

## HVPE 法によって作製された p 型 GaN の電気および構造特性評価

### Electrical and structural properties of p-type GaN layers fabricated by HVPE

名大院工<sup>1</sup>, 名大未来材料・システム研究所<sup>2</sup>, 名大赤崎記念研究センター<sup>3</sup>, 名大 VBL<sup>4</sup>

°(D)大西 一生<sup>1</sup>, (M2)天野 裕己<sup>1</sup>, 藤元 直樹<sup>2</sup>, 新田 州吾<sup>2</sup>,

渡邊 浩崇<sup>2</sup> 本田 善央<sup>2</sup>, 天野 浩<sup>2,3,4</sup>

Dept. of Electronics, Nagoya Univ.<sup>1</sup>, IMASS, Nagoya Univ.<sup>2</sup>,

ARC, Nagoya Univ.<sup>3</sup>, VBL, Nagoya Univ.<sup>4</sup>

°Kazuki Ohnishi<sup>1</sup>, Yuki Amano<sup>1</sup>, Naoki Fujimoto<sup>2</sup>, Shugo Nitta<sup>2</sup>,

Hiroataka Watanabe<sup>2</sup>, Yoshio Honda<sup>2</sup>, and Hiroshi Amano<sup>2,3,4</sup>

E-mail: k.ohnishi@nagoya-u.jp

GaN 系縦型電子デバイスの高耐圧化に向けて、低不純物濃度 GaN ドリフト層の成長技術の確立が重要となる。近年、ハライド気相成長 (HVPE) 法が、ドリフト層成長手法として提案されており [1], GaN 自立基板作製手法のみならず、縦型電子デバイス作製手法としても HVPE 法が期待できる。我々はこれまでに、デバイス作製に重要な p 型 GaN の HVPE 法による作製を行ってきた [2]。高耐圧縦型電子デバイスや p 型 GaN 基板の HVPE 法による実現に向けて、HVPE 法によって作製される p 型 GaN の電気特性および構造特性を把握することは重要な知見となる。今回、Mg 濃度  $8.0 \times 10^{18} - 8.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  を有する p 型 GaN の電気特性および構造特性を評価したので報告する。

サファイア基板上に有機金属気相成長法によって作製された膜厚  $4.5 \mu\text{m}$  の GaN テンプレート上に HVPE 法によって Mg 濃度  $8.0 \times 10^{18} - 8.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の Mg 添加 GaN を  $23 - 30 \mu\text{m}$  成長させた。Mg 濃度  $8.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の試料においては、続けてコンタクト層を成長させた。活性化アニールを行った後、オーミック電極を形成し、Hall 効果測定用試料を作製した。その後、室温から  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  まで温度を変化させながら、Hall 効果測定を行うことによって、試料の電気特性を評価した。また、高角散乱環状暗視野走査型透過電子顕微鏡 (HAADF-STEM) を用いて Mg 濃度  $8.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の試料の構造特性を評価した。

Hall 効果測定から得られたアクセプタ濃度 ( $N_a$ ) およびドナー濃度 ( $N_d$ ) の Mg 濃度依存性を Fig. 1 に示す。また、各 Mg 濃度における as-grown 試料中の H 濃度も Fig. 1 に示す。Mg 濃度が  $2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以下の試料において、 $N_a$  と Mg 濃度は同程度である。一方、Mg 濃度が  $8.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の試料 (試料 1) において、 $N_a$  は Mg 濃度と比べて低い。また、全ての試料において、 $N_a$  は as-grown 試料中の H 濃度と同程度であった。この結果は、MOVPE 法によって作製される p 型 GaN 中にもみられ [3], as-grown の Mg 添加 GaN 中に Mg-H 錯体として存在する Mg 原子が、活性化アニールによって H が脱離し、アクセプタとして機能することを示している。また、H 原子と結合しない Mg 原子は、アクセプタとして機能しないことも示唆している。 $N_d$  も、Mg 濃度の増加に伴い増加している。 $N_d$  は、ドナー性不純物である O 濃度および Si 濃度の合計値と比べて 1 桁以上高いことから、真性点欠陥が補償ドナーとして支配的であると考えられる。次に、試料 1 の断面 HAADF-STEM 像を Fig. 2 に示す。逆ピラミッド状の反転領域 (PID) が観察された。PID は、Mg が高濃度に添加された GaN 中においてよく観察されており、PID 界面に取り込まれる Mg が  $N_a$  の低下に影響を及ぼす可能性が報告されている [3]。これらの結果から、PID の形成および PID 界面の Mg の取り込みが  $N_a$  の増加を阻害していると考えられる。このことは、HVPE 法による高キャリア濃度 p 型 GaN を作製するための重要な指針となる。

[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 の支援を受けたものです。

[1] H. Fujikura *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 085503 (2017).

[2] K. Ohnishi *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 061007 (2020).

[3] T. Narita *et al.*, J. Appl. Phys. **124**, 165706 (2018).

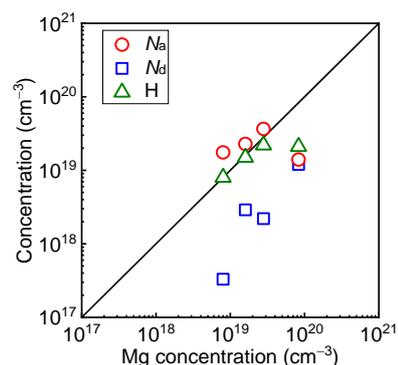


Fig. 1.  $N_a$  and  $N_d$  obtained by fitting analysis and average H concentration of as-grown samples as a function of Mg concentration.

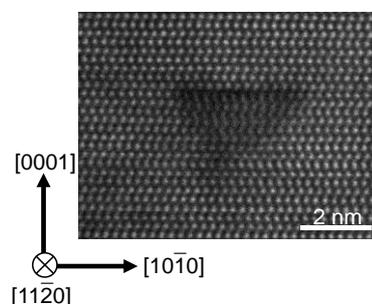


Fig. 2. HAADF-STEM image of typical PID in sample with Mg concentration of  $8.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .