

# 論文審査の結果の要旨

氏名 黄 鐘日

半導体に遷移金属イオンをドーブした希薄磁性半導体は、将来の半導体技術が進む方向として期待されている半導体スピントロニクスの中核をなす材料と考えられている。半導体スピントロニクスの実用化のためには、何よりもまず室温で動作する素子の開発が不可欠であり、そのためには室温で強磁性を示す磁性半導体の開発が最重要課題となっている。本論文では、室温強磁性半導体として期待されている窒化ガリウム GaN をベースとした希薄磁性半導体の電子構造を、光電子分光・X線吸収分光などの手法を用いて定量的に調べている。本論文は6章からなる。

第1章は本論文への導入として、1980年代末に始まった強磁性を示す希薄磁性半導体研究の現状を紹介し、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本論文で用いた実験手法である光電子分光・軟X線吸収分光・軟X線磁気円二色性の測定原理と解析方法について説明し、実験が行われた放射光施設のビームラインと大学の実験室に設置された実験装置について述べている。

続く第3章から第5章にかけては、それぞれの章で異なった試料に対する実験結果と、そこから得られた情報について記述している。第3章では、強磁性希薄磁性半導体の通常の作成方法である分子線エピタキシー (MBE) 法により作製された Mn をドーブした GaN ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$ ) 薄膜及び Cr をドーブした GaN ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Cr}_x\text{N}$ ) 薄膜の光電子分光・X線吸収分光を行っている。それぞれの遷移金属イオンの価数を同定した後に、遷移金属原子の d 準位が、Mn ドープ GaN では主に価電子帯に現れるのに対して、Cr ドープ GaN では GaN 母体のバンドギャップ内に現れることを見出している。この違いのために、正孔キャリアがドーブされた場合の強磁性の発現機構が両者で異なると結論している。

第4章では、同じく MBE 法によるが、薄い  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  層を厚い GaN 層の間に挟んだものを繰り返した  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}/\text{GaN}$  超格子を光電子分光・軟X線吸収分光・軟X線磁気円二色性で調べた結果について述べている。第3章で述べた  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  薄膜が強磁性を示さないのに対して、この超格子は強磁性を示す。軟X線吸収と磁気円二色性のスペクトル形状が  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  と同じであることを見出し、磁気円二色性の強度が磁化測定から期待されるものと一致したことから、強磁性が  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  層からくる本質的なものであると結論付けている。

第5章では、GaN 基板上に蒸着した Mn 金属の熱拡散により作製された試料の“その場”深さ方向分析を、光電子分光を用いて行っている。各深さでのスペクトル形状から、試料の深部で希薄磁性半導体  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  が形成されていることが示唆されている。さらに、磁化測定では p 型 GaN 基板を用いたときのみ強磁性が観測され、多くの理論的研究で提唱されている正孔が強磁性を担う機構が支持されている。

最後の第6章で以上の結果がまとめられ、本論文で得られた新しい知見と将来の展望について述べられている。

以上のように、本論文では GaN をベースとした磁性半導体における磁性発現に繋がる

電子構造の特徴をいくつか明らかにし、半導体を用いて室温で強磁性を実現するための指針を提唱している。なお、本論文は指導教員をはじめ、小林正起、田久保耕、溝川貴司、江端一晃、大木康弘、石田行章、平田玄、岡本淳、間宮一敏、長船義敬、Holger Ott、斎藤祐児、村松康司、竹田幸治、寺井恒太、藤森伸一、岡根哲夫、小林啓介、田中新、近藤剛、宗片比呂夫、橋本政彦、田中浩之、長谷川繁彦、朝日一の各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計画立案し実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。