บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาสมบัติทางโครงสร้างและแสงของควอนตัมดอทโดยใช้วิธีเคดอทพี
ผู้วิจัย วรศักดิ์ สุขบท
ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ระยะเวลาทำการวิจัย มิถุนายน 2555 – มิถุนายน 2556

ความเป็นมา/ปัญหาในการวิจัย

ในปัจจุบันการศึกษาอนุภาคในระดับนาโนเมตรได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ด้วยสมบัติโครงสร้างทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างและโดดเด่นของอนุภาคในระดับนาโนเมตร ทำให้สามารถประยุกต์ใช้คุณสมบัติดังกล่าวในทางอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ควอนตัมดอท (Quantum Dots) เป็นโครงสร้างระดับนาโนเมตรที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในช่วงทศวรรษนี้โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคทางแสง ตัวอย่างเช่น ตัวตรวจจับทางแสง (Light detector), ไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode), โซลาร์เซลล์ (Solar cell), เลเซอร์ (Laser) เป็นต้น นอกจากนี้ควอนตัมดอทยังได้ถูกศึกษาในด้านควอนตัมคอมพิวติง (Quantum Computing) ซึ่งจะถูกพัฒนาต่อยอดเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการประมวลผลที่รวดเร็วกว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันอีกด้วย ด้วยเหตุนี้ทำให้ได้มีการศึกษาสมบัติของควอนตัมดอทขึ้นอย่างแพร่หลายทั้งในด้านทฤษฎีและการทดลอง

ในด้านการทดลอง งานวิจัยได้ทำการปลูกควอนตัมดอทโดยใช้วิธี Stanski Krastanov ซึ่งอาศัยคุณสมบัติความเครียดที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดมาประกอบกัน จนก่อให้เกิดเป็นอนุภาคควอนตัมดอทขึ้น ส่วนรูปร่างของควอนตัมดอทจะใช้เครื่อง Atomic Force Microscopy (AFM) ในการพิจารณาและวิเคราะห์ นอกจากการปลูกควอนตัมดอทแล้ว งานวิจัยยังศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอทโดยใช้เครื่อง Photoluminescence Spectroscopy ขณะที่งานวิจัยในเชิงทฤษฎีจะสร้างแบบจำลอง (Model) ขึ้นโดยอาศัยตัวแปรและเงื่อนไขต่างๆที่สอดคล้องกับการทดลอง เช่น สารกึ่งตัวนำที่นำมาสังเคราะห์ควอนตัมดอท, รูปร่างและขนาดของอนุภาคควอนตัมดอท เป็นต้น หลังจากนั้นก็จะคำนวณหาระดับพลังงานภายในควอนตัมดอท ในปัจจุบันนี้มีหลายวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ในการคำนวณหาระดับพลังงานกันอย่างแพร่หลาย เช่น วิธีไทด์บายด์ดิ่ง (Tight-Binding) วิธีซูโดโพเทนเชียล (Pseudopotential) วิธีดีเอฟที (DFT) วิธีเคดอทพี (k.p) เป็นต้น หลังจากนั้นก็นำแบบจำลองดังกล่าวไปทำนายคุณสมบัติทางโครงสร้างและแสงของอนุภาคควอนตัมดอท พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ดังนั้นจะเห็นว่างานวิจัยในเชิงทฤษฎีจะทำนายคุณสมบัติต่างๆของอนุภาคควอนตัทดอท เมื่อได้คุณสมบัติที่ต้องการแล้ว งานวิจัยทางด้านการทดลองก็จะดำเนินการต่อเพื่อยืนยันผลงานวิจัยและได้ผลิตภัณฑ์ออกมา จากนั้นจึงนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมต่อไป

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาสมบัติทางโครงสร้างและแสงของควอนตัมดอทในเชิงทฤษฎีโดยใช้วิธีเคดอทพี (k.p) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากควอนตัมดอทนั้นถูกสังเคราะห์จากสาร 2 ชนิดที่มีความยาวของโครงสร้างทางผลึกที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดความเครียดขึ้นภายในและรอบๆควอนตัมดอท ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาการกระจายตัวของความเครียด (Strain distribution) ที่เกิดขึ้นภายในบริเวณนั้น การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอทเป็นอีกหนึ่งความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ในการผลิตวัสดุอิเล็กทรอนิกส์นำแสงที่ใช้ในทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติดังกล่าว เช่น สเปคตรัมการเปล่งแสง (Emission spectrum)

การถ่ายโอนระดับพลังงานภายในควอนตัมดอท (Optical transition) เป็นต้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างของควอนตัมดอทโดยใช้วิธีเคดอทพี เช่น ความเครียด รูปร่างและขนาดของควอนตัมดอทศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอทโดยใช้วิธีเคดอทพี เช่น สเปคตรัมการเปล่งแสง การเปลี่ยนถ่ายระดับพลังงานภายในควอนตัมดอท เป็นต้น
2. เปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้รับในเชิงทฤษฎีกับผลการทดลอง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูลอยู่ที่ กลุ่มวิจัย Quantum Dot ที่อาคารภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. ค้นคว้าบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับควอนตัมดอททั้งในเชิงทฤษฎีและการทดลอง
3. ทำการวิจัยตามแผนงานที่วางไว้โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำงานวิจัยและเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดลองดั่งแผนการดำเนินงานในข้อ 3.1-3.4 ดั่งแสดงในบทที่ 3
4. รายงานผลงานวิจัยในรูปของบทความงานวิจัย ตีพิมพ์ผลงานวิจัยและนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมสัมมนาทั้งในและต่างประเทศ

ผลการวิจัย/ข้อค้นพบ

ผู้วิจัยได้อธิบายการกระจายตัวของความเครียดในควอนตัมดอทที่เรียงทับกัน 3 ตัว โดยระยะห่างระหว่างควอนตัมดอทอยู่ในช่วง 0-6 นาโนเมตร โดยประยุกต์วิธี elastic continuum theory ในคำนวณการกระจายตัวของความเครียด ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแถบพลังงานอันเนื่องมาจากความเครียดโดยวิธี eight-band strain-dependent k.p จากผลการคำนวณพบว่ามีการบีบตัวภายในบริเวณควอนตัมดอท ( ) เมื่อระยะห่างระหว่างควอนตัมดอทที่เรียงทับกัน 3 ตัวเพิ่มขึ้น ความเครียดแบบ biaxial ทั้งในบริเวณควอนตัมดอทและบริเวณรอบๆจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากการคำนวณพบว่าความเครียดแบบ hydrostatic และ ความเครียดแบบ biaxial สามารถใช้ในการพิจารณารูปแบบของแถบพลังงาน ความเครียดแบบ hydrostatic จะยกระดับพลังงานคอนดักชันและเวเลนซ์ในขณะที่ ความเครียดแบบ biaxial จะทำให้แถบระดับพลังงานเวเลนซ์ที่เคยเท่ากัน มีค่าต่างกัน เมื่อพิจารณาความเครียด สุดท้าย ความเครียดและระยะห่างระหว่างควอนตัมดอทส่งผลกระทบอันสำคัญต่อรูปร่างและระดับของแถบพลังงานในควอนตัมดอทที่เรียงทับกัน 3 ตัว

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการกระจายตัวของความเครียดและปรากฏการณ์ Piezoelectricity ในเชิงทฤษฎีโดยวิธียืดหยุ่นอย่างต่อเนื่อง (continuum elasticity๗) และเคดอทพี ผลการคำนวณแสดงว่า การกระจายตัวของความเครียดและปรากฏการณ์ Piezoelectricity มีอิทธิพลอย่างมากต่อโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของควอนตัมดอท โดยความเครียดจะยกระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและโฮลเมื่อเทียบกับการคำนวณที่ไม่ได้พิจารณาความเครียด ในขณะที่พลังงานศักย์อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Piezoelectricity ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการวางตัวของฟังก์ชันคลื่นของอิเล็กตรอนระดับพลังงานที่ 1 ( ) แต่จะส่งผลให้เกิดการกลับทิศทางการวางตัวของฟังก์ชันคลื่นของอิเล็กตรอนระดับพลังงานที่ 2 และ 3 (และ) จาก [ ] เป็น [110] และในทางกลับกัน ในส่วนของสถานะโฮล Piezoelectricity ทำให้วางตัวของฟังก์ชันเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับฟังก์ชันคลื่นที่ไม่ได้พิจารณา Piezoelectricity ในการคำนวณ

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องอัตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนและโฮล ภายในควอนตัมดอม (Electron-hole interaction in Quantum dots) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการศึกษาเซลล์สุริยะ (Solar cell)
2. งานวิจัยนี้สามารถศึกษาในการประยุกต์ควอนตัมดอทในการศึกษาปรากฏการณ์ Polarization ภายในควอนตัมดอท ซึ่งเป็นพื้นฐานในการศึกษา Quantum Computer

การนำไปใช้ประโยชน์

1. สามารถนำแบบจำลองนี้ไปทำนายสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตจากอนุภาคควอนตัมดอท เช่น ไดโอดเปล่งแสง เลเซอร์ โซลาร์เซลล์ เป็นต้น
2. เผยแพร่งานวิจัยในรูปแบบของการนำเสนอผลงานในที่ประชุมและการตีพิมพ์ผลงานในวารสารทั้งในและต่างประเทศ ในฐานะของตัวแทนนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. ต่อยอดความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่นักศึกษาระดับปริญญาตรีในรูปแบบของโครงงานพิเศษหรือวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท-เอก