

Mg 熱拡散を用いた GaN の p 型化プロセス

The p-type conversion process by Mg thermal diffusion into GaN

名大院工¹, 名大 IMaSS², 名大 VBL³, 名大 ARC⁴

○ 伊藤佑太¹, 陸順¹, 渡邊浩崇², 出来真斗³,
新田州吾², 田中敦之², 本田善央², 天野浩^{2,3,4}

Nagoya Univ.¹, IMaSS Nagoya Univ.², VBL Nagoya Univ.³, ARC Nagoya Univ.⁴

○ Yuta Itoh¹, Shun Lu¹, Hirotaka Watanabe², Manato Deki³,
Shugo Nitta², Atsushi Tanaka², Yoshio Honda², and Hiroshi Amano^{2,3,4}

E-mail: ito.yuta@nagoya-u.jp

【はじめに】

GaN の局所的 p 型伝導制御は縦型パワーデバイス作製において必要不可欠な技術である。しかし、Mg イオン注入、及び焼鈍時に形成される様々な欠陥が p 型伝導性を阻害している。1 GPa 超高圧高温アニールにより高品質な p 型 GaN(正孔濃度: $3.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 移動度: $24.1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)の作製が可能となったが^[1]、Mg 濃度分布制御やプロセス低圧化が課題である。そこで、我々は Mg イオン注入法の代替として Mg 熱拡散法に原点回帰した。熱拡散法は不純物濃度制御に優れたイオン注入法が注目を集める以前に、半導体の不純物ドーピング法として盛んに用いられた技術である。しかし、Mg 熱拡散法を用いた GaN の p 型化に関しては 20 年前に報告された 1000°C以下で数時間焼鈍した内容に限られている^[2]。原因として当時は高品質 GaN の結晶成長や保護膜を用いた 1000°C以上の焼鈍技術が現在より発展しておらず、Mg 熱拡散プロセスが確立できなかったためと考えられる。本研究では、濃度分布制御が可能、且つ超特殊環境を必要としないドーピング技術確立のため、Mg 熱拡散法を用いた p 型 GaN の作製、評価を試みた。

【実験】

アンドロップ(UID) GaN に電子ビーム(EB)蒸着法を用いて Mg を 50 nm 堆積し(図 1-a)、窒素雰囲気下にて 800°Cで 5 分間焼鈍した(図 1-b)。焼鈍にて Mg 拡散源となる Mg-Ga-N 層を形成^[3]した後、王水洗浄により最表面の Mg-O 層を除去した(図 1-c)。AlN 保護膜を 300 nm 堆積し(図 1-d)、窒素雰囲気下にて、1100°C、1200°C、及び 1300°Cで 5 分間焼鈍した。保護膜を除去し、2 次イオン質量分析(SIMS)、及びホール効果測定による評価を行った。

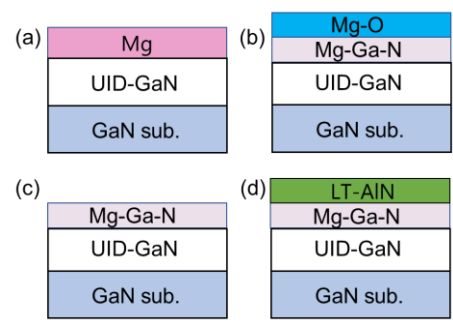


Fig. 1. Mg diffusion process

【結果と考察】

図 2 に焼鈍後の Mg 濃度分布を示す。Mg は焼鈍温度の上昇に伴い試料深くに拡散した。試料最表面の Mg 濃度増加は Mg-Ga-N 層の高濃度 Mg が影響していると考えられる。表 1 にホール測定から得られたアクセプタ濃度(N_a)、ドナー濃度(N_d)、キャリア濃度(室温)、及び移動度(室温)を示す。p 型層厚さには計算(図 2)から得られた平均拡散距離を用いた。 N_a は SIMS の Mg 濃度とほぼ一致しており、拡散した Mg はアクセプタとして活性化していた。また、 N_d / N_a は 10%以下であった。移動度は Mg 濃度 $2.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のエピタキシャル成長 p 型 GaN $26.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と一致した^[4]。以上、Mg-Ga-N 層を用いた Mg 熱拡散法は Mg の深さ制御が可能であり、且つ p 型化に必要なとされる焼鈍温度の低温化も可能であった。

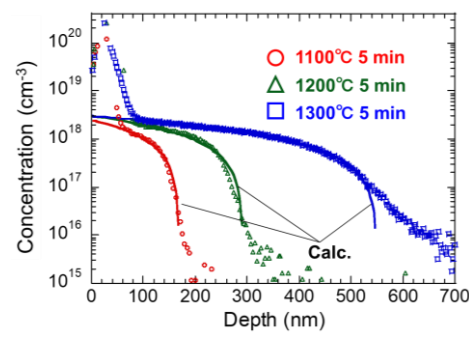


Fig. 2. Mg concentration

Table I. N_a , N_d , carrier conc. and mobility

	N_a (cm^{-3})	N_d (cm^{-3})	Carrier (cm^{-3})	Mobility ($\text{cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)
1100°C	1.7×10^{18}	2.3×10^{17}	4.2×10^{16}	26.1
1200°C	2.9×10^{18}	2.3×10^{17}	6.2×10^{16}	27.0
1300°C	2.9×10^{18}	1.7×10^{17}	6.7×10^{16}	27.7

[1] H.Sakurai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **115**, 142104 (2019)
[2] Y. J. Yang *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **39**, L390 (2000)
[3] S. Lu *et al.*, Appl. Phys. Lett. **119**, 242104 (2021)
[4] M. Horita *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 03100 (2017)

【謝辞】 本研究は、文部科学省 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777 の助成を受け行われた。