

電子・情報工学専攻	学籍番号	973332
申請者氏名	中西 康夫	

指導教官氏名	吉田 明 教授
	若原 昭浩 助教授

論文要旨(博士)

論文題目	III族窒化物半導体中に添加した希土類元素の発光特性に関する研究
------	----------------------------------

(要旨 1,200字程度)

オプトエレクトロニクス分野の中核を担っている固体発光デバイスは、高効率化、高安定化、小型化などが要望されており、高安定である希土類添加固体レーザと小型化が可能であるIII族窒化物半導体発光デバイスを融合させた“希土類添加III族窒化物半導体”は、これらの要望を満たすことのできる新機能性発光デバイスとして期待されている。まず、希土類元素を導入する方法として、イオン注入法は、添加領域の選択性に優れ、面内に異なる元素を導入することができるため、同一素子で多波長発光デバイスを容易に作製できる利点がある。しかし、これらについての報告は少なく、注入条件やアニール条件等の基礎的な特性を調べることは重要である。一方、ヘテロ接合技術において、III族窒化物混晶半導体であるInGaNおよびAlGaNを活性層等へ用いることは必須であるが、これらへ希土類元素を導入した例はほとんど無い。また、希土類元素の4f-4f内殻遷移は、希土類周辺の空間対称性を崩すことで、4f-4f内殻遷移の遷移強度が増加すると予想されることから、混晶半導体を母材に用いることで、高効率化が期待できる。そこで本研究では、イオン注入法を用いてIII族窒化物混晶半導体へ希土類元素を添加し、これらの基礎的な物性を調べ、高効率化への指針を得ることを目的とした。

母材として用いたIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>NおよびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1)エピタキシャル薄膜は、有機金属気相成長(Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE)法により作製した。これらの薄膜へ、希土類元素であるEuropium(Eu), Terbium(Tb), Erbium(Er)をそれぞれイオン注入した。注入後、注入損傷および希土類元素の活性化を図り、InGaNに関しては1000 °C, 30 min, AlGaNに関しては、1000 ~ 1600 °C, 10 ~ 480 secの条件でそれぞれ熱アニール処理を行った。これらの発光特性は、フォトルミネッセンス(Photoluminescence: PL)およびカソードルミネッセンス(Cathodeluminescence: CL)測定により評価した。

Eu添加InGaNおよびAlGaNより、Eu<sup>3+</sup>からの赤色発光を室温で確認した。Eu添加AlGaNでは、1400 °C 60 secが最適アニール条件であった。Eu<sup>3+</sup>の発光特性はAl組成に依存し、Eu<sup>3+</sup>の主遷移である<sup>5</sup>D<sub>0</sub> → <sup>7</sup>F<sub>2</sub>の発光強度および発光線幅は、Al組成40 ~ 50 %付近で最大になり、発光エネルギーはAl組成の増加と共に低エネルギー側にシフトすることが分かった。また、Eu添加Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>NのEu<sup>3+</sup>の発光強度は、Eu添加GaNに比べて約100倍以上となり、Al原子を母材へ導入することで、Eu<sup>3+</sup>の発光強度が劇的に増加することを明らかにした。Tb添加AlGaNでは、Al組成10 %以上の試料より、<sup>5</sup>D<sub>4</sub> → <sup>7</sup>F<sub>6</sub>遷移の緑色発光を室温にて確認した。また、Al組成15 ~ 30 %の領域で、急激にTb<sup>3+</sup>の発光強度が増加した。これらの温度依存性を調べたところ、Al組成の増加に伴い、Tb<sup>3+</sup>の温度消光が低減し、Tb<sup>3+</sup>の発光特性が向上することが分かった。Er添加AlGaNでは、Al組成36 %以上の試料において、室温にて408 nmを中心に鋭いピークを確認し、Er<sup>3+</sup>からの青色発光を得ることができた。また、ピーク同定の結果、408 nmの発光はEr<sup>3+</sup>の<sup>2</sup>P<sub>3/2</sub> → <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>遷移であることが分かった。以上の結果より、各希土類元素をIII族窒化物混晶半導体へ添加することで、希土類元素の発光特性が向上し、青・緑・赤色の三原色による発光が得られることが明らかになった。