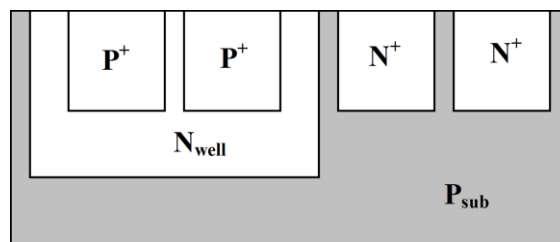


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานภายในรอยต่อพี-เอ็น

พัฒนาการของเทคโนโลยีการรวมชั้นโลหะ-อ็อกไซด์-สารกึ่งตัวนำ (CMOS) ในสมัยใหม่ มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของชิพ และลดต้นทุนการผลิต เทคโนโลยีนี้ไม่เพียงแต่ใช้ในการผลิตไมโครชิพเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวตรวจจับได้อีกด้วย คุณสมบัติอันเป็นเอกลักษณ์ของอุปกรณ์ชนิดนี้คือการรวมตัวตรวจจับหลายๆชนิดเข้าด้วยกันและยังมีการใช้พลังงานต่ำ ด้วยเหตุผลของต้นทุนการผลิตอุปกรณ์เหล่านี้ เทคโนโลยีซีมอส 0.8 ไมครอน จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เทคโนโลยีนี้การเจือสารด้วยระดับความเข้มข้นสูงลงบนแผ่นฐานรองเป็นสิ่งที่ต้องการ เพื่อให้สามารถควบคุมปรากฏการณ์ช่องแคบ (short channel effect) และกระแสรั่วไหลระดับต่ำ ความเข้มข้นของบ่อแยกชนิดเอ็นหรือชนิดพีถูกเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณการเจือสารด้วยการฝังประจุ กระบวนการนี้นำไปสู่การทำลายแผ่นฐานรอง ซึ่งถูกคาดหวังว่าจะกำจัดได้ภายหลังการแอนนิลลิ่ง (annealing) วิธีการบำบัดด้วยความร้อนในเวลาสั้นๆ และที่อุณหภูมิต่ำ ให้แก่ความลึกรอยต่อภายหลังการฝังประจุเป็นสิ่งจำเป็น แต่อาจจะไม่เพียงพอที่จะกำจัดจุดบกพร่องที่เกิดจากการฝังประจุได้ จุดบกพร่องเหล่านี้สามารถเป็นแหล่งกำเนิดของกระแสรั่วไหลในแต่ละส่วนของรอยต่อพี-เอ็นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รอยต่อพี-เอ็นในโครงสร้างซีมอส

กระแสรั่วไหลในรอยต่อพี-เอ็นเป็นพารามิเตอร์หลักอันหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์ กระแสรั่วไหลนี้มีความสัมพันธ์กับจุดบกพร่องที่มีผลทางไฟฟ้าในซิลิคอน จุดบกพร่องหาได้จากช่วงชีวิตการก่อเกิด ( $\tau_g$ ) ดังนั้นทางหนึ่งในการศึกษาจุดบกพร่อง สามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์ช่วงชีวิตการก่อเกิด โดยทั่วไปแล้วช่วงชีวิตการก่อเกิดสามารถคำนวณหาได้จากกระแสการก่อเกิด

ในการศึกษาครั้งนี้ ไดโอดที่มีรอยต่อพี-เอ็นเป็นชั้นต้นๆ ซึ่งใช้เทคโนโลยีซีมอส 0.8 ไมครอน ถูกสร้างบนแผ่นฐานรองซิลิคอนชนิดพี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร พิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร บ่อแยกชนิดเอ็นได้จากการฝังประจุฟอสฟอรัส  $4 \times 10^{12}$  อีออน/ตารางเซนติเมตร ด้วยพลังงาน 140 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และฝังประจุโบรอน  $3 \times 10^{15}$  อีออน/ตารางเซนติเมตร ด้วยพลังงาน 40 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สำหรับบริเวณ  $p^+$  และสุดท้ายรอยต่อจะถูกเชื่อมต่อกับชั้นโลหะอลูมิเนียม

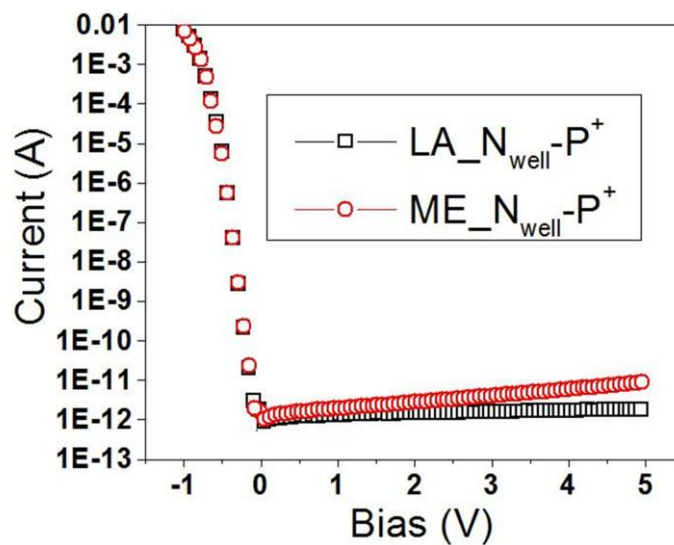
เพื่อใช้ในการศึกษาองค์ประกอบของกระแสรั่วไหล ไดโอดพื้นที่ (A) และไดโอดเส้นรอบรูป (P) แบบต่างๆ จะถูกสร้างบนแผ่นเวเฟอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รูปแบบเรขาคณิตของไดโอด

| ชนิดของไดโอด                                | พื้นที่ (ซม <sup>2</sup> ) | เส้นรอบรูป (ซม) |
|---------------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Large Area (LA) ( $p^+ - N_{\text{well}}$ ) | $8 \times 10^{-4}$         | 0.12            |
| Meander (ME) ( $p^+ - N_{\text{well}}$ )    | $8 \times 10^{-4}$         | 8.04            |

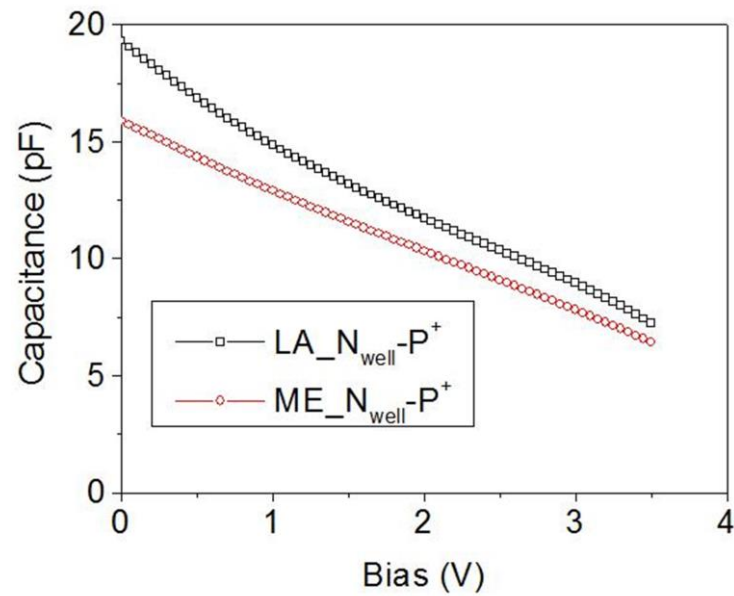
วิธีการวัดค่าคุณลักษณะกระแส-แรงดันของไดโอดรูปทรงเรขาคณิตแบบต่างๆกันบนแผ่นเวเฟอร์ ถูกทำการวัดด้วยการให้ค่าไบอัสเป็นช่วงละ 0.01 โวลต์ จากแรงดันย้อนกลับ (reverse :  $V_R$ ) ไปถึงแรงดันตรง (forward :  $V_F$ ) โดยที่แรงดันไบอัสจะถูกให้กับบ่อแยกเอ็น :  $N_{\text{well}}$  และทำการวัดค่ากระแสที่ชี้  $p^+$  ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 27 °C ในกล่องดำ

คุณลักษณะค่าเก็บความจุไฟฟ้า-แรงดัน ถูกกระทำกับไดโอดแบบเดียวกันด้วยความถี่ 100 กิโลเฮิร์ต ที่อุณหภูมิ 27 °C ความกว้างชั้นปลอดพาหะของพื้นที่ในแผ่นฐานรอง สามารถคำนวณค่าจากคุณลักษณะค่าเก็บความจุไฟฟ้า-แรงดัน (C-V)



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของไดโอดที่มีรอยต่อชนิด  $p^+ - N_{\text{well}}$

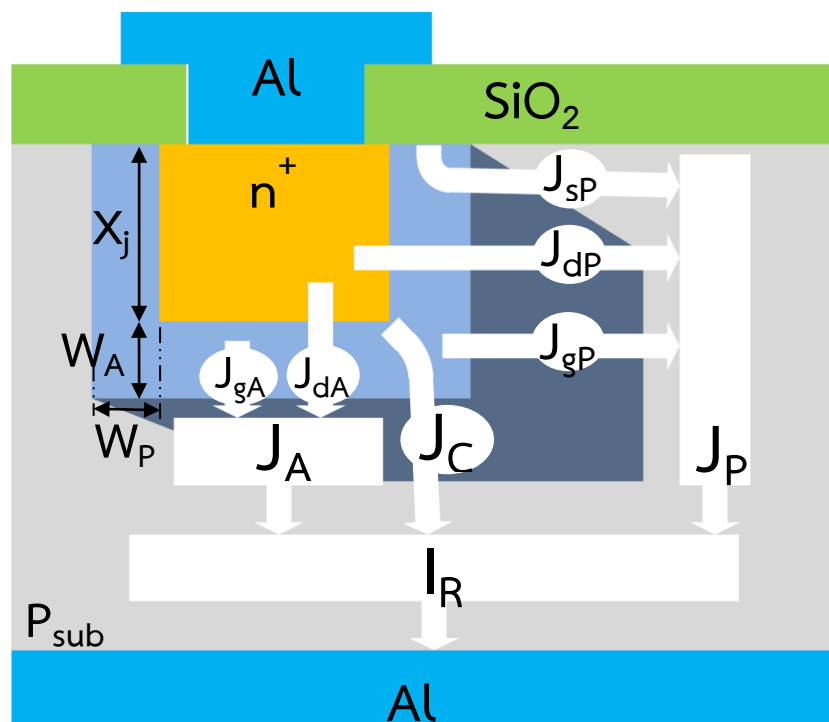
รูปที่ 4.2 แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของไดโอดที่มีรอยต่อชนิด  $p^+ - N_{\text{well}}$  โดยมีรูปแบบเรขาคณิตของไดโอดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเก็บความจุไฟฟ้าและแรงดันของไดโอดที่มีรอยต่อชนิด  $p^+ - N_{\text{well}}$

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเก็บความจุไฟฟ้าและแรงดันของไดโอดที่มีรอยต่อชนิด  $p^+ - N_{\text{well}}$  โดยมีรูปแบบเรขาคณิตของไดโอดที่แตกต่างกัน

#### 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกระแสในไดโอด



รูปที่ 4.4 องค์ประกอบของกระแสรั่วไหลในรอยต่อของไดโอด

ในการวิเคราะห์กระแสรั่วไหล (leakage current) ที่ไหลผ่านรอยต่อของไดโอดภายใต้เงื่อนไขการไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.4

จากรูปพบว่าองค์ประกอบรวมของกระแสรั่วไหลเกิดจากจากลักษณะการกระจายตัวทางกายภาพของกระแสในแต่ละส่วนที่แตกต่างกัน เช่น กระแสรั่วไหลด้านพื้นที่ ( $I_A$ ) กระแสรั่วไหลด้านเส้นรอบรูป ( $I_P$ ) กระแสรั่วไหลที่มุม ( $I_C$ ) และกระแสรั่วไหลแฝง ( $I_{Par}$ ) ซึ่งนิยามผลรวมของกระแสรั่วไหล ( $I_R$ ) สามารถเขียนในรูปสมการที่ (4.1)

$$I_R = I_A + I_P + I_C + I_{Par} \quad (4.1)$$

แต่จากการวิเคราะห์พบว่า  $I_A + I_P \gg I_C + I_{Par}$  ดังนั้นจึงสามารถเขียนในรูปสมการที่ (4.1) ใหม่เป็นสมการที่ (4.2)

$$I_R = I_A + I_P \quad (4.2)$$

หรือ

$$I_R = AJ_A + PJ_P \quad (4.3)$$

โดยที่  $J_A$  ( $A/cm^2$ ) เป็นความหนาแน่นกระแสด้านพื้นที่ (area current density) ที่เป็นสัดส่วนกับพื้นที่ของไดโอด (A) ส่วน  $J_P$  ( $A/cm^2$ ) เป็นความหนาแน่นกระแสด้านเส้นรอบวง (perimeter current density) ที่เป็นสัดส่วนกับเส้นรอบรูป (P) ซึ่งสามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อยทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นกระแสการก่อด้านพื้นที่ (area generation current density -  $J_{gA}$ ) ความหนาแน่นกระแสการก่อด้านเส้นรอบวง (perimeter generation current density -  $J_{gP}$ ) ความหนาแน่นกระแสการแพร่ด้านพื้นที่ (area diffusion current density -  $J_{dA}$ ) ความหนาแน่นกระแสการแพร่ด้านเส้นรอบวง (perimeter diffusion current density -  $J_{dP}$ ) และความหนาแน่นกระแสการก่อกว้างที่ผิวด้านเส้นรอบวง (perimeter surface generation current density -  $J_{sP}$ ) ดังความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการที่ (4.4) และสมการที่ (4.5) ตามลำดับ

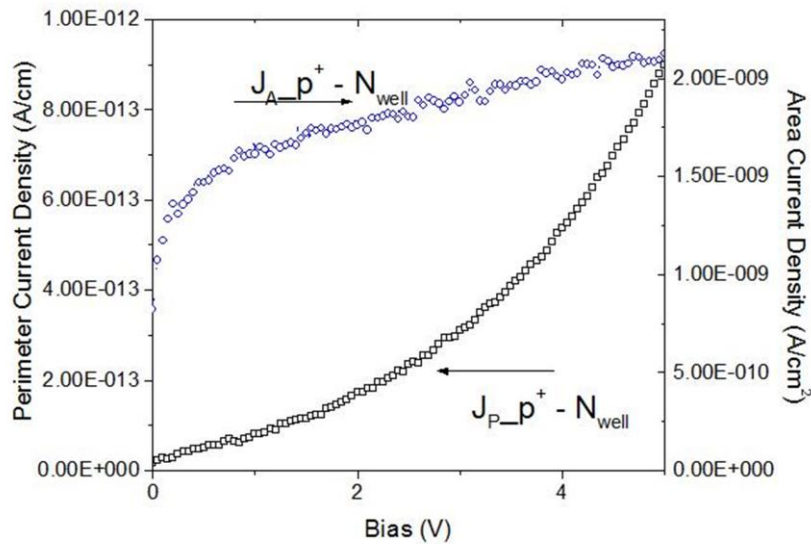
$$J_A = J_{gA} + J_{dA} \quad (4.4)$$

และ

$$J_P = J_{gP} + J_{dP} + J_{sP} \quad (4.5)$$

ในการวิเคราะห์กระแสที่ไหลผ่านรอยต่อของไดโอดภายใต้เงื่อนไขการไบอัสตรง (forward bias) ซึ่งเป็นองค์ประกอบกระแสการรวมตัวใหม่ (recombination current component) ดังนั้นพารามิเตอร์  $J_{gA}$  และ  $J_{gP}$  เปลี่ยนรูปใหม่เป็น  $J_{rA}$  และ  $J_{rP}$  ตามลำดับ ซึ่ง  $J_{rA}$  เป็นความหนาแน่นกระแสการรวมตัวใหม่ด้านพื้นที่ (area recombination current density) และ  $J_{rP}$  เป็นความหนาแน่นกระแสการรวมตัวใหม่ด้านเส้นรอบวง (perimeter recombination current density)

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงเส้นกราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสด้านพื้นที่และด้านเส้นรอบวงของไดโอดที่มีรอยต่อพี-เอ็นชนิด  $p^+ - N_{well}$



รูปที่ 4.5 กราฟความหนาแน่นกระแสของไดโอดที่มีรอยต่อพี-เอ็นชนิด  $p^+ - N_{well}$

#### 4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของค่าเก็บความจุไฟฟ้าในไดโอด

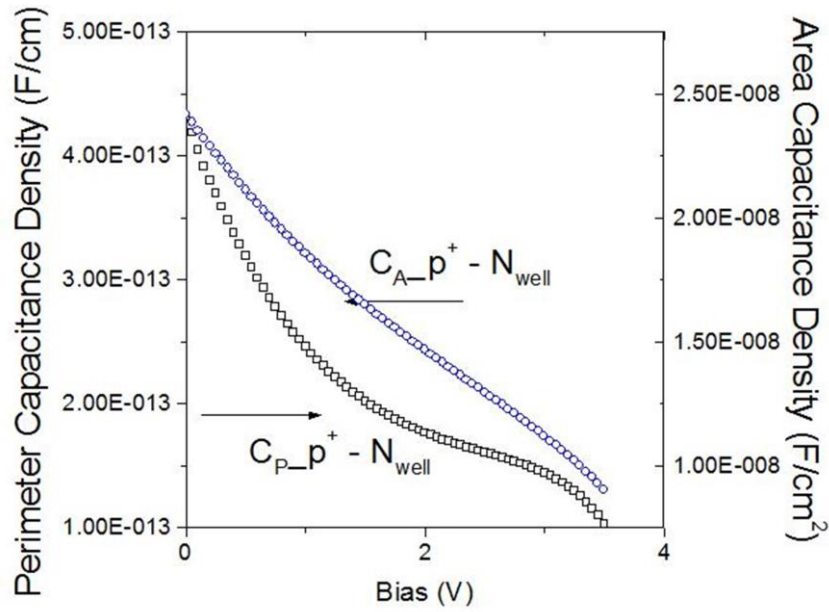
ในการวิเคราะห์ลักษณะเดียวกันกับองค์ประกอบของกระแส และการสมมติว่าผลรวมค่าเก็บความจุไฟฟ้าย่อยต่อ  $C_j$  เป็นการรวมแบบเชิงเส้นขององค์ประกอบของค่าเก็บความจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้

$$C_j = AC_A + PC_P \quad (4.6)$$

โดย  $C_A$  ( $F/cm^2$ ) เป็นความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ของไดโอด (A),  $C_P$  ( $F/cm$ ) เป็นความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าด้านเส้นรอบรูป ซึ่งเป็นสัดส่วนกับเส้นรอบรูปของไดโอด (P)

โดยทั่วไป ผลรวมค่าเก็บความจุไฟฟ้าย่อยต่อ ( $C_j$ ) ถูกวัดค่าการตอบสนองของรอยต่อที่มีต่อสัญญาณแรงดันขนาดเล็กที่คร่อมบนแรงดันไบตรง ความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่ ( $C_A$ ) และความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าเส้นด้านรอบรูป ( $C_P$ ) สามารถสมมติว่าเป็นการรวมแบบเชิงเส้นขององค์ประกอบทางเรขาคณิตที่แตกต่างกัน ดังแสดงในสมการที่ (4.6)

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงเส้นกราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่และด้านเส้นรอบวงของไดโอดที่มีรอยต่อพี-เอ็นต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.6 กราฟความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าของไดโอดที่มีรอยต่อพี-เอ็นชนิด  $p^+ - N_{well}$

#### 4.4 การวิเคราะห์ความกว้างชั้นปลอดพาหะ

โดยการพิจารณาสมการที่ (4.7) ความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่ สามารถหาได้จากความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่ ( $C_A$ )

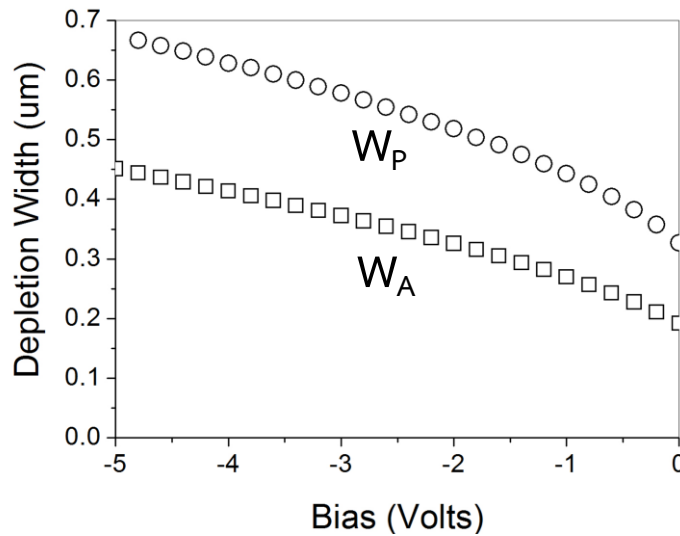
$$W_A = \frac{\epsilon_{si}\epsilon_o}{C_A} \quad (4.7)$$

โดยที่  $\epsilon_{si}$  เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของซิลิคอน (11.8) และ  $\epsilon_o$  (F/cm) เป็นค่าเพอร์มิตติวิตี้ของสุญญากาศ ( $8.854 \times 10^{-14}$  F/cm)

และในกรณีความหนาแน่นค่าเก็บความจุไฟฟ้าด้านเส้นรอบรูป ( $C_P$ )

$$W_P = \frac{\epsilon_{si}\epsilon_o(x_j + W_A)}{C_P} \quad (4.8)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่และด้านเส้นรอบรูปกับแรงดันย้อนกลับของไดโอดรอยต่อ  $p^+ - N_{well}$  ถูกแสดงดังรูปที่ 4.7 จากรูปความสัมพันธ์พบว่าความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่ มีค่าน้อยกว่าความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านเส้นรอบรูป ประมาณ 1.5 เท่าที่แรงดัน 5 โวลต์ และมีค่า 1.7 เท่าที่แรงดัน 0 โวลต์



รูปที่ 4.7 ความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่และด้านเส้นรอบรูปของไดโอดรอยต่อ  $p^+ - N_{well}$

#### 4.5 การศึกษาการกระจายตัวของความบกพร่องโดยวิธีอนุพันธ์ในรอยต่อพี-เอ็น

ในการศึกษาองค์ประกอบของกระแสรั่วไหล ไดโอดพื้นที่ (A) และไดโอดเส้นรอบรูป (P) แบบต่างๆ จะถูกสร้างบนแผ่นซิลิคอน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รูปแบบเรขาคณิตของไดโอด

| ชนิดของไดโอด                         | พื้นที่ (ซม <sup>2</sup> ) | เส้นรอบรูป (ซม) |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Large Area (LA) ( $p^+ - N_{well}$ ) | $8 \times 10^{-4}$         | 0.12            |
| Meander (ME) ( $p^+ - N_{well}$ )    | $8 \times 10^{-4}$         | 4.04            |

ผลรวมของกระแสไบอัสตรง ( $I_F$ ) ของรอยต่อพี-เอ็นประกอบด้วยองค์ประกอบเรขาคณิตที่แตกต่างกัน เช่น กระแสรั่วไหลพื้นที่ ( $I_A$ ) และกระแสรั่วไหลเส้นรอบรูป ( $I_P$ ) ดังสมการที่ 4.9

$$I_F = I_A + I_P = A J_A + P J_P \quad (4.9)$$

โดยที่  $J_A$  ( $A/cm^2$ ) เป็นความหนาแน่นกระแสด้านพื้นที่ (area current density) ที่เป็นสัดส่วนกับพื้นที่ของไดโอด (A) ส่วน  $J_P$  ( $A/cm^2$ ) เป็นความหนาแน่นกระแสด้านเส้นรอบวง (perimeter current density) ที่เป็นสัดส่วนกับเส้นรอบรูป (P)

ค่า  $J_A$  สามารถแยกองค์ประกอบทางกายภาพเป็นความหนาแน่นกระแสการรวมตัวใหม่ในเนื้อสารด้านพื้นที่ และความหนาแน่นกระแสการแพร่ ดังสมการที่ 4.10

$$J_A = J_{dA} + J_{rA} \quad (4.10)$$

จากสมการไดโอดแบบอุดมคติ (สมการไดโอดของชอคเลย์)

$$I = I_0[\exp(qV/kT) - 1] \quad (4.11)$$

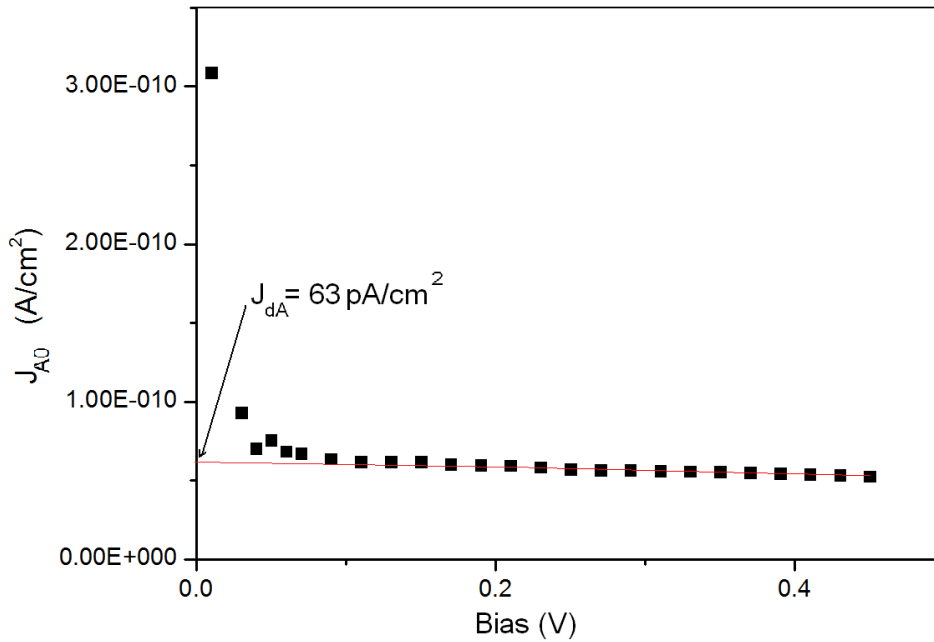
โดยที่ค่า  $I_0$  เป็นค่ากระแสอิ่มตัว (A),  $q$  เป็นค่าประจุของอิเล็กตรอน ( $1.602 \times 10^{-19}$  C),  $k$  เป็นค่าคงที่ของโบลต์ซมานน์ ( $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K),  $T$  เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

และจากการแทนค่าสมการที่ 4.11 ด้วยค่าความหนาแน่นกระแสด้านพื้นที่ ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นกระแสอิ่มตัวด้านพื้นที่ ดังสมการที่ 4.12

$$J_{A0} = \frac{J_A}{[\exp(qV/kT) - 1]} \quad (4.12)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 4.12 สามารถหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสอิ่มตัวด้านพื้นที่และแรงดันไบอัสตรงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่แรงดันไบอัสตรงค่าต่ำๆ (น้อยกว่า 0.1 โวลต์) ค่า  $J_{A0}$  จะถูกควบคุมด้วยกระแสการรวมตัวใหม่ เมื่อค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.1 โวลต์ถึง 0.4 โวลต์ จะแสดงค่าของความหนาแน่นกระแสการแพร่ด้านพื้นที่  $J_{dA}$  และจากการประมาณค่าของ  $J_{dA}$  เป็นเชิงเส้นในช่วง 0.1 โวลต์ถึง 0.4 โวลต์ที่  $V = 0$  จะได้ค่า  $J_{dA}$  เท่ากับ  $63 \text{ pA/cm}^2$





รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสในตัวด้านพื้นที่ ( $J_{A0}$ ) และแรงดันไบอัสตรง

โดยทั่วไปค่าของ  $J_A$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$J_A = J_{dA} + \left\{ \left[ \frac{qn_i W_A}{2\tau_r} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) + \tau_g \right] \cdot [\exp(qV/kT) - 1] \right\} \quad (4.13)$$

ซึ่งค่า  $n_i$  เป็นค่าความหนาแน่นของประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ( $\text{cm}^{-3}$ ) และค่า  $W_A$  เป็นความกว้างของชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่ (cm) จะพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสด้านพื้นที่ขึ้นอยู่กับค่าความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่และการแสการแพร่ด้านพื้นที่ ดังนั้นการคำนวณหาค่า  $\tau_r$  และ  $\tau_g$  จะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

ลักษณะเดียวกันกับองค์ประกอบของกระแส และการสมมติว่าค่าผลรวมค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อ  $C_j$  เป็นการรวมแบบเชิงเส้นขององค์ประกอบค่าความจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้

$$C_j = AC_A + PC_P \quad (4.14)$$

โดย  $C_A$  เป็นความหนาแน่นค่าความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่ ( $\text{F/cm}^2$ ) เป็นสัดส่วนกับพื้นที่ของไดโอด(A),  $C_P$  เป็นความหนาแน่นค่าความจุไฟฟ้าด้านเส้นรอบรูป( $\text{F/cm}$ ) ซึ่งเป็นสัดส่วนกับเส้นรอบรูปของไดโอด (P)

โดยทั่วไป ค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อ ( $C_j$ ) ถูกวัดค่าการตอบสนองของรอยต่อที่มีต่อสัญญาณ แรงดันขนาดเล็กที่คร่อมบนแรงดันไฟตรง ความหนาแน่นค่าความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่ ( $C_A$ ) และความหนาแน่นค่าความจุไฟฟ้าด้านเส้นรอบรูป ( $C_P$ ) สามารถสมมติว่าเป็นการรวมแบบเชิงเส้นขององค์ประกอบทางเรขาคณิตที่แตกต่างกันดังแสดงในสมการที่ (4.14)

ค่าช่วงชีวิตการก่อกำเนิดขึ้นอยู่กับความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่และความหนาแน่นกระแสต้านพื้นที่ ความกว้างชั้นปลอดพาหะด้านพื้นที่สามารถหาได้จากความหนาแน่นค่าความจุไฟฟ้าด้านพื้นที่ ( $C_A$ )

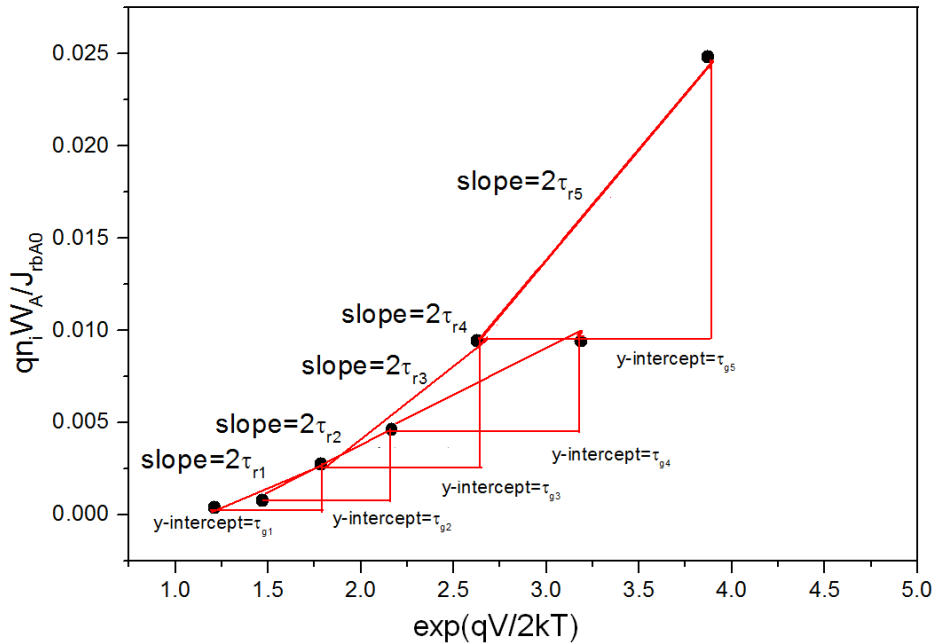
$$W_A = \frac{k_{si}\epsilon_o}{C_A} \quad (4.15)$$

โดยที่  $k_{si}$  เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของซิลิคอน (11.8) และ  $\epsilon_o$  (F/cm) เป็นค่าเพอร์มิตติวิตีของสุญญากาศ ( $8.854 \times 10^{-14}$  F/cm)

จากสมการที่ (4.10) และ (4.13) จะพบว่าค่าความหนาแน่นของกระแสอิมิตัวของการรวมตัวใหม่ในเนื้อสารด้านพื้นที่ ( $J_{rba0}$ ) เท่ากับ  $J_{AO} - J_{dA}$  ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (4.13) และผลลัพธ์ภายหลังการจัดเรียงรูปใหม่แสดงได้ดังสมการที่ (4.16)

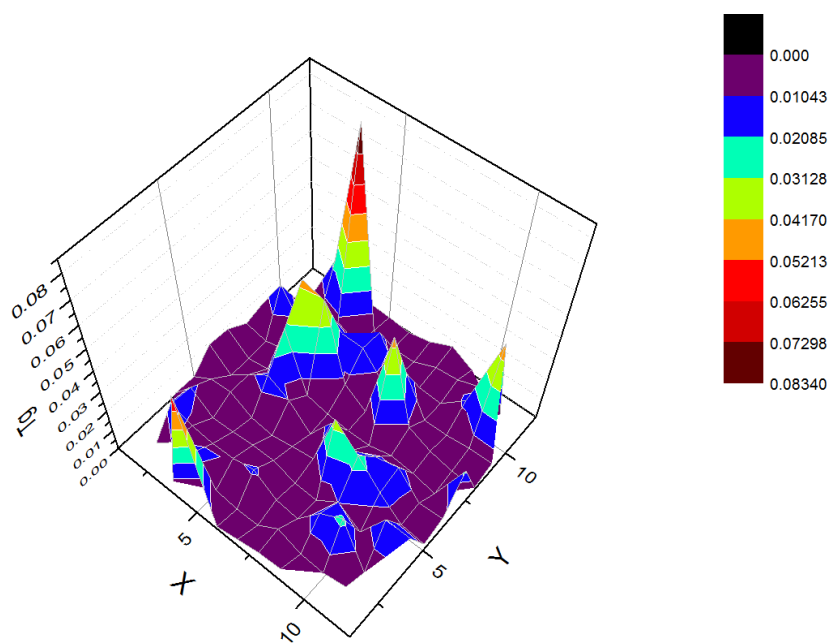
$$\frac{qn_i W_A}{J_{rba0}} = 2\tau_r \exp(qV / 2kT) + \tau_g \quad (4.16)$$

รูปที่ 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่า  $qn_iW_A/JrbAO$  กับค่า  $\exp(qV/2kT)$  โดยค่าอนุพันธ์ของ  $\tau_r$  และ  $\tau_g$  สามารถหาได้จากค่าอนุพันธ์ของความชันและจุดตัดที่ค่า  $qn_iW_A/JrbAO = 0$  ตามลำดับ

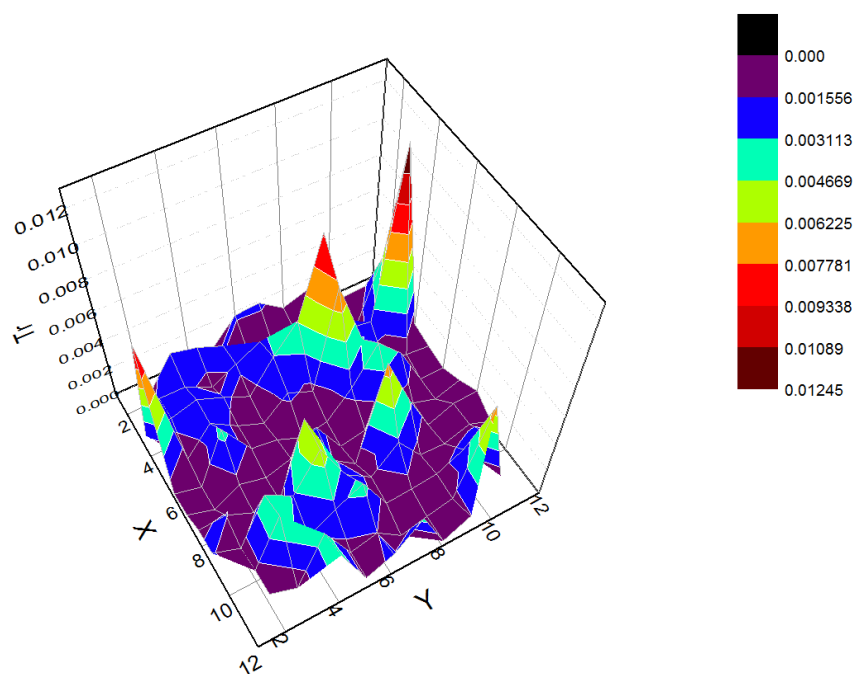


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของค่า  $\exp(qV/2kT)$  และ  $qn_iW_A/Jabr0$

หลังจากที่ได้ค่าของ  $\tau_r$  และ  $\tau_g$  ของแต่ละจุด จะนำมาคำนวณหาค่ากลางโดยการนำมาหาค่าเฉลี่ยของค่าช่วงชีวิตการรวมตัวใหม่ และค่าช่วงชีวิตการก่อเกิดของแต่ละจุดทำให้ได้ค่า  $\tau_r = 0.003672$  วินาที และค่า  $\tau_g = 0.011879$  วินาที จากการศึกษาและเก็บข้อมูลตัวอย่างบนแผ่นซิลิคอนทั้งหมด 125 ไคล์ และนำมาแสดงผลเป็นรูปกราฟแบบ 3 มิติ ทำให้ได้แผนภาพการกระจายตัวของค่าช่วงชีวิตการก่อเกิดและการรวมตัวใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 การกระจายของค่า  $\tau_g$  บนแผ่นซิลิคอน



รูปที่ 4.11 การกระจายของค่า  $\tau_r$  บนแผ่นซิลิคอน

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของค่าช่วงชีวิตการก่อเกิดและการรวมตัวใหม่ ซึ่งพบว่าแผ่นซิลิคอนมีการกระจายตัวของความบกพร่องอย่างไม่สม่ำเสมอ (non-uniform defect) โดยแสดงให้เห็นด้วยค่า  $\tau_g$  และค่า  $\tau_r$  ที่มีระดับความสูงต่ำไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั่วทั้งแผ่นซิลิคอน

ลักษณะการกระจายตัวของความบกพร่องที่ไม่สม่ำเสมอนี้ อาจเกิดจากกระบวนการยิงฝังประจุ (Ion Implantation) และกระบวนการแอนนิลลิ่ง (Annealing) ที่มีการจัดรูปแบบใหม่ (reform) ของกลุ่มประจุฟอสฟอรัส (Phosphorus cluster) ที่บริเวณบ่อแยกชนิดเอ็น ซึ่งเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์