

論文審査の結果の要旨

氏名 窪谷 茂幸

本論文は、III-V-N 型混晶半導体に属する InAsN の薄膜および量子構造に関して、有機金属気相成長(MOVPE)法による結晶成長上の特性およびN添加に起因する特徴的物性を、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章からなる。

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を述べている。InAsNは、III-V-N 型混晶半導体に共通の“巨大バンドギャップボウイング”という性質により、狭バンドギャップに基づく中赤外発光デバイスへの応用が期待されるが、N添加に伴うBurstein-Moss(BM)効果の発現によって、バンドギャップの実効的増大が生じる。さらにNの非混和性により、均質な混晶を得ることが困難とされていた。このような背景に立って、良質なInAsN薄膜を実現し、さらに量子構造における発光特性および関連の諸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“MOVPE growth and characterization techniques”と題し、本研究で用いたMOVPE法および試料の評価方法を述べている。本研究では、非混和性混晶の成長に有利な低温で分解効率の良い、ターシャリブチルアルシン(TBAs)およびジメチルヒドラジン(DMHy)をそれぞれAs、Nの原料として用いた。また薄膜および量子構造を、X線回折(XRD)、ホール効果、光吸収、フォトルミネッセンス(PL)などの方法を用いて評価した。

第3章は“MOVPE growth of InAsN films on GaAs(001) substrates with an InAs buffer”と題し、GaAs基板上のInAsN薄膜の成長とその評価結果および考察を述べている。成長温度300°C~450°Cで、最大N濃度3.5%の均質な膜質のInAsN薄膜を実現した。N濃度は低温成長において増加した。N濃度増加に伴う光吸収端の高エネルギー化を確認し、ホール測定によるキャリア濃度増大の結果と併せて、BM効果が発現していることを明らかにした。

第4章は“High quality InAsN films on InAs(001) substrates grown by MOVPE”と題し、InAs基板上のInAsN薄膜の成長とその評価結果および考察を述べている。基板結晶との格子不整合の減少により、組成均一性、界面平坦性、格子配向性などの膜質が格段に改善されることを示した。

第5章は“InAsN/GaAs multiple quantum wells”と題し、GaAs基板上のInAsN/GaAs多重量子井戸(MQW)構造の成長とその評価結果および考察を述べている。成長温度500°Cで、最大N濃度4.4%の高品質MQW構造を作製した。N濃度増加に伴い発光エネルギーおよび光吸収端が低エネルギー化することから、MQW構造においてBM効果が抑制されることを明らかにした。

第6章は“Self-assembled InAsN quantum dots on GaAs(001) substrates by MOVPE”と題し、GaAs基板上の自己形成InAsN量子ドット(QD)の成長とその評価結果および考察を述べている。420°Cおよび450°Cで、ドット密度 $1\sim 2\times 10^{10}\text{cm}^{-2}$ のQD成長に成功した。ドット幅がN添加により減少することをInAsNの臨界膜厚の差で説明した。またドット密度が低温において増大することを、In原子の表面拡散に基づいて説明した。また室温において波長 $1.2\mu\text{m}$ 付近の発光が、N添加とともに長波長化することから、QDにおいてもBM効果が抑制されることを示した。

第7章は“Optical properties of self-assembled InAsN quantum dots”と題し、400°CにおけるQD成長とその評価結果および考察を述べている。 $8\times 10^{10}\text{cm}^{-2}$ に達する高ドット密度を実現し、PL発光の温度依存性の解析から、ポテンシャル揺らぎに起因するキャリア活

性化過程が存在することを明らかにした。

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 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、中島史博、第 4 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、中島史博、Q.T. Thieu、加藤宏盟、第 5 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、中島史博、小野渉、Q.T. Thieu、第 6 章および第 7 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、中島史博、Q.T. Thieu、高橋駿との共同研究であるが、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、物質科学へ大きく寄与するものであり、よって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。