

機関番号：14303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 ~ 2011

課題番号：20760013

研究課題名(和文) 窒化ガリウム系希薄磁性半導体の磁性制御

研究課題名(英文) Magnetic property control of GaN dilute magnetic semiconductors

研究代表者

園田 早紀 (SONODA SAKI)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号：30397690

研究分野：半導体工学・磁気工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・ 応用物性・結晶工学

キーワード：スピニエレクトロニクス、MBE・エピタキシャル、磁性、半導体物性、電子・電気材料

### 1. 研究計画の概要

Mn 添加 GaN は、室温で強磁性を示す新機能を持った半導体で、室温動作スピニエレクトロニクスデバイス材料として期待されており、Mn の価数制御によりその磁気特性をコントロールできることが本申請者によって初めて実験的に確認されたものである。本申請研究は、磁気特性の制御法の確立を目指し、Mn を含む 3d 遷移金属元素の価数混成状態を安定に発現させる共添加元素を見だし、磁気特性を制御することを目的とする。

### 2. 研究の進捗状況

MBE 法で Mn 添加 GaN に共添加元素として Mg の添加をおこなった。これまでに、Mn 濃度 5%、Mg 濃度 1% の共添加 GaN 薄膜の合成に成功し、XPS 価電子帯スペクトル分析により、Mg 濃度が 1% と高い状態でも Mn 添加 GaN の特徴的な価電子帯構造を保っていることを見いだしたが、Mg 添加により期待される Mn<sup>3+/4+</sup> の価数混成状態の確認には至っていない。

一方、新しい薄膜形成方法として、RF スパッタ法を採用し、遷移金属添加 GaN 薄膜の合成を行っている。この手法では、GaN 多結晶ターゲットと各種 3d 遷移金属ターゲットなどを同時スパッタすることで、容易に共添加膜を形成できる。これまでに、極めて緻密な V から Ni までの遷移金属添加 GaN の合成に成功している。これらの膜は、遷移金属濃度が 15% と非常に高いものでも、ウルツ鉱型 C 面配向膜あるいは多結晶膜となっており、電子線励起 X 線分析から 3d 遷移金属元素は窒素に配位されていることが示された。またごく最近、Cr 添加 GaN 薄膜の蛍光 X 線分析から

Cr が 3 価で存在していることが明らかになった。Ni、Fe などは、金属不純物相として混在している場合、室温においても不純物相由来の磁気ヒステリシスあるいは磁場に対する磁化の非線形性が見られると予測されるが、スパッタ法で作成した膜については全 3d 遷移金属元素について線形応答することを確認した。また、CrN は 290K 付近でネール点を持つが、Cr 添加 GaN (Cr:18at% 対 Ga) では磁化の温度依存性に不連続は観測されなかった。これらは、3d 遷移金属元素が膜中によく分散していることを示しているものである。

### 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

MBE 成長 Mn・Mg 共添加 GaN 薄膜は、これまでに価数混成および室温強磁性は確認出来ていないが、ウルツ鉱型単結晶薄膜であること、GaN ギャップ中に不純物バンドを形成していることを確認している。また、インピーダンススペクトル分析で、光照射時に 100Hz 以下の低周波数量域でインダクタンス成分が現れることが見いだされ、光によるキャリア注入によって磁気的特性が変化する可能性が新たに示唆された。

本申請研究中に開始した新たな合成手法であるスパッタ成膜 3d 遷移金属元素添加 GaN 薄膜は、多結晶薄膜でありながら、XPS 価電子帯スペクトル構造が MBE 成膜のものと同様一致し、遷移金属が 3 価で存在することなどを確認しており、スパッタ膜ベースでの共添加による価数制御研究が可能になりつつある。

#### 4. 今後の研究の推進方策

Mn・Mg 共添加による価数制御と強磁性発現を引き続き目指すとともに、スパッタ法を採用することで可能になった他の遷移金属元素添加による強磁性発現を目指す。また、これらのトンネル接合構造を試作し、電気的特性の評価を行う。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① S. Sonoda, Role of Hydrogen on Room Temperature Ferromagnetism of GaMnN Films, J. Phys., Condens. Matter, **20**, 475201-475204, 2008. 査読有

[学会発表] (計 4 件)

- ① 園田早紀、3d遷移金属添加窒化物半導体の光吸収特性、第 71 回応用物理学会学術講演会、2010 年 9 月 15 日、長崎大学
- ② 園田早紀、3d遷移金属添加窒化物半導体のイオン化ポテンシャル、第 71 回応用物理学会学術講演会、2010 年 9 月 15 日、長崎大学
- ③ 園田早紀、Mn 添加 GaN のバンド構造と常磁性-強磁性可逆転移、第 39 回結晶成長国内会議招待講演、2009 年 11 月 13 日、名古屋大学
- ④ 園田早紀、藤本佳久、濱中力、村野友昭、吉本昌弘、竹内徹也、Mn 添加 GaN 薄膜の交流電気伝導特性、日本金属学会 2009 年春期(第 144 回)大会、2009 年 3 月 29 日、東京工業大学