



Title	InGaN混晶半導体における組成ゆらぎに関する研究
Author(s)	奥村, 敏之
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44452
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 おく 奥 村 敏 之

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 17409 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 15 年 1 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 2 項該当

学 位 論 文 名 InGaN 混晶半導体における組成ゆらぎに関する研究

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 朝 日 一

(副査)

教 授 西 川 雅 弘

教 授 西 原 功 修

教 授 堀 池 寛

教 授 飯 田 敏 行

教 授 田 中 和 夫

教 授 三 間 罔 興

教 授 栗 津 邦 男

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、青紫色～緑色発光素子の量子井戸構造活性層として用いられている InGaN 混晶半導体における、組成ゆらぎの発生メカニズムの解明と、組成ゆらぎを低減する新しい手法とを、数値解析に基づいて明らかにした。

第 1 章では、本研究の背景と目的、及び、本論文の構成を示した。

第 2 章では、MOCVD 法 (metal organic chemical vapor deposition 法) による InGaN 混晶半導体結晶成長の熱力学的考察に基づいて組成分離の進行プロセスを明確にした上で、組成ゆらぎ発生を検討するために、相分離のダイナミクスを記述する CHC 方程式 (Cahn-Hilliard-Cook 方程式) を用いることの有効性について述べた。さらに、本研究で用いた数値解析手法である CDS 解析 (cell dynamical system 解析) を説明した。

第 3 章では、パターン形成や組成ゆらぎの時間発展を算出し、この結果と今までに報告されている実験結果との定性的な比較を行った。これによりパターン形成や組成ゆらぎ発生の傾向を把握し、光学特性に影響を及ぼす計算パラメータを明らかにした。さらにこの結果から、InGaN 量子井戸構造活性層における組成ゆらぎ発生のメカニズムを提案した。

第 4 章では、第 3 章での提案に基づいた解析モデルを設定して、高 In 組成を有する InGaN ドット状領域の形成や組成ゆらぎを定量的に解析し、その発生メカニズムを検討した。ここではドット状領域の占める面積比や組成のゆらぎ幅等の計算結果を、実験結果と定量的に比較し、InGaN 量子井戸構造活性層の組成ゆらぎが相分離進行初期に発生する小さな組成ゆらぎに起因することを明らかにした。さらに、組成ゆらぎ低減における拡散の寄与の重要性を示した。

第 5 章では、組成ゆらぎに影響する重要なパラメータである拡散係数の算出手法を構築して、その値を算出した。さらに、拡散のメカニズムについて考察し、成長表面での原子のマイグレーションによる拡散が、パターン形成や組成ゆらぎの時間発展に影響を及ぼすことを明らかにした。

第 6 章では、拡散の寄与を増大して組成のゆらぎを低減する手法として、原子のマイグレーションに異方性を設けることを提案した。検討の結果、一方通行の原子の流れを導入することで、組成ゆらぎの低減が実現できることを明らかにした。さらにこの異方性を結晶成長に適用して組成ゆらぎを低減する GaN 系半導体発光素子構造を提案した。

第 7 章では本論文における研究成果を総括し、本研究により明らかになった主要な結論をまとめて示した。

InGaN 量子井戸構造活性層を有する青紫色～緑色発光素子は、大容量光ディスク装置の光源やフルカラーディスプレイの光源として、情報産業の発展において重要な役割を占めることが期待される。しかしながら、その光学特性には空間的な組成ゆらぎが影響しており、光学特性改善のために組成ゆらぎのメカニズムを明らかにして、組成ゆらぎを低減することが求められている。本論文は、このメカニズムの解明と組成ゆらぎの低減手法を数値解析に基づいて明らかにした研究結果をまとめたものであり、以下の結果を得ている。

(1)CHC (Cahn-Hilliard-Cook) 方程式を用いた CDS (Cell Dynamical System) 解析結果において、発光素子の量子井戸構造活性層として用いられる InGaN ではドット状のパターン形成が見られ、欠陥における In の偏析や格子定数の違いによる歪エネルギーの寄与を考慮しても、同様のドット状パターンが形成されることを明らかにしている。さらに、組成ゆらぎやパターン形成の時間発展に関する平均 In 組成依存性や、In の偏析した欠陥が時間発展に及ぼす影響を算出し、その結果、相分離進行初期に生じる小さな組成ゆらぎを考えることで、現在までに報告されている実験結果を説明できることを明らかにしている。

(2)上記(1)の結果に基づく解析モデルを用いた計算結果が、青紫色 LD の透過電子顕微鏡観察で見られる形成パターンや、青色～緑色 LED の光学測定で見られる発光波長 450 nm 以上の InGaN でのブルーシフト量の急速な増大の実験結果を定量的に再現することを示している。これにより、InGaN における組成ゆらぎは、積層後の相分離進行における初期段階で生じた小さな組成ゆらぎによるものであり、相分離進行速度の違いが光学特性等の違いに影響していることを明らかにしている。さらに、組成ゆらぎ低減のためには、拡散の寄与の増大が重要であることを示している。

(3)InGaN 量子井戸構造活性層に見られる形成パターンの実験結果と計算結果との比較により拡散係数 L を算出する手法を構築し、その結果 $L=4 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{s}$ を得ている。さらに、拡散のメカニズムを推定し、成長表面での原子のマイグレーションが拡散の主要なメカニズムとなっていることを明らかにしている。この結果は、拡散の効果を増大させることによって組成ゆらぎを低減する手法を検討する際に有益となるものである。

(4)原子をある一方向に流れにくくしその反対方向には流れやすくするという、一方通行の原子の流れを導入すると、実効的に拡散係数が増大し、組成ゆらぎが低減することを明らかにしている。この異方的なマイグレーションを結晶成長に通用するために、C 面から傾斜し、ステップ構造を有する表面上での結晶成長を提案している。さらに C 面から傾斜した表面を持つ GaN 基板の利用や、選択成長によって生じるファセット構造の利用により、組成ゆらぎを低減する発光素子構造が実現できることを示している。

以上のように本論文は、InGaN 混晶半導体における組成ゆらぎのメカニズムを明らかにし、拡散の効果を増大させることにより組成ゆらぎを低減する手法を示しており、InGaN 量子井戸構造活性層を有する青紫色～緑色発光素子の光学的特性改善に大きく寄与するものである。さらにこの改善により、これらの発光素子を用いるシステムの高性能化にも道を拓くものとなる。よって本論文は、博士論文として価値のあるものと認める。