

# RF-MBE法による高In組成InGa<sub>N</sub>混晶の結晶成長と特性評価に関する研究

黒内 正仁

本論文は、III族窒化物半導体のうち、高In組成領域におけるInGa<sub>N</sub>混晶の結晶成長とその特性評価に関する研究の成果をまとめたものである。Ga<sub>N</sub>とAl<sub>N</sub>、In<sub>N</sub>及びそれらの混晶からなるIII族窒化物半導体は優れた物性値を持っているが、バルク結晶を得ることが困難な材料である上に、ヘテロエピタキシャル成長に適した格子不整合率、熱膨張係数差の小さい基板がないことから結晶成長が難しい材料である。Ga<sub>N</sub>や高Ga組成のInGa<sub>N</sub>混晶に関しては青色発光素子の応用のため、その研究開発が精力的に行われており、現在では青色発光ダイオードや青色レーザーダイオードが実用化されている。その一方で、In<sub>N</sub>は解離温度が低いという問題点があることからIII族窒化物半導体の中で研究開発が遅れてきた。InGa<sub>N</sub>混晶もIn組成が高くなるにつれて結晶成長が難しくなり、高In組成InGa<sub>N</sub>の特性は不明瞭な点が多かった。近年、結晶成長技術が進歩するに伴い、高品質なIn<sub>N</sub>結晶が報告されるようになった。本論文では高品質なIn<sub>N</sub>が得られる結晶成長技術をもとにして、高In組成InGa<sub>N</sub>の結晶成長を行い、その特性に関する検討を報告する。また、In<sub>N</sub>系量子井戸構造の結晶成長とその特性について述べる。

第1に、RF-MBE法を用いてサファイア基板上に高In組成InGa<sub>N</sub>の結晶成長を行った。低温で結晶成長を行うことによって、InGa<sub>N</sub>混晶は高In組成領域においても相分離を抑制することに成功した。作製したInGa<sub>N</sub>混晶は光学的評価を行った。吸収スペクトルは直接遷移型半導体でみられるバンド間遷移による吸収がみられた。またホトルミネッセンスを測定した結果、バンド端近傍からの発光が観測された。吸収端及び発光ピークエネルギーのIn組成依存性を検討した結果、In組成を1に近づけるにつれて、そのバンドギャップは約0.7eVに近づく傾向が見られた。これは、近年議論がおきたIn<sub>N</sub>のバンドギャップは従来の報告値である1.9eVではなく約0.7eVであるという報告を支持する結果である。また、InGa<sub>N</sub>を用いた光デバイスの設計で重要となるバンドギャップのボーイングパラメーターの検討を行った。

第2に、高In組成InGa<sub>N</sub>の高品質化の検討を行った。InGa<sub>N</sub>の下地に結晶性のよいIn<sub>N</sub>テンプレートを導入した結果、その結晶性はサファイア基板の上に直接成長した場合や低温In<sub>N</sub>バッファ層を用いた二段階成長を行った場合に比べて大幅に改善することを示した。

第3に、In<sub>N</sub>テンプレート上にIn<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub>量子井戸構造の作製することに初めて成功した。作製した量子井戸構造の光学的評価を行った結果、井戸幅を狭くするにつれ発光ピークは高エネルギー側にシフトする傾向がみられ、量子サイズ効果が確認された。

このように本論文は、In<sub>N</sub>及び高In組成InGa<sub>N</sub>の基礎検討を行っており、学術的・産業的知見を大いに与える物であると考えられる。