ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247119

การวัดลักษณะสมบัติของโครงสร้างนาโน ZnO ที่เตรียมโดยกระบวนการชนล่วงฟิสิกส์โดยใช้สารผสม ZnO/CNTs

นายสุชุม พิทยาพิบูลพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00252115

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247119

การวัดลักษณะสมบัติของโครงสร้างนาโน ZnO ที่เตรียมโดยกระบวนการขนถ่ายเฟสไอ โดยใช้สารผสม ZnO/CNTs

นาย สุขุม พิทยาพิบูลพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5270705921

CHARACTERIZATION OF ZnO NANOSTRUCTURES PREPARED BY VAPOR PHASE TRANSPORT USING ZnO/CNTs MIXTURE

Mr. Sukum Pitayapiboonpong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดลักษณะสมบัติของโครงสร้างนาโน ZnO ที่เตรียมโดยกระบวนการขนถ่ายเฟสไอโดยใช้สารผสม ZnO/CNTs
โดย	นาย สุขุม พิทยาพิบูลพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. อนุรัตน์ วิศิษฏ์สรอรรถ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร. อนุรัตน์ วิศิษฏ์สรอรรถ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ชัญชณา ธนชยานนท์)

สุขุม พิทยาพิบูลพงศ์ : การวัดลักษณะสมบัติของโครงสร้างนาโน ZnO ที่เตรียมโดยกระบวนการขนถ่ายเฟสไอโดยใช้สารผสม ZnO/CNTs. (CHARACTERIZATION OF ZnO NANOSTRUCTURES PREPARED BY VAPOR PHASE TRANSPORT USING ZnO/CNTs MIXTURE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย,อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. อนุรัตน์ วิศิษฏ์สรอรรถ 60 หน้า.

247119

โครงสร้างนาโน ZnO ได้ถูกเตรียมลงบนแผ่นฐาน Si โดยเทคนิคการขนถ่ายเฟสไอโดยใช้สารตั้งต้นเป็นสารผสม ZnO/CNTs กระบวนการนี้สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของ ZnO สัณฐานของผิวหน้า, องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผลึกได้ถูกตรวจสอบและวัดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDS) และการทดลองการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ตามลำดับ สมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าได้ถูกศึกษาโดยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนต์ (PL) และการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน

ผลกระทบจากสารตั้งต้น, ตำแหน่งของแผ่นฐาน, ปริมาณของออกซิเจนและความชื้นในการก่อตัวของโครงสร้างนาโน ZnO ได้ถูกศึกษาและพบว่า โครงสร้างนาโน ZnO ที่ได้ขึ้นกับนิวเคลียสที่เกิดจากไอระเหย Zn และ ZnO_x ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา ZnO/CNTs โดยนิวเคลียสที่ก่อตัวเป็น Tetrapod สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายที่สุดเนื่องจากสามารถพบได้ในทุกตำแหน่งของแผ่นฐานในท่อควอตซ์ ยิ่งไปกว่านั้น การทดลองได้พบว่า ปริมาณของออกซิเจนและความชื้นมีบทบาทสำคัญต่อความเร็วในการก่อตัวในทิศทาง [0001] ค่ายอดของการเปล่งแสงที่ได้จากชิ้นงานที่ความยาวคลื่น 420, 490 และ 530 นาโนเมตร บ่งชี้ถึงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องของโครงสร้างแบบการแทรกตัวและการแทนที่ตำแหน่งของอะตอมอื่นโดยอะตอมออกซิเจน สุดท้ายการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองกลไกการจำกัดกระแสบ่งชี้ว่าปริมาณออกซิเจนและความชื้นมีผลต่อปริมาณกับดักชนิดเดี่ยว

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต สุขุม พิทยาพิบูลพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ทรงพล กาญจนชูชัย

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อนุรัตน์ วิศิษฏ์สรอรรถ

5270705921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : VAPOR PHASE TRANSPORT / ZnO NANOSTRUCTURES / CARBON NANOTUBE / TETRAPODS

SUKUM PITAYAPIBOONPONG : CHARACTERIZATION OF ZnO NANOSTRUCTURES PREPARED BY VAPOR PHASE TRANSPORT USING ZnO/CNTs MIXTURE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SONGPHOL KANJANACHUCHAI, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ANURAT WISITSORA-AT, Ph.D., 60 pp.

247119

ZnO nanostructures were deposited on silicon substrate by vapor phase transport technique using ZnO/CNTs mixture as a source material. This process can be done below the melting point of ZnO. The surface morphology, chemical composition and crystal structure were characterized by scanning electron microscope (SEM), energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX) and x-ray diffraction (XRD), respectively. The optical and electrical properties were studied by photoluminescence (PL) and current-voltage measurement.

The effects of source material, substrate position, oxygen content and humidity on the formation of ZnO nanostructures had been investigated. It was found that ZnO nanostructures considerably depend on nucleation of Zn from ZnO_x vapor generated from ZnO/CNTs reaction. The nuclei for Tetrapod formation could be most easily formed because they were seen in every substrate's position in the quartz tube. In addition, the oxygen content and humidity were found to play important role on growth velocity in [0001] direction. Optical luminescence peaks at 420, 490 and 530 nm from samples indicated that oxygen increased structural defects including oxygen interstitial and antisite. Finally, analysis based on space-charge limited current model suggested that oxygen content and humidity notably affected the single trap concentration.

Department : Electrical Engineering ..... Student's Signature .....

Field of Study : Electrical Engineering ..... Advisor's Signature .....

Academic Year : 2010 ..... Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนข ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ดังนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทางด้านงานวิจัยคือ รศ. ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย และ ดร. อนุรัตน์ วิศิษฏ์สรอรรถ นักวิจัยแห่งศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คอยให้คำแนะนำที่มีค่าในเวลาที่ผู้เขียนเกิดปัญหาติดขัดในงานวิจัย และ นายดิษยุทธ โภคารัตน์กุล ผู้ช่วยนักวิจัยแห่ง NECTEC ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านเทคนิคจนงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในด้านวิชาการที่จำเป็นต่องานวิจัยชิ้นนี้และพี่ๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ช่วยให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อผู้เขียน

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณครอบครัวและบุคคลรอบข้างที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ คอยให้กำลังใจในยามที่ผู้เขียนเกิดอุปสรรคและความท้อแท้จนสามารถทำงานสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์..... 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานของสารประกอบกึ่งตัวนำ ZnO..... 4

2.1 โครงสร้างทางกายภาพ..... 4

2.1.1 โครงสร้างผลึก..... 4

2.1.2 ความไม่สมบูรณ์ของโครงผลึก..... 6

2.1.3 โครงสร้างนาโน ZnO..... 8

2.2 โครงสร้างแถบพลังงาน..... 10

2.3 สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสง..... 12

2.3.1 สมบัติทางไฟฟ้า..... 12

2.3.2 สมบัติทางแสง..... 12

2.4 การสังเคราะห์ ZnO..... 14

2.4.1 การสังเคราห์โดยใช้เฟสสารละลาย..... 14

2.4.2 การสังเคราะห์โดยใช้เฟสแก๊ส..... 14

บทที่ 3 การทดลอง..... 16

3.1 การเตรียมโครงสร้างนาโน ZnO โดยกระบวนการขนถ่ายเฟสไอ..... 16

3.2 การวัดลักษณะสมบัติ..... 17

หน้า

3.2.1 Scanning electron microscopy..... 17
3.2.2 X-ray diffraction..... 19
3.2.3 Energy dispersive X-ray spectroscopy..... 22
3.2.4 Photoluminescence spectroscopy..... 23
3.2.5 การวัดสมบัติทางไฟฟ้า..... 23

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 26
4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น..... 26
4.1.1 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค SEM..... 27
4.2 ผลของตำแหน่งของแผ่นฐานในเตาปฏิกรณ์..... 30
4.2.1 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค SEM..... 31
4.2.2 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค XRD และ EDX..... 33
4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงก๊าซปฏิกิริยา..... 35
4.3.1 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค SEM..... 36
4.3.2 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค XRD และ EDX..... 39
4.3.3 ผลการตรวจวัดสมบัติทางแสงโดยเทคนิค PL..... 42
4.3.4 ผลการตรวจวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน..... 44
4.4 ผลกระทบจากสารตั้งต้นที่ถูกปนเปื้อนด้วย Cu..... 47
4.4.1 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค SEM..... 47
4.4.2 ผลการตรวจวัดโครงสร้างโดยเทคนิค EDX..... 48

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 50

รายการอ้างอิง..... 52

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการสังเคราะห์โครงสร้างนาโน ZnO.....	17
4.1	เงื่อนไขการทดลองสำหรับหัวข้อที่ 4.3.....	35
4.2	ปริมาณธาตุที่ปรากฏบนชิ้นงานของการทดลองทั้ง 5 เงื่อนไข.....	39
4.3	ผลของก๊าซปฏิกิริยาที่มีต่อ V_{TFL}.....	46

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้าง Hexagonal Wurtzite และ Hexagonal close-packed.....	5
2.2	โครงสร้าง Cubic Zincblende และ Face centered-cubic.....	5
2.3	โครงสร้าง Rocksalt.....	6
2.4	จุดบกพร่องของโครงผลึกในแบบต่างๆ (ก) โครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์, (ข) จุดบกพร่องแบบ Vacancy, (ค) จุดบกพร่องแบบ Interstitial, (ง) Frenkel pair, (จ) Antisite และ (ฉ) อะตอมจากธาตุชนิดอื่นที่เข้ามาแทนที่.....	7
2.5	ภาพ SEM ของโครงสร้างนาโน ZnO ต่างๆ (ก) tetrapod, (ข) nanowires, (ค) nanorods และ (ง) nanoneedles.....	8
2.6	ภาพ TEM แสดงโครงสร้างแกนกลางของ T-ZnO.....	9
2.7	ภาพ SEM แสดงโครงสร้างของ T-ZnO (ก) needle shaped arms, (ข) hexagonal cylinder arms and pyramidal tips, (ค) hexagonal cylinder arms และ (ง) expanding hexagonal facet.....	9
2.8	ช่องว่างแถบพลังงาน (ก) แบบตรงและ (ข) แบบไม่ตรง.....	10
2.9	ระดับชั้นพลังงานที่เกิดจากจุดบกพร่องประเภทต่างๆ.....	11
2.10	กลไกการเปล่งแสง.....	13
3.1	โครงสร้างและกลไกในการทำงานของ SEM.....	18
3.2	สัญญาณที่เกิดจากอิเล็กตรอนเมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบชิ้นงาน.....	19
3.3	การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	20
3.4	หลักการทำงานของ x-ray diffraction spectroscope.....	21
3.5	กลไกการเกิดรังสีเอ็กซ์.....	22
3.6	แผนภาพและขั้นตอนการวัดสมบัติทางแสงของชิ้นงาน.....	23
3.7	การเตรียมชิ้นงานเพื่อการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน.....	25
4.1	รูปตัดขวางของเตาปฏิกรณ์ที่ใช้สังเคราะห์.....	26
4.2	ภาพ SEM ของ ZnO ที่สังเคราะห์โดยใช้ ZnO ขนาดขยาย (ก) 5,000, (ข) 10,000, (ค) 20,000 และ (ง) 50,000 เท่า.....	27

รูปที่		หน้า
4.3	ภาพ SEM ของ ZnO ที่สังเคราะห์โดยใช้ ZnO/CNTs ขนาดขยาย (ก) 5,000, (ข) 10,000, (ค) 20,000 และ (ง) 50,000 เท่า.....	28
4.4	การสังเคราะห์โดยวางแผ่นฐานที่ตำแหน่ง A, B และ C.....	30
4.5	ภาพ SEM ขนาดขยาย 2,000 เท่า (รูปใหญ่) และ 20,000 เท่า (รูปขยาย) ของ ZnO ที่ก่อตัวบนแผ่นฐาน (ก) A, (ข) B และ (ค) C.....	31
4.6	สเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากชิ้นงานตำแหน่ง C.....	33
4.7	สเปกตรัมองค์ประกอบทางเคมีจากชิ้นงาน C.....	34
4.8	ภาพ SEM ขนาดขยาย 10,000 เท่า (รูปใหญ่) และ 50,000 เท่า (รูปขยาย) ของ ZnO ที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา (ก) ออกซิเจน, (ข) Air Zero, Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ (ค) 35°C, (ง) 45°C และ (จ) 55°C.....	36
4.9	กลไกการเกิดโครงสร้างนาโน ZnO ที่มีผลของ O-H (ก) และ (ข).....	38
4.10	สเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา (ก) ออกซิเจน, (ข) Air Zero, Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ (ค) 35°C, (ง) 45°C และ (จ) 55°C.....	40
4.11	สเปกตรัมองค์ประกอบทางเคมี (รูปหลัก) และภาพ SEM ขนาดขยาย 20,000 เท่า (รูปแทรก) ของชิ้นงานที่เกิดจาก (ก) ออกซิเจน, (ข) Air Zero, Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ (ค) 35°C, (ง) 45°C และ (จ) 55°C.....	41
4.12	สเปกตรัมการเปล่งแสงของของชิ้นงานที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา (ก) ออกซิเจน, (ข) Air Zero, Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ (ค) 35°C, (ง) 45°C และ (จ) 55°C	42
4.13	กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของชิ้นงานที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา ออกซิเจน (■), Air Zero (●), Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ 35°C (▲), 45°C (▼) และ 55°C (◆).....	44
4.14	กราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน plot แบบ log-log ของชิ้นงานที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา (ก) ออกซิเจน, (ข) Air Zero, Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ (ค) 35°C, (ง) 45°C และ (จ) 55°C.....	45
4.15	ภาพ SEM ของ ZnO ที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ 37°C ขนาดขยาย (ก) 3,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า.....	47

รูปที่		หน้า
4.16	ภาพ SEM ขนาดขยาย 2,000 เท่า (รูปใหญ่) และ 40,000 เท่า (รูปขยาย) ของ ZnO ที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ 39°C.....	48
4.17	สเปกตรัมองค์ประกอบทางเคมีของ ZnO ที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ 37°C ที่มีโครงสร้างลักษณะ (ก) เส้นสาย และ (ข) สี่เหลี่ยม.....	48
4.18	สเปกตรัมองค์ประกอบทางเคมีของ ZnO ที่เกิดจากก๊าซปฏิกิริยา Air Zero ผ่านน้ำอุณหภูมิ 39°C ที่มีโครงสร้างลักษณะคล้ายท่อ.....	49