บทที่ 5

การวัดหาลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้น

การวัดลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ทั้งแบบที่มีผิวราบเรียบซึ่งเป็นโครงสร้างปกติ และแบบผิวเป็นร่อง จะทำการวัดใน 2 ลักษณะคือ การวัดในสภาวะมืด และการวัดในสภาวะได้รับพลังงานแสง

5.1 การวัดลักษณะสมบัติในสภาวะมืด (13)

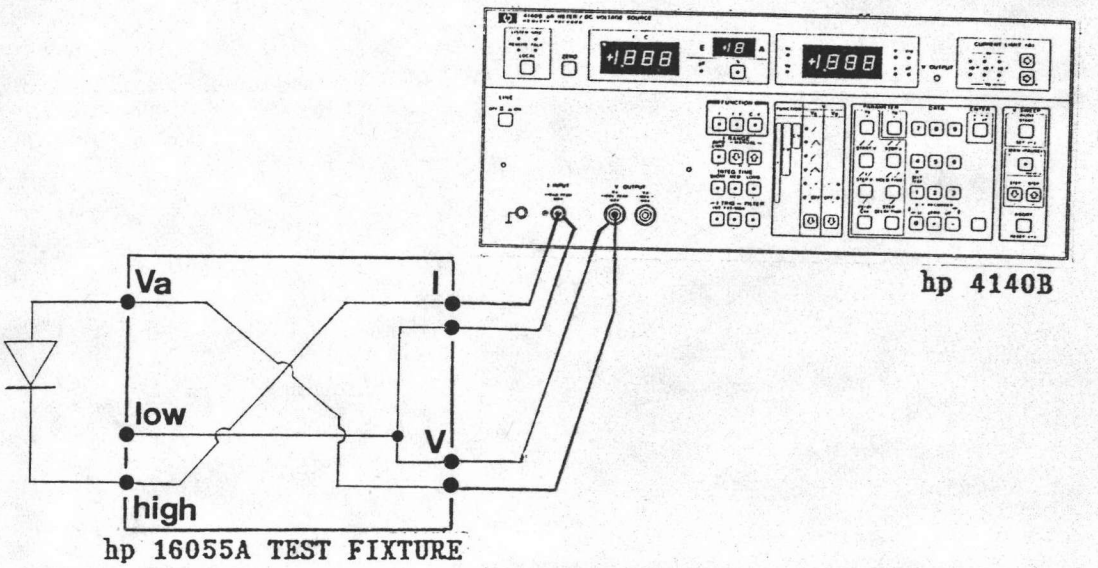
หลักการคือ ทำการไบแอสเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะไบแอสตาม ด้วยศักดาไฟฟ้าที่ทราบค่าแล้วทำการวัดกระแส ที่ไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวเซลล์ฯ จะต้องไม่มีแสงใดๆ มาตกกระทบผิวรับแสงเลย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

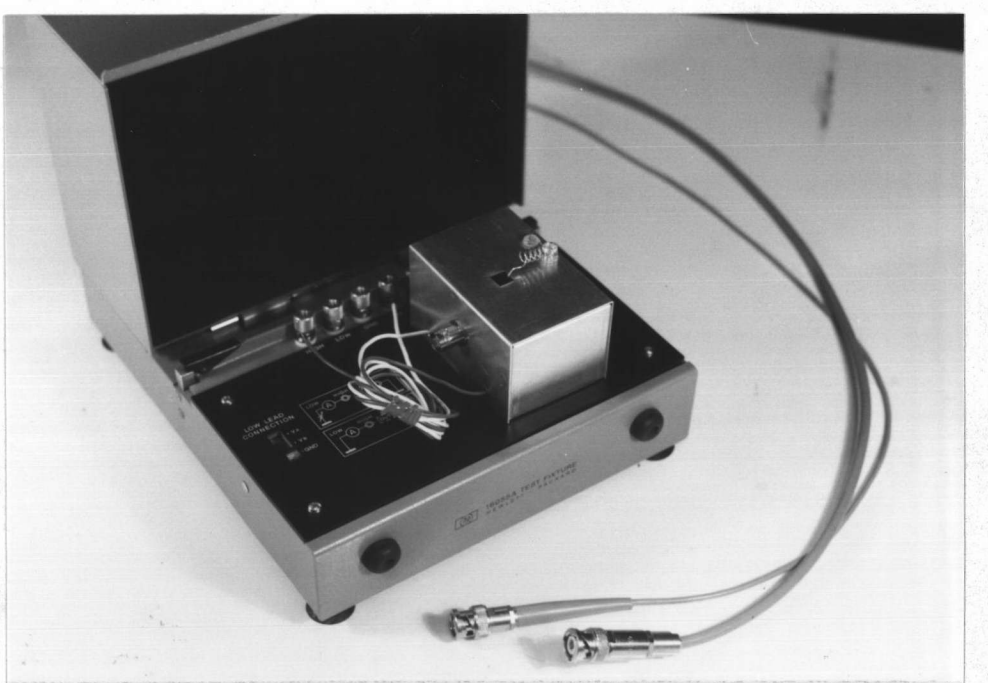
1. hp 4140B pA Meter / DC Voltage Source เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้อนศักดาไฟฟ้า ให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ และมีแอมป์มิเตอร์ ที่สามารถอ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้ละเอียดในระดับพิโคแอมป์ (pA)

2. hp 16055A Test Fixture เป็นกล่องมืด ที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบอยู่บนแท่นยึด และมีการต่อขั้วไฟฟ้าจากเซลล์ฯ ออกมา เข้าสู่วงจรไฟฟ้าภายใน Test Fixture นี้ เพื่อให้เกิดการจัดวงจรดังรูปที่ 5.1

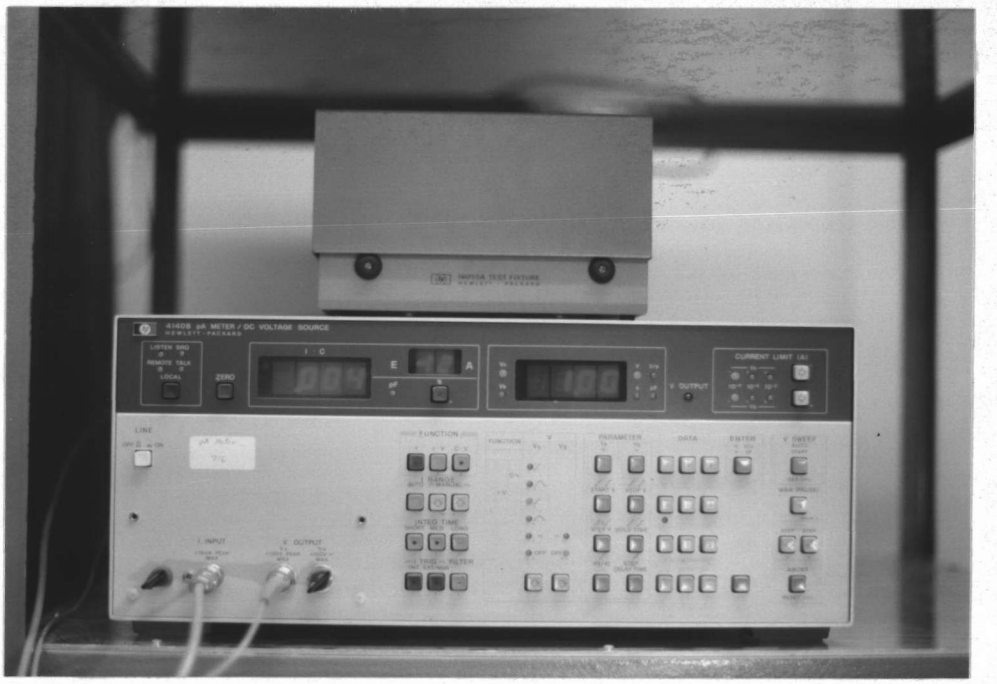
3. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม IV.BAS ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของ DC Voltage Source และอ่านข้อมูลจาก pA Meter ผ่านทางพอร์ตสื่อสารมาตราฐาน IEEE 488



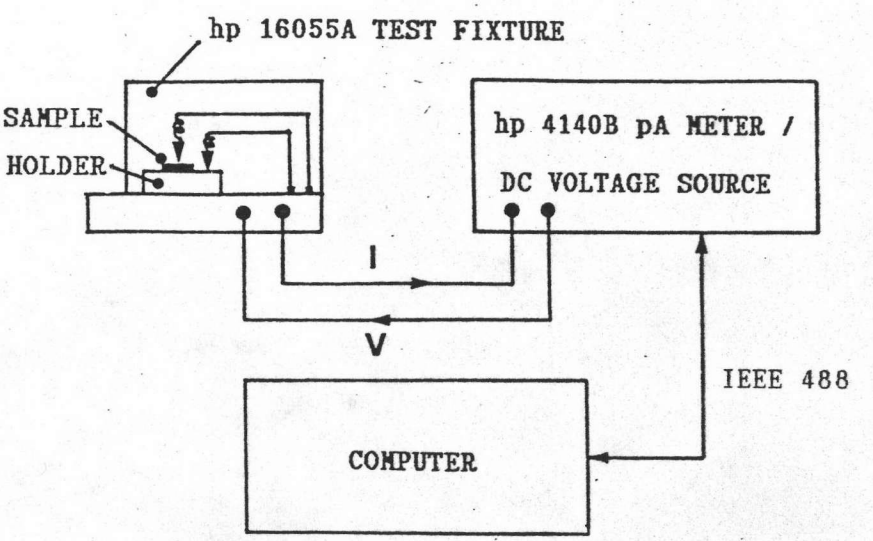
รูปที่ 5.1 การจัดวงจรภายใน hp 16055A Test Fixture



รูปที่ 5.2 Test Fixture เมื่อเปิดออกให้เห็นแท่นยึดเซลล์แสงอาทิตย์ และตัวเซลล์ฯ



รูปที่ 5.3 hp 4140B pA Meter / DC Voltage Source



รูปที่ 5.4 ระบบการวัดหาลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะมืด

สำหรับขั้นตอนในการวัดมีดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับแท่นยึด ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าของเซลล์ฯ จากแท่นยึดนี้จะมีสายไฟฟ้าต่อเข้ากับหลักต่อสายของ Test Fixture

2. ปิดฝาของ Test Fixture เพื่อไม่ให้มีแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

3. RUN โปรแกรม IV.BAS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้วัดคุณสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะมืด ป้อนข้อมูลที่จะใช้ในการวัดดังตัวอย่างต่อไปนี้

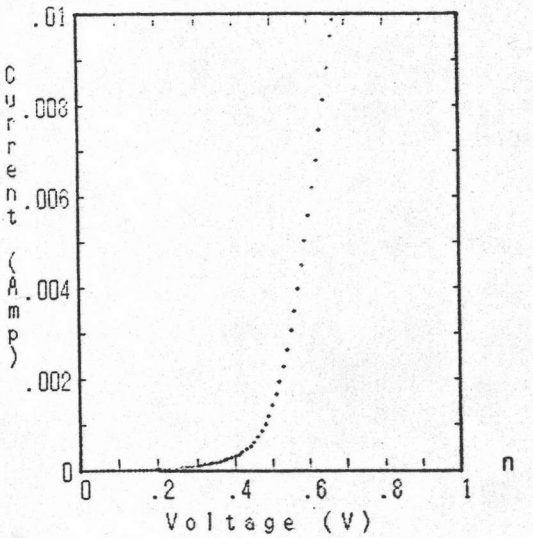
```
Sample name    : B0-01
Start voltage  : 0        [volt]
Stop  voltage  : 1        [volt]
Step           : 0.01     [volt]
```

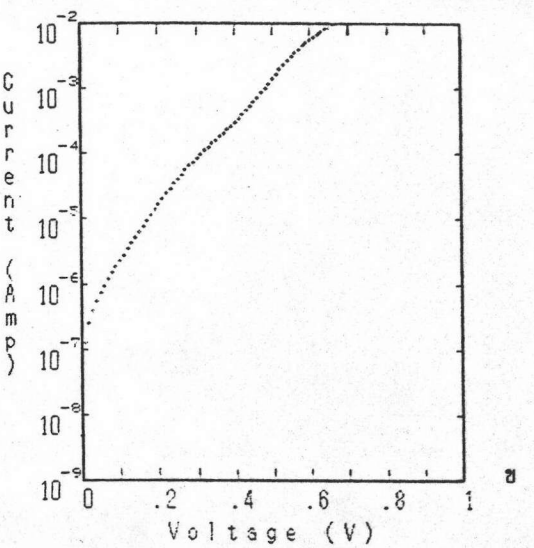
4. เมื่อใส่ข้อมูลทุกอย่างถูกต้องแล้ว โปรแกรมจะทำหน้าที่สั่งการให้ hp 4140B ป้อนศักดาไฟฟ้าแบบ Forword Bias ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะเดียวกันก็จะทำการวัดค่ากระแส ที่ไหลผ่านเซลล์ฯ คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลกระแส และค่าแรงดันจาก hp 4140B จนกระทั่งแรงดันที่จ่ายออกมีค่าถึง Stop voltage ตามที่ได้ใส่ไว้

5. แสดงผลการวัดบนจอภาพ หรือทางเครื่องพิมพ์ นอกจากนี้ยังสามารถเก็บข้อมูลการวัดลงในไฟล์ เพื่อการนำกลับมาใช้อีกได้

คุณสมบัติกระแส-แรงดัน ที่วัดได้ในสภาวะมืดนี้ จะถูกนำมาสร้างเป็นเส้นกราฟของคุณสมบัติ โดยแกนของกระแสซึ่งเป็นแกนตั้ง จะมีการจัดสเกลแบบ Logarithm แต่แกนนอนซึ่งเป็นแกนค่าแรงดัน จะจัดสเกลแบบ Linear

จากเส้นกราฟ คุณสมบัติกระแส-แรงดันในสภาวะมืดที่สร้างในแบบ Log-Linear เราสามารถที่จะคำนวณหาค่า พารามิเตอร์ที่สำคัญของรอยต่อ พีเอ็น ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ คือค่า Ideality Factor (n) และค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (I_o) ซึ่งถือว่าเป็นกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นของเซลล์แสงอาทิตย์

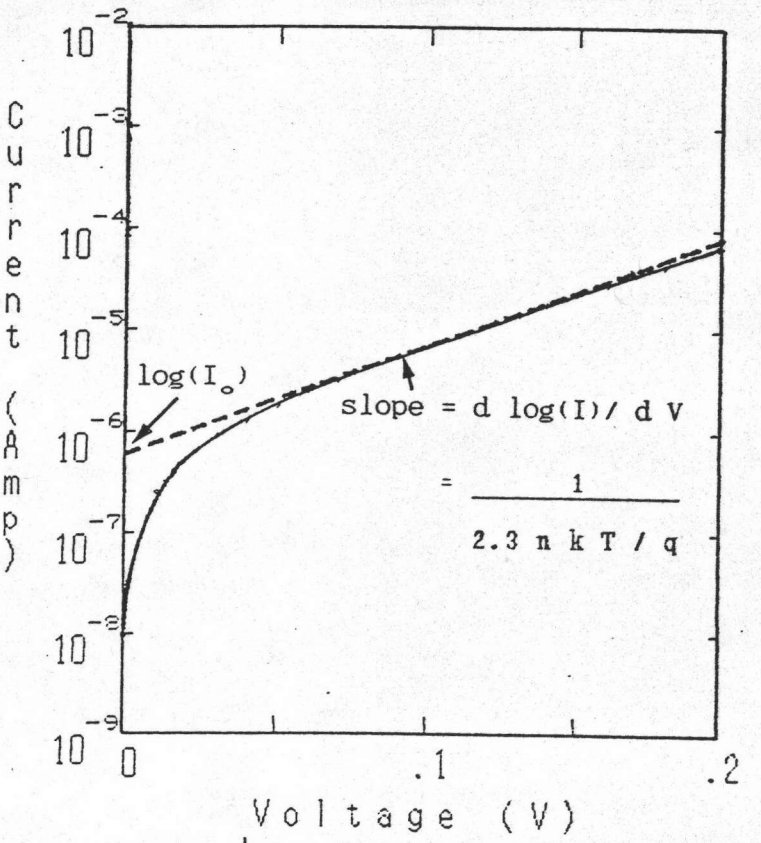




รูปที่ 5.5 กราฟคุณสมบัติกระแส-แรงดันในสภาวะมืด

ก. แบบ Linear-Linear

ข. แบบ Log-Linear



รูปที่ 5.6 การหาค่า I_o และ n

เส้นตรงที่ลากสัมผัสเส้นกราฟตามรูปที่ 5.6 จะตัดแกนกระแสที่ค่า log(I_o) และความชันของเส้นตรงนี้จะมีค่า

$$\text{Slope} = \frac{1}{2.3nkT/q} = \Delta \log(I) / \Delta V \qquad (5.1)$$

เมื่อ k คือค่าคงที่ของ Boltzmann (1.380×10^{-23} joule / K)

T คืออุณหภูมิ (ที่อุณหภูมิห้อง ~ 300 K)

q คือประจุของอิเล็กตรอน (1.602×10^{-19} coul)

เมื่อแทนค่า $\Delta \log(I)$, ΔV , k , T, q ก็จะทำให้ได้ค่า n ออกมา

Solar cell	I_o (ไมโครแอมแปร์)	n
#0 (ผิวเรียบ)	0.153	2.07
#1 (groove)	1.95	1.67
#2 (groove)	0.391	1.49
#3 (groove)	0.235	1.70
#4 (groove)	0.215	1.76
#5 (groove)	0.426	1.42

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณค่า I_o และ n ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผิวต่าง ๆ

5.2 การวัดลักษณะสมบัติในสภาวะได้รับพลังงานจากแสง

เป็นการวัดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ค่าแรงดันวงจรเปิด V_{oc} , กระแสลัดวงจรต่อหน่วยพื้นที่ J_{sc} , กำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด P_m และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ FF ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาประมวลผลเป็นค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการวัดคือ ฉายแสงที่ทราบค่าพลังงานลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการวัดคุณสมบัติกระแส-แรงดัน ของเซลล์ฯ โดยปกติแสงที่ส่องให้กับเซลล์ฯ จะเป็นแสงจากดวงอาทิตย์ แต่แสงอาทิตย์นั้นมีการเปลี่ยนค่าความเข้มแสงอยู่ตลอดเวลา และขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ทำให้เกิดความไม่สะดวกและไม่แน่นอนในการวัด ดังนั้นจึงได้มีการนำหลอดชนิดมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ที่ให้ค่าสเปคตรัมใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์จริง ระบบนี้จึงมีชื่อเรียกว่า Solar Simulator

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีดังต่อไปนี้

1. ชุด Solar Simulator ประกอบด้วย Lamp Housing ซึ่งภายในบรรจุหลอดซีนอน เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง, ระบบเลนส์ และฟิลเตอร์ เพื่อให้มีการกระจายของสเปคตรัมแบบ AM1

ข้อมูลจำเพาะ ของ Solar Simulator

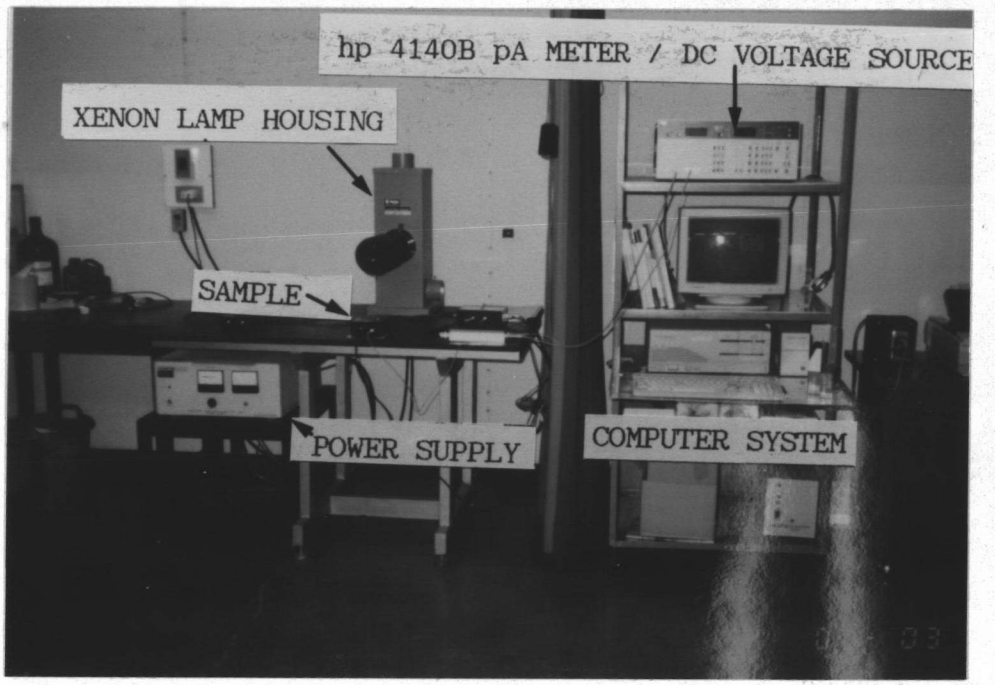
บริษัทผู้ผลิต	POLYTEC (Germany)
แหล่งกำเนิดแสง	High Pressure Xe Arc Lamp
ระบบเลนส์	ประกอบด้วยกระจกรวมแสง, เลนส์บีบลำแสง และ กระจกสะท้อนแสง อยู่รวมกันใน Lamp Housing รุ่น LH 151N
ฟิลเตอร์	สามารถเลือกใช้ เพื่อสร้างการกระจาย Spectrum ของแสง ให้เป็นแบบ AM1, AM1.5 หรือ AM2 ตามต้องการ
แหล่งจ่ายพลังงาน	Universal Short Arc Lamp Power Supply รุ่น LPS 255 HR 250-1000 Watt

2. Standard Solar Cell เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเราทราบค่ากระแสลัดวงจรต่อพลังงานแสงที่ได้รับ จะใช้สำหรับการปรับตั้งค่าพลังงานแสง

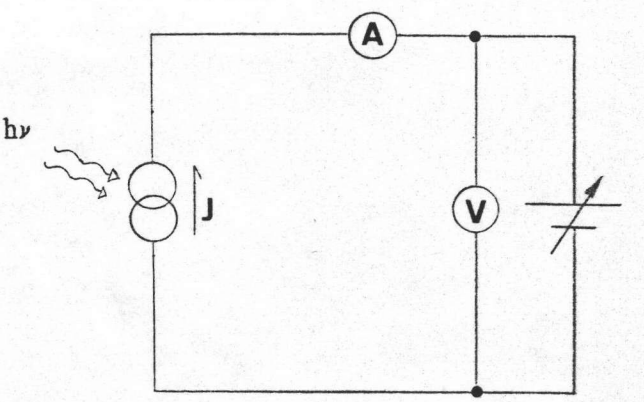
3. hp 4140B pA Meter / DC Voltage Source ใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันและมิเตอร์สำหรับวัดกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

4. กล่องจัดวงจร เป็นกล่องที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงวงจรจากเซลล์แสงอาทิตย์ เข้าสู่ hp 4140B เพื่อจัดวงจรการวัดตามรูปที่ 5.7 วงจรภายในของกล่องแสดงอยู่ในรูปที่ 5.8

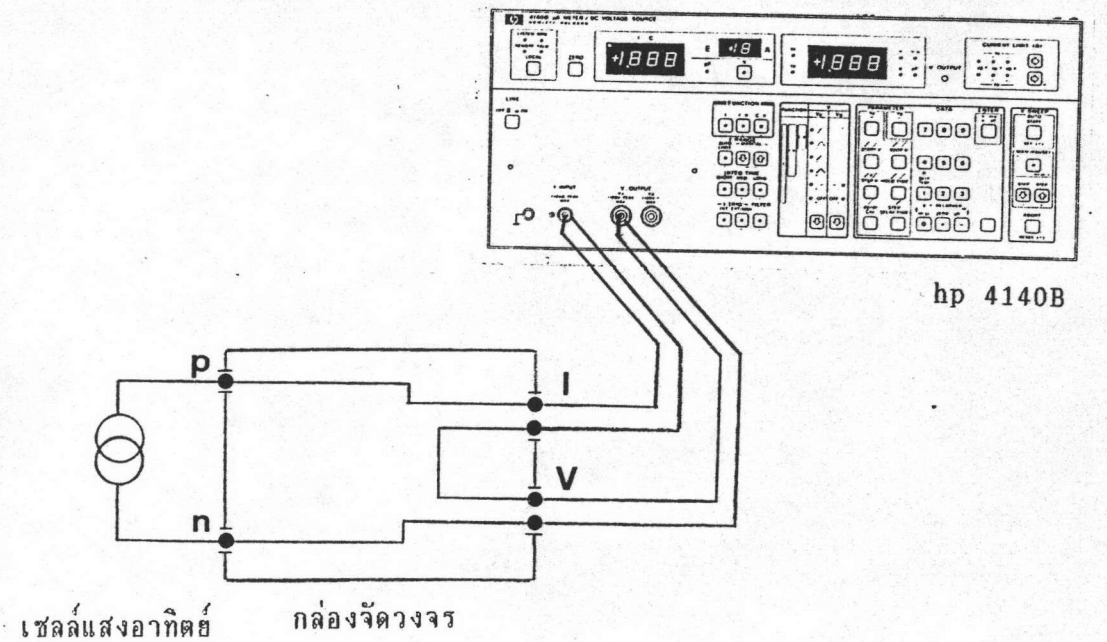
5. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม SOLAR.BAS สำหรับควบคุมการทำงานของ hp 4140B และอ่านค่ากระแสจาก pA Meter ผ่านทางพอร์ตสื่อสารมาตราฐาน IEEE 488



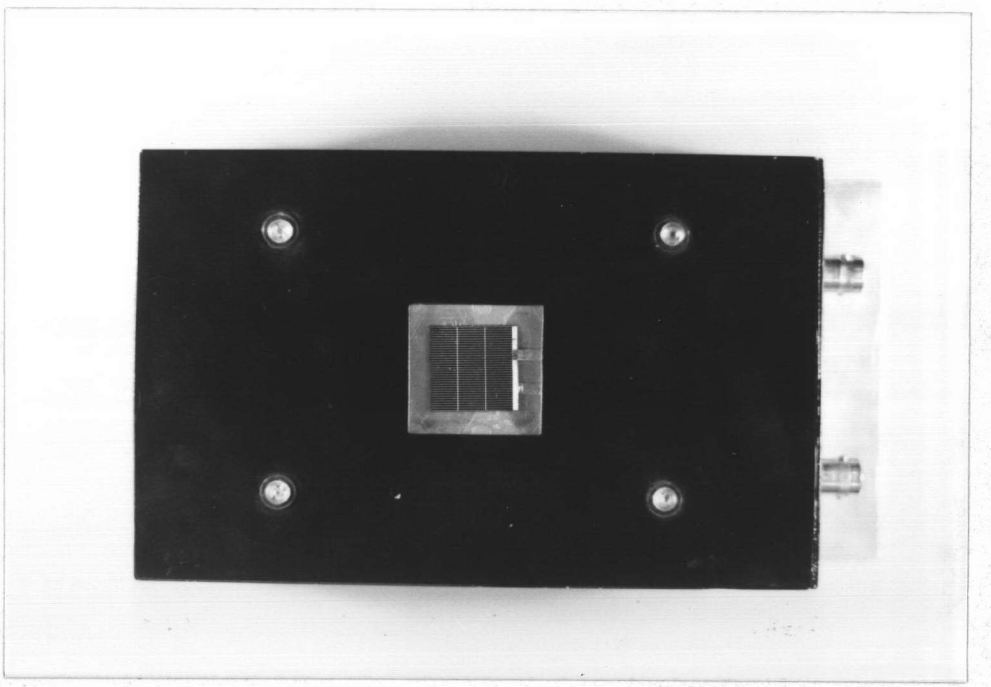
รูปที่ 5.7 ระบบการวัดลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์
ในสภาวะได้รับพลังงานจากแสง



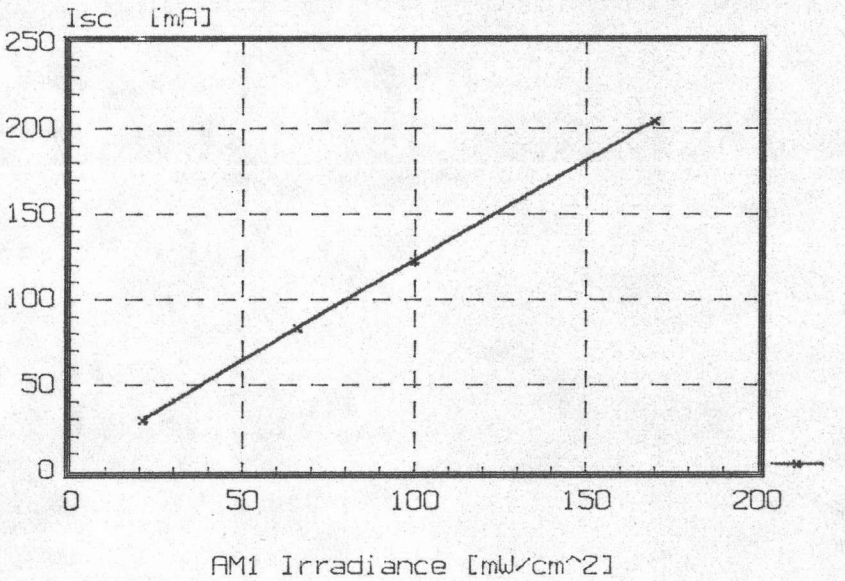
รูปที่ 5.8 วงจรการวัดลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์
ในสภาวะได้รับพลังงานจากแสง



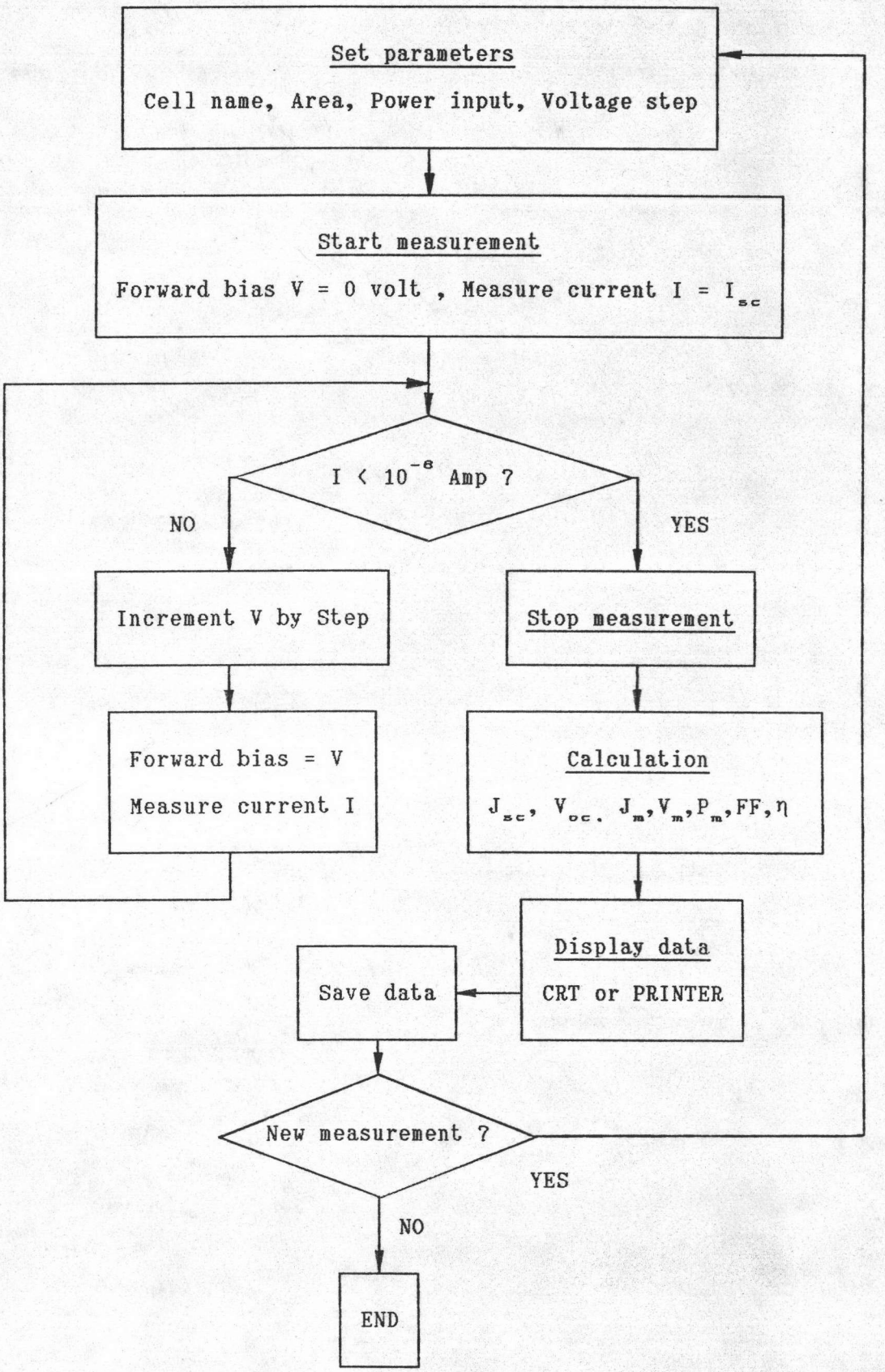
รูปที่ 5.9 วงจรของกล่องจัดวงจร



รูปที่ 5.10 Standard Solar Cell



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจร กับความเข้มแสง ของ Standard Solar Cell



รูปที่ 5.12 Flow chart การวัดลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการวัดมีดังต่อไปนี้

1. ปรับความเข้มแสงของ Solar Simulator ด้วย Standard Solar Cell โดยฉายแสงแล้ววัดกระแสลัดวงจรด้วยมิลลิแอมป์มิเตอร์ แล้วนำไปปรับเทียบกับ รูปที่ 5.11 ในกรณีสเปคตรัมแบบ AM1 จะปรับให้มีความเข้มแสง 100 mW/cm^2 นั่นคือที่ความเข้มแสงค่านี้ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของ Standard Solar Cell จะมีค่า 122.5 mA.

2. ป้อนข้อมูลสำหรับการวัดในโปรแกรม SOLAR ให้ถูกต้อง เช่น

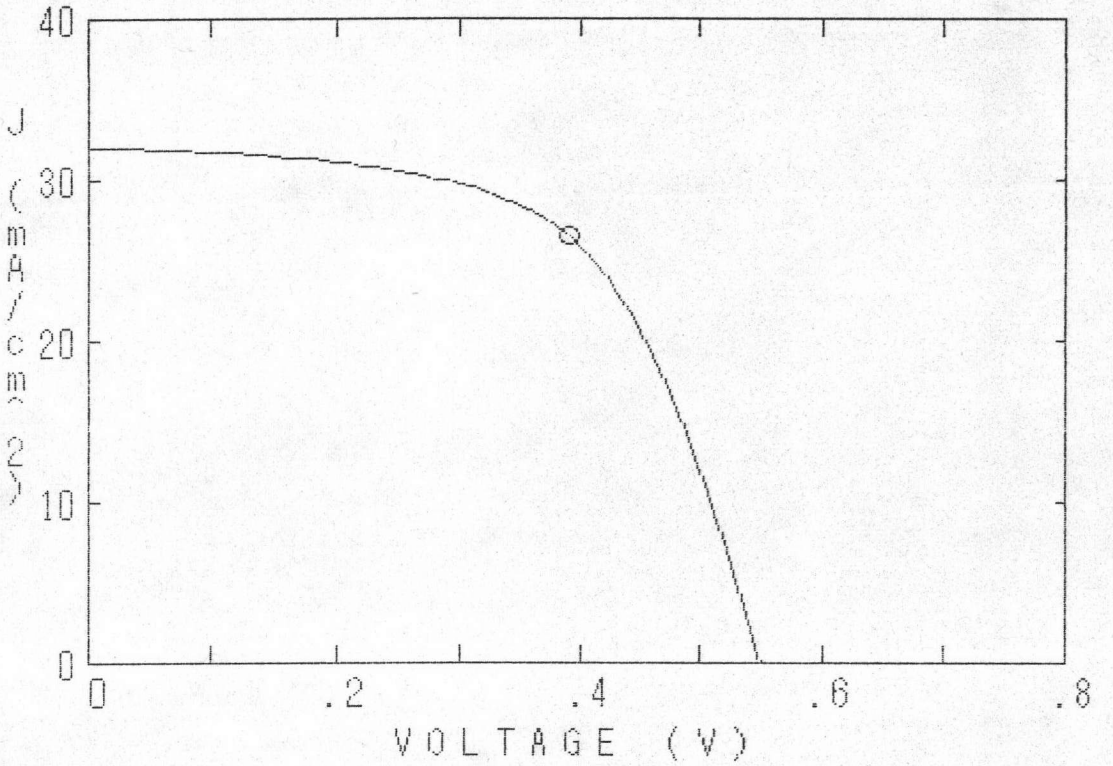
Sample name	:	B3-01S	
Area of cell	:	0.26	[cm^2]
Light power	:	100	[mW/cm^2]
Voltage step	:	0.01	[volt]

3. นำแท่นยึดที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการวัดไปวางไว้แทนที่ในตำแหน่งเดียวกับ Standard Solar Cell

4. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ และ hp 4140B จะทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่แรงดันค่าต่าง ๆ ตั้งแต่แรงดันศูนย์โวลท์ จนกระทั่งถึงแรงดัน V_{oc} ของเซลล์แสงอาทิตย์

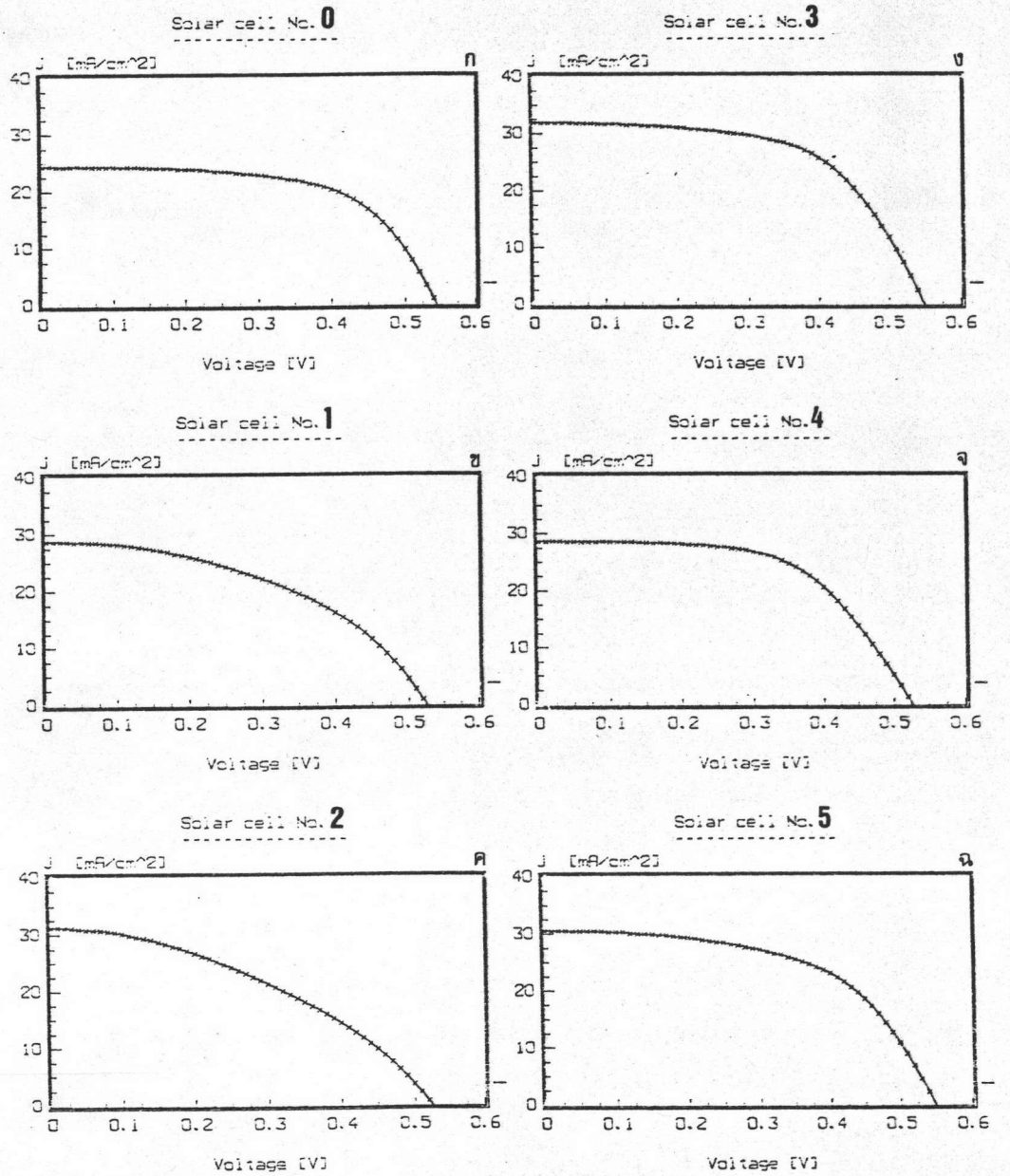
5. ผลการวัดค่ากระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จะถูกสร้างเป็นรูปกราฟบนจอภาพ และสามารถพิมพ์รูปพร้อมข้อมูลที่คำนวน ออกทางเครื่องพิมพ์

6. บันทึกข้อมูลลงไฟล์




```
SAMPLE NAME    = B3-01S
DATE           = 91/08/24
Area    (cm^2)=   0.260
Pin  (mW/cm^2)= 100
Voc         (V)=   0.5450
Jsc  (mA/cm^2)=  31.9998
Vmax        (V)=   0.3900
Jmax (mA/cm^2)=  26.4997
Fill Factor(%)=  59.2602
Conv.Effi   (%)=  10.3349
```

รูปที่ 5.13 ตัวอย่างผลการวัดคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5.14 ลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ 6 แบบ

ก. เซลล์แสงอาทิตย์ผิวเรียบ (หมายเลข 0)

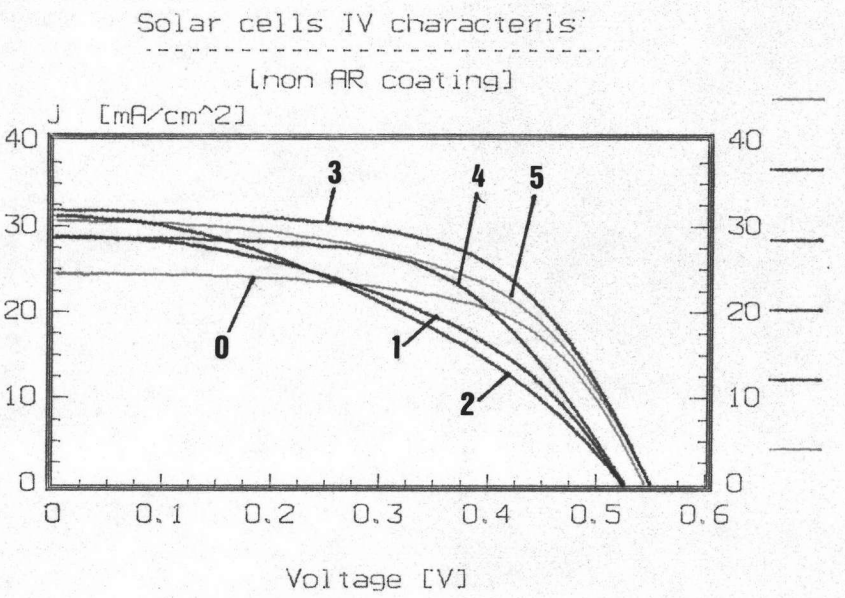
ข. เซลล์แสงอาทิตย์ผิวร่อง แบบที่ 1

ค. เซลล์แสงอาทิตย์ผิวร่อง แบบที่ 2

ง. เซลล์แสงอาทิตย์ผิวร่อง แบบที่ 3

จ. เซลล์แสงอาทิตย์ผิวร่อง แบบที่ 4

ฉ. เซลล์แสงอาทิตย์ผิวร่อง แบบที่ 5



รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์ฯ ทั้ง 6 แบบในรูปเดียวกัน

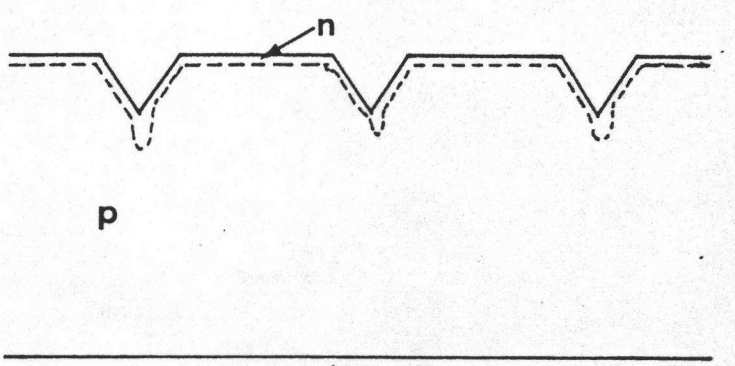
Cell	V_{oc}(volt)	J_{sc}(mA/cm^2)	P_m(mW/cm^2)	FF	η(%)
#0	0.545	24.385	8.184	61.583	8.184
#1	0.525	28.731	6.854	45.439	6.854
#2	0.525	31.307	6.426	39.099	6.426
#3	0.545	32	10.335	59.260	10.335
#4	0.525	28.692	8.709	57.817	8.709
#5	0.545	30.654	9.240	55.308	9.240

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวัดและคำนวณค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

ข้อสันนิษฐานหนึ่งซึ่งเข้าใจว่าจะเกิดขึ้นกับการสร้างผิวแบบ groove คือการเกิดจุดบกพร่องขึ้นที่ผิว โดยเฉพาะในบริเวณส่วนปลายของร่อง ที่บริเวณนี้เป็นจุดที่อาจทำให้เกิด Diffusion-spike ขึ้น เมื่อมีการแพร่ซึมสารเจือปนชนิด n ลงไป (14) จะเห็นว่า groove แบบที่1 มีจำนวน groove ต่อพื้นผิวมากที่สุด ก็จะมีค่ากระแสรั่วไหลสูงที่สุด เพราะจำนวนของ Diffusion-spike มีมาก ถึงแม้ว่าเซลล์จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงได้มาก โดยสังเกตได้จากค่า I_{sc} ที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าฟิลแฟกเตอร์ลดลง จึงไม่มีผลดีต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของ Diffusion-spike คือ จะทำให้บริเวณนี้มีความลึกของรอยต่อมากกว่าบริเวณอื่น ๆ และจะมีความเข้มข้นของสารเจือปนสูงมาก จนกระทั่งทำให้เกิดเป็น Recombination Center พาหะที่ผ่านมาในบริเวณนี้จะถูกดักจับและเกิดการรวมตัวที่บริเวณนี้ ผลคือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) จะสูงขึ้น และทำให้ค่าฟิลแฟกเตอร์ลดลง นอกจากนี้ยังจะทำให้ค่าความต้านทานขนาน (R_p) ลดต่ำลง เกิดเป็นกระแสรั่วไหลเพิ่มขึ้น (15)

ดังนั้น หากจะมีการนำผิวผลิกแบบร่องนี้มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อต้องการจะให้ได้ประสิทธิภาพของเซลล์ฯ สูงขึ้น จะต้องทำการศึกษาหาทางป้องกันผลเสีย ที่จะเกิดตามมาจากการกัดผิวให้เป็นร่อง หรือหาทางลดผลเสียที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด



รูปที่ 5.16 ภาพสันนิษฐานการเกิด Diffusion-spike ที่เกิดขึ้น

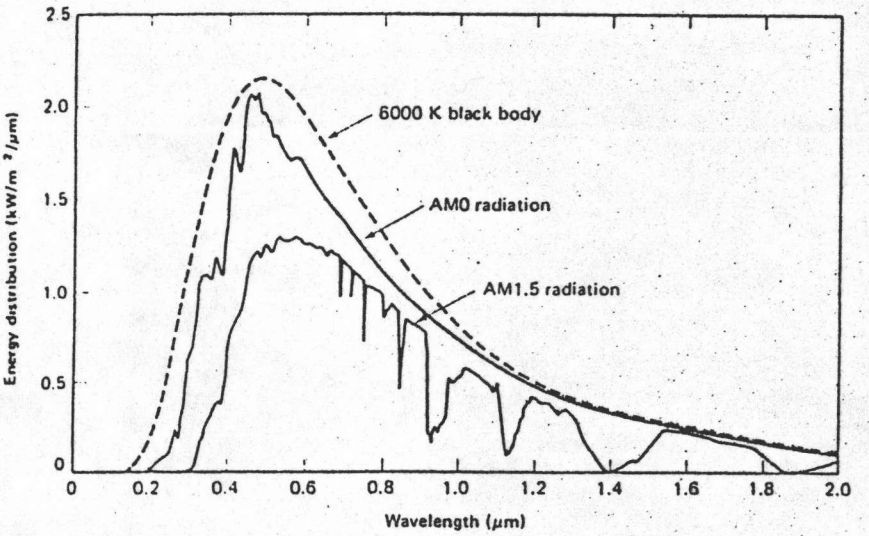
การลดจุดบกพร่องที่ผิวของผลึก อาจทำได้ด้วยการ Re-crystalize บริเวณนั้นหรือทั้งผิวหน้าด้วยแสงเลเซอร์ ที่มีความยาวคลื่นแสงที่ผลึกซิลิคอนเกิดการดูดกลืนหลังงานแล้วทำให้เกิดความร้อนสูง หรือใช้วิธีการ Anneal ทั้งแผ่นผลึกในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยด้วยความร้อน (11: 142-150) นอกจากนี้อาจใช้เทคนิคการกัดลอกผิวของผลึก ด้วยน้ำยาเคมี เพื่อลด Dead Layer ซึ่งเคยใช้ได้ผลดีมาแล้ว ในงานวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลี (15)

ในการทดลองสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ แบบมีผิวหน้าเป็นร่องตัว วี นี้ มีการกัดร่องในแนวยาวจนสุดขอบทั้งสองข้างของตัวเซลล์ฯ แม้พื้นที่รับแสงของเซลล์ฯจะเพิ่มขึ้น ขอบเซลล์ฯก็จะมีความยาวเพิ่มด้วย ทำให้การเกิด Edge Recombination สูงตามไปด้วย เป็นสาเหตุให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรไม่สูงเท่าที่ควร และยังเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้า ที่บริเวณขอบเหล่านี้ได้มากขึ้น ทำให้ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ต่ำ ดังนั้น การออกแบบ Mask ให้ความยาวของร่องไปไม่สุดขอบ จะทำให้ได้พื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นเกือบเช่นเดิม แต่มีขอบเซลล์ฯยาวเท่ากับเซลล์ฯที่มีผิวเรียบ จะทำให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีสมรรถนะดีขึ้น

5.3 การวัดการตอบสนองทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดการตอบสนองทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ก็เพื่อจะได้ทราบถึง ประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum Efficiency) ของเซลล์ฯ และทำให้ทราบถึงช่วงความยาวคลื่นของแสงที่เหมาะสม และให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

ตามปกติแสงอาทิตย์จะมีการกระจายของสเปคตรัม ตั้งแต่ความยาวคลื่นประมาณ 200 นาโนเมตร ขึ้นไปจนถึงมากกว่า 2000 นาโนเมตร แต่ละความยาวคลื่นจะมีค่ามากน้อยต่างกัน ดังในรูปที่ 5.17 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ก็ควรจะมีผลตอบสนองต่อแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับสเปคตรัมของแสงอาทิตย์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ก็ควรที่จะศึกษาผลตอบสนองทางแสงด้วยว่า มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานอย่างไร



รูปที่ 5.17 สเปคตรัมของแสงอาทิตย์ที่ผิวโลกทั่วไป (AM1.5) เทียบกับในอวกาศ (AM0) และวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 6000 K (16)

หลักการวัดก็คือ ฉายแสงที่ทราบความเข้ม และความยาวคลื่น ลงบนผิวรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการวัดกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่แต่ละความยาวคลื่นแสง จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า Quantum Efficiency (H(0))

$$H(0) = \text{จำนวนคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล / จำนวนโฟตอน}$$

$$= \frac{(J_{sc} / q)}{(P / h\nu)} \qquad (5.2)$$

เมื่อ J_{sc} คือ ความหนาแน่นของกระแสลัดวงจร (A/cm^2)

q คือ ประจุของพาหะ

P คือ ความหนาแน่นของพลังงาน (W/cm^2)

h คือ ค่าคงที่ของ Planck = 6.626×10^{-34} (J·s)

ν คือ ความถี่ของแสง

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการตอบสนองทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

1. หลอดไฟทังสเตน ใช้เป็นต้นกำเนิดแสง

2. Monochromator เพื่อแยกแสงออกเป็นแสงสีเดียวโดยการหมุน Grating ให้มีการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง

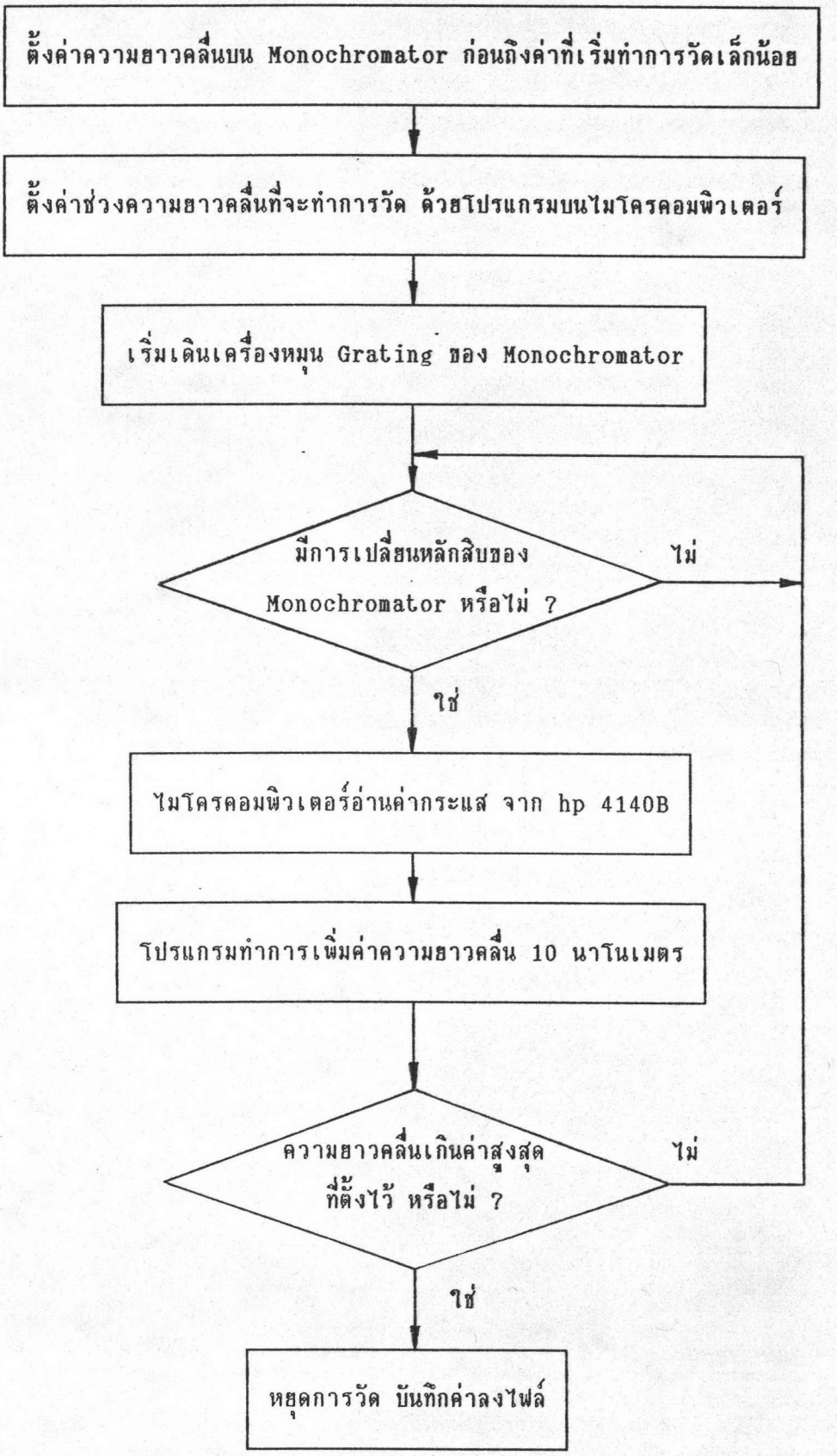
3. Optical Power Meter ใช้สำหรับการวัดค่าพลังงานแสง

4. hp 4041B pA Meter ใช้วัดกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์

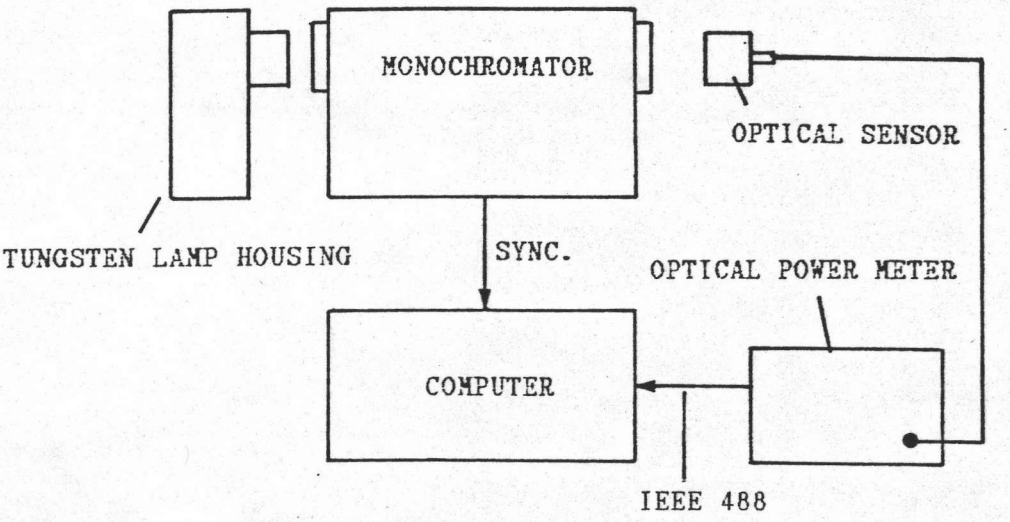
5. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ใช้บันทึกข้อมูลจาก pA Meter ตามความยาวคลื่นโดยอาศัยสัญญาณจาก Monochromator เป็นตัวกระตุ้น ทุก 10 นาโนเมตร ดังที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในหัวข้อ 3.5

6. โปรแกรม OPTICAL.BAS ใช้สำหรับการวัด ค่าพลังงานแสงในแต่ละความยาวคลื่น เป็นโปรแกรมเดียวกันกับที่ใช้วัดพลังงานแสงสะท้อนในหัวข้อ 3.5

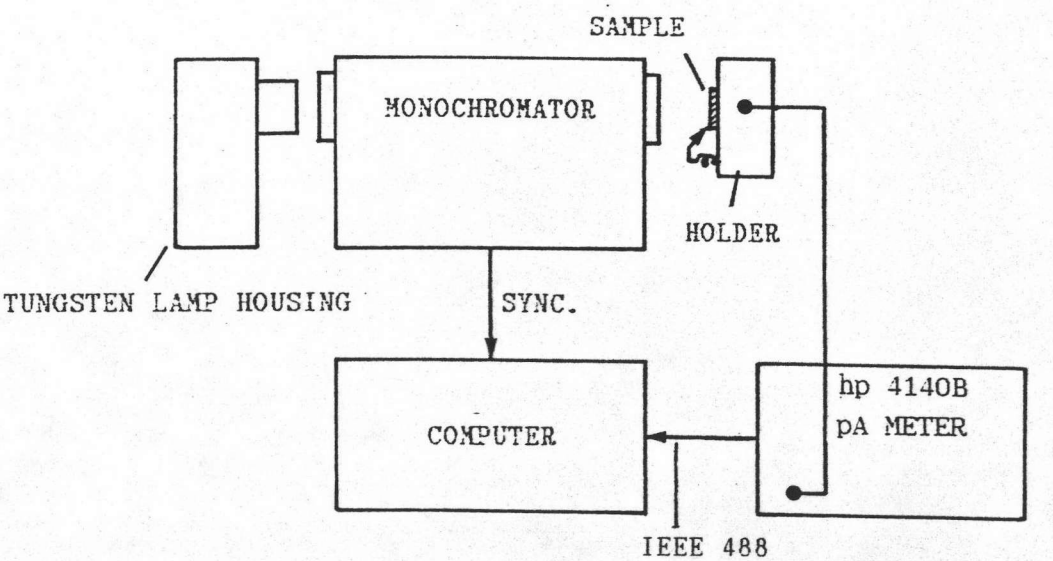
7. โปรแกรม RESPONSE.BAS ใช้สำหรับการอ่านค่ากระแสลัดวงจร จาก hp 4140B ในแต่ละค่าความยาวคลื่น



รูปที่ 5.18 Flow chart แสดงการวัดค่ากระแสตอบสนอง



รูปที่ 5.19 ระบบการวัดพลังงานแสง



รูปที่ 5.20 ระบบการวัดกระแสลัดวงจรตอบสนอง

ขั้นตอนการวัดมีดังต่อไปนี้

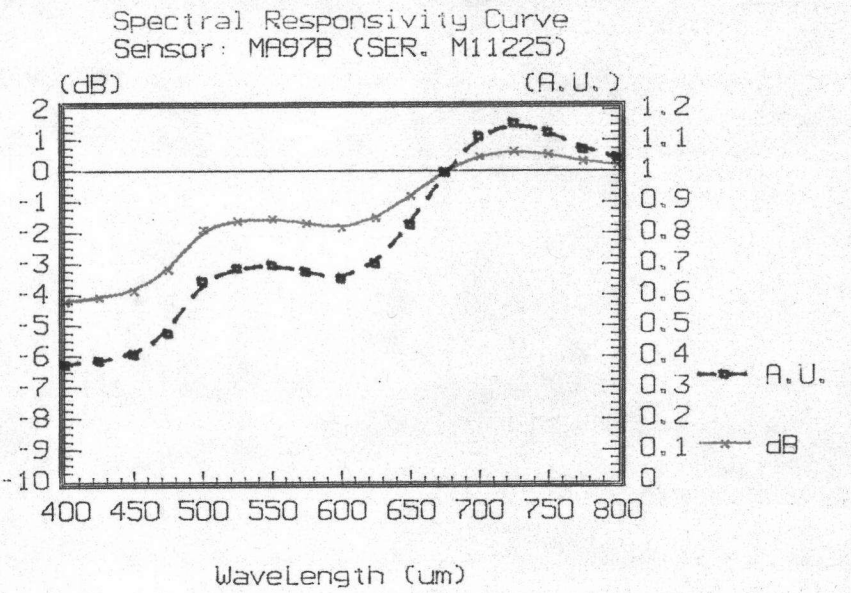
1. ทำการวัดพลังงานแสงแต่ละความยาวคลื่น โดยฉายแสงผ่าน Monochromator วัดพลังงานของแสง ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400 ถึง 800 นาโนเมตร ด้วย Optical Power Meter บันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์ ค่าพลังงานแต่ละความยาวคลื่นที่วัดได้จะต้องมีการปรับชดเชยค่าด้วยค่าการตอบสนองทางแสงของ Optical Sensor ที่เป็นหน่วยรับแสงของ Optical Power Meter ตามรูปที่ 5.21 และจะต้องหารด้วยพื้นที่รับแสง ของ Sensor (0.636 cm^2)

2. นำเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทดสอบติดบนแท่นยึด วางไว้ให้ตรงตำแหน่งเดิมของ Optical Sensor ต่อขั้วไฟฟ้าของเซลล์ฯ เข้าสู่ pA Meter

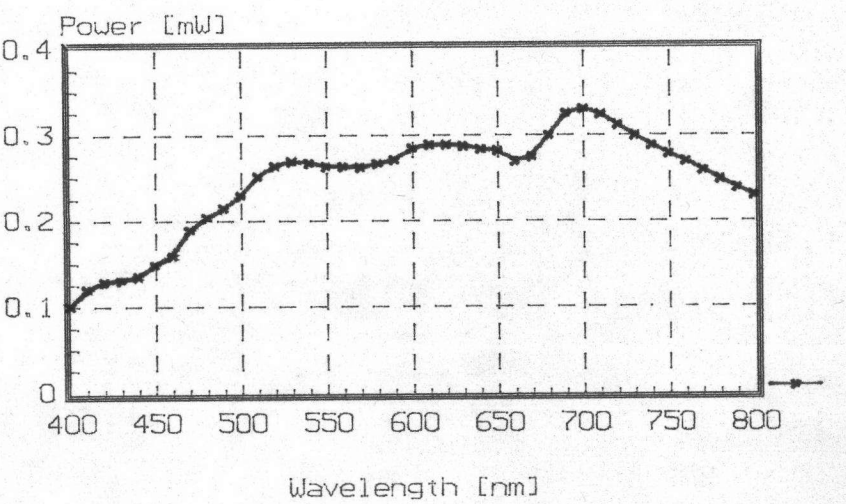
3. ฉายแสงผ่าน Monochromator ทำการวัดกระแสด้วย pA Meter ตั้งแต่ความยาวคลื่นแสง 400 ถึง 800 นาโนเมตร คอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกค่าจาก pA Meter

4. กระแสที่ได้จะต้องนำมาหารด้วยพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (0.26 cm^2) เพื่อให้ได้ความหนาแน่นของกระแสลัดวงจรเป็น J_{sc}

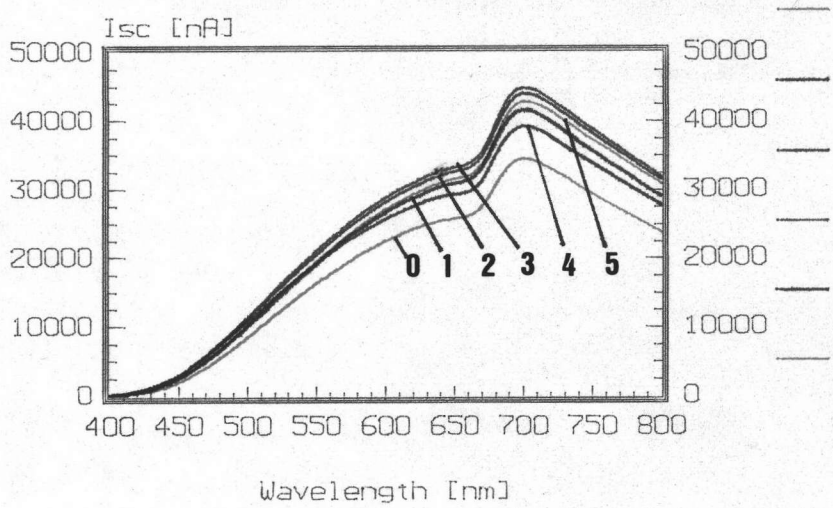
จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จะนำมาคำนวณหา Quantum Efficiency ด้วยสมการ(5.2) โดยนำข้อมูลที่บันทึกลงไฟล์ ไปประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LOTUS และสามารถสร้างกราฟของ Quantum Efficiency ได้ดังรูปที่ 5.24 ด้วยโปรแกรม Graph in the Box



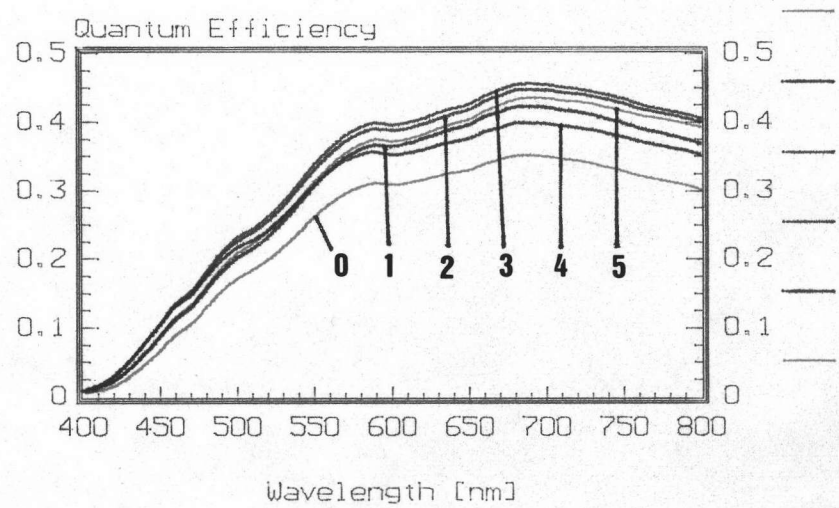
รูปที่ 5.21 การตอบสนองต่อแสงของ Optical Sensor



รูปที่ 5.22 ผลการวัดพลังงานแสงจาก Optical Power Meter



รูปที่ 5.23 ผลการวัดกระแสลัดวงจรตอบสนอง



รูปที่ 5.24 Quantum Efficiency ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 6 แบบ