

24. MBE による GaAs 段差基板上的 InGaAs の結晶成長

久田 正 浩

分子線エピタキシー (MBE) 法により原子層オーダーで縦方向の構造が制御可能となっている現在、横方向の構造を制御性よく作ることが急務となっており、種々の方法で試みられている。その中で加工基板上的成長は、成長に先んじて加工が行われるため加工損傷のない構造が得られる特徴をもっている。新しい電子デバイスや光デバイス用材料として期待される InGaAs を、加工基板の上に様々な成長条件で MBE 成長させた例についてはこれまでに報告された例が数少ない。IBM の研究グループは、(311)A 斜面をもつ GaAs 段差基板上的 InGaAs/(AlGa)As 歪量子井戸構造のカソードルミネッセンス (CL) による評価から、In の拡散長が $25\mu\text{m}$ であることを報告した。

本研究では、(111)A 斜面をもつ GaAs 段差基板の上に Si ドープ InGaAs を種々の混晶比、成長温度等で作製し、そのエピタキシャル膜の表面モフォロジー、Si のドーピング特性、ファセットの混晶比の CL による評価、TEM による観察を行なった。膜厚は (100) フラットで約 $2\mu\text{m}$ であり、Si のドーピング濃度は約 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。基板温度 (T_s) は 480°C から 640°C で変化させた。V/III 比 (プレッシャー比) は 30 であり、In と Ga のフラックス強度比 (x_r) は 0.05, 0.085, 0.20, 0.25, 0.30 である。ただし、基板温度の上昇につれて In の再蒸発が起こり混晶比 (x) は減少する。基板回転は 60rpm で行なった。

その結果、基板温度 560°C では $x_r \leq 0.25$ で、 600°C では $x_r = 0.30$ で (111)A 斜面上、(100) フラット上の両方で良好な表面モフォロジーが得られた。また、p-n 反転の成長条件依存性を I-V 測定によって調べた。 $x_r \leq 0.25$ では $T_s < 620^\circ\text{C}$ で成長させた斜面が n 型で、 $T_s = 620^\circ\text{C}$ で p 型であり、 $x_r = 0.30$ では $T_s \leq 620^\circ\text{C}$ で成長させた斜面が n 型で、 $T_s = 640^\circ\text{C}$ で p 型であった。ただし $T_s \geq 620^\circ\text{C}$ では In がほとんど再蒸発しているので、混晶比 x の大きい InGaAs で (111)A 斜面が p 型になることはなかった。さらに各ファセットに対して 78K 及び 160K で CL スペクトルを測定した結果、発光ピークのシフトが観測され、各ファセットによって混晶比が異なることがわかった。また、段差上部の x 値のプロファイルから、In の拡散長が $T_s = 560^\circ\text{C}$ で約 $5 \sim 10\mu\text{m}$ 、 $T_s = 600^\circ\text{C}$ で約 $15\mu\text{m}$ であることがわかった。これは In の表面拡散及び再蒸発により成長速度が各ファセットによって異なることが主な原因と考えられる。ところが、TEM による観察の結果、 $T_s = 560^\circ\text{C}$ 、 $x_r = 0.20$ ($x = 0.167$) の試料では、(111)A 斜面上に自然超格子の形成が見られた。これは CL スペクトルに影響を与え、発光ピークをシフトさせた可能性がある。他のファセットにはこういった超格子は存在しなかったが、その構造及びこれができる原因についてはまだわかっていない。しかし、 $T_s = 600^\circ\text{C}$ 、 $x_r = 0.30$ ($x = 0.231$) の試料では自然超格子の形成が見られなかったことから、自然超格子の形成は成長条件に依存すると考えられる。