บทที่ 1

บทนำ

การทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำทำให้ได้ศึกษาสมบัติของผิวสัมผัส วิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เช่น การเกิดชั้นระหว่างผิวสัมผัส (interfacial layer) ความสมดุลและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของผิวสัมผัส การนำไฟฟ้าของผิวสัมผัส เป็นต้น ทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความก้าวหน้ามากขึ้น

ในปี ค.ศ.1874 Braun ได้ทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำครั้งแรก และเป็นผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ (rectiflying contact) ต่อมามีการนำผลการค้นพบไปประยุกต์ใช้ จากนั้นก็ขยายไปสู่สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เช่น MOS MOSFET โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้มีการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์จากระดับมิลลิเมตรสู่ระดับนาโนเมตร

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่รับเอาความก้าวหน้าด้านโซลิดสเตทอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ โดยนำเข้าสินค้าประเภทนี้เป็นจำนวนมาก เช่น อุปกรณ์การสื่อสารและโทรคมนาคม เป็นต้น ยังขาดการคิดค้น ประดิษฐ์ และพัฒนาอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นใช้ภายในประเทศ ขณะเดียวกันภายในประเทศมีบุคลากรที่มีความสามารถด้านดังกล่าว ถ้าบุคลากรดังกล่าวร่วมกันวิจัย ประดิษฐ์ และพัฒนา จะทำให้ประเทศลดการนำเข้าอุปกรณ์เหล่านี้จากต่างประเทศ ทั้งมีส่วนช่วยในการฟื้นฟูและพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

แม้ว่ารัฐบาลจะมีการส่งเสริมการผลิตกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แต่นโยบายและยุทธ์ศาสตร์ของการพัฒนาด้านสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำยังไม่ชัดเจน การนำความรู้ทางวิชาการสู่ระดับอุตสากรรมสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำให้เกิดขึ้นในประเทศจึงยังอยู่ห่างไกล

แม้ว่าการทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับซิลิกอนไม่ได้เป็นความคิดใหม่ แต่สำหรับประเทศไทยซึ่งขาดการศึกษาทางด้านนี้อย่างลุ่มลึก ทั้ง ๆ ที่ เป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานด้านสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเพื่อนำไปสู่ระดับสูงขึ้น ด้วยสภาพของการทำสิ่งประดิษฐ์จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขพิเศษหลายอย่าง เช่น ความบริสุทธิ์ของสารในกระบวนการประดิษฐ์ ปริมาณสารเจือในสารกึ่งตัวนำ ความสะอาดห้องปฏิบัติการ การระเหยโลหะภายใต้ ความดันต่ำ เป็นต้น

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์ เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมาก แต่ละปีมีการค้นพบวัสดุใหม่ (new material) และนำไปใช้ผลิตเป็นสิ่งประดิษฐ์และอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย การพัฒนาวัสดุใหม่จะประสบผลสำเร็จหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับข้อเด่นของสมบัติของวัสดุนั้น ๆ (ดุสิต เครืองาม, 2535.)

การศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำมีทั้งสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี ทั้งทางด้านทฤษฎีและการทดลอง เช่น ลักษณะของผิวสัมผัส โครงสร้างผลึก โครงสร้างของผิวสัมผัส สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติเชิงกล (Quinn, 1992)

สมบัติทางไฟฟ้าของผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำเป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์กับผลต่างของฟังก์ชันงาน (work function) ของโลหะและสารกึ่งตัวนำ การเติมสารเจือ ชั้นระหว่างผิวสัมผัส สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดพฤติกรรมของพาหะนำประจุ (charge carrier) ของวัสดุ เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ อันตรกิริยาทางเคมีของคู่วัสดุที่ทำผิวสัมผัส ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากที่กล่าวแล้ว สมบัติของผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำสัมพันธ์กับระดับพลังงานของวัสดุทั้งสองที่ทำผิวสัมผัสและพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมวัสดุทั้งสอง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการกำหนดสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุชนิดใหม่

การทำผิวสัมผัสมีหลายวิธี เช่น วิธีเมตัลไลเซชัน (metalization) วิธีสปัตเตอริง (sputtering) วิธีเสปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) วิธีสกรีนพรินติ้ง(screen printing) (Bashar, 1998) กระบวนการเมตัลไลเซชันเป็นกระบวนการหนึ่งในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ด้วยวิธีการระเหยโลหะลงบนสารกึ่งตัวนำในระบบสุญญากาศ (vacuum evaporation) เพื่อทำผิวสัมผัสหรือสร้างขั้วไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์

ผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำมี 2 แบบ คือ แบบเรกติไฟร์ และแบบโอห์มมิก (ohmic contact) ผิวสัมผัสดังกล่าวมีการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งสัมพันธ์กับชนิดของสารกึ่งตัวนำ ค่าฟังก์ชันงานของโลหะ และของสารกึ่งตัวนำ

ผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์หรือแบบช็อตต์กี (Schottky) มีกราฟลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันไฟฟ้า (I-V characteristic) หรือลักษณะความหนาแน่นกระแส-แรงดันไฟฟ้า เหมือนของรอยต่อพี-เอ็น (pn junction) แต่การนำไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของพาหะนำประจุส่วนใหญ่ (majority carrier) โดยปรากฏการณ์เทอร์มิโอนิก อิมิสชัน (thermionic emission) ผิวสัมผัสชนิดนี้สามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ดีที่ความถี่สูง

ความสูงของกำแพงศักย์ช็อตต์กีเป็นผลอย่างหนึ่งของผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ สามารถหาได้จากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า สมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า (C-V characteristic) และโฟโตอิเล็กตรอน สเปกโตรสโคปี (photoelectron spectroscopy)

ผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกมีความสำคัญในการทำขั้วไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าสอดคล้องกับกฎของโอห์ม

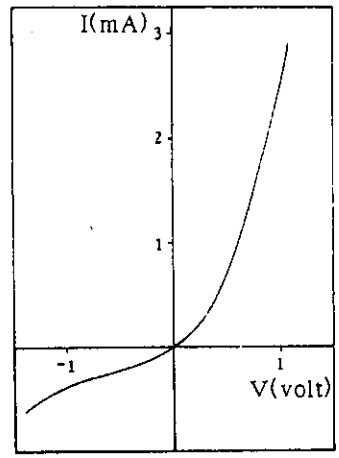
ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นิยมใช้ เจอร์เมเนียม (Ge) แกลเลียมอาร์ซีไนด์ (GaAs) และซิลิกอน (Si) เจอร์เมเนียมสามารถทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการไม่ซับซ้อน แต่มีความไวต่ออุณหภูมิที่ได้รับทำให้เกิดความไม่เสถียรของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์และกระแสรั่วมีค่าสูง (leakage current) (กรกฎ วัฒนวิเชียร, 2540) แกลเลียมอาร์ซีไนด์สามารถเป็นสวิตซ์ที่ดี แต่มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและราคาแพง ซิลิกอนมีความเสถียร ทำเป็นสวิทซ์ที่ดี แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานที่ความถี่สูง ปัจจุบันซิลิกอนมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก ตัวอย่างผิวสัมผัสระหว่างโลหะและซิลิกอนที่ใช้ทำขั้วสิ่งประดิษฐ์ เช่น Au/Si Bi/Si K/Si Ni/Si PtSi/n-Si เป็นต้น

การศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำในงานวิจัยนี้กำหนดโลหะ 3 ชนิด คือ อะลูมิเนียม (Al) นิเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ทำผิวสัมผัสโดยวิธีการระเหยโลหะภายใต้ความดันต่ำบนแว่นผลึกซิลิกอน ทั้งชนิดพี และชนิดเอ็น แล้วนำไปแอนนีล (annealing) ที่อุณหภูมิคงที่ ในช่วงเวลาต่างๆ ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส หาค่าความสูงกำแพงศักย์ ความต้านทานผิวสัมผัส และค่าตัวประกอบอุดมคติ (idealing factor : n)

การตรวจเอกสาร

ฐิตินัย แก้วแดง และงามนิตย์ วงษ์เจริญ (2540) ศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะอินเดียม (In) และโลหะผสมของอินเดียม(Indium alloys : In-Sn-Cd) กับสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์($CuInSe_2$) ทั้งชนิดพี และชนิดเอ็น แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{0}C ในบรรยากาศไนโตรเจนนาน 15 นาที ปรากฏเป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก ระหว่างอุณหภูมิไนโตรเจนเหลว (77 K) ถึงอุณหภูมิห้อง(300 K) วัดสภาพนำไฟฟ้าพบว่าพลังงานไอออนไนซ์ (ionize energy) ของระดับพลังงานสารเจือชนิดไม่บริสุทธิ์ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีมีค่าเท่ากับ 20 100 และ 414 meV และในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีค่าเท่ากับ 6 52 และ 410 meV สำหรับผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ใช้ลวดทองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 mm ต่อกับผิวสัมผัสเพื่อทำขั้ว ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าได้ความสูงของกำแพงศักย์ของผิวสัมผัส 0.54 eV

ภาพที่ 1 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส Au/n-$CuInSe_2$ ขณะไบแอสตรงและไบแอสกลับที่อุณหภูมิห้อง
(ที่มา : ฐิตินัย แก้วแดง และงามนิตย์ วงษ์เจริญ, 2540)



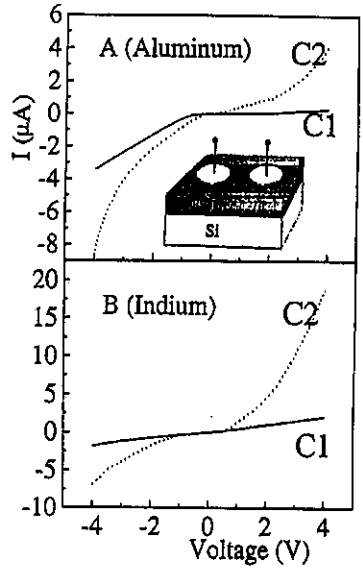
Vdovenkova, et al.(1999) ใช้ BEEM (ballistic electron emission microscopy) ศึกษาสมบัติไฟฟ้าของ PtSi/n-Si(100) ความหนาโลหะผสมค่าเฉลี่ย 2-3 nm ปรากฏความสูงของกำแพงศักย์มีค่าระหว่าง 0.734-0.829 eV และพบว่าความหนาของโลหะผสม PtSi เพิ่มขึ้น ความสูงของกำแพงศักย์ลดลง

Nur, et al. (1996) หาความสูงของกำแพงศักย์ของผิวสัมผัสระหว่าง Ir/p-Si Pt/p-Si Pd/p-Si และ Fe/p-Si ที่อุณหภูมิ 115 100 140 และ 190 K เป็น 0.230 0.245 0.340 และ 0.420 eV สัมพันธ์กับค่าตัวประกอบอุดมคติเป็น 1.10 1.13 1.35 และ 1.21 ตามลำดับ

Diligenti, et al.(1996) นำ Al และ In ทำผิวสัมผัสกับ porous n-Si ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัสทั้งที่แอนนีลและไม่แอนนีล ปรากฏกระแสไฟฟ้าผ่านผิวสัมผัสที่แอนนีลมากกว่าผิวสัมผัสที่ไม่แอนนีล โดยผิวสัมผัสกับ Al แอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{0}C นาน 90 นาที ลักษณะผิวสัมผัสเป็นแบบโอห์มมิก และผิวสัมผัสกับ In แอนนีลที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน 90 นาที สำหรับ In ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 2.1 μA เป็น 20 μA ลักษณะผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์

ภาพที่ 2 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส Al/n-Si และ In/n-Si ที่แอนนีล และไม่แอนนีล

(ที่มา : Diligenti, et al.,1996)



_____ C1 ไม่แอนนีล

..... C2 แอนนีล

Safak, Sahin และ Yuksel (2002) วิเคราะห์ลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส Ag/SnS และ Ag/p-SnSe ค่าแรงดันไฟฟ้าศึกษาระหว่าง –2 – 2 V ระหว่างอุณหภูมิ 293-323 K พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับมีค่าระหว่าง 9.514-8.740 A/m^2 และ 6.918-4.390 A/m^2 ค่า n มีค่าระหว่าง 6.50-6.54 และ 6.17-5.76 ค่าความสูงกำแพงศักย์ มีค่าระหว่าง 0.468 – 0.524 eV และ 0.495-0.564 eV ตามลำดับ

Hamdi (1997) ฉายแสงจากหลอดทังสเตนความเข้ม 1 W/m^2 ไปยังผิวสัมผัส Al/n-Si (100) Au/n-Si(100) และ Sn/n-Si (100) โดยเคลือบโลหะหนา 10 nm พบว่า ที่อุณหภูมิห้อง(300 K) เป็นเวลา 30 60 180 300 และ 600 วินาที ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัสเป็นแบบเรกติไฟร์ ความสูงกำแพงศักย์เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับเวลา นั่นคือ ในช่วงเวลาเริ่มต้น ความสูงกำแพงศักย์จะลดลงแบบแกว่งกวัดแล้วเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อนาน ๆ และ Hamdi (1997) ได้ศึกษาผิวสัมผัส Au/Si Al/Si และ Sn/Si ที่มีชั้นออกไซด์หนา 100 A^0 ระหว่างให้แสงไปตกกระทบผิวสัมผัส กระแสไฟฟ้าที่วัดได้เป็นปฏิภาคผกผันกับความสูงกำแพงศักย์ของผิวสัมผัส

ค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity : χ) และฟังก์ชันงานของโลหะ (ϕ_m) เป็นพารามิเตอร์ (parameter) ที่สำคัญในการศึกษาผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ Myburg, et al.(1998) หาความสูงกำแพงศักย์จากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า และความจุ-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส

ระหว่างโลหะ 43 ชนิด กับ n-GaAs(100) (มีสารเจือ Si $1x10^{16}/cm^3$) ด้วยวิธี OMVPE (organometallic vapour phase epitaxy) และหาความสูงกำแพงศักย์ของโลหะ 13 ชนิด กับ p-GaAs (มีสารเจือ Be $4x10^{14}/cm^3$) ด้วยวิธี MBE (molecule beam epitaxy) ผลการศึกษาดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาความสูงกำแพงศักย์จากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า และสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า ของโลหะ 43 ชนิด บน n-GaAs มีความหนาแน่นพาหะอิสระ $1x10^{16}/cm^3$

ชื่อโลหะ	ความสูงกำแพงศักย์ ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า (eV)	ความสูงกำแพงศักย์ ลักษณะสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า (eV)
Ag	0.99	0.98
Al	0.77	0.76
Au	0.92	0.92
Bi	0.88	0.89
Cd	0.82	0.82
Co	0.83	0.83
Cr	0.80	0.83
Cu	0.99	0.99
Er	0.74	0.73
Fe	0.83	0.84
Ga	0.59	0.60
Gd	0.75	0.74
Hf	0.81	0.82
Ho	0.7	0.74
Ir	0.90	0.91
In	0.67	0.68
Mg	0.62	0.64
Mn	0.82	0.83
Mo	0.87	0.87

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อโลหะ	ความสูงกำแพงศักย์ ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า (eV)	ความสูงกำแพงศักย์ ลักษณะสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า (eV)
Mg	0.62	0.64
Mn	0.82	0.83
Mo	0.87	0.87
Nb	0.77	0.79
Nd	0.76	0.75
Ni	0.83	0.83
Pb	0.86	0.86
Pd	0.93	0.93
Pr	0.76	0.75
Pt	0.99	0.99
Re	0.87	0.88
Rh	0.89	0.90
Ru	0.89	0.91
Sb	0.97	0.99
Sm	0.75	0.75
Sn	0.71	0.70
Ta	0.78	0.79
Tb	0.75	0.75
Ti	0.83	0.82
V	0.80	0.80
W	0.79	0.81
Y	0.71	0.70
Yb	0.67	0.67
Zn	0.81	0.81
Zr	0.77	0.77

ที่มา : Myburg, et al.,1998

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความสูงกำแพงศักย์จากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า และสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า ของโลหะ 13 ชนิด บน p-GaAs มีความหนาแน่นพาหะอิสระ $4x10^{14}/cm^3$

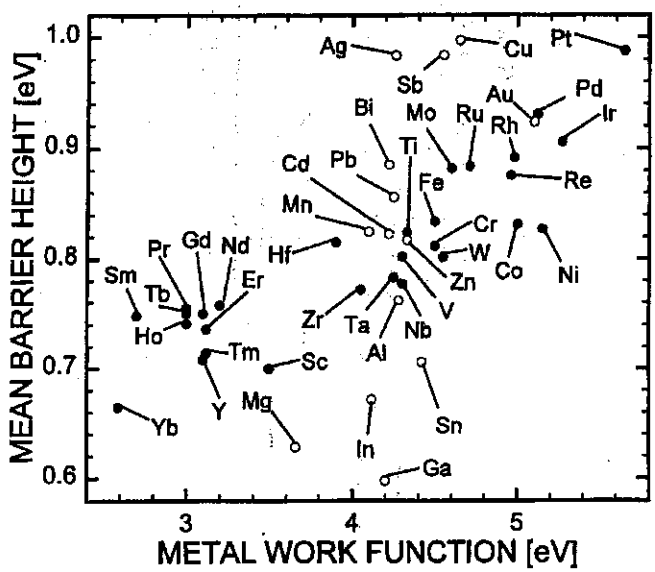
ชื่อโลหะ	ความสูงกำแพงศักย์ ลักษณะสมบติกระแส-แรงดันไฟฟ้า (eV)
Al	0.67
Er	0.73
Fe	0.60
Ga	0.83
Gd	0.70
Nd	0.77
Hf	0.62
Ru	0.51
Sc	0.75
Sm	0.75
Sn	0.73
Yb	0.78
Zr	0.65

ที่มา : Myburg, et al.,1998

นอกจากนี้ Myburg, et al.(1998) ได้รายงานค่าเฉลี่ยความสูงของกำแพงศักย์ สัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าฟังก์ชันงานของโลหะต่างๆ

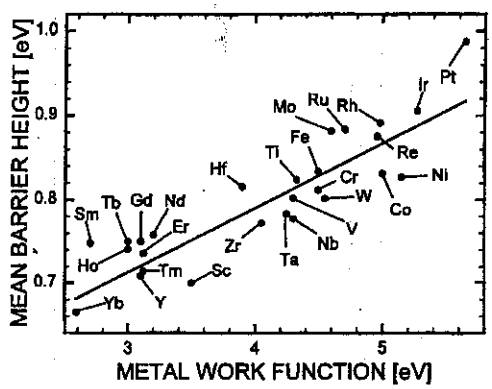
ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยความสูงกำแพงศักย์สัมพันธ์กับฟังก์ชันงานของโลหะ

(ที่มา : Myburg, et al.,1998)



ภาพที่ 4 แสดงแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความสูงกำแพงศักย์สัมพันธ์กับฟังก์ชันงานของโลหะ

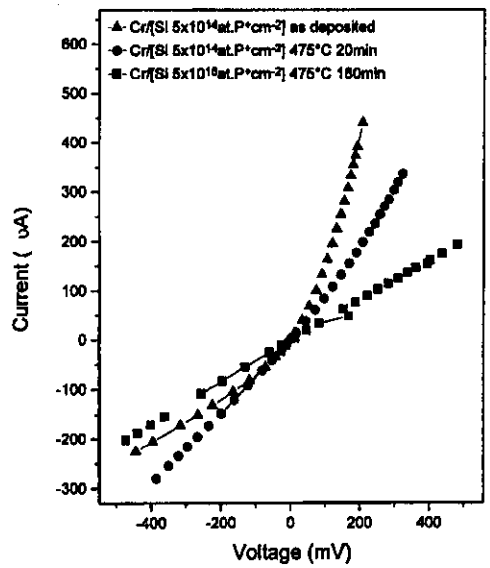
(ที่มา : Myburg, et al.,1998)



ผิวสัมผัสระหว่างโลหะทรานซิชันกับซิลิกอนเป็นคู่ผิวสัมผัสที่ได้รับการยอมรับในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้านการสร้างวงจรรวมชนิด VLSI (very large scale integration) และ ULSI (ultra large scale integration)โดยทำเป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก ดังนั้น Benouattas, et al. (1999) ได้ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของผิวสัมผัสระหว่าง Cr/p-Si (100) ด้วยวิธีการระเหยโครเมียมบนผิวซิลิกอนที่มีไอออนของฟอสฟอรัสฝังไว้ด้วยพลังงาน 40 keV ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัสที่ไม่ผ่านการแอนนีล ปรากฏเป็นผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ มีความสูงกำแพงศักย์ และค่า n เป็น 0.39 eV และ 1.85 ตามลำดับ ไม่สามารถทำให้เกิดโดยปรากฏการณ์

เทอร์มิโอนิก อิมิสชันได้ เมื่อแอนนีลที่อุณหภูมิ 475 ^{o}C นาน 20 และ 180 นาที ผิวสัมผัสดังกล่าวเปลี่ยนจากแบบเรกติไฟร์ไปเป็นโอห์มมิก

ภาพที่ 5 กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า ของผิวสัมผัส Cr/p-Si(100)
(ที่มา : Benouattas, et al.,1999)



การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของผิวสัมผัสแบบเรกติไฟร์ศึกษาด้วยกราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้า ถ้าศึกษาผิวสัมผัสนี้ด้วยลักษณะสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า ต้องใช้ความถี่สูง เพราะผิวสัมผัสแบบนี้ไม่ตอบสนองต่อความถี่ต่ำ Chattopadhyay (1996) ศึกษาลักษณะสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส Pt/n-Si ที่ความถี่ 1 kHz และ 10 MHz เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นค่าความจุไฟฟ้าเพิ่ม สำหรับผิวสัมผัส Co/n-Si ที่ระดับความถี่ 1 MHz ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 0.14 V จากนั้นมีค่าลดลง สำหรับระดับความถี่ 10 kHz ค่าความจุไฟฟ้าค่อยๆ เพิ่มขึ้นถึงระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน ค่าความจุไฟฟ้าจึงลาดลดลง Chattopadhyay (1998) นำความถี่ทั้งสองระดับศึกษาผิวสัมผัส Pt/p-strained Si ผลการศึกษาสอดคล้องกับผิวสัมผัสCo/n-Si

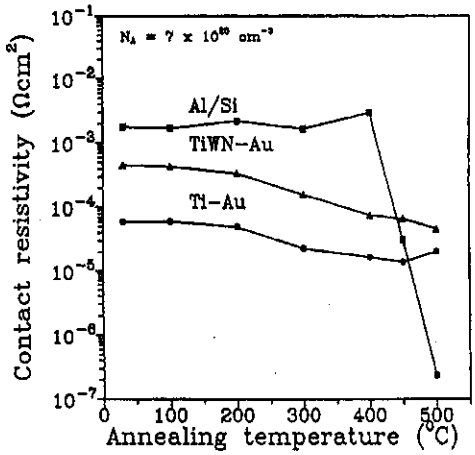
Pandey และ Kal (1998) ศึกษาผิวสัมผัส Al/p-Si แบบเรกติไฟร์จากกราฟลักษณะสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้า เปรียบเทียบกับการศึกษาผิวสัมผัสลักษณะเดียวกันของ Tseng และ Wu (1984) และการศึกษาของ Chattopadhyay (1996) ผลการศึกษามีความสอดคล้องที่ระดับความถี่ 10 kHz แต่ที่ระดับความถี่ 1 MHz ผลการศึกษาไม่สอดคล้อง

สาระสำคัญอย่างหนึ่งในทำสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้เป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก มีความต้านทานผิวสัมผัสต่ำ ค่านี้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และปริมาณสารเจือ ความต้านทานผิวสัมผัสเชิงพานิชย์มีค่าระหว่าง 10^{-5} – 10^{-6} Ω/cm^2 (Shin, et al., 2000) Werner, et al.

(1996) หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแอนนีลกับความต้านทานผิวสัมผัส Al/Si มีสารเจือโบรอน (boron) ขนาด $7x10^{20}$ cm^{-3} จากกราฟเซมิลอกการิทึม พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 25 – 400 ^{O}C ค่าความต้านทานผิวสัมผัสเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ช่วงอุณหภูมิ 400-500 ^{O}C ค่าความต้านทานผิวสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว พบว่าสารเจือที่เติมในสารกึ่งตัวนำเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ความต้านทานผิวสัมผัส Al/Si ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

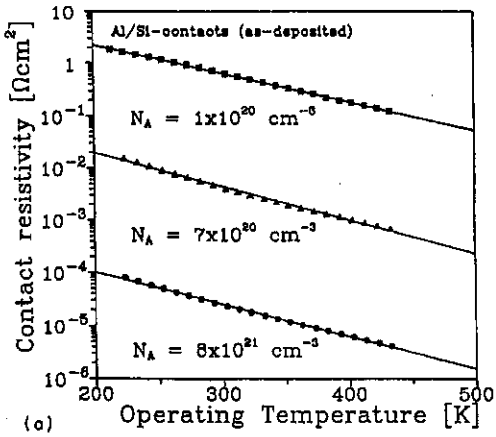
ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานผิวสัมผัสกับอุณหภูมิ

(ที่มา : Werner, et al.,1996)

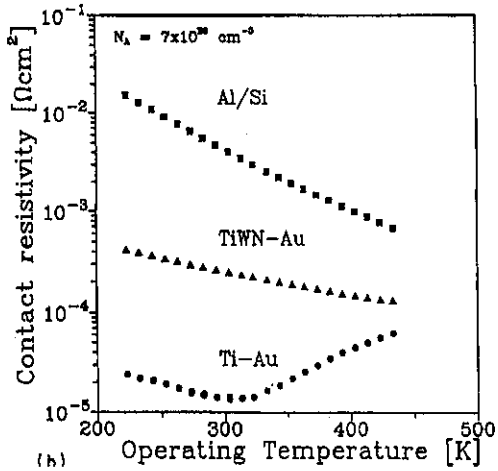


ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของความต้านทานผิวสัมผัสกับอุณหภูมิ เมื่อเติมสารเจือปริมาณต่าง ๆ

(ที่มา : Werner, et al.,1996)

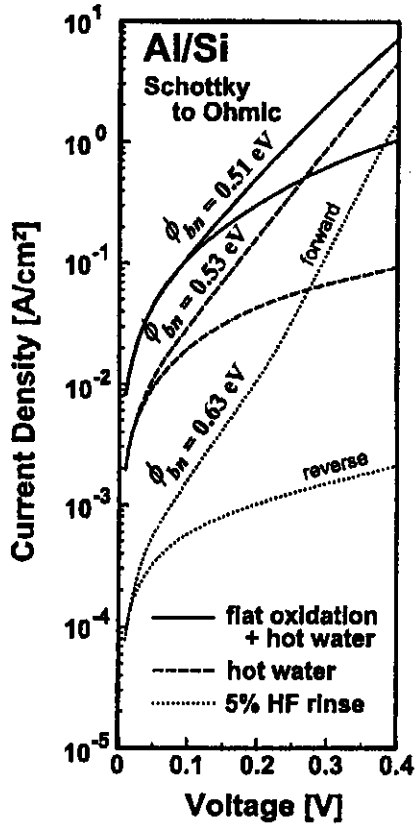


ภาพที่ 8 แสดงความต้านทานผิวสัมผัส Al/Si สัมพันธ์อุณหภูมิ เมื่อเติมสารเจือ
(ที่มา : Werner, et al.,1996)



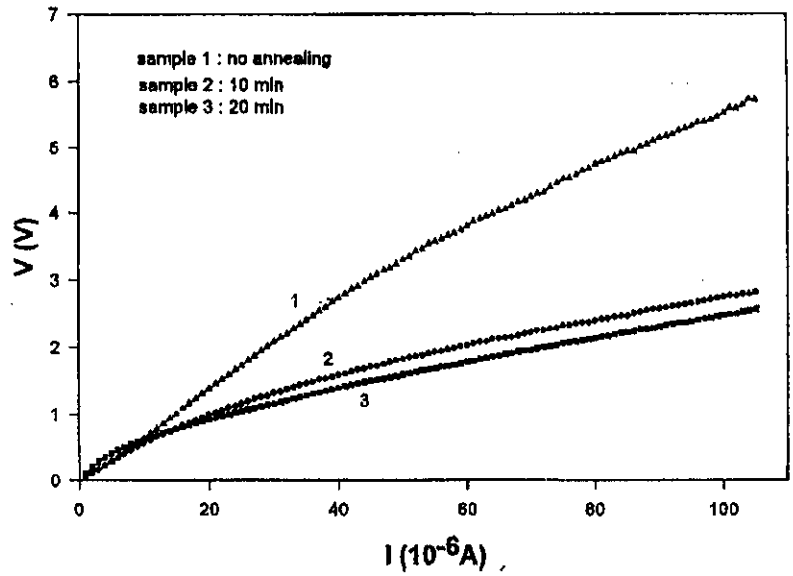
ผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ มี 2 แบบดังกล่าว ผิวสัมผัสจะเป็นแบบใด เป็นลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันงานโลหะเปรียบเทียบกับฟังก์ชันงานสารกึ่งตัวนำ การนำไปประยุกต์ต้องพิจารณาแบบผิวสัมผัส สำหรับความสูงกำแพงศักย์ silicide/n-Si มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.9 eV (Sze, 1981) Hamdi (1997) ศึกษาได้สอดคล้องกับค่าดังกล่าว สำหรับ silicide/p-Si Temircl, et al. (2001) ได้ศึกษาและรวบรวมไว้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 - 0.70 eV Nur, et al. (1996) วัดความสูงกำแพงศักย์ได้ 0.230 - 0.420 eV และ Benouattas, et al.(1999) วัดได้ 0.39 eV Hara, et al. (1997) สามารถกำหนดแบบผิวสัมผัส Al/Si โดยควบคุมความหนาแน่นและจำนวนประจุไฟฟ้าของสถานะระหว่างผิวสัมผัส (interfacial state) ด้วยวิธีการเตรียมผิวสัมผัสโดยการทำความสะอาดนำสารกึ่งตัวนำด้วยกรดไฮโดรฟูริก (HF) ด้วยปริมาณสารละลายร้อยละ 5 แช่นาน 1 นาที หรือนำไปแช่ในน้ำร้อนนาน 10 นาที เคลือบ Al ที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าไม่ผ่านกระบวนการแอนนีล ได้ค่ากำแพงศักย์ระหว่าง 0.51-0.63 eV

ภาพที่ 9 แสดงค่าความสูงกำแพงศักย์ที่เกิดจากการทำความสะอาดผิว Si วิธีต่าง ๆ ก่อนเคลือบ Al (ที่มา : Hara, et al.,1997)



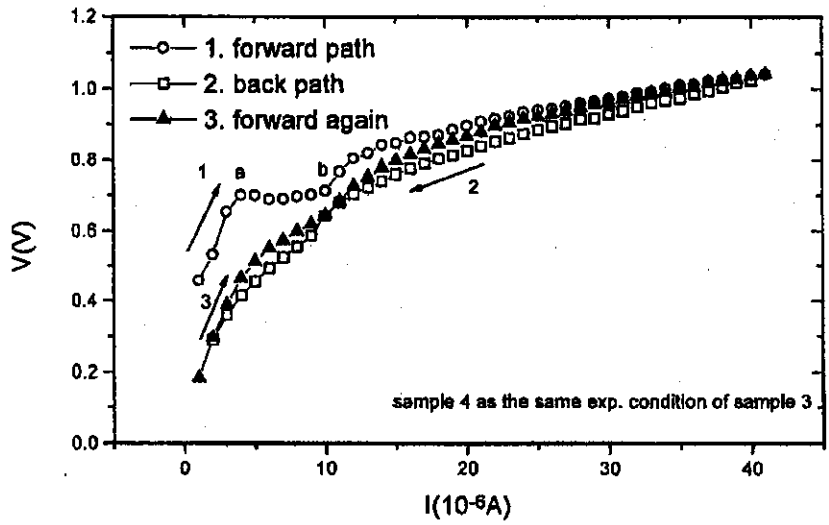
Young, Chang, และ Ueng (1998) ศึกษาปรากฏการณ์การแอนนีลฟิล์ม Au หนา 100 A^0 เคลือบด้วยวิธี ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง (DC magnetron sputtering) บน n-Si(100) แอนนีลที่อุณหภูมิ 200 ^oC นาน 10 20 และ 40 นาที วิเคราะห์ผิวสัมผัสระดับจุลภาคด้วย FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) และ AFM (atomic force microscopy) ปรากฏว่าแสงอินฟราเรด (IR) สามารถผ่านได้เป็นสัดส่วนกลับกับเวลาการแอนนีล และนำตัวอย่างเปรียบเทียบกราฟลักษณะสมบัติกระแส- แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัสก่อนและหลังการแอนนีล การแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 ^oC นาน 20 นาที สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์เจาะอุโมงค์ (tunneling) เกิดขึ้น สำหรับการแอนนีลนาน 40 นาที ความต้านทานเพิ่มขึ้นมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อกระแสเพิ่มเป็น 0.06 mA เกิดการเบรคดาวน์

ภาพที่ 10 ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของฟิล์มบาง Au/Si ความหนา 100 A^0 ไม่ผ่านแอนนีล และแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 ^oC นาน 10 และ20 นาที (ที่มา : Young, Chang, and Ueng, 1998)

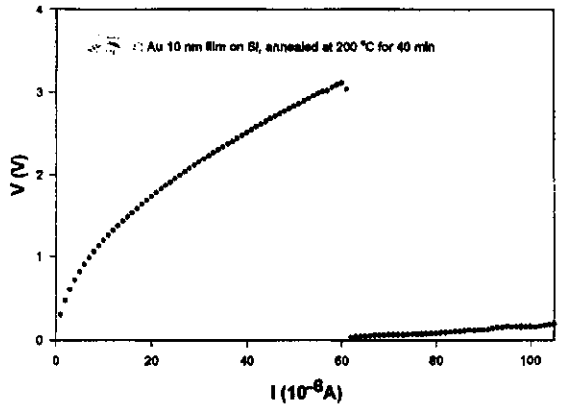


ภาพที่ 11 ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของฟิล์มบาง Au/Si ความหนา 100 A^0 แอนนีลที่อุณหภูมิ 200 ^oC นาน 20 นาที ที่จุด a และ b เกิดปรากฏการณ์การเจาะอุโมงค์

(ที่มา : Young, Chang, and Ueng, 1998)

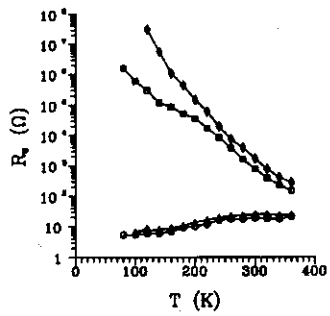


ภาพที่ 12 ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของฟิล์มบาง Au/Si ความหนา 100 A^0แอนนีลที่อุณหภูมิ 200 ^{0}C นาน 40 นาที เกิด avalanche break down (ที่มา : Young, Chang, and Ueng, 1998)



Horvath, et al. (1998) ศึกษาความต้านทานของผิวสัมผัส Al/p-Si(111) เตรียมด้วยวิธี ionised cluster beam แอนนีลช่วงอุณหภูมิ 80-360 K พบว่า ผิวสัมผัส Al/p-Si(111) แอนนีลที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200 K ทำความสะอาดผิวสัมผัสหรือไม่ก็ตาม ความต้านผิวสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว ความต้านทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สำหรับผิวสัมผัสที่ไม่ผ่านแอนนีล ทำความสะอาดผิวหรือไม่ตาม ความต้านทานของผิวสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

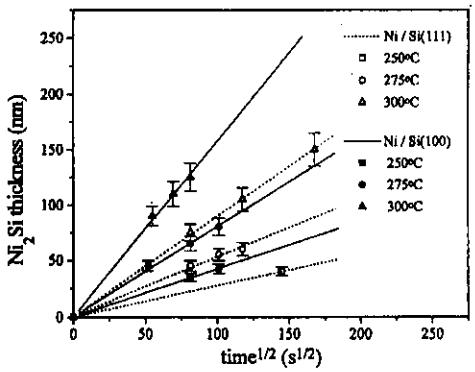
ภาพที่ 13 เปรียบเทียบความต้านทานผิวสัมผัสของ Al/p-Si ที่ผ่านแอนนีล ที่ทำความสะอาดผิวกับไม่ทำความสะอาดผิว
(ที่มา : Horvath, et al.,1998)



▲ ผ่านการแอนนีล ไม่ทำความสะอาดผิวหน้า
○ ผ่านการแอนนีล ทำความสะอาดผิวหน้า
□ ไม่ผ่านการแอนนีล ไม่ทำความสะอาดผิวหน้า
◇ ไม่ผ่านการแอนนีล ทำความสะอาดผิวหน้า

Jardim, Acchar และ Losch (1999) ทำผิวสัมผัส Ni/p-Si(100) แอนนีลที่อุณหภูมิ 250 275 และ 300 ^{o}C นาน 30 นาที และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ ศึกษาผิวสัมผัสด้วย XRD AES และ TEM ปรากฏความหนาของซิลิไซด์สัมพันธ์กับเวลาที่แอนนีลและอุณหภูมิเป็นลักษณะเชิงเส้น

ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มกับเวลาการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างๆ (ที่มา : Jardim, Acchar and Losch ,1999)



การทำผิวสัมผัสภายใต้ความดันอากาศต่ำ (UHV < 10^{-9} Torr) การทำสุญญากาศในแต่ละครั้งจะมีอากาศอยู่ภายในหลงเหลืออยู่ เหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีออกซิเจนบริเวณผิวสัมผัส ทำให้ผลการศึกษาผิวสัมผัสทางทฤษฎีแตกต่างกับผลการทดลอง (Sze, 1981) Mascaraque, et al.(1997) ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเจนกระทำระหว่างผิวสัมผัส K/p-Si(100)2x1 ด้วยวิธีการให้ปลดปล่อยแสง (photoemission) ที่ระดับแกนกลาง วิเคราะห์ข้อมูลลำดับค่าออกซิเดชัน (oxidation) พบความแตกต่างองค์ประกอบชั้นแกนของ p-Si ที่ระดับ 2p สนับสนุนความไม่ชัดเจนของอะตอมที่มีความสัมพันธ์กับสถานะออกซิเดชัน และลักษณะตรงกันข้ามอะตอมของ K ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและซิลิกอนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ปรากฏส่วนประกอบที่บกพร่องขึ้นหลังจากรับออกซิเจน อะตอมของ K ลดทอนรูปแบบการรวมตัวกับส่วนประกอบออกไซด์ใหม่ที่ระดับ Si 2p ปรากฏเป็นค่าพลังงานยึดเหนี่ยวมีรูปแบบเป็น K-Si-O

Ichinohe, Nozaki, และ Morisaki (1996) ศึกษาแสงช่วงตามองเห็นที่ถูกปล่อยออกมาจากผิวสัมผัส Pt/p-Si(100)(ชนิด porous) เคลือบเป็นฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริงมีความหนา 300-500 A^{0} แบ่งตัวอย่าง 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 แอนนีล 3 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 200 300 และ 800 ^{0}C นาน 10 10 และ 5 นาที ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 แอนนีล 4 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 ^{0}C นาน 30 นาที และแอนนีลที่อุณหภูมิ 700 ^{0}C นาน 20 นาที ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลทางเคมีด้วยวิธี ESCA (electron spectroscopy of chemical analysis) ได้ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของ Pt ที่ระดับ $4f_{7/2}$ ใน Pt

Pt_2Si และ PtSi เป็น 71 72.5 และ 73 eV ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส PtSi /p-Si(100) ชนิดผิวสัมผัสเป็นแบบโอห์มมิก

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผิวสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำในระดับจุลภาค เช่น Wiame, et al. (1999) ใช้ STM ศึกษาผิวสัมผัสของ Te/Si(100) สามารถแสดงรายละเอียดอะตอมถึงระดับ 1 ML (ML : monolayer = 6.78 x 10^{14} atom/cm^2) สำหรับระดับนาโนเมตร Zang, et al. (1996) ศึกษาโครงสร้างทางไฟฟ้าของผิวสัมผัส Sm/Si(100) โดยใช้แสงซินโครตรอน (synchrotron radiation) ปรากฏเสปกตรัมของ Si ที่ระดับ 2p เป็นส่วนหนึ่งของระดับพลังงานของ Sm ที่ระดับ 135 eV

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อศึกษาการทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับซิลิกอนโดยวิธีการระเหย
2. ศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของผิวสัมผัส
3. หาค่าความต้านทานของผิวสัมผัส(contact resistance)