

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Integrated type
และประยุกต์ใช้งานเป็น battery charger

บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิซิลิคอน มีข้อได้เปรียบกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว คือ มีแรงดันเปิดวงจรที่สูง 0.7-0.8 V และมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง สามารถผลิตให้ต่อเนื่องกันบนแผ่นฐานแก้วแผ่นเดียวกันได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้สายไฟฟ้าต่อเชื่อมเลย จึงทำให้ลดขั้นตอนการผลิต ลดต้นทุน และมีความสวยงาม กระทัดรัด ในที่นี้จะขอเรียกเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อเนื่องกันด้วยเทคโนโลยีฟิล์มบางบนแผ่นฐานแผ่นเดียวกันว่า "Integrated Type Solar Cell" เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Integrated Type นี้ ให้แรงดันเปิดวงจรสูงตามจำนวนเซลล์ที่ต่อเนื่องกัน มีประโยชน์ในการใช้งานหลายอย่าง อาทิเช่น ใช้ชาร์จถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข โทรศัพท์ ไฟฉาย ฯลฯ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัย ออกแบบและผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ให้เป็นแบบ Integrated Type ให้มีเซลล์ต่อเนื่องกันตั้งแต่ 4 ตัว 5 ตัว จนถึง 12 ตัว และนำไปทดลองใช้งาน ป้อนไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ รวมทั้งการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 V ด้วย

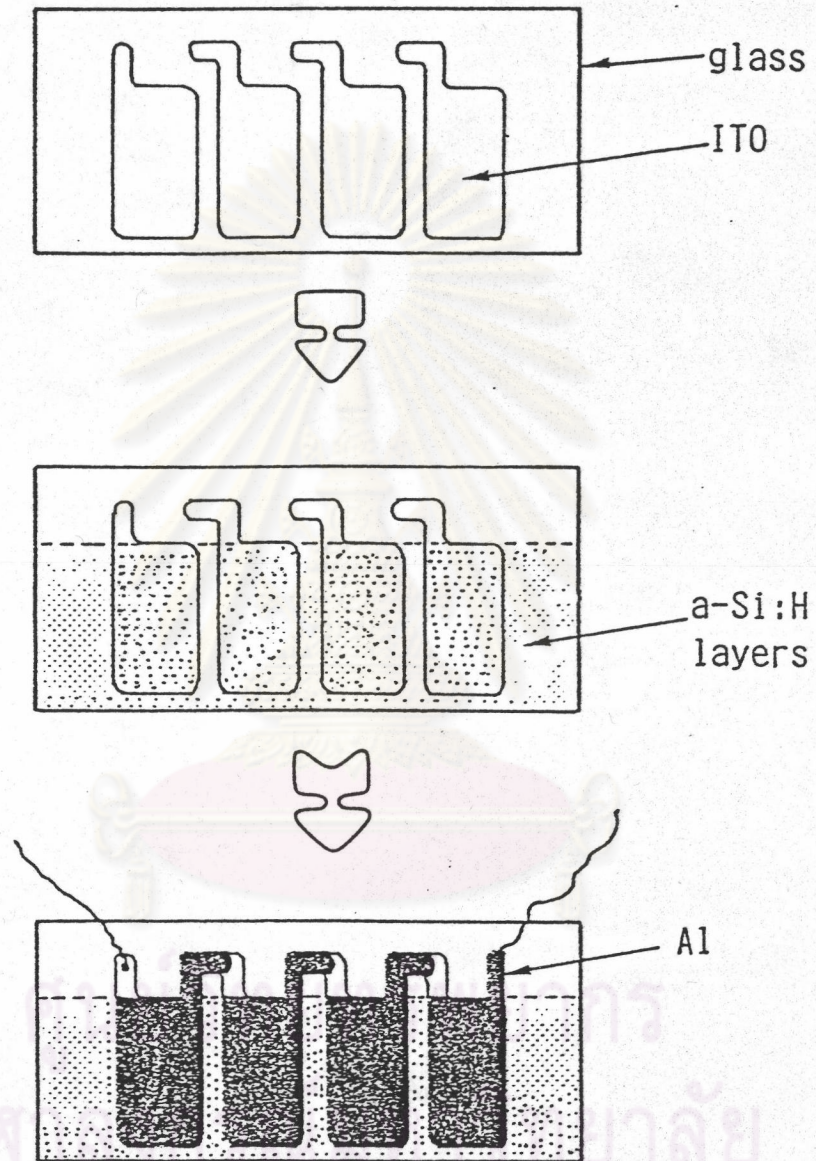
การออกแบบเซลล์แบบ Integrated Type

เซลล์แบบ Integrated โมดูลแรกที่ทำขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้(7) มีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟของเครื่องคิดเลข หรือนาฬิกาดิจิตอลขนาดเล็ก โครงสร้างของเซลล์ แต่ละตัวคือ glass/ITO/SnO₂/p a-SiC:H/i a-Si:H/n a-Si:H/Al เซลล์แต่ละตัวมีพื้นที่ 1 x 2 cm² ต่ออนุกรมกัน 4 ตัว เซลล์ทั้ง 4 ตัวจะออกแบบให้อยู่บนแผ่นฐานแก้วแผ่นเดียวกันขนาด 3 x 8 cm² แต่ละเซลล์ มีระยะห่างจากกัน 2.5 mm. การต่ออนุกรมกันทำได้โดยใช้ pattern ของขั้ว ITO และขั้ว Al ที่เหมาะสม โดยให้ขั้ว Al ของเซลล์แรกต่อกับขั้ว ITO ของเซลล์ถัดไป นั่นคือ

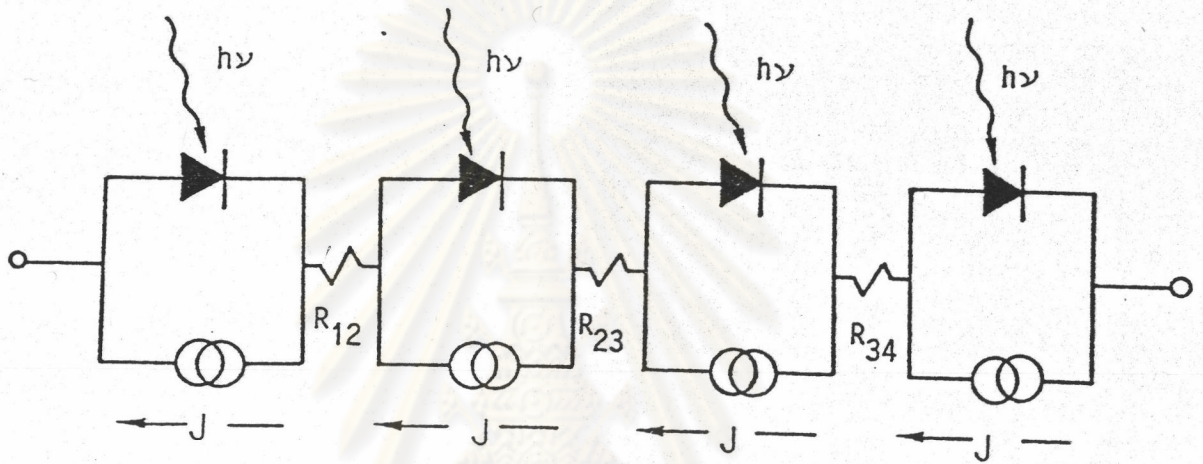
(ITO/PIN/Al)-(ITO/PIN/Al)-(ITO/PIN/Al)-(ITO/PIN/Al)

รูปที่ 6.1 แสดงภาพ Top View ของเซลล์ จะสังเกตเห็นว่า ชั้นของ a-si:H จะถูกปลูกต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น การที่เซลล์ต่ออนุกรมกันได้โดยไม่มี short ระหว่างเซลล์ ก็เพราะความต้านทานทาง lateral ของ a-Si:H มีค่าสูงมาก การปลูกเซลล์ วิธีนี้มีข้อดีคือขั้นตอนการผลิตง่ายไม่ยุ่งยาก แต่ข้อเสียคือชั้น n จะต้องเป็น a-Si:H เท่านั้น จะเป็น μ C-Si ไม่ได้เพราะว่า μ C-Si มีค่าความนำไฟฟ้าสูง จะทำให้เซลล์ ชอร์ตถึงกันหมด เซลล์ลักษณะนี้เหมาะสำหรับงานที่ใช้ power น้อย แรงดันไฟฟ้าต่ำ รูปที่ 6.2 แสดงภาพวงจรมูลของเซลล์ จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเป็นผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์ แต่กระแสไฟฟ้าจะถูกกำหนดด้วยกระแสไฟฟ้าของเซลล์ ตัวที่น้อยที่สุด

เซลล์แบบ Integrated รุ่นที่สอง ทำขึ้นเพื่อทดลองความเป็นไปได้ในการสร้างโมดูลของเซลล์ที่มีโครงสร้างเป็น glass/ITO/SnO₂/P a-SiC:H/i a-Si:H/n μ C-Si/Al คือใช้ชั้น n ที่เป็น μ C-Si เพื่อให้เซลล์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และทดลองทำเซลล์ ที่เรียงค่อนข้างชิดกันซึ่งจะทำให้สามารถทำเซลล์ ได้หลายตัวบนแผ่นฐานอันหนึ่ง ๆ ระยะห่างของเซลล์แต่ละตัวเท่ากับ 1 mm. เซลล์แต่ละตัวมีพื้นที่ 0.3 x 1.1 cm² ต่ออนุกรมกัน 5 ตัว บนแผ่นฐานแก้วขนาด 2 x 2.5 cm² รูปที่ 6.3 แสดงภาพ Top View ของเซลล์ ในขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า ชั้นของ a-Si:H จะถูกปลูกแยกจากกันเป็นเซลล์ ๆ เพื่อ

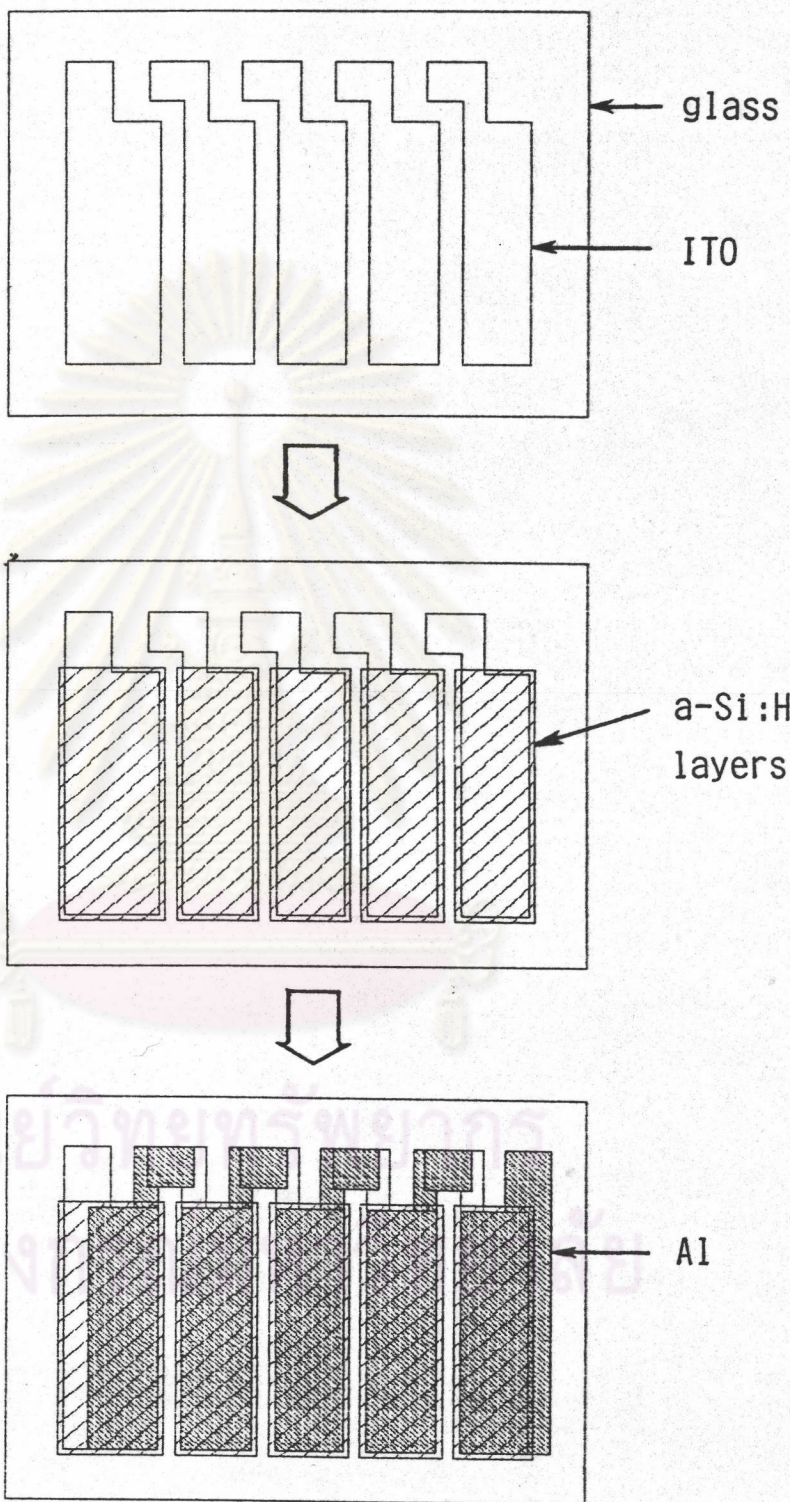


รูปที่ 6.1 ภาพ top view ของเซลล์ Integrated type รุ่นที่ 1
ในขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 6.2 วงจรสมมูลของเซลล์แบบ integrated type

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 ภาพ top view ของเซลล์ Integrated type รุ่นที่ 2 ในขั้นตอนการผลิต

ตัดปัญหาเรื่องการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ฯ

เซลล์ฯ แบบ Integrated รุ่นที่สาม เซลล์ฯแต่ละตัวจะมีโครงสร้างเหมือนกับเซลล์ฯ รุ่นที่สอง ระยะห่างของเซลล์ฯแต่ละตัวก็เท่ากันคือ 1 mm. แต่เซลล์ฯโมดูลนี้จะมีพื้นที่ของเซลล์ฯ แต่ละตัวใหญ่กว่าคือ $0.4 \times 4 \text{ cm}^2$ และมีเซลล์ย่อย 12 ตัวต่ออนุกรมกัน บนแผ่นฐานแก้วขนาด $5 \times 7.5 \text{ cm}^2$ รูปที่ 6.4 แสดงภาพ Top View ของเซลล์ฯ ซึ่งจะเห็นว่า pattern ของขั้ว ITO และขั้ว Al จะมีส่วนยื่นออกมาทั้งสองปลาย ที่ทำเช่นนี้ก็เพื่อลดผลเนื่องจากความต้านทานของขั้ว ITO เพราะขั้วเซลล์ฯ มีความยาวมาก กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแต่ละเซลล์ฯ จะต้องวิ่งตลอดความยาวของขั้ว ITO เพื่อให้ถึงขั้วที่ต่ออยู่กับเซลล์ฯ ถัดไป ทำให้เกิด loss มาก

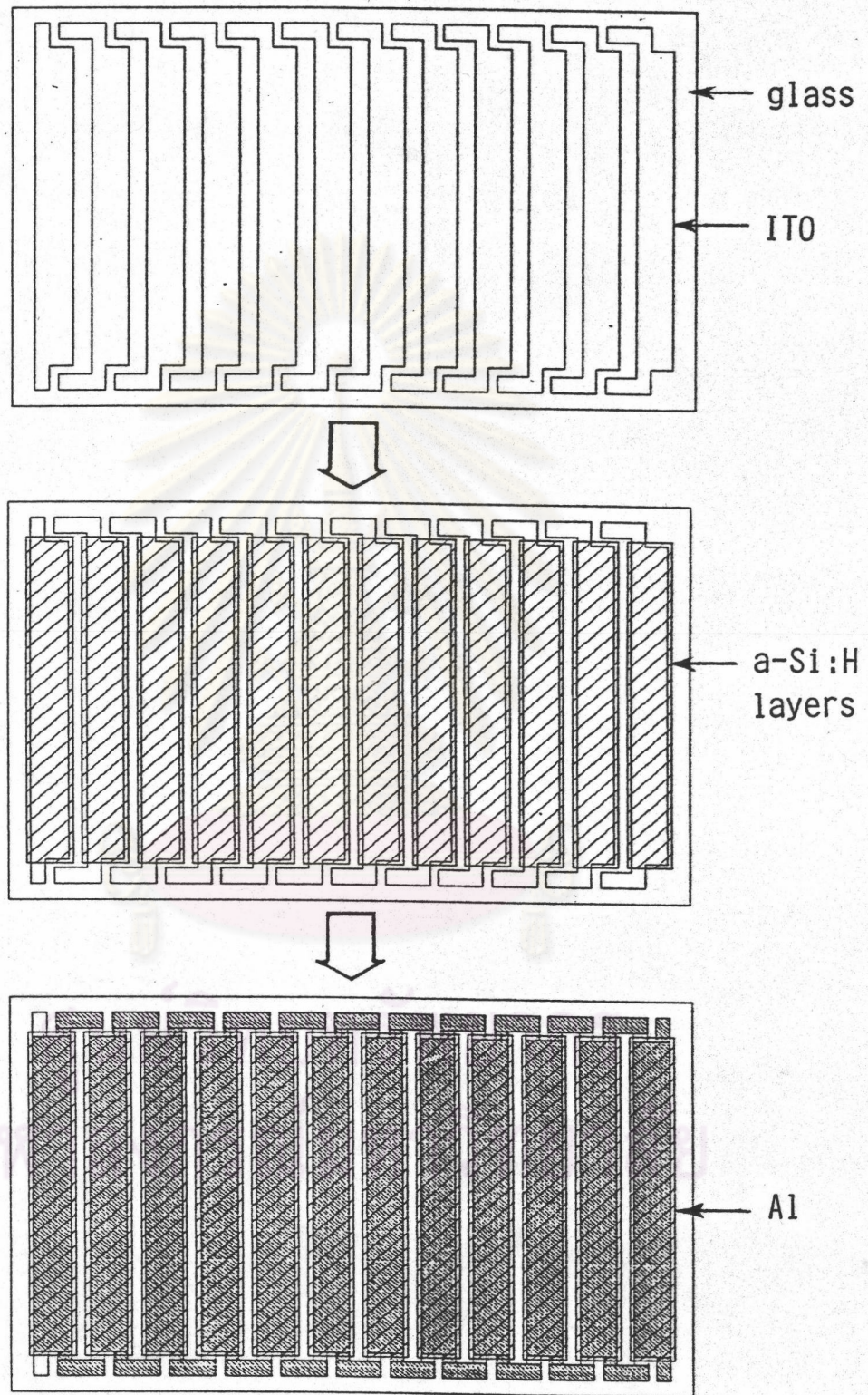
การผลิตเซลล์ฯแบบ Integrated Type

ขั้นตอนในการผลิตเซลล์ฯ แบบ Integrated Type ทั้งสามรุ่น สามารถแบ่งได้เป็น ๓ ขั้นตอน ดังนี้

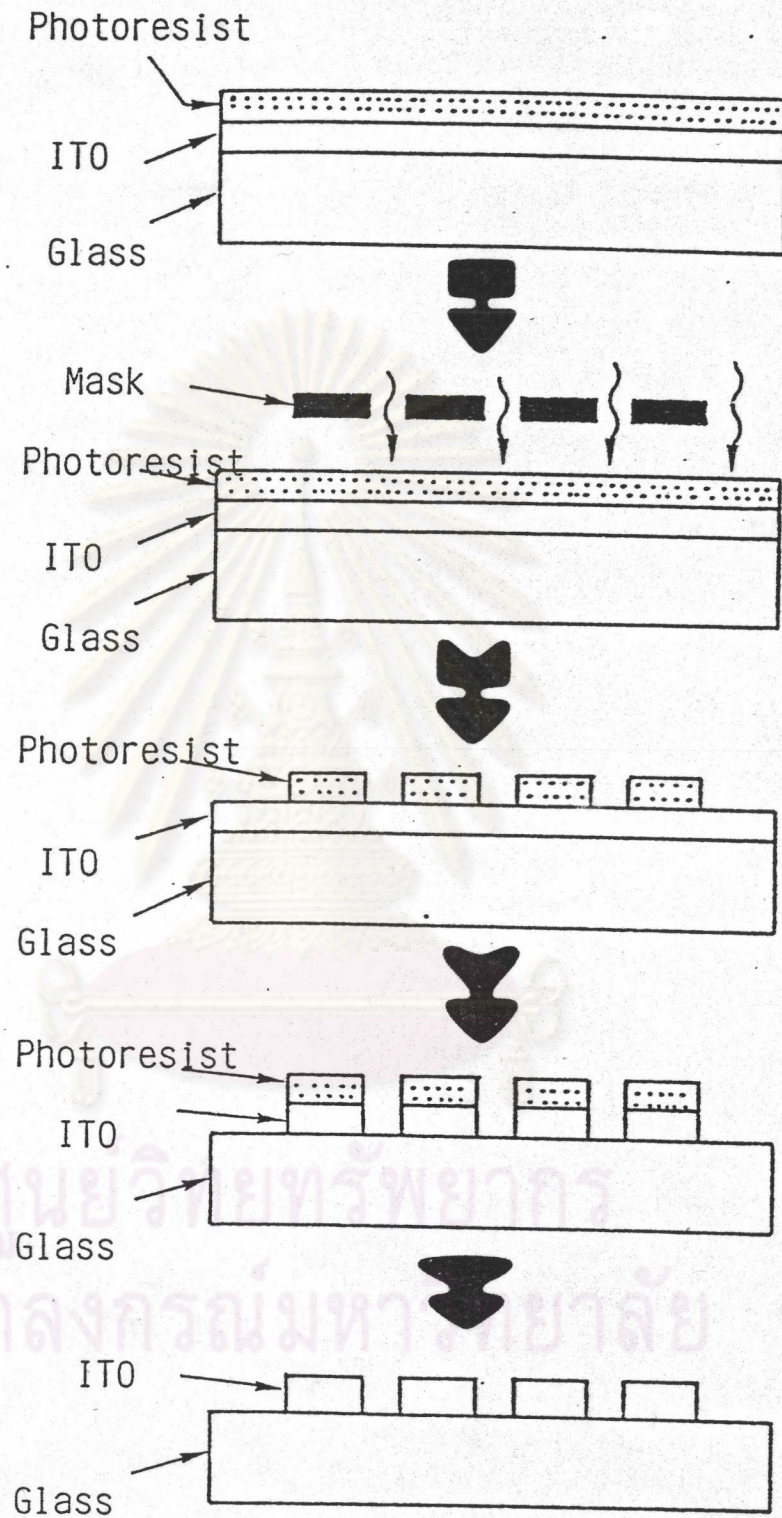
1. ขั้นตอนเตรียมแผ่นฐาน จะต้องกัด ITO ให้ได้ pattern ตามต้องการ การกัดใช้วิธีทาง photolithography ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก รูปที่ 6.5 แสดงกระบวนการกัด ITO ให้ได้รูปแบบ pattern ที่ต้องการ

2. ขั้นตอนการปลูกเซลล์ฯ สำหรับรุ่นที่ 1 จะประกอบด้วย ชั้น p a-SiC:H (220 \AA) / i a-Si:H (5000 \AA) / n a-Si:H (300 \AA) ปลูกโดยใช้วิธี rf plasma CVD จะทำการปลูกฟิล์มตลอดทั่วทั้งแผ่นฐาน ยกเว้นบริเวณที่เป็นขั้วต่อรูปตะขอก จะใช้แผ่นแก้วยาววางทับเอาไว้ไม่ให้ฟิล์มติด

สำหรับรุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 จะประกอบด้วย ชั้น p a-SiC:H (200 \AA) / i a-Si:H (6500 \AA) / n μ C-Si (500 \AA) ในการปลูกฟิล์ม จะต้องใช้ Mask ที่ทำจากอะลูมิเนียมหนา 1 mm. มาวางบนแผ่นฐานเพื่อกันไม่ให้ฟิล์ม a-Si:H ติดในบริเวณระหว่างเซลล์ฯแต่ละตัว และบริเวณขั้วต่อ การยึดแผ่น Mask เข้ากับแผ่นฐานทำได้โดยการใช้ silver paste ตั้มตรงมุม



รูปที่ 6.4 ภาพ top view ของเซลล์ฯ Integrated type รุ่นที่ 3
ในขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 6.5 กระบวนการกัด pattern ของ แผ่นฐาน ITO

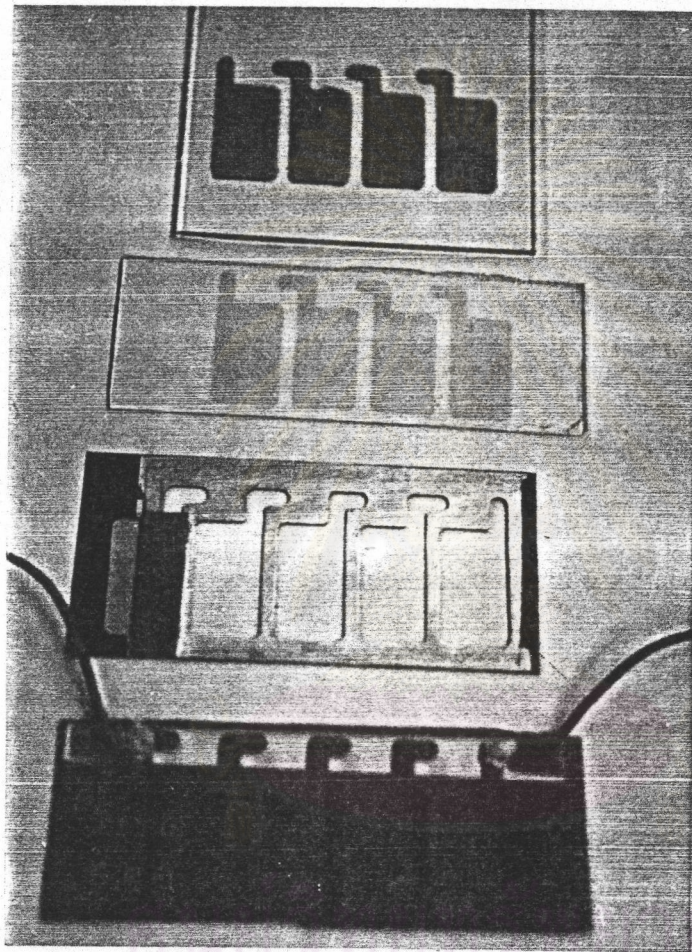
ของแผ่น Mask แล้วประกบเข้ากับแผ่นฐาน ในการสร้างแผ่น Mask จะเจาะ pattern ด้วย เลื่อยฉลุ ซึ่งถ้าจะให้ได้ชั้นฟิล์มที่มี uniformity ค่อนข้างกว่านี้ ควรใช้ Mask ที่ทำจาก stainless อย่างบางและกัดเป็น pattern ด้วยกรด HCl

3. ขั้นตอนการเคลือบ Al back electrode ความหนาประมาณ 6000 Å ไปเชื่อมกับ ITO ของเซลล์ฯ ที่อยู่ถัดไป Mask สำหรับการเคลือบอะลูมิเนียมนั้น ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมหรือแผ่นสแตนเลสอย่างบางเช่นเดียวกับ Mask ของการปลูกชั้น a-Si:H รูปที่ 6.6, 6.7 และ 6.8 แสดงภาพถ่ายขั้นตอน การผลิตเซลล์ฯ รุ่นที่ 1, รุ่นที่ 2, และรุ่นที่ 3 ตามลำดับ

ผลการผลิตเซลล์ฯแบบ Integrated Type

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะผลของเซลล์ฯ ที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้ คือรุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 รูปที่ 6.9 แสดงผลการวัดลักษณะสมบัติเอาท์พุท J/V ของเซลล์ฯรุ่นที่ 2 ที่มีเซลล์ฯ ต่ออนุกรมกัน 5 ตัว เปรียบเทียบกับเซลล์ฯ เดี่ยวขนาด 0.033 cm^2 ที่ผลิตพร้อมกัน สำหรับเซลล์ฯ แบบ Integrated Type รุ่นนี้ แต่ละเซลล์ย่อยมีพื้นที่ 0.33 cm^2 จึงมีพื้นที่รับแสงประสิทธิผลรวม 1.65 cm^2 , แรงดันเปิดวงจร 3.975 V กระแสลัดวงจร 2.63 mA/cm^2 , ฟิลล์แฟกเตอร์ 47.74% และมีประสิทธิภาพ 4.99% โดยวัดภายใต้แสงอาทิตย์ AM1 สำหรับเซลล์ฯ เดี่ยวมีพื้นที่ 0.033 cm^2 , แรงดันเปิดวงจร 0.825 V, กระแสลัดวงจร 11.67 mA/cm^2 , ฟิลล์แฟกเตอร์ 63.67%, และมีประสิทธิภาพ 6.13% ที่ AM1 เช่นเดียวกัน

เพื่อเป็นการศึกษาว่าการต่ออนุกรมกันของเซลล์ฯ มีผลทำให้ลักษณะสมบัติเอาท์พุทของเซลล์ฯโดยรวมเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จึงได้ทำการวัดลักษณะสมบัติเอาท์พุทของเซลล์ฯ ที่อยู่บนแผ่นฐานเดียวกัน โดยเริ่มจากเซลล์ย่อย 1 ตัว, เซลล์ย่อย 2 ตัวที่ต่ออนุกรมอยู่ติดกัน, เซลล์ย่อย 3 ตัวที่ต่ออนุกรมอยู่ติดกัน จนถึงเซลล์ย่อย 5 ตัวต่ออนุกรมกัน คือทั้งแผ่นนั่นเอง สำหรับเซลล์ฯ ที่นำมาวัดนี้ เป็นเซลล์ฯ ที่มีคุณภาพต่ำ เพราะเซลล์ฯ ตัวที่มีคุณภาพดีถูกนำไปใช้งานและถูก seal เพื่อป้องกันการซุดซัดแล้วจึงไม่สามารถนำมาวัดได้ ผลการวัดลักษณะสมบัติเอาท์พุทดังกล่าวอยู่ในรูปที่ 6.10 และรูปที่ 6.11 เป็นการ plot ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะสมบัติเอาท์พุทที่ได้จากรูปที่ 6.10 กับจำนวนเซลล์ฯ ที่ต่ออนุกรมกัน จากรูปจะพบว่าเมื่อเซลล์ฯ ต่อ



Mask สำหรับ photoresist
ในการกัด pattern ITO

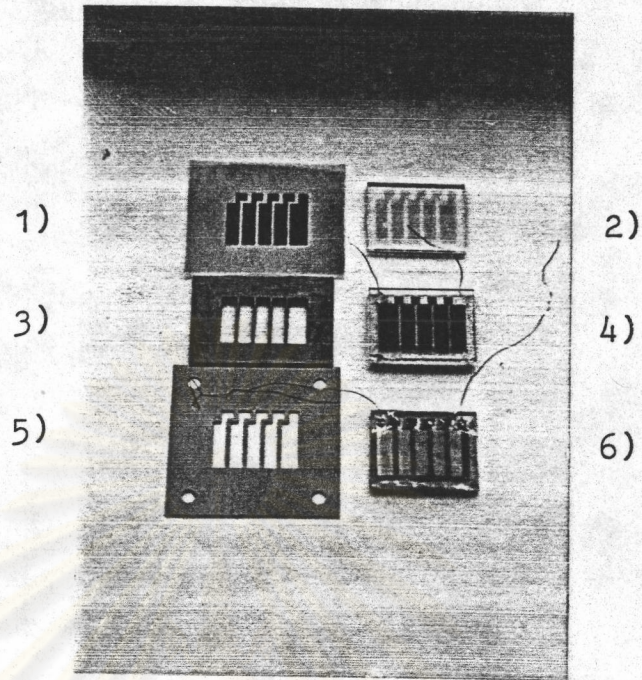
ชิ้น ITO ที่ถูกกัดเป็น
pattern แล้ว

Mask สำหรับการเคลือบ Al

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้

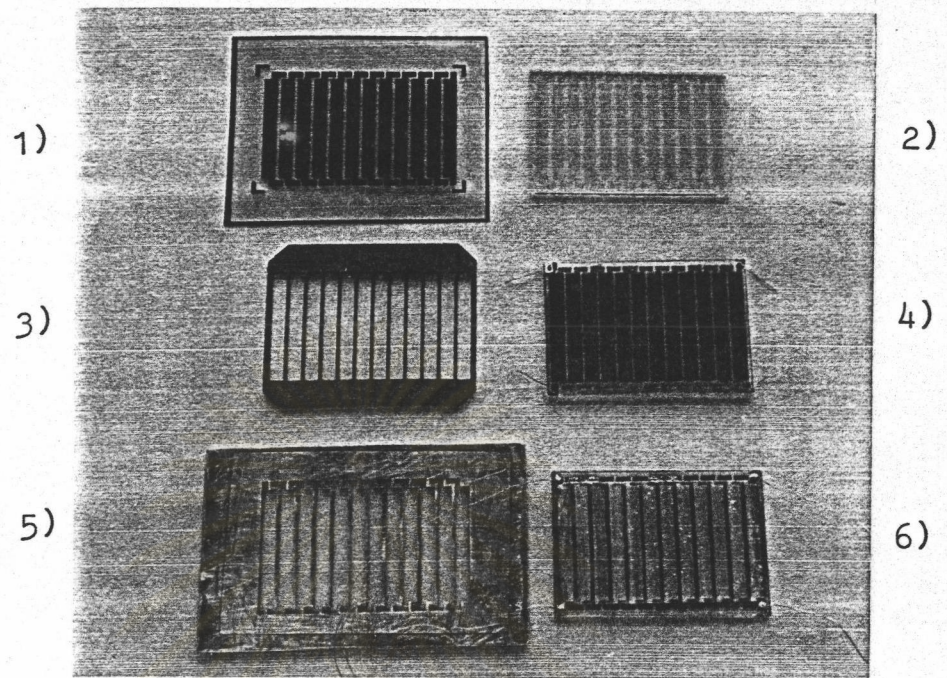
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.6 ภาพถ่ายขั้นตอนการผลิตเซลล์แบบ integrated type รุ่นที่ 1



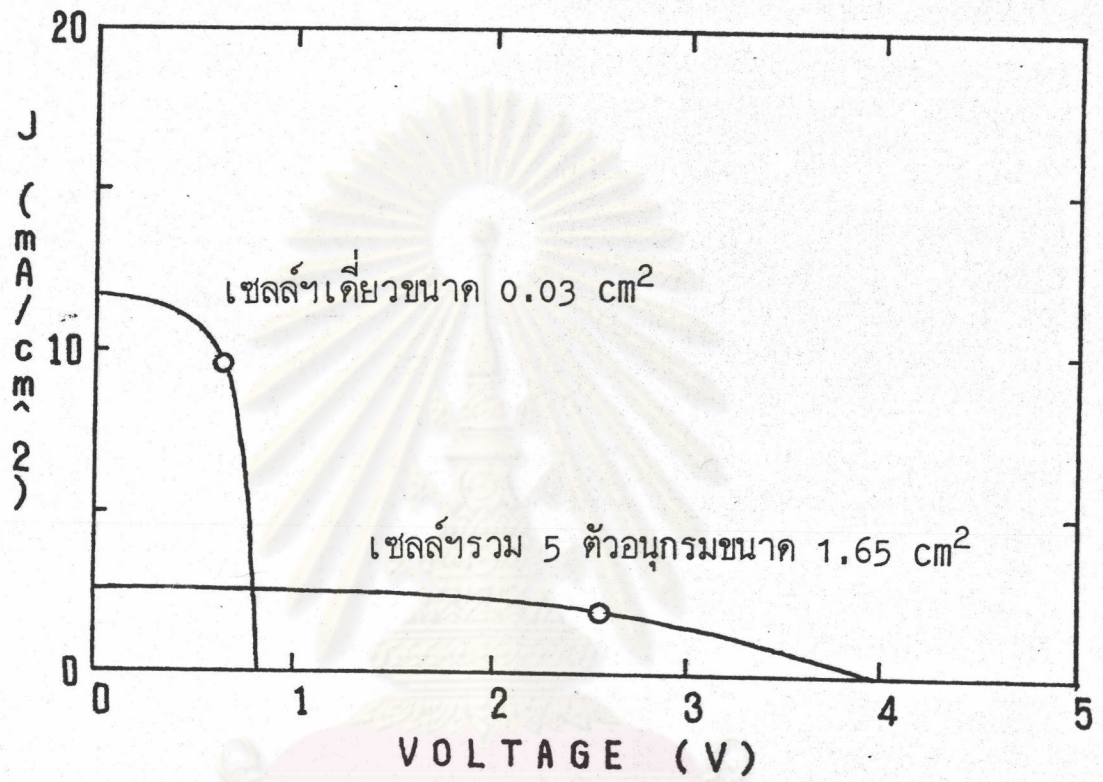
- 1) Mask สำหรับ photoresist ในการกัด pattern ITO
- 2) ชั้น ITO ที่ถูกกัดเป็น pattern แล้ว
- 3) Mask สำหรับการปลูก a-Si:H
- 4) แผ่นฐานหลังจากปลูก a-Si:H แล้ว
- 5) Mask สำหรับการเคลือบ Al
- 6) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้

รูปที่ 6.7 ภาพถ่ายขั้นตอนการผลิตเซลล์แบบ integrated type รุ่นที่ 2



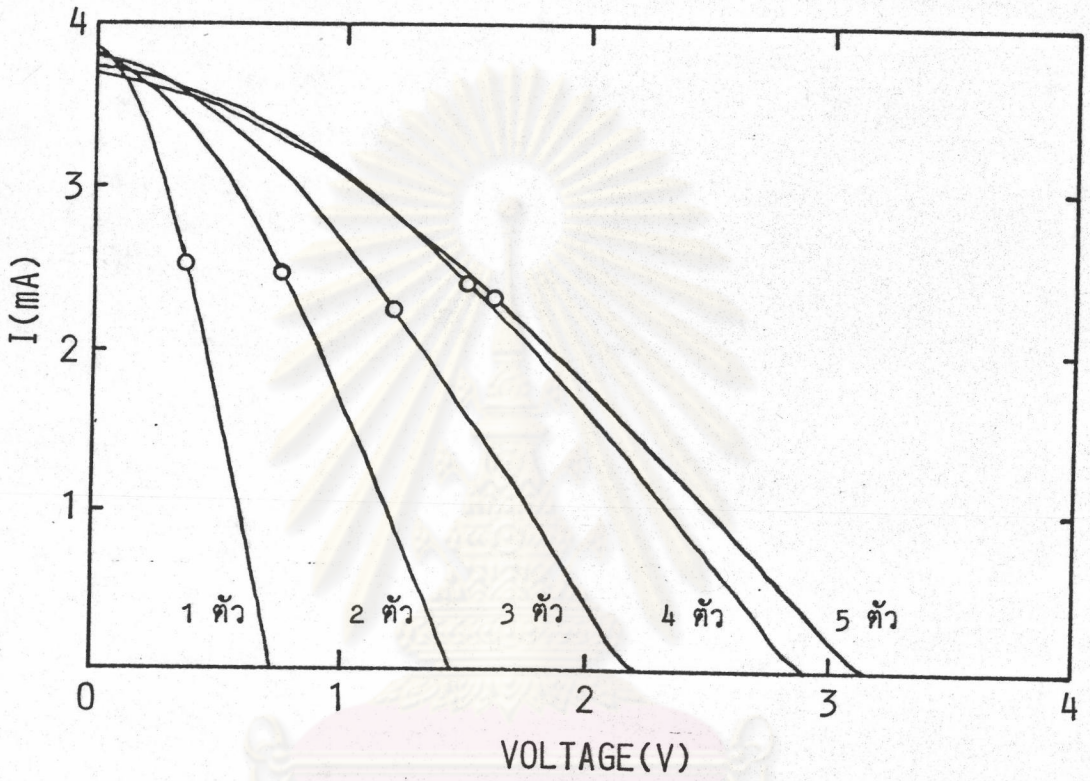
- 1) Mask สำหรับ photoresist ในการกัด pattern ITO
- 2) ชั้น ITO ที่ถูกกัดเป็น pattern แล้ว
- 3) Mask สำหรับการปลูก a-Si:H
- 4) แผ่นฐานหลังจากปลูก a-Si:H แล้ว
- 5) Mask สำหรับการเคลือบ Al
- 6) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้

รูปที่ 6.8 ภาพถ่ายขั้นตอนการผลิตเซลล์แบบ integrated type รุ่นที่ 3



รูปที่ 6.9 ผลการวัดลักษณะสมบัติเอาท์พุทของเซลล์ฯ รุ่นที่ 2 เปรียบเทียบกับเซลล์เดี่ยวขนาด 0.03 cm^2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

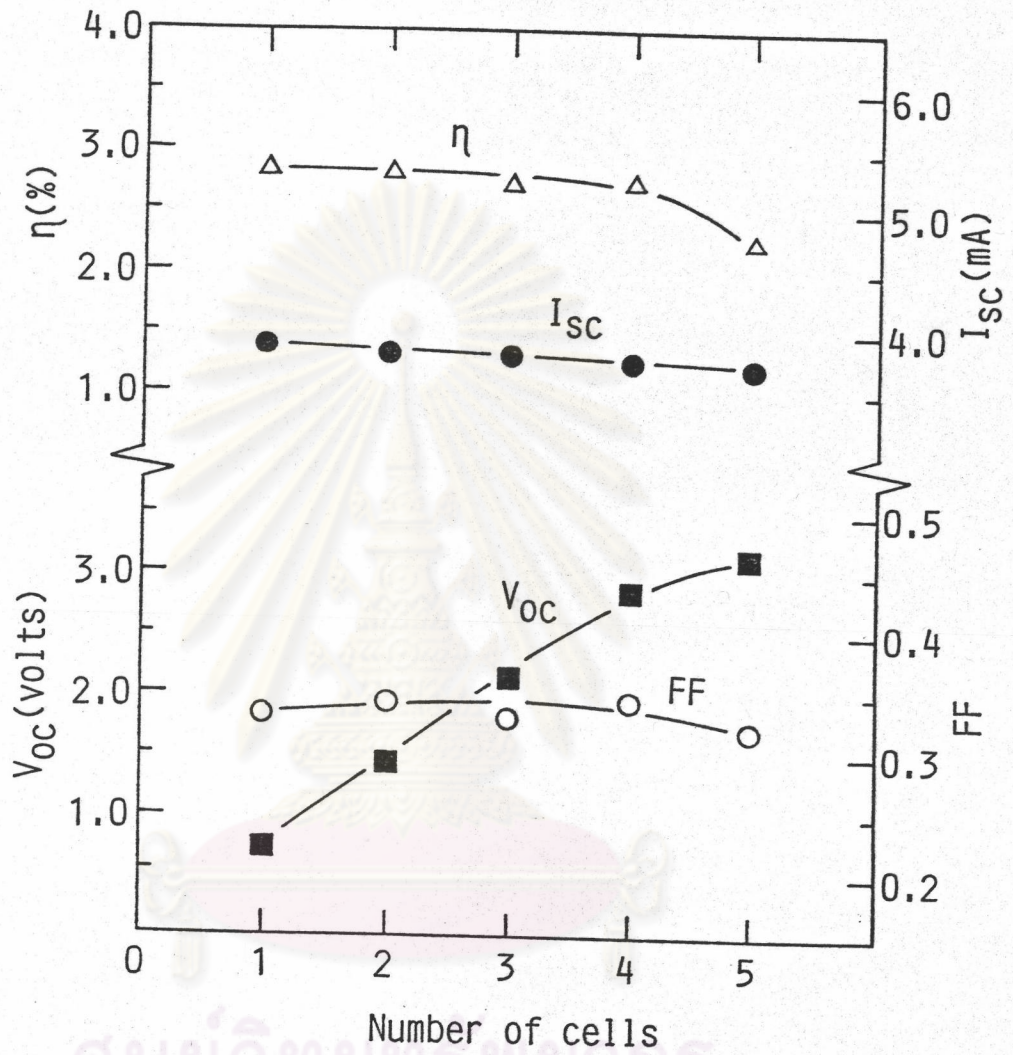


รูปที่ 6.10 ผลการวัดลักษณะสมบัติเอาต์พุทของเซลล์ฯ แบบ integrated type

รุ่นที่ 2 เปรียบเทียบเซลล์ฯ ในแผ่นเดียวกันที่ต่ออนุกรมกันตั้งแต่

1 ตัว 2 ตัว 3 ตัว 4 ตัว จนถึง 5 ตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติเอาต์พุทของเซลล์ฯ แบบ integrated type รุ่นที่ 2 กับจำนวนเซลล์ฯ ที่ต่ออนุกรมกัน บนแผ่นฐานเดียวกัน

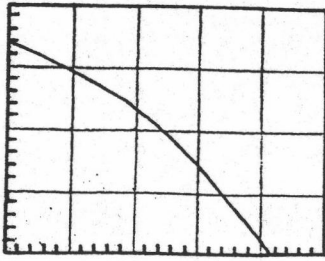
อนุกรมกันมากขึ้น กระแสลัดวงจร และฟิลล์แฟกเตอร์จะมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องมาจากกระแสเอาก์พุทของโมดูล จะเท่ากับกระแสเอาก์พุทของเซลล์ ตัวที่น้อยที่สุด(กระแสที่ได้จึงมีแต่เท่าเดิมหรือลดลง)และยังมีผลมาจากความต้านทานอนุกรมที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ส่วนแรงดันเปิดวงจรจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์ แต่จะเพิ่มมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แต่ละตัว

ในรุ่นที่ 3 ซึ่งเป็นเซลล์ ต่ออนุกรม 12 ตัว เซลล์ๆ แต่ละตัวมีพื้นที่ 1.6 cm^2 มีพื้นที่รับแสงประสิทธิภาพทั้งสิ้น 19.2 cm^2 ผลการวัดลักษณะสมบัติเอาก์พุท J/V ที่ AM1 (100 mW/cm^2) โดยใช้ curve tracer เป็นดังในรูปที่ 6.12 a) ถึง i) จะสังเกตเห็นว่าโมดูลบางตัวมีแรงดันเปิดวงจรมีน้อย เนื่องจากมีเซลล์ บางตัวทะลุและลัดวงจร และบางโมดูลมีกระแสลัดวงจร และฟิลล์แฟกเตอร์ไม่ดี เนื่องจากมีความต้านทานภายในสูง อาจเนื่องจาก contact ระหว่างเซลล์ๆ ไม่ดีหรือเซลล์ๆ บางตัวมีคุณภาพไม่ดี

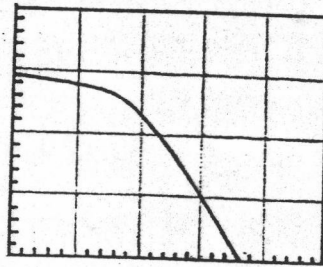
ได้ทำการทดลองวัดลักษณะสมบัติเอาก์พุทของเซลล์ๆ ย่อย ที่อยู่บนแผ่นฐานแผ่นเดียวกัน โดยเลือกเอาโมดูล No.8 มาทำการวัด เปรียบเทียบกันระหว่างเซลล์ๆ 1 ตัว, 3 ตัว, 6 ตัว 9 ตัว และ 12 ตัวต่ออนุกรมกัน โดยวัดที่ AM1 40 mW/cm^2 ได้ผลดังที่แสดงในรูปที่ 6.13 และรูปที่ 6.14 เป็นการ plot ระหว่างพารามิเตอร์ลักษณะสมบัติเอาก์พุทที่ได้จากรูปที่ 6.13 กับจำนวนเซลล์ๆ ที่ต่ออนุกรมกัน จากผลการวัดนี้จะเห็นได้ว่ากระแสลัดวงจรจะลดลงเมื่อจำนวนเซลล์ๆ ที่ต่ออนุกรมเพิ่มขึ้น และแรงดันเปิดวงจรจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์ๆ เช่นเดียวกับเซลล์ๆ ในรุ่นที่ 2

สำหรับเซลล์ๆ โมดูลที่ดัดที่สุดในรุ่นนี้ (No.7) มีลักษณะสมบัติเอาก์พุทดังนี้คือ แรงดันเปิดวงจร 10.1 V , กระแสลัดวงจร 0.81 mA/cm^2 , ฟิลล์แฟกเตอร์ 55.6% , และประสิทธิภาพ 4.54% ที่ AM 1 (100 mW/cm^2)

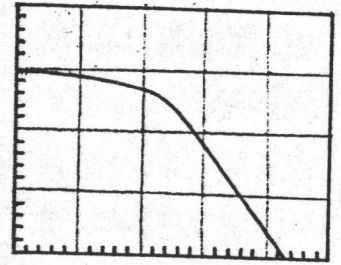
เพื่อให้ได้โมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงพอที่จะชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 V ได้ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกเซลล์ๆ มา 3 ตัว คือ No.3, No.7, และ No.9 นำมาต่ออนุกรมพร้อมกับทำ case เพื่อให้มีความแข็งแรง กันความชื้นและฝุ่นละออง เพื่อความสวยงาม และสามารถนำไปใช้



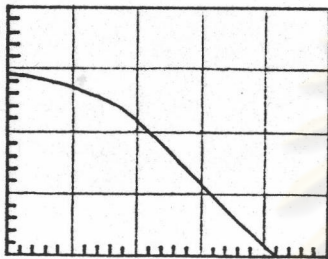
a) No.1



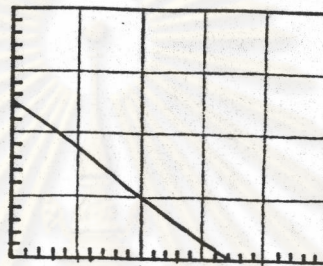
b) No.2



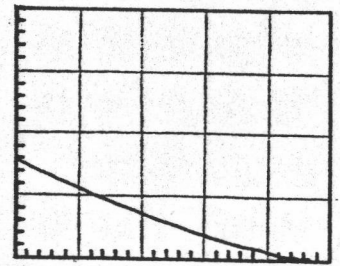
c) No.3



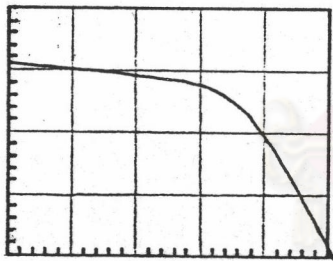
d) No.4



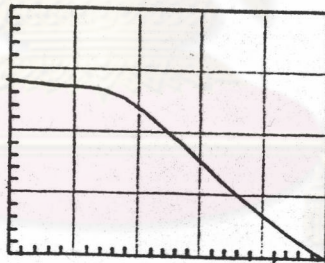
e) No.5



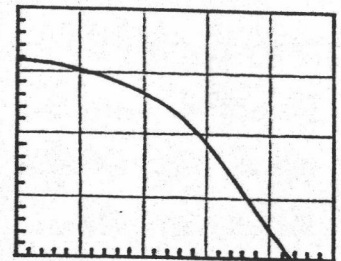
f) No.6



g) No.7



h) No.8



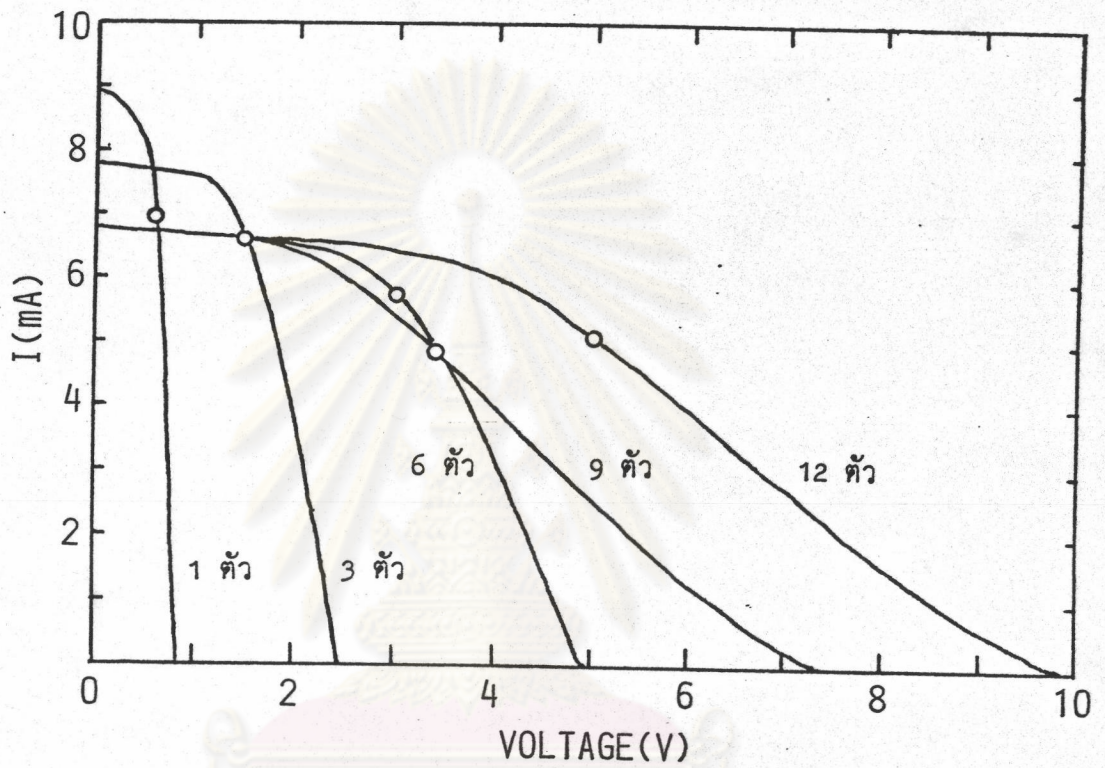
i) No.9

at AM 1 Vertical scale : 5 mA/div

Horizontal scale : 2 V/div

รูปที่ 6.12 ผลการวัดลักษณะสมบัติเอาท์พุทของเซลล์ฯ แบบ integrated type

รุ่นที่ 3 ซึ่งเป็นเซลล์ฯ ที่ต่ออนุกรม 12 ตัวบนแผ่นฐานเดียวกัน

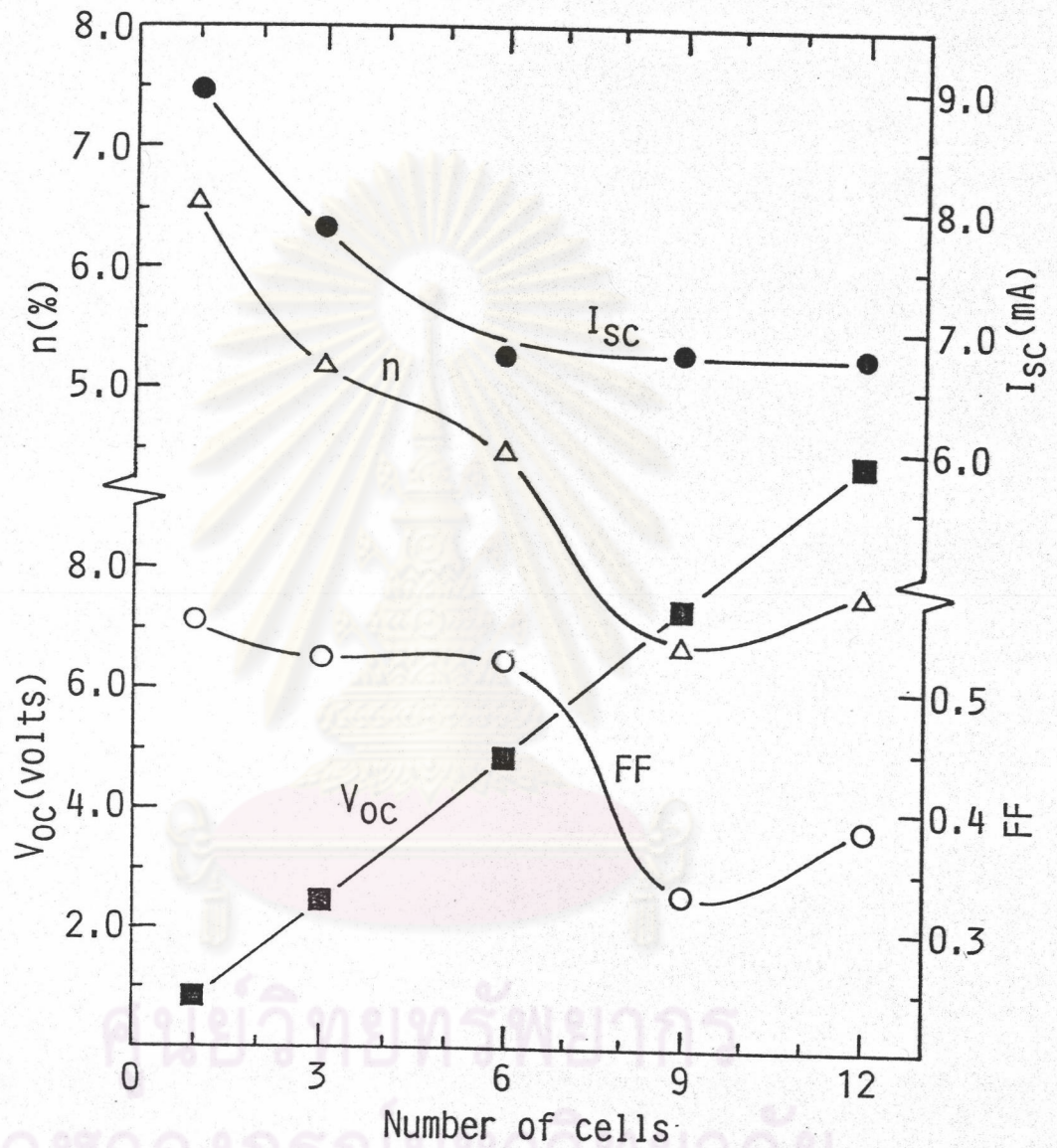


รูปที่ 6.13 ผลการวัดลักษณะสมบัติเอาต์พุทของเซลล์ฯ แบบ integrated type

รุ่นที่ 3 เปรียบเทียบเซลล์ฯ ในแผ่นเดียวกันที่ต่ออนุกรมกันตั้งแต่

1 ตัว 3 ตัว 6 ตัว 9 ตัว จนถึง 12 ตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติเอาท์พุทของเซลล์ฯ แบบ integrated type รุ่นที่ 3 กับจำนวนเซลล์ฯ ที่ต่ออนุกรมกัน บนแผ่นฐานเดียวกัน

งานจริงได้ ขั้นตอนการทำ case ให้แก่โมดูลมีดังนี้

1. ติดโมดูลย่อยเข้ากับแผ่นกระจกด้านหน้า ต่อสายระหว่างเซลล์ฯและสายสู่ภายนอก
2. วางชั้น EVA และ TEDLAR (เป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ในการทำโมดูลเซลล์ฯในอุตสาหกรรม)
3. ปิดด้านหลังด้วยแผ่น BAKELITE
4. ติดกรอบ Aluminum และซีลด้วยซิลิโคน
5. ใส่ Blocking Diode

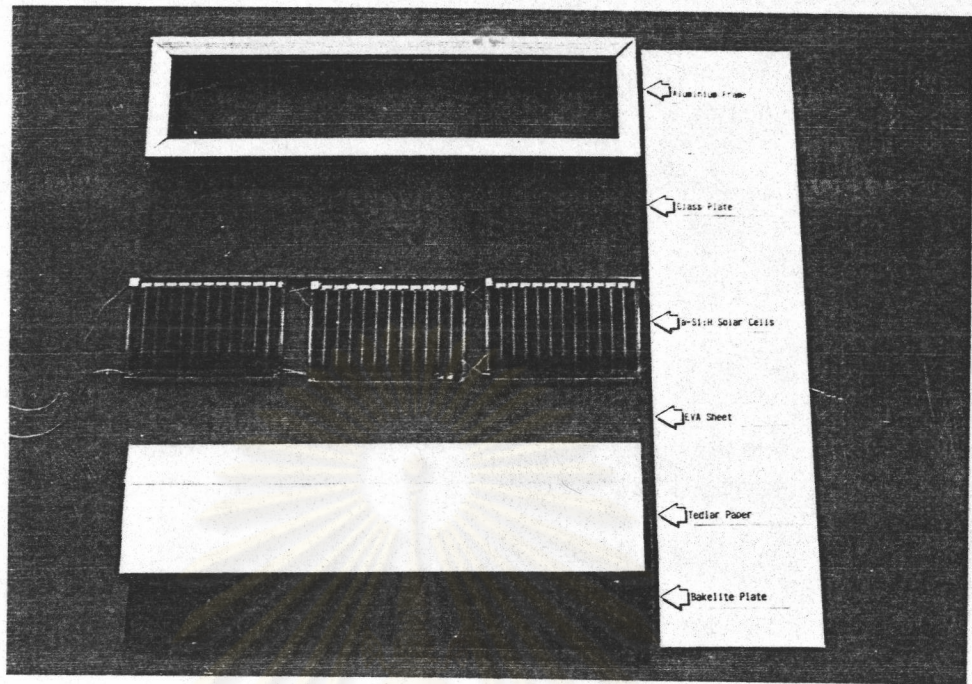
รูปที่ 6.15 แสดงภาพขั้นตอนของการทำ case ให้แก่โมดูล

เมื่อได้โมดูลที่มี case เรียบร้อยแล้ว นำมาทดสอบการใช้งาน โดยต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 12 V ดังรูปที่ 6.16 สำหรับแสงอาทิตย์ในเวลาเที่ยง จะได้กระแสทำงานประมาณ 11 mA และแรงดันทำงานประมาณ 12 V ในขณะที่แรงดันเปิดวงจรประมาณ 26 V ซึ่งก็ประสบความสำเร็จตามที่ได้ตั้งจุดมุ่งหมายเอาไว้

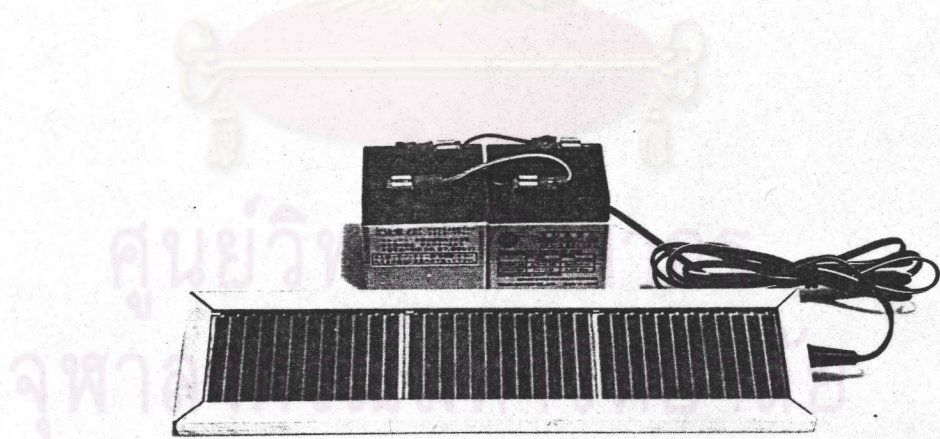
สำหรับการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Integrated Type ที่ผลิตได้ ในลักษณะอื่นๆ นอกเหนือไปจากการใช้ชาร์จแบตเตอรี่ ได้แก่ การใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับเครื่องคิดเลข และการใช้ชาร์จถ่านไฟฉาย NiCd ขนาด 2.4 V ดังในรูปที่ 6.17 และ 6.18 ตามลำดับ

สรุปและวิจารณ์

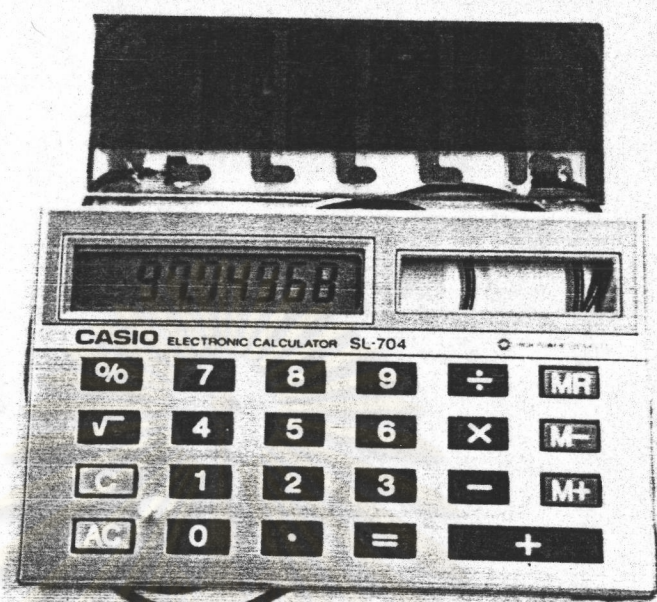
ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Integrated Type ซึ่งมีเซลล์ฯ ต่ออนุกรมกันหลายตัวบนแผ่นฐานแก้วแผ่นเดียวกัน แรงดันเอาต์พุตของแผงเซลล์ฯ จะมีค่ามากขึ้นตามจำนวนเซลล์ฯที่ต่ออนุกรมกัน ส่วนกระแสเอาต์พุตจะมีค่าที่ถูกลำดับด้วยพื้นที่ของเซลล์ย่อยแต่ละตัว ผู้วิจัยได้ทดลองผลิตเซลล์ฯแบบ Integrated Type หลายรุ่น ตามตารางที่ 6.1



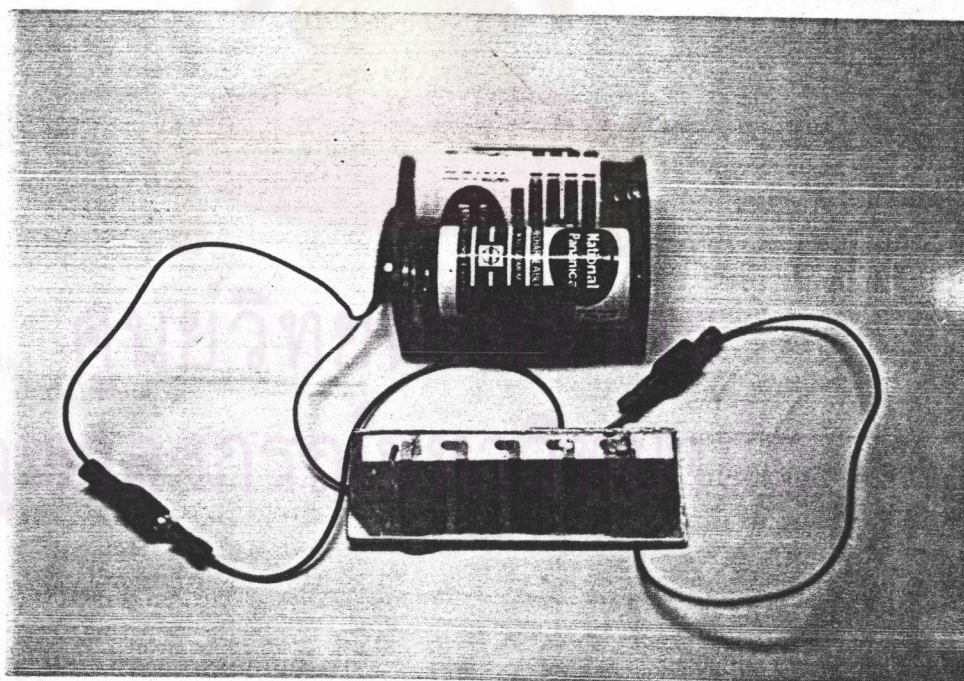
รูปที่ 6.15 ภาพถ่ายขั้นตอนการประกอบ case ให้แก่โมดูล



รูปที่ 6.16 ภาพถ่ายการใช้งานโมดูลเซลล์ฯที่ผลิตได้ในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 V



รูปที่ 6.17 ภาพถ่ายการใช้งานโมดูลเซลล์ ที่ผลิตได้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่เครื่องคิดเลข



รูปที่ 6.18 ภาพถ่ายการใช้งานโมดูลเซลล์ ที่ผลิตได้ในการชาร์จถ่าน NiCd ขนาด 2.4 V

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Integrated Type รุ่นต่างๆ ที่ผลิตได้

รุ่นที่	พ.ท. ของเซลล์ย่อยแต่ละตัว (cm ²)	จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม (ตัว)	พ.ท. รวม (cm ²)	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (Volt)	FF (%)	η (%)
1*	2.0	4	8.0	1.26	3.15	44.1	1.75
2	0.33	5	1.65	2.63	3.98	47.7	4.99
3	1.6	12	19.2	0.81	10.10	55.6	4.54

* จากผลการวิจัยในระดับปริญญาตรี(7)

จากผลการทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยประสบความยากลำบากในการพัฒนา microelectronic technology มาใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอนแบบ Integrated Type อาทิเช่น ความแม่นยำในการจัด pattern alignment ของฟิล์มชั้นต่างๆ ซึ่งใช้เพียงมือและสายตาเท่านั้น จากประสบการณ์ที่กำหนดให้เงื่อนไขกระบวนการผลิตเหมือนกันหมด คุณภาพของแผงเซลล์ฯ จะดีหรือไม่นั้น ค่อนข้างจะต้องอาศัยความชำนาญ(skill) ของผู้ผลิตเป็นอย่างมาก ดังนั้น ในการพัฒนาเพื่อให้สามารถผลิตแผงเซลล์ฯ ได้คุณภาพที่ดีอย่างสม่ำเสมอ (มี reproducibility) จำเป็นที่จะต้องสร้างเครื่องมือช่วยด้านการ alignment และตัด mask ในการปลูกฟิล์มชั้นต่าง ๆ เพื่อช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากผู้ผลิตลง