



ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบค่าต่างๆ เช่น ความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อฯ อิมเพียวริตีโปรไฟล์ ความสม่ำเสมอของการแพร่ซึม ที่ได้จากการแพร่ซึมโดยใช้เงื่อนไขเดียวกันสำหรับตัวเต็มสารเจือปนแต่ละชนิด ส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ในที่นี้คือ เซลแสงอาทิตย์ ที่สร้างจากการนำเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการแพร่ซึมจากตัวเต็มสารเจือปนดังกล่าว

6.1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นและความลึกของหัวต่อฯ

6.1.1 ที่อุณหภูมิแพร่ซึม 1,000°C.

สำหรับ B_2O_3 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการไหลของ $N_2 \approx 0.7$ l/min ส่วนเงื่อนไขอื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อฯ ที่ได้จากการทดลอง และความลึกของหัวต่อฯ ที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการแพร่ซึมด้วย B_2O_3

ความต้านทานจำเพาะที่วัดก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	เวลาแพร่ซึม, t (นาที)	ความต้านทานแผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของหัวต่อฯ ที่ได้จากการทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของหัวต่อฯ ที่ได้จากการคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
8.54	5	88.0	0.071	0.166
10.90	10	43.5	0.231	0.236
10.80	20	42.9	0.302	0.334

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ความต้านทานจำเพาะ ที่วัดก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	เวลา, แพร์ซิม, t (นาที)	ความต้านทาน แผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของหัวต่อฯ, ที่ได้จากการทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของหัวต่อฯ, ที่ได้จากการคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
10.30	30	21.4	0.353	0.409
10.20	40	18.0	0.458	0.473
10.50	60	11.7	0.690	0.579

หมายเหตุ

ในการคำนวณค่าความลึกของหัวต่อฯ (x_{j_c}) ใช้ค่า D ที่ได้จากการทดลอง จากนั้นนำค่า D มาแทนค่าในสมการ (2.8) เป็น

$$N_B = N_0 \operatorname{erfc} \frac{x_{j_c}}{2\sqrt{Dt}} \quad (6.1)$$

โดยที่ค่าอื่นๆ ได้จากการกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง คือ

N_B คือค่าความเข้มข้นของอะตอมสารเจือปนในแว่นผลึก
เต็ม (ซม.⁻³) ได้จากการเปิดกราฟความสัมพันธ์
ของค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้ก่อนทดลอง กับ
ค่าความเข้มข้นของสารเจือปน ดังแสดงในรูปที่ 5.4

N_0 คือ solid solubility ที่อุณหภูมิ 1,000°ซ.
ในที่นี้มีค่า 4.5×10^{20} ซม.⁻³ (4)

D คือค่าความสามารถในการแพร่ซึม ได้จากการทดลอง
ในที่นี้มีค่า 7×10^{-3} (ไมครอน)²/ซม.

และ t คือเวลาในการแพร่ซึม (ซม.) กำหนดจากเงื่อนไข
ในการแพร่ซึมสำหรับการทดลองแต่ละครั้ง

สำหรับ BBr_3 เจ็อนไซที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการไหลของ main N_2
 ≈ 1.3 l/min และของ $O_2 \approx 200$ ml/min ส่วนเจ็อนไซ
 อื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อที่ได้จากการทดลอง
 และความลึกของหัวต่อที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการแพร่ซึมด้วย BBr_3

ความต้านทาน จำเพาะที่วัด ก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	อัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 ที่ $10 \cdot \text{ซ.}$ (ฟอง/นาที)	เวลา แพร่ซึม, t (นาที)	ความต้านทาน แผ่นที่วัดได้, R_s (Ω /ซ)	ความลึกของ หัวต่อที่ได้จาก การทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของ หัวต่อที่ได้จาก การคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
8.17	98	5+ 5+5	43.3	0.189	0.165
8.00	89	5+10+3.5	29.4	0.273	0.234
8.01	88	5+16+3.5	28.4	0.294	0.295
9.15	85	5+20+3.5	26.0	0.336	0.332
8.07	95	5+30+3.5	25.5	0.357	0.404
7.43	100	5+40+4	23.2	0.462	0.464
7.21	95	5+60+6	17.5	0.697	0.570

ค่า D ที่ได้จากการทดลองในชุดนี้มีค่า 7×10^{-3} (ไมครอน)²/ซม.
 และนำไปคำนวณหาความลึกของหัวต่อในลักษณะเดียวกับการแพร่
 ซึมด้วย B_2O_3

สำหรับ BN เจ็อนไซที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการไหลของ $N_2 \approx 0.65$
 l/min ส่วนเจ็อนไซอื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดัง
 ตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อฯที่ได้จากการทดลอง และความลึกของหัวต่อฯที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการแพร่ซึมด้วย BN

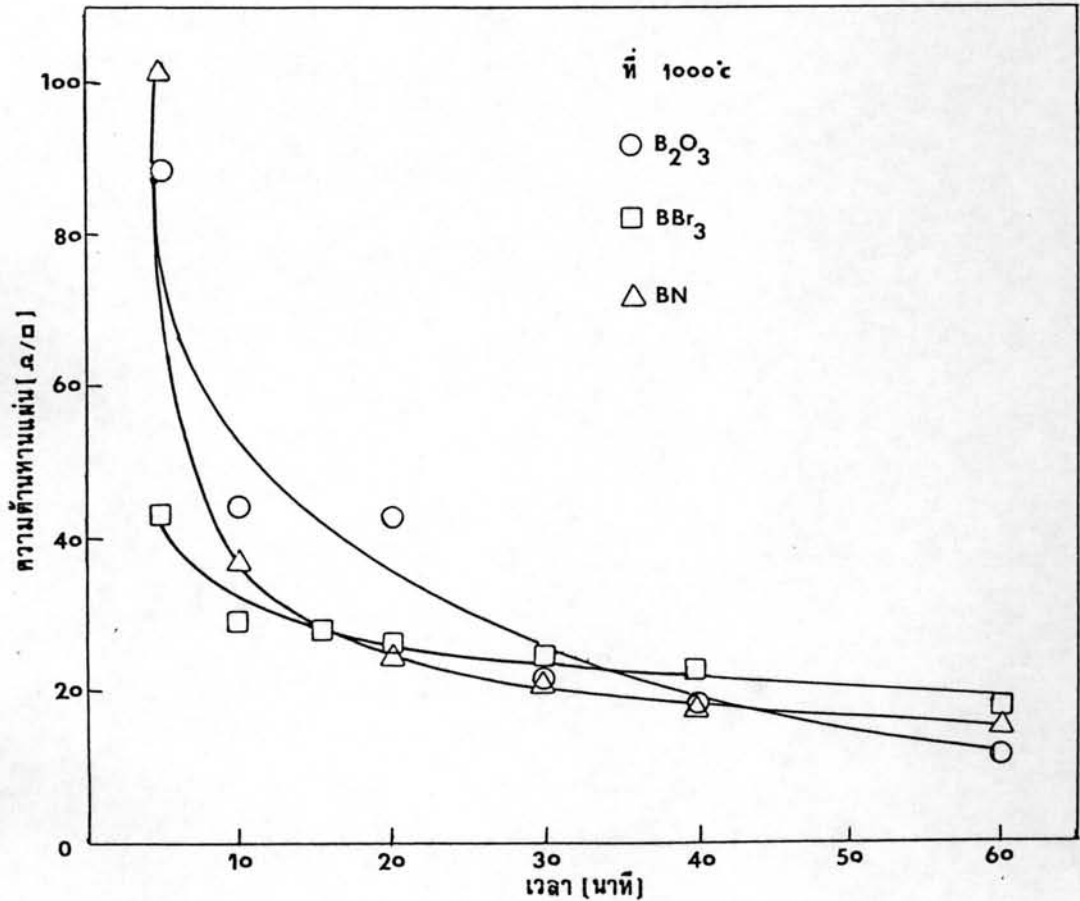
ความต้านทานจำเพาะ ที่วัดก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	เวลา, แพร่ซึม, t (นาที)	ความต้านทาน แผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของหัวต่อฯ, ที่ได้จากการทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของหัวต่อฯ, ที่ได้จากการคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
10.00	5	101.5	0.105	0.179
9.96	10	35.7	0.235	0.253
9.93	20	24.4	0.370	0.357
9.50	33	20.8	0.424	0.437
9.30	40	17.4	0.508	0.505
9.30	60	14.8	0.714	0.619

ค่า D ที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีค่า 8×10^{-3} (ไมครอน)²/ซม.
และนำไปคำนวณหาความลึกของหัวต่อฯในลักษณะเดียวกับการ
แพร่ซึมด้วย B_2O_3 และ BBr_3

นำค่าความต้านทานแผ่นที่ได้จากตารางที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 มา plot กราฟ ดัง
แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นจากการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 BBr_3 และ
BN ที่อุณหภูมิ 1,000°C. โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ตามตารางที่ 6.1, 6.2 และ 6.3

จากรูปที่ 6.1 เห็นได้ว่า ที่เวลาการแพร่ซึมเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแผ่นมีค่าลดลง
สำหรับการแพร่ซึมด้วยตัวเติมสารเจือปนทั้ง 3 ชนิด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองอื่นๆ (14,15,16,
22,23,24,27) ส่วนค่าความต้านทานแผ่นที่ได้จากการแพร่ซึมด้วยตัวเติมสารเจือปนแต่ละชนิด
สรุปได้ดังนี้

1. ค่าความต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึมในกรณีที่ใช้ BBr_3 มีค่าต่ำที่สุด โดยเฉพาะที่ค่า
เวลาในการแพร่ซึมน้อยๆ ส่วนที่เวลาในการแพร่ซึมมากขึ้น ค่าความต้านทานแผ่น



รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับเวลาในการแพร่ซึมที่อุณหภูมิ 1,000°C โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ตามตารางที่ 6.1, 6.2 และ 6.3

มีค่าพอๆ กันสำหรับการแพร่ซึมด้วยสารเจือปนทั้ง 3 ชนิด แสดงว่าเงื่อนไขที่ใช้ในการแพร่ซึมด้วย BBr₃ เหมาะสมแล้ว อีกทั้งค่าความต้านทานแผ่นไม่ขึ้นกับเวลาในการแพร่ซึมมากนัก

- ค่าความต้านทานแผ่นขึ้นแพร่ซึมในกรณีที่ใช้ B₂O₃ มีค่าสูงที่เวลาแพร่ซึมน้อยๆ (ที่ t = 5 นาที) เนื่องจากการเกิด Si-B compound หนามากในขณะเริ่มแรกของการแพร่ซึม (เพราะเป็นการทาสารเจือปน และสังเกตได้โดยหลังการแพร่ซึมเกิดเป็นแผ่นแก้วสีดำขึ้นบนแว่นผลึก) จนอะตอมของบอรอนยังไม่สามารถแพร่ซึมเข้าไป compensate และเติมสารเจือปนชนิดที่ลงบนแว่นผลึกได้เป็นจำนวนมาก ลักษณะ

ดังกล่าวนี้จะแก้ไขได้โดยใช้สารละลายที่ผสมให้เจือจางลง

3. สำหรับค่าความต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึมในกรณีที่ใช้ BN มีค่าสูงในช่วงเวลาการแพร่ซึมน้อย (ที่ $t = 5$ นาที) เนื่องจากในตอนเริ่มแรกของการแพร่ซึมนั้น อะตอมบอรอนต้องเข้าไป compensate กับอะตอมสารเจือปนชนิดตรงข้ามในแว่นผลึก ดังนั้นค่า N_s ยังไม่ถึงค่า solid solubility ที่อุณหภูมิการแพร่ซึม จึงยังไม่เกิด Si-B compound สังเกตได้โดยหลังการแพร่ซึมแล้ว นำแว่นผลึกนั้นไปกัดออกไซด์ใน BHF ได้ผิวหน้าที่เป็น hydrophobic (ผิวหน้าที่น้ำเกาะไม่ติด)

ส่วนที่เวลาการแพร่ซึมเพิ่มขึ้น ค่า N_s ถึงค่า solid solubility ที่อุณหภูมิการแพร่ซึม และมีการเกิดของชั้น Si-B compound ด้วย แต่เป็นชั้นสารประกอบที่ไม่หนานัก สังเกตได้จากการกัดออกไซด์หลังการแพร่ซึม ต้องใช้เวลานานขึ้นจึงทำให้ผิวหน้าแว่นผลึกสะอาด ดังนั้นค่าความต้านทานแผ่นจึงมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงการแพร่ซึมเกิดได้ดีขึ้น

สำหรับความลึกของหัวต่อๆ จากตารางที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 เห็นได้เวลาที่เวลาแพร่ซึมเพิ่มขึ้น ความลึกของหัวต่อๆ มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จึงสอดคล้องกับทฤษฎี ในกรณีที่เวลาในการแพร่ซึมเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 1,000°C. นี้ การแพร่ซึมด้วย BN เกิดได้ดีที่สุด (ยกเว้นที่เวลาแพร่ซึม 5 นาที โดยเหตุผลเหมือนกับที่ชี้แจงไว้แล้วในตอนกล่าวถึงค่าความต้านทานแผ่น และค่าความต้านทานแผ่นดังกล่าวก็สอดคล้องกับความลึกของหัวต่อๆ ด้วย) โดยค่า D ที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าค่า D ที่ได้จากชุดการทดลองของ B_2O_3 และ BBr_3 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 ทำให้เกิด Si-B compound เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการแพร่ซึมของอะตอมบอรอนผ่านชั้น Si-B compound นี้จึงเกิดได้ช้า ส่วนการแพร่ซึมด้วย BBr_3 เนื่องจากขณะแพร่ซึม อะตอมของบอรอนต้องแพร่ซึมผ่านชั้นออกไซด์ต่างๆ ที่ได้ทำขึ้นก่อนการแพร่ซึม คือในช่วงเวลา preheat จึงทำให้ค่า D ที่ได้มีค่าต่ำกว่าในกรณีแพร่ซึมด้วย BN ซึ่งเป็นการใช้ N_2 พาไอของ B_2O_3 ที่เกิดจากการ activate แผ่น BN ก่อนการแพร่ซึม มาฝากบนแว่นผลึกโดยตรง

หมายเหตุ การแพร่ซึมด้วย BBr_3 ค่าความสามารถในการแพร่ซึมนอกจากจะขึ้นกับเวลาและ

อุณหภูมิแล้ว ยังขึ้นกับการปรับอัตราการไหลของ carrier gas ที่ผ่านมายังแวนผลึกด้วย ดังแสดงผลในตารางที่ 6.7

6.1.2 ที่อุณหภูมิแปรซึม 1,050°ซ.

สำหรับ B_2O_3 เจือไนที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการไหลของ $N_2 = 0.7$ l/min ส่วนเจือไนอื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อฯที่ได้จากการทดลอง และความลึกของหัวต่อฯที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการแปรซึมด้วย B_2O_3

ความต้านทานจำเพาะที่วัดก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	เวลาแปรซึม, t (นาที)	ความต้านทานแผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของหัวต่อฯที่ได้จากการทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของหัวต่อฯที่ได้จากการคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
6.79	5	34.70	0.164*	0.256
6.73	10	14.65	0.349	0.363
6.55	20	11.70	0.542	0.513
6.20	30	6.65	0.668	0.629
6.11	40	5.51	0.706	0.726

ค่า D ที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีค่า 1.7×10^{-2} (ไมครอน)²/ซม.

และนำไปใช้ในการคำนวณหาความลึกของหัวต่อฯในลักษณะเดียวกับการแปรซึมที่อุณหภูมิ 1,000°ซ. โดยใช้ $N_s = 5 \times 10^{20}$ ซม.⁻³

หมายเหตุ

เครื่องหมาย * ในตาราง เป็นค่าที่ได้ต่างจากการคำนวณมาก เพราะทาสารละลายบนแวนผลึกหนาเกินไปในการแปรซึม

สำหรับ BBr_3 เจือไนที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการไหลของ main N_2
 $\approx 1.3 \text{ l/min}$ และของ $\text{O}_2 \approx 200 \text{ ml/min}$ ส่วนเจือไน
 อื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อที่ได้จากการทดลอง
 และความลึกของหัวต่อที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการแพร่ซึมด้วย BBr_3

ความต้านทาน จำเพาะที่วัด ก่อนทดลอง, ρ ($\Omega\text{-cm.}$)	อัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 ที่ $10\cdot\text{ซ.}$ (ฟอง/นาที)	เวลา, แพร่ซึม, t (นาที)	ความต้านทาน แผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของ หัวต่อที่ได้จาก การทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของ หัวต่อที่ได้จาก การคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
6.86	82	5+ 5+3	11.10	0.239	0.241
6.39	82	5+10+3.5	9.35	0.328	0.341
8.86	88	5+16+3	9.42	0.403	0.444
7.80	88	5+20+4	7.00	0.487	0.488
7.53	88	5+30+3.5	4.40	0.651	0.594
5.80	100	5+40+4	8.50	0.693	0.682

ค่า D ที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีค่า 1.5×10^{-2} (ไมครอน)²/ชม.
 และนำไปใช้ในการคำนวณหาความลึกของหัวต่อในลักษณะเดียว
 กับการแพร่ซึมที่อุณหภูมิ $1,000\cdot\text{ซ.}$ โดยใช้ $N_s = 5 \times 10^{20}$ ซม.⁻³

สำหรับ BN เจือไนที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการไหลของ $\text{N}_2 \approx 0.65$
 l/min ส่วนเจือไนอื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดัง
 ตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อที่ได้จากการทดลอง และความลึกของหัวต่อที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการแพร่ซึมด้วย BN

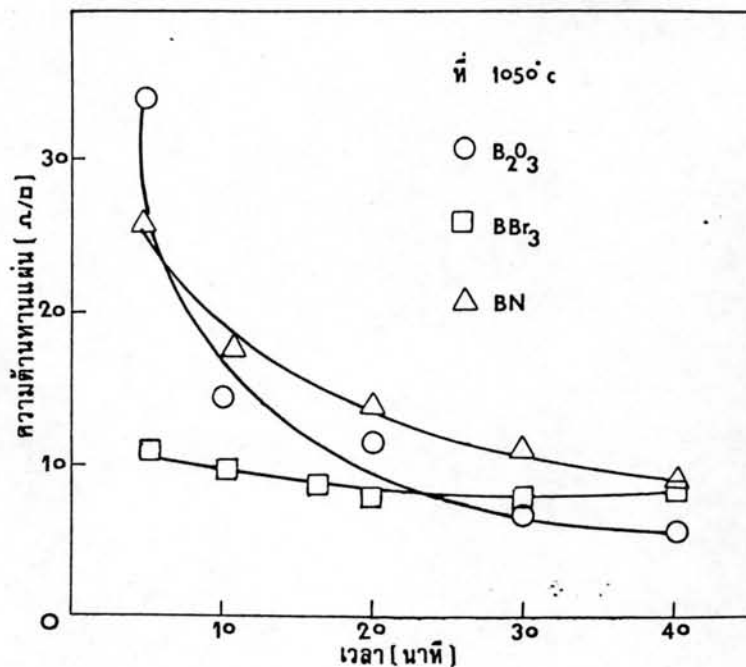
ความต้านทานจำเพาะ ที่วัดก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	เวลา แพร่ซึม, t (นาที)	ความต้านทาน แผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของหัวต่อ ที่ได้จากการทดลอง, x_{j_e} (ไมครอน)	ความลึกของหัวต่อ ที่ได้จากการคำนวณ, x_{j_c} (ไมครอน)
9.3	5	25.70	0.206	0.210
9.3	11	17.50	0.323	0.312
9.5	20	13.40	0.400	0.420
9.5	30	10.90	0.525	0.515
9.5	40	9.04	0.689	0.594

ค่า D ที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีค่า 1.1×10^{-2} (ไมครอน)²/ซม.
และนำไปใช้ในการคำนวณหาความลึกของหัวต่อในลักษณะเดียว
กับการแพร่ซึมที่อุณหภูมิ 1,000·ซ. โดยใช้ $N_s = 5 \times 10^{20}$ ซม.⁻³

นำค่าความต้านทานแผ่นที่ปรากฏในตารางที่ 6.4, 6.5 และ 6.6 มา plot กราฟ
เทียบกับเวลาในการแพร่ซึม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นจาก
การแพร่ซึมด้วย B_2O_3 , BBr_3 และ BN ที่อุณหภูมิ 1,050·ซ. โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ตามตารางที่
6.4, 6.5 และ 6.6

จากรูปที่ 6.2 ให้ผลในลักษณะเดียวกับรูปที่ 6.1 สำหรับการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 และ BN
กล่าวคือ เมื่อเวลาการแพร่ซึมเพิ่มขึ้น ความต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึมจะลดลง ส่วนกรณี BBr_3
ค่าความต้านทานแผ่นที่วัด ขึ้นอยู่กับเวลาเล็กน้อย ในช่วงหลังจากเวลาแพร่ซึม 20 นาที แสดงว่า
เงื่อนไขที่กำหนดในการแพร่ซึมด้วย BBr_3 เหมาะสมแล้ว

นอกจากนี้ ค่าความต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึมที่อุณหภูมิ 1,050·ซ. มีค่าต่ำกว่าค่าความ
ต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึมที่ 1,000·ซ. สำหรับเวลาในการแพร่ซึมทุกๆ ค่าและสำหรับการแพร่ซึม



รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับเวลาในการแพร่ซึมที่ อุณหภูมิ 1,050°ซ. โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ตามตารางที่ 6.4, 6.5 และ 6.6

ด้วยสารเจือปนทั้ง 3 ชนิด จึงสรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสามารถในการแพร่ซึมเพิ่มขึ้นด้วย ดังเห็นได้จากค่า D ที่ได้จากการทดลอง

สำหรับผลการเปรียบเทียบความลึกของหัวต่อจากตารางที่ 6.4, 6.5 และ 6.6 ปรากฏว่าความลึกของหัวต่อที่เกิดจากชุดการแพร่ซึมด้วย B₂O₃ ที่ 1,050°ซ. นี้มีค่าสูงสุด (โดยมี ค่า $D = 1.7 \times 10^{-2}$ (ไมครอน)²/ชม.) ที่เป็นเช่นนี้เพราะ

1. ในการทดลองสำหรับ B₂O₃ ที่อุณหภูมินี้ เป็นชุดที่ทำต่อจากที่อุณหภูมิ 1,000°ซ. ซึ่งได้สังเกตเห็น Si-B compound เกิดเป็นจำนวนมาก ครั้งนี้จึงทาสารละลาย เจือจางลง ทำให้การเกิดของ Si-B compound มีน้อย การแพร่ซึมจึงเกิดได้ดี ขึ้น เพราะว่าการแพร่ซึมด้วยวิธีนี้เป็นการทาสารเจือปนลงบนแว่นผลึก จึงควรได้ ความลึกของหัวต่อที่ลึกที่สุด

2. เนื่องจากการแพร่ซึมด้วย BN นั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอื่นๆ ของการทดลอง นอกจากอุณหภูมิสำหรับเวลาแพร่ซึมค่าหนึ่งๆ และการแพร่ซึมค่อยๆ เกิดขึ้นโดย N_2 พาไอ B_2O_3 จากแผ่น BN มาที่แว่นผลึก ดังนั้นความลึกของหัวต่อฯจึงมีค่าน้อยกว่า การแพร่ซึมที่เกิดจากตัวเติมสารเจือปนอีก 2 ชนิด (คำอธิบายดังกล่าวนี้ ยืนยันได้จากผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของชั้นแพร่ซึมในแว่นผลึก การแพร่ซึมด้วย BN ต้องใช้เวลาถึง 3 ชม. ในขณะที่สำหรับ B_2O_3 และ BBr_3 ใช้เวลาเพียง 1 ชม. ที่อุณหภูมิเดียวกัน ก็สามารถเปลี่ยนชนิดของชั้นแพร่ซึมเป็นพีแล้ว และค่าความต้านทานแผ่นที่วัดได้หลังการแพร่ซึมอยู่ใน order เดียวกัน)
3. ในกรณีของ BBr_3 ผลการทดลองแสดงว่า ที่อุณหภูมินี้ การแพร่ซึมของบอรอนผ่านออกไซด์ต่างๆ ที่สร้างขึ้นก่อนการแพร่ซึม เกิดได้สูงกว่าที่อุณหภูมิ 1,000°C. มาก เพราะความลึกของหัวต่อฯมีค่าน้อยกว่าการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 เพียงเล็กน้อย

6.2 ผลการแพร่ซึมโดยการเปลี่ยนค่า N_2 bubble ผ่าน BBr_3

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองคือ

- อัตราการไหลของ main $N_2 \approx 1.3$ l/min
- อัตราการไหลของ $O_2 \approx 200$ ml/min
- เวลาแพร่ซึม 5' + 20' + 3'
- อุณหภูมิ 1,000°C.

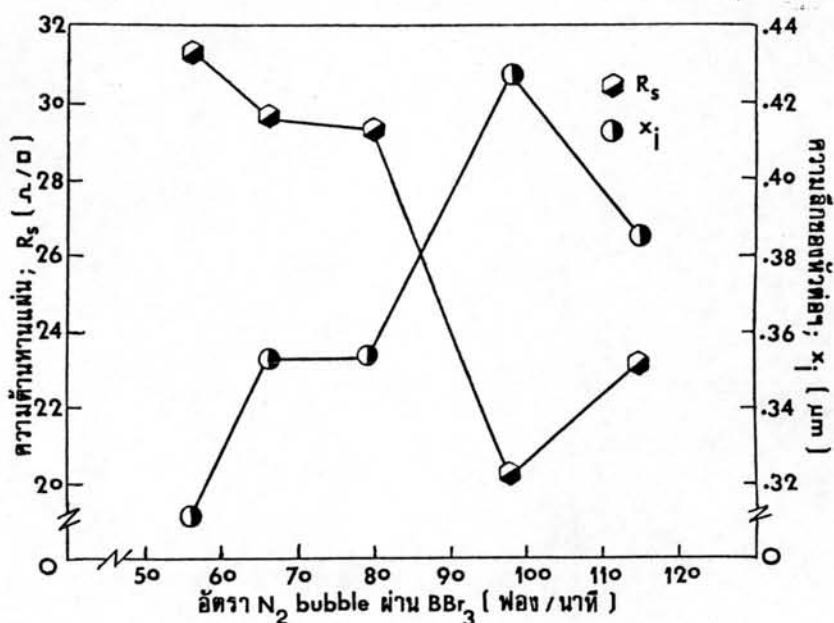
ส่วนเงื่อนไขอื่นๆ และผลการทดลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่น ความลึกของหัวต่อที่ได้จากการทดลอง

สำหรับการแพร่ซึมด้วย BBr_3 ที่ค่า N_2 bubble ต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ $1,000^\circ\text{C}$.

ความต้านทาน จำเพาะที่วัด ก่อนทดลอง, ρ (Ω -ซม.)	อัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 ที่ 10°C . (ฟอง/นาที)	ความต้านทาน แผ่นที่วัดได้, R_s (Ω/\square)	ความลึกของ หัวต่อที่ได้จาก การทดลอง, x_j (ไมครอน)	ค่า D ที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้ค่า x_j (ไมครอน) ² /ซม.
9.85	56	31.43	0.311	6.1×10^{-3}
9.63	66	29.80	0.353	7.8×10^{-3}
9.26	80	29.30	0.353	7.8×10^{-3}
9.39	98	20.30	0.428	1.1×10^{-2}
9.50	115	23.20	0.386	9.3×10^{-3}

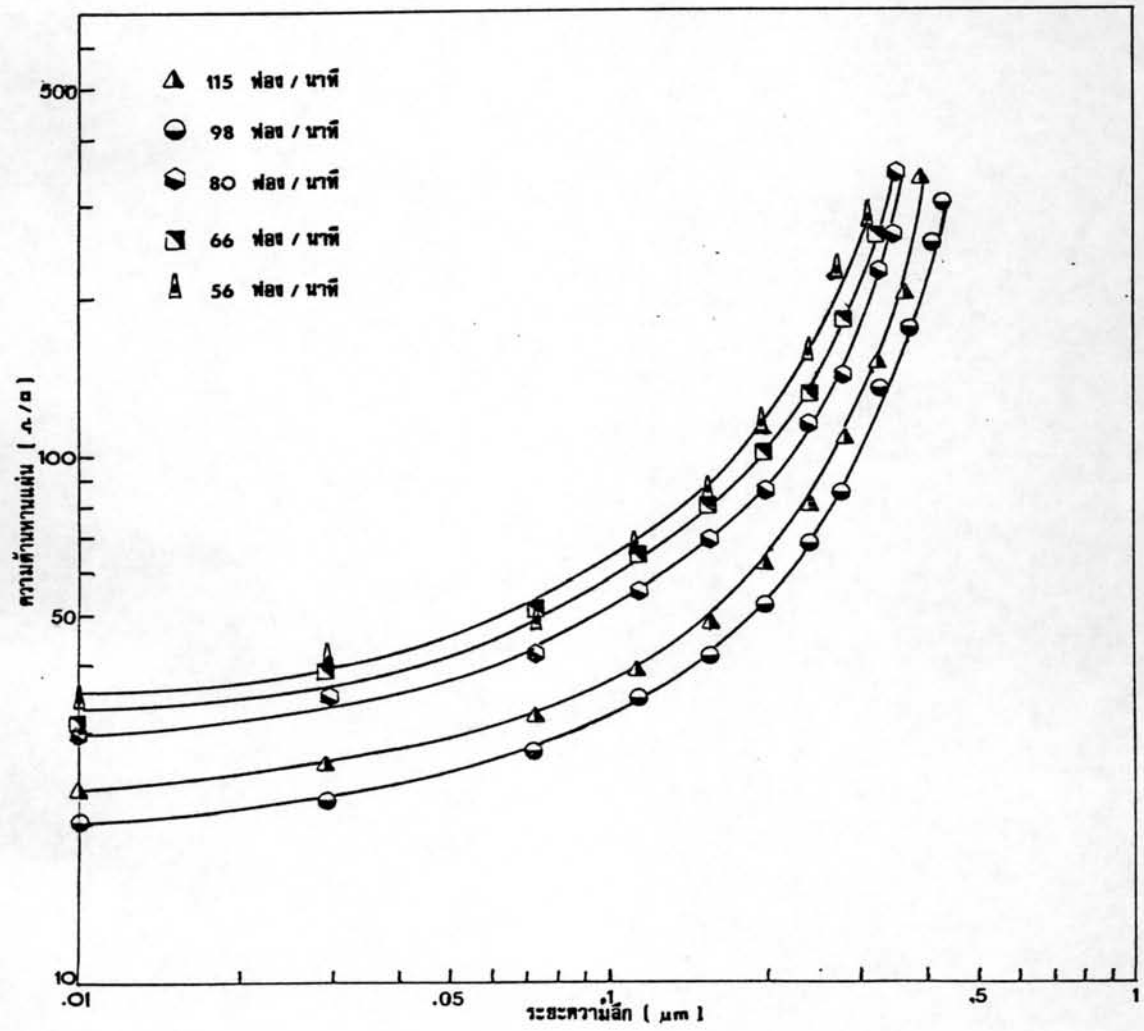
นำค่าความต้านทานแผ่นและความลึกของหัวต่อที่ปรากฏในตารางที่ 6.7 มา plot



รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นและความลึกของหัวต่อกับ

อัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 โดยมีเงื่อนไขอื่นๆ ตามตารางที่ 6.7

กราฟเทียบกับอัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 ดังแสดงในรูปที่ 6.3 ซึ่งสรุปได้ว่า ความต้านทานแผ่นที่วัดได้และความลึกของหัวต่อฯ สอดคล้องกัน คือ ที่ N_2 bubble ผ่าน BBr_3 เป็น 98 ฟอง/นาที่ ได้ค่าความต้านทานแผ่นต่ำสุดและความลึกของหัวต่อฯมีค่ามากที่สุด

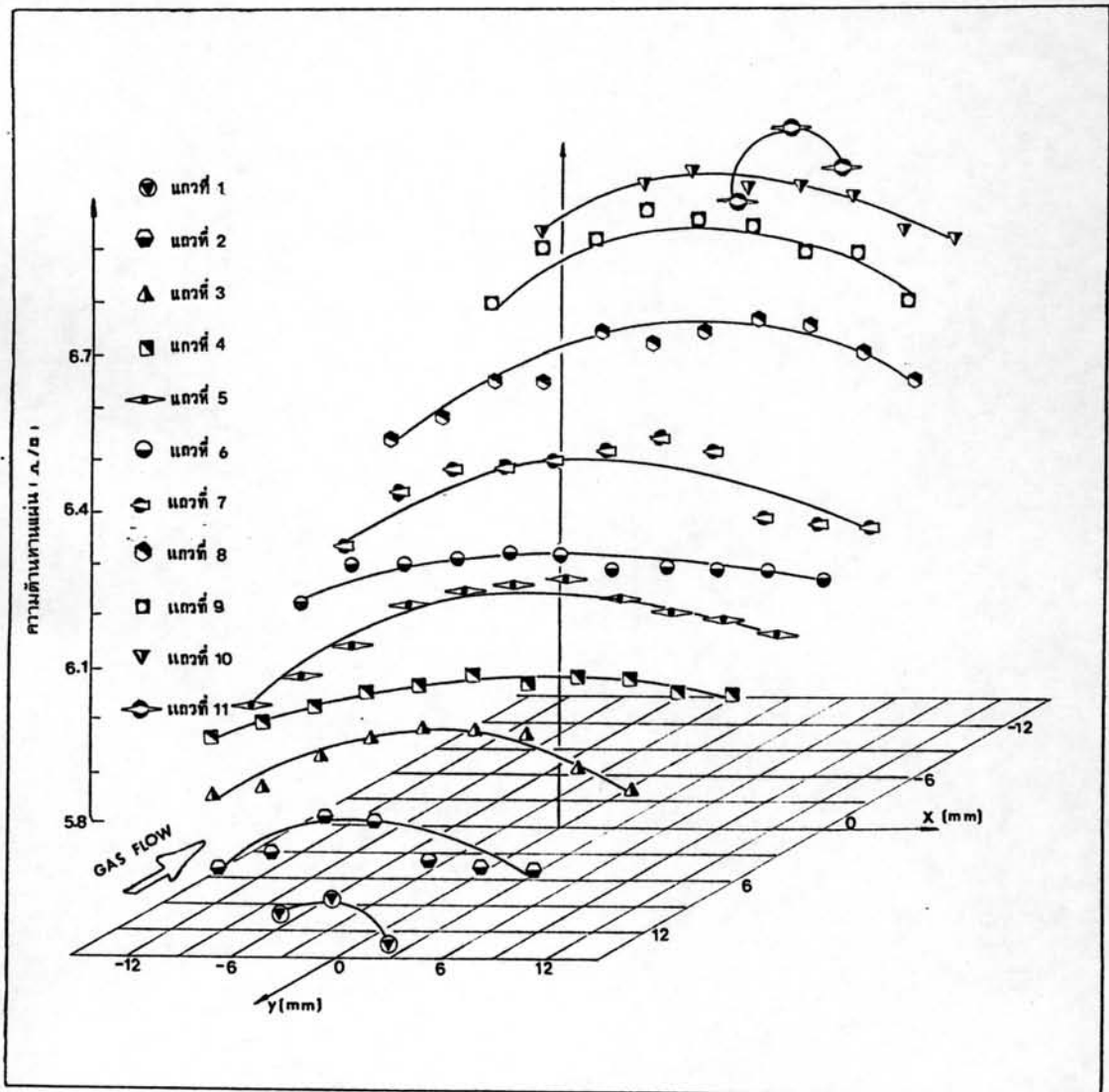


รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับระยะความลึกของชั้นแพร์ซิมจากการเปลี่ยนอัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 5 ค่า ตามตารางที่ 6.7

รูปที่ 6.4 เป็นโปรไฟล์ของความต้านทานแผ่นที่ plot ความลึกต่างๆ กัน จากการเปลี่ยนค่าอัตรา N_2 bubble ผ่าน BBr_3 5 ค่า ตามตารางที่ 6.7 ซึ่งให้ผลสรุปเหมือนกับรูปที่ 6.3 กล่าวคือ โปรไฟล์ของชั้นแพร์ซิมที่ใช้ N_2 bubble 98 ฟอง/นาที่ มีค่าความต้านทานแผ่น

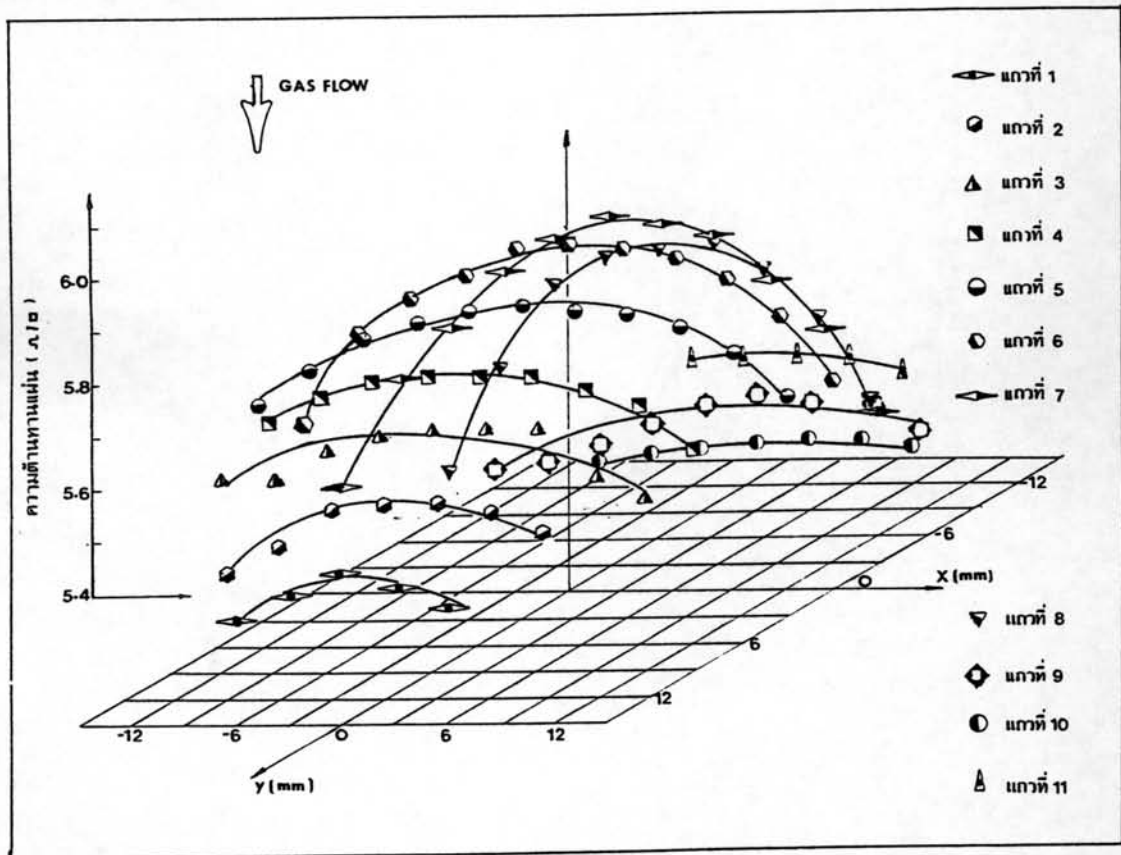
ต่ำสุดที่ทุกๆ ระยะในแวนผลึก ซึ่งหมายความว่า ชั้นแพร่ซิมนี้มีความเข้มข้นสารเจือปนในแวนผลึกสูงที่สุด ผลการทดลองนี้มิได้วัดเป็นอิมเพียวริตีโปรไฟล์ เพราะความเข้มข้นสารเจือปนทั้ง 5 กรณีมีค่าใกล้เคียง กันที่ทุกๆ ระยะในแวนผลึก ทำให้เห็นความแตกต่างในแต่ละกรณีไม่ชัด จึง plot เป็นโปรไฟล์ของความต้านทานแผ่นแทน โดยใช้เทคนิค anodic oxidation ในการลอกผิวแวนผลึก ด้วยขนาดความหนาต่างๆ กันในทุกๆ กรณี

6.3 เปรียบเทียบผลของความสม่ำเสมอในการแพร่ซิม



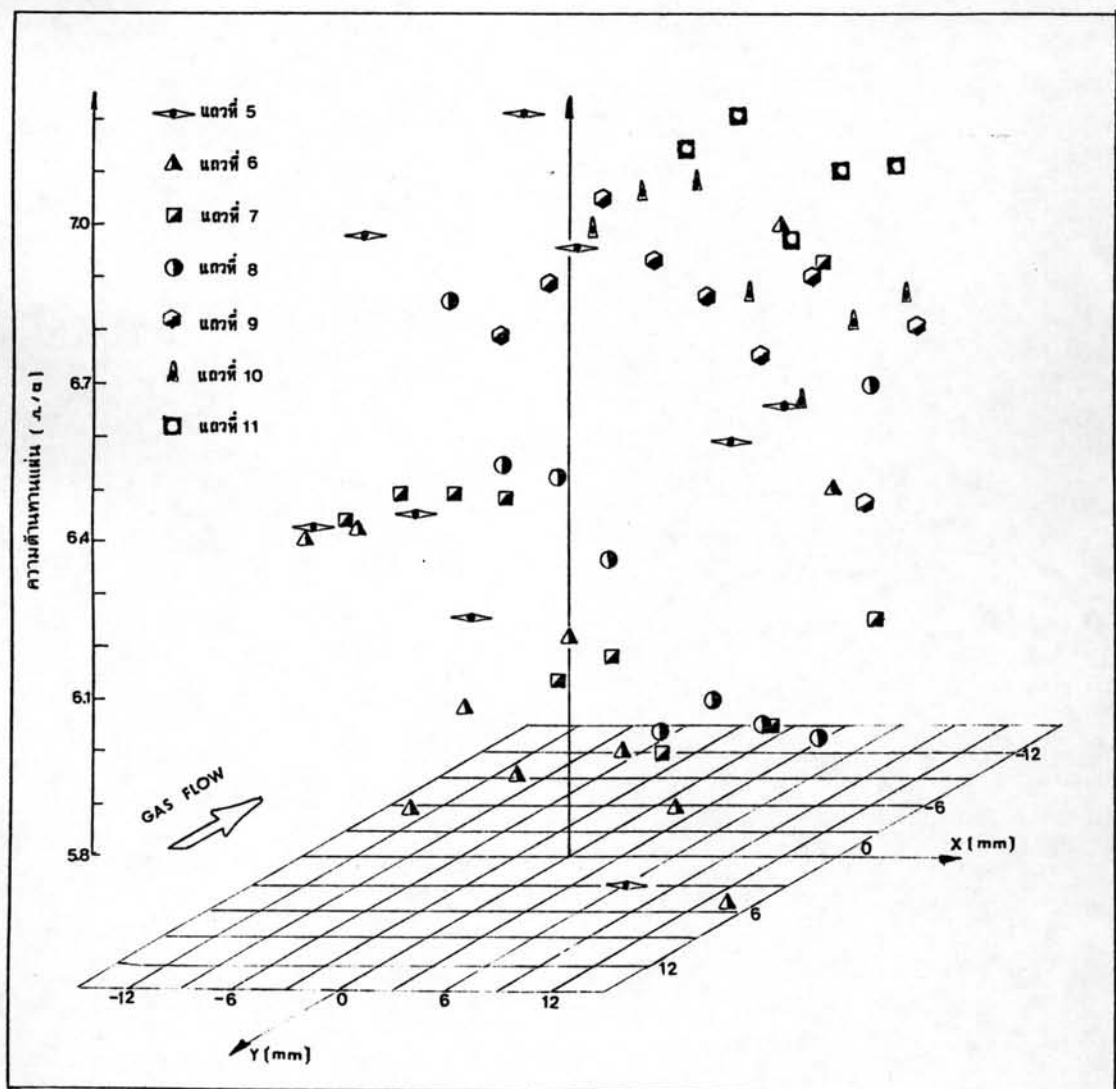
รูปที่ 6.5 แสดงค่าความต้านทานแผ่นที่วัดจากโพรบสี่เข็ม model FPP-100

ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวหน้าแว่นผลึก โดยใช้ BBr_3 เป็นแหล่ง
กำเนิดสารเจือปน ทำการแพร่ซึมลงบนแว่นผลึกซิลิกอนที่มีค่า
ความต้านทานจำเพาะตลอดแผ่น ระหว่าง 11.5-14.5
มิลลิโอห์ม-ซม. ที่อุณหภูมิ 1,050°C. นาน 60 นาที ใช้อัตรา
 N_2 bubble ผ่าน BBr_3 (10°C.) 70 ฟอง/นาที
main $\text{N}_2 \approx 1.3$ l/min
 $\text{O}_2 \approx 200$ ml/min



รูปที่ 6.6 แสดงค่าความต้านทานแผ่นที่วัดจากโพรบสี่เข็ม model FPP-100
ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวหน้าแว่นผลึก โดยใช้ BN Grade M26
เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปน ทำการแพร่ซึมลงบนแว่นผลึกที่มีค่า
ความต้านทานจำเพาะตลอดแผ่น ระหว่าง 11.4-15.4

มิลลิโอห์ม-ซม. ที่อุณหภูมิ 1,050°C. นาน 60 นาที ใช้อัตราการไหลของ $N_2 = 0.65$ l/min นำมากัดออกไซด์ครั้งแรก วัดค่าความต้านทานแผ่น ยังได้เป็นแวนผลึกชนิดเอ็นเซ็นเต็ม โดยมีความต้านทานจำเพาะ 185 มิลลิโอห์ม-ซม. นำไปแปรซึม ต่ออีก 120 นาที หลังจากกัดออกไซด์แล้ววัดค่าความต้านทาน แผ่นตลอดแวนผลึก ได้ค่าดังแสดงในรูป

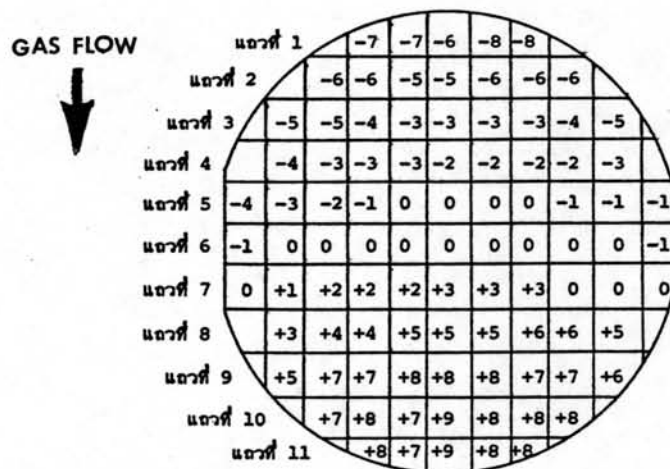


รูปที่ 6.7 แสดงค่าความต้านทานแผ่นที่วัดจากโพรบสี่เข็ม model FPP-100

ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวหน้าแว่นผลึก โดยใช้ B_2O_3 ผสมกับ Methyl Alcohol ที่อุณหภูมิห้อง เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปน ทำการแพร่ซึมลงบนแว่นผลึกที่มีค่าความต้านทานจำเพาะตลอดแผ่น ระหว่าง 12.7-15.0 มิลลิโอม-ซม. ที่อุณหภูมิ 1,050°C. นาน 60 นาที ใช้อัตราการไหลของ $N_2 \approx 0.7$ l/min (ค่าความต้านทานแผ่นที่แสดงในรูป ยังไม่ได้แสดงค่าผลการแพร่ซึมจาก แถวที่ 1-4 เนื่องจากค่าความต้านทานแผ่นโตเกินสเกลที่กำหนด ซึ่งสามารถดูรายละเอียดทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 6.10)

หมายเหตุ แว่นผลึกซิลิกอนแบบเอ็นที่ใช้แพร่ซึมจากแหล่งกำเนิดสารเจือปนทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว เป็น P-doped หนา 200 ไมครอน ทิศ <111> เส้นผ่าศูนย์กลาง ≈ 30 มม.

จากรูปที่ 6.5, 6.6 และ 6.7 เป็นการแพร่ซึมโดยใช้ BBr_3 , BN และ B_2O_3 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงว่า การแพร่ซึมด้วย BBr_3 นั้น ค่าความต้านทานแผ่นของแว่นผลึกที่อยู่ใกล้ด้านทางเข้าของ carrier gas มีค่าน้อยที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่ามากที่สุด ณ จุดที่อยู่ไกลทางด้านที่ carrier gas ไหลออกจากแว่นผลึก ส่วนเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนของค่าความต้านทานแผ่นบนหน้าแว่นผลึกมีค่า $\approx \pm 8$ % ดังแสดงในรูปที่ 6.8 และในแต่ละแถวของค่าความต้านทานแผ่นที่วัดได้มีการเบี่ยงเบนจาก 1-4 %

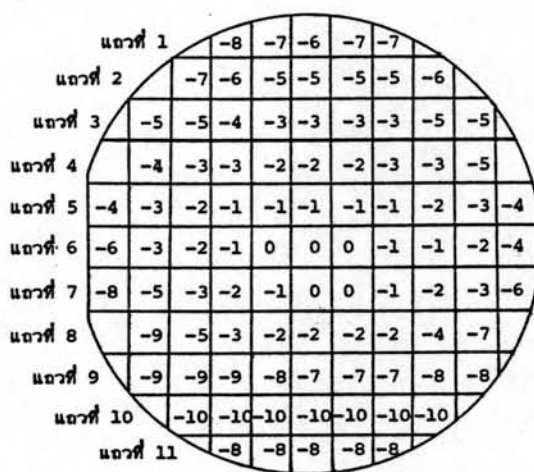


รูปที่ 6.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนของค่าความต้านทานแผ่นเทียบกับ

ผิวหน้าแว่นผลึกบนแกน x-y จากการแพร่ซึมด้วย BBr_3 โดยใช้
จุดศูนย์กลางเป็นจุดอ้างอิง

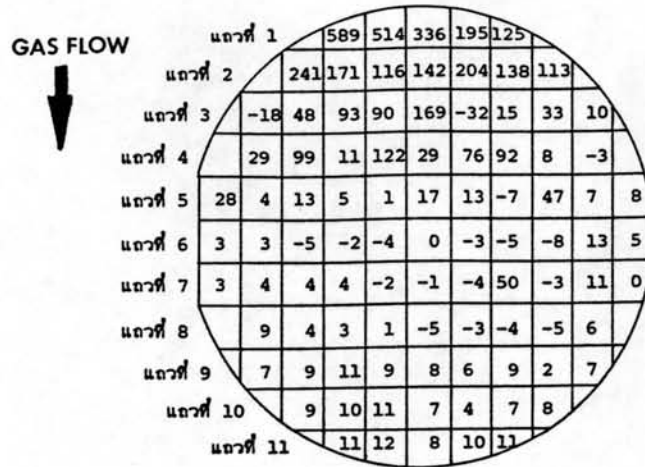
ในกรณีที่ใช้ BN นั้น ความสม่ำเสมอของการแพร่ซึมได้แสดงในรูปที่ 6.6 และ 6.9 จากรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่า ที่แฉกกลางของแว่นผลึก (แฉกที่ 6) มีค่าความต้านทานแผ่นสูงที่สุด และมีค่าลดลงตามลำดับจนถึงขอบทุกด้าน ที่เป็นเช่นนี้เพราะลักษณะการจัดเรียงแว่นผลึกในขณะแพร่ซึมต่างจากกรณีของ BBr_3 และ B_2O_3 นั้นเอง ส่วนค่าการเบี่ยงเบนของค่าความต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึมมีค่าสูงสุด -10 % และในแต่ละแฉกของแว่นผลึกมีเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนเปลี่ยนจาก 3-8 %

⊗
GAS FLOW



รูปที่ 6.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนของค่าความต้านทานแผ่นเทียบกับ
ผิวหน้าแว่นผลึกบนแกน x-y จากการแพร่ซึมด้วย BN โดยใช้จุด
ศูนย์กลางเป็นจุดอ้างอิง

ในกรณีที่ใช้ B_2O_3 ความสม่ำเสมอในการแพร่ซึมได้ผลดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 6.7 และ 6.10 ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิคในการแพร่ซึมเป็นการทำสารละลายบนแว่นผลึกก่อนนำเข้าเตา เมื่อนำแว่นผลึกที่ทำสารละลาย B_2O_3 แล้ว วางบน quartz boat ที่มีอุณหภูมิสูง สารละลายจะ

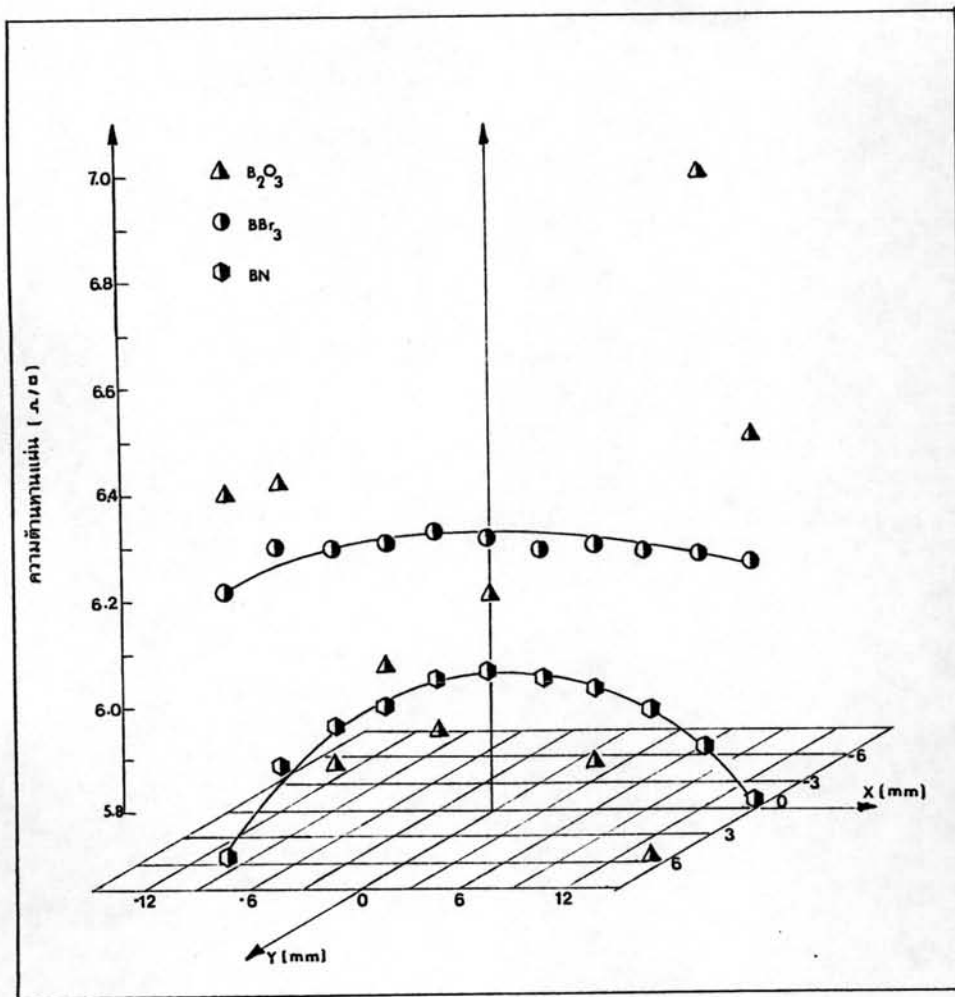


รูปที่ 6.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนของค่าความต้านทานแผ่นเทียบกับผิวหน้าแว่นผลึกบนแกน x-y จากการแพร่ซึมด้วยสารละลายของ B_2O_3 โดยใช้จุดศูนย์กลางเป็นจุดอ้างอิง

หมายเหตุ ค่าบวกที่แสดงในรูปที่ 6.8 6.9 และ 6.10 แสดงว่ามีค่ามากกว่าจุดอ้างอิง ค่าลบแสดงว่ามีค่าน้อยกว่าจุดอ้างอิง

ระเหยเหลือผง B_2O_3 กระจายกันอยู่บนแว่นผลึก เหตุนี้ความสม่ำเสมอในการแพร่ซึมจึงมีน้อย โดยมีเปอร์เซ็นต์ความต้านทานแผ่นเบี่ยงเบนสูงสุด ≈ 600 บนแว่นผลึก และในแต่ละแถวมีค่าการเบี่ยงเบนจาก 4-400 %

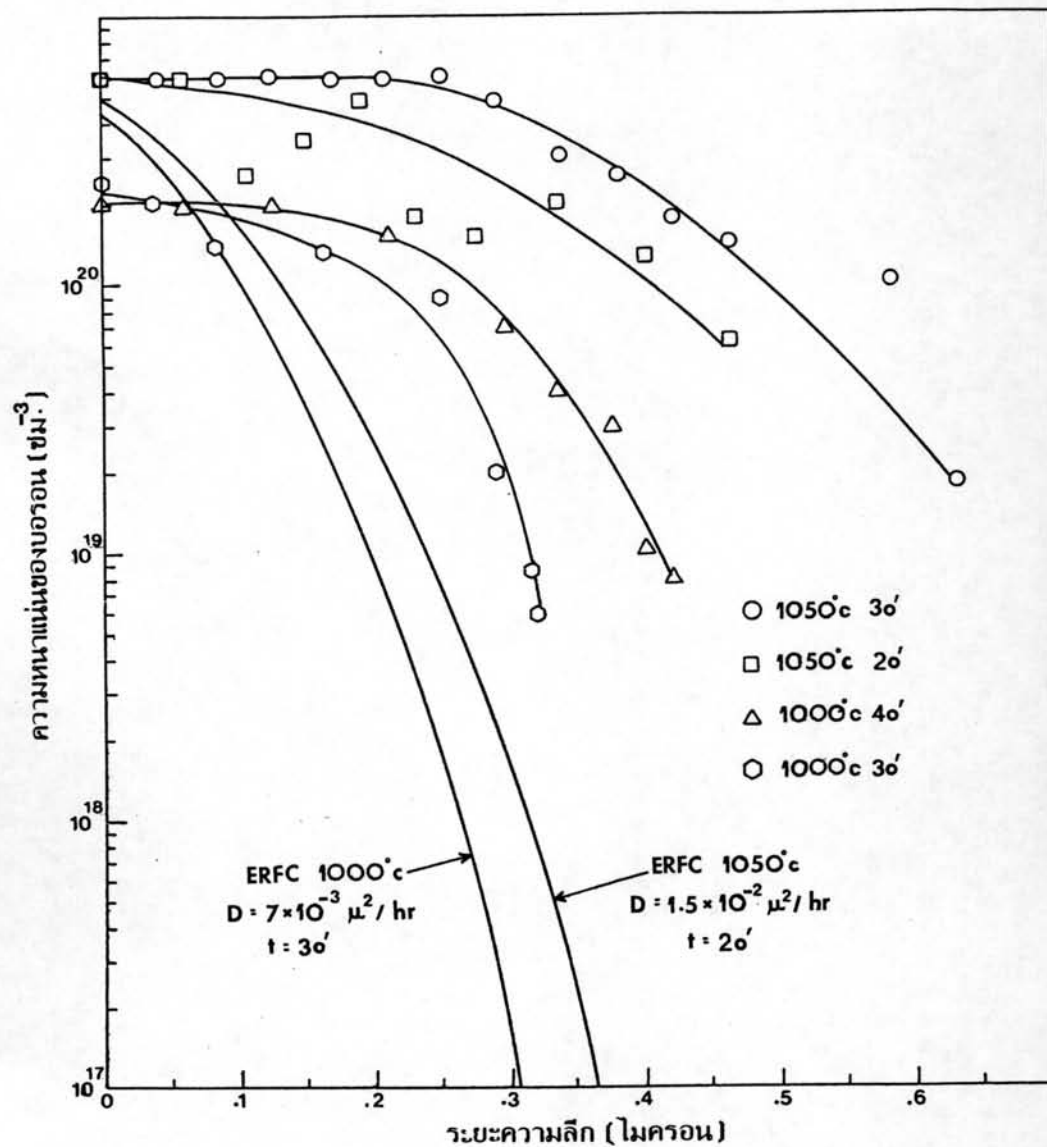
สำหรับรูปที่ 6.11 เป็นการเปรียบเทียบความสม่ำเสมอในแถวที่ 6 ของแว่นผลึกที่ได้จากการแพร่ซึมจากแหล่งกำเนิดสารเจือปนทั้ง 3 ชนิด เห็นได้ว่า BBr_3 มีความสม่ำเสมอในแต่ละแถวของการแพร่ซึม มากที่สุด โดยมีค่าการเบี่ยงเบนของความต้านทานแผ่น 1 % ในขณะที่ของ BN เป็น 6 % และ B_2O_3 เป็น 20 %



รูปที่ 6.11 แสดงการเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของการแพร่ซึมจากกราฟ
แถวที่ 6 ของรูปที่ 6.5, 6.6 และ 6.7

6.4 เปรียบเทียบอิมเพียวริตีโปรไฟล์จากการทดลองและการคำนวณ

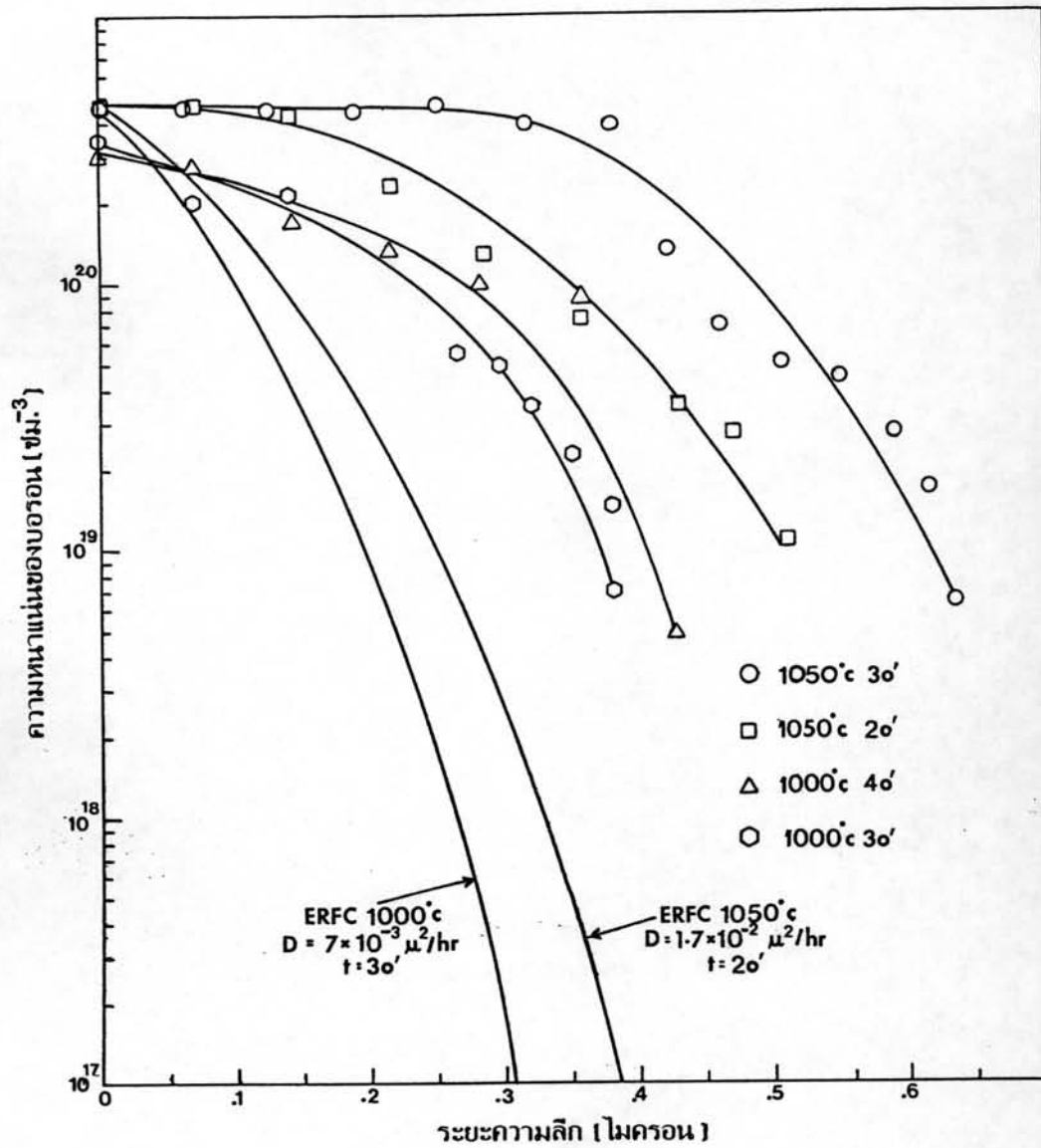
รูปที่ 6.12 แสดงอิมเพียวริตีโปรไฟล์ของบอรอนจากการแพร่ซึมด้วย BBr_3 ที่อุณหภูมิ 1,000 และ 1,050 ช. โดยที่อุณหภูมิ 1,000 ช. แสดงโปรไฟล์ของการแพร่ซึมด้วยเวลา 30 และ 40 นาที ที่ได้จากการทดลองและมีการคำนวณโดยใช้ $erfc$ ที่ 30 นาที ค่า $D = 7 \times 10^{-3}$ (ไมครอน)²/ชม. มาเปรียบเทียบ ผลที่ได้คือ การทดลองให้ผลการแพร่ซึมที่ลึกกว่าการคำนวณ และการใช้เวลาในการแพร่ซึมนาน ย่อมทำให้อะตอมของบอรอนซึมลึกกว่าด้วย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 6.12 แสดงผลการทดลองหาอิมพีแควริตีโปรไฟล์โดยใช้ anodic oxidation ของการแพร่ซึมด้วย BBr_3

ที่อุณหภูมิ 1,000°C. เปรียบเทียบการแพร่ซึมด้วยเวลา 30' และ 40' กับ erfc ค่า $D = 7 \times 10^{-3} \mu^2/hr$ ที่ 30'

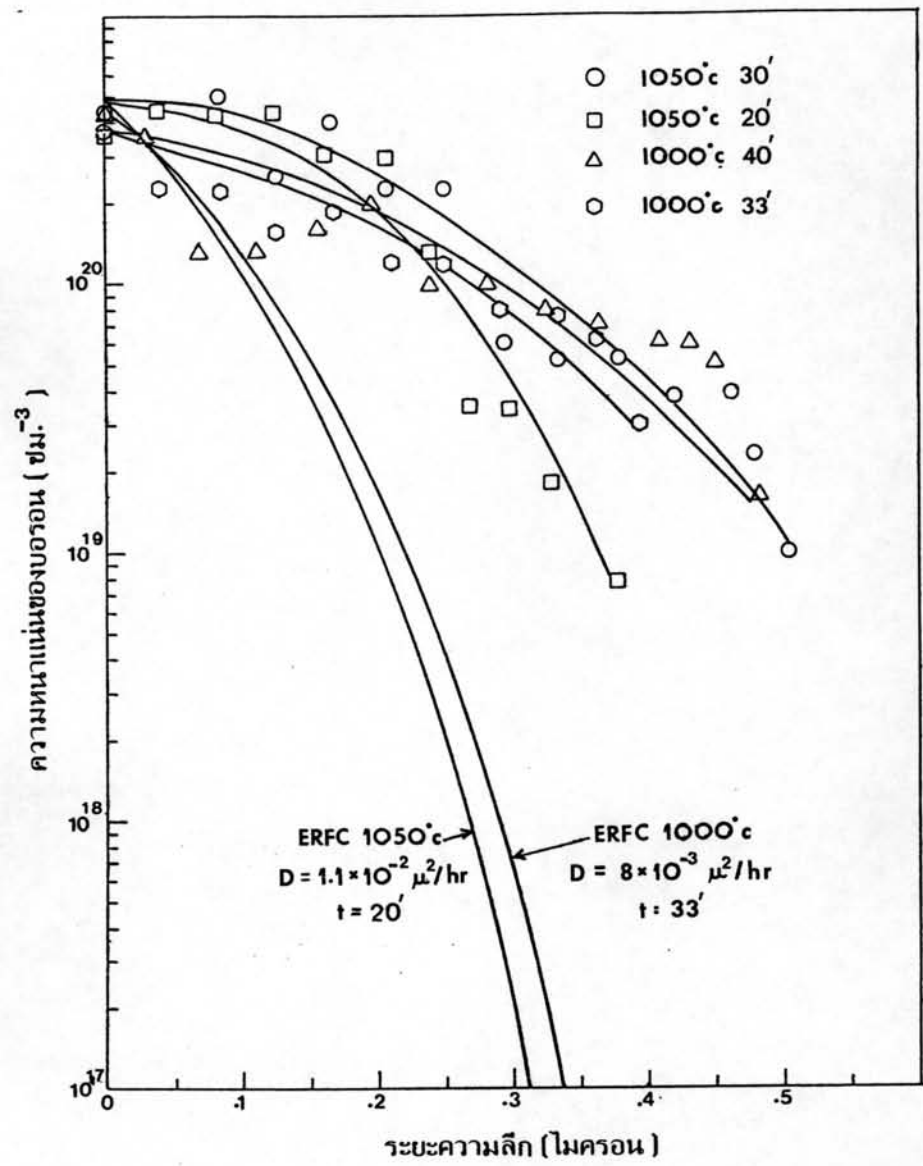
ที่อุณหภูมิ 1,050°C. เปรียบเทียบการแพร่ซึมด้วยเวลา 20' และ 30' กับ erfc ค่า $D = 1.5 \times 10^{-2} \mu^2/hr$ ที่ 20'



รูปที่ 6.13 แสดงผลการทดลองหาอิมพีวริตีโพรไฟล์โดยใช้ anodic oxidation ของการแพร่ซึมด้วย B_2O_3

ที่อุณหภูมิ 1,000°C. เปรียบเทียบการแพร่ซึมด้วยเวลา 30' และ 40' กับ erfc ค่า $D = 7 \times 10^{-3} \mu^2/hr$ ที่ 30'

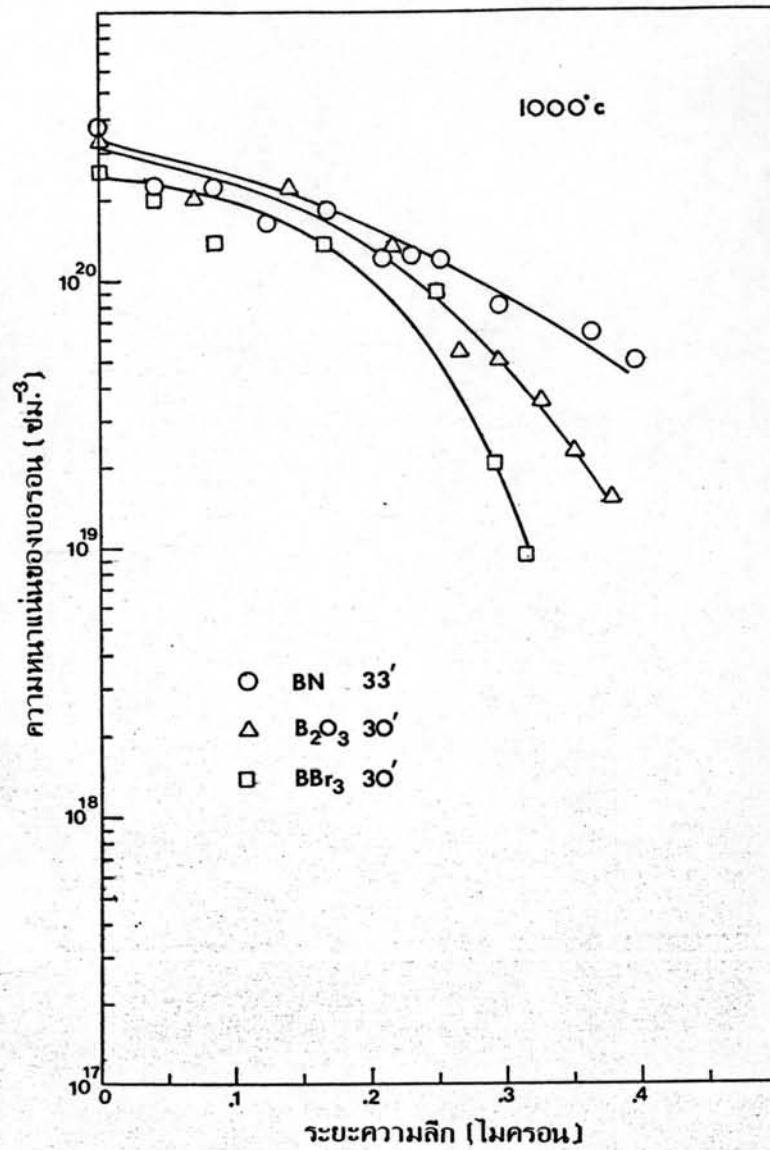
ที่อุณหภูมิ 1,050°C. เปรียบเทียบการแพร่ซึมด้วยเวลา 20' และ 30' กับ erfc ค่า $D = 1.7 \times 10^{-2} \mu^2/hr$ ที่ 20'



รูปที่ 6.14 แสดงผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์โดยใช้ anodic oxidation ของการแพร่ซึมด้วย BN

ที่อุณหภูมิ 1,000°C. เปรียบเทียบการแพร่ซึมด้วยเวลา 33' และ 40'
 กับ erfc ค่า $D = 8 \times 10^{-3} \mu^2/hr$ ที่ 33'

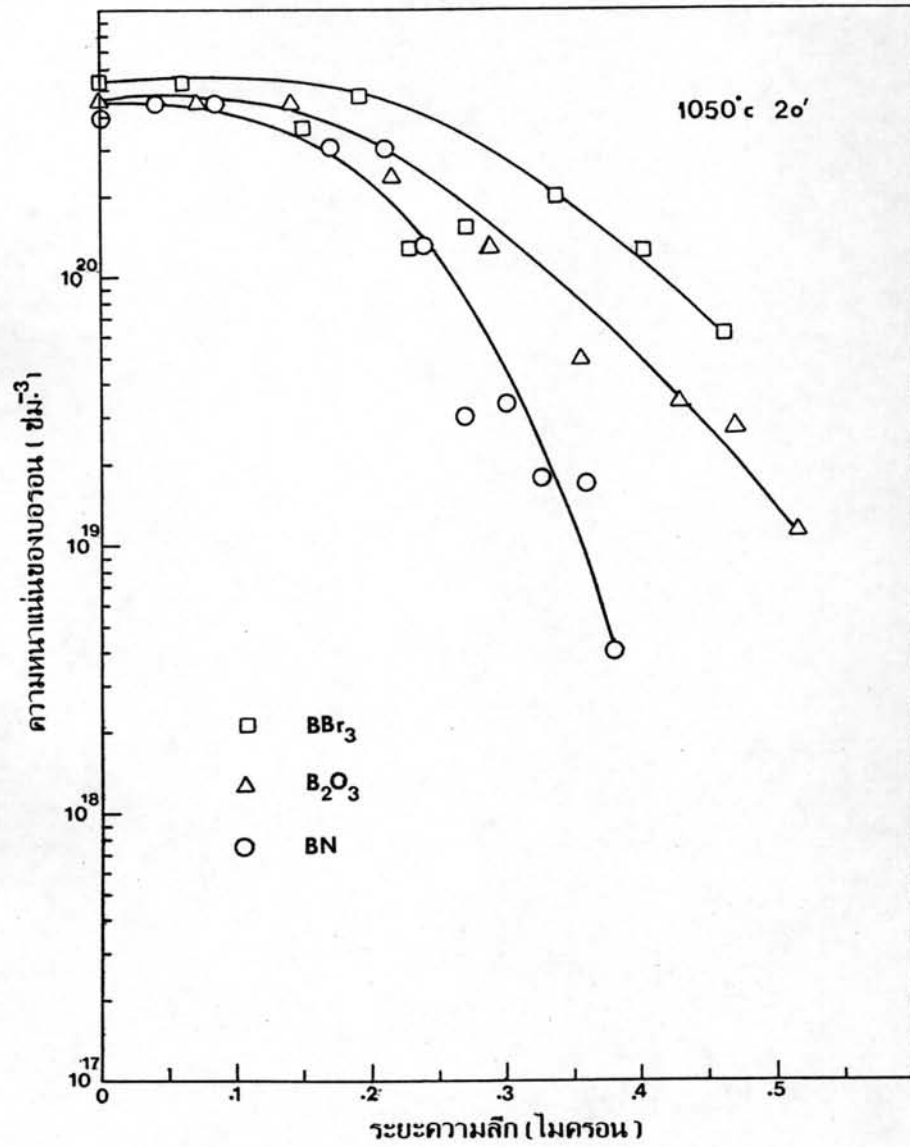
ที่อุณหภูมิ 1,050°C. เปรียบเทียบการแพร่ซึมด้วยเวลา 20' และ 30'
 กับ erfc ค่า $D = 1.1 \times 10^{-2} \mu^2/hr$ ที่ 20'



รูปที่ 6.15 แสดงผลการทดลองหาอิมเพียวริตี้โปรไฟล์โดยใช้ anodic oxidation

แพร์ซิมที่อุณหภูมิ 1,000°C. ด้วย BN เวลา 33'

ด้วย BBr₃ และ B₂O₃ เวลา 30'



รูปที่ 6.16 แสดงผลการทดลองหาอิมพีเดียของโพรไฟล์โดยใช้ anodic oxidation เปรียบเทียบการแพร่ซึมที่อุณหภูมิ 1,050°C. ด้วย BN BBr_3 และ B_2O_3 เวลา 20'

ส่วนที่ 1,050·ซ. เป็นอิมเพียวริตีโปรไฟล์ที่เวลา 20 และ 30 นาที โดยมีการคำนวณที่เวลา 20 นาที ใช้ค่า $D = 1.5 \times 10^{-2}$ (ไมครอน)²/ชม. มาเปรียบเทียบ ผลที่ได้เหมือนการแพร่ซึมที่อุณหภูมิ 1,000·ซ. เพียงแต่ให้โปรไฟล์ที่ลึกกว่าและให้ค่าความหนาแน่นของบอรอนสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดความต้านทานแผ่นและความลึกของหัวต่อๆ

สำหรับกรณีของ B_2O_3 และ BN ก็ให้ผลเช่นเดียวกับกรณี BBr_3 ดังแสดงในรูปที่ 6.13 และ 6.14 ตามลำดับ โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ดังแสดงในรูป

รูปที่ 6.15 และ 6.16 เป็นการเปรียบเทียบอิมเพียวริตีโปรไฟล์จากการแพร่ซึมด้วยสารเจือปนทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 1,000 และ 1,050·ซ. ตามลำดับ โดยสรุปได้ว่า ที่ 1,000·ซ. โปรไฟล์ของการแพร่ซึมด้วย BN ดีที่สุด ที่ 1,050·ซ. โปรไฟล์ของการแพร่ซึมด้วย BBr_3 ดีที่สุด เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากความสามารถในการแพร่ซึมโดยใช้ตัวเติมสารเจือปนแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังดูได้จากค่า D ที่ปรากฏในแต่ละการทดลอง ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ทั้งนี้เป็นเพราะเทคนิคในการแพร่ซึมแต่ละแบบเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแพร่ซึมด้วย

6.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากการแพร่ซึมด้วยสารเจือปนแต่ละชนิด

การตรวจวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันต่อไปนี้ ของเซลล์ที่สร้างขึ้นจากการแพร่ซึมทุกเงื่อนไข ใช้หลอดแฮโลเจนที่มีความเข้มแสง 100 mW/cm^2 เป็นแหล่งกำเนิดแสง

สำหรับ B_2O_3

ที่อุณหภูมิ 1,100·ซ. ใช้แว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะในตอนเริ่มต้น มีค่า 4-6 โอห์ม-ซม. อัตราการไหล $N_2 \approx 0.7 \text{ l/min}$ ทำการแพร่ซึมด้วยเวลาต่างๆ ผลการทำเซลล์แสดงในตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 แสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 ที่อุณหภูมิ $\approx 1,100$ °ซ. อัตราการไหล $N_2 \approx 0.7$ l/min

เซลล์ หมายเลข	เวลาในการแพร่ซึม (นาที)	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	F.F.	η (%)
1	2.0	0.40	13.52	0.305	1.65*
2	2.5	0.43	12.37	0.226	1.20
3	3.0	0.42	15.00	0.340	2.15
4	3.5	0.42	17.99	0.229	1.73
5	3.5	0.40	10.08	0.227	0.92*
6	4.0	0.44	21.85	0.274	2.64

* เป็นเซลล์ที่เงื่อนไขเริ่มแรกในการทดลอง ต่างจากตัวอื่น

ผลการทำเซลล์เมื่อใช้แว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะในตอนเริ่มต้น 2 โอห์ม-ซม. ใช้
อัตราการไหล $N_2 \approx 0.7$ l/min แสดงในตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 แสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากการแพร่ซึมด้วย B_2O_3
ใช้อัตราการไหล $N_2 \approx 0.7$ l/min

เซลล์ หมายเลข	อุณหภูมิแพร่ซึม (°ซ)	เวลาในการแพร่ซึม (นาที)	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	F.F.	η (%)
1	1,000	20	แว่นผลึกนี้ผิวหน้าเป็นคราบหนาจึงวัดค่าไม่ได้			
2	1,000	25	0.43	11.36	0.40	1.95
3	1,000	28	0.49	17.05	0.42	3.51
4	1,050	20	0.32	15.91	0.36	1.83
5	1,050	20	0.38	16.48	0.30	1.87

เมื่อนำไปทำ annealing เป็นเวลา 3 นาที ผลที่ได้เป็นตามตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 แสดงคุณสมบัติของเซลล์ในตารางที่ 6.9 หลังการทำ annealing

เซลล์ หมายเลข	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	F.F.	η (%)
2	0.36	11.25	0.417	1.69*
3	0.40	17.05	0.383	2.61
4	0.14	11.36	0.250	0.40
5	0.30	15.90	0.268	1.28

* เซลล์ตัวนี้เงื่อนไขการ anneal ต่างจากตัวอื่น

หมายเหตุ เนื่องจากการใช้เวลานานเกินไปในการ anneal เซลล์
ตัวที่ 3-5 จึงทำให้เซลล์บางตัวทะลุ

สำหรับ BBr₃

ใช้อัตราการไหลของ main N₂ ≈ 1.3 l/min ของ O₂ ≈ 200 ml/min อัตรา
N₂ bubble ผ่าน BBr₃ (≈ 10·ซ.) 85-90 ฟอง/นาที ส่วนเงื่อนไขอื่นๆ และผลการทำเซลล์
แสดงในตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 แสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากการแพร่ซึมด้วย BBr₃

เซลล์ หมายเลข	อุณหภูมิแพร่ซึม (·ซ)	เวลาในการแพร่ซึม (นาที)	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm ²)	F.F.	η (%)
1	1,000	5 + 25 + 3	0.40	13.03	0.379	1.975
2	1,030	5 + 20 + 3	0.41	17.03	0.382	2.680
3	1,050	5 + 14 + 3	0.37	11.77	0.436	1.899

หมายเหตุ การทำเซลล์จาก BBr_3 ใช้ anodic oxidation ทำออกไซด์กั้นการแพร่ซึมด้านหลัง ทำให้ผิวหน้าของซิลิกอนก่อนการแพร่ซึมไม่สม่ำเสมอ โดยสังเกตเห็นได้ชัด

สำหรับ BN

ใช้อัตราการไหลของ $\text{N}_2 \approx 0.65$ l/min ส่วนเงื่อนไขอื่นๆ และผลการทำเซลล์แสดงในตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 แสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากการแพร่ซึมด้วย BN

เซลล์ หมายเลข	อุณหภูมิแพร่ซึม (°C)	เวลาในการแพร่ซึม (นาที)	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm^2)	F.F.	η (%)
1	1,000	30	0.44	10.71	0.517	2.435
2	1,050	20	0.44	9.80	0.623	2.686
3	1,050	22	0.43	11.34	0.622	3.034

การเปรียบเทียบผลของเซลล์โดยการพิจารณาของทฤษฎีตามหนังสืออ้างอิงที่ 30

1. V_{oc} การแพร่ซึมด้วย BBr_3 และ BN นั้น ให้ค่า V_{oc} มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับเซลล์ทุกตัวในแต่ละชุดการทดลอง แต่การแพร่ซึมด้วย B_2O_3 ค่า V_{oc} เปลี่ยนแปลงมากกว่า คือมีค่าระหว่าง 0.32-0.49 โวลท์

ทั้งนี้เนื่องจาก V_{oc} ของเซลล์แบบหัวต่อพี-เอ็น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความกว้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเซลล์ ค่าแฟคเตอร์แห่งความสมบูรณ์ของหัวต่อพี (Perfection Factor) และเปลี่ยนตามค่าล็อกของกระแสลัดวงจร (J_{sc}) ต่อกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของหัวต่อพี (J_0) (J_{sc} และ J_0 มีผลต่อการเปลี่ยนค่า V_{oc} น้อยเมื่อเทียบกับอีก 2 แฟคเตอร์ เนื่องจากเป็นค่าที่เปลี่ยนตามสเกลล็อก)

จึงกล่าวได้ว่า เซลล์ทุกตัวที่ทำขึ้นมีค่า V_{oc} เฉลี่ย ≈ 0.4 โวลต์ ทั้งนี้เพราะใช้แว่นผลึกซิลิกอนในการทำเซลล์ทั้งสิ้น ส่วนกรณีการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า V_{oc} มากกว่าการแพร่ซึมด้วย BBr_3 และ BN นั้น เนื่องจากคุณภาพของหัวต่อๆไม่ดีนักเพราะถูกจำกัดด้วยเทคนิคการแพร่ซึม

2. J_{sc} ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารเจือปนที่แพร่ซึมลงไปในเรื่องซิลิกอน เห็นได้ว่า เซลล์ที่ทำจากการแพร่ซึมด้วย B_2O_3 มีค่า J_{sc} สูงที่สุด (≈ 21 มิลลแอมป์/ซม.²) ทั้งนี้เพราะเทคนิคในการทำเซลล์เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติอันนี้ เนื่องจากเป็น heavily dope ส่วนค่า J_{sc} กรณีของการแพร่ซึมด้วย BN มีค่าต่ำสุด เพราะเทคนิคในการแพร่ซึมเป็นการเติมสารเจือปนที่ละน้อยเมื่อเทียบกับอีก 2 วิธี โดยดูได้จากผลของค่าความต้านทานแผ่นของการแพร่ซึมด้วยสารทั้ง 3 ชนิด

3. F.F. พิจารณาได้จากค่า $J_{sc} V_{oc}$ แฟคเตอร์แห่งความสมบูรณ์ของหัวต่อๆ ค่าความต้านทานอนุกรม และค่าความต้านทานขนาน ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ผลการแพร่ซึมที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์ กล่าวได้ว่าเกิดจากคุณภาพของหัวต่อๆ ความสม่ำเสมอในการแพร่ซึม ความต้านทานภายในเนื้อซิลิกอนและชั้นที่แพร่ซึม และความต้านทานระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองด้านระหว่างสารกึ่งตัวนำกับอะลูมิเนียมที่ใช้ทำ contact จากตารางของเซลล์ทุกตัว ค่า F.F. ที่ได้จากการแพร่ซึมด้วย BN มีค่าสูงสุด (≈ 0.62) ทั้งนี้เพราะคุณภาพของหัวต่อๆและชั้นการแพร่ซึมมีความสม่ำเสมอ โดยสังเกตได้จากผลการทดลองในการหาความสม่ำเสมอและโปรไฟล์ของการแพร่ซึม (ถ้าถือว่าความต้านทานอนุกรมเนื่องจากผลอันอื่นเหมือนๆ กัน) ส่วน F.F. ของกรณี B_2O_3 มีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวแล้ว

ทั้ง 3 ค่านี้เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของเซลล์ ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.8-6.12

โดยประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงที่สุดที่แพร่ซึมด้วย B_2O_3 เป็น 3.51 %

ประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงที่สุดที่แพร่ซึมด้วย BBr_3 เป็น 2.68 %

ประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงที่สุดที่แพร่ซึมด้วย BN เป็น 3.03 %