

氏名・(本籍)	野 村 卓 志 (三重県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工博乙第 26 号
学位授与の日付	平成2年3月16日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	分子線エピタキシ法によるⅢ-V族半導体ヘテロ 成長過程の研究

論文審査委員	(委員長)				
	教授	助 川 徳 三			
	教授	萩 野 實	教授	藤 安 洋	
	教授	福 田 安 生	助教授	田 中 昭	

## 論 文 内 容 の 要 旨

半導体ヘテロ成長技術の確立は、超格子構造の作成や化合物半導体のデバイス応用に欠かすことができない。本論文では、大きな格子不整合をもつⅢ-V族半導体のヘテロ成長過程の研究を行った。結晶成長には、原子層単位の膜厚制御が可能であり、成長している表面の“その場”観察が可能な分子線エピタキシ(MBE)法を用いた。

再現性よくヘテロ成長を行うためには、MBE成長条件を再現性よく設定する技術を確立する必要がある。第2章では、MBE装置の概要と現在の成長条件設定技術およびその問題点について述べた。Ⅲ-V族半導体のMBE成長における成長条件では、基板温度およびⅢ族分子線強度は再現性良く制御可能であるが、V族分子線強度の設定には問題が残っている。

第3章では、MBE法による成長条件設定に残された問題点である分子線強度プロファイルの制御およびV族分子線強度の制御について述べた。分子線強度プロファイルの制御が可能なマルチホールドプラグ分子線源を提案した。この分子線源の基板上における分子線強度分布を求める計算式を導出し、所定の分子線強度を与えるための設計方針を確立した。また、実際にマルチホールドプラグ分子線源を製作し、測定した分子線強度分布が設計値とよく一致することを確かめた。

V族分子線強度の制御は、Ⅲ-V族半導体のMBE成長において重要な問題点である。本論文では、反射高速電子線回折(RHEED)法によって観察される表面超構造の成長条件による変化に着目して、実効的なV族分子線強度の制御法を確立した。この結果から、基板表面に入射した分子の表面マイグレーション、原子への解離、成長層への取込み、成長層の解離、表面からの脱離等の反応過程を表面

前駆状態として取扱い、この表面前駆状態を介して入射・脱離する分子と成長層が定常状態にあるとした成長モデルを提案した。この成長モデルを用いて、従来制御が難しいとされてきた GaAsP 混晶の組成比制御を試み、成長条件と成長層組成比の関係を明らかにした。

このようにV族分子線強度設定に関する問題点を解決し、再現性良く設定した成長条件下におけるヘテロ成長に関する研究結果を第4章で述べた。原子的スケールで平坦な GaP (100) 基板上に GaAs のヘテロ成長を行い、成長層膜厚が1原子層 (ML) 以下から数千Åの範囲における成長モードの変化を調べた。数原子層程度の非常に小さな膜厚領域におけるヘテロ成長過程を定量的に観察するために、RHEED パターンの画像解析装置および走査トンネル顕微鏡装置を製作した。また、成長層の格子定数を測定するために、X線回折法およびラマン散乱法を用いた。膜厚数十nmから数百nmの薄膜の格子定数を正確に測定するために、X線回折法の測定プロファイルに対するデコンボリューション処理を行った。これらの測定の結果、成長初期2原子層 (ML) までは二次元的に成長するが、それ以上の膜厚では三次元的な成長モードへ変化すること、また三次元的成長によって形成された島が、膜厚15nm付近で融合することにより再び二次元的に成長することを明らかにした。また、膜厚数MLの領域において、GaAs層が島へ凝集する過程を観察し、GaP基板上にGaAs層が安定に存在できないことを明らかにした。走査トンネル顕微鏡を用いることによって、成長初期に形成された微小な島の構造を観察した。

このような成長モードの変化による成長層の結晶性の劣化を避ける手段として、Si基板上のGaAsヘテロ成長において二段階成長法が試みられている。二段階成長法では、基板と成長層の間にバッファ層薄膜を形成する。第5章では、この二段階成長法をGaAs/GaPヘテロ成長に適用し、バッファ層薄膜自体の特性とその形成条件の関係を調べ、バッファ層薄膜による格子不整合緩和機構を調べた結果について述べた。その結果、アモルファス状態で成長したバッファ層薄膜を加熱・昇温して結晶化すると、その結晶化過程で格子不整合が緩和されることが明らかになった。アモルファス状態のGaAs薄膜を成長するには、単に基板温度を下げるだけでなく、成長層にAsを過剰に取込ませる条件で成長すればよいことを明らかにした。

以上、本研究ではV族分子線強度の制御法を確立し、表面前駆状態を考慮した成長モデルを用いてGaAsP混晶の組成比制御を可能にした。大きな格子不整合を持つヘテロ成長過程を調べ、膜厚1ML以下から数十nmの範囲における成長モードおよび成長層表面に形成された島の構造を明らかにした。また、二段階成長法における格子不整合緩和過程を明らかにした。