

氏名(国籍)	徐 倬 源 (韓 国)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4585号		
学位授与年月日	平成20年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	希土類添加 GaN の MBE 成長と構造解析		
主査	筑波大学教授	理学博士	秋本克洋
副査	筑波大学教授	工学博士	村上浩一
副査	筑波大学教授	理学博士	関口隆史
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	末益崇

### 論文の内容の要旨

GaN は Al, In との混晶でバンドギャップエネルギーが 0.6eV ~ 6eV の広い範囲の材料設計が可能で、全混晶領域で直接遷移型半導体であることから光デバイスへの応用が期待されている。すでに、GaN を主成分とする材料で、紫色レーザ、青~緑の発光ダイオード、またこれらを利用して白色の発光ダイオードが生産されている。近年、GaN に希土類を添加した材料の光学物性の研究が盛んである。希土類の発光強度と波長は環境温度の変化に対して極めて安定で高機能デバイスへの応用が期待されている(また、同一基板から様々な発光色が得られることから高効率の白色発光ダイオード、超小型ディスプレイなどへの応用が期待されている)。このように希土類添加 GaN は新たなデバイス開発の可能性を持つ興味ある材料であるが、光学的性質がよく調べられているのに対し、その構造的な性質は良く分かっていないのが現状である。本論文では、希土類として Eu を選択し、Eu 添加 GaN の構造的性質を、RHEED、X 線回折、透過電子顕微鏡 (TEM) による断面観察、拡張 X 線吸収微細構造解析 (EXAFS) を用いて明らかにした。

試料の作製は分子線エピタキシー装置でサファイヤ c 面を基板に用いて行なった。Eu 濃度が 0.5% ~ 7.6% までの試料を用意した。RHEED、X 線回折、TEM による評価によって、Eu 濃度 0.5% では結晶は六方晶を保ち、格子定数はベガード則に従い大きくなり、構造欠陥は観察できなかった。Eu 濃度 2.2% までは格子定数はベガード則にほぼ従うが、積層欠陥の形成が観察され、さらに立方晶の形成も確認された。結晶性が乱れ始めたことが観察されたが、Eu からの発光はこの濃度で最も強い発光であった。Eu 濃度 4.0% では、双晶の形成が見られ、結晶性の乱れがさらに大きくなったことが観察された。Eu 濃度 7.6% では回折パターンがリング状となり多結晶化した。多結晶化がおおよそ 2% 程度の濃度から始まり、その原因は積層欠陥の形成、立方晶の形成が原因であることを明らかにした。Eu からの発光強度がもっとも高いのは、2% 以上で多結晶化による結晶性の劣化が原因と考えられる。

EXAFS 解析より、Eu は Ga サイトに置換されていることが明らかとなったが、Eu と N の結合距離が 2 種あり、Eu は Ga サイトからわずかに変移していることが見出された。Eu 濃度 0.5% と 2.2% では 2 種の結合距離は同じであるが、存在比が異なる。Eu 濃度 2.2% では  $C_{3v}$  の対象性を持つと思われ、発光強度の大きさはこれら配位の対称性にも関与している可能性を示唆した。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

多くの実験と解析を行ない希土類添加 GaN の構造の特徴を明らかにした。RHEED, X線回折, TEM 観察, これらどの解析結果も矛盾なく一致しており解析の信頼性が高いことを示している。構造的性質に留まらず, 発光特性との関係に関する考察, 知見は発光デバイス開発に有用な情報である。

今回の結果が Eu 特有のものか, 他の希土類でも同様の傾向を持つかなど明らかにするのは今後の課題である。

学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと, 著者に論文について説明を求め, 関連事項につき質疑応答を行った。その結果, 審査委員全員によって, 合格と判定された。

よって, 著者は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。