

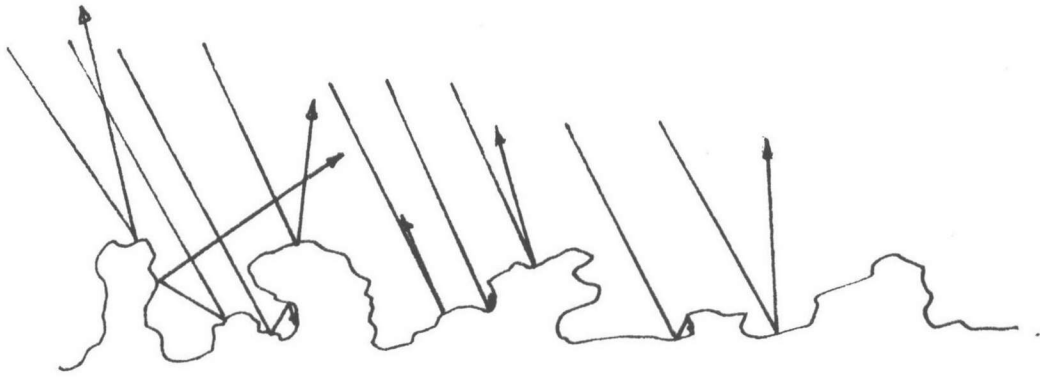
ลักษณะของผิวขรุขระและผลตอบสนองทางแสง

ก. ผิวขัดบนกระจกด้วยมือ จากบทที่ 4 เห็นได้ว่าสภาพผิวที่เกิดจากการขัดบนกระจกด้วยมือ นั้น จะมีการขรุขระของผิวอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะมีความขรุขระมากขึ้นเมื่อผงขัดมีขนาดใหญ่ขึ้น และความหยาบของผิวนี้สามารถดูได้จากค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ จะลดอย่างรวดเร็วมากจากค่า 0.95 ลงมาเป็น 0.025 ผลการวัดนี้บอกให้รู้ว่า Root Mean Square Roughness ของผิวมีค่าสูง และค่า Root Mean Square Roughness จะมีค่าเป็นอินฟินิตี้สำหรับตัวอย่างต่อมา

ถ้าพิจารณารูปร่างของผิวขรุขระที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ดังรูปที่ 46 เห็นได้ว่าผิวที่มีสภาพขรุขระสามารถดูดกลืนแสงได้ดีทีเดียว เพราะเมื่อแสงตกกระทบแสงจะหักเหไปมา การดูดกลืนจึงเพิ่มขึ้น แสงบางส่วนเท่านั้นที่สะท้อนออกมาในรูปของ Diffused Reflection ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก และยิ่งแสงมีความยาวคลื่นมาก การดูดกลืนเนื่องจากสภาพผิวขรุขระจะเห็นได้เด่นชัด เนื่องจากเมื่อพลังงานโฟตอนต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์แห่งการดูดกลืนแสงจะมีค่าน้อยลงและมีค่าเป็นศูนย์ (ดูรูปที่ 4) เมื่อโฟตอนมีพลังงานเท่ากับช่วงกว้างของแถบพลังงานของซิลิกอน (1.1 eV) แต่ในกรณีผิวขรุขระค่าสัมประสิทธิ์แห่งการดูดกลืนแสงไม่เป็นศูนย์ แม้ว่าโฟตอนจะมีพลังงานเท่ากับหรือต่ำกว่าช่วงกว้างของแถบพลังงานการดูดกลืนส่วนนี้เกิดจากปรากฏการณ์ของ Free Carrier Absorption (4,24)

อนึ่งสภาพผิวขรุขระที่บันทึกภาพไว้นี้เป็นเพียงรอยแตกกร้าวเท่านั้น ดิสโลเคชันที่เกิดขึ้นได้รอยแตกกร้าวจะไม่ปรากฏให้เห็นด้วยภาพถ่ายเพียงแค่นี้ ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2

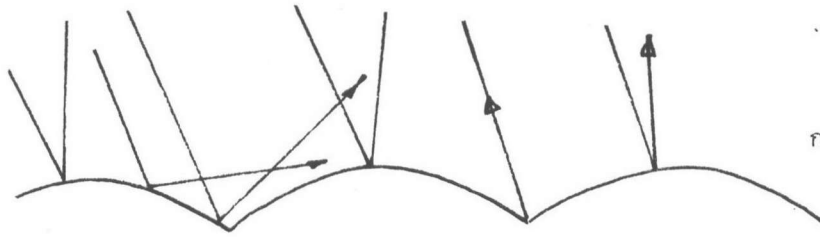
ข. ผิวขัดบนผ้าด้วยเครื่องขัด สภาพผิวด้านหลังของแว่นผลึกซิลิกอนแบบ Cellular Structure ซึ่งผ่านกรรมวิธี Sawing, Lapping และ Chemical Etching เอาสภาพขรุขระ



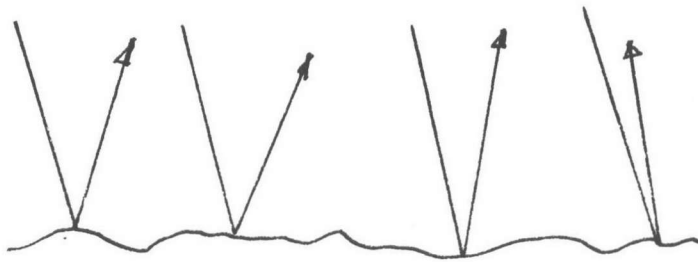
รูปที่ 46 รูปแบบสภาพผิวขรุขระขณะที่มีแสงตกกระทบ

ต่างๆออก จนถึงว่าสภาพผิวขรุขระที่เหลืออยู่น้อยมากจนไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าอย่างเด่นชัด และเมื่อนำผิวดังกล่าวมาขัดบนผ้าเนื้อนุ่มด้วยผงขัดอนุภาคนาขนาดเล็ก สภาพผิวที่ได้ย่อมมีสภาพขรุขระน้อยอยู่เช่นเดิม นอกจากนี้จากการสังเกตภาพผิวที่ถ่ายได้จากกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่ารูปแบบ Cellular Structure น้อยลงเมื่อขัดนานขึ้น และใช้ผงขัดมีขนาดเล็กลงตามลำดับ

เมื่อวัดค่าการสะท้อนแสงของสภาพผิวที่ขัดด้วยเครื่องขัดบนผ้า ค่าการสะท้อนแสงจะมากขึ้นตามลำดับเมื่อ Cellular Structure มีน้อยลง แต่สิ่งนี้ไม่ได้บ่งบอกว่าสภาพผิวเหล่านี้จะมีการดูดกลืนแสงต่างกัน เพราะจากการสังเกตขณะทำการวัดค่าการสะท้อนแสงของผิวที่มี Cellular Structure มากนั้น แสงจะเกิด Diffused Reflection มากเช่นกัน และวัดค่า Specular Reflection ได้น้อยหรือไม่ได้เลย แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อนำผิวที่ขัดแล้วจน Cellular Structure น้อยลง ไปวัดค่าการสะท้อนแสง ปรากฏว่า Diffused Reflection น้อยลงตามลำดับ ส่วนค่า Specular Reflection มีค่ามากขึ้น (รูปที่ 47)



ก. แสงที่สะท้อนส่วนมากเป็น
Diffused Reflection



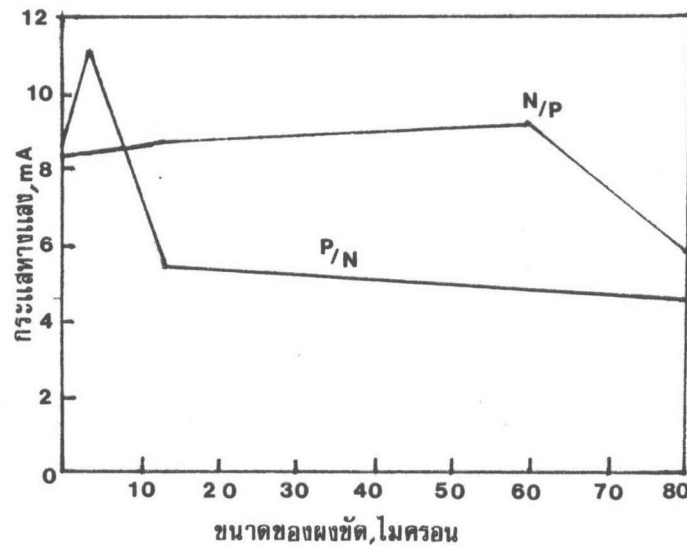
ข. เมื่อ Cellular Structure น้อยลง Diffused Reflection จะน้อยลง Specular Reflection จะมากขึ้น

รูปที่ 47 รูปแบบสภาพผิว ก. Cellular Structure ข. เมื่อผ่านการขัดด้วยผงขัด และเวลาพอสมควร ขณะที่มิแสงตกกระทบ

ลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์

ก. ผิวขัดบนกระจกด้วยมือ จากผลการทดลองในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่า สิ่งสำคัญต่างๆ ที่กำหนดลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของเซลล์ ได้เปลี่ยนแปลงตามสภาพของผิวขรุขระต่างๆ เห็นได้ชัด ซึ่งสามารถวิเคราะห์ ผลที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ค่ากระแสทางแสง (Photocurrent) เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางแสง ของผิวขรุขระดังกล่าวในหัวข้อข้างต้น เห็นได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแว่นผลึกเหล่านี้ ย่อมมีค่า กระแสทางแสงสูง ถ้าไม่คิดผลอย่างอื่นเลย กล่าวคือ เมื่อลดค่าการสะท้อนแสงการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น (ϕ_0 ในรูปที่ 3 จะมากขึ้นโดย α เท่าเดิม) การเกิดคูโฮลลิอิเล็กตรอนก็จะมากขึ้น เป็นผลให้กระแส ทางแสงมากขึ้นเป็นเงาตามตัว

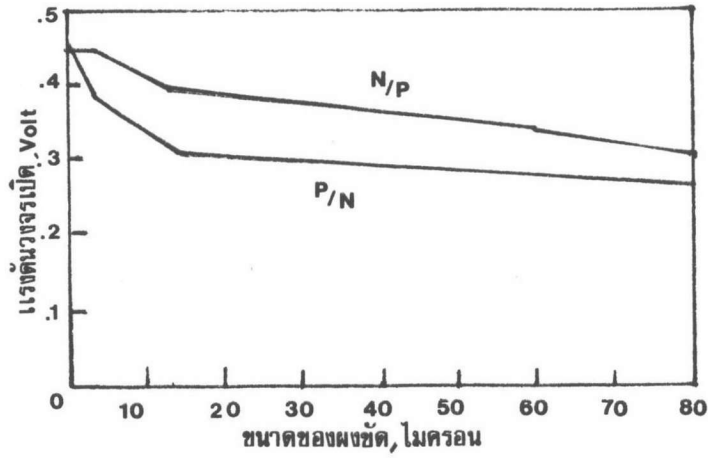


รูปที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสทางแสงกับขนาดของแผงเซลล์

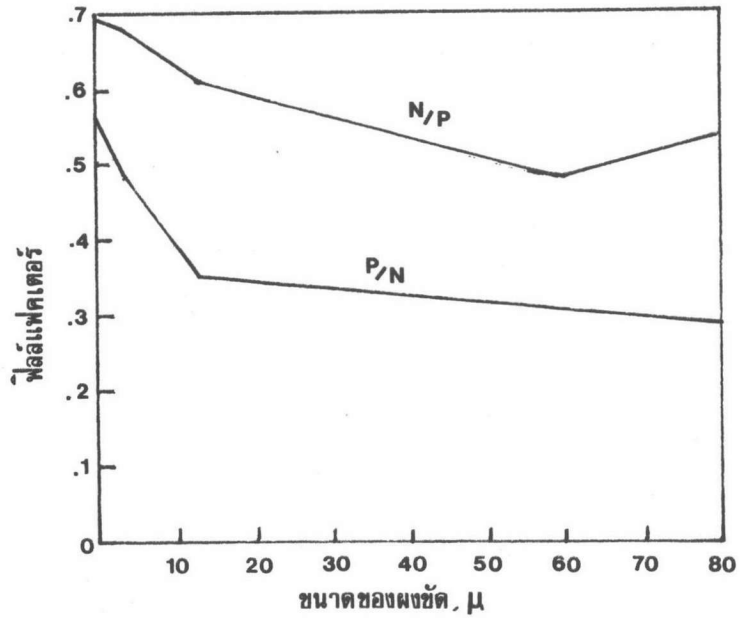
ดังจะเห็นได้จากเซลล์ ตัวอย่างที่ 2, 3 และ 4 สำหรับเซลล์ชนิดเอ็น/พี (รูปที่ 48 จากขนาดแผงเซลล์ 0 ถึง 60 ไมครอน) และเซลล์ตัวอย่างที่ 7 ของเซลล์ชนิดพี/เอ็น

อย่างไรก็ดีแม้ผิวขำรุคจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงกว่าปรกติ แต่ข้อเสียก็คือความหนาแน่นดิสโลเคชันสูงเช่นกัน ดิสโลเคชันที่เกิดขึ้น จะประพุดิตัวเป็นศูนย์รวมตัวที่ผิวและภายในผลึก โดยเฉพาะที่ผิวจะก่อให้เกิดชั้นบางๆ ที่มีค่าช่วงชีวิต (Life Time) ของพาหะข้างน้อยต่ำ มีความเร็วแห่งการรวมตัวที่ผิวสูง (Surface Recombination Velocity) ดังนั้นแม้ว่าจะมีคู่อิเล็กตรอนเกิดมากขึ้น แต่ก็รวมตัวกันอย่างรวดเร็ว โดยผ่านศูนย์รวมตัวที่เกิดจากดิสโลเคชัน เป็นผลให้ค่ากระแสทางแสงมีค่าลดลง ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่ 5 ของเซลล์ชนิดเอ็น/พี (รูปที่ 48 จากขนาดแผงเซลล์ 60 ไมครอน ถึง 80 ไมครอน) และตัวอย่างที่ 8 และ 10 ของเซลล์ชนิดพี/เอ็น

2. ค่าแรงดันวงจรเปิด (Open Circuit Voltage) จากบทที่ 2 ได้กล่าวแล้วว่า เมื่อผิวขำรุคผ่านกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูง ดิสโลเคชันจะวิ่งเข้าสู่ภายในผลึกก่อให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆมากมาย ดิสโลเคชันเหล่านี้จะประพุดิตัวเป็น Intermediate Center ภายในเขตปลอดพาหะ กล่าวคือเมื่อหัวต่อ พี/เอ็นถูกไบแอสตามโพลจากทางด้านพี และอิเล็กตรอน



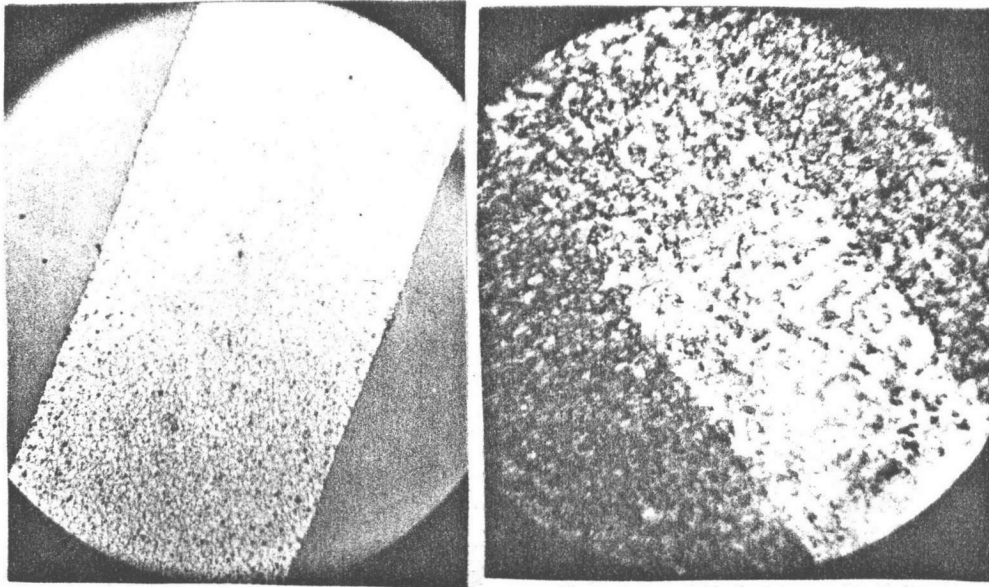
รูปที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันวงจรมัด กับขนาดของวงจรมัด



รูปที่ 50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟคเตอร์ กับขนาดของวงจรมัด

จากทางด้านเอ็น จะเกิดการรวมตัวกันผ่าน Intermediate Center กระแส Space Charge Layer Recombination (J_{rg} ในรูปที่ 14) จะมีค่าสูงขึ้น เป็นผลให้กระแสมืดโดยส่วนรวมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลทดลองในรูปที่ 42 และเมื่อหัวต่อพีเอ็นถูกไบแอสย้อน Intermediate Center จะกลายเป็นแหล่งกำเนิดพาหะ ทำให้ค่ากระแสกลับมีค่าสูงขึ้น จากกรณีนี้เอง ทำให้ค่า V_{oc} ที่ได้จากการทดลอง มีค่าลดลงโดยตลอดเมื่อผิวมีสภาพชำรุดมากขึ้นๆ ตามลำดับ (รูปที่ 49)

3. ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor) สภาพผิวชำรุดมีผลอย่างมากต่อความต้านทานของแวนผลิก เมื่อแวนผลิกมีสภาพผิวชำรุดมากๆ จะเกิดขึ้นบางๆที่ผิวซึ่งมี Extrinsic Carrier มาก มีผลให้ค่าความต้านทานของชั้นผิวมีค่าต่ำลง⁽¹³⁾ แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อซิลิโคเคชั่นวิ่งเข้าสู่ภายในผลิกจะมีผลให้ความต้านทานของผลิก มีค่าสูงขึ้น⁽²¹⁾ จากผลที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ประการนี้ เป็นสาเหตุให้ค่า FF. มีค่าลดลงดังผลการทดลอง (รูปที่ 43 และ รูปที่ 50) ยกเว้นตัวอย่างที่ 5 ของเซลล์ชนิดเอ็น/พี ซึ่ง FF. กลับมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากค่ากระแสทางแสงมีค่าลดลงอย่างมาก ในตัวอย่างที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 4



ก.

ข.

รูปที่ 51 แสดงอนุกรมเนียมแพร์ซึมเข้าสู่แวนผลิกซิลิกอนโดยจะเห็นว่า โลหะอนุกรมเนียมบางส่วนหายไป (ภาพขยาย 800 เท่า) ในภาพ ข. ซึ่งเป็นผิวชำรุดหายาก ส่วนผิวชำรุดในภาพ ก. ชั้นอนุกรมเนียมจะเห็นได้ชัดเจน

นอกจากนี้ในการทำผิวสัมผัสด้านหน้า เมื่อผ่านกระบวนการ "Annealing" เพื่อลด R_s อนุของโลหะจะแพร่ซึมเข้าสู่แวนผลึกผ่านบริเวณแตกกร้าว เข้าสู่บริเวณฐาน ดังรูปที่ 51 เป็นผลให้เกิดการรั่วซึมของกระแส R_{sh} จึงมีค่าต่ำ

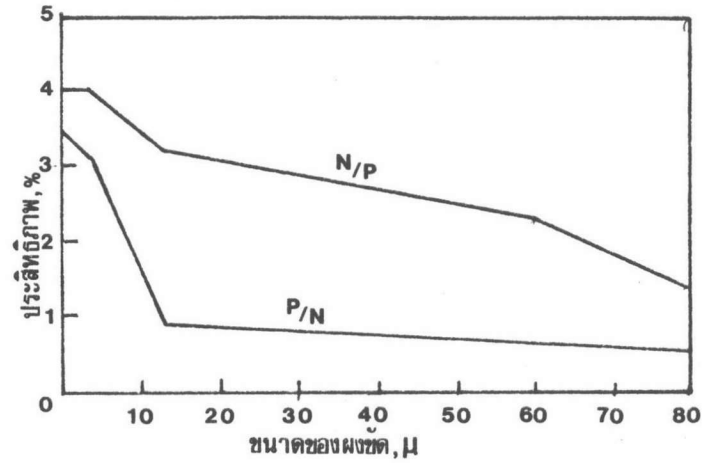
สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งก็คือ ทำไมค่ากระแสทางแสงของเซลล์ชนิด เอ็น/พี มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ อย่างช้าๆ แล้วลดลงในตัวอย่างสุดท้าย (ตัวอย่างที่ 5) ส่วนเซลล์ชนิด พี/เอ็น กลับมีค่ากระแสทางแสงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเพียงตัวอย่างเดียว (ตัวอย่างที่ 7) แล้วมีค่าลดลงตามลำดับ เมื่อผิวมีสภาพชำรุดมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความลึกของหัวต่อเซลล์ชนิด เอ็น/พี มีค่ามากกว่าความลึกของหัวต่อเซลล์ชนิด พี/เอ็น ดังนั้นเมื่อความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงขึ้น การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลก็มากขึ้น เป็นผลให้ค่ากระแสทางแสงของเซลล์ชนิดพี/เอ็น จึงมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วกว่า แต่ความตื้นของหัวต่อ พี/เอ็น กลับมีผลเสียเมื่อความลึกของผิวชำรุดมากขึ้น กล่าวคือในการใช้แผงขนาด 13 ไมครอนนั้น ความลึกของผิวชำรุดที่เกิดมีค่าประมาณความลึกของหัวต่อพีเอ็นหรือมากกว่า เป็นผลให้คู่อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเกิดการรวมตัวกันอย่างรวดเร็วมก ทำให้กระแสทางแสงมีค่าต่ำลงทันที ส่วนเซลล์ชนิด เอ็น/พี นั้น ความลึกของผิวชำรุดยังไม่ลึกเท่าความลึกของหัวต่อ กระแสทางแสงจึงยังไม่ลดลง

ข. ผิวขัดบนผ้าด้วยเครื่องขัด

ผลการทดลองดังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า แวนผลึกที่มีสภาพผิวแบบที่ได้จากเครื่องขัด ไม่เปลี่ยนคุณสมบัติทางแสงแต่อย่างใด นอกจากนั้นสภาพชำรุดต่างๆก็มีน้อยมาก เซลล์ที่ประดิษฐ์จากแวนผลึกเหล่านี้จึงควรมีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน คล้ายกัน ตัวหลักสำคัญเช่น I_{sc} , V_{oc} , FF. ก็ควรมีค่าใกล้เคียงกันด้วย

ประสิทธิภาพของเซลล์

เนื่องจากประสิทธิภาพของเซลล์ ถูกกำหนดด้วยค่า V_{oc} , I_{sc} และ FF. ตามสมการที่ (15) ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่ทำจากแวนผลึกที่มีสภาพผิวชำรุด ย่อมมีค่าขึ้นกับค่า I_{sc} , V_{oc} และ FF. ค่าใดค่าหนึ่งว่าค่าไหนจะเด่นชัดกว่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า I_{sc} ไม่ได้ช่วย



รูปที่ 52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์ กับขนาดของแผงเซลล์

ให้ η ของเซลล์ ดีขึ้นได้เลย แต่ค่า V_{OC} และ FF. จะทำให้ η ของเซลล์ ลดลงเรื่อยๆ ส่วนเซลล์ที่ทำจากผิวแวนดิลิกที่ได้จากเครื่องขัดย้อมจะมีค่า η ใกล้เคียงกัน ดังเหตุผลเป็นที่ทราบกันอยู่