

การศึกษาผลตอบสเปกตรัมจากโครงสร้างมัลติควันต์มเวสล์ของ
แกเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์

นาย อรรถชัย แมนมนตรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540
ISBN 974-638-425-2
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**STUDY ON SPECTRAL RESPONSE OF GaAs/AlGaAs
MULTIQUANTUM WELL STRUCTURES**

Mr. Uttachai Manmontri

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering**

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-425-2

อรรถชัย แมนมนตรี : การศึกษาผลตอบสนองสเปกตรัมจากโครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ของแกเลียม-อาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ (STUDY ON SPECTRAL RESPONSE OF GaAs/AlGaAs MULTIQUANTUM WELL STRUCTURES) อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, 70 หน้า. ISBN 974-638-425-2.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาทางด้านทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทางแสงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างควันตัมเวลล์ เพื่อนำไปใช้ในการวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ออปโต-อิเล็กทรอนิกส์ โดยได้มีการศึกษาทางด้านพฤติกรรมเคลื่อนที่ของพาหะในโครงสร้างควันตัมเวลล์ และผลตอบสนองสเปกตรัมจากโครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ของแกเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์

พฤติกรรมเคลื่อนที่ของพาหะ การมีระดับพลังงานควันไตซ์ที่ขึ้นอยู่กับความกว้างของชั้นเวลล์และความสูงของชั้นกั้นในโครงสร้างควันตัมเวลล์ และการเกิดเป็นแถบพลังงาน minibands ในโครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ได้ถูกอธิบายโดยใช้สมการชโรดิงเงอร์และโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านกลศาสตร์ควันตัม

ได้มีการนำเสนอผลตอบสนองสเปกตรัมของ โฟโตลูมินเนสเซนซ์ การทะลุผ่านแสง และผลตอบสนองต่อแสงจากโครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ของแกเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ที่ถูกเตรียมขึ้นโดย molecular beam epitaxy อันได้แก่ การขึ้นกับอุณหภูมิของสเปกตรัมโฟโตลูมินเนสเซนซ์ที่มียอดแหลมในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ ค่าการทะลุผ่านแสงที่แสดงถึงการดูดกลืนแสงของพาหะที่เกิดขึ้นระหว่างระดับพลังงานควันไตซ์ที่บริเวณค่าความยาวคลื่นซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากสเปกตรัมโฟโตลูมินเนสเซนซ์ และยืนยันผลจากค่าผลตอบสนองต่อแสงซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของพาหะในโครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ภายใต้สนามไฟฟ้าในแนวขนานและตั้งฉากกับรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา ๒๕๕๗

ลายมือชื่อนิสิต อรรถชัย แมนมนตรี
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Alide*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3972411821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: MULTIQUANTUM WELL STRUCTURE / PHOTOLUMINESCENCE / TRANSMITTANCE / RESPONSIVITY
UTTACHAI MANMONTRI : STUDY ON SPECTRAL RESONANCE OF GaAs/AlGaAs MULTIQUANTUM WELL
STRUCTURES. THESIS ADVISOR : PROF. SOMSAK PANYAKEOW, D.ENG. 70 pp. ISBN 974-638-425-2.

This thesis is an investigation of the optical processes in quantum well structures for research and development of optoelectronic devices. The carrier transport in quantum well structures and the spectral response of GaAs/AlGaAs multiquantum well structures are reported and discussed in this thesis.

The carrier transport, dependence of quantized subband energies in quantum well structures to the well widths and the barrier heights and also the minibands in multiquantum well structures were described by using the Schrödinger equation and the interactive program of quantum mechanics.


The photoluminescence characteristics, transmission properties and responsivity of GaAs/AlGaAs multiquantum well structures grown by molecular beam epitaxy (MBE) were demonstrated. Temperature dependent photoluminescence spectrum were observed with a high intensity peak at the wavelength region of visible light due to the transition of carriers between the quantized subbands. The transmittance was measured at room temperature and exhibits the absorption at the wavelength corresponds to the photoluminescence spectrum. The responsivity was also confirmed by the carrier transport in quantum well structures under the electric field in parallel and perpendicular directions to the heterointerfaces.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... อรรถชัย แมนมนตรี

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้โอกาสแก่ผู้วิจัยในการศึกษาในระดับปริญญาโทฉบับนี้ และได้ให้คำแนะนำรวมทั้งข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างมากตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตของห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ. ดร. บรรยง โตประเสริฐพงศ์ รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน รศ. ดร. ศุภิต เครื่องงาม คุณ ศุภโชค และคุณ ขวัญเรือน ไทยน้อย ที่ได้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และข้อคิดเห็นที่มีคุณค่าเกี่ยวกับงานวิจัย และขอขอบพระคุณโครงการศึกษากันนุกฎที่ได้ให้ทุนแก่ผู้วิจัยในระหว่างที่ทำการศึกษา

นอกจากนี้ ใคร่ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร และ รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน ที่ได้ให้คำแนะนำและหนังสือที่มีคุณค่าอย่างยิ่งแก่ผู้วิจัยเพื่อใช้ในการค้นคว้า และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร. บรรยง โตประเสริฐพงศ์ รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน และ ผศ. ดร. ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำและเสียสละเวลาอันมีค่าอย่างยิ่งในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณ จิระศักดิ์ จันทรรัตนา คุณ นฤพล สวัสดิ์ธนกิจ เพื่อนๆและน้องๆภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในทุกๆอย่างแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ

บทที่

1 บทนำ	1
1.1 ประวัติและความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 โครงสร้างวิทยานิพนธ์	4
2 การปลูกผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์และอะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ โดย Molecular Beam Epitaxy	6
2.1 Molecular Beam Epitaxy	6
2.2 ขั้นตอนการปลูกผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์และอะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ ..	10
3 โครงสร้างควันทันเวลล์	12
3.1 สมการชโรดิงเงอร์ (Schrödinger equation)	12
3.1.1 พลังงานศักย์แบบ Infinite square well	15
3.1.2 พลังงานศักย์แบบ finite square well	17
3.2 โครงสร้างควันทันเวลล์ของแกเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์..	19
3.2.1 คุณสมบัติเฉพาะของแกเลียมอาร์เซไนด์และอะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 คุณสมบัติทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในโครงสร้างวันตัมเวลล์ของ แกลเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์	24
3.3 โครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์	34
4 การศึกษาผลตอบสนองเปกตรัมจากโครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ของแกลเลียมอาร์เซไนด์/ อะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์	35
4.1 พลังงาน ฟังก์ชันคลื่น และความน่าจะเป็นของการพบนุภาค	35
4.2 โครงสร้างมัลติควันตัมเวลล์ที่ใช้ในการศึกษาผลตอบสนองเปกตรัม	42
4.3 ผลตอบสนองเปกตรัมที่ได้จากกระบวนการทางแสง	44
4.3.1 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)	44
4.3.1.1 หลักการวัดสเปกตรัม	44
4.3.1.2 ผลการวัดสเปกตรัม	46
4.3.2 การทะลุผ่านแสง (Transmittance)	47
4.3.2.1 หลักการวัดสเปกตรัม	47
4.3.2.2 ผลการวัดสเปกตรัม	47
4.4 ผลตอบสนองเปกตรัมที่ได้จากคุณสมบัติทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์	49
4.4.1 คุณสมบัติทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ภายใต้สนามไฟฟ้าที่ผิวหน้า	50
4.4.1.1 หลักการวัดสเปกตรัม	50
4.4.1.2 ผลการวัดสเปกตรัม	50
4.4.2 คุณสมบัติทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ภายใต้สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับ ชั้นผลึก	54
4.4.2.1 หลักการวัดสเปกตรัม	56
4.4.2.2 ผลการวัดสเปกตรัม	57
5 สรุป	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	61
การเผยแพร่ผลงานวิจัย	65
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก การทำความสะอาดแผ่นฐานเกล็ดเลียมอาร์เซไนต์	66
ภาคผนวก ข ผลตอบสนองต่อแสงของฟิโนไฟโตไดโอดมาตรฐาน PH 302	67
ภาคผนวก ค การคำนวณระดับพลังงานคว้นไตซ์จาก finite square well	69
ประวัติผู้วิจัย	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 โครงสร้างผลึก ค่าคงที่โครงสร้าง และคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆของแกเลียมอาร์เซไนด์ และอะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์	23
4.1 ฟังก์ชันคลื่นและความน่าจะเป็นของการพบอนุภาคภายใต้พลังงานศักย์แบบ infinite square well เมื่อความกว้างของบ่อพลังงานศักย์มีค่า (ก) 2 หน่วย (ข) 3 หน่วย (ค) 6 หน่วย	36
4.2 ฟังก์ชันคลื่นและความน่าจะเป็นของการพบอนุภาคภายใต้พลังงานศักย์แบบ finite square well เมื่อความกว้างของบ่อพลังงานศักย์มีค่า (ก) 2 หน่วย (ข) 4 หน่วย (ค) 6 หน่วย	37
4.3 ฟังก์ชันคลื่นและความน่าจะเป็นของการพบอนุภาคภายใต้พลังงานศักย์แบบ finite square well เมื่อความสูงของบ่อพลังงานศักย์มีค่า (ก) 2 หน่วย (ข) 4 หน่วย (ค) 6 หน่วย	38
4.4 ฟังก์ชันคลื่นและความน่าจะเป็นของการพบอนุภาคภายใต้พลังงานศักย์แบบ 2 MQW เมื่อความหนาของชั้นก้ำแกงระหว่างบ่อพลังงานศักย์มีค่า (ก) 1.00 หน่วย (ข) 0.25 หน่วย (ค) 0.10 หน่วย	39
4.5 ฟังก์ชันคลื่นและความน่าจะเป็นของการพบอนุภาคภายใต้พลังงานศักย์แบบ 5 MQW เมื่อความหนาของชั้นก้ำแกงระหว่างบ่อพลังงานศักย์มีค่า (ก) 2.0 หน่วย (ข) 1.0 หน่วย (ค) 0.5 หน่วย	40
4.6 คุณสมบัติเฉพาะของแผ่นฐานกึ่งฉนวนของแกเลียมอาร์เซไนด์	42
4.7 อุณหภูมิและฟลักซ์โมเลกุลของแกเลียม อะลูมิเนียม และอาร์เซนิก	43
ข1 คุณสมบัติเฉพาะของพินโฟโตไดโอดมาตรฐาน PH302	68

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ขนาดช่องว่างพลังงานและค่าคงที่โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ	2
2.1 Molecular Beam Epitaxy ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	7
2.2 Growth chamber ของ Molecular Beam Epitaxy	8
2.3 การบวนการปลูกผลึกของ Molecular Beam Epitaxy	9
3.1 การเคลื่อนที่ภายใต้แรงที่มากกระทำของวัตถุมวล m	13
3.2 ฟังก์ชันคลื่น	14
3.3 พลังงานศักย์แบบ infinite square well	16
3.4 พลังงานศักย์แบบ finite square well	17
3.5 โครงสร้างผลึกของแกเลียมอาร์เซไนด์	19
3.6 โครงสร้างแถบพลังงานของแกเลียมอาร์เซไนด์	20
3.7 ขนาดช่องว่างพลังงานของอะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ที่ส่วนประกอบของ อะลูมิเนียมค่าต่างๆ	22
3.8 กฎอเล็กตรอนออฟฟินิตีที่บริเวณรอยต่อของแกเลียมอาร์เซไนด์กับ อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์	25
3.9 โครงสร้างควันตัมเวลล์ของแกเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์	25
3.10 พลังงานของอิเล็กตรอนในโครงสร้างควันตัมเวลล์ตามแนวทิศทาง Z และในระนาบ XY	27
3.11 ระดับพลังงานควันไทซ์และความหนาแน่นสถานะแบบขั้นบันไดในแถบคอนดักชัน ของโครงสร้างควันตัมเวลล์	28
3.12 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ	29
3.13 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ	30
3.14 ผลตอบสนองต่อแสงในสารกึ่งตัวนำทั่วไป	31
3.15 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของแกเลียมอาร์เซไนด์และของโครงสร้าง มัลติควันตัมเวลล์ของแกเลียมอาร์เซไนด์/อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 โครงสร้างควันดัมเวลล์	33
(ก) เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์	
(ข) เมื่อมีสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับชั้นผลึก	
4.1 โครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW	43
4.2 ขนาดพลังงานที่ได้จากโฟโตลูมินิสเซนซ์ในโครงสร้างควันดัมเวลล์	45
4.3 ระบบการวัดโฟโตลูมินิสเซนซ์	45
4.4 สเปกตรัมโฟโตลูมินิสเซนซ์ที่อุณหภูมิ 12, 20, 30, 40 และ 55 K ของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW	46
4.5 สเปกตรัมการทะลุผ่านแสงของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW และของแผ่นฐานกึ่งฉนวนแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่มีความหนา 100 และ 450 μm	48
4.6 โครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW เพื่อใส่สนามไฟฟ้าที่ผิวหน้า	50
4.7 ระบบการวัดผลตอบสนองต่อแสง แบบที่ 1	51
4.8 ระบบการวัดผลตอบสนองต่อแสง แบบที่ 2	51
4.9 สเปกตรัมโฟโตลูมินิสเซนซ์ที่อุณหภูมิ 10 K ของโครงสร้าง 4 × 6 GaAs/AlGaAs MQW	52
4.10 ผลตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้าที่ผิวหน้าของ โครงสร้าง 4 × 6 GaAs/AlGaAs MQW โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 2	52
4.11 ผลตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้าที่ผิวหน้าขนาด 0.25, 0.50, 1.0, 2.0 และ 3.0 โวลต์ ของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 1	53
4.12 ผลตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้าที่ผิวหน้าขนาด 0.25, 0.50, 1.0, 2.0 และ 3.0 โวลต์ ของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 1 (สเกล log)	53
4.13 กระบวนการทำขั้วโลหะเพื่อใส่สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับชั้นผลึกของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW	55
4.14 โครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW เพื่อใส่สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับชั้นผลึก..	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ผลตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับชั้นผลึกของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 1	57
4.16 ผลตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับชั้นผลึกของโครงสร้าง GaAs/Al _{0.55} Ga _{0.45} As MQW โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 2	58
ข1 ผลตอบสนองต่อแสงของพินโฟโตไดโอด PH302	67
ข2 ผลตอบสนองต่อแสงของพินโฟโตไดโอด PH302 โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 1	67