



Title	Study on Properties of GaN-based Diluted Magnetic Semiconductors
Author(s)	橋本, 政彦
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45069
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	はし 橋 もと 本 まさ 政 ひこ 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 8 3 7 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Study on Properties of GaN-based Diluted Magnetic Semiconductors (GaN ベース希薄磁性半導体の性質に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 朝 日 一 (副査) 教 授 赤 井 久 純 教 授 野 末 泰 夫 教 授 吉 田 博 助教授 長谷川繁彦

論 文 内 容 の 要 旨

In today's electronics, the two degrees of freedom of electrons, charge and spin, have been utilized separately. Recently, a new technology has emerged called spintronics, where the charge and spin of electrons are utilized in one system [1, 2]. Adding the spin degree of freedom to conventional semiconductor charge-based electronics will add substantially more capability and performance to electronic devices.

There is a group of materials called diluted magnetic semiconductors (DMSs). These materials are the semiconductors doped with a few percent of magnetic atoms (transition metals (TM) or rare-earth (RE) metals) into cation sites and are one of most intensely studied group of materials in spintronics. One problem of DMSs is its low ferromagnetic transition temperature (T_c). The highest T_c is 160K for post-annealed (Ga, Mn) As [3], which is much below room temperature. This low T_c value made it rather difficult to apply DMSs to practical applications.

In this study, we have investigated the structural, optical, magnetic and electronic-structural properties of (Ga, TM)N (TM=Mn, Cr) and (Ga, RE)N (RE=Gd, Eu) in order to clarify the underlying physics beneath them, especially the mechanism of magnetism in (Ga, TM)N and (Ga, RE)N from the viewpoint of their electronic structure, and try to give a guideline for new materials search of DMSs.

We have grown GaCrN by ECR- and RF-plasma assisted molecular beam epitaxy (MBE). GaCrN layers with Cr concentration of up to 9.2% were successfully grown. The crystallinity of the samples was examined by reflection high-energy electron diffraction, x-ray diffraction and Raman scattering measurements. We observed ferromagnetic behavior at 10K-400K in contrast to the paramagnetic behavior of GaMnN at low temperatures. Strong photoluminescence (PL) emission was also observed at the emission energy of 3.29eV. The origin of the

[1] J. L. Simonds, Physics Today, April (1995) 26. [2] S. A. Wolf *et al*, Science, 294, (2001) 1488. [3] D. Chiba *et al*, Appl. Phys. Lett. 82 (2003) 3020.

PL emission was concluded to be a band-to-band transition in GaCrN from the results of its optical absorption, temperature- and excitation-power-dependences of PL. The local structure around Cr atoms were studied by extended x-ray absorption fine structure (EXAFS) measurement and the substitution of Cr into the Ga lattice sites were confirmed up to Cr content of 3-5%.

Magnetic properties of GaEuN have been studied experimentally and theoretically. We concluded that the experimental results can be accounted by assuming the coexistence of Eu^{2+} and Eu^{3+} ions interacting thorough RKKY-type interaction. Our EXAFS study revealed that the majority of Eu atoms substitute the Ga lattice sites in the local symmetry of C_{3v} and the results of x-ray absorption near edge structure indicated that coexistence of Eu^{2+} and Eu^{3+} . Magnetic properties and the local structure of another RE-doped GaN, GaGdN, were also studied.

論文審査の結果の要旨

電子のもつ1つの自由度である電荷を制御する通常の半導体エレクトロニクスに、もう1つの自由度としてのスピンを加えて融合制御するテクノロジーは、半導体スピントロニクスとして最近注目されている。このためには、通常の半導体に遷移金属などの磁性原子を添加した希薄磁性半導体が重要な役割を果たす。しかし、これまでに得られている希薄磁性半導体の強磁性キュリー温度は室温以下であり、室温以上で強磁性を示す希薄磁性半導体の創製が必須である。このために本論文では、GaN（ガリウムナイトライド）をベースとした希薄磁性半導体を作製し、その物性及び物理的機構に関して研究し、室温強磁性を示す希薄磁性半導体の創製に成功している。

具体的には、遷移金属（Mn、Cr）を添加した GaMnN、GaCrN および希土類金属（Eu、Gd）を添加した GaEuN、GaGdN について、結晶構造、光学特性、磁性、電子的性質に関して実験的にまた理論的に検討している。ECR および RF 励起の分子線エピタキシ（MBE）法により Cr 濃度 9.2% までの GaCrN を作製し、EXAFS 測定により 3-5% までの GaCrN では、Cr は Ga サイトを占めていることを確認している。これらの GaCrN において、10K-400K で強磁性を確認した。さらに、これら GaCrN からは 3.29 eV の光エネルギーの強いフォトルミネッセンス発光を観測している。この発光は、励起光依存性などの測定から、GaCrN に新しく形成されたバンドが関係したバンド間遷移によるものとの結論を得ている。これにより、半導体スピントロニクス用の希薄磁性半導体として有望なものを創製したことになる。

GaEuN、GaGdN でも室温強磁性を観測している。これら希土類金属添加 GaN では、希土類原子の内核電子準位間遷移による半値幅の狭い PL 発光も観測している。GaEuN の磁性について実験的、理論的に検討を加え、GaEuN で観測された磁化特性は RKKY 的に相互作用している Eu^{3+} イオンと Eu^{2+} イオンが共存していることによることが理論計算により説明している。EXAFS 測定により Eu は Ga サイトを占めていることが、XANES 測定により Eu^{3+} イオンと Eu^{2+} イオンの共存が確認されている。GaGdN においても、磁化特性、局所原子配置について検討を加えている。

このように本論文では、GaN をベースとした新しい希薄磁性半導体について実験的に室温強磁性を示す希薄磁性半導体の創製に成功するとともに、理論的にも強磁性発現機構に検討を加えて、半導体スピントロニクス研究分野に貢献するものであり、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。