

การศึกษาผิวสัมผัสไอห่มมิกของแกลเลียมอาร์เซไนด์

นาย สมชัย รัตนธรรมพันธ์



วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-568-604-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014161

117420287

A Study of Ohmic Contacts to Gallium Arsenide

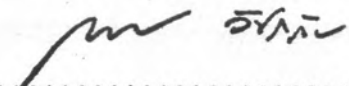
Mr. Somchai Ratanathamphan

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

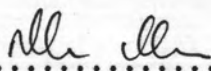
1988

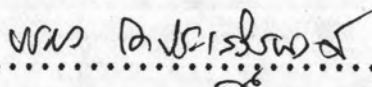
หัวข้อวิทยานิพนธ์ . การศึกษาผิวสัมผัสไอห่มมิกของแกลเลียมอาร์เซไนด์
โดย นายสมชัย รัตนธรรมพันธ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. บรรยง โตประเสริฐวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล อันตรเสน

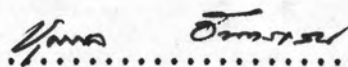
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

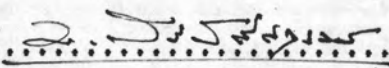

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. บรรยง โตประเสริฐวงศ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล อันตรเสน)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)



พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สมชัย รัตนธรรมพันธ์ : การศึกษาผิวสัมผัสโอห์มิกของแกเลียมอาร์เซไนด์
(A STUDY OF OHMIC CONTACTS TO GALLIUM ARSENIDE) อ.ที่ปรึกษา :
รศ.ดร.บรรายง โดประเสริฐพงศ์, 66 หน้า

จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาพื้นฐานของวิธีการสร้างผิวสัมผัสโอห์มิกของแกเลียม-อาร์เซไนด์

ผลการทดลองพบว่าผิวสัมผัสโอห์มิกของแกเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็นใช้โครงสร้าง Ni (200 Å)/Au-Ge (300 Å)/GaAs ($n^+ \approx 3 \times 10^{18}$ /ลบ.ซม.) มีค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสต่ำสุด 3.36×10^{-6} โอห์ม-ตร.ซม. เมื่อได้ผ่านการแอนนیلที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที และผิวสัมผัสโอห์มิกของแกเลียมอาร์เซไนด์ชนิดพีในโครงสร้าง Au-Zn (2000 Å)/GaAs ($p^+ \approx 2 \times 10^{18}$ /ลบ.ซม.) มีค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสต่ำสุดคือ 8.22×10^{-5} โอห์ม-ตร.ซม. เมื่อได้ผ่านการแอนนیلที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 นาที ตัวอย่างที่ผ่านการแอนนیلในเงื่อนไขที่เหมาะสมจะมีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของผิวสัมผัสเป็นเชิงเส้น ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนิล

สุดท้ายนี้ของการวิจัยนี้ได้นำผลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้งานในการสร้างไดโอดที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ เพื่อสาธิตประโยชน์ของความรู้ี้ในกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ดร.บรรายง โดประเสริฐพงศ์*

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

SOMCHAI RATANATHAMMAPHAN : A STUDY OF OHMIC CONTACTS TO GALLIUM ARSENIDE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.DR.BANYONG TOPRASERTPONG, Dr.Eng. 66 PP.

This study was to investigate the foundametal of GaAs ohmic contacts fabriction.

It was found that the ohmic contacts to n-GaAs in structure of Ni (200 Å)/Au-Ge (300 Å)/GaAs ($n^+ \approx 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) has the minimum specific contacts resistance $3.36 \cdot 10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$ when annealed at 475°C for 2 min., and the ohmic contacts to p-GaAs in structure of Au-Zn (2000 Å)/GaAs ($p^+ \approx 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) has the minimum specific contacts resistance $8.22 \cdot 10^{-5} \text{ ohm-cm}^2$ when annealed at 500°C for 6 min. The I-V characteristics of contacts become linear when they were annealed under appropriate conditions. This result indicates the dependence of specific resistivity of contacts on temperature and time of annealing.

Finally, the knowledge of this study was applied to fabrication of GaAs diode to demonstrate its usefulness in semiconductor device processing.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พร อภิสรุพ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีภายใต้ความช่วยเหลือและคำแนะนำของ
รศ.ดร. บรรยง โตประเสริฐวงศ์ และ ผศ.ดร. ชุมพล อंतरเสน แห่งภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางที่เป็น
ประโยชน์ในการดำเนินงานอย่างดียิ่ง นอกจากนี้ท่านอาจารย์ทั้งสองยังได้ช่วยแก้ไขข้อ
บกพร่องบางประการและให้กำลังใจในการศึกษาในหัวข้อนี้มาตลอด จึงขอขอบพระคุณ
มา ณ. ที่นี้

ทำยนี้ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิจัย
สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณศุภโชค ไทยน้อย ที่มีส่วน
ช่วยเหลือในการนี้เป็นอย่างดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ลักษณะสมบัติของผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ.....	5
2.1 แบบจำลองของช็อคตต์กี.....	5
2.2 แบบจำลองของบาร์ดีน.....	9
2.3 แบบจำลองที่เสนอโดย Cox และ Sze.....	10
บทที่ 3 กลไกการเคลื่อนที่ของพาหะในผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ.....	14
3.1 กลไก Thermionic emission.....	14
3.2 กลไก Field emission และ Thermionic emission.....	16
3.3 อิทธิพลของกลไกการเคลื่อนที่ของพาหะในผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ ต่อลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของผิวสัมผัส.....	17
3.3.1 กลไก Field emission.....	17
3.3.2 กลไก Thermionic-field emission.....	18
3.3.3 กลไก Thermionic emission.....	18
3.4 ค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ.....	20
3.4.1 สำหรับกลไก Field emission ในเงื่อนไข $E_{00} \gg kT$	20
3.4.2 สำหรับกลไก Thermionic-field emission ในเงื่อนไข $E_{00} \approx kT$	21
3.4.3 สำหรับกลไก Thermionic emission ในเงื่อนไข $E_{00} \ll kT$	21

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4	วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัส.....	24
4.1	วิธีของ Cox และ Strack.....	24
4.2	วิธี Four-Point contacts.....	27
4.3	วิธี Schockley technique.....	28
4.4	วิธี Transmission line model (TLM).....	29
บทที่ 5	การเตรียมผิวสัมผัสโอห์มมิก.....	34
บทที่ 6	ผลการทดลอง.....	41
6.1	ผิวสัมผัสของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็นและโลหะผสมทอง-เจอร์เมเนียม [โครงสร้าง Ni/Au-Ge/n-GaAs].....	41
6.2	ผิวสัมผัสของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดพีและโลหะผสมทอง-สังกะสี [โครงสร้าง Au-Zn/p-GaAs].....	46
บทที่ 7	การอภิปรายผลการทดลอง.....	49
7.1	ผิวสัมผัสของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็นและโลหะผสมทอง-เจอร์เมเนียม [โครงสร้าง Ni/Au-Ge/n-GaAs].....	51
7.2	ผิวสัมผัสของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็นและโลหะผสมทอง-สังกะสี [โครงสร้าง Au-Zn/p-GaAs].....	52
บทที่ 8	การนำผิวสัมผัสโอห์มมิกมาประยุกต์ใช้งาน.....	55
บทที่ 9	สรุปผลการทดลอง.....	61
	เอกสารอ้างอิง.....	62
	ประวัติผู้เขียน.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ขั้นตอนการเตรียมผิวผลึกแกลเลียมอาร์เซไนด์.....	35
8.1 โครงสร้างไดโอดหัวต่อเฮตเตอโร (Heterojunction).....	56
8.2 โครงสร้างไดโอดหัวต่อโฮโม (Homojunction).....	56

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างของ โครงสร้างไดโอดแบบ PIN.....	3
2.1 แผนภาพแถบพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำ.....	6
2.2 (ก) แผนภาพแถบพลังงานของผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ.....	7
(ข) สนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่ในผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ.....	7
2.3 แผนภาพแถบพลังงานของผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำในแบบจำลองของช็อคตต์กี.....	8
2.4 แผนภาพแถบพลังงานของผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำที่ถูกเสนอโดย Cowley และ Sze ภายใต้แรงดันไบอัส.....	11
3.1 ความสัมพันธ์ของค่า Ideality factor (n) ของช็อคตต์กีไดโอดและค่า E_{00} ตามสมการที่ (3.18) ของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็น.....	19
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็น และค่าความเข้มข้นของพาหะ (N_D) โดยมีเงื่อนไขของค่าแบร์เรียร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 300 K.....	22
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสของแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดพี และค่าความเข้มข้นของพาหะ (N_D) โดยมีเงื่อนไขของค่าแบร์เรียร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 300 K.....	23
4.1 วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสของ Cox และ Strack.....	25
4.2 ตัวอย่างผลที่ได้จาก(9)แสดงความสัมพันธ์ของ $R-R_p$ และ $1/a^2$ ของการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสด้วยวิธีของ Cox และ Strack.....	26
4.3 วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสด้วยวิธี Four-point contacts.....	27
4.4 วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสด้วยวิธี Schockley Technique.....	28
4.5 แบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสของวิธี Transmission line model (TLM).....	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	แบบตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสด้วยวิธี Transmission line model (TLM).....30
4.7	วิธีการวัดที่ใช้ในการคำนวณหาค่า R_c และ R_T เพื่อใช้ในการวัดค่า r_c ในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสด้วยวิธี Transmission line model (TLM).....32
5.1	รูปแบบของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....36
5.2	แผนลำดับการสร้างตัวอย่างการทดลองจากแกเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็น.....39
5.3	แผนลำดับการสร้างตัวอย่างการทดลองจากแกเลียมอาร์เซไนด์ชนิดพี.....40
6.1	ลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันจากตัวอย่างในการทดลองของโครงสร้าง Ni/Au-Ge/n-GaAs ที่ผ่านการแอนนัลและไม่ผ่านการแอนนัล.....42
6.2	ลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันจากตัวอย่างในการทดลองของโครงสร้าง Ni/Au-Ge/n-GaAs ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส โดยมีเงื่อนไขของเวลา.....43
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสกับเวลาที่ใช้ในการแอนนัลของโครงสร้าง Ni/Au-Ge/n-GaAs โดยมีเงื่อนไขของอุณหภูมิ.....44
6.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนัลของโครงสร้าง Ni/Au-Ge/n-GaAs โดยมีเงื่อนไขของเวลา 2 นาที.....45
6.5	ลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันจากตัวอย่างในการทดลองของโครงสร้าง Au-Zn/p-GaAs ที่ผ่านการแอนนัลและไม่ผ่านการแอนนัล.....46
6.6	ลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันจากตัวอย่างในการทดลองของโครงสร้าง Au-Zn/p-GaAs ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยมีเงื่อนไขของเวลา.....47
6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสกับเวลาที่ใช้ในการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ของโครงสร้าง Au-Zn/p-GaAs โดยมีเงื่อนไขของอุณหภูมิต่างๆ.....48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.1 เฟสไดอะแกรม (Phase diagram) ของทองและแกลเลียมอาร์เซไนด์.....	50
7.2 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสที่ได้จากการทดลองและค่าทางทฤษฎีของ แกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็น.....	52
7.3 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานจำเพาะผิวสัมผัสที่ได้จากการทดลองและค่าทางทฤษฎีของ แกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดพี.....	53
8.1 โครงสร้างของไดโอดที่สร้างขึ้นในการทดลอง.....	55
8.2 ชั้นของเอพิแทกซีของไดโอดที่สร้างขึ้นในการทดลอง.....	57
8.3 ไดโอดที่สร้างขึ้นในการทดลอง.....	59
8.4 ลักษณะสมบัติของแรงดัน-ของตัวอย่างไดโอดที่ได้จากการทดลองสร้างขึ้น.....	60