

# 酸化ガリウムの結晶構造解析及びイオン注入プロセス評価

橋本 愛

形態科学研究部

**要旨** 酸化ガリウム ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) は次世代パワー半導体材料として注目を集めており、近年研究が盛んになってきている。半導体デバイスの信頼性、特性改善にはプロセス技術の最適化が必要であり、その評価方法が重要となる。本稿ではエピタキシャル膜の品質評価に必要な結晶構造解析と、デバイス特性への影響が大きいイオン注入プロセスにおける不純物、欠陥、キャリア濃度解析を行った事例を紹介する。

## 1. はじめに

酸化ガリウムは、電子材料、光学素子、UV 検出器、触媒作用などへの用途が報告されている。酸化ガリウムのバンドギャップは  $4.7\text{eV}\sim 5.3\text{eV}$ <sup>1),2)</sup>と報告されており、GaN や SiC と比較して大きなバンドギャップを有している。さらに基板を低コストに作製できるという利点もあり、次世代パワー半導体材料として注目されており、研究が盛んになってきている。酸化ガリウムは数種類の結晶構造を持ち、これまでに  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$  および  $\epsilon$  の結晶系が報告されている<sup>3),4)</sup>。また、近年は  $\kappa$  型 (直方晶) の結晶系も報告されている<sup>5),6)</sup>。半導体デバイス作製において、エピタキシャル膜の品質はデバイス信頼性への影響が大きく、結晶欠陥の少ない高品質なエピタキシャル膜が必要であるため、結晶構造解析が重要な評価項目となってくる。通常、結晶構造解析は主に X 線回折 (XRD : X-ray diffraction) や透過型電子顕微鏡 (TEM : Transmission Electron Microscope) を用いるのが一般的だが、酸化ガリウムの様に結晶多形を持つ材料では、単手法では構造決定が難しい場合があり、多角的な構造解析が必要である。本稿では、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  の結晶構造解析事例として、TEM および原子分解能走査型透過電子顕微鏡 (STEM : scanning transmission electron microscope) を用いた結晶構造解析事例を紹介する。

また、イオン注入プロセスは、デバイス特性を決定する重要な要素技術の一つである。そのため、プロセス最適化のために不純物濃度、結晶欠陥、キャリア濃度評価は必須項目となる。イオン注入プロセス評価の解析事例として  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  基板にイオン注入を実施した試料で各種分析を行った結果についても紹介する。

## 2. 断面 TEM、平面 STEM による結晶構造解析

### 2-1. 試料および分析方法

サファイア基板(0001)面上に CVD 法により  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  をエピタキシャル成長させた試料について、断面 TEM および平面 STEM 観察を実施した。

### 2-2. 断面 TEM 評価結果

TEM による結晶構造解析は、TEM 像および結晶情報を含んだ回折パターンを取得して行うのが一般的である。本試料においても、まずは断面 TEM 観察および制限視野電子回折パターンの取得を行い、構造解析を実施した。図 1 (a) に  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  膜の断面 TEM 像を示す。断面 TEM 像より 370 nm の  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  膜が成長している事が確認できた。本試料においては基板界面近傍にコントラストの異なる層が確認された。この界面層については制限視野電子回折パターンを取得するには膜厚が薄すぎるため、界面層の高分解能 TEM 像を取得し、画像に対してフーリエ変換 (FFT : Fast Fourier