

Title	Emission Mechanism in Quantum Well Structures Composed of GaN-based Semiconductors(Abstract_要旨)
Author(s)	Narukawa, Yukio
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2000-03-23
URL	http://hdl.handle.net/2433/180970
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

氏名	成川幸男
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1943号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電子物性工学専攻
学位論文題目	Emission Mechanism in Quantum Well Structures Composed of GaN-based Semiconductors (GaN系半導体量子井戸構造の発光機構に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 藤田茂夫 教授 松波弘之 教授 松重和美

論文内容の要旨

現在、半導体発光ダイオード(LED)や半導体レーザー(LD)などの発光デバイス分野においては、GaN系半導体によって動作する発光波長の短波長化が著しく進展し、緑色から青色さらには紫外領域のLEDの実用化が進んでいる。一方、400 nm帯に発振波長を持つ青紫色LDの開発も進んで実用に供されている。このような発光デバイスにおける技術レベルの向上によって、LEDでは高輝度の3原色発光が実現して屋内外のフルカラー大型ディスプレイへの応用が活発化し、さらにLDでは次世代超高密度光ディスク用光源としての用途に大きな期待がかかっている。しかしながら、これまでGaN系材料に対してはデバイス開発が著しく進展したものの、材料そのものの光物性などの基礎物性には不明な点が多く、その物性の解明が望まれていた。本論文は、短波長発光デバイス材料として重要なGaN系半導体の発光・吸収のダイナミクスを、時間分解フォトルミネッセンス(PL)や白色光ポンプ・プローブ法などによって測定し、それらの結果と半導体結晶の微視的構造との関係を明らかにすることによってこの材料系の発光機構を解明し、LEDやLDなどの光デバイスの一層の高効率化、高性能化に対する基礎的知見を得ることを目的として行った研究を纏めたもので、以下の7章から成っている。

第1章は序論であり、GaN系半導体を用いたLEDやLDの研究開発の歴史的展開から本研究の背景を述べるとともに、この材料系の光物性上、デバイス特性上の解決すべき問題点を述べて、本論文の目的と位置付けを明確にしている。

第2章では、GaN系半導体の光物性評価の基準となる試料として、サファイア基板上にエピタキシャル成長させたGaN単層エピ膜結晶の光物性について述べている。この材料系において、励起子発光が光物性を支配することを実験的に確認するとともに、励起子の多体効果である励起子分子発光を初めて観測し、その発光ダイナミクスを明らかにしている。次いで、貫通転位の多い領域と少ない領域を持つ選択成長により成長させたGaNエピ膜試料を用いて時間分解発光ダイナミクスを測定し、その結果から発光効率がエピ膜中の貫通転位ではなく、点欠陥等による非輻射再結合中心に支配されていることを明らかにしている。

第3章では、三元混晶InGaNを活性層とする量子井戸構造において、Inの組成の増大とともに活性層の微視的構造がどのように変化するかという視点から、InGaN活性層の透過型電子顕微鏡像の観察および微小領域エネルギー分散X線解析手法を用いて結晶構造を評価し、In組成が大きい試料においては組成の均一な量子井戸ではなく、井戸はIn組成が局所的に多い量子ドットの領域が自然形成されていることを明らかにしている。

第4章では、InGaNを井戸層とする量子井戸構造において、井戸層のIn組成と井戸層に閉じ込められる励起子の次元性について論じている。すなわち、フォトルミネッセンス(PL)スペクトル、励起PLスペクトル、反射スペクトルやPL時間分解スペクトルなどの各種のスペクトロスコーピーから、In組成の増大とともに大きなストークスシフトを観測するとともに、このストークスシフトが励起子の局在の程度を反映したものであることを示している。さらに、In組成の増加に伴い励起子が二次元から0次元的に閉じ込められるという閉じ込めの次元性を明らかにしている。

第5章では、In組成の異なるInGaN単一量子井戸構造LEDの時間分解スペクトロスコピーと輻射・非輻射再結合について述べている。すなわち、これらのLEDにおいては活性層のIn組成に応じて、励起子が弱局在中心から0次元閉じ込めの強局在中心に捕獲されることにより、非輻射再結合過程が抑制され輻射再結合寿命の短寿命化と併せて内部量子効率の極めて高い発光が生じるというモデルを提案し、強局在系により発光ダイオードの高効率化が実現し得る可能性を指摘している。

第6章では、InGaN系レーザ構造において、発振機構の活性層In組成依存性を白色ポンプ・プローブ法によるダイナミクス測定から評価した結果について述べている。その結果、活性層のIn組成が20%と大きな試料では量子ドットの領域の高次の準位で、10%という小さな試料では非局在準位で、それぞれ利得が発生することを示し、利得発生機構がIn組成に大きく依存することを明確に示している。

第7章は結論であり、本研究で得られた結果を纏めて要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、可視から紫外域にわたる短波長発光デバイス材料として重要なGaN系半導体の発光・吸収のダイナミクスを、時間分解フォトルミネッセンス(PL)や白色光ポンプ・プローブなどによって測定し、それらの結果と半導体結晶の微視的構造との関係を明らかにすることによってこの材料系の発光機構を解明し、発光ダイオードや半導体レーザなどの光デバイスの一層の高効率化、高性能化に対する基礎的知見を得ることを目的として行った研究を纏めたもので、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 光物性評価の基準となる試料として、サファイア基板上にエピタキシャル成長させたGaN単層エピ膜において、励起子分子発光を観測しその発光ダイナミクスを明らかにしている。また、発光効率がエピ膜中の貫通転位ではなく、点欠陥等による非輻射再結合中心に支配されていることを明らかにしている。

2. 三元混晶InGaNを活性層とする量子井戸構造において現れる大きなストークスシフトは、Inの組成が大きい量子ドットの領域の自然形成に基づくものであることを明らかにし、これが励起子の強局在をもたらすことを実験的に示している。

3. InGaN量子井戸においては、In組成の増大に応じて励起子は二次元から0次元的に閉じ込めの次元性が変化することを明らかにするとともに、励起子を0次元的に閉じ込める強局在系により、発光ダイオードの高効率化が実現し得ることを示している。

4. InGaN系レーザ構造において、活性層のIn組成が20%と大きな試料では量子ドットの領域の高次の準位で、10%という小さな試料では非局在準位で、それぞれ利得が発生することを示し、利得発生機構がIn組成に大きく依存することを明確に示している。

以上を要するに本論文は、ダイナミックな光物性評価手法を用いてGaN系半導体の発光機構を、量子ドットの領域での励起子の局在と局在の次元性など結晶のマイクロ構造に由来する再結合過程という観点から明らかにしたもので、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年2月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。