



Title	Studies on the Growth and Characterization of Rare-Earth Gd-Doped InGaN/GaN Magnetic Semiconductor Heterostructures
Author(s)	Mohd, Tawil Siti Nooraya
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58366
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	モハマド タウイル シティ ノーラヤ Mohd Tawil Siti Nooraya
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24595 号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
	工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	Studies on the Growth and Characterization of Rare-Earth Gd-Doped InGaN/GaN Magnetic Semiconductor Heterostructures (希土類Gd添加InGaN/GaN磁性半導体ヘテロ構造の成長と評価に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 朝日 一 (副査) 教授 伊藤 利道 準教授 長谷川繁彦 教授 森 勇介 教授 片山 光浩 教授 尾崎 雅則 教授 栗原 敏明 教授 近藤 正彦 教授 谷口 研二 教授 森田 清三 教授 八木 哲也

論文内容の要旨

Spintronics is an emerging field in which the spin of carriers in addition to the charge of carriers can be used to achieve new functionalities in electronic devices. The availability of materials exhibiting ferromagnetism above room temperature is prerequisite for realizing such devices. Materials suitable for spintronic applications are desired to be compatible with conventional growth and fabrication techniques in addition to exhibiting above room temperature ferromagnetic properties.

In this research the growth of InGaGaN epilayers have been achieved on (0001) sapphire substrates or metalorganic vapor phase epitaxy (MOVPE)-grown GaN/sapphire templates by plasma-assisted molecular beam epitaxy (MBE) using elemental Ga, In, Gd and Si (co-doping) and gaseous N₂ as sources. Magnetic characterization of the grown epilayers was performed by a superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer. Ferromagnetic properties were observed at room temperature for this new type of quaternary alloy material. Co-doping of InGaGaN with Si was performed and increase in shallow donor density as well as enhancement in ferromagnetic properties were achieved. Luminescence properties of InGaGaN were also observed at room temperature with the emission peak energy red-shifts corresponding to the InN molar fraction. Gd incorporation into InGaN epilayers were confirmed by X-ray absorption fine structure (XAFS) analysis revealing that Gd³⁺ ions substitutionally occupy the cation sites of Ga of host material.

MBE growth of multi-layer structures i.e. InGaGaN/GaN multiple-quantum well (MQW) was also carried out and its characteristic were investigated. The InGaGaN/GaN MQW samples showed clear hysteresis and clear saturation in the magnetization versus magnetic field curve with larger magnetization per unit

volume than the InGaN/GaGdN MQW samples implying that carrier (electron) induced ferromagnetism occurs in such heterostructures. Better structural qualities have been achieved for the Si-doped barrier of InGaGdN/GaN samples in which more pronounced satellite peaks can be observed from the X-ray diffraction curves compared to the undoped barrier sample. Adding Si in the barrier layers has further enhanced the ferromagnetic properties as well as electrical properties of the MQW structure samples.

This work has provided useful experimentally based insights into GaN-based diluted magnetic semiconductors (DMSs), resulting in the development of semiconducting materials that show room temperature ferromagnetism. These materials could pave the way for development of multifunctional microelectronic devices that integrate electrical, optical, and magnetic properties particularly for the development of spin-based electronic devices.

論文審査の結果の要旨

本研究では、半導体スピントロニクスデバイス、特に長波長でのスピントロニクスデバイスの創製を目指して、プラズマ励起分子線エピタキシ(MBE)法によるGaNテンプレート基板への新規希薄磁性半導体InGaGdNの成長とその物性について調べており、以下の成果を得ている。

(1) プラズマ励起 MBE 法により GaN テンプレート基板上に 2 次相析出のない InGaGdN の成長に成功しており、室温での強磁性特性ならびにフォトルミネセンス(PL)発光特性を観測している。X 線回折(XRD)および X 線吸収微細構造(XAFS)測定により Gd 原子は III 族サイトを置換していることを確認している。また、Gd 濃度の増加により磁化が大きくなることを確認している。さらに、PL 発光ピークは InN 組成に依存してシフトすることも明らかとしている。

(2) InGaGdN/GaN および InGaN/GaGdN 多重量子井戸(MQW)構造の成長に成功している。いずれの MQW 構造サンプルにおいても室温での強磁性特性を観測し、InGaGdN/GaN MQW 構造の方が InGaN/GaGdN MQW 構造より大きな磁化を示すことを見出している。この理由として、前者の構造ではバンドギャップの小さい InGaGdN 磁性層にバンドギャップの大きい GaN 層からキャリア(電子)が流れ込みキャリア誘起強磁性による磁化の増大が起こっていることを明らかとしている。

(3) Si 共添加の効果について調べ、InGaGdN に Si を共添加すると磁化が増大することを確認している。InGaGdN/GaN MQW 構造の GaN 層に Si を共添加すると、結晶品質ならびのヘテロ界面特性が改善されることを見出しており、Si 原子のサーファクタント効果のためとして説明している。さらに、GaN 層への Si の共添加により、磁化の増大効果も観測している。この結果より、InGaGdN での強磁性発現機構として、キャリア誘起強磁性であるとの結論を得ている。

以上のように、本論文は、プラズマ励起 MBE 法により新規希薄磁性半導体 InGaGdN ならびにその MQW 構造の成長に成功し、室温強磁性および室温 PL 発光特性を得ている。そして、MQW 構造あるいは Si 共添加により磁化が増大することを見出し、強磁性発現機構がキャリア誘起強磁性であること、そして、磁化特性を改善する方向を明らかとしており、半導体スピントロニクスデバイス創製に向けて重要な成果を得ている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。