



รายงานผลการวิจัย

การวิจัย ออกแบบ สร้าง และพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์
Research, Design, Fabrication and Development
of Silicon Solar Cells



M 0 1 5 8 9 2

R

RCH

เลขเรียกหนังสือ.....TK 1070.822.11

5451

เลขทะเบียน.....015892

8524

วันเดือนปี.....29 สิงหาคม 19

โดย.

ผ.ศ. สมเกียรติ ฤกษ์เดช

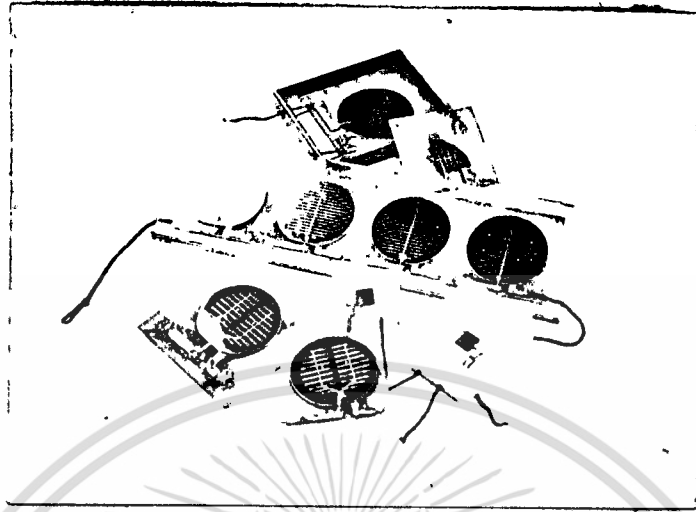
นายมนัส สังวรศิลป์

นายอิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย

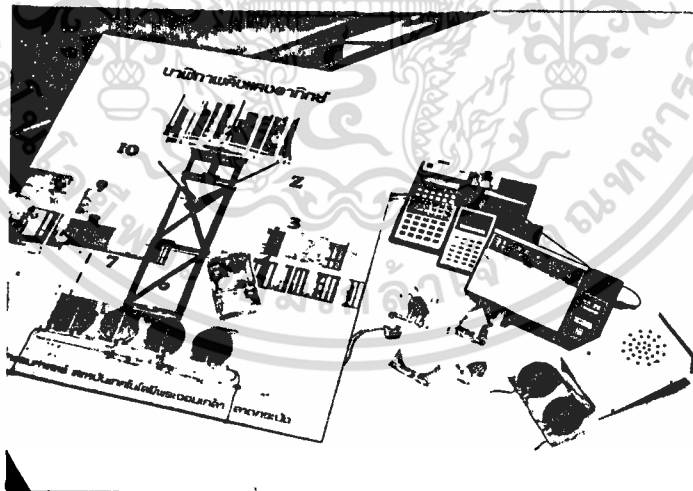
นายสมชัย วงษ์เมตตา

แผนกโพลีเทคเทคอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

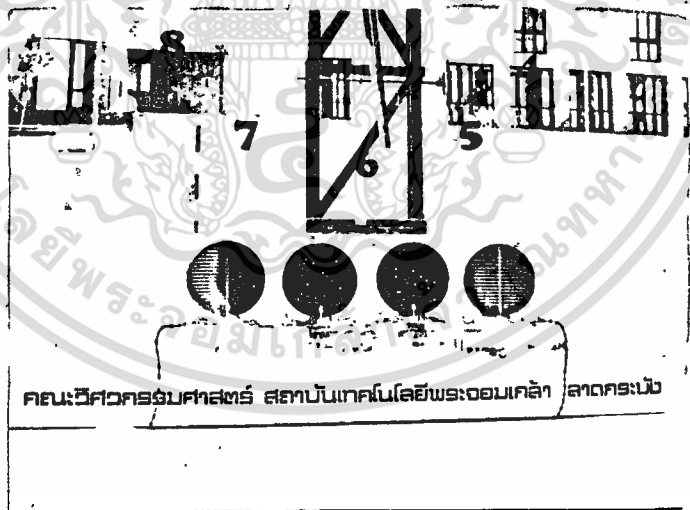
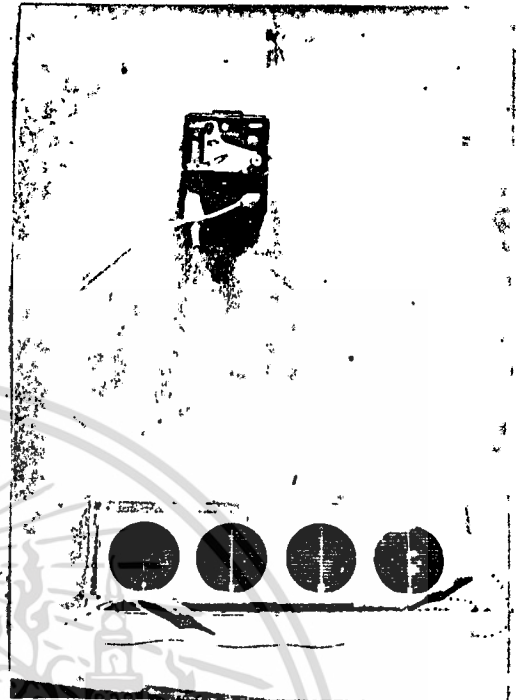
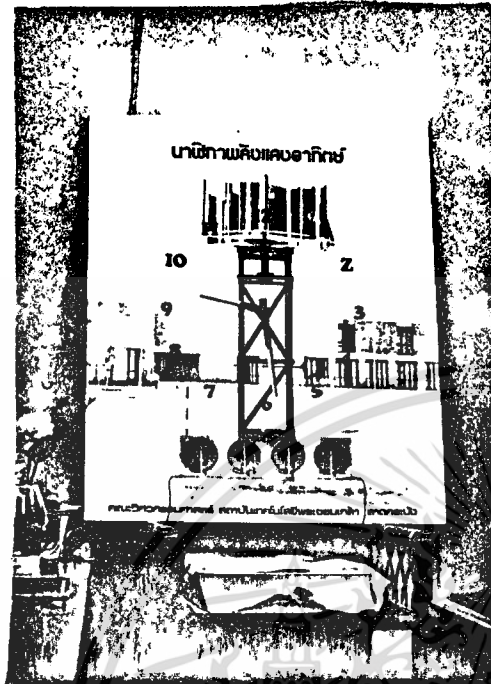


เพลงแสงอาทิตย์แบบต่างๆ ที่สร้างขึ้นที่ ลาดกระบัง



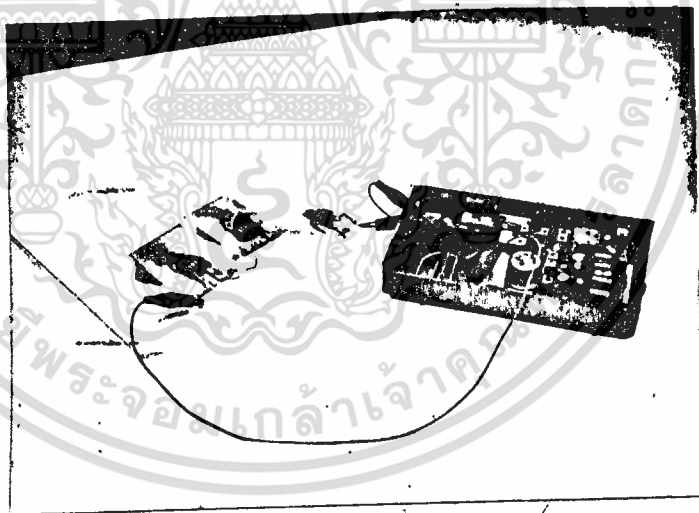
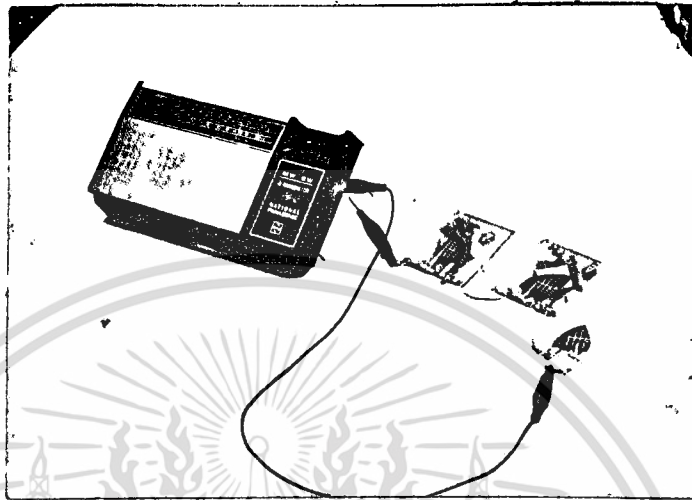
ตัวอย่างการทำเพลงแสงอาทิตย์ไม่ไร้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



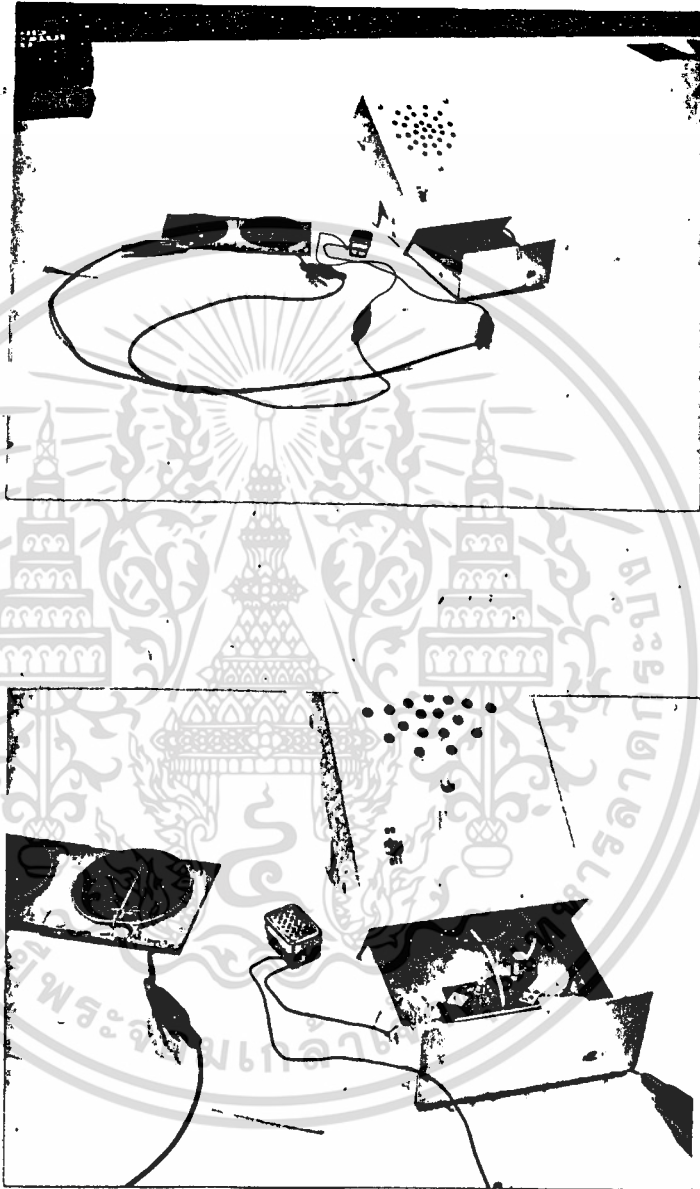
หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานด้วยพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



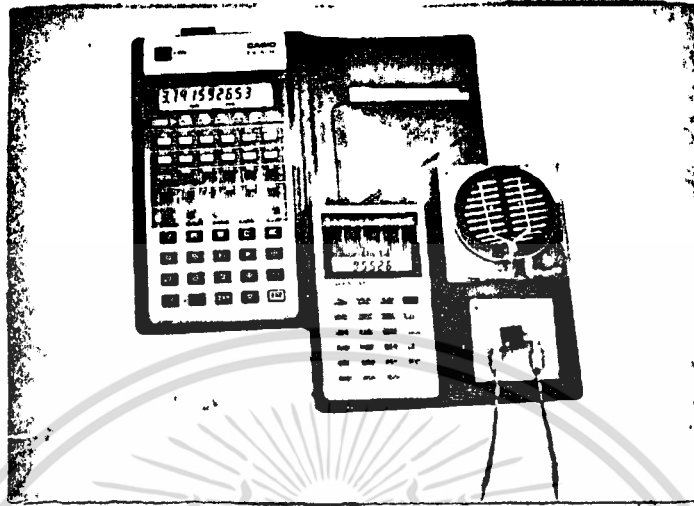
วิทยุรับทำงานด้วยพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำงานด้วยพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องคำนวณที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กลุ่มนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ ที่ทำกรออกแบม สร้าง และพัฒนา เซลแสงอาทิตย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า จอมเกล้า ลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ

1. บทนำ	1
2. เซลแสงอาทิตย์	2
2.1 เซลแสงอาทิตย์แบบรอยก่อกวี่-เอ็นของซิลิกอน	2
2.2 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	3
2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยก่อกวี่-เอ็นของซิลิกอน	4
2.4 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.5 ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	4
3. การสร้าง การวัด การทดลอง และผลการทดลอง	5
3.1 เปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกัน	5
3.1.1 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1 และแบบที่ 2	5
3.1.2 การทดลองและการวัดคุณสมบัติของเซลล์แบบที่ 1 และแบบที่ 2	7
3.1.3 ผลการวัดและการทดลองของเซลล์แบบที่ 1 และแบบที่ 2	9
3.2 เปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีปริมาณสารเจือไม่เท่ากัน	11
3.2.1 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 3 และแบบที่ 4	11
3.2.2 การทดลองและการวัดคุณสมบัติของเซลล์แบบที่ 3 และแบบที่ 4 และผล- การทดลอง	11
4. การคำนวณ	13
4.1 การคำนวณหาค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์	13
4.2 การหาค่าของตัวคงที่ η จากสมการที่ (3.1)	13
4.3 การคำนวณหาค่าพิลแพคเคอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	15
4.4 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการ เปลี่ยนพลังงานของเซลล์	15
5. สรุปและวิจารณ์	17
กิตติกรรมประกาศ	20
เอกสารอ้างอิง	20
รูปประกอบ และตาราง	21, 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์
มาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงได้ เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น ของซิลิคอน (Silicon
p-n junction Solar Cell) ได้รับการพัฒนาและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย (รายงานฉบับ
นี้จะกล่าวถึงผลของการทดลองและวิจัย ในโครงออกแบบ สร้าง และ พัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบนวัต
ใหม่เพื่อการใช้งาน ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง โดยใช้อุปกรณ์
เครื่องมือ และวัสดุ ที่มีอยู่ และจากผลการทดลองในครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูล เพื่อการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมต่ำกว่า ๐.๑๒ โอห์ม มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานมากกว่า ๗.๖
เปอร์เซ็นต์ แต่ละเซลล์สามารถจ่ายกระแสได้ถึง ๒๕ มิลลิแอมป์ในขณะที่ลัดวงจร และให้ค่าแรงดัน
สูงสุดขณะวงจรเปิด ๐.๕๕ โวลต์ กำลังงานไฟฟ้าแต่ละเซลล์จะให้ค่าสูงสุดราว ๕ มิลลิวัตต์

ax: 50v.
ขนาด
ไดโอด

max

นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นแนวทาง เพื่อการวิเคราะห์และพิจารณาสำหรับ
การปรับปรุง แก้อัปเดตและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งคณะผู้วิจัยกำลังทำเนียบการ
ต่อไป



๑. บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดพลังงานแสงสว่าง พลังงานความร้อนที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ พลังงานจากธรรมชาติในรูปแบบอื่นๆ ที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ได้แก่ พลังงานจากลม และ กระแสน้ำ พลังงานธรรมชาติเหล่านี้ หากรู้จักนำมาใช้ก็แปลงใช้ให้เหมาะสมแล้ว จะให้ประโยชน์แก่มนุษย์อย่างมากมาย

มนุษย์เราได้พยายามเปลี่ยนพลังงานจากธรรมชาติต่างๆ เหล่านี้มาใช้ในรูปของพลังงานอื่นๆ เพื่อช่วยผ่อนแรงและให้ความสะดวกสบายแก่มนุษย์มากที่สุด เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ พลังงานกล และพลังงานความร้อน เป็นต้น บรรดาพลังงานต่างๆ เหล่านี้ พลังงานไฟฟ้าได้รับการพัฒนาอีกแปลงมาใช้เป็นประโยชน์มากที่สุด จะเห็นได้จากอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ในปัจจุบันนี้ล้วนแต่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเกือบทั้งสิ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากเราสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้หลายวิธี เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยาทางเคมี ไคแก่พวกถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ต่างๆ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานกล ไคแก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่างๆ อาจเป็นแบบที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง หรือแบบที่ใช้น้ำแรงจากกระแสน้ำก็ได้ อย่างไรก็ตาม น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสิ่งที่มีบทบาทอย่างยิ่งในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และเป็นทรัพยากรธรรมชาติ ที่กำลังลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากถูกนำมาใช้อย่างมากมาย นับวันก็จะมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นไปทั่ว จนทำให้เกิดมีปัญหาด้านเศรษฐกิจก็ตามมา บางประเทศต้องหันไปใช้ระบบการผลิตไฟฟ้า จากพลังงานปรมาณู ซึ่งก็มีผลเสียทางด้านความปลอดภัยของประชาชน เพราะถ้าหากมีเหตุขัดข้องหรือระบบควบคุมไม่ดีพออาจทำให้มีกัมมันตภาพรังสี รั่วไหลออกมา อันจะเป็นอันตรายแก่ประชาชนได้

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค้นหาพลังงานในรูปแบบต่างๆ ที่ไม่ต้องใช้น้ำมัน วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจยิ่งก็คือ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยอาศัยตัวเปลี่ยนพลังงานที่เรียกว่า " เซลล์แสงอาทิตย์ " (Solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกพัฒนามานานจนสามารถนำไปใช้ได้ในงานทางด้านอวกาศ แต่ยังไม่สามารถนำมาใช้บนพื้นโลกแทนการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากจากยังมีต้นทุนการผลิตสูงอยู่ แต่ก็เชื่อได้ว่าเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการปรับปรุงพัฒนาให้เหมาะสมแล้ว จะเป็นสิ่งที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในอนาคต

๒. เซลล์อาทิตย์

เซลล์อาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง นอกจากนี้ เซลล์อาทิตย์ยังมีคุณสมบัติที่อีกหลายประการ เช่น สามารถใช้งานได้อย่างถาวร พลังงานไฟฟ้าสามารถเก็บสะสมไว้ได้โดยสะดวก ไม่มีของเสียเหลือทิ้งนอกจากความร้อน จึงไม่ทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมเป็นพิษแก่อย่างใด

เซลล์อาทิตย์ได้ถูกพัฒนาปรับปรุงมานานจนสามารถนำไปใช้งานทั้งด้านอวกาศ เช่น ในดาวเทียมหรือยานอวกาศต่างๆ ที่ส่งขึ้นไปจากพื้นโลกก็ได้ใช้เซลล์อาทิตย์ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ทั้งสิ้น ในปัจจุบันนี้เซลล์อาทิตย์ได้เริ่มมีบทบาทที่สำคัญในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้งานบนพื้นโลก เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากน้ำมันและกำลังน้ำ น้ำมันจะมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆ และคาดว่าปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีให้ใช้ในโลกอีกไม่กี่สิบปี จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ และวิศวกร เริ่มหันมาสนใจงานทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างจริงจังมากขึ้น โดยเฉพาะประเทศไทย ซึ่งไม่สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้เอง ควรจะหาช่องทางเพื่อพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีเกี่ยวกับเซลล์อาทิตย์ มาใช้ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในอวกาศ

เซลล์อาทิตย์ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แล้วแต่วัตถุที่จะนำมาสร้าง เราอาจสร้างเซลล์อาทิตย์ได้จากซิลิกอน , สารประกอบพวกแคดเมียมซัลไฟด์ และแกลเลียมอาร์เซไนด์ ฯลฯ การสร้างเซลล์อาทิตย์นิยมใช้ซิลิกอนมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก เพราะสามารถสกัดได้ จากทรายบนพื้นโลก นอกจากนี้ ซิลิกอน ยังเป็นสารกึ่งตัวนำที่ ถูกพัฒนามานาน จนเป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย และถูกใช้เป็นวัสดุชิปเบื้องต้น ในโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทั่วโลก

๒.๑ เซลล์อาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น ของซิลิกอน

เซลล์อาทิตย์แบบซิลิกอนมีโครงสร้างอยู่ ๒ แบบคือ แบบรอยต่อ พี-เอ็น และแบบรอยต่อ เอ็น-พี ซึ่งทั้งสองแบบก็มีคุณลักษณะเหมือนกัน โครงสร้างของเซลล์อาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็นของซิลิกอนแสดงไว้ในรูปที่ ๒.๑ (ก) จะเห็นว่า โครงสร้างของเซลล์อาทิตย์ แบบนี้มีลักษณะเหมือนโครงสร้าง

ของโคโชนิกรอยท่อ พี-เอ็น ทุกประการ เพียงแค่เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบสร้างขึ้นมาให้มีลักษณะที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รอยท่อ พี-เอ็น ของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวนี้ ถูกสร้างขึ้นมาโดยเริ่มจากการแพร่อะตอมของโบรอน ซึ่งเป็นสารเจือชนิดพี เข้าไปในชั้นผลึกซิลิกอนชนิดเอ็น ด้วยกระบวนการแพร่สาร (Diffusion) รอยท่อ พี-เอ็น ที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติ เช่นเดียวกับโคโชนิกทุกประการ เมื่อมีแสงตกกระทบที่ผิวของเซลล์พลังงานแสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนเอาไว้ ทำให้เกิดประจุพาหะอิสระขึ้น ๒ ชนิด คืออิเล็กตรอน และโฮล ประจุพาหะจะเคลื่อนที่ ด้วยอิทธิพลของสนามไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่ที่บริเวณรอยท่อ ทำให้เกิดเป็นกระแสไหลออกมาได้ ดังแสดงในรูปที่ ๒.๒

เซลล์แต่ละเซลล์จะสามารถจ่ายแรงดันออกมาได้ประมาณ ๐.๕ โวลต์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แบบซิลิกอน จำนวนกระแสไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ของเซลล์, ความลึกของรอยท่อ และความเข้มแสง เป็นประการสำคัญ, เซลล์ที่มีขนาดใหญ่ มีความลึกของรอยท่อที่เหมาะสม เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มสูงจะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้มาก

๒.๒ คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของ เซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ ๒.๓ โดยแสดงคุณสมบัติขณะที่รับแสง และไม่ได้รับแสง

จากรูปที่ ๒.๓ จะเห็นได้ว่าในขณะที่เซลล์ได้รับแสง เซลล์จะสามารถจ่ายกระแสให้ได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกลัดวงจร ซึ่งมีค่า I_{sc} และเซลล์จะสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออก ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_{oc} กระแสซึ่งเกิดจากเซลล์ขณะที่ได้รับแสงนี้ถูกเรียกว่า " กระแสไฟฟ้าแสง " (Photo Current) นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาได้อีกว่า กำลังงานที่จะได้รับจากเซลล์มากที่สุดคือ ผลคูณระหว่างค่ากระแสกับค่าแรงดันที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ ๒.๓ ก็คือค่า $V_m I_m$

อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังมากที่สุดที่เซลล์จะให้ได้จริงๆ กับค่ากำลังงานที่เซลล์น่าจะให้ได้ในทางอุดมคติ ถูกเรียกว่า ฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor) หรืออาจพิจารณาได้ว่าค่า ฟิลแฟกเตอร์ ก็คืออัตราส่วนระหว่างผลคูณของ $V_m I_m$ กับผลคูณของ $V_{oc} I_{sc}$ ซึ่งโดยปกติมักจะมีค่าราว

๐.๘ ถึง ๐.๘๒ [1]

๒.๓ ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอิน ของซิลิกอน [2]

กำลังงานที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบนี้จะมีค่าลดลง เมื่อเซลล์ได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้แสดงไว้ดังในรูปที่ ๒.๔ โดยจะมีการสูญเสียพลังงานราว ๐.๓๕ % ถึง ๐.๔๕ % ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส ในกรณีเช่นนี้ เซลล์แสงอาทิตย์จะให้กำลังงานที่อุณหภูมิ ๒๐°C ได้มากกว่าที่ ๒๖°C ราว ๒๐ % จากรูปที่ ๒.๔ นี้จะเห็นได้ชัดว่าการสูญเสียกำลังงานส่วนใหญ่จะเนื่องมาจากการลดลงของค่าแรงดัน ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

๒.๔ ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ มีความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) เช่นเดียวกับแหล่งจ่ายไฟทั่วๆ ไป ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่รอยสัมผัส (contact) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์เป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อกำลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาก ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสดงไว้ในรูปที่ ๒.๕ จากรูปจะเห็นได้ว่าเซลล์ที่มีความต้านทานอนุกรมมาก จะให้กระแสลัดวงจร (I_{sc}) ลดน้อยลง และความชันของกราฟลดลงด้วย เป็นผลให้กำลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลดน้อยลงไปมาก ทั้งนี้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นจะต้องหาวิธีการลดค่าความต้านทานอนุกรมภายในให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีความต้านทานอนุกรมภายในน้อยกว่าหนึ่งโอห์ม

๒.๕ ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

ประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์ เขียนสรุปได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพในการ เปลี่ยนพลังงาน (%)

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (mw)} \times 100}{\text{พลังงานที่ได้จากแสง (mw/cm}^2) \times \text{พื้นที่รับแสงของเซลล์ (cm}^2)}$$

เซลล์จะจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ที่จุด V_m และ I_m) ก็ต่อเมื่อมีแหล่งรับพลังงานหรือโหลด (load) ที่เหมาะสมมาต่อกับเซลล์ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกจะมีค่าสูงสุดประมาณ 100 mw/cm^2 ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓- การสร้าง การวัด การทดลอง และผลการทดลอง

๓.๑ เปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะโครงสร้างต่างกัน

เพื่อการตรวจสอบและหาข้อมูลในอันที่จะสร้าง เซลล์แบบแสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น ของซิลิกอน (Silicon p-n Junction Solar Cell) ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยสิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายและเวลาของการสร้างให้น้อยที่สุด ขบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ ที่นับว่ามีความสำคัญ มาก ก็คือ การสร้างรอยสัมผัสโอมิก (Ohmic Contact) จากส่วนพี (P-region) และส่วน เอ็น (n-region) ของเซลล์ โดยปกติมักจะสร้างรอยสัมผัสโอมิก โดยการเคลือบโลหะอะลูมิเนียม บนซิลิกอน ทั้งส่วนพี และส่วนเอ็น ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จำเป็นต้องผ่านขบวนการเมทัลไลเซชัน (Metallization) ถึงสองครั้งแล้วจึงจะนำไปชุบนิเกิลแบบโรไฟฟ้า (Nickel Plating)

ในขั้นสุดท้าย

ในการทดลองครั้งนี้ได้จัดสร้างเซลล์ขึ้น ๒ แบบคือ

แบบที่ ๑ ทำการอะลูมิเนียมเมทัลไลเซชัน ๒ ครั้ง เพื่อสร้างรอยสัมผัสให้แก่ส่วนพี และส่วนเอ็น แล้วจึงนำไปชุบนิเกิล

แบบที่ ๒ ทำการอะลูมิเนียมเมทัลไลเซชัน ครั้งเดียวเพื่อสร้างรอยสัมผัสให้แก่ส่วนพี แล้วจึงนำไปชุบนิเกิล ดังนั้นสำหรับเซลล์แบบนี้ ทางด้านเอ็นจะเป็นรอยสัมผัส ระหว่าง นิเกิล และ ซิลิกอน

ลักษณะโครงสร้างของ เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๑ และแบบที่ ๒ ซึ่งสร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว แสดงไว้ดังในรูปที่ ๓.๑ (ก) และ (ข) ตามลำดับ

๓.๑.๑ การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๑ และแบบที่ ๒

เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๑ และแบบที่ ๒ ถูกสร้างขึ้นจากแผ่นผลึกรูปเดี่ยว (Single Crystal) ของซิลิกอน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๕ เซนติเมตรหนาราว ๓๐๐ ไมครอนมีระนาบแบบ <๑๑๑> และเป็นซิลิกอนชนิดเอ็น (n-type) มีขนาดค่าพิทักความต้านทาน ๐.๐๑ โอห์ม-เซนติเมตร

แผ่นผลึกซิลิกอนนี้จะถูกนำมาทำความสะอาดผิวหน้า เพื่อกำจัดคราบไขมัน และสิ่งสกปรกอื่นๆ ให้หมดไป ด้วยสารละลายของ Trichloroethylene , Acetone และน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นผลึกเรียบร้อยแล้ว ชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) จะถูกสร้างขึ้นบนผิวของแผ่นผลึกซิลิกอน ด้วยกระบวนการสร้างชั้นออกไซด์ (Oxidation Process) โดยอาศัยความร้อนที่อุณหภูมิราว $900^{\circ}C$ ในบรรยากาศของออกซิเจนแห้ง (Dry O_2) เป็นเวลา ราว ๓ ชั่วโมง ชั้นออกไซด์นี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันผิวหน้า ไม่ให้อะตอมของสารแปลกปลอม (Impurity atom) แพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อซิลิกอนได้

ต่อมาชั้นของออกไซด์บนผิวหน้าของแผ่นผลึกจะถูกเปิดออก เฉพาะบริเวณที่ต้องการแพร่ (Diffused) สารเจือเข้าไปในเนื้อซิลิกอน ทั้งนี้โดยอาศัยกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (Photolithography) สำหรับการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device) แล้วจึงถูกนำไปทำการแพร่ สาร (Diffusion) ต่อไป

การแพร่สารอะตอมของสารเจือชนิดที (p-type impurity) เข้าไปในแผ่นผลึกชนิดเอ็น กระทำขึ้นเพื่อการสร้างรอยต่อ ที-เอ็น (p-n junction) โดยในที่นี้ใช้แผ่นสารโบรอนไนไตรด์ (BN) เป็นแหล่งจ่ายอะตอมโบรอน ซึ่งเป็นสารเจือชนิดที โดยทำเป็น ๒ ชั้นตอนดังนี้คือ

แพร่ชั้นที่ ๑ แพร่สารเจือของโบรอน จากแผ่น BN เข้าไปในซิลิกอนชนิดเอ็นที่อุณหภูมิ $900^{\circ}C$ ในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน (N_2) เป็นเวลานาน ๒๐ นาที

แพร่ชั้นที่ ๒ แพร่อะตอมของโบรอนที่มีอยู่ในแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็นให้ลึกเข้าไปภายในเนื้อซิลิกอนอีก ที่อุณหภูมิ $900^{\circ}C$ ในบรรยากาศของออกซิเจนแห้ง (Dry O_2) เป็นเวลานาน ๑๐ นาที

การแพร่ในชั้นที่ ๑ จะทำให้อะตอมของโบรอนจากแผ่น BN ไม่เคลื่อนหรือแพร่เข้าไปเล็กน้อยในแผ่นซิลิกอน และการแพร่ครั้งที่ ๒ จะทำให้อะตอมของโบรอนที่มีอยู่แล้วนี้แพร่ซึมลึกเข้าไปในแผ่นซิลิกอนทำให้เกิดเป็นรอยต่อ ที-เอ็น อย่างสมบูรณ์เกิดขึ้นและขณะเดียวกันจะเกิดขึ้นของออกไซด์ บางๆ เคลือบอยู่ที่ผิวหน้าทั้งหมดของแผ่นซิลิกอน

ขั้นตอนต่อไปก็คือ การเปิดหน้าฉากของชั้นออกไซด์ ที่ผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนออก เพื่อการสร้าง รอยสัมผัสส่วนที่ ซึ่งทำโดยใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการเมทัลไลเซชัน เพื่อเคลือบโลหะอะลูมิเนียม โดยใช้เครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ (Vacuum evaporation) แล้วใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี กำจัดอนุภาคนีออนออกให้เหลือเฉพาะส่วนสัมผัสที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๑ จะถูกเคลือบอะลูมิเนียมทั้งทางด้านบน และด้านล่างของเซลล์แบบที่ ๒ จะถูกเคลือบอะลูมิเนียมเฉพาะทางด้านบน เซลล์ทั้งสองแบบนี้จะถูกนำไปทำการชุบเงินเคลือบไวท์ไฟฟ้า [4] เพื่อสะดวกในการบันทึก และต่อสายออกไปใช้งาน แล้วทำการทดลองและวัดค่าไป

ลักษณะโครงสร้าง ขบวนการที่ใช้สร้าง และคุณสมบัติบางอย่างของเซลล์แบบที่ ๑ และแบบที่ ๒ อาจสรุปและเขียนได้ดังในตารางที่ ๓.๑, ลวดลายอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นรอยสัมผัสทางด้านบน ของเซลล์ทั้งสองแบบ เขียนแสดงได้ดังในรูปที่ ๓.๒, ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ทั้งสองแบบที่ขั้นตอนการสร้างต่างๆ เขียนตามลำดับได้ดังในรูปที่ ๓.๓

๓.๑.๒ การทดลองและการวัดคุณสมบัติของ เซลล์แบบที่ ๑ และแบบที่ ๒

ก. การวัดหาคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันไฟฟ้าของ เซลล์ ในขณะที่เซลล์ได้รับแรงดันไบอัสตรง

วงจรที่ใช้วัดหาคุณสมบัติดังกล่าวนี้แสดงได้ดังในรูปที่ ๓.๔ โดยการป้องกันไม่ให้เซลล์ถูกแสงสว่างจากภายนอก ดังนั้นกระแสอันเนื่องจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง (I_L) จะมีค่าเป็นศูนย์ เซลล์จะได้รับแรงดันไบอัสตรงจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง โดยที่ค่าแรงดันดังกล่าวนี้สามารถปรับค่าได้ แรงดันที่ตกคร่อมเซลล์สามารถอ่านได้จาก โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) และกระแสซึ่งไหลผ่านเซลล์สามารถอ่านได้จาก มิลลิแอมป์มิเตอร์ (Milliamp meter)

ค่าของกระแสซึ่งไหลผ่านเซลล์ในขณะนี้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$I = I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q}{kT} (V - IR_s) \right\} - 1 \right] \quad (3.1)$$

โดยที่ I คือกระแสซึ่งไหลผ่านเซลล์

I_0 คือค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reversed Saturation Current) ของรอยต่อพี-เอ็น

q คือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

k คือค่าคงที่ของโบสท์มันน์ (Boltzmann's Constant)

T คือค่าอุณหภูมิรอยต่อ (°K) นี้ ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V คือแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ

R_s คือค่าความต้านทานภายในที่อนุกรมอยู่กับรอยต่อ

n คือค่าคงที่ค่าหนึ่ง มีค่าราว ๑-๕

จากวงจรในรูปที่ ๓.๔ นำค่าแรงดัน และกระแสไปเขียนบนกราฟกราฟแบบขรรคมก และแบบเซมิล็อก (Semi-log) เพื่อพิจารณาผลการทดลองต่อไป

- ๒. การวัดหาลักษณะคุณสมบัติของ เซลแสงอาทิตย์ขณะที่ เซลได้รับแสงที่มีความเข้มแสงค่าต่างๆ กัน

วงจรที่ใช้วัดหาลักษณะคุณสมบัติของ เซลแสงอาทิตย์แบบนี้แสดงไว้ดังในรูปที่ ๓.๕ โดยการให้เซลล์ได้รับแสงที่มีความเข้มต่างๆ กัน ในขณะที่ เซลถูกต่ออยู่กับตัวความต้านทานซึ่งปรับค่าได้ แต่ละค่าความเข้มแสง ตัวความต้านทานจะถูกปรับค่า จากค่าสูงสุดจนถึงสูงสุด จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวความต้านทาน และเกิดมีแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทานด้วย ขณะนี้ เซลแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นแหล่งจ่ายกระแส (current source) กระแสซึ่ง เซลจะจ่ายออกมาได้จะขึ้นอยู่กับขนาดความถี่และความเข้มแสง ค่าของกระแสที่ไหลผ่านตัวความต้านทาน และค่าของแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทาน อาจเขียนแสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้คือ

$$I = I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q}{nkT} (V - IR_s) \right\} - 1 \right] - I_L \quad (3.2)$$

โดยที่ I_L คือกระแสซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากรอยต่อ พี-เอ็น ถูกกระตุ้นด้วยแสงค่าของกระแสในขณะนี้จะมิติศทางตรงกันข้ามกับในการวัดครั้งแรก ในการทดลองวัดครั้งนี้ใช้หลอดไฟจากไส้หลอดทังสแตน (Tungsten) ซึ่งสามารถปรับหรั้ได้ โดยการปรับค่าความเข้ม ๒ ค่า คือที่ ๒๐๐๐ Lux และ ๓๐๐๐ Lux แล้วทำการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของ เซล จากนั้นใช้หลอดไฟพิเศษแบบเมอคิวรี่ (Mercury Lamp) ซึ่งมีความเข้มแสงมากกว่า ๓๐๐๐ Lux เป็นแหล่งจ่ายแสงสว่าง แล้ววัดหาลักษณะคุณสมบัติของ เซลทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แล้ววางจรรยาในรูปที่ ๓.๕ ยังถูกนำไปใช้วัดหาค่าคุณสมบัติของเซต
ขณะที่เซตได้รับแสงอาทิตย์จริงๆ อีกด้วย ความเข้มของแสงอาทิตย์ จะมีค่าความ
เข้มสูงกว่าหลอดไฟ ซึ่งใช้วัดในตอนแรกมากกว่าคือ มีความเข้มแสงถึง 120,000 Lux.

๓.๑.๓ ผลการวัดและทดลอง ของ เซลแบบที่ ๑ และแบบที่ ๒

ก. ผลของการวัดหาลักษณะคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันตามวงจรรูปที่ ๓.๔ ถูกนำไปเขียนบนกระดาษกราฟแบบขรรคมคาโค้งงอในรูปที่ ๓.๖ โดยเขียนแสดงเปรียบเทียบระหว่าง เซลแบบที่ ๑ และแบบที่ ๒ คุณสมบัติของ เซลแสงอาทิตย์ในขณะนี้ก็คือคุณสมบัติของรอยคอด พี-เอ็น ที่ไปนั่นเอง เนื่องจากไม่มีผลใดๆ อันเนื่องมาจากแสง

จากรูปที่ ๓.๖ จะเห็นว่าคุณสมบัติของ เซลแบบที่ ๑ และ ๒ มีลักษณะคล้ายกัน แต่เซลล์แบบที่ ๒ จะมีค่าความต้านทานภายใน น้อยกว่าเซลล์แบบที่ ๑ กล่าวคือความชันของกราฟของเซลล์แบบที่ ๒ จะมีค่ามากกว่าแบบที่ ๑

จากข้อมูลที่โค้งงอกล่าวนี้หากนำไป เขียนลงบนกระดาษกราฟแบบกึ่งล็อก (Semi-log) โดยให้แกนนอนแทนค่าของแรงดัน และแกนตั้งแทนค่าของกระแส กราฟนี้จะทำให้สามารถคำนวณหาค่า R_s ซึ่งเป็นค่าความต้านทานอนุกรมอยู่ภายในเซลล์ทั้งสองได้ ผลจากการคำนวณหาค่า R_s ของเซลล์ทั้งสองแบบปรากฏว่า เซลแบบที่ ๑ มีค่า $R_s = ๐.๘๘$ โอห์ม และแบบที่ ๒ มีค่า ๐.๑๒ โอห์ม

นอกจากนี้แล้วเรายังสามารถคำนวณหาค่า n ซึ่งเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง และปรากฏอยู่ในสมการที่ (๓.๑) และ (๓.๒) ได้ ค่า n นี้ยังมีค่าน้อยยิ่งก็ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว มีค่าโค้งตั้งแต่ ๑ จนถึง ๕ และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่สมบูรณ์และจึกว่าก็ จะมีค่าราว ๒ - ๓ ผลการคำนวณจากกราฟจะได้ว่าเซลล์แบบที่ ๑ มีค่า $n = ๑.๘$ และเซลล์แบบที่ ๒ มีค่า $n = ๑.๘$

รายละเอียดและตัวอย่าง การคำนวณหาค่า R_B และ η ของเซตแสงอาทิตย์ นี้จะได้อีกแสดงไว้ในหัวข้อเรื่องการคำนวณโดยเฉพาะ

ข. ผลของการวัดหาลักษณะ คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันตามวงจรรูปที่ ๓.๕ ในขณะที่เซลล์ได้รับแสง ซึ่งมีความเข้ม ๒๐๐๐ Lux , ๓๐๐๐ Lux และมากกว่า ๓๐๐๐ Lux แสดงไต่กันในกราฟรูปที่ ๓.๗ , ๓.๘ และ ๓.๘ ตามลำดับ จะเห็นได้ชัดว่าที่ความเข้มแสงค่าใดๆก็ตาม ค่ากระแสขณะลัดวงจร (Short circuit current) หรือ I_{SC} ของเซลล์แบบที่ ๒ จะมีความมากกว่าเซลล์แบบที่ ๑ ยิ่งแสงมีความเข้มมาก ผลต่างของกระแส I_{SC} นี้จะยิ่งมีค่ามากขึ้น และสำหรับ เซลล์แต่ละเซลล์ เมื่อความเข้มแสงมีค่ามากขึ้นค่ากระแสขณะลัดวงจรจะมีความมากขึ้นตามลำดับ คุณสมบัติของเซลล์ขณะได้รับแสงอาทิตย์ แสดงไต่กันในรูปที่ ๓.๑๐ ซึ่งค่าของกระแสขณะลัดวงจรของเซลล์ที่ ๑ มีค่า $I_{SC} = ๒๐๐$ มิลลิแอมแปร์ และเซลล์แบบที่ ๒ มีค่า $I_{SC} = ๒๘๘$ มิลลิแอมแปร์ ค่าของแรงดันขณะที่เปิดวงจรออก (Open circuit voltage) หรือ V_{OC} ของเซลล์แบบที่ ๑ มีค่า ๐.๕๕ โวลต์ เซลล์แบบที่ ๒ มีค่า ๐.๕๕ โวลต์

จากกราฟในรูปที่ ๓.๑๐ เราสามารถคำนวณหาค่า " ฟิลแฟกเตอร์ " และค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ค่าสุกของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบนี้ได้ ซึ่งการคำนวณหาค่าเหล่านี้จะแสดงไว้ในบทความตอนต่อไป ผลจากการคำนวณปรากฏว่าค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แบบที่ ๑ มีค่า $FF = ๐.๓๘$ ของเซลล์แบบที่ ๒ มีค่า $FF = ๐.๕๓$ และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบที่ ๑ (ใช้แทนด้วย η) มีค่า $\eta \geq ๔\%$ และของเซลล์แบบที่ ๒ มีค่า $\eta \geq ๗.๖\%$

ผลที่ได้จากการวัดและทดลอง เซลล์แบบที่ ๑ และแบบที่ ๒ สามารถเขียนสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ ๓.๒

๓.๒ เปรียบเทียบเขตแสงอาทิตย์ที่มีปริมาณอะตอมสาร เจือไม่เท่ากัน

เพื่อการตรวจสอบและหาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะคุณสมบัติ และประสิทธิภาพของ เขตแสงอาทิตย์ ที่มีปริมาณอะตอมสาร เจือไม่เท่ากัน การควบคุมปริมาณของอะตอมสาร เจือที่จะแพร่ เข้าไปในแผ่นผลึก ซิลิกอนกระทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการแพร่ ที่เวลาซึ่งนานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่า ปริมาณอะตอมสาร เจือยอมแพร่ เข้าไปไ้มากกว่า เขตที่มีปริมาณของอะตอมสาร เจือไม่เท่ากัน ยอมรับคุณสมบัติแตกต่างกัน

ในการทดลองครั้งนี้ เราทำการควบคุมปริมาณของสาร เจือชนิดที่ (ซึ่งได้แก่อะตอมของโบรอน) โดยการกำหนดช่วงเวลาในการแพร่ชั้นที่ ๑ ให้แตกต่างกัน ทั้งนี้จึงได้ทำการจัดสร้าง เขตแสงอาทิตย์ ชั้น ๒ แบบ โดยแต่ละเขตมีปริมาณอะตอมสาร เจือไม่เท่ากัน

๓.๒.๑ การสร้างเขตแบบที่ ๓ และที่ ๔

เขตแสงอาทิตย์แบบที่ ๓ และแบบที่ ๔ ถูกสร้างขึ้นจากแผ่นผลึกรูปเคียว ของซิลิกอน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๕ เซนติเมตรหนาราว ๓๐๐ ไมครอน มีระนาบ <๑๑๑> และเป็นซิลิกอนชนิดเอ็นเช่นเดียวกับที่ใช้สร้างเขตแสงอาทิตย์แบบที่ ๑ และที่ ๒ แต่มีค่าพิททิ ความต้านทานเป็น ๐.๔ ถึง ๑ โอห์มเซนติเมตร

แผ่นผลึกซิลิกอนถูกนำไปสร้างรอยต่อ พี-เอ็น ด้วยเทคนิคและวิธีการเดียวกันกับการสร้างเขตแบบที่ ๑ และแบบที่ ๒

แต่การสร้างเขตแบบที่ ๓ ทำการแพร่ชั้นที่ ๑ ด้วยเวลา ๓๐ นาที และสำหรับเขตแบบที่ ๔ ทำการแพร่ชั้นที่ ๑ ด้วยเวลา ๒๖ นาที ขบวนการอื่นๆ นอกจากนี้เหมือนกันทุกประการ ลักษณะโครงสร้างของเขตแบบที่ ๓ และ ๔ นี้ เหมือนกับโครงสร้างของเขตแบบที่ ๒ กล่าวคือ ทำการเคลื่อนอะตอมเจือเข้าเพียงด้านเดียวเฉพาะส่วนที่เท่านั้น ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของเขตแบบที่ ๓ และแบบที่ ๔ สามารถเขียนสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ ๓.๓

๓.๒.๒ การทดลองและการวัดคุณสมบัติของเขตแบบที่ ๓ แบบที่ ๔, และผลการทดลอง

ก. ผลจากการวัดหาคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันไฟฟ้า, ของเขตเมื่อ

ได้รับแรงดันไบอัสตรง โขยไขว้จจรในรูปที่ ๓.๔ สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟ แสดงบนกระดาษกราฟแบบขรรณคาโค้งในรูปที่ ๓.๑๑ ซึ่งเป็นลักษณะคุณสมบัติ ของรอยคอ พี-เอ็น โขยต่างๆ ไปในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง ซึ่งจากกราฟใน รูปนี้ จะเห็นได้ชัดว่า ค่าความต้านทานภายในอนุกรมของเซล (R_g) มีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถนำข้อมูลที่ไ้ไปคำนวณหาค่า R_g ได้ในทำนองเดียวกับ ที่เคยกล่าวมาแล้วและการคำนวณปรากฏว่า ค่าความต้านทานอนุกรมของ เซลแบบที่ ๓ มีค่า $R_g = 0.25$ โอห์ม และเซลล์แบบที่ ๔ มีค่า $R_g = 0.25$ โอห์ม

นอกจากนี้การคำนวณหาค่า n ซึ่งปรากฏในสมการที่ (๓.๑) และ (๓.๒) ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน เซลแบบที่ ๓ มีค่า $n = 2.07$ และ เซลแบบที่ ๔ มีค่า $n = 2.0$

- ข. ผลจากการวัดหาลักษณะคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสและแรงดันตามวงจร ในรูปที่ ๓.๕ ในขณะที่เซลล์ได้รับแสง ซึ่งมีความเข้ม $2,000 \text{ Lux}$, $3,000 \text{ Lux}$ และมากกว่า $3,000 \text{ Lux}$ เขียนแสดงด้วยกราฟโค้งในรูปที่ ๓.๑๒, ๓.๑๓ และ ๓.๑๔ ความสำคัญ คุณสมบัติของเซลล์เมื่อได้รับแสงอาทิตย์แสดงได้ กิ่งในรูปที่ ๓.๑๕ ซึ่งค่าของกระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ ๓ มีค่า 0.63 มิลลิแอมแปร์ และเซลล์แบบที่ ๔ มีค่า 0.54 มิลลิแอมแปร์ ค่าของแรงดันขณะ ที่วงจรเปิดของเซลล์แบบที่ ๓ มีค่า $V_{oc} = 0.5$ โวลต์ และของเซลล์แบบ ที่ ๔ มีค่า 0.52 โวลต์

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาค่า "ฟิลแพคเตอร์" และค่าประสิทธิภาพ ทำสุกของเซลล์แบบที่ ๓ และ ๔ ได้ดังนี้ ฟิลแพคเตอร์ของเซลล์แบบที่ ๓ มี ค่า $FF. = 0.63$ และแบบที่ ๔ มีค่า $FF. = 0.64$ ค่าประสิทธิภาพของ เซลล์แบบที่ ๓ มีค่า $\eta \geq 2.2\%$ และเซลล์แบบที่ ๔ มีค่า $\eta \geq 2.4\%$

ผลที่ได้จากการวัดและทดลอง เซลล์แบบที่ ๓ และแบบที่ ๔ สามารถเขียน สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ ๓.๔

๘. การคำนวณ

๘.๑ การคำนวณหาค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซด (R_s)

การคำนวณหาค่า R_s ทำได้โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติของความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และ แรงดันของเซดในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และไม่มีแสง นำไปเขียนลงบนกระดาษกราฟแบบเซมิ-ล็อก (Semi-log) ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ ๘.๑ ซึ่งเป็นกราฟของเซดแบบที่ ๒

จากกราฟที่พิจารณาได้ว่า ระยะห่างของกราฟซึ่งเบนออกจากแนวเส้นตรง อันเนื่องมาจากผลของ ตัวความต้านทานอนุกรมภายในเซด (R_s) ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น ΔV_f ซึ่งก็คือผลคูณของกระแส I_f กับค่าของความต้านทาน R_s

นั่นคือ

$$\Delta V_f = I_f R_s$$

ดังนั้น

$$R_s = \frac{\Delta V_f}{I_f}$$

จากกราฟ

$$\Delta V_f = 0.6725 - 0.645 = 0.027 \text{ โวลต์}$$

$$I_f = 250 \text{ มิลลิแอมป์}$$

ดังนั้น

$$R_s = \frac{0.027}{0.250} = 0.108 \text{ โอห์ม}$$

สำหรับค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซดอื่นๆ ก็สามารถคำนวณหาได้ เช่นเดียวกันนี้

๘.๒ การหาค่าตัวคงที่ n จากสมการที่ (๓.๑)

เนื่องจากตัวคงที่ n เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งจะสามารถบ่งชี้ได้ว่า ขบวนการสร้าง เซดแสงอาทิตย์นี้ สำเร็จสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด โดยที่หากเซดแสงอาทิตย์มีความสมบูรณ์เป็นไปตาม ทฤษฎีแล้ว ค่าของ n นี้จะมีค่าต่ำสุด และเท่ากับหนึ่งหากเซดที่ไม่สมบูรณ์ ค่า n จะมีค่ามากกว่า หนึ่ง ดังนั้นการคำนวณหาค่า n ของเซดจึงเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่ง และสามารถทำได้ดังนี้คือ

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันของรอยต่อ พี-เอ็น ที่สมบูรณ์

$$I = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right\}$$

ดังนั้น

$$\log_e I = \log_e I_0 + \frac{eV}{nkT}$$

จากกราฟในรูปที่ ๔.๑ ในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง อาจเขียนเป็นสมการพื้นฐานได้ว่า

$$Y = \Delta X + C$$

ซึ่งในที่นี้ Y คือ $\log_e I$, Δ คือ $\frac{e}{nkT}$, X คือ V และ C คือ $\log_e I_0$

ดังนั้นความชันของกราฟก็คือ

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \Delta$$

หรือ

$$\frac{\Delta \log_e I}{\Delta V} = \frac{e}{nkT}$$

$$n = \frac{e \cdot \Delta V}{kT \cdot \Delta \log_e I}$$

จากการอ่านค่าในกราฟ

$$n = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23} \times 300} \times \frac{(0.545 - 0.49)}{\log_e \frac{27}{8}}$$

$$= 1.75$$

นั่นคือ

$$n = 1.75$$

ในกรณีของเซลล์อื่นๆ ก็สามารถคำนวณหาได้ ด้วยวิธีเดียวกัน

๔.๑ การคำนวณหาค่าฟิลแพคเตอร์ของ เซลแสงอาทิตย์

จากนิยามของค่าฟิลแพคเตอร์

$$FF = \frac{\text{พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เกิดจากผลคูณของ } I_m \text{ และ } V_m}{\text{พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เกิดจากผลคูณของ } I_{sc} \text{ และ } V_{oc}}$$

พิจารณาคำอธิบายในกราฟรูปที่ ๔.๕ ของเซลล์แบบที่ ๒

$$I_m \cdot V_m = 210 \text{ mA} \times 0.4 \text{ V}$$

$$I_{sc} \cdot V_{oc} = 289 \text{ mA} \times 0.55 \text{ V}$$

ดังนั้น

$$FF = \frac{210 \times 0.4}{289 \times 0.55} = 0.53$$

นั่นคือค่าฟิลแพคเตอร์ของ เซลล์แบบที่ ๒ = ๐.๕๓ สำหรับเซลล์อื่นๆ ก็สามารถหาได้ ด้วย

วิธีการเดียวกัน

๔.๔ การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการ เปลี่ยนพลังงานของ เซล

จากนิยามของประสิทธิภาพในการ เปลี่ยนพลังงานของ เซล

$$\eta = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (มพ) } \times 100 \%}{\text{พลังงานที่รับได้จากแสง (มพ/ cm}^2) \times \text{พ.ท ของเซลล์ (cm}^2)}$$

ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าค่าสูงสุดที่เซลล์จะสามารถจ่ายออกมาได้ กับค่าพลังงานที่ไ้รับจากแสง

ในการทดลองครั้งนี้เนื่องจาก คณะผู้วิจัยยังขาดอุปกรณ์บางอย่าง เช่น เครื่องมือวัดพลังงานจากแสง ฯลฯ ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ว่า พลังงานที่ไ้รับจากแสงอาทิตย์ สมมุติให้เป็นค่าสูงสุดที่แสงอาทิตย์

จะสามารถให้ได้ ณ. ผิวโลกโดยมีระยะกับน้ำทะเล ซึ่งค่าก็กล่าวนำมาใช้เป็นค่ามาตรฐาน [2] คือ 100 mm/cm^2 . พลังงานจากแสงอาทิตย์ค่าดังกล่าวนี้ เป็นค่าสูงสุด ซึ่งในทางปฏิบัติจริงๆ อาจมีค่าน้อยกว่านี้ก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่สถานที่ เวลา และฤดูกาล ทั้งนี้เมื่อนำเอาค่ามาตรฐานนี้มาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของ เซลล์ที่คำนวณได้ จึงเป็นค่าต่ำสุด โดยแท้จริงอาจจะสูงกว่านี้ได้

ข้อมูลที่ไ้จากการทดลองของ เซลล์แบบที่ ๒ ซึ่งมีพื้นที่รับแสงราว ๑๑ ตารางเซนติเมตร และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้มากที่สุด ๔๘ มิลลิวัตต์ ทั้งนี้จะไ้ว่า

$$\eta \geq \frac{84 \text{ (mW)} \times 100}{100 \text{ (mW/cm}^2) \times 11 \text{ (cm}^2)} \%$$

$$\geq 7.6 \%$$

ดังนั้นจึงสรุปไ้ว่า ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของ เซลล์แบบที่ ๒ นี้ จะมีค่า η ไม่น้อยกว่า ๗.๖ %

สำหรับเซลล์ตัวอื่นๆ ก็สามารถคำนวณหาได้ ในวิธีการเดียวกันนี้เอง

๕. สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองสร้าง และวิเคราะห์คุณสมบัติของ เซลแสงอาทิตย์ทั้ง ๔ แบบ ซึ่งต่างก็มีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังสรุปไว้ในตารางที่ ๕.๑ คุณสมบัติของเซลล์ทั้งสี่แบบนี้ สามารถนำมาเปรียบเทียบและพิจารณาได้ดังนี้คือ ในกรณีการทดลองที่ ๓.๑ เพื่อการเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติของเซลล์ที่มีโครงสร้าง ซึ่งแตกต่างกัน สามารถกล่าวสรุปได้ว่าเซลล์ที่มีโครงสร้างที่ง่าย (เซลล์ที่ ๒) จะให้คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีกว่า โดยมีความต้านทานอนุกรมที่น้อยกว่า ดังนั้นลักษณะของเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบเซลล์ที่ ๒ จึงน่าจะใช้เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมได้

ในกรณีการทดลองที่ ๓.๒ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติของเซลล์ที่มีอะตอมสารเจือในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยที่เซลล์แบบที่ ๓ ถูกสร้างขึ้นให้มีปริมาณของอะตอมสารเจือมากกว่าเซลล์แบบที่ ๔ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าของความต้านทานอนุกรมของเซลล์ที่ ๓ มีค่าน้อยกว่า และในกรณีที่เซลล์ได้รับแสงซึ่งมีความเข้มน้อยๆ เซลล์ที่ ๔ จะให้กระแสไ้มากกว่าเซลล์ที่ ๓ ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าเนื่องจากเซลล์ที่ ๔ ได้รับความหนาแน่นของแสงในเวลาที้น้อยกว่าเซลล์ที่ ๓ ดังนั้น ความลึกของรอยก่อกพี-เอ็น จึงมีค่าน้อยกว่าเซลล์ที่ ๓ ด้วยเหตุนี้ จึงให้เซลล์แบบที่ ๔ มีความไวต่อแสง (sensitivity) ดีกว่าเซลล์แบบที่ ๓ แต่อย่างไรก็ดี ในขณะที่เซลล์ได้รับแสงอาทิตย์ ซึ่งมีความเข้มสูงกว่าหลอดไฟปกติในเซลล์ที่ ๓ จะให้กระแสไ้มากกว่าเซลล์แบบที่ ๔ ทั้งนี้เนื่องจากผลอันเนื่องมาจากการที่มีปริมาณของอะตอมสารเจือชนิดที่ มากกว่าเซลล์แบบที่ ๔ เมื่อเวลาที่เซลล์ได้รับแสงอาทิตย์ โฟตอน (photon) ซึ่งเป็นกอนพลังงาน จะกระตุ้นและทำให้เกิดประจุพาหะ (charge carrier) คือ อิเล็กตรอนอิสระ และโฮลขึ้น เซลล์ที่มีปริมาณของอะตอมสารเจือมากกว่า จะถูกกระตุ้นให้เกิดประจุพาหะเป็นปริมาณมากกว่า ดังนั้นจึงให้กระแสไ้มากกว่า

นอกจากนี้แล้วเราสามารถนำเอาคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสและแรงดันของเซลล์ ในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และยังไม่ถูกแสงของเซลล์ทั้ง ๔ แบบ มาเขียนเปรียบเทียบได้ ดังแสดงในรูปที่ ๕.๑ และคุณสมบัติของเซลล์ทั้งสี่ในขณะที่ได้รับแสงที่มีความเข้มต่างๆ กันก็สามารถนำมาเขียนเปรียบเทียบได้ดังแสดงในรูปที่ ๕.๒ , ๕.๓ และ ๕.๔ ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติของเซลล์ ในขณะที่ได้รับแสงอาทิตย์ เขียนแสดงเปรียบเทียบได้ดังในรูปที่ ๕.๕

ผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดนี้ นำมาเขียนเปรียบเทียบได้ ดังในตารางที่ ๕.๒

โดยการพิจารณาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่าเซลล์แบบที่ ๒ จะให้คุณสมบัติเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีกว่า เซลล์แบบอื่นโดยมีค่าความต้านทานอนุกรมน้อยที่สุด $R_s = ๐.๑๒$ โอห์ม มีค่า $n = ๑.๒$ มีค่าฟิลแฟกเตอร์ $FF = ๖๕.๕๓$ มีค่าประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า ๓.๖ % ค่าแรงดันสูงสุดขณะเปิดวงจร $V_{oc} = ๐.๕๕$ โวลต์ และให้กระแสได้มากถึง ๒๔ มิลลิแอมป์แอมป์เปร์ ในขณะที่ลัดวงจร

โดยที่เราอาจกล่าวสรุปได้ว่า เซลล์ที่สร้างขึ้นมาจากแผ่นผลึกที่มีค่าความต้านทานต่ำกว่า จะให้คุณสมบัติที่ต่ำกว่า เซลล์ที่ถูกแพรวควายปริมาณอะตอมสารเจือที่มากกว่า จะให้คุณสมบัติที่ต่ำกว่า และโครงสร้างของเซลล์แบบที่ ๒ เป็น โครงสร้างที่ง่ายค่าใช้จ่ายต่ำประหยัดเวลาการก่อสร้าง แต่จะให้คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดี

อย่างไรก็ดี เซลล์แบบที่ ๒ ดังกล่าวนี้ ยังสามารถที่จะได้รับการปรับปรุงแก้ไข ให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นไปได้อีก ทั้งนี้โดยอาศัยองค์ประกอบอื่นๆ เช่นการเก็บบรรจุที่ดี การลดผลของการสะท้อนกลับของแสง และอื่นๆ อันจำเป็นของโซลาร์ประมาณ และอุปกรณ์ เครื่องมือบางอย่างเข้ามาช่วย ซึ่งทางคณะผู้วิจัยยังขาดสิ่งเหล่านี้อยู่ จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้และเปรียบเทียบกับ เซลล์แสงอาทิตย์ที่วางขาย ในท้องตลาดแล้ว จะเห็นได้ว่า การทดลองในครั้งนี้ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี ในแง่ของการลงทุนและผลที่ได้รับ

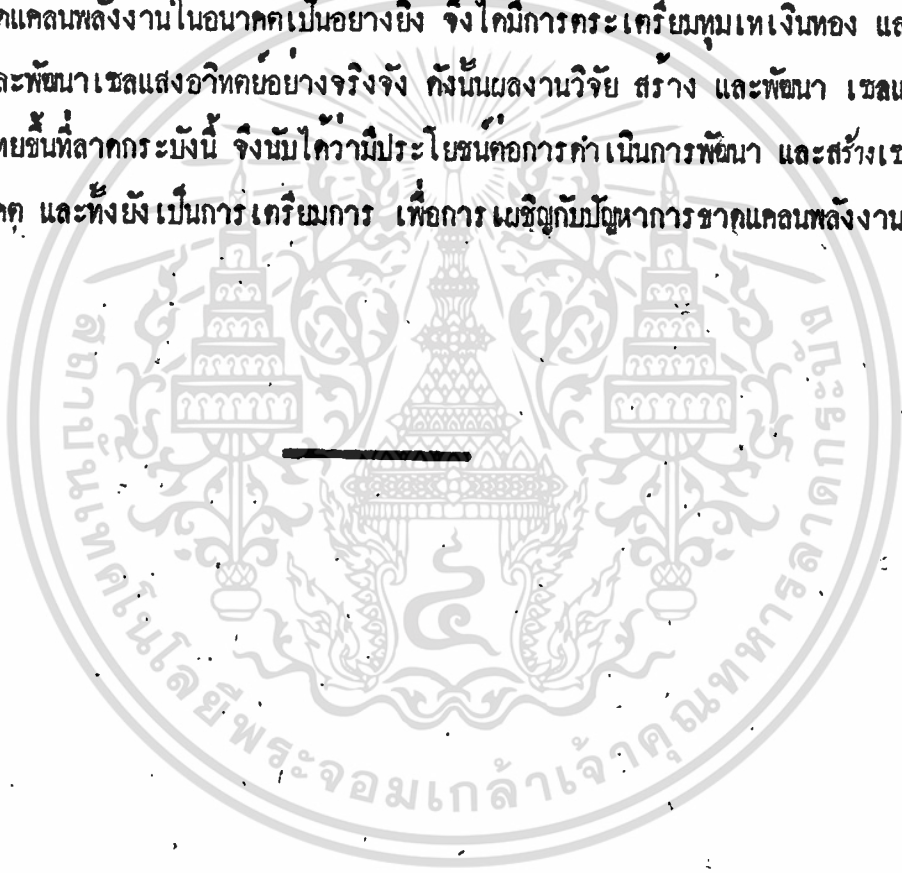
ดังนั้นข้อมูลต่างๆ ในขบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๒ นี้ จึงสามารถที่จะถูกนำไปใช้เป็นแบบอย่างในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นจำนวนมากเพื่อการประยุกต์ ใช้งานได้อื่นจะเป็นทางหนึ่ง ซึ่งช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานจากน้ำมันได้ เพราะเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงได้

จากผลการทดลองในครั้งนี้ เราสามารถคำนวณหาค่าพลังงานสูงสุด ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๒ หนึ่งเซลล์จะจ่ายออกมาได้มีค่า = ๔๔ มิลลิวัตต์การคำนวณดังกล่าวนี้ ทำได้โดยหาผลคูณของกระแสและแรงดัน ซึ่งเซลล์จะจ่ายออกมาได้มากที่สุด ดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ ๕.๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในการทดลองนำ เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ ๔ และแบบที่ ๒ จำนวน ๒ เซลล์ และ ๓ เซลล์ มาต่อกัน คุณสมบัติของ เซลล์ที่ไคเขียนแสดงด้วยกราฟทั้งในรูปที่ ๕.๓ โดยที่เซลล์แบบที่ ๒ จำนวน ๒ เซลล์จะสามารถจ่ายพลังงานออกมาได้ถึงราว ๑๕๐ มิลลิวัตต์ และถ้าหากมีจำนวนเซลล์มาก มายก็จะทำให้สามารถจ่ายพลังงานออกมาได้มากยิ่งขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวนี้ จึงมีประโยชน์มาก ในภาวะที่โลกกำลังขาดแคลนพลังงานน้ำมัน เพราะพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ไคมาไคมีต้องลงทุนแต่ อย่งใด และอายุการใช้งานของ เซลล์แสงอาทิตย์ก็ไม่มีขอบเขตจำกัด ประเทศที่พัฒนาแล้วไคตระหนักถึง ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตเป็นอย่างดี จึงไคมีการตระเตรียมทุนทางการเงินทอง และเวลา ให้ ักงานวิจัยและพัฒนา เซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจัง ทั้งนี้ผลงานวิจัย สร้าง และพัฒนา เซลล์แสงอาทิตย์ ในประเทศไทยชั้นที่ไคกระมังนี้ จึงนับไคว่ามีประโยชน์ต่อการดำเนินการพัฒนา และสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ่อไปในอนาคต และทั้งยังเป็น การเตรียมการ เพื่อการเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานอีกด้วย



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณต่อ ศาสตราจารย์ ดร. คาซึโนริ ซาโต (Prof. Dr. Kazunori Sato) ที่ปรึกษาชาวญี่ปุ่นจากมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทั้งยังได้ให้คำแนะนำและแนวทางซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ดร. โกศล เพ็ชรสุวรรณ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุน ในโครงการนี้ด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ นาย สมศักดิ์ เขียวศิริกุล นักศึกษาปริญญาโท นาย วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง นักศึกษาชั้นปีที่ 5 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีส่วนช่วยในการวัด และการทดลอง และขอขอบคุณ น.ส. ปุษกร วงษ์วิชานานุกรณ์ , น.ส. จินตารักษ์ สุพัทธเวช เจ้าหน้าที่ประจำโครงการสำนักวิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้มีส่วนช่วยในการจัดเตรียมต้นฉบับของรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

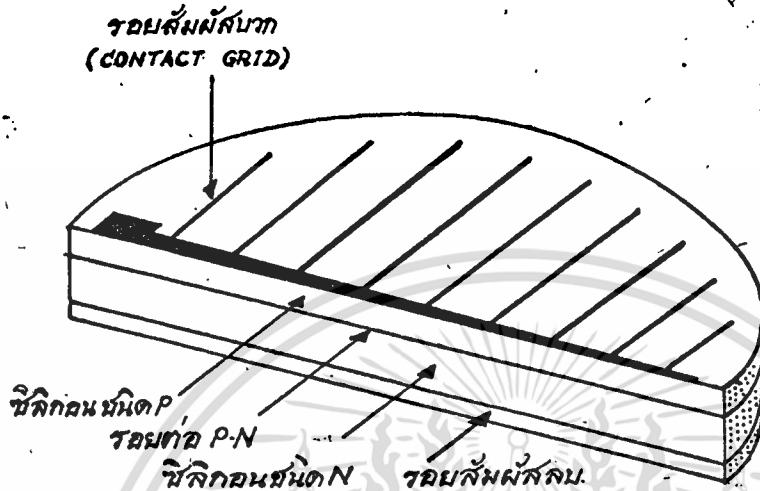
เอกสารอ้างอิง

- [1.] Charles E. Backus , " Solar Cells " IEEE Press 1978 , p.p 186
- [2.] Wolfgang Pals , " Solar Electricity " UNESCO 1978 , p.p. 186
- [3.] Gordon J. Deboo and Clifford N. Burrous , " Integrated Circuit & Semiconductor Devices " Mc Graw - Hill 1971 p.p. 328 - 337
- [4.] Frederick A. Lowenheim , " Modern Electroplating " John wiley & Sons. Inc. 1974 p.p. 710 - 730

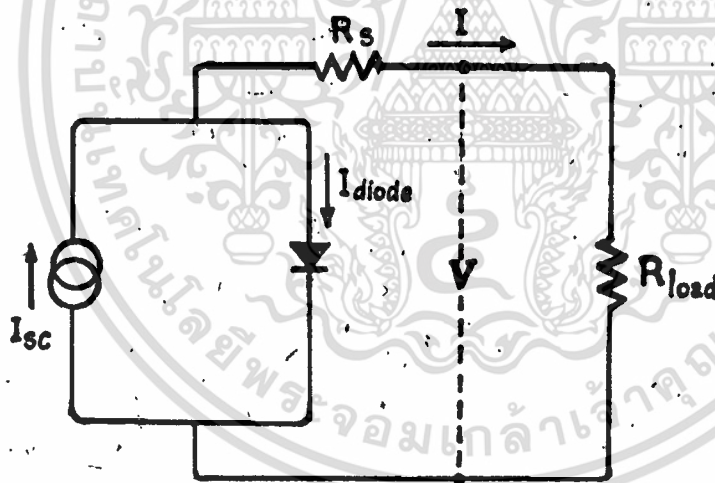
เอกสารอ่านประกอบ

1. ดร. ไพรัช รัชชพงษ์, สมเกียรติ ศุภเกษ "อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ" จัดพิมพ์โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ลาดกระบัง 2521
2. ดร. ไพรัช รัชชพงษ์, สมเกียรติ ศุภเกษ "สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ" จัดพิมพ์โดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) 2522
3. สมเกียรติ ศุภเกษ "วงจรรวมเบืองตัน" จัดพิมพ์เอง 2522
4. สมเกียรติ ศุภเกษ "ปฏิบัติการเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ" จัดพิมพ์เอง 2523
5. สมเกียรติ ศุภเกษ, ห่อนกัม เสง "การวัดหาค่าความต้านทานอนุกรมของไดโอดชนิดรอยต่อ พี-เอ็น" วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

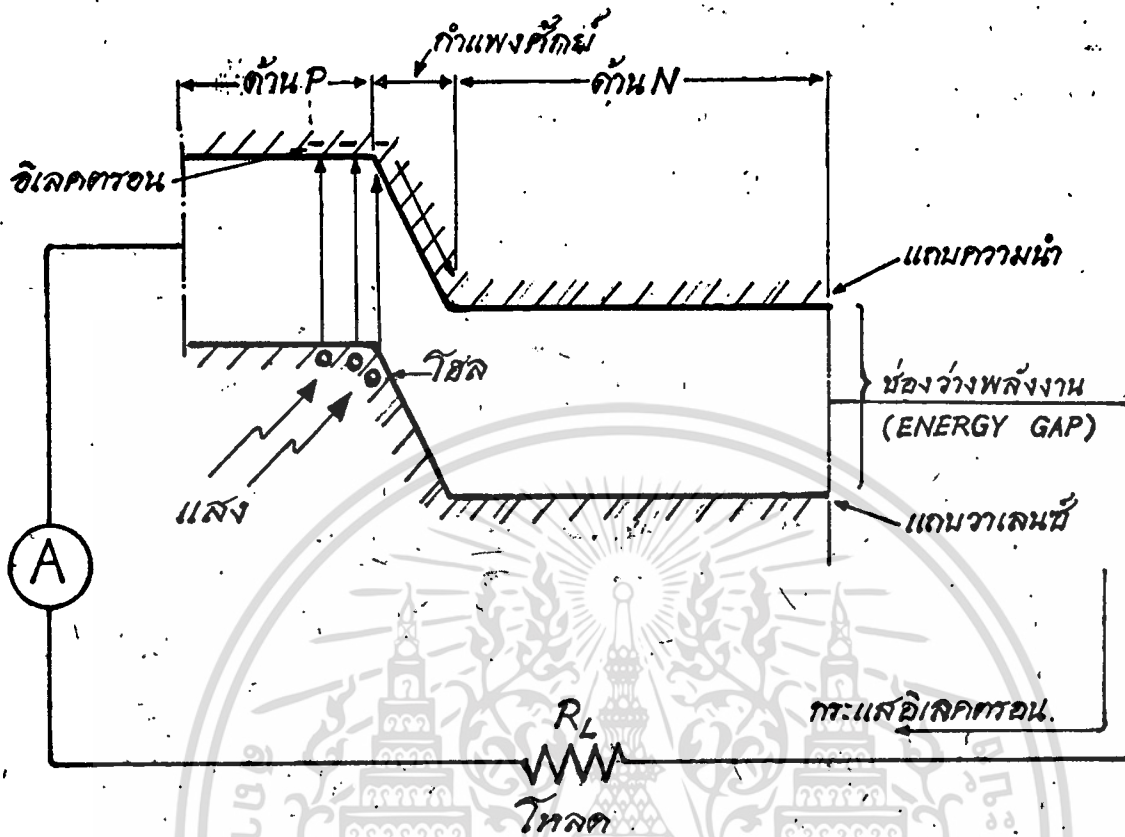


(ก) แสดงโครงสร้างภายในของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน

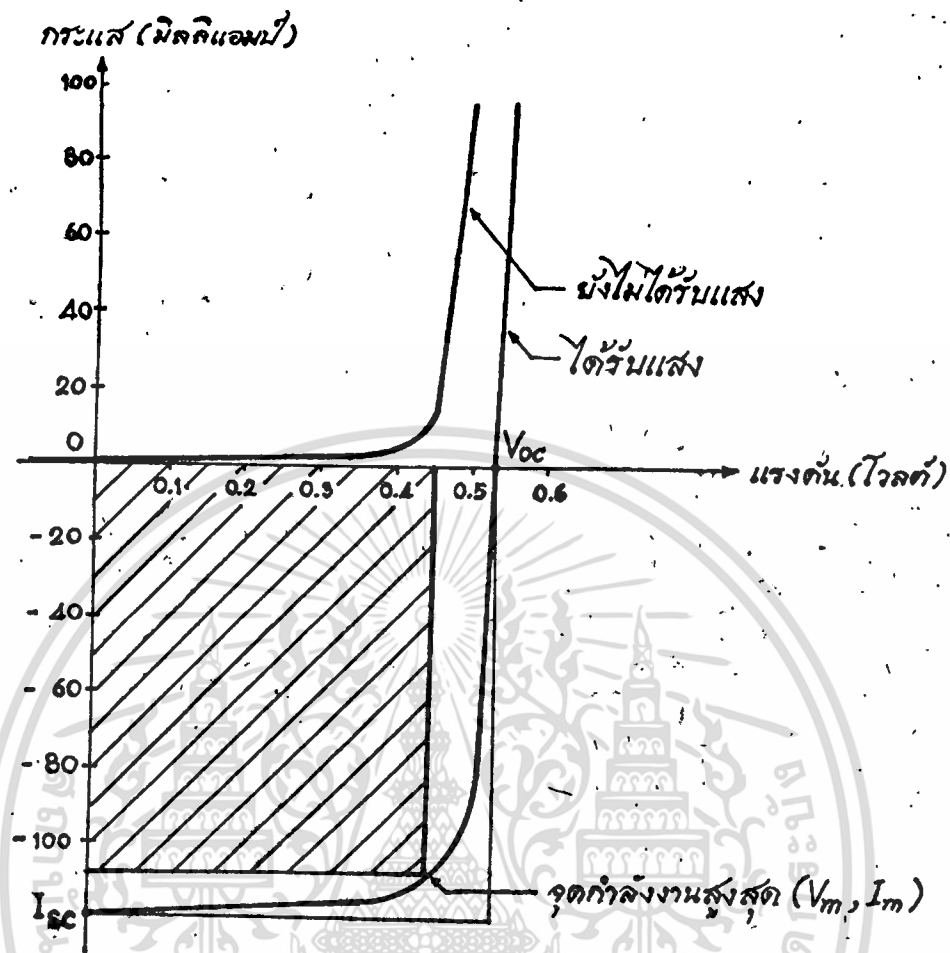


(ข) วงจรเสมือนของเซลล์แสงอาทิตย์

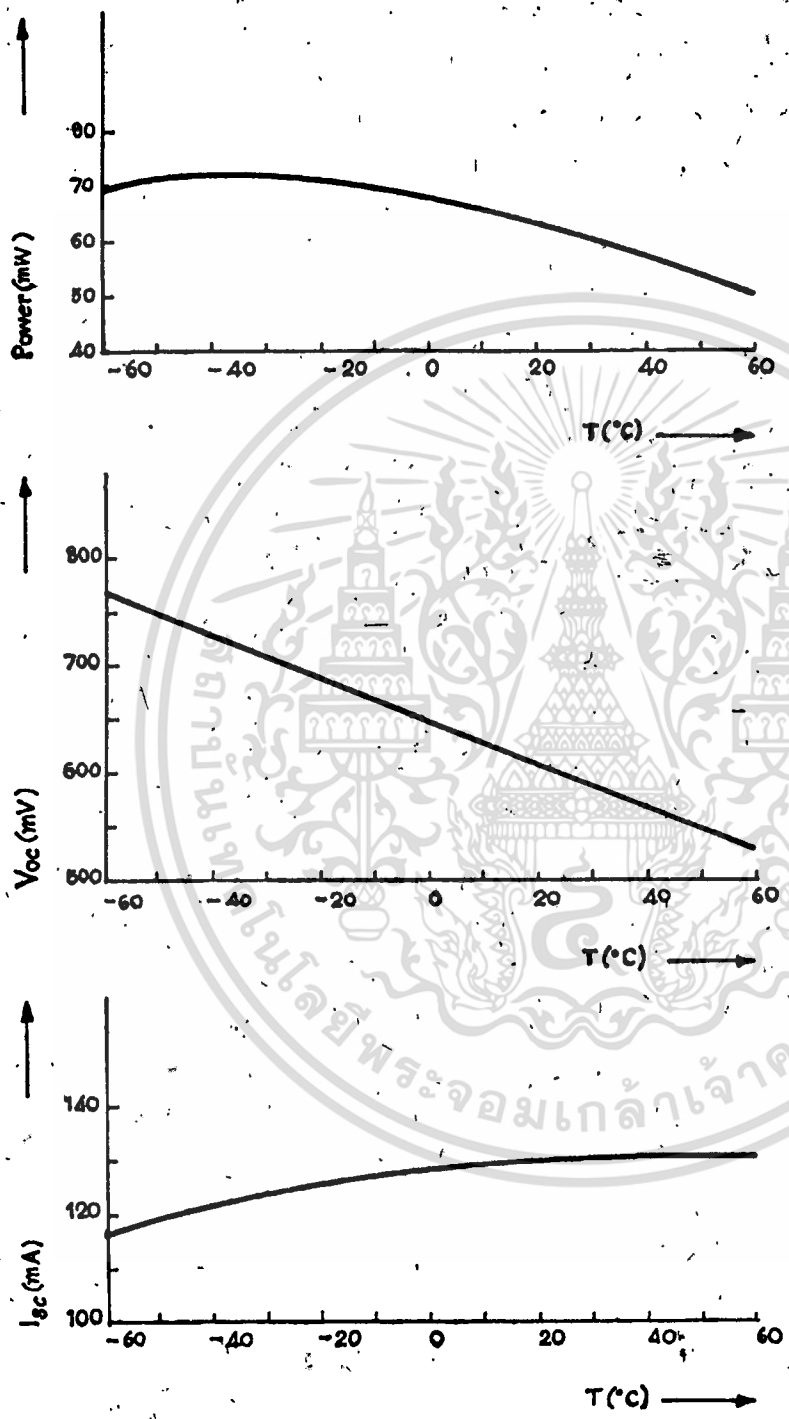
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น ของซิลิกอน



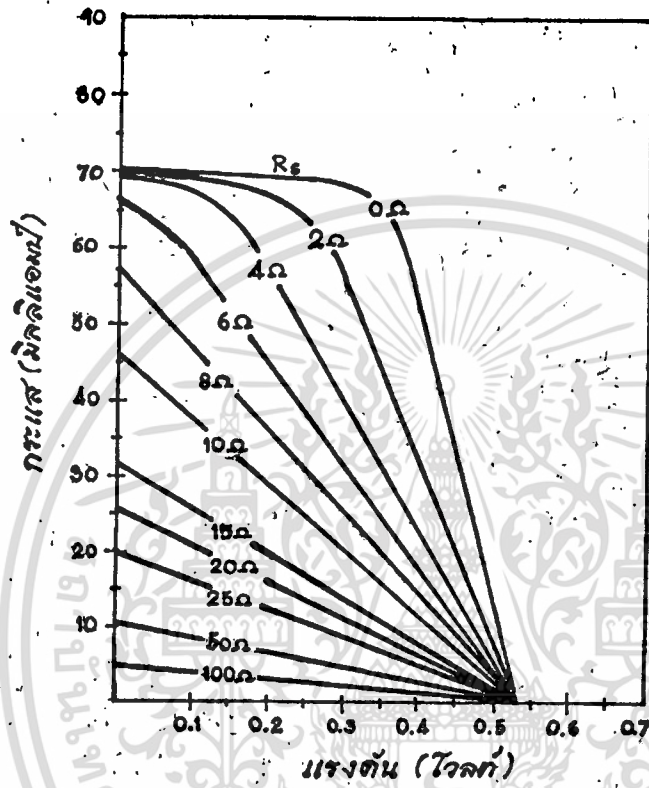
รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะที่เซลล์ได้รับแสง



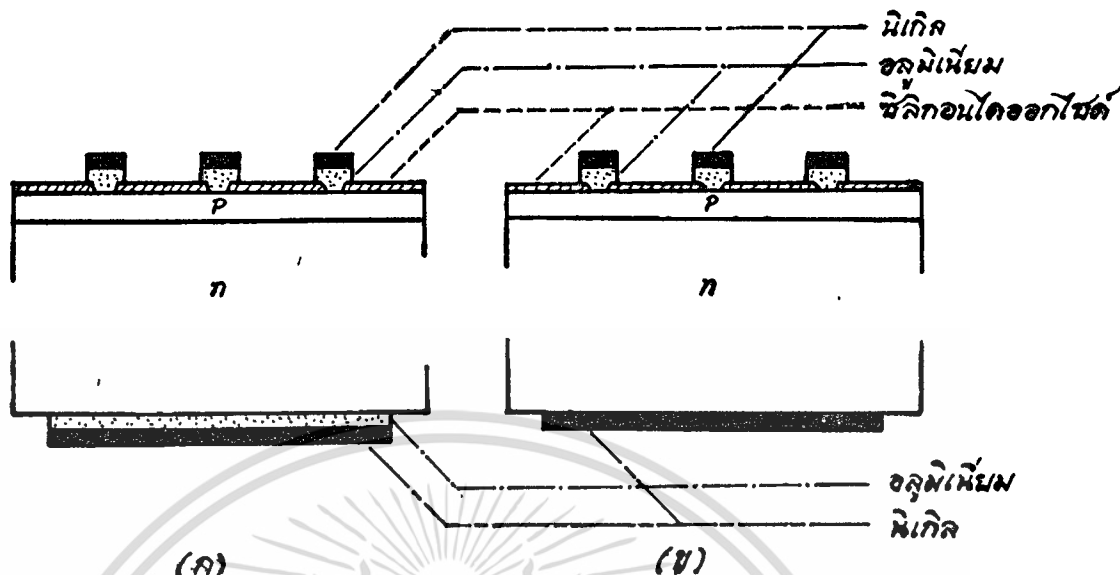
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์
 ขณะได้รับแสงและไม่ได้รับแสง



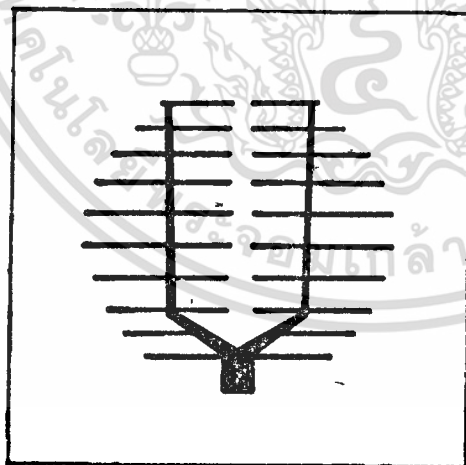
รูปที่ 2.4 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็นของซิลิกอน



รูปที่ 2.5 แสดงผลของค่าความต้านทานอนกรมที่มีต่อพลังงานไฟฟ้า
ที่เซลล์จะขายออกมาได้

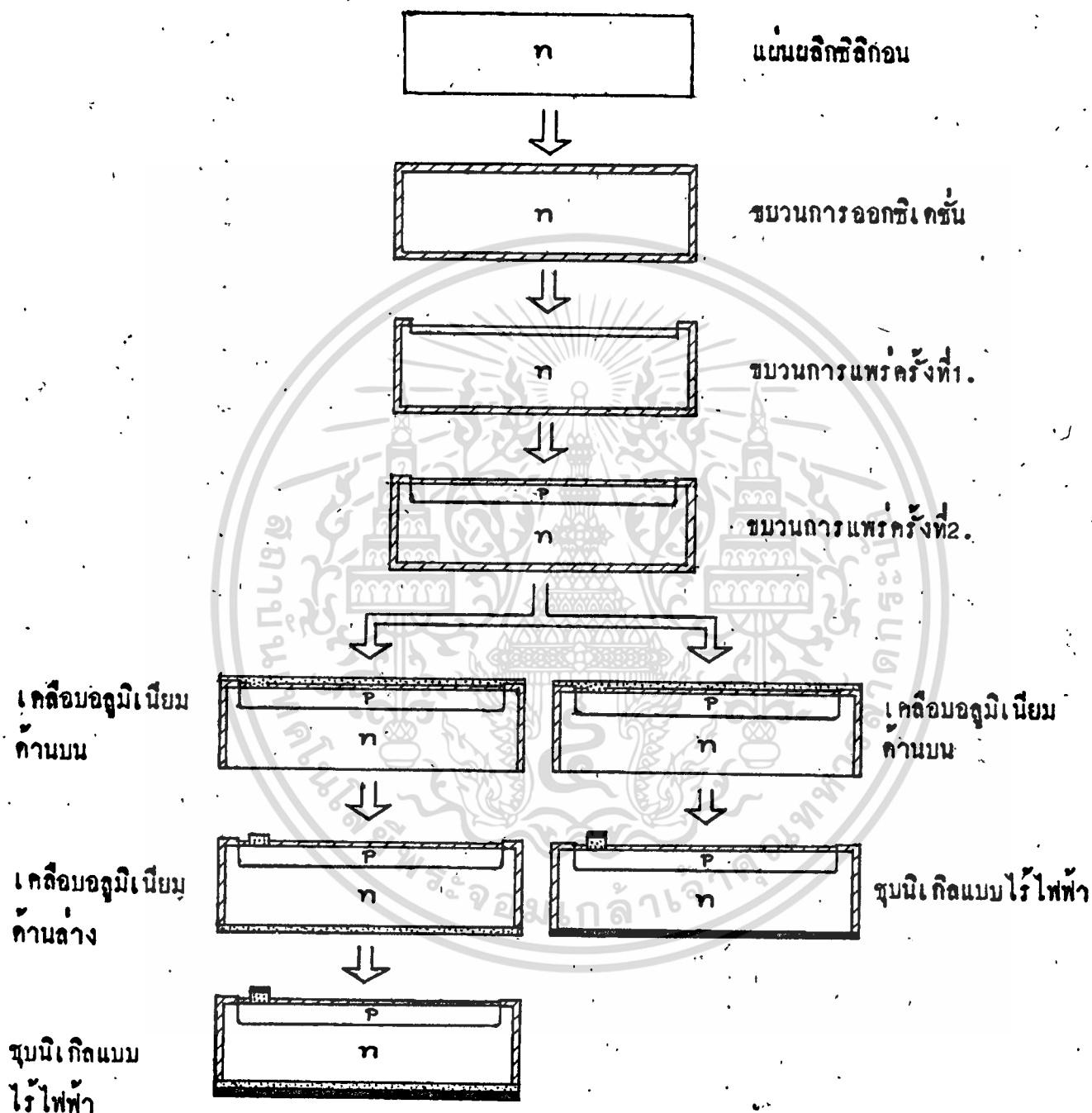


รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของเซลล์แสงอาทิตย์
(ก) แนนที่ 1, (ข) แนนที่ 2



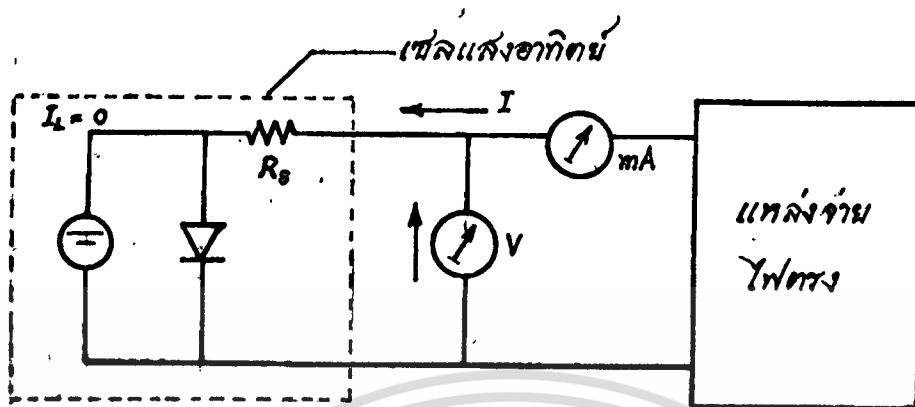
รูปที่ 3.2 แสดงต้นแบบของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

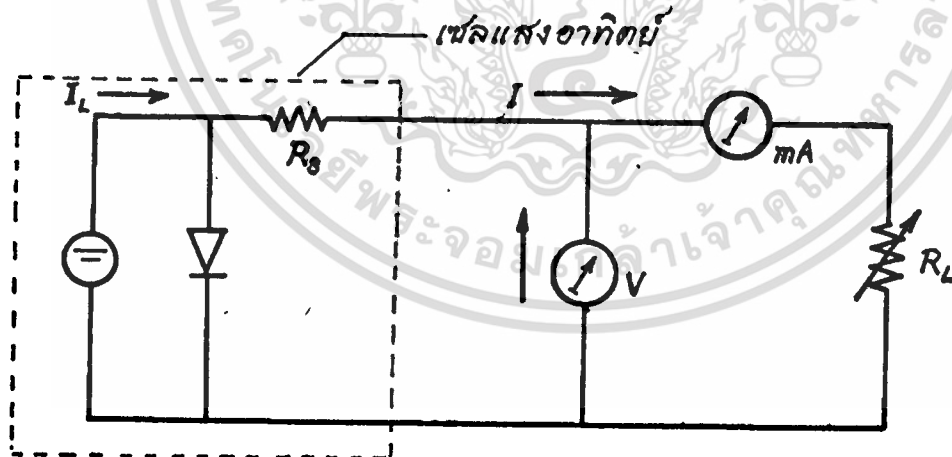


รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการสร้างเส้นแสงอาทิตย์ (ท) แบบที่ 1.
และ (ข) แบบที่ 2.

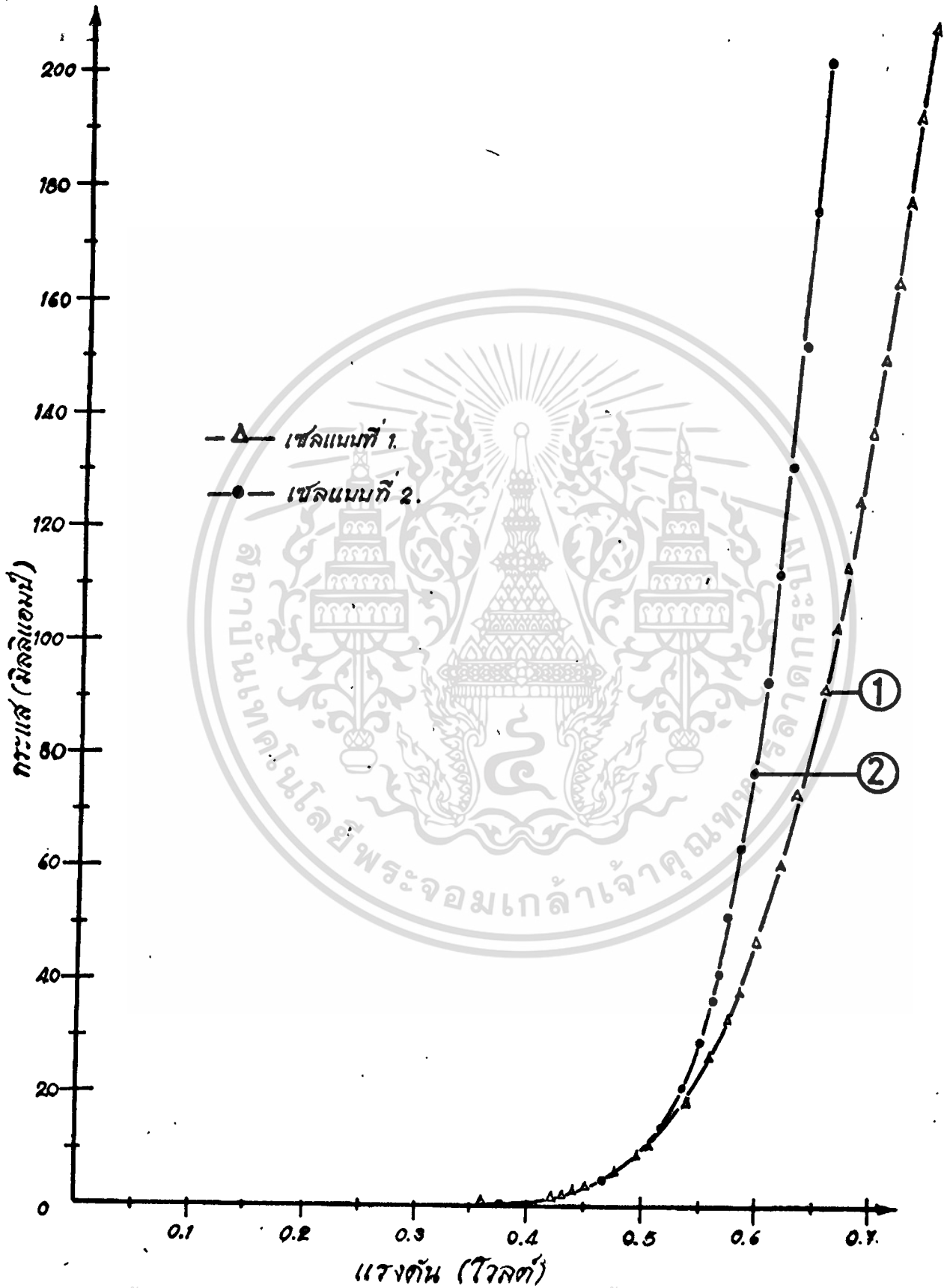
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



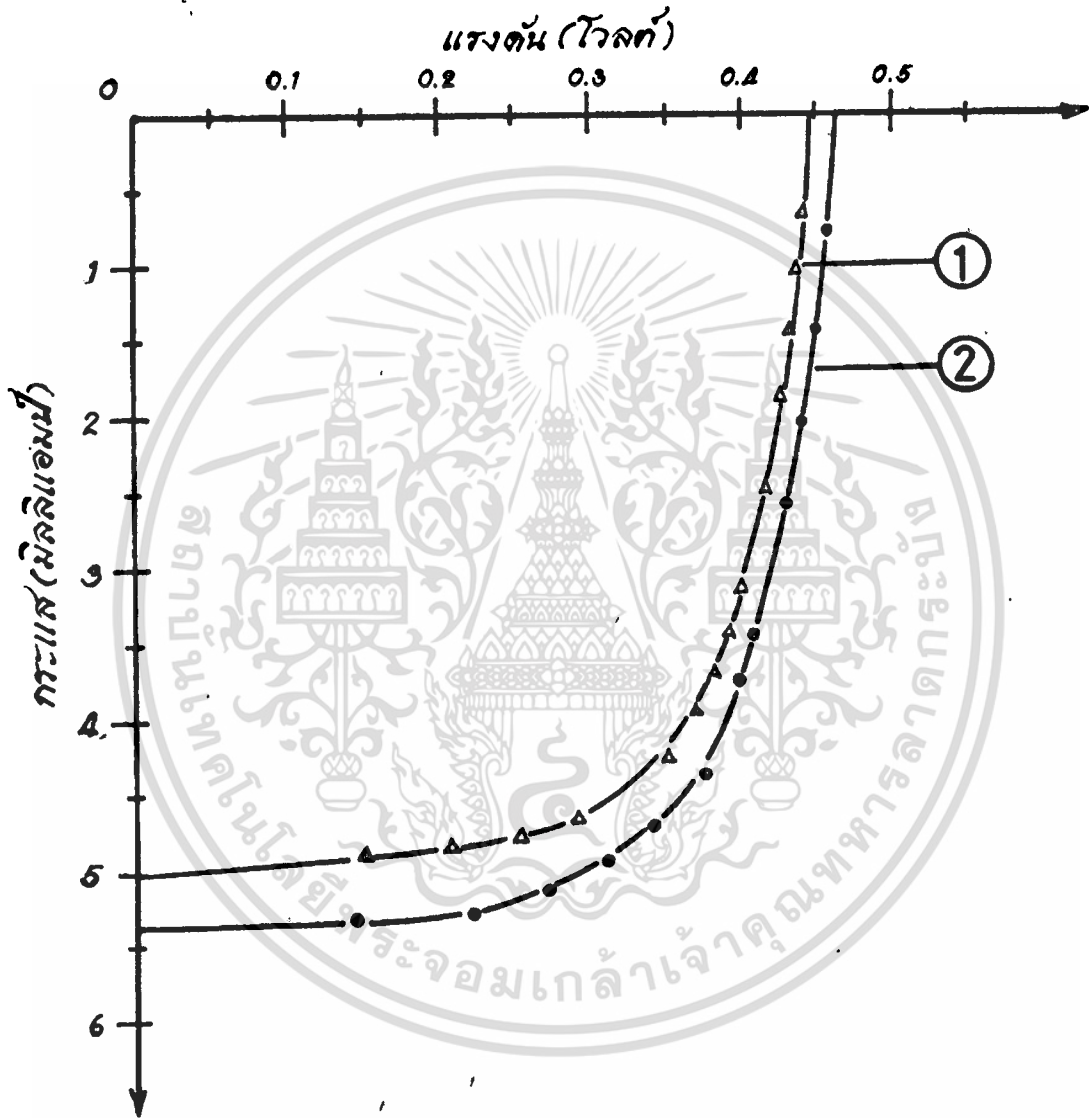
รูปที่ 3.4 วงจรวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์
ขณะที่เซลล์ได้รับโมอัสตร



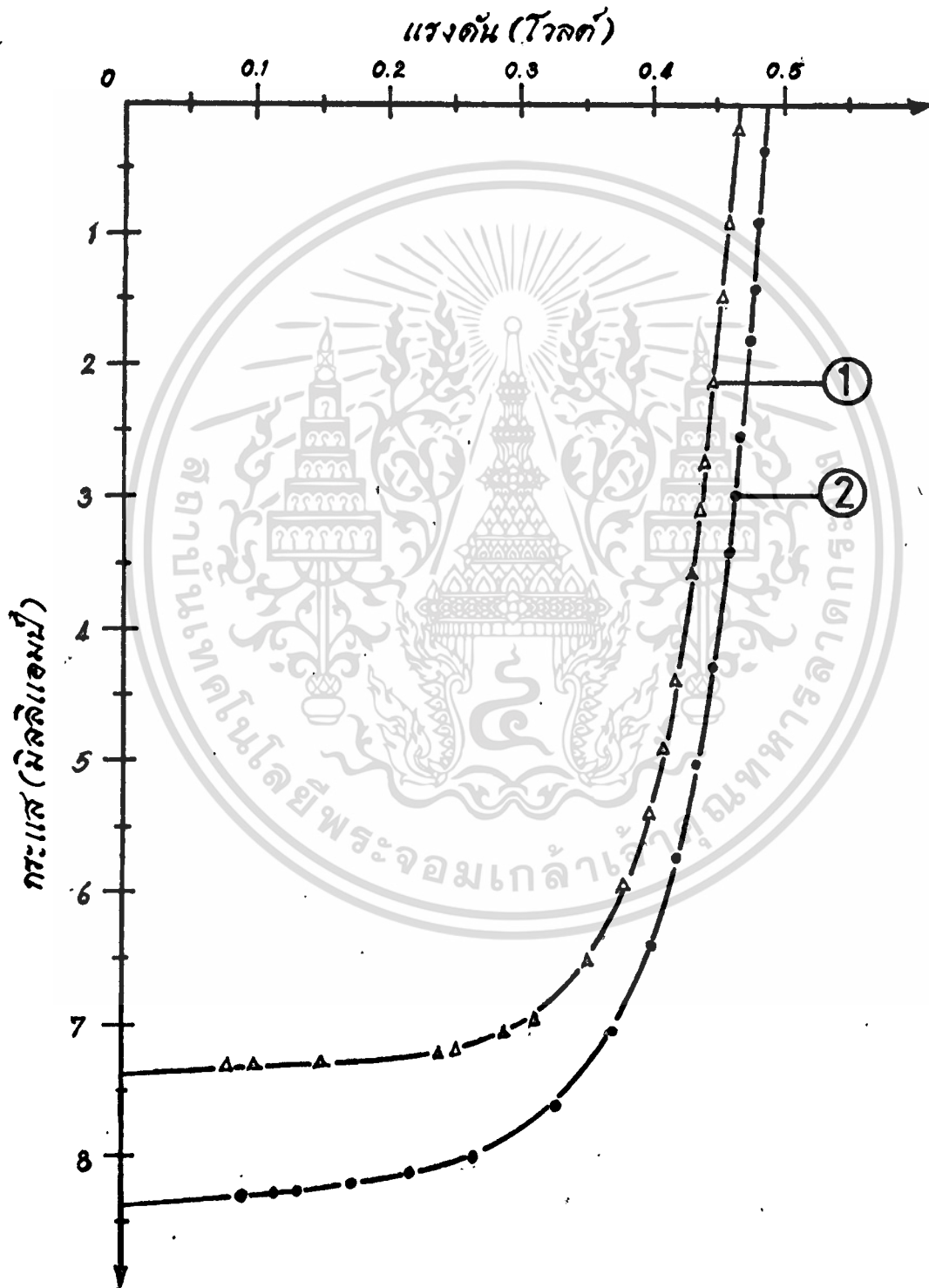
รูปที่ 3.5 วงจรวัดหาลักษณะคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่เซลล์
ได้รับแสง



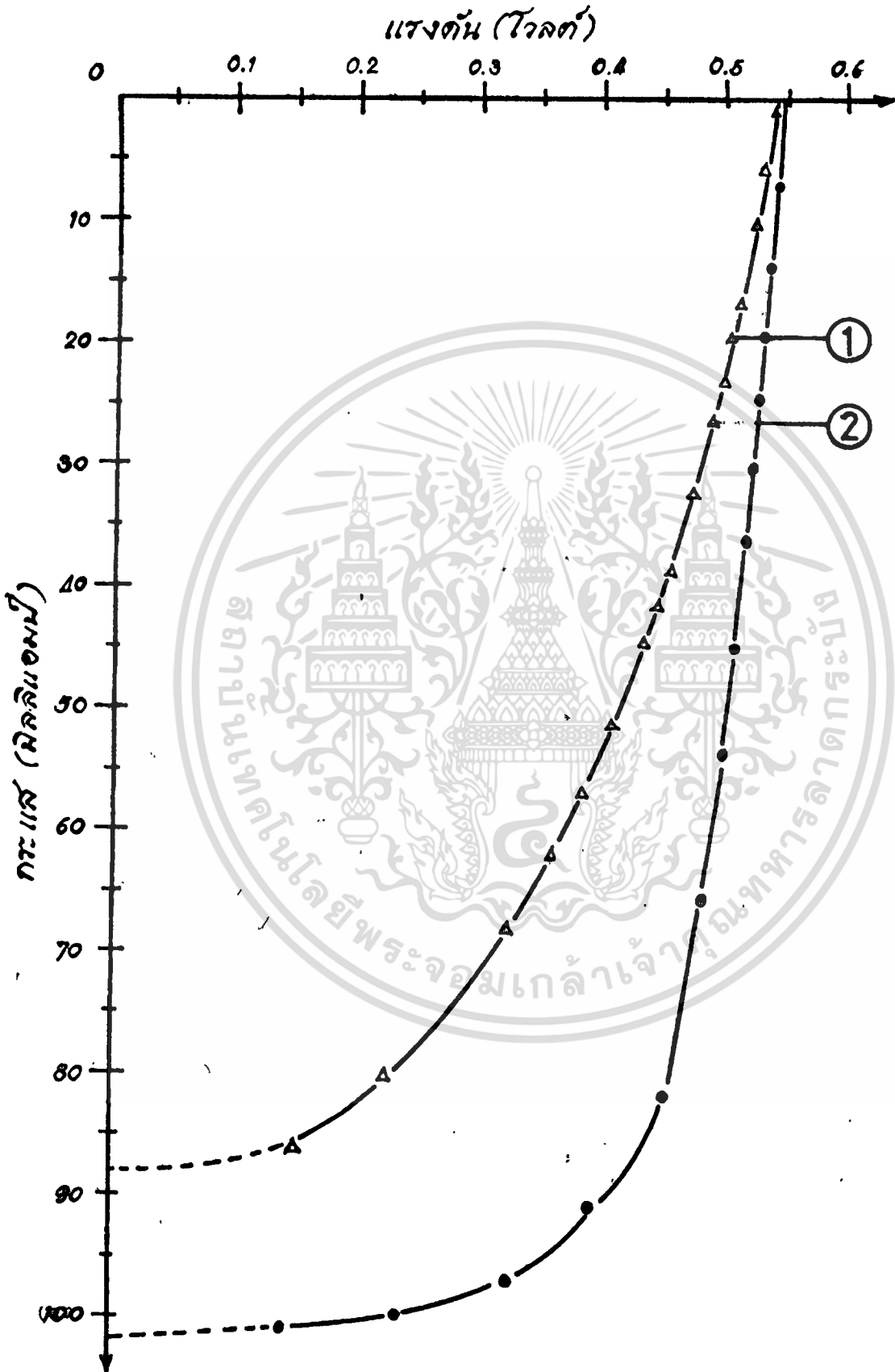
รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แมนที่ 1 และแมนที่ 2. หมายเหตุ: ① ② ระบุตำแหน่งแรงดันในอัสตรง.



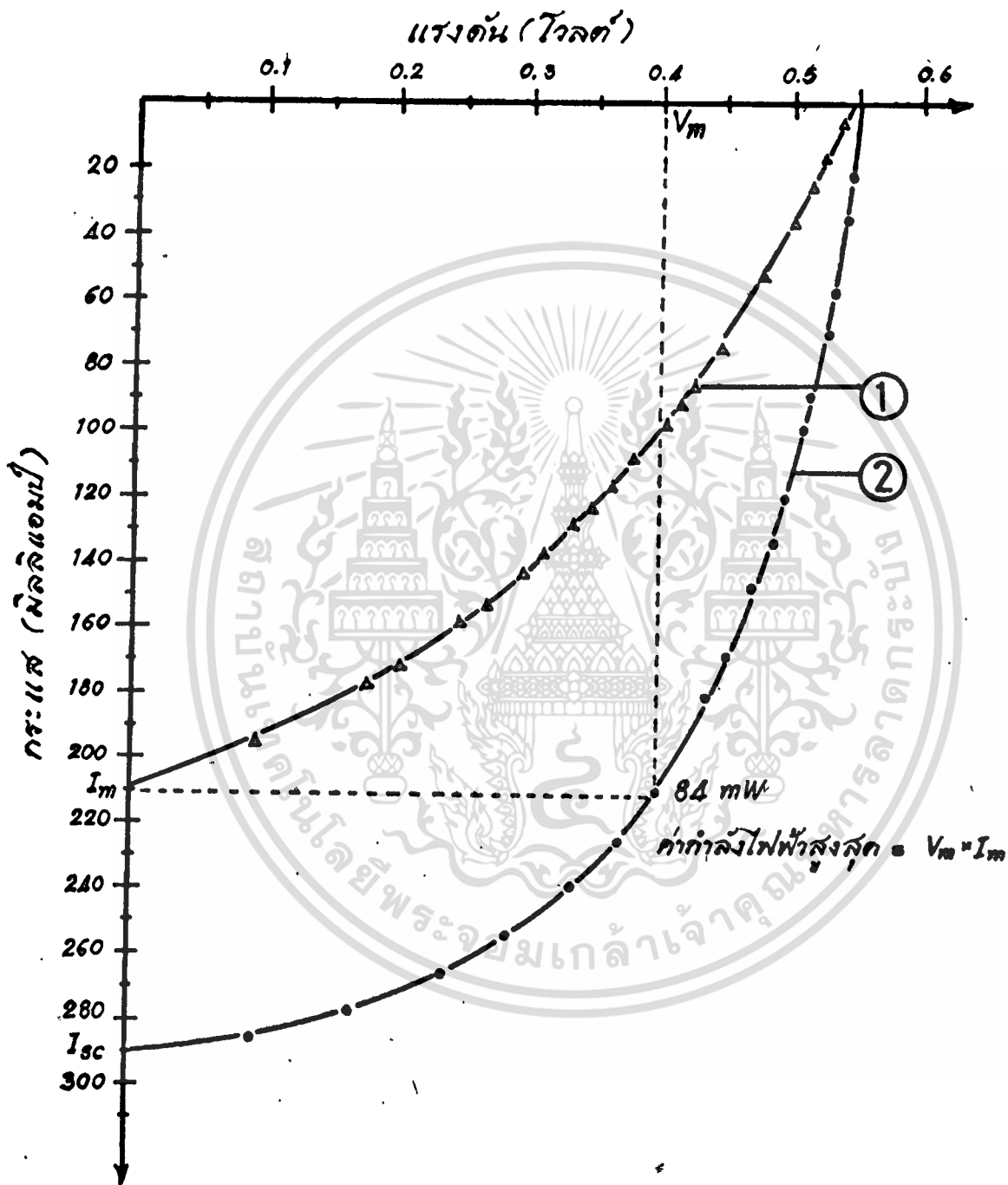
รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 และเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ขณะได้รับแสงที่มีความเข้ม 2000 ลัก (Lux)



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แบบที่ 1 และการคำนวณค่าและแบบที่ 2 ขณะได้รับแสงที่มีค่าความเข้ม 3000 ลัก (LUX)

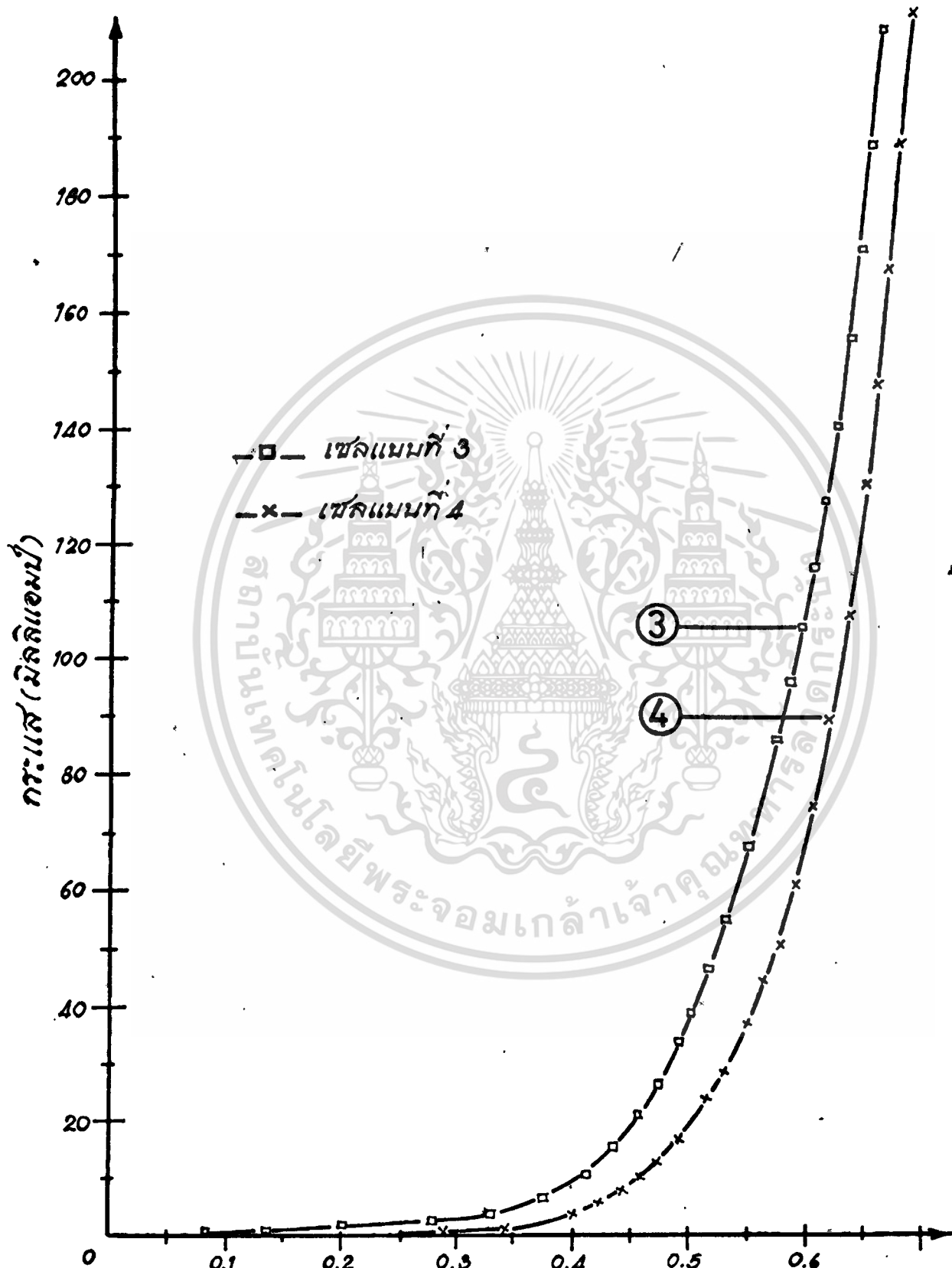


รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ขณะได้รับแสงที่มีความเข้มสูงกว่า 3000 ลัก



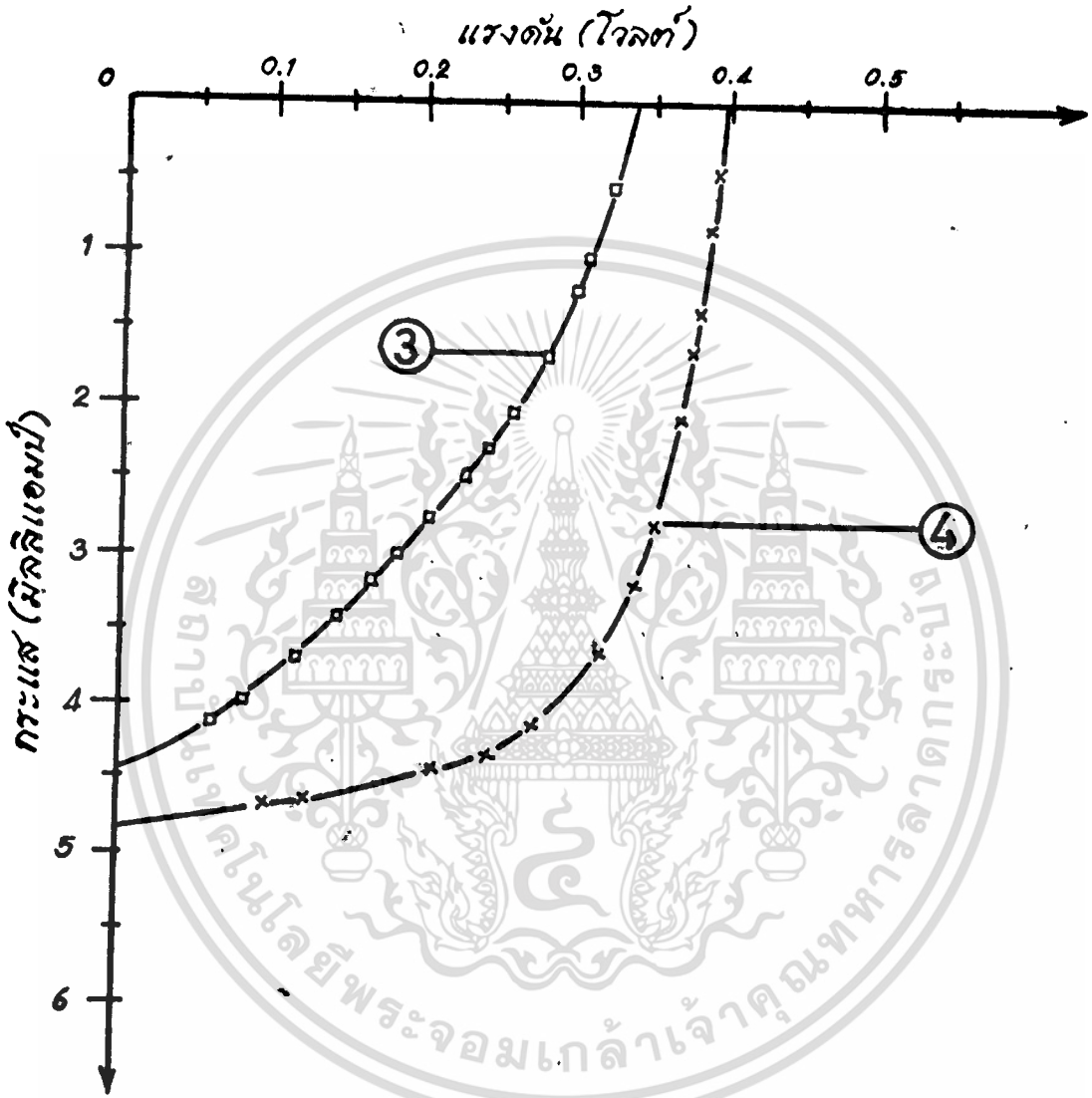
รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์
 แนนที่ 1. และแนนที่ 2. nderได้รับแสงอาทิตย์ ($\approx 120,000$ Lux)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

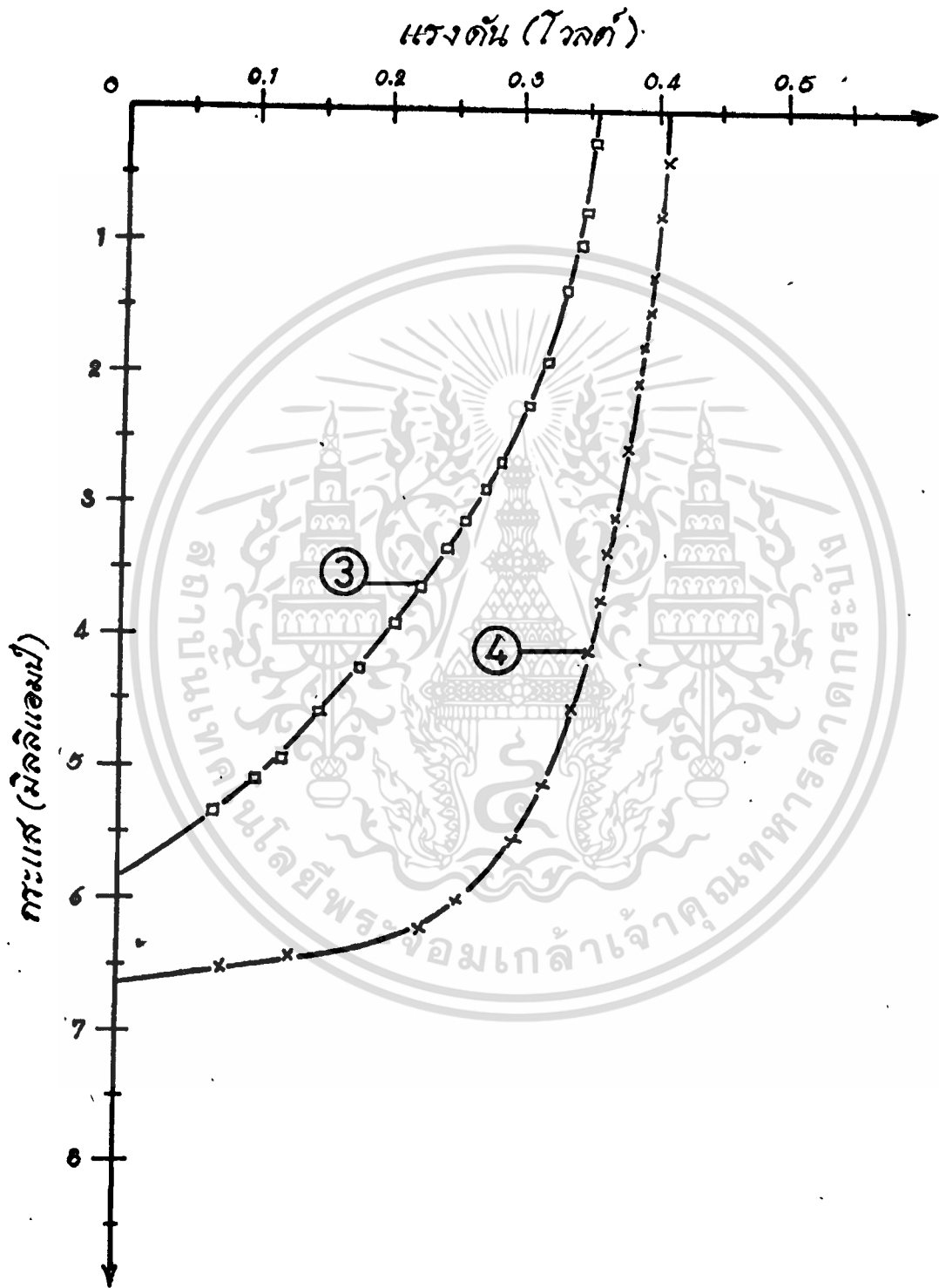


รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แมนที่ 3 และแมนที่ 4 เมื่อได้วันแรงดันไม้อัดตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

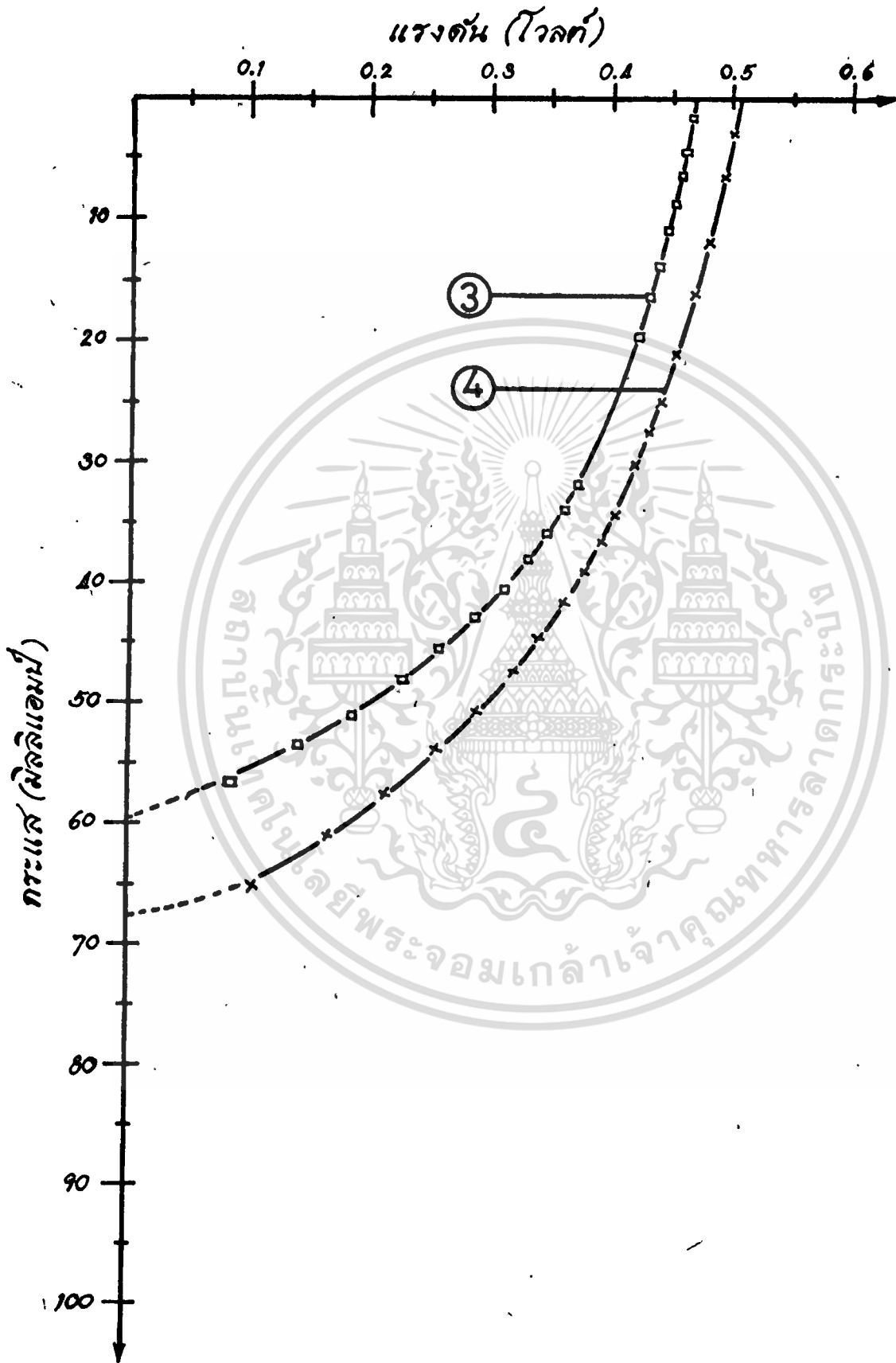


รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แมนที่ 3 และแมนที่ 4 เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้ม 2000 ลัก

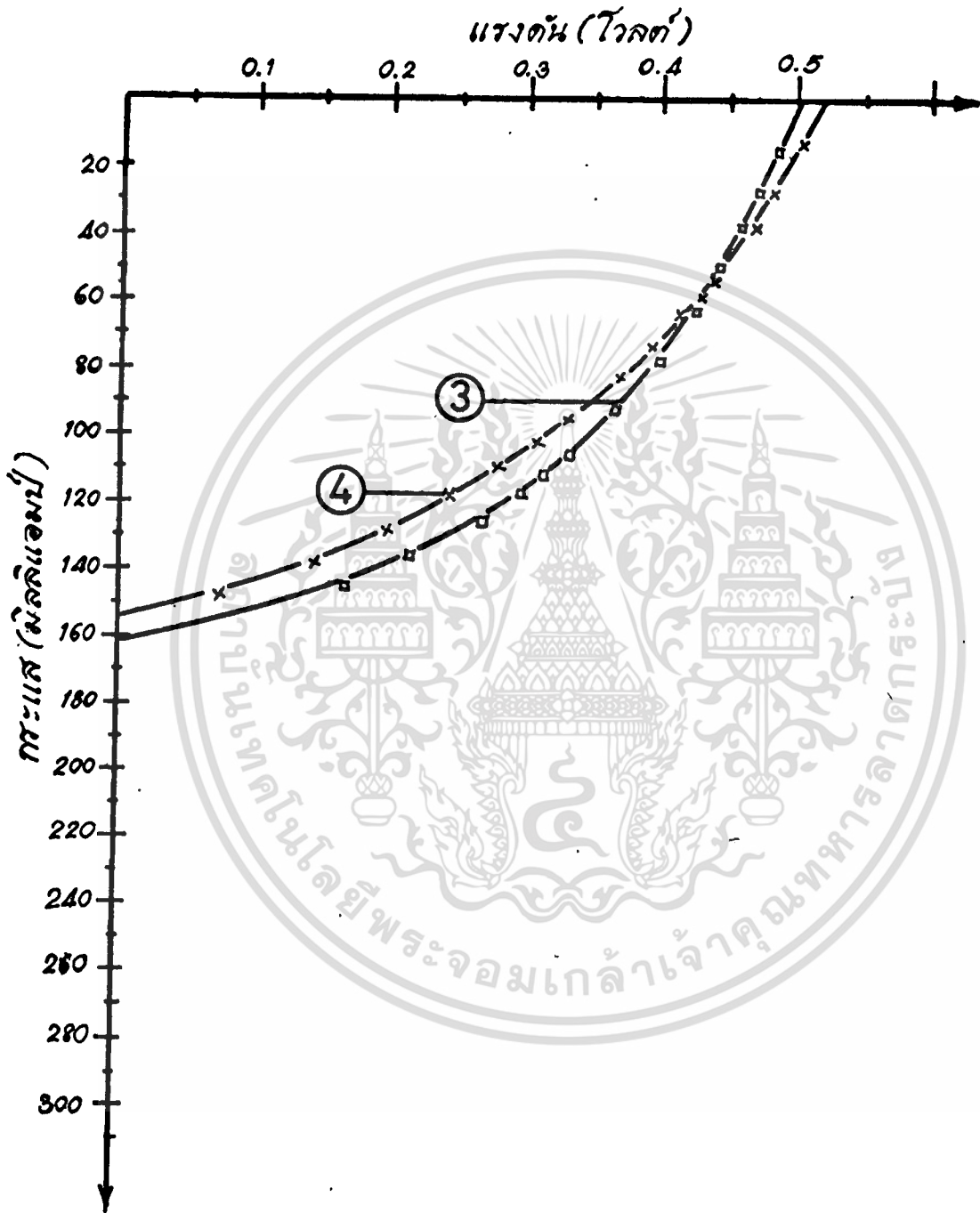


รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์
และแผงที่ 4 เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้ม 3000 ลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

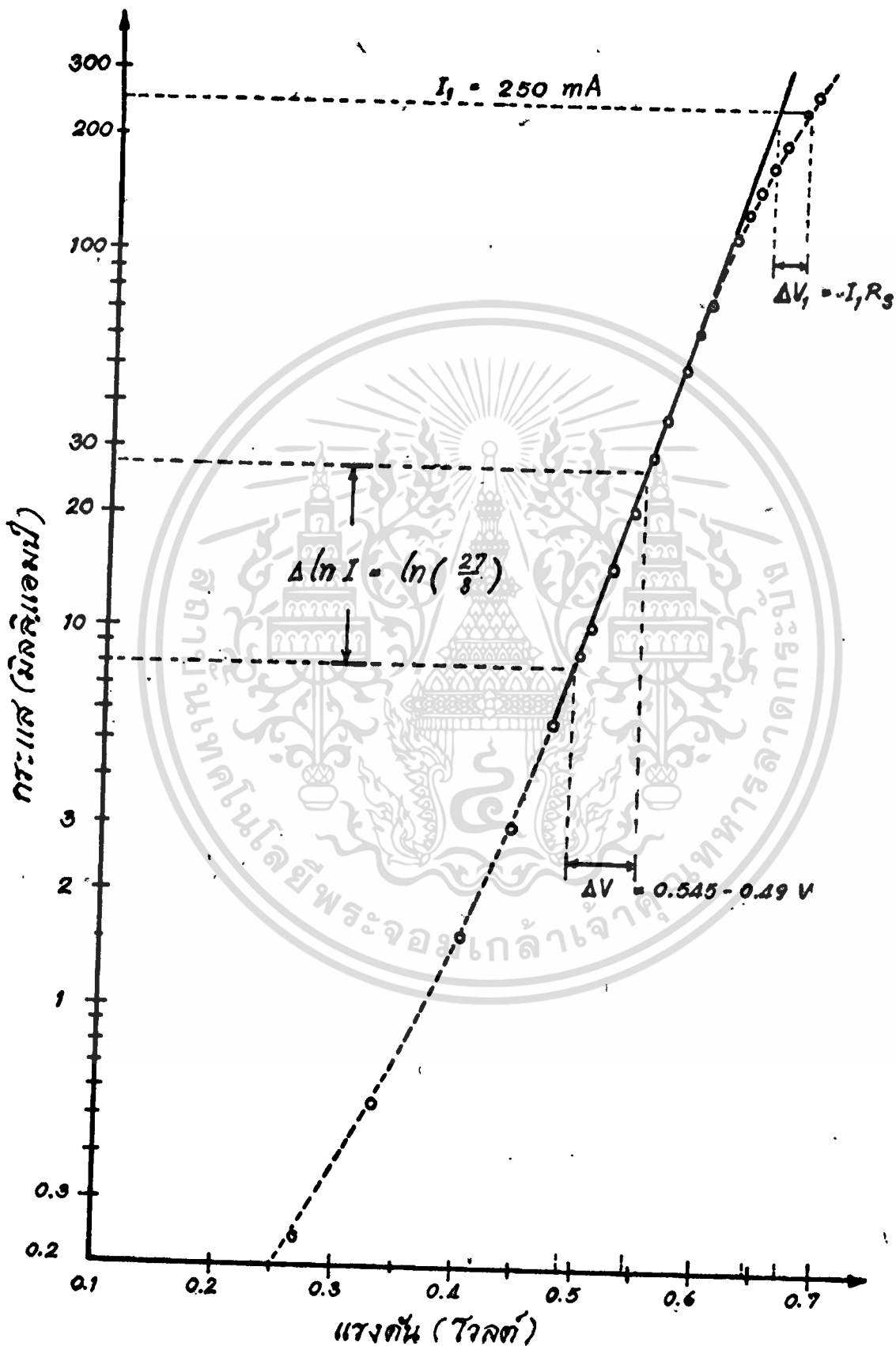


รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แมนที่ 3 และแมนที่ 4 เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มมากกว่า 3000 ลัก

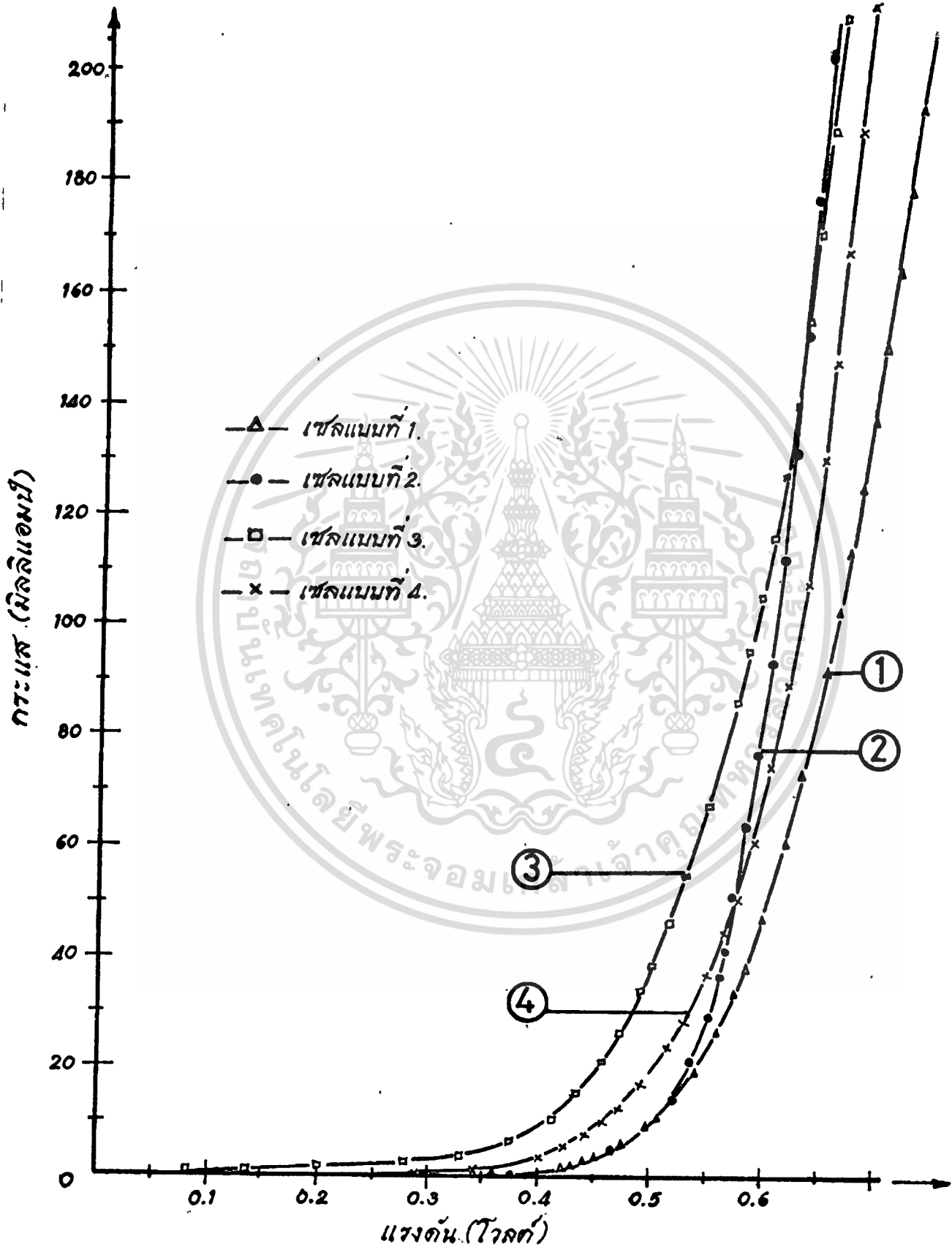


รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสด้านและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์
 แนนที่ 3 และแนนที่ 4 ขณะได้รับแสงอาทิตย์ (≈ 120,000 Lux)

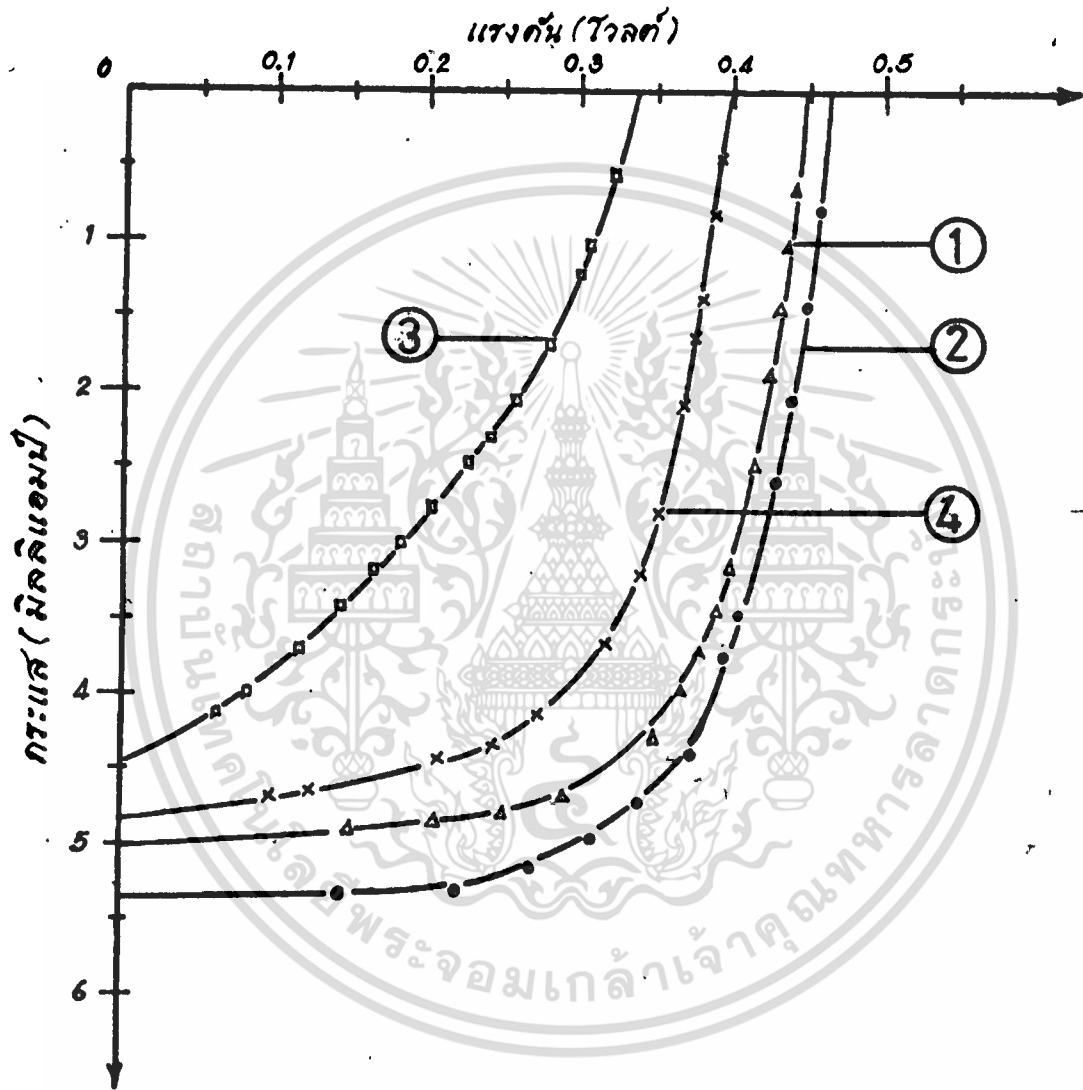
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



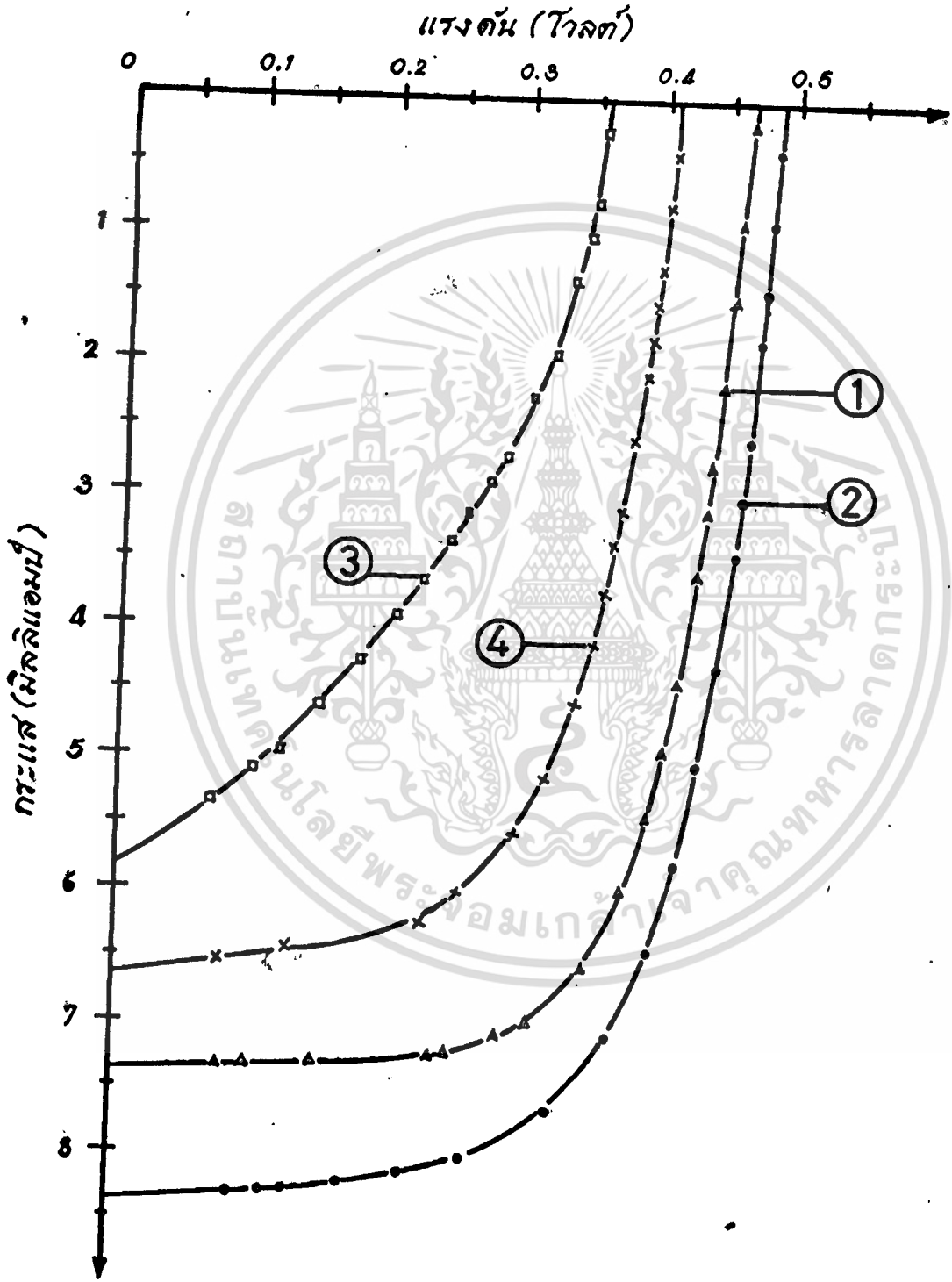
รูปที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แบบที่ 2
 อนุกรมที่ได้รับโน้ตตรง นนกราฟแบบเซมิล็อก



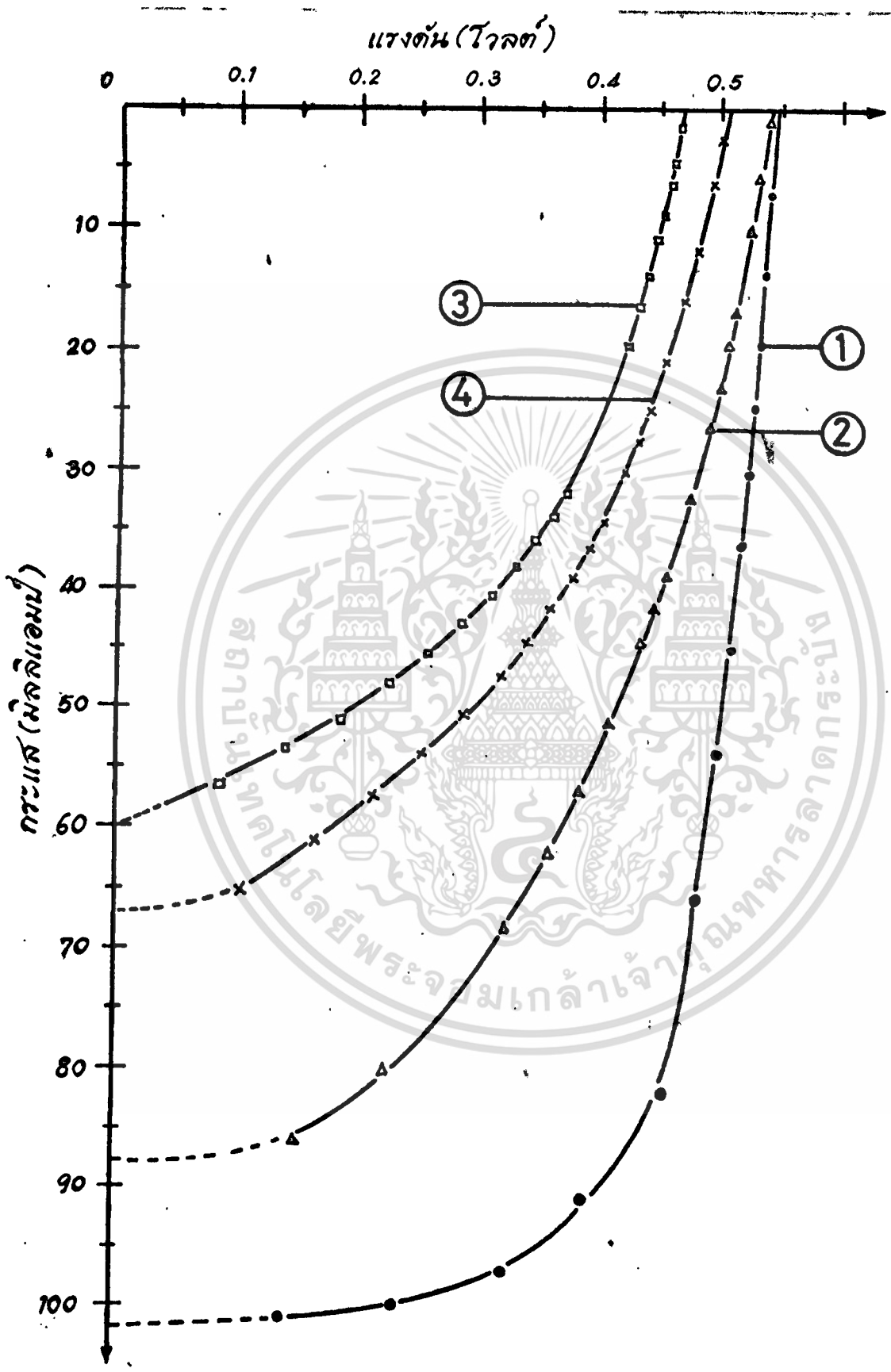
รูปที่ 5.1 แสดงการเพิ่มขึ้นกับคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ทั้ง 4 แบบ ขณะได้รับไบอัสตรง



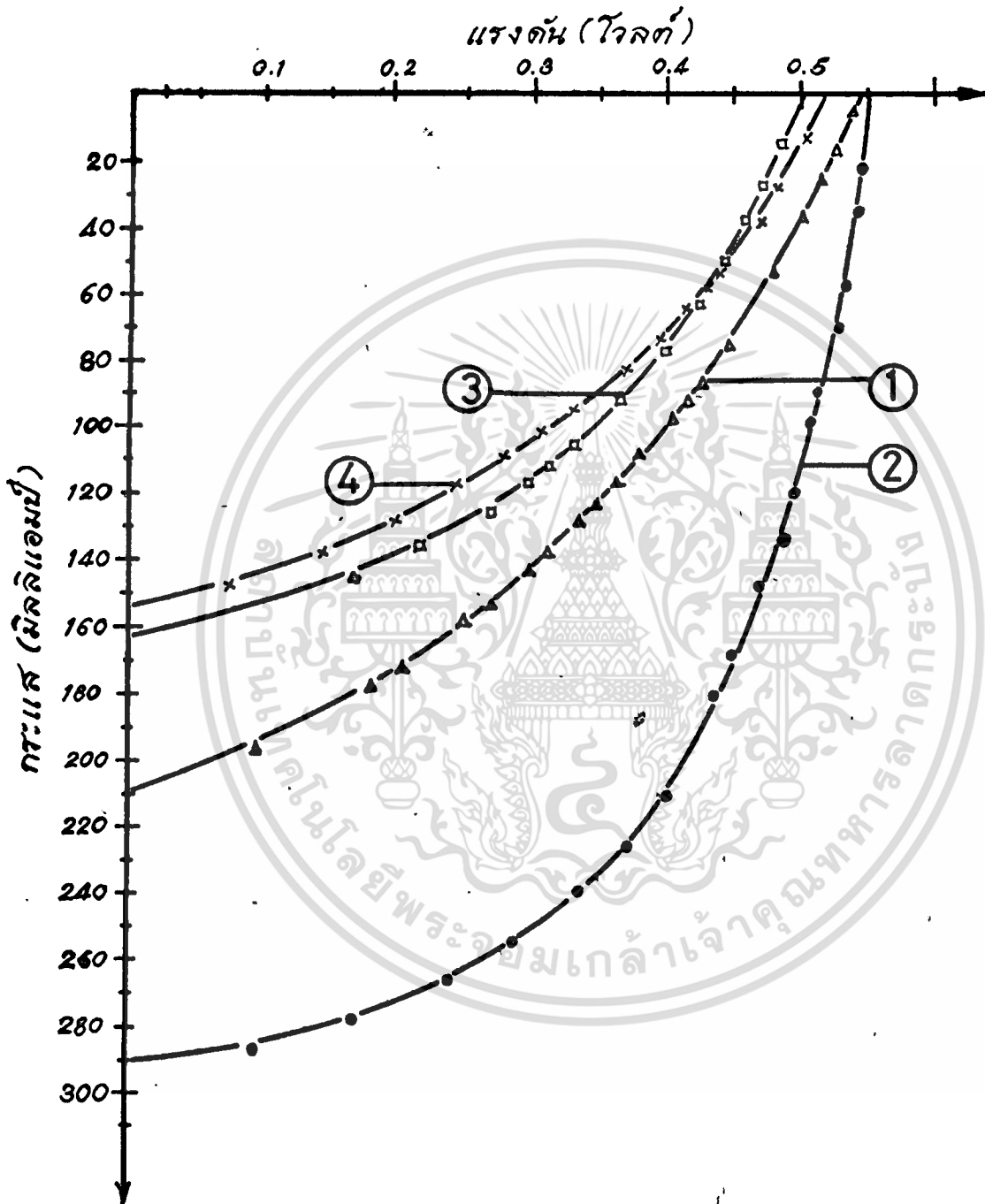
รูปที่ 5.2 แสดงการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ทั้ง 4 แบบ ขณะได้รับแสงสว่างความเข้ม 2000 ลักซ์



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน
 ของเซลล์ทั้ง 4 เซลล์ ขณะได้รับแสงสว่างความเข้ม 3000 คัลซ์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

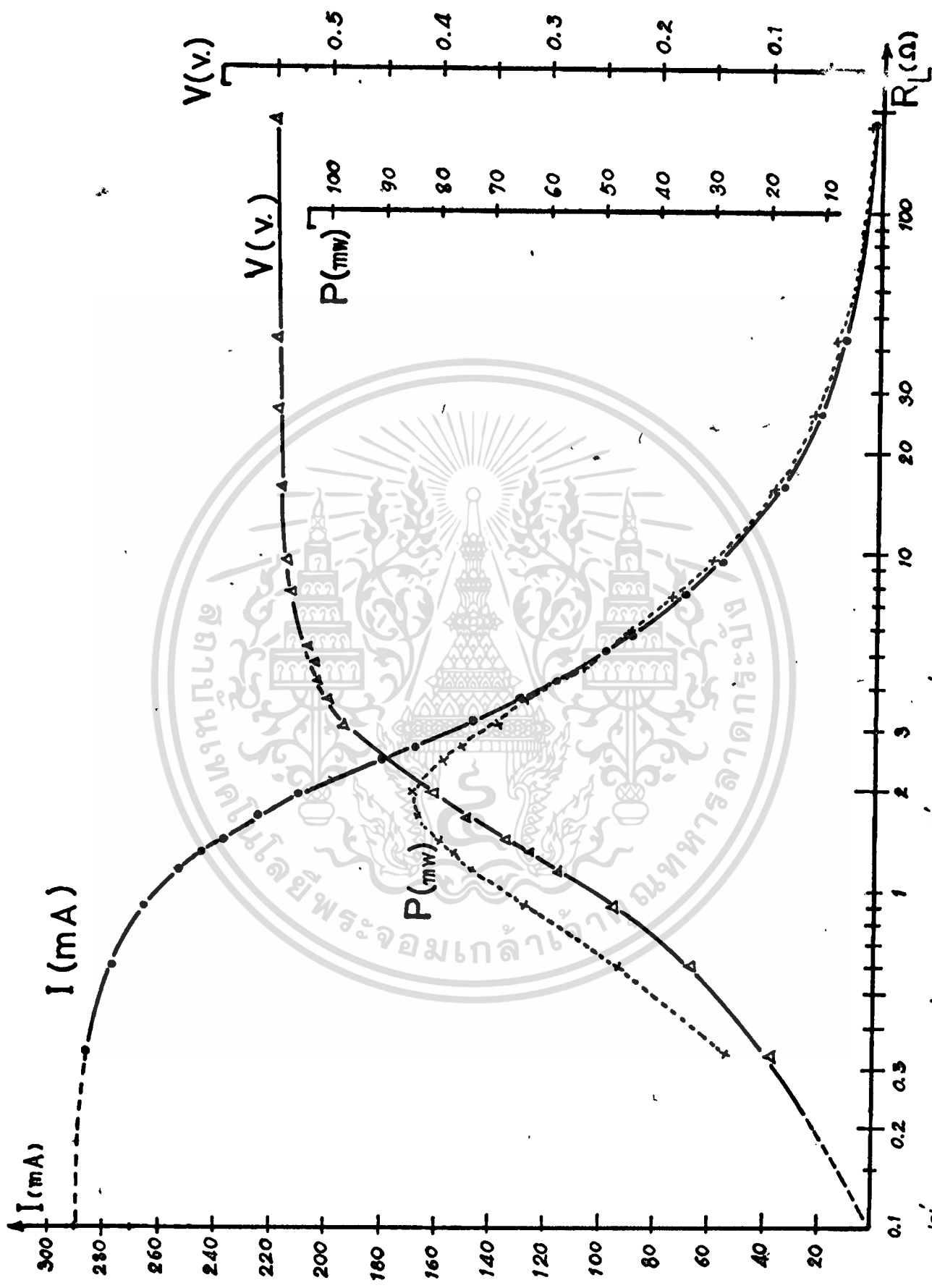


รูปที่ 5.4 แสดงการเพิ่มขึ้นของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ทั้ง 4 แอม ขณะได้วันแสงความเข้มมากกว่า 3000 ลักซ์



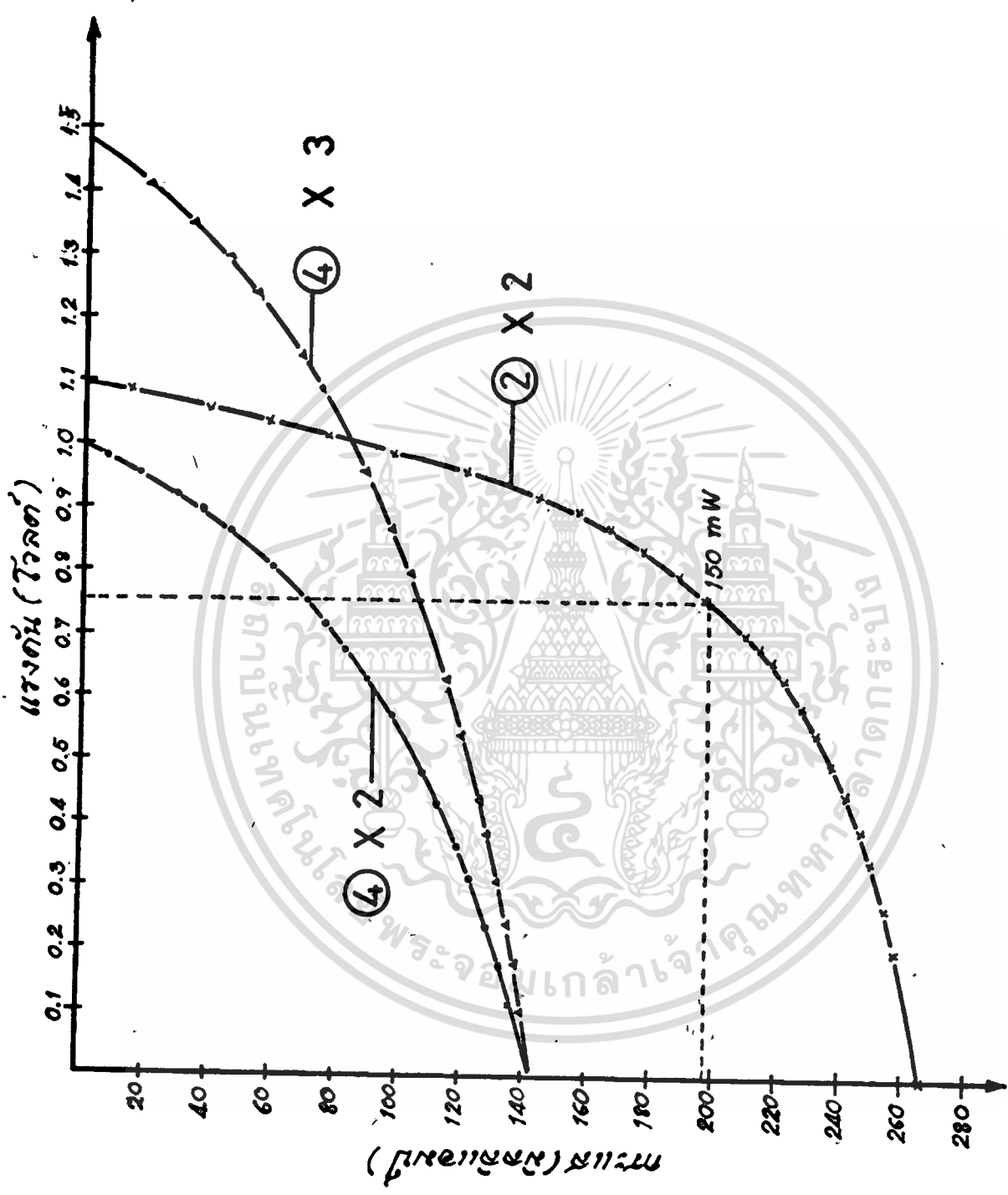
รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน
ขณะที่เซมิคอนดักเตอร์ได้รับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงการหาค่ากำลังงานสูงสุดที่โหลดแมทช์ 2. ตามทฤษฎีบทออกมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงการหาค่ากระแสที่จุดสมดุลของเซลล์แสงอาทิตย์ 2 และเซลล์แสงอาทิตย์ 4
เมื่อนำมาต่ออนุกรมกัน

ชนิดของเซลล์	วัสดุที่ใช้	ค่าพิทาค.ต.ท. (โอห์ม-ซม.)	เวลาในการแพร่ รังสี 1 (นาท)	เคลือบอนุกรมหนึ่งผล
แผ่นที่ 1.	ซิลิกอนชนิดกรีน	0.01	20	สองด้าน
แผ่นที่ 2.	ซิลิกอนชนิดกรีน	0.01	20	ด้านเดียว

ตารางที่ 3.1 แสดงสรุปคุณสมบัติเบื้องต้นของขนาดการสร้างเซลล์แผ่นที่ 1. และแผ่นที่ 2.

ชนิดของเซลล์	R_s (โอห์ม)	n	V_{oc} (โวลต์)	I_{sc} (มิลลิแอมป์)	F.F.	η (%) (มากกว่า)
แผ่นที่ 1.	0.48	1.9	0.54	210	0.38	4
แผ่นที่ 2.	0.12	1.8	0.55	289	0.53	7.6

ตารางที่ 3.2 สรุปคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์แผ่นที่ 1. และแผ่นที่ 2.

ชนิดของเซลล์	วัสดุที่ใช้	ค่าพิสัย ค.ต.ท. (โวลต์- ชม.)	เวลาในการแพร่ ชั้นที่ 1. (นาทีก)	เคลือบ: คูมิไนยม
แบบที่ 3	ซิลิกอนชนิดเอ็น	0.9 - 1	30	ต้านเต็ยว
แบบที่ 4	ซิลิกอนชนิดเอ็น	0.9 - 1	20	ต้านเต็ยว

ตารางที่ 3.3 แสดงสัรรมคณสัรมนั้ตึยง อรัยงของนนวนการสัรรงเซลล์แบบที่ 3 และแบบที่ 4.

ชนิดของเซลล์	R_s	n	V_{oc}	I_{sc}	FF	η (%) มากกว่า
แบบที่ 3.	0.25	2.7	0.5	163	0.43	3.2
แบบที่ 4.	0.35	2.0	0.52	154	0.4	2.9

ตารางที่ 3.4 สัรรมคณสัรมนั้ตึยงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 3. และแบบที่ 4.

ชนิดของเซลล์	วัสดุที่ใช้	ค่าพื้นที่ ค.ต.ท.	เวลาในการแพร่	เคื่องมือ: อนุมัติ
แบบที่ 1.	ซิลิกอนชนิดเอ็น	0.01	20	สองด้าน
แบบที่ 2.	ซิลิกอนชนิดเอ็น	0.01	20	ด้านเดี่ยว
แบบที่ 3.	ซิลิกอนชนิดเอ็น	0.9-1	30	ด้านเดี่ยว
แบบที่ 4.	ซิลิกอนชนิดเอ็น	0.9-1	20	ด้านเดี่ยว

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1, 2, 3, และ 4.

ชนิดของเซลล์	R_s (โอห์ม)	n	V_{oc} (โวลต์)	I_{sc} (มิลลิแอมป์)	FF	η (%) (มากกว่า)
แบบที่ 1.	0.48	1.9	0.54	210	0.38	4
แบบที่ 2.	0.12	1.8	0.55	289	0.53	7.6
แบบที่ 3.	0.25	2.7	0.50	163	0.43	3.2
แบบที่ 4.	0.35	2.0	0.52	154	0.4	2.9

ตารางที่ 5.2 แสดงสรุปและเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

แบบที่ 1, 2, 3, และ 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้