

การศึกษาผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ผลิตจากซิลิกอนอสัญฐาน

Study on Spectrum Response of Amorphous Silicon Solar Cells

กรกฎ วัฒนวิเชียร¹

Koarakot Wattanavichean

ABSTRACT

Amorphous silicon solar cells studied here are fabricated by glow discharge decomposition system. There are 2 structures of solar cells, namely; type I having the structure of glass/ITO/SnO₂//p-a-SiC/i-a-Si/n- μ c-Si//Al and type II having the structure of glass//ITO/SnO₂//p-a-SiC/p- μ c-SiC/i-a-Si/n- μ c-Si//Al. Measuring system for study on spectrum response of solar cells with various structures is set up. Experimental result showed that the cell with i-layer thickness of 6000 Å in type I gave the best spectrum response. But the cell in type II illustrated much better open circuit voltage of 0.85 volt. Each amorphous silicon solar cell gave a good spectrum response in the range of visible light while the single crystal silicon solar cell responded well to infrared wavelength range.

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนอสัญฐาน ที่ทำการศึกษากถูกปลูกฟิล์มด้วยกรรมวิธีการแยกสลาย โดยการประจุเรืองแสง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ 2 โครงสร้าง คือ (1) โครงสร้างที่เป็น แก้ว/ITO/SnO₂//p-a-SiC/i-a-Si/n- μ c-Si//Al และ (2) โครงสร้างที่เป็น แก้ว/ITO/SnO₂//p-a-SiC/p- μ c-SiC/i-a-Si/n- μ c-Si//Al ในที่นี้ ได้ทำการเปรียบเทียบการวัดสำหรับศึกษาผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า การตอบสนองทางสเปกตรัมที่ดีที่สุดเป็นเซลล์โครงสร้างแรกที่มีความหนาของชั้น i อยู่มากที่สุด

คือ 6000 อังสตรอม ส่วนเซลล์ในโครงสร้างที่ 2 ให้ค่าแรงดันวงจรเปิดสูงสุดคือ 0.85 โวลต์ อย่างไรก็ตาม เซลล์ซิลิกอนอสัญฐานทุกตัวให้ผลตอบสนองต่อแสงในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าได้ดี ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิกอนให้ผลตอบสนองที่สูงสุดต่อแสงในย่านอินฟราเรด

คำนำ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง จึงมีประโยชน์มากในการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแก่ชุมชนที่อยู่ห่างไกล และใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานิทวนสัญญาสื่อสารในทีโลก ๆ เป็นต้น (Panyakeow, 1984) หากแต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในชนบท ปัจจุบันเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกเดี่ยวซิลิกอน (crystalline Si, c-Si) ซึ่งผลึกดังกล่าวนั้นมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนการผลิตเซลล์สูงตามไปด้วย (Backus, 1983) ดังนั้นจึงได้มีการรณรงค์กันอย่างกว้างขวางทั้งในต่างประเทศ และในประเทศที่จะประดิษฐ์เซลล์ให้มีราคาถูกลงโดยมีอยู่ 2 แพลตฟอร์มใหญ่ที่จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้คือ

- (1) การเลือกเทคนิคการผลิตที่เหมาะสม และ/หรือ
- (2) การเลือกวัสดุที่เหมาะสม ซึ่งแพลตฟอร์มแรกนี้มีผู้ทำการวิจัยกันอยู่แล้วในประเทศ (มนตรี, 2529) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงจะกล่าวถึงการใช้วัสดุที่มีราคาถูกในการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ วัสดุดังกล่าวคือ ซิลิกอนอสัญฐาน (amorphous Si เขียนย่อว่า a-Si หรือ a-Si:H) นอกจากนี้วัสดุดังกล่าวยังสามารถใช้เทคนิคการผลิตที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว จากการศึกษาคูณสมบัติของ a-Si พบว่า (Boer, 1987)

- (1) a-Si มีค่า optical absorption edge ที่ชันกว่า c-Si มาก จึงทำตัวคล้ายกับเป็นวัสดุที่เป็น direct band gap นั้นหมายถึงสามารถ match กับ optical spectrum ของแสงแดดได้ดี (2) เนื่องจาก a-Si มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient, α) ที่สูงกว่าของ c-Si มาก จึงทำให้สามารถทำเซลล์แบบบางได้ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.5 – 1 ไมครอน ในขณะที่แผ่นผลึก Si หนาถึง 300 – 500 ไมครอน (3) เนื่องจาก a-Si มีช่องว่างพลังงาน (energy gap, E_g) $\sim 1.5 - 1.8$ อิเล็กตรอน-โวลท์ ซึ่งกว้างกว่าค่า E_g ของ c-Si (~ 1.1 อิเล็กตรอน-โวลท์) การที่ค่า E_g ของ a-Si กว้างทำให้มีข้อดีคือ เป็นค่าพลังงานที่เทียบได้กับค่าสูงสุดของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ จึงทำให้เซลล์ชนิดนี้มีโอกาสรับพลังงานอินพุตจากแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงโครงสร้าง และผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์ a-Si เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการผลิตเซลล์แบบนี้ที่เหมาะสมเพื่อประยุกต์ใช้งานในประเทศแทนเซลล์ c-Si ซึ่งมีราคาแพง

อุปกรณ์ และวิธีการ

1) การเตรียมตัวเซลล์

เตรียมเซลล์โดยกรรมวิธีการแยกสลายโดยการประจุด้วยการเรืองแสง (glow discharge decomposition, GD) ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เมื่อเทียบกับการเตรียมเซลล์ด้วยกรรมวิธีสปัตเตอริง (sputtering, SP) ดังได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (กรกฎ, 2531) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมเซลล์โดยวิธี GD ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้า และทางแสงของแผ่นฟิล์มดีกว่าฟิล์มที่เตรียมโดยกรรมวิธี SP (Jiranapakul, 1987) Figure 1 แสดงอุปกรณ์การแยกสลายโดยการประจุด้วยการเรืองแสง (glow discharge plasma CVD) ที่ใช้ผลิตเซลล์ a-Si โครงสร้างต่าง ๆ ส่วน Figure 2 แสดงภาพถ่ายจริงของระบบ glow discharge plasma CVD ดังกล่าว ขณะที่ปลูกฟิล์ม โดยปกติก๊าซไฮโดรเจน (SiH_4) จะถูกปล่อยเข้ามาในแชมเบอร์ (chamber) ที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ (back ground pressure $\sim 10^{-3}$ ทอร์รี่) โดยดูดอากาศด้วยระบบ rotary pump และมีแผ่นแก้วพร้อมขั้วโปรงแสง ITO/ SnO_2 สำเร็จรูป เป็นแผ่นฐานรอง (substrate) วางอยู่ โดยที่เราเพิ่มอุณหภูมิให้แผ่นแก้วเป็น 180°C อัตราส่วนของก๊าซต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อได้ปัสสารเป็นชนิด พี ไอ และเอ็น ซิลิกอนอสัญฐาน (p-, i- and n-a-Si) และปริมาณอัตราการใช้ของก๊าซต่าง ๆ มีแสดงไว้ใน Table 1 แล้วแต่ว่า ต้อง

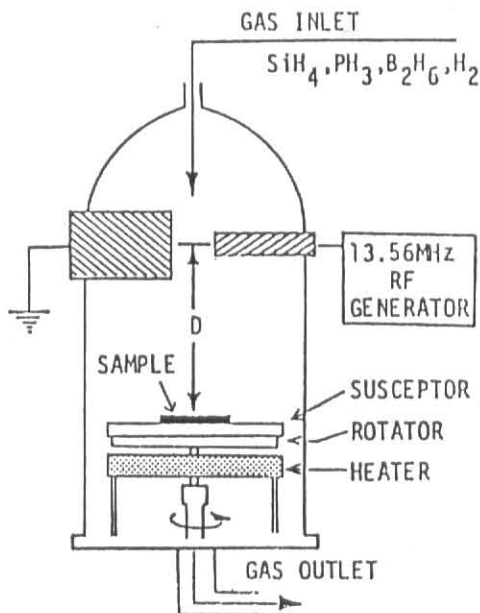


Figure 1 Schematic diagram of glow discharge plasma CVD apparatus for depositing a-Si films

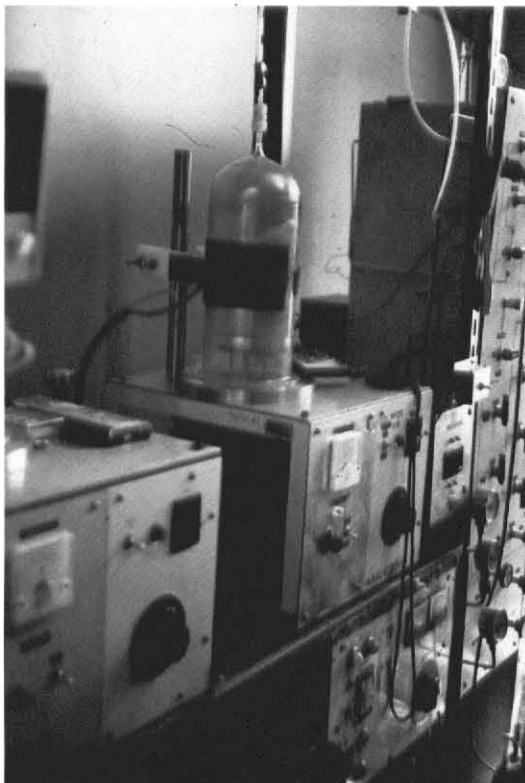


Figure 2 Photo of glow discharge plasma CVD apparatus used in this study

การได้แผ่นฟิล์ม a-Si ให้เป็นสารชนิดใด จากนั้นควบคุมความดัน (during pressure) ภายในแชมเบอร์ให้คงที่ตามค่าที่กำหนด ต่อไปทำการเพิ่มแหล่งจ่ายไฟ (RF power) ย่านความถี่วิทยุ (13.56 เมกกะเฮิรตซ์) จนอะตอมของก๊าซถูกกระตุ้นให้แยกสลายตัวเป็นพลาสมาด้วยการประจุโดยการเรืองแสงในท้ายที่สุดอะตอมของซิลิกอนที่ถูกแยกออกมาจะไปเกาะติดบนแผ่นฐานแก้วจนกลายเป็นชั้น a-Si ชนิดต่าง ๆ ตามแต่ได้ป้อนก๊าซที่ใช้ และเงื่อนไขการปลูกฟิล์มต่าง ๆ แสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Deposition conditions for p- i- and n-type glow discharge films

discharge type	capacitively-coupling at frequency 13.56 MHz
RF input power	35, 150 W (35 W for depositing p- and i-layers and 150 W for depositing n-layer)
substrate temperature	180°C
during pressure	1 torr
height of electrode from substrate (D)	10 cm
ratio and flow rate of various gases	
p-a-Si layer	
gas ratio	gas flow rate
$\text{SiH}_4 / \text{H}_2 = 10\%$	40 Sccm
$\text{CH}_4 / \text{H}_2 = 10\%$	60 Sccm
B_2H_6 500 ppm in H_2	10 Sccm
i-a-Si layer	
gas ratio	gas flow rate
$\text{SiH}_4 / \text{H}_2 = 10\%$	20 Sccm
n- μ c-Si layer	
gas ratio	gas flow rate
$\text{SiH}_4 / \text{H}_2 = 10\%$	20 Sccm
PH_3 500 ppm in H_2	20 Sccm
H_2 100%	100 Sccm

2) โครงสร้างแบบต่าง ๆ ของเซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ a-Si ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งมีเซลล์ 2 โครงสร้างตามที่แสดงใน Figures 3 และ 4 โดยที่โครงสร้างแรกประกอบด้วยเซลล์ 3 ตัว คือ เซลล์ #T-130, #T-133, และ #142 ซึ่งมีโครงสร้างเป็น แก้ว/ITO/SnO₂//p-a-SiC/i-a-Si/n- μ c-Si//Al (Figure 3) ส่วน

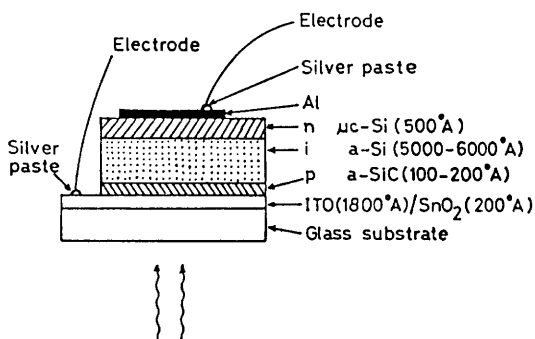


Figure 3 Structure of a-Si solar cells # T-130, T-133 and T-142

โครงสร้างที่สองมีเซลล์ตัวเดียวคือ #T-131 ซึ่งมีโครงสร้างเป็น แก้ว/ITO/SnO₂//p-a-SiC/p- μ c-SiC/i-a-Si/n- μ c-Si//Al (Figure 4) ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความหนา และช่องว่างพลังงานของฟิล์มชั้นต่าง ๆ ของเซลล์ทั้ง 4 ตัว แสดงไว้ใน Table 2 และเงื่อนไขในการปลูกฟิล์มชั้นต่าง ๆ ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ (1)

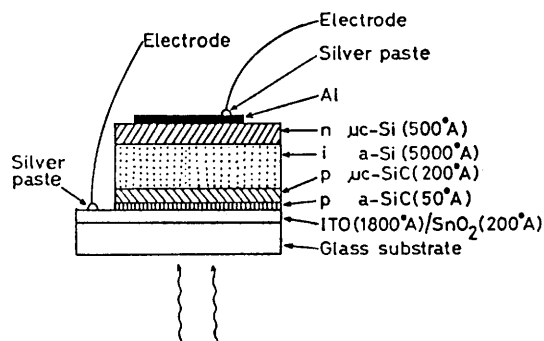


Figure 4 Structure of a-Si solar cell # T-131

Table 2 Evaluated film thickness and energy gap of p-, i- and n-layers for 4 a-Si solar cells studied here

Cell no.	parameter	p-a-SiC	p- μ c-SiC	i-a-Si	n- μ c-Si
T-130	thickness	200	—	5000	500
T-133	($^{\circ}$ Å)	100	—	5000	500
T-142		100	—	6000	500
T-131		50	200	5000	500
T-130	energy gap	1.94	—	1.83	2.03
T-133	(eV)	1.94	—	1.83	2.03
T-142		1.94	—	1.83	2.03
T-131		1.94	2.04	1.83	2.03

Figure 5 แสดงรูปถ่ายจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ a-Si ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 4 เซลล์ ซึ่งเซลล์เหล่านี้มีพื้นที่เซลล์ตัวละ 0.033 ซม.^2 (จุดกลม ๆ แต่ละจุดในภาพแทนเซลล์ 1 ตัว) ส่วน Figure 6 แสดงภาพถ่ายจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ

มาตรฐาน (standard cell) รอยต่อพี-เอ็นที่ผลิตจากซิลิกอนผลึกเดี่ยว (c-Si) ซึ่งใช้ทดลองวัดผลตอบสนองทางสเปกตรัมเพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของเซลล์ a-Si

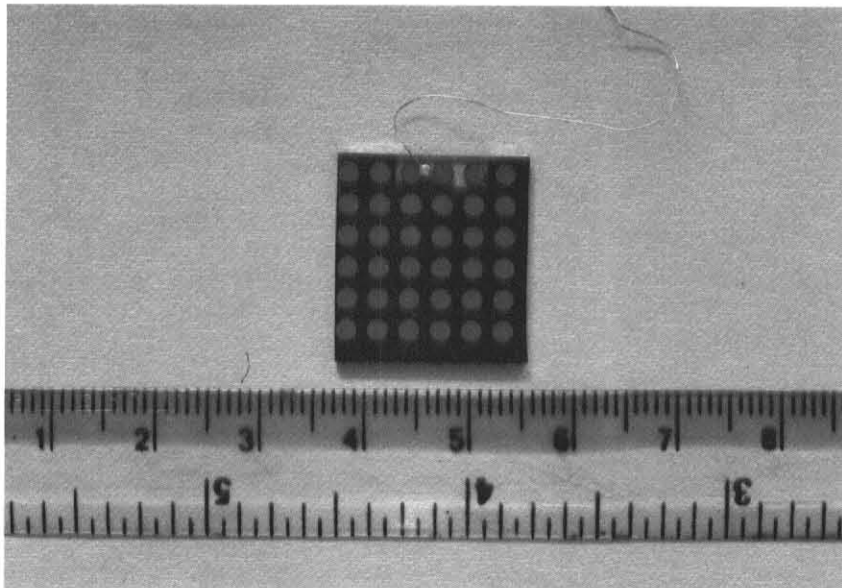


Figure 5 Photo of a-Si solar cell used in this study

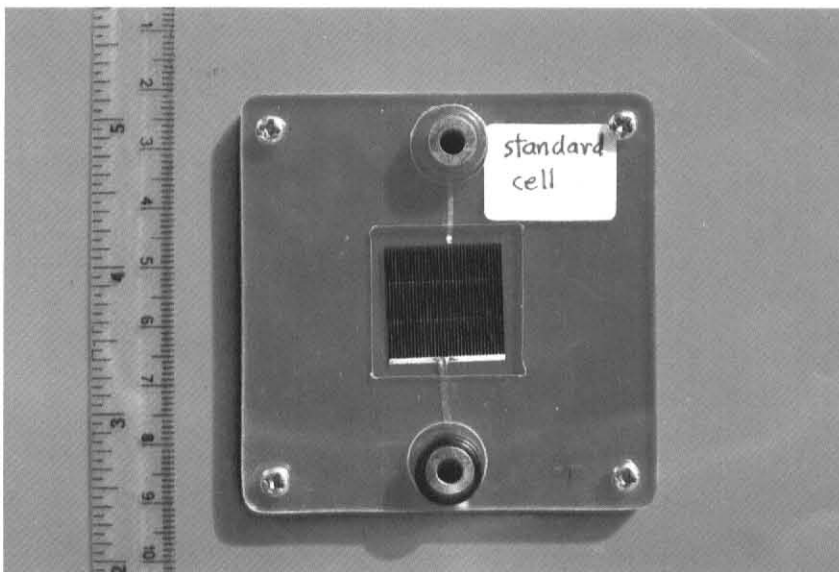


Figure 6 Photo of standard p-n junction solar cell fabricated from single crystalline silicon

3) ระบบการวัด

ระบบการวัดที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงใน Figure 7 ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไส้ทั้งสแตนขนาด 100 วัตต์ จากนั้นให้แสงผ่านเลนส์นูน และช็อบเปอร์เพื่อทำการรวมแสง และตัดแสงให้มีความถี่ตามความถี่ของช็อบเปอร์ (ในที่นี้ใช้ 22 เฮิร์ตซ์) ผ่านเข้ามายังสลิตขาเข้าของตัวเกรตติงโมโนโครมาเตอร์ (ของบริษัท Technolo) เพื่อผลในการเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการวัด ได้ทำการต่อหน่วยขับเคลื่อน (ใช้ความเร็วในการสแกน 20 มม.ต่อนาที) เข้ากับเกรตติงโมโนโครมาเตอร์ด้วย โดยช่วงความยาวคลื่นที่ใช้วัดอยู่ในย่าน 0.40–1.15 ไมครอน แสงที่ออกจากสลิตขาออกของตัวเกรตติงโมโนโครมาเตอร์ จะผ่านเลนส์นูนอีกตัวเพื่อรวมแสงให้มีความเข้มสูงขึ้น และลำแสงนี้จะตกลงบนตัวเซลล์ซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน การวัดผลตอบสนองทางสเปกตรัมเกิดจากการวัดกระแสแวลต์จอร์ (I_{sc}) ของเซลล์ที่ได้จากการจับแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน (R) โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานให้เหมาะสม (ในที่นี้ใช้ค่าตั้งแต่ 100 โอห์มจนถึง 10 กิโลโอห์ม) จากนั้นนำค่าแรงดันดังกล่าวป้อนเข้าล็อก-อิน แอม-

พลิฟายเออร์ (EG & G Princeton-Applied Research Model 5105 ความถี่ 5 เฮิร์ตซ์ – 100 กิโลเฮิร์ตซ์) ซึ่งต่อไปยังกระดาษบันทึก x-t ในระบบการวัดนี้เปิดสลิตขาเข้า และขาออกของตัวเกรตติงโมโนโครมาเตอร์ไว้ข้างละ 5 มม. ส่วน Figure 8 เป็นภาพถ่ายจริงของระบบการวัดที่จัดไว้ตามบล็อกไดอะแกรมใน Figure 7

ผลและวิจารณ์

ผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์ a-Si โครงสร้างต่าง ๆ

Figure 9 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์ a-Si 4 ตัว (#T-130, T-133, T-142 และ T-131) ที่ปลูกฟิล์มชั้นต่าง ๆ โดยกรรมวิธี glow discharge plasma CVD จะเห็นว่าเซลล์ #T-142 เป็นเซลล์ที่ให้ผลตอบสนองกว้างที่สุด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่าเซลล์ #T-142 เป็นเซลล์ที่มีความหนาของชั้นไอ (ดูการเปรียบเทียบความหนาของชั้นฟิล์มต่าง ๆ ในเซลล์แต่ละเบอร์จาก Table 2 ประกอบ) มากกว่าเซลล์ตัวอื่น คือประมาณ

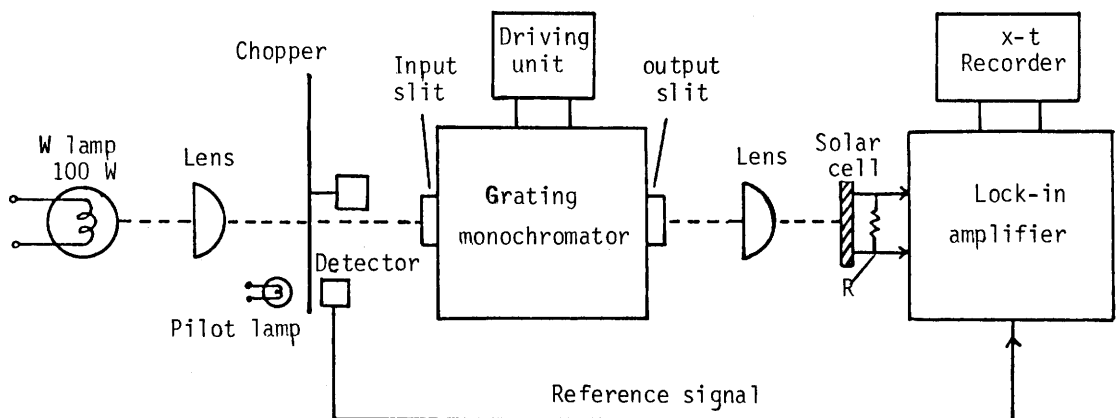


Figure 7 Schematic diagram of experimental arrangement for spectrum response measurement



Figure 8 Photo of experimental arrangement for spectrum response measurement

6000 อังสตรอม การที่ชั้นไอมีความหนาเพิ่มขึ้น โดยปกติสามารถทำให้เกิดกระแสโฟโต (หรือคู่อิเล็กตรอน-โฮล) ได้มากกว่าในชั้นไอที่บาง นอกจากนี้ยังได้มีการคำนวณ (Hamakawa, 1982) ที่แสดงการยืนยันว่าค่า collection efficiency ในตัวเซลล์ขึ้นกับความหนาของชั้นไอ โดยมีค่าความยาวแห่งการแพร่ซึมของโฮล L_p เป็นพารามิเตอร์ จากผลการคำนวณพบว่า เซลล์ที่มีความหนาของชั้นไอมากที่สุดเป็นเซลล์ที่มีค่า collection efficiency สูงสุด ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้

ส่วนเซลล์ตัวที่ให้ผลตอบสนองฯ ดีพอ ๆ กัน คือ เซลล์ #T-130, และ T-131 ซึ่งเห็นได้ว่าเซลล์ทั้ง 2 มีค่าความหนาชั้นฟิล์มต่าง ๆ เหมือนกันเกือบหมด เว้นเสียแต่เซลล์ # T-131 มีชั้นพีเป็น $\mu\text{-SiC}$ ซึ่งเป็นชั้นที่ให้ค่าความนำไฟฟ้าดีกว่าชั้นพี a-SiC แต่จากการวัดผลตอบสนองฯ นี้เราไม่สามารถแยกความแตกต่างของการใช้ชั้น p- $\mu\text{-SiC}$ กับชั้น p-a-SiC

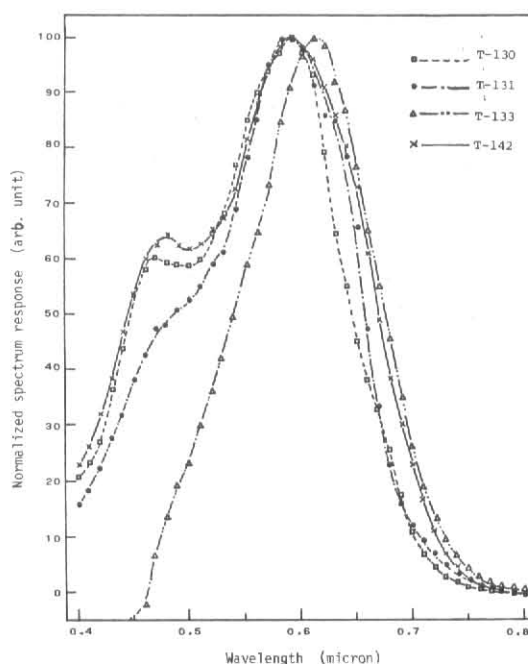


Figure 9 Comparison on spectral response of 4 a-Si solar cells

ได้ชัดเจน ซึ่งชั้นพีของเซลล์ #T-130 และ T-131 มีความหนาพอๆ กันคือ ประมาณ 200 อังสตรอม (พึงสังเกตว่าการปลูกชั้น p-a-SiC หนา 50 อังสตรอมในเซลล์ #T-131 ก็เพื่อทำหน้าที่เป็นชั้น buffer ให้กับชั้น p- μ C-SiC กับขั้วโลหะโปรงแสง ITO/SnO₂ เท่านั้น) อย่างไรก็ตาม จากผลการวัดค่าแรงดันเปิดวงจร V_{oc} ของเซลล์ #T-131 ได้ค่า 0.85 โวลท์ ในขณะที่เซลล์ #T-130 มีค่า V_{oc} = 0.7 โวลท์ เท่านั้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ได้แตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันว่าการทำชั้นพีที่เป็น μ C-SiC นั้น ทำให้ค่า built-in potential ของเซลล์เพิ่มขึ้นจริง ดังได้เคยมีรายงานไว้ (Kruangam, 1988) เนื่องจากชั้นดังกล่าวมีค่าช่องว่างพลังงานสูงกว่าชั้นพี a-SiC นั่นเอง

สำหรับเซลล์ #T-133 เป็นเซลล์ที่ให้ผลตอบสนองทางสเปกตรัมแคบที่สุด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมีผลมาจาก contact ขั้วโลหะที่ชั้น Al ยังไม่ดีพอ (สังเกตได้จากผิวหน้าของเซลล์ที่มีลักษณะขุ่นมัว) ทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากล็อก-อินแอมป์ฯ มีค่าต่ำ และมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูงซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กระแสโฟโตมีค่าต่ำ และจากผลการวัดค่า V_{oc} ก็มีค่าน้อยเช่นกันคือ 0.55 โวลท์

การเปรียบเทียบผลตอบสนองของเซลล์ a-Si และเซลล์มาตรฐาน

จากการวัดผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์มาตรฐานที่ผลิตจาก c-Si และนำมาเปรียบเทียบกับของเซลล์ a-Si ดังแสดงใน Figure 10 ซึ่งเห็นได้ชัดว่า ผลตอบสนองของเซลล์ทั้งสองชนิดอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน กล่าวคือเซลล์ a-Si มีผลตอบสนองที่สูงในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ในขณะที่ของเซลล์ c-Si นั้นมีผลตอบสนองที่สูงในย่านความยาวคลื่นอินฟราเรด และเมื่อเปรียบเทียบผลอันนี้กับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ (Green, 1986) จะเห็นว่าผลตอบสนองของเซลล์ a-Si อยู่ในย่านที่ใกล้กับสเปกตรัมที่มีค่าสูงสุดของแสงอาทิตย์ ซึ่งผลอันนี้เป็นข้อได้เปรียบของเซลล์ a-Si อย่างไรก็ตาม เซลล์ c-Si นั้นมีผลตอบสนองที่กว้างกว่าของเซลล์ a-Si เพียงแต่ผลตอบสนองส่วนใหญ่อยู่ในย่านความยาวคลื่นอินฟราเรด อีกประการหนึ่งเมื่อดูจากกราฟคุณสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์ทั้งสองชนิดที่แสดงใน Figure 11 จะเห็นว่าช่วงแสง ค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) ของเซลล์ a-Si ยังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งผลอันนี้ยังต้องมีการปรับปรุงอีก โดยเราจะเสนอในผลงานวิจัยลำดับต่อไป

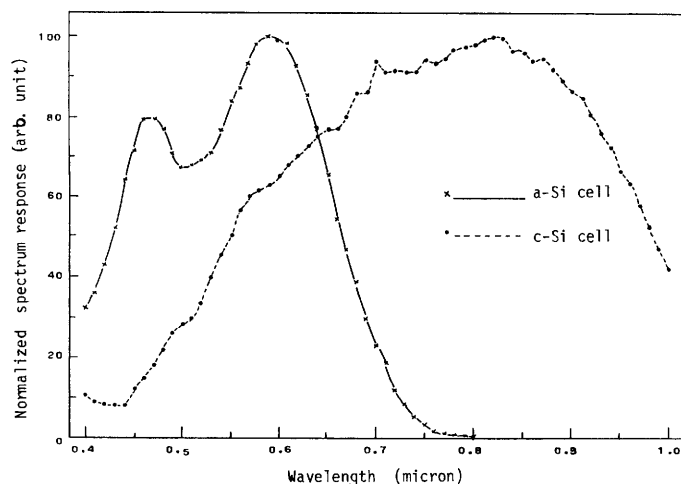


Figure 10 Comparison on spectral response of a-Si solar cell and standard c-Si solar cell

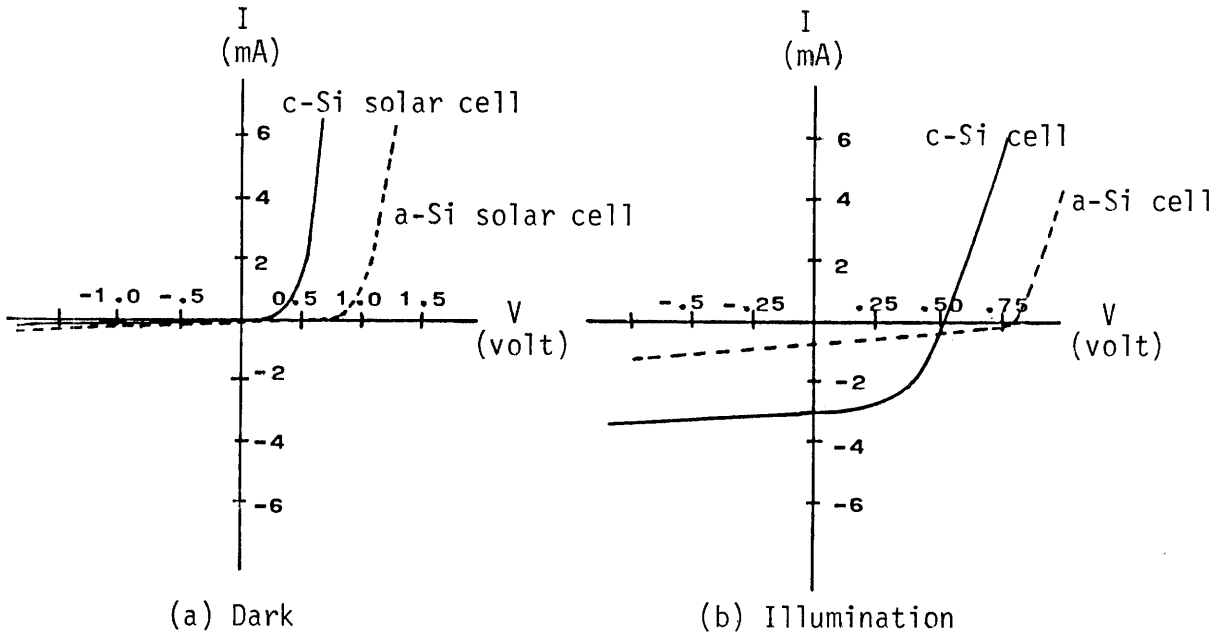


Figure 11 Comparison on I-V characteristics of c-Si solar cell and a-Si solar cell

สรุป

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพอสรุปได้ดังนี้คือ

- (1) เซลล์ a-Si ที่มีความหนาของชั้นไอมาก (6000 อังสตรอม) ให้ผลตอบสนองฯ ที่ดีที่สุด
- (2) ชั้น p- μ SiC ของเซลล์เป็นชั้นที่ช่วยให้ V_{oc} มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นชั้นที่มีช่องว่างพลังงานกว้าง จึงทำให้ built-in potential มีค่ามาก ในที่นี้วัด V_{oc} ของเซลล์ได้ 0.85 โวลท์

(3) ผลตอบสนองทางสเปกตรัมของเซลล์ a-Si ที่วัดทุกตัว อยู่ในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็น ด้วยตาเปล่า (0.4 – 0.75 ไมครอน) และค่าสูงสุดของผลตอบสนองฯ อยู่ที่ความยาวคลื่น ~ 0.6 ไมครอน ซึ่งค่าในช่วงนี้เกือบตรงกับค่าสูงสุดของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ หากแต่ผลตอบสนองฯ ของเซลล์แบบนี้มีช่วงผลตอบสนองฯ ที่แคบกว่าของเซลล์แบบ c-Si

(4) ข้อเสนอแนะในการทำให้เซลล์ a-Si มีผลตอบสนองฯ ที่กว้างขึ้น คือให้ผลตอบสนองฯ ครอบคลุมมาถึงช่วงผลตอบสนองฯ ของเซลล์ c-Si ในย่านอินฟราเรด อาจกระทำได้โดยการทำเซลล์ a-Si เป็นพวก stacked solar cell หรือ tandem cell หรือใช้เป็น heterojunction solar cell ระหว่าง c-Si และ a-Si

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณต่อสถาบันวิจัย และพัฒนาฯ ม.ก. ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบพระคุณต่อห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำงานวิจัย ตลอดจนให้ความสะดวกต่อการยืมเครื่องมือ และขอขอบคุณเป็นพิเศษต่อ Lab. Hamakawa มหาวิทยาลัยโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น ที่กรุณาผลิตเซลล์ a-Si ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรกฎ จิระนภากุล. 2531. ผลทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ของแผ่นฟิล์ม a-Si:O:H ที่ปลูกโดยวิธีสปัตเตอร์. รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 26 สาขาวิศวกรรมศาสตร์. น. 5.1 - 5.8.
- มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว บรรยง โตประเสริฐพงศ์ และยุทธนา กุลวิฑิต 2529. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากโพลีคริสตอลไลน์ซิลิคอน. รายงานวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 42 น.
- Backus, C.E. 1983. Photovoltaic Technology. Proc. International Conference on Non-Conventional Energy Sources, ICTP. Grenoble. p.303.
- Boer, K.W. 1987. State-of-the-art in photovoltaic research and application. Solar & Wind Tech. 4 : 21 - 28.
- Green, M.A. 1986. Solar Cells. Bridge Printery Pty Ltd., Rosebery, New South Wales. 252 p.
- Hamakawa, Y. 1982. Japan Annual Reviews in Electronics, Computer & Telecommunications (JARECT), Amorphous Semiconductor. North Holland-OHM. p.134.
- Jirapapakul, K. 1987. Photoelectric and Transport Properties of a-Si:H Incorporated with O₂ and N₂. Ph.D. Thesis, Osaka Univ., Osaka, Japan.
- Kruangam, D. 1988. Characterization of Amorphous Silicon Carbide and Its Application to thin Film Light Emitting Diode. Ph.D. Thesis, Osaka Univ., Osaka, Japan.
- Panyakeow, S. 1984. Appropriate technology for photovoltaic application in Thailand. Solar & Wind Tech. 1 : 9 - 14.