

水素同位体標識を用いた GaN MOVPE における TMGa と NH₃ の気相反応の高分解能質量分析 High-Resolution Mass Spectrometry Analysis of the Reactions Between Trimethylgallium and Ammonia in GaN MOVPE Using Hydrogen Isotope Labeling

°叶 正¹, 新田 州吾¹, 本田 善央^{1,2}, Markus Pristovsek¹, 天野 浩^{1,3,4,5}

IMaSS¹, IAR², ARC³, VBL⁴, Nagoya Univ., NIMS⁵

°Zheng Ye¹, Shugo Nitta¹, Yoshio Honda^{1,2}, Markus Pristovsek¹, and Hiroshi Amano^{1,3,4,5}

E-mail: z.ye@nagoya-u.jp

高耐圧の縦型 GaN パワーデバイスでは、ドリフト層の低いキャリア濃度の制御のため、MOVPE 成長において意図せずに混入される炭素 (C) の低減が必要であるが[1]、3μm/h 以上の成長レートを維持できる条件では、現状 $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 程度が下限である[2]。残留 C の主要因は原料であるトリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$)のメチル基由来であると考えられ、さらなる C 濃度低減のためには、気相反応から表面反応までの成長プロセスをより深く理解する必要がある。これまでに我々は、高質量分解能飛行時間型質量分析計 (TOF-MS) を用い、GaN MOVPE 成長の気相反応を解析し、報告してきた[3]。H₂ は $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ の分解に促進効果があると解明されたが、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3/\text{NH}_3/\text{H}_2$ 系での反応過程はまだ不明な点があった。本研究では、キャリアガスとして H₂ の同位体である D₂ (重水素) を用い、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ と NH₃ の詳細な反応プロセスの解析を行った。

実験は、加熱域が 30cm の石英管反応器(φ28mm)を使用し、加熱域中の $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ と NH₃ の混合ガスをサンプリングし TOF-MS による解析を行った。実験条件として、総流量が 1slm (D₂ キャリアガス)、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ が 29μmol/min、V/III 比が 100 である。図 1 に室温および 1000°Cでのマススペクトル (a) と検出された生成物のピーク強度の温度依存性 (b) を示す。本測定においては $\text{Ga}(\text{CH}_3)_2$ は $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ の主要なイオン化フラグメントである[3]。NH₃ の強度は、温度の上昇とともに 400°C 付近で急激に減少し、NH₂D が主に生成された。これは、NH₃ および D₂ が高活性化状態となり H と D の交換反応が進行していることを示している。一方 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ は 470°C 程度で強度が低下し分解が確認された。 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ の分解の主生成物は CH₄ である。これは、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ が D₂ ではなく NH₃ と優先的に反応することを示している。NH₃ との反応が $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ の分解過程において主要な役割を果たしており、これが高成長圧力、高 V/III 比条件下において GaN への C の取り込みを抑制するメカニズムであると考えられる。

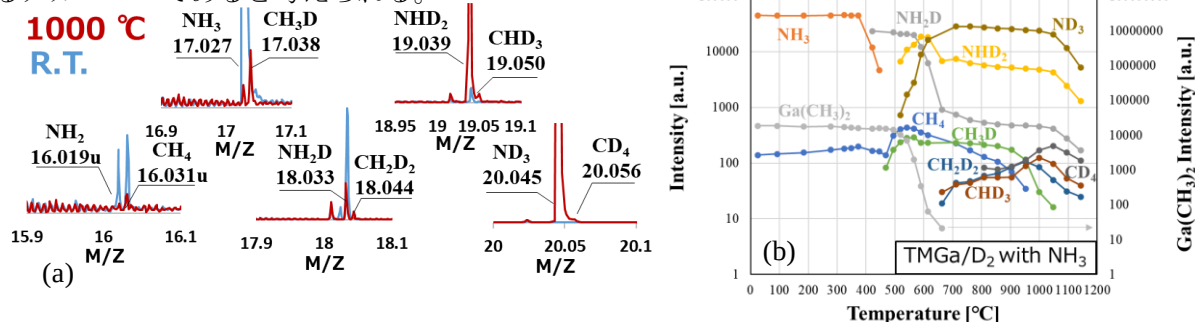


Fig. 1 (a)Wide-range mass spectra at R.T. (blue), and at 1000°C(red). (b)Temperature dependence of intensities for $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ and NH₃ in D₂.

謝辞 本研究は文部科学省「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」事業 JPJ005357 及び文部科学省『スーパーコンピュータ「富岳」成果創出加速プログラム』の助成を受けて行われた。

参考文献 [1] T. Kachi, Jpn. J. Appl. Phys, 53, 100210 (2014). [2] G. Piao et al., J. Cryst. Growth, 456, 137(2016). [3] Z. Ye et al., Jpn. J. Appl. Phys, 59, 025511(2020).