

ナノ構造の自己形成とその制御

Self-assembling of Nanostructures and its Control

(研究プロジェクト番号：JSPS-RFTF 96P00201)

プロジェクトリーダー

荒川 泰彦 東京大学先端科学技術研究センター・教授

コアメンバー

西永 頌 名城大学理工学部・教授
 花尻 達郎 東洋大学工学部・助教授
 平川 一彦 東京大学生産技術研究所・教授
 中野 義昭 東京大学大学院工学系研究科・教授
 平本 俊郎 東京大学生産技術研究所・助教授
 染谷 隆夫 東京大学先端科学技術研究センター・講師



1. 研究目的

- (1) ナノ構造形成技術の確立に向けて重要となる結晶成長時における界面・表面のダイナミクスの理解
- (2) III-V 族を中心にしたさまざまな半導体量子ドットの自己形成手法の確立
- (3) 作製した量子ドットの電子光物性の解明
- (4) 自己形成量子ドットを用いたデバイスへの応用

2. 研究成果概要

2.1 ナノ構造形成技術の確立に向けて重要となる結晶成長時における界面・表面のダイナミクスの理解

MBE における面間拡散の理解を、実験およびモデルから深めるとともに、マイクロチャネルエピタキシ技術を確立した。

2.2 III-V 族を中心にしたさまざまな半導体量子ドットの自己形成手法の確立

選択成長及び Stranski-Krastanow 成長モードの両方について GaN 系量子ドットの形成に成功した。また、GaSb/GaAs タイプ II 量子ドットや Si 量子ドットの形成技術の確立をはかるとともに、発光波長やドットが形成される領域の制御手法を新たに開拓した。

2.3 作製した量子ドットの電子光物性の解明

単一量子ドットの分光に成功。磁場効果などを明らかにするとともに、PLE により連続的状態密度が量子ドットに存在することを明らかにし、大きなインパクトを学界に与えた。また、自己形成単一量子ドットでいわゆる「もつれ状態」を実現した。

2.4 自己形成量子ドットを用いたデバイスへの応用

光通信に適した 1.5 μm 帯で InAs 量子ドットの良質な発光を初めて実現した。また、GaN 系量子ドットレーザと微小共振器レーザの室温発振（光励起）に世界で初めて成功した。

3. 結論

本プロジェクトは、量子ドットの自己形成とその制御について、下記のとおり重要かつ幅広い成果を達成した。

- 面間拡散のメカニズムの解明など結晶成長プロセスの理解は、理論グループとの連携を通じてかなり進んだ。これは、結晶成長学の学問分野に新たな側面をもたらしたという意味において意義深い。
- 量子ドット形成領域の制御や発光波長の制御に成功したことは、自己形成量子ドットの応用上きわめて意義深い。
- GaN 系半導体における量子ドットの形成など、量子ドットとしては未開拓な材料に挑戦し室温レーザ発振まで達成することができたことは、結晶成長材料工学および光エレクトロニクス分野の発展上重要な貢献である。
- 単一量子ドット分光により量子ドットの物性を実験的に明らかにし、固体物理の進展にひとつの寄与をした。

今後、これらの結果が、ナノオプトエレクトロニクスやナノエレクトロニクスなど、ナノテクノロジー情報デバイスの応用（応用）に向けて活用されることを期待する。また、電子デバイスと光デバイス開拓を含むナイトライドエレクトロニクスとして学問分野が展開されることも望む。

ナノ構造の自己形成とその制御は、将来の情報エレクトロニクス技術を支えるナノテクテクノロジーにおいて、キーとなるテーマである。現時点では、大きな課題である量子ドットの「寸法」「位置」の制御が達成されておらず、今後、表面・界面ダイナミクスをさらに深く理解しまた革新的手法を開拓することが不可欠である。したがって、量子ドット形成を中心とした半導体ナノテクノロジーについては、さらに、英知を結集して研究が推進されることが必要である。

主な発表論文

- (1) S. Kousai and A. Yamashiki, T. Ogura, and T. Nishinaga, "Real-time observation of mesa shrinkage process in MBE of GaAs on (111)B patterned substrates and theoretical analysis," *J. Crystal Growth*, **198/199** (1999) 1119-1124
- (2) Y. Toda O. Moriwaki, M. Nishioka, and Y. Arakawa, "Efficient Carrier Relaxation Mechanisms in InGaAs/GaAs Self-Assembled Quantum Dots Based on the Existence of Continuum States," *Physical Review Letters*, **82, 20** (1999) 4114-4117
- (3) G. Bacchin and T. Nishinaga, "A new way to achieve both selective and lateral growth by molecular beam epitaxy: low angle incidence microchannel epitaxy," *J. Crystal Growth*, **208** (2000) 1-10
- (4) Y. Arakawa, T. Someya, and K. Tachibana, "Progress in Growth and Physics of Nitride-Based Quantum Dots (*Editor's Choice*)," *Phys. Sta. Sol (d)*, **224, 1** (2001) 1-11
- (5) T. Someya, R. Werner, A. Forchel, M. Catalano, R. Cingolani, and Y. Arakawa, "Room Temperature Lasing at Blue Wavelengths in Gallium Nitride Microcavities," *Science*, **285** (1999) 1905-1906