

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13117 号
------	---------------

氏 名 叶 正

論 文 題 目

Analysis of vapor phase reaction by high-resolution mass spectrometry for Group III-Nitrides epitaxial growth
(高分解能質量分析によるⅢ族窒化物半導体気相成長の解析)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	天野 浩
委員	名古屋大学	教授	大野 雄高
委員	名古屋大学	准教授	本田 善央
委員	名古屋大学	教授	白石 賢二
委員	東京農工大学	教授	熊谷 義直

論文審査の結果の要旨

叶正君提出の論文「Analysis of vapor phase reaction by high-resolution mass spectrometry for Group III-Nitrides epitaxial growth (高分解能質量分析によるIII族窒化物半導体気相成長の解析)」は、社会実装が進んでいる一般照明用LEDランプに用いられている青色LED製造のための窒化ガリウム (GaN) の有機金属化合物気相成長 (MOVPE) 法において、今後のパワーデバイス応用に必須である低残留炭素濃度エピタキシャル層成長装置設計の基礎データとして、いままで計算でしか解析されなかったことのない、ガリウムの原料であるトリメチルガリウムと窒素の原料であるアンモニアの気相反応の実験的な解析に挑んだ結果をまとめている。具体的には、飛行型超高分解能質量分析装置を駆使して、アンモニアの分解、トリメチルガリウムの分解、およびアンモニアとトリメチルガリウムの混合ガス流中の気相反応過程を世界で初めて明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、電源用パワーデバイスとしてのGaNの重要性、他の半導体材料と比較した優位性、結晶成長の研究の背景、パワーデバイス構造の概略、MOVPE法の概略、質量分析を用いた実験的な気相反応解析手法の概説、飛行型質量分析の概説を行い、特にマスユニット0.002以下の超高分解能が必要な理由について詳細に説明し、本論文の主旨と構成をまとめている。

第2章では、MOVPE法の概説、今回の研究で用いた飛行型超高分解能質量分析装置の動作原理、イオン化電圧の設定方針、飛行型超高分解能質量分析装置の性能の確認、今回気相反応分析のために試作した横型加熱炉の概略とキャピラリーの設定、および窒素及び水素を用いた場合の加熱炉内温度分布の詳細な測定結果についてまとめている。

第3章では、飛行型超高分解能質量分析装置を用いたアンモニアの分解測定を行っている。まずステンレスの有無によるアンモニアの温度依存性を評価し、ステンレスがアンモニア分解の触媒として効果的に働くことを示した。次にキャピラリーの位置をずらしながら測定し、加熱炉内位置とアンモニアの分解率、およびその温度依存性を詳細に求めた。いままでアンモニアの分解率を実際のMOVPE炉で測定した実験結果は存在しなかった。そのため結晶成長シミュレーションではアンモニアの分解率をフィッティングパラメータとして扱われていたために、装置設計も任意性を伴い、装置構造の最適化に多くの時間が費やされていた。今回の実験結果で、アンモニアの分解率を実験的に正確に求められたため、MOVPE装置構造最適化がコンピュータ上で可能になった。

第4章では、トリメチルガリウムの分解過程を詳細に評価している。まず検出されるガス種について、金属ガリウム、モノメチルガリウム、ジメチルガリウム、トリメチルガリウムすべて同じ温度で減少することから、キャピラリーを通して、検出部でのイオン化により一気にトリメチルガリウムから金属ガリウムへ分解することを確認している。次にキャリアガスの違いによる分解の違いに着目し、窒素中では550°C付近で分解により二つの炭素原子を含むガス種が生まれること、水素中では430°C付近でメタンガスが生じることを明らかにした。窒素中では、トリメチルガリウムの自己熱分解により、二つのメチル基が反応して炭素二つを含むガス種を形成すること、水素中では水素分子または活性水素とトリメチルガリウムが反応してメタンガスが生じることを明らかにしている。更にトリメチルガリウムを有効に分解するために、炉内水素モル分率をトリメチルガリウムに対して300以上にすることがあることを見出している。これはMOVPE装置設計に非常に重要な知見である。

第5章では、トリメチルガリウムとアンモニアの混合ガスの気相反応過程を詳細に評価している。その結果、窒素中では、アンモニアの混入によりトリメチルガリウムの分解は促進するが、水素中ではその逆で、アンモニアの混入によりトリメチルガリウムの分解が抑制されることを初めて見出している。また、付随する成果として、トリメチルガリウムとアンモニアの高温での反応によりシアン化水素ガスが発生することも見出している。また、ガス流速を変化させてトリメチルガリウムの分解率の変化を測定し、高速ガス流下では分解が抑制することを見出している。

第6章では、本実験の成果である、アンモニアの分解率の正確な評価、トリメチルガリウムとアンモニアの混合ガスにおいて、成長温度ではアダクトを形成しないこと、トリメチルガリウムの分解過程を正確に捉えることができたことなど、本研究の学術上及び産業上の成果をまとめ、次世代のMOVPE装置設計の指針を提案している。

以上のように、本研究によって、いままで実験的に不明であったGaNのMOVPE成長における気相反応過程を正確に明らかにした成果は、学術上のみならず産業上も顕著であり、本論文の提出者である叶正君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。