การสร้างและพัฒนาเซลแสงอาทิตย์แบบซิลิกอน

Fabrication and Development of Silicon Solar Cell

สมชัย วงษ์เมตตา

Somchai Wongmetta

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2525

ลพ.
ส 238ก
2525.
ฉ 1
016128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ IV
บทคัดย่อ V
บทที่ 1. บทนำ.....(1)
บทที่ 2. ประวัติเซลแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ .....(3)
2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลแสงอาทิตย์ .....(3)
2.2 พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ .....(4)
2.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลแสงอาทิตย์ .....(5)
บทที่ 3. ทฤษฎี .....(6)
3.1 ทฤษฎีแถบพลังงาน .....(6)
3.2 ผลของโฟโต้โวลตาอิค .....(7)
3.3 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ .....(9)
3.4 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลแสงอาทิตย์ .....(13)
3.5 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์ .....(14)
3.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์.....(14)
3.6.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_L .....(15)
3.6.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_j .....(15)
3.6.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ V_{oc} .....(16)
3.7 ผลของชั้นลดการสะท้อนที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์ .....(18)
3.7.1 การสะท้อนของแสงในตัวกลางต่างชนิดกัน .....(19)
3.7.2 การพิจารณาเลือกชนิดและความหนาของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง
การสะท้อนแสง .....(20)
3.8 ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของเซลแสงอาทิตย์ .....(20)
3.9 ระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยเซลแสงอาทิตย์ .....(21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หน้า

บทที่ 4. ขบวนการสร้างเซลแสงอาทิตย์ .....(22)
4.1 ขบวนการทำความสะอาดผิวหน้าของซิลิกอน .....(22)
4.2 ขบวนการออกซิเดชั่น .....(22)
4.3 ขบวนการเปิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ผิวหน้า .....(22)
4.4 ขบวนการแพร่สารเจือ .....(23)
4.4.1 ขบวนการแพร่สารเจือชนิดพี .....(23)
4.4.2 ขบวนการแพร่สารเจือชนิดเอ็น .....(23)
4.4.3 การสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์บนผิวหน้า .....(24)
4.5 ขบวนการเปิดช่องออกไซด์เพื่อสร้างขั้วโลหะ .....(24)
4.6 ขบวนการสร้างขั้วโลหะ .....(24)
บทที่ 5. การทดลองและผลการทดลอง .....(30)
5.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของเซลล์ที่สร้างได้ .....(30)
5.2 ผลของความต้านทานอนุกรมภายใน .....(38)
5.3 ผลของความเข้มแสง .....(43)
5.4 ผลของอุณหภูมิ .....(46)
5.5 ผลของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง .....(50)
บทที่ 6. การพัฒนาปรับปรุงเซลแสงอาทิตย์ .....(53)
6.1 การทดลองเพิ่มลวดลายขั้วโลหะให้กับเซลล์และลดขบวนการเคลือบอลูมิเนียม
ในสูญญากาศ .....(53)
6.2 ผลการทดลอง .....(54)
6.3 การทดลองลดขบวนการออกซิเดชั่น .....(56)
บทที่ 7. สรุปผลและวิจารณ์ .....(59)
เอกสารอ้างอิง .....(63)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาคผนวกที่ 1 น้ำยาเคมีที่ใช้ในการกัดซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม .....(64)
ภาคผนวกที่ 2 การชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้า .....(65)
ภาคผนวกที่ 3 การคำนวณค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลฯ .....(66)
ภาคผนวกที่ 4 การเก็บบรรจุเซลแสงอาทิตย์ .....(67)
ภาคผนวกที่ 5 ความหมายของสัญญลักษณ์และค่าคงที่ทางฟิสิกส์ .....(68)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการสร้างและพัฒนาเซลแสงอาทิตย์ แบบซิลิกอน สำเร็จลงได้ก็ต้องขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. คาซิโนริ ซาโตะ (Prof. Dr. Kazunori Sato) ที่ปรึกษาชาวญี่ปุ่น จากมหาวิทยาลัยโตไก ประเทศญี่ปุ่น ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้, ขอขอบคุณ รศ.ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนโครงการนี้ด้วยดีตลอดมา, ขอขอบคุณ ผศ. สมเกียรติ สุภเดช อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษามาโดยตลอด ทั้งยังได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายสมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล เจ้าหน้าที่ประจำโครงการศูนย์วิจัยอิเลคทริอนิคส์, นายสมศักดิ์ ชุมช่วย นักศึกษาปีที่ 5 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีส่วนช่วยในการวัดและทดลอง และขอขอบคุณ คุณบุษกร ก้อนนิล, คุณบุญเกื้อ พงษ์สิฏานนท์ ที่ได้ช่วยจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทคัดย่อ

เซลแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ในปัจจุบันเซลแสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น ของซิลิกอน ได้รับการพัฒนาและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะได้กล่าวถึงผลการทดลอง วิจัย สร้าง และพัฒนาเซลแสงอาทิตย์แบบนี้ขึ้นที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ลาดกระบัง รวมทั้งยังได้ทดลองผลของความเข้มแสง, ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์, อุณหภูมิและชั้นลดการสะท้อนแสงที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุง และนำเซลล์ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

Abtract

The Solar cell is an energy conversion device which directly converts solar energy into electrical energy. Up to the present,silicon p-n junction solar cells have been developed and have already found general application. The thesis deals with the results of research, fabrication,and the development of silicon solar cells at the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang.

The effect of light intensity, series resistance, temperature variation, and of the addition of an antireflection layer, on the performance of silicon solar cell are discussed. The influence of such factor on improving efficiency and on solar cell applications are considered.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 1

บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของระบบสุริยะที่เห็นได้ชัดก็คือ พลังงานแสงสว่าง และพลังงานความร้อน ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีพของมนุษย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั้งปวงบนโลก

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง สามารถทำได้โดยอาศัยตัวเปลี่ยนพลังงานที่มนุษย์ได้พยายามประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมาที่เรียกว่า " เซลแสงอาทิตย์ " หรือ " โซลาร์-เซล " (Solar Cell) เซลแสงอาทิตย์นี้ได้ถูกสร้างขึ้นมาเป็นเวลาหลายสิบปีมาแล้ว และได้รับการพัฒนามาโดยตลอด จนมีประสิทธิภาพสูงพอที่จะนำมาใช้งานได้ อย่างไรก็ดีในระยะแรกเซลแสงอาทิตย์เพียงแต่ได้รับความสนใจอยู่ในวงแคบของกลุ่มนักวิจัยเท่านั้น และบทบาทของเซลฯก็จำกัดอยู่ในวงการอวกาศเป็นส่วนใหญ่ มิได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาสูง เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เช่นกัน แต่เมื่อไม่กี่ปีมานี้เองที่โลกได้ประสบกับวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักของโลกในปัจจุบันนี้ และน้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ก็มีทีท่าว่าจะมีราคาสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ทำให้ทุกคนเริ่มมองเห็นปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตที่เองที่ทำให้เซลแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจ และมีการพัฒนามากยิ่งกว่าเดิม นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลแสงอาทิตย์ยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแต่อย่างใดเมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาด้วยวิธีอื่น ๆ เช่นพลังงานกล และพลังงานปรมาณูเป็นต้น อายุการใช้ของเซลฯก็แทบจะไม่มีขีดจำกัดเลยอีกทั้งยังไม่ต้องมาดูแลรักษามากมายอีกด้วย เซลแสงอาทิตย์จึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมอย่างยิ่งประเภทหนึ่งที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานใหม่ของโลกในอนาคต

ปัจจุบันเซลแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานบนพื้นโลกเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในท้องถิ่นทุรกันดาร, บนภูเขาสูง, บนเกาะต่าง ๆ ในประภาคาร ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แสดงผลการทดลองสร้าง เซลแสงอาทิตย์ขึ้นมาภายในประเทศ ทั้งยังได้พิจารณาถึงผลของความเข้มแสง ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ อุณหภูมิและชั้นลดการสะท้อนแสงที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงและนำเซลล์ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ในการทดลองสร้างเซลล์ชุดสุดท้าย ได้ทำการปรับปรุงขบวนการสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เซลล์มีราคาถูกลง โดยที่ประสิทธิภาพไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเท่าใดนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ประวัติเซลแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลแสงอาทิตย์ [1]

ได้มีการค้นพบการทำงานพื้นฐานของเซลแสงอาทิตย์ เมื่อประมาณ 150 ปีมาแล้วโดย ในปี คศ. 1817 เบอร์ซีเลียส (Berzelius) ได้ค้นพบธาตุซีลีเนียม และสามารถเตรียมธาตุซิลิกอนได้เป็นครั้งแรก จากผลอันนี้ทำให้มีการค้นพบลักษณะความนำจำเพาะทางแสง (Photocon ductivity) ในซีลีเนียมโดยวิลลาบี สมิท (Willoughby Smith) ในปี คศ. 1873 จากนั้นจึงได้มีการค้นพบผลของโฟโต้โวลตาอิค (Photovoltaic effect) โดยอดัมและเดย์ (Adum and Day) ในปี คศ. 1876 หลังจากนั้นอีก 7 ปีต่อมาฟริทท์ (Fritts) จึงได้อธิบายถึงโฟโต้โวลตาอิคเซลล์ ที่ทำจากซีลีเนียมเป็นคนแรก และในปี คศ. 1904 ฮอลวอชส์ (Hallwachs) ก็ได้สังเกตุพบความไวต่อแสง (Photosensitivty) ในโครงสร้างของคอปเปอร์คิวปรัสออกไซด์ (Copper Cuprousoxside)

จากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ในการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น แบบโกรว์ จังก์ชั่น (Grown junction) ทำให้มีการเตรียมสร้างอุปกรณ์แบบโฟโต้โวลตาอิค ที่ทำมาจากผลึกรูปเดี่ยวของซิลิกอนในปี 1941 จนกระทั่งอีก 12 ปีต่อมาจึงได้มีการพัฒนาการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น ขึ้นด้วยวิธีการแพร่สารเจือ (Impurity diffusion method) ในปีแรกของการพัฒนาสร้างเซลแสงอาทิตย์ด้วยวิธีใหม่ ทำให้สามารถสร้างเซลล์ที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้ 6% อีก 2 ปีต่อมาทางโรงงานอุตสาหกรรมเอกชนจึงได้เริ่มผลิตอุปกรณ์ประเภทนี้ออกมา เพื่อหวังให้เป็นสินค้าสำคัญของตลาดจึงได้มีการพัฒนาทางด้านขบวนการผลิต, พิจารณาทำความเข้าใจกับทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์รวมทั้งพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์ด้วย ทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมาถึงประมาณ 14% ในปี 1958 จากจุดนี้ วิศวกรจึงได้พยายามที่จะทำให้เซลล์ดีขึ้นกว่าเดิม เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในอวกาศ รวมทั้งปรับปรุงเสถียรภาพต่าง ๆ ให้ดีขึ้นและยังได้พยายามหาทางลดราคาในการผลิตลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาการสร้างเซลล์ด้วยสารประกอบอื่นๆ นอกเหนือไปจากซิลิกอน ซึ่งเป็นธาตุแท้ โดยเริ่มจาก คอปเปอร์ คิวปรัสออกไซด์ แต่ก็พบว่ามันให้พลังงานออกมาน้อยกว่าเซลล์ที่ทำมาจากซิลิกอน จึงได้มีการพัฒนาเซลล์ที่ทำมาจาก แกลเลี่ยม อาเซไนด์, แคดเมียม ซัลไฟด์ และแคดเมียมเทลลูไรด์ ปรากฏว่าเซลล์ที่ทำจากแกลเลียมอาเซไนด์ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า แต่เนื่องจากแกลเลียมอาเซไนด์ มีราคาวัสดุที่สูงกว่าซิลิกอนมาก จึงยังไม่เหมาะสมนักที่จะนำมาทำเซลแสงอาทิตย์ สำหรับแคดเมียมซัลไฟด์ และแคดเมียมเทลลูไรด์ สามารถสร้างเซลล์ได้โดยใช้เทคนิคทางด้านฟิล์มบาง (Thin film) ทำให้เซลล์มีต้นทุนการผลิตลดลง แม้ในช่วงแรกนี้จะได้ประสิทธิภาพต่ำ และเสถียรภาพในการทำงานยังไม่ดีนัก แต่ก็คาดได้ว่าจะเป็นเซลล์ที่มีความสำคัญต่อไปในอนาคต

2.2 พลังงานแสงที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกผ่านชั้นบรรยากาศแอทโมสเฟียร์ (Atmosphere) จะมีพลังงานลดน้อยลง และมีผลตอบสนองทางความถี่แสงแตกต่างไปจากแสงอาทิตย์ ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศแอทโมสเฟียร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในชั้นบรรยากาศแอทโมสเฟียร์ ประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด รวมทั้งไอน้ำและฝุ่นละอองต่างๆ ที่เป็นตัวดูดกลืนพลังงานแสงบางส่วนเอาไว้ และทำให้แสงบางส่วนเปลี่ยนทิศทาง (Scattering)

เพื่อความสะดวกในการพิจารณาความเข้มและผลตอบสนองทางความถี่แสงของแสงอาทิตย์ จึงได้มีการกำหนดค่า แอร์แมสเอ็ม (Air Mass m) ขึ้น โดยที่ แอร์แมสเอ็ม คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางเดินของแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ ต่อระยะทางเดินของแสงเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ แสดงได้โดยสมการ

$$m = \sec z = 1/\cos z$$

เมื่อ z (Zenith angle) คือมุมระหว่างแนวของลำแสงที่ทำกับแนวดิ่ง

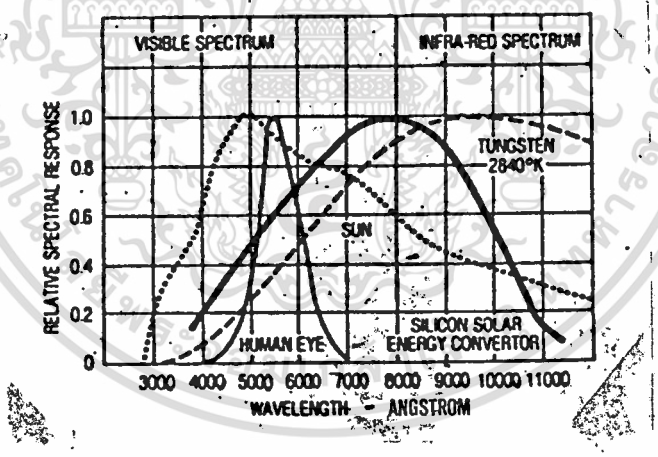
แสงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศแอทโมสเฟียร์จะเรียกว่าชั้น แอร์แมสซีโร่ (Air Mass Zero, AM0) จะถือว่ามีค่าพลังงาน 138 มิลลิวัตต์ ต่อ หนึ่งตารางเซนติเมตร สำหรับแสงอาทิตย์ที่ผิวโลกระดับน้ำทะเลในตอนเที่ยงวัน ที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ จะเรียกว่าชั้น แอร์แมสวัน (Air Mass One, AM1) จะถือว่ามีค่าพลังงาน 100 มิลลิวัตต์ ต่อ หนึ่งตารางเซนติเมตร (2) ปริมาณของพลังงานแสงนี้ ได้ถูกนำมาใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความสามารถของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ในการเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งก็คือประสิทธิภาพของเซลล์นั่นเอง ตามความจริงแล้วพลังงานแสงที่รับได้บนผิวโลกในสถานที่แตกต่างกันจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

มีค่าแตกต่างกันไปแล้วแต่เงื่อนไขและสภาวะทางภูมิศาสตร์ รวมทั้งสภาพของภูมิอากาศในบริเวณนั้นด้วย ดังนั้นในการนำเซลแสงอาทิตย์ไปใช้งานจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ปริมาณของแสงและเวลาที่เซลฯได้รับแสงในแต่ละสถานที่ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการพิจารณาออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยเซลแสงอาทิตย์

2.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลแสงอาทิตย์ [3]

เนื่องจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความถี่ต่าง ๆ มากมายรวมกันอยู่ตั้งแต่แสงที่มองเห็นและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เส้นจุดไข่ปลาในรูปที่ 1 เป็นผลตอบสนองทางความถี่ของแสงอาทิตย์ในชั้น AM1 เมื่อได้พิจารณาผลตอบสนองของเซลแสงอาทิตย์แบบซิลิกอนที่ความถี่แสงต่างๆ ดังแสดงเป็นเส้นทึบหนาไว้ในรูปที่ 1. จะเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของกราฟทั้งสองมีความถี่ไม่ตรงกัน ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียพลังงานแสงในกรณีนี้ไปส่วนหนึ่ง โดยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 5000 อังสตรอม, ส่วนเซลแสงอาทิตย์จะมีผลตอบสนองต่อความถี่แสงมากที่สุดที่ประมาณ 8000 อังสตรอม



รูปที่ 1. ผลตอบสนองทางความถี่แสงของเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

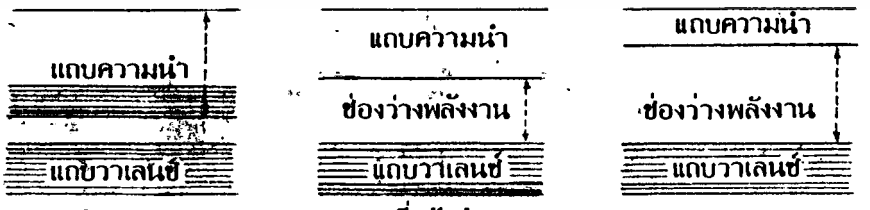
บทที่ 3

ทฤษฎี

ลักษณะการเกิดกระแสและแรงดันในเซลแสงอาทิตย์เป็นไปตามผลของโฟโตโวลตาอิค (Photovoltaic effect) ที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ กระแสและแรงดันที่ได้จากเซลแสงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะ เอ็กโซเนนเชียล (Exponential) เหมือนกับไดโอด เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์มีโครงสร้างเช่นเดียวกับไดโอด เพียงแต่เซลแสงอาทิตย์มีพื้นที่รอยต่อมากกว่าไดโอดและรอยต่อ อยู่ตื้นกว่าไดโอดธรรมดาทั่วไปเท่านั้น

3.1 ทฤษฎีแถบพลังงาน

ทฤษฎีแถบพลังงานได้ถูกนำมาเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์การเกิดกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ ทฤษฎีแถบพลังงานได้แบ่ง แถบพลังงานภายในสารออกเป็น 2 แถบคือ แถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบความนำ (Conduction band) ในแถบวาเลนซ์จะมีระดับพลังงานต่าง ๆ อยู่มากมาย แต่ละระดับจะมีอิเลคตรอนประจำอยู่ โดยไม่มีระดับพลังงานว่างอยู่เลย จึงไม่เกิดการถ่ายเทของอิเลคตรอนขึ้น ส่วนในแถบความนำจะมีระดับพลังงานที่ว่างอยู่มากมาย อิเลคตรอนที่อยู่ในแถบความนำจึงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ระยะห่างระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบความนำจะเรียกว่า " ช่องว่างพลังงาน " (Energy gap) อิเลคตรอนที่จะข้ามจากแถบวาเลนซ์มายังแถบความนำจะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ อิเลคตรอนส่วนนี้เองที่ทำให้เกิดสภาพความนำขึ้น



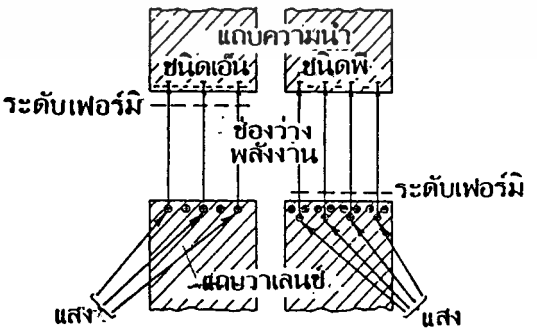
รูปที่ 2. โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ, กึ่งตัวนำและฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เมื่อพิจารณาดูโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ,กึ่งตัวนำ และฉนวนในรูปที่ 2. จะเห็นได้ว่า ในแถบความนำของโลหะมีทั้งระดับพลังงานที่ว่าง และระดับพลังงานที่มีอิเลคตรอนประจำอยู่ อิเลคตรอนจึงสามารถเคลื่อนที่ไปสู่ระดับพลังงานที่ว่างได้ง่าย เมื่อได้รับพลังงานจากภายนอกเพียงเล็กน้อย โลหะจึงมีสภาพความนำสูง ส่วนฉนวนจะมีแต่เพียงระดับพลังงานที่ว่างเท่านั้นในแถบความนำทั้งยังมีช่องว่างพลังงานที่กว้างมาก อิเลคตรอนที่จะทำให้เกิดสภาพความนำขึ้น จะต้องมีพลังงานมากพอที่จะข้ามจากแถบวาเลนซ์มายังแถบความนำได้ ด้วยเหตุนี้ฉนวนจึงมีสภาพความนำต่ำมาก สำหรับสารกึ่งตัวนำจะมีช่องว่างพลังงานไม่กว้างมากนัก ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวจึงสามารถเกิดสภาพความนำขึ้นได้ ถ้าได้รับพลังงานจากภายนอก อย่างเช่นพลังงานความร้อน หรือพลังงานแสงที่มีค่าสูงกว่าช่องว่างพลังงานมากระตุ้นให้อิเลคตรอนข้ามช่องว่างพลังงานนี้ได้

3.2 <u>ผลของโฟโตโวลตาอิค</u> (Photovoltaic effect)

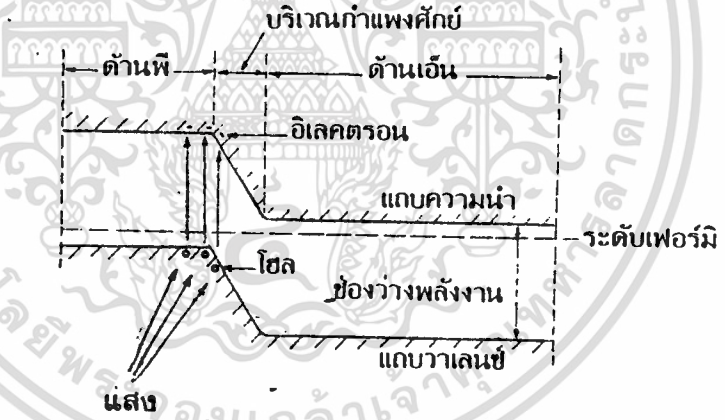
เมื่อจะนำสารกึ่งตัวนำมาสร้างอุปกรณ์อิเลคตรอนิคส์ จะมีการเติมสารเจือลงไปในสารกึ่งตัวนำเพื่อให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิด และความหนาแน่นของสารเจือ ถ้าเติมสารเจือพวกฟอสฟอรัส หรืออาเซนิกซึ่งเป็นธาตุในกรุ๊ปที่ 5 ของตารางธาตุลงไปในสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นธาตุในกรุ๊ปที่ 4 จะทำให้เกิดอิเลคตรอนอิสระขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำชนิดนี้จะเรียกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น แต่ถ้าเติมสารเจือพวกโบรอน หรืออินเดียม ซึ่งเป็นธาตุในกรุ๊ปที่ 3 ลงไปจะทำให้สารกึ่งตัวนำขาดอิเลคตรอน หรือที่เรียกว่ามีโฮลอยู่ (โฮลคือที่ว่างซึ่งขาดอิเลคตรอน) จะเรียกเป็นสารกึ่งตัวชนิดพี



รูปที่ 3. การเกิดอิเลคตรอนและโฮลอันเนื่องมาจากแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ [illegible] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำทั้งชนิดเอ็นและพี เมื่อมีแสงที่มีพลังงานมากพอส่องมากระทบ พลังงานแสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนเอาไว้ ถ้าพลังงานส่วนนี้มีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานแล้วจะทำให้อิเลคตรอนจากแถบวาเลนซ์ข้ามไปยังแถบความนำได้ เหลือเป็นโฮลอยู่ในแถบวาเลนซ์ อิเลคตรอนที่ข้ามไปยังแถบความนำจะวิ่งไปอย่างอิสระในมีทิศทาง จนหมดพลังงานที่จะอยู่ในแถบความนำได้ ก็จะตกลงไปรวมกับโฮลในแถบวาเลนซ์ดังเดิม อิเลคตรอนอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแสงนี้เองที่ทำให้สภาพความนำไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไป แม้จะไม่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้น แต่ก็สามารถนำผลอันนี้ไปสร้างเป็นอุปกรณ์ที่มีสภาพความนำเปลี่ยนแปลงตามแสงได้อย่างเช่น ตัวต้านทานไวแสง หรือที่เรียกว่า แอล ดี อาร์ (Light dependent resistor) เป็นต้น



รูปที่ 4. การเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลแสงอาทิตย์

ตามปกติแล้วระดับเฟอร์มิ (Fermi level) ของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะอยู่ตรงกลางของช่องว่างพลังงาน เมื่อมีการเติมสารเจือให้แก่สารกึ่งตัวนำจะทำให้ระดับเฟอร์มิเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นระดับเฟอร์มิจะขึ้นมาอยู่ใกล้กับแถบความนำ ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีระดับเฟอร์มิจะลดลงไปอยู่ใกล้กับแถบวาเลนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

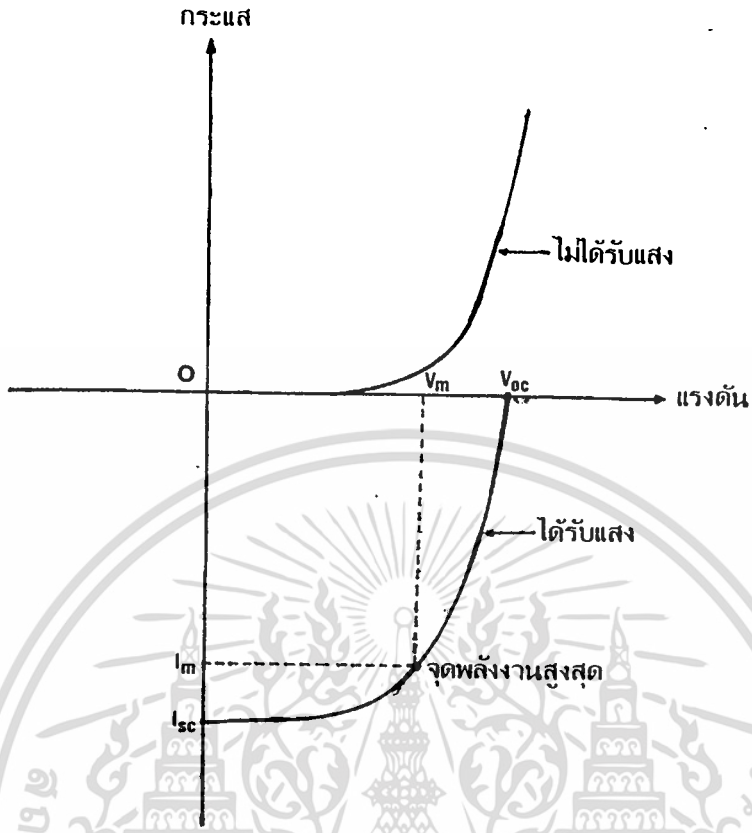
เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีมาต่อกัน จนเกิดเป็นรอยต่อพี-เอ็น สารกึ่งตัวนำทั้งสองจะพยายามรักษาสภาพสมดุลย์ไว้ โดยระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะมาอยู่ในระดับเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4. ที่สภาพสมดุลย์จะเกิดกำแพงศักย์ (Potential barrier) ขึ้นที่รอยต่อ เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่รอยต่อจนเกิดอิเลคตรอนอิสระขึ้นในแถบความนำ และเกิดโฮลขึ้นในแถบวาเลนซ์ จากผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากกำแพงศักย์ จะทำให้อิเลคตรอนไหลไปทางขวาโฮลไหลไปทางซ้าย เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลออกมาภายนอกได้ถ้ามีแหล่งรับพลังงานหรือโหลด (Load) ที่เหมาะสมมาต่ออยู่ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า " ผลของโฟโตโวลตาอิค " อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นโดยอาศัยผลของโฟโตโวลตาอิค จนทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้นี้เรียกว่า " เซลแสงอาทิตย์ " หรือ " โซลาร์เซลล์ " (Solar cell) หรือ "โฟโตโวลตาอิคเซลล์ " (Photovoltaic cell)

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่รับแสงของเซลล์ ส่วนแรงดันจะขึ้นอยู่กับความสูงของกำแพงศักย์ ซึ่งมีค่าสูงสุดได้ไม่เกินช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นช่องว่างพลังงานจึงสามารถใช้เป็นตัวกำหนดแรงดันสูงสุดของเซลล์ได้

3.3 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นรอยต่อ พี-เอ็น เพียงรอยต่อเดียวเหมือนกับไดโอด ดังนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ในขณะที่ยังไม่ได้รับแสงจึงเหมือนกับไดโอดธรรมดาทั่ว ๆ ไปเพียงแต่มีกระแสรั่วที่รอยต่อมากกว่าเท่านั้น เนื่องจากนี้พื้นที่รอยต่อมากกว่าไดโอด ในขณะที่เซลได้รับแสงทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านรอยต่อของเซลล์จะตรงข้ามกับขณะที่ยังไม่ได้รับแสง โดยที่แรงดันยังมีลักษณะเหมือนเดิม กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่ได้จึงตกลงมาอยู่ในควอดแรนท์ที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์

จากกราฟในรูปที่ 5. จะเห็นได้ว่า เซลาจะจ่ายกระแสออกมามากที่สุดเมื่อเซลาถูกลัดวงจรซึ่งให้มีค่าเป็น I_{sc} และเซลาจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลาถูกเปิดวงจรออกซึ่งให้มีค่าเป็น V_{oc} เมื่อได้พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลาซึ่งเป็นผลคูณของกระแสและแรงดันแล้ว จะพบว่าจากกราฟคุณสมบัติของเซลาขณะได้รับแสงในรูปที่ 5. จะมีอยู่จุดหนึ่งผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่าสูงสุดจุดนี้จะเรียกเป็นจุดพลังงานสูงสุดของเซลา กระแสและแรงดันที่จุดนี้จะให้มีค่าเป็น I_m และ V_m ตามลำดับ ถ้านำไปใช้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลดที่มีความต้านทานพอดีกับจุดนี้เซลาก็จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดมีค่าสูงสุด, ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคิดได้จาก อัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_m (โหลด = $\frac{V_m}{I_m}$)

ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความชันของกราฟในรูปที่ 5. คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันจะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลาแต่ละตัวมีความชันแตกต่างกันไปเป็นผลมาจากความต้านทานอนุกรมภายในเซลาแต่ละตัวมีค่าแตกต่างกันซึ่งได้มีพิจารณาไว้แล้วใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในหัวข้อ 3.4 จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะได้ค่า ๆ หนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับทางอุดมคติมากน้อยเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าเป็น ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริง ๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ (4)

$$F.F. = \frac{Pm}{Po} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

เมื่อ F.F คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์

Pm คือ พลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริง ๆ

I_m คือ กระแสสูงสุดที่ได้จากเซลล์

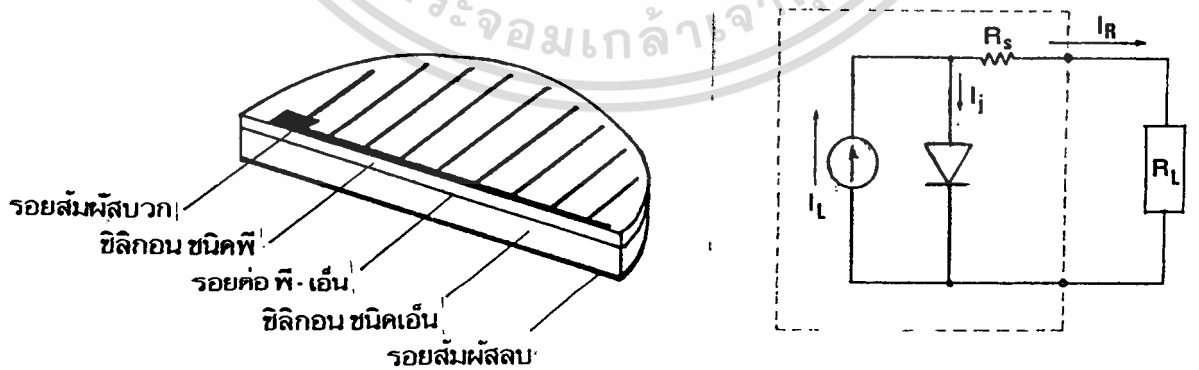
V_m คือ แรงดันสูงที่ได้จากเซลล์

Po คือ พลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

I_{sc} คือ ค่ากระแสขณะลัดวงจร

V_{oc} คือ แรงดันขณะวงจรเปิด

จะเห็นได้ว่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 , ถ้าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้ 1 มากแสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับทางอุดมคติมาก



โครงสร้าง วงจรสมมูลย์

รูปที่ 6. โครงสร้างและวงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เพื่อที่จะเข้าใจคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลแสงอาทิตย์ จะพิจารณาจากวงจรสมมูลย์ (Eqivalent circuit) ของเซลฯในรูปที่ 6. ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซลแสงอาทิตย์นั้นประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่ ซึ่งก็คือ กระแสของเซลฯที่เกิดมาจากแสง ให้มีค่าเป็น I_L, รอยต่อพี-เอ็นของไดโอด และความต้านทานอนุกรมภายในเซลฯ ให้มีค่าเป็น R_s กระแส I_L ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแสงนี้จะแบ่งไหลผ่านไดโอดและ R_s แล้วจึงผ่านมายังโหลด R_L, กระแสที่ไหลผ่าน R_s และ R_L ให้มีค่าเป็น I_R, จะได้ว่า

$$I_L = I_j + I_R \qquad \text{---------(1)}$$

$$I_R = I_L - I_j \qquad \text{---------(2)}$$

เมื่อ $R_s = 0$, กระแส I_j จะมีค่าดังนี้

$$I_j = I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right]$$

ค่า n (Ideality factor) เป็นค่าที่แสดงให้รู้ว่ารอยต่อมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด ในทางอุดมคติ จะถือว่า $n = 1$ ดังนั้น

$$I_j = I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \qquad \text{---------(3)}$$

$$I_R = I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \qquad \text{---------(4)}$$

ในกรณีที่ลัดวงจรทางโหลด เพื่อดูค่ากระแสสูงสุดของเซลฯ (I_{sc}) จะได้ว่า $V = 0$

$$I_R = I_L \qquad \text{---------(5)}$$

ในกรณีนี้ I_R ก็คือ I_{sc} ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสที่เกิดมาจากแสง

ในกรณีที่เปิดวงจรทางโหลดเพื่อดูค่าแรงดันสูงสุดของเซล (V_{oc}) จะได้ว่า $I_R = 0$

$$I_L = I_o \left[\exp \left(\frac{qV_{oc}}{kT} \right) - 1 \right] \qquad \text{---------(6)}$$

$$\ln \frac{I_L}{I_o} = \frac{qV_{oc}}{kT} - 1$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \left(\ln \frac{I_L}{I_o} + 1 \right) \qquad \text{---------(7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.4 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลแสงอาทิตย์

ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่รอยสัมผัส (Contacts) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์นี้เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ได้จากเซลล์มาก จากสมการที่ (4) ซึ่งคิดที่ $R_s = 0$ และได้ I_R ออกมาดังนี้

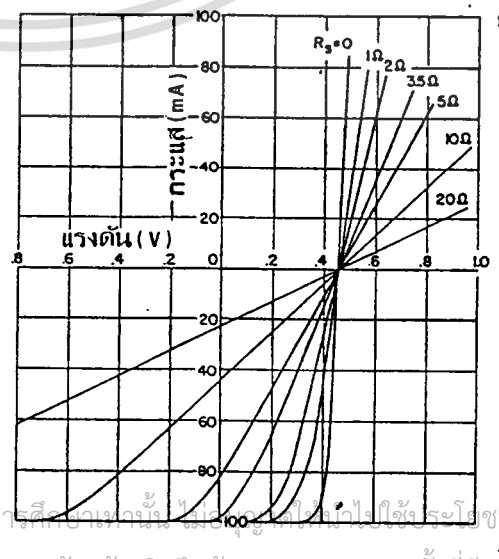
$$I_R = I_L - I_o\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right]$$

ซึ่งถ้า $R_s \neq 0$ แล้ว แรงดัน V_o ที่วัดได้จะเป็นผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อและแรงดันที่ตกคร่อม R_s ซึ่งเท่ากับ $I_R R_s$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อจริง ๆ จะมีค่าดังนี้

แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ $(V) = V_o + I_R R_s$

$$I_R = I_L - I_o\left[\exp\left\{\frac{q(V_o+I_R R_s)}{kT}\right\}-1\right] \qquad \text{---------- (8)}$$

จากสมการที่ (8) สามารถนำไปเขียนกราฟ เพื่อแสดงผลของ R_s ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 7.[5] จากรูปจะเห็นได้ว่าเซลล์ที่มีค่า R_s สูงจะให้กระแสลัดวงจรน้อยลงและความชันของกราฟก็ลดลงด้วยเป็นผลให้พลังงานที่ได้จากเซลล์ลดน้อยลงไปมาก ดังนั้นในการสร้างเซลล์ จึงควรหาทางลดค่า R_s ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

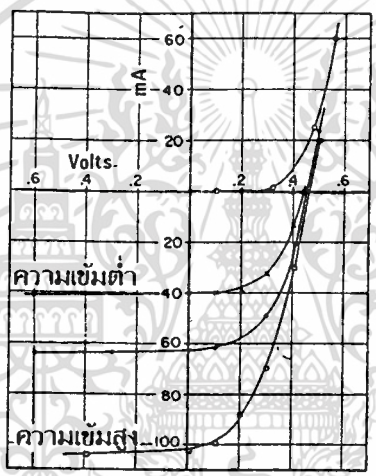


รูปที่ 7. ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์ [6]

เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์ จำเป็นต้องใช้แสงมากกระตุ้นให้อิเลคตรอนมีอิสระหลุดจากการยึดเหนี่ยวกับโอลภายในอะตอม ถ้าแสงที่ส่องมากระทบเซลฯมีความเข้มสูงมากขึ้นก็จะทำให้เกิดอิเลคตรอนอิสระมากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลให้กระแสที่ได้จากเซลฯมีค่าสูงขึ้นด้วย กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลฯที่ความเข้มแสงแตกต่างกันได้แสดงไว้ในรูปที่ 8.



รูปที่ 8. ผลของความเข้มที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์

3.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์

ในการนำเซลฯไปใช้งานจริง ๆ นั้น เซลฯจะต้องได้รับความร้อนอันเนื่องมาจากแสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ก็มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลฯ ด้วย เมื่อได้พิจารณาสมการของกระแส I_R ที่ไหลผ่านมายังโหลด R_L ในสมการที่(2)จะพบว่า กระแส I_R นี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จะขึ้นอยู่กับกระแสที่เนื่องมาจากแสง I_L และกระแส I_j ที่ไหลผ่านรอยต่อ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมาพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_L และ I_j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.6.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_L [7]

กระแส I_L ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแสงจะมีค่าตามสมการต่อไปนี้

$$I_L = qgA(L_n + L_p) \qquad \text{---------(9)}$$

โดยที่ g คือ อัตราเกิดกระแสเนื่องมาจากแสง (generation rate)

L_n, L_p คือ ระยะการแพร่ (diffusion length) ของอิเลคตรอนและโฮล

เนื่องจาก I_L แปรผันตาม g และ L จึงควรพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ g และ L

จากสมการ $L = \sqrt{D\tau}$ ---------(10)

เมื่อ D คือ สัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมของสาร (Diffusion coefficient หรือ Diffusion constant) สำหรับที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้น จะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมน้อยมาก จากสมการของ L จึงเหลืออยู่แต่ค่าอายุของพาหะ, τ (Carrier lifetime) ที่ต้องพิจารณา ซึ่งก็พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้นจะมีผลต่ออายุของพาหะน้อยมากเช่นกัน (สำหรับอายุพาหะนี้จะขึ้นอยู่กับระดับการแพร่ซึมและระดับของการแพร่เป็นส่วนใหญ่)

องค์ประกอบอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อ I_L ก็คือ ค่าอัตราการเกิดของกระแส , g . โดยพบว่าค่า g จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากช่องว่างพลังงานของสารจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานโฟตอนจากแสงสามารถไปกระตุ้นให้เกิดพาหะได้มากขึ้นกว่าเดิม แต่ผลอันนี้เมื่อพิจารณาการนำไปใช้งานจริง ๆ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย (ในช่วง 20-70°c) อุณหภูมิจะมีผลต่อค่า g น้อยมาก จึงสรุปได้ว่า I_L จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากกับอุณหภูมิ

3.6.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_j

เมื่อพิจารณาค่าของ I_j ในสมการที่ (3) ซึ่ง I_j มีค่าดังนี้

$$I_j = I_o\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากสมการจะเห็นได้ว่า I_o จะมีผลต่อกระแส I_j มากที่สุด จึงควรพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_o โดยพิจารณาจากสมการของ I_o ดังนั้น

$$I_o = Aqn_i^2 \left[\frac{1}{N_A} \left(\frac{D_n}{\tau_n}\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{N_D} \left(\frac{D_p}{\tau_p}\right)^{\frac{1}{2}} \right] \qquad \text{---------(11)}$$

จากสมการของ I_o พบว่า n_i^2 ของซิลิกอนจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิดังสมการต่อไปนี้

$$n_i^2 = 15 \times 10^{32} T^3 \exp\left(-\frac{1.21}{kT}\right) \qquad \text{---------(12)[8]}$$

จากสมการจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น n_i^2 จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างเอกโพเนนเชียลเป็นผลให้ I_o มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิด้วย จากผลอันนี้แสดงว่า I_j จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

3.6.3 <u>ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ</u> (V_{oc})

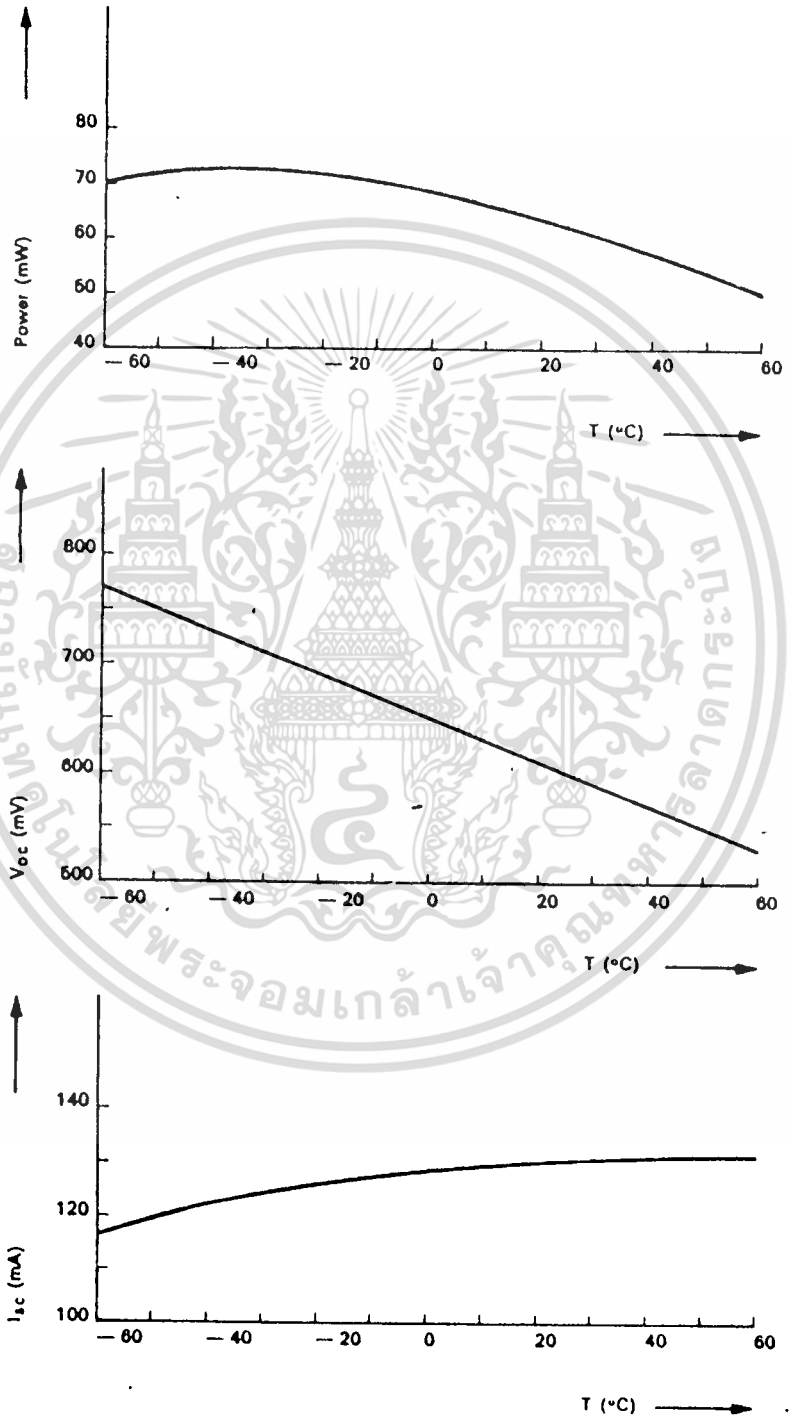
สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันที่ได้จากเซล เพื่อความสะดวกจะพิจารณาค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (V_{oc}) ตามสมการที่(8)ซึ่งได้แสดงไว้ดังนี้

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

จากสมการนี้ค่า $\frac{kT}{q}$ จะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของ V_{oc} เนื่องจากค่า k/q มีค่าต่ำมาก, ค่าที่มีผลต่อ V_{oc} ก็คือ I_o ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เป็นผลให้ V_{oc} มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

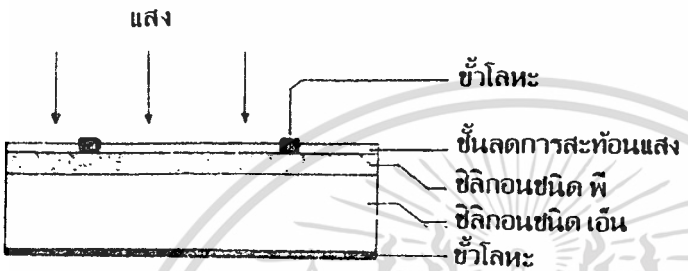
ซึ่งผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_{sc}, V_{oc} และ P_o ได้แสดงไว้ในรูปที่ 9.(9)



รูปที่ 9 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระแส, แรงดันและพลังงานของเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ผลของชั้นลดการสะท้อนแสงที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์



ดัชนีหักเห (n) ของสาร
ที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง (10)

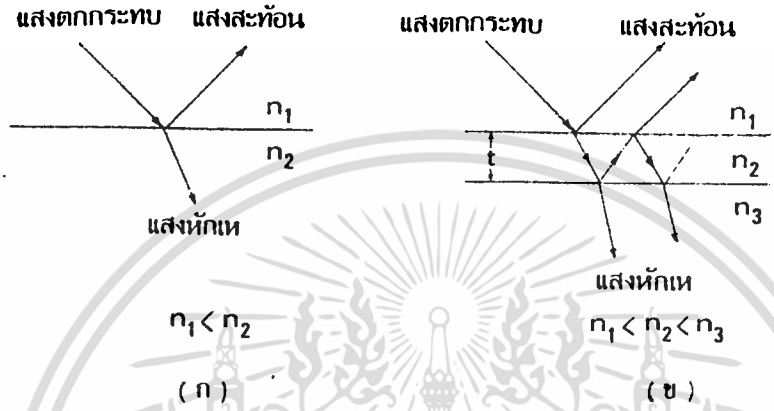
สาร	n'
SiO_2	1.5
SiO	1.9
Sn_nO_2	2.1
Zn_nS	2.3
TiO_2	2.6

รูปที่ 10. โครงสร้างของเซลล์ ที่มีชั้นลดการสะท้อนแสง และตัวอย่างดัชนีหักเหของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

ในการนำเซลล์ไปใช้งานเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้านั้น เนื่องจากแสงทั้งหมดที่ส่องมากระทบผิวหน้าเซลล์ จะมีบางส่วนถูกดูดกลืนเอาไว้เพื่อนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า และมีบางส่วนสะท้อนไปจากผิวหน้าของเซลล์ แสงส่วนที่สะท้อนออกไปจากผิวหน้านี้เองที่สูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์ เพื่อที่จะนำแสงส่วนนี้มาใช้ประโยชน์อีกจึงควรมีชั้นลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าของเซลล์ ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่ยอมให้แสงผ่านเข้าไปยังผิวหน้าของเซลล์ได้ เมื่อแสงสะท้อนกลับออกจากผิวหน้าของเซลล์ ชั้นลดการสะท้อนแสงจะทำให้แสงบางส่วนสะท้อนกลับลงไปยังผิวหน้าของเซลล์อีก ช่วยให้เซลล์ได้รับความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม จึงทำให้เซลล์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นตามไปด้วย ชั้นลดการสะท้อนแสงจะช่วยให้แสงสะท้อนกลับลงไปยังผิวหน้าของเซลล์ได้มากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหและความหนาของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.7.1 การสะท้อนของแสงในตัวกลางต่างชนิดกัน



รูปที่ 11. การสะท้อนของแสงในตัวกลาง (ก) 2 ชนิด, (ข) 3 ชนิด

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิด จะมีแสงส่วนหนึ่งสะท้อนกลับ และส่วนหนึ่งหักเหผ่านตัวกลาง สัมประสิทธิของการสะท้อนกลับ (Coefficient of reflection, ρ) หาได้ดังนี้

$$\rho = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

โดยที่ n_1 และ n_2 เป็นค่าดัชนีหักเหแสงของตัวกลาง 2 ชนิด

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแสง n_1 ไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแสง n_2 ถ้า $n_1 < n_2$ แสงส่วนใหญ่จะหักเหเข้าสู่ตัวกลางที่มีดัชนีหักเห n_2 และแสงส่วนน้อยจะสะท้อนกลับออกไปในทางตรงกันข้าม ถ้า $n_1 > n_2$ แล้วแสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับออกไป ดังรูปที่ 11.

ถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลาง 3 ชนิด ที่มีดัชนีหักเหแสงเป็น n_1, n_2 และ n_3 ตามลำดับ ถ้า $n_1 < n_2 < n_3$ แสงส่วนใหญ่จะหักเหเข้าสู่ตัวกลางที่ 2 และ 3 แสงส่วนที่สะท้อนออกจากผิวหน้าของตัวกลางที่ 3 เมื่อมาถึงผิวหน้าของตัวกลางที่ 2 แสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับลงมายังหน้าของตัวกลางที่ 3 อีก และแสงส่วนน้อยหักเหเข้าสู่ตัวกลางที่ 1 ดังรูปที่ 11. การสะท้อนกลับนี้เอง ที่ทำให้ผิวหน้าของตัวกลางที่ 3 ได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.7.2 <u>การพิจารณาเลือกชนิดและความหนาของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง</u> [11]

ในการสร้างชั้นลดการสะท้อนแสงให้กับเซลแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงค่าดัชนีหักเหและความหนาของชั้นลดการสะท้อนแสงด้วย ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการต่อไปนี้

$$n_2 = \sqrt{n_1 n_3} \qquad \text{---------- (14)}$$

$$n_2 = \frac{\lambda}{4} \qquad \text{---------- (15)}$$

เมื่อ n_1 คือ ดัชนีหักเหของอากาศ มีค่า = 1

n_2 คือ ดัชนีหักเหของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

n_3 คือ ดัชนีหักเหของสารที่ใช้สร้างเซลแสงอาทิตย์ สำหรับซิลิกอน มีค่า = 3.42

t คือ ความหนาของชั้นลดการสะท้อนแสง

λ คือ ความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบผิวหน้าของเซลฯ

จากสมการ (14) และ (15) จะทำให้สามารถคำนวณค่าดัชนีหักเหและความหนาของสารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสงได้ สำหรับค่าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบผิวหน้าเซลฯควรคิดจากความยาวคลื่นแสงที่เซลฯมีความไวสูงสุด โดยพิจารณาจากผลตอบสนองของเซลฯที่มีต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในรูปที่ 1.

3.8 <u>ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของเซลแสงอาทิตย์</u>

ประสิทธิภาพของเซลแสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลฯต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลฯ ซึ่งเขียนสรุปออกมาเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลฯ}}{\text{พลังงานแสงที่เซลฯได้รับ}} \times 100$$

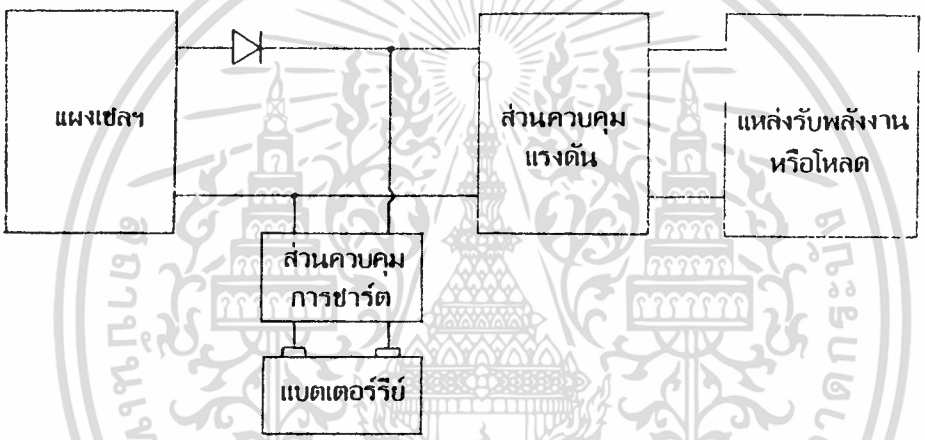
เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้หน่วยมาตราฐานเป็น มิลลิวัตต์ต่อหนึ่งตารางเซนติเมตร ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลฯ ควรคิดออกมาในหน่วยมิลลิวัตต์ต่อหนึ่งตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพของเซลล์นี่เองที่จะทำให้ทราบว่าเซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด

3.9 ระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยเซลแสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์ ให้พลังงานไฟฟ้าได้เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น เพื่อที่จะใช้พลังงานไฟฟ้า ได้ทั้งกลางวันและกลางคืน จึงจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ช่วยเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าเอาไว้ใช้ในเวลากลางคืน



รูปที่ 12.ระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยเซลแสงอาทิตย์

การนำแบตเตอรี่มาใช้งาน จำเป็นจะต้องมีส่วนควบคุมด้วย เพื่อช่วยควบคุมการชาร์ตของแบตเตอรี่ และควบคุมไม่ให้แบตเตอรี่เกิดโอเวอร์ชาร์ต (Over charge) สำหรับไดโอดที่ต่ออยู่ระหว่างแบตเตอรี่กับแผงเซลล์ จะช่วยป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลกลับเข้าไปในแผงเซลล์ในเวลากลางคืนขณะที่เซลล์ไม่ได้ทำงาน จึงช่วยให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดได้นานขึ้น

ในการนำเซลล์ ไปใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่จะต้องเลือกใช้แรงดันและความจุของแบตเตอรี่ให้เหมาะสม เพื่อให้แบตเตอรี่ใช้กับโหลดได้ และพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่จะต้องมากพอที่จะจ่ายให้กับโหลดขณะที่เซลล์ไม่ได้ทำงาน เมื่อนำแบตเตอรี่มาใช้งานร่วมกันเช่นนี้ แผงเซลล์จะต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นมี กระแสและแรงดันที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และโหลดได้ในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขบวนการสร้างเซลแสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นนี้มีลักษณะเป็นรอยต่อพี-เอ็น เช่นเดียวกับไดโอด ดังนั้นขบวนการในการสร้างจึงคล้ายคลึงกันมาก เพียงแต่เซลแสงอาทิตย์มีพื้นที่รอยต่อมากและอยู่ตื้นกว่าไดโอด จึงใช้เวลาในการแพร่ซึมน้อยกว่าไดโอดธรรมดา แผ่นซิลิกอนที่จะนำมาสร้างควรมีความต้านทานจำเพาะต่ำ ๆ เพื่อช่วยลดความต้านทานอนุกรมภายในเซลฯ ขบวนการในการสร้างจะเริ่มต้นจากการทำความสะอาดผิวหน้าเป็นอันดับแรกเรื่อยไปจนถึงขบวนการสุดท้ายคือ ขบวนการสร้างขั้วโลหะให้กับเซลฯ ขบวนการนี้ใช้สำหรับสร้างเซลฯ เดี่ยวแบบเต็มแผ่นซิลิกอน

4.1 ขบวนการทำความสะอาดผิวหน้าของซิลิกอน (Cleaning process)

- ต้มในน้ำยาไตรโคลโรเอทธิลีน (Trichloroethylene) 3 นาที 2 ครั้ง
- ล้างในเครื่องสั่นความถี่สูง (Supersonic cleaner) ด้วยน้ำยาอะซิโตน (Acetone) 3 นาที 2 ครั้ง
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์

4.2 ขบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation process)

- กัดผิวหน้าแผ่นซิลิกอนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 5% 10 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- นำแผ่นซิลิกอนเข้าไปในเตาออกซิเดชั่นที่มีอุณหภูมิ 1100 องศาเซนติเกรด, ปล่อยก๊าซออกซิเจนให้ไหลผ่านเข้าไปในเตาในอัตรา 1000 ซี ซี ต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ปกคลุมด้านหน้าและด้านหลังแผ่นซิลิกอนหนาประมาณ 2200 อังสตรอม

4.3 ขบวนการเปิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ผิวด้านหน้า

- เคลือบน้ำยาไวแสง AZ 1350 ที่ด้านหลังและที่ขอบของแผ่น แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซนติเกรด ประมาณ 20 นาที ในกรณีที่สร้าง 4 เซลฯ พร้อมกันในแผ่นเดียวจะเคลือบน้ำยาไวแสงเต็มด้านหน้าของแผ่นและเปิดช่องออกไซด์ด้วยต้นแบบสำหรับเปิดช่องออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กัดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ด้านหน้า ด้วยน้ำยาบัฟเฟอร์ (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ 1) ประมาณ 1 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ล้างน้ำยาไวแสงออกด้วยน้ำยาอะซิโตน
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ล้างผิวหน้าแผ่นซิลิกอนด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก 5% นาน 10 วินาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ และเป่าให้แห้ง

4.4 ขบวนการแพร่สารเจือ

4.4.1 การแพร่สารเจือชนิดพี (ใช้กับแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น)

- นำแผ่นโบรอนไนไตรด์ (BN) ใส่ในเตาแพร่สารที่มีอุณหภูมิ 975 องศาเซนติเกรด เป็นเวลา 30 นาที โดยปล่อยให้ก๊าซออกซิเจนไหลผ่านเตาในอัตรา 800 ซี ซี ต่อนาทีตลอดเวลา
- นำแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น วางคู่กับแผ่นโบรอนไนไตรด์ ในเตาแพร่สารที่อุณหภูมิ 975 องศาเซนติเกรด เป็นเวลา 30 นาที โดยปล่อยก๊าซไนโตรเจนให้ไหลผ่านเข้าไปในเตาในอัตรา 800 ซี ซี ต่อนาที ตลอดเวลาช่วงนี้สารเจือจากแผ่นโบรอนจะแพร่ซึมเข้าสู่แผ่นซิลิกอน

4.4.2 การแพร่สารเจือชนิดเอ็น (ใช้กับแผ่นซิลิกอนชนิดพี)

- นำแผ่นฟอสฟอรัส เพนต็อกไซด์ (P_2O_5) ใส่ในเตาแพร่สารที่มีอุณหภูมิ 975 องศาเซนติเกรด ปล่อยให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านเตาในอัตรา 800 ซี ซี ต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
- นำแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น วางคู่กับแผ่นฟอสฟอรัส เพนต็อกไซด์ในเตาแพร่สารเดิม, ปล่อยให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านเตาในอัตรา 300 ซี ซี ต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที สารเจือฟอสฟอรัสจากแผ่นฟอสฟอรัสจะแพร่ซึมเข้าสู่แผ่นซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ บนผิวหน้าเพื่อใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

- นำแผ่นซิลิกอนที่ได้รับการแพร่สารเจือแล้วไปอบในเตาแพร่สารเจือที่มีอุณหภูมิ 1100 องศาเซนติเกรด, ปล่อยให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านเข้าไปในเตาในอัตรา 1000 ซี ซี ต่อนาทีพร้อมทั้งปล่อยไอน้ำ ให้ไหลผ่านเข้าไปในเตาด้วยเป็นเวลา 10 นาที จะเกิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์หนาประมาณ 1200–1300 อังสตรอม และทำให้สารเจือแพร่ซึมลงไปในซิลิกอนอีกเล็กน้อย

4.5 ขบวนการเปิดช่องออกไซด์เพื่อสร้างขั้วโลหะ

4.5.1 กรณีที่ใช้ต้นแบบลวดลายชนิดลบ

- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ 1350 ที่ด้านหน้าของแผ่นซิลิกอน, อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซนติเกรด เป็นเวลา 20 นาที
- สร้างลวดลายที่จะเปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ บนผิวหน้าด้วยต้นแบบลวดลายชนิดลบ
- กัดซิลิกอนไดออกไซด์ด้านหลังและลวดลายด้านหน้าด้วยน้ำยาบัฟเฟอร์
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ล้างน้ำยาไวแสงด้วยน้ำยาอะซิโตน
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ และเป่าให้แห้ง

4.5.2 กรณีที่ใช้ต้นแบบลวดลายชนิดบวก

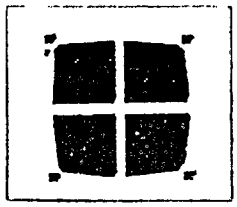
- เคลือบน้ำยาไวแสง Waycoat ซึ่งเป็นน้ำยาไวแสงชนิดลบ ที่ด้านหน้าของแผ่นซิลิกอน, อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซนติเกรด เป็นเวลา 20 นาที
- สร้างลวดลายที่จะเปิดช่องออกไซด์บนผิวหน้าด้วยต้นแบบลวดลายชนิดบวก
- กัดซิลิกอนไดออกไซด์ด้านหน้าและหลังด้วยน้ำยาบัฟเฟอร์
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) 20 นาที เพื่อล้างน้ำยาไวแสง
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์ 10 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์และเป่าให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

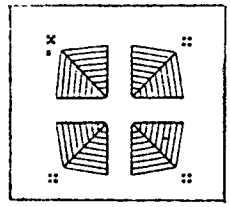
4.6 ขบวนการสร้างชิ้วโลหะ

- เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นซิลิกอน โดยใช้อุปกรณ์เคลือบโลหะสูญญากาศ (Evapolator), ใช้ความกดดันประมาณ 10^{-5}ทอร์
- เคลือบน้ำยาไวแสง AZ-1350 ที่ด้านหน้าและด้านหลังแผ่นซิลิกอน แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซนติเกรด ประมาณ 20 นาที
- สร้างลวดลายโลหะบนผิวหน้าซิลิกอน ด้วยต้นแบบลวดลายชนิดขาว
- กัดอลูมิเนียมด้านหน้าออกให้เป็นลวดลายตามแบบ ด้วยกรดกัดอลูมิเนียม (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ 1)
- ล้างน้ำบริสุทธิ์ และเป่าให้แห้ง
- อบแผ่นซิลิกอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซนติเกรด เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้อลูมิเนียมเป็นรอยสัมผัสโอห์มิค (ohmic contact) ที่ดีกับซิลิกอน
- นำแผ่นซิลิกอนไปชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้า (Electroless nickel plating) (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ 2) เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
- นำแผ่นเวลาไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ ประมาณ 160 องศาเซนติเกรด ประมาณ 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปบัดกรีติดตั้งบนฐานรอง เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติ

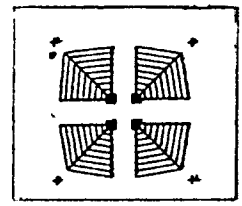
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



สำหรับเปิดช่องออกไซด์
เพื่อแพร่สารเจือ

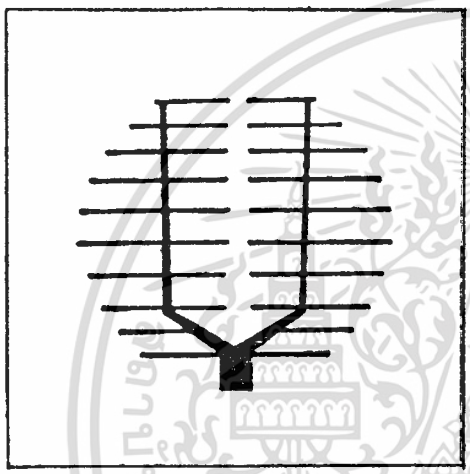


สำหรับเปิดช่องออกไซด์
เพื่อทำขั้วโลหะ

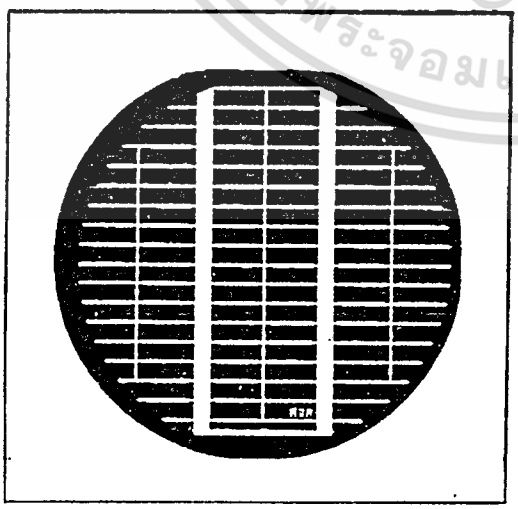


สำหรับทำลวดลาย
ขั้วโลหะ

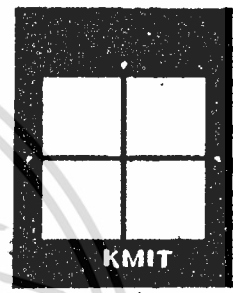
ต้นแบบ SC-1 : ต้นแบบชนิดบวก



ต้นแบบ SC - 2 : ต้นแบบชนิดบวก
สำหรับเปิดช่องออกไซด์และทำลวดลาย
ขั้วโลหะ

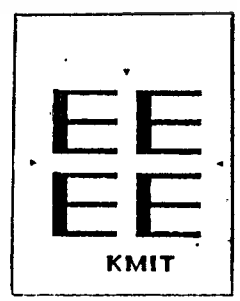


ต้นแบบ SC - 4 : ต้นแบบชนิดลบ
สำหรับเปิดช่องออกไซด์



ชนิดลบ : ใช้เปิดช่องออกไซด์
เพื่อแพร่สารเจือ

ชนิดลบ : ใช้เปิดช่องออกไซด์
เพื่อทำขั้วโลหะ



ชนิดบวก : ใช้ทำลวดลาย
ขั้วโลหะ

ต้นแบบ SC - 3

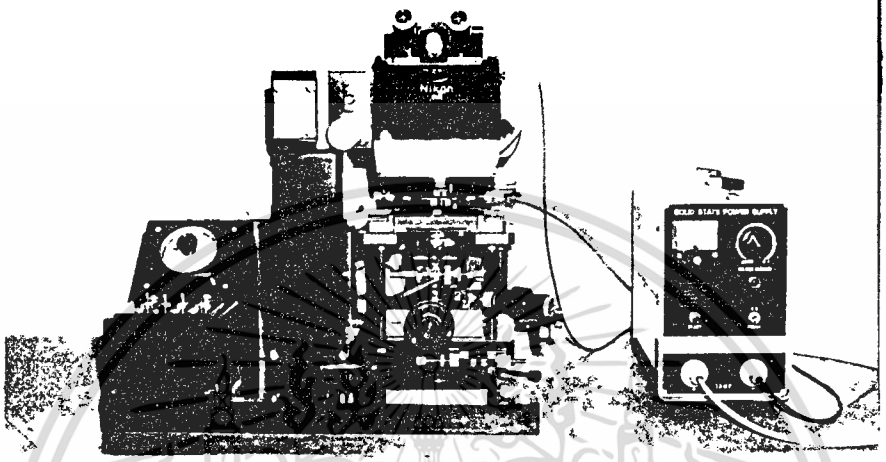
รูปที่ 13. ต้นแบบสำหรับสร้างเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

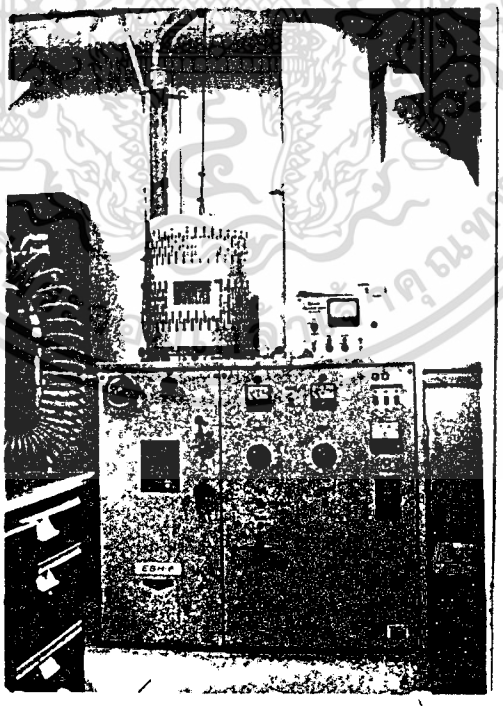
รูปที่ 14. เตาแพร่สารใช้สำหรับแพร่ซีมสารเจือเข้าไปในแผ่นซิลิกอน

รูปที่ 15. ต้นแบบลวดลายเซลแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนจอของกล้องถ่ายภาพย่อส่วน (Reduction camera) ภาพที่ถ่ายได้จะอยู่บนฟิล์มกระจก และใช้เป็นต้นแบบลวดลายในการสร้างเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

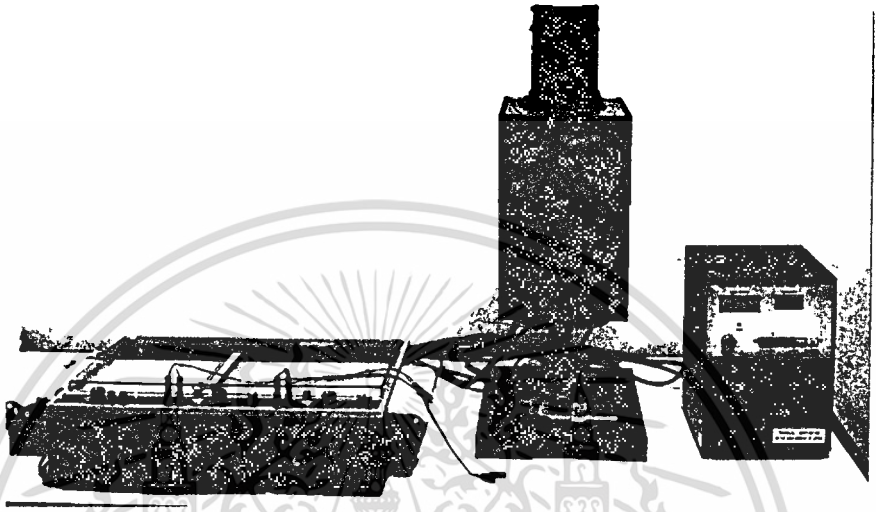


รูปที่ 16. เครื่องถ่ายแบบลวดลายลงบนเซลแสงอาทิตย์

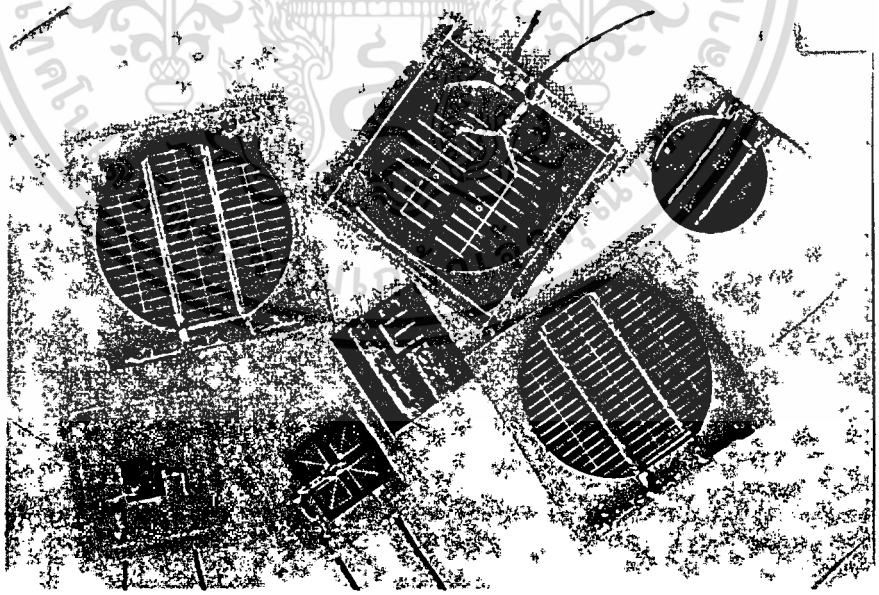


รูปที่ 17. อุปกรณ์เคลือบโลหะในสุญญากาศ (Evaporator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 18. เครื่องเขียนกราฟและเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมที่ใช้ในการวัดหาคุณสมบัติของเซลล์



รูปที่ 19. เซลแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ ที่ทดลองสร้างขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของเซลล์ที่สร้างได้

5.1.1 การทดลอง

1. สร้างเซลล์ตามขบวนการสร้างในบทที่ 4 โดยใช้แผ่นซิลิกอนแบบแผ่นผลึกรูปเดี่ยว (Single crystal) ชนิดเอ็นผิวกระจกที่มีความต้านทานจำเพาะ 0.1 โอห์ม-เซนติเมตร หนาราว 300 ไมครอน, มีระนาบ <111> , เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เซลล์ที่สร้างได้มีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

เซลล์ A และเซลล์ B สร้างจากต้นแบบลวดลาย SC-1 ซึ่งเป็นต้นแบบลวดลายแรกที่ออกแบบสำหรับใช้สร้างเซลล์ต้นแบบนี้สามารถสร้างเซลล์ได้ 4 เซลล์พร้อมกัน แต่ละเซลล์มีพื้นที่ 0.641 ตารางเซนติเมตร, พื้นที่รับแสงประมาณ 0.44 ตารางเซนติเมตร

เซลล์ A เป็นเซลล์เดี่ยวที่มีพื้นที่รับแสง 0.44 ตารางเซนติเมตร

เซลล์ B เป็นเซลล์เดี่ยว 4 เซลล์ที่ต่อขนานกันอยู่บนแผ่นซิลิกอนเดียวกัน มีพื้นที่รับแสงประมาณ 1.76 ตารางเซนติเมตร

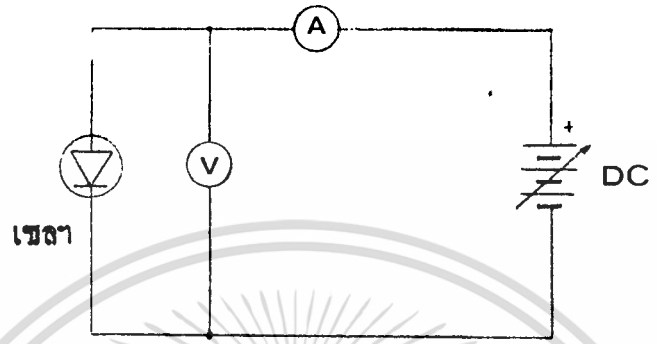
เซลล์ C เป็นเซลล์ที่สร้างจากต้นแบบลวดลาย SC-2 มีพื้นที่รับแสงประมาณ 12.6 ตารางเซนติเมตร

2. นำเซลล์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วมาต่อเป็นวงจรไบอัสตรงในรูปที่ 20 เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเซลล์ในขณะที่ยังไม่ได้รับแสง ข้อมูลที่ได้นำไปเขียนกราฟที่มีสเกลแบบเชิงเส้น (Linear scale) ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 22.

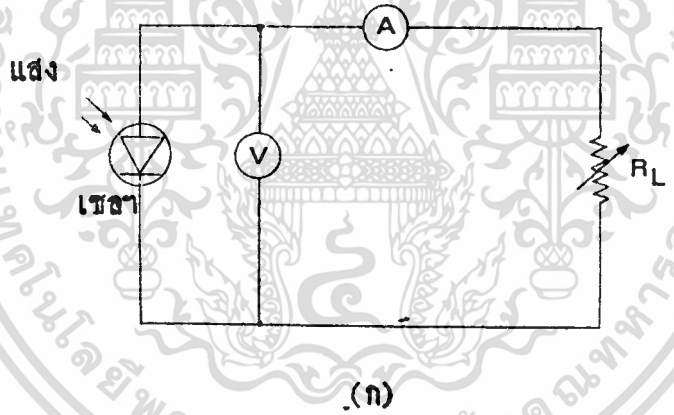
3. นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแบบเซมิล็อกดังรูปที่ 23. เพื่อหาค่าความต้านทานอนุกรมภายใน (รายละเอียดดูในภาคผนวกที่ 4)

4. นำเซลล์มาต่อตามวงจรในรูปที่ 21.ข เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเซลล์ขณะได้รับแสงจากเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม (Solar Simulator) ซึ่งมีความเข้มแสงประมาณ 100 มิลลิวัตต์ ต่อหนึ่งตารางเซนติเมตร กราฟผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 24, 25 และ 26

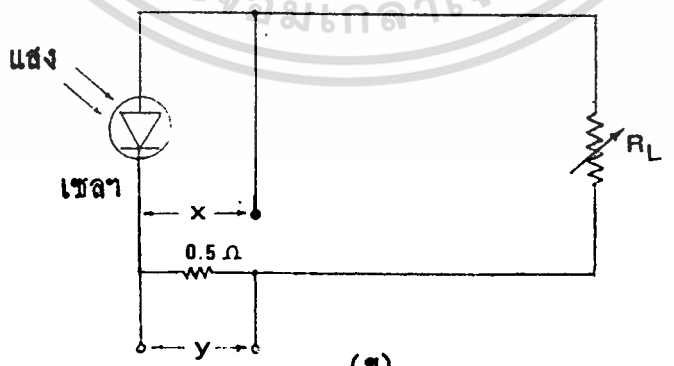
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20. การวัดคุณสมบัติของเซลา ขณะได้รับไบอัสตรง



(ก)



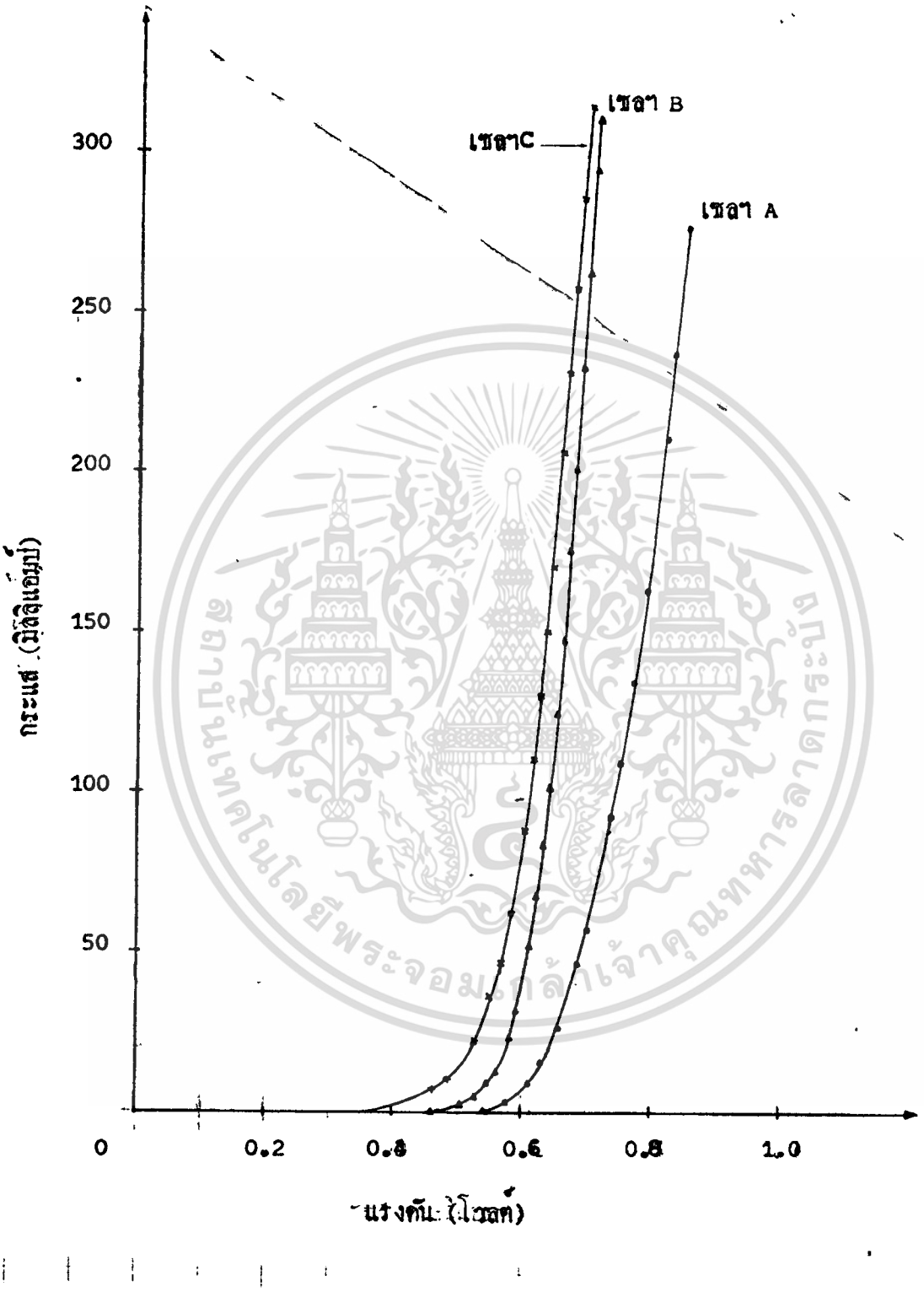
(ข)

รูปที่ 21. การวัดคุณสมบัติของเซลา ขณะได้รับแสง

(ก) วัดโดยใช้มิเตอร์

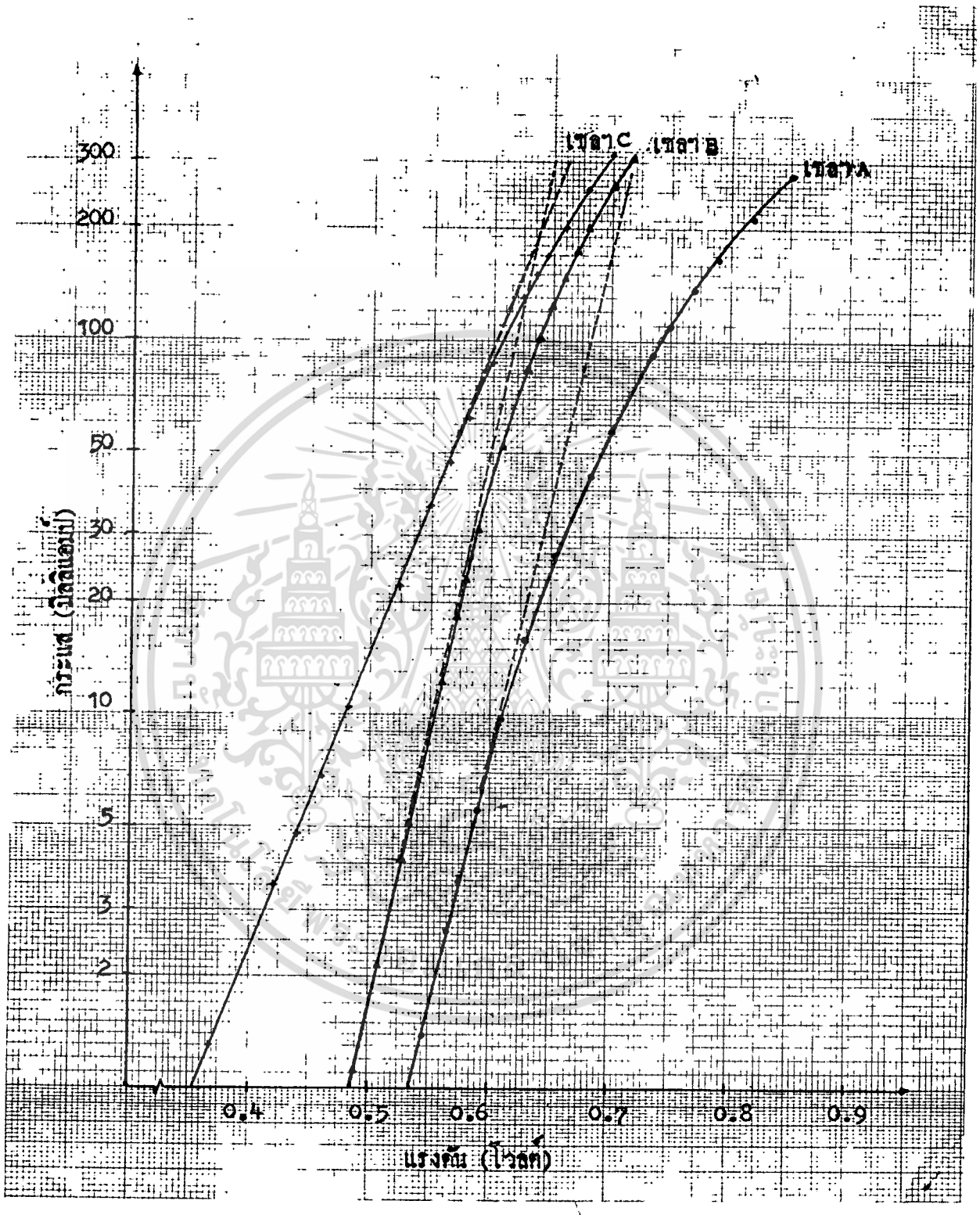
(ข) วัดโดยใช้เครื่องเขียนกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 22. กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ขณะได้รับไบอัสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ขณะได้รับไบอัสตรง ที่เขียนอยู่บนกราฟเซมิล็อก เพื่อหาค่าความต้านทานอนุกรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

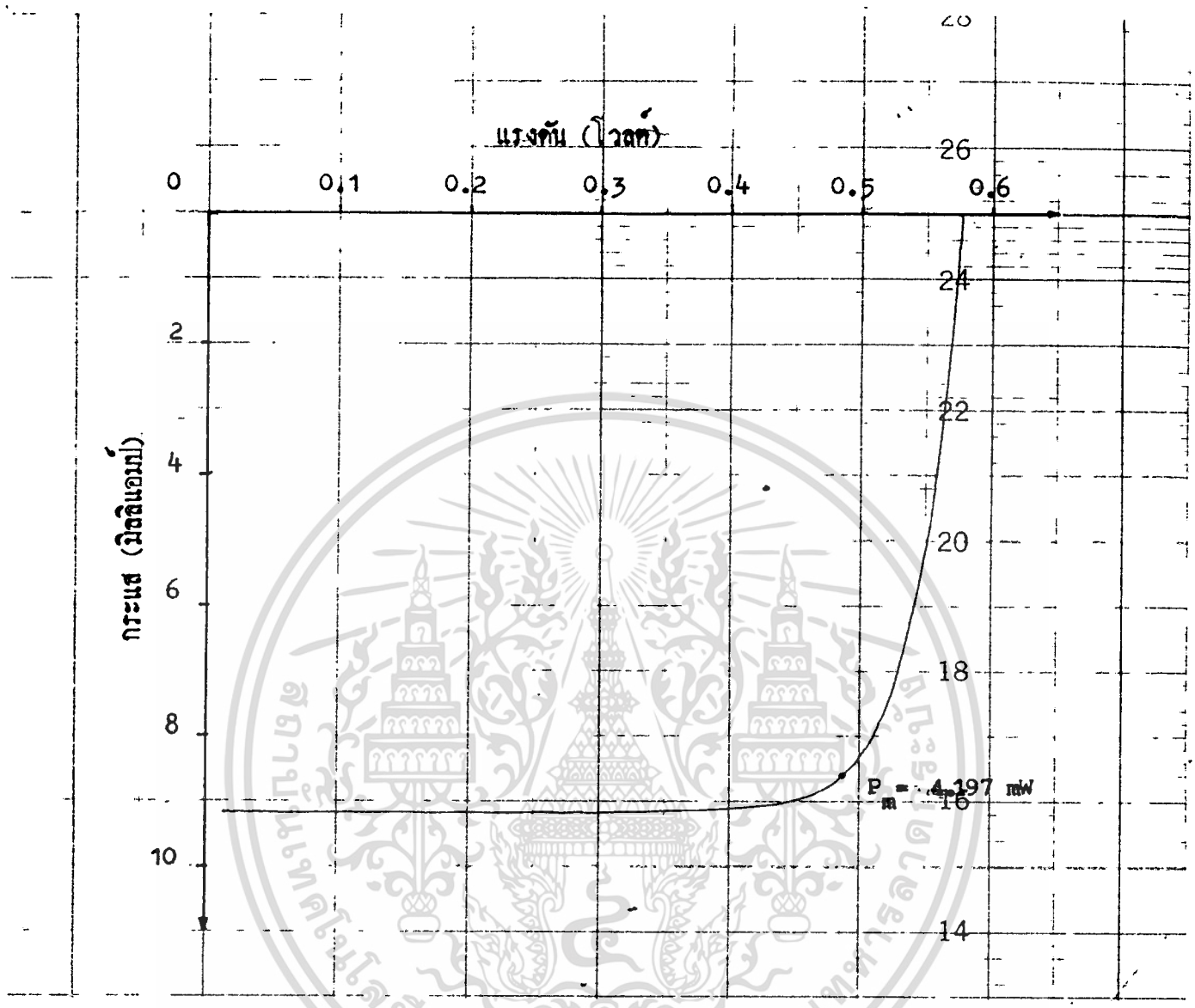
ค่าความต้านทานอนุกรมภายในของเซลล์ A, B และ C

กระแส (มิลลิแอมป์)	เซลล์A		เซลล์B		เซลล์C	
	ΔV (มิลลิโวลต์)	R_s (โอห์ม)	ΔV (มิลลิโวลต์)	R_s (โอห์ม)	ΔV มิลลิโวลต์)	R_s (โอห์ม)
150	80	0.53	30	0.2	14	0.093
200	100	0.5	40	0.2	20	0.1
250	125	0.5	53	0.212	25.5	0.102

ค่า R_s โดยเฉลี่ยของเซลล์A = 0.51 โอห์ม

ค่า R_s โดยเฉลี่ยของเซลล์B = 0.204 โอห์ม

ค่า R_s โดยเฉลี่ยของเซลล์C = 0.1 โอห์ม

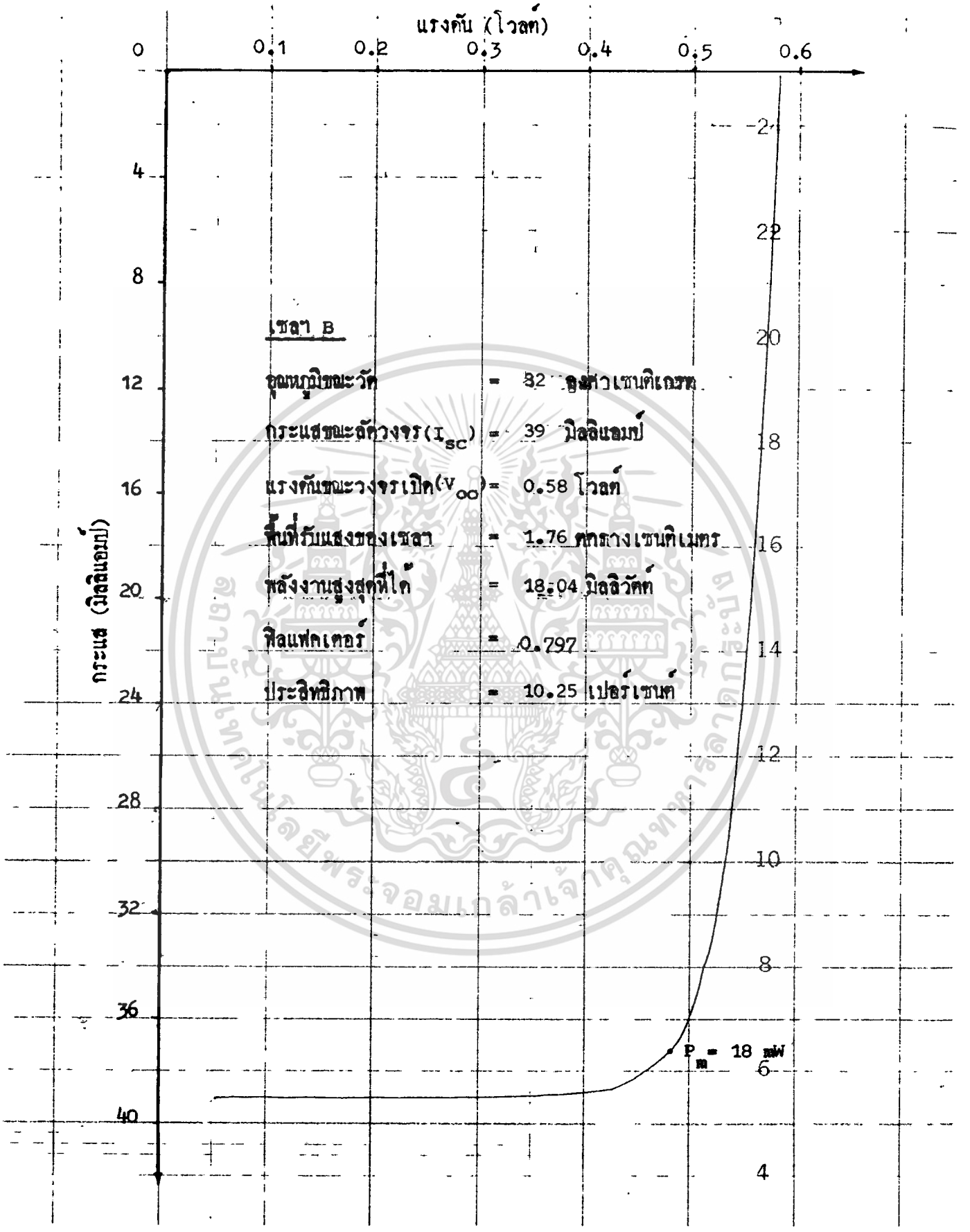


เซลล์ A

อุณหภูมิขณะวัด	=	32	องศาเซนติเกรด
กระแสขณะลัดวงจร (I_{SC})	=	9.2	มิลลิแอมป์
แรงดันขณะวงจรเปิด (V_{oc})	=	0.575	โวลต์
พื้นที่รับแสงของเซลล์	=	0.44	ตารางเซนติเมตร
พลังงานสูงสุดที่ได้ (P_m)	=	4.197	มิลลิวัตต์
ฟิลแฟคเตอร์	=	๐.793	
ประสิทธิภาพ	=	9.54	เปอร์เซนต์

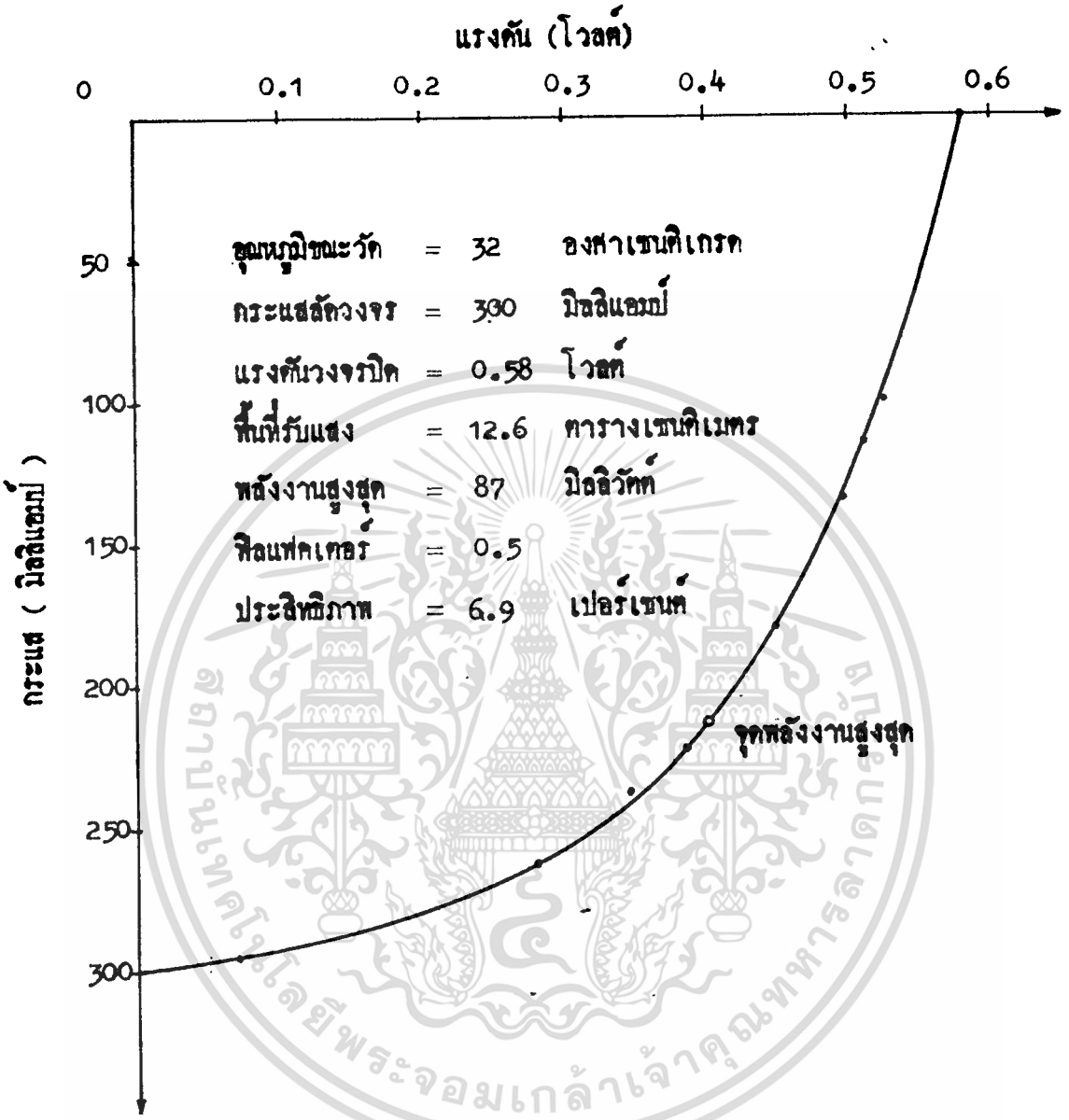
รูปที่ 24. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

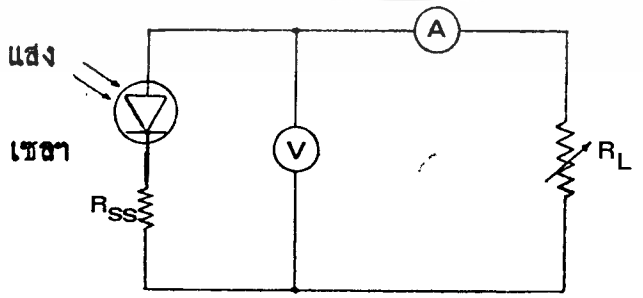
5.2 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์

5.2.1 การทดลอง

นำเซลล์ A และ B มาต่อตามวงจรทดลองในรูปที่ 27, R_{ss} เป็นค่าความต้านทานที่ใส่ไว้เพื่อใช้เป็นความต้านทานอนุกรมภายในที่เปลี่ยนค่าได้ ดังนั้นค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จึงเป็นผลรวมของค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์จริง ๆ กับค่าความต้านทานอนุกรมจากภายนอก ทำการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ที่ค่า R_{ss} ต่าง ๆ กัน ผลที่ได้แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 28. และ 29.

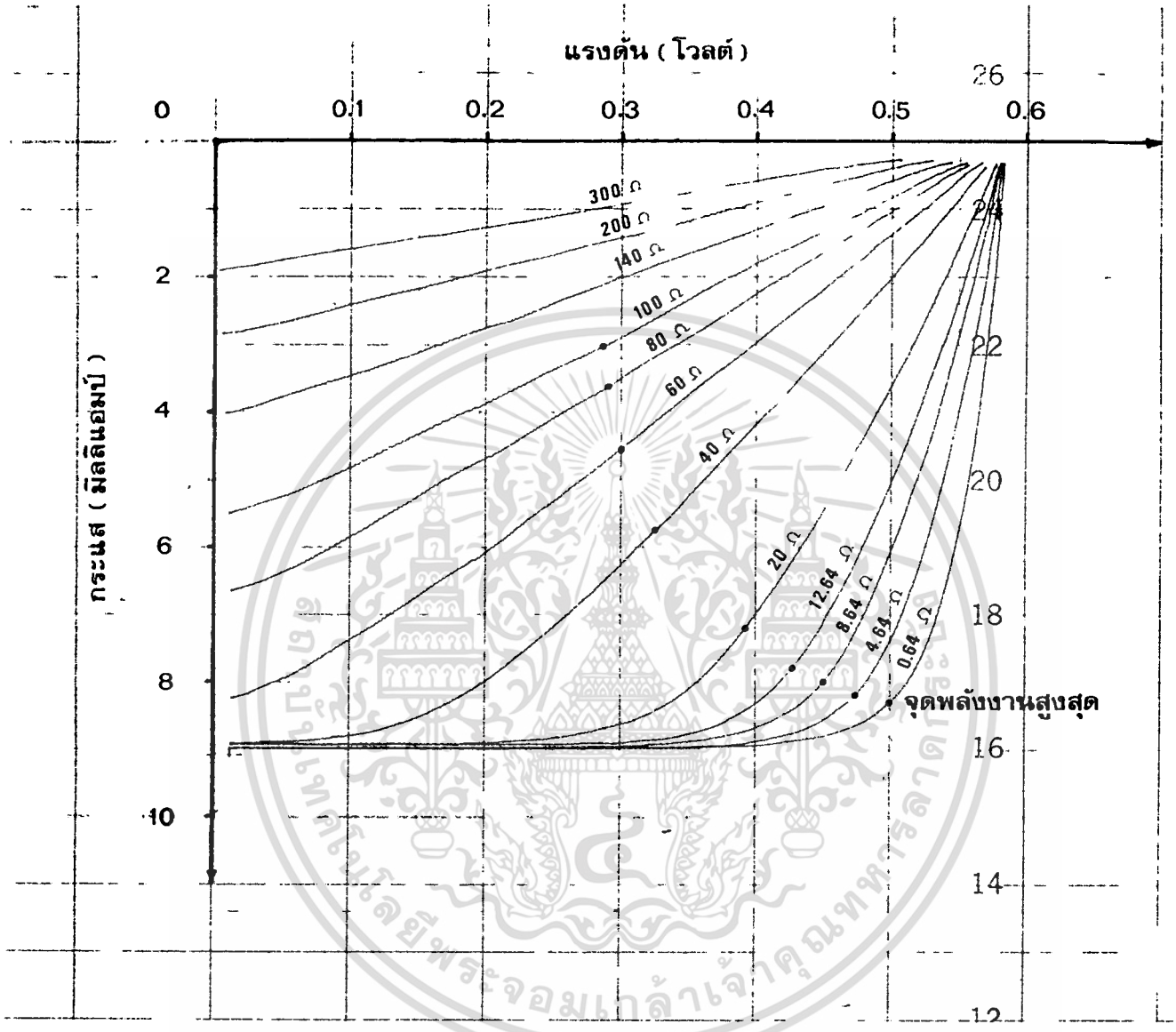
5.2.2 ผลการทดลอง

จากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 28 และ 29 จะเห็นได้ว่าความต้านทานอนุกรมภายในมีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์มาก เซลล์ที่มีความต้านทานอนุกรมภายในสูงจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาน้อยมาก ดังนั้นในการสร้างเซลล์จึงควรหาทางลดค่าความต้านทานอนุกรมภายในให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อจะดูผลของความต้านทานภายในที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ จึงได้สรุปข้อมูลจากกราฟในรูปที่ 28 และ 29 ออกมาเป็นตารางข้อมูลที่ 2 เพื่อที่จะเปรียบเทียบให้เห็นผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์ A และเซลล์ B จึงได้ทำการนอร์มอลไลค์ค่าพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ทั้งสองให้มีค่าเป็นหนึ่ง ในกรณีที่ความต้านทานอนุกรมภายในมีค่าต่ำสุด ส่วนพลังงานสูงสุดค่าอื่น ๆ ก็จะถูกลดทอนลงมาในอัตราเดียวกัน ค่าที่ได้แสดงไว้เป็นกราฟในรูปที่ 30.



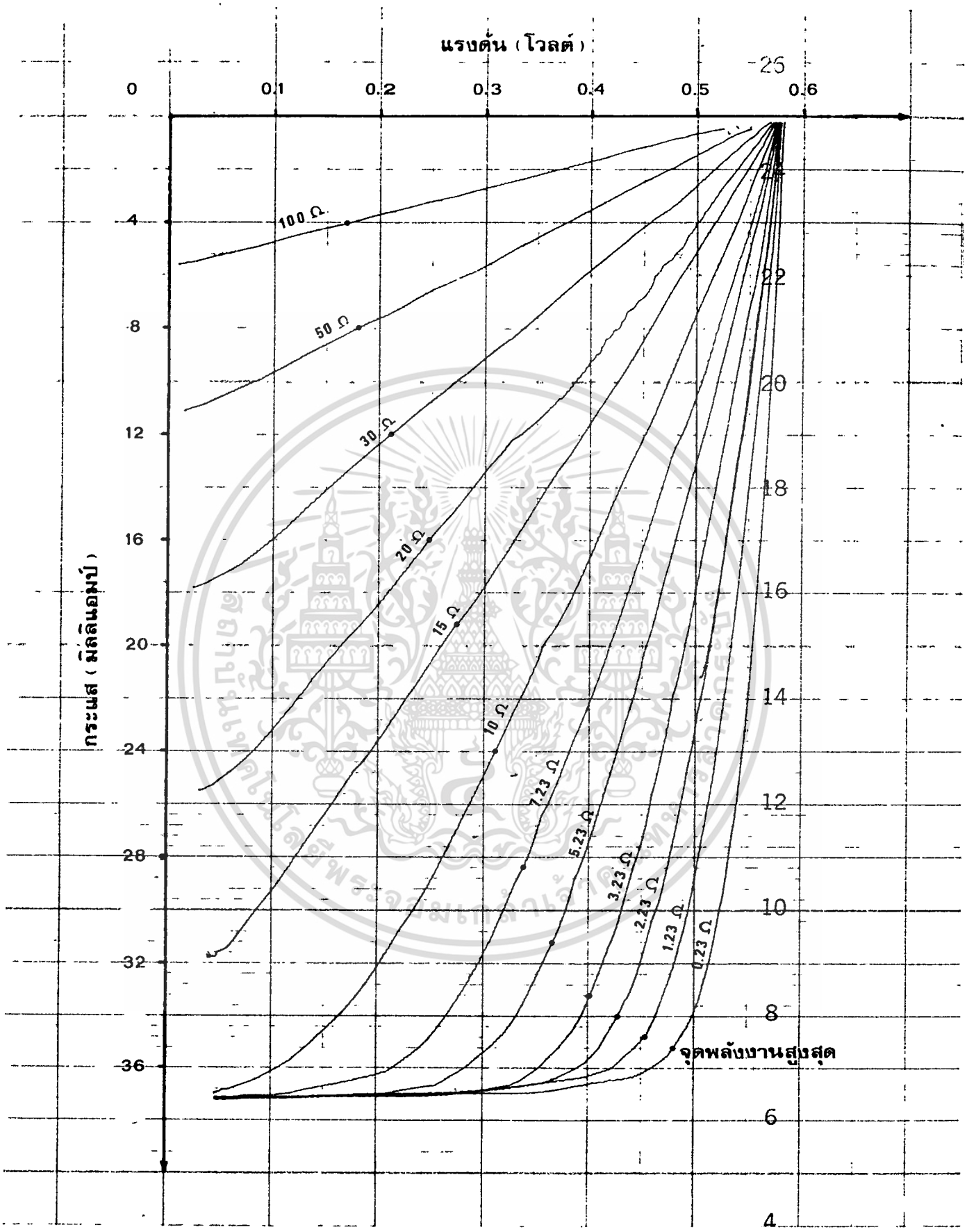
รูปที่ 27 วงจรทดลองวัดผลของความต้านอนุกรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



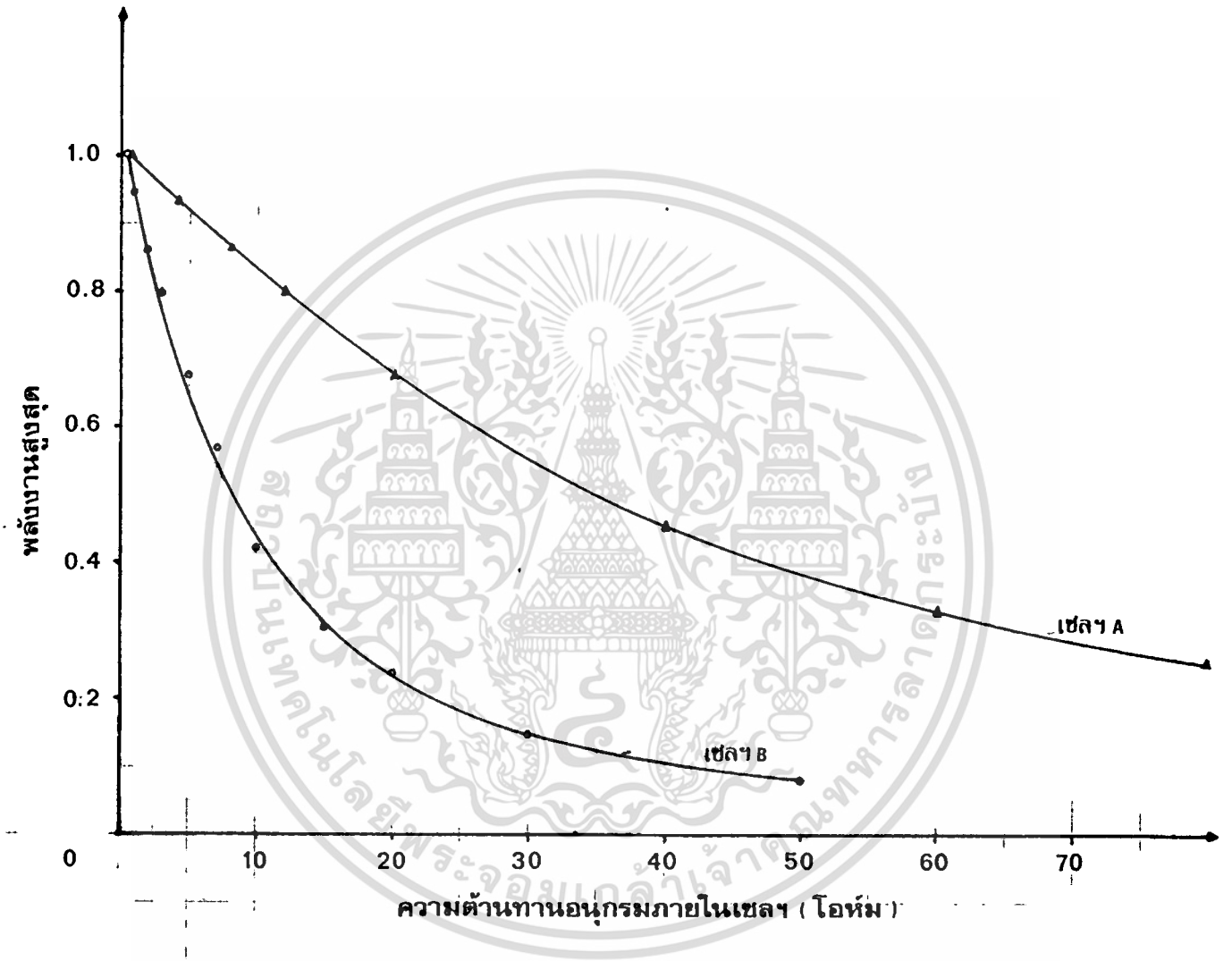
รูปที่ 28 กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ A ที่มีความต้านทานอนุกรมภายในแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 29. กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ B ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 30. กราฟแสดงผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อพลังงานที่ได้จากเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข้อมูลที่ 2

เซลา A			เซลา B		
ความต้านทานอนุกรม (โอห์ม)	พลังงานสูงสุด (มิลลิวัตต)	ค่านอร์มอลไลท์	ความต้านทานอนุกรม (โอห์ม)	พลังงานสูงสุด (มิลลิวัตต)	ค่านอร์มอลไลท์
0.64	4.15	1	0.23	16.82	1
4.64	3.87	0.932	1.23	15.82	0.9405
8.64	3.6	0.867	3.23	13.40	0.769
12.64	3.31	0.7976	2.23	14.48	0.860
20	2.8	0.675	5.23	11.38	0.676
40	1.885	0.454	7.23	9.57	0.568
60	1.374	0.331	10	7.44	0.442
80	1.047	0.252	15	5.22	0.413
100	0.87	0.209	20	4.02	0.239
			30	2.52	0.150
			50	1.40	0.083

เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลา จะเห็นได้ว่าเซลา B ซึ่งมีพื้นที่มากและให้พลังงานสูงสุดออกมามากกว่าเซลา A ค่าพลังงานสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วมากกับค่าความต้านทานอนุกรมที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการสร้างเซลาขนาดใหญ่เพื่อให้เซลาจ่ายพลังงานออกมาสูง ก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดค่าความต้านทานอนุกรมภายในให้มีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลของความเข้มแสง

5.3.1 การทดลอง

นำเซลแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1.76 ตารางเซนติเมตรที่สร้างขึ้นมาต่อตวมวงจรทดลอง สำหรับวัดคุณสมบัติของเซลฯในรูปที่ 21.ข แล้วฉายแสงให้เซลฯตั้งแต่ความเข้ม 300, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 และ 6000 ลักซ์ บันทึกข้อมูลความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันในแต่ละความเข้มแสงเอาไว้แล้วนำไปเขียนเป็นกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 31.

5.3.2 ผลการทดลอง

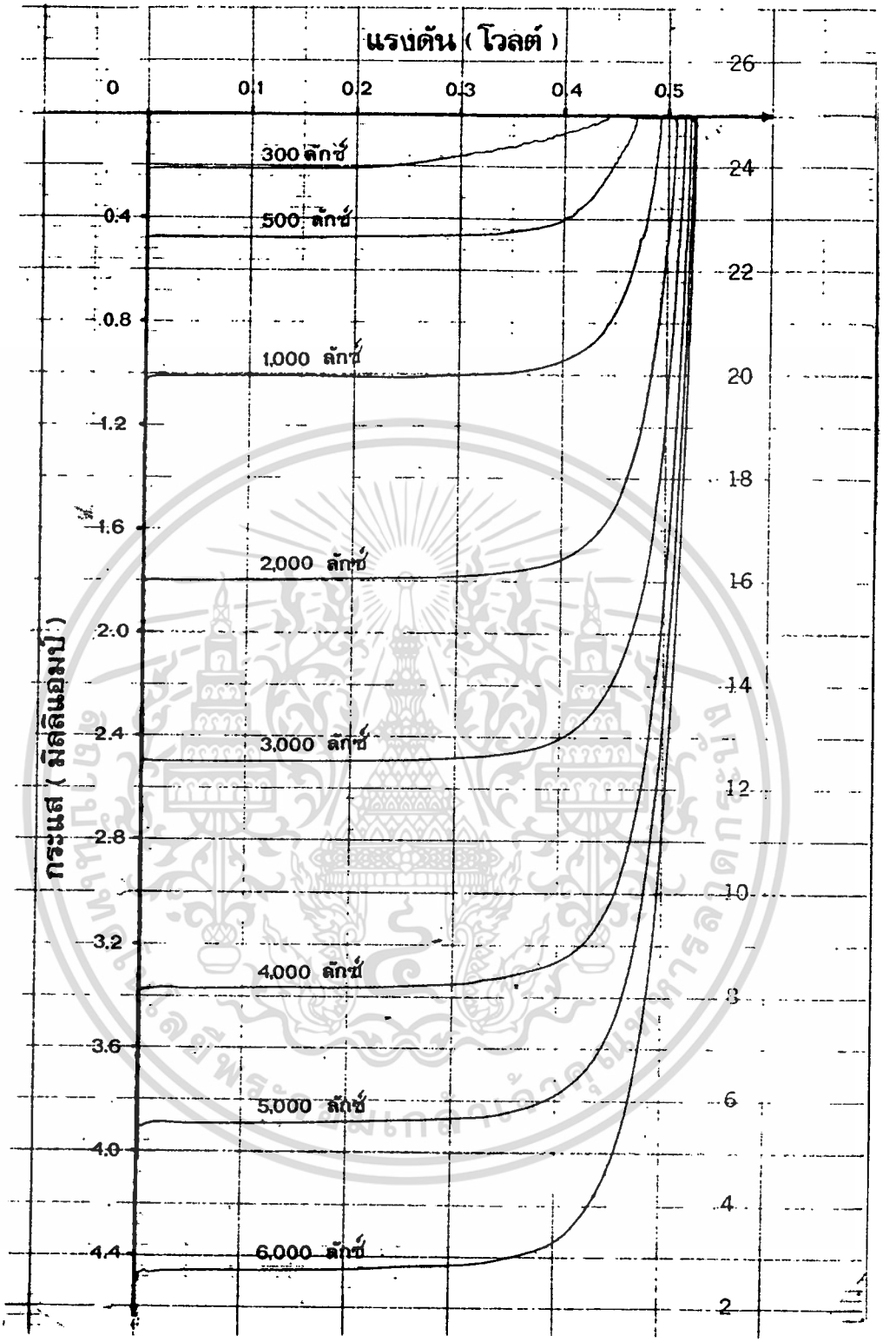
จากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 31 สามารถเขียนสรุปออกมาเป็นตารางข้อมูลที่ 3. ได้ดังนี้

ตารางข้อมูลที่ 3

ความเข้มแสง (ลักซ์)	I_{sc} (มิลลิแอมป์)	V_{oc} (โวลต์)
300	0.22	0.44
500	0.48	0.47
1000	1.0	0.95
2000	1.7	0.508
3000	2.5	0.515
4000	3.35	0.520
5000	3.9	0.525
6000	4.45	0.527

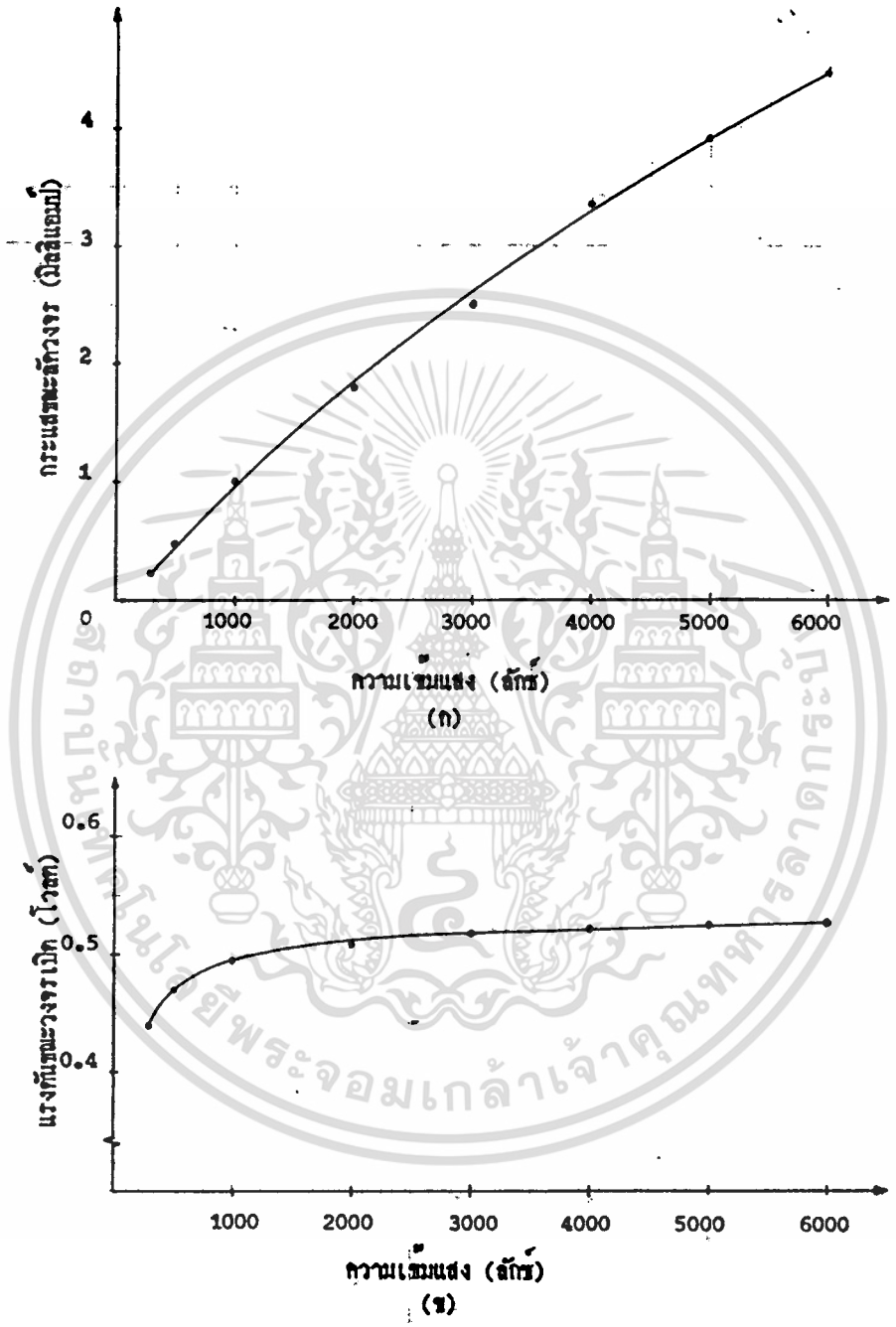
จากตารางข้อมูลที่ 1 สามารถเขียนเป็นกราฟเพื่อแสดงผลของความเข้มแสงที่มีต่อกระแสและแรงดันที่ได้ ดังรูปที่ 31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 31 . กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 32 ก. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อกระแสขณะลัดวงจรของเซลแสงอาทิตย์

ข. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อกระแสขณะลัดวงจรเปิดของเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 32 ก. พบว่าความเข้มแสงและกระแสที่ได้จากเซลาจะมีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นโดยถ้ายิ่ง เพิ่มความเข้มแสงมากขึ้นเท่าใดก็จะได้กระแสมากขึ้นตามไปด้วย

จากกราฟในรูปที่ 32 ข. พบว่าความเข้มแสงและแรงดันที่ได้จากเซลาจะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะเอ็กโพเนนเชียล โดยแรงดันจะเปลี่ยนตามความเข้มแสงในช่วงแรก ๆ เท่านั้น เมื่อความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่า 1,000 ลักซ์แล้วแรงดันจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

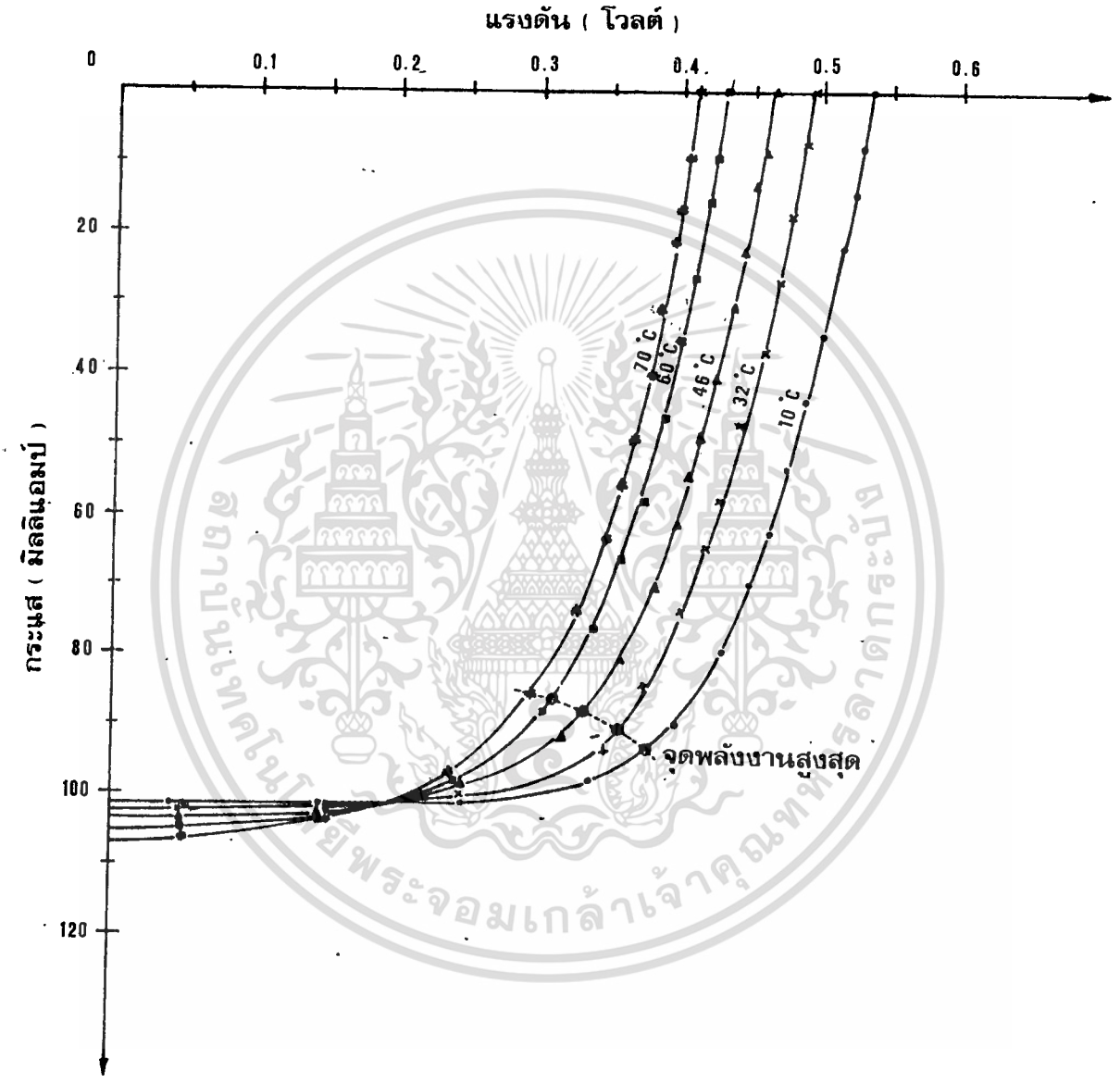
จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบจ่ายไฟด้วยเซลแสงอาทิตย์ได้ เมื่อพิจารณาการนำเซลาไปใช้งาน เซลาจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เฉพาะช่วงเวลากลางวันซึ่งมีแสงพอเพียงเท่านั้น เพื่อให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตลอดเวลา จึงต้องมีแบตเตอรี่ช่วยเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลาเอาไว้ในเวลากลางวันพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ก็จะถูกนำออกมาใช้แทนเซลาได้ ลักษณะการนำเซลามาต่อร่วมกับแบตเตอรี่นั้นสามารถต่อได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีวงจรรักษาระดับแรงดัน เนื่องจากแรงดันที่ได้จากเซลามีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักตามความเข้มแสง สำหรับกระแสที่ใช้ชาร์ตแบตเตอรี่ จำเป็นจะต้องมีค่าคงที่อยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดความจุแบตเตอรี่ แต่เนื่องจากกระแสเปลี่ยนแปลงมากตามความเข้มแสง จึงจำเป็นต้องมีส่วนควบคุมกระแสที่จะเข้าสู่แบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่เสมอ เพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น บล็อคไดอะแกรมแสดงระบบจ่ายไฟด้วยเซลแสงอาทิตย์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 12.

5.4 ผลของอุณหภูมิ

5.4.1 การทดลอง

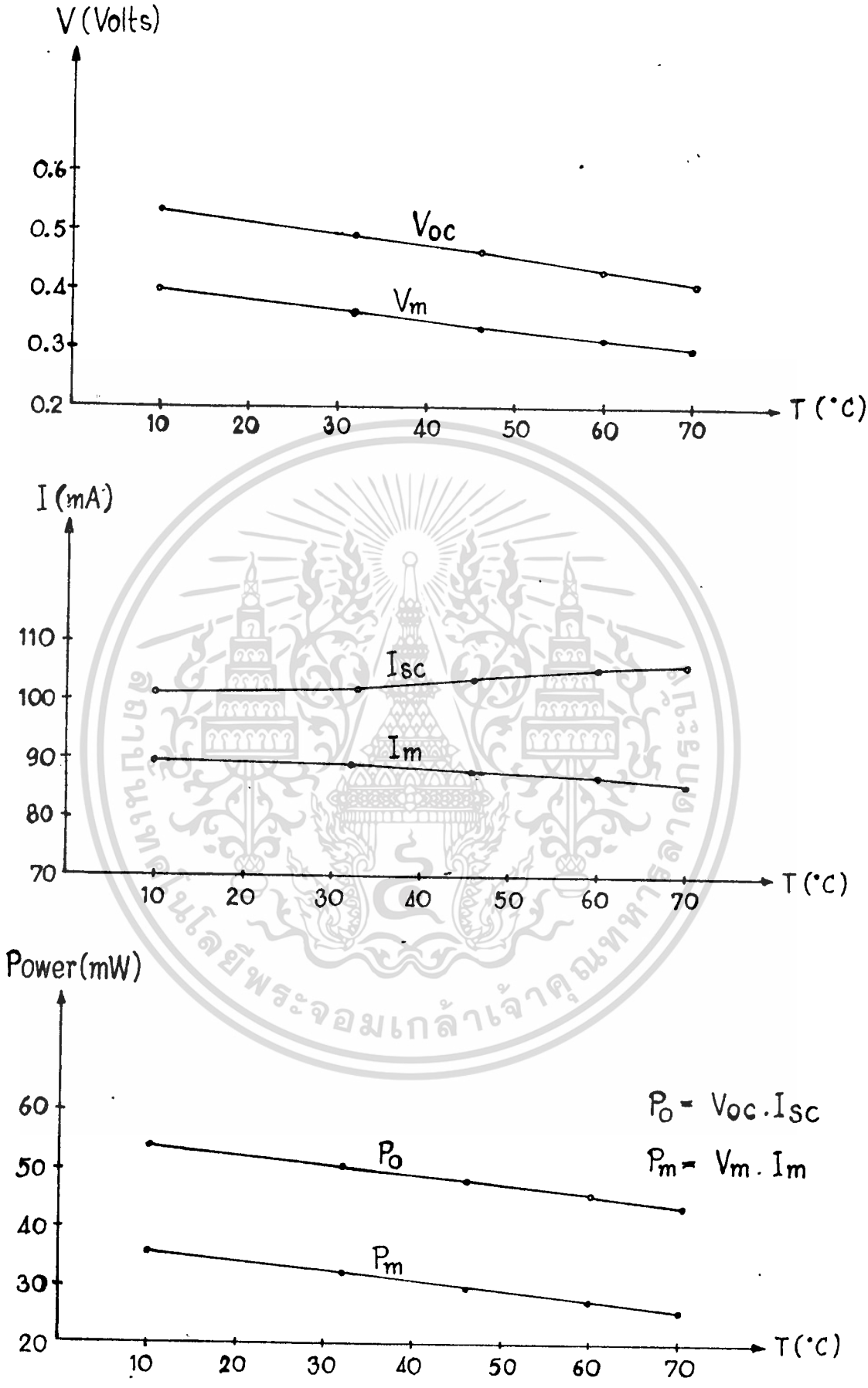
นำเซลแสงอาทิตย์ไปใส่ไว้ในเตาอบที่สามารถปรับปรุงอุณหภูมิได้ พร้อมทั้งมีหลอดไฟฟ้าแบบทังสเตนขนาด 100 วัตต์ อยู่ภายในเตาอบเพื่อฉายแสงให้กับเซลา โดยมีระยะห่างจากเซลาประมาณ 7 เซนติเมตร ปล่อยอากาศเย็นจากเครื่องปรับอากาศให้เข้าไปในเตาอบจนอุณหภูมิลดลงถึง 10 องศาเซนติเกรด เมื่อเห็นว่าอุณหภูมิคงที่แล้วจึงฉายแสง ทำการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลาตามวงจรทดลองในรูปที่ 21.ก. จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบขึ้นไปตั้งแต่ 32, 46, 60 และ 70 องศาเซนติเกรด วัดคุณสมบัติของกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วนำไปเขียนแสดงเป็นกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 33.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33. กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลฯ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดัน, กระแสและพลังงานที่ได้จากเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ผลการทดลอง

จากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 33. สามารถเขียนสรุปออกมาเป็นตารางข้อมูลที่ 4. ได้ดังนี้

ตารางข้อมูลที่ 4

อุณหภูมิ	I_{sc} มิลลิแอมป์	V_{oc} โวลท์	P_{Φ} มิลลิวัทท์	I_m มิลลิแอมป์	V_m โวลท์	P_m มิลลิวัทท์	ฟิลฟแฟคเตอร์
10	101.4	0.535	54.25	89.50	0.40	35.80	0.66
32	102.3	0.494	50.536	89.00	0.356	32.495	0.643
46	103.5	0.465	48.127	87.80	0.335	29.413	0.611
60	105.2	0.432	45.446	87.00	0.316	27.40	0.603
70	106.2	0.412	43.75	85.70	0.298	25.50	0.583

จากตารางข้อมูลที่ 4. สามารถเขียนเป็นกราฟเพื่อแสดงผลของอุณหภูมิที่มีกระแส, แรงดัน และพลังงาน ได้ดังรูปที่ 34.

จากกราฟในรูปที่ 34. จะพบว่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 10 จนถึง 70 องศาเซนติเกรดนั้นกระแสลัดวงจร I_{sc} จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในอัตรา 0.08 มิลลิแอมป์ ต่อหนึ่งองศาเซนติเกรด กระแสสูงสุด I_m จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มในอัตรา0.06 มิลลิแอมป์ ต่อหนึ่งองศาเซนติเกรด แรงดันขณะวงจรเปิด V_{oc} จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 2.05 มิลลิโวลท์ ต่อหนึ่งองศาเซนติเกรด แรงดันสูงสุด V_m จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 2.05 มิลลิโวลท์ ต่อหนึ่งองศาเซนติเกรด ค่าพลังงานสูงสุดในทางอุดมคติ $(I_{sc} \times V_{oc})$ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.175mW/°C ค่าพลังงานสูงสุดที่เซลล่าจ่ายออกมาได้ (P_m) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.172 mW/°C

จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิก็เป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่มีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าเกิดได้จากเซลล่ามีค่าลดลง ดังนั้นในการนำเซลล่าไปติดตั้งใช้งานนอกจากจะต้องให้เซลล่าได้รับแสงเป็นเวลานานที่สุดแล้ว ควรพิจารณาติดตั้งเซลล่าในที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกด้วยเพื่อช่วยระบายความร้อนให้กับเซลล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

5.5.1 การทดลอง

1. นำแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็นผิวกระจกความต้านทานจำเพาะประมาณ 1 โอห์ม-เซนติเมตร, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร, หนา 300 ไมครอน มาสร้างเซลแสงอาทิตย์ตามขบวนการสร้างเซลฯในบทที่ 4. โดยใช้ต้นแบบลวดลาย SC-3 จะแตกต่างไปจากขบวนการสร้างเดิมเพราะการอบในเตาแพร่สารที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซนติเกรด จะทำในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที จะได้ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ผิวหน้าหนาประมาณ 1600 อังสตรอม จากนั้นจึงสร้างเซลฯตามขบวนการต่อไปจนเสร็จสมบูรณ์

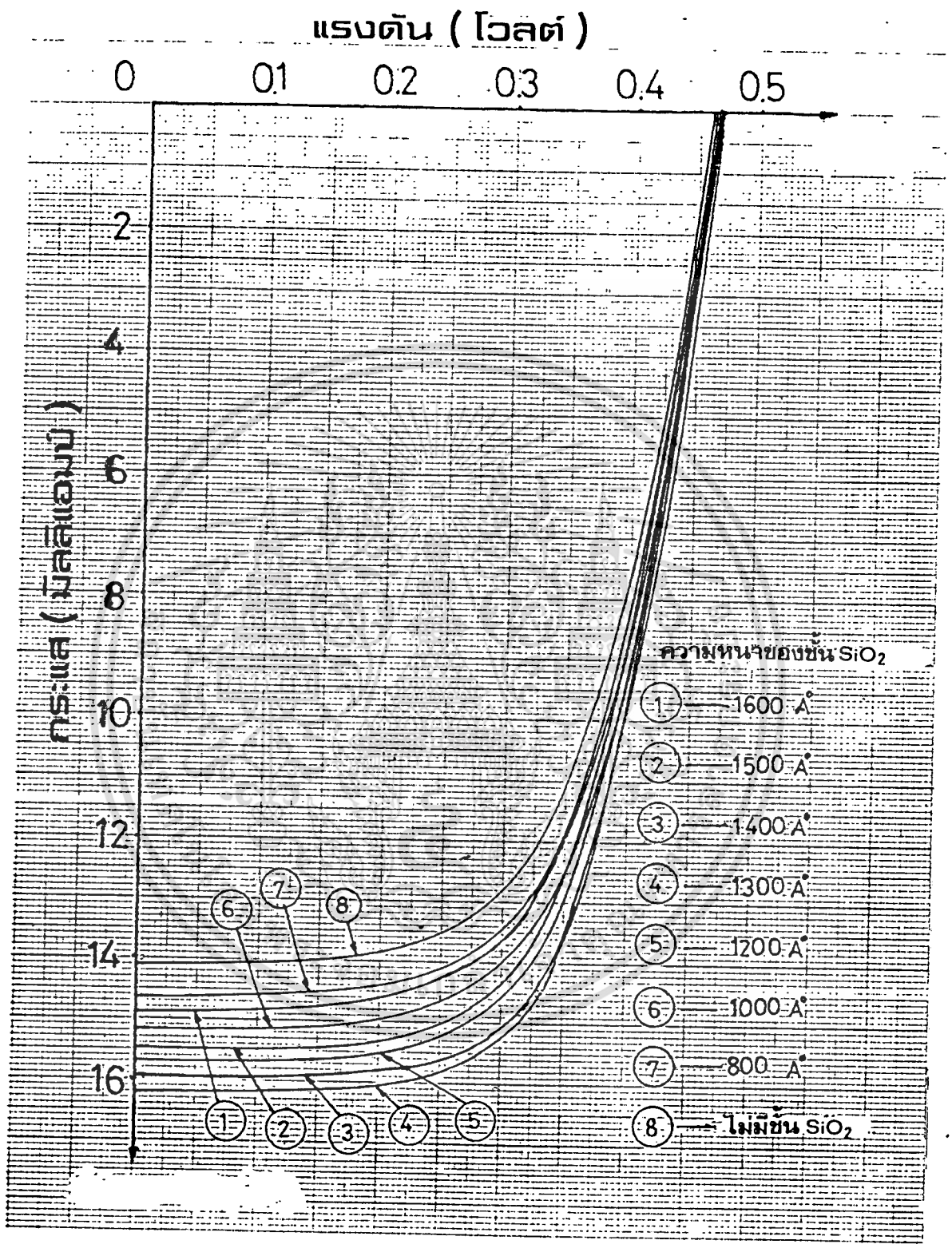
2. นำเซลฯไปตรวจสอบคุณสมบัติ โดยการฉายแสงลงบนเซลฯด้วยเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม (Solar Simulator) นำกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลฯป้อนเข้าเครื่องเขียนกราฟ (XY-recorder) ตามรูปที่ 21.ข. เพื่อวัดดูคุณสมบัติของเซลฯ

3. กัดซิลิกอนไดออกไซด์ด้านหน้าออกด้วยน้ำยาบัฟเฟอร์ ที่มีอัตราการกัดซิลิกอนไดออกไซด์ 10 อังสตรอมต่อวินาที ทำการกัดออกครั้งละ 10 วินาที จำนวน 4 ครั้ง, กัดครั้งละ 20 วินาที 2 ครั้ง และกัดต่อไปจนหมด แล้วจึงนำไปตรวจสอบคุณสมบัติของเซลฯ ในการทดลองนี้จะได้คุณสมบัติของเซลฯที่มีความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 1600, 1500, 1400, 1300, 1200, 1000, 800 อังสตรอม และไม่มีชั้นซิลิกอนไดออกไซด์เลย ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้เป็นกราฟในรูปที่ 35.

5.5.2 ผลการทดลอง

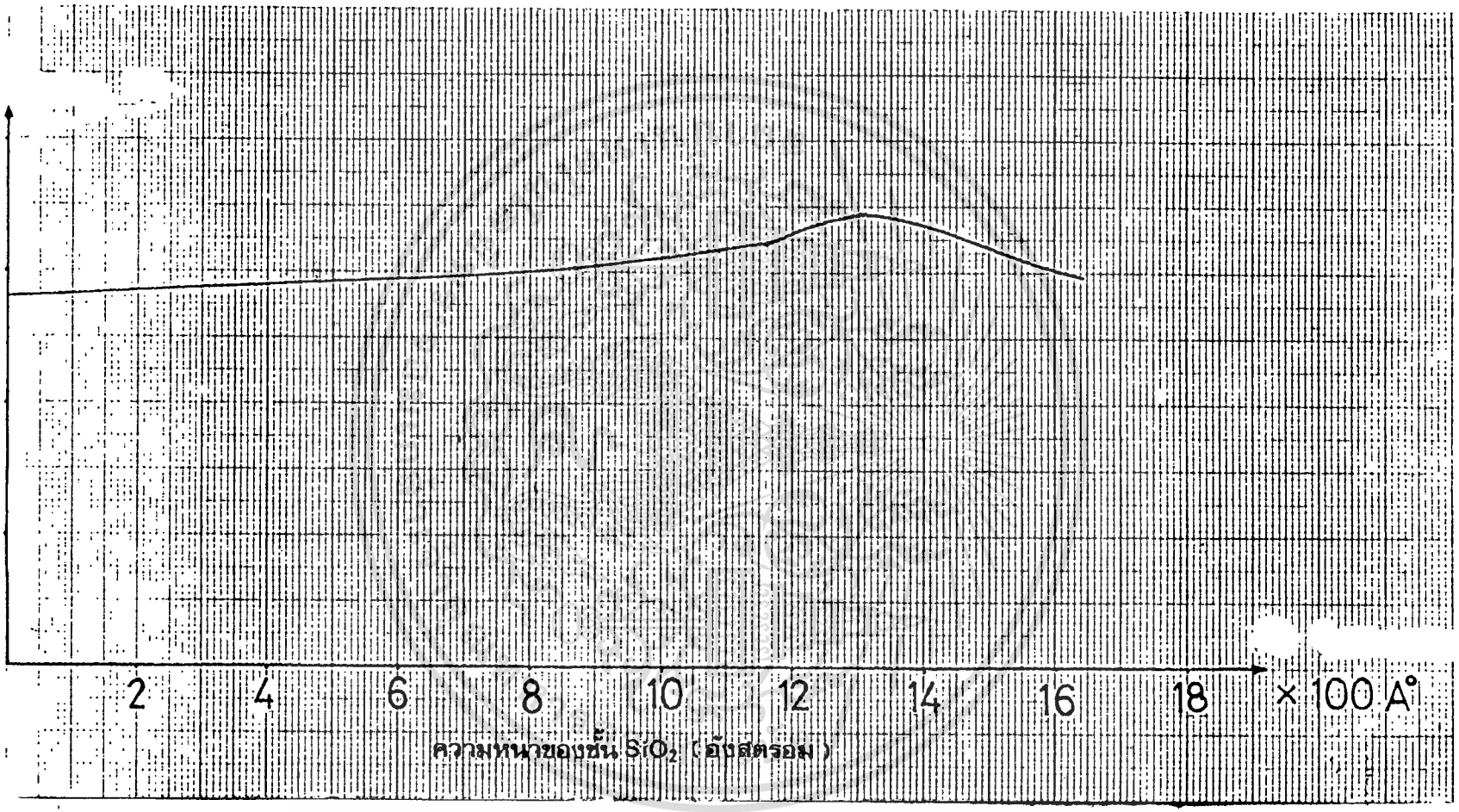
จากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 35. พอจะสรุปออกมาเป็นกราฟในรูปที่ 36. เพื่อให้เห็นผลความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง ซึ่งจะเห็นได้ว่าชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความหนา 1300 อังสตรอม เป็นความหนาพอดีที่ทำให้เซลฯจ่ายพลังงานออกมาสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 35. กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ที่มีความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 36. ผลความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง

บทที่ 6

การพัฒนาปรับปรุงเซลแสงอาทิตย์

เป็นการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงาน และลดราคาในการผลิตเซลาลง การสร้างเซลาขึ้นมาใหม่นี้จึงได้ตัดขบวนการสร้างบางอย่างออกไป เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทั้งยังได้ออกแบบลวดลายขั้วโลหะของเซลาใหม่เพื่อให้เซลาสามารถเก็บรวบรวมอิเลคตรอนได้มากขึ้น

6.1 การทดลองเพิ่มลวดลายขั้วโลหะให้กับเซลาและลดขบวนการเคลือบอลูมิเนียมในสูญญากาศ

6.1.1 การเพิ่มลวดลายขั้วโลหะให้กับเซลา

การปรับปรุงนี้เป็นผลมาจากการทดลองสร้างเซลา A,B,C พบว่าเซลา A และ B มีลวดลายขั้วโลหะที่ละเอียดกว่าเซลา C จึงให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงกว่ากว่าเซลา C จึงได้ทำการออกแบบลวดลายขั้วโลหะของเซลาใหม่ให้ละเอียดกว่าเดิมและครอบคลุมพื้นที่ของเซลาทั้งหมด ลวดลายขั้วโลหะที่ได้ออกแบบใหม่นี้คือ ต้นแบบ SC-4 ในรูปที่ 13.

6.1.2 การลดขบวนการเคลือบอลูมิเนียมในสูญญากาศ

เนื่องจากในการสร้างเซลาตามบทที่ 4. นั้น ได้ใช้วิธีการสร้างขั้วโลหะให้กับเซลาถึง 2 วิธีด้วยกันคือ การเคลือบอลูมิเนียมในสูญญากาศ และการชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้า ทั้งนี้ก็เพื่อให้เซลาที่ได้มีรอยสัมผัสโอห์มิค (ohmic contact) ที่ดีระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิกอนและนิเกิลที่ติดอยู่บนอลูมิเนียม ใช้ประโยชน์ในการบัดกรีขั้วโลหะเพื่อนำไปใช้งาน การที่ต้องสร้างขั้วโลหะถึง 2 วิธีนี้ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

จากการศึกษาพบว่า นิเกิลสามารถใช้เป็นรอยสัมผัสโอห์มิคกับสารกึ่งตัวนำได้ [12] จึงได้ทำการทดลองสร้างเซลาขึ้นมาใหม่โดยใช้แผ่นซิลิกอนแบบผลึกรูปเดี่ยวชนิดพี, ผิวกระจกมีความต้านทานจำเพาะ 4 โอห์ม-เซนติเมตร, หนาราว 300 ไมครอน, ระนาบ <111>, เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ใช้ต้นแบบลวดลาย SC-4 ใช้ขบวนการสร้างเซลาในบทที่ 4. เพียงแต่ตัดการเคลือบอลูมิเนียมในสูญญากาศออกไป ใช้เฉพาะการชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังได้ทดลองนำเอาแผ่นซิลิกอนชนิดผิวหยาบที่มีราคาถูกว่าชนิดผิวกระจกมาทดลองสร้างด้วย เพื่อลดต้นทุนในการผลิตลง แผ่นซิลิกอนผิวหยาบที่ใช้เป็นแผ่นซิลิกอนแบบผลึกรูปเดี่ยว ชนิดพี มีความต้านทานจำเพาะประมาณ 0.32-0.46 โอห์ม-เซนติเมตร หนาราว 450 ไมครอน, เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ใช้ต้นแบบ SC-4 และใช้ขบวนการสร้างเช่นเดียวกัน

6.2 ผลการทดลอง

จากการตรวจเช็คคุณสมบัติของเซลาทั้งสองชนิดตามการทดลองที่ 5.1 ทำให้ได้คุณสมบัติของเซลาทั้งสองชนิดออกมาดังนี้

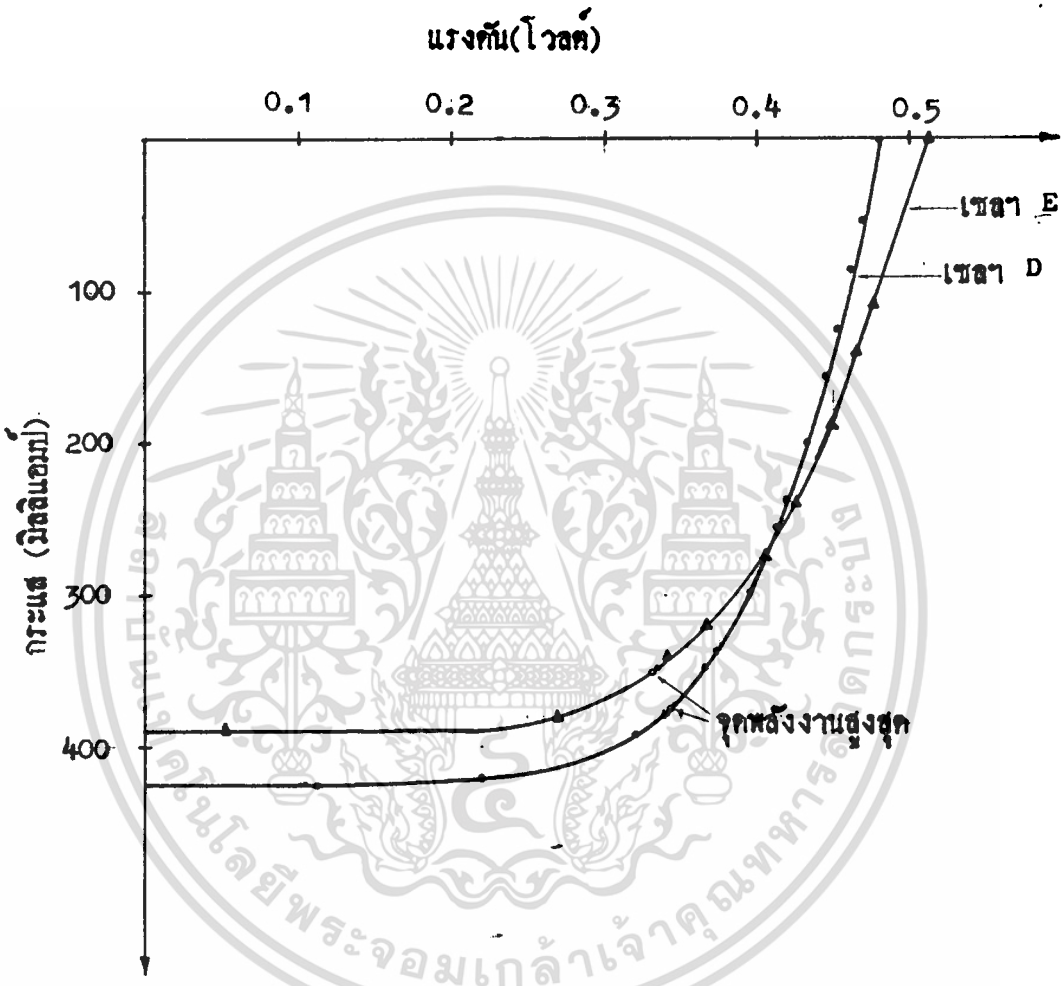
เซลาแบบผิวกระจก , เซลา D

ความต้านทานอนุกรมภายใน	0.2	โอห์ม
กระแสลัดวงจร	427	มิลลิแอมป์
แรงดันวงจรเปิด	0.48	โวลท์
พื้นที่รับแสงของเซลา	13.66	ตารางเซนติเมตร
พลังงานสูงสุด	129	มิลลิวัตท์
ฟิลแฟคเตอร์	0.63	
ประสิทธิภาพ	9.44	เปอร์เซนต์

เซลาแบบผิวหยาบ , เซลา E

ความต้านทานอนุกรมภายใน	0.34	โอห์ม
กระแสลัดวงจร	390	มิลลิแอมป์
แรงดันวงจรเปิด	0.515	โวลท์
พื้นที่รับแสงของเซลา	13.66	ตารางเซนติเมตร
พลังงานสูงสุด	116.5	มิลลิวัตท์
ฟิลแฟคเตอร์	0.58	
ประสิทธิภาพ	8.53	เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 37. กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ D และเซลล์ E

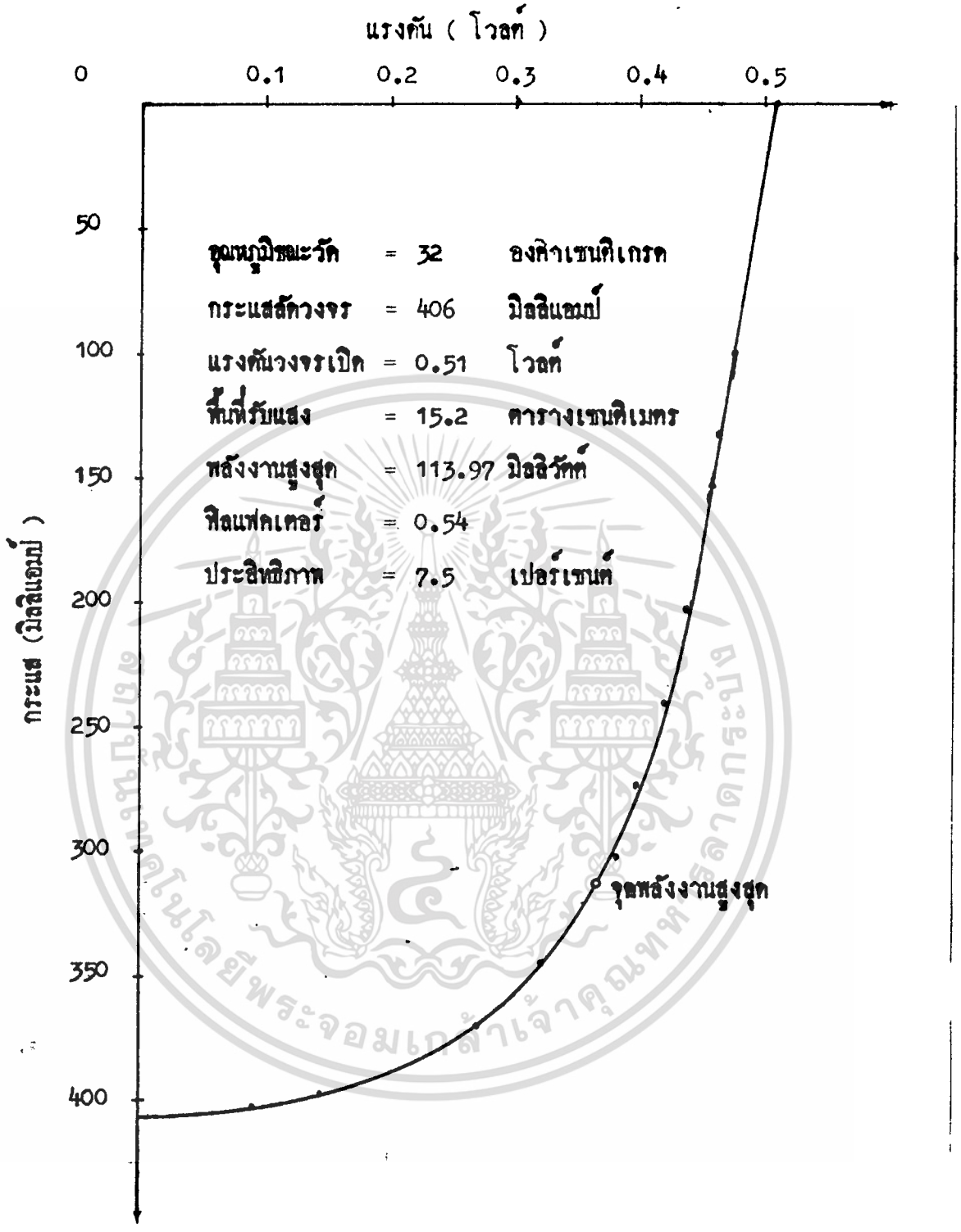
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

6.3 การทดลองตัดขบวนการออกซิเดชั่น

ขบวนการออกซิเดชั่นเป็นการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ ขึ้นมาคลุมผิวด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นซิลิกอน เพื่อใช้เป็นชั้นป้องกันแพร่ซึมของสารเจือเข้าสู่ซิลิกอน ในการสร้างเซลแสงอาทิตย์ ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ด้านหน้าของแผ่นซิลิกอนจะถูกเปิดออก เพื่อให้สารเจือแพร่ซึมเข้าเฉพาะทางด้านหน้าส่วนทางด้านหลังจะมีชั้นออกไซด์นี้ปกคลุมอยู่ เพื่อไม่ให้สารเจือแพร่ซึมเข้าทางด้านหลังของแผ่นได้ รอยต่อพี-เอ็น จึงเกิดขึ้นเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น แม้ว่าขบวนการนี้จะมีประโยชน์ต่อการสร้างเซลมาก แต่ก็ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากเช่นกัน ถ้าลดขบวนการนี้ลงได้ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงไปมาก

ในการสร้างเซลาครั้งใหม่จึงได้ทดลองตัดขบวนการออกซิเดชั่นออกไป เมื่อนำไปทำการแพร่สารเจือ จะทำให้สารเจือแพร่ซึมเข้าทางด้านหน้า และด้านหลังของแผ่นซิลิกอน สารเจือที่แพร่ซึมเข้าทางด้านหลังนี้จะทำให้แผ่นซิลิกอนมีความต้านทานสูงเป็นผลให้เซลาจ่ายพลังงานออกมาน้อยลง จึงต้องใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบน์ ขนิดหยาบขัดผิวด้านหลังส่วนที่ถูกสารเจือแพร่ซึมให้หลุดออกไป

การสร้างเซลาด้วยวิธีนี้ใช้แผ่นซิลิกอนขนิดหยาบเช่นเดียวกับหัวข้อ 6.1 ผลการทดลองแสดงเป็นกราฟในรูป 3ฮ. จากผลการทดลองพบว่าเซลาที่สร้างด้วยวิธีนี้ให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานออกมาน้อยกว่าแบบผิวหยาบในหัวข้อ 6.1 เนื่องจากที่ขอบของแผ่นจะมีสารเจือแพร่ซึมอยู่ ทำให้รอยต่อมีกระแสรั่วไหลสูง



รูปที่ 38 . กราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข้อมูลที่ 5 ตารางสรุปข้อมูลในการสร้างเซลแสงอาทิตย์

เซลล์	ผิว	ความต้านทานจำเพาะ (Ω-cm.)	ลวดลายโลหะ	R_s (Ω)	พื้นที่เซลล์ (cm^2)	กระแสลัดวงจรต่อพื้นที่ (mA/cm^2)	แรงดัน (V)	ฟิลแฟคเตอร์	ประสิทธิภาพ (%)
A	กระจก	0.1	ละเอียดมาก (SC-1)	0.5	.44	21	0.575	0.793	9.54
B	กระจก	0.1	ละเอียดมาก (SC-1)	0.2	1.76	22.16	0.58	0.797	10.25
C	กระจก	0.1	หยาบ (SC-2)	0.1	12.6	23.8	0.58	0.5	6.9
D	กระจก	4	ละเอียด (SC-3)	0.2	13.66	31.26	0.48	0.63	9.44
E	หยาบ	0.4	ละเอียด (SC-3)	0.34	13.66	28.55	0.515	0.58	8.53
F	หยาบ	0.4	ละเอียด (SC-3)	0.6	15.3	26.7	0.51	0.54	7.54

บทที่ 7

สรุปผลและวิจารณ์

งานวิจัยเกี่ยวกับเซลแสงอาทิตย์นี้ เป็นการวิจัยและทดลองสร้างเซลล์ขึ้นมาภายในประเทศโดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ทางด้านสารกึ่งตัวนำที่มีอยู่ที่ศูนย์วิจัยอิเลคทรอนิคส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ลาดกระบัง เซลล์ที่สร้างขึ้นในครั้งแรกมีขนาดเล็ก แต่มีลายขั้วโลหะที่ละเอียดมาก (ใช้ต้นแบบ SC-1) และใช้แผ่นซิลิกอนผิวกระจกแบบผลึกรูปเดี่ยวที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ประมาณ 0.1 โอห์ม-เซนติเมตร มาสร้างเซลล์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีมาก มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานราว 9.5-10.25 เปอร์เซนต์ จึงได้ทำการทดลองสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่มีขนาดเต็มแผ่นซิลิกอนแบบเดิมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เซลล์ชุดนี้มีลายขั้วโลหะที่ค่อนข้างหยาบ ทำให้ได้ประสิทธิภาพออกมาต่ำกว่าเดิม คือมีประสิทธิภาพราว 6.9 เปอร์เซนต์

จากจุดนี้จึงได้ทำการพิจารณาผลอื่น ๆ ที่มีต่อเซลล์ จากการทดลองผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลแสงอาทิตย์ พบว่าความต้านทานอนุกรมภายในมีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์มาก ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 30 ยิ่งเซลล์ที่จ่ายพลังงานออกมามาก คือมีกระแสสูง ผลของความต้านทานอนุกรมภายในก็จะมีมากขึ้น เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวต้านทานมากขึ้น ดังนั้นในการสร้างเซลล์จึงจะหาทางลดความต้านทานอนุกรมภายในให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการเลือกใช้แผ่นซิลิกอนที่จะนำมาสร้างเซลล์ให้มีความต้านทานจำเพาะต่ำ ๆ หลังจากสร้างเสร็จแล้วควรนำเซลล์ไปอบความร้อน เพื่อให้รอยสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำมีค่าความต้านทานต่ำที่สุด

จากการทดลองผลของความเข้มแสงที่มีเซลแสงอาทิตย์พบว่ากระแสจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมากกับความเข้มแสง ส่วนแรงดันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วกับแสงที่มีความเข้มต่ำ ๆ เท่านั้น, จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับแสงที่มีความเข้มสูง ๆ จากผลอันนี้สามารถนำไปพิจารณาออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยเซลแสงอาทิตย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อุณหภูมิก็เป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลาลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากการทดลองเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์พบว่ากระแสจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับอุณหภูมิ, ส่วนแรงดันจะลดลงในอัตราประมาณ 2 มิลลิโวลต์ ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซนติเกรด เป็นผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลาลดลงในอัตรา 0.172 มิลลิวัตต์ ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซนติเกรด ดังนั้นในการนำเซลาไปใช้งานควรพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันและพลังงานของเซลาด้วยและควรติดตั้งเซลาไว้ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก หรือจะมีระบบระบายความร้อนให้กับเซลาด้วยก็จะช่วยให้เซลาทำงานได้ดียิ่งขึ้น

ผลของชั้นลดการสะท้อนแสงก็เป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานให้กับเซลา สารที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสงมีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดก็มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกันไป จากการคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของสารที่จะใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสงตามสูตรการคำนวณที่ (14) พบว่าซิลิกอนโมโนออกไซด์ (SiO) เหมาะสมที่ใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง แต่เนื่องจากซิลิกอนโมโนออกไซด์ สร้างได้จากขบวนการเคลือบสารในสูญญากาศซึ่งทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง จึงได้หันไปพิจารณาดูชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอยู่แล้วในขบวนการสร้างเซลา พบว่าชั้นซิลิกอนไดออกไซด์สามารถที่จะใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสงได้ดีพอสมควร โดยชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความหนา 1300 อังสตรอม จะช่วยให้เซลามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณ 1 : 3 เปอร์เซนต์

จากการที่ได้ตรวจสอบผลกระทบอื่น ๆ ที่มีต่อเซลแสงอาทิตย์แล้ว จึงได้หันมาพิจารณาปรับปรุงขบวนการสร้างเพื่อให้สะดวกรวดเร็วและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยลงกว่าเดิม ทั้งยังได้ออกแบบลวดลายรั้วโลหะของเซลาใหม่ให้ละเอียดและคลุมพื้นที่เซลาทั้งหมด ขบวนการที่ถูกตัดออกไปคือขบวนการเคลือบอลูมิเนียมในสูญญากาศ ซึ่งทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง พบว่าเซลาที่สร้างได้ซึ่งมีทั้งผิวกระจกและผิวหยาบ, มีค่าความต้านทานอนุกรมภายในต่ำและให้ประสิทธิภาพออกมาสูงพอควร คือประมาณ 9.4% สำหรับผิวกระจก และ 8.5% สำหรับผิวหยาบ ซึ่งแสดงว่าขบวนการนี้สามารถนำไปใช้สร้างเซลาที่มีราคาต่ำกว่าเดิมได้โดยประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างเซลาผิวกระจก (เซลา D) ซึ่งสร้างมาจากแผ่นซิลิกอนที่มีเส้นผ่าศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลาง 5 เซนติเมตร หนา 300 ไมครอน มีความต้านทานจำเพาะของแผ่น 4 โอห์ม-เซนติเมตร กับเซลาผิวหยาบ (เซลา E) ซึ่งสร้างมาจากแผ่นซิลิกอนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หนา 450 ไมครอน มีความต้านทานจำเพาะประมาณ 0.4 โอห์ม-เซนติเมตร พบว่าเซลผิวกระจกให้กระแสออกมาสูงกว่า ทั้งยังมีค่าความต้านทานอนุกรมภายในต่ำกว่า แต่ให้แรงดันออกมาต่ำกว่าก็เนื่องจาก เซลาแบบผิวกระจกมีรอยต่อลึกกว่าทำให้มีค่าความต้านทานอนุกรมต่ำกว่าทั้งยังผิวหน้าที่เรียบกว่าด้วย จึงมีการรีคอมไบเนชั่น ที่ผิวหน้าน้อยกว่าเซลาแบบผิวหยาบ การที่เซลาแบบผิวกระจกให้แรงดันที่ต่ำกว่าก็เป็นผลมาจากการใช้แผ่นซิลิกอนที่มีค่าความต้านทานจำเพาะสูงกว่าแบบผิวหยาบ ทำให้ระดับความหนาแน่นของสารเจือในแผ่นเซลามีน้อยกว่าแบบผิวหยาบแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลาจึงมีค่าต่ำกว่าเซลาแบบผิวหยาบ

เพื่อทำการลดราคาในการสร้างเซลาลงไปอีก จึงได้ตัดขบวนการออกซิเดชั่นออกไปและใช่แผ่นซิลิกอนแบบผิวหยาบมาทดลองสร้าง ปรากฏว่าเซลาที่ได้ (เซลา F) มีกระแสและแรงดันใกล้เคียงกับเซลา E แต่มีค่าความต้านทานอนุกรมภายในสูงกว่าจึงทำให้ประสิทธิภาพออกมาต่ำกว่าเซลา E. คือได้ประสิทธิภาพออกมาราว 7.5% ที่เป็นเช่นนั้นก็เนื่องมาจากด้านหลังของแผ่นสารเจือแพร่ซึมเข้าไปได้เช่นเดียวกับทางด้านหน้า แม้จะใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบน์ขัดเอาสารเจือด้านหลังออก ก็อาจจะยังมีสารเจือเหลืออยู่อีกบ้างเล็กน้อยทำให้เซลาที่ได้มีความต้านทานอนุกรมภายในสูง นอกจากนี้ที่รอยต่อบริเวณของแผ่นเซลาอาจจะเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ง่าย เนื่องจากมีการขัดผิวด้านหลังขณะทำการขัดผิว อาจจะทำให้ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์บริเวณหลุดลอกออกไปได้ เมื่อนำเซลาไปชุบนิเกิล ก็จะมีนิเกิลมาเกาะติดบริเวณขอบของแผ่นเซลาทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นทำให้ต้องแก้ไข โดยการใช้กระดาษทรายชนิดละเอียดมากมาขัดบริเวณขอบของแผ่นแม้จะช่วยไม่ให้เกิดการลัดวงจรแต่ก็ทำให้รอยต่อบริเวณขอบของแผ่นเสียไปทำให้มีกระแสรั่วไหลสูงซึ่งก็ทำให้เซลาจ่ายกระแสได้น้อยลง

จากการทดลองสร้างเซลาขึ้นมาทั้งหมดพบว่าเซลาที่มีคุณสมบัติดีควรสร้างจากแผ่นซิลิกอนที่ความต้านทานจำเพาะอยู่ในช่วง 0.1 - 1 โอห์ม-เซนติเมตร, มีลวดลายขั้วโลหะที่ละเอียดและครอบคลุมพื้นที่เซลาทั้งหมด เพื่อให้ได้กระแสสูง, สารเจือที่แพร่ซึมเข้าไปในแผ่นซิลิกอน ควรมีระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความหนาแน่นสูงเพื่อให้เซลล์จ่ายแรงดันได้สูง ซึ่งทำได้โดยใช้แผ่นซิลิกอนที่มีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำๆ ขบวนการในการสร้างไม่จำเป็นต้องมีการเคลือบชั้นอลูมิเนียม ก็สามารถสร้างเซลล์ที่มีคุณสมบัติที่ดีได้ สำหรับการลดขบวนการออกซิเดชั่นนั้น แม้จะช่วยลดราคาในการผลิตลงไปได้มาก แต่ยังได้เซลล์ที่มีคุณสมบัติไม่ดีนัก เนื่องจากต้องทำการขัดขอบของแผ่นเซลล์ทำให้เซลล์มีรอยต่อไม่สมบูรณ์ และถ้าขัดผิวด้านหลังไม่ดีแล้ว จะทำให้เซลล์ที่ได้มีค่าความต้านทานภายในสูง ถ้าต้องการลดราคาในการผลิตเซลล์ลงมาอีกควรพิจารณาใช้แผ่นซิลิกอนที่มีราคาถูกกว่าซิลิกอนแบบผลึกรูปเดี่ยว ซึ่งอาจจะเป็นซิลิกอนแบบโพลีคริสตอล หรือแบบอมอร์ฟัสก็ได้ แม้ว่าซิลิกอนประเภทนี้จะให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานน้อยกว่าแบบผลึกรูปเดี่ยวเล็กน้อย แต่ก็ช่วยลดราคาในการผลิตลงได้มากทีเดียว นอกจากนี้ขบวนการสร้างเซลล์ในแบบฟิมฟิล์ม (Thin Film) ก็นับว่าเป็นเทคนิคในการสร้างแบบใหม่ ที่จะช่วยให้เซลล์มีราคาลดลง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารอ้างอิง

[1] Wolfgang Palz, " Solar Electricity " UNESCO 1978, p. 187

[2] Charles E. Backus, " Solar cell " IEEE Press 1978, p.38-39

[3] Charles E. Backus, " Solar cell " IEEE Press 1978, p. 88

[4] Wolfgang Palz, " Solar Electricity " UNESCO 1978, p. 185

[5] Charles E. Backus, " Solar cell" IEEE Press 1978, p. 91

[6] Charles E. Backus, " Solar cell " IEEE Press 1978, p. 94-94

[7] Charles E. Backus, " Solar cell " IEEE Press 1978, p.111-116

[8] Alvin B. Phillips, " Transistor Engineering " Mc Graw-Hill 196Z, p. 51

[9] Wolfgang Palz, " Solar Electricity " UNESCO 1978, p. 186

[10] L. Holland, " Vacuum Deposition of Thin Film " Chapman and Hall Ltd. 1966, p. 516-517

[11] Wolfgang Palz, " Solar Electircity " UNESCO p. 340

[12] Juh Tzeng Lue, " The Fabrication of Schottky Barrier Solar cell by Electroless Nickel Plating " Appl. Phys. Lett., 34 (10) p. 388 (1978)

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวกที่ 1.

น้ำยาเคมีที่ใช้ในการกัดซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

1.1 น้ำยาเคมีที่ใช้ในการกัดซิลิกอนไดออกไซด์ หรือ ที่เรียกว่าน้ำยาบัฟเฟอร์ (Buffer Solution)

น้ำยาชนิดนี้มีไว้สำหรับกัดซิลิกอนไดออกไซด์เพื่อเปิดช่องสำหรับแพร่สารเจือหรือเพื่อทำหน้าที่รอยสัมผัส (Contact) ให้กับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ น้ำยาที่ใช้มีอัตราในการกัดแตกต่างกันแล้วแต่ความจำเป็นของงานที่จะใช้

น้ำยาบัฟเฟอร์ 1

กรดไฮโดรฟลูออริด (HF) 50%	1	ส่วน
แอมโมเนียมฟลูออไรด์	6	ส่วน

ผสมกันโดยปริมาตร มีอัตราการกัด (Etching rate) ประมาณ 1000 อังสตรอมต่อนาที

น้ำยาบัฟเฟอร์ 2

กรดไฮโดรฟลูออริด 50%	1	ส่วน
แอมโมเนียมฟลูออไรด์	10	ส่วน

ผสมกันโดยปริมาตร มีอัตราการกัดประมาณ 600 อังสตรอม ต่อนาที หรือ 10 อังสตรอมต่อวินาที

1.2 น้ำยาเคมีที่ใช้ในการกัดอลูมิเนียม

น้ำยาชนิดนี้มีไว้สำหรับกัดอลูมิเนียมเพื่อทำลวดลายขั้วโลหะบนอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีส่วนผสมสารเคมีโดยปริมาตรดังนี้

กรดฟอสฟอริด (H_3PO_4)	8	ส่วน
กรดไนตริก (HNO_3)	5	ส่วน
กรดอะซิติก (CH_3COOH)	5	ส่วน
น้ำบริสุทธิ์ (DI water)	10	ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

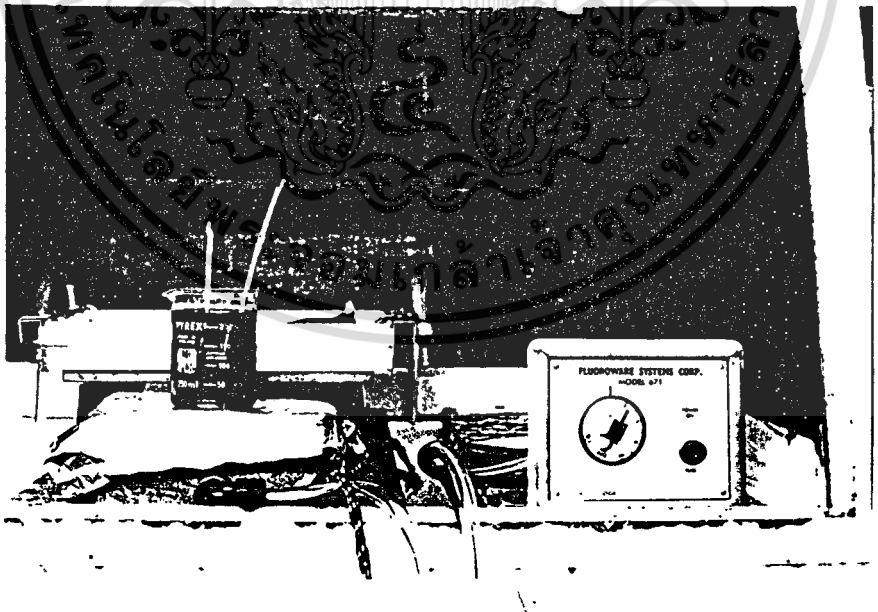
ภาคผนวกที่ 2.

การชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้า (Electroless nickle plating)

เป็นการสร้างชั้วโลหะให้กับเซลแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการทางเคมี โดยไม่ต้องอาศัยผลทางไฟฟ้าช่วย แต่ใช้ผลทางความร้อนช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทำให้มีความสะดวกขึ้น ทั้งนิเกิลที่ได้ยังสามารถนำไปบัดกรีได้ง่ายอีกด้วย ส่วนผสมของสารเคมีที่ใช้มีดังนี้

นิเกิลคลอไรด์ $(NiCl_2 \cdot 6H_2O)$	30	กรัมต่อลิตร
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	50	กรัมต่อลิตร
แอมโมเนียมซิเตรท $((NH_4)_2HC_6H_2O_7)$	65	กรัมต่อลิตร
โซเดียม ไฮโปฟอสไฟต์ $(Na_2H_2PO_2 \cdot H_2O)$	10	กรัมต่อลิตร

ในการชุบใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซนติเกรด และเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จนได้พี-เอช ของน้ำยาประมาณ 8-10 (PH ≈ 8-10)



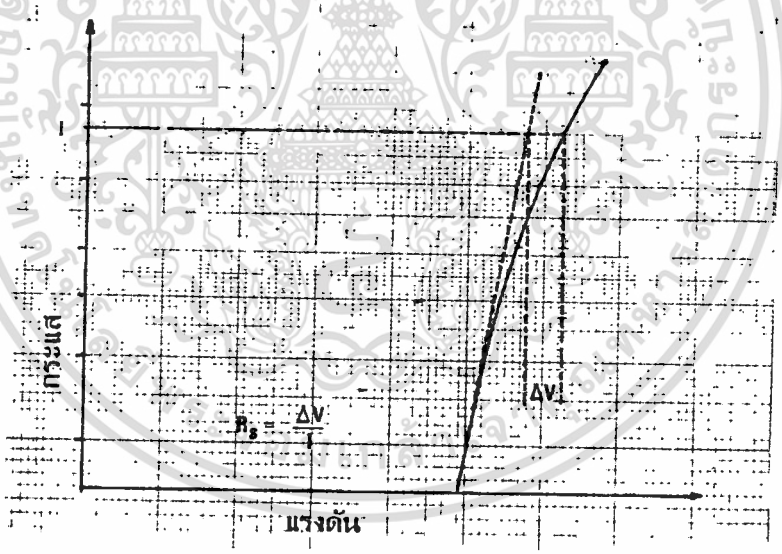
รูปที่ 2.1 การชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้าที่กระทำบนแผ่นความร้อน (Hot plate) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 3.

การคำนวณค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์

เนื่องจากกระแสแรงดันของเซลล์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะ เอ็กโพเนนเชียล เช่นเดียวกับไดโอด เมื่อนำค่าความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันนี้ไปเขียนลงในกราฟแบบเซมิล็อก จะได้เป็นกราฟเส้นตรง แต่เนื่องจากผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานนี้ แรงดันส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กับกระแสในลักษณะเชิงเส้น (Linear) เมื่อมีกระแสไหลผ่านเซลล์มากผลของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานอนุกรมนี้ จะให้กราฟเส้นตรงที่ได้ในช่วงกระแสสูง ๆ เบี่ยงเบนออกจากแนวเดิม ค่าที่เบี่ยงเบนออกมานี้ จะนำไปใช้หาค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ได้



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของรอยต่อพี-เอ็นที่เขียนอยู่บนกราฟแบบเซมิล็อก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในรูปที่ 1.1 ที่ค่ากระแส I จะหาค่า R_s จากการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ΔV ได้ดังนี้

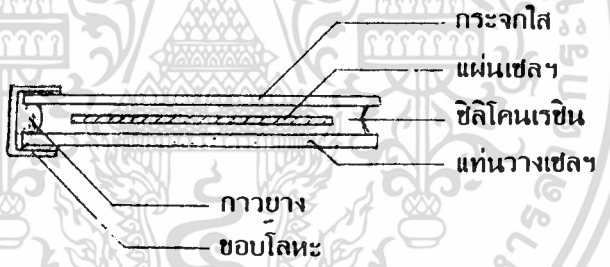
$$R_s = \frac{\Delta V}{I}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวกที่ 4.

การเก็บบรรจุเซลแสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์ต้องใช้งานกลางแจ้งจึงต้องมีการเก็บบรรจุที่ดี เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและความชื้นไม่ให้เข้าไปรบกวนการทำงานของเซลฯได้ ในการเก็บบรรจุจะใช้แท่นวางเซลฯที่เป็นฉนวนไฟฟ้า มีความแข็งแรงและทนความร้อนได้ดี อาจจะเป็นพวกแผ่นกระจก, ไฟเบอร์กลาส หรือแผ่นกลาสอีพ็อกซี่ ฯลฯ แผ่นปิดด้านหน้าควรใช้กระจกใสผิวเรียบบางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงผ่านกระจกไปกระทบเซลฯ กระจกด้านหน้าจะมีซิลิโคนเรซินแบบใสที่มีลักษณะยืดหยุ่นได้คล้ายยาง ใส่ไว้เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและความชื้นให้กับเซลฯทั้งยังช่วยให้แผงเซลฯมีความแข็งแรงทนทานด้วย



รูปที่ 4.1 การเก็บบรรจุเซลแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 5

ความหมายของสัญญลักษณ์และค่าคงที่ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

5.1 ความหมายของสัญญลักษณ์

A : พื้นที่รอยต่อพี-เอ็น ของเซลแสงอาทิตย์

D : สัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมของสาร (Diffusion coefficient)

$F.F.$: ฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor)

g : อัตราการเกิดอิเลคตรอน-โฮล ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที (Generation rate of electron-hole pair per cm^3 per sec)

I_j : กระแสที่ไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น ของไดโอด

I_L : กระแสที่เกิดเนื่องมาจากแสง

I_m : กระแสของเซลล์ที่จุดพลังงานสูงสุด

I_o : กระแสอิ่มตัวย้อนกลับของรอยต่อพี-เอ็น (Reverse saturation current of a p-n junction)

I_R : กระแสของเซลล์ที่ไหลมายังโหลด

I_{sc} : กระแสลัดวงจรของเซลล์

L_n : ระยะการแพร่ของอิเลคตรอน (Diffusion length of electrons)

L_p : ระยะการแพร่ของโฮล (Diffusion length of holes)

N_A : ความหนาแน่นของอะตอมสารเจือผู้รับ (Acceptor concentration)

N_D : ความหนาแน่นของอะตอมสารเจือผู้ให้ (Donor concentration)

n : ค่าไอดีลลิตี้แฟคเตอร์ (Ideality factor) , ดัชนีหักเหแสง

P_o : พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์ให้ได้ในทางอุดมคติ

P_m : พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์ให้ออกมาได้จริง

R_s : ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์

R_g : ความต้านทานของโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T : อุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน

t : ความหนาของชั้นลดการสะท้อนแสง

V : แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมรอยต่อพี-เอ็น

V_o : แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์จ่ายออกมาได้

V_{oc} : แรงดันไฟฟ้าของเซลล์ขณะวงจรเปิด

τ : อายุพาหะ (Carrier lifetime)

τ_n : อายุของอิเลคตรอน (Electron lifetime)

τ_p : อายุของโฮล (Hole lifetime)

ρ : สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแสง

λ : ความยาวคลื่นแสง (Wavelength of light)

5.2 ค่าคงที่ทางฟิสิกส์

q : ค่าประจุของอิเลคตรอน (Electronic charge) = 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

h : ค่าคงที่ของแพลงค์ (Planck's constant) = 6.63×10^{-34} Joule-sec

= 4.14×10^{-15} eV-sec

k : ค่าคงที่ของโบลต์มันน์ (Boltzmann's constant) = 1.38×10^{-34} Joule/°K

= 8.62×10^{-5} eV/°K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้