

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน

บทนำ

ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 แล้วว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีหลักการทำงาน โดยเริ่มจากการรับแสง การดูดกลืนแสงในชั้น i และผลิตพาหะ (photogenerated carrier) ในชั้น i และการดึงพาหะที่เกิดขึ้นให้ไหลออกสู่ภายนอก จากผลของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดรอยต่อโฮโมในบทที่ 4 ได้ประสิทธิภาพประมาณ 4 % การเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นเป็นปัจจัย สำคัญอย่างหนึ่งในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งาน และก็เป็นหัวข้อสำคัญหัวข้อหนึ่งในงานวิจัยนี้ โดยทั่วไปการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ฯ อาจทำได้หลายวิธี อาทิเช่น เพิ่มปริมาณแสงให้เข้าสู่ ชั้น i ได้มากขึ้น เพิ่มคุณภาพของฟิล์มชั้นต่าง ๆ ตลอดจนหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้นต่าง ๆ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการใช้โครงสร้างรอยต่อเฮตเตอโร ซึ่งมีชั้น p a-SiC:H เป็นชั้นหน้าต่างกว้างรับแสงแทน p a-Si:H (14) ซึ่งจะเป็นผลให้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นวิ่งเข้าสู่ชั้น i ได้ดีขึ้น นอกจากนี้ จะรายงานผลการหาค่าความหนาที่เหมาะสม ของชั้น p i และ n ด้วย

หลักการการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยรอยต่อเฮตเตอโรของ p a-SiC:H / i a-Si:H

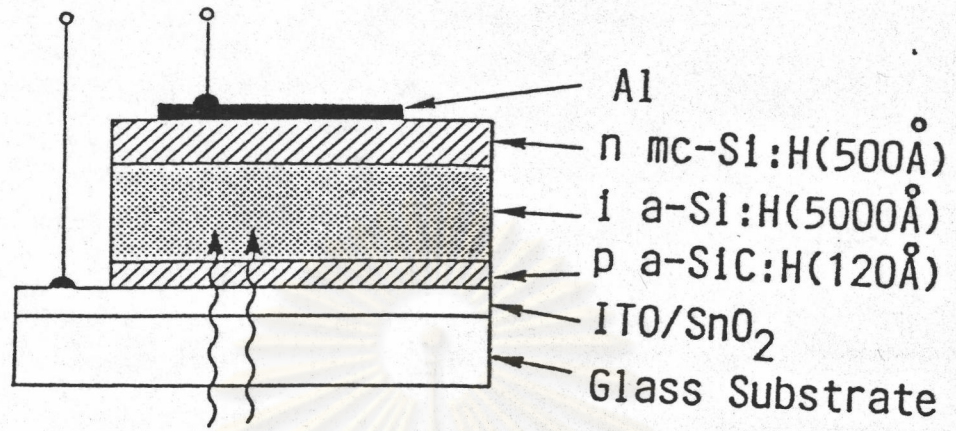
เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอนธรรมดา มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากชั้น p ซึ่ง เราเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "dead layer" ไม่มีการผลิตกระแสเมื่อได้รับแสง เพราะมีค่า ρ ต่ำและมี defect levels อยู่มาก เราจึงไม่ต้องการให้แสงถูกดูดกลืนเสียเปล่าในชั้น p นี้ และถึงแม้เราจะทำให้ชั้น p บางถึง 100 Å ก็ตาม ก็ยังคงมีการดูดกลืนแสงอยู่ แต่ถ้าเราทำให้ ชั้น p บางเกินไปก็จะมีผลเสียคือ

1. ชั้น p จะกลายเป็นชั้นปลอดพาหะและให้ค่า V_{oc} ต่ำ
2. ชั้น p อาจจะไม่ติดในบางบริเวณ ทำให้มีจุดที่ชั้น i ติดกับชั้น i-prime โปร่งแสง ทำให้ V_{oc} ต่ำเช่นกัน

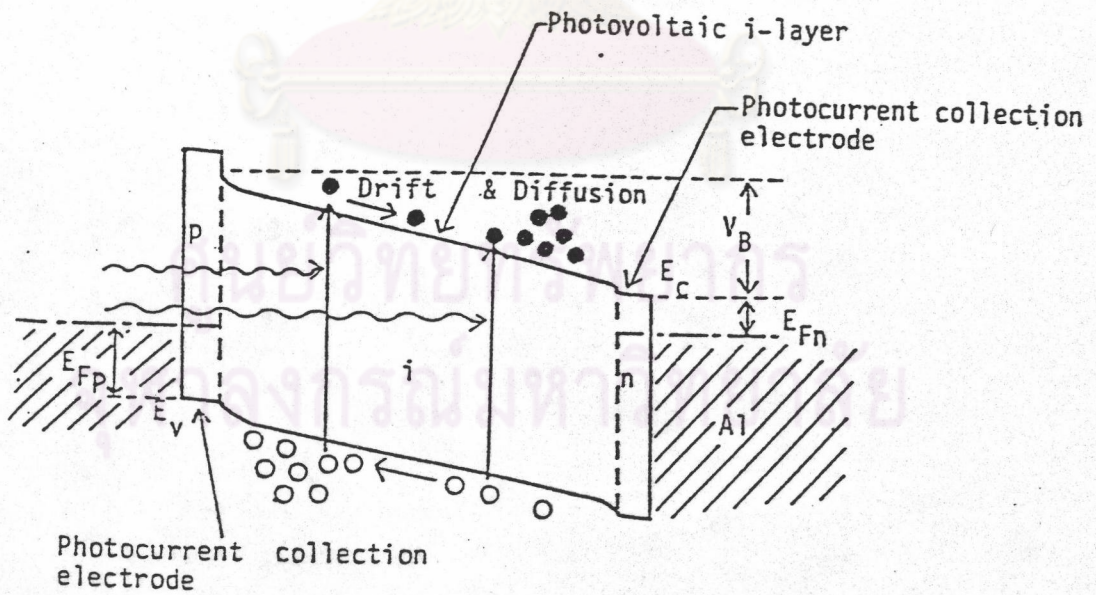
ดังนั้นวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในเซลล์แสงอาทิตย์ คือการทำให้ชั้น p มีความโปร่งแสงมากขึ้น คือมีค่าช่องว่างพลังงานกว้างขึ้น เพื่อให้แสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมผ่านเข้าสู่ชั้น i ได้มากขึ้น

การใช้เอมอร์ฟิซิลิคอนคาร์ไบด์ $a\text{-SiC:H}$ มาทำเป็นชั้นหน้าต่างกว้างชนิด p จะได้เซลล์ ที่มีลักษณะโครงสร้างดังรูป 5.1(15) รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะแบบภูมิแถบพลังงานของเซลล์ จากรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงผลการวัดสเปกตรัมของผลตอบสนองทางแสง (collection efficiency) ของเซลล์ ชนิดรอยต่อโฮโม (homojunction) และ รอยต่อเฮเทอโร (heterojunction) โดย Y. Hamakawa และคณะ (16) ซึ่งให้เห็นว่า การใช้ชั้น p $a\text{-SiC:H}$ มาทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ $a\text{-Si:H}$ ชนิดรอยต่อเฮเทอโรโรนั้น จะทำให้ sensitivity ของผลตอบสนองทางแสงในช่วงคลื่นสั้นมีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเซลล์ ชนิดรอยต่อโฮโมธรรมดา ถึงแม้ $p\text{-}a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ จะเป็น dead layer ก็ตาม เพราะการดูดกลืนแสงที่ลดลงโดยเฉพาะในช่วงคลื่นสั้น เนื่องจากช่องว่างพลังงานที่กว้างขึ้น ทำให้แสงความยาวคลื่นสั้นเข้าไปสู่ชั้น i ได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้การผลิตพาหะเนื่องจากแสงมากขึ้นด้วย จึงคาดว่าจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์ สูงขึ้น โดยทั่วไปจะใช้ $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ ที่มีช่องว่างพลังงาน $\sim 2.0\text{ eV}$ ในการทำเซลล์ ถ้าใช้ $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ ที่มีช่องว่างพลังงานสูงกว่านี้ จะมีความต้านทานสูง ซึ่งเป็นเหตุให้ fill factor ลดลงได้

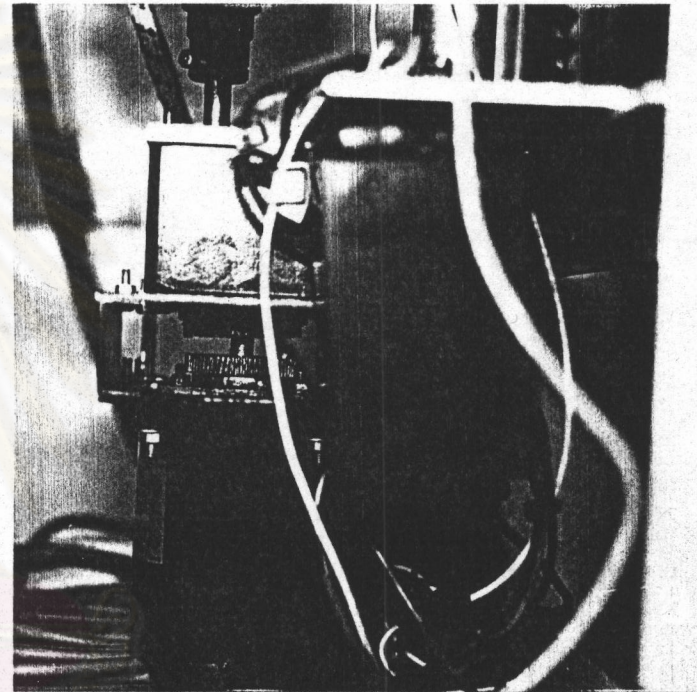
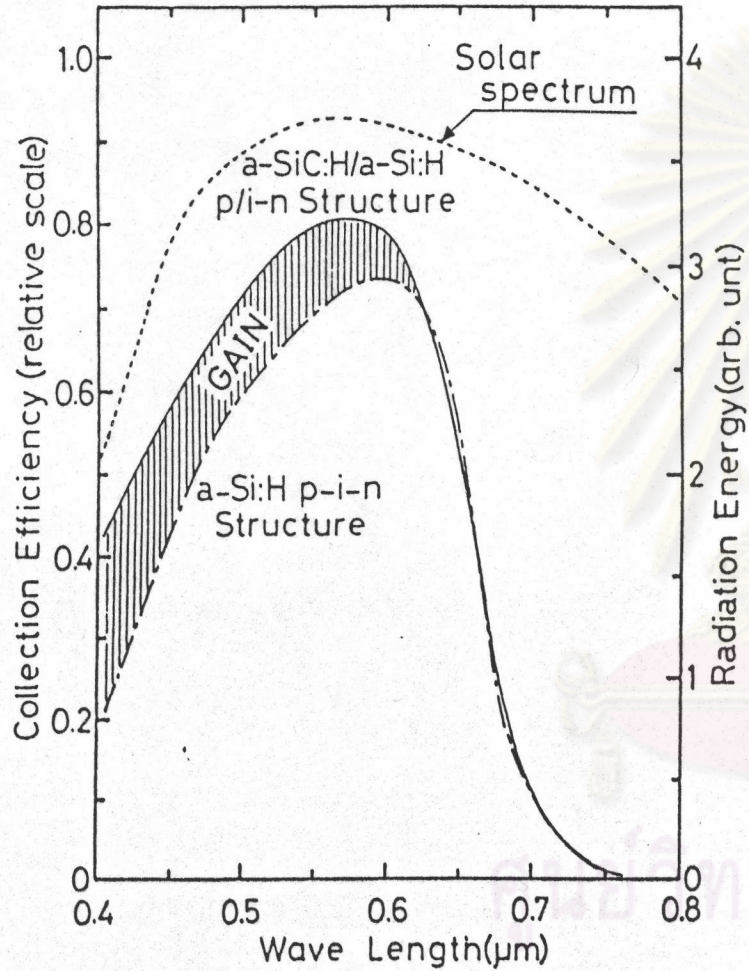
นอกจากนี้ การใช้ $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ อย่างเหมาะสมจะทำให้ V_{oc} และ FF มีค่าสูงขึ้นด้วย การที่ V_{oc} มีค่าสูงขึ้นก็เพราะ V_b (built-in potential) สูงขึ้น ถ้าดูจากรูป 5.2 จะเห็นว่าอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดกลับไปชั้น p จะน้อยลง และสนามไฟฟ้าในชั้น i ก็เพิ่มขึ้น การที่ค่า fill factor ของเซลล์ ที่ใช้ $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ ดีขึ้น เนื่องจากเหตุผล 2 ประการคือ



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของเซลล์ฯ ชนิดรอยต่อเฮตเตอร์ (heterojunction)



รูปที่ 5.2 แผนภูมิแถบพลังงานของเซลล์ฯ ชนิดรอยต่อเฮตเตอร์



รูปที่ 5.4 เกียร์ทดขนาด 6:1 ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์หมุนแทนวางแผ่นฐาน

รูปที่ 5.3 สเปกตรัมผลตอบสนอง (collection efficiency) ของ เซลล์ a-Si:H ชนิดรอยต่อโฮม และชนิดรอยต่อเฮตเตอโร จาก Y.Hamakawa (16)

1. การลดลงของ photocurrent เมื่อไบแอสตามมีน้อย เพราะ collection efficiency ในช่วงแสงคลื่นสั้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่องว่างพลังงานที่กว้างขึ้น และ โฟตอนในย่านคลื่นสั้นจะถูกดูดกลืนทันทีที่ในบริเวณใกล้ ๆ รอยต่อ p-i

2. เนื่องจากช่องว่างพลังงานของชั้น p มีขนาดโต ในขณะที่ไบแอสตาม กำแพงศักย์จะกั้นไม่ให้อิเล็กตรอนไหลเข้าสู่ชั้น p และสูญเสียไปกับการ recombine แต่จะพลิกอิเล็กตรอนกลับเข้าสู่ชั้น i และไหลออกสู่ภายนอก

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อเฮเทอโรที่ใช้ p a-SiC:H เป็นชั้นหน้าต่างกว้างรับแสง

ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si:H ไม่ว่าจะป็นชนิดรอยต่อโฮโมหรือชนิดรอยต่อเฮเทอโรก็ตาม ถ้าจะให้ได้ประสิทธิภาพของเซลล์ฯ ที่ดีแล้ว คุณภาพของฟิล์มที่ปลูกจะต้องดีด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต คือ ระบบ glow discharge plasma CVD เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ได้แก่

1. Holder rotation speed ได้ทำการปรับรอบการหมุนต่ำสุดของแท่นวางแผ่นฐาน จาก 18 รอบ/นาที เป็น 3 รอบ/นาที โดยการใช้ gear 6:1 ทดรอบมอเตอร์ที่หมุนแท่นให้ช้าลง ดังในรูปที่ 5.4 สาเหตุที่ต้องลดความเร็วของการหมุนให้ช้าลงเพราะ ที่ 18 รอบ/นาที แท่นวางจะหมุนเร็วเกินไปทำให้การไหลของก๊าซถูกรบกวน plasma ที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยมีเสถียรภาพทำให้ฟิล์มที่ได้มีคุณภาพไม่ค่อยดี

2. ความดันภายในครอบแก้ว (chamber) ได้ทำการเปลี่ยนปั๊มโรตารี ที่ใช้ดูดให้ เกิดสุญญากาศภายในครอบแก้ว ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น มีอัตราการดูดเร็วขึ้นทำให้สามารถลดความดันภายในครอบแก้วลงใกล้ 1 Torr ซึ่งความดันที่ต่ำลงทำให้เกิดการ deposit ได้ดีและเร็วขึ้น

นอกจากนี้ยังได้ทดลองเปลี่ยนเงื่อนไขในการผลิต คือ อุณหภูมิของแผ่นฐานขณะปลูกฟิล์ม ให้ลดลงเล็กน้อยจาก 200 °C เป็น 190 °C การลดอุณหภูมิลงนี้ก็เพื่อลดการ reduce SnO₂ เป็น Sn โดย plasma ซึ่งทำให้ขั้วโปร่งแสงขุ่นลง และช่วยลดการแพร่ของ

reduced Sn เข้าสู่รอยต่อบริเวณ SnO_2 และชั้น p (17)

เมื่อใช้เงื่อนไขใหม่รวมทั้งระบบ glow discharge CVD ที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ทำเซลล์ฯ พบว่าได้เซลล์ฯ ที่มีสมรรถนะดีขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการผลิตเซลล์ฯ ก่อน(No.1)และหลัง(No.2)การปรับปรุงเครื่องมือ

No.	ชั้น	เงื่อนไขในการผลิต			ความหนา Å	ลักษณะสมบัติเอาก์พท			
		T_s °C	Press. Torr	Rot. rpm		J_{sc} mA/cm ²	V_{oc} V	ff %	η %
1	p a-SiC:H	200	2.5	18	220	11.4	.83	54.6	5.15
	i a-Si:H		1.0		5000				
	n μ C-Si		2.7		500				
2	p a-SiC:H	190	1.8	3	220	11.48	.84	56.7	5.43
	i a-Si:H		1.0		5000				
	n μ C-Si		1.9		500				

*Rot. = holder rotation speed

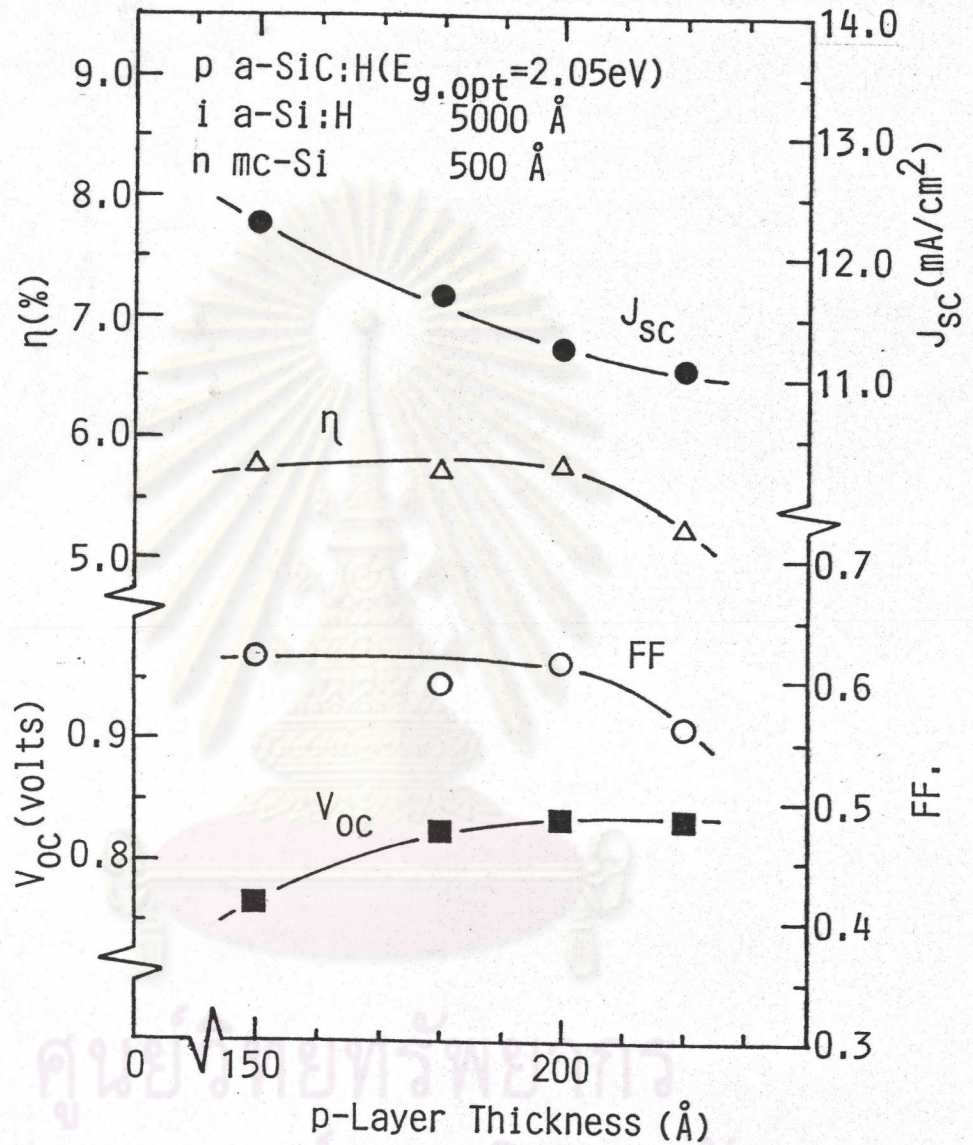
ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์ฯ คือความหนาที่เหมาะสมของชั้น p-, i-, และ n- ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น p a-SiC:H, ชั้น i a-Si:H, และชั้น n μ C-Si ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อเฮตเตอร์ซึ่งมีชั้น p a-SiC:H เป็นชั้นหน้าต่างกว้างรับแสง ในการทดลองเรากำหนดให้ ชั้น p a-SiC:H มีอัตราส่วนของ flow rate ของ $\text{SiH}_4:\text{CH}_4$ เป็น 3:7 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าช่องว่างพลังงาน $E_g = 2.0$ eV

และใช้อัตราการโตป $B_2H_6/CH_4+SiH_4 = 0.6 \%$, ชั้น n เป็น $\mu C-Si$ ซึ่งมีอัตราการใช้ $PH_4/SiH_4 = 2.67 \%$ และใช้ระบบ glow discharge plasma CVD ที่ปรับปรุงใหม่

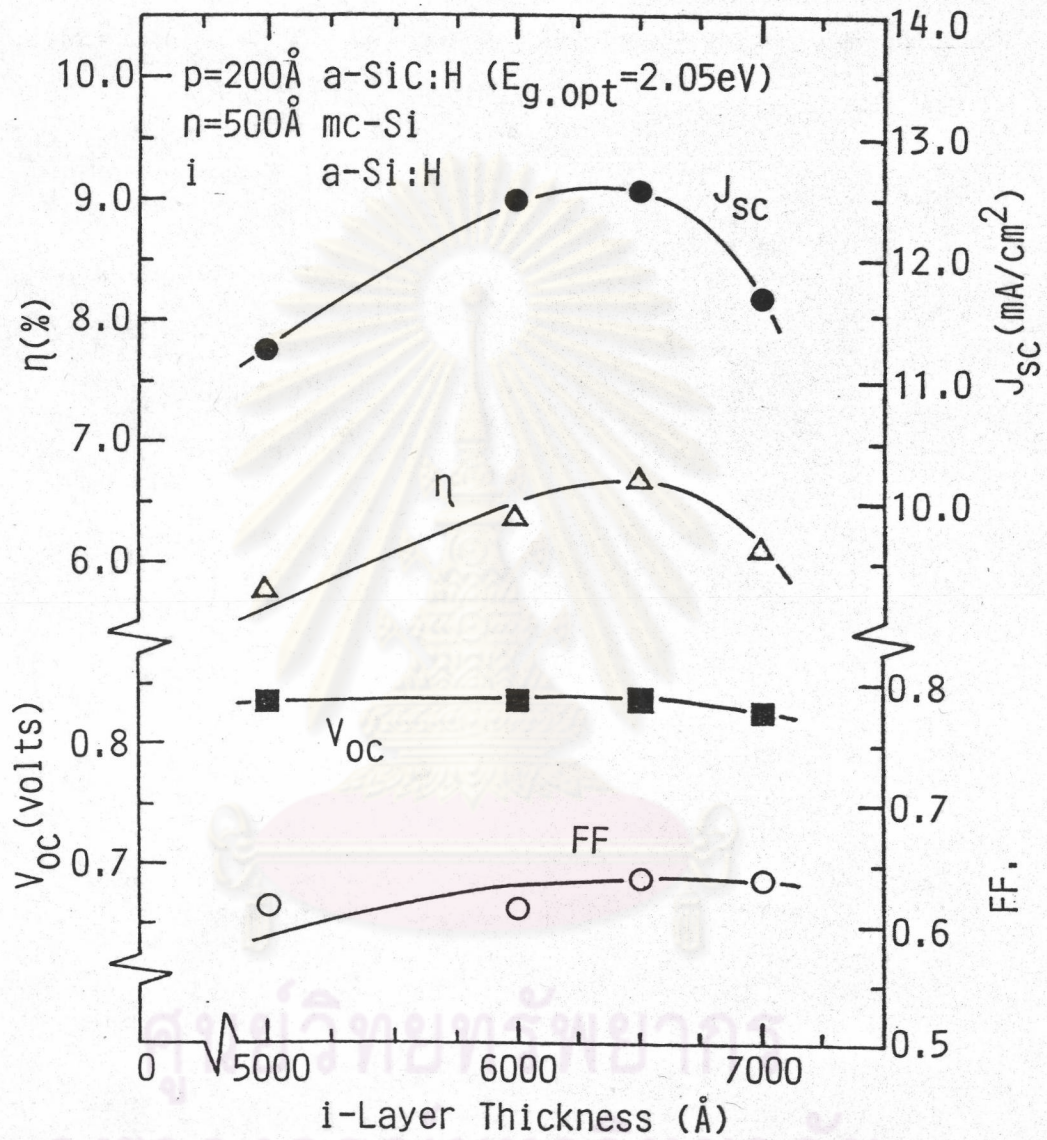
ในรูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น p a-SiC:H กับลักษณะสมบัติเอาก์พทของเซลล์ฯ โดยที่ความหนาของชั้น i a-Si:H และ n $\mu C-Si$ คงที่เท่ากับ 5000 \AA และ 500 \AA ตามลำดับ จากกราฟ กระแส J_{sc} และ FF มีค่าลดลงเมื่อชั้น p หนาขึ้น เป็นเพราะค่าความต้านทานอนุกรมมากขึ้น และชั้น p ที่หนาขึ้นจะกันแสงที่เข้าสู่ชั้น i ให้น้อยลง ส่วนค่า V_{oc} จะลดลงเมื่อชั้น p บางลง เนื่องจากชั้น p กลายเป็น depletion layer (ชั้นปลอดพาหะ) ทำให้ไม่สามารถสร้าง built-in-potential ได้สูงเพียงพอ และอาจมีบริเวณที่ชั้น p ไม่ติดเลยก็ได้ เพราะฉะนั้น ค่าความหนาของชั้น p ที่เหมาะสมในการทดลองนี้คือ 200 \AA ซึ่งให้ค่า V_{oc} และประสิทธิภาพสูงสุด

รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น i a-Si:H กับลักษณะสมบัติเอาก์พทของเซลล์ฯ โดยให้ความหนาของชั้น p a-SiC:H และ n $\mu C-Si$ คงที่เท่ากับ 200 \AA และ 500 \AA ตามลำดับ จากกราฟ กระแส J_{sc} จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้น i มากขึ้น เพราะว่าชั้น i ทำหน้าที่ผลิตพาหะจากแสง แต่เมื่อชั้น i หนาเกินไป J_{sc} จะลดลง เนื่องจากสนามไฟฟ้าในชั้น i น้อยลงจนไม่สามารถกวาดเอาพาหะที่เกิดชั้นออกมาสู่ภายนอกได้หมด ผลที่ตามมาคือ FF และ V_{oc} จะเริ่มลดลง ดังนั้น ค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น i คือ 6500 \AA ซึ่งให้ค่า V_{oc} , J_{sc} , และประสิทธิภาพสูงสุด

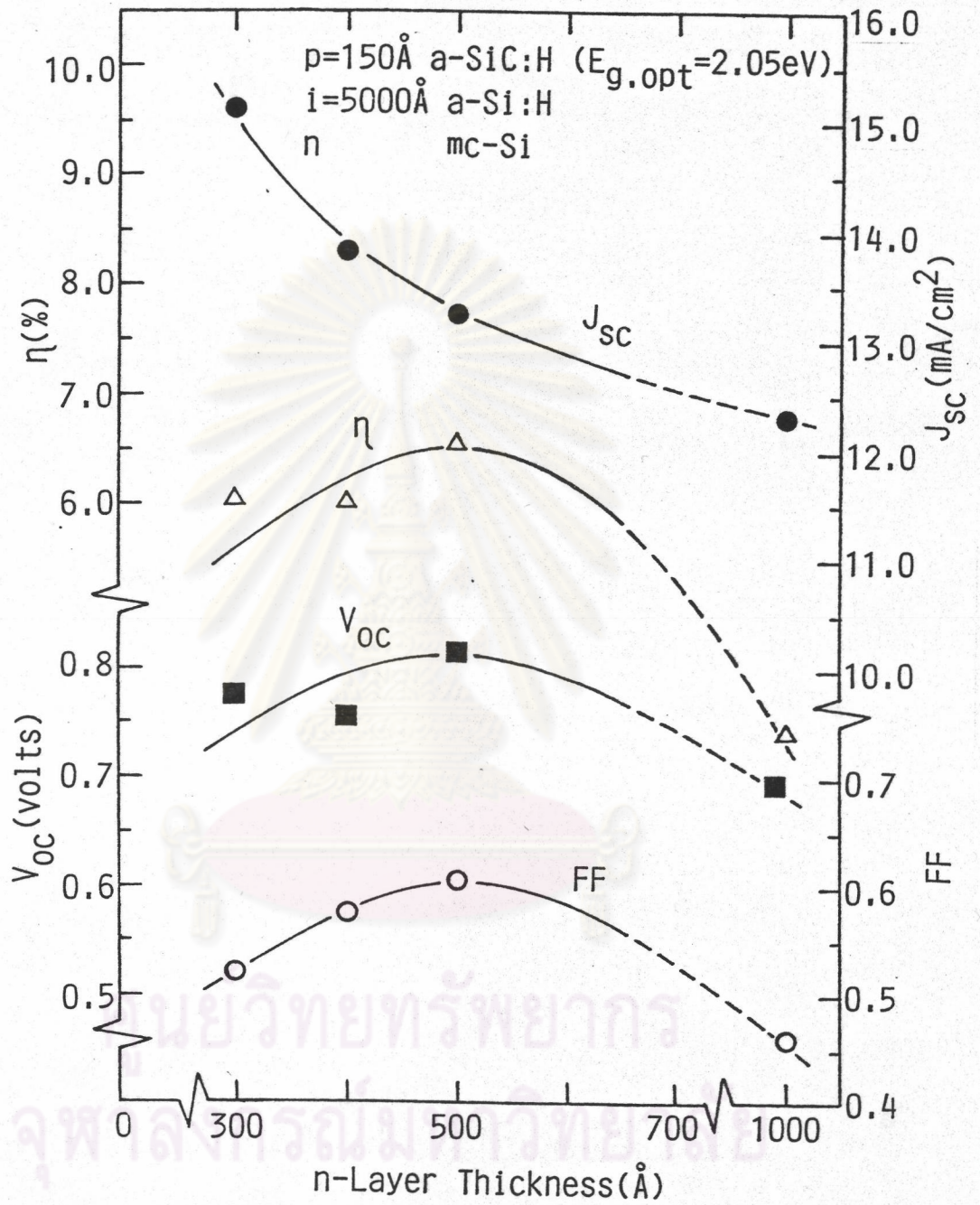
สำหรับผลการทดลองการหาความหนาที่เหมาะสมของชั้น n อยู่ในรูปที่ 5.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น n $\mu C-Si$ กับลักษณะสมบัติเอาก์พทของเซลล์ฯ โดยที่ความหนาของชั้น p a-SiC และ i a-Si:H คงที่เท่ากับ 150 \AA และ 5000 \AA ตามลำดับ จากกราฟ ค่ากระแส J_{sc} จะลดลงเมื่อชั้น n หนาขึ้น เนื่องจากเมื่อชั้น n หนาขึ้น จะทำให้แสงที่สะท้อนจากขั้วโลหะเข้ามาสู่เซลล์ฯ ไม่สามารถทะลุผ่านชั้น n ไปถึงชั้น i ที่ทำหน้าที่ผลิตพาหะได้ และการที่ชั้น n หนาขึ้น ก็ทำให้ค่าความต้านทานอนุกรมมีค่ามากขึ้นด้วย ส่วนค่า V_{oc} และ FF ที่ลดลงก็เป็นผลมาจากความต้านทานในชั้น n ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อชั้น n บางลงค่า V_{oc} และ FF ก็ลดลง เนื่องจากชั้น n บางจนไม่สามารถสร้างสนามไฟฟ้าได้



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติเอากักพุกของเซลล์ฯ กับความหนาของชั้น p a-SiC:H



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติเอาต์พุทของเซลล์ฯ กับความหนาของชั้น i a-Si:H



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติเอากักพุดของเซลล์ฯ กับความหนาของชั้น n $\mu\text{C-Si}$

สูงพอ ดังนั้นค่าความหนาของชั้น n ที่เหมาะสมคือ 500 \AA ซึ่งจะทำให้ได้ V_{oc} , FF และ ประสิทธิภาพของเซลล์ฯ สูงที่สุด

จากการปรับปรุงระบบ glow discharge และการหาเงื่อนไขของความหนาที่เหมาะสมของชั้นต่างๆ เราได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ที่ใช้ชั้น p a-SiC:H เป็นชั้นหน้าต่างกว้างรับแสง ที่มีลักษณะสมบัติเอาท์พุทที่ดีที่สุดดังนี้

$$J_{sc} = 12.55 \text{ mA/cm}^2$$

$$V_{oc} = 0.84 \text{ V}$$

$$FF = 63.67 \%$$

$$\eta = 6.67 \%$$

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H 3 ตัว โดยตัวแรกคือเซลล์ฯ ชนิดรอยต่อโฮโม (Homojunction) ซึ่งผลิตขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (7) ตัวที่สองคือเซลล์ฯ ชนิดรอยต่อเฮเทอโร (Heterojunction) ที่ผลิตขึ้น ก่อนการปรับปรุงระบบ glow discharge plasma CVD และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของชั้นต่างๆ (14) ตัวที่สามคือเซลล์ฯ ชนิดรอยต่อเฮเทอโรที่ผลิตขึ้นหลังการปรับปรุงระบบ glow discharge plasma CVD และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของความหนาชั้นต่าง ๆ แล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

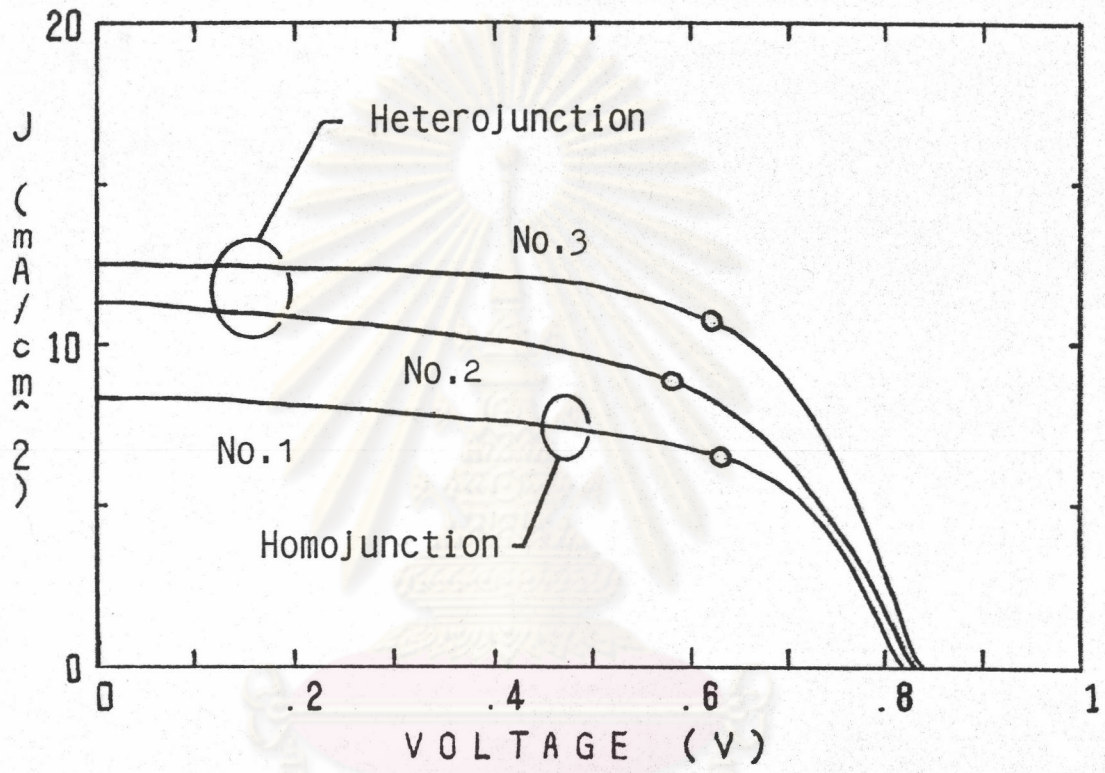
ตารางที่ 5.2 ผลการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H

No.	ชั้น	เงื่อนไขในการผลิต			ความหนา	ลักษณะสมบัติเอาก์พุท			
		T_s °C	RF W	Rot* rpm		\AA	J_{sc} mA/cm ²	V_{oc} V	ff %
1	p a-Si:H	200	40	18	120	8.5	.82	59.8	4.12
	i a-Si:H		40		5000				
	n μ C-Si		148		500				
2	p a-SiC:H	200	40	18	220	11.4	.83	54.6	5.15
	i a-Si:H		40		5000				
	n μ C-Si		148		500				
3	p a-SiC:H	190	40	3	200	12.55	.84	63.7	6.67
	i a-Si:H		40		6500				
	n μ C-Si		148		500				

* Rot = holder rotation speed

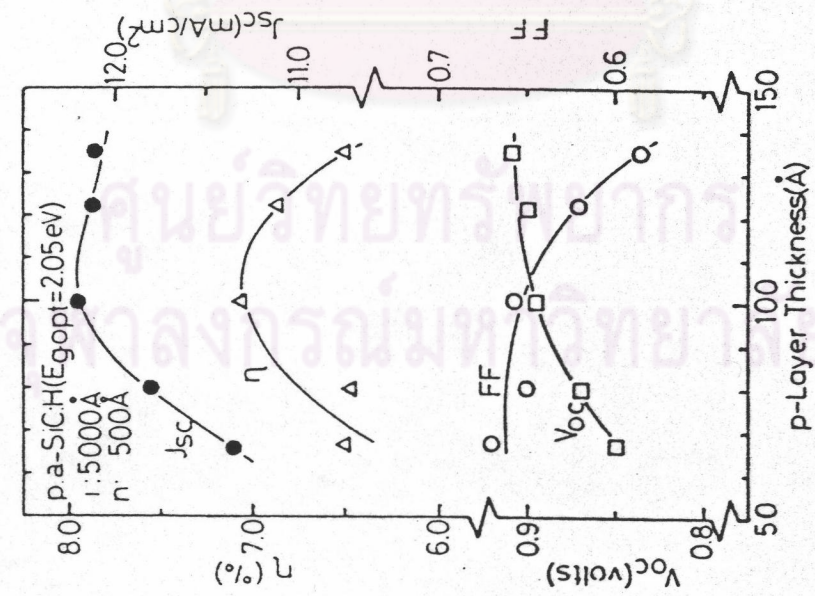
รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะสมบัติเอาก์พุทของเซลล์ฯ ทั้ง 3 ตัวเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าหลังทำการปรับปรุงระบบ glow discharge CVD และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของชั้นต่าง ๆ แล้ว เซลล์ฯ จะมีสมรรถนะสูงขึ้น คือ ทั้ง J_{sc} , V_{oc} , FF และประสิทธิภาพได้เพิ่มขึ้น

รูปที่ 5.9 และ 5.10 แสดงตัวอย่างผลการทดลอง การหาเงื่อนไขความหนาที่เหมาะสมของชั้น p a-SiC:H ของ Y.Hamakawa(12) และชั้น i a-Si:H ของเซลล์แสง



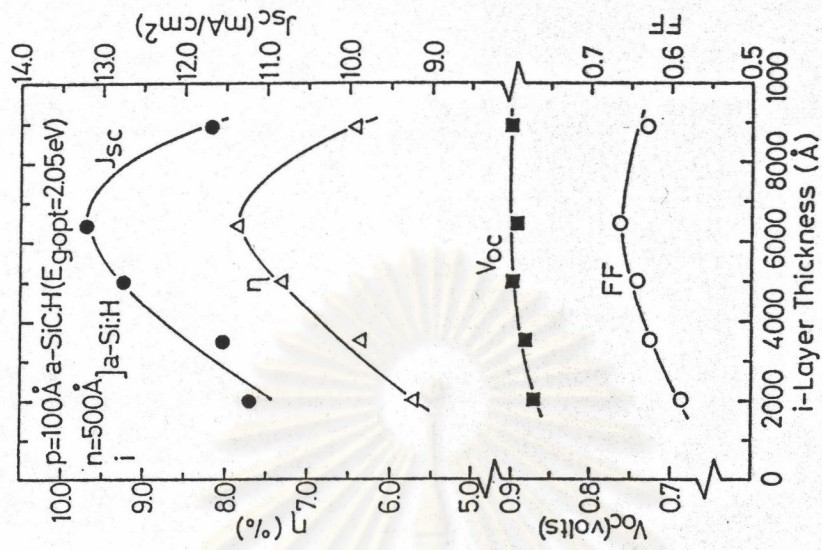
รูปที่ 5.8 ลักษณะสมบัติไอทีพทของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รุ่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างการ optimize ค่าความหนาของชั้น p a-SiC:H ของ

Y. Hamakawa.(12)



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างการ optimize ค่าความหนาของชั้น i a-Si:H ของ

Y. Tawada.(17)

อาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อเฮตเตอโรของ Tawada (17) จากรูป เมื่อเปรียบเทียบกับผลในงานวิจัยนี้แล้ว สาเหตุที่ประสิทธิภาพเซลล์ฯ ในงานวิจัยนี้ยังต่ำกว่า อาจเป็นเพราะการโด๊ปชั้น p a-SiC:H ยังไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากก๊าซ B_2H_6 ที่ใช้นั้นมีการเสื่อมคุณภาพลงไปเมื่อใช้ไประยะหนึ่ง การเพิ่มปริมาณ B_2H_6 มากกว่านี้จะทำให้ฟิล์ม p a-SiC:H มีคุณภาพเลวลง

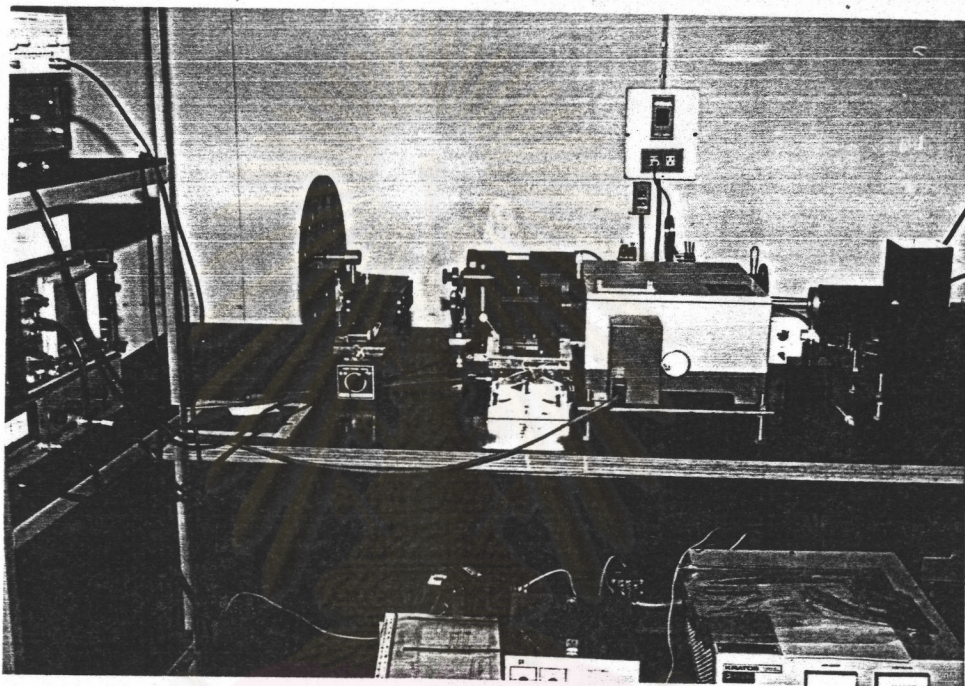
การวิเคราะห์เหตุผลของการเพิ่มของประสิทธิภาพด้วยรอยต่อเฮตเตอโร p a-SiC:H/i a-Si:H

จากการใช้ p a-SiC:H เป็นหน้าต่างกว้างรับแสงแทน p a-Si:H ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ฯ เพิ่มขึ้นจาก 4.12 % เป็น 6.67 % จากกราฟลักษณะสมบัติเอกซ์โพสิทีฟที่พบว่ามีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นนี้สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจร J_{sc} และแรงดันเปิดวงจร V_{oc} เป็นหลัก การวิเคราะห์ต่อไปถึงสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของ J_{sc} และ V_{oc} เป็นสิ่งที่น่าสนใจในงานวิจัย เนื่องจากหลักการในการออกแบบให้เซลล์ฯ มีรอยต่อเฮตเตอโรนั้นเพื่อต้องการให้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นวิ่งเข้าสู่ชั้น i ได้ดีขึ้น ดังนั้น การตรวจวัดสเปกตรัมผลตอบสนองทางแสงของเซลล์ฯ จึงเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ สำหรับการเพิ่มขึ้นของ V_{oc} นั้น น่าจะมีสิ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in potential) โดยตรง ดังมีจะรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สเปกตรัมผลตอบสนองทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ a-Si:H

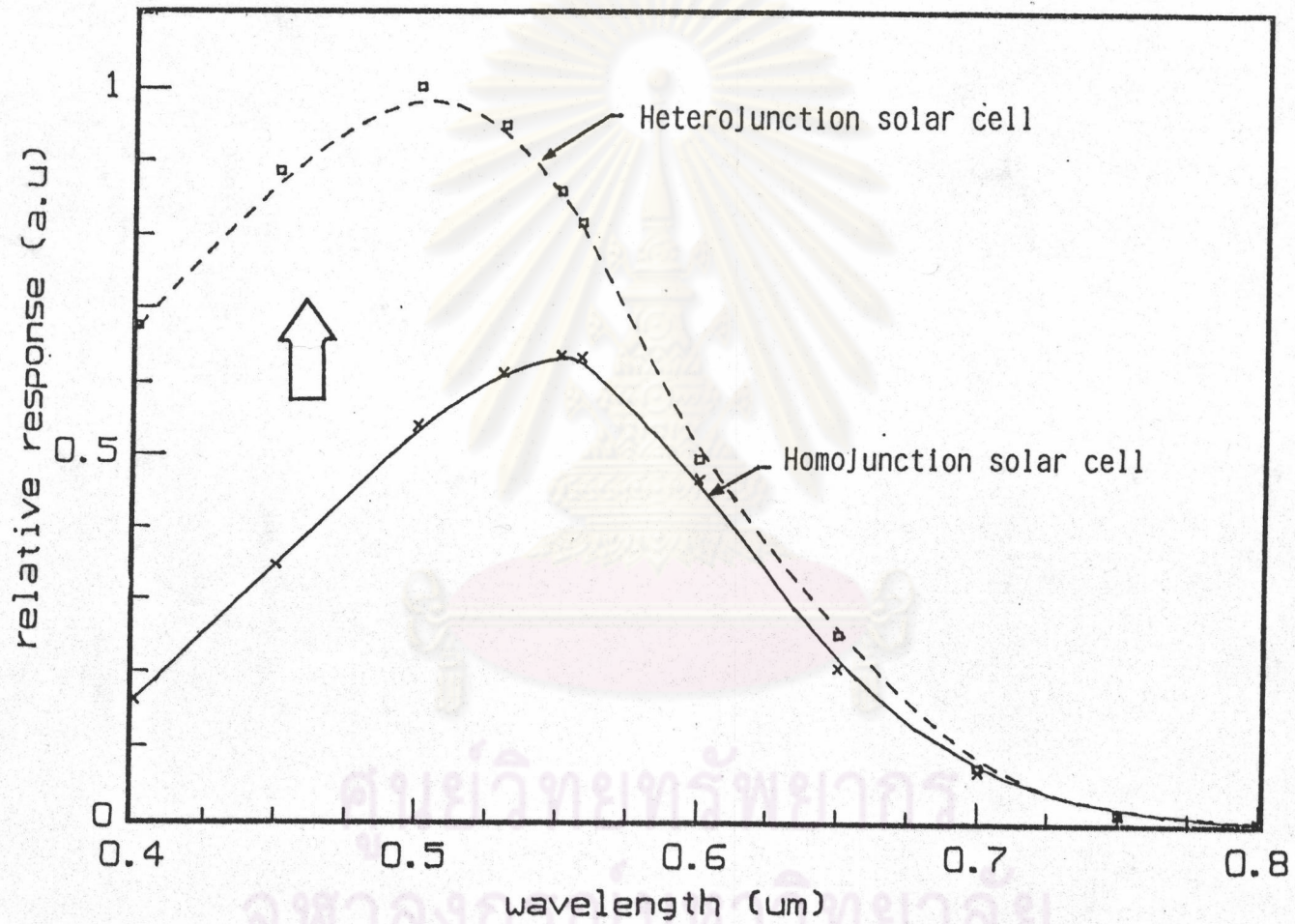
เพื่อเป็นการตรวจสอบว่า การใช้ p a-SiC:H เป็นหน้าต่างแทน p a-Si:H แล้วทำให้ผลตอบสนองทางแสงด้านความยาวคลื่นสั้นดีขึ้นจริง จึงได้ทำการวัดสเปกตรัมผลตอบสนองทางแสงของเซลล์ฯ ทั้ง 2 ชนิด เปรียบเทียบกัน

รูปที่ 5.11 แสดงภาพถ่ายระบบการวัด โดยใช้เทคนิคของ lock-in amplifier และใช้ optical light chopper เป็นตัวป้อนสัญญาณ reference เข้าสู่ lock-in amplifier ใช้ Tungsten lamp เป็น light source (6A, DC 20 V)



รูปที่ 5.11 ระบบการวัดสเปกตรัมผลตอบสนองทางแสง
(collection efficiency) ของเซลล์แสงอาทิตย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 ผลการวัดสเปกตรัมผลตอบสนองทางแสง(collection efficiency) ของเซลล์ฯ ชนิดรอยต่อโสมัม และชนิดรอยต่อเฮตเตอร์

รูปที่ 5.12 แสดงผลการวัดสเปกตรัมของกระแสไฟฟ้า J_{sc} เอาท์พุทของ เซลล์ชนิดรอยต่อโฮโม และชนิดรอยต่อเฮเทอโร จากรูปจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองทางแสงในช่วงคลื่นสั้นของเซลล์ ที่มี p a-SiC:H เป็นหน้ากว้าง ดีกว่าเซลล์ ที่มี p a-Si:H เป็นหน้ากว้าง ทั้งนี้เพราะว่าช่องว่างพลังงานของ p a-SiC:H (2.0 eV) กว้างกว่าของ p a-Si:H (1.80 eV) จึงทำให้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นผ่านเข้าสู่ชั้น i ได้ดีขึ้น ทำให้ J_{sc} ของเซลล์ ดีขึ้น และประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

2. Built-in Potential ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H

Built-in potential เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่สำคัญในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน เพราะแสดงถึงค่าสนามศักย์ที่จะช่วยขับเคลื่อนให้พาหะไหลออกสู่วงจรภายนอก ถ้า built-in potential มีค่าสูงขึ้น จะทำให้ทั้ง V_{oc} และ J_{sc} มีค่าสูงขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ตามปกติแล้วค่า V_{oc} จะมีค่าน้อยกว่าค่า built-in potential ทั้งนี้เพราะมีการสูญเสีย (loss) ของแรงดันที่บริเวณรอยต่อต่าง ๆ ในเซลล์ ดังนั้นการวัด built-in potential จึงทำให้เราทราบค่าสนามไฟฟ้าที่แท้จริงภายในเซลล์

ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ได้มีการคิดค้นวิธีการวัด Back-Surface-Reflected-Electro-Absorption (BASREA) โดย S. Nonomura(18) โดยใช้วิธีการวัดดังนี้

- ใช้สัญญาณไฟคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ประมาณ 1 KHz, $V_{pp} \approx 2$ V ป้อนเข้าสู่เซลล์ พร้อมกับใช้ DC bias ซ้อนด้วย
- วัดสัญญาณแสงที่สะท้อนออกจากเซลล์ ΔS ซึ่งเป็นแสงสะท้อนที่ถูกการ modulate ด้วยวิธี Electro-Absorption
- ณ ความยาวคลื่นแสงค่าหนึ่ง ๆ แอมพลิจูดของ ΔS จะแปรตรงกับ $V_{pp} * (V_b - V_{dc})$ โดย V_b คือ built-in potential ดังนั้น การ plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔS (แกนตั้ง) และ V_{dc} (แกนนอน) จะได้กราฟเส้นตรง และจุดตัดของกราฟในแกนนอน ก็คือค่า built-in potential

เนื่องจากสัญญาณ ΔS มีค่าน้อยมาก จึงใช้ Lock-in Amplifier ใช้ในการวัดและใช้ความถี่ของสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณ reference

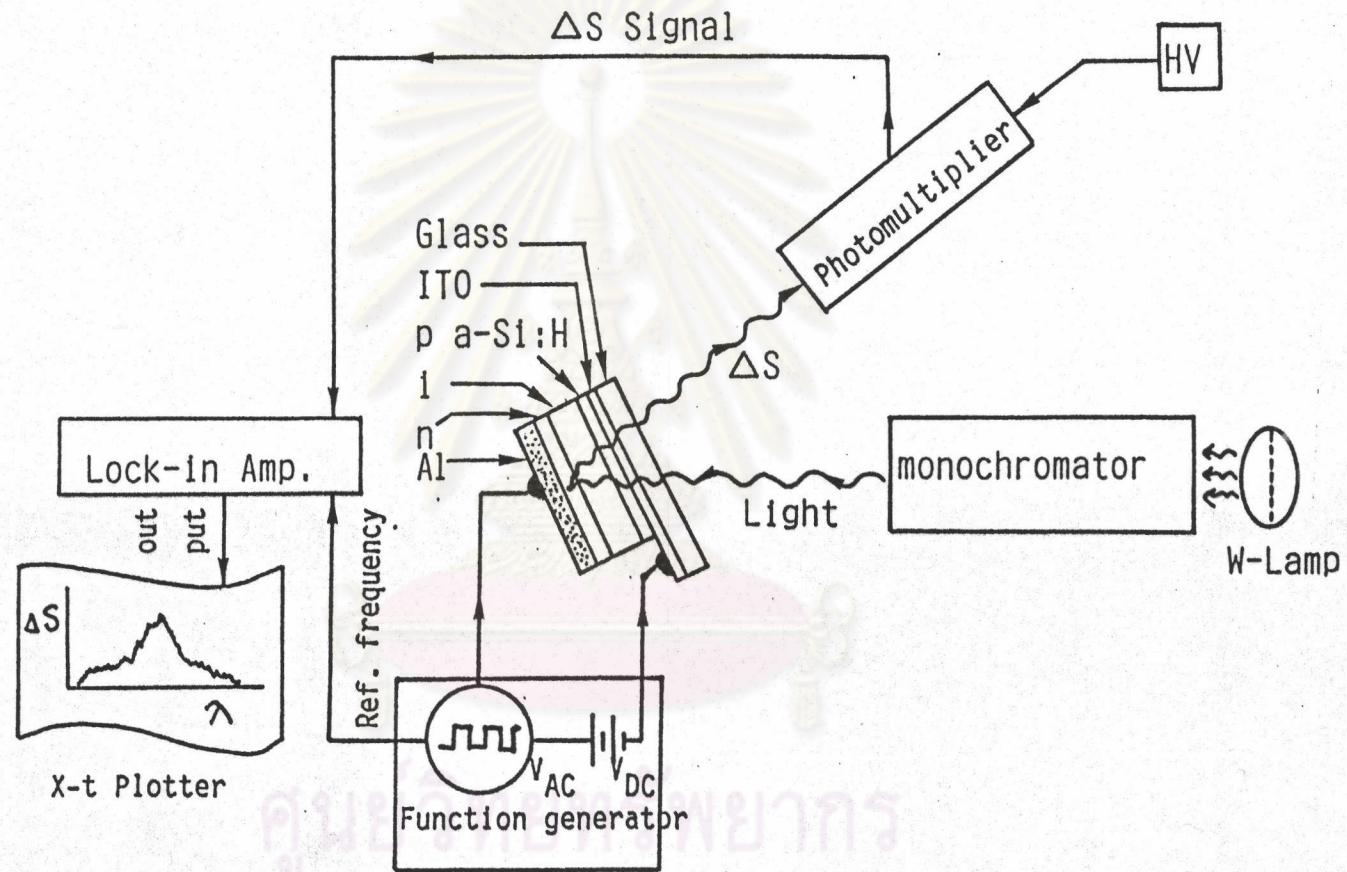
รูปที่ 5.13 แสดงหลักการวัด BASREA และรูปที่ 5.14 แสดงภาพถ่ายระบบการวัดจริง

รูปที่ 5.15 แสดงสเปกตรัมผลการวัดสัญญาณ ΔS โดยแอมพลิจูดของ $V_{oc} = 2 V_{pp}$ และ $V_{dc} = -4 V$ ตัวเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด p a-Si:H/i a-Si:H/n a-Si:H ถ้าเปลี่ยนค่า V_{dc} จะทำให้ ΔS เปลี่ยน รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔS และ V_{dc} ในรูปนี้ จุดตัดบนแกนในแนวนอนคือค่า built-in potential ซึ่งได้ค่าประมาณ 0.9 eV

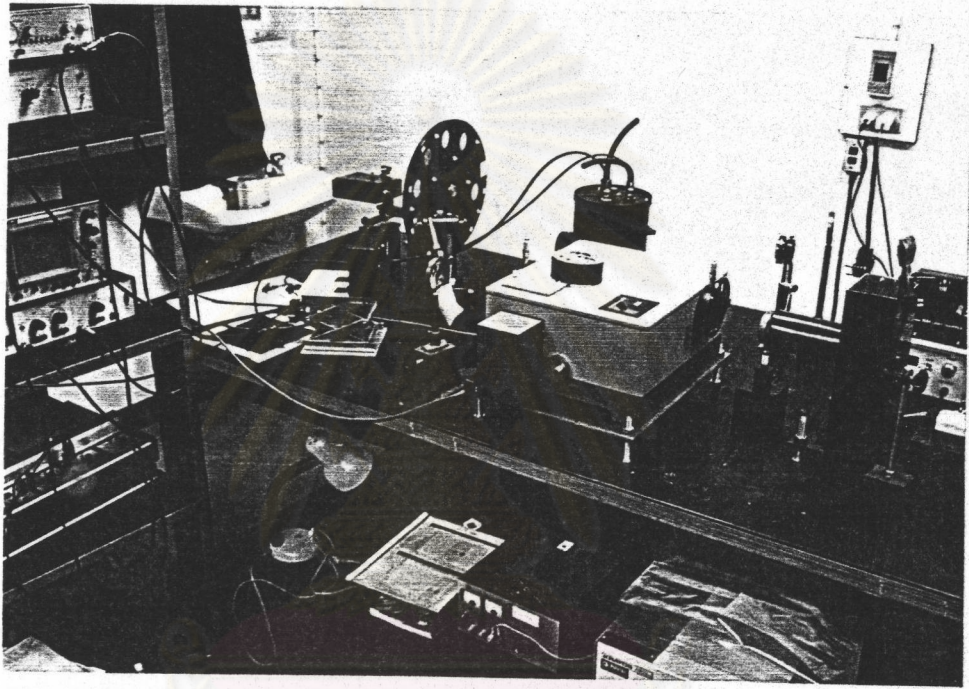
จากการวัดเซลล์ชนิดรอยต่อเฮเทอโรเปรียบเทียบกับชนิดรอยต่อโฮโมสรุปได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการวัดค่า built-in potential (V_b) และ open circuit voltage (V_{oc}) ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ชนิดรอยต่อเฮเทอโร และชนิดรอยต่อโฮโม

Homojunction		Heterojunction	
V_{oc} (V)	V_b (eV)	V_{oc} (V)	V_b (eV)
0.82	0.85	0.83	0.9

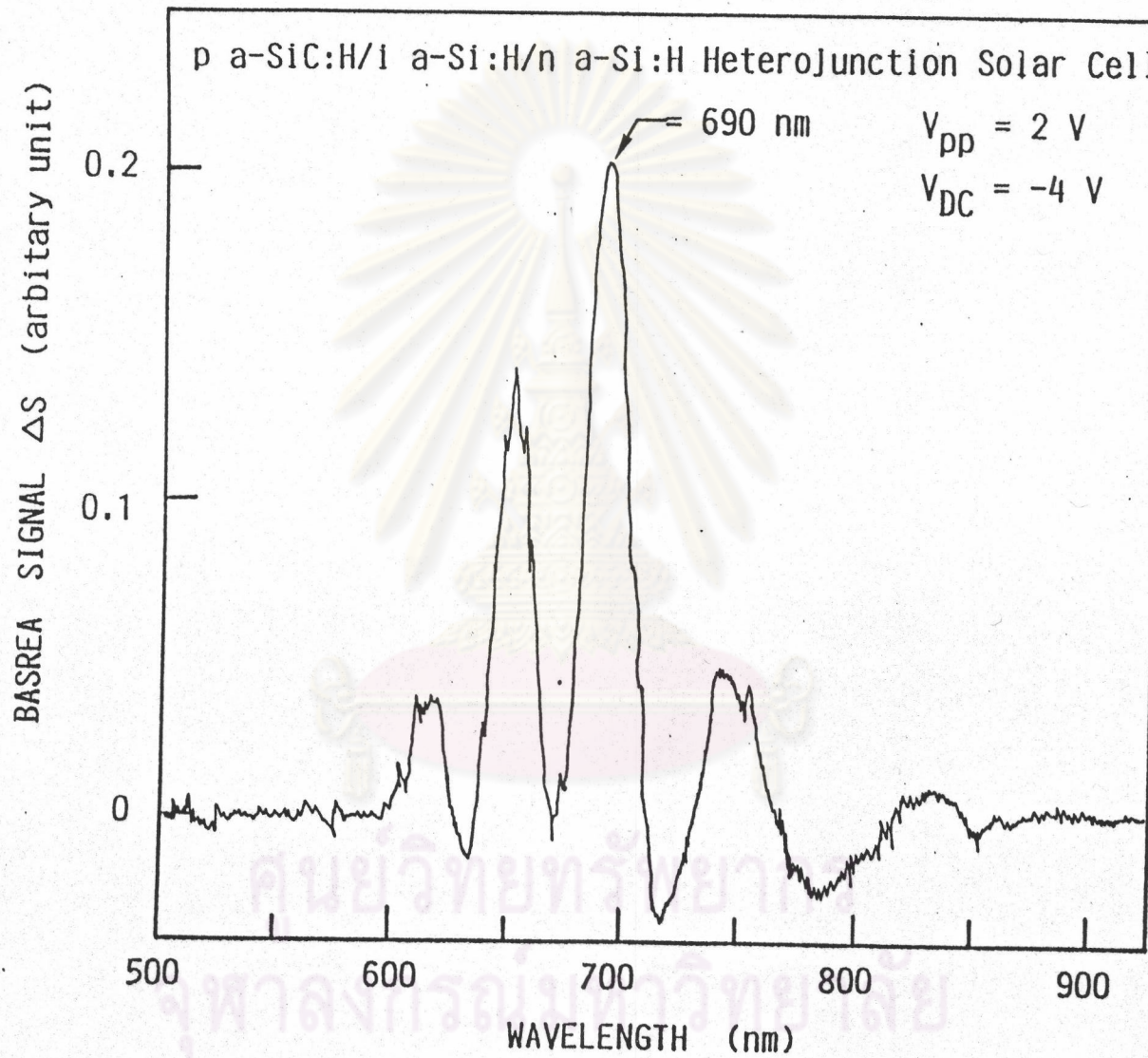


รูปที่ 5.13 แผนภาพระบบการวัด built-in-potential ของเซลล์ a-Si:H
 ด้วยวิธี BASREA
 (Back-Surface-Reflected-Electro-Absorption)

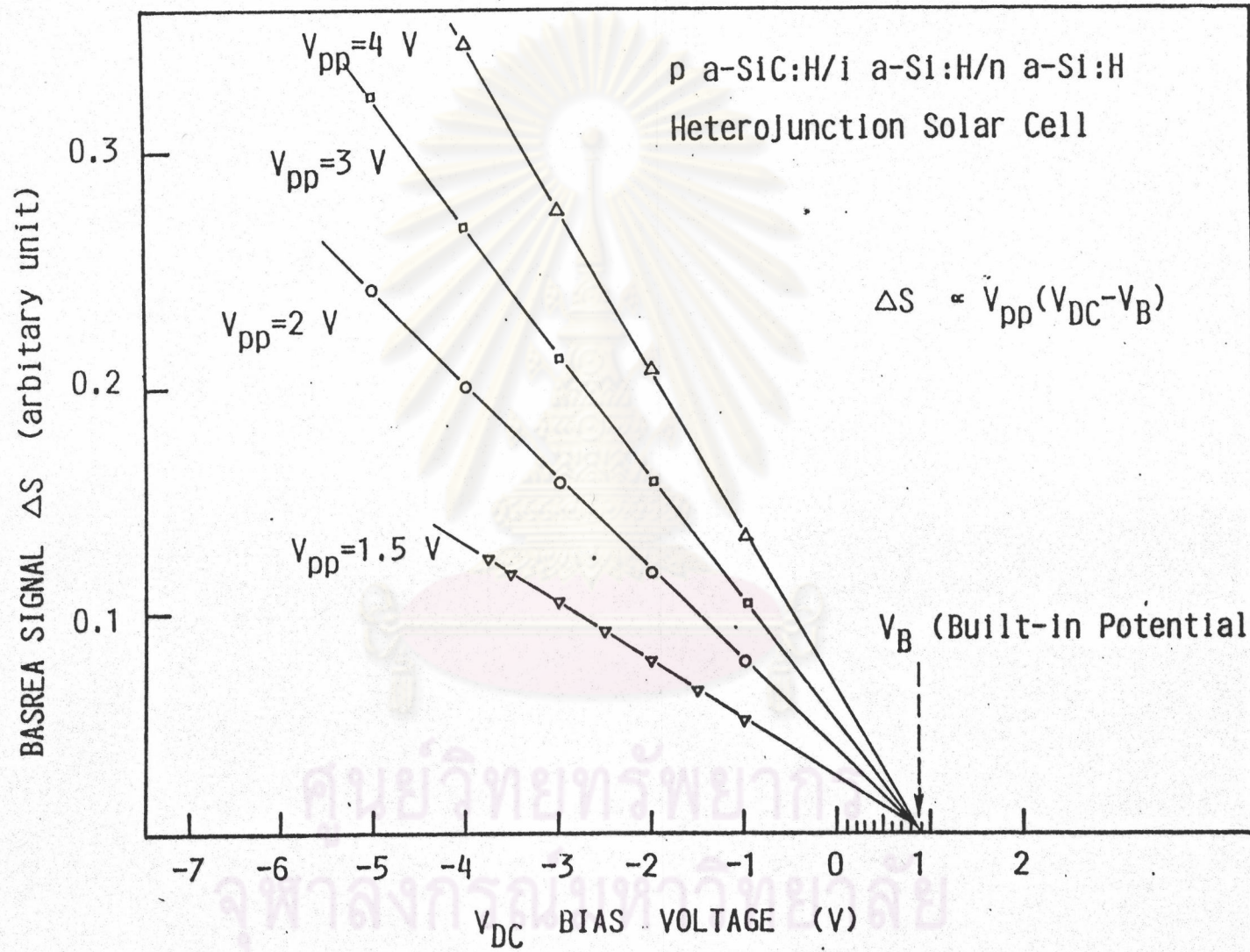


รูปที่ 5.14 ภาพถ่ายระบบการวัด built-in-potential ของเซลล์ $a\text{-Si:H}$
ด้วยวิธี BASREA ที่ใช้จริง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.15 ผลการวัดสเปกตรัมของ BASREA (ΔS) ของเซลล์แสงอาทิตย์ การเกิด peak หลายตำแหน่ง เกิดจาก interference ยอดของสเปกตรัมอยู่ที่ความยาวคลื่น 690 nm ซึ่งตรงกับขนาดช่องว่างพลังงานของ a-Si:H พอดี



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ BASREA กับแรงดันไบแอส V_{dc} ที่ป้อนเข้าสู่เซลล์ฯ V_{pp} คือค่า peak-to-peak ของแรงดัน V_{ac} ที่ modulate V_{dc}

จากตารางนี้จะเห็นได้ว่า การผลิตเซลล์ชนิดรอยต่อเฮตเตอโร โดยมี p a-SiC:H เป็นหน้ากว้าง ทำให้ V_{oc} มีค่าสูงขึ้น และการเพิ่มของ V_{oc} นี้ก็มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของ built-in potential (V_b) นั้นเอง

สรุปและวิจารณ์

ประสบความสำเร็จ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนให้ดีขึ้นโดยการใช้โครงสร้างรอยต่อเฮตเตอโร (p a-SiC:H/i a-Si:H/n μ C-Si) แทนรอยต่อโฮโม (p a-Si:H/i a-Si:H/n μ C-Si) ได้ผลว่าประสิทธิภาพสูงขึ้นจาก 4.12% เป็น 6.67 % จากผลการวัดสเปกตรัมผลตอบสนองทางแสง ยืนยันได้ว่าการใช้ p a-SiC:H เป็นชั้นหน้ากว้างรับแสง ($E_g = 2.0$ eV) แทนการใช้ p a-Si:H ($E_g = 1.7$ eV) นั้นทำให้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นสามารถวิ่งเข้าสู่ชั้น i ได้ดีขึ้น และเป็นเหตุให้ J_{sc} มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของ V_{oc} ได้ผลสรุปว่าเกิดจากการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าภายใน ในรอยต่อเฮตเตอโรดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย