

論文の内容の要旨

論文題目 III-V 族化合物半導体太陽電池の高速・高原料効率・高品質結晶成長
に向けた有機金属気相成長のプロセス解析

氏名 鬼塚 隆祐

本論文は、化合物半導体結晶成長の手法である有機金属気相成長法 (Metal-organic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE) の太陽電池構造結晶成長への応用および反応炉内での流体力学・化学反応シミュレーションに関するものであり、化合物半導体太陽電池の性能・生産性向上に資するものである。本研究は、結晶品質がデバイス特性に大きく影響する太陽電池に着目し、その電気特性および結晶特性と結晶成長条件との関係を明らかにし (第3章)、反応炉形状による炉内分布特性の差異による反応炉大型化に対する問題を指摘し (第4章)、特に InGaAsP 系 MOVPE に着目し、既存の反応炉シミュレーションを改善して精度の向上をはかり、さらに結晶に取り込まれる不純物濃度を予測する (第5章)、本論文のまとめとして成長条件と生産コストの観点から最良の成長条件を提案する (第6章) から構成される。

第1章では、MOVPE の原理および応用の観点から、本論文に関わる研究状況を述べる。化合物半導体太陽電池の進展や問題点について調査し、本論文において解決すべき問題が何か、どのような解決方法をとるかを示した。

第2章では、本研究で用いた装置の構造・原理について述べる。

第3章では、光デバイスのうち特に不純物や結晶欠陥の影響が大きいと思われる太陽電池に着目し、高速・高原料効率・高結晶品質な結晶成長方法をめざし、様々な成長条件での結晶品質や太陽電池特性の比較を行った。まず、V 族・III 族原料供給量比 (V/III 比) を変化させ、結晶成長中の *in-situ* 表面異方性解析 (Reflectance anisotropy spectroscopy, RAS)、結晶成長後の表面の顕微鏡像、AFM (Atomic force microscope) 像から、結晶成長可能な成長条件の探索を行った。次に、標準条件に比べて V/III 比が低い、結晶成長としては厳しい条件を用いて実際に太陽電池構造の作製を行った。光の吸収層が薄い場合には性能の劣化が発生しないが、吸収層が厚い場合には性能の劣化が発生し、高速成長によってキャリア寿命が短くなっていることを示した。この吸収層について、ホール効果測定および SIMS (Secondary Ion-microprobe Mass Spectrometer: 二次イオン質量分析) を行って、結晶中の不純物濃度および成長条件 (成長速度) の関係を示した。また、装置・原料ガス・ウェハ・電気などのコストおよび太陽電池特性を勘案し、低コスト・高品質・高原料効率・高生産量を満たす成長条件について議論を行う。

第4章では、MOVPE 反応炉大型化による化合物半導体結晶生産のスループット向上により発生する問題点について調べるために、MOVPE 反応炉の形状のうち、特に水平型枚葉式反応炉とプラネタリ型反応炉のそれぞれについて、GaAs 結晶成長における膜厚・意図せずドーパされる不純物・意図的にドーパした不純物などの炉内分布について調査を行った。また、より一般的に光電子デバイス作製のために、InGaAsP の結晶成長について、膜厚・組成・PL(Photo Luminescence)強度について反応炉内での分布を調べ、プラネタリリアクタでは形状に起因する炉内流速の分布が結晶品質に影響し、流速の遅い部分で結晶品質が劣化することを示した。

第5章では、既存の InGaAsP 系 MOVPE 反応炉モデルの改良についての研究を述べる。InGaAsP 系 MOVPE では、結晶に取り込まれる III 族物質は気相および表面での拡散に律速されるため、結晶内への取込はその原料供給量に依存し、2 種類の III 族が存在する場合には固相組成は原料供給比によって決まるため、予測は容易であった。一方、V 族物質は結晶表面において吸着・脱離の反応を繰り返すため、表面での化学反応速度に関する調査が必要であり、原料供給比から固相組成を予測するのは容易ではなかった。本論文では、表面異方性解析を用いて、V 族原料物質の供給有無による表面再構成形状の時間的変化を調査し、その速度定数から活性化エネルギーを求め、さらにサセプタ表面での分解反応を考慮することにより、シミュレーションの精度が向上したことを示す。また、異なる形状の反応炉にシミュレーションが適用可能かを調査する。

最後に第6章では、本論文のまとめを行い、果たした役割と今後の展望を示す。