

論文審査結果の要旨

氏名 西川 敦

本論文は、成分として窒素を含むことを特徴とする GaAsN 混晶薄膜および InGaAsN 混晶量子ドットに関して、分子線エピタキシー (MBE) 法における結晶成長上の特性およびバンドギャップの特徴的な性質に基づく光学特性を、詳細な実験と考察により明らかにしたことを述べたものである。本文は英文で記され、全 8 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的および本論文の構成が述べられている。GaAs に代表される III-V 化合物半導体に窒素を添加した型の混晶半導体では、“巨大バンドギャップボウイング” という特徴的な性質が理論的に予想されており、この性質の詳細を明らかにすることが基礎物理および応用上の観点から意義を有する。一方、この型の混晶半導体は、強い非混和性のために作製は一般に容易ではなく、窒素の高濃度域において良質な結晶を得る方法を確立することに同様の意義がある。このような背景に立って、GaAsN 混晶薄膜および InGaAsN 混晶量子ドットの作製を試み、これらの基礎物性を明らかにすることを本研究の目的としている。

第 2 章は「MBE Growth and Characterization Techniques (MBE 成長と評価技法)」と題し、本研究で用いた分子線エピタキシー (MBE) 装置および試料の評価方法の詳細について述べている。MBE 装置では RF プラズマにより原料窒素を供給している。結晶評価技術としては、MBE 成長中の反射高エネルギー電子線回折 (RHEED)、X 線回折 (XRD)、原子間力顕微鏡 (AFM) などの構造的評価手法、フォトルミネッセンス (PL) およびフォトリフレクタンス (PR) による光学的評価手法を用いている。

第 3 章は「MBE Growth of GaAs_{1-x}N_x Alloy Films Grown on GaAs (001) Substrate (GaAs(001) 基板上 GaAs_{1-x}N_x 混晶薄膜の MBE 成長)」と題し、高窒素濃度で良質な GaAsN 混晶薄膜を得るための MBE 成長の最適化条件を明らかにしたことが述べられている。As 分子線強度を Ga 分子線強度に対し基板上でわずかに Ga 過剰条件とすることにより表面平坦性に優れた成膜が可能であることを示し、窒素濃度 4.5% までの高品質膜の形成に成功している。

第 4 章は「Optical Properties of GaAs_{1-x}N_x Alloy Films Grown on GaAs (001) Substrate (GaAs(001) 基板上 GaAs_{1-x}N_x 混晶薄膜の光学的性質)」と題し、本研究で得た GaAsN 混晶薄膜の PR 分光法による光学的評価結果について述べている。窒素濃度 4.5% の薄膜ではバンドギャップは 0.93eV まで縮小し、これは光ファイバ通信の波長 1.3 μ m に適合する。またボウイングパラメータは、窒素濃度 1% 付近までは 22eV であり、それより高窒素濃度域では、2 次関数

的挙動から外れることが見出された。これらの振る舞いは、不純物バンドモデルにより説明しうることを指摘している。

第5章は「MBE Growth and Properties of $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ Quantum Dots Grown on GaAs (001) Substrate (GaAs(001)基板上 $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ 量子ドットの MBE 成長と物性)」と題し、自己形成 InGaAsN 量子ドットの MBE 成長における窒素の添加効果について述べている。ドット密度は成長温度もしくは窒素濃度の増加とともに減少する。窒素濃度に依存するのは、ドット形成の下地となる層の歪が関与している。ドットサイズのばらつきは成長温度 450 で最小となり、このときフォトルミネッセンスにおける発光強度が顕著に向上することを明らかにしている。

第6章は「Optical Properties of $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ Quantum Dots Grown on GaAs (001) Substrate (GaAs(001)基板上 $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ 量子ドットの光学的性質)」と題し、InGaAsN 量子ドットのマクロおよび顕微 PL 分光に基づく詳細な光学的評価結果が述べられている。励起強度の増加に伴う発光波長の短波長化および長波長側の発光帯の出現が、バンド端に付随する窒素起源の局在準位によることを明らかにしている。また発光強度の温度依存性の解析から、量子ドット界面における非発光過程の寄与を明らかにしている。

第7章は「Extension of the Emission Wavelength of $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ Quantum Dots ($\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}_{1-x}\text{N}_x$ 量子ドット発光の長波長化)」と題し、InGaAsN 量子ドットの発光を 1.55 μm の光通信帯に近づける試みについて述べている。ドットのサイズを増加させる、あるいは障壁層を GaAs に代えて GaAsN とすることにより波長 1.47 μm の発光を観測している。また試料の適切な熱処理効果が、長波長域においても発光強度の顕著な改善をもたらすことを明らかにしている。

第8章は本論文の総括的な結論を述べたもので、本研究により学術上意義のある新規な知見が得られたことを述べている。

なお、本論文の第3章および第4章に述べられた内容は、尾鍋研太郎、片山竜二、白木靖寛との、また第5章、第6章および第7章に述べられた内容は、尾鍋研太郎、片山竜二、Y.G.Hong、C.W.Tu との共同研究によるものであるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、本人の寄与が十分であると判断される。

以上、本論文は、GaAsN 混晶薄膜および InGaAsN 混晶量子ドットに関して、分子線エピタキシー(MBE)法における結晶成長上の特性およびバンドギャップの特徴的な性質に基づく光学特性を明らかにした点で、物質科学への寄与は非常に大きい。よって、博士(科学)の学位を授与できると認められる。