

การศึกษาโดยการทดลอง เรื่องลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า
ของผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับแว่นผลึกซิลิกอน



นายสมบูรณ์ จงชัยกิจ

005219

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๓


Experimental study on electrical characteristics
of metal - silicon contacts

Mr. Somboon Chongchaikit


A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโดยการทดลอง เรื่องลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของผิวสัมผัสระหว่าง
 โลหะกับแว่นผลึกซิลิกอน
โดย นายสมบุรณ์ จงชัยกิจ
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว

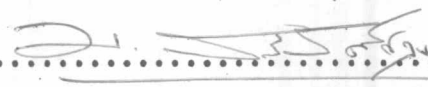
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ ชุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน เวทย์วัฒนะ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)


.....กรรมการ
(ดร.มนูญ อร่ามรัตน์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโดยการทดลอง เรื่องลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของผิวสัมผัสระหว่าง
 โลหะกับแว่นผลึกซิลิกอน

ชื่อผู้ผลิต นายสมบูรณ์ จงชัยกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2522



บทคัดย่อ

การทำวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผิวสัมผัสแบบเรคตีฟายอิง และผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก การศึกษาเรื่องผิวสัมผัสแบบเรคตีฟายอิงนั้นเลือกใช้การวิเคราะห์จากตัวอย่างที่มีโครงสร้างแบบซีดท์ ไคโอคที่มี guard ring ส่วนผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกเลือกใช้การทดลองแบบ Transmission Line Model method โลหะที่ใช้ทำผิวสัมผัสได้แก่ อลูมิเนียม ทอง เงิน ดีบุก และนิกเกิล แว่นผลึกที่ใช้ คือ แว่นผลึกซิลิกอน ผิวสัมผัสทั้งหมดทำโดยวิธีระเหยไอโลหะในสภาวะสุญญากาศประมาณ 5×10^{-6} ทอร์ ยกเว้นผิวสัมผัสระหว่างระหว่างนิกเกิลกับแว่นผลึกซิลิกอนซึ่งทำโดยวิธีชุบแว่นผลึกในสารละลายเกลือของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 80° เซลเซียส นอกจากนั้นยังได้ทดลองอบความร้อนผิวสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับแว่นผลึกซิลิกอนที่อุณหภูมิ 300° - 600° เซลเซียส นาน 20 นาที เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติของผิวสัมผัสดังกล่าว

ผลการวิจัยแสดงว่าขณะทำการฉาบไอโลหะจะเกิด interfacial layer ที่บริเวณผิวสัมผัสอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ interfacial layer จะทำให้ลักษณะสมบัติของผิวสัมผัสเลวลงกล่าวคือ 1. ลักษณะสมบัติของผิวสัมผัสแบบเรคตีฟายอิงต่างไปจากอุดมคติดังผลการทดลองที่พบว่า กระแสไบอัสย้อนแปรตามแรงดันไบอัสและกระแสไบอัสตามมีค่าต่ำลง 2. ผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกมีค่าความต้านทานสูง

การอบความร้อนทำให้อิทธิพลของ interfacial layer ลดลง อลูมิเนียมเป็นโลหะที่เหมาะสมที่สุดในการทำผิวสัมผัสกับแว่นผลึกซิลิกอน เนื่องจากเมื่ออบความร้อนอลูมิเนียมแพร่ซึมเข้าไปในแว่นผลึกซิลิกอนได้น้อยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบความร้อนไม่สูงนัก เพราะ eutectic temperature

มีค่าต่ำพอสมควร นอกจากนั้นอลูมิเนียมยังหาได้ง่ายและราคาถูก เจือไนในการอบความร้อน
ผิวสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับแว่นผลึกซิลิกอนที่เหมาะสม คือ อบความร้อนที่อุณหภูมิ 550° - 600°
เซลเซียส นาน 20 นาที

ส่วนผิวสัมผัสระหว่างนี้เกิดกับแว่นผลึกซิลิกอนที่ทำขึ้นโดยวิธีชุบโลหะนั้น ปรากฏว่าแรงยึด
เกาะของชั้นโลหะกับแว่นผลึกซิลิกอนไม่แน่นพอ จึงยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จนกว่าจะมีการ
ปรับปรุงให้คุณสมบัติทางแมคานิกส์ดังกล่าวดีขึ้น

Thesis Title Experimetal Study on Electrical Characteristics of Metal -
 Silicon Contacts

Name Mr.Somboon Chongchaikit

Thesis Advisor Assistant Professor Somsak Panyakeow, Ph.D.

Department Electrical Engineering

Academic Year 1979

ABSTRACT

Two types of metal - silicon contacts, i.e. rectifying and ohmic contacts, were investigated. Rectifying contacts were prepared by using Schottky diode with diffused guard ring structure. Transmission Line Model method with three - point contact configuration was applied to ohmic contacts. Various kinds of metal, e.g. aluminium, gold, silver, tin and nickel were used. Most of the contacts were fabricated by evaporation of metal onto silicon wafers in vacuum at about 5×10^{-6} Torr., except nickel - silicon which were prepared by electroless plating method. Study on the heat treatment effect on aluminium - silicon contacts were carried on at temperature 300° - 600° C for 20 minutes.

The experimental results imply that there occurred an interfacial layer during contact formation. The interfacial layer degraded the following characteristics :- 1. The saturation current varying with reverse bias and smaller forward current of rectifying contacts were observed. 2. Ohmic contacts showed high contact resistances.

The effect of interfacial layer is decreased by sintering. The most appropriate metal for metal - silicon contacts is aluminium because

of its low diffusivity and low eutectic temperature. Aluminium is plentiful and low - cost, as well. The best sintering condition for aluminium - silicon contact is 550°- 600°C for 20 minutes.

The adhesive force of nickel to silicon wafers, prepared by electroless plating, is weak. Further development is required for future utilization.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือแนะนำจาก ผศ. ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว แห่งภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้ให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ ในขณะดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆอย่างดียิ่ง อีกทั้ง ผศ. ดร.สุทิน เวทย์วิมลนะ และ ดร.มณูญ อร่ามรัตน์ ผู้ให้คำปรึกษาทางด้านวิธีการใช้เครื่องมือในการวิจัยและตอบปัญหาทฤษฎีบางส่วน อ.ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร และ Mr. Pierre Bernoux ผู้ช่วยแปลเอกสารภาษาฝรั่งเศสให้ผู้วิจัยอย่างละเอียด นอกจากนี้อาจารย์ทั้งสี่ท่านยังได้ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องบางประการและให้กำลังใจผู้ทำการวิจัยมาตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาไฟฟ้าที่มีส่วนช่วยเหลือในการทดลองและงานธุรการต่างๆด้วยดี



สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ฉ |
| กิตติกรรมประกาศ | ช |
| รายการรูปประกอบ | ฉ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 2. ผิวนำสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ | 4 |
| 2.1 แบบจำลองในการพิจารณาผิวนำสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ | 4 |
| 2.2 ปรากฏการณ์ Image - Force | 13 |
| 3. การเคลื่อนที่ของพาหะผ่านผิวนำสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ | 15 |
| 3.1 กระบวนการต่างๆที่กำหนดค่ากระแสเมื่อผิวนำสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำถูกไบอัสตาม (Forward bias) | 15 |
| 3.2 ลักษณะสมบัติของผิวนำสัมผัส ทางด้านไบอัสย้อน (Reverse bias) ... | 25 |
| 3.3 ผลของ Interfacial layer | 27 |
| 3.4 ผลของอุณหภูมि | 28 |
| 4. การทำผิวนำสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำในแง่ปฏิบัติ | 29 |
| 4.1 วิธีการทำผิวนำสัมผัส | 29 |
| 4.2 การทำผิวนำสัมผัส แบบโอห์มมิก | 31 |
| 4.3 ผลของการอบความร้อน | 34 |
| 5. วิธีการวิเคราะห์ผิวนำสัมผัสแบบต่างๆ | 36 |
| 5.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของผิวนำสัมผัสแบบเรกติฟายอิง | 36 |
| 5.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของผิวนำสัมผัสแบบโอห์มมิก | 39 |
| 6. การทดลอง | 48 |



| | หน้า |
|--|------|
| 6.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผิวสัมผัสแบบเรคตีฟายอิง | 48 |
| 6.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผิวสัมผัสแบบโอบมมิก | 55 |
| 6.3 เงื่อนไขในการอบความร้อน | 59 |
| 7. ผลการทดลอง | 62 |
| 7.1 ผิวสัมผัสระหว่างแว่นผลึกซิลิกอนกับอลูมิเนียม | 62 |
| 7.2 ผิวสัมผัสระหว่างแว่นผลึกซิลิกอนกับทอง | 65 |
| 7.3 ผิวสัมผัสระหว่างแว่นผลึกซิลิกอนกับเงิน | 68 |
| 7.4 ผิวสัมผัสระหว่างแว่นผลึกซิลิกอนกับดีบุก | 71 |
| 7.5 ผิวสัมผัสระหว่างแว่นผลึกซิลิกอนกับนิกเกิล | 74 |
| 7.6 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติของผิวสัมผัสฯ หลังจากอบความร้อน . | 76 |
| 8. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 80 |
| เอกสารอ้างอิง | 82 |
| ภาคผนวก | 87 |
| ประวัติ | 92 |

รายการรูปประกอบ

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.1 | แถบพลังงานของวัตถุเมื่ออยู่แยกกัน | 5 |
| 2.2 | Dangling bond บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำ | 5 |
| 2.3 | แถบพลังงานของผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด P | 7 |
| 2.4 | แถบพลังงานของผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด N | 7 |
| 2.5 | แถบพลังงานของผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่มี Interfacial layer กั้นกลาง | 8 |
| 2.6 | แถบพลังงานของผิวสัมผัสฯ กรณีระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำราบ | 10 |
| 3.1 | ขบวนการที่ประกอบเป็นกระแสขณะผิวสัมผัสฯ ถูกไบอัสตาม | 15 |
| 3.2 | การเคลื่อนที่ผ่าน Barrier ของอิเล็กตรอนขณะผิวสัมผัสถูกไบอัสตาม ... | 21 |
| 3.3 | การเคลื่อนที่ผ่าน Barrier ของอิเล็กตรอนขณะผิวสัมผัสถูกไบอัสย้อน ... | 26 |
| 3.4 | ลักษณะสมบัติของซีดกัไดโอดที่มีความหนาอีกไซด์ต่างกัน | 27 |
| 4.1 | รูปร่างซึ่งช่วยในการให้คำจำกัดความค่า Sheet resistance | 31 |
| 4.2 | ความสัมพันธ์ระหว่าง ρ_c กับ N_d ของสารกึ่งตัวนำชนิด N | 34 |
| 5.1 | ผลการคำนวณหาค่า $F(V)$ | 37 |
| 5.2 | โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบ npn ซึ่งประกอบด้วยผิวสัมผัสแนวตั้ง และผิวสัมผัสแนวนอน | 40 |
| 5.3 | โครงสร้างของตัวอย่างในการทดลองแบบ Twin Contact method | 40 |
| 5.4 | โครงสร้างของตัวอย่างในการทดลองแบบ Differential method | 41 |
| 5.5 | โครงสร้างของตัวอย่างและวิธีหาค่า V_0 ในการทดลองแบบ Extrapolation method | 43 |
| 5.6 | โครงสร้างของตัวอย่างและกราฟในการทดลองแบบ Interface probing method | 44 |
| 5.7 | โครงสร้างของตัวอย่างในการทดลองแบบ Transmission line model method | 45 |

| | | |
|-------------|---|-------|
| 6.1 | โครงสร้างของตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง | 50 |
| 6.2 | ตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง | 51 |
| 6.3 | Mask เบอร์ 1 และรายละเอียดของสัคส่วน | 52 |
| 6.4 | Mask เบอร์ 2 และรายละเอียดของสัคส่วน | 52 |
| 6.5 | Mask เบอร์ 3 และรายละเอียดของสัคส่วน | 53 |
| 6.6 | Mask เบอร์ 4 และรายละเอียดของสัคส่วน | 53 |
| 6.7 | โครงสร้างของตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก | 56 |
| 6.8 | ตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบโอห์มมิก | 57 |
| 6.9 | Mask เบอร์ 5 และรายละเอียดของสัคส่วน | 58 |
| 6.10 | Mask เบอร์ 6 และรายละเอียดของสัคส่วน | 58 |
| 6.11 | โครงสร้างและตัวอย่างในการวิจัยเงื่อนไขในการอบความร้อน | 61 |
| 7.1 - 7.32 | ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของตัวอย่างในการวิจัยแบบ โอห์มมิกและแบบเรคติฟายอิง | 62-73 |
| 7.33 - 7.36 | ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของตัวอย่างในการวิจัยเงื่อนไข ในการอบความร้อน | 76 |
| 7.37 | การเปลี่ยนแปลงของผิวสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับแว่นผลึกซิลิกอนเมื่อทำการ อบความร้อน | 77 |