สนับสนุนเพื่อจัดซื้อเครื่องมือปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลชุดใหม่มูลค่า 20 ล้านบาท เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องมือชุดเดิมมูลค่า 25 ล้านบาทที่ติดตั้งใช้งานมาตั้งแต่ปี 2536 เครื่องมือวิจัยชุดใหม่นี้ใช้งบประมาณสมทบจากแหล่งทุนวิจัย 3 แหล่งได้แก่ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ 6 ล้านบาท สำนักงานวิจัยและพัฒนาด้านอวกาศแห่งเอเชียของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา 2.2 ล้านบาท และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 12 ล้านบาท การติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ดังกล่าวเริ่มต้นในปี 2552 ต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน หากแล้วเสร็จจะทำให้งานวิจัยมีความคืบหน้าอย่างก้าวกระโดดได้

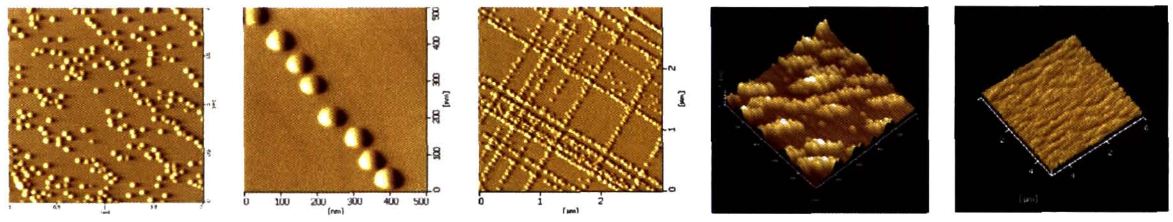
งานวิจัยในช่วง 2550-2553 นี้มีความร่วมมือกับสถาบันวิจัยในต่างประเทศหลายแห่งเช่น มหาวิทยาลัยโตเกียว (University of Tokyo) มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียที่ซานดิเอโก (UC San Diego) สถาบันวิจัยแมกซ์พลั้งค์ (Max Planck Institute) และสถาบันวิจัยแห่งชาติฝรั่งเศส (CNRS-LAAS) ที่เมืองตูลูส ทั้งในระดับนักวิจัย และนิสิตระดับปริญญาเอกที่ได้รับทุนคปก.ของสกว. และทุน AUN/SEED-Net สำหรับนิสิตชาวต่างประเทศ ผลผลิตจากโครงการวิจัยจึงมีทั้งการตีพิมพ์บทความวิจัย การจดสิทธิบัตรของผลงานวิจัย และการผลิตบัณฑิตทั้งระดับปริญญาและปริญญาเอกด้วย

ในรายงานวิจัยฉบับสมบรูณ์นี้จะมีรายละเอียดต่าง ๆ ของผลผลิตฯ ที่เป็นบทความวิจัยที่ตีพิมพ์และบทความที่นำเสนอในการประชุมวิชาการทั้งในและต่างประเทศแนบท้ายด้วย

2. เทคนิคการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลแบบหยด (Droplet Epitaxy)

ในช่วงการวิจัยปี 2547-2550 เทคนิคการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล เพื่อเตรียมโครงสร้างนาโนแบบจัดเรียงตัวเอง โดยใช้สารกึ่งตัวนำ InAs/GaAs เป็นแบบ S-K (Stranski-Krastanov) ซึ่งอาศัยกลไกการปลดปล่อยแรงเครียดของผลึกที่มีขนาดโครงข่ายผลึกที่แตกต่างกัน ประมาณ 7 % ทำให้สารกึ่งตัวนำ InAs ที่ปลูกบน GaAs มีรูปลักษณะเป็นควอนตัมดอต ซึ่งมีคุณภาพผลึกที่สมบูรณ์แบบ ไม่มีข้อบกพล่องในโครงสร้าง แต่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแบบควอนตัมดอตนี้จึงมีพลังงานแบบควอนไตน์ เช่นเดียวกับอะตอม พลังงานของอิเล็กตรอนจึงกระจายตัวแบบกระโดด (Discrete Energy) และมีความหนาแน่นของสถานะ (State Density) เป็นแบบเดลต้าฟังชั่น (δ-Function) การเกิดควอนตัมดอตแบบจัดเรียงตัวเองเป็นกลไกธรรมชาติ ดังนี้ควอนตัมดอตจึงเกิดในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน (Random) ซึ่งอาจมีปัญหาในด้านประยุกต์ทางนาโนอิเล็กทรอนิกส์ เพราะความเป็นระเบียบของควอนตัมดอตเป็นสิ่งจำเป็นในการส่งและรับสัญญาณจากภายนอก ในการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลแบบปลูกกลบด้วยชั้นผลึกบาง ๆ และปลูกซ้ำ (Thin-Capping-and-Regrowth) ทำให้สามารถปลูกควอนตัมดอตที่เรียงตัวเป็นระเบียบในแนวตรง (Linearly Aligned QDs) และแนวติดตั้งฉากกัน (Cross-Hatched QDs) ซึ่งเป็นผลงานวิจัยที่เกิดขึ้นในช่วงปี 2547-2550 นอกจากนั้นการเพิ่มจำนวนรอบการปลูกกลบและปลูกซ้ำ ทำให้เกิดควอนตัมดอตโมเลกุล (Quantum Dot Molecules) ที่เป็นกลุ่มก้อนของควอนตัมดอตที่เกิดติด ๆ กัน ในระนาบผลึกในแนวนอน (Laterally Close-Packed QDs) และควอนตัมดอตโมเลกุลที่

มีความหนาแน่นสูง (High Density Quantum Dot Molecules) รูปที่ 1 เป็นตัวอย่างของโครงสร้างควอนตัมดอต และควอนตัมดอตโมเลกุลแบบต่าง ๆ ที่เป็นผลงานวิจัยในช่วงปี 2547-2550

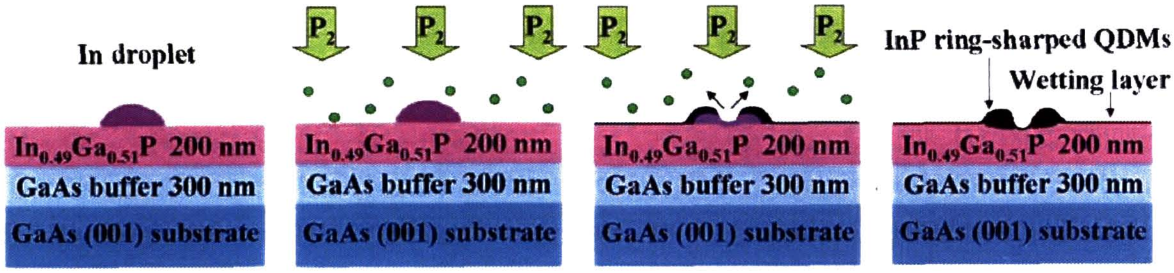


(a) (b) (c) (d) (e)

รูปที่ 1 โครงสร้างควอนตัมดอตและควอนตัมดอตโมเลกุลแบบต่าง ๆ ที่ปลูกด้วยเทคนิค S-K

ในการวิจัยในช่วงปี 2550-2553 นี้นอกจากการปลูกผลึกสารกึ่งตัวนำโครงสร้างระดับนาโนด้วยเทคนิค S-K แล้ว คณะวิจัยได้พัฒนาเทคนิคการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลแบบหยด (Droplet Epitaxy) เพื่อการเตรียมโครงสร้างนาโนแบบอื่น ๆ เช่น ควอนตัมวงแหวน ควอนตัมดอตแบบวงแหวน และหลุมนาโนแบบสี่เหลี่ยมเพื่อใช้เป็นแม่แบบสำหรับการปลูกควอนตัมดอตสี่ดอต เพื่อการประยุกต์ในด้านควอนตัมเซลลูล่าออโตมาตา (Quantum Cellular Automata)

การปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลแบบหยด (Droplet Epitaxy) เริ่มต้นจากการเปิดลำโมเลกุลของธาตุกลุ่มที่ 3 (Group III Element) ได้แก่ อินเดียม (Indium : In) หรือแกลเลี่ยม (Gallium : Ga) ลงบนฐานผลึก GaAs ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 250 °C จะเกิดหยดของอินเดียมที่มีขนาดนาโนเมตรกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวผลึก จากนั้นจึงเปิดลำโมเลกุลของธาตุกลุ่มที่ 5 (Group V Elecment) ได้แก่ อาเซนิค (Arsenic : As) หรือฟอสฟอรัส (Phosphorous : P) จะเกิดผลึกสารกึ่งตัวนำ III-V ขึ้นที่ขอบของหยด ทำให้เกิดโครงสร้างวงแหวนระดับนาโนขึ้น กลไกการเกิดควอนตัมวงแหวนมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2



(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 2 ขั้นตอนการเกิดควอนตัมวงแหวนโดยใช้เทคนิคการปลูกแบบหยด (Droplet Epitaxy)