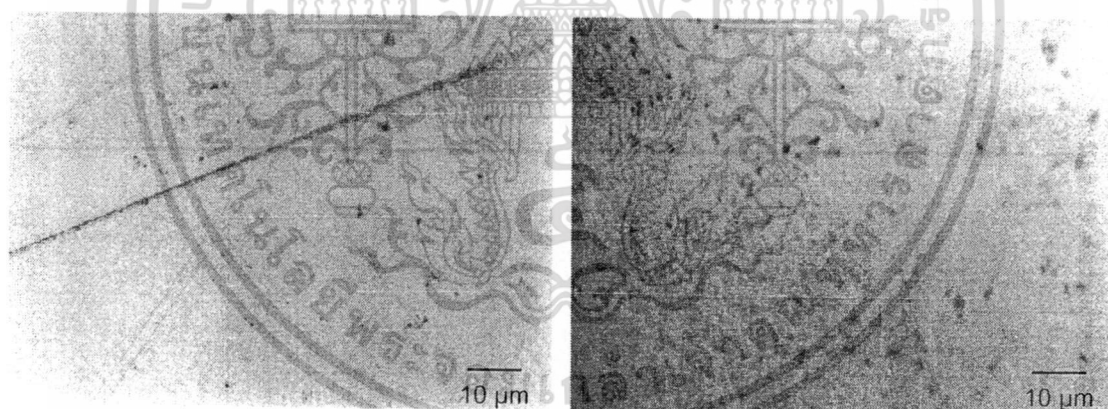
หลังจากทำความสะอาดเบื้องต้นกับฐานรองซิลิกอนครบทุกขั้นตอน แล้วจะทำการเตรียมผิวหน้าฐานรองซิลิกอนก่อนนำไปสังเคราะห์ฟิล์มเพชร เพื่อเป็นการกระตุ้นฐานรองให้มีความหนาแน่นของการนิวเคลียสเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเป็นฟิล์มเพชรเร็วขึ้น โดยในการทดลองนี้ เลือกใช้การขัดด้วยครีมเพชรเป็นการเตรียมผิวหน้าฐานรอง ครีมเพชรที่ใช้ขัดมีขนาดของเม็ดผลึก 0.25 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ใช้เวลาในการขัดประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำความสะอาดแผ่นซิลิกอนอีกครั้งเพื่อล้างครีมเพชรออกด้วยวิธีดังต่อไปนี้

- ต้มแผ่นซิลิกอนในสารละลายไตรคลอโรเอธิลีนเพื่อล้างครีมเพชรออก
- ล้างสารละลายไตรคลอโรเอธิลีนออกด้วยอะซีโตนโดยสั่นในเครื่องสั่นความถี่สูง
- ล้างอะซีโตนออกด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- กำจัดชั้นออกไซด์ที่อาจจะเกิดขึ้นอีกครั้งด้วยสารละลายกรด HF 5%
- ล้างกรด HF 5% ออกด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนอีกครั้ง



รูปที่ 3.2 ครีมเพชรที่ใช้ในการขัดผิวหน้าฐานรองซัลฟิดคอนขนาดเม็ดผลึก 0.25 ไมครอน

จากนั้น นำแผ่นซัลฟิดคอนนี้ไปตรวจสอบรอยขีดที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งลักษณะผิวหน้าที่ผ่านการขัดด้วยครีมเพชรนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นฐานรองที่พร้อมจะนำไปสังเคราะห์ฟิล์มต่างๆ ได้ต่อไป



(a) ขัดด้วยครีมเพชร

(b) อัลตราโซนิคในผงเพชร

รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายพื้นผิวของฐานรองซัลฟิดคอนที่ผ่านกระบวนการเตรียมฐานรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางเพชร

3.3.1 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Hot Filament CVD

การสังเคราะห์ฟิล์มบางเพชรในวิทยานิพนธ์นี้จะในวิธีการ CVD แบบ Hot-Filament (HFCVD) โดยจะเพิ่มแหล่งจ่ายก๊าซไฮโดรเจนเข้าไปใน Chamber ซึ่งจะทำให้สังเคราะห์ฟิล์มเพชรได้พื้นที่ที่กว้างกว่าเทคนิคเดิม โดยจะมีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดก๊าซไฮโดรเจนทั้ง 2 ถัง เข้าสู่ Chamber เป็นเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้บรรยากาศใน Chamber เป็นบรรยากาศของไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว
2. ปิดวาล์ว 1 เพื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนถังที่ 1 ไหลผ่านแหล่งจ่ายเพื่อพาไอระเหยของแอลกอฮอล์เข้า Chamber โดยควบคุมอัตราการไหลด้วย Flow meter ขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนถังที่ 2 ยังคงจ่ายก๊าซไฮโดรเจน โดยควบคุมอัตราการไหลด้วย Flow meter โดยไอระเหยของแอลกอฮอล์จะรวมกับก๊าซไฮโดรเจนที่ท่อรวมก๊าซดังรูปที่ 3.2
3. ค่อยๆเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้กับไส้หลอดทั้งสแตนด์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของไส้หลอดจนมีอุณหภูมิประมาณ $2,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วจึงปรับระยะห่างระหว่างแผ่นพอร์สซีลิกอนกับไส้หลอดทั้งสแตนด์ให้มีระยะห่างประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยสามารถสร้างฟิล์มเพชรได้ตามระยะเวลาที่ต้องการ
4. เมื่อครบระยะเวลาที่ต้องการสร้างฟิล์มเพชรแล้วค่อยๆลดระยะห่างระหว่างแผ่นพอร์สซีลิกอนกับไส้หลอดทั้งสแตนด์ประมาณ 3 เซนติเมตร จากนั้นค่อยๆลดกระแสไฟฟ้า แล้วจึงปิดแหล่งจ่ายก๊าซไฮโดรเจนทั้งสองถัง รอจนกระทั่งไม่มีก๊าซไฮโดรเจนค้างใน Chamber แล้วจึงนำชิ้นงานที่ได้ไปสู่กระบวนการถัดไป

3.3.2 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation CVD

การสังเคราะห์ด้วยวิธี Combustion activation ก็เช่นเดียวกันเป็นการใช้หลักการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ระหว่างออกซิเจนกับอะเซทิลีนซึ่งเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เงื่อนไขของการสังเคราะห์คือทำให้เหลือก๊าซอะเซทิลีน และการเผาไหม้เนื้อทำให้เกิดความร้อนสามารถทำให้ก๊าซอะเซทิลีนแตกตัวออกเป็นธาตุคาร์บอนและก๊าซไฮโดรเจนจะเกิดการเผาไหม้ครั้งที่สองกับก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำตามลำดับ เมื่อทราบเงื่อนไขของการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีนี้จึงมีปัจจัยที่ต้องทำการควบคุมปัจจัยของวิธีการสังเคราะห์นี้ให้เป็นไปตามเงื่อนไขโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของหัวเชื่อมและการปรับอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและอะเซทิลีนค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการนิเวศิเอชันและฟิล์มเพชรสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 โดยแต่ละส่วนของการทดลองจะเลือกตัวแปรต่างๆ ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สรุปเงื่อนไขการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

ตัวแปร	เงื่อนไขการทดลอง
ความดัน	1 บรรยากาศ
อัตราส่วนก๊าซออกซิเจนกับอะเซทิลีน ก๊าซออกซิเจน (cc/min) ก๊าซอะเซทิลีน (cc/min)	0.9 โดยปริมาตร 99.5% , อัตราการไหล 450cc/min 99.95% , อัตราการไหล 500 cc/min
ขนาดของหัวเชื่อม	100
ฐานรอง	ซิลิคอนขัดด้วยครีมเพชร ซิลิคอนอัลตราโซนิคในผงเพชร
อุณหภูมิฐานรอง	800 °C
ระยะห่างระหว่างเปลวกับฐานรอง	เปลวชั้นกลาง และเปลวชั้นนอก (0.1 - 1.1 mm)
เวลาในการสังเคราะห์	5 - 20 นาที

3.4 การสร้างรอยต่อโลหะกับฟิล์มเพชร

การสร้างรอยต่อโลหะกับฟิล์มเพชรในการศึกษานี้จะสร้างรอยต่อชนิดโอห์มมิกและรอยต่อชนิดช็อคกี๊ ฟิล์มเพชรที่ได้นี้มีระดับช่องว่างแถบพลังงาน 5.5 eV โดยใช้พื้นฐานการสร้างรอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำเช่นเดียวกัน การเลือกชนิดของโลหะซึ่งมีฟังก์ชันงานต่างกันเป็นเงื่อนไขการสร้างนั้นว่าจะได้รอยต่อชนิดใด ก่อนที่จะทำการสร้างรอยต่อนั้นจะต้องนำฟิล์มที่ได้ไปทำความสะอาด เพื่อกำจัดส่วนของคาร์บอนที่ไม่ใช่โครงสร้างเพชรออกดังนี้

- ต้มในสารละลายอิมตัวของ CrO_3 กับ H_2SO_4 ที่อุณหภูมิ 170°C 3 นาที
- ล้างด้วยสารละลายเดือด H_2O_2 และ 30% NH_4OH ในอัตราส่วน 1:1
- ล้างชิ้นงานด้วยน้ำ DI
- เป่าชิ้นงานให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

เมื่อทำความสะอาดฟิล์มเพชรแล้ว นำฟิล์มเพชรมาทำจั่วโลหะโดยการเคลือบในสุญญากาศ ซึ่งเลือกโลหะ ได้ดังนี้

- เคลือบอลูมิเนียม เพื่อทำรอยต่อช็อคกี๊
- เคลือบทองเพื่อทำรอยต่อโอห์มมิก
- นำไปซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 890°C 12 นาที

จากกระบวนการสามารถนำฟิล์มเพชรไปศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อไป

3.5 กระบวนการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เงื่อนไขต่างๆ

3.5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

เพื่อเป็นการหาค่าต่างๆ คือ ความต้านทาน สภาพความต้านทานไฟฟ้า จำนวนโฮล จำนวนอะตอมสารเจือโบรอน และค่าระดับพลังงานเฟอร์มิของฟิล์มเพชร โดยมีขั้นตอนดังนี้

-สังเคราะห์ฟิล์มเพชรบนแผ่นซิลิกอน โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของโบรอนต่อ แอลกอฮอล์ (B:C) ที่ 1ppm, 10ppm, 100ppm และ 1000ppm แล้วทำความสะอาด

-ทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี โดยใช้กระจกต้นแบบ

-ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$

-ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

-ทำการวัดค่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันแล้วคำนวณหาค่าความต้านทาน สภาพความต้านทานไฟฟ้า จำนวนโฮล จำนวนอะตอมสารเจือโบรอน และค่าระดับพลังงานเฟอร์มิของฟิล์มเพชร

3.5.2 การศึกษาระยะห่างลวดลายโลหะที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าผลของขอบเกรนมีผลทำให้อายุเวลาของอิเล็กตรอนและโฮลสั้นลง และการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลจะถูกกักไว้บริเวณขอบของเกรนทำให้กระแสที่เกิดจากแสงเกิดการรวมตัวกันก่อนที่จะถึงขั้วโลหะ จึงทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลออกมาน้อยกว่าปกติ จึงจำเป็นต้องสร้างลวดลายโลหะให้มีระยะห่างน้อย แต่ต้องคำนึงถึงด้วยว่าลวดลายโลหะที่ถี่มากขึ้นก็จะเป็นการลดพื้นที่รับแสงไปในตัว โดยการทดลองเป็นดังนี้

-สังเคราะห์ฟิล์มเพชรบนแผ่นซิลิกอน โดยใช้อัตราส่วนของโบรอนต่อ แอลกอฮอล์ (B:C) 1000ppm แล้วทำความสะอาด

-ทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี โดยใช้กระจกต้นแบบ

-ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$

-ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

-ทำการวัดข้อมูลโดยใช้แสงจากหลอดทั้งสแตนด์และหลอดUV ที่ความเข้มแสง 1000 lux

-ลอกโลหะทองคำจากชิ้นงานเดิมออกแล้วทำตามขั้นตอนเดิมทุกอย่างเพียงแต่เปลี่ยนค่าระยะห่างของลวดลายโลหะเป็น $60\text{ }\mu\text{m}$, $80\text{ }\mu\text{m}$ และ $100\text{ }\mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

3.6.1 ผลของความเข้มข้นของ B:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาผลของเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน B:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

-สังเคราะห์ฟิล์มเพชร โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน B:C เป็น 1ppm, 10ppm, 100ppm และ 1000ppm

-นำชิ้นงานที่ได้มาทำความสะอาดแล้วทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีโดยใช้กระจกต้นแบบ

-ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$

-ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

-ทำการวัดคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่อง Solar Simulator ที่ความเข้มแสง 11000 lux

3.6.2 ผลของความหนาของฟิล์มเพชรที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาผลของเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

-สังเคราะห์ฟิล์มเพชร เป็นเวลา 40, 50, 60 และ 70 นาที โดยใช้อัตราส่วน B:C เป็น 100ppm

-นำชิ้นงานที่ได้มาทำความสะอาดแล้วทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีโดยใช้กระจกต้นแบบ

-ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$

-ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

-ทำการวัดคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่อง Solar Simulator โดยใช้ความเข้มแสงเป็น 1000 lux

3.6.3 ผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาผลของเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

-สังเคราะห์ฟิล์มเพชร โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน B:C เป็น 1ppm,

10ppm, 100ppm และ 1000ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวันเวลาที่รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-นำชิ้นงานที่ได้มาทำความสะอาด แล้วทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีโดยใช้กระจกต้นแบบ

-ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $HCl+HNO_3$

-ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}C$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

-ทำการวัดคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง เป็น $1000, 3000, 5000, 7000, 9000$ และ 11000 lux

3.6.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาผลของเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

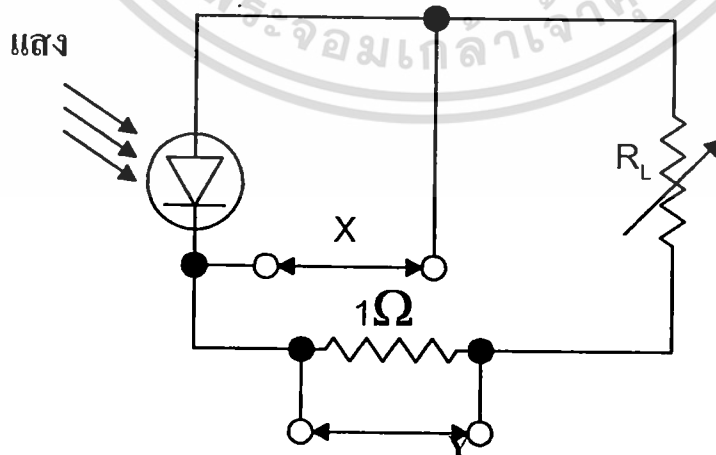
-สังเคราะห์ฟิล์มเพชร โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน B:C เป็น $1\text{ ppm}, 10\text{ ppm}, 100\text{ ppm}$ และ 1000 ppm

-นำชิ้นงานที่ได้มาทำความสะอาด แล้วทำการเคลือบโลหะทองคำในสุญญากาศ แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีโดยใช้กระจกต้นแบบที่สร้าง

-ทำการลอกทองส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ส่วนผสมของกรด $HCl+HNO_3$

-ทำการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}C$ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

-ทำการวัดคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ความเข้ม 11000 lux โดยต่อวงจรการวัดเป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรการวัดคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 สรุป

การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นี้ มีปัจจัยในการออกแบบเป็นเหมือนโครงสร้าง PIN (P-type/ Insulator/ N-type) ซึ่งเป็นการพัฒนาารอยต่อให้มีกระแสแสงมากขึ้นจากชั้นจนวนหรือชั้นอินทรีนซิค เนื่องจากเป็นชั้นที่มีการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอน-โฮล เมื่อมีแสงตกกระทบบจะเกิดคูพาหะอิเล็กตรอน-โฮล ทำให้มีความหนาแน่นของพาหะตัวนำมากขึ้นจึงเกิดกระแสแสงมากขึ้น โดยต้องสร้างความหนาของฟิล์มทั้งชนิดพี และอินทรีนซิคให้เหมาะสมอีกทั้งฟิล์มเพชรที่นำมาใช้นี้เป็นวัสดุโปร่งแสงจึงสามารถรับแรงได้เป็นอย่างดี



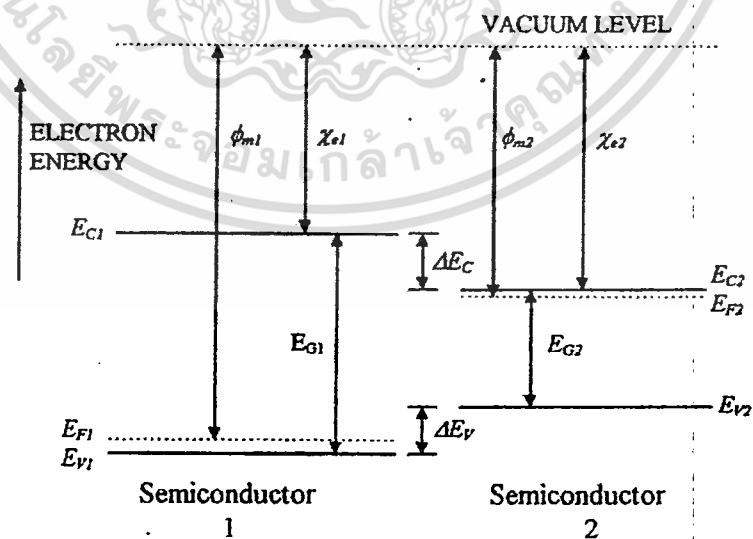
บทที่ 4

การศึกษาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

ในบทนี้กล่าวถึงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดระหว่างเพชรชนิดพี เพอร์ชนิดอินทรีนซิกและซิลิกอนชนิดเอ็น เนื่องจากการสร้างฟิล์มเพชรเพื่อที่จะนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเราจะต้องสร้างฟิล์มเพชรที่มีความบางมากๆเพื่อที่จะให้แสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นผ่านเข้าไปยังรอยต่อและชั้นซิลิกอนที่เป็นฐานรองได้ ดังนั้นเราจะต้องหาเงื่อนไขที่การเตรียมพื้นผิวฐานรองที่ทำให้เกิดฟิล์มเพชรที่สมบูรณ์และบางที่สุด

4.1 บทนำ

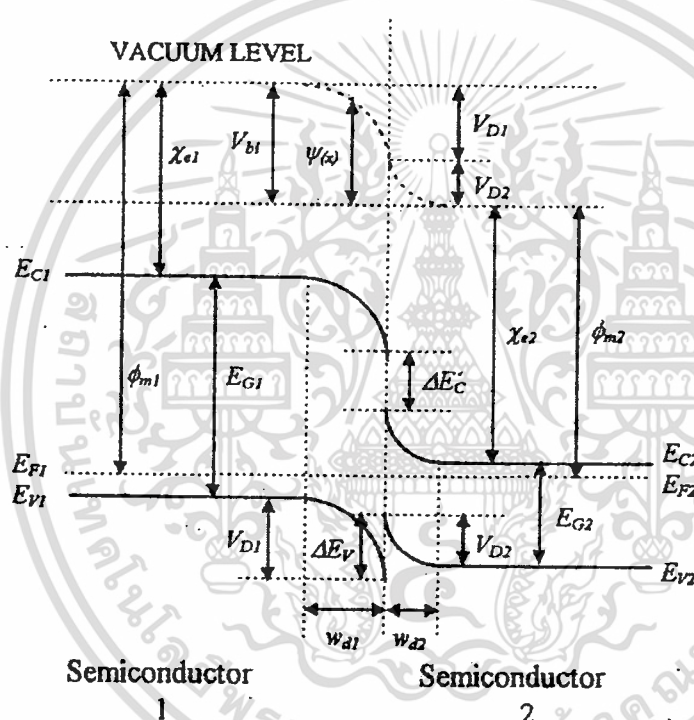
รอยต่อแบบเนื้อสารต่างชนิดกัน (Heterojunction) เป็นรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่มีช่องว่างแถบพลังงานที่ต่างกัน โดยมีความเข้ากันได้ดีของ ค่าคงที่แลตทิซ (lattice constant) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน เช่น รอยต่อระหว่างเพชรกับซิลิกอน แต่อย่างไรก็ตาม อาจจะไม่เสมอไป และอาจจะมีจุดบกพร่อง เช่น เกิดสถานะอินเตอร์เฟสที่พื้นที่ผิวของรอยต่อ สถานะนี้สามารถแสดงเป็นศูนย์กลางการแท็ป (trapping center) ซึ่งจะเป็นการจำกัดศักยภาพของอุปกรณ์ แบบจำลองแถบพลังงานของรอยต่อที่มีเนื้อสารต่างชนิดกันแบบอุดมคติโดยปราศจากสถานะอินเตอร์เฟส ถูกเสนอโดย Anderson โดยมีพื้นฐานของ Shockley เราจะพิจารณาแบบจำลองนี้ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ขณะไม่ต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปไดอะแกรมแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ที่มีความแตกต่างกันของแถบพลังงานต้องห้าม (E_g) ค่าฟังก์ชันงาน (ϕ) และค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (χ) โดยค่าฟังก์ชันงาน และค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี คือพลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากระดับเฟอร์มิไปยังระดับสูญญากาศ และพลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขอบล่างของแถบความนำไปยังระดับสูญญากาศ ตามลำดับ และความแตกต่างของแถบความนำและแถบวาเลนซ์ ของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดเป็น ΔE_c และ ΔE_v ตามลำดับ เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาต่อเข้าด้วยกัน แถบพลังงานที่แสดงภาวะสมดุลจะแสดงในรูปที่ 4.2



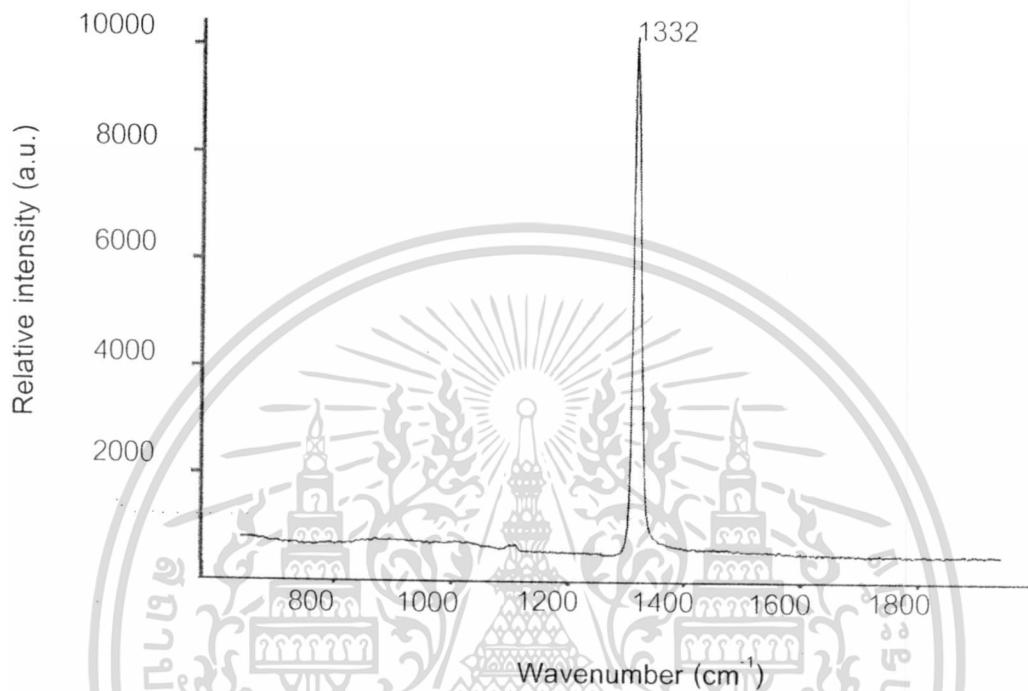
รูปที่ 4.2 แถบพลังงานของรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกันที่สภาวะสมดุล

4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเพชร

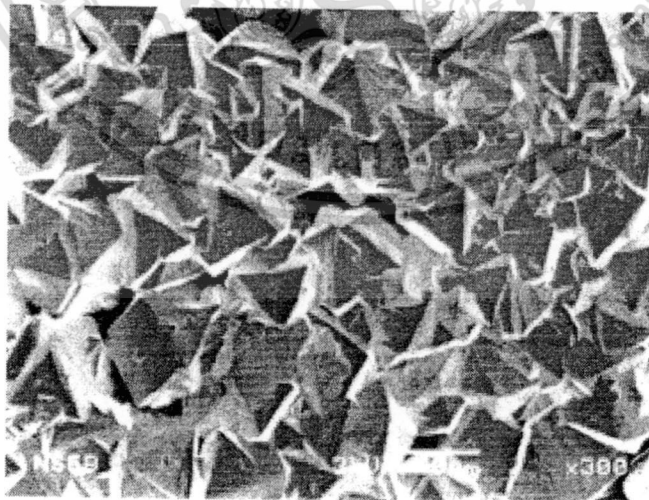
สำหรับในหัวข้อนี้จะนำเสนอถึงคุณสมบัติของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้ก่อนนำไปสร้างต่อไปเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขอื่น ๆ อีกต่อไป โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มเพชรนี้จะอาศัย Raman Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy และ X-Ray Diffraction เพื่อตรวจสอบความเป็นเพชร ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชร และระนาบของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3-4.5 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ค่ายอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Raman spectrum ที่วัดได้จากฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์นี้มีค่าอยู่ที่ 1333 cm^{-1} อย่างชัดเจน ซึ่งถือได้ว่าฟิล์มเพชรนี้มีค่าใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติ (ค่ายอด Raman spectrum เท่ากับ 1332 cm^{-1}) แม้ว่าจะมียอดของกราฟไฟต์ (1580 cm^{-1}) รวมอยู่ด้วย แต่ความสูงยอดกราฟต่ำกว่ามาก นั่นคือฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติเป็นเพชรและมีปริมาณกราฟไฟต์ต่ำมาก



รูปที่ 4.3 ลักษณะของ Raman spectrum ของฟิล์มเพชรจากการสังเคราะห์



รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรระนาบ (111) ที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้น เมื่อทำการตรวจสอบด้วยวิธี SEM จะได้ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้ในรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของฟิล์มเพชรทั้งชนิดพีและฟิล์มเพชรชนิดอินทรินซิกที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งหมดมีลักษณะเดียวกับฟิล์มเพชรระนาบ (111) และหลังจากตรวจสอบระนาบของฟิล์มเพชรเหล่านี้ด้วยวิธี X-ray diffraction จะได้กราฟดังรูปที่ 4.5 ซึ่งยิ่งแสดงให้เห็นได้ว่า ฟิล์มเพชรนี้มีคุณสมบัติเป็นผลึก



รูปที่ 4.5 ลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์

4.3 ลวดลายโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการศึกษาค่าตัวแปรพื้นฐานต่างๆของฟิล์มเพชรชนิดพีแล้วต่อไปจะเป็นการศึกษาผลของระยะห่างลวดลายโลหะที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นโพลีคริสตอล ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างมากโดยบริเวณของขอบเกรนนี้จะเป็นตัวการทำให้อายุพาวะมีค่าลดลง ส่งผลให้ปริมาณการไหลของกระแสมีค่าลดลง จึงจำเป็นต้องศึกษาระยะระหว่างขั้วโลหะที่เหมาะสมที่ทำให้กระแสไหลได้มากที่สุด โดยการทดลองจะใช้แสงจากหลอดทั้งสแตนด์ที่มีความเข้มแสง 1000 lux โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชิ้นงาน 3V ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระยะระหว่างขั้วโลหะกระแสมืดและกระแสด่าง

ระยะห่าง (μm)	I_{Dark} (mA)	I_{Tungstan} (mA)
40	9.11	9.23
60	5.31	5.47
80	3.47	3.51
100	2.13	2.18

จากผลการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างขั้วสัมผัสโลหะที่ $40 \mu\text{m}$ จะได้กระแสที่เกิดจากแสงที่มากที่สุด เนื่องจากเมื่อแสงตกกระทบฟิล์มเพชรจะเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ถ้าไม่มีสนามไฟฟ้ามากระทำ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อย่างอิสระก่อนที่จะรวมตัวกับโฮล แต่ถ้ามีสนามไฟฟ้ามากระทำ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยผลของสนามไฟฟ้าแล้วจึงรวมตัวกับโฮลเหมือนกัน การรวมตัวนี้จะมีน้อยลงเมื่อระยะระหว่างขั้วโลหะมีค่าน้อย

ฟิล์มเพชรชนิดพีที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นบนแผ่นผลึกฐานรองซิลิคอน ถูกนำมาสร้างเป็นรอยสัมผัสระหว่าง ฟิล์มเพชรชนิดพี กับ กาวเงิน เพื่อการศึกษาลักษณะสมบัติของรอยสัมผัสนี้ โดยในการทดลองนี้ได้สร้างชิ้นงานที่มีโครงสร้างเป็นรอยสัมผัสระหว่าง กาวเงิน/ฟิล์มเพชรชนิดพี/กาวเงิน ผลการทดลองพบว่ารอยสัมผัสระหว่างฟิล์มเพชรชนิดพี (B:C 75 ppm.) กับ ชั้นกาวเงินมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก โดยมีค่าความต้านทานประมาณ $1.08 \text{ k}\Omega$

ฟิล์มเพชรชนิดพีที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นบนแผ่นผลึกฐานรองซิลิคอน ถูกนำมาสร้างเป็นรอยสัมผัสกับ ชั้นอะลูมิเนียม เพื่อการศึกษาลักษณะสมบัติของรอยสัมผัสนี้ โดยชิ้นงานที่สร้างขึ้นเพื่อการทดลองนี้มีโครงสร้างเป็นรอยสัมผัสระหว่าง อะลูมิเนียม/ฟิล์มเพชรชนิดพี/อะลูมิเนียม ผลการทดลองวัดลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน พบว่ารอยสัมผัสระหว่างฟิล์มเพชรชนิดพีกับ อะลูมิเนียมมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก โดยมีค่าความต้านทานประมาณ $2.33 \text{ k}\Omega$

ฟิล์มเพชรชนิดพีที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นบนแผ่นผลึกฐานรองซิลิคอน ถูกนำมาสร้างเป็นรอยสัมผัสระหว่าง ฟิล์มเพชร กับ ทองคำ เพื่อการศึกษาลักษณะสมบัติของรอยสัมผัสนี้ โดยในการทดลองนี้ได้สร้างชิ้นงานที่มีโครงสร้างเป็นรอยสัมผัสระหว่าง ทองคำ/ฟิล์มเพชร/ทองคำ ผลการทดลองพบว่ารอยสัมผัสระหว่างฟิล์มเพชรชนิดพีกับชั้นทองคำมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก โดยมีค่าความต้านทานประมาณ 552.48Ω

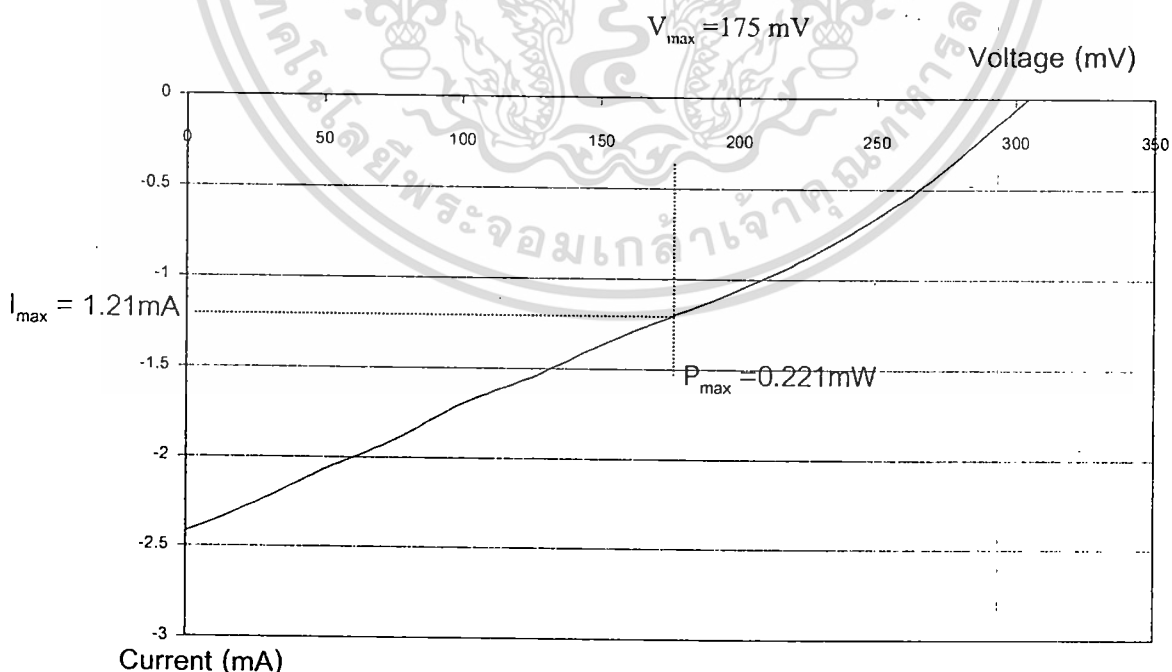
จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า โลหะที่ควรนำมาใช้ในการสร้างรอยสัมผัสกับฟิล์มเพชรชนิดพี คือ ทองคำ เพราะจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รอยสัมผัสระหว่าง ทองคำ/ฟิล์มเพชร/ทองคำ มีค่าความต้านทานที่ต่ำที่สุด แต่สำหรับกาวเงินนั้นก็ยังสามารถนำมาใช้ได้เช่นกันเพราะมีรอยสัมผัสกับฟิล์มเพชรชนิดพีแบบโอห์มมิกเช่นเดียวกับทองคำ

4.4 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาคูณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตไดโอดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาคูณสมบัติทางไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ โดยทั่วไปคุณสมบัติทางกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดกับเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่การใช้งาน ซึ่งโฟโตไดโอดนั้นจะใช้งานในช่วงจุดภาคที่ 3 แต่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำงานอยู่ในจุดภาคที่ 4

4.4.1 ผลของความเข้มข้นของ B:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

การศึกษาคูณสมบัติของ B:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะทำการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอะตอมสารเจือเป็น 1ppm, 10ppm, 100ppm และ 1000ppm โดยมีความหนาของฟิล์มเพชรเป็น $2 \mu\text{m}$ โดยจะใช้แสงอาทิตย์เทียมจากเครื่อง Solarsimulator ที่มีความเข้มแสงประมาณ 0.835 mW/m^2 หรือที่ AM1.5 โดยใช้วงจรการวัดเป็นดังรูปที่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.6-4.9

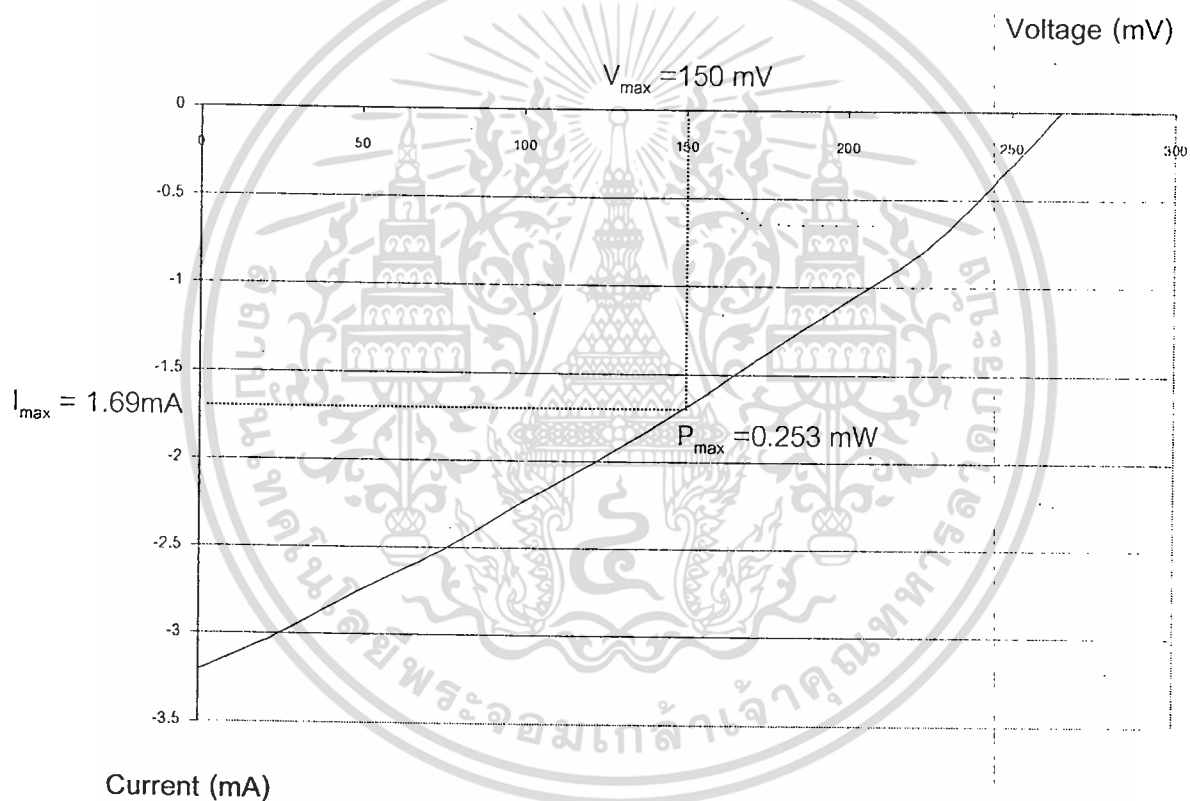


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1ppm

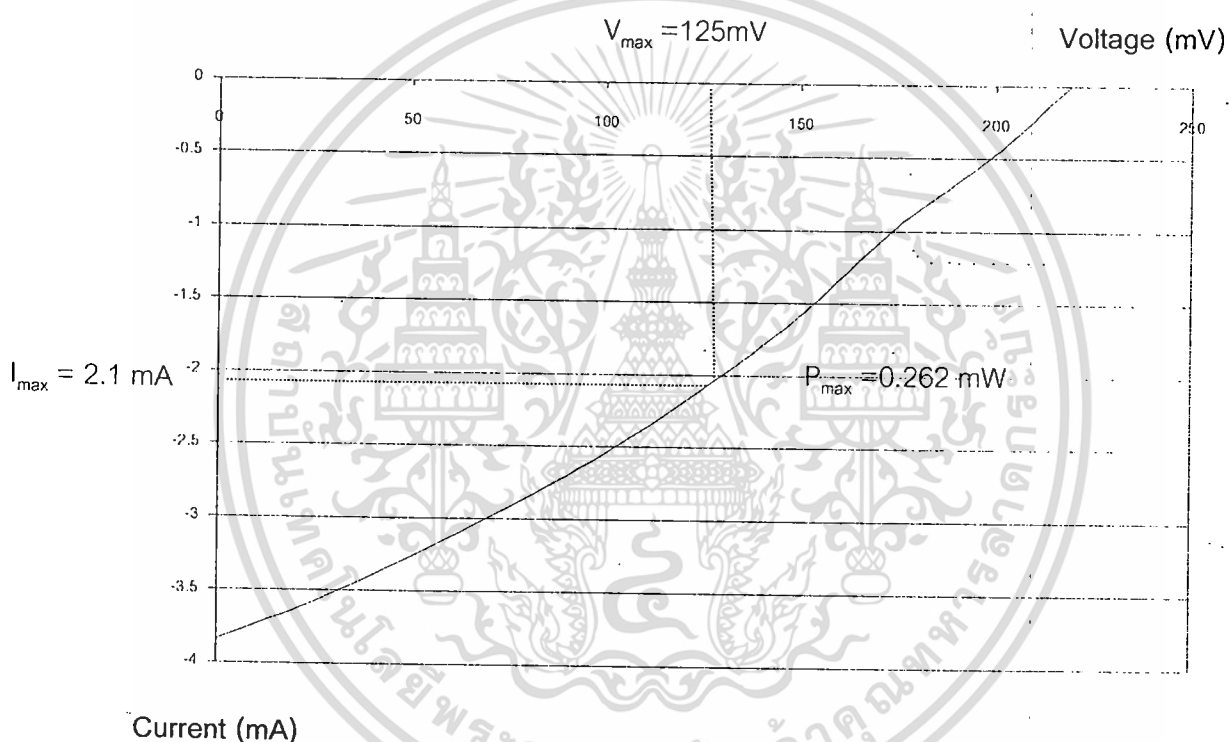
กระแสลัดวงจร I_{sc} (mA)	2.42 mA
แรงดันเปิดวงจร V_{oc} (mV)	304.5mV
พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (mm^2)	2.3 mm^2
พลังงานสูงสุด (mW)	0.221
ฟิลแฟกเตอร์ FF	0.287
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	11.02%



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 10ppm

ตารางที่ 4.3 ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 10ppm

กระแสลัดวงจร I_{sc} (mA)	3.2 mA
แรงดันเปิดวงจร V_{oc} (mV)	265 mV
พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (mm^2)	$2.3 mm^2$
พลังงานสูงสุด (mW)	0.253
ฟิลแฟคเตอร์ FF	0.293
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	13.23

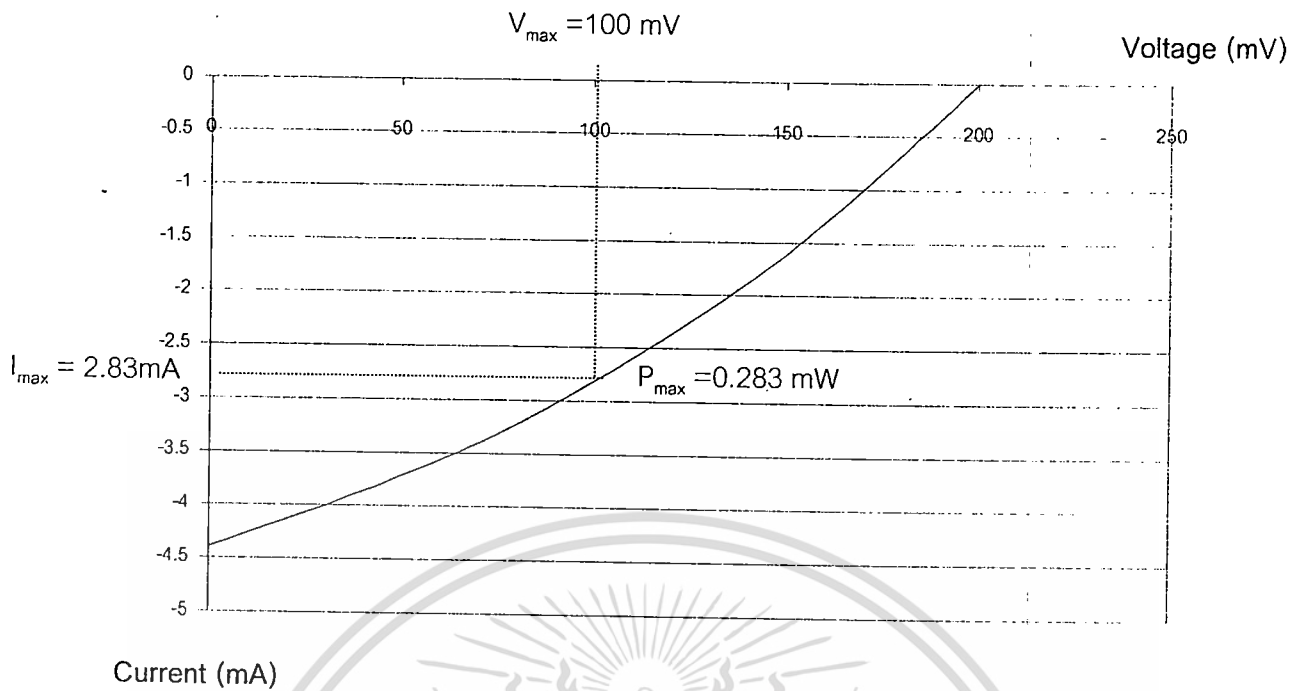


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 100ppm

ตารางที่ 4.4 ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 100ppm

กระแสลัดวงจร I_{sc} (mA)	3.84 mA
แรงดันเปิดวงจร V_{oc} (mV)	219 mV
พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (mm^2)	$2.3 mm^2$
พลังงานสูงสุด (mW)	0.262 mW
ฟิลแฟคเตอร์ FF	0.312
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	13.66 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



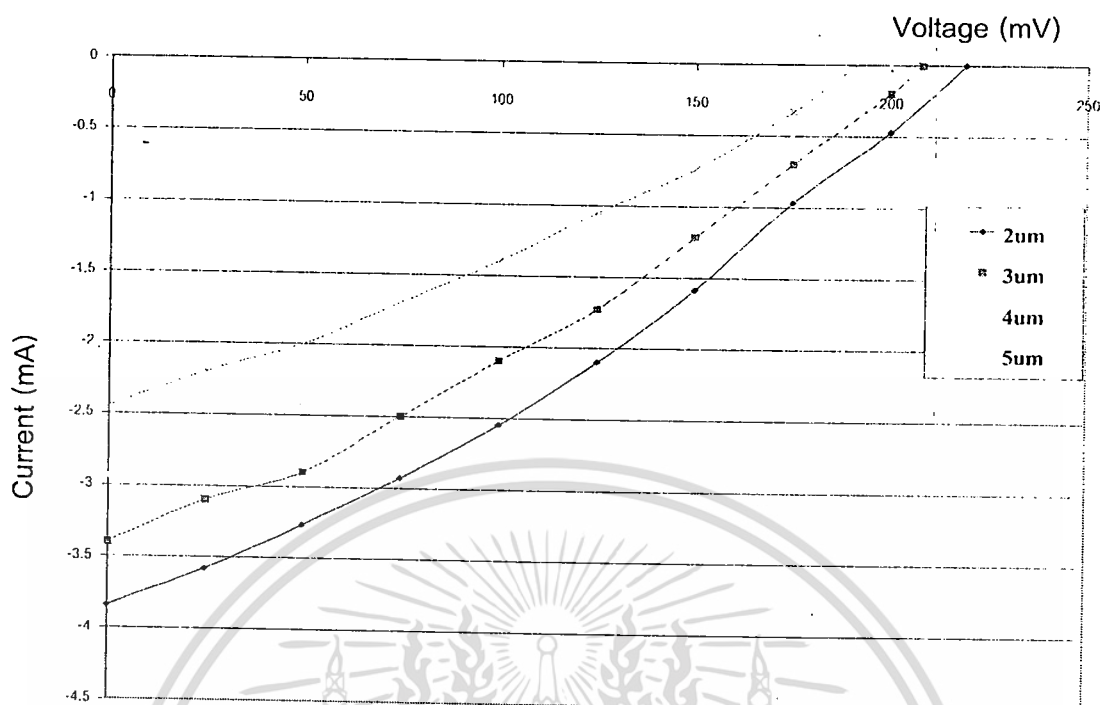
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1000ppm

ตารางที่ 4.5 ค่าคุณสมบัติต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1000ppm

กระแสลัดวงจร I_{sc} (mA)	4.4 mA
แรงดันเปิดวงจร V_{oc} (mV)	200.2 mV
พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (mm^2)	2.3 mm^2
พลังงานสูงสุด (mW)	0.283 mW
ฟิลแฟคเตอร์ FF	0.321
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	14.73 %

4.4.2 ผลของความหนาของฟิล์มเพชรที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างโดยใช้อะตอมสารเจือมีค่าเป็น 100ppm โดยเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของฟิล์มเพชรเป็น $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $4\mu\text{m}$ และ $5\mu\text{m}$ โดยใช้แสงอาทิตย์เทียมที่มีความเข้มแสงเป็น 11000lux ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีต่างๆ

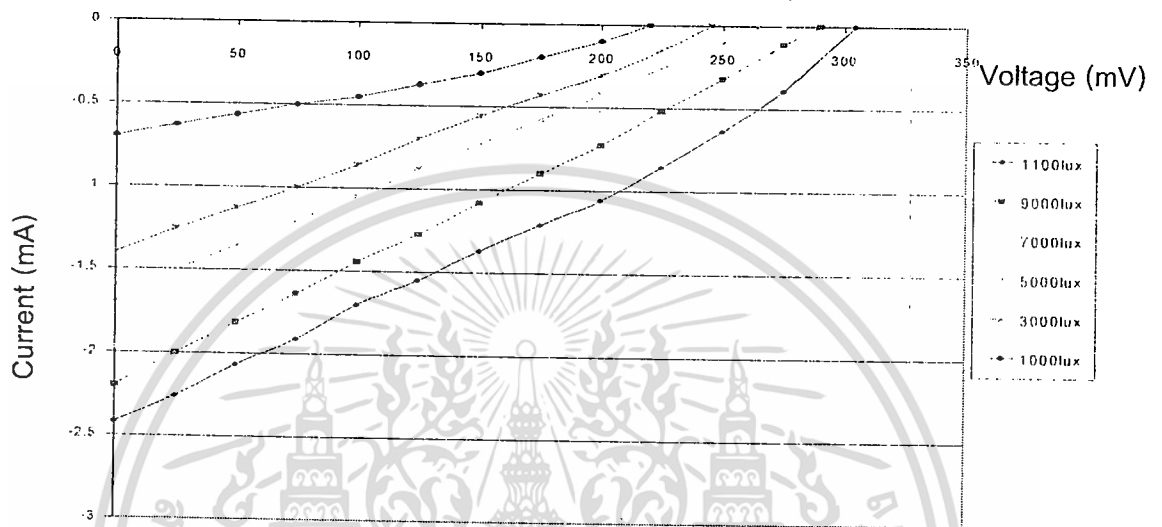
ตารางที่ 4.6 ค่าการเปลี่ยนแปลง I_{sc} และ V_{oc} เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของฟิล์มเพชร

ความหนา	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	ΔI_{sc}	% I_{sc}	ΔV_{oc}	% V_{oc}
2 μm	3.84	219	0	0	0	0
3 μm	3.4	208	0.44	11.2	11	5.0
4 μm	2.94	200	0.9	23.4	19	8.7
5 μm	2.45	191	1.39	36.2	28	12.8

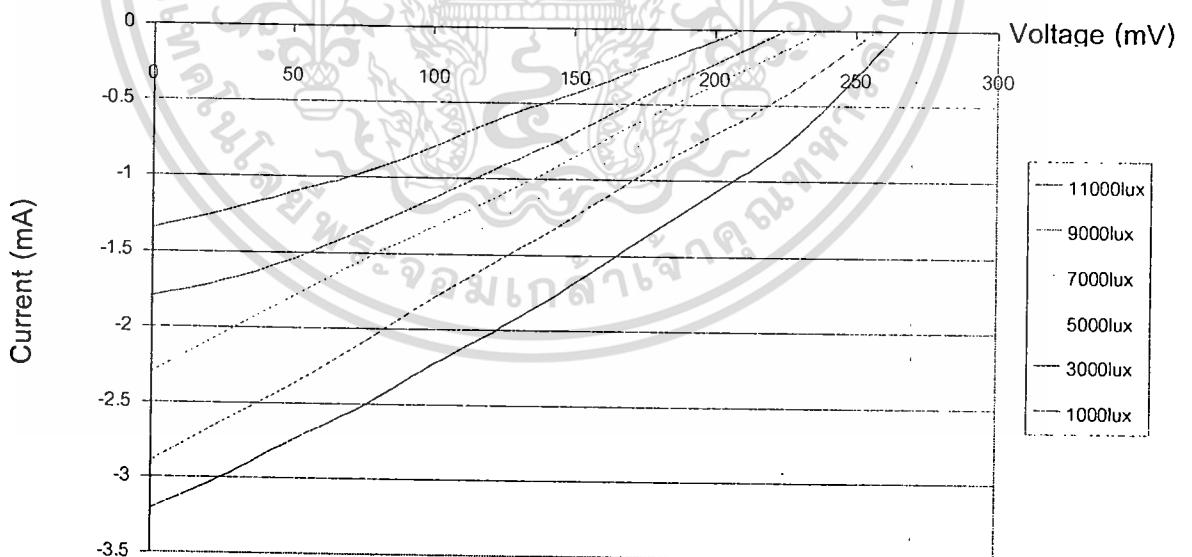
จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อความหนาของฟิล์มเพชรมีค่าเพิ่มขึ้นค่า I_{sc} และ V_{oc} จะมีค่าลดลงเนื่องจากฟิล์มเพชรที่มีความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีมากจะทำให้แสงตกกระทบที่รอยต่อมีค่าน้อยจึงทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าค่า I_{sc} มีเปอร์เซ็นต์การลดลงที่สูงกว่าค่า V_{oc}

4.4.3 ผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

โดยการศึกษาค่าผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปลี่ยนความเข้มแสงเป็น 1000lux, 3000lux, 5000lux, 7000lux, 9000lux และ 11000lux โดยใช้ความหนาของฟิล์มเพชรเป็น $2\mu\text{m}$ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11-4.16

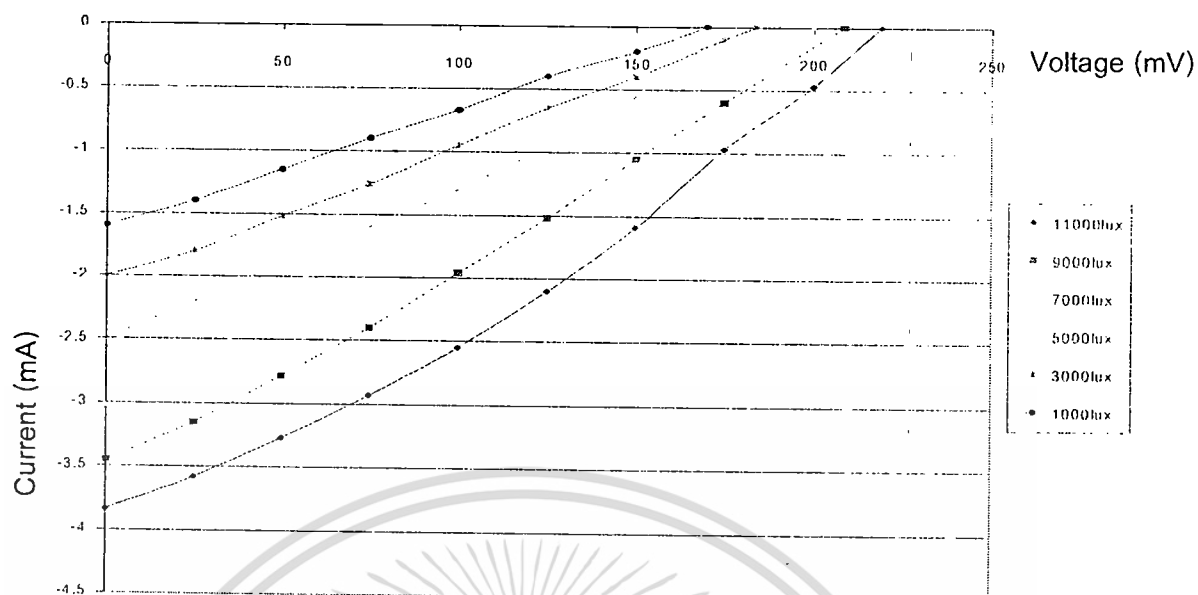


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1ppm

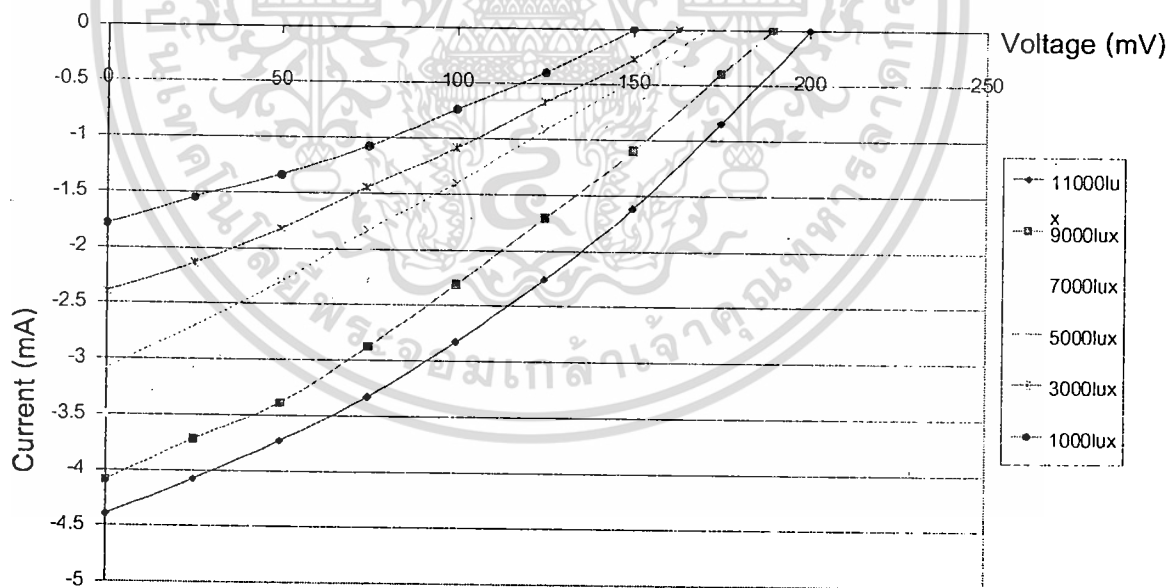


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 10ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

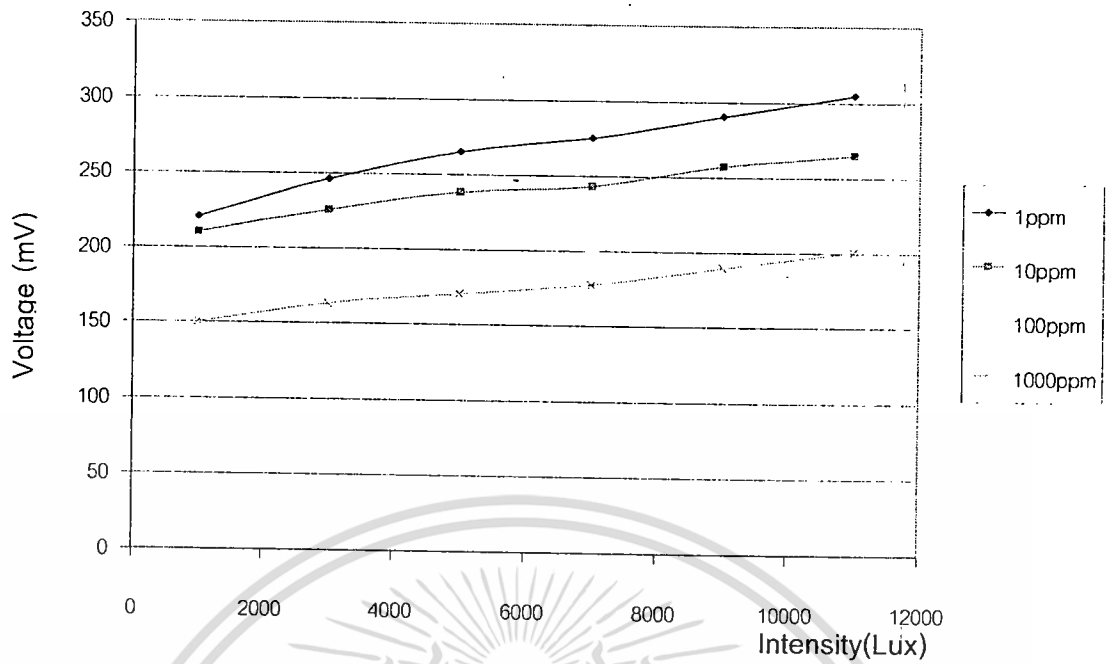


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 100ppm

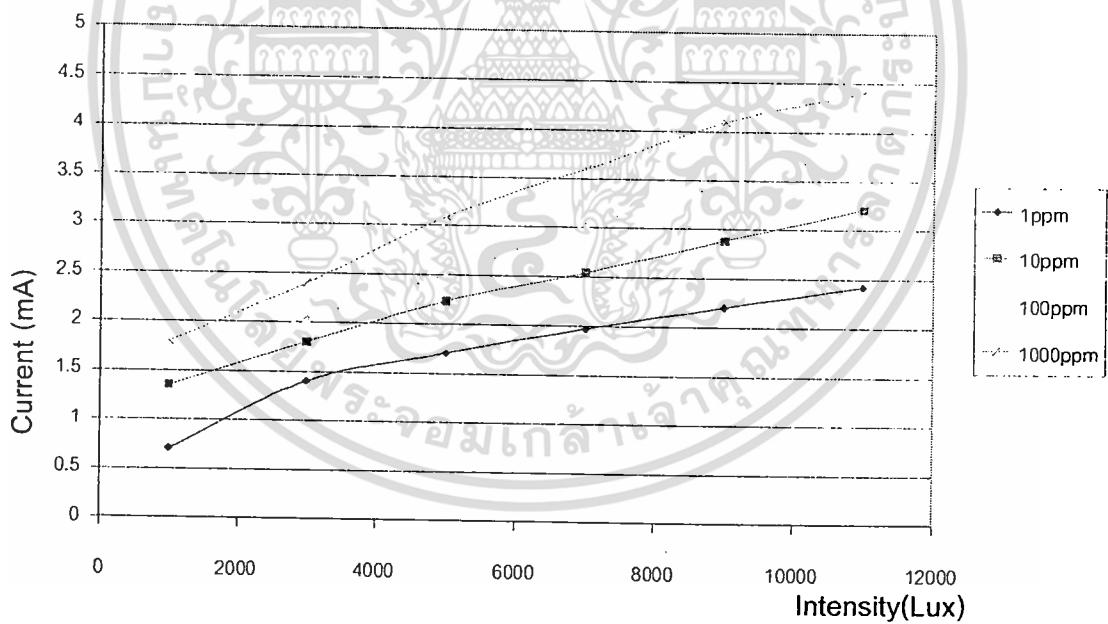


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ B:C เป็น 1000ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ความเข้มแสงต่อแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์



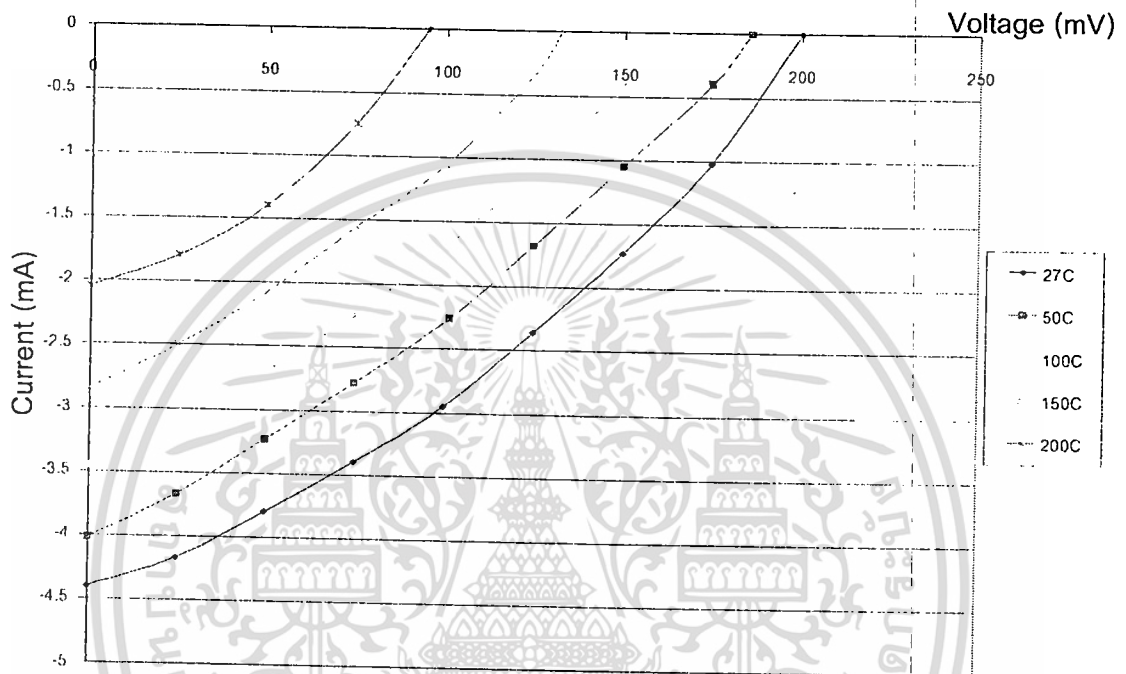
รูปที่ 4.16 ความเข้มแสงต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากแต่จะมีผลน้อยมากต่อแรงดันเปิดวงจร เนื่องจากความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีจำนวนจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น เป็นผลให้กระแสที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

การทดลองในหัวข้อนี้จะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีเป็น 2 μm โดยใช้อัตราส่วนอะตอมสารเจือโบรอนเป็น 1000ppm โดยใช้ความเข้มแสงเป็น 11000lux โดยทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 50°C , 100°C , 150°C และ 200°C โดยผลการทดลองแสงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.7 ค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ฟิลแฟกเตอร์
27	0.321
50	0.308
100	0.302
150	0.311
200	0.359

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความต้านทานอนุกรมภายในมีค่าสูงขึ้น สังเกตจากกราฟที่มีลักษณะโค้งมากขึ้น

4.5 สรุป

การศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์รอยต่อเนื้อสารต่างชนิดซิลิกอนและฟิล์มเพชร โดยได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นอะตอมสารเจือโบรอน พบว่าเมื่ออะตอมสารเจือมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น โดยที่ความเข้มข้นอะตอมสารเจือโบรอน 1000 ppm ซึ่งมีความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีเป็น 2 μm จะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ 14.73% โดยมีพื้นที่รับแสง 2.3 mm^2

เมื่อความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีมีค่าสูงขึ้นจะทำให้กระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจรมีค่าลดลง โดยกระแสลัดวงจรจะลดลงมากกว่าแรงดันเปิดวงจร จากนั้นก็ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มแสง โดยความเข้มแสงที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นตามความเข้มแสง โดยกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า ต่อมาได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างรอยต่อเนื้อสารต่างชนิดกันระหว่างซิลิกอนและฟิล์มเพชรในโครงสร้างต่างๆ ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาในการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์จากตัวแปรต่างๆ เช่น ความเข้มแสง ความเข้มข้นสารเจือโบรอน อุณหภูมิสูงที่ใช้งาน ผลของความหนาของฟิล์มเพชรชนิดพีที่มีผลต่อเซลล์ พื้นที่รับแสง เป็นต้น

การสังเคราะห์ฟิล์มทำด้วยสองเทคนิคพร้อมกันเนื่องจากทั้งสองวิธีข้างต้นมีความเร็วในการสังเคราะห์ต่างกัน และฟิล์มเพชรที่ได้มีสมบัติทางไฟฟ้าต่างกันคือฟิล์มที่ได้จาก HFCVD สามารถสังเคราะห์ได้ฟิล์มชนิดพีและชนิดอินทรินสิคแต่มีอัตราการเกิดซ้ำเมื่อเทียบกับวิธี CACVD โดยผลที่ได้ก็นำมาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM สำหรับวิเคราะห์ขนาดของผลึกและความหนาฟิล์มได้ เทคนิค Raman วิเคราะห์พันธะระหว่างคาร์บอน โดยพิจารณาที่ค่า Raman spectrum ที่ 520, 1,333 และ 1,580 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของซิลิกอน เพชร และแกรไฟต์ ตามลำดับ

การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นี้ มีปัจจัยในการออกแบบเป็นเหมือนโครงสร้าง PIN (P-type/ Insulator/ N-type) ซึ่งเป็นการพัฒนารอยต่อให้มีกระแสแสงมากขึ้นจากชั้นจนวนหรือชั้นอินทรินสิค เนื่องจากเป็นชั้นที่มีการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอน-โฮล เมื่อมีแสงตกกระทบจะเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ทำให้มีความหนาแน่นของพาหะตัวนำมากขึ้นจึงเกิดกระแสแสงมากขึ้น โดยต้องสร้างความหนาของฟิล์มทั้งชนิดพีและอินทรินสิคให้เหมาะสมอีกทั้งฟิล์มเพชรที่นำมาใช้นี้เป็นวัสดุโปร่งแสงจึงสามารถรับแรงได้เป็นอย่างดี

จากการทดลองพบว่าโครงสร้างดังกล่าวสามารถทำงานเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดี โดยมีกระแสมีค่าประมาณ 9.11 mA, ศักย์ภายในมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-1.6 Volts, แรงดันพังทลายมีค่าสูงมากกว่า 120 Volts, และให้กระแสแสงประมาณ 1.8-4.4 mA เมื่อถูกฉายด้วยแสงฮาโลเจนที่มีความเข้มแสง 1000-11,000 lux ที่แรงดัน 0-10 Volts นอกจากนี้การทดลองยังได้แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิ ผลของความหนาแน่นอะตอมสารเจือในฟิล์มเพชร ผลของความหนาของฟิล์มเพชร ผลของความหนาของชั้นอินทรินสิค และผลของลวดลายขั้วโลหะด้านรับแสง

บรรณานุกรม

- [1] Glass, J. T., Fox, B. A., Dreifus, D. L. and Stoner, B. R. **“Diamond for electronics: future prospects of diamond SAW devices,”** MRS Bulletin, 1998, 23(9), 49–55.
- [2] Swain, G. M., Anderson, A. B. and Angus, J. C. **“Applications of diamond films in electrochemistry,”** MRS Bulletin, 1998, 23(9), 56–60.
- [3] Glass, J. T. et al. , **High quality semiconducting diamond films and devices.** In Advances in New Diamond Science and Technology, Tokyo, 1994.
- [4] Rameshan, R. **“Fabrication of diamond microstructures for microelectromechanical systems (MEMS) by a surface micromachining process,”** Thin Solid Films, 1999, 340, 1–6.
- [5] Spitsyn, B. V., Bouilov, L. L. Derjaguin, B. V. **“Vapor growth of diamond on diamond and other Surfaces,”** Journal of Crystal Growth 1981, 52, 219–226.
- [6]. Angus, J. C., Buck, F. A., Sunkara, M., Groth, T. F., Hayman, C. C. and Gat, R. **“Diamond growth at low pressures,”** MRS Bulletin 1989, 14(10), 38–47.
- [7] Celii, F. G. and Butler, J. E. **“Diamond chemical vapor deposition,”** Annual Review of Physical Chemistry, 1991, 42, 643–684.
- [8] Goodwin, D. G. and Butler, J. E., **Theory of diamond chemical vapor deposition. In: Handbook of Industrial Diamonds and Diamond Films,** New York, 1996.
- [9] McMaster, M. C., Hsu, W. L., Coltrin, M. L. and Dandy, D. S. **“Experimental measurements and numerical simulations of the gas composition in a hot-filament-assisted diamond chemicalvapor- deposition reactor,”** Journal of Applied Physics, 1994, 76, 7567–7577.
- [10] Yu, B. W. and Girshick, S. L. **“Atomic carbon vapor as a diamond growth precursor in thermal plasmas,”** Journal of Applied Physics, 1994, 75, 3914–3923.
- [11] Raiche, G. A. and JeKries, J. B. **“Observation and spatial distribution of C3 in a dc arc jet plasma during diamond deposition using laser-induced,”** Cuorescenc. SRI International, MP 96-020a, 1996.
- [12] Raiche, G. A., Smith, G. P. and JeKries, J. B. **“Diagnostics of a diamond-depositing DC-arc-jet plasma. in: New Diamond Science and Technology II,”** Materials Research Society, Warrendale, PA, 1991, pp. 251–256.

- [13] Gruen, D. M., Liu, S., Krauss, A. R. and Pan, X. **“Buckyball microwave plasmas: fragmentation and diamond-film growth,”** Journal of Applied Physics, 1994, 75, 1758–1763.
- [14] Gruen, D. M., Zuiker, C. D., Krauss, A. R. and Pan, X. Z. **“Carbon dimer, C₂, as a growth species for diamond films from methane=hydrogen=argon Deposition by Vapor Transport 141 microwave plasmas,”** Journal of Vacuum Science and Technology A, 1995, 13, 1628–1632.
- [15] Wei, J., Kawarada, H., Suzuki, J. and Hiraki, A. **“Growth of diamond films at low pressure using magneto-microwave plasma CVD,”** Journal of Crystal Growth, 1990, 99, 1201–1205.
- [16] Hirose, Y. et al. **“The synthesis of high-quality diamond in combustion flames,”** J. Appl. Phys., 1990, (12) : 6401-6405.
- [17] Komaki, K. et al. **“Synthesis of Diamond in Combustion Flame under Low Pressures.”** Jpn.J.Appl.Phys., 1993, (32) : 1814-1817.
- [18] Matsui, Y. et al. **“Flame Structure and Diamond Growth Mechanism of Acetylene Torch.”** Jpn. J. Appl. Phys., 1989, 28(9) : 1718-1724.
- [19] Matsui, Y. et al. **“The Growth Mechanism of Diamond Crystals in acetylene Flames,”** J. Appl. Phys., 1990, 29(8) : 1552-1560.
- [20] Hoff, H. A. et al. **“Columnar growth in combustion deposited diamond thin films.”** Appl. Phys. Lett., 1991, 59(14) : 1693-1695.
- [21] Hirabayashi, K. and Hirose, Y. **“Synthesis and growth mechanism of flattened crystals by chemical vapor deposition,”** Diamond and Related Materials, 1996, (4) : 48-52.
- [22] Hirabayashi, K. and Hirose, Y. **“Growth mechanism of flattened crystals synthesized by chemical vapor deposition.”** Journal of Crystal Growth, 1994, (142) : 140-146.
- [23] Hirabayashi, K. et al. **“Surface structures of high-quality diamond crystals synthesized by the oxy-acetylene flame method.”** Appl. Phys. Lett., 1992, 60(5) : 574-576.
- [24] Graham, R. J. and Ravi, K. V. **“Cathodoluminescence investigation of impurities and defects in single crystal diamond grown by the combustion-flame method,”** Appl. Phys. Lett., 1992, 60(11) : 1310-1312.

- [25] Wilks, E. and Wilks, J., **Properties and Applications of Diamond**. Cambridge : British Library Cataloguing in Publication Data, 1994.
- [26] Davis, R. F., **Diamond films and coatings : Development, Properties, and Applications**. USA : Noyes Publication, 1992.
- [27] Kania, D. R., **Diamond Electronic Properties and Applications**. London : Kluwer Academic publishers, 1995.
- [28] Singh, J. “**Nucleation and growth mechanism of diamond during hot-filament chemical vapor deposition,**” *Journal of Materials Science*, 1994, 29, 2761–2766.
- [29] Y. Wongprasert and W. Titiroongruang “**Selective-Area Deposition of Diamond Films by Combustion Activation CVD,**” *Proceedings of the 7th international conference on properties and applications of dielectric materials*, 786-789
- [30] Cassidy, W. D., Morrison Jr. P. W. and Angus, J. C. “**Growth rates and quality of diamond growth by hot-filament assisted chemical vapor deposition,**” *Proceedings of the Fourth International Symposium on Diamond Materials*. Electrochemical Society, 1995.
- [31] Liu, H. and Dandy, D. S. “**Studies on nucleation process in diamond CVD: an overview of recent development,**” *Diamond and Related Materials* 1995, 4, 1173–1188.
- [32] Singh, J. “**Nucleation and growth mechanism of diamond during hot-filament chemical vapor deposition,**” *Journal of Materials Science*, 1994, 29, 2761–2766.
- [33]. Gruen, D. M. “**Nucleation, growth, and microstructure of nanocrystalline diamond films,**” *MRS Bulletin*, 1998, 23(9), 32–35.
- [34] Zhuo, S., Zheng, Z. and Xu, N. “**Influence of pretreatments and deposition parameters on diamond nucleation density in diamond film deposition by hot filament CVD,**” *Proceedings of SPIE 2364, Second International Conference on Thin Film Physics and Applications*, 1994, pp. 582–587.
- [35] Zhang, R. Q., Wang, W. L., Estevea, J. and Bertran, E. “**Molecular mechanics simulation of the diamond nucleation and growth on silicon (0 0 1) and (1 1 1) surfaces,**” *Thin Solid Films*, 1998, 317, 6–9.
- [36] Borges, C. F. M., Schelz, S., Martinu, L. and Moisan, M. “**Effect of silicon substrate orientation on the nucleation and adhesion of CVD diamond films,**” *Proceedings of*

- the International Symposium on Diamond Materials. The Electrochemical Society, 1995, pp. 136–141.
- [37] Sakamoto, Y., Takaya, M., Sugimura, H., Takai O. and Nakagiri, N. “**Site-selective diamond growth using a platinum film and a silicon oxide mask,**” Applied Physics Letters, 1998, 73, 1913–1915.
- [38] Regel, L. L. and Wilcox, W. R. “**Selective patterned deposition of diamond using a new technique,**” Journal of Materials Research Letters 1999, 18, 427–430.
- [39] Y. Wongprasert and W. Titiroongruang “**Selective-Area Deposition of Diamond Films by Combustion Activation CVD**”, 2nd International conference on materials processing for properties and performance (MP3) ,Japan, pp.482-485, October 2003.
- [40] S.Ri, T. Mizumasa, Y. Akiba, Y. Hirose, T. Kurosu and M. Ikda “**Formation Mechanism of p-Type Surface Conductive Layer,**” J. Appl. Phys., 1995, 34 : 5550-5555.
- [41] Wei, J. and Ahn, J. “**Irradiation induced failure of diamond based UV detector,**” Crystal Research Technology, 1999, 34, 133.
- [42] McKeag, R. D. and Jackman, R. B. “**Diamond photodetectors for UV laser-based applications,**” Lasers in Synthesis, Characterization, and Processing of Diamond, Proceedings of the SPIE, 1997, 3484, 182–194.
- [43] Feigerle, C. S. and Shaw, R. W. “**Laser diagnostics of CVD diamond film growth. Optics and Photonics News,**” Optical Society of America, May, 1996, 24–28.
- [44] Angus, J. C. and Hayman, C. C. “**Low-pressure, met stable growth of diamond and ‘diamond like’ phases**”. Science, 1988, 241, 913–921.
- [45] Angus, J. C., Wang, Y. and Sunkara and M. “**Metastable growth of diamond and diamond-like phases,**” Annual Review of Materials Science, 1991, 21, 221–248.
- [46] P. Sommani, Y. Wongprasert and W. Titiroongruang “**Synthesis of diamond films by combustion activation technology,**” 1st International conference on materials processing for properties and performance (MP3), Singapore, pp. 758-767, August 2002.
- [47] Y. Wongprasert, T. Matthapan, L. Supadee and W. Titiroongruang “**Non-destructive method for DLC stress measurement,**” 1st International conference on materials processing for properties and performance (MP3), Singapore, pp. 182-187, August 2002.
- [48] Y. Wongprasert, N.Atiwongsangthong, R.Muanghlua, A.Rerkratn and W.Titiroongruang “**Studied on Characteristics of MIS Diode from Diamond Like Carbon,**” 3rd

International conference on materials processing for properties and performance (MP3)
,Singapore, pp. 19-24 November 2004.

- [49] K. Kitagawa, T. Aoki, S. Khunkhao, Y. Wongprasert, W. Titiroongruang and K. Sato
“**Optical-beam profiling by field-controlled metal–semiconductor–metal structures,**” International Journal of Electronics, Vol. 92, No.10, October 2005, p.595-600.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CSJ Series - Publications of the Ceramic Society of Japan -
Volume 19

Asian Ceramic Science for Electronics III and Electroceramics in Japan XII

Editors:

Tadashi Takenaka
Hajime Haneda
Kazumi Kato
Masasuke Takata
Kazuo Shinozaki

ttp TRANS TECH PUBLICATIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of Synthesized Diamond Films by Using CACVD Techniques at High Temperatures

Y. Wongprasert¹ and S. B. Pongsai²

¹ Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
² Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Thailand

Keywords: diamond film, CACVD, hydrogen termination, high temperature

ABSTRACT

This paper presents synthesized diamond films by using combustion activated chemical vapor deposition (CACVD) techniques. The characteristics of diamond films have been studied at wide ranges of temperature (30-400°C). The resistance of diamond films has been determined for hydrogen termination times of 5, 10, 15, and 20 minutes, and at the operation temperatures of 500, 600, and 700°C. The investigation found that, at 30°C a synthesized diamond film has a high resistance ($10^{10} \Omega$), whereas at high temperatures (100-400°C) the resistance has decreased from 4.04 M Ω to 2.42 M Ω . The result obtained from the hydrogen termination showed that the resistance has decreased by 10^2 - $10^5 \Omega$ (at 30°C). Summarily, it can be stated that the higher the hydrogen termination times and operation temperatures, the lower the resistance of diamond films.

INTRODUCTION

The chemical vapor deposition method has grown very rapidly within the last twenty years. The applications of this process are now the key elements in many industrial products, such as semiconductors, cutting tools, coating for medical implants, filters and many others [1]. There has been a rapid development of CVD technology and expansion of the market for CVD products [2-4]. This trend is expected to continue in the foreseeable future. In this work, we present the conditions of growing diamond films synthesized by using combustion activated chemical vapor deposition (CACVD) techniques and the characteristics of diamond films at 30-400°C. The resistance of diamond films for the hydrogen termination times of 5-20 min and the operation temperatures of 500-700°C have been determined.

Table 1. Equipment Variables and their Accuracy [5]

	Temp (°C)	Accuracy	Gas Flow rate (sccm)	Accuracy	Pressure (Torr)	Accuracy
Oxy-acetylene CVD	1000-1600	± 150°C	1000-1500	± 20%	NA	NA
MACVD	700-1000	± 15°C	20-100	± 2%	10-100	± 2%
Hot-Filament CVD	1000-1600	± 50°C	100-200	± 2%	10-100	± 2%

NA = not applicable

In this experimental research, the laboratory equipment used was made from oxy-acetylene materials in order to avoid the fluctuation of variables occurring from the equipment, and thus they

are able to control simply the experimental conditions [5-6]. The values of the range and the expected accuracy of oxy-acetylene equipment compared with microwave assisted CVD and hot-filament CVD equipment are shown in table 1.

EXPERIMENT

The oxy-acetylene torch was used to nucleate and grow the polycrystalline diamond films on the substrates (table 2) under ambient atmosphere. The substrates (silicon and silicon dioxide) were polished by ultrasound in diamond powder. The flow rates of oxygen, acetylene carbon dioxide, carbon monoxide, and hydrogen were computed, and the substrate temperature was stabilized at selected set points by a temperature controller. The summarized conditions are shown in table 2, in which the details of each controlled parameter are described. In this section, the nucleation on homo-substrate, hetero-substrate, and selected areas have been studied.

Table 2. Summarized Conditions for Diamond Film Synthesis

Parameter	Experimental conditions
Pressure	1 atm
Ratio of O ₂ / C ₂ H ₂	0.7 - 0.95 by volumetric ratio
O ₂	99.5% , flow rate 140 - 950 cc/min
C ₂ H ₂	99.95% , flow rate 200 - 1000 cc/min
Tip Size	100 mm
Substrate	Silicon, polished Silicon, Silicon Dioxide and polished Silicon Dioxide
Substrate Temperature	500 - 1350°C
Distance between Flame Core and Substrate	intermediate and outer Core (0.1 - 1.1 mm)
System Time	5 - 20 min

The study for diamond films was terminated at 900°C for 9 minutes under hydrogen atmosphere. At a high temperature operation (30-200°C), a Takeda-riken digital multimeter was used to measure the electrical resistance of diamond films. The ohmic contacts were built on diamond films by dimensions of 3 mm × 3 mm of 15 μm thickness. The characteristics of diamond films have been studied within a wide range of temperatures (30-400°C) and the resistance has been determined for the hydrogen termination times at 5, 10, 15, and 20 minutes, with operation temperatures of 500, 600, and 700°C.

RESULT AND DISCUSSION

The resistance of the diamond films at room temperature is 4.04 MΩ, as shown in fig. 1. The result shows that the resistance is decreasing with an increase of temperature. At high temperature operations, up to 200°C, it was found that the diamond films remain behaving as semiconductors.

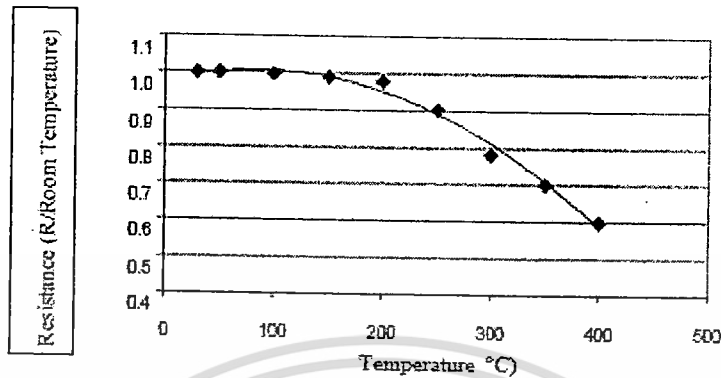


Fig. 1. Characteristics of intrinsic diamond films at high temperatures

As shown in fig. 1, the resistance immediately dropped at 200°C and went down to 2.42 MΩ at 400°C. In general, a semiconductor deteriorates at about 100°C, therefore, concluding from this work, synthesized diamond films have a potential to be applied for high-thermal electronic devices, such as compact-size IC devices without heat sink. Based on the Seebeck-effect analysis, this diamond films perform as an intrinsic-type semiconductor. The resistivity of the films measured by high-voltage meter is $1 \times 10^{10} \Omega \text{ cm}$. For the resistance after hydrogen termination with an operation time of 5 and 10 min. (fig. 2), it is found that the resistance of diamond films at high temperatures is decreased and without it terminated.

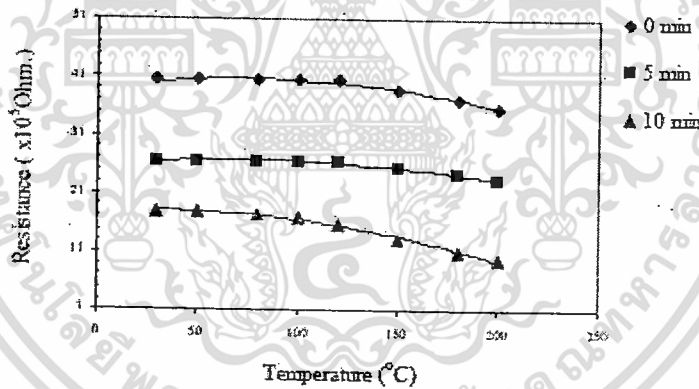


Fig. 2. Characteristics of intrinsic Diamond Film with Hydrogen Termination Times Regarding the results of diamond films with hydrogen termination times of 5, 10, 15, and 20 min, the resistances at room temperature are reported in table 3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Resistance (Ω) of Diamond Films with Hydrogen Termination

Time (min)	Temperature		
	500°C	600°C	700°C
5	2.65×10^6	1.82×10^6	1.29×10^5
10	1.79×10^6	1.26×10^6	8.46×10^5
15	1.38×10^6	8.34×10^5	4.46×10^5
20	1.09×10^6	5.33×10^5	1.41×10^5

CONCLUSION

Regarding the present work, the investigation indicated that a synthesized diamond film is of high resistance ($10^{10} \Omega$) at 30°C, and at high temperature (100–400°C) the resistance is decreasing from 4.04 M Ω to 2.42 M Ω . Regarding the result of hydrogen termination, the resistance is decreased by 10^5 – $10^6 \Omega$ at 30°C. Moreover, it was obviously showed that the resistance of diamond films decreased with the increasing of hydrogen termination time and operation temperature.

ACKNOWLEDGEMENTS

The National Research Council of Thailand (NRCT) is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] H. O. Pierson, *Handbook of chemical vapor deposition (CVD): principles, technology, and applications*. (USA: Noyes Publication, 1992).
- [2] C. K. Westbrook and W. J. Pitz, *Combust. Sci. Technol.*, 37 (1984), p. 117.
- [3] J. A. Miller and C. T. Bowman, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 15 (1989), p. 287.
- [4] D. L. Baulch, C. J. Lobos, R. A. Cox, C. Esser, P. Frank, T. Just, J. A. Kerr, M. J. Rilling, J. Troe, R. W. Walker and J. Warnatz, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 21 (1992), p. 411.
- [5] R. F. Davis, *Diamond films and coatings: Development, Properties, and Applications*. (USA: Noyes Publication, 1992).
- [6] J. Warnatz, *Combustion Chemistry*, I. W. C. Gardiner, ed., (Springer, New York, 1984), p. 197.

e-mail: kwyothin@kmitl.ac.th

Fax: +66-02-739-2384

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้