

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



191096



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การวิจัยพื้นฐานสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างนาโนแบบจัดเรียงตัวเองโดยวิธีปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล”

(2550-2553)

โดย ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และคณะ

สิงหาคม 2553

6 00255889

สัญญาเลขที่ RTA5080003

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การวิจัยพื้นฐานสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างนาโนแบบจัดเรียงตัวเองโดยวิธีปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล”
(2550-2553)

คณะผู้วิจัย

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว | 2. รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร |
| 3. รศ. ดร. บรรยง โศปประเสริฐพงศ์ | 4. รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน |
| 5. รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์ | 6. รศ. ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย |
| 7. อ. ดร. ชรินทร์ วิศวินชานนท์ | 8. นายสุภโชค ไทยน้อย |
| 9. นายพรชัย ช่างม่วง | |

สังกัด

ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัยสกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยโครงการ “การวิจัยพื้นฐานของควอนตัมคอมพิวเตอร์แบบจัดเรียงตัวเองและศักยภาพในการประยุกต์ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์” ช่วงที่ 2 ระหว่างปี 2550-2553 ขอขอบพระคุณ การสนับสนุนจาก ทุนเมธีวิจัยอาวุโส และทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษกของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่มีส่วนสำคัญในการผลักดันให้คณะผู้วิจัยดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิผล ทั้งในส่วนที่เป็นงานวิจัยพื้นฐานเพื่อปูรากฐานด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศ และในการสร้างทรัพยากรมนุษย์ในระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ในระยะยาว ตลอดจนการสร้างผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่ยอมรับในระดับนานาชาติ พัฒนาการระดมการเตรียมโครงสร้างระดับนาโนเมตรที่มีศักยภาพในการประยุกต์ และมีคุณค่าเชิงพาณิชย์เพื่อการจดสิทธิบัตร และการสร้างต้นแบบสิ่งประดิษฐ์ที่มีศักยภาพในการประยุกต์ ซึ่งจะมีประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ต่อไป

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ยังได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาด้านอวกาศของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาและจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยมีงบประมาณวิจัยสมทบจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อใช้ซื้อเครื่องมือวิจัยด้านการวิเคราะห์และเครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำไมเลกุลชุดที่สองด้วย

นิตินในระดับบัณฑิตศึกษาส่วนหนึ่งได้รับทุนการศึกษาจากโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” ของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษไฟฟ้ากำลังของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนิตินจากต่างประเทศในโครงการวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษาจากโครงการ AUN/SEED-Net ในการศึกษาทั้งระดับปริญญาโทและเอก ความร่วมมือด้านวิจัยจาก สถาบันวิจัยแห่งชาติฝรั่งเศส (LAAS-CNRS), Max Planck Institute, University of Tokyo, Tokyo Institute of Technology, Waseda University, National University of Singapore และ University of California at San Diego ยังมีส่วนกระตุ้นให้เกิดบรรยากาศการวิจัยในระดับแนวหน้าได้ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณ Prof. A. Martinez, Dr. Francois Lozes, Mr. Bernard Rousset, Dr. Karl Eberl, Dr. Oliver Schmidt, Prof. Yasuhiko Arakawa, Prof. Shunri Oda, Prof. Y. Horikoshi, Prof. Soo Jin Chua, Prof. Charles W. Tu ในไม่ตรีจิต และความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RTA5080003

ชื่อโครงการ : การวิจัยพื้นฐานสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างนาโนแบบจัดเรียงตัวเองโดยวิธีปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล

ชื่อนักวิจัย : ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร
 รศ. ดร. บรรยง โตประเสริฐพงษ์ รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน
 รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์ รศ. ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย
 อ. ดร. ชนินทร์ วิศวินชานนท์ นาย สุภโชค ไทยน้อย
 นาย พรชัย ช่างม่วง
 ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะเวลาโครงการ : 3 ปี (2550-2553)

191096

การวิจัยพื้นฐานของควอนตัมดอตแบบจัดเรียงตัวเองที่ทำจากสารประกอบกึ่งตัวนำ ซึ่งมีศักยภาพในการประยุกต์ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์ในช่วงปี 2550-2553 นี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากช่วงปี 2547-2550 ที่ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสร้างควอนตัมดอตที่มีรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ควอนตัมดอตคู่ ควอนตัมดอตแบบ 4 ดอต ควอนตัมดอตวงแหวน ควอนตัมดอตที่เรียงเป็นแนวตรง และแนวตัดขวางกัน ตลอดจนควอนตัมวงแหวนได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคการปลูกผลึกแบบปลูกกลบและปลูกซ้ำ และเทคนิคการปลูกผลึกแบบหยดด้วยเครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล

โครงสร้างควอนตัมดอตที่พัฒนาขึ้น เช่น ควอนตัมดอตคู่จะมีศักยภาพในด้านสปินทรอนิกส์ ควอนตัมดอตแบบ 4 ดอต และควอนตัมดอตวงแหวนจะมีศักยภาพในด้านควอนตัมคอมพิวเตอร์ตามหลักการควอนตัมเซลล์เอาท์โอดมาต้า ส่วนควอนตัมดอตที่เรียงตัวเป็นแนวตรงและแนวตัดขวางกันจะเป็นรูปแบบที่จำเป็นสำหรับสิ่งประดิษฐ์ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์ การพัฒนาเทคนิคการปลูกควอนตัมดอตโมเลกุลที่มีจำนวนดอตหนาแน่นสูงยังเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา ควอนตัมดอตเลเซอร์ และควอนตัมดอตโซล่าเซลล์ที่มีสมรรถนะสูงด้วย

คำหลัก : นาโนอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างควอนตัม การปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล

Executive Summary

“Basic Research on Self-Assembled Quantum Dots and their Potential Applications on Nanoelectronic and Nanophotonics” has been conducted since 2000 and received the financial support from Senior Researcher Fellowship of Thailand Research Fund (TRF) and Office of the Higher Education Commission (OHEC) during 2004-2007 and during 2007-2010.

Self-assembled quantum dots, which are defect-free nanostructures, are grown by both solid-source and gas-source molecular beam epitaxies (MBE). With an original development of our MBE process called thin-capping-and-regrowth technique and droplet epitaxy, different patterns of quantum dot nanostructures such as bi-quantum dots, quadra-quantum dots, quantum dot ring, aligned quantum dot and cross hatched quantum dots as well as quantum dot rings are created at different growth conditions. These nanostructures are useful for various device applications in spintronics, quantum computing, nanoelectronics and nanophotonics. High density quantum dot molecules having high dot quality are also vital for high performance quantum dot lasers and quantum dot solar cells.

In this full report, a research background prior to quantum study is introduced and followed by experimental results based on quantum dot growth by solid-source and gas-source MBE and related evaluations, such as quantum dot morphology by Atomic Force Microscopy (AFM), cross-sectional nanostructures by Transmission Electron Microscopy (TEM), basic optical properties by Photoluminescence (PL). Finally, we have demonstrated to fabricate a prototype of quantum device having high density quantum dots as an active part, i.e. quantum dot solar cells. The high performance of quantum dot solar cells showing broad spectral response confirms that this basic research is paving a way to potential development of energy efficient nanoelectronics and nanophotonics in Thailand.

In addition, reprints of international publications and manuscripts of all papers presented in all journals and conferences are attached. During 2007-2010, authors were invited to give talks, plenary lectures and keynote lectures at conferences and field-wise seminars. List of graduated students at bachelor, master and Ph.D. levels and their thesis titles are also presented. Parts of this research work are conducted through some research collaborations with foreign institutes as listed at the end of this report.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อ	iii
Abstract	iv
Executive Summary	v
1. บทนำ.....	1
2. เทคนิคการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลแบบหยด (Droplet Epitaxy)	4
3. โครงสร้างระดับนาโนเมตรแบบต่าง ๆ ที่พัฒนาจากเทคนิคการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลแบบหยด.....	6
4. โครงสร้างระดับนาโนเมตรที่มีศักยภาพด้านควอนตัมคอมพิวเตอร์.....	10
5. กระบวนการเตรียมโครงสร้างระดับนาโนเมตรที่มีคุณค่าเชิงพาณิชย์และยื่นจดสิทธิบัตร.....	12
6. การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของโครงสร้างควอนตัมดอตแบบต่าง ๆ.....	14
7. การศึกษาการปลูกชั้นผลึกสารประกอบกึ่งตัวนำบนฐานผลึกเจอร์เมเนียม	17
8. การศึกษาผลตอบสนองทางสเปกตรัมของควอนตัมดอตโซล่าเซลล์	18
9. การติดตั้งเครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลชุดใหม่ รุ่น RIBER Compact 21 TM	21
10. การซ่อมและบำรุงรักษาเครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลชุดเก่า รุ่น RIBER 32P	22
11. ผลงานวิจัยที่ได้รับรางวัล และผลงานวิจัยที่รับเชิญในการประชุมวิชาการต่าง ๆ.....	24
12. การพัฒนากำลังคน.....	25
Outputs ที่ได้จากโครงการวิจัย.....	26
ภาคผนวก	42