

# 論文審査の結果の要旨

氏名 ティユ クァン トゥ

本論文は、III 族窒化物半導体である InN 薄膜の有機 N 原料による有機金属気相成長 (MOVPE) において、原料物質の熱分解反応の質量分析による解析を行うとともに、InN 薄膜成長を初めて実現し、その成長特性および光学特性について明らかにした研究成果を述べたものであり、全 5 章からなる。

第 1 章は序論であり、III 族窒化物半導体と InN の物性および結晶成長に関して従来研究を概観することにより、InN 薄膜の電子デバイスおよび光デバイス応用上の意義、および InN の低温成長の必要性、有機 N 原料を用いることの意義と予想される付加化合物生成に伴う InN 成長の問題点など、本研究の技術的背景とともに、本研究の目的について述べている。

第 2 章は、本研究で用いた実験方法の説明であり、In および N の有機原料を用いた MOVPE 法による結晶成長法の原理と手法、および X 線回折、光吸収測定など結晶評価方法、さらに気相反応の解析に用いた四重極質量分析法の原理と手法について概要を述べている。

第 3 章では、有機原料について MOVPE 反応管内で気相成分をサンプリングし、四重極質量分析器により質量分析を行った結果について述べている。N 原料のジメチルヒドラジン (DMHy) の熱分解反応において、最終的な分解種は  $\text{CH}_4/\text{NH}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{HCN}$  であった。このうち N を含む分解種は活性窒素源としてサファイア基板結晶の表面窒化に寄与していると考えている。DMHy の分解効率はキャリアガスを水素とした場合の方が、窒素とした場合よりも高い傾向があるが、これは水素の方が熱伝導率が大きいことによる。さらに分解効率は減圧の条件ほど減少する傾向がみられたが、60 Torr 以上では 50% 分解温度が 400-600°C と比較的低いことが明らかになった。この低温で高い分解効率は低温成長を必要とする InN 薄膜の作製には有利とされる。In 原料のトリメチルインジウム (TMIn) の熱分解効率については、300 Torr、500-600°C の条件下では 45-60% となることが明らかにされた。さらに TMIn と DMHy を同時に反応管内に供給した場合には、低蒸気圧の付加化合物 (アダクト) が生成することが明らかになった。このアダクト生成が、従来の原料混合供給法において InN 成長を困難にしている原因であることが示唆されている。

第 4 章では、上記の付加化合物生成を回避する方法として、原料の一方を細管により供給して基板直近で TMIn と DMHy を混合させる原料分離供給法を採用し、InN 薄膜の成長に成功したことを述べている。キャリアガスとして水素を用いた場合は、InN がエッチングされるために成長層が得られないが、窒素を用いた場合にはエッチング効果が抑制されて InN 成長層が得られる。成長条件としては、成長温度 520-550°C、N/In 供給モル比 100-200、反応管圧力 160 Torr が最適であることが、X 線回折による結晶性評価により明らかにされた。ただし InN 成長表面にはつねに In ドロップが伴っている。細管で供給する原料種を TMIn としても DMHy としても InN 成長層が得られるが、原料種のフローパターンの相異が、実効的な N/In 供給比の相異として反映する。サファイア基板と InN 結晶とは、 $[1-100]_{\text{InN}}//[11-20]_{\text{Sapphire}}$  のエピタキシャル関係にあることが明らかにされた。厚さ 60-100 nm の InN 薄膜の光吸収測定より、InN 結晶のエネルギーギャップは 0.63-0.74 eV と、従来知られている値と同等の値が得られている。またサファイア基板上に GaN 薄膜を形成した疑似基板上の InN 成長においては、In ドロップの形成が抑制される一方で、針状ないし粒子状の InN 結晶が得られることが明らかとなった。

第 5 章は、本研究で得られた知見をまとめることにより本研究の結論を述べるとともに、

当該研究の将来展望にふれている。

なお、本論文の第3章および第4章は、尾鍋研太郎、片山竜二、窪谷茂幸、関裕紀、稲本拓朗との共同研究を含んでいるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、本人の寄与が十分であると判断される。

以上、本論文は、物質科学へ大きく寄与するものであり、よって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。

以上 1612 字