

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

4.1 บทนำ

ในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจำเป็นต้องเข้าใจถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงที่รับเข้ามาให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่ากระแสไฟฟ้าโฟโตซึ่งจะนำไปสู่ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร เพื่อนำมาปรับปรุงการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ให้ดียิ่งขึ้น ในหัวข้อที่ 4.2 จะกล่าวถึงการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ ในหัวข้อที่ 4.3 จะกล่าวถึงผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต ในหัวข้อที่ 4.4 จะกล่าวถึงกำลังงานสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์ ในหัวข้อที่ 4.5 จะกล่าวถึงการออกแบบหน้าปกสำหรับกรแพร์ซิมและหน้าปกสำหรับกรทำขั้วโลหะ ในหัวข้อที่ 4.6 จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการตัดผิวซิลิคอนชนิดขัดหยาบ ในหัวข้อที่ 4.7 จะกล่าวถึงการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

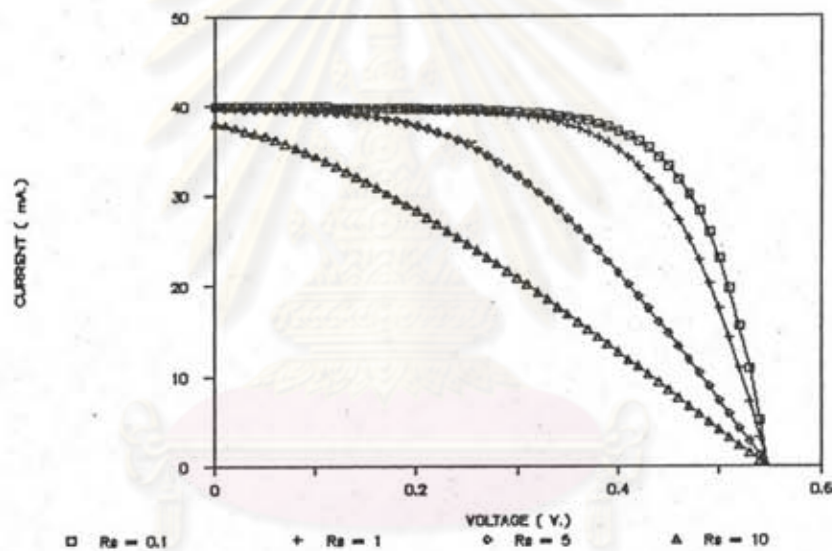
4.2 การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์

ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ ความต้านทานอนุกรม ความต้านทานขนาน ค่าความเป็นอุดมคติ ค่ากระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับ ค่ากระแสไฟฟ้าโฟโต ดังปรากฏในสมการที่ (2.13) เพื่อความเข้าใจผลของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ จึงนำมาคำนวณโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ (Numerical Calculation) เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆกันแล้วนำมาแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 - 4.7 และรูปที่ 4.9 - 4.17

$$I_{\text{out}} = I_{\text{ph}} - I_s [\exp((V_{\text{out}} + I_{\text{out}} R_s) / nV_T)] - (V_{\text{out}} + I_{\text{out}} R_s) / R_{\text{sh}} \quad (2.13)$$

4.2.1 ผลของความต้านทานอนุกรม R_s

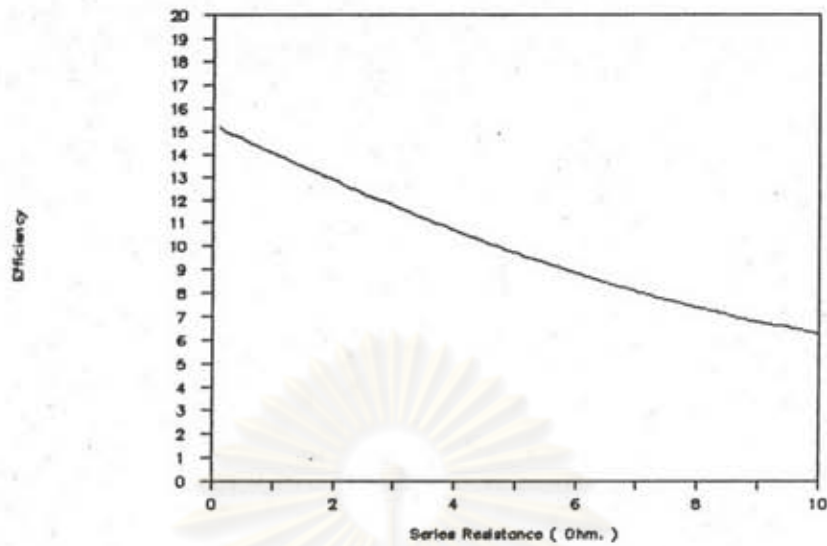
ผลของการคำนวณผลของค่าความต้านทานอนุกรมที่มีต่อกราฟลักษณะสมบัติ กระแส - แรงดัน โดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นคงที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าค่ากำลัง ไฟฟ้าขาออกสูงสุด (Maximum Power Output) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อค่า R_s มีค่าต่ำที่สุด และค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าลดลงเมื่อ R_s มีค่ามากขึ้น การออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ดีแล้วจะต้องออกแบบให้ R_s มีค่าต่ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยลดความต้านทานจำเพาะของเนื้อ สารกึ่งตัวนำให้น้อยลง การสร้างหัวต่อที่ตั้งแต่มีความเข้มข้นของสารเจือปนสูงหรือการออกแบบ ลวดลายขั้วโลหะที่ดีก็เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยลดค่า R_s ลงได้มาก



รูปที่ 4.1 การคำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ R_s มีค่าต่างกัน โดยที่ $I_{ph} = 40$ mA.

$$I_s = 1 \text{ } \mu\text{A}, \quad R_{sh} = 1 \text{ K}\Omega, \quad n=1, \quad V_T = 0.026 \text{ V.}$$

นอกจากจะมีผลต่อกำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุดแล้วยังมีผลไปถึงค่าฟิลล์แฟกเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ไปถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย รูปที่ 4.2 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพ ที่ค่า R_s ต่างๆกัน ซึ่งพบว่าเมื่อค่า R_s มากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง แต่ในกรณีที่ค่า R_s มีค่าน้อยๆนั้นยังไม่ค่อยเห็นผลของค่า R_s ที่มีต่อประสิทธิภาพเท่าใดนัก ซึ่งกรณีนี้สามารถนำมา เป็นเงื่อนไขในการสร้างหน้าปกของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้าได้

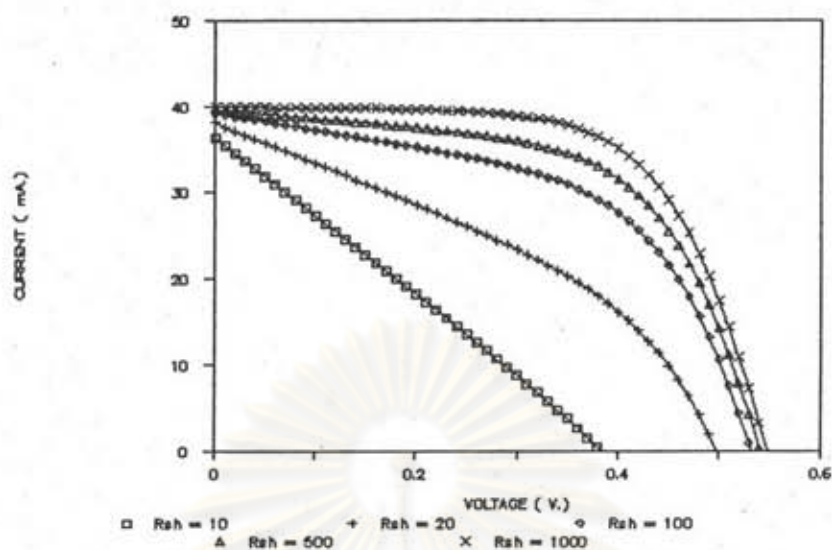


รูปที่ 4.2 ผลของค่าความต้านทานอนุกรมที่มีต่อประสิทธิภาพ

4.2.2 ผลของความต้านทานขนาน R_{sh}

ผลของการคำนวณผลของค่าความต้านทานขนานที่มีต่อกราฟลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน โดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นคงที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้า ขาออกสูงสุดจะมีค่ามากที่สุดเมื่อค่า R_{sh} มีค่ามากที่สุด และค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีค่า ลดลงเมื่อ R_{sh} มีค่าลดลง ในทำนองเดียวกันค่าฟิลล์แฟกเตอร์ก็จะมีค่าลดลงเหมือนกันซึ่งเป็น ผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วย การออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีนั้นจะต้องทำให้ R_{sh} มีค่าสูง มากๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยปรับปรุงเทคนิคการแพะซิมให้มีความสม่ำเสมอ (Uniformity) ที่ดีและควบคุมความสะอาดในระหว่างการทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



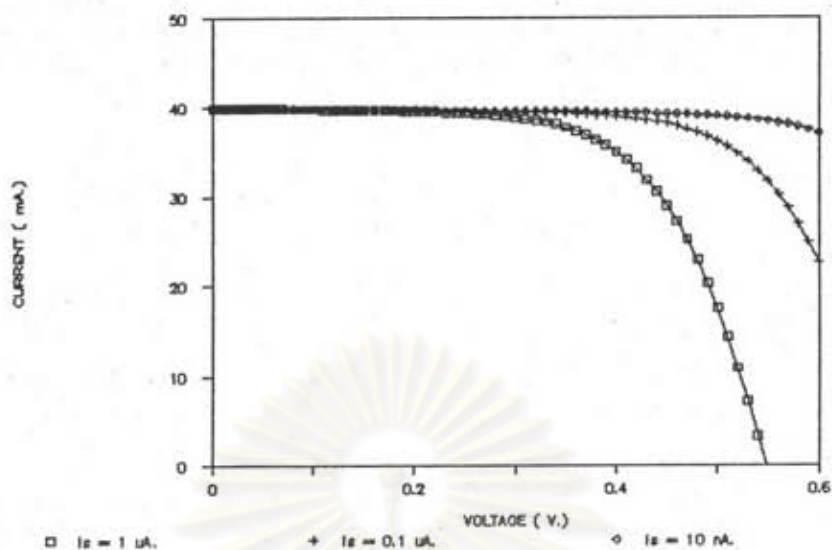
รูปที่ 4.3 การคำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ R_{sh} มีค่าต่างกัน โดยที่ $I_{ph} = 40 \text{ mA}$.

$$I_s = 1 \text{ } \mu\text{A}, \quad R_s = 1 \text{ } \Omega, \quad n=1, \quad V_T = 0.026 \text{ V}.$$

4.2.3 ผลของกระแสไฟฟ้าอิมิตัวย้อนกลับ (I_s) และค่าความเป็นอุดมคติ (n)

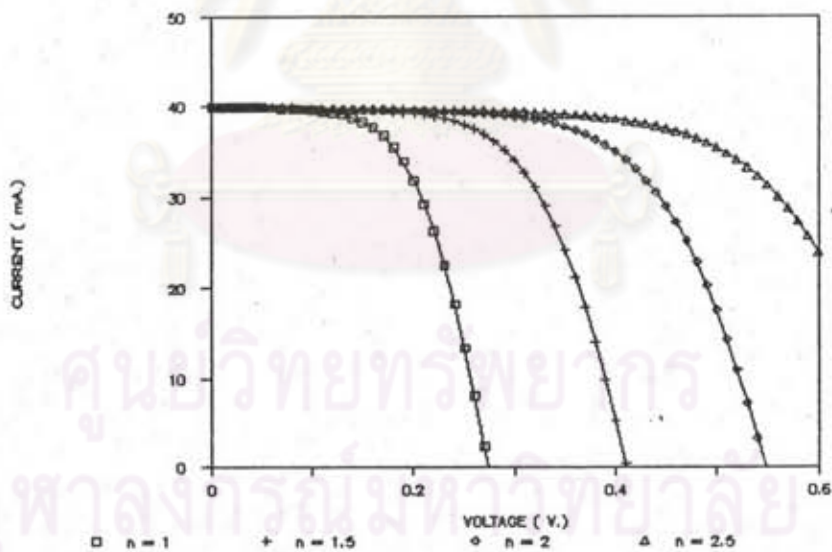
ผลการคำนวณผลของค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัวย้อนกลับและค่าความเป็นอุดมคติที่มีต่อกราฟลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า-แรงดัน แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และ 4.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 การคำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ I_s มีค่าต่างๆกัน โดยที่ $I_{ph} = 40 \text{ mA}$.

$R_s = 1 \Omega$, $R_{sh} = 1 \text{ K}\Omega$, $n=1$, $V_T = 0.026 \text{ V}$.



รูปที่ 4.5 การคำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ n มีค่าต่างๆกัน โดยที่ $I_{ph} = 40 \text{ mA}$.

$I_s = 1 \text{ uA}$, $R_s = 1 \Omega$, $R_{sh} = 1 \text{ K}\Omega$, $V_T = 0.026 \text{ V}$.

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าถ้าเพิ่มค่า n และลดค่า I_s ลงจะทำให้ V_{oc} มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมการ 2.6 และมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกระแสให้โหลด R_L จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมหัวต่อพี-เอ็น โดยที่ขั้วทางด้านพีจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าทางด้านเอ็น ซึ่งมีผลให้หัวต่อถูกไบแอสตาม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ กระแสไฟฟ้านิต (Injection Current) และกระแสไฟฟารวมตัว (Recombination Current) [38] มีค่าตามสมการ

$$I_D = qAn_1^2 (D_p/L_p N_d + D_n/L_n N_a) [\exp((V_{out} + I_{out} R_s)/V_T) - 1] + qAn_1 W/2\tau_o [\exp((V_{out} + I_{out} R_s)/2V_T) - 1] \quad (4.1)$$

หรือ

$$I_D = I_{s1} [\exp((V_{out} + I_{out} R_s)/V_T) - 1] + I_{s2} [\exp((V_{out} + I_{out} R_s)/2V_T) - 1] \quad (4.2)$$

เมื่อ

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} \\ = qAn_1^2 (D_p/L_p N_d + D_n/L_n N_a) + qAn_1 W/2\tau_o$$

- เมื่อ q คือ ค่าประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.6023×10^{-19} Coulomb
 n_1 คือ ความเข้มข้นสารเจือปนชนิด Intrinsic
 D_p, D_n คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮลและอิเล็กตรอน
 N_d, N_a คือ ความเข้มข้นของสารเจือปนแบบผู้ให้และผู้รับ
 L_p, L_n คือ ค่าความยาวการแพร่ซึมของโฮลและอิเล็กตรอน
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของหัวต่อพี-เอ็น

w คือ ความกว้างย่านปลอดพาหะ

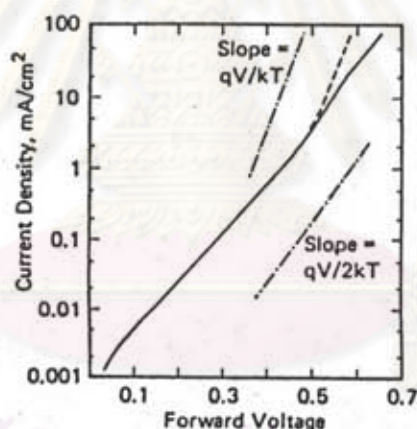
τ_0 คือ ค่าเวลาชีวิตพาหะข้างน้อย

I_s คือ ค่ากระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับ

เทอมแรกทางด้านขวามือของสมการที่ 4.1 เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า เนื่องจากการแพร่ซึม ส่วนเทอมที่สอง เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการรวมตัว

การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน โดยทั่วไปแล้วค่า

$I_{s1} \ll I_{s2}$ ดังนั้นในช่วงการไบแอสที่แรงดันไฟฟ้าต่ำๆ $I_D = I_s \exp(V/2V_T)$ ซึ่งหมายถึงถึง $n = 2$ แต่ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงๆ $\exp(V/V_T) \gg \exp(V/2V_T)$ ซึ่งในกรณีนี้จะได้ $I_D = \exp(V/V_T)$ ซึ่งหมายถึงถึง $n = 1$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6

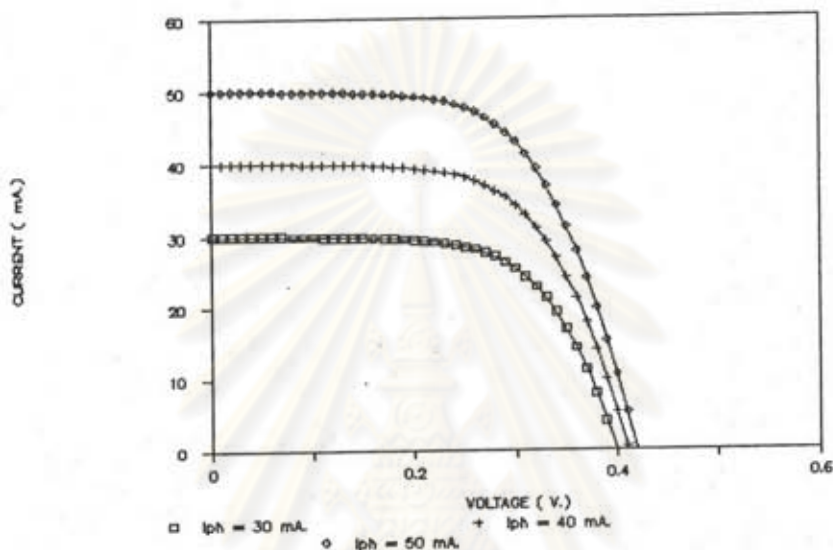


รูปที่ 4.6 ค่ากระแส-แรงดันเมื่อให้ไบแอสตรง [28]

การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงจะต้องทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีค่ากระแสอิ่มตัวน้อยๆ จากรูปที่ 4.6 สำหรับการไบแอสที่แรงดันค่าสูงๆแล้ว เส้นกราฟที่เบี่ยงเบนจากเส้นความลาดชัน $= qV/kT$ เกิดจากค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_s ของเซลล์แสงอาทิตย์

4.2.4 ผลของกระแสไฟโตนที่ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{ph})

ผลของกระแสไฟฟ้าไฟโตนที่ต่อเซลล์แสงอาทิตย์แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 ซึ่งพบว่าเมื่อ I_{ph} มีค่าเพิ่มขึ้นค่ากระแสไฟฟ้ลัดวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.7 การคำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ I_{ph} มีค่าต่างกัน โดยที่ $I_s = 1 \mu A$, $R_s = 1 \Omega$, $R_{sh} = 1 K\Omega$, $n=1$, $V_T = 0.026 V$.

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกระแสไฟฟ้าไฟโต ได้แก่

1. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Optical Absorption Coefficient)
2. ค่าความลึกของหัวต่อ (Junction Depth X_j)
3. ค่าความกว้างบริเวณเปลือดพาหะ (Depletion Region Width W)
4. ค่าเวลาชีวิตพาหะ (Carrier Life Time τ)
5. ค่าความยาวในการแพร่ซึม (Diffusion Length L)
6. ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Reflection Coefficient R)
7. ค่าการรวมตัวที่ผิว (Surface Recombination S)

4.3 ผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต

กระแสไฟฟ้าโฟโตที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ กระแสไฟฟ้าที่เกิดในย่านเอ็น กระแสไฟฟ้าที่เกิดในย่านพีและกระแสไฟฟ้าที่เกิดในย่านปลดพาหะ [28] ในเซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น กระแสไฟฟ้าโฟโตรวมที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการของ Superposition โดยมีข้อสมมุติที่ว่าให้หัวต่อพี-เอ็นนี้เป็นแบบโดปสม่ำเสมอ (Uniform Doping) และค่าเวลาชีวิตพาหะคงที่ตลอดทั้งย่านในแต่ละย่าน การคำนวณใช้พารามิเตอร์ของค่าความต้านทานของแวนดริก 0.1 Ω -cm

กระแสไฟฟ้าโฟโตที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$J_{pn} = \int_0^{1.24/E_g} [J_p(\lambda) + J_n(\lambda) + J_{dr}(\lambda)] d\lambda \quad (4.3)$$

โดยที่ E_g คือ ค่าความกว้างแถบพลังงาน

λ คือ ค่าความยาวคลื่น

$$J_p = \frac{q\alpha F_0(1-R_1)L_p}{(\alpha^2 L_p^2 - 1)} \left[\frac{\alpha L_p(1 - \text{Rexp}(-\alpha H)) + S_p L_p / D_p (1 + \text{Rexp}(-\alpha H))}{S_p L_p / D_p \sinh(X_j / L_p) + \cosh(X_j / L_p)} - \frac{-(\exp(-\alpha X_j) + \text{Rexp}(-\alpha(H - X_j))) (\sinh(X_j / L_p) + S_p L_p / D_p \cosh(X_j / L_p))}{-\alpha L_p (\exp(-\alpha X_j) - \text{Rexp}(-\alpha(H - X_j)))} \right] \quad (4.4)$$

$$J_n = \frac{q\alpha F_0(1-R_1)L_n}{(\alpha^2 L_n^2 - 1)} \left[\frac{L_n / D_n \left[(S_n - \alpha D_n) \exp(-\alpha H) + (S_n + \alpha D_n) R - [\exp(-\alpha(X_j + W)) + \text{Rexp}(-\alpha H')] \right] [D_n / L_n \sinh(H / L_n) + S_n \cosh(H' / L_n)]}{S_n L_n / D_n \sinh(H' / L_n) + \cosh(H' / L_n)} + \alpha L_n [\exp(-\alpha(X_j + W)) - \text{Rexp}(-\alpha H')] \right] \quad (4.5)$$

$$H' = H - (X_j + W)$$

$$J_{dr} = qF_0(1-R_1)\exp(-\alpha X_j)[1-\exp(-\alpha W)] + qF_0(1-R_2)\exp(-\alpha(H-X_j))[\exp(\alpha W)-1] \quad (4.6)$$

F_0 คือ จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำต่อตารางเซนติเมตร

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

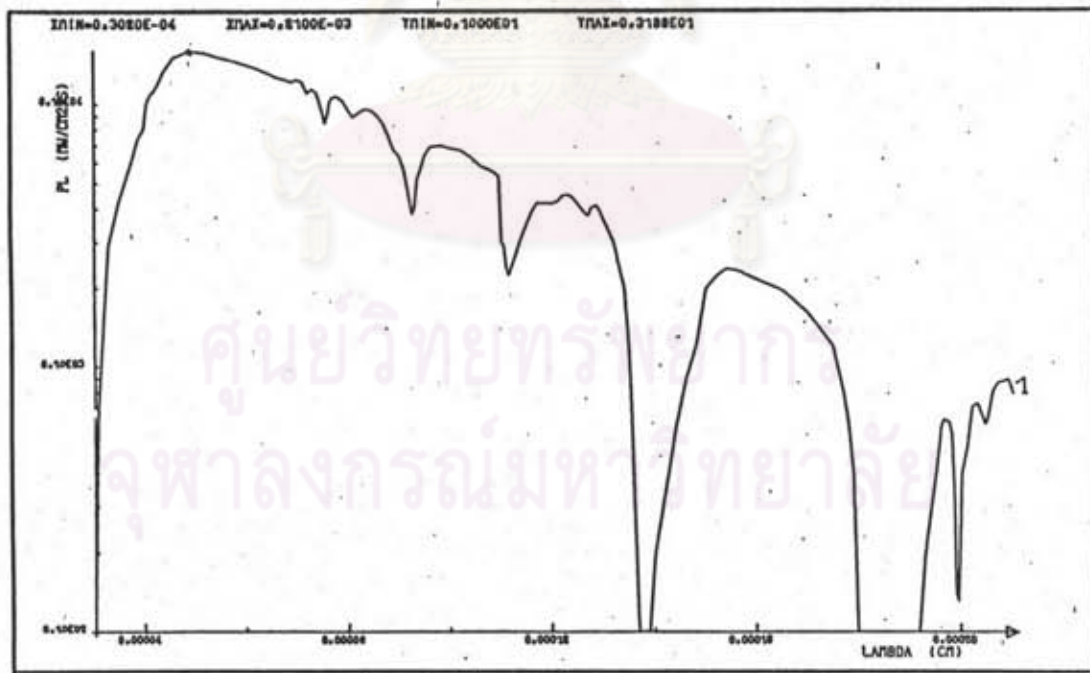
R_1, R_2 คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

L_n, L_p คือ ความยาวการแพร่ซึมของอิเล็กตรอนและโฮล

D_n, D_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของอิเล็กตรอนในสารชนิดพีและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮลในสารชนิดเอ็น

S_n, S_p คือ ความเร็วในการรวมตัวที่ผิวด้านหลังและด้านหน้า

การพิสูจน์สมการที่ (4.4 - 4.6) อยู่ในภาคผนวก ข ผลการคำนวณพลของ S_p, τ_n, τ_p, X_j ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยใช้สเปกตรัมแสงแบบ AM1 ดังรูปที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.1 [39] แสดงไว้ในรูป 4.9 - 4.17

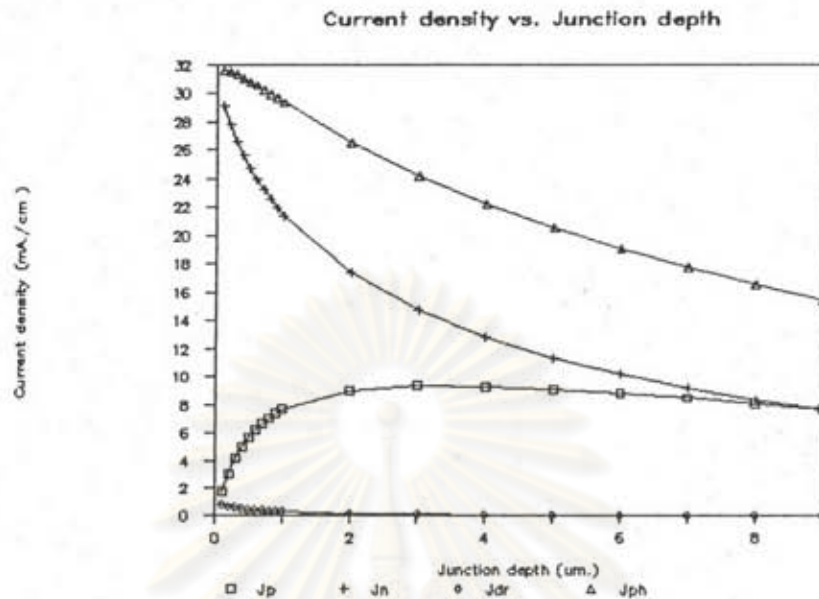


รูปที่ 4.8 สเปกตรัมแสงอาทิตย์แบบ AM1

ตารางที่ 4.1
สเปกตรัมแสงอาทิตย์แบบ AM1

λ (μm)	P.L. $\text{mWcm}^{-2} \mu^{-1}$ (AM1)	P.L. <u>Photons</u> $\text{cm}^2 \text{sec}$	α (cm^{-1}) 25 °C
0.30	1.00 E 0	1.51 E 15	7.21 E 5
0.32	1.66 E 1	2.67 E 15	4.44 E 5
0.36	4.91 E 1	8.90 E 15	1.62 E 5
0.40	8.73 E 1	1.76 E 16	7.36 E 4
0.44	1.33 E 2	2.95 E 17	3.34 E 4
0.48	1.53 E 2	3.70 E 17	1.89 E 4
0.52	1.53 E 2	4.01 E 17	1.00 E 4
0.56	1.45 E 2	4.09 E 17	6.59 E 3
0.60	1.40 E 2	4.22 E 17	4.25 E 3
0.64	1.30 E 2	4.19 E 17	2.99 E 3
0.68	1.23 E 2	4.21 E 17	2.30 E 3
0.72	1.11 E 2	4.02 E 17	1.62 E 3
0.76	8.58 E 1	3.28 E 17	1.36 E 3
0.80	9.66 E 1	3.89 E 17	1.14 E 3
0.84	9.34 E 1	3.95 E 17	9.16 E 2
0.88	7.62 E 1	3.38 E 17	7.36 E 2
0.92	4.14 E 1	1.92 E 17	5.41 E 2
0.96	6.89 E 1	3.33 E 17	3.81 E 2
1.00	6.89 E 1	3.46 E 17	2.46 E 2
1.04	6.12 E 1	3.20 E 17	1.00 E 2
1.08	5.54 E 1	3.01 E 17	3.00 E 1

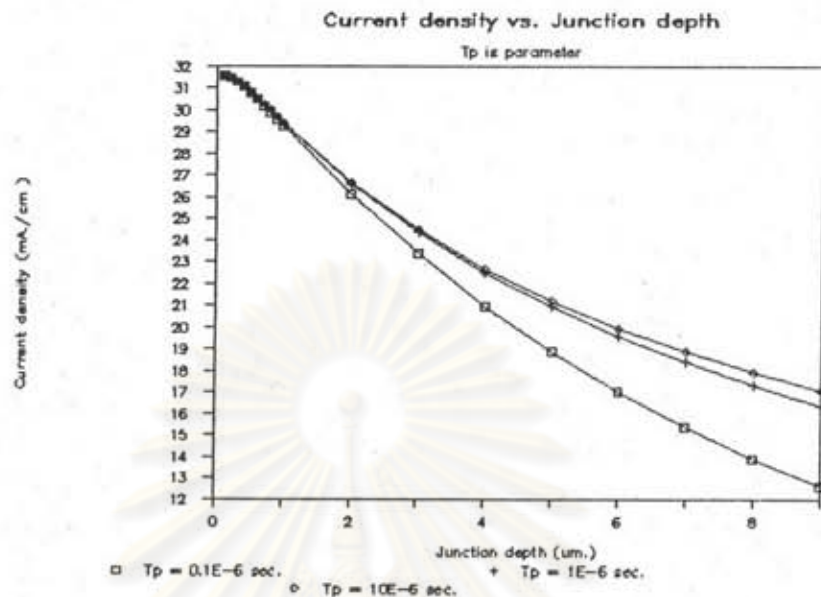
4.3.1 ผลของความลึกของหัวต่อ (x_j) ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต (J_{ph})



รูปที่ 4.9 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโต

จากรูปที่ 4.9 พบว่ากระแสไฟฟ้า J_p ในย่านเอ็นมีค่าน้อยที่ความลึกของหัวต่อตื้นๆ เนื่องจากการรวมตัวที่ผิวด้านหน้าและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกของหัวต่อมากขึ้นหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล ส่วนค่ากระแสไฟฟ้า J_n และ J_{dr} จะมีค่าลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อความลึกของหัวต่อมากขึ้น ซึ่งทำให้ J_{ph} ที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการเกิดพาหะส่วนเกิน (Excess Minority Carrier) มีค่าแปรตามความลึกของหัวต่อซึ่งเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต ค่า J_{ph} จะมีค่ามากที่สุดเมื่อค่าความลึกของหัวต่อมีค่าน้อย ในทางกลับกันค่าความลึกของหัวต่อมีค่าน้อยๆ จะทำให้ค่าความต้านทานอนุกรมมีค่าสูง ดังนั้นจึงควรเลือกความลึกของหัวต่อที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$.

4.3.2 ผลของเวลาชีวิตพาหะในย่านเอ็น (τ_p) ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต (J_{pn})

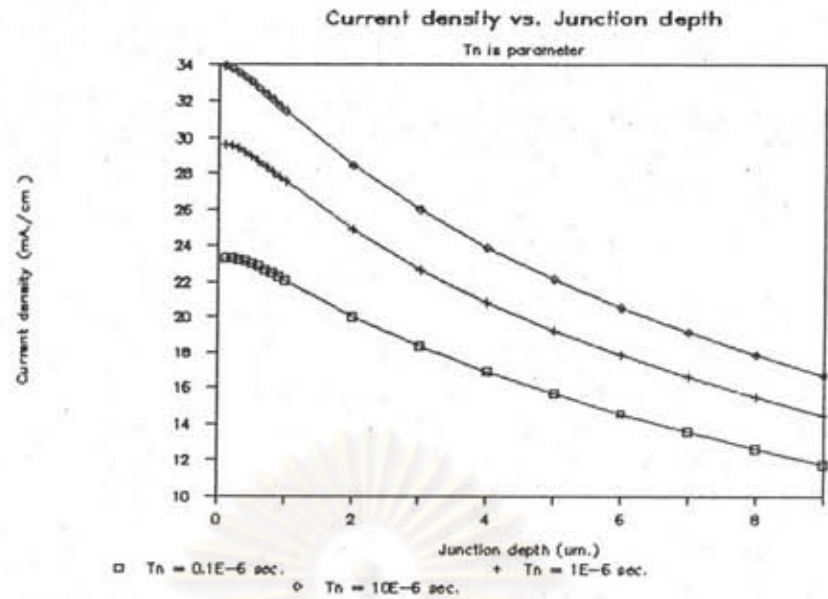


รูปที่ 4.10 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยมีค่าเวลาชีวิตพาหะในย่านเอ็นเป็นพารามิเตอร์

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่า J_{pn} มีค่าลดลงเนื่องจากค่า τ_p มีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากการโคบด้วยความเข้มข้นเจือปนค่าสูงๆจะมีค่า τ_p สั้นทำให้เกิดการรวมตัวเร็วและทำให้เกิด Dead Layer กว้างขึ้นซึ่งทำให้ J_{pn} มีค่าลดลง

4.3.3 ผลของเวลาชีวิตพาหะในย่านพี (τ_n) ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต (J_{pn})

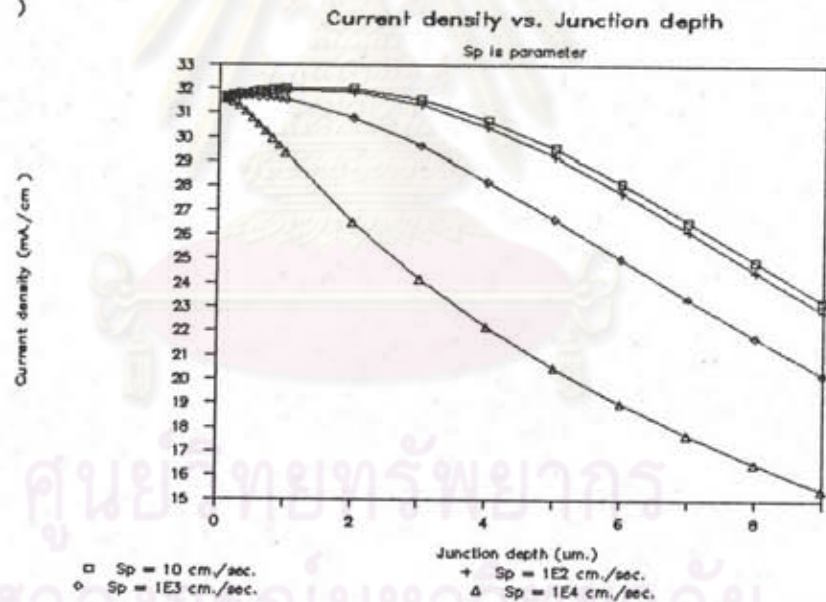
จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อ τ_n มีค่าต่ำๆ ค่า J_{pn} มีค่าลดลงเนื่องจากค่า τ_n ต่ำๆจะมีค่าความยาวในการแพร่ซึมต่ำซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวภายในก่อนที่จะไปถึงขั้วโลหะเป็นผลทำให้ J_{pn} ที่ได้มีค่าน้อย



รูปที่ 4.11 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยมีค่าเวลาชีวิตพาหะในย่านนี้เป็พารามิเตอร์

4.3.4 ผลของความเร็วในการรวมตัวที่ผิวด้านหน้า (s_p) ที่มต่อกับกระแสไฟฟ้า

โฟโต (J_{ph})



รูปที่ 4.12 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยมีค่าความเร็วในการรวมตัวที่ผิวด้านหน้าเป็นพารามิเตอร์

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อ s_p มีค่าสูงๆ J_{ph} จะมีค่าลดลงเนื่องจากการพาหะที่เกิดขึ้นมาเนื่องจากการฉายแสงเกิดการรวมตัวอย่างรวดเร็วทำให้เก็บกระแสได้น้อย และเนื่องจากมีศูนย์กลางการรวมตัวที่ผิวมาก ค่า s_p คำนวณได้จากสมการที่ (4.7)

$$S_p = \sigma_p v_{th} N_{st} \delta \quad (4.7)$$

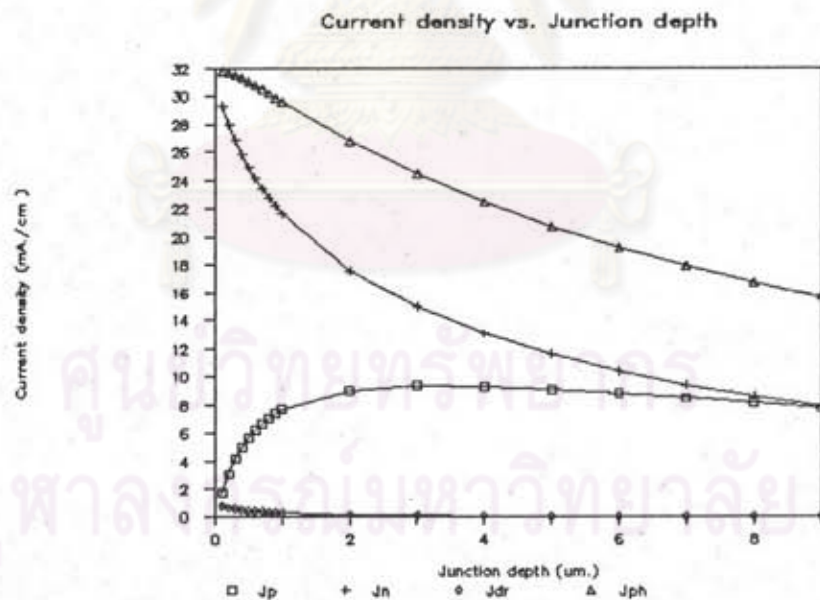
เมื่อ σ_p คือ พื้นที่หน้าตัด

v_{th} คือ ความเร็วเทอร์มอล (Thermal Velocity)

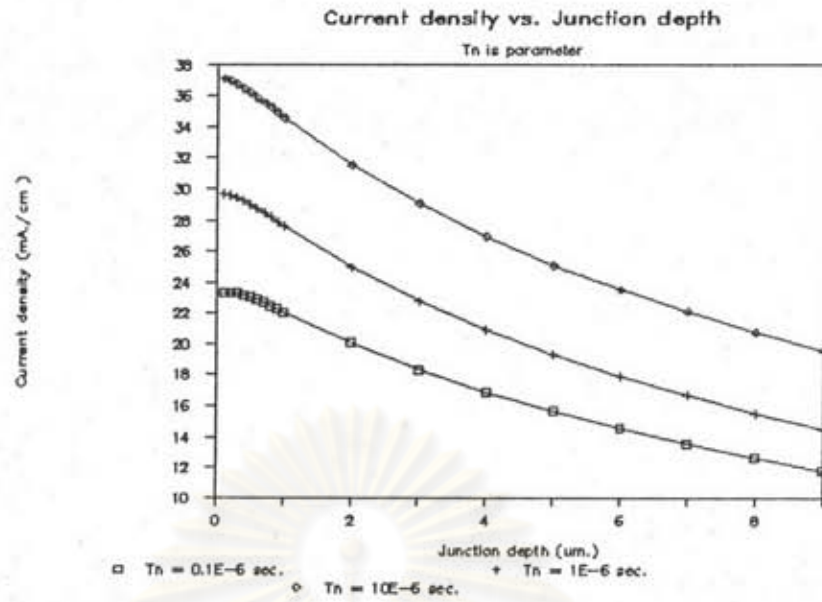
N_{st} คือ ความหนาแน่นศูนย์กลางการรวมตัว (Recombination Center Density)

δ คือ ความหนาของ Dead Layer

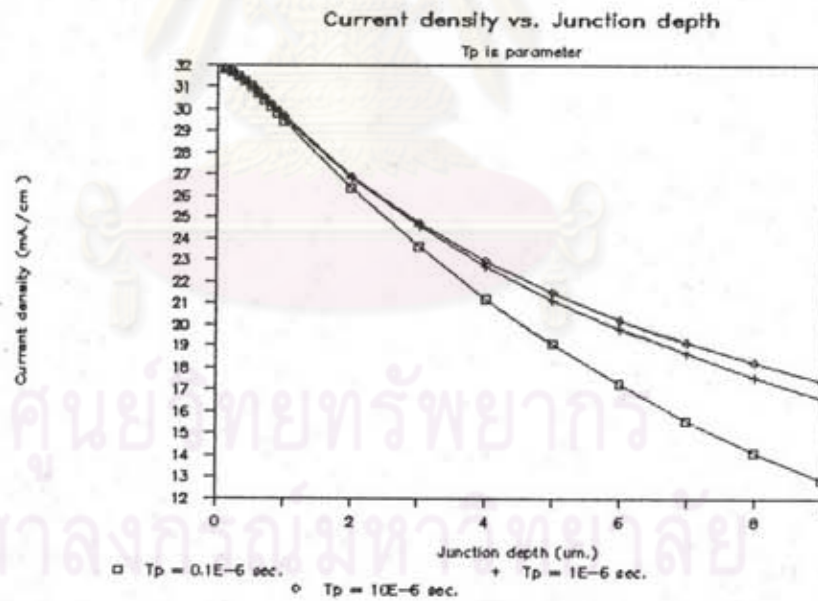
โดยทั่วไปแล้ว S_p มีค่าประมาณ $10^4 - 10^5$ cm/sec ส่วนการรวมตัวที่ผิวด้านหลัง S_n ปกติจะมีค่าเข้าใกล้ ∞ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีหัวต่อพี-เอ็นด้านเดียวแต่สามารถให้แสงส่องเข้าทางด้านหลังได้ได้คำนวณผลของพารามิเตอร์ต่างๆไว้แล้วดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 - 4.17 ซึ่งพบว่าให้ผลแบบเดียวกัน



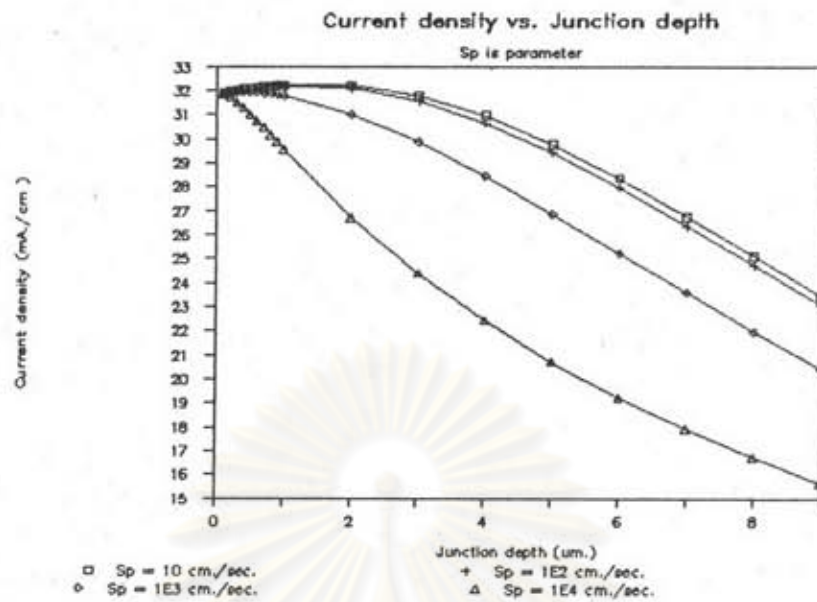
รูปที่ 4.13 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงส่องเข้าทางด้านหลัง



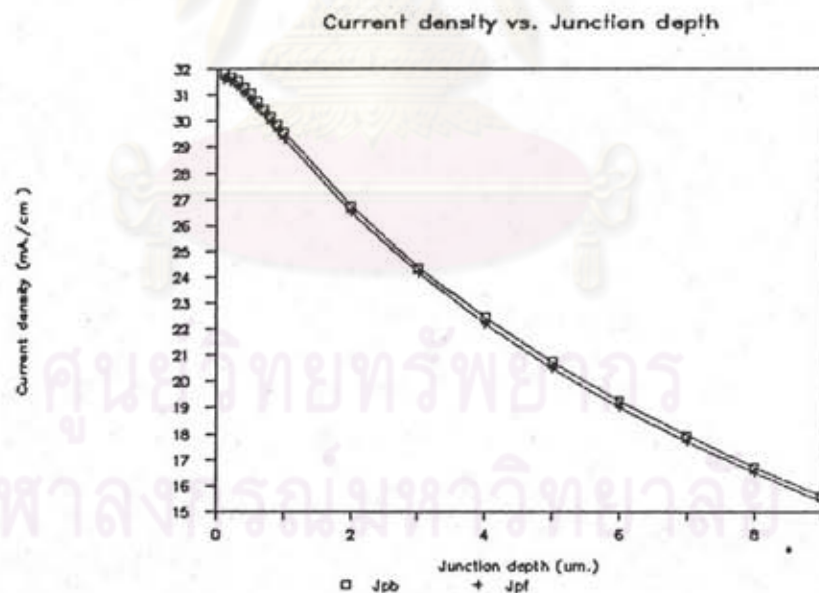
รูปที่ 4.14 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยมีค่าเวลาชีวิตพาหะในย่านพีเป็นพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงส่องเข้าทางด้านหลัง



รูปที่ 4.15 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยมีค่าเวลาชีวิตพาหะในย่านเอ็นเป็นพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงส่องเข้าทางด้านหลัง



รูปที่ 4.16 การคำนวณผลของความลึกของหัวต่อกับกระแสไฟฟ้าโฟโตโดยมีค่าความเร็วในการรวมตัวที่ผิวด้านหน้าเป็นพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงส่องเข้าทางด้านหลัง



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าโฟโตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงส่องเข้าทางด้านเดียวกับ 2 ด้าน

4.4 กำลังงานสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงที่มากกระทบให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากขีดจำกัดที่ทำให้เกิดพลังงานสูญเสียดังต่อไปนี้ [40]

1. กำลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการสะท้อน (Reflection Loss)
2. โฟตอนที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลอิสระได้ (Non-Generative Loss)
3. โฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าค่าแถบพลังงานต้องห้าม พลังงานส่วนที่เกินนี้จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน (Incomplete Utilization of Photon Energy)
4. การเก็บพาหะไม่สมบูรณ์เนื่องจากคู่อิเล็กตรอนโฮลอิสระมีการรวมตัวหมดไปก่อนที่จะไปถึงขั้วโลหะ (In Complete Collection of Minority Carriers)
5. กระแสรั่วที่หัวต่อพี-เอ็นซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของหัวต่อ (Junction Effect)
6. กำลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ (Series and Shunt Resistance Loss)

4.5 การออกแบบหน้าปกสำหรับการแพร่ซึมและหน้าปกสำหรับการทำขั้วโลหะ

ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ว่า SC2AA เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสง 2 หน้า โดยเกิดจากการแพร่ซึมสารเจือปนชนิดเอ็นไม่เต็มตลอดทั้งหน้า 2 ด้าน ซึ่งแตกต่างกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปซึ่งมีพื้นที่รับแสงเพียงด้านเดียว โดยเกิดจากการแพร่ซึมสารเจือปนชนิดเอ็นแบบเต็มทั้งหน้าด้านเดียว ดังนั้น SC2AA จึงจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบหน้าปกใหม่เพื่อใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆคือ

1. หน้าปกสำหรับการแพร่ซึม (Diffusion Mask)
2. หน้าปกสำหรับการทำขั้วโลหะ (Electrode Mask)

เนื่องจากหน้าปกสำหรับการแพร่ซึมและหน้าปกสำหรับการทำขั้วโลหะมีความสัมพันธ์กัน อยู่คือขนาดของขั้วโลหะไม่ควรมีขนาดไม่แตกต่างกับส่วนของชั้นพีที่ไม่ถูกแพร่ซึม และจากบทที่ 2

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าโฟโตนันขึ้นกับพื้นที่ทำงาน (Active Area) คือกระแสไฟฟ้าโฟโตนันจะมีค่ามากขึ้นถ้าพื้นที่ทำงานมีขนาดเพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงถ้าพื้นที่ทำงานมีขนาดเล็กลง เงื่อนไขการออกแบบหน้าฉากสำหรับ SC2AA ต้องคำนึงถึง

1. ความเหมาะสมกับขนาดของเซลล์ฯ เนื่องจากถ้าขนาดของเซลล์ฯ เล็กจำเป็นต้องออกแบบหน้าฉากแบบใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดจะใช้หน้าฉากเดิมแล้วใช้วิธีย่องไม่ได้ และถ้าเซลล์ฯ มีขนาดโตก็จะเป็นต้องออกแบบหน้าฉากแบบใหม่เช่นกัน

2. ความสามารถของเครื่องมือ เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายแบบเป็นกล้องถ่ายรูปธรรมดาภาพที่มองออกมาจากกล้องไม่ชัดเจนทำให้ต้องออกแบบลวดลายบนหน้าฉากค่อนข้างโต เพื่อความสะดวกในการทำการปรับแนว (Alignment)

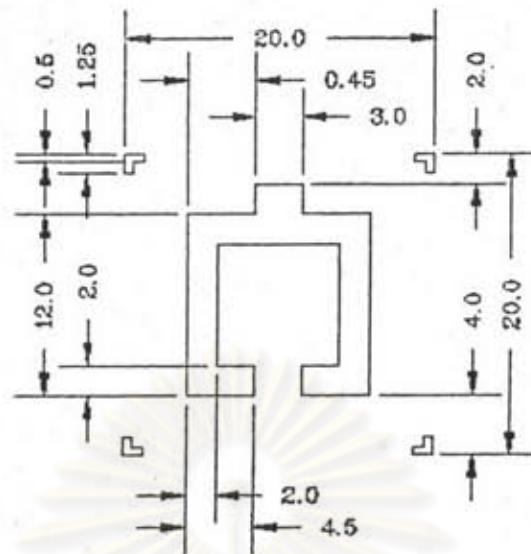
3. ค่าความต้านทานอนุกรมที่เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.14 พบว่าเมื่อค่าความต้านทานอนุกรมสูงขึ้นทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นการออกแบบหน้าฉากที่เป็นขั้วโลหะจำเป็นต้องให้มีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้ค่าความต้านทานอนุกรมมีค่าต่ำพอที่จะไม่ไปลดประสิทธิภาพของเซลล์ฯ

4. ต้องออกแบบให้มีพื้นที่รับแสงมากที่สุด

4.5.1 การออกแบบหน้าฉากสำหรับการแพรว์ซิม

หน้าฉากที่ใช้ในการแพรว์ซิมในส่วนที่เป็นช่องเปิดพีจะมีความใหญ่กว่าหน้าฉากที่ใช้ในการทำขั้วโลหะในส่วนที่ทำขั้วโลหะแอโนดเล็กน้อยแต่ก็มีความใหญ่พอที่สามารถทำการปรับแนวได้ และไม่โตจนทำให้พื้นที่รับแสงน้อยเกินไปหน้าฉากที่ใช้ในการทดลองมี 4 แบบด้วยกัน

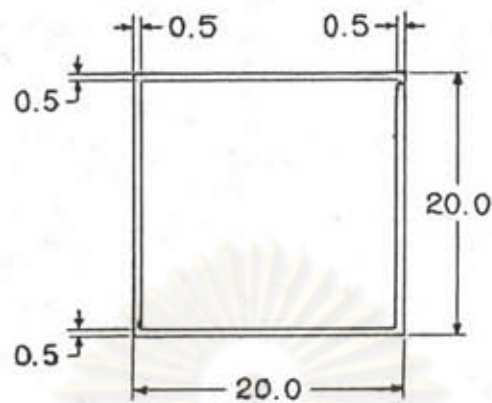
หน้าฉากรูปที่ 4.18 ได้รับการออกแบบให้มีลักษณะสมมาตรกันในทุกด้าน กล่าวคือต้องการให้อิเล็กตรอน-โฮล วิ่งไปหาขั้วโลหะแอโนดและแคโทดได้เท่าๆกันทุกจุดบนตัวเซลล์แสงอาทิตย์ หน้าฉากแบบนี้มีอัตราส่วนพื้นที่ในส่วนที่เป็นพีและเอ็นเท่ากับ 20:80 โดยที่พื้นที่พี = 20 % และเอ็น = 80 %



รูปที่ 4.18 หน้ากากสำหรับการแพร์ซิมแบบที่ 1

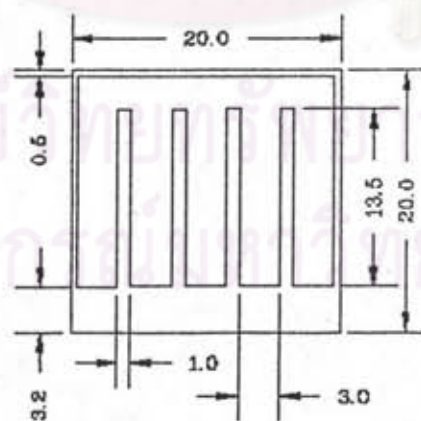
จุดประสงค์ของการออกแบบให้มีอัตราส่วนพื้นที่เท่านี้คือ ถ้าสมมติให้ Input เข้าไป 1 หน่วย Output ที่ได้ควรมีค่าประมาณ 0.8 หน่วย (ถ้าไม่คิด Loss ที่เกิดขึ้น) เนื่องจาก SC2AA มีพื้นที่ทำงานทำงาน 2 ด้าน ซึ่งมี Input เข้าไป 2 หน่วย ดังนั้น Output ที่ได้ก็ควรมีค่าประมาณ 1.6 หน่วย ซึ่งถ้าออกแบบให้พื้นที่ของเอ็นน้อยกว่านี้ เช่น เอ็น = พี = 50 % จะได้ Output ประมาณ 1 หน่วย ในขณะที่ Input เป็น 2 หน่วย ซึ่งพบว่ามีประโยชน์เลยในการสร้างหน้ากากที่มีพื้นที่เอ็นต่ำกว่า 50 % และเป็นการขัดกับหลักการของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่ต้องการให้มีพื้นที่รับแสงมากที่สุดซึ่งได้แก่ส่วนที่เป็นเอ็น หน้ากากนี้มีพื้นที่ส่วนที่เป็นพีประมาณ 0.8 ตร.ซม. และส่วนที่เป็นเอ็นประมาณ 3.2 ตร.ซม. รายละเอียดของความยาวในแต่ละด้านแสดงไว้ในรูปที่ 4.18

หน้ากากรูปที่ 4.19 หน้ากากแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับ CSC ต่างกันตรงที่ขอบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีขั้วโลหะแอดออนอยู่ ซึ่ง CSC จะมีขั้วโลหะแอดออนอยู่ทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ หน้ากากแบบนี้ออกแบบให้ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาด 1.2 x 1.2 ตร.ซม.

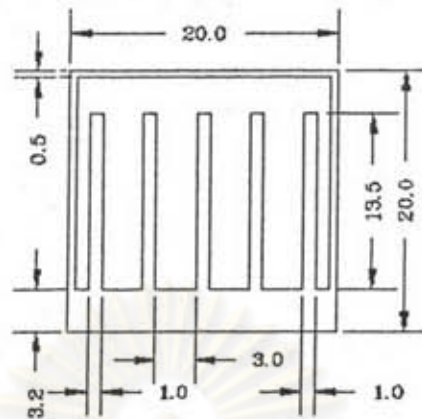


รูปที่ 4.19 หน้ากากสำหรับการแพร์ซิมแบบที่ 2

จุดประสงค์ของการออกแบบหน้ากากแบบนี้คือ เพื่อลดกระแสรั่วที่เกิดขึ้นที่ขอบเซลล์แสงอาทิตย์อันเนื่องมาจากการตัดที่ไม่ดีพอและเพื่อความแข็งแรงของเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากในขั้นตอนสุดท้ายของการทำเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการฉาบตะกั่วเพื่อต่อสาย ดังนั้นทั้ง 4 ด้านของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีตะกั่วเพื่อเสริมความแข็งแรงอีกทีหนึ่ง เหตุที่หน้ากากแบบนี้ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กก็เพราะว่าต้องการป้องกันมิให้ค่าความต้านทานอนุกรมมีค่ามากเกินไป รายละเอียดของความยาวในแต่ละด้านแสดงไว้ในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.20 หน้ากากสำหรับการแพร์ซิมแบบที่ 3



รูปที่ 4.21 หน้ากากสำหรับการแพร์ซิมแบบที่ 4

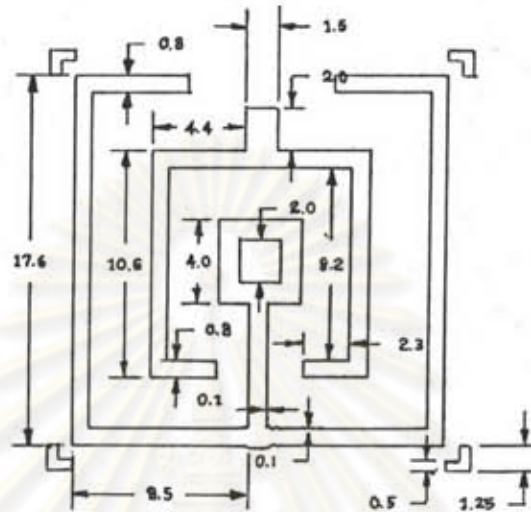
หน้ากากรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 หน้ากากแบบนี้ได้รับการออกแบบให้มีลักษณะคล้ายพื้นผิวเนื่องจากต้องการให้เหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป และเพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบ หน้ากากในรูปที่ 4.20 ทางด้านหน้าในส่วนที่เป็นพีจะตรงกับด้านหลังที่เป็นเอ็นของรูปที่ 4.21

จุดประสงค์ของการออกแบบหน้ากากแบบนี้ยังคงเหมือนกับหน้ากากแบบที่ 1 คือต้องการให้อิเล็กตรอน-โฮล วิ่งไปหาขั้วโลหะแอนโนดและแคโทดได้เท่าๆกันทุกจุดบนตัวเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบให้เหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป ขนาดของพื้นที่ในส่วนพีประมาณ 1.44 ตร.ซม. และพื้นที่ในส่วนเอ็นประมาณ 2.56 ตร.ซม. สำหรับรูปที่ 4.20 และมีขนาดพื้นที่ในส่วนพีประมาณ 1.58 ตร.ซม. และพื้นที่ในส่วนเอ็นประมาณ 2.42 ตร.ซม. สำหรับรูปที่ 4.21 การออกแบบหน้ากากในรูปที่ 4.20 และ รูปที่ 4.21 นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบขั้วโลหะก่อน

4.5.2 การออกแบบสำหรับการทำขั้วโลหะ

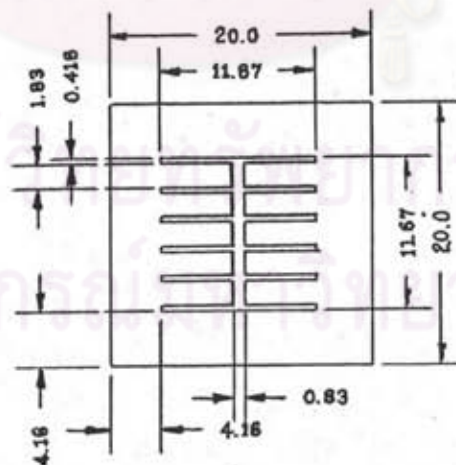
ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.5.1 ว่าหน้ากากที่ใช้ในการแพร์ซิมในส่วนที่เป็นช่องเปิดพีจะมีขนาดใหญ่กว่าหน้ากากที่ใช้ในการทำขั้วโลหะในส่วนที่ทำขั้วโลหะแอนโนดเล็กน้อยแต่ก็มีขนาด

ใหญ่พอที่สามารถทำการปรับแนวได้ ซึ่งจากข้อกำหนดข้างต้นทำให้ได้ลักษณะขนาดของขี้วโลหะ ออกมาดังรูปข้างล่างซึ่งรูปที่ 4.22 จะใช้ร่วมกับรูปที่ 4.18 รูปที่ 4.23 จะใช้ร่วมกับรูปที่ 4.19 รูปที่ 4.24 จะใช้ร่วมกับรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.25 จะใช้ร่วมกับรูปที่ 4.21



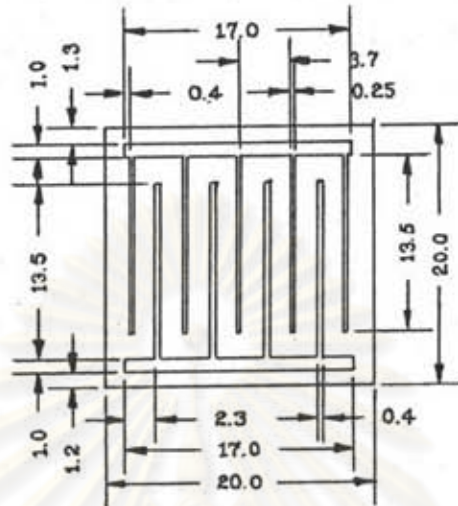
รูปที่ 4.22 หน้ากากสำหรับการทำขี้วโลหะแบบที่ 1

หน้ากากรูปที่ 4.22 มีพื้นที่ขี้วโลหะแอโนดประมาณ 0.26 ตร.ซม. และขี้วโลหะแคโทดประมาณ 0.63 ตร.ซม.



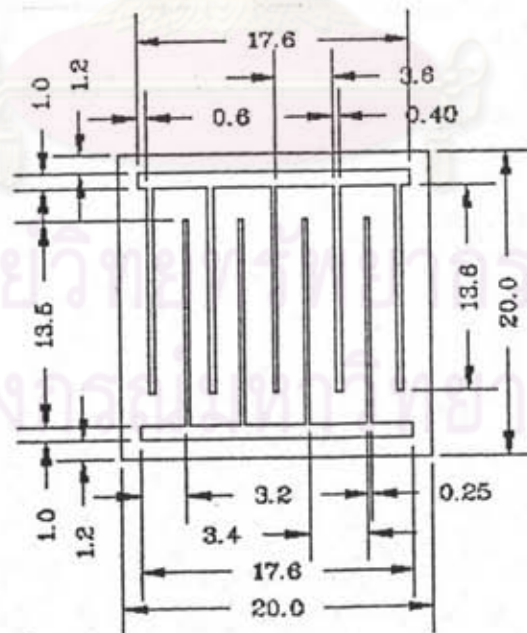
รูปที่ 4.23 หน้ากากสำหรับการทำขี้วโลหะแบบที่ 2

หน้ากากรูปที่ 4.23 มีพื้นที่ผิวโลหะแอโนดประมาณ 0.44 ตร.ซม. และผิวโลหะแคโทดประมาณ 0.09 ตร.ซม.



รูปที่ 4.24 หน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะแบบที่ 3

หน้ากากรูปที่ 4.24 มีพื้นที่ผิวโลหะแอโนดประมาณ 0.38 ตร.ซม. และผิวโลหะแคโทดประมาณ 0.34 ตร.ซม.



รูปที่ 4.25 หน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะแบบที่ 4

หน้ากากรูปที่ 4.25 มีพื้นที่ขั้วโลหะแอโนดประมาณ 0.45 ตร.ซม. และ ขั้วโลหะแคโทดประมาณ 0.31 ตร.ซม. สำหรับหน้ากากในรูปที่ 4.25 นี้สามารถหาค่า ความต้านทานอนุกรมแบบหยาบๆ โดยสมมติให้แบ่งเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 1 ยูนิต ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 4.26 คิดค่าความต้านทานอนุกรมโดยคิดต่อ 1 หน่วยพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.8) [27,41,42]

$$R_s = R_e + R_{ga} + R_{gc} + R_{ca} + R_{cc} + R_b \quad (4.8)$$

โดยที่

$$R_e = \rho_e d^2 / 12 \quad (4.9)$$

$$R_{ga} = \rho_m l^2 d / 3w_a \quad (4.10)$$

$$R_{gc} = \rho_m l^2 d / 3w_c \quad (4.11)$$

$$R_b = \rho_b d^2 / 12 \quad (4.12)$$

$$A_u = ld \quad (4.13)$$

$$R_s = R_s / A_u \quad (4.14)$$

R_s คือ ค่าความต้านทานจำเพาะอนุกรม (Series Resistivity, Ohm-cm^2)

R_e คือ ค่าความต้านทานจำเพาะชั้นแพร่ซึม (Diffusion Resistivity, Ohm-cm^2)

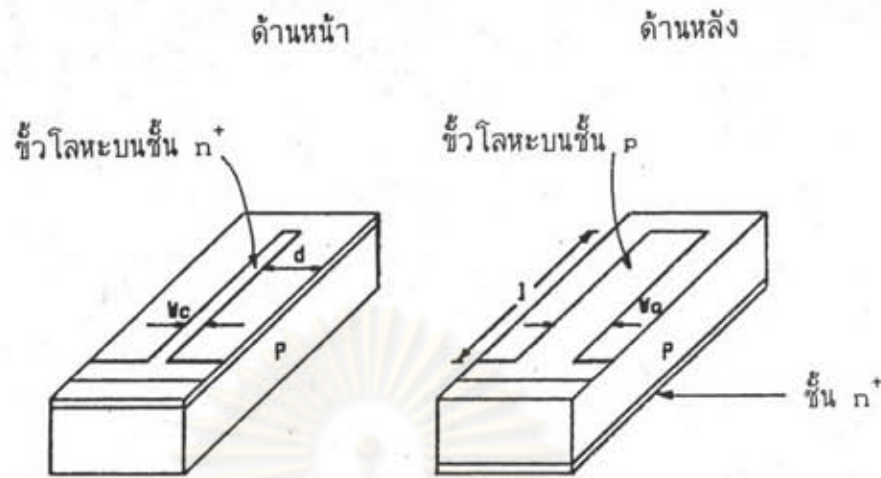
R_{ga} คือ ค่าความต้านทานจำเพาะขั้วแอโนด (Anode Grid Resistivity, Ohm-cm^2)

R_{gc} คือ ค่าความต้านทานจำเพาะขั้วแคโทด (Cathode Grid Resistivity, Ohm-cm^2)

R_{ca} คือ ค่าความต้านทานจำเพาะจุดสัมผัสแอโนด (Anode Contact Resistivity, Ohm-cm^2)

R_{cc} คือ ค่าความต้านทานจำเพาะจุดสัมผัสแคโทด (Cathode Contact Resistivity, Ohm-cm^2)

ρ_m คือ ค่าความต้านทานแผ่นของโลหะ (Sheet Resistance of Grid Metal, Ohm/Square)



รูปที่ 4.26 ภาคตัดขวางของเซลล์แสงอาทิตย์

- ρ_b คือ ค่าความต้านทานแผ่นของแวนผลึก (Sheet Resistance of Base, Ohm/Square)
- ρ_e คือ ค่าความต้านทานแผ่นของชั้นแพร่ซึม (Sheet Resistance of Diffusion Layer, Ohm/Square)
- w_c คือ ค่าความกว้างของขั้วแคโทด (Width of Cathode, cm.)
- w_a คือ ค่าความกว้างของขั้วแอโนด (Width of Anode, cm.)
- l คือ ค่าความยาวของขั้วแอโนดและแคโทด (Length of Anode and Cathode, cm.)
- d คือ ค่าความกว้างระหว่างขั้วแคโทดกับชั้นพื้นที่อยู่ที่ผิว (Width between Cathode and Undiffusion Region at Surface, cm.)
- A_u คือ พื้นที่ 1 ยูนิต (Unit Area cm.^2)

สมมุติให้การทำขั้วโลหะดีมาก ดังนั้นความต้านทานที่ผิวสัมผัส R_{ca} , R_{cc} มีค่าต่ำมากสามารถตัดทิ้งได้

ในที่นี้	$d = 0.14 \text{ cm.}$	$l = 1.35 \text{ cm.}$
	$w_a = 0.04 \text{ cm.}$	$w_c = 0.025 \text{ cm.}$
	$\rho_b = 5 \ \Omega/\square$	$\rho_e = 10 \ \Omega/\square$
	$\rho_m = 5 \times 10^{-3} \ \Omega/\square$	

แทนค่าลงในสมการที่ (4.8) พบว่า R_{Σ} มีค่าเท่ากับ $0.052 \ \Omega\text{-cm}^2$
จากสมการที่ (4.14) จะได้ว่า R_{Σ} มีค่าเท่ากับ $0.276 \ \Omega$

4.6 การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการขัดผิวสำหรับซิลิคอนชนิดขัดหยาบ

เนื่องจากซิลิคอนที่ใช้ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. ซิลิคอนชนิดผิวขัดมัน (Polished Silicon)
2. ซิลิคอนชนิดผิวขัดหยาบ (Lapped Silicon)

ซิลิคอนชนิดผิวขัดมันเป็นแว่นผลึกที่ได้รับการขัดผิวทางด้านหน้าจนเป็นมัน ส่วนทางด้านหลังจะเป็นผิวที่หยาบกว่าแต่ก็ได้ผ่านการขัดผิวเช่นกัน ส่วนซิลิคอนชนิดผิวขัดหยาบเป็นแว่นผลึกที่มีผิวค่อนข้างหยาบดังนั้นการนำมาใช้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการขัดผิวก่อนเพื่อลดจุดบกพร่องทางผลึก (Point Defect) ลงก่อน การขัดผิวนี้ใช้วิธีขัดด้วยน้ำยาเคมี

เครื่องมือที่ใช้ในการขัดผิว โดยทั่วไปแล้วการขัดผิวซิลิคอนชนิดผิวขัดหยาบที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์มักจะทำการขัดเพียงด้านเดียวคือด้านที่เป็นส่วนที่รับแสง แต่ในโครงการนี้จำเป็นต้องขัดผิวทั้ง 2 ด้านเพื่อปรับสภาพผิวทั้ง 2 ด้านให้มีสภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งใช้เครื่องมือที่มีอยู่เดิมไม่ได้ จำเป็นต้องออกแบบใหม่ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.27 (ดูรายละเอียดการขัดผิวในภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.27 เครื่องจับแวนพลิกในการขัดผิว

4.7 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC และ SC2AA อย่างคร่าวๆ แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 4.1 และแผนภูมิที่ 4.2 ซึ่งมีข้อแตกต่างกันในขั้นตอนที่ 4,8,10 คือต้องทำขั้นตอนนั้น 2 ครั้ง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA รายละเอียดเทคนิคการทำในขั้นตอนที่ 4,8,10 ของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละรุ่นที่ผลิตออกมามีรายละเอียดปลีกย่อยที่ต่างกันออกไป (รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนแสดงไว้ในภาคผนวก ง)

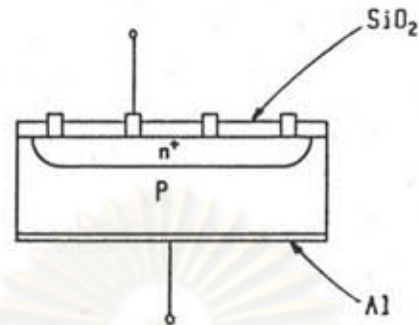
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4.1

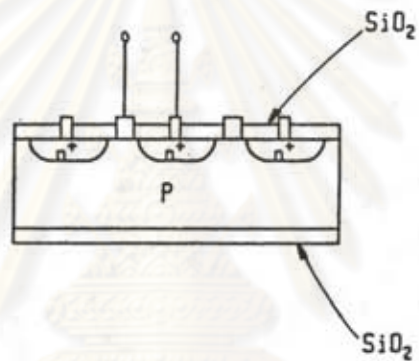
การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC

- 1 แวนผลิกซิลิคอนชนิดเรียบชนิด P
- 2 ล้างและกัดด้วยน้ำยาเคมี
- 3 ทำชั้นออกไซด์
- 4 เปิดช่องออกไซด์เพื่อทำการแพรวซึม
- 5 แพรวซึมสารเจือปน $POCl_3$
- 6 กัด Phosphorus Glass
- 7 ทำชั้นกันการสะท้อนแสง
- 8 ถ่ายแบบขี้วโลหะ
- 9 เปิดช่องออกไซด์
- 10 ฉาบไออะลูมิเนียมภายใต้สุญญากาศ
- 11 Lift Off
- 12 Annealing
- 13 ชุบนิเกิลแบบไร้ไฟฟ้า
- 14 ต่อขั้วสายไฟฟ้า
- 15 เซลล์แสงอาทิตย์

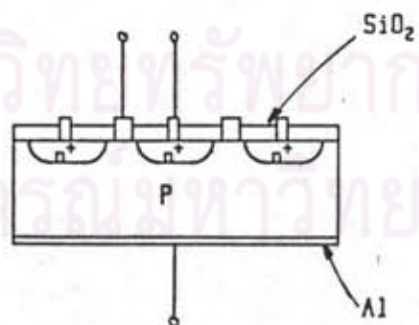
เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นแบ่งออกเป็น 6 แบบใหญ่ๆ โดยแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.28 - 4.33



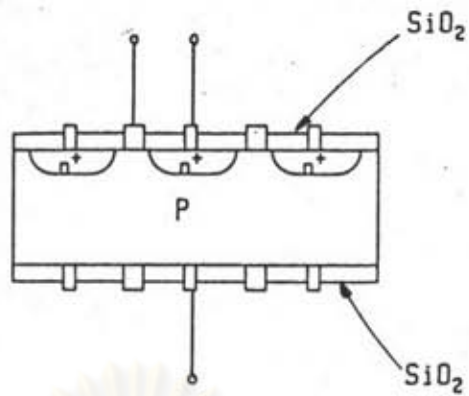
รูปที่ 4.28 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบปรกติ (แบบที่ 1)



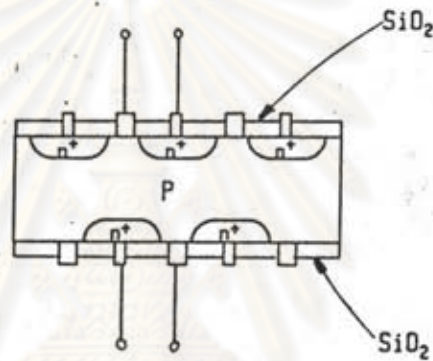
รูปที่ 4.29 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์ 1 ด้าน และยอมให้แสงผ่านเข้าอีกด้านหนึ่งได้ (แบบที่ 2)



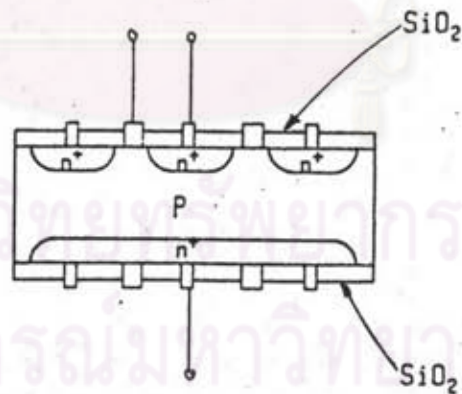
รูปที่ 4.30 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์ 1 ด้าน และอีกด้านมีขั้วโลหะเต็มทั้งด้าน (แบบที่ 3)



รูปที่ 4.31 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาแนร์ 1 ด้าน
และอีกด้านมีซิลิโคนไม่เติมด่าง (แบบที่ 4)

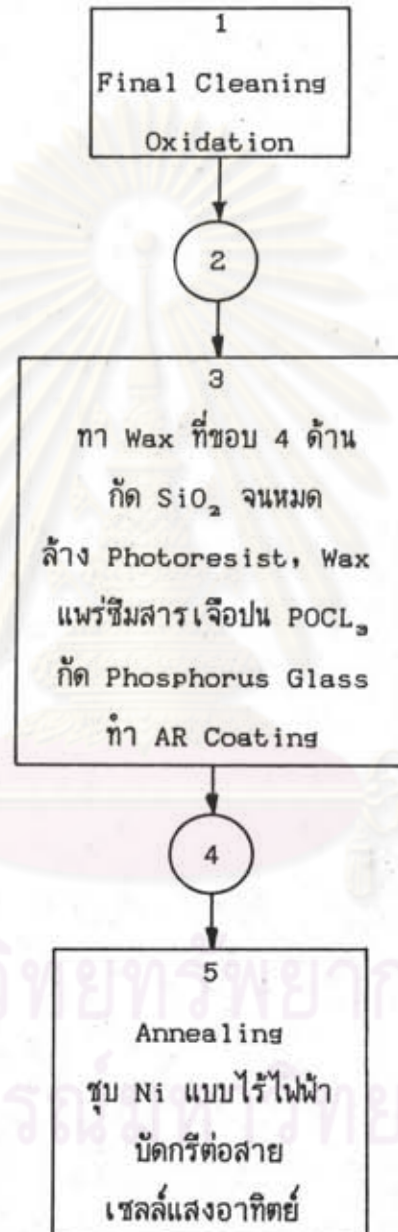


รูปที่ 4.32 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า (แบบที่ 5)

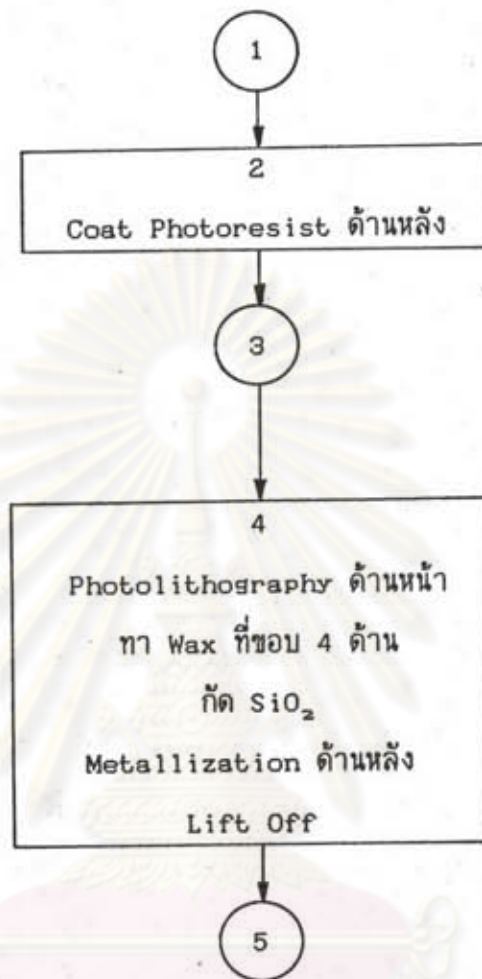


รูปที่ 4.33 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาแนร์ 1 ด้าน
และอีกด้านมีการแพร่ซึมชั้น n+ ตลอดทั้งหน้า (แบบที่ 6)

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างต่างๆนั้นมีรายละเอียดปลีกย่อยที่ต่างกันออกไปแต่มีขั้นตอนบางส่วนจะซ้ำกันซึ่งจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ โดยมีส่วนที่ซ้ำกันดังนี้คือขั้นตอนที่ 1,3,5



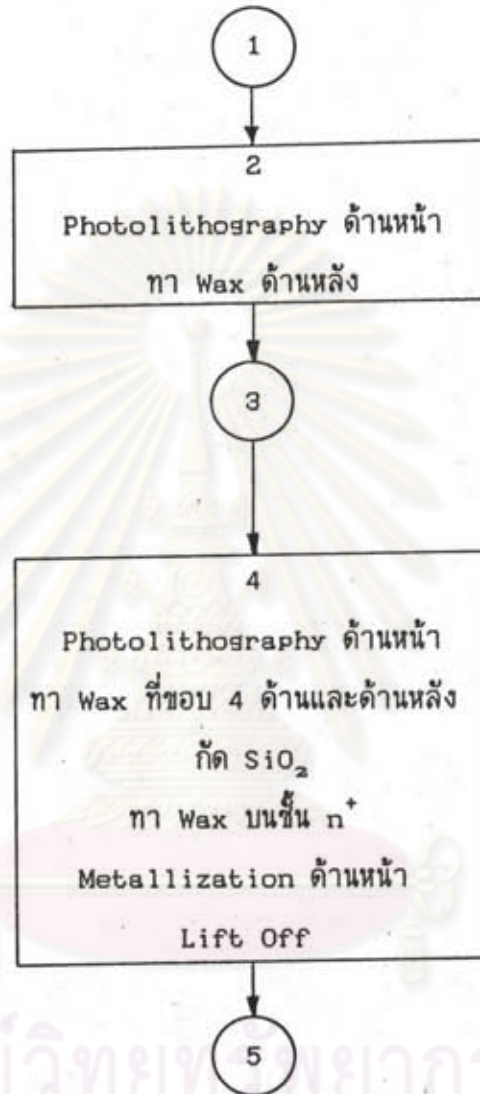
การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบปรกติ (รูปที่ 4.28) ทำตามขั้นตอนดังนี้



จุดประสงค์ของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้ เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ
เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบอื่น

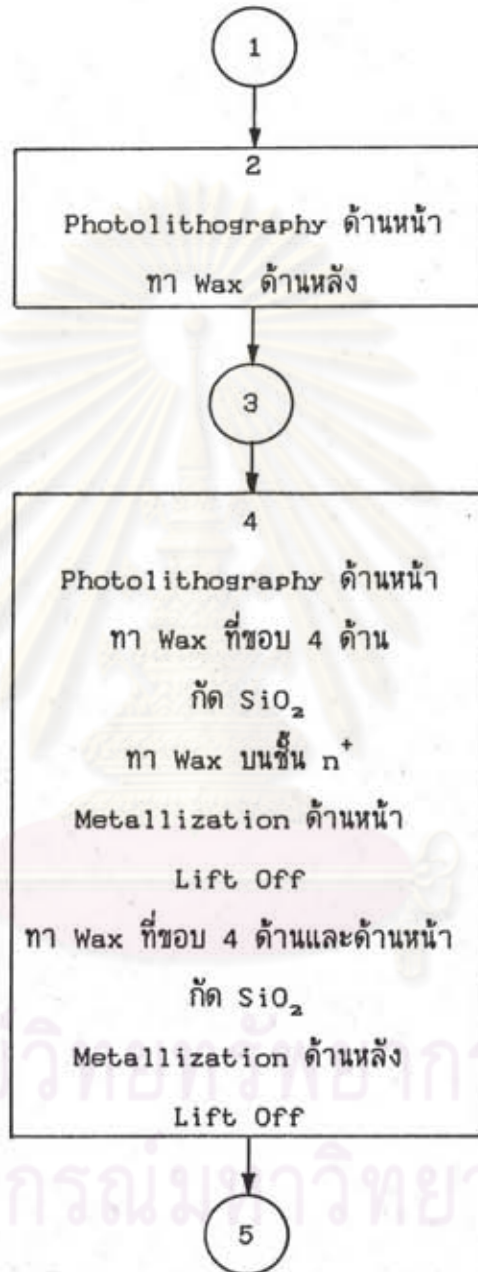
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์ 1 ด้านและยอมให้แสงผ่านเข้าอีกด้านหนึ่งได้ (รูปที่ 4.29) ทำตามขั้นตอนดังนี้



จุดประสงค์ของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เพื่อตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงส่องเข้าทางด้านหลัง

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์ 1 ด้านและอีกด้านมีขั้วโลหะพี
เต็มทั้งด้าน (รูปที่ 4.30) ทำตามขั้นตอนดังนี้



จุดประสงค์ของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เพื่อตรวจสอบค่าความ
ต้านทานอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงไปในเซลล์แสงอาทิตย์

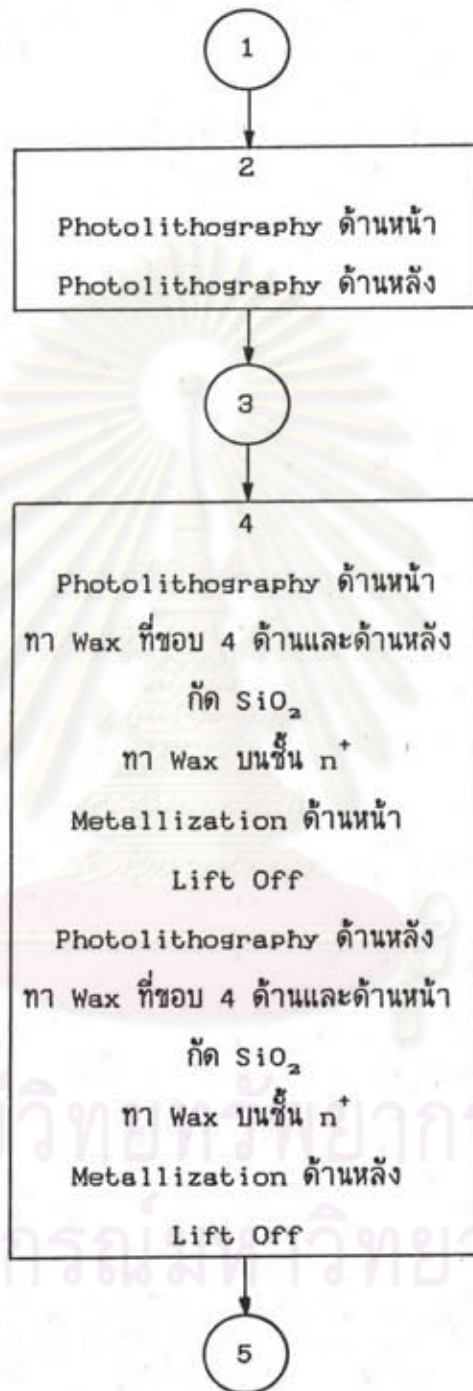
การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบแผ่นอาร์ 1 ด้านและอีกด้านมีขั้วโลหะพี
ไม่เต็มหน้า (รูปที่ 4.31) ทำตามขั้นตอนดังนี้



จุดประสงค์ของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เพื่อตรวจสอบค่าความ
ต้านทานอนุกรมเช่นเดียวกับแบบที่แล้ว

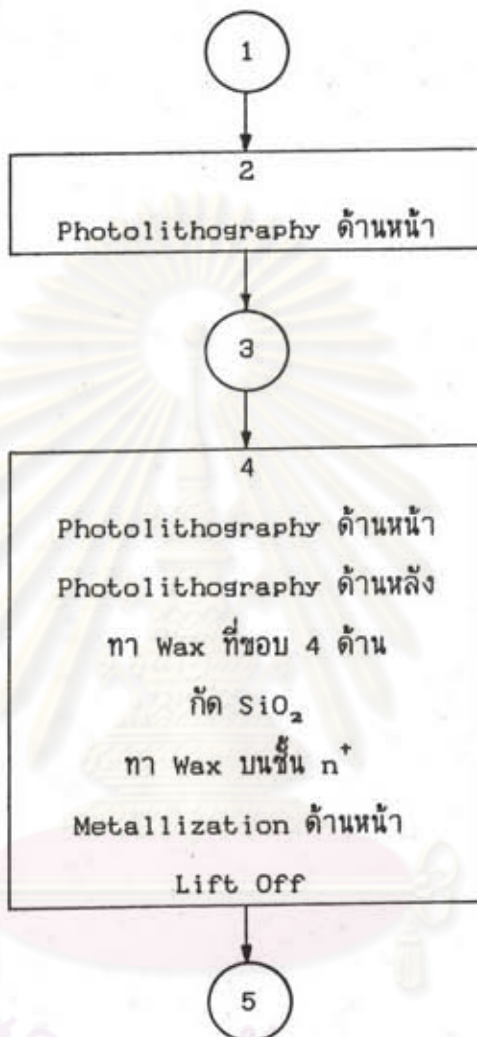
การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า (รูปที่ 4.32) ทำตามขั้น

ตอนดังนี้



จุดประสงค์ของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เพื่อตรวจสอบว่าเซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถเป็นอิสระต่อกันได้หรือไม่

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์ 1 ด้านและอีกด้านมีการแพร่ซึม
ชั้น n^+ ตลอดทั้งหน้า (รูปที่ 4.33) ทำตามขั้นตอนดังนี้



จุดประสงค์ของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้เพื่อเปรียบเทียบเซลล์
แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์และเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบปรกติภายในตัวเดียวกัน

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 6 ชุดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชุดมีส่วนที่แตกต่างกัน
กันในเรื่องเวลาที่ใช้ในการแพร่ซึมและการกัดซิลิคอน ส่วนเงื่อนไขของเทคนิคการทำชั้นออกไซด์
การทำการแพร่ซึม หรือกระบวนการในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แสดงไว้ในภาคผนวก ง

เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชุดอาจมีโครงสร้างหลายแบบด้วยกัน โดยที่โครงสร้างในแต่ละแบบนั้นมีจุดประสงค์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เงื่อนไขของการแพรว์ซิมและโครงสร้างของเซลล์อาทิตย์ในชุดต่างๆ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชุด F แพรว์ซิมนาน 10 นาที โครงสร้างที่ใช้ได้แก่ โครงสร้างแบบที่ 1,5
2. เซลล์แสงอาทิตย์ชุด G แพรว์ซิมนาน 10 นาที กัดซิลิคอนออกด้วย โครงสร้างที่ใช้ได้แก่ โครงสร้างแบบที่ 1,2,5
3. เซลล์แสงอาทิตย์ชุด H แพรว์ซิมนาน 8 นาที โครงสร้างที่ใช้ได้แก่ โครงสร้างแบบที่ 1,5
4. เซลล์แสงอาทิตย์ชุด J แพรว์ซิมนาน 15 นาที กัดซิลิคอนออกด้วย โครงสร้างที่ใช้ได้แก่ โครงสร้างแบบที่ 1,4,5
5. เซลล์แสงอาทิตย์ชุด L แพรว์ซิมนาน 8 นาที 20 วินาที โครงสร้างที่ใช้ได้แก่ โครงสร้างแบบที่ 1,3,4,6
6. เซลล์แสงอาทิตย์ชุด #1-#7 และ X แพรว์ซิมนาน 10 นาที โครงสร้างที่ใช้ได้แก่ โครงสร้างแบบที่ 1,6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย