

Title	GaP/InP自己形成量子ナノ構造のガスソースMBE成長とSTM/STS評価に関する研究
Author(s)	盧, 柱亨
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3169457">https://doi.org/10.11501/3169457</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	盧 柱 亨 <sup>じゅう ひょうん</sup>
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 15494 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	GaP/InP 自己形成量子ナノ構造のガスソース MBE 成長と STM/STS 評価に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 権田 俊一
	(副査) 教授 中井 貞雄      教授 西川 雅弘      教授 堀池 寛 教授 飯田 敏行      教授 三間 罔興      教授 西原 功修 助教授 朝日 一

#### 論文内容の要旨

半導体の物性をさらに多様化させ、高機能のデバイスを開発していく一つのアプローチは正確な量子ナノ構造の作製である。本論文は、ガスソース MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法を用いて、GaAs 基板上に GaP/InP 短周期超格子を成長するときに自己形成される量子ナノ構造について、より良質な量子ナノ構造を作製する条件を探るために、STM (Scanning Tunneling Microscopy) /STS (Scanning Tunneling Spectroscopy) 観察を行い、自己形成量子ナノ構造の初期過程やその特性等を明らかにすることを目的として行った研究についてまとめたもので、次の7章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的及び意義について述べるとともに、本論文の構成を示している。

第2章では、本研究で用いたガスソース MBE 成長法および STM/STS 観察法と PL (Photoluminescence) 測定による評価技術について記している。

第3章では、GaAs (100) 基板上に GaP/InP 短周期超格子を成長することにより自己形成される量子細線構造について、STM/STS 観察による評価を行い、成長表面の実観測及び電流・電圧特性による試料表面の形状やポテンシャル分布について議論している。

第4章では、GaAs (N11) A 基板上に GaP/InP 短周期超格子の成長により自己形成される量子ドット構造の STM/STS 観察を通して、基板の面方位と短周期超格子の単分子層 (ML) の数に依存する表面の形状や面内組成変動によるポテンシャルの変化などについて述べている。

第5章では、自己形成による量子ドット構造の STM/STS 観察により自己形成初期過程、成長温度依存性を明らかにし、量子ドット構造の自己形成メカニズムのモデルを示している。

第6章では、自己形成法により多重量子ドット構造を作製し、短周期超格子または障壁層の変化や熱処理の効果などの PL スペクトルに与える影響を調べ、この構造を光デバイスへ応用するために必要な成長パラメータと光学特性の関係性を明らかにしている。

第7章では、本研究の結論として、得られた研究成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

量子ドットなどの半導体量子ナノ構造は、物理的及び応用上の観点から注目されているが、高密度、高均一な構造の作製が問題となっている。本論文は、従来とは異なる自己形成法による量子ナノ構造の作製プロセスと作製した構造の特性についての研究をまとめたもので、主な成果を要約すれば以下の通りである。

- (1) GaAs(100) 基板の上に  $(\text{GaP})_n(\text{InP})_m$  ( $n=1.5\sim 2$ ) 短周期超格子をガスソース MBE 成長した試料の表面を、真空一貫プロセス装置内の STM を用いて清浄な表面のまま観察とともに STS 測定を行い、面内周期が約 10~15nm、面内密度約 100本/ $\mu\text{m}$  の  $[01\bar{1}]$  方向に伸びる細線構造が自己形成されることを明らかにしている。この構造の直角方向である  $[011]$  方向には、ポテンシャルの分布が正弦関数的に変化（組成の変動：約 20%）し、面内組成変動が生じていることを示している。この量子細線構造は、歪みが緩和するように面内 III 族原子が移動するため、III 族原子がマイグレーションしやすい  $[01\bar{1}]$  方向に形成されることが示されている。
- (2) GaAs(N11) A 基板の上に  $(\text{GaP})_n(\text{InP})_m$  ( $n/m=1.5/1.88$  と  $2/2.5$ ) の短周期超格子をガスソース MBE 成長した試料について STM 観察及び STS 測定を行い、基板の面方位と短周期超格子の単分子層 (ML) の数、 $n/m$  に依存して  $[011]$  および  $[01\bar{1}]$  の両方向に面内周期 15~25nm の量子ドット構造が自己形成されることを明らかにしている。また、InP から成長を開始しても量子ドット構造が自己形成されるが、面内周期が約 20~30% 大きくなることを示している。STS 測定により、面内組成変動が起こるため、 $[011]$  および  $[01\bar{1}]$  の両方向にポテンシャルの分布が正弦関数的に変化していることを明らかにしている。
- (3) GaAs(311)A 基板の上に 0.5 サイクル (GaP 1.5ML のみ)、1 サイクル (GaP 1.5ML と InP 1.88ML)、2 サイクル (GaP 1.5ML と InP 1.88ML を 2 回) 成長した試料と成長温度を 420°C から 500°C まで変えて成長した試料表面について STM 観察及び STS 測定を行い、GaP/InP 短周期超格子を 0.5 サイクル成長した段階では、組成変動が起こらず、1 サイクル成長した段階から起こり始め、2 サイクル成長すると、ほぼ完全な量子ドット構造が自己形成され、組成変動も飽和していくことを明らかにしている。これらの結果に基づいて、GaP/InP 短周期超格子のガスソース MBE 成長による量子ドット構造の自己形成メカニズムのモデルを提示している。
- (4) 光デバイスへの応用の観点から、量子ドットを InGaP 障壁層で挟んだ多重量子ドット構造 (MQD) を作製し、フォトルミネッセンス (PL) による光学特性の評価を行い、MQD 構造パラメータと光学特性の関係を明らかにしている。さらに、熱処理した MQD の PL 測定から、この構造が熱的に安定していることを示している。

以上のように本論文は、新しい自己形成法を用いることにより、高密度、高均一、良質な半導体量子ナノ構造の作製、その特徴及び自己形成メカニズムを示したもので、光・電子材料工学、素子工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。