บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

บทนี้กล่าวถึงการวิจารณ์และสรุปผลการวิจัยรวมถึงข้อเสนอแนะและปัญหาของการวิจัยโดยสรุป ดังต่อไปนี้

บทวิจารณ์

การศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะและซิลิกอนลักษณะของผิวสัมผัสสัมพันธ์กับชนิดของสารกึ่งตัวนำ ฟังก์ชันงานของโลหะ ฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ และการนำไฟฟ้าของผิวสัมผัส

การศึกษาครั้งนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของปรากฏการณ์เทอร์มิโอนิก อิมิสชัน ลักษณะผิวสัมผัส Al/n-Si(100) Al/p-Si(100) Ni/n-Si(100) Ni/p-Si(100) Zn/n-Si(100) และ Zn/p-Si(100) เป็นทั้งแบบเรกติไฟร์ และแบบโอห์มมิก

สำหรับผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์เมื่อลากเส้นกราฟของกราฟเซมิลอกการิทึมของผิวสัมผัสที่ศึกษา มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของกลศาสตร์การไหลของกระแสไฟฟ้าที่บริเวณผิวสัมผัส และอาจเนื่องมาจากสถานะทางพลังงานบริเวณผิวสัมผัสมีความไม่สมบูรณ์ บริเวณผิวสัมผัสเป็นเหตุให้พาหะนำประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านบริเวณดังกล่าวเกิดการรวมตัวที่สถานะทางพลังงาน ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าจึงแตกต่างไปจากกระแสตามทฤษฎีเทอร์มิโอนิก อิมิสชัน ตัวประกอบอุดมคติของผิวสัมผัสมีค่ามาก($3.42 < n < 19.54$) แสดงว่าเกิดกระแสรั่วที่สถานะพลังงานบริเวณผิว

ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของการไบแอสตรงและไบแอสกลับที่อุณหภูมิห้องของผิวสัมผัสชนิดเรกติไฟร์ ขณะไบแอสตรงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าควรจะเพิ่มขึ้นแบบเอกโพเนเนเชียล แต่ผลการวิจัยเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไม่เพิ่มขึ้นทันที แต่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าตามขนาดแรงดันไฟฟ้า การวิจัยครั้งนี้ เมื่อแอนนีลนาน 20 และ 30 นาที ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับและค่า n มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการแอนนีลนาน 10 นาที พบว่า การแอนนีลเป็นเวลานานทำให้ค่าความหนาแน่นอิ่มตัวย้อนกลับมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่ากระแสไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสได้มากขึ้น

การเตรียมผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ต้องการกำแพงศักย์สูง ต้องการค่า n ต่ำ (1< n < 2) แต่การศึกษาครั้งนี้ได้ค่า n สูง (3.44 <n < 19.54) ดังนั้น การเตรียมอาจจะทำให้เกิดระดับการจับ (trapping level)ของอิเล็กตรอนและโฮลบริเวณที่เกิดออกไซด์(oxide) ค่าความสูงกำแพงศักย์ไม่ได้ขึ้นอยู่ชนิดของวัสดุเท่านั้น แต่ยังสัมพันธ์กับปริมาณสารเจือ อุณหภูมิ และสมบัติของผิวสัมผัส (Sze, 1981) หรือลักษณะช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส การศึกษาครั้งนี้ ปริมาณสารเจือใน n-Si(100) เป็น $4.63\text{x}10^{16}$ cm^{-3} และสารเจือใน p-Si(100) เป็น $1.30 \text{ x } 10^{17}$ cm^{-3} มีขนาดไม่มากพอ ($n \geq 1\text{x}10^{19}$ cm^{-3}) ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เจาะอุโมงค์ (Sheu, et al., 1999)

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว Tung (2000) กล่าวว่าผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ยังมีข้อพิจารณาของความสูงกำแพงศักย์ โดยเฉพาะเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น สามารถเขียนสมการเป็น

$$\phi_{Bn} = \phi_m - \chi_s + eV_{\text{int}} \qquad (5\text{-}1)$$

เมื่อ V_{int} คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงทำให้เกิด interface dipole ทำให้ประจุมีการจัดเรียงรูปแบบบริเวณผิวสัมผัส

สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีรูปแบบสมการเป็น (Lue, et al., 1999)

$$\phi_{Bp} = \chi + E_g - \phi_m - \Delta\phi \qquad (5\text{-}2)$$

เมื่อ $\Delta\phi$ ความสูงกำแพงศักย์ที่ต่ำสุด

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบของ Schottky-Mott ถือว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างผิวการกระจายของประจุเป็นอิสระจึงใช้สมการ (3-11) และ (3-12) วิเคราะห์ผลการทดลอง

อีกประการหนึ่งชนิดผิวสัมผัสไม่เป็นผิวสัมผัสอุดมคติ เนื่องจากกรณีที่มีระดับพลังงานจำนวนมากอยู่ที่แถบต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำในบริเวณผิวสัมผัส ระดับพลังงานนี้เรียกว่าสถานะทางพลังงานบริเวณผิวสัมผัส ระดับพลังงานนี้แสดงสมบัติและทำหน้าที่จับอิเล็กตรอนหรือโฮลก็ได้ นั่นคือ ระดับพลังงานที่ทำหน้าที่จับอิเล็กตรอนมีอยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นทำให้จำนวนอิเล็กตรอนลดลง ดังนั้นกำแพงศักย์บริเวณผิวสัมผัสของโลหะและสารกึ่งตัวนำไม่เกี่ยวข้องกับชนิดสารกึ่งตัวนำหรือฟังก์ชันงาน ดังนั้นโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่มีสถานะพลังงานบริเวณผิวสัมผัสทำหน้าที่จับอิเล็กตรอนจะแสดงสมบัติสารกึ่งตัวนำชนิดพี นั่นคือ ระดับพลังงานเฟอร์มิเข้าใกล้แถบวาเลนซ์มากกว่าปกติ บริเวณนี้เรียกว่าชั้นกลับ (inversion layer) มีสมบัติเป็นสารพีปรากฏที่ผิวสารชนิดเอ็น ทำนองเดียวกันสถานะพลังงานบริเวณผิวสัมผัสทำหน้าที่จับโฮลทำให้เกิดการสะสมพาหะประจุอิเล็กตรอนบริเวณผิวสัมผัสมากกว่าปกติ เรียกบริเวณนี้ว่า ชั้นสะสม (accumulation layer)

สำหรับผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจเพราะค่าความต้านทานผิวสัมผัสที่หาได้จากสมการ (2-38) และ (2-39) มีค่าที่แตกต่างกัน การวิจัยในครั้งนี้ เมื่อแอนนีลที่

อุณหภูมิ 450 ^{0}C นาน 20 และ 30 นาที ค่าความต้านทานผิวสัมผัสที่ได้จากสมการดังกล่าว มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างจากการแอนนีลที่อุณหภูมิเดียวกันนาน 10 นาที

ดังนั้น การวิจัยนี้พบว่า สมบัติและลักษณะของผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำมีความสัมพันธ์กับสถานะพลังงานที่ผิวสัมผัส และฟังก์ชันงาน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผิวสัมผัส Al/n-Si(100) Al/p-Si(100) Ni/n-Si(100) Ni/p-Si(100) Zn/n-Si(100) และ Zn/p-Si(100) เตรียมขึ้นโดยการระเหยโลหะที่ความดัน (6.0-8.0)x10^{-6} mbar ผิวสัมผัสเหล่านี้มีทั้งที่เป็นแบบเรกติไฟร์และแบบโอห์มมิก พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับ ค่าความต้านทานผิวสัมผัสสัมพันธ์กับเวลาในการทำแอนนีลที่อุณหภูมิ 450 C^{0} และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาแอนนีลเกิน 30 นาที

สามารถคำนวณความสูงกำแพงศักย์ของ Al/n-Si(100) Al/p-Si(100) Ni/n-Si(100) Ni/p-Si(100) Zn/n-Si(100) และ Zn/p-Si(100) เป็น 0.23 0.89 1.10 0.02 0.28 และ 0.84 eV ตามลำดับ ผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกใช้เวลาแอนนีล 20 และ 30 นาที ค่าความต้านทานผิวสัมผัสมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีค่าน้อยกว่าแอนนีลนาน 10 นาที ไม่มีปรากฏการณ์เทอร์มิโอนิก อิมิสชันในบริเวณผิวสัมผัส สำหรับผิวสัมผัสชนิดเรกติไฟร์แอนนีลนาน 20 และ 30 นาที ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิ่มย้อนกลับและค่าตัวประกอบอุดมคติมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของฐิตินัย แก้วแดง และงามนิตย์ วงษ์เจริญ(2540) แต่ไม่สอดคล้องงานวิจัยของ Subhash Chand และ Jittendra Kumar(1996) และงานวิจัยของ Abdel-Ltif (1999) และไม่สอดคล้องกับทฤษฎีเทอร์มิโอนิก อิมิสชัน

การศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำจะสอดคล้องกับทฤษีเทอร์มิโอนิก อิมิสชัน สำหรับงานวิจัยของ Bernede, Touihri และ Safoula (1998) ได้ค่า n อยู่ระหว่าง 3-30 งานวิจัยของ Safak, Sahin และ Yuksel (2002) ค่า n อยู่ระหว่าง 6.50-5.76 การวิจัยครั้งนี้ได้ค่า n ระหว่าง 3.42-19.54

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาผิวสัมผัสโลหะและซิลิกอนควรเตรียมในห้องปฏิบัติการที่สะอาด(clean room) เพราะความสะอาดบริเวณผิวสัมผัสส่งผลต่อลักษณะผิวสัมผัส ค่าความต้านทานผิวสัมผัส การเกิดเทอร์มิโอนิก อิมิสชัน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและ ค่า n

2. การศึกษาผิวสัมผัสโลหะและซิลิกอนควรเตรียมตัวอย่างที่ความดันไม่มากกว่า $1.0x10^{-6}$ mbar หรือต่ำกว่า ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีปริมาณออกซิเจนน้อยที่สุดที่บริเวณทำผิวสัมผัส

3. การทำผิวสัมผัสโอห์มมิกด้านหลังควรใช้วิธีการระเหยโลหะที่เป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกแทนการติดกาวเงิน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความหนาที่สม่ำเสมอ และควรทำเป็นขั้วเพื่อความสะดวกต่อการวัดสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า

4. การศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะและซิลิกอนนอกจากศึกษาด้านมหภาคดังกล่าวควรศึกษาด้านจุลภาคด้วย