



Title	窒化物希薄磁性半導体縦型ナノ構造の形成とその評価に関する研究
Author(s)	丹保, 浩行
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58397
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

【107】

氏 名 丹 保 浩 行

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 2 4 5 9 2 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 窒化物希薄磁性半導体縦型ナノ構造の形成とその評価に関する研究

論 文 審 査 委 員 (主査)
教 授 朝 日 一

(副査)

教 授 森 田 清三 准教授 長谷川繁彦 教 授 伊 藤 利道

教 授 森 勇介 教 授 片 山 光浩 教 授 尾 崎 雅則

教 授 栖 原 敏明 教 授 近 藤 正彦 教 授 谷 口 研二

教 授 八 木 哲也

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、新規ナノスピントロニクスデバイス創製の基礎研究として、「Ga_{0.9}N_{0.1}縦型ナノ構造の形状制御および結晶成長メカニズムの解明」、「Ga_{0.9}Cr_{0.1}N縦型ナノ構造の形成」、「Ga_{0.9}Gd_{0.1}N縦型ナノ構造の形成」、「Ga_{0.9}Gd_{0.1}N/Al_{0.1}GaN多重量子ディスク構造の形成」を検討し、窒化物希薄磁性半導体縦型ナノ構造の創製を行った。

プラズマ支援分子線エピタキシー (RF-MBE) 法を用いて自然酸化膜付き Si (001) 基板上に GaN ナノロッドを作製し、二段階・三段階で成長温度を変化させることにより、GaN ナノロッド形状の制御を行った。まず、GaN ナノロッドを作製し、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察したところ、成長温度が高いほどナノロッドの直径は細く、高さは高く、ナノロッド間の空隙は広くなることが分かった。更に、第一段階の高温成長から第二段階の低温成長に変化させた二段階成長 GaN ナノロッドの形状は第二段階の低温成長でナノロッドの直径が徐々に太くなることが分かった。一方、第一段階の低温成長から第二段階の高温成長に変化させた二段階成長 GaN ナノロッドの第二段階成長したナノロッドの直径は細くなることを明らかにした。更に、①低温で GaN ナノロッドを成長後に、②アニーリングした GaN ナノロッドは GaN の解離が生じるためにナノロッド径が細くなること、③第二段階で高温成長した GaN ナノロッドの直径も細くなることを観察した。高温成長を第二段階で行うことにより、結晶性が十分ではない第一段階および結晶性が改善されるまでの第二段階のナノロッドで GaN の解離が生じたためであることを論じた。

第一段階の高温成長から第二段階の低温成長、さらには第三段階の高温成長に変化させた三段階成長 GaN ナノロッドは、第二段階の低温成長のナノロッド径が細くなり、ナノロッド間に空隙が生じることを示した。

次に磁性元素 Cr を添加した GaCrN ナノロッドを Cr の K-cell 温度および成長温度を変化させて成長した。GaCrN ナ

ノロッドには最適値が存在することが分かった。

GaGdN ナノロッドを RF-MBE で作製し、成長温度および Gd 等価ビーム圧の成長条件を変化させた。低温 550℃ で成長した GaGdN ナノロッドでは X 線吸収微細構造 (XAFS) 測定より Gd が Ga カチオンサイトを置換しており、8.7% の高 Gd 濃度である GaGdN ナノロッドを形成することができた。また、SEM、電子線プローブマイクロアナライザー、電子線回折、反射高速電子回折、XAFS、フォトルミネッセンス、SQUID を用いて 700℃、800℃ 成長 GaGdN ナノロッドの特性評価を行った。Gd 濃度 3% 程度の GaGdN 薄膜試料からは発光特性を得られないのに対して、Gd 濃度 3% 程度の GaGdN ナノロッドは室温で発光および磁化特性を示した。AlGa_{0.9}N バリア層をナノロッドに組み込んだ GaGdN/AlGa_{0.9}N 多重量子ディスクは AlGa_{0.9}N バリア層の厚さを厚くすることにより、AlGa_{0.9}N バリア層から GaGdN ディスクに流れ込むキャリアが増えて、キャリア誘起強磁性メカニズムのため、磁化特性が改善することを明らかにした。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、新規ナノスピントロニクスデバイス創製の基礎研究として、「Ga_{0.9}N_{0.1}縦型ナノ構造の形状制御および結晶成長メカニズムの解明」、「Ga_{0.9}Cr_{0.1}N縦型ナノ構造の形成」、「Ga_{0.9}Gd_{0.1}N縦型ナノ構造の形成」、「Ga_{0.9}Gd_{0.1}N/Al_{0.1}GaN多重量子ディスク構造の形成」を検討することにより、窒化物希薄磁性半導体縦型ナノ構造の創製を行い、以下の結果を得ている。

(1) プラズマ支援分子線エピタキシー (RF-MBE) 法を用いて自然酸化膜付き Si (001) 基板上に GaN ナノロッドを作製し、二段階・三段階で成長温度を変化させることにより、GaN ナノロッド形状の制御ができることを見出している。まず、成長温度が高いほど GaN ナノロッドの直径は細く、高さは高く、ナノロッド間の空隙は広くなることを明らかにしている。更に、第一段階の高温成長から第二段階の低温成長に変化させた二段階成長 GaN ナノロッドの形状は第二段階の低温成長でナノロッドの直径が徐々に太くなることを確認している。一方、第一段階の低温成長から第二段階の高温成長に変化させた二段階成長 GaN ナノロッドの第二段階成長したナノロッドの直径は細くなることを明らかにしている。更に、低温で GaN ナノロッドを成長後にアニーリングした GaN ナノロッドは GaN の解離が生じるためにナノロッド径が細くなること、第二段階で高温成長した GaN ナノロッドの直径も細くなることを見出し、その機構を検討している。高温成長、低温成長、高温成長と変化させた三段階成長 GaN ナノロッドは、第二段階の低温成長のナノロッド径が細くなり、ナノロッド間に空隙が生じることを明らかにしている。

(2) 磁性元素 Cr を添加した GaCrN ナノロッドは低温成長を行うことにより、Cr の固溶度を改善できることに成功している。また、磁化測定より添加する Cr 濃度には最適値が存在することを明らかにしている。

(3) GaGdN ナノロッドの成長温度および Gd 等価ビーム圧依存性を検討し、800℃ で成長した Gd 濃度 3% 程度の GaGdN ナノロッドは室温強磁性かつ発光特性を示すことを明らかにしている。また、550℃ の低温で成長した GaGdN ナノロッドでは 8.7% の高 Gd 濃度である GaGdN ナノロッドの形成に成功している。

(4) GaGdN/AlGa_{0.9}N 多重量子ディスクでは、AlGa_{0.9}N バリア層の厚さを厚くすると AlGa_{0.9}N バリア層から GaGdN ディスク層に流れ込むキャリアが増え、キャリア誘起強磁性により磁化特性が改善することを明らかにしている。

以上のように、本論文は室温で発光および強磁性を示す窒化物希薄磁性半導体縦型ナノ構造の形成に成功し、また結晶成長メカニズムの解明につながる知見を得ることができ、新規ナノスピントロニクスデバイス創製への可能性を開いている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。