

論文審査の結果の要旨

氏名 中村 照幸

本論文は、III 族窒化物半導体である InN および InGaN の立方晶薄膜に関して、分子線結晶成長(MBE)法による結晶成長上の特性、および薄膜の構造的・電氣的・光学的性質を、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、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。III 族窒化物半導体は通常六方晶を安定相とし、従来の半導体デバイスへの応用は六方晶相に基づいている。しかしながら、準安定相として立方晶も可能であり、GaN などで立方晶相の研究が進展している一方で、立方晶 InN については、相純度にすぐれた高品質の結晶成長の成功例がなく、その物性も不明な点が多かった。このような背景に立って、MBE 法により、立方晶 InN および InGaN 薄膜の作製を試み、その構造的・電氣的・光学的性質を結晶成長条件との関連において明らかにすることを本研究の目的としている。

第 2 章は「実験装置及び評価方法」と題し、本研究で用いた MBE 法および試料の評価方法について述べている。本研究で用いた MBE 装置には、窒素源として RF プラズマセルが具備されており、これにより結晶成長に有効な原子状窒素を供給できることが特徴である。薄膜結晶の評価方法として、中心的な構造評価手法である X 線回折(XRD)法について述べたほか、原子間力顕微鏡(AFM)、また光学的評価手法であるフォトルミネッセンス(PL)法を説明している。

第 3 章は「GaAs 基板上立方晶 InN 成長」と題し、GaAs(001)基板上の InN 薄膜の成長とその評価結果および考察が述べられている。成長温度 400°C から 550°C の間で、立方晶 InN 薄膜が得られた。成長表面において In および N の化学量論比が成立する条件よりわずかに In 過剰な条件下で、表面平坦性、結晶性、立方晶相純度が最適となり、これらの振る舞いを In の表面拡散の差異で説明している。また六方晶相は GaAs との界面の(111)マイクロfacet から積層欠陥に伴って発生することを電子顕微鏡観察より明らかにした。さらに、立方晶相純度の向上とともに、電子濃度の減少および電子移動度増加がみられることから、六方晶混入による構造欠陥が、電気伝導特性を低下させることを明らかにしている。

第 4 章は「GaAs 基板上高 In 濃度立方晶 InGaN 成長」と題し、GaAs(001)基板上の InGaN 薄膜の成長とその評価結果および考察が述べられている。成長温度 490°C において、Ga 組成比 29.5% の立方晶 InGaN 薄膜を得ることに成功した。さらに高温または高 Ga 濃度では、六方晶相の混入や相分離傾向が顕著となることなどを明らかにした。また PL 特性より、同一組成の InGaN において、立方晶相のバンドギャップは六方晶相に比べて 0.3eV 小さいことを明らかにした。

第 5 章は「YSZ 基板上立方晶 InN 成長」と題し、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)基板上の InN 薄膜の成長とその評価結果および考察が述べられている。YSZ 基板は、GaAs よりも熱的安定性にすぐれ、立方晶 InN に対する格子不整合度が小さいという利点がある。購入状態の YSZ 基板上の、温度 490°C の成長において、立方晶 InN の結晶配向性が顕著に改善する一方で、相純度の改善は明らかでないことを述べている。

第 6 章は「超平坦化 YSZ 基板上立方晶 InN 成長」と題し、大気中高温熱処理によって原子レベルで超平坦化させた YSZ 基板上の InN 薄膜の成長とその評価結果および考察が述べられている。超平坦化表面にはステップ・テラス構造が生じ、立方晶 InN 薄膜の相純度が顕著に改善し、93% の相純度を実現したことを述べている。

第 7 章は「超平坦化微傾斜 YSZ 基板上立方晶 InN 成長」と題し、基板面が(001)方位に

対し微傾斜を有する YSZ 基板上の InN 薄膜の成長とその評価結果および考察が述べられている。微傾斜表面において、熱処理した場合のステップ密度が増大することにより、六方晶混入方位の制御が可能であり、同時に相純度が改善される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 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、山本剛久、飯田汗人、第 4 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、矢口裕之、遠藤雄太、第 5 章と第 6 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、山本剛久、徳本有紀、第 7 章は、尾鍋研太郎、片山竜二、山本剛久、片岡敬弘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。