

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

เมื่อทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ลักษณะผิวสัมผัสที่ปรากฏสัมพันธ์กับชนิดสารกึ่งตัวนำ ฟังก์ชันงานโลหะ ( $\phi_m$ ) และฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำ ( $\phi_s$ ) สารเจือ พฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของพาหะนำประจุระหว่างผิวสัมผัสมีความสัมพันธ์กับผลต่างระหว่างระดับพลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองที่ใช้ทำผิวสัมผัส

#### แถบพลังงานของผิวสัมผัส

##### 1. ผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

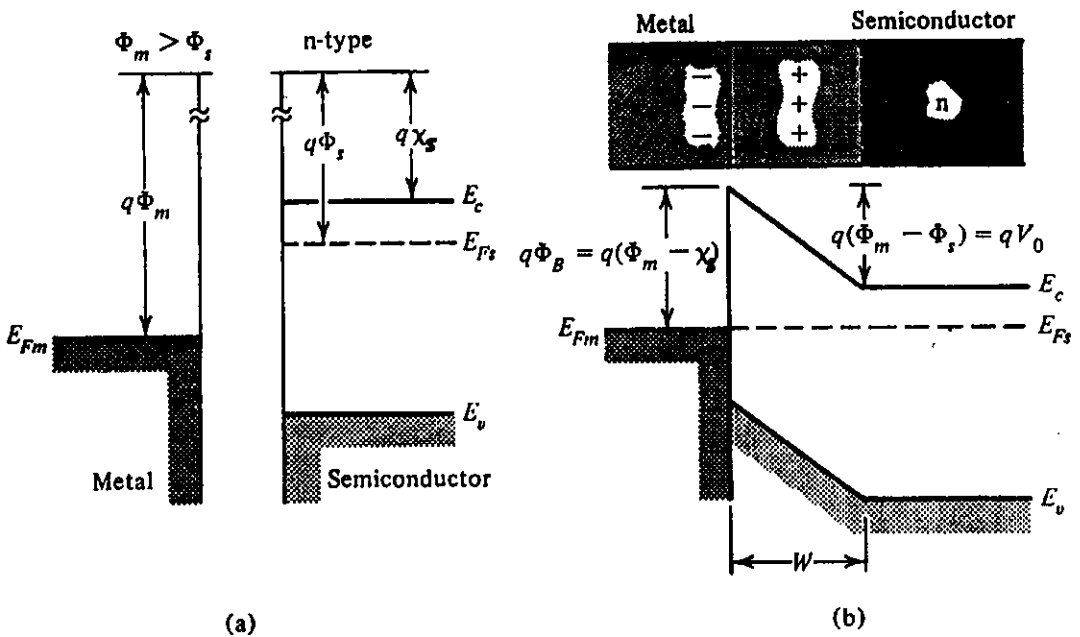
###### 1.1 กรณี ฟังก์ชันงานโลหะมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ( $\phi_m > \phi_s$ )

โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ฟังก์ชันงานโลหะมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำสูงกว่าของโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนในแถบการนำของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งเป็นพาหะประจุส่วนใหญ่เคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสไปยังระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ ทำให้เกิดประจุอิสระจากไอออนบวกของอะตอมของสารเจือชนิดให้ที่บริเวณผิวสัมผัสขึ้นในสารกึ่งตัวนำ และเกิดการสะสมอิเล็กตรอนในโลหะ เกิดสนามไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสมีทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นไปยังโลหะ และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจนสามารถหยุดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การถ่ายเทพาหะนำประจุระหว่างวัสดุทั้งสองอยู่ในสภาวะสมดุล พลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองมีระดับเดียวกัน เกิดการโค้งขึ้นของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำบริเวณสัมผัส เป็นกำแพงศักย์ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยกำแพงศักย์มีความสูง  $\phi_m - \phi_s$  ลักษณะผิวสัมผัสนี้เป็น ผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไบแอสตรง โดยโลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ พลังงานทุกระดับของสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้น กำแพงศักย์บริเวณผิวสัมผัสมีขนาดลดลง อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะได้อีก นั่นคือกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านผิวสัมผัสได้

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก พลังงานทุกระดับของสารกึ่งตัวนำมีค่าลดลงจากระดับเดิม ทำให้อิเล็กตรอนในแถบการนำ (conduction band) ของสารกึ่งตัวนำมีพลังงานต่ำกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะก่อนได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ นั่นคือมีกำแพงศักย์เพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนในแถบการนำของสารกึ่งตัวนำไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังด้านโลหะ กระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่านผิวสัมผัส

ภาพที่ 15 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น กรณี  $\phi_m > \phi_s$



(a) ก่อนสัมผัส

(b) หลังสัมผัส

(ที่มา : Streetman, 1995)

1.2 กรณี ฟังก์ชันงานโลหะมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ( $\phi_m < \phi_s$ )

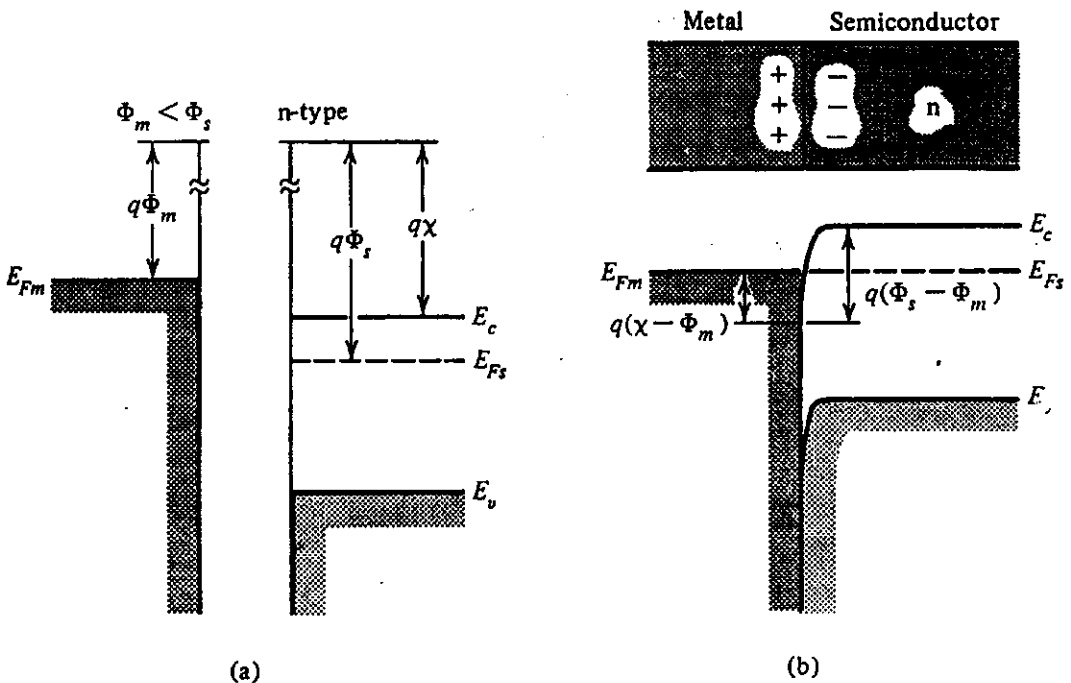
โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ฟังก์ชันงานโลหะมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำต่ำกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนในแถบการนำของโลหะซึ่งเป็นพาหะนำประจุส่วนใหญ่เคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสไปยังระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ทำให้เกิดประจุมิอิสระจากไอออนลบของอะตอมของสารเจือชนิดรับที่บริเวณผิวสัมผัสขึ้นในสารกึ่งตัวนำ เกิดการสะสมอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ เกิดสนามไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสมีทิศต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

จากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจนสามารถหยุดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การถ่ายเทพาหะนำประจุระหว่างวัสดุทั้งสองอยู่ในสภาวะสมดุล พลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองมีระดับเดียวกัน เกิดการโค้งงอของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ บริเวณสัมผัสเป็นกำแพงศักย์ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยกำแพงศักย์มีความสูง  $\phi_s - \phi_m$  ลักษณะผิวสัมผัสนี้เป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไบแอสตรง โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก กำแพงศักย์ที่ผิวสัมผัสลดลงและระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำทุกระดับค่อย ๆ ลดลงเท่ากับแรงดันที่ได้รับ อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสไปยังด้านสารกึ่งตัวนำ ทำให้กระแสไหลผ่านผิวสัมผัส

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำทุกระดับค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับ อิเล็กตรอนแถบการนำของสารกึ่งตัวนำสามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสไปยังด้านโลหะ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านผิวสัมผัส

ภาพที่ 16 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น กรณี  $\phi_m < \phi_s$



- (a) ก่อนสัมผัส
- (b) หลังสัมผัส

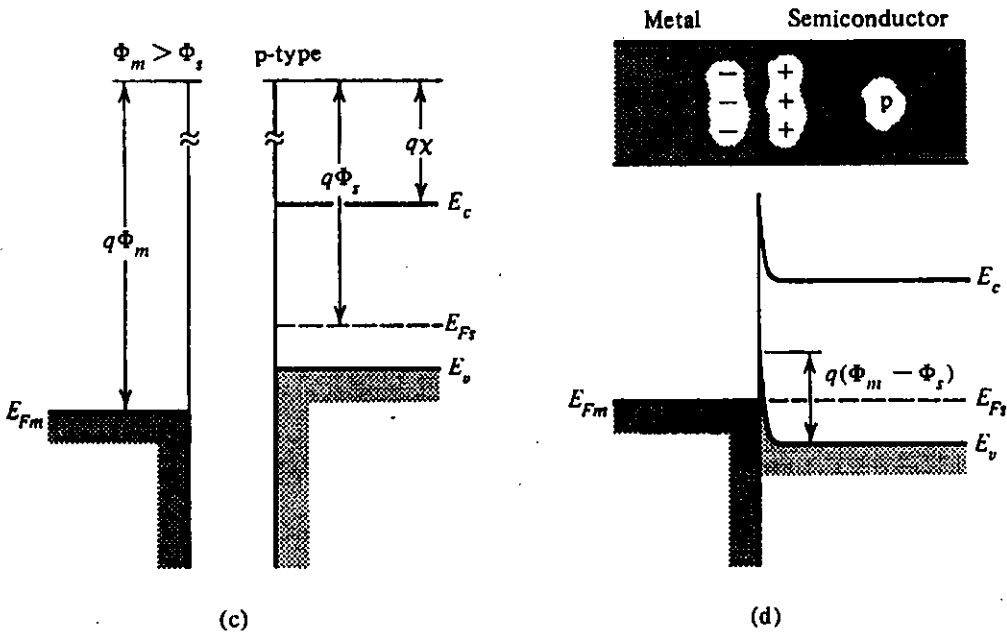
(ที่มา : Streetman, 1995)

2. ศิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี

2.1 กรณี ฟังก์ชันงานโลหะมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดพี ( $\phi_m > \phi_s$ )

โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี ฟังก์ชันงานของโลหะมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพี ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำสูงกว่าของโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนในแถบการนำของสารกึ่งตัวนำชนิดพีซึ่งเป็นพาหะส่วนใหญ่เคลื่อนที่ผ่าน ศิวสัมผัสไปยังระดับเฟอร์มิของโลหะทำให้เกิดประจุอิสระจากไอออนบวกของอะตอมของสารเจือชนิดรับที่บริเวณศิวสัมผัสของสารกึ่งตัวนำ และเกิดการสะสมจำนวนอิเล็กตรอนในโลหะ เกิดสนามไฟฟ้าที่ศิวสัมผัสมีทิศต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีไปยังโลหะ และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การถ่ายเทระหว่างประจุทั้งสองอยู่ในสถานะสมดุล พลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองมีระดับเดียวกัน เกิดการโค้งขึ้นของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำบริเวณสัมผัสเป็นกำแพงศักย์ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยกำแพงศักย์มีความสูง  $\phi_m - \phi_s$  ลักษณะศิวสัมผัสนี้เป็นศิวสัมผัสแบบโอห์มมิก

ภาพที่ 17 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี กรณี  $\phi_m > \phi_s$



(a) ก่อนสัมผัส

(b) หลังสัมผัส

(ที่มา : Streetman, 1995)

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรง โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำทุกระดับค่อย ๆ ลดลง อิเล็กตรอนในระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะสามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสร่วมกับโซลในแถบวาเลนซ์(valence band) ของสารกึ่งตัวนำ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านผิวสัมผัสได้

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสย้อนกลับ โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ กำแพงศักย์บริเวณผิวสัมผัสลดลง แต่ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำทุกระดับค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับ โซลจากระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะสามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสมายังแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ผิวสัมผัสได้

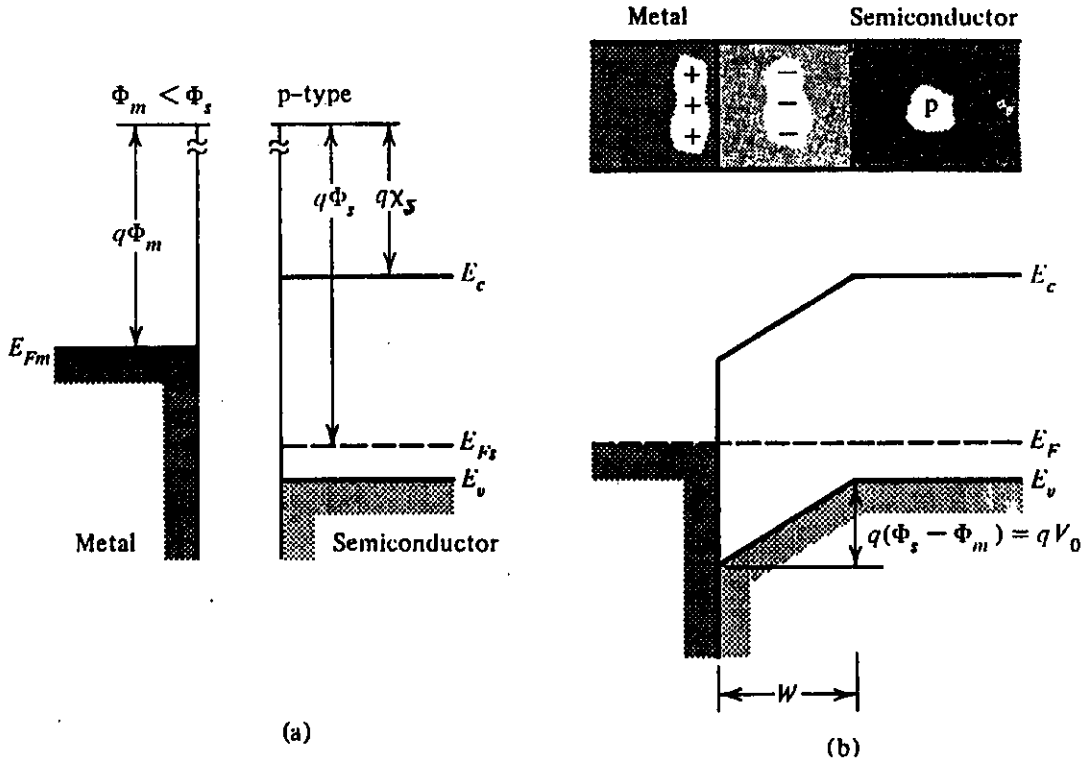
## 2.2 กรณี ฟังก์ชันงานโลหะมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดพี ( $\phi_m < \phi_s$ )

โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี ฟังก์ชันงานโลหะมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำชนิดพี ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำต่ำกว่าของโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนในแถบการนำของสารกึ่งตัวนำชนิดพีซึ่งเป็นพาหะนำประจุส่วนใหญ่เคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสไปยังระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ ทำให้เกิดประจุนิรจากไอออนลบของอะตอมของสารเจือชนิดให้ที่บริเวณผิวสัมผัสขึ้นในสารกึ่งตัวนำ และเกิดการสะสมโซลในโลหะ เกิดสนามไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสมีทิศต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีไปยังโลหะ และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การถ่ายเทพาหะประจุระหว่างวัสดุทั้งสองอยู่ในสถานะสมดุล พลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองมีระดับเดียวกัน เกิดการโค้งลงของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำบริเวณสัมผัสเป็นกำแพงศักย์ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยกำแพงศักย์มีความสูง  $\phi_m - \phi_s$  ลักษณะผิวสัมผัสชนิดนี้เป็นผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์

เมื่อผิวสัมผัสได้รับการแรงดันไบแอสตรง สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ พลังงานทุกระดับของสารกึ่งตัวนำมีค่าลดลงตามขนาดแรงดันไบแอส โซลจากแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ไปรวมกับอิเล็กตรอนในระดับเฟอร์มิของโลหะ และอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะเคลื่อนที่ไปรวมกับโซลของสารกึ่งตัวนำในแถบวาเลนซ์ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านผิวสัมผัสได้

เมื่อผิวสัมผัสได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสย้อนกลับ สารกึ่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ โลหะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก พลังงานทุกระดับของสารกึ่งตัวนำมีค่าเพิ่มขึ้น โซลในแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำชนิดพีไม่สามารถเคลื่อนที่รวมกับอิเล็กตรอนในระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ และอิเล็กตรอนในระดับเฟอร์มิของโลหะไม่สามารถเคลื่อนที่รวมกับโซลในแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำ กระแสไฟฟ้าไม่สามารถผ่านผิวสัมผัส

ภาพที่ 18 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี กรณี  $\phi_m < \phi_s$



(a) ก่อนสัมผัส  
 (b) หลังสัมผัส  
 (ที่มา : Streetman, 1995)

**บริเวณปลอดพาหะ**

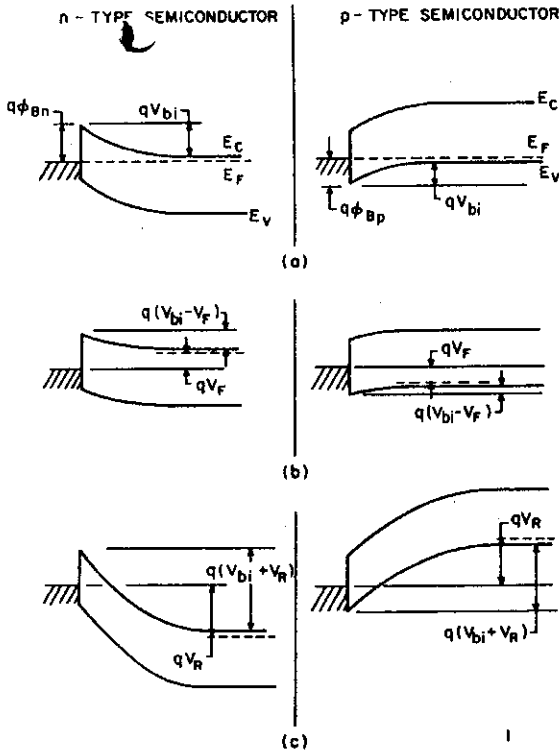
เมื่อโลหะสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำ เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่ผิวสัมผัส สนามไฟฟ้าจะทำให้พาหะนำประจุอิสระออกหมดจนไม่มีเหลืออยู่ในบริเวณนั้น ปริมาณทางไฟฟ้าในบริเวณปลอดพาหะ สามารถแสดงได้ด้วยสมการปัวซอง (Poisson's equation) เช่นเดียวกับแบบรอยต่อพี-เอ็นในสารกึ่งตัวนำ

สมการปัวซองสำหรับ 1 มิติ

$$\frac{d^2 \phi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_s} = -\frac{dE(x)}{dx} \tag{2-4}$$

$$E = -\frac{qN_d}{\epsilon_s}(x_n - x) \tag{2-5}$$

ภาพที่ 19 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น และชนิดพี ภายใต้เงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าไบแอส



- a) เมื่อสมดุลความร้อน
  - b) เมื่อทำไบแอสตรง
  - c) เมื่อทำไบแอสกลับ
- (ที่มา : Sze, 1981)

การประมาณ ที่  $p \cong qN_D$  สำหรับ  $0 < x < W$  และ  $p \cong 0$  และ  $dV/dx \cong 0$  ที่  $x > W$  เมื่อ  $W$  เป็นค่าความกว้างบริเวณปลอดพาหะ กำแพงศักย์ผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำมีลักษณะคล้ายกับการลดแบบขั้นที่ของรอยต่อ  $p^+ - n$  ผลที่ได้เป็น

$$W \text{ (depletion width)} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_D} (V_{bi} - V - \frac{kT}{q})} \tag{2-6}$$

$$|E(x)| = \frac{qN_D}{\epsilon_s} (W - x) = E_m - \frac{qN_D}{\epsilon_s} x \tag{2-7}$$

$$V(x) = \frac{qN_D}{\epsilon_s} (Wx - \frac{1}{2}x^2) - \phi_{Bn} \tag{2-8}$$

เทอม  $kT/q$  เกิดขึ้นเนื่องจากพาหะส่วนมากกระจาย(อิเล็กตรอนในด้านอื่น) และ  $E_m$  ค่าสนามไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุดเมื่อ  $x = 0$

$$E_m = E(x=0) = \sqrt{\frac{2qN_D}{\epsilon_s} (V_{bi} - V - \frac{kT}{q})} = \frac{2(V_{bi} - V - kT/q)}{W} \tag{2-9}$$

## ปรากฏการณ์ซีออตต์กี

ปรากฏการณ์ซีออตต์กีเป็นการเหนี่ยวนำของแรงกระทำต่อประจุเมื่อมีสนามไฟฟ้า พลังงานศักย์ลดลงสำหรับประจุพาหะบริเวณผิวสัมผัส พลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในสุญญากาศจากพลังงานเริ่มต้นที่ระดับพลังงานเฟอร์มิคือค่าฟังก์ชันงาน  $\phi_m$

อิเล็กตรอนในสารไดอิเล็กตริกที่ระยะทาง  $x$  ห่างจากผิวโลหะจะสร้างสนามไฟฟ้าขึ้น แนวของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับผิวโลหะ เหนี่ยวนำทำให้เกิดประจุบวกในโลหะ แรงกระทำระหว่างอิเล็กตรอนกับประจุบวกเหนี่ยวนำเทียบเท่ากับแรงกระทำระหว่างอิเล็กตรอนกับประจุบวกในบริเวณนั้น ที่ระยะ  $-x$  ประจุบวกคล้ายกับประจุเสมือน แรงที่กระทำเรียกว่าแรงเสมือน กำหนดได้

$$F = \frac{-q^2}{4\pi(2x)^2 \epsilon_0} = \frac{-q^2}{16\pi\epsilon_0 x^2} \quad (2-10)$$

เมื่อ  $\epsilon_0$  เป็นค่าสภาพยอมได้ในสุญญากาศ(permittivity) งานที่ทำโดยอิเล็กตรอนในกรณีนี้คือการเคลื่อนย้ายประจุจากระยะอนันต์ไปยังระยะ  $x$  กำหนดได้

$$E(x) = \int_{\infty}^x F dx = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 x} \quad (2-11)$$

โดยสนามไฟฟ้า ( $E$ ) และพลังงานศักย์รวมเป็นฟังก์ชันของระยะขจัด (วัดจากแกน  $x$ ) เป็น

$$PE(x) = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0} + qEx \quad \text{eV} \quad (2-12)$$

ค่าแรงแศกซ์จะมีค่าลดลงหรือเปลี่ยนไป ( $\Delta\phi$ ) ที่บริเวณ  $x_m$

กำหนดเงื่อนไขของ  $d[PE(x)]/dx = 0$  หรือ

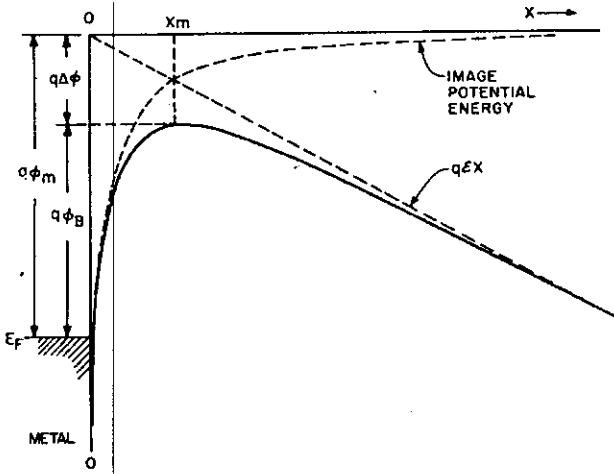
$$x_m = \sqrt{\frac{q}{16\pi\epsilon_0 E}} \quad \text{cm} \quad (2-13)$$

$$\Delta\phi = \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_0}} \quad \text{V} \quad (2-14)$$

สมการทั้งสองแสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของค่าแรงแศกซ์( $\Delta\phi$ )สัมพันธ์กับระยะทาง( $x_m$ ) ทำให้ประสิทธิภาพของฟังก์ชันงานโลหะสำหรับเทอร์มิโอนิกอิมิสชัน ( $\phi_B$ ) ลดลง



ภาพที่ 20 แสดงไดอะแกรมแถบพลังงานระหว่างผิวโลหะและระดับสูญญากาศ กำแพงศักย์ลาดต่ำลง เมื่อมีสนามไฟฟ้าบริเวณผิว



(ที่มา : Sze, 1981)

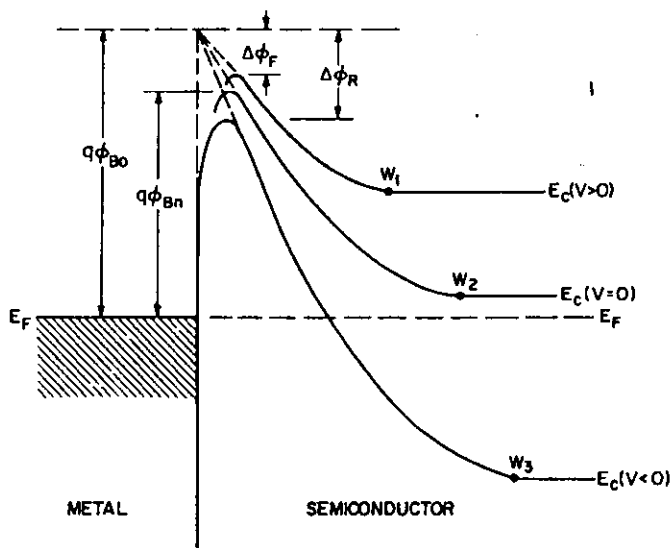
ผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้กับระบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ แทนค่าสนามไฟฟ้ามากที่สุดที่ผิวสัมผัส และสภาพยอมได้เป็น  $\epsilon_s$  การเปลี่ยนแปลงของกำแพงศักย์ คือ

$$\Delta\phi = \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_s}} \quad (2-15)$$

ตลอดเวลาเกิดกระบวนการอิมมิสชัน อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ระหว่างผิวสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำ ถ้ากำแพงศักย์สูง ค่า  $x_m$  จะมีค่าน้อยกว่า dielectric relaxation time พลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในสูญญากาศจากพลังงานเริ่มต้นที่ระดับพลังงานเฟอร์มิสารกึ่งตัวนำมีเวลาไม่เพียงพอให้เกิดโฟลาร์ไรซ์ และค่าสภาพยอมได้น้อยกว่าค่าสถิตย์ สำหรับซิลิกอนค่าสภาพยอมได้ประมาณได้ลักษณะเดียวกับค่าสถิตย์

ปรากฏการณ์ซีออตต์กี สำหรับโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ภายใต้เงื่อนไขความแตกต่างการไบแอส สำหรับไบแอสตรง ( $V > 0$ ) ความสูงของกำแพงศักย์เท่ากับ  $\phi_{BO} - \Delta\phi_F$  มีลักษณะค่อย ๆ ลดลง แต่มากกว่าความสูงกำแพงศักย์เนื่องจากความต่างระหว่างค่าฟังก์ชันงานของโลหะกับค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี ( $\phi_{Bn} : V = 0$ ) สำหรับไบแอสกลับ ( $V < 0$ ) ความสูงของกำแพงศักย์  $\phi_{BO} - \Delta\phi_R$  มีค่าน้อย เพราะค่า  $\epsilon_s$  มีค่ามาก สำหรับผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ กำแพงศักย์มีค่าน้อยกว่ากรณี  $V=0$

ภาพที่ 21 แสดงโคแอมแกรมพลังงานของปรากฏการณ์ซีออตต์กีระหว่างผิวสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นภายใต้การกระทำไบแอสที่แตกต่างกัน



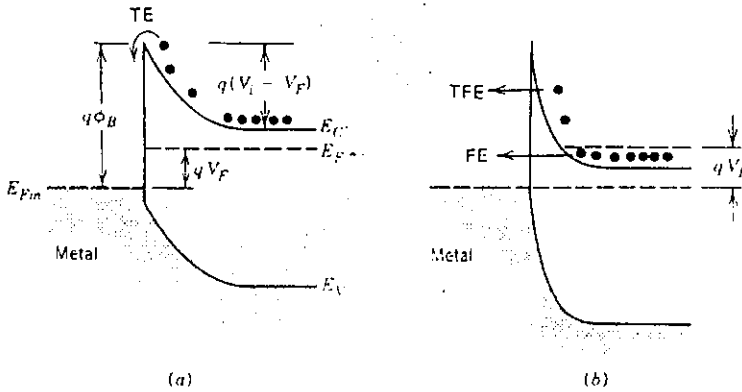
(ที่มา : Sze, 1981)

ดังนั้น ความสูงกำแพงศักย์เป็นฟังก์ชันของสนามไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำไปสู่ค่ากำแพงศักย์ต่ำ และเป็นฟังก์ชันของสถานะผิวในสารกึ่งตัวนำ ความสูงกำแพงศักย์เป็นการหาค่าทางทฤษฎี จนกระทั่งความหนาแน่นสถานะผิวไม่สามารถทำนายกับองศาความแน่นอน

การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

เมื่อแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ(กรณีสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น) การเคลื่อนที่ของประจุพาหะทำให้เกิดปรากฏการณ์ของกระแสไฟฟ้า ดังนี้

ภาพที่ 22 แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านฉนวนตัวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ



- a) ปรากฏการณ์เทอร์มิโอนิก อิมิสชัน
  - b) ปรากฏการณ์ทันเนลิง
- (ที่มา : Tyagi, 1991)

1. เทอร์มิโอนิก อิมิสชัน เป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนมีพลังงานมากพอด้านสารกึ่งตัวนำข้ามกำแพงศักย์ไปยังด้านโลหะ

ปรากฏการณ์ดังกล่าว เสนอโดยเบธ(Bethe) ดังนี้ (1) โดยหลักการสะท้อนกลับทางคว้นดัม เมคานิกส์ อิเล็กตรอนต้องมีพลังงานมากพอที่ข้ามกำแพงศักย์ (2) หลักรั่วไปแรงดันไฟฟ้าทำให้ปรากฏบริเวณปลอดพาหะ(สมการ 2-6) และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงกำแพงศักย์โดยแรงเสียดและลดลงของแรงดันไฟฟ้าบริเวณฉนวนตัวสัมผัส (3) ความสูงกำแพงศักย์มีค่ามากกว่า  $5kT/q$  ผลที่เกิดขึ้นสำหรับอิเล็กตรอนอิสระในโลหะและในแถบการนำของสารกึ่งตัวนำช่วยทำให้เกิดเทอร์มิโอนิก อิมิสชัน ทำให้ใช้สถิติกลศาสตร์แบบ เฟอร์มี ดิแรค(Fermi Dirac statistics) อธิบายแทนสถิติกลศาสตร์คลาสสิกแบบแมกซ์เวลล์ โบลซ์มานน์(classical Maxwell-Boltzmann statistics) (Racko, Grmanova and Breza, 1996) ดังนั้นสามารถกำหนดปริมาณฟลักซ์กระแสจากโลหะไปยังด้านสารกึ่งตัวนำ และจากสารกึ่งตัวไปยังด้านโลหะมีค่าต่างกัน พิจารณาจากลักษณะของกำแพงศักย์ของวัสดุและการไหลกระแสเนื่องจากความสูงกำแพงศักย์ ความหนาแน่นกระแสจากสารกึ่งตัวนำสู่โลหะ( $J_{s \rightarrow m}$ ) เป็นการรวมกันของอิเล็กตรอน และมีพลังงานเพียงพอทำให้เกิดกำแพงศักย์ และสามารถเคลื่อนที่ย้อนกลับตามทิศทาง x

$$J_{s \rightarrow m} = \int_{E_F + e\phi_B}^{\infty} qv_x dn \tag{2-16}$$

เมื่อ  $E_F + q\phi_B$  คือ ค่าระดับพลังงานน้อยสุดที่ต้องการสำหรับเทอร์มิโอนิก อิมิตชันในโลหะ และ  $v_x$  ความเร็วของพาหะในทิศทางการส่งผ่าน ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในการเพิ่มพลังงาน กำหนดโดย

$$\begin{aligned} dn &= N(E)F(E)dE \\ &= \frac{4\pi(2m^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_C} \exp[-(E - E_C + qV_n)/kT]dE \end{aligned} \quad (2-17)$$

เมื่อ  $N(E)$  และ  $P(E)$  คือ ความหนาแน่นสถานะและฟังก์ชันการกระจาย  $m^*$  คือมวลประสิทธิผลของสารกึ่งตัวนำ และ  $qV_n$  มีค่าเป็น  $(E_C - E_F)$

เมื่อพลังงานของอิเล็กตรอนในแถบการนำเป็นพลังงานจลน์ นั่นคือ

$$E - E_C = \frac{1}{2} m^* v^2 \quad (2-18)$$

$$dE = m^* v dv \quad (2-19)$$

$$\sqrt{E - E_C} = v\sqrt{m^*/2} \quad (2-20)$$

นำสมการ (2-18) (2-19) และ(2-20) แทนในสมการ (2-17)

$$dn = 2\left(\frac{m^*}{h}\right)^3 \exp\left(-\frac{qV_n}{kT}\right) \exp\left(-\frac{m^* v^2}{2kT}\right) (4\pi v^2 dv) \quad (2-21)$$

สมการ (2-21) คือ จำนวนของอิเล็กตรอนต่อหน่วยปริมาตร มีความเร็วจาก  $v$  ถึง  $v+dv$  กระจายทุกทิศทาง ถ้าความเร็วในองค์ประกอบตามแนวแกน  $x$  ขนานกับทิศทางการส่งผ่าน นั่นคือ

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad (2-22)$$

เปลี่ยน  $4\pi v^2 dv = dv_x dv_y dv_z$  นำ สมการ (2-16) (2-21) และ(2-22) มาใช้ ผลลัพธ์

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3}\right) T^2 \exp\left(\frac{qV_n}{kT}\right) \exp\left(-\frac{m^* v_{0x}^2}{2kT}\right) \quad (2-23)$$

ความเร็ว  $v_{0x}$  เป็นความเร็วน้อยที่สุดของอิเล็กตรอนที่ต้องการตามแนวแกน  $x$  ข้ามพื้นที่กำแพงศักย์ได้

$$\frac{1}{2} m^* v_{0x}^2 = q(V_{bi} - V) \quad (2-24)$$

เมื่อ  $V_{bi}$  ความต่างศักย์ที่ให้ในการทำไบแอสเป็นศูนย์ แทนสมการ (2-24) ในสมการ (2-23) ผลลัพธ์

$$J_{s \rightarrow m} = A^{**} T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2-25)$$

เมื่อ  $\phi_B$  ความสูงของกำแพงศักย์และมีค่าเท่ากับผลรวมของ  $V_n$  และ  $V_{bi}$  และ

$$A^{**} = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \quad (2-26)$$

เป็นค่าคงที่ประสิทธิผลริชาร์ดสัน(effective Richardson constant) สำหรับเทอร์มิโอนิก อิมิตชัน สำหรับอิเล็กตรอนอิสระมีค่าคงที่ประสิทธิผลริชาร์ดสัน เท่ากับ  $120 \text{ A/cm}^2/\text{K}^2$  เมื่อค่าแรงเสมือนลดลง ความสูงของกำแพงศักย์  $\phi_B$  ในสมการ (2-25) ลดลงโดย  $\Delta\phi$

ความหนาแน่นกระแสจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ ( $J_{m \rightarrow s}$ ) เช่นเดียวกับกับ  $J_{s \rightarrow m}$  เมื่อทำไบแอส  $V=0$  ได้

$$J_{m \rightarrow s} = \left( \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \quad (2-27)$$

ผลรวมของความหนาแน่นกระแสสุทธิของผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ โดยรวมสมการที่ (2-25) กับ (2-27)

$$J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s} \quad (2-28)$$

$$J = A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{q\phi_B}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2-29)$$

สามารถแสดงเป็นสมการไดโอด

$$J = J_0 \left[ \exp\left(\frac{q\phi_B}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2-30)$$

โดยที่

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \quad (2-31)$$

$J_0$  คือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิมิตซ์ย้อนกลับ  $\phi_B$  คือความสูงกำแพงศักย์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อ  $\phi_B = \phi_{B0} - \Delta\phi$  ดังนั้น  $J_0$  เป็น

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{B0}}{kT}\right) \exp\left(\frac{q\Delta\phi}{kT}\right) \quad (2-32)$$

นั่นคือ  $J_0$  สัมพันธ์กับ  $\phi_{B0}$  และ  $\Delta\phi$

2. การเจาะอุโมงค์ (tunneling) เป็นปรากฏการณ์บริเวณปลอดพาหะที่ผิวสัมผัสมีค่าน้อยมาก อิเล็กตรอนสามารถเจาะกำแพงศักย์ไปยังด้านโลหะ

สารกึ่งตัวนำที่ได้รับสารเจือมาก (heavy doping) หรือที่อุณหภูมิต่ำ การเจาะอุโมงค์ของกระแสไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการส่งผ่านกระแส กระบวนการ  $J_{s \rightarrow m}$  แสดงในสมการ (2-16) เป็นการรวมของเทอร์มิโอนิกอิมิตซ์ชัน และการเจาะอุโมงค์ กระแส  $J_{s \rightarrow m}$  เป็นสัดส่วนของผลคูณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแบบควันตัมโดยโอกาสความน่าจะเป็นของการครอบครองในสารกึ่งตัวนำ กับโอกาสของการไม่ครอบครองในโลหะ

ผลลัพธ์ทางทฤษฎีและการทดลอง กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าสำหรับกำแพงศักย์ สามารถแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ได้ดังนี้

$$J = J_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2-33)$$

เมื่อ  $J_0$  เป็นค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงตัว ใช้การประมาณค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจากกราฟเซมิลอคที่  $V=0$  และ  $n$  กำหนดเป็น

$$n \equiv \frac{q}{kT} \frac{\partial V}{\partial(\ln J)} \quad (2-34)$$

หรือสามารถหาค่า  $n$  จาก

$$\frac{1}{n} = 1 - \beta \quad (2-35)$$

โดย  $\beta = \frac{\partial \phi_B}{\partial V}$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงกำแพงศักย์กับแรงดันไฟฟ้า (Safak, et al., 2002)

### เปรียบเทียบชอตต์กีไดโอดกับรอยต่อพี-เอ็นไดโอด

แม้ว่าความสัมพันธ์สมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของไดโอดแบบชอตต์กี (Schottky barrier diode) ในสมการ (2-30) สอดคล้องกับสมการรอยต่อพี-เอ็น แต่สิ่งประดิษฐ์ทั้งสองมีความแตกต่าง 2 ประการ

1. ขนาดของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ย้อนกลับ (reverse-saturation)
2. ลักษณะการทำงานเป็นสวิตช์

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าคงที่ย้อนกลับผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำมีสมการเป็น

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \quad (2-36)$$

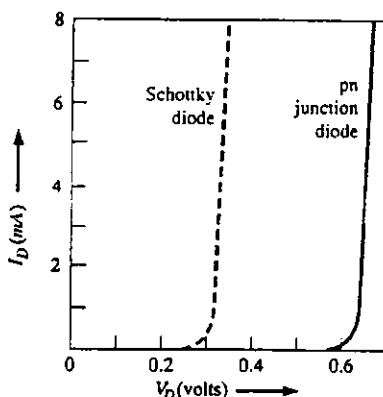
สำหรับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าคงที่ย้อนกลับของรอยต่อพี-เอ็น มีสมการเป็น

$$J_S = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \quad (2-37)$$

สมการทั้งสองมีลักษณะความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ย้อนกลับแตกต่างกัน ในชอตต์กีไดโอด กำหนดโดยเทอร์มีโอนิก อิมิสชัน ของพาหะส่วนมากเหนือกำแพงศักย์ แต่รอยต่อพี-เอ็นกำหนดโดยการแพร่ของพาหะส่วนน้อย

การทำไบแอสย้อนกลับในรอยต่อพี-เอ็น ของสิ่งประดิษฐ์ด้วยซิลิกอนเป็นความสำคัญ เนื่องจากการเกิดกระแสไฟฟ้าจะมีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าประมาณ  $10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup> ซึ่งระดับขนาดน้อยกว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการทำไบแอสย้อนกลับของชอตต์กีไดโอด

ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบกราฟลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าระหว่างซีดต์กีไดโอด กับ ไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น



(ที่มา : Neaman, 1992)

ถ้าค่า  $J_0 \gg J_s$  ลักษณะไบแอสตรงของไดโอดทั้งสองชนิดเป็นความแตกต่างด้านประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้าปิด-เปิด สำหรับซีดต์กีไดโอดมีค่าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า ไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น ความแตกต่างดังกล่าวจะเป็นฟังก์ชันของความสูงกำแพงศักย์ของผิวสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำและการรวมกันของสารเจือปนในรอยต่อพี-เอ็น

สำหรับลักษณะการทำงานเป็นสวิตช์แตกต่างกัน หรือการตอบสนองต่อความถี่ กระแสไฟฟ้าในซีดต์กีไดโอดให้พาหะส่วนมากเคลื่อนที่ผ่านกำแพงศักย์ อิเล็กตรอนในโลหะเคลื่อนที่โดยตรงจากสถานะว่างในสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ไปยังโลหะ ปรากฏการณ์เทียบเท่ากับโฮลเคลื่อนที่ในสารกึ่งตัวนำ การเคลื่อนที่ของโฮลสร้างพาหะส่วนน้อย ในบริเวณด้านเอ็น

ซีดต์กีไดโอดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากพาหะส่วนมากไม่มีการแพร่ประจุ โดยการไบแอสตรง การป้องกันการแพร่ของประจุโดยการทำซีดต์กีไดโอด คือ การทำรอยต่อพี-เอ็น กระนั้นความเป็นสวิตช์ของซีดต์กีไดโอดจากการทำไบแอสตรงและไบแอสกลับไม่มีพาหะส่วนน้อยอาศัยอยู่ ทำให้ซีดต์กีไดโอดเป็นสวิตช์ที่เร็วในระดับพิโควินาที ขณะที่รอยต่อพี-เอ็นตอบสนองในระดับนาโนวินาที

### ผิวสัมผัสโอห์มมิก

การทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำเพื่อประยุกต์ใช้งานนิยมนำผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก ผิวสัมผัสดังกล่าวเป็นไปตามกฎของโอห์ม นั่นคือยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านผิวสัมผัสได้ทั้งสองทิศทาง และมีความต้านทานต่ำ

สมบัติที่สำคัญของวัสดุชนิดโอห์มมิกมีการแพร่ซึมของพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำไปยังบริเวณผิวสัมผัส ทำให้เกิดการรวมตัวกับพาหะส่วนมาก ณ บริเวณนั้น ดังนั้น ผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกจึงประพฤติตัวคล้ายกับเป็นซิงก์ (sink) ให้กับพาหะส่วนน้อย

### ความต้านทานผิวสัมผัส

ผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกมีความต้านทานผิวสัมผัส ( $R_C$ ) เป็นความสำคัญในการกำหนดการออกแบบเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ ความต้านทานผิวสัมผัสเป็นลักษณะเฉพาะของความต้านทานต่อหน่วยพื้นที่ สามารถพิจารณาจากส่วนกลับของอนุพันธ์ย่อยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า กับแรงดันไฟฟ้าที่  $V=0$  ดังนี้

$$R_C = \left( \frac{\partial J}{\partial V} \right)^{-1} \Big|_{V=0} \quad (2-38)$$

ต้องการ  $R_C$  มีค่าน้อยที่สุดสำหรับผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก กระแสไฟฟ้าเนื่องจากเทอร์มิโอนิกอิมิสชัน เป็นสิ่งสำคัญของผิวสัมผัส ลักษณะเฉพาะนี้สำหรับกรณี

$$R_C = \frac{\left( \frac{kT}{q} \right) \exp\left( \frac{+q\phi_B}{kT} \right)}{A^{**} T^2} \quad (2-39)$$

นั่นคือ ความต้านทานผิวสัมผัสสัมพันธ์กับความสูงกำแพงศักย์ และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารเจือเพิ่มขึ้น

สำหรับซิลิกอนที่มีสารเจือมากกำแพงศักย์ระหว่างผิวสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำแคบมากทำให้อิเล็กตรอนจากแถบการนำสารกึ่งตัวนำเจาะอุโมงค์ไปยังโลหะ กระแสการเจาะอุโมงค์เป็น  $J_i$  ดังนี้

$$J_i = J_0 \exp\left( \frac{-q\phi_b}{E_{00}} \right) \quad (2-40)$$

$$\text{เมื่อ } E_{00} = \frac{qh}{4\pi \sqrt{\epsilon_s m^* N_d}} \quad (2-41)$$

โดย  $h$  เป็นค่าคงที่ของพลังค์  $N_d$  เป็นปริมาณสารเจือ  $\epsilon_s$  เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารกึ่งตัวนำ  $m^*$  มวลประสิทธิผลของสารกึ่งตัวนำ

จากสมการ (2-40) พบว่ากระแสการเจาะอุโมงค์เพิ่มขึ้นแบบเอกโพเนนเชียลกับ  $\sqrt{N_d}$  ดังนั้น ความต้านทานผิวสัมผัสจากสมการ (2-38) เป็นลักษณะสำคัญของความต้านทานผิวสัมผัสเฉพาะ (specific contact resistance) สำหรับซิลิกอนที่มีสารเจือมาก ความต้านทานผิวสัมผัส เป็น



$$R_c \sim \exp\left(\frac{4\pi\phi_b}{h} \sqrt{\frac{\epsilon_s m^*}{N_d}}\right)$$

ดังนั้น ความต้านผิวสัมผัสเฉพาะสัมพันธ์กับความสูงกำแพงศักย์และปริมาณสารเจือ

(Gambino and Colgan, 1998)

### การวัดความสูงกำแพงศักย์

ความสูงกำแพงศักย์เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการควบคุมการนำไฟฟ้าเพื่อให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ สำหรับการเติมสารเจือสารกึ่งตัวนำต่ำ ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าในทิศทางไปแอสดตรง

$$J = A^{**} T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{B0}}{kT}\right) \exp\left[\frac{q(\Delta\phi + V)}{kT}\right] \quad (2-42)$$

เมื่อ  $\phi_{B0}$  เป็นความสูงกำแพงศักย์เมื่อแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์  $A^{**}$  เป็นค่าคงที่ประสิทธิภาพริชาร์ดสัน และ  $\Delta\phi$  เป็นฟังก์ชันของความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลง ลักษณะความหนาแน่นกระแส-แรงดันไฟฟ้า เมื่อไปแอสดตรง (สำหรับ  $V > 3kT/q$ ) เป็น  $J \sim \exp(qV/nkT)$  ดังในสมการ (2-33) ค่า  $n$  สอดคล้องกับสมการ (2-33)  $J_0$  ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิมิตัว เมื่อแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์และความสูงของกำแพงศักย์สามารถหาได้จากสมการ

$$\phi_{Bn} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{A^{**} T^2}{J_0}\right) \quad (2-43)$$

ค่าของ  $\phi_{Bn}$  มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าของ  $A^{**}$  ที่อุณหภูมิห้อง การเพิ่มมากที่สุดของ  $A^{**}$  (ร้อยละ 100) กรณีความสัมพันธ์ระหว่าง  $J_0$  กับ  $\phi_{Bn}$  หรือ  $\phi_{Bp}$  ที่อุณหภูมิห้อง ค่า  $\phi_{Bn}$  เพิ่มขึ้นประมาณ 0.018 eV สำหรับค่าอื่นของ  $A^{**}$  มีลักษณะเป็นเส้นขนานสามารถลดลงตามแนวการแสดงสมบัติความสัมพันธ์ ในทิศทางไปแอสดย้อนกลับปรากฏการณ์ดังกล่าวกำแพงศักย์ลดลง

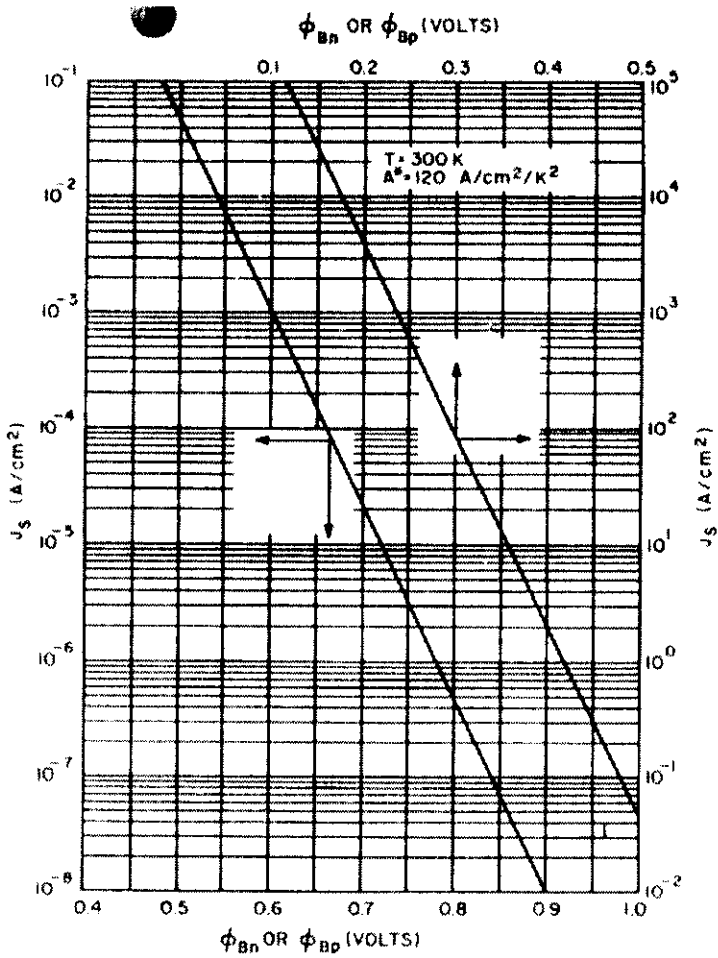
$$\begin{aligned} J &\approx J_0 \quad (\text{สำหรับ } V > 3kT/q) \\ &= A^{**} T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{B0}}{kT}\right) \exp\left(+\frac{q\sqrt{qE/4\pi\epsilon_s}}{kT}\right) \end{aligned} \quad (2-44)$$

เมื่อ  $E$  ในที่นี้หาได้จากสมการ (2-9) แต่สำหรับพหุคูณส่วนน้อย (อิเล็กตรอนในชนิด พี) หาค่า  $E$  จาก

$$E = \sqrt{\frac{2qN_A}{\epsilon_s} \left(V + V_{bi} - \frac{kT}{q}\right)} \quad (2-45)$$

ถ้าความสูงของกำแพงศักย์  $\phi_{Bn}$  มีค่าน้อยกว่าช่องว่างพลังงาน ดังนั้นที่บริเวณชั้นพร่องเกิดการรวมกันของกระแส กระแสไฟฟ้าที่มีค่าน้อยเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าชนิดซีออตต์ก็ กระแสย้อนกลับเพิ่มขึ้นเป็นช่วง ๆ เทียบกับการไบแอสกลับ โดยสมการ (2-44)

ภาพที่ 24 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ เมื่ออุณหภูมิ 300 K สัมพันธ์กับความสูงกำแพงศักย์ เมื่อค่าคงที่ประสิทธิผลริชาร์ดสัน  $120 \text{ A/cm}^2/\text{K}^2$



(ที่มา : Sze, 1981)

การทำซีออตต์ก็ไดโอดจะเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการไบแอสย้อนกลับ สาเหตุโดยขอบบางของฐานรอง สนามภายในรอยต่อมักดึงดูดอนุภาคฝุ่นที่ไอออนไนซ์อยู่ที่ผิวหน้าของสารให้มายังบริเวณผิวสัมผัส ไดโอดที่สร้างขึ้นโดยผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ มีการสร้างสิ่งประดิษฐ์ให้ป้องกันการแพร่และการเติมสารเจือทำให้รอยต่อพี-เอ็นมีการเบรคควาน์สูงกว่า

ผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ ทั้งนี้เพราะมีการกำหนดปรากฏการณ์ที่ขอบการไบแอสตรง และการไบแอสย้อนกลับ

การป้องกันการเกิดเบรคดาวน์อย่างรวดเร็วและการรั่วของกระแสไฟฟ้าของผิวสัมผัส โดยการศึกษาการรั่วของกระแสย้อนกลับเป็นฟังก์ชันของเส้นผ่านศูนย์กลางไดโอดที่มีการไบแอสย้อนกลับ สำหรับไดโอดแบบช็อตต์กีกับความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางสามารถกำหนดเป็นรูปแบบบนสารกึ่งตัวนำ การรั่วของกระแสไฟฟ้านับเป็นสิ่งสำคัญของปรากฏการณ์ ดังกล่าว

ไดโอดแบบช็อตต์กี การย้อนกลับกระแสไฟฟ้า รวมทั้งความไม่อิสระของศักย์ไฟฟ้า ความไม่อิสระนี้จะเพิ่มขึ้น เมื่อผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำเป็นอิสระจากชั้นของออกไซด์และความปนเปื้อน