บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RSA5580015

โครงการ : การประกอบควอนตัมดอตสารกึ่งตัวนำโดยการนำของเส้นเคลื่อนผิวร่วมในเอพิแทกซี-วิวิธพันธุ์แบบแลตทิซไม่เข้าคู่กัน

นักวิจัย : รศ.ดร.ทรงพล กาญจนชูชัย และคณะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail Address : songphol.k@chula.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึง 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

โครงสร้างควอนตัมดอต (QD) สารกึ่งตัวนำชนิด InAs บนเทมเพลตลายตาราง (CHP) InGaAs ถูกปลูกขึ้นบนแผ่นฐาน GaAs โดยเทคนิคเอพิแทกซีลำโมเลกุล (MBE) การปลูกผลึกเดี่ยวที่ต่างชนิด ต่างพันธุ์จากแผ่นฐานเรียกเอพิแทกซีวิวิธพันธุ์ และหากชั้นปลูกมีค่าคงตัวแลตทิซต่างจากแผ่นฐานจะเรียกเอพิแทกซีนั้นว่าเป็นแบบแลตทิซไม่เข้าคู่ การปลูกชั้น CHP โดยเทคนิคเอพิแทกซีวิวิธพันธุ์แบบแลตทิซไม่เข้าคู่ทำให้เกิดเส้นเคลื่อนหรือดิสโลเคชันที่ผิวร่วม CHP/แผ่นฐาน หรือ InGaAs/GaAs เกิดสนามความเครียดที่สามารถชักนำการก่อ QD ในกระบวนการถัดไปได้ โครงสร้างที่ปลูกมีหลายแบบ หลากวัตถุประสงค์ แต่ทุกโครงสร้างล้วนถูกตรวจสอบสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) และสมบัติเชิงแสงโดยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนส์ (PL) ซึ่งจำแนกย่อยเป็นเทคนิคแมโคร PL, เทคนิค PL ที่ตรวจวัดสมบัติโพลาไรซ์ของแสงได้ (PPL), และเทคนิคไมโคร PL ซึ่งให้ผลเป็นสเปกตรัมใน 2 มิติคล้ายแผนที่ เรียก PL map ได้ แก่นของการทดลองมี 3 ประการ

1. ความหนาแน่นของ CHP สามารถควบคุมได้โดยปรับเศษส่วนโมลและความหนาของชั้น InGaAs ได้ตั้งแต่ความหนาแน่นต่ำ ๆ มีดิสโลเคชันในทิศเดียวคือให้ผลเป็นลายทาง ไปกระทั่งความหนาแน่นสูงซึ่งประยุกต์ใช้เป็นเทมเพลตเพื่อปลูก QD ชนิดที่มีสภาพแม่เหล็กเจือจางสำหรับประยุกต์เป็นหน่วยความจำความหนาแน่นสูงได้

2. โครงสร้างสายโซ่ QD ที่ซ้อนกันหลายชั้นบนเทมเพลต CHP มีผลึกที่สมบูรณ์เนื่องจากเปล่งแสงและตอบสนองต่อแสงได้ดี แสงที่เปล่งออกมาเป็นแสงโพลาไรซ์ อันดับขั้นของการโพลาไรซ์เพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้น QD แต่หากจำนวนชั้นสูงเกินไป คุณภาพของผลึกจะเลวลงอย่างรวดเร็ว การทดลองแสดงให้เห็นว่า จำนวนชั้นที่ซ้อนกันไม่ควรเกิน 3

3. โครงสร้างสายโซ่ QD ที่ซ้อนกันหลายชั้นเช่นเดียวกับข้างต้นถูกนำไปวัดไมโคร PL ให้ผลเป็นแผนที่สเปกตรัมที่ระบุว่า แสงที่เด่นที่สุดจากโครงสร้างเป็นแสงจาก QD ชั้นบนสุด หากกระตุ้นชิ้นงานด้วยแสงความเข้มสูง แสงจาก QD ชั้นล่างซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าจึงจะทยอยปรากฏออกมาทีละชั้น ๆ แทนที่ความเข้มที่เพิ่มขึ้นจะไปทำให้ QD ชั้นบนเริ่มเปล่งแสงจากสถานะกระตุ้น พฤติกรรมการตอบสนองเช่นเดียวกันนี้สามารถใช้ระบุกลไกการถ่ายโอนพาหะในโครงสร้างนาโนทั่วไปที่ซ้อนกันหลายชั้นได้

คำหลัก : ควอนตัมดอต เส้นเคลื่อนผิวร่วม เอพิแทกซีวิวิธพันธุ์ แลตทิซไม่เข้าคู่กัน

Abstract

Project Code : RSA5580015

Project Title : Guided assembly of semiconductor quantum dots via interfacial dislocations in lattice-mismatched heteroepitaxy

Investigator : Songphol Kanjanachuchai et al., Chulalongkorn University

E-mail Address : songphol.k@chula.ac.th

Project Period : 16 July 2012 – 15 July 2015

Self-assembled InAs quantum dots (QDs) are grown on InGaAs/GaAs cross-hatch pattern (CHP) template by molecular beam epitaxy (MBE). Lattice-mismatched heteroepitaxy of the CHP template results in interfacial dislocations whose strain fields guide the nucleation of subsequent QDs. Various structures are grown for different purposes. All of the grown structures are characterized by atomic force microscopy (AFM) to study QD morphology, and photo-luminescent (PL) to study the optical properties. The latter are divided into standard macro-PL, polarized PL (PPL) and micro-PL mapping (PL map). Three key results were achieved:

1. The CHP density can be controlled simply by varying the molar fraction and thickness of the InGaAs layer. It is possible to limit the dislocations to occur in just one main direction, thus creating a stripes template. On the other hand, densed CHPs can also be achieved. The latter is proposed as a template for the growth of high-density diluted magnetic semiconductor for memory applications.

2. Stacked QD chains on CHP template are of good crystalline quality as they are optically active. PL spectra show that the structure is capable of generating polarized light. The degree of polarization (DOP) increases with the number of stacks but there exists a limit before crystalline quality degrades. This maximum stack number has been experimentally determined to be 3.

3. The same stacked QD chains structure as above are mapped by micro-PL. The top most QD layer is found to be the dominant emission layer. Upon high excitation, however, emissions from lower layers start to emerge. This is in contrast to state-filling effect and be used as a guide to indicate carrier transfer mechanisms in multi-stacked nanostructures in general.

Keywords : quantum dots, interfacial dislocations, heteroepitaxy, lattice-mismatch