


การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของซิลิกอนเจมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบจุดและแกเลียมไนไตรด์
สำหรับไดโอดเลเซอร์โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



นางสาว ภัทรจิตร์ มั่นทรัพย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5947-19

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF SiGe QUANTUM DOT TRANSISTORS
AND GaN LASER DIODES USING TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY



Miss Pattarajit Mansup

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Ceramic Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-5947-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของซีลิกอนเจอเมเนียมสำหรับ
ทรานซิสเตอร์แบบจุดและแกเลียมไนไตรด์สำหรับไดโอดเลเซอร์
โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

โดย

นางสาว ภัทรจิตร มั่นทรัพย์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเซรามิก

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ดร.ศิริฉวี เจียมศิริเลิศ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.ชัญชนา ธนชยานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คนบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ดร.ศิริฉวี เจียมศิริเลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ชัญชนา ธนชยานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัทธา จินาวัดมน)

..... กรรมการ

(Prof.Dr.Shigetaka Wada)

นางสาว ภัทรจิตร มั่นทรัพย์ : การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับ
 ทรานซิสเตอร์แบบจุดและแกเลียมไนไตรด์สำหรับไดโอดเลเซอร์โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์
 อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF SiGe QUANTUM
 DOT TRANSISTORS AND GaN LASER DIODES USING TRANSMISSION ELECTRON
 MICROSCOPY) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.ศิริพันธ์ เจียมศิริเลิศ , อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ชญชญา
 ธนชยานนท์ 94 หน้า. ISBN 974-17-5947-9.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแอนนีสซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับ
 ทรานซิสเตอร์แบบจุด $Si_{0.9}Ge_{0.1}$ ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 800, 900 และ $1300^{\circ}C$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 ภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนและไนโตรเจน เพื่อสังเกตหาข้อบกพร่องแบบดิสโลเคชันโดยใช้ OM และ
 TEM ซึ่ในงานตัวอย่างสำหรับ TEM เตรียมโดยวิธีการขัดหน้าเรียบ จากผลการทดลองพบว่า ไม่ปรากฏจุด
 บกพร่องขึ้นเนื่องจากปริมาณของเจอร์เมเนียมมีความเข้มข้นเพียง 10 % ที่ความเข้มข้นดังกล่าวซึ่ในงานอยู่
 ภายใต้ภาวะความเครียด

โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อโลหะ W/Zr/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 550, 650
 และ $850^{\circ}C$ เป็นเวลา 1 นาที ได้ทำการศึกษาโดยใช้ด้วย XRD, TEM และ EDS ซึ่ในงานตัวอย่างสำหรับ
 TEM เตรียมโดยวิธีการขัดรูปลิ้ม ผลการวิเคราะห์ห้ด้วย XRD พบว่าเกิดสารประกอบขึ้นภายในชั้นรอยต่อ ซึ่ง
 สอดคล้องกับผลจาก TEM และ EDS สำหรับซึ่งานที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ $550^{\circ}C$ เกิด WN_2 ,
 Ga_2Zr_3 และ Ga_5W_2 สำหรับซึ่งานที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ $650^{\circ}C$ เกิด Ga_3Zr_5 , ZrN และ Ga_2Zr_3
 สำหรับซึ่งานที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ $850^{\circ}C$ เกิด W_3N_4 , Ga_3Zr_5 และ Ga_2Zr_3 นอกจากนี้ได้ทำ
 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของ W/V/nGaN ต่อการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 550 และ $650^{\circ}C$ เป็นเวลา
 1 นาที โดยพบว่าซึ่งานที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ $550^{\circ}C$ แสดงค่าความต้านทานจำเพาะ ณ รอย
 ต่อโลหะดีกว่าซึ่งานที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิที่ $650^{\circ}C$ ผลการตรวจสอบด้วย XRD พบว่าเกิด
 Ga_5W_2 , $V_{16}N_{1.5}$, Ga_5V_6 , $VN_{8.1}$, Ga_7V_6 , V_2Ga_5 , $Ga_{41}V_8$, VN และ $VN_{0.2}$ ในซึ่งานที่ผ่านการอบแอนนีสที่
 $550^{\circ}C$ สำหรับที่ผ่านการอบแอนนีสที่ $650^{\circ}C$ เกิด Ga_5V_6 และ $VN_{8.1}$ ซึ่งสอดคล้องกับผล TEM และ EDS
 ซึ่ความแตกต่างของสารประกอบที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิที่ผ่านการอบแอนนีสที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะของ
 รอยต่อโลหะ

ภาควิชา วัสดุศาสตร์
 สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก
 ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อ นิสิต.....ภัทรจิตร มั่นทรัพย์.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ศิริพันธ์ เจียมศิริเลิศ.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ชญชญา ธนชยานนท์.....

4472361923 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEY WORD : SiGe / GaN / TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY / QUANTUM DOT

PATTARAJIT MANSUP : MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF SiGe

QUANTUM DOT TRANSISTORS AND GaN LASER DIODES USING

TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY. THESIS ADVISOR : SIRITHAN

Jiemsirilers, Ph.D. THESIS COADVISOR : CHANCHANA

Thanachayanont, Ph.D., 94 pp. ISBN 974-17-5947-9.

In this project, the effect of annealing temperatures on SiGe quantum dot transistors were studied. $\text{Si}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}$ were annealed at 800, 900 and 1300°C for 1 hour in hydrogen and nitrogen atmosphere. To study misfit dislocations, OM and TEM were used. TEM samples were prepared by flat surface grinding technique. From the result, there is no defect present because Ge composition is only 10%. At this composition, the epilayer is strained.

The microstructures of W/Zr/nGaN ohmic contact annealed at 550, 650 and 850°C for 1 minute were studied using XRD, TEM and EDS. TEM samples were prepared by wedge technique. XRD patterns show the indication of several intermetallic phases presented at the contact layer. Results obtained from TEM and EDS confirmed the presence of these intermetallic phases. For the samples annealed at 550°C, WN_2 , Ga_2Zr_3 and Ga_5W_2 were found. For the samples annealed at 650°C, Ga_3Zr_5 , ZrN and Ga_2Zr_3 were found. For the sample annealed at 850°C, W_3N_4 , Ga_3Zr_5 and Ga_2Zr_3 were found. Furthermore, The microstructure of W/V/nGaN ohmic contact annealed at 550 and 650°C for 1 minute were studied. The sample annealed at 550°C has a better contact resistivity than the sample annealed at 650°C. From the XRD results, Ga_5W_2 , $\text{V}_{16}\text{N}_{1.5}$, Ga_5V_6 , $\text{VN}_{0.81}$, Ga_7V_6 , V_2Ga_5 , Ga_{41}V_8 , VN, $\text{VN}_{0.2}$ were found for the sample annealed at 550°C. For the sample annealed at 650°C, Ga_5V_6 and $\text{VN}_{0.81}$ were found. TEM and EDS results confirmed the intermetallic phases. The differences intermetallic phases formed at different annealing temperature have shown to influence the contact behavior.

Department Materials Science

Student's signature..... 

Field of study Ceramic technology

Advisor's signature..... 

Academic year 2004

Co-advisor's 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ของ อ.ดร.ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ และ ดร.ชัยชนา ธนชยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร. พิมพา ลิ่มทองกุล ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และคำปรึกษาในงานวิจัย ตลอดจนแนะแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่างๆ ขอขอบคุณ ดร.กฤษดา เสียงแจ้ว คุณศุภกิจ ปิณฑะสิริ และพนักงานห้องเตรียมตัวอย่าง บริษัท Western digital (Thailand) Co.,Ltd ทุกท่านที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ขอขอบคุณ คุณ พยูน เสนทองแก้ว ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันที่ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆปริญญาโททุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่ห้องปฏิบัติการจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทอานสมิซชัน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนสนับสนุนเงินทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ Professor Tae - Yeon Seong และ ดร.ทรงพล กาญจนชูชัย สำหรับชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่สาว ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 แนวทางและขอบเขตของงานวิจัย.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โครงสร้างของจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	4
2.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน..	11
2.3 ซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบจุด.....	15
2.4 แกเลียมไนไตรด์สำหรับไดโอดเลเซอร์.....	26
3 วิธีการทดลอง.....	38
3.1 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบจุด	38
3.2 การศึกษาชั้นงานแกเลียมไนไตรด์ที่มีรอยต่อกับชั้นโลหะทั้งสแตนและ	
เซอร์โคเนียม.....	40
3.3 การศึกษาชั้นงานแกเลียมไนไตรด์ที่มีรอยต่อกับชั้นโลหะทั้งสแตนและเวเนเดียม	41
3.4 ขั้นตอนการเตรียมชั้นงานสำหรับซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบ	
จุดควอนตัมและแกเลียมไนไตรด์ที่ปลูกบนเซฟไฟร์.....	43
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	51
4.1 ผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับ	
ทรานซิสเตอร์แบบจุด.....	51
4.2 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคชั้นรอยต่อโลหะ W/Zr/nGaN.....	54
4.3 ผลการการศึกษาโครงสร้างจุลภาคชั้นรอยต่อโลหะ W/V/nGaN.....	62

บทที่	หน้า
5.1	
สรุปผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับ ทรานซิสเตอร์แบบจุด.....	71
5.2	
สรุปผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคชั้นรอยต่อโลหะ W/Zr/nGaN.....	72
5.3	
สรุปผลการการศึกษาโครงสร้างจุลภาคชั้นรอยต่อโลหะ W/V/nGaN.....	72
5.4	
ข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก.....	80
ภาคผนวก ข.....	85
ภาคผนวก ค.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	94



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ณ

หน้า

ตารางที่ 2.1	สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของแหล่งกำเนิดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิชันต่างๆ.....	6
ตารางที่ 2.2	สมบัติของซิลิกอนและเจอร์เมเนียมที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน.....	16
ตารางที่ 2.3	แสดงสมบัติกายภาพของวัสดุในกลุ่ม III-nitride.....	27
ตารางที่ 2.4	คุณสมบัติของเซฟไฟร์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ และซิลิกอน (111).....	35
ตารางที่ 3.1	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง.....	39
ตารางที่ 3.2	รายละเอียดของชิ้นงานที่ทำการทดลอง.....	40
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดของชิ้นงานที่ทำการทดลอง.....	41



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	4
ภาพที่ 2.2 ปลายยอดของทั้งสแตนฟิลาเมนต์.....	5
ภาพที่ 2.3 ผลึกของแลนทานัมเฮกซะโบไรด์	5
ภาพที่ 2.4 ปลายยอดของแหล่งกำเนิดแบบฟิวด์อิมิตชัน.....	6
ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบระบบคอนเดนเซอร์ประเภทเดี่ยวและคู่.....	7
ภาพที่ 2.6 แผนภาพการเกิดภาพเบื้องต้นในจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	8
ภาพที่ 2.7 แสดงการใช้กล้องที่ติดตั้งภายนอกตัวเครื่อง.....	10
ภาพที่ 2.8 เครื่องมือในการเตรียมตัวอย่าง.....	13
ภาพที่ 2.9 ภาพแสดงหลักการทำงานของการกัดบางด้วยลำไอออน.....	14
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างแบบเพชร.....	17
ภาพที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานและค่าคงที่ของผลึกของวัสดุในกลุ่ม III – nitride.....	27
ภาพที่ 2.18 แสดงรอยต่อพีเอ็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ในไดโอดเปล่งแสง.....	28
ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างภาคตัดขวางของไดโอดเปล่งแสงชนิดแกเลียมไนไตรด์.....	29
ภาพที่ 2.20 ขั้นตอนในการปลูกผลึกโดยใช้วิธีการ MOCVD.....	31
ภาพที่ 2.21 แสดงระบบ 2 – Flow MOCVD.....	32
ภาพที่ 2.22 แสดงการตกตะกอนสะสมในระบบ 2 flow MOCVD.....	33
ภาพที่ 2.23 โครงสร้างอะตอมแบบเฮกซาโกนอลของแกเลียมไนไตรด์.....	33
ภาพที่ 2.24 แสดงการเรียงตัวของอะตอมในผลึก III – nitride ที่ปลูกลงบนแซฟไฟร์.....	34
ภาพที่ 2.25 แสดงค่าแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น.....	36
ภาพที่ 2.26 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ได้และกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ไดโอดเปล่งแสง และไดโอดเลเซอร์.....	37
ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของ ซิลิกอนเจมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบจุด.....	39
ภาพที่ 3.2 แสดงทิศทางการตัดชิ้นงานที่ถูกต้อง.....	44
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	44
ภาพที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการการขัดเป็นรูปลิ้ม.....	49
ภาพที่ 4.1 แสดงภาพจากจุลทรรศน์แบบแสงแบบ DIC.....	51

ภาพที่ 4.2	ภาพถ่ายจากจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของโครงสร้างที่ถูกปลูกขึ้นมาของซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบจุด.....	52
ภาพที่ 4.3	ภาพจากจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของโครงสร้างที่ถูกปลูกขึ้นมาสำหรับซิลิกอนเจอร์เมเนียมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบจุดหลังจากโดนกัดด้วยกรด.....	53
ภาพที่ 4.4	ผล XRD ของ W/Zr บนแกเลียมไนไตรด์ชนิดเอ็นที่ผ่านการอบแอนนัลที่อุณหภูมิ 550°C, 650°C และ 850°C.....	56
ภาพที่ 4.5	ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ TEM แสดงชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนัลที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 นาที.....	56
ภาพที่ 4.6	ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ TEM แสดงชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนัลที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 นาที.....	57
ภาพที่ 4.7	ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ TEM แสดงชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนัลที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 1 นาที.....	57
ภาพที่ 4.8	แสดงภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ จากชิ้นงาน W/Zr/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนัลเป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิ 850°C แสดงการเกิดดิสโลเคชันในชั้นแกเลียมไนไตรด์	57
ภาพที่ 4.10	ผล EDS จากชั้นต่างๆของชิ้นงาน W/Zr/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนัลที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 นาที.....	60
ภาพที่ 4.11	ผล EDS จากชั้นต่างๆของชิ้นงาน W/Zr/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนัลที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 1 นาที.....	61
ภาพที่ 4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าของชั้นรอยต่อโลหะทั้งสแตนและเวเนเดียมบนแกเลียมไนไตรด์ ที่ผ่านการอบแอนนัลที่ 550 และ 650°C.....	62
ภาพที่ 4.19	ผล raman imaging microscope ของชิ้นงาน W/V/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนัลเป็นเวลา 1 นาที.....	63
ภาพที่ 4.20	ผล XRD ของ W/Zr บนแกเลียมไนไตรด์ชนิดเอ็นที่อบแอนนัลที่ 550°C และ 650°C.....	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ฎ

หน้า

ภาพที่ 4.21 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ TEM แสดงชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 นาที่.....	66
ภาพที่ 4.22 ภาพถ่ายไบรท์ฟิลด์ TEM แสดงชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 นาที่.....	66
ภาพที่ 4.23 ผล EDS จากชั้นต่างๆของชั้นงาน W/V/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 นาที่.....	67
ภาพที่ 4.24 ผล EDS จากชั้นต่างๆของชั้นงาน W/V/nGaN ที่ผ่านการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 นาที่.....	68
ภาพที่ 4.25 ภาพถ่ายจุดเดี่ยวเบนของชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 นาที่.....	70
ภาพที่ 4.26 ภาพถ่ายจุดเดี่ยวเบนของชั้นโครงสร้างรอยต่อหลังจากทำการอบแอนนีสที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 นาที่ บริเวณชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4.....	70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย