

ลักษณะส่อชี-วีของรอยต่อวิวิธพันธุ์ ZnO(Al)/CdS/CuInSe₂



นางสาวชิตชนก มุลอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-976-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18207674 25 ส.ค. 2547

C-V CHARACTERISTICS OF ZnO(Al)/CdS/CuInSe₂

Miss Chitchanok Moonin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Physics

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

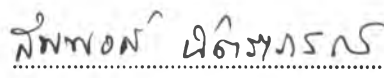
ISBN 974-638-976-9

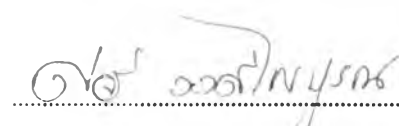
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะส่อซี-วีของรอยต่ออวิวิหพันธ์ ZnO(Al)/CdS/CuInSe₂
โดย นางสาวชิตชนก มูลอินทร์
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศจี วงศ์ไชยบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์

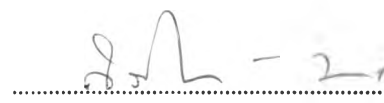
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

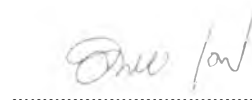

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุกวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ ฉัตรภรณ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศจี วงศ์ไชยบูรณ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อนันตสิน เตชะกำพูน)


..... กรรมการ
(อาจารย์สุวิทย์ พุทธิมนต์)

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ ฉัตรารณณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิ วงศ์ไชยบูรณ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิด รวมทั้งตรวจแก้ไขข้อเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ พงษ์ ทรงพงษ์ อาจารย์ชาญวิทย์ จิตรยุทธการที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณคมกฤษณ์ ปูนอุดม นิสิตปริญญาโทมหาบัณฑิตที่ให้ความช่วยเหลือด้านการเตรียมฟิล์มบาง ZnO(AI) และ คุณวรรณบ แดงงามเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ ในการช่วยเหลือด้านการเตรียมเครื่องมือ และขอบคุณคณะวิจัยฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน พร้อมทั้งภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้การศึกษาแก่ข้าพเจ้า

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ ที่ได้กำลังใจตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. รอยต่อวิวิธพันธุ์.....	3
แบบจำลองการแพร่.....	3
แบบจำลองการปลดปล่อย.....	8
แบบจำลองการปลดปล่อย-การรวมตัว.....	11
แบบจำลองการทะลุผ่าน.....	12
แบบจำลองการทะลุผ่าน-การรวมตัว.....	16
3. ลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์.....	22
ลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์.....	22
ลักษณะเฉพาะความจุ-ความต่างศักย์.....	28
4. โครงสร้างโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำ.....	52
โครงสร้างโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำในอุดมคติ.....	52
การกระจายของประจุที่บริเวณผิวรอยต่อ.....	58
ลักษณะเฉพาะความจุ-ความต่างศักย์ของโครงสร้าง MIS ในอุดมคติ.....	65
โครงสร้างMIS ที่เบี่ยงเบนจากลักษณะอุดมคติ.....	73

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. วิธีทดลองและผลการทดลอง.....	93
การเตรียมชั้นสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นรอยต่อวิวิธพันธุ์	
ZnO(Al)/CdS/CuInSe ₂	93
การวัดลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์.....	101
การวัดลักษณะเฉพาะความจุไฟฟ้า-ความต่างศักย์.....	108
วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	114
6. สรุปและวิจารณ์.....	117
เอกสารอ้างอิง.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	121

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดง ความสัมพันธ์ของพลังงานที่เกี่ยวข้องของในแถบพลังงาน เมื่อขณะสมดุลของรอยต่ออวิวิธพันธุ์ p-n เมื่อ $E_{gn} < E_{gp}$	19
5.1	แสดงค่าของพารามิเตอร์ที่ได้จากการฟิตข้อมูลที่ทำการวัดที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	108

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของแถบพลังงานก่อนและหลังการเกิด รูปแบบของรอยต่อวิวิธพันธุ์แบบฉับพลัน.....	4
2.2 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อวิวิธพันธุ์ p-n แบบ ฉับพลันที่เปลี่ยนไปจากเมื่อยังไม่มีการไบแอส (เส้นประ) และภายใต้การไบแอสตรง(เส้นทึบ).....	7
2.3 แสดงแถบพลังงานเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลของ รอยต่อวิวิธพันธุ์ p-n แบบฉับพลัน.....	9
2.4 แสดงลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์ของรอยต่อเมื่อมีผล ของการปลดปล่อย.....	11
2.5 แสดงขบวนการปลดปล่อย-การรวมตัวของรอยต่อวิวิธพันธุ์.....	12
2.6 แสดงแบบจำลองการทะลุผ่านที่เกิดขึ้นในแถบพลังงานของ Anderson.....	13
2.7 แสดงความสัมพันธ์ของ $\ln I$ กับความต่างศักย์ที่ทำการ ไบแอสของรอยต่อ p-n ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	15
2.8 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อวิวิธพันธุ์ p-n แบบฉับพลัน เมื่อมีการไบแอสตรง โดยมีขบวนการทะลุผ่าน-ขบวนการรวมตัว เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อ.....	17
2.9 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อฉับพลัน p-n ภายใต้การ ไบแอสกลับแสดงให้เห็นถึงขบวนการทะลุผ่าน.....	18
3.1 แสดงแถบพลังงาน และการกระจายของพาหะภายใต้ เงื่อนไขการไบแอสตรงและไบแอสกลับ.....	25
3.2 แสดงลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์ในอุดมคติ	27

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อโลหะ-สารกึ่งตัวนำ กำหนดค่าและความหนาแน่นประจุที่สอดคล้องกัน ในสารที่มีการเจืออย่างสม่ำเสมอ แผนผังนี้ได้กำหนด ระดับสัญญาณความถี่ของรอยต่อ.....	30
3.4 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อ p - n	32
3.5 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อโลหะ-สารกึ่งตัวนำ.....	40
3.6 แสดงความสัมพันธ์ของความจุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ กับความถี่ของช่วงดีลีชันสำหรับ $V=1$ เป็นฟังก์ชัน ของ N_A สำหรับสารกึ่งตัวนำที่มีค่า ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของรอยต่อ 1 มิลลิเมตร.....	45
3.7 แสดงการกระจายของประจุของรอยต่อ Schottky เมื่อสารกึ่งตัวนำไม่สม่ำเสมอ.....	48
4.1 โครงสร้างของไดโอดโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำ.....	52
4.2 แสดงแถบพลังงานของไดโอดโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำ ในอุดมคติ ที่ $V=0$	53
4.3 แสดงลักษณะของแถบพลังงาน โครงสร้าง MIS ในอุดมคติเมื่อ	57
4.4 แสดงแถบพลังงานที่ผิวรอยต่อสารกึ่งตัวนำชนิด p กับฉนวน แสดงให้เห็นชั้นดีลีชันและชั้นอินเวอร์ชัน เมื่อค่าศักย์ เป็นศูนย์ในชั้นสารกึ่งตัวนำ เมื่อวัดเทียบกับระดับพลังงาน เฟอร์มิอินทรินสิก E_F ศักย์ที่ผิวมีค่าเป็นบวก.....	59
4.5 แสดงการกระจายของประจุในสารกึ่งตัวนำที่เป็นฟังก์ชัน ของศักย์ที่ผิวรอยต่อ.....	64
4.6 c,d แสดงสนามไฟฟ้าและศักย์ได้จากกรอินทิเกรต สมการปัวร์ซอง.....	67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ความจุ-ความต่างศักย์ของ โครงสร้าง MIS.....	68
4.8 แสดง ความกว้างสูงสุดของช่วงดีพลีชันกับความหนาแน่น สิ่งเจือของสารกึ่งตัวนำGe,Si และGaAs ภายใต้การ อินเวอร์ชันอย่างหนัก.....	70
4.9 แสดงลักษณะเฉพาะความจุ-ความต่างศักย์ของโครงสร้าง MIS ในความถี่สูง.....	72
4.10 แสดงประจุชนิดต่าง ๆ ที่เกิดในชั้นฉนวน.....	74
4.11 แสดงวงจรสมมูลกับกับดักประจุที่รอยต่อ เมื่อ C_c และ R_c สอดคล้องกับความหนาแน่นของกับดักประจุที่รอยต่อ.....	76
4.12 แสดงความจุที่เบี่ยงเบนไปเนื่องจากกับดักประจุที่รอยต่อ.....	76
4.13 แสดงประจุชนิดที่อยู่กับที่ในโครงสร้าง MIS ซึ่งเป็น การเคลื่อนที่ของไอออนผู้ให้ที่ถูกไอออนไนซ์แล้วจาก สารกึ่งตัวนำเข้าไปในชั้นฉนวน.....	78
4.14 แสดงลักษณะของความจุ-ความต่างศักย์ที่เบี่ยงเบนไป จากอุดมคติทั้งทางบวกและลบเมื่อมีประจุชนิดที่อยู่กับ ที่ที่เป็นประจุลบและบวกในชั้นฉนวน.....	80
4.15 แสดงการกระจายของประจุภายในชั้นฉนวน.....	81
4.16 แสดง a) V_{FB} มีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อไอออนบวกถูกสนามไฟฟ้า ผลักดันอยู่ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับฉนวน b) V_{FB} มีค่าสูงสุด เมื่อไอออนบวกถูกสนามไฟฟ้าผลักดัน อยู่ที่รอยต่อระหว่างฉนวนกับสารกึ่งตัวนำ.....	82

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.17 a). แสดงประจุนุติในฉนวนเสมือนว่าอยู่ร่วมกัน และห่างจาก โลหะเป็นระยะ x_0 ในกรณีที่ยังไม่มีการไบแอส	
b). แสดงประจุนุติในฉนวน เมื่อมีการไบแอสกลับทางเพื่อ ให้ได้เงื่อนไขกรณีแถบพลังงานเรียบ.....	84
4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์	86
4.19 แสดงบริเวณรอยต่อของโลหะกับฉนวน และรอยต่อของ ฉนวนกับสารกึ่งตัวนำ.....	88
4.20 แสดงประจุนุติมารวมกันอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของ สารกึ่งตัวนำที่ต่อกับฉนวน เนื่องมาจากความแตกต่าง ของค่าเวริกฟังก์ชัน.....	89
4.21 แสดงค่า V_{FB} ที่ทำให้แถบพลังงานราบเรียบในกรณี สารกึ่งตัวนำเป็นชนิด n.....	89
4.22 แสดงค่า ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาแน่นของ สารที่เจือและชนิดของโลหะ.....	92
5.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ตัดผลึก $CuInSe_2$	93
5.2 ผลึกที่ขัดด้วยผงขัดอะลูมินาบนกระดาษกรอง.....	94
5.3 แสดงระบบสุญญากาศที่ใช้ในการระเหยทอง.....	97
5.4 แสดงระบบที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS	99
5.5 แสดงโครงสร้างรอยต่อวิวิธพันธุ์ $ZnO/CdS/CuInSe_2$ ที่ทำขึ้นเมื่อเสร็จสมบูรณ์.....	100
5.6 ชั้นรอยต่อวิวิธพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	101
5.7 แสดงระบบวัดลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์ที่ ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.....	102

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 แสดงการนำกระแสแบบไดโอดของรอยต่อวิวิธพันธุ์ ZnO(Al)/CdS/CuInSe ₂	103
5.9 ภาพแสดงการนำกระแสของรอยต่อวิวิธพันธุ์ผ่านชั้นต่าง ๆ.....	104
5.10 แสดงลักษณะของกระแส-ความต่างศักย์แยกตามสมการ.....	106
5.11 แสดงการนำกระแสของรอยต่อวิวิธพันธุ์ที่อุณหภูมิต่าง.....	107
5.12 แสดงระบบวัดลักษณะเฉพาะความจุ-ความต่างศักย์.....	109
5.13 แสดงลักษณะเฉพาะของความจุไฟฟ้า-ความต่างศักย์ ของรอยต่อวิวิธพันธุ์ ZnO(Al)/CdS/CuInSe ₂	110
5.14 แสดงวงจรตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกันภายในชั้นของ โครงสร้าง ²	111
5.15 แสดงความสัมพันธ์ของ $1/C$ ² กับความต่างศักย์.....	113
5.16 ภาพแสดงลักษณะของแถบพลังงานของรอยต่อเมื่อไม่แสดง การโค้งของแถบพลังงาน.....	115
5.17 ภาพแสดงลักษณะของแถบพลังงานขณะที่ ได้รับการไบแอสต่าง ๆ.....	116