

## 論文の内容の要旨

# 論文題目 選択領域有機金属気相成長の反応モデリングと モノリシック集積光デバイス設計応用に関する研究

氏名 塩田 倫也

本研究は、結晶成長の 1 手法である有機金属気相成長(MOVPE: Metal-organic vapor phase epitaxy)の選択成長の反応モデリングとその光デバイスへの応用に関するものであり、化合物半導体デバイスの作成方法と新規な機能の創生に資するものである。本研究では MOVPE 選択成長の極限利用により、新しい多機能・高集積なモノリシック集積デバイスを開拓することを目的として、次の 3 つのアプローチで研究を進めた。(1) MOVPE 選択成長の原理を反応モデル化することで、その振る舞いを理解し、制御手段を確立するというモデリングの展開(本論文 3,4 章)、(2)従来の材料系である InGaAsP 系から AllnGaN 系へと展開することで、材料起因の新機能を得ると同時に、モデルの材料普遍性を示すという材料的展開(6 章)、(3)そして確立したモデルを用いてこれまでにない機能を持つデバイスを設計するというデバイスの展開(5,7 章)を行った。各章の詳細は以下の通りである。

まず第 1 章で本研究の主題となる、MOVPE 選択成長の原理・応用の両方の観点から研究状況を述べた。現状の化合物半導体デバイスの進展状況と問題点について述べ、どのような解決手法を行うかを議論した。また、第 2 章では研究を進める上で不可欠な情報である、装置の構成・原理について述べた。

第 3 章では反応モデルとして、気相拡散モデルの役割について調査した。InGaAsP の MOVPE 選択成長を行い、マスク周辺における膜厚分布や発光波長分布を調べた。一方で気相拡散を数理モデル化した気相拡散モデルを確立し、実験結果との比較を行った。III 族原料それぞれにパラメータである気相での実効拡散長  $D/k_s$  の値を与えることで、マスク近傍での膜厚や発光波長分布は精度良く推定することができることを示した。

第 4 章では MOVPE 選択成長の中で特徴的なファセット構造の形成について支配的な作用である、表面拡散のモデリングを行った。InP 膜厚の時間的変化に着目することで、マスク上での原料の表面拡散は基本的に成長領域に拡散せずほぼ無視できるという、従来とは異なる知見を得た。更に、結晶表面の取り込みの性質として、結晶の特性である表面角度・面方位に依存したマイグレーション長を組み込む事で、ファセットの形成過程を説明できることを示した。

第 5 章ではこれまでに確立した MOVPE 選択成長のモデルを設計手段として応用することを試みた。MOVPE 選択成長を用いたモノリシック集積デバイスの特性を向上させるアプローチとして、選択成長領域に欲した特性を得るためにマスク形状を工夫することと、成長条件を工夫するという 2 つのアプローチがある。気相拡散モデルを用いたマスク設計により、InGaAsP では従来問題点であった能動素子/受動素子間の遷移長が短くなるようなマスクを設計した。また同様に気相拡散モデルを用いて成長条件を設計することで、能動領域に引っ張り歪みを導入した能動/

受動素子の集積化に成功した。

第6章では材料的展開として、これまで論じてきた材料系を InGaAsP から AlInGaN 系へと展開し、気相拡散・表面拡散の効果を調べ、結晶成長モデルの材料的な普遍性を示すことを試みた。先ず GaN の選択成長を行い、InGaAsP 同様に膜厚分布が気相拡散モデルに従うことを見出した。またこれまでなかった InN の MOVPE 選択成長に成功し、InN 製膜種のマスク近傍における振る舞いを調べ、Ga と比較して気相での拡散長が非常に長いことを見出した。発光デバイスとして重要な InGaN の選択成長では、GaN がマスク上へ核発生しやすく、選択成長による膜厚分布が得られないという問題点を見つけた。InN 選択成長の知見を活かし、少量の水素を添加することでマスク上への核発生を抑制する手法を提案し、その結果面内での発光波長や膜厚の変化を大きくすることが可能となった。

第7章では6章における(AI)InGaN 系の知見に基づき、選択成長を用いた発光ダイオードの作成を試みた。選択成長の効果によってまた In 組成はほとんど変化しないが膜厚が大きく変化する事に着目し、発光ダイオードの作成を試みた。MOVPE 選択成長の気相拡散・表面拡散といった効果を有効的に活用することで、多波長発光や光取り出し効率の向上が達成され、MOVPE 選択成長によるモノリシック集積デバイス及び数理モデルを用いた設計手段の有用性を示した。

最後に第8章では本論文を総括するとともに、果たした役割と、今後の進展を展望した。